

**KABLOSUZ İLETİŞİM SİSTEMLERİNE YÖNELİK ANTEN
TASARIMI İÇİN MELEZ YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

DENİZ ÜSTÜN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
HAZİRAN-2017**

**KABLOSUZ İLETİŞİM SİSTEMLERİNE YÖNELİK ANTEN
TASARIMI İÇİN MELEZ YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

DENİZ ÜSTÜN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

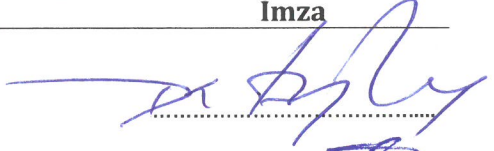
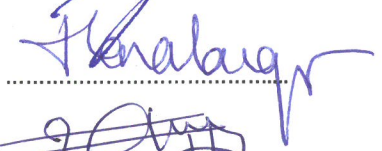
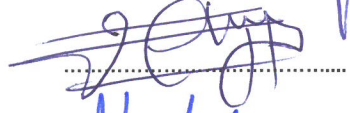
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Ali AKDAĞLI**

**MERSİN
HAZİRAN-2017**

ONAY

Deniz ÜSTÜN tarafından Prof. Dr. Ali AKDAĞLI'nın danışmanlığında hazırlanan "Kablosuz İletişim Sistemlerine Yönelik Anten Tasarımı için Melez Yapay Arı Koloni Algoritmasının Geliştirilmesi ve Uygulanması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ali AKDAĞLI	
Üye	Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR	
Üye	Prof. Dr. Derviş KARABOĞA	
Üye	Doç. Dr. Zeki YETKİN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10/07/2017 tarih ve 2017.917 / 29 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ayla ÇELİK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahribat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi,

beyan ederim

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of thesis in accordance the academic rules,
- I presented all visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.

I transfer all copyrights of this thesis to Mersin University

29 Haziran 2017/ 29 June 2017

İmza/Signature



Deniz ÜSTÜN

ÖZET

KABLOSUZ İLETİŞİM SİSTEMLERİNE YÖNELİK ANTEN TASARIMI İÇİN MELEZ YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

Günümüzde, kişisel iletişim sistemlerinde, mobil uydu iletişiminde veya kablosuz yerel alan ağında kullanılan taşınabilir aygıtlar için, kablosuz teknolojinin gelişimi ile birlikte minyatür anten tasarımları gereklidir. Kablosuz teknolojilerde kullanılan taşınabilir aygıtların boyutu küçülmüş ve buna bağlı olarak aygıtların yapıları kompleks bir yapıya bürünmüştür. Bu cihazlar için tasarlanmış antenlerin geometrileri de karmaşık bir yapıya sahip olabilir. Karmaşık yapıya sahip problemler analitik ve klasik yöntemler kullanarak çözümlerinin elde edilmesi çok zordur. Bu tür kompleks yapıya sahip sistemlerin çözümünde yapay zekaya dayanan optimizasyon yöntemleri başarılı sonuçlar vermektedir.

Bu tez çalışmasında, kablosuz iletişim teknolojileri için anten tasarımlarında kullanılmak üzere yeni ve güçlü bir melez yapay arı koloni (MYAK) algoritması önerilmiştir. MYAK'da, standart yapay arı koloni (YAK) algoritmasının arama performansını iyileştirmek için farksal gelişim (FG) algoritmasının güçlü mutasyon ve çaprazlama stratejileri, YAK algoritmasının gözcü arı fazına uygulanmıştır. MYAK algoritmasının performansı, optimizasyon kıyaslama fonksiyonlarında test edilmiş ve standart YAK, FG ve parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. MYAK algoritması, test fonksiyonlarının birçoğu için YAK, FG ve PSO'dan daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca, MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmaları, HyperLynx® 3B elektromanyetik (EM) platform ile birleştirilerek entegre tasarım sistemi geliştirilmiş ve bu tasarım sistemindeki YAK algoritması kullanılarak, UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları için bir adet geniş çift bantlı monopol anten tasarımı ve yine entegre tasarım sistemindeki MYAK algoritması kullanılarak çift bant durdurma özelliğine sahip olan bir adet UWB anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlere oyuk açma tekniği uygulanarak, oyuk yapısının boyut ve pozisyonları entegre tasarım sistemindeki MYAK algoritması ile optimize edilmiş ve dikdörtgen şekilli mikroşerit anten yapısının bant genişliği kullanılan bu teknik ile arttırılmıştır. Tasarlanan tüm antenler performansı kazanç, ışıma modeli ve S-parametresi bakımından analiz edilmiştir. Antenlere ait S_{11} parametre değerleri ölçüm ile doğrulanmıştır. Antenlerin parametrelerinin ölçülen değerleri, benzetim sonuçları ile birlikte tolere edilebilir sınırlar içinde uyumlu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: YAK, FG, PSO, MYAK, mikroşerit anten, genişbant, UWB, WiMAX, WLAN

Danışman: Prof. Dr. Ali AKDAĞLI, Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF HYBRID ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM FOR ANTENNA DESIGN IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Nowadays, the miniaturized antenna designs are required for the portable devices used in personal communication systems, mobile satellite communication or wireless local area network with developing of the wireless technology. The size of portable devices used in the wireless technologies are is small and the structures of the devices can be complicated. Therefore, the geometries of designed antennas for these portable devices also can be complex and the solving of complex problems can be very difficult by using analytic and classical methods. In the solution of these systems having complex structure, the optimization methods based on artificial intelligence obtain successful results for these problems.

In this thesis work, a novel and robust hybrid artificial bee colony (HABC) algorithm is proposed to be used in the designs of antennas for wireless communication technologies. In HABC, the strong mutation and crossover strategies of the differential evolution (DE) algorithm have been applied to the onlooker bee phase of the artificial bee colony (ABC) to improve the search performance of the standard ABC algorithm. The HABC has been tested on the optimization benchmark functions and compared with the standard ABC DE and particle swarm optimization (PSO) algorithms. The reached numerical results in present study shown that the proposed HABC was superior to the comparison with the ABC, DE and PSO for the many of optimization benchmark functions considered in this work. Besides, an integrated design system is developed by combining HABC, ABC, DE and PSO algorithms with the HyperLynx® 3D electromagnetic simulation platform. A monopole antenna for UMTS, WLAN and WiMAX applications is designed by using the ABC algorithm in this integrated system. Also, an UWB antenna design with the dual-band rejection is also performed by utilizing the HABC algorithm. The bandwidth of rectangular antenna is increased by applying of the slot opening technique to the ground plane of the rectangular microstrip antenna and the size and position of the slot is optimized by the HABC algorithm. The performance of all antenna designs is analyzed in terms of the gain, radiation pattern and S-parameter. The measured parameter values of all antennas are found to match well within tolerable limits with simulation results.

Key Words: ABC, DE, PSO, HABC, microstrip antenna, wideband, UWB, WiMAX and WLAN

Advisor: Prof. Dr. Ali AKDAĞLI, Department of Electrical–Electronics Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

“Kablosuz İletişim Sistemlerine Yönelik Anten Tasarımı İçin Melez Yapay Arı Koloni Algoritmasının Geliştirilmesi Ve Uygulanması” başlıklı doktora tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, ilminden ve akademik tecrübesinden yararlandığım, bilimsel katkıları ile bana yön veren ve yardımcı olan, insani değerleri ile de örnek aldığım, birlikte çalışmaktan onur duyduğum çok değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Ali AKDAĞLI’ya ve tez izleme komitemde yer alan, tezin hazırlanmasında bilgi ve deneyimleri ile katkılarını sunan, değerli hocalarım Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR’e ve Doç. Dr. Zeki YETGİN’e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Birlikte çalışmalar yaptığımız değerli arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ, Yrd. Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI ve Arş. Gör. Mustafa Berkan BİÇER’e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yetişmemde ve eğitimimde hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, maddi ve manevi olarak tüm gücü ile yanımda olmuş çok kıymetli canım babam Ziya ÜSTÜN’e minnet ve şükran duygularımı sunuyor ve rahmetle anıyorum.

Doktora eğitimim süresince bana sabırla destek olan ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi, sevgili eşim İlknur’a ve bir tanecik yakışıklı oğlum Duran’a en içten duygularımla teşekkür ederim.

Ayrıca bulunduğum noktaya gelinceye kadar bana verdikleri tüm emeklerinden dolayı sevgili ablam Nihal YILDIZ’a, eniştem Halim YILDIZ’a ve değerli yeğenlerim Salih YILDIZ, Gökhan YILDIZ ve Özlem BATMAZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne BAP-FBE EEMB (DÜ) 2013-4 DR kodlu proje desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	6
2.1 Kablosuz İletişim Sistemleri	8
2.1.1. Evrensel Mobil İletişim Teknolojileri (Universal Mobile Telecommunication Systems, UMTS)	8
2.1.2. Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network, WLAN)	10
2.1.3. Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)	11
2.2. Geleneksel Mikroşerit Antenler ve Temel Anten Parametreleri	12
2.2.1 Geleneksel Mikroşerit Antenler	12
2.2.2. Temel Anten Parametreleri	14
2.2.2.1. Geri Dönüş Kaybı (S_{11} Parametresi)	14
2.2.2.2. Işıma Örüntüsü	15
2.2.2.3. Yönlülük ve Kazanç	15
2.2.2.4. Empedans Bant Genişliği	16
2.2.2.5. Verim	16
2.3. Optimizasyon ve Yapay Zekâya Dayalı Optimizasyon Algoritmaları	17
2.3.1. Optimizasyon Kavramı	17
2.3.2. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması	19
2.3.2.1 Başlangıç Yiyecek Kaynaklarına ait Bölgelerin Üretilmesi	20
2.3.2.2 Görevli Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Yönlendirilmesi	20
2.3.2.3. Gözcü Arılar için Olasılık Değerlerinin Hesaplanması	21
2.3.3. Farksal Gelişim (FG) Algoritması	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. PCB Materyal	27
3.2. PCB CNC Makinesi	28
3.3. Network Analizör	29
3.4. HyperLynx® 3B Elektromanyetik Yazılımı	29
3.5. MATLAB® (MATrix LABoratory)	29
3.6. Melez Yapay Arı Koloni Algoritması (MYAK)	30
3.7. Mikroşerit Anten Tasarım ve Optimizasyon Yöntemi	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. Geliştirilen MYAK algoritmasının Performans Değerlendirmesi	36
4.2. UMTS, WLAN ve WiMAX İletişim Teknolojileri ile Uyumlu Çift-Bantlı Monopol Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi	59
4.2.1. Anten Tasarım Süreci	59
4.2.2. Monopol Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi	67
4.2.3. Monopole Antenin Performans Analizi	69
4.2.3.1. Işıma Örüntüsü	69
4.2.3.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları	70

4.3. Oyuk Yapısı ve MYAK Kullanılarak Dikdörtgen Mikroşerit Antenin Bant Genişliğinin Arttırılması	72
4.3.1. Anten Tasarımı ve Optimizasyonu	72
4.3.2. Prototipi Gerçekleştirilen Anten Üzerinde MYAK Algoritmasının YAK ve FG Algoritmaları ile Karşılaştırılması	78
4.3.3. Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi	78
4.3.4. Gerçekleştirilen Anten 4'ün Performans Analizi	79
4.3.4.1. Işıma Örüntüsü	79
4.3.4.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları	80
4.4. Bant Reddeden Özelliğe Sahip UWB Monopol Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi	81
4.4.1. UWB Monopole Anten Tasarımı ve Optimizasyonu	82
4.4.2. Çift Bant Reddeden Özelliğe Sahip UWB Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi	87
4.4.3. Gerçekleştirilen Anten 4'ün Performans Analizi	89
4.4.3.1. Işıma Örüntüsü	89
4.4.3.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları	89
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	94
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER	109

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. WLAN standardının çalışma frekans [177].	10
Tablo 2.2. WiMAX standardının çalışma frekans bantları [180].	11
Tablo 4.1. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait parametre ve değerleri	37
Tablo 4.2. Deneyde kullanılan sayısal optimizasyon test fonksiyonları	41
Tablo 4.3. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları (NP=40)	42
Tablo 4.4. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları (NP=60)	43
Tablo 4.5. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları (NP=80)	44
Tablo 4.6. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları (NP=100)	45
Tablo 4.7. Friedman testi ile hesaplanan MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama rank değerleri (NP=40, NP= 60, NP=80 ve NP=100) [213, 214]	46
Tablo 4.8. Altı farklı test fonksiyonu üzerinde bağımsız koşuturulan MYAK, MYAKFG, YAK ve MFG algoritmalarının karşılaştırmalı deneysel sonuçları	59
Tablo 4.9. Aşama 1’de ele alınan dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin boyutları (mm)	64
Tablo 4.10. Aşama 2’deki optimizasyon işlemleri için kullanılan optimizasyon tasarım parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri (mm)	65
Tablo 4.11. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en uygun parametre değerleri	65
Tablo 4.12. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen normalize edilmiş en uygun maliyet değerleri	65
Tablo 4.13. Aşama 3’deki optimizasyon işlemleri için kullanılan optimizasyon tasarım parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri (mm)	66
Tablo 4.14. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en uygun parametre değerleri	66
Tablo 4.15. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen normalize edilmiş en uygun maliyet değerleri	67
Tablo 4.16. Literatüre daha önce rapor edilmiş çok bantlı antenler	69
Tablo 4.17. Seçilen dikdörtgen şekilli temel antenlere ait boyutlar (mm)	74
Tablo 4.18. Oyuksuz dikdörtgen mikroşerit antenlerin alt, üst, merkez frekansları ve bant genişlikleri (mm)	74
Tablo 4.19. Oyuk yapılarına ait optimizasyon parametre değişken aralıkları ve optimum değerleri (mm)	75
Tablo 4.20. Oyuk yüklü dikdörtgen mikroşerit antenlerin alt, üst, merkez frekansları ve bant genişlikleri (mm)	76
Tablo 4.21. Anten 4 için MYAK, YAK ve FG algoritmaları ile elde edilen normalize maliyet değerleri	78
Tablo 4.22. Önerilen UWB anten için tasarım parametreleri, aralıkları ve MYAK ile bulunan en uygun değerleri	84
Tablo 4.23. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB anten için tasarım parametreleri, aralıkları ve MYAK ile bulunan en uygun değerleri	86
Tablo 4.24. Literatüre sunulmuş bant reddeden özelliğe sahip UWB antenler	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Geleneksel mikroşerit antenlerin geometri yapıları: a) Kare, b) Dikdörtgen, c) Üçgen, d) Daire	12
Şekil 2.2. Mikroşerit antenin temel yapısı	12
Şekil 2.3. Mikroşerit hat besleme	14
Şekil 2.4. Tek antenli bir sistemin genel yapısı	14
Şekil 2.5. Bir antenin ışıma örüntüsü	15
Şekil 2.6. Bir antenin S_{11} parametresi ve empedans bant genişliği gösterimi	16
Şekil 2.7. Yapay zekâya dayalı optimizasyon yöntemleri	17
Şekil 2.8. YAK algoritmasının genel blok akış şeması	22
Şekil 2.9. FG algoritmasının genel blok akış şeması	25
Şekil 3.1. Çift yüzü bakır FR4 PCB materyalinin temsili görüntüsü	27
Şekil 3.2. LPKF-ProtoMat E33 PCB CNC makinesi	28
Şekil 3.3. Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör	29
Şekil 3.4. MYAK algoritmasının genel blok akış şeması	32
Şekil 4.1. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları (NP=60)	48
Şekil 4.2. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları (NP=80)	50
Şekil 4.3. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları (NP=100)	52
Şekil 4.4. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve PSO algoritmaların yakınsama hızları	54
Şekil 4.5. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve YAK algoritmaların yakınsama hızları	56
Şekil 4.6. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve FG algoritmaların yakınsama hızları	58
Şekil 4.7. Önerilen anten tasarımı için kullanılan optimizasyon tekniğine ait akış diyagramı	62
Şekil 4.8. Aşama 1’de ele alınan dikdörtgen şekilli mikroşerit anten geometrisi	62
Şekil 4.9. Aşama 2’de YAK algoritması ile elde edilen monopole anten geometrisi	63
Şekil 4.10. Aşama 3’de YAK algoritması ile elde edilen monopol antenin nihai geometrisi	63
Şekil 4.11. Aşama 1, 2 ve 3 için anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri	63
Şekil 4.12. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait gelişim eğrileri	66
Şekil 4.13. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri	66
Şekil 4.14. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait gelişim eğrileri	67
Şekil 4.15. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri	67
Şekil 4.16. Üretimi gerçekleştirilen monopol anten	68
Şekil 4.17. Önerilen antenin benzetim ve ölçüm S_{11} parametreleri	68
Şekil 4.18. xz-düzleminde farklı frekans değeri için önerilen antenin benzetim ışıma örüntüleri	70
Şekil 4.19. yz-düzleminde farklı frekans değeri için önerilen antenin benzetim ışıma örüntüleri	70
Şekil 4.20. Monopol antenin tepe kazanç eğrisi	71
Şekil 4.21. Monopol antenin yüzey akım dağılımları: (a) 2.0 GHz, (b) 2.4 GHz, (c) 3.5 GHz, (d) 5.2 GHz, (e) 5.5 GHz (f) 5.8 GHz	72
Şekil 4.22. Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin optimizasyon metodolojisi	73
Şekil 4.23. Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerin modeli	74
Şekil 4.24. Oyuk yüklü ve oyuk yüklü olmayan 7 anten için benzetim S_{11} -frekans grafikleri:	77
Şekil 4.25. Anten 4 için MYAK, YAK ve FG algoritmaları ile elde edilen S_{11} parametre ve yakınsama hız eğrileri: a) S_{11} parametre eğrileri, b) Yakınsama hız eğrileri	78

Şekil 4.26. Oyuk yüklü Anten 4'e ait prototip	79
Şekil 4.27. Anten 4'e ait benzetim ve ölçüm S_{11} parametreleri	79
Şekil 4.28. Çalışma frekansı 2.56 için prototip Anten 4'ün benzetim ışıma modelleri	80
Şekil 4.29. Anten 4 için frekans tepe kazanç eğrisi	81
Şekil 4.30. Farklı frekansta oyuk yüklü Anten 4'ün yüzey akım dağılımları: a) 2.56 GHz	81
Şekil 4.31. UWB anten tasarımı için başlangıç anten geometrisi	82
Şekil 4.32. Başlangıç antenin VSWR ve S_{11} parametre grafikleri: a) VSWR, b) S_{11} parametre	82
Şekil 4.33. Birinci aşamada elde edilen UWB anten geometrisi	84
Şekil 4.34. MYAK ile optimize edilen UWB antenin VSWR grafiği	84
Şekil 4.35. Çift bant reddetme özelliğine sahip UWB antenin geometrisi	86
Şekil 4.36. MYAK ile optimize edilen çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin VSWR grafiği	86
Şekil 4.37. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin üretilen prototipi	88
Şekil 4.38. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin VSWR ve S_{11} benzetim ve ölçüm eğrileri : a) VSWR eğrileri, b) S_{11} parametre eğrileri	88
Şekil 4.39. Farklı frekanslar için çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin ışıma modelleri a) xz düzlemi, b) yz düzlemi	89
Şekil 4.40. Çift bant reddetme özelliğine sahip UWB antenin tepe kazanç eğrisi	90
Şekil 4.41. Çift bant reddetme özelliğine sahip önerilen UWB antenin farklı frekans değerleri için yüzey akım dağılımları: a) 3.5 GHz, b) 5.5 GHz, c) 4 GHz, d) 7.5 GHz	90

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma / Simge	Tanım
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
AB	Ateş Böceği
ETSI	Engineers European Telecommunications Standardisation Institute
FG	Farksal Gelişim
GA	Genetik Algoritma
GSM	Global System for Mobile Communication
IEEE	Institute of Electrical and Electronics
ISDN	Integrated Services Digital Network
IP	Internet Protocol
KMA	Kompakt Mikroşerit Anten
KK	Karınca Kolonisi
MA	Mikroşerit Anten
M2M	Machine-to-Machine
MYAK	Melez Yapay Arı Koloni
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
MoM	Momentler Metodu
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Systems
UWB	Ultra Wide Band
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
YAK	Yapay Arı Kolonisi
YZO	Yapay Zekâ Optimizasyon

1. GİRİŞ

İnsanların günlük hayatları üzerinde büyük bir öneme sahip olan uydu haberleşme ve kablosuz iletişim sistemleri, geçtiğimiz birkaç yıl içerisinde hızla gelişmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak, bilgi ve iletişim sistemlerinde kullanılan cihazların boyutları küçülmüş ve kablosuz cihazların kullanımı artmıştır. Söz konusu kablosuz cihazlarda çok çeşitli anten yapıları kullanılmaktadır. Bu anten yapılarının içerisinde yer alan mikroşerit antenler (MA) yoğun bir ilgi görmektedir. Geniş bir frekans yelpazesi üzerinde yüksek bir performansa sahip olan MA'lar, hafif, ucuz ve düşük bir profile sahiptirler. MA yapıları ilk olarak, Deschamps tarafından 1953 yılında önerilmiş [1] ve 1955 yılında Gutton ve Baissinot tarafından patenti alınmıştır [2]. Takip eden yıllar içerisinde elektrik malzemelerin, düşük kayıp, mekanik ve ısı gibi elektriksel özelliklerinin geliştirilmesiyle, 1974 ve 1975 yıllarında Munson [3] ve Howell [4] tarafından MA'lar tasarlanmış ve prototipleri ilk olarak üretilmiştir. Üretilen MA'lar, ince ve yüzeye uyumlu bir yapıda tasarlanabildiklerinden savunma sanayisinde ve uzay araştırmalarında kullanmak üzere geliştirilen birçok araçta yaygın bir şekilde kullanılmışlardır. Günümüze kadar olan süreçte çok büyük ilerlemeler kayıttan geçen MA'lar, iletişim sistemlerinde kullanılan diğer antenlere göre üstün özelliklere sahip olmaları nedeni ile bu alanda çalışma yapan araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Üretimlerinin kolay olması, maliyetlerinin düşük olması, küçük yapıları ve farklı polarizasyon üretilebilme gibi özellikleri sayesinde MA'lar, ilk olarak, savunma sanayide geliştirilen roketler, güdümlü füzeler ve uydular gibi sadece askeri amaçlı uygulamalarda kullanılmıştır. Günümüzde, kablosuz iletişim sistemlerinin hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Frekans bantlarına ve uygulama alanlarına göre çeşitlilik gösteren kablosuz iletişim sistemleri; veri, görüntü ve ses bilgilerini elektromanyetik olarak hızlı ve güvenli bir şekilde taşımaktadırlar. UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems), WLAN (Wireless Local Area Network), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) gibi kablosuz iletişim çözümleri ve UWB (Ultra Wide Band) kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılan başlıca alanlardandır. Bu teknolojilerin kullanıldığı cep telefonları, dizüstü veya tablet bilgisayarlar ve kablosuz modemler gibi taşınabilir cihazlardaki çeşitliliğin zamanla artması, bu cihazlarla entegre olabilecek boyutlarda ve özellikle fonksiyonel anten tasarımlarının gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bununla birlikte, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standartları uyarınca, çeşitli frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarını, çift-bant veya geniş-bant performansına sahip tek bir anten elemanı ile gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir. MA'ların, üretimlerinin kolay olması ve küçük hacime sahip olmaları nedeni ile kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılan cihazlarda, özellikle tercih edilmektedirler [5-10]. Dikdörtgen, üçgen ve daire gibi düzgün anten geometrilerine sahip olan antenlerin analizlerinin kolay olmasından dolayı, bu geometrilere sahip MA'lar yoğun

çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur [11–23]. Bununla birlikte literatürde sunulmuş ve iyi bilinen geometrilere sahip MA'ların boyutları, UHF (Ultra High Frequency) uygulamalarında kullanılmak için nispeten büyüktür. Bundan dolayı, ilgili frekans aralıkları için yukarıda bahsedilen MA'ların geometrileri üzerinde iyileştirici değişiklikler yapılmaktadır. Bu MA'ların iletken kısımlarında gerçekleştirilen değişikliklerle elde edilen kompakt mikroşerit antenlerin (KMA) rezonans uzunlukları arttırılarak çalışma frekansları azaltılmaktadır [24–31]. Kullanılan bu yöntem ile aynı rezonans frekansları için KMA'ların boyutları önemli oranda küçülmektedir. Ancak sağladığı bu avantajlarına karşılık verimleri düşük ve bant genişliği dar olabilmektedir [14, 25]. Transmisyon hattı modeli (Transmission Line Model) [32] ve boşluk modeli (Cavity Model) [33] yöntemleri kullanarak, bilinen geometrik şekillere sahip olan MA'lar analitik olarak analiz edilebilmektedir. Ancak KMA'ların, düzgün geometrilere sahip olmamasından dolayı yukarıda bahsedilen yöntemler ile analiz edilmesi oldukça zor olmaktadır. Bundan dolayı, KMA'ların tasarım ve analiz süreçlerinde genellikle elektromanyetik sayısal hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Moment metodu (Method of Moment: MoM) [34] ve zaman domeninde Maxwell denklemlerinin çözüm işlemlerini gerçekleştiren zamanda sonlu farklar domeni (Finite Difference Time Domain: FDTD) [35] başlıca elektromanyetik sayısal hesaplama yöntemleri olarak kullanılmaktadır.

Yıllar içerisinde, teknolojiye hızlı gelişmelerden dolayı sistemler giderek daha karmaşık bir yapıya bürünmüştür. Buna bağlı olarak bu sistemlerle beraber ortaya çıkan problemlerinde bilinen klasik ve analitik yöntemlerle çözülmesi güçleşmiştir. Bu gibi karmaşık yapıya sahip sistemler için optimizasyon kavramı alternatif bir çözüm yöntemi olarak kullanılmaya başlanmış ve her alandaki zor ve karmaşık problemlerin çözümünde uygulanması popülaritesini giderek arttırmıştır. Latince kökenli bir kelime olan optimum, mümkün olabilen en ideal anlamına gelmektedir. Optimizasyon ise; bir probleme ait en iyi çözümün bulunması ya da bir sistemin tasarlanması için gerçekleştirilen işlemler bütünü olarak tanımlanabilir. Geçtiğimiz yüzyılın sonlarında; bilgisayar teknolojilerindeki yaşanan büyük gelişmeler sayesinde, geliştirilen optimizasyon yöntemlerinin, sosyal, sağlık ve fen bilimleri gibi hemen her alanda kullanımları giderek artış göstermiştir. Buna bağlı olarak, mühendislik alanındaki bilim camiasının pek çoğu bilgisayarları kullanarak sayısal modellemeler ve çözümler yapmaya yönelmişlerdir. Bu yönelmeler ve gelişmeler sayesinde problemlerin daha hızlı ve daha az maliyetli çözümü için araştırmalar yapılarak yeni yöntemlerin ya da mevcut yöntemlerin geliştirilmesi yönünde ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle klasik optimizasyon tekniklerinin çözmekte başarısız olduğu veya problemlerin çözüm sürecinin zaman aldığı durumlar için alternatif yöntem olarak geliştirilen, tamamen doğa olaylarının modellenmesi ile ortaya konulan ve çözüme yönelik olan yapay zekâ kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu kavramın ortaya çıkışından bu

zamana kadar olumlu veya olumsuz birçok eleştiri almasına rağmen problemlerin çözümü için kullanılan yöntemler açısından olumlu sonuçlar elde etmiştir. Sezgisel araştırma metodları olarak da bilinen yapay zekâ optimizasyon (YZO) algoritmaları, herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünü bulmak ya da belirlenmiş hedefe ulaşmak için çeşitli alternatif çözümleri içeren hareketlerin etkili olanlardan, tanımlanmış kriterlere uygun olanları seçerek en yakın sonuca ulaşmaya çalışan bilgisayar destekli optimizasyon teknikleridir. Klasik çözüm yöntemlerinin büyük problemlerde yetersiz kalması ya da ihtiyaç duyulan çözüm hesaplama sürelerinin çok büyük olmasından dolayı yapay zekâ optimizasyon teknikleri en iyi çözümü garanti etmese dahi, amaca uygun iyi bir çözümü bulması açısından çeşitli alanlarda çalışan araştırmacıları bu alana yönlendirmiştir. Son yıllarda, iletişim teknolojilerinin birçok alanında da yaygın olarak kullanılmaya başlanan yapay zekaya dayalı optimizasyon teknikleri, mikrodalga tasarımı benzetimi ve optimizasyon problemlerinde elde ettiği hızlı, doğru ve esnek çözümlerden dolayı yoğun bir ilgi görmüştür [36–42]. Ancak, uygulama alanında elde edilen sonuçlar göstermektedir ki YZO algoritmaları probleme bağımlı algoritmalarlardır. Bir başka deyişle, bir problemde başarılı olan herhangi bir YZO algoritması, başka bir optimizasyon probleminde aynı başarıyı elde edemeyebilmektedir. Genel olarak YZO algoritmaları, fizik tabanlı [43–47], biyoloji tabanlı [48–67], kimya tabanlı [68–71], sosyal tabanlı [72, 73], sürü tabanlı [74–83] ve müzik tabanlı [77, 84] olmak üzere altı farklı grupta toplanmıştır [85].

Bütün YZO algoritma yaklaşımlarında, başarılı ve etkin sonuç üretmenin bir anahtarı olan keşif (exploration) ve sömürü (exploitation) yetenekleri arasındaki dengeyi korumak için, farklı teknikler kullanılmaktadır. Bir YZO algoritmasının keşif yeteneği, problem için tanımlanmış çözüm uzayı içerisinde farklı alanları test etme imkanını sağlamaktadır. Diğer yandan sömürü özelliği, problem için olası aday çözümlerin etrafında daha detaylı arama işlemine odaklanmasına imkân vermektedir. Standart YZO algoritmaların olumlu özelliklere sahip olmalarına rağmen, problemlerin çözümünde sahip oldukları başarı performanslarının her zaman arzu edildiği ölçüde olmadığı görülmektedir [86]. Bundan dolayı, standart optimizasyon yöntemlerinin arzu edilen özelliklerinin birleştirilmesi ya da farklı yöntemler uygulanarak oluşturulan ve standart algoritmalara göre daha yüksek başarı elde edebilen optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesine neden olmuştur [87–112]. Standart optimizasyon tekniklerinin arama performansını geliştirmeye yönelik uygulanan tekniklerden biri de melezleme (Hybridization) yöntemidir. Melezleme yöntemi, iki veya daha fazla optimizasyon metodunun iyi ve güçlü özelliklerinin bir araya getirilmesi ile elde edilen temel bir kombinasyon işlemidir [104, 105, 107, 109]. Yapay arı kolonisi algoritmasının optimizasyon işlemlerinde arama performansını artırmak için Nelder–Mead simplex arama yöntemi ile birleştirilerek melez simplex yapay arı kolonisi algoritması önerilmiştir [104]. Başka bir çalışmada, N adet nesneyi K adet kümeye optimal olarak kümelemek

için yapay arı kolonisi ve açgözlü rasgele uyumlu arama prosedürü kavramlarına dayanan yeni bir hibrid algoritması sunulmuştur. Literatüre sunulmuş diğer bir çalışmada ise, FG algoritmasının mutasyon ve çaprazlama operatörleri yapay arı kolonisi algoritmasına entegre edilerek melez yapay arı kolonisi farksal gelişim algoritması geliştirilmiştir [109].

Bu tez çalışmasında; melezleme tekniği kullanılarak yapay arı koloni (YAK) [54, 55] ve farksal gelişim (FG) [113] algoritmalarının iyi özelliklerinin bir araya getirilmesinden oluşan; yeni ve güçlü bir melez yapay arı koloni (MYAK) algoritması literatüre ve araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Standart YAK algoritmasının keşif kabiliyeti yüksektir ve genellikle, farklı alanlardaki birçok optimizasyon problemi için oldukça iyi sonuçlar elde etmiştir. Ancak, YAK algoritmasının sömürü yeteneğinin bazı zorlu optimizasyon problemleri için zayıf kalmasından dolayı arama performansını etkilemektedir. Bu tez çalışmasında geliştirilen MYAK'ta, standart YAK algoritmasının arama performansını geliştirmek amacı ile FG algoritmasının güçlü mutasyon ve çaprazlama stratejileri, YAK algoritmasının gözcü arı fazına uygulanmıştır. Bu sayede, görevli arı fazında değiştirilmeyen arama stratejisi güçlü olan keşif kabiliyetini korurken, gözcü arı fazına uygulanan FG algoritmasının mutasyon ve çaprazlama stratejileri, standart YAK algoritmasının sömürü yeteneğini geliştirmiştir. Bu şekilde, algoritmanın performansını oldukça arttıran, keşif ve sömürü kabiliyetleri arasında iyi bir denge kurulmuştur. Geliştirilen MYAK algoritması, 20 adet optimizasyon test fonksiyonu üzerinde, farklı popülasyon boyutlarında test edilmiş, standart YAK, FG ve PSO [78] algoritmalarının aynı koşullar altında elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen algoritmanın arama performansı, literatürde sunulan melez yapay arı kolonisi farksal gelişim algoritması ile değerlendirilmiştir [109]. Bu tez çalışmasında ulaşılan sayısal sonuçlar; MYAK'ın, birçok optimizasyon test fonksiyonu için YAK, FG ve melez yapay arı kolonisi farksal gelişim [109] algoritmaları ile karşılaştırıldığında daha iyi bir arama performansı sergilediğini göstermiştir. Önerilen melez optimizasyon yönteminin yakınsama hassasiyeti ve hızı standart YAK ve FG algoritmasına göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Geliştirilen MYAK algoritması, kablosuz iletişim sistemlerine yönelik anten tasarımlarını gerçekleştirmek amacı ile teknik hesaplama dili MATLAB® [114] kullanılarak yazılan entegre tasarım sistemi aracılığıyla, momentler metoduna (MoM) [34, 115] dayalı HyperLynx® [116] üç boyutlu elektromanyetik (EM) entegre edilmiştir. Bu entegre sistem kullanılarak, UMTS, WLAN, WiMAX ve UWB uygulamalarına uyumlu farklı geometrilere sahip KMA'lar tasarlanmıştır. Daha sonra prototipleri gerçekleştirilen bu KMA tasarımlarının ölçüm sonuçları, literatürde ilgili uygulamalar için daha önce sunulan tasarımların sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca, dikdörtgen şekilli KMA'lar için bant genişliğini artırmak amacı ile toprak düzlemine oyuk açma tekniğine dayalı yeni bir yöntem önerilmiş, toprak düzleme açılacak

dikdörtgen şekile sahip oyugu boyutları ve konumu, amaç fonksiyonuna göre geliştirilen MYAK algoritması ile optimize edilmiştir. Elde edilen benzetim ve ölçüm sonuçları, önerilen toprak düzleme oyuk açma yönteminin, dikdörtgen şekle sahip KMA'ların bant genişliklerini arttırdığını göstermiştir. Bu tez çalışması ile yapay zekâ optimizasyon tekniklerinden YAK ve FG algoritmalarının melezlenmesi ile geliştirilen MYAK algoritmasının kablosuz iletişim sistemlerindeki farklı uygulamalar için kullanılacak KMA'ların tasarım süreçlerinde etkili ve başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Literatür incelediğinde, WLAN ve WiMAX kablosuz teknolojileri için farklı geometrik şekillerde birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahip çok sayıda KMA tasarımları önerilmiştir [117–128]. Çift ters L şekilli yama kullanılarak tasarlanan çift bantlı mikroşerit beslemeli anten yapısı, WLAN için 5.2 ve 5.8 GHz ve WiMAX için 3.5 ve 5.5 GHz frekans bantlarında çalışmaktadır [122]. Ayrıca, anten geometrisi nispeten karmaşıktır. Farklı bir çalışmada, oldukça kompakt bir yapıya sahip çift-bantlı ayırık-yüzük anten tasarımı sunulmuştur [125]. Fakat, anten sadece WLAN teknolojisi için kullanılan 2.4 ve 5.2 GHz frekanslarında çalışmaktadır. Basit bir yapıya sahip sunulan bu anten ilgili çalışma bantlarında çok iyi bir performansa sahip olmakla birlikte, anten yapısının boyutları oldukça büyüktür. WLAN ve WiMAX uygulamaları için diğer bir çalışmada, çift-terafli dipol bir anten tasarımı önerilmiştir. Sunulan anten, WLAN uygulamasının 2.4 GHz ve WiMAX uygulamasının da 3.5 ve 5.5 GHz frekanslarında çalışmaktadır [126], ancak UMTS teknolojilerinin çalışma frekans bantlarını desteklememektedir.

Günümüzde UWB antenler, düşük karmaşıklık ve maliyet, yüksek hassasiyetli aralıklandırma, son derece düşük spektral güç yoğunluğu ve yüksek hızdaki veri oranı gibi avantajlarından dolayı çok büyük ilgi görmektedir [129–148]. Ultra geniş bant (Ultra Wideband, UWB) frekans aralığı, 3.1 GHz ile 10.6 GHz arasında olduğundan dolayı WiMAX için 3.5 GHz, 5.5 GHz ve WLAN için 5.2 GHz, 5.8 GHz frekans bantlarında doğal olarak içermektedir. Bu nedenle, bazı özel UWB sistemleri, WLAN ve WiMAX gibi kablosuz iletişim sistemlerinin güçlü dar bantları ile etkileşimlerinden zarar görebilmektedir. UWB sistemlerin bandı içerisinde meydana gelen bu etkileşimlerin engellemek için, mikrodalga devrelerin boyutlarını arttırmamasına neden olsa da harici bant-durduran filtreler kullanılabilir. Girişim problemlerinin üstesinden gelebilmek için kullanılan bir başka yöntem ise elektromanyetik benzetim yazılımları yardımıyla yama veya toprak düzlemi üzerinde gerçekleştirilen oyuk açma veya şerit yerleştirme teknikleri kullanarak bant durdurucu filtre özellikleri ile bütünleşik bir UWB anten tasarlamaktır. Literatürde, bant-durdurucu karakteristiği elde etmek amacı ile UWB antenlerin toprak veya yama düzlemleri açılan oyukları içeren çeşitli çalışmalar sunulmuştur [133–140]. Ultra geniş bant aralıklığı içeren farklı yapılar [140, 147], kare halka rezonatörü [141], açık devre rezonatör veya çoklu rezonatör [142–144] ve rezonans veya konik yama gibi anten tasarımlarında önerilmiştir. Yukarıda verilen bu yöntemlerin avantajları ve eksiklikleri uygulamaya bağlı değerlendirmek gerekmektedir.

MA'lar, imalatlarının kolay ve maliyetlerinin az olması, düşük profilli bir yapı ile mikrodalga devre teknolojileri ile kolay entegre edilebilmeleri açısından radar sistemleri, uydu iletişim teknolojileri, kablosuz iletişim sistemleri ve cep telefonları gibi uygulamalarda yaygın

olarak tercih edilen anten çeşididir [149]. Ancak, geleneksel MA'ların çalışma bantlarının çok dardır. Bundan dolayı, MA'ların bant genişlikleri, iyi bilinene farklı teknikler kullanılarak geliştirilebilmektedir. Düşük dielektrik sabitine sahip alüminyum malzeme kullanımı, alüminyum malzeme kalınlığının artırılması, çeşitli besleme teknikleri ve empedans eşleştirme, çoklu rezonatör kullanımı ve anten geometrisi üzerine oyuk açma bu bilinene tekniklerden bazılarıdır [150–155]. MA'ların bant genişliğini geliştirmek için kullanılan yöntemlerden biride, toprak veya yama düzlemi üzerine geniş veya dar oyuk açmaktır. Shetawy ve arkadaşları sundukları iki teknik ile hem MA'nın boyutlarını küçültmüşler hem de bant genişliğini arttırmışlardır. Bu teknikler, yama içerisine çoklu çift sapma dar yarıklar ve toprak düzlemine çoklu çift sapma oyuklar açılmasından oluşmaktadır. Bu teknikler sayesinde, antenin boyutları 60% daha fazla bir oranla azalırken, çalışma frekansındaki bant genişliği iki katına çıkarılmıştır [156]. Diğer bir çalışmada, geleneksel MA'ların performansı ile ilgili olan bant genişliğini arttırmak için yeni bir tasarım tekniği sunulmuştur. Ters şekilli yivli yamaya sahip bu anten tasarımı için bant empedans genişliğinde 25 %'lik bir artış elde edilmiştir [157]. Misran ve arkadaşları, antenin bant genişliğini arttırmak için, ters bir yama yapısına sahip yivli bir yama anten sunmuştur. Bu anten, 2.08 GHz'lik bir merkez frekansında 27 %'lik bir bant genişliği elde edilmiştir [158].

Son yıllarda, birçok alanda karşılaşılan karmaşık ve zorlu optimizasyon problemlerine en uygun çözümleri bulmak için, evrimsel algoritmalar ya da sürü zekasına dayalı ve nüfus tabanlı yapay zekâ yöntemleri geliştirilmiştir. Sezgisel algoritmalar olarak da adlandırılan bu yöntemler, çok boyutlu optimizasyon problemleri için en ideal çözüm noktalarını kabul edilebilir bir sürede bulabilen tekniklerdir. Genetik algoritma (GA) [159], FG algoritması [113], karınca kolonisi (KK) algoritması [160], parçacık sürü optimizasyonu algoritması (PSO) [78], ateş böceği (AB) [161], yarasa [162] YAK [54, 55] algoritmaları bu optimizasyon algoritmalarından bazılarıdır. Bu algoritmalar aynı zamanda doğadan esinlenerek geliştirilmiştir. Çünkü onlar, doğanın basit zekâ kurallarına dayanan kuralları içeren optimizasyon teknikleridir. Yapay zekaya dayalı algoritmalar, mikrodalga frekans optimizasyon problemlerinde, benzetimlerde ve tasarlama süreçlerinde hızlı, doğru ve esnek çözümler sağladığından dolayı son yıllarda giderek dikkat çekmiştir. Literatür incelediğinde, sonlu farklar zaman dömeni yöntemi ile birlikte paralel PSO tekniği kullanılarak çoklu geniş bantlı bir yama anten gerçekleştirilmiştir [163]. Bununla birlikte bir başka çalışmada, dikdörtgen bir MA'nın uzunluk ve genişlik parametreleri PSO algoritması kullanılarak hesaplanmıştır [164]. Koaksiyel beslemeli bir mikroşerit antenin optimum besleme pozisyonu, genetik algoritma kullanarak belirlenmiştir [165]. Diğer bir çalışmada ise, FG algoritması ile MoM'un birbiri ile entegre edildiği bir teknik kullanılarak, geniş bant bir yama anten tasarlanmıştır [166]. FEKO olarak adlandırılan ticari elektromanyetik benzetim programı ile birlikte YAK algoritması kullanılarak, tasarlanan anten boyutları minimize edilirken anten

kazancı maksimize edilmiştir [167]. Önerilen diğer bir çalışmada ise, sömürü özelliği geliştirilmiş YAK algoritmasının bir versiyonu kullanılarak modifiye edilmiş bir spiral anten optimize edilmiş ve tasarlanmıştır [168]. Kerkhoff ve arkadaşları tarafından, GA kullanılarak, bant çentikli karakteristiğe sahip düzlemsel bir monopol anten tasarımı gerçekleştirilmiştir [169]. Xie ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada ise, WLAN için bant çentikli bir karakteristik etmek amacı ile hem yama hem de toprak düzlem üzerinde kafes ızgara yapısını optimize eden GA'ya dayalı etkili bir anten tasarım tekniği sunulmuştur [170]. Yapılan diğer bir çalışmada, modifiye edilmiş PSO, bakteri sürüsü ve merkezi kuvvet optimizasyon algoritması gibi güncel algoritmalar kullanılarak, bir E şekilli yama antenin optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [171].

Balık ve kuş sürülerinden esinlenerek geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu algoritmasına dayalı bir yöntem kullanılarak, ters E şekilli yama antenin bant genişliği 15 % olarak elde edilmiştir [172]. Literatüre sunulan diğer bir çalışmada ise, melezleme yöntemi ile performansı iyileştirilmiş bir genetik algoritma kullanılarak, geleneksel dikdörtgen şekilli bir yama antenin geometrisi optimize edilmiştir. Antenin bant genişliği 6 %'dan 17.8 %'e artırılmıştır [173]. Jayasinghe ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise; MA'ların performansını arttırmak için genetik algoritmaya dayalı popüler bir optimizasyon tekniği sunmuşlardır. Optimize edilen MA'ların bant genişliğini elde etmek için beş farklı uygunluk fonksiyonu değerlendirmeye alınmış ve beşinci uygunluk fonksiyonu ile 35 % civarında bir bant genişliği elde edilmiştir [174].

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında, kablosuz iletişim teknolojilerine giriş yapılacaktır ve bu teknolojilerde kullanılan frekans bantlarından bahsedilecektir. Daha sonra, MA'ların temel özellikleri ele alınacak yaygın olarak kullanıldıkları uygulama alanları ve temel anten parametreleri anlatılacaktır. Son yıllarda, literatüre sunulmuş ve evrensel mobil iletişim teknolojileri UMTS, WLAN ve WiMAX iletişim teknolojilerinde çalışan KMA'lar ele alınacaktır. Bölümün sonunda, optimizasyon ve yapay zekaya dayalı optimizasyon teknikleri ile ilgili bilgiler verilecektir.

2.1 Kablosuz İletişim Sistemleri

2.1.1. Evrensel Mobil İletişim Teknolojileri (Universal Mobile Telecommunication Systems, UMTS)

Veri iletişimi ve telekomünikasyonun birbirini yakınsaması bunula birlikte giderek artan internet protokolünün (Internet Protocol, IP) önemi ve bunların sonucunda internete olan arz ve talebin çok hızlı bir şekilde yükselmesinden kaynaklı ortaya çıkan gereksinimler, mobil iletişim sektörünün bu teknolojilere yönelik Ar-Ge çalışmalarına yönelmesine neden olmuştur. 2014 yılının haziran ayında yayınlanan Ericsson Mobilite raporuna (Ericsson Mobility Report) göre,

2013 yılının sonu itibari ile 200 milyon adet olan hücresel Machine-to-Machine (M2M) cihaz sayısı, 2019 yılına kadar 3 ila 4 kat arasında artması beklenmektedir. Şu an için bu cihazların çoğu sadece GSM için kullanılmaktadır. Ancak, 2016 yılı itibari ile M2M cihazların çoğunluğu 3G ve 4G sistemleri ile uyumlu halde olacaklardır. 2019 yılında, mobil sayısının 9,2 milyara ulaşması, mobil geniş bant abonelik sayısının da artmaya devam ederek 7,6 milyara ulaşacağı beklenmektedir. Ayrıca, Ericsson Mobilite raporu, akıllı telefon sayısının, 2019 yılında 5,6 milyara ulaşacağını da ön görmektedir [175].

Telsiz iletişim sistemlerinin en büyük problemi uyumsuzluktur. Uyumsuzluğu ortaya çıkaran neden ise, dünya üzerindeki Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa bölgelerinin her birinde, birinci kuşak analog iletişim sistemlerinden ikinci kuşak dijital mobil iletişim sistemlerine geçilmesi esnasında farklı teknolojilerin değerlendirilmeye alınmasıdır. Üstelik bazı bölgelerdeki ülkeler, kendi içinde farklı teknolojileri tercih etmişlerdir. Bu uyumsuzluk, bu ülkeler arasında seyahat eden kullanıcıları ciddi anlamda sıkıntıya sokmuştur. Bu amaçla küresel bir çözüm olarak üçüncü nesil sistemler ortaya konan Evrensel mobil iletişim teknolojileri (Universal Mobile Telecommunication Systems-UMTS) için standartlar, Avrupa telekomünikasyon standartları enstitüsü (European Telecommunications Standardisation Institute, ETSI) tarafından geliştirilmiştir. UMTS ile küresel pazara yönelik bir dizi standart olarak ortaya konmuştur. Hem global mobil iletişim sistemi (Global System for Mobile communication, GSM) için hem de tümleşik hizmetler dijital ağı (Integrated Services Digital Network, ISDN) şebekelerinde gerçekleşen değişimler sonucunda ortaya çıkan teknolojik yenilikleri tanımlanan ve eklenen yeni özellikleri ile mobil iletişimleri için gerçek bir üçüncü jenerasyon olarak global bir sistem olmuştur [176]. UMTS, dikkatli bir şekilde seçilmiş pazar gereksinimlerine dayanır ve 2000 yılı uluslararası mobil telekomünikasyon (International Mobile Telecommunications for the year 2000, IMT-2000) ailesine aittir. Hücresel bir sistem olmaktan çok öte olan UMTS'in amacı, her türdeki ağ yapısının yakınsamasına dayalı bir iletişim sisteminin mimarisine sahiptir. Bu sayede, lisansız telsiz sistemleri, telsiz erişim sistemleri, Makrocell, Mikrocell ve Pikocell karasal hücre sistemlerinin tamamı bir sistem içerisinde entegre olabilmektedir. UMTS için frekans bant aralığı 1920-2170 MHz (1920-1980 MHz uplink, 2110-2170 MHz downlink) aralığındadır.

2.1.2. Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network, WLAN)

IEEE 802.11 standardı ile belirlenmiş olan, kablosuz yerel alan ağı (Wireless Local Area Network, WLAN), 30–300 metre aralığındaki mesafelerde yerel alan ağı kurarak iki yönlü olarak kablosuz iletişim sağlayan bir teknolojidir [177]. Dünya çapında yaygın olarak kullanılan WLAN, ağ yapılarına basitçe uygulanabilme, kablosuz iletişim kurma özelliği ve yüksek veri aktarım hızı gibi avantajlara sahiptir. Bundan dolayı WLAN, güncel hayatın her alnına girmiş olan kişisel, dizüstü, tablet bilgisayarlar ile çevre birimleri, akıllı cep telefonları, el terminalleri ve bu gibi veri iletişimine ihtiyaç duyan cihazların vazgeçilmez bir iletişim teknolojisi haline gelmiştir. 3G'ye göre daha yüksek hıza sahip olan WLAN, çok daha bir servis kalitesi sağlamaktadır.

1990 yılında Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) tarafından WLAN teknolojisinin standartlarını belirleyen IEEE 802.11 standardının çalışmalarına başlandı ve ilk sürümünü 1997 yılında yayınladı. Tablo 2.1'de WLAN standardının protokolleri ve frekans bantları verilmiştir. 2.4 GHz frekans bandını kullanan standardın ilk sürümü, maksimum olarak 2 Mbps hızında haberleşmeyi desteklemektedir. 1999 yılının ekim ayında, 802.11a ile 5GHz frekans bandını kullanan maksimum 54 Mbps haberleşme hızına sahip ve 802.11b ile 2.4 GHz frekans bandını kullanan ve 11 Mbps iletişim hızına sahip standartları geliştirmiştir. 2003 yılının haziran ayında 802.11g ile geliştirmeler yapılarak 2.4 GHz frekans bandında standardın 54 Mbps'e kadar olan hızları desteklenmesi sağlanmıştır. En son düzenleme 2009 yılında gerçekleştirilmiş ve 802.11n standardı ile hem 2.4 GHz hem de 5 GHz frekans bantlarında çok daha geniş alanlara yayın yapabilecek şekilde 500 Mbps'e kadar olan hızlarda kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Tablo 2.1. WLAN standardının çalışma frekans [177].

Standart	Protokol	Çalışma Frekansı (GHz)	Frekans Aralığı (GHz)
WLAN IEEE 802.11	–	2.40	2.40–2.50
	<i>a</i>	5.00	5.00–6.00
	<i>b</i>	3.70	3.65–3.70
	<i>g</i>	2.40	2.40–2.50
	<i>n</i>	2.40/5.00	2.40–2.50 5.725–5.875
	<i>ac</i>	5.0	5.17–5.71
	<i>ad</i>	2.40 / 5.00 / 60.00	

2.1.3. Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)

Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX), WLAN teknolojisine göre çok daha geniş alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış, IEEE 802.16 standartları ile belirlenmiş, sabit ve gezgin kullanıcılar için daha geniş banda sahip gerçek zamanlı veya gerçek zamanlı olmayan haberleşmeleri destekleyen bir teknolojidir. WiMAX teknolojisi, 10–50 km çapına sahip geniş bir alanda ve 40–70 Mbps gibi yüksek bir hızla geniş bir bantta iletişim imkânı sağlamaktadır.

Kentsel alanda kullanılmak üzere, 1999 yılında IEEE tarafından, 10–60 GHz frekans aralığını kullanan ve fiber optik haberleşmenin yerine geçecek yüksek hızlı kablosuz iletişim için IEEE 802.16 standardı oluşturulmuştur. İlk standardın yaygınlaşmasından sonra, var olan standardın iyileştirilmesi ve geliştirilmesine için çalışmalar gerçekleştirilmiştir [178]. IEEE 802.16'nın özelliklerinin oldukça geniş bir alana yayılmış standartlar topluluğuna dönüşmesinden dolayı, tek bir standart ile ihtiyaçlarını karşılamak isteyen sanayi için birkaç probleme yol açmıştır. Sertifikalaşmak ve standart fazlalığı problemini gidermek, aynı zamanda standart tabanlı çözümleri üretmek amacı ile 2001 yılında ticari amacı olmayan bir organizasyon olarak WiMAX forum kurulmuştur. Kurulan bu forumun gerçekleştirdiği araştırmalar sonucunda ortaya konan çözümler ve cihaz üreticilerin birlikte yürüttükleri çalışmalar sayesinde 2.5 GHz, 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekans bantları farklı ülkeler tarafından lisanslanarak kullanılmaktadır [178]. 2.5 GHz frekansı Sri Lanka, Peru, Libya, Filipinler, Lübnan, Amerika, Yunanistan ve Rusya; 3.5 GHz frekansı Rusya, Mısır, Kanada, Amerika, Peru, Şili ve İzlanda; 5.8 GHz frekansı İtalya, Rusya ve Gürcistan gibi ülkeler tarafından lisanslanmıştır [179]. Tablo 2.2'de farklı devletlerde kullanılan WiMAX standardının çalışma frekans bantları verilmiştir.

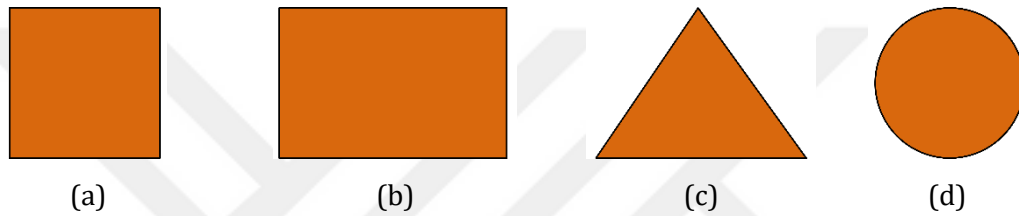
Tablo 2.2. WiMAX standardının çalışma frekans bantları [180].

Standart	Protokol	Çalışma Frekansı (GHz)	Frekans Aralığı (GHz)
WiMAX IEEE 802.16	<i>a, d (sabit)</i>	3.70	3.40–3.80
		5.80	5.725–5.850
	<i>e (gezgin)</i>	2.30	2.30–2.40
		2.50	2.50–2.69
		3.30	3.30–3.40
		3.50	3.40–3.60
		3.70	3.40–3.80

2.2. Geleneksel Mikroşerit Antenler ve Temel Anten Parametreleri

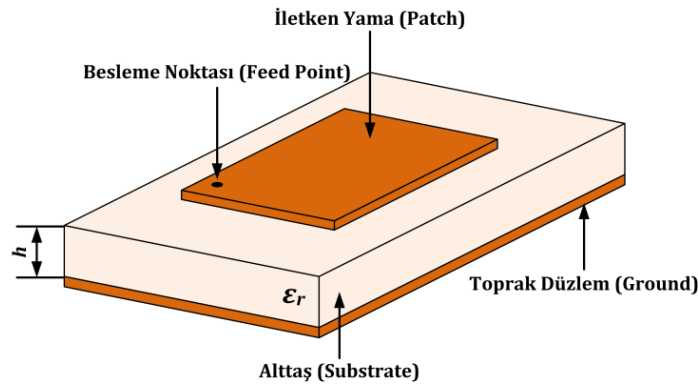
2.2.1 Geleneksel Mikroşerit Antenler

Günümüzde geleneksel mikroşerit antenler (MA), hava ve uzay araçları, uydu haberleşmesi, radarlar, savunma sanayisinde birçok güdümlü füze ve mermilerde kolaylıkla kullanılır bir yapıya sahip olması bununla birlikte baskı devre teknolojisi sayesinde üretim kolaylığı ile anten tasarımları içerisinde büyük bir önem arz etmektedir. Geleneksel MA'lar ile ilgili literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda çoğunlukla, kare, dikdörtgen, üçgen ve daire gibi düzgün geometriye sahip tasarımlara yoğunlaşılmıştır [13, 14, 181, 182]. Bu geometriler şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Geleneksel mikroşerit antenlerin geometri yapıları: a) Kare, b) Dikdörtgen, c) Üçgen, d) Daire

MA'lar genel olarak iletken yama, toprak düzlemi, yalıtkan alttaş ve besleme kısmı olmak üzere 4 bölümden meydana gelmektedir. Üretilen ve kullanılan MA'ların temel yapısı, Şekil 2.2'de görüldüğü üzere h yüksekliğindeki ϵ_r dielektrik sabitine sahip bir yalıtkan alttaş malzemenin alt ve üst kısımları altın, bakır gibi iyi iletken özelliğe sahip metallerle kaplanmış toprak düzlemi ve ışıma yapan yama kısımlarından oluşmaktadır [13].



Şekil 2.2. Mikroşerit antenin temel yapısı

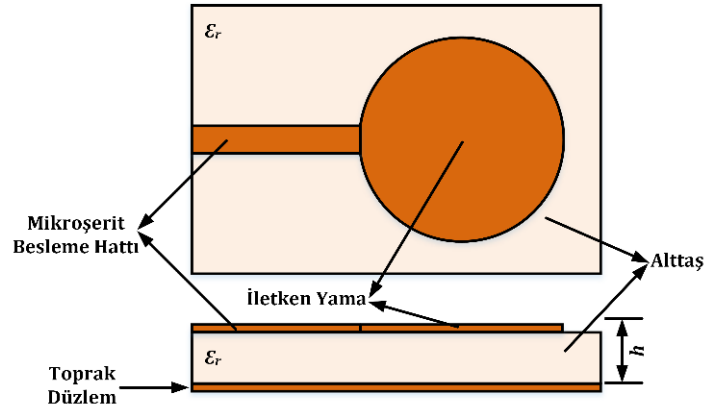
Geleneksel mikrodalga antenleri ile MA'lar karşılaştırıldığında, çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Temel avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Konformal yapılara imkân tanırırlar.
- Düşük üretim maliyetine sahiptirler.
- Düşük ağırlığa sahiptirler.
- Lineer polarizasyona ve dairesel polarizasyona uygundur.
- Kişisel gezgin iletişim cihazları ile kompakt olarak üretilebilirler.
- Çiftli frekans uygulamalarına ve üçlü frekans uygulamalarına izin vermektedirler.
- Aynı alttaş üzerinde diğer MIC'lerle (Microwave Integrated Circuit) beraber tümleşik olarak üretilebilirler.
- Yarım dalga boyunda ya da daha azında ayrılabilen geniş dizi oluşturmada kolaylık sağlarlar.

Bunula birlikte yukarıda bahsedildiği gibi MA'ların geleneksel mikrodalga antenlere göre dezavantajları da bulunmaktadır. Temel olarak bu dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- Düşük kazanç ve düşük verime sahiptirler.
- MA'ların çoğu yarı düzlem içinde ışıma yaparlar.
- Dar bant genişliğine sahiptirler.
- Besleme ve ışıma elemanı arasındaki yalıtım zayıftır.
- Yaklaşık 30 dB olan en üst kazanç seviyesinin pratik anlamda elde edilmesinde güçlükler yaşanır.

MA'ların frekansları ile boyutları arasında matematiksel olarak ters orantılı bir ifade mevcuttur. Bundan dolayı, bu antenlerin küçük frekanslı mikrodalga sistem uygulamalarında kullanımı, mikroşerit yama boyutlarının gereksinimlerinden dolayı uygun değildir. Bununla birlikte, çoğu pratik tasarımlar için, MA'ların sahip oldukları avantajlar, dezavantajlarına göre çok daha fazladır. Ayrıca, araştırma ve geliştirme süreçlerinin etkili bir şekilde devam etmesi MA'ların mikrodalga sistemlerinde kullanım alanlarını arttırabilir ve yakın gelecekte çoğu uygulamalar için geleneksel antenlerin yerini alması beklenebilir [11]. Şekil 2.3'de, MA besleme yöntemlerinden; mikroşerit hat besleme yöntemi gösterilmiştir. MA'nın aynı alttaş üzerinde mikroşerit hat kullanılarak beslenmesi, anten yamasının mikroşerit besleme hattının bir uzantısı gibi görülmesinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunula birlikte, bu besleme yöntemi kullanıldığında, anten ve besleme aynı anda üretilebilmektedir.

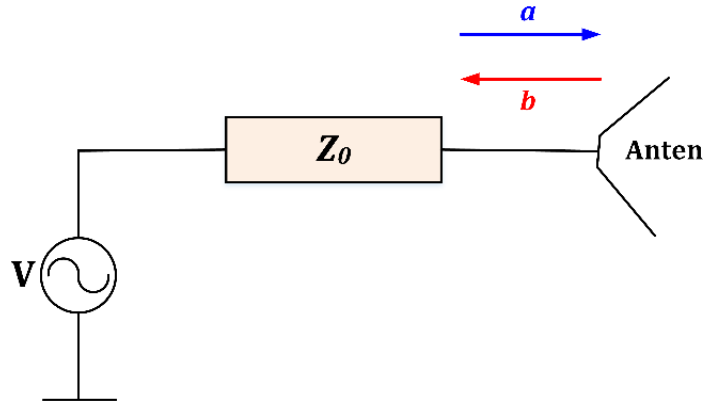


Şekil 2.3. Mikroşerit hat besleme

2.2.2. Temel Anten Parametreleri

2.2.2.1. Geri Dönüş Kaybı (S_{11} Parametresi)

Geri dönüş kaybı (S_{11} parametresi, Return Loss), empedans uyumu ile ilişkilidir ve ısıma performansı ile empedans uyumunu gösteren en önemli parametrelerinden biridir. Şekil 2.4'de tek elemanlı bir yapıda a antenin portuna verilen sinyali, b ise antenin girişinden dönen (yansıyan) sinyali ifade etmektedir. S_{11} parametresinin, anten elemanına verilen ve geriye dönen sinyale göre ifadesi Eşitlik (2.1)'deki gibidir.



Şekil 2.4. Tek antenli bir sistemin genel yapısı

$$S_{11} = \frac{b}{a} \quad (2.1)$$

Gücün transferinin maksimum düzeyde yapılabilmesi için (b/a) oranının düşük olması gerekmektedir. İdeal bir antende, antenin girişlerinden geri dönen sinyaller istenmez. Diğer bir deyişle antene giren bütün gücün ışıyarak yayılması istenmektedir. S_{11} parametresi genellikle dB olarak ifade edilmektedir ve Eşitlik (2.2)'de verilen ifade kullanılarak hesaplanır.

$$|S_{xy}|_{dB} = 20 \log_{10} |s_{xy}| \quad (2.2)$$

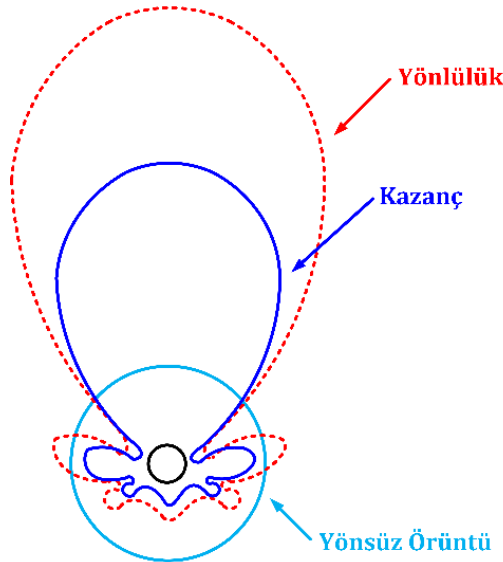
Yukarıda verilen ifadede; x ve y sembolleri S-parametrelerinin indislerini ifade etmektedir. Anten tasarım uygulamalarında, S-parametre değerinin düşürülmesine çalışılmaktadır. Girişine verilen bir sinyalin %90'ını ışıyan bir antenin geri dönüş kaybı (S_{11}), -10 dB olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle anten tasarım süreçlerinde oluşacak anten yansıma kaybı değeri -10 dB'in altında olacak şekilde gerçekleştirilmektedir.

2.2.2.2. Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüsü, bir antenin ışıma kabiliyetinin uzaysal koordinatlara bağlı fonksiyonunun grafiksel gösterimidir. Genellikle, ışıma örüntüsü uzak alan için ve yönlü koordinatlara bağlı fonksiyonun gösterimi olarak belirlenir. Işıma kabiliyeti, güç akış yoğunluğu, ışıma yoğunluğu, alan gücü, yönlülük ve faz veya kutuplaşmayı içermektedir. Işıma kabiliyeti çoğu zaman iki boyutlu (2B) veya üç boyutlu (3B) olarak gösterilir [183].

2.2.2.3. Yönlülük ve Kazanç

Bir antenin yönlülük parametresi, Eşitlik (2.3)'de ifade edildiği gibi azami ışıma şiddetinin yönsüz (İzotropik) antenin sahip olduğu ışıma şiddetine oranı olarak hesaplanmaktadır. Yönlülük ve kazanç arasındaki ilişki Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Yönsüz antene ait ışıma şiddeti, ışıyan gücün 4π 'ye bölünmesi işlemi ile elde edilir. Yönlülüğün değeri her zaman 1'den büyüktür. Eşitlik (2.4)'te verilen bir antene ait kazanç ifadesi, verimlilik ile yönlülüğün çarpımı ile elde edilmektedir [183].



Şekil 2.5. Bir antenin ışıma örüntüsü

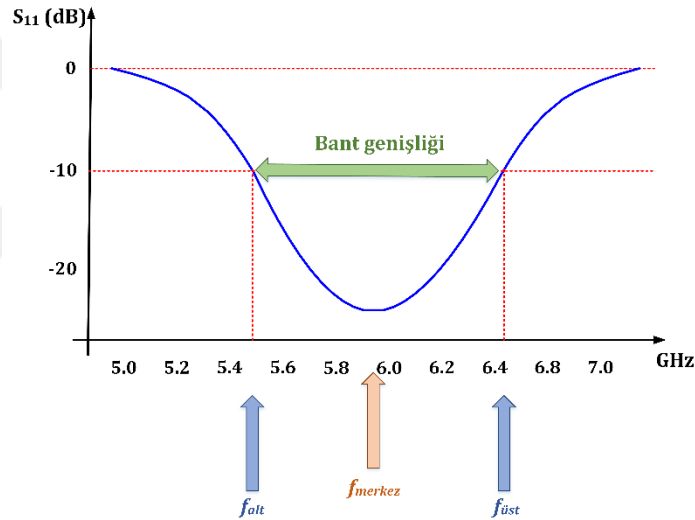
$$Yönlülük (D) = \frac{U_{\max}}{U_{\text{izotropik}}} \quad (2.3)$$

$$Kazanç (G) = e \cdot D \quad (2.4)$$

Yukarıda verilen kazanç ifadesinde e , antenin verimini ve D ise antenin yönlülüğünü sembolize etmektedir. Verim değer olarak 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bundan dolayı kazanç değeri en fazla yönlülüğün değerine eşit olabilmektedir.

2.2.2.4. Empedans Bant Genişliği

Empedans bant genişliği, antene ait S-parametrelerinin frekansa ait eğrileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bir başka deyişle, S-parametrelerinde anten performansının en iyi olduğu alt ve üst frekanslar arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.6'da bir antenin S_{11} grafiği verilmiştir. Buna göre, antenin ışıma performansının -10 dB değerine düştüğü ilk frekans değeri ile (f_{alt}), yine -10 dB değerinin üzerine çıktığı son frekans ($f_{üst}$) değeri arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Empedans bant genişliği (Bandwidth, BW) ve yüzdelik bant genişliğine ait matematiksel ifadeler sırasıyla Eşitlik (2.5) ve (2.6)'da verilmiştir. Genel olarak yüzdelik bant genişliği değeri %20'nin üzerinde olan antenler geniş bantlı antenler olarak ifade edilir.



Şekil 2.6. Bir antenin S_{11} parametresi ve empedans bant genişliği gösterimi

$$BW = f_{üst} - f_{alt} \quad (2.5)$$

$$BW(\%) = 100 \times \left(\frac{f_{üst} - f_{alt}}{f_{merkez}} \right) \quad (2.6)$$

2.2.2.5. Verim

Anten ışıma verimi, bir antenin elektromanyetik dalgaya dönüştürdüğü gücün, antene giren güce oranı olarak tanımlanmaktadır. Anten ışıma verimi, Eşitlik (2.7)'de verilen ifade kullanılarak hesaplanmaktadır. Antenin verimini, dielektrik kaybı, iletim kaybı, yansıma kaybı, polarizasyon kaybı ve herhangi bir yükte dağılan güç gibi faktörler etkilemektedir.

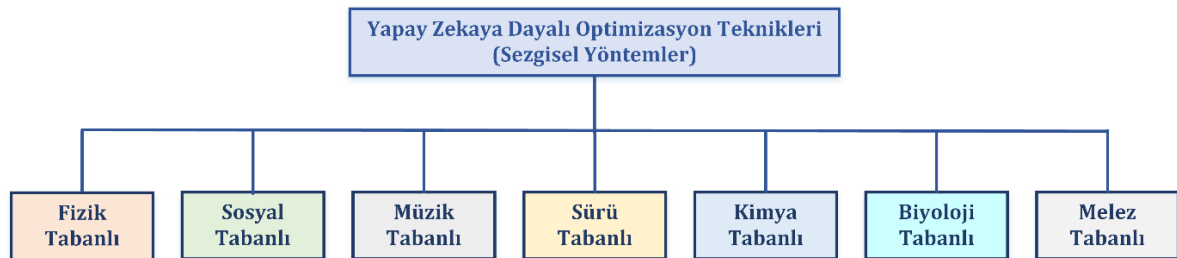
$$Verim(e) = \frac{P_{ışyan}}{P_{giren}} \quad (2.7)$$

2.3. Optimizasyon ve Yapay Zekâya Dayalı Optimizasyon Algoritmaları

2.3.1. Optimizasyon Kavramı

Son yıllarda, bilgisayar sistemlerinin ve yazılım teknolojilerinin hızla gelişmesi ile birçok alanda ortaya konan problemlerin çözümüne yönelik yöntem, algoritmalar ve optimizasyon teorileri geliştirilmiştir. Geliştirilen birçok optimizasyon yöntemi, birçok alanda çözümü zor olarak kabul gören problemlerin çözülmesine yardımcı olmuştur [184]. Optimizasyon, aslında doğa ve doğada yaşayan birçok canlının gündelik hayat akışı içinde sürekli uyguladıkları bir kavram olmakla birlikte, fiziksel sistemlerin analizinde ve karar biliminde yaygın olarak kullanılan önemli bir yöntemdir [185]. En iyileme olarak da adlandırılan optimizasyon, matematiksel olarak ifade edilmiş problemlerin “En İyi” ya da “Optimum Çözüm” olarak da adlandırılan çözümleri bulmaya çalışan bir bilim dalıdır [186]. Diğer bir deyişle, bir sistemin girdilerinin minimum ya da maksimum çıktı veya çıktıları bulmak için kullanılan matematiksel bir işlem olarak tanımlanmaktadır [187].

Sezgisel optimizasyon yöntemleri olarak da adlandırılan yapay zekaya dayalı optimizasyon algoritmaları, herhangi bir hedefe ulaşmak veya bir amacı gerçekleştirmek için doğal olaylardan esinlenerek geliştirilmiş etkili metotlardır. Yakınsama özelliğine sahip olan bu algoritmaların problemlerin çözümüne nasıl yakınsama yaptıkları ispat edilememektedir. Bunun yanında, kesin çözümü garanti edememekle birlikte kesin çözümün yakınların en uygun olan bir çözümü elde edebilmektedirler. Anlaşılabilirlik yönünden değerlendirildiğinde yapay zekaya dayalı optimizasyon algoritmaları çok daha basittir. Buna ek olarak, öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilirliğinden dolayı sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır [188]. Geliştirilen yapay zekaya dayalı optimizasyon yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, müzik tabanlı, kimya tabanlı, sosyal tabanlı ve sürü tabanlı olmak üzere altı farklı grupta toplanabilir. Ayrıca bu algoritmalarından iki veya daha fazlasının bir araya getirilmesi ile melez optimizasyon yöntemleri de geliştirilmiştir [189].



Şekil 2.7. Yapay zekâya dayalı optimizasyon yöntemleri

Son yıllarda, çeşitli alanlarda mevcut olan karmaşık optmizasyon problemlerinin en uygun çözümlerini elde etmek amacıyla, gelişim algoritmalarını ve sürü zekasını içeren popülasyon tabanlı bir çok yapay zekaya dayalı optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. GA [159], FG algoritması [113], KK optimizasyon algoritması [160], PSO algoritması [78], AB algoritması [161], yarasa algoritması [162], ve YAK algoritması [54, 55], geliştirilen yapay zekaya dayalı optimizasyon algoritmalarından bazılarıdır. Basit bir yapıya ve güçlü arama kabiliyetine sahip olan FG algoritması, Price ve Storn tarafından geliştirilmiştir. Mühendislik ve bilim alanında mevcut olan karmaşık ve çok-modlu özelliğe sahip birçok optimizasyon problemine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. FG ile ilgili güncel çalışmalar, FG algoritmasının performansının optimizasyon test fonksiyonları üzerinde yakınsama hızı ve sağlamlık özellikleri açısından çoğu optimizasyon algoritmalarına göre daha iyi olduğunu göstermiştir [190]. Sayısal optimizasyon promlemlerinin çözümü için Karaboğa tarafından geliştirilen ve sürü zekasına dayalı olan YAK algoritması, bal arılarının nektar arama davranışlarından esinlenilmiştir. Kısıtsız sayısal optimizasyon problemlerine başarılı bir şekilde uygulanmış ve deneyler YAK algoritmasının FG ve PSO algoritmalarına göre çok daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermiştir [54, 55].

YZO algoritmalarının keşif ve sömürü özellikleri arasındaki denge, bu algoritmaların arama performansları için çok önemli bir faktördür. Bu iki yetenek arasındaki dengenin zayıf olması, zor optimizasyon problemleri için ulaşılan çözümlerin yeterli olmamasına neden olacaktır. Standart YAK algoritmasının keşif özelliği çok iyidir ve genellikle, farklı alanlarda çoğu optimizasyon problemi için en iyi sonuçları elde etmiştir. Diğer yandan, bazı optimizasyon problemleri için YAK algoritmasının sömürü özelliği yetersiz kalabilmektedir. Bundan dolayı, bazı araştırmacılar farklı teknikler uygulayarak standart YAK algoritmasının performansını geliştirmişlerdir. YAK algoritmasının performansının geliştirilmesi amacı ile ilgili paralelleştirme tekniğine dayalı bir çok yöntem önerilmiştir [191–195]. Buna ek olarak, gelişim hesaplamaları üzerrine dayalı farklı metotların konseptleri entegre edilerek YAK algoritmasının performansı iyileştirilmiştir [196–207]. Kaynak [196]’da, çözüm uzayı içerisinde PSO’da olduğu gibi genel en iyi çözüm yerleştirilerek, gbest–kılavuzlu YAK olarak adlandırılan bir geliştirilmiş YAK algoritması önerilmiştir. Tuba ve arkadaşları tarafından, kendi kendine rehber uyarlama ile YAK optimizasyonunu entegre ederek yeni bir YAK versiyonu geliştirilmiştir [198]. Diğer bir çalışmada, ivme katsayıları ve atalet ağırlıkları kullanılarak YAK algoritmasının performansı attırılmıştır [199]. İzci arı davranışları modifiye edilerek geliştirilmiş YAK algoritmasının yeni bir versiyonu Bi ve Wang tarafından sunulmuştur [201]. Bir diğer mofdifiye edilmiş YAK versiyonunda ise, YAK algoritmasının sömürü özelliğini geliştirmek amacı ile bir modifiye edilmiş arama stratejisi kullanılarak olası çözümler olarakta adlandırılan yeni yiyecek kaynakları üretilmiştir [205].

Daha iyi arama performansına sahip çok daha güçlü optimizasyon yöntemleri elde etmek amacı ile, standart olarak adlandırılan optimizasyon algoritmaları veya gelişim hesaplama teknikleri, YAK algoritmasına entegre edilmiştir. Kaynak [208]'de, Kang ve arkadaşları tarafından bir melez simpleks YAK algoritması önerilmiştir. Diğer bir çalışmada, aç gözlü rastgele uygulanabilir prosedür ve YAK algoritmasına dayalı bir melez optimizasyon algoritması kullanılarak, k kümesi içinde n tane nesnesini kümelendirme işlemi gerçekleştirilmiştir [209]. Xiao ve arkadaşları, yapay bağışıklık ağı algoritması kullanarak farklı bir melez YAK algoritması geliştirmiştir [210]. Başka bir çalışmada, melez farksal YAK algoritması olarak adlandırılan, YAK ve FG algoritmalarının bir melezi önerilmiştir [211]. Sayısal optimizasyon problemlerinin çözümü için Hooke Jeeves şekil aramasını içeren başka bir melez optimizasyon tekniği önerilmiştir [212]. Kaynak [213]'de, algoritmanın yakınsama hızını artırmak için, Worasucheeep tarafından YAK'ın içerisine FG'nin güçlü mutasyon stratejilerini entegre etmek suretiyle YAK ile FG'nin melez bir algoritması önerilmiştir.

Son zamanlarda YAK algoritmasının farklı versiyonları geliştirilmiştir. Zhao ve arkadaşları, birkaç tane öğrenme boyutlarını benimseyerek ve özel merkez stratejilerini oluşturarak özel merkeze dayalı YAK algoritması olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım sunmuşlardır [215]. Ayrıca, yine Zhao ve arkadaşları, YAK algoritmasının performansını arttırmak amacı ile karışıklık temelli YAK olarak adlandırılan yeni bir metot sunmuşlardır [216]. Bunların yanı sıra, kanlosuz sensör ağlarının topoloji optimizasyonuna uygulamak için Dao ve arkadaşları tarafından kompakt bir YAK optimizasyon tekniği önerilmiştir [217]. Diğer bir çalışmada ise, YAK algoritması ile yapay sinir ağlarının bir kombinasyonu kullanılarak Miduk bakır madeni içerisindeki patlamaların ürettiği yer titreşimlerinin tahmini için melez bir yöntem sunulmuştur [218]. Cheng ve arkadaşları, kuş ve bal arı sürülerinin belirli zekasal davranışlarını taklit eden ve onların avantajlarını entegre eden parçacık arı algoritması olarak da adlandırılan melez bir optimizasyon sürü algoritması geliştirilmiştir [219].

2.3.2. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması

Yeryüzünde var olan canlılara ait zeki davranışları kapsayan süreçlerin araştırılması, optimizasyon alanında birçok yeni yöntemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Birçok alanda yaygın olarak kullanılan ve optimizasyon yöntemleri arasında önemli yere sahip olan YAK algoritması da, bal arısı sürülerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş etkili olan yapay zeka optimizasyon tekniklerinden biridir [54, 55]. Karaboğa tarafından geliştirilmiş olan YAK algoritması temel olarak benimsediği modelde arama işlemini kabul edilen bazı kurallar ile gerçekleştirmektedir. YAK algoritmasındaki arı kolonisi, görevli, gözcü ve kaşif arı olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Her bir yiyecek kaynağının nektarı görevlendirilen sadece tek bir görevli veya gözcü arı tarafından alınmaktadır. Yani görevlendirilen arı sayısı nektar kaynağı

sayısına eşit olmaktadır. Aynı zamanda, gözcü arı sayısı görevli arı sayısına eşittir ve nektarı tükenmiş olan her hangi bir yiyecek kaynağına atanmış olan arı yeni bir yiyecek kaynağı bulmak amacı ile kaşif arıya dönüşmektedir. Çözüm uzayı içerisinde belirlenen yiyecek kaynaklarının konumları optimizasyon problemine ait olan olası çözümleri temsil etmektedir. Bu yiyecek kaynaklarının nektar miktarları ise çözümün kalitesini (*Uygunluk*) belirlemektedir. Dolayısıyla, YAK algoritması, çözüm uzayı içerisinde nektar miktarı en çok olan yiyecek kaynaklarına yönelerek optimizasyon problemine ait amaç edilen en uygun maksimum yada minimum değeri veren noktayı (*Çözümü*) bulmaya çalışmaktadır.

2.3.2.1 Başlangıç Yiyecek Kaynaklarına ait Bölgelerin Üretilmesi

YAK algoritması, kovan çevresinde yer alan arama uzayındaki olası çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynaklarını üreterek arama işlemine başlamaktadır. YAK algoritmasında rastgele yiyecek kaynağının pozisyonunu üretme süreci her bir parametrenin alt ve üst sınır değerleri arasında rastgele değer üretilerek gerçekleştirilmektedir. Bu sürece ait matematiksel ifade Eşitlik (2.8)'de gösterilmiştir.

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0,1)(x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (2.8)$$

Burada, $i = 1 \dots SN$, $j = 1 \dots D$ ve SN yiyecek kaynağı sayısını D ise optimize edilecek olan parametre sayısını temsil etmektedir. Ayrıca, $x_j^{\min}$, j . parametrenin alt sınırını, $x_j^{\max}$, j . parametrenin üst sınırını ifade etmektedir. Algoritmada başlangıç aşamasından sonra, her bir yiyecek kaynağına görevli ve gözcü arı görevlendirmeleri yapılarak daha iyi bir yiyecek kaynağı bulmak için arama süreçlerine geçilir. YAK algoritması için durdurma kriteri olarak maksimum çevrim sayısı (MCN) ya da kabul edilebilir hata (ϵ) değeri kullanılabılır.

2.3.2.2 Görevli Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Yönlendirilmesi

Daha önce belirtildiği üzere her bir yiyecek kaynağının nektarı o kaynak için görevlendirilen tek bir görevli veya gözcü arı tarafından toplanmaktadır. Bundan dolayı yiyecek kaynaklarının sayısı görevlendirilen arıların sayısına eşittir. görevli arı atandığı yiyecek kaynağının komşuluğunda yeni bir yiyecek kaynağı belirleyerek bu kaynağın nektar kalitesini değerlendirir. Tespit ettiği yeni kaynağın nektar kalitesi iyi ise yeni yiyecek kaynağını hafızasına alır. Yeni kaynağın var olan komşuluk kaynağında belirlenmesine ait benzetim ifadesi Eşitlik (2.9)'da verilmiştir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (2.9)$$

Burada, x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın tek bir parametresi (Rastgele seçilen parametre, j) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i yiyecek kaynağı bulunmaktadır. Eşitlik (2.9)'da verilen j parametresi, $[1, D]$ aralığında rastgele üretilen bir tamsayıdır. Rastgele seçilen x_k komşu çözümünün ($k \in \{1, 2, \dots, SN\}$) j parametresi ile mevcut kaynağın j parametresinin farkı alınarak $[-1, 1]$ arasında rastgele değer alan ϕ_{ij} sayısı ile ağırlandırılarak mevcut kaynağın j parametresine eklenir. Bu işlemler sonucunda üretilen v_{ij} daha önce belirtilen parametre sınırlarını aşması durumunda ise Eşitlik (2.10)'da verilen ifade kullanılarak j . parametreye ait olan alt ve üst sınır değerlerine ötelenmektedir.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{\min}, & v_{ij} < x_j^{\min} \\ v_{ij}, & x_j^{\min} \leq v_{ij} \leq x_j^{\max} \\ x_j^{\max}, & v_{ij} > x_j^{\max} \end{cases} \quad (2.10)$$

Sınırlar içerisinde üretilmiş olan v_i parametre vektörü yeni bir yiyecek kaynağı pozisyonu temsil etmektedir ve bu yiyecek kaynağının kalitesi hesaplanarak bir uygunluk değeri atanmaktadır. Yiyecek kaynaklarına ait uygunluk değerleri Eşitlik (2.11)'de verile ifade ile gerçekleştirilmektedir.

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i), & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Burada, f_i , yeni üretilen v_i kaynağına, diğer bir değişle yeni çözüme ait olan maliyet değeridir ve x_i ile v_i arasındaki uygunluk değerine yani nektar miktarına bakarak bir aç gözlü (*Greedy*) seçim işlemi gerçekleştirilir. Yeni bulunan v_i çözümü, eski çözüme göre daha iyi ise görevli arı eski çözüme ait konum bilgisi hafızasından silinerek yeni çözüm olan v_i çözümüne ait konum bilgisini hafızasına alır. Aksi durumda görevlendirilmiş arı eski yiyecek kaynağına olan x_i 'ye gitmeye devam eder ve geliştiremediği her denemesinde geliştirememeye sayacı ($trial_i$) bir artırır ve geliştirdiği durumlarda ise bu sayacı sıfırlanmaktadır.

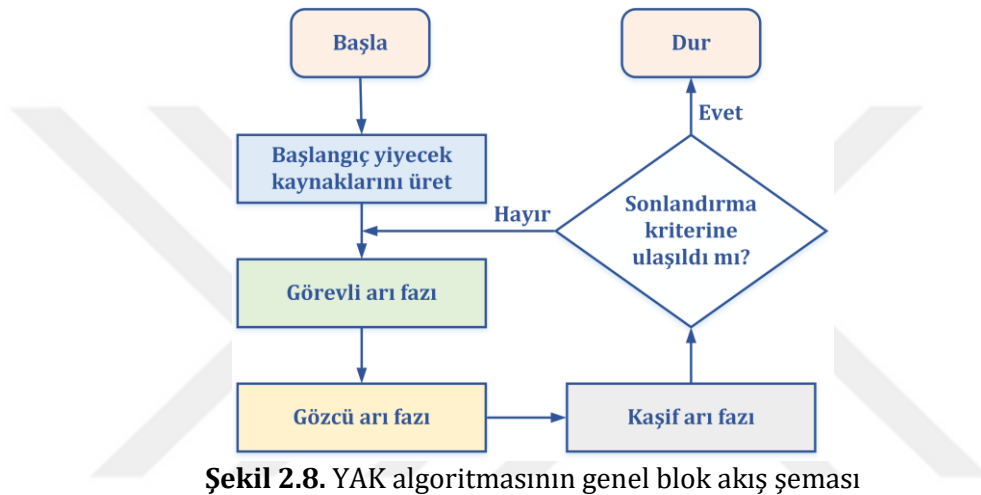
2.3.2.3. Gözcü Arılar için Olasılık Değerlerinin Hesaplanması

Tüm görevli arılar bir çevrim sonunda araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönerek buldukları yiyecek kaynaklarına ait nektar miktarları hakkında bilgi paylaşımında bulunurlar. Bir gözcü arı, görevli arının gerçekleştirdiği dans ile yiyecek kaynaklarına ait aktarılan bilgiden faydalanarak yiyecek kaynaklarının nektar miktarları ile orantılı olarak bir olasılığa göre bölge (kaynak) seçimini gerçekleştirirler. Olasılığa bağlı bölge seçim işlemi, yiyeceklerin nektar miktarına karşılık gelen uygunluk değerlerine göre gerçekleştirilmektedir. Bu işlem için birçok yöntem kullanılmaktadır. Standart YAK algoritmasında bu bölge seçim işlemi, rulet tekerleği

yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Olasılık değerlerinin hesaplanmasına ait ifade Eşitlik (2.12)'de verilmiştir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_j} \quad (2.12)$$

Burada, $fitness_i$ ile $fitness_j$ i . ve j . kaynağın kalitesini, SN ise görevlendirilmiş arıların sayısını temsil etmektedir. Bu olasılık hesabına göre, bir kaynağın nektar miktarı (uygunluk değeri arttıkça) arttıkça, bu kaynak bölgesini seçecek arıların sayısı artacaktır. YAK algoritmasına ait genel blok akış şeması Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. YAK algoritmasının genel blok akış şeması

Yukarıda genel hatları ile YAK algoritmasının fazları ve her bir faza ait olan işleyiş anlatılmıştır. Aşağıda YAK algoritmasının genel işleyişi ile ilgili sözde kodlar verilmiştir.

Başla

Adım 1: İterasyon sayacını **iter**=1 eşitle; ve $x_{i,j}$ çözümleri ile birlikte NP sayısı kadar başlangıç popülasyonunu rastgele oluştur. Başlangıç parametreleri **limit** değerini ata ve **trial** sayacını **trial**_i=0 eşitle.

Adım 2: Popülasyondaki her bir birey için amaç değerlerini f_i değerlendir ve uygunluk değerlerini ($fitness_i$) Eşitlik (2.11)'i kullanarak hesapla

Adım 3: while Durdurma kriteri sağlanmıyor ise do

// Görevli arı fazı

for $i = 1$ to NP/2

Rastgele k, j değerlerini seç ve $i \neq k$

$[-1, 1]$ değerleri aralığında rastgele $\Phi_{i,j}$ değerini seç

Eşitlik (2.9)'i kullanarak yeni v_i değerini üret.

Yeni v_i için f_{v_i} amaç fonksiyon değerini hesapla

```
Yeni  $f_{vi}$  değeri için Eşitlik (2.11)'i kullanarak  $fitness_{vi}$  uygunluk değerini hesapla
 $x_i$  ve  $v_i$  arasında açgözlü seçim sürecini uygula
Eğer çözüm geliştirilmedi ise;
 $trial_i = trial_i + 1$ , geliştirildi ise;  $trial_i = 0$ 
end for
Her bir  $x_i$  çözümü için Eşitlik (2.12)'i kullanarak  $p_i$  olasılık değerlerini hesapla
// Gözcü arı fazı
i = 1;
t = 0;
while t < NP/2
    if rand <  $p_i$ 
        t = t + 1;
        Rasgele k, j değerlerini seç ve  $i \neq k$ 
        [-1, 1] değerleri aralığında rastgele  $\Phi_{i,j}$  değerini seç
        Eşitlik (2.9)'i kullanarak yeni  $v_i$  değerini üret.
        Yeni  $v_i$  için  $f_{vi}$  amaç fonksiyon değerini hesapla
        Yeni  $f_{vi}$  değeri için Eşitlik (2.11)'i kullanarak  $fitness_{vi}$  uygunluk değerini hesapla
         $x_i$  ve  $v_i$  arasında açgözlü seçim sürecini uygula
        Eğer çözüm geliştirilmedi ise;
         $trial_i = trial_i + 1$ , geliştirildi ise;  $trial_i = 0$ 
    end if
    i = i + 1;
    if i == ((NP/2) + 1)
        i = 0;
    end if
end while
// Kaşif arı fazı
if max(trial_i) > limit
    Eşitlik (2.8)'i kullanarak rastgele yeni bir çözüm üret ve  $x_i$  çözümü ile yer değiştir.
    Yeni  $x_i$  için amaç fonksiyonunu  $f_i'$  yi hesapla
    Yeni  $f_i$  değeri için Eşitlik (2.11)'i kullanarak  $fitness_i$ 
end if
Elde edilen en iyi çözümü hafızaya kaydet
iter = iter + 1;
end while
end.
```

2.3.3. Farksal Gelişim (FG) Algoritması

1995 yılında Price ve Storn tarafından geliştirilmiş olan yapay zekâ temelli FG algoritması, işleyiş ve operatörleri açısından genetik algoritmaya benzeyen bir yapı izleyen ve sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde oldukça etkin sonuçlar üretebilen popülasyon tabanlı bir sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [113]. FG algoritmasında, genetik algortmada olduğu gibi mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak, kromozomlar tek tek değerlendirmeye alınarak, rastgele seçilen diğer üç kromozomla birlikte işlem yapılarak yeni bir birey elde edilmektedir. Yeni elde edilen bireyin uygunluk değeri, eski bireyin uygunluk değeri ile karşılaştırılarak seçme işlemi gerçekleştirilir ve bir sonraki jenerasyona aktarılır. FG algoritmasında NP popülasyon (kromozom) sayısını, D optimize edilecek olan problemin boyutunu veya gen sayısını, CR [0.1, 1.0] arasında değişen çaprazlama katsayısını, G jenerasyon sayısını ve F ise [0, 2] arasında değerler alabilen, ölçekleme katsayısını temsil etmektedir. FG algoritmasında başlangıçtaki kromozom popülasyonun üretimi için Eşitlik (2.13)'de verilen ifade kullanılmaktadır.

$$x_{j,i,G} = x_j^{lower} + rand[0,1](x_j^{upper} - x_j^{lower}) \quad (2.13)$$

Burada, $x_{j,i,G}$, G 'nin jenerasyondaki, i . kromozoma ait j . parametresini ifade etmektedir. x_j^{upper} ve x_j^{lower} ise değişkenlerin alt ve üst sınır değerlerini göstermektedir. FG algoritmasının mutasyon aşamasından birbirinden ve mutasyon işlemi görece kromozomdan farklı, rastgele olacak şekilde üç ayrı kromozom belirlenir. Seçilen kromozomlardan ilk ikisinin farkı alınır ve F ölçekleme faktörü ile çarpıldıktan sonra üçüncü kromozom ile toplanır. Mutasyon işlemi ile ilgili ifade Eşitlik (2.14)'de verilmiştir.

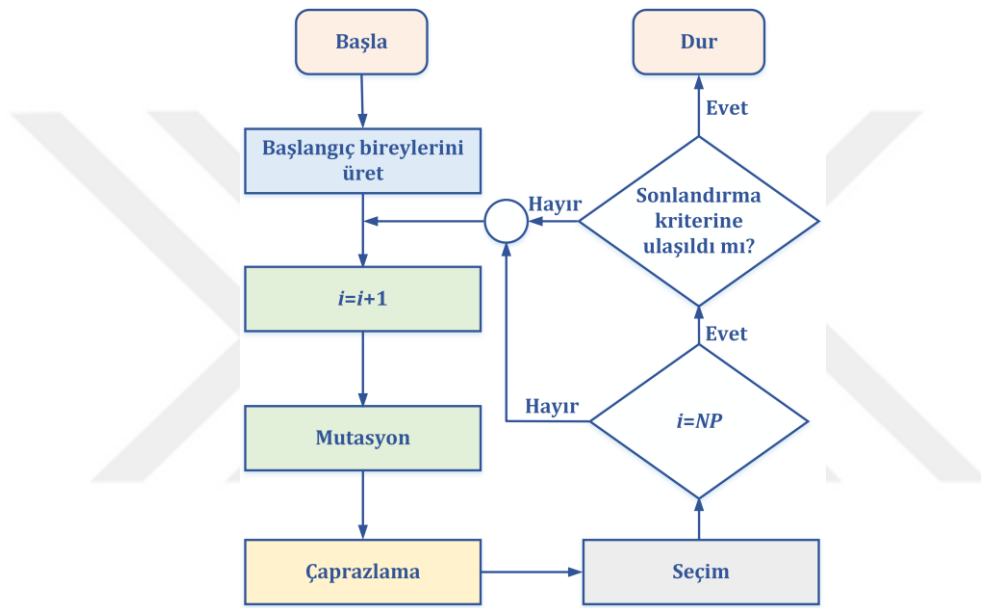
$$x_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (2.14)$$

Verilen ifadede, $x_{j,i,G+1}$ mutasyon işlemine tabi tutulmuş ara kromozomu, r_1 , r_2 , ve r_3 yeni kromozomun üretilmesi sürecinde kullanılacak olan rastgele seçilen kromozomların indisini, göstermektedir. Ayrıca, r_1, r_2 , ve $r_3 \in \{1, 2, 3, \dots, NP\}$ ve $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ şeklinde olmaktadır. Mutasyon işleminden elde edilen fark kromozomu ile $x_{i,G}$ kromozomu arasında belirlenen olasılığa göre çaprazlama işlemi gerçekleştirilmektedir. FG algoritmasında binom ve üstel çaprazlama olmak üzere iki farklı çaprazlama işlemi kullanılmaktadır. Aşağıda binom ve üstel çaprazlamalara ait ifadeler sırasıyla Eşitlik (2.15) ve (2.16)'da verilmiştir.

$$x_{j,u,G+1} = \begin{cases} x_{j,i,G+1}, & \text{eger } (rand[0,1] \leq CR) \text{ veya } (j = j_{rand}) \\ x_{j,i,G}, & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned}
& x_{j,u,G+1} = x_{j,i,G+1} \quad \text{for } j = \langle n \rangle_D, \langle n+1 \rangle_D, \dots, \langle n+L-1 \rangle_D \\
& x_{j,i,G} \quad \text{diger bütün } j \in [1, D] \\
& L = 0; DO \\
& \{ \\
& L = L + 1; \\
& \} WHILE((rand(0,1) \leq Cr) AND (L \leq D))
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Çaprazlama işleminden sonra kromozomların uygunluk değerleri karşılaştırılır ve uygunluk değeri yüksek olan kromozom yeni nesile aktarılır. FG algoritmasına ait genel blok akış şeması Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.9. FG algoritmasının genel blok akış şeması

Yukarıda genel hatları ile FG algoritmasının adımları ve her bir adıma ait olan işleyiş anlatılmıştır. Aşağıda FG algoritmasının genel işleyişi ile ilgili sözde kodlar verilmiştir.

Başla

Adım 1: İterasyon sayacını $G=0$ olarak ayarla; X_i çözümleri ile rastgele bir NP eleman sayısı popülasyonu oluştur. Ölçekleme faktörü F ve çaprazlama oranı CR değerlerini ata.

Adım 2: Popülasyonda mevcut olan her bir X_i bireyi için f_i amaç fonksiyon değerlerini hesapla

Adım 3: while Durdurma kriteri sağlanmıyor ise do

Adım 3.1: Mutasyon adımı

for $i = 1$ to NP

Popülasyondan rastgele birey seçimi $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$

Eşitlik (2.14)'ü kullanarak ara kromozomu üret

end for

Adım 3.2: Çaprazlama adımı (Üstel çaprazlama)

for $i = 1$ **to** NP

Eşitlik (2.16)'yı kullanarak çaprazlama işlemini gerçekleştir

end for

Adım 3.3: Seçim adımı

for $i = 1$ **to** NP

if $f(U_{i,G} \leq X_{i,G})$ **then**

$X_{i,G+1} = U_{i,G}$

$f(X_{i,G+1}) = f(U_{i,G})$

if $f(U_{i,G} < X_{best,G})$ **then**

$X_{best,G} = U_{i,G}$

$f(X_{i,G+1}) = f(U_{i,G})$

end if

end if

end for

$G = G + 1$

end while

* Akut köşeli parantezler $\langle \rangle_D$ D modülleri ile modüle işlemini belirtmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, yapay zekâ optimizasyon tekniklerinden yaygın olarak kullanılan YAK ve FG algoritmaları birleştirilerek, yeni ve etkili bir melez optimizasyon algoritması geliştirilmiş ve MATLAB®’de geliştirilen bir program ara yüzü ile melez optimizasyon algoritması, HyperLynx® 3B elektro manyetik platformu birbirine entegre edilerek bir tasarım yöntemi oluşturulmuştur. UMTS, WLAN, WiMAX teknolojileri ve UWB uygulamaları için gerçekleştirilen mikroşerit antenlerin tasarımları ile dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerin bant genişliğinin arttırmasına yönelik çalışmalar bu tasarım yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Tez kapsamında tasarlanan mikroşerit antenlerin prototipleri, her iki tarafı bakır olan PCB (printed circuit board) kartı üzerine LPKF-ProtoMat E33 CNC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anten prototiplerinin S-parametreleri ölçümleri, Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör kullanılarak elde edilmiştir.

3.1. PCB Materyal

Tez çalışmasında, tasarlanan mikroşerit antenlerin prototipleri, çift yüzlü bakır FR4 PCB materyali üzerine basılmıştır. Materyale ait temsili görüntüsü Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen tasarım çalışmalarında FR4’ün dielektrik sabiti 4.4 ve tanjant kaybı ise 0.02 olarak alınmıştır. FR4 materyalinin yoğun kullanılmasından dolayı kolay temin edilebilmesi en önemli avantajlarından bir tanesidir. Bununla birlikte tanjant kaybı nispeten yüksektir. Aynı elektriksel özelliklere sahip daha düşük tanjant kayıplı materyallerle gerçekleştirilecek olan tasarımlarda, daha yüksek kazançlı antenler elde edilebilir.



Şekil 3.1. Çift yüzlü bakır FR4 PCB materyalinin temsili görüntüsü

3.2. PCB CNC Makinesi

PCB CNC makinesi, anten ve devre kartlarının üretilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Tez kapsamında, tasarımı gerçekleştirilen mikroşerit antenlerin prototipleri LPKF-ProtoMat E33 CNC makinesi kullanılarak üretilmiştir. CNC makinesine ait görüntü Şekil 3.2’de verilmiştir. Makine bir taban düzlemine oturtulmuş, x/y hareket sistemi üzerinde bir çizici başlıktan meydana gelmektedir. CNC makinesi üzerindeki çizici başlık, x/y hareket sistemi ile her iki ekseninde hareket edebilmekte ve böylece gerçekleştirilmek istenen tasarımda düzlemsel oyuklar ve delikler açılabilir. Makine bu işlemleri 0.8 mikrometre çözünürlük hassasiyeti ile yapmaktadır. Bu, tasarlanan yapıyı birebir gerçekleştirme imkânı sunmaktadır. Oyma ve delme işleminde ortaya çıkan partiküller, sisteme entegre edilmiş bir vakum sayesinde çekilmektedir. Cihazın detaylı teknik bilgileri aşağıda verilmiştir.

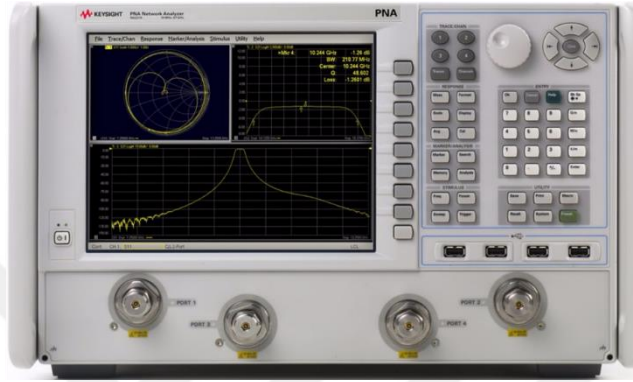
Minimum iz genişliği	: 0.1 mm
Minimum delik çapı	: 0.2 mm
Maksimum Materyal Boyutu	: 229 mm x 305 mm
Tekrarlama doğruluğu	: ± 0.005 mm
Makine mili	: 2-faz-Step Motor 33,000/min.
Delme kapasitesi	: azami 100 adet/dakika
Çözünürlük (minimum hareket adımı)	: 0.001 mm
Hareket hızı	: 50 mm /saniye
X/Y sürücü	: Step motorlar, doğruluk mili
Z sürücü	: 2-faz-Step Motor 10mm Z-eksen



Şekil 3.2. LPKF-ProtoMat E33 PCB CNC makinesi

3.3. Network Analizör

Tez kapsamında prototipi üretilen mikroşerit antenlerin S-parametrelerinin ölçümleri, farklı parametrelere ayarlanabilme ve geniş bir spektrumda kullanılabilme gibi özelliklerinden dolayı Şekil 3.3' te gösterilen Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. N5227A PNA mikrodalga network analizör, 4 porta sahiptir ve 67 GHz'e kadar ölçüm işlemlerinin gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.3. Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör

3.4. HyperLynx® 3B Elektromanyetik Yazılımı

Elektromanyetik benzetim programları, yüksek hızlı sayısal devreler, anten, RF baskı devre, karmaşık mikrodalga ve diğer elektronik parçaların analiz ve tasarım işlemlerinin doğru bir şekilde yapılmasını sağlayan ileri teknolojilerdir. HyperLynx® 3B programı, üç boyutlu (3B) düzlemsel mikrodalga devreler, sayısal devreler, antenler, RFIC (Radio Frequency Integrated Circuit), MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit), RFID (Radio Frequency Identification) ve yüksek hızlı tam dalga, elektromanyetik benzetimlerini ve optimizasyon işlemlerini yapabilen MoM [34] tekniğine dayalı bir paket programıdır. HyperLynx® çok yönlü, kolay kullanılabilir, etkin ve doğru bir elektromanyetik benzetim aracı olmuştur. HyperLynx® ile yakın ve uzak alan analizi, 2B ve 3B ışıma örüntüsü, 3B yüzey akım dağılımı, kazanç, yönlülük, verimlilik, gerilim duran dalga oranı ve S-parametreleri grafikleri elde edilebilmektedir.

3.5. MATLAB® (MATrix LABoratory)

1985 yılında C.B. MOLER tarafından geliştirilen MATLAB® (MATrix LABoratory), özellikle pozitif bilimde ve mühendislik hesaplamalarında, matris tabanlı matematik ortamlarında etkin olarak kullanılan bir yazılım dilidir. Yeni sürümleri, Amerika Birleşik Devletleri merkezli MathWorks firması tarafından geliştirilmeye devam edilen MATLAB®, optimizasyon, Fourier analizi, istatistik ve Lineer cebir gibi pek çok matematiksel hesaplama işlemini etkili ve hızlı

şekilde yapılmasının yanı sıra, 2B ve 3B grafik çizimlerini de etkili bir şekilde gerçekleştirmektedir.

3.6. Melez Yapay Arı Koloni Algoritması (MYAK)

Yapay zekâya dayalı optimizasyon algoritmalarında keşif ve sömürü arama yetenekleri arasında kurulan denge, yapay zekâya dayalı optimizasyon algoritmalarının arama performanslarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Optimizasyon algoritmasına ait bu iki yetenek arasında kurulan dengenin zayıf olması, zorlu optimizasyon problemlerinde elde edilen çözümlerin yeterli olmamasına neden olacaktır. Standart YAK algoritması, keşif yeteneğinin oldukça iyi olduğunu ve çoğu alandaki birçok optimizasyon problemi için oldukça iyi sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. Ancak, bazı zorlu optimizasyon problemlerinde YAK algoritmasının sömürü yeteneği nispeten yetersiz kalabilmektedir. Bu amaçla, YAK algoritmasının performansını attırmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır [87–112]. Bu tez çalışmasında, standart YAK algoritmasının arama performansını arttırmak amacı ile FG algoritmasının güçlü mutasyon ve çaprazlama operatörlerini kullanarak, yeni ve etkin bir melez yapay arı koloni (MYAK) algoritması geliştirilmiştir. MYAK optimizasyon algoritmasında, standart arı algoritmasında olduğu gibi görevli, gözcü ve keşif arı olmak üzere üç farklı faz bulunmaktadır. Görevli arı fazında, görevli arılar yeni yiyecek kaynaklarını keşfederler ve bu yiyecek kaynakları hakkındaki bilgileri gözcü arılara aktarırlar. Daha sonra, görevli arılar tarafından aktarılan bu bilgilere göre gözcü arılar keşfedilen kaynaklara yönelir ve bu kaynakları sömürme (Tüketme) işlemini gerçekleştirirler. Standart YAK algoritmasındaki bu fazlar değerlendirildiğinde, algoritmanın içindeki görevli arı fazının arı algoritmasının keşif yeteneğini ve gözcü arı fazının ise sömürü yeteneğini temsil ettiğini göstermektedir. Standart YAK algoritmasında arama işlemleri için kullanılan arama operatörleri, yeni bir yiyecek kaynağının keşif edilmesi sürecinde oldukça iyidir. Ancak, sömürü yeteneği değerlendirildiğinde nispeten yetersiz kalmaktadır. Bu durum, standart YAK algoritmasının yakınsama hassasiyetini ve yakınsama hızını negatif yönde etkileyebilmektedir.

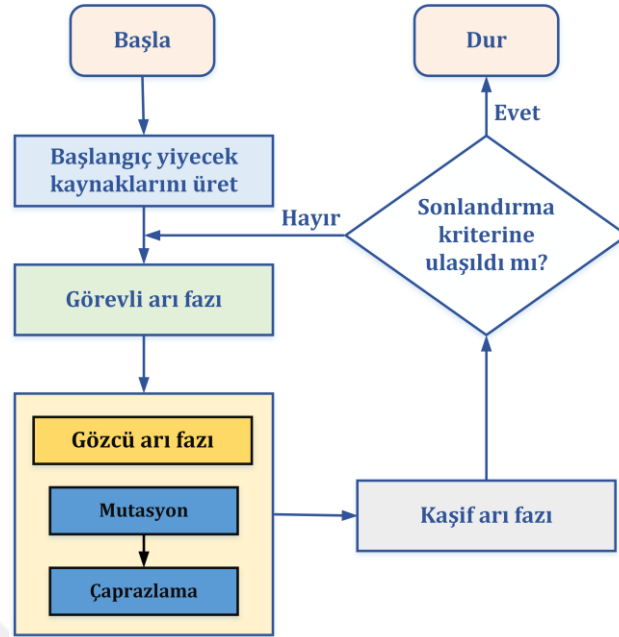
Bu tez çalışmasında, standart YAK algoritmasının arama performansı ile ilgili yakınsama hassasiyetini ve hızını geliştirmek amacı ile, FG algoritması içerisinde mevcut olan mutasyon ve çaprazlama fazlarında kullanılan operatörlerin avantajları değerlendirilerek, standart YAK algoritmasının sömürü yeteneğini temsil eden gözcü arı fazına bu operatörler entegre edilmiş ve standart YAK algoritması MYAK algoritması olarak modifiye edilmiştir. İlk aşamada standart YAK algoritmasının Eşitlik (3.1)'de verilen arama stratejisinin yerine Eşitlik (3.2)'de verilen FG algoritmasında kullanılan “DE/RAND/1” olarak adlandırılan mutasyon operatörü yerleştirilmiştir. Geliştirilen MYAK algoritmasında kullanılan bu mutasyon operatörünün amacı bazı karmaşık multimodal optimizasyon problemlerinde yerel optimal noktalarına sıkışma probleminin üstesinden gelmek amacı ile populasyon içerisindeki nüfus çeşitliliğini korumaktır.

Buna ek olarak, standart YAK algoritmasının yakınsama hızını ve duyarlılığını arttırmak amacı ile yine gözcü arı fazına mutasyon operatöründen sonra Eşitlik (3.3)'de verilen çaprazlama operatörü üstel çaprazlama yöntemi eklenmiştir. Gözcü arı fazına yapılan bu iyileştirmeler sayesinde, standart YAK algoritmasının sömürü yeteneğinin performansı geliştirilmiştir. Bu sayede, geliştirilen MYAK algoritması optimizasyon problemlerinin optimal çözüm noktalarını arama işleminde mutasyon operatörü ile sağlanan populasyon içerisindeki çeşitlilik artırılarak yerel çözüm noktalarına takılması engellenmiştir. Ayrıca, mutasyon operatöründen sonra eklenen üstel çaprazlama yöntemi ile gözcü arı fazının yakınsama hızı ve duyarlılığı artırılmıştır. Bununla birlikte geliştirilen MYAK algoritmasının görevli arı fazındaki kullanılan arama operatörü değiştirilmeyle oldukça iyi bir performansa sahip olan keşif özelliğinin arama yeteneği korunmuştur. Geliştirilen MYAK algoritmasına ait genel blok akış şeması Şekil 3.4'de verilmiştir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.1)$$

$$x_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} x_{j,u,G+1} &= x_{j,i,G+1} \quad \text{for } j = \langle n \rangle_D, \langle n+1 \rangle_D, \dots, \langle n+L-1 \rangle_D \\ x_{j,i,G} & \text{ diğer bütün } j \in [1, D] \\ L &= 0; DO \\ \{ \\ L &= L+1; \\ \} &WHILE((rand(0,1) \leq Cr) AND (L \leq D)) \end{aligned} \quad (3.3)$$



Şekil 3.4. MYAK algoritmasının genel blok akış şeması

Yukarıda genel hatları ile MYAK algoritmasının adımları ve her bir adıma ait olan işleyiş anlatılmıştır. Aşağıda MYAK algoritmasının genel işleyişi ile ilgili sözde kodlar verilmiştir.

Başla

Adım 1: İterasyon sayacını **iter=1** eşitle; ve x_{ij} çözümleri ile birlikte NP sayısı kadar başlangıç popülasyonunu rastgele oluştur. Başlangıç parametreleri **limit** değerini ata ve **trial** sayacını **trial_i=0** eşitle.

Adım 2: Popülasyondaki her bir birey için amaç değerlerini f_i değerlendir ve uygunluk değerlerini

$$(fitness_i) \quad fitness_i = \begin{cases} 1/(1+f_i), & f_i \geq 0 \\ 1+abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \text{ eşitliğini kullanarak hesapla}$$

Adım 3: while Durdurma kriteri sağlanmıyor **ise do**

// Görevli arı fazı

for $i = 1$ **to** NP/2

Rasgele k, j değerlerini seç ve $i \neq k$

$[-1, 1]$ değerleri aralığında rastgele Φ_{ij} değerini seç

$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj})$ eşitliğini kullanarak yeni v_i değerini üret.

Yeni v_i için f_{vi} amaç fonksiyon değerini hesapla

$$\text{Yeni } f_{vi} \text{ değeri için } fitness_i = \begin{cases} 1/(1+f_i), & f_i \geq 0 \\ 1+abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \text{ eşitliğini kullanarak } fitness_{vi}$$

uygunluk değerini hesapla

x_i ve v_i arasında açgözlü seçim sürecini uygula

Eğer çözüm geliştirilmedi ise;

$trial_i = trial_i + 1$, geliştirildi ise; $trial_i = 0$

end for

Her bir x_i çözümü için $p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_j}$ eşitliğini kullanarak p_i olasılık değerlerini hesapla

// Melez Gözcü arı fazı

Adım 3.1: Mutasyon

for $i = 1$ to $NP/2$

select randomly $r1 \neq r2 \neq r3 \neq i$

$$V_{i,iter} = x_{r1,iter} + F \times (x_{r2,iter} + x_{r3,iter})$$

end for

Adım 3.2: Çaprazlama (Üstel çaprazlama)

for $i = 1$ to $NP/2$

$$j = \lfloor rand[0,1) * D \rfloor, L=0$$

$$U_{i,iter} = X_{i,iter}$$

do

$$u_{i,iter}^j = v_{i,iter}^j$$

$$j = (j+1) \mod D$$

$$L = L + 1$$

while($rand[0,1) < CR$ & $< D$)

end for

$i = 1$;

$t = 0$;

while $t < NP/2$

if $rand < p_i$

$t = t + 1$;

Yeni u_i için f_{ui} amaç fonksiyon değerini hesapla

$$\text{Yeni } f_{ui} \text{ değeri için } fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i), & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases} \text{ eşitliğini kullanarak } fitness_{ui}$$

uygunluk değerini hesapla

x_i ve u_i arasında açgözlü seçim sürecini uygula

Eğer çözüm geliştirilmedi ise;

$trial_i = trial_i + 1$, geliştirildi ise; $trial_i = 0$

end if

```

    i = i + 1;
    if i == ((NP/2) + 1)
        i = 0;
    end if
end while
// Kaşif arı fazı
if max(trial_i > limit)
     $x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0,1)(x_j^{\max} - x_j^{\min})$  eşitliğini kullanarak rastgele yeni bir çözüm üret ve  $x_i$  çözümü
    ile yer değiştir.
    Yeni  $x_i$  için amaç fonksiyonunu  $f_i'$  yi hesapla
    Yeni  $f_i$  değeri için  $fitness_i = \begin{cases} 1/(1+f_i), & f_i \geq 0 \\ 1+abs(f_i), & f_i < 0 \end{cases}$  eşitliğini kullanarak  $fitness_i$ 
end if
Elde edilen en iyi çözümü hafızaya kaydet
iter = iter + 1;
end while
end.

```

3.7. Mikroşerit Anten Tasarım ve Optimizasyon Yöntemi

Günümüzde, çok çeşitli elektromanyetik (EM) benzetim programları mevcuttur. HyperLynx® [116], anten tasarımında yaygın olarak kullanılan moment metoduna (MoM) [34] dayalı güçlü EM benzetim platformlarından biridir. IE3D™ EM benzetim programının yeni sürümü olan HyperLynx® platformu içerisinde yapılacak tasarımlar üzerinde optimizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi için entegre edilmiş Powell, Genetik ve Rastgele (Random) optimize edici algoritmalar mevcuttur. Optimizasyon işlemlerinde optimizasyon değişkenlerinin yönleri ve sınırları doğrudan HyperLynx® platformu tarafından kontrol edilir. Ancak, bu tasarım değişkenleri için en önemli dezavantaj, birbirleri ile bağlantıları sabit bir oranda sınırlıdır. Değişkenler arasındaki daha karmaşık ilişkiler HyperLynx® programında doğrudan yapılamaz. Bununla birlikte, HyperLynx® programı içerisinde gerçekleştirilen bir tasarımda, bir yama üzerinde dikey bir oyuk için en uygun genişlik ve dikey pozisyon değerleri gibi karmaşık varyasyonlar sahip optimizasyon süreci bir çakışma problemine neden olabilir [36]. Bundan dolayı, karmaşık yapıya sahip oyuklara sahip anten tasarımları, HyperLynx® ya da IE3D™ 3B EM benzetim programları içerisinde mevcut optimize edici algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilemez. Tez çalışmasında, MoM tekniğine dayalı HyperLynx® EM benzetim programı

ile yapay zekâya dayalı optimizasyon algoritmalarından YAK ve geliştirilen MYAK'ı içeren yeni bir entegre tasarım sistemi kullanılarak ilgili mikroşerit anten tasarımları gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, YAK ve FG algoritmaları kullanılarak yeni ve etkin bir melez yapay arı koloni algoritması geliştirilmiş, geliştirilen MYAK algoritmasının performansı 20 adet klasik optimizasyon test fonksiyonu kullanılarak standart YAK, FG, PSO algoritmaları ve daha önce literatüre sunulmuş yine YAK ve FG algoritmaları kullanılarak geliştirilmiş melez bir optimizasyon yöntemi [109] ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen MYAK algoritmasının performansının, YAK, FG, PSO ve literatüre sunulmuş melez yapay arı kolonisi ile farksal gelişim (MYAKFG) (Hybrid Artificial Bee Colony with Differential Evolution: HABCDE) algoritması olarak adlandırılan diğer bir melez optimizasyon tekniğinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, MYAK algoritmasının anten tasarımındaki performansını etmek için UMTS, WLAN, WiMAX iletişim teknolojileri ile uyumlu anten tasarımı, UWB uygulamaları için bant çentikleme tekniği ve küçük boyutlu anten tasarımı ile dikdörtgen şekilli mikroşerit anten tasarımlarında oyuk açma teknikleri kullanılarak bant genişliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar, YAK ve yeni geliştirilen MYAK algoritmaları ile entegre tasarım sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, ilgili antenlerin tasarım adımları, benzetim ve anten prototiplerinin üretilmesi adımları anlatılmıştır. Ayrıca antenlerin S-parametreleri, anten ışıma örüntüleri, kazanç ve yüzey akım dağılımları yönünden performans incelemesi de gerçekleştirilmiştir.

4.1. Geliştirilen MYAK algoritmasının Performans Değerlendirmesi

Bu bölümde, geliştirilen MYAK algoritmasının performansını değerlendirmek amacı ile, MYAK, YAK, FG ve PSO optimizasyon algoritmaları, 20 adet klasik sayısal optimizasyon test fonksiyonuna minimize etmek amacı ile uygulanmıştır. Her bir test için, her bir algoritma bağımsız olarak 30 kez çalıştırılmıştır. Ayrıca, maksimum çevrim sayısı olarak 3000 değeri alınmıştır. Her bir kıyaslama fonksiyonu için yine her bir algoritma 40, 60, 80 ve 100 olmak üzere farklı popülasyon büyüklükleri kullanılarak koşturulmuştur. Böylece her bir test fonksiyonu için gelişim sayıları 120000, 180000, 240000 ve 300000 olarak eşitlenmiştir. Bu deneylerin sonunda elde edilen en iyi, en kötü, ortalama, medyan ve standart sapma değerleri kayıt edilmiştir. Bu bölümde, yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, nihai çözümün kalitesine, önerilen MYAK algoritmasının yakınsama hızına, MYAK algoritmasının performansının YAK, FG ve PSO algoritmaları ile karşılaştırılan performans değerlendirmelerine odaklanılmıştır. Tablo 4.1'de MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait parametreler ve değerleri verilmiştir. Algoritmaların performans değerlendirmelerini gerçekleştirmek için kullanılan klasik sayısal optimizasyon test fonksiyonlarına ait detaylar Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'nin tip kolonunda iki önemli parametre vardır. Birinci parametre, fonksiyonun tek modlu (U) ya da çok modlu (M) olduğunu

ifade etmektedir. İkinci parametre ise fonksiyonun ayrılabilir (S) ya da ayrılamaz (N) olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.1. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait parametre ve değerleri

Parametre	Algoritma			
	MYAK	YAK	FG	PSO
Deneme sayısı	$NP \times D$	$NP \times D$	-	-
Ölçekleme faktörü (F)	0.6	-	0.6	-
Çaprazlama sabiti (CR)	0.4	-	0.4	-
Sosyal parametre (C_1)	-	-	-	1.7
Bilişsel parametre (C_2)	-	-	-	1.7
Atalet ağırlığı (w)	-	-	-	0.9

NP: Popülasyon sayısı, D: Problem boyutu

Tablo 4.2’de aralık olarak verilen sütun, optimizasyon test fonksiyonlarının çözüm aralıklarını belirtmektedir. D harfi, optimizasyon problemlerinde boyutu ifade etmektedir. Tabloda Min olarak adlandırılan kolon, 20 adet optimizasyon test fonksiyonunun global minimum değerlerini göstermektedir. Optimizasyon test fonksiyonları 1–13 tek modlu iken 14–20 numaralı fonksiyonlar çok modlu bir yapıya sahiptir. Sadece 13 numaralı Easom isimli fonksiyon 2 boyutludur diğer kullanılan fonksiyonları ise çok boyutludur. Optimizasyon test fonksiyonları içinde, Rosenbrock ok ucu şekline benzer bir vadi karakteristiğine sahiptir. En uygun çözümü bulmak için gerçekleştirilecek arama işlemi, problemin arama uzayında düzgün ve etkin bir şekilde gerçekleştirilemiyorsa, bu problemi optimize etmek oldukça zor olacaktır. Rastrigin, Ackley, Schwefel2.26 ve Griewank fonksiyonları karmaşık çok modlu optimizasyon test fonksiyonlarıdır. Bu optimizasyon test fonksiyonlarının en uygun çözümlerini elde etmek için, optimizasyon algoritmalarında kullanılan arama stratejilerinin keşif ve sömürü yetenekleri arasında etkin bir denge sağlamalıdır. Geliştirilen MYAK algoritmasının optimizasyon ve yakınsama hızının avantajlarını göstermek amacı ile MYAK, standart YAK, FG ve PSO optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ortalama değerler, sabitlenmiş koşurma koşulları altında her bir optimizasyon test fonksiyonu için algoritmaların duyarlılığını göstermektedir. Ayrıca, deneylerde ele edilen standart sapma değerleri de algoritmaların, yine optimizasyon test fonksiyonlarının uygun çözümünün elde edilmesindeki kararlılığını (stabilitesi) göstermektedir. Optimizasyon deneyinde değerlendirilen 40, 60, 80 ve 100 popülasyon sayıları için sırasıyla Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da, MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmaları için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Ulaşılan sonuçlar, MYAK algoritmasının test fonksiyonlarının en uygun çözümüne yakın bir çözüm ya da eşit sonuçlar elde ettiğini ve MYAK ile ulaşılan standart sapma değerleri oldukça küçük olduğunu göstermiştir. Özellikle, Schwefel2.26 fonksiyonu için MYAK, diğer algoritmalara göre çok daha küçük bir standart sapma elde etmiştir. MYAK için elde edilen sonuçlar geliştirilen algoritmanın f_{14} nolu fonksiyon için

oldukça kararlı bir optimizasyon süreci yürüttüğünü göstermiştir. Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da, f_1 - f_5 , f_7 , f_8 , f_{17} , f_{19} ve f_{20} fonksiyonları için MYAK ile ulaşılan ortalama ve standart sapma sonuçları oldukça küçük değerlere sahiptir. Ancak Tablo 4.3'e bakıldığında f_5 -Rosenbrock fonksiyonunu üzerinde MYAK nispeten yetersiz bir performans elde etmiş ancak popülasyon sayısı arttırıkça aynı fonksiyon üzerindeki arama performansının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, önerilen MYAK yöntemi ile f_6 , f_9 - f_{16} , f_{18} fonksiyonları için en uygun çözüm noktalarına ulaşılmıştır. Buna ek olarak, popülasyon sayısı 60 olarak f_{18} numaralı fonksiyon üzerinde gerçekleştirilen deneyde YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre çok daha iyi bir performans sergilemiştir. Elde edilen bütün sonuçlar, geliştirilen MYAK algoritmasının, YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre üstün bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu dört optimizasyon algoritmasının optimizasyon test fonksiyonları üzerinde performanslarının daha detaylı değerlendirmesi için 40, 60, 80 ve 100 popülasyon değerlerinde algoritmaların elde ettiği ortalama sonuçlara Friedman testi uygulanmıştır [213, 214]. Friedman testi ile ulaşılan rank değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Friedman testine göre, bir algoritmanın rank değeri diğerlerine göre küçük ise algoritmanın performansı daha iyidir. Tablo 4.7'deki sonuçlar incelendiğinde MYAK algoritmasının performansının YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre oldukça iyi olduğu açıkça görülmektedir. Buna ek olarak, 60, 80 ve 100 popülasyon boyutlarında MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama hızlarının grafikleri çizilmiş ve Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre, önerilen MYAK optimizasyon tekniğinin yakınsama hızının yüksek olduğu ve Ackley, Schwefel2.21, Schwefel2.22, Powell, Griewank, Penalized1 ve Penalized2 optimizasyon test fonksiyonları üzerinde standart YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre çok iyi bir performans elde ettiği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, Önerilen yöntem, çok zorlu bir fonksiyon olan Rosenbrock fonksiyonu üzerinde de yine YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre iyi sonuçlar elde etmiştir. Sonuç olarak, önerilen MYAK tekniği, optimizasyon test fonksiyonlarında çok iyi bir yakınsama kapasitesi ve oldukça yüksek bir başarı olarak sağlamıştır. MYAK yönteminin yakınsama hız performansını göstermek amacıyla, iki boyutlu Sphere test fonksiyonu üzerinde farklı küçük bir deney daha gerçekleştirilmiştir. Deneyde, MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının her biri 30 sayısı kadar iterasyon koşturulmuştur. Kullanılan optimizasyon teknikleri için, popülasyon boyutu 50 olarak alınmıştır. Deneme sayısı, ölçekleme faktörü ve çaprazlama, Tablo 4.1' de verilen değerler alınmıştır. Sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 iterasyon değerleri için, MYAK-PSO, MYAK-YAK ve MYAK-FG algoritmalarının karşılaştırmalı olarak popülasyon birey pozisyonları verilmiştir. Şekiller içindeki kırmızı daire iki boyutlu Sphere fonksiyonun global minimum noktasını ve mavi renkli x işaretlerde popülasyon içerisindeki bireyleri temsil etmektedir. Burada, problemin çözüm uzayı tüm boyutlar için $[-5.12, 5.12]$ aralığında tanımlanmasına rağmen, optimizasyon algoritmaları popülasyondaki bireylerin uygunluk

değerlerini dikkate alarak, tüm bireylerini global minimum noktası olan (0, 0) noktasına doğru toplamaktadırlar. MYAK tekniğinin yakınsama performansı Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'dan detaylı olarak incelenip değerlendirildiğinde, popülasyondaki birçok bireyin, global çözüm noktasının dahil olduğu bölgeye doğru hızlı bir şekilde toplandığı görülmektedir.

MYAK algoritmasının YAK, FG ve PSO algoritmalarına göre zaman karmaşıklığını değerlendirmek amacı ile her bir optimizasyon test fonksiyonu için Intel Core i7 3.4 GHz ile 16 GB bir DDR3 RAM'e sahip kişisel bir bilgisayar üzerinde her bir optimizasyon test fonksiyonu için CPU zaman ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir algoritmaya ait ortalama CPU zamanları Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'nın en son sütununda verilmiştir. CPU zamanları açısından algoritmalar değerlendirildiğinde en kısa ortalama CPU zamanına PSO algoritması sahiptir. Daha sonra bu sıralamayı FG, YAK ve MYAK optimizasyon algoritmaları izlemektedir. Geliştirilen MYAK optimizasyon tekniğinin YAK ve FG algoritmalarına göre daha uzun süreye sahip olması, bu iki algoritmanın melezlemesi ile oluşması ve yakınsama hızı ve doğruluk ile ilgili kullanılan birçok parametre kullanılmasından dolayı doğal olarak beklenen bir durumdur. Dolayısı ile MYAK algoritmasının YAK ve FG algoritmalarına göre aynı test fonksiyonu üzerindeki işlem süresi daha fazla olacaktır. Bununla birlikte, MYAK algoritması yukarıdaki sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonuçları elde ettiği görülmüştür. Bu durum göz önüne alındığında, önerilen MYAK tekniği, CPU zamanı ve doğruluk arasında bir denge sağlamaktadır.

MYAK optimizasyon tekniği, literatüre daha önce sunulan ve yine YAK ve FG algoritmalarının farklı bir melezleme tekniği kullanılarak geliştirilen MYAKFG algoritması ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.8'de verilmiştir. Bu karşılaştırma işleminde, her biri 30 boyutlu olan Sphere, gürültülü Quartic, Rosenbrock, Ackley, Griewank ve Rastrigin optimizasyon test fonksiyonları kullanılmıştır. Maksimum fonksiyon gelişim sayısı 200000 olarak ayarlanmıştır. Bütün deneyler birbirinden bağımsız olarak 60 kez çalıştırılmış ve bunun sonucunda elde edilen ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerler kayıt edilmiştir. Önerilen MYAK optimizasyon tekniği MYAKFG, orijinal YAK ve muhalefet temelli (opposition-based) MFG algoritmaları ile karşılaştırılmıştır [213]. MYAK, MYAKFG ve MFG optimizasyon algoritmalarının popülasyon sayısı 60 olarak alınmıştır. Tablo 4.8'de verilen en düşük ortalama ve standart sapma değerleri ilgili fonksiyon için en iyi performansı göstermektedir. MYAK optimizasyon tekniği, Sphere, Rosenbrock, Ackley ve Griewank test fonksiyonları üzerinde MYAKFG, YAK ve MFG algoritmalarına göre oldukça iyi sonuçlar elde etmiştir. Gürültülü Quartic fonksiyonu için MYAK ve MFG algoritmaları birbirine yakın değerler elde etmişler ve bu iki algoritmanın bu fonksiyon için performansları melez YAKFG ve YAK algoritmalarına göre oldukça iyidir. Rastrigin fonksiyonu için elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen MYAK, YAK ve MYAKFG algoritmaları, MFG optimizasyon yöntemine göre çok daha iyi sonuçlar elde etmiş ve

global minimum noktasına yakınsamışlardır. Bu optimizasyon test problemlerinde edilen sayısal sonuçlar, önerilen MYAK algoritmasının YAK, FG ve MYAKFG algoritmalarıyla karşılaştırıldığında doğruluk, yakınsama hızı ve hassaslık, kararlılık ve sağlamlıkta üstün bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.



Tablo 4.2. Deneyde kullanılan sayısal optimizasyon test fonksiyonları

Fonksiyon	Aralık	Min.	D	Tipi	Formül
f_1 -Sphere	[-5.12, 5.12]	0	30	US	$f_1 = \sum_{i=1}^n x_i^2$
f_2 -Schwefel2.22	[-10, 10]	0	30	UN	$f_2 = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $
f_3 -Schwefel1.2	[-100, 100]	0	30	UN	$f_3 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
f_4 -Schwefel2.21	[-100, 100]	0	30	UN	$f_4 = \max \{ x_i : i \in \{1, \dots, n\} \}$
f_5 -Rosenbrock	[-30, 30]	0	30	UN	$f_5 = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i) + (x_i - 1)^2]$
f_6 -Step	[-100, 100]	0	30	US	$f_6 = \sum_{i=1}^n \lfloor x_i + 0.5 \rfloor^2$
f_7 -Sumsquares	[-10, 10]	0	30	US	$f_7 = \sum_{i=1}^n i x_i^2$
f_8 -Powell	[-4, 5]	0	24	UN	$f_8 = \sum_{i=1}^{n/4} \left[(x_{4i-3} + 10x_{4i-2})^2 + 5(x_{4i-1} - x_{4i})^2 + (x_{4i-2} - 2x_{4i-1})^4 + 10(x_{4i-3} - x_{4i})^4 \right]$
f_9 -Stepint	[-5.12, 5.12]	0	5	US	$f_9 = 25 + \sum_{i=1}^5 \lfloor x_i \rfloor$
f_{10} -Trid6	$[-D^2, D^2]$	-50	6	UN	$f_{10} = \sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 - \sum_{i=2}^n x_i x_{i-1}$
f_{11} -Trid10	$[-D^2, D^2]$	-210	10	UN	$f_{11} = \sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 - \sum_{i=2}^n x_i x_{i-1}$
f_{12} -Beale	[-4.5, 4.5]	0	5	UN	$f_{12} = (1.5 - x_1 + x_1 x_2)^2 + (2.25 - x_1 + x_1 x_1^2)^2 + (2.625 - x_1 + x_1 x_2^3)^2$
f_{13} -Easom	[-100, 100]	-1	2	UN	$f_{13} = -\cos(x_1)\cos(x_2)\exp(-(x_1 - \pi)^2 - (x_2 - \pi)^2)$
f_{14} -Schwefel2.26	[-500, 500]	-12569.5	30	MS	$f_{14} = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$
f_{15} -Rastrigin	[-5.12, 5.12]	0	30	MS	$f_{15} = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
f_{16} -Bohachevsky1	[-100, 100]	0	30	MS	$f_{16} = x_1^2 + 2x_2^2 - 0.3 \cos(3\pi x_1) - 0.4 \cos(4\pi x_2) + 0.7$
f_{17} -Ackley	[-32, 32]	0	30	MN	$f_{17} = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \right) - \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e$
f_{18} -Griewank	[-600, 600]	0	30	MN	$f_{18} = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos \left(\frac{x_i}{\sqrt{i}} \right) + 1$
f_{19} -Penalized1	[-50, 50]	0	30	MN	$f_{19} = \frac{\pi}{n} \left\{ 10 \sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 \left[1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1}) \right] + (y_n - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4)$ $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$ $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m, & x_i > a \\ 0, & -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m, & x_i < -a \end{cases}$
f_{20} -Penalized2	[-50, 50]	0	30	MN	$f_{20} = 0.1 \left\{ \sin^2(\pi x_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1)^2 \left[1 + \sin^2(3\pi x_{i+1}) \right] + (x_n - 1)^2 \left[1 + \sin^2(\pi x_n) \right] \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4)$

Tablo 4.3. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları ($NP=40$)

Fonksiyon	Algoritma	En iyi	En kötü	Ortalama	Medyan	Standart sapma	Ortalama CPU Zaman (Saniye)
f_1	YAK	3.28E-016	7.48E-016	5.44E-016	5.32E-016	1.09E-016	3.45
	FG	8.38E-030	2.18E-028	1.05E-028	8.79E-029	5.83E-029	2.15
	PSO	1.45E-023	1.09E-004	6.42E-006	2.66E-013	2.23E-005	0.92
	MYAK	1.38E-039	3.11E-37	3.42E-038	1.59E-38	5.87E-038	3.88
f_2	YAK	9.84E-016	1.44E-015	1.23E-015	1.21E-015	1.44E-016	3.53
	FG	5.34E-015	2.74E-014	1.34E-014	1.32E-014	5.51E-015	2.17
	PSO	5.74E-004	14.389	1.620	0.209	3.463	0.93
	MYAK	8.47E-23	6.97E-022	2.71E-022	2.53E-022	1.47E-022	3.71
f_3	YAK	3.12E-016	7.72E-016	5.30E-016	5.25E-016	1.00E-016	4.36
	FG	8.10E-025	2.40E-023	5.60E-024	4.06E-024	4.77E-024	2.93
	PSO	4.66E-019	51.454	1.959	7.61E-009	9.443	1.68
	MYAK	3.00E-035	1.83E-033	4.10E-034	3.6E-034	3.86E-034	4.47
f_4	YAK	0.685	4.298	1.943	1.656	0.952	3.52
	FG	1.10E-003	3.72E-003	2.17E-003	2.11E-003	6.20E-003	2.25
	PSO	1.980	15.331	8.319	7.960	3.484	1.38
	MYAK	3.34E-006	1.70E-004	2.31E-005	1.12E-005	3.22E-005	3.98
f_5	YAK	2.30E-003	1.085	0.206	0.097	0.260	3.69
	FG	1.15E-004	0.095	0.014	6.10E-003	0.024	2.28
	PSO	7.843	90014.400	3057.810	74.144	16423.500	0.99
	MYAK	2.44E-009	16.929	11.810	13.219	4.281	3.88
f_6	YAK	0	0	0	0	0	3.61
	FG	0	0	0	0	0	2.23
	PSO	8	737	106.433	60.500	141.312	0.89
	MYAK	0	0	0	0	0	3.78
f_7	YAK	3.94E-016	7.58E-016	5.43E-016	5.35E-016	8.41E-017	3.62
	FG	9.08E-028	1.44E-026	4.33E-027	2.82E-027	3.21E-027	2.23
	PSO	2.50E-020	1.01E-004	4.60E-006	2.28E-012	1.88E-005	0.93
	MYAK	4.60E-038	3.98E-036	6.55E-037	3.86E-037	7.32E-037	3.77
f_8	YAK	2.36E-003	4.55E-003	3.52E-003	3.61E-003	5.94E-004	3.95
	FG	1.72E-012	3.60E-011	1.01E-011	6.71E-012	8.16E-012	2.46
	PSO	2.99E-004	103.290	9.615	3.14E-003	25.939	1.23
	MYAK	5.73E-017	3.97E-015	7.16E-016	5.30E-016	8.37E-016	4.06
f_9	YAK	0	0	0	0	0	3.55
	FG	0	0	0	0	0	1.98
	PSO	0	1	0.033	0	0.183	0.93
	MYAK	0	0	0	0	0	3.61
f_{10}	YAK	-50	-50	-50	-50	2.17E-013	3.48
	FG	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	1.94
	PSO	-50	-50	-50	-50	1.61E-013	0.83
	MYAK	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	3.55
f_{11}	YAK	-209.998	-209.852	-209.964	-209.967	0.0316	3.56
	FG	-210	-210	-210	-210	0	1.98
	PSO	-210	1113.670	-165.878	-210	241.667	0.87
	MYAK	-210	-210	-210	-210	1.66E-013	3.62
f_{12}	YAK	6.88E-017	1.62E-013	9.57E-015	1.80E-015	3.16E-014	3.470
	FG	0	0	0	0	0	1.90
	PSO	0	0.762	0.025	0	0.139	0.77
	MYAK	0	0	0	0	0	3.52
f_{13}	YAK	-1	-1	-1	-1	6.94E-008	3.48
	FG	-1	-1	-1	-1	0	1.93
	PSO	-1	-1	-1	-1	0	0.78
	MYAK	-1	-1	-1	-1	0	3.53
f_{14}	YAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	5.43E-012	3.75
	FG	-11706.5	-10057.6	-10860.4	-10908.3	494.536	2.42
	PSO	-10337.2	-1426.58	-7454.94	-8303.48	2399.16	1.54
	MYAK	-12569.5	-12332.6	-12510.3	-12569.5	74.583	4.27
f_{15}	YAK	0	0	0	0	1.04E-014	3.67
	FG	83.759	121.443	102.962	104.523	8.276	2.30
	PSO	41.748	157.333	82.235	80.427	27.424	1.05
	MYAK	0	0	0	0	0	3.91
f_{16}	YAK	0	0	0	0	0	3.41
	FG	0	0	0	0	0	1.90
	PSO	0	0	0	0	0	0.81
	MYAK	0	0	0	0	0	3.50
f_{17}	YAK	2.93E-014	4.35E-014	3.83E-014	3.99E-014	4.45E-015	3.78
	FG	4.00E-014	1.84E-005	6.14E-007	9.86E-014	3.36E-006	2.43
	PSO	0.931	7.219	3.478	3.279	1.527	1.60
	MYAK	4.44E-015	7.99E-015	6.45E-015	7.99E-015	1.79E-015	4.00
f_{18}	YAK	0	0.025	2.10E-003	1.11E-016	5.72E-003	3.78
	FG	0	9.86E-003	3.29E-004	0	1.80E-003	2.39
	PSO	4.50E-005	10.910	0.542	0.10	1.974	1.57
	MYAK	0	0.012	7.39E-004	0	2.83E-003	3.96
f_{19}	YAK	4.41E-016	7.05E-016	5.39E-016	5.24E-016	6.57E-017	7.53
	FG	2.28E-026	7.57E-025	2.14E-025	1.48E-025	1.84E-025	5.96
	PSO	6.77E-017	1.669	0.459	0.142	0.554	5.07
	MYAK	1.57E-032	1.57E-032	1.57E-032	1.57E-032	5.58E-048	7.69
f_{20}	YAK	3.13E-016	7.17E-016	5.06E-016	5.08E-016	6.49E-017	6.84
	FG	1.83E-027	8.03E-026	2.23E-026	1.63E-026	1.89E-026	5.27
	PSO	1.31E-018	63.619	5.823	9.67E-007	14.321	4.26
	MYAK	1.35E-032	1.35E-032	1.35E-032	1.35E-032	5.57E-048	6.97

Tablo 4.4. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları ($NP=60$)

Fonksiyon	Algoritma	En iyi	En kötü	Ortalama	Medyan	Standart sapma	Ortalama CPU Zaman (Saniye)
f_1	YAK	4.13E-016	7.06E-016	5.45E-016	5.40E-016	7.15E-017	5.20
	FG	4.87E-028	1.15E-026	3.39E-027	2.57E-027	2.63E-027	3.14
	PSO	5.07E-033	1.10E-014	3.67E-016	1.41E-028	2.00E-015	1.40
	MYAK	1.70E-036	8.90E-035	1.47E-035	1.10E-035	1.63E-035	5.63
f_2	YAK	7.66E-016	1.60E-015	1.25E-015	1.22E-015	1.56E-016	5.18
	FG	5.21E-014	2.08E-013	9.29E-014	8.65E-014	3.51E-014	3.17
	PSO	1.50E-026	2.43E-004	8.10E-006	8.13E-022	4.44E-005	1.43
	MYAK	1.57E-021	9.84E-021	3.93E-021	3.77E-021	1.69E-021	5.40
f_3	YAK	3.19E-016	7.40E-016	5.13E-016	4.99E-016	1.01E-016	6.43
	FG	4.99E-023	4.63E-022	1.92E-022	1.47E-022	1.09E-022	4.34
	PSO	1.44E-032	2.58E-017	9.40E-019	4.03E-025	4.71E-018	2.53
	MYAK	5.99E-033	7.45E-031	1.15E-031	6.00E-032	1.42E-031	6.61
f_4	YAK	0.4521	2.9293	1.5299	1.4170	0.6535	5.23
	FG	0.0034	0.0081	0.0052	0.0051	0.0011	3.27
	PSO	0.1822	15.8351	3.6112	2.6359	3.3685	2.07
	MYAK	1.06E-005	5.26E-005	2.78E-005	2.54E-005	1.09E-005	5.87
f_5	YAK	0.0088	0.5619	0.0963	0.0500	0.1223	5.33
	FG	5.49E-006	0.0011	1.42E-004	8.08E-005	0.0002	3.20
	PSO	6.4938	170.185	43.757	24.769	36.115	1.50
	MYAK	7.65E-007	3.987	0.198	3.13E-003	0.759	5.53
f_6	YAK	0	0	0	0	0	5.30
	FG	0	0	0	0	0	3.23
	PSO	1	789	53.833	14	143.374	1.33
	MYAK	0	0	0	0	0	5.47
f_7	YAK	3.18E-016	7.49E-016	5.25E-016	5.19E-016	7.48E-017	5.20
	FG	4.56E-026	3.82E-025	1.28E-025	9.87E-026	8.37E-026	3.13
	PSO	1.70E-033	7.66E-015	2.71E-016	5.07E-027	1.39E-015	1.33
	MYAK	6.23E-035	1.62E-033	3.36E-034	2.07E-034	3.68E-034	5.50
f_8	YAK	0.0027	0.0040	0.0034	0.0034	3.13E-004	5.71
	FG	1.24E-011	4.84E-011	2.73E-011	2.42E-011	1.03E-011	3.58
	PSO	1.06E-004	0.0041	9.05E-004	5.18E-004	0.0010	1.87
	MYAK	8.23E-016	1.41E-014	4.79E-015	4.15E-015	3.65E-015	5.82
f_9	YAK	0	0	0	0	0	4.84
	FG	0	0	0	0	0	2.77
	PSO	0	0	0	0	0	1.37
	MYAK	0	0	0	0	0	5.10
f_{10}	YAK	-50	-50	-50	-50	1.45E-013	5.07
	FG	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	2.71
	PSO	-50	-50	-50	-50	5.33E-014	1.37
	MYAK	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	5.18
f_{11}	YAK	-209.99	-209.94	-209.98	-209.99	0.0164	4.98
	FG	-210	-210	-210	-210	1.27E-013	2.83
	PSO	-210	-210	-210	-210	8.82E-012	1.23
	MYAK	-210	-210	-210	-210	3.70E-013	5.15
f_{12}	YAK	5.95E-017	5.13E-013	1.86E-014	1.64E-015	9.33E-14	4.87
	FG	0	0	0	0	0	2.71
	PSO	0	0.7621	0.0254	0	0.1391	1.17
	MYAK	0	0	0	0	0	4.99
f_{13}	YAK	-1	-1	-1	-1	1.03E-016	4.89
	FG	-1	-1	-1	-1	0	2.73
	PSO	-1	-1	-1	-1	0	1.33
	MYAK	-1	-1	-1	-1	0	5.01
f_{14}	YAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	2.98E-012	5.53
	FG	-11858.9	-9546.98	-10925.1	-11048.6	532.997	3.37
	PSO	-9780.08	-738.94	-6525.45	-8397.7	3084.26	2.23
	MYAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	2.10E-012	5.97
f_{15}	YAK	0	0	0	0	0	5.23
	FG	92.4228	117.76	107.03	107.898	6.9946	3.30
	PSO	29.764	117.405	58.462	53.883	22.072	1.53
	MYAK	0	0	0	0	0	5.57
f_{16}	YAK	0	0	0	0	0	4.77
	FG	0	0	0	0	0	2.63
	PSO	0	0	0	0	0	1.17
	MYAK	0	0	0	0	0	4.90
f_{17}	YAK	2.57E-014	4.35E-014	3.48E-014	3.29E-014	4.35E-015	5.53
	FG	2.14E-013	9.03E-013	4.38E-013	3.88E-013	1.68E-013	3.43
	PSO	2.93E-014	4.029	1.689	1.646	1.047	2.30
	MYAK	4.44E-015	7.99E-015	6.45E-015	7.99E-015	1.79E-015	5.74
f_{18}	YAK	0	5.55E-016	8.14E-016	1.11E-016	1.05E-016	5.46
	FG	0	7.40E-003	2.47E-004	0	1.35E-003	3.43
	PSO	9.99E-016	0.204	0.052	0.031	0.061	2.20
	MYAK	0	0	0	0	0	5.57
f_{19}	YAK	3.14E-016	7.02E-016	5.08E-016	5.16E-016	9.86E-016	12.28
	FG	8.19E-025	2.33E-023	6.98E-024	5.14E-024	5.89E-024	10.03
	PSO	3.00E-026	1.918	0.330	1.09E-004	0.5585	7.70
	MYAK	1.57E-032	2.28E-032	1.75E-032	1.67E-032	2.22E-033	12.50
f_{20}	YAK	2.63E-016	7.33E-016	4.65E-016	4.98E-016	1.03E-016	10.50
	FG	1.90E-025	2.98E-024	8.83E-025	6.69E-025	7.00E-025	8.37
	PSO	8.31E-029	12.994	0.562	0.011	2.435	6.43
	MYAK	1.35E-032	1.47E-032	1.35E-032	1.35E-032	2.25E-034	10.61

Tablo 4.5. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları ($NP=80$)

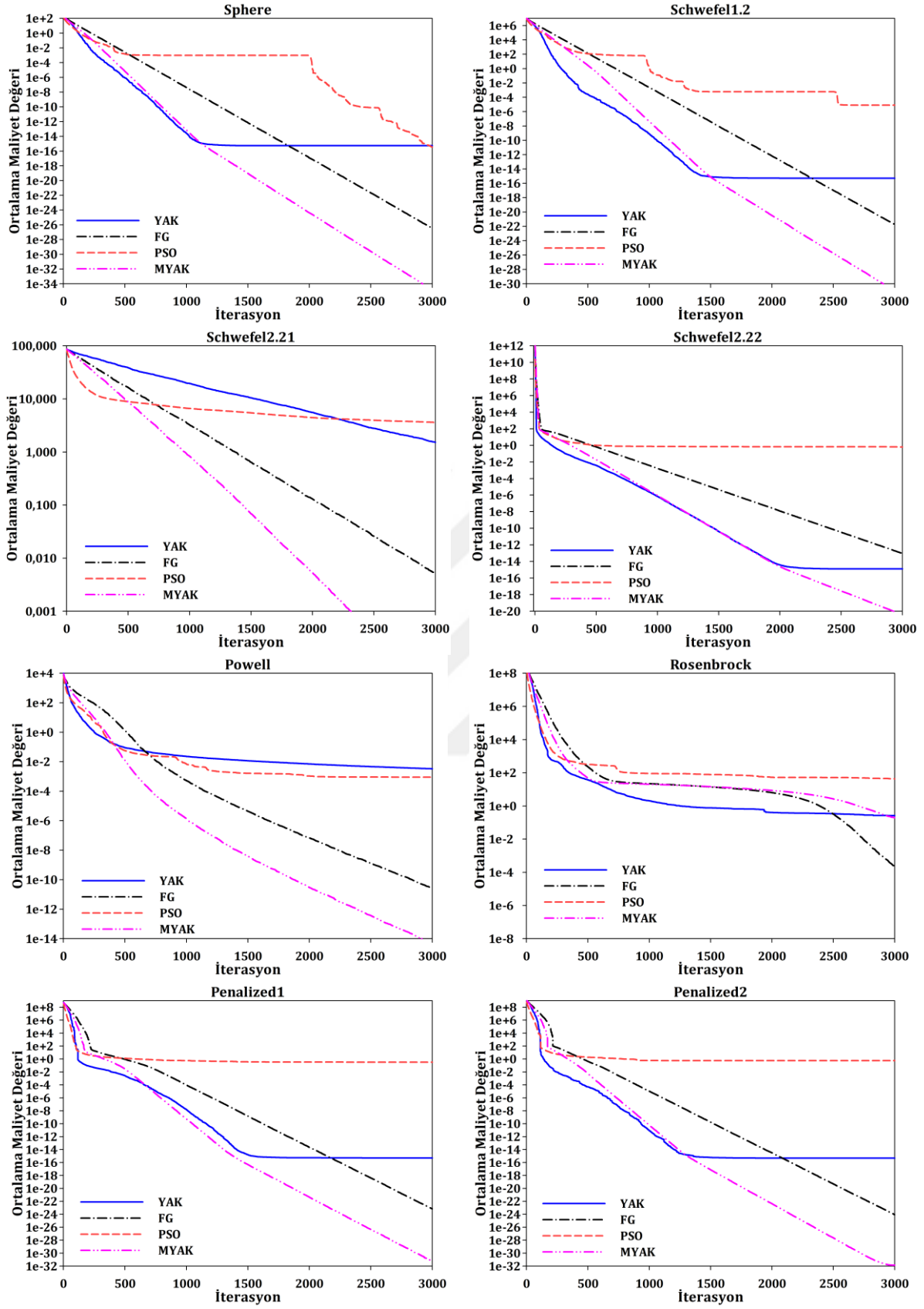
Fonksiyon	Algoritma	En iyi	En kötü	Ortalama	Medyan	Standart sapma	Ortalama CPU Zaman (Saniye)
f_1	YAK	3.32E-016	7.67E-016	5.28E-016	5.29E-016	8.68E-017	6.83
	FG	3.67E-027	2.93E-026	1.42E-026	1.35E-026	6.51E-027	4.10
	PSO	8.39E-038	7.08E-027	2.76E-028	2.72E-034	1.30E-027	1.83
	MYAK	5.42E-035	9.34E-034	2.79E-034	2.16E-034	2.11E-034	7.40
f_2	YAK	9.68E-016	1.43E-015	1.21E-015	1.20E-015	1.17E-016	6.90
	FG	1.27E-013	4.07E-013	2.10E-013	1.92E-013	7.71E-014	4.20
	PSO	2.50E-014	0.1132	0.0059	3.25E-007	0.0218	1.87
	MYAK	5.05E-021	3.49E-020	1.42E-020	1.31E-020	6.09E-021	7.17
f_3	YAK	3.25E-016	6.86E-016	5.01E-016	5.17E-016	8.10E-017	8.57
	FG	2.54E-022	2.87E-021	6.54E-022	5.83E-022	4.86E-022	5.73
	PSO	4.48E-038	1.12E-023	5.98E-025	4.97E-028	2.31E-024	3.33
	MYAK	2.46E-031	4.92E-030	1.40E-030	1.29E-030	1.08E-030	8.70
f_4	YAK	0.5205	3.1952	1.3967	1.2381	0.6126	6.94
	FG	0.0052	0.0123	0.0075	0.0073	0.0016	4.31
	PSO	0.0169	4.2550	1.0980	0.6941	1.1477	2.83
	MYAK	2.82E-005	0.00012	7.05E-005	6.63E-005	2.04E-005	7.73
f_5	YAK	0.0018	0.7216	0.0746	0.0190	0.1590	7.13
	FG	3.71E-006	0.0002	4.27E-005	4.84E-005	4.30E-005	4.27
	PSO	5.2822	142.23	31.132	21.681	30.097	1.90
	MYAK	9.49E-010	5.06E-005	2.56E-006	1.59E-007	9.25E-006	7.30
f_6	YAK	0	0	0	0	0	7.00
	FG	0	0	0	0	0	4.16
	PSO	1	69	9.767	5	14.364	1.67
	MYAK	0	0	0	0	0	7.07
f_7	YAK	2.67E-016	5.53E-016	4.71E-016	4.95E-016	7.61E-017	7.00
	FG	2.02E-025	1.34E-024	4.87E-025	4.21E-025	2.67E-025	4.13
	PSO	2.75E-037	7.00E-020	2.33E-021	1.54E-032	1.28E-020	1.80
	MYAK	1.11E-033	9.69E-033	4.12E-033	3.58E-033	2.38E-033	7.10
f_8	YAK	0.0020	0.0042	0.0031	0.0031	5.27E-004	7.58
	FG	2.15E-011	9.56E-011	4.16E-011	3.58E-011	1.74E-011	4.57
	PSO	6.71E-005	103.290	3.444	2.91E-004	18.858	2.47
	MYAK	2.94E-015	4.10E-014	8.94E-015	6.69E-015	7.54E-015	7.78
f_9	YAK	0	0	0	0	0	6.72
	FG	0	0	0	0	0	3.60
	PSO	0	0	0	0	0	1.80
	MYAK	0	0	0	0	0	6.81
f_{10}	YAK	-50	-50	-50	-50	1.59E-013	6.68
	FG	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	3.60
	PSO	-50	-50	-50	-50	6.80E-014	1.80
	MYAK	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	6.76
f_{11}	YAK	-210	-209.87	-209.98	-209.98	0.0250	6.68
	FG	-210	-210	-210	-210	1.67E-013	3.70
	PSO	-210	-210	-210	-210	5.96E-012	1.63
	MYAK	-210	-210	-210	-210	4.09E-013	6.77
f_{12}	YAK	3.75E-017	2.46E-015	1.20E-015	1.22E-015	5.99E-016	9.58
	FG	0	0	0	0	0	3.54
	PSO	0	0.7621	0.0254	0	0.1391	1.47
	MYAK	0	0	0	0	0	9.70
f_{13}	YAK	-1	-1	-1	-1	0	6.55
	FG	-1	-1	-1	-1	0	3.57
	PSO	-1	-1	-1	-1	0	1.50
	MYAK	-1	-1	-1	-1	0	6.61
f_{14}	YAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	2.87E-012	7.78
	FG	-12190.6	-9596.7	-11065.1	-1135.6	524.007	4.48
	PSO	-9905.12	-2131.01	-7807.76	-8627.47	2441.7	2.93
	MYAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	1.85E-012	7.91
f_{15}	YAK	0	0	0	0	0	7.00
	FG	83.2507	119.955	101.66	101.568	8.0799	4.32
	PSO	35.820	73.627	52.874	54.436	9.709	2.03
	MYAK	0	0	0	0	0	7.38
f_{16}	YAK	0	0	0	0	0	6.37
	FG	0	0	0	0	0	3.50
	PSO	0	0	0	0	0	1.57
	MYAK	0	0	0	0	0	6.44
f_{17}	YAK	2.93E-014	4.00E-014	3.52E-014	3.29E-014	3.65E-015	7.33
	FG	5.90E-013	1.59E-012	9.98E-013	9.53E-013	2.60E-013	4.57
	PSO	2.93E-014	2.738	0.738	0.931	0.787	3.00
	MYAK	4.44E-015	7.99E-015	6.69E-015	7.99E-015	1.74E-015	7.67
f_{18}	YAK	0	5.55E-016	5.55E-016	0	1.08E-016	7.23
	FG	0	0	0	0	0	4.45
	PSO	1.11E-016	0.080	0.025	0.020	0.025	2.90
	MYAK	0	0	0	0	0	7.31
f_{19}	YAK	3.22E-016	6.62E-016	4.98E-016	5.09E-016	6.13E-017	16.20
	FG	3.60E-024	8.76E-023	3.69E-023	3.50E-023	1.98E-023	12.80
	PSO	1.62E-032	0.191	0.094	2.34E-025	0.242	10.17
	MYAK	2.52E-032	7.66E-031	7.20E-032	4.44E-032	1.33E-031	16.66
f_{20}	YAK	3.17E-016	5.45E-016	4.77E-016	4.88E-016	6.10E-017	13.85
	FG	7.88E-025	6.62E-024	2.83E-024	2.52E-024	1.40E-024	10.90
	PSO	1.35E-032	0.021	0.003	1.35E-031	0.006	7.50
	MYAK	1.35E-032	4.92E-032	2.73E-032	2.71E-032	1.10E-032	14.07

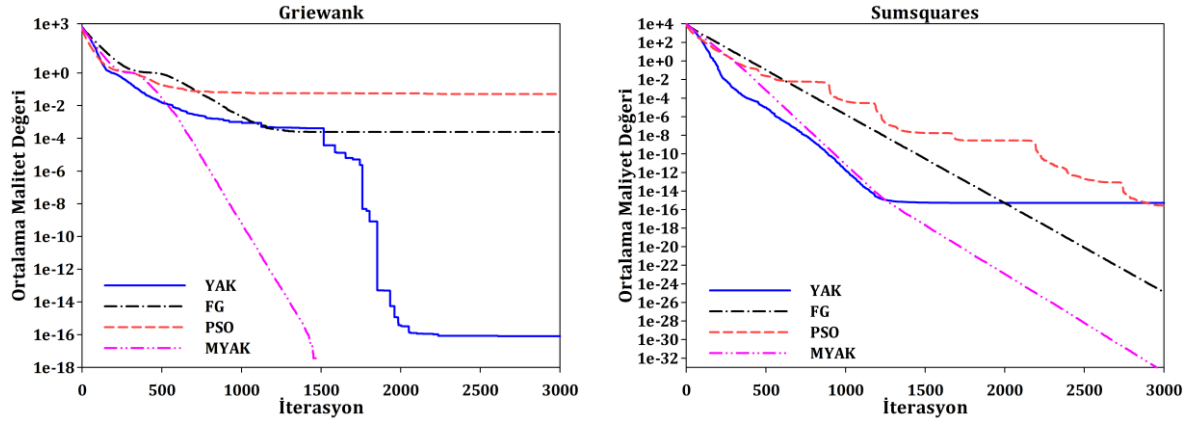
Tablo 4.6. MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının karşılaştırmalı performans sonuçları ($NP=100$)

Fonksiyon	Algoritma	En iyi	En kötü	Ortalama	Medyan	Standart sapma	Ortalama CPU Zaman (Saniye)
f_1	YAK	3.15E-016	5.52E-016	4.65E-016	4.91E-016	8.31E-017	8.53
	FG	9.72E-027	6.26E-026	3.32E-026	2.94E-026	1.46E-026	5.10
	PSO	2.34E-043	6.58E-030	2.28E-031	5.89E-039	1.20E-030	2.27
	MYAK	2.19E-034	2.33E-033	9.81E-034	8.56E-034	5.41E-034	9.23
f_2	YAK	9.59E-016	1.43E-015	1.19E-015	1.20E-015	1.40E-016	8.57
	FG	1.46E-013	7.13E-013	3.49E-013	3.21E-013	1.30E-013	5.13
	PSO	1.52E-018	2.31E-005	7.71E-006	3.17E-013	4.22E-005	2.30
	MYAK	1.40E-020	5.54E-020	2.82E-020	2.82E-020	8.87E-021	8.90
f_3	YAK	3.00E-016	7.14E-016	4.77E-016	4.86E-016	8.28E-017	8.70
	FG	5.11E-022	5.60E-021	2.05E-021	1.95E-021	1.07E-021	5.33
	PSO	5.03E-039	2.91E-028	1.04E-029	3.40E-034	5.30E-029	4.13
	MYAK	1.83E-030	1.40E-029	5.19E-030	4.48E-30	2.97E-030	9.57
f_4	YAK	0.6108	2.7661	1.3516	1.3343	0.4904	8.87
	FG	0.0064	0.0125	0.0093	0.0094	0.0013	5.21
	PSO	0.0063	2.2516	0.3505	0.1385	0.5558	3.50
	MYAK	5.67E-005	0.00020	0.00011	0.00011	3.48E-005	8.94
f_5	YAK	1.00E-003	0.6273	0.0515	0.0147	0.1170	8.70
	FG	4.76E-006	1.06E-004	2.88E-005	2.08E-005	2.36E-005	5.33
	PSO	4.7571	110.298	39.961	21.854	30.598	2.33
	MYAK	2.69E-011	1.07E-006	4.79E-008	7.29E-010	1.97E-007	9.57
f_6	YAK	0	0	0	0	0	8.50
	FG	0	0	0	0	0	5.07
	PSO	0	21	5	3	4.785	2.10
	MYAK	0	0	0	0	0	8.67
f_7	YAK	3.17E-016	6.79E-016	4.95E-016	5.04E-016	6.62E-017	8.70
	FG	5.73E-025	3.78E-024	1.41E-024	1.43E-024	6.51E-025	5.07
	PSO	6.10E-039	1.47E-031	4.92E-033	8.51E-037	2.68E-032	2.23
	MYAK	5.30E-033	4.62E-032	1.74E-032	1.46E-032	9.50E-033	8.77
f_8	YAK	2.09E-003	4.08E-003	3.16E-003	3.17E-003	4.26E-004	9.30
	FG	1.86E-011	1.06E-010	4.78E-011	4.40E-011	2.16E-011	5.67
	PSO	6.74E-005	43.650	1.4552	2.51E-004	7.969	3.07
	MYAK	6.38E-015	4.03E-014	1.63E-014	1.54E-014	8.57E-015	9.40
f_9	YAK	0	0	0	0	0	8.27
	FG	0	0	0	0	0	4.47
	PSO	0	0	0	0	0	2.23
	MYAK	0	0	0	0	0	8.38
f_{10}	YAK	-50	-50	-50	-50	1.47E-013	8.29
	FG	-50	-50	-50	-50	3.61E-014	4.55
	PSO	-50	-50	-50	-50	5.73E-014	2.27
	MYAK	-50	-50	50	-50	3.61E-014	8.41
f_{11}	YAK	-209.999	-209.921	-209.981	-209.986	2.03E-003	8.40
	FG	-210	-210	-210	-210	3.45E-013	4.53
	PSO	-210	-210	-210	-210	6.87E-012	2.03
	MYAK	-210	-210	-210	-210	3.45E-013	8.48
f_{12}	YAK	7.21E-017	1.34E-017	1.67E-015	1.22E-015	2.26E-015	8.12
	FG	0	0	0	0	0	4.41
	PSO	0	0.7621	0.0254	0	0.1391	1.83
	MYAK	0	0	0	0	0	8.20
f_{13}	YAK	-1	-1	-1	-1	0	8.20
	FG	-1	-1	-1	-1	0	4.47
	PSO	-1	-1	-1	-1	0	1.83
	MYAK	-1	-1	-1	-1	0	8.44
f_{14}	YAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	2.87E-012	9.00
	FG	-11973.1	-8976.7	-10882.4	-10928.4	693.105	5.61
	PSO	-9825.12	-1306.57	-7220.67	-8734.37	3106.25	3.67
	MYAK	-12569.5	-12569.5	-12569.5	-12569.5	1.85E-012	10.01
f_{15}	YAK	0	0	0	0	0	8.80
	FG	91.1982	114.9340	102.7690	103.4200	6.5669	5.45
	PSO	25.907	67.657	48.340	47.747	10.201	2.50
	MYAK	0	0	0	0	0	9.03
f_{16}	YAK	2.97E-016	1.00E-013	4.62E-015	1.29E-015	1.81E-014	8.06
	FG	0	0	0	0	0	4.38
	PSO	0	0	0	0	0	1.93
	MYAK	0	0	0	0	0	8.15
f_{17}	YAK	2.22E-014	4.00E-014	3.16E-014	3.29E-014	4.01E-015	9.06
	FG	6.80E-013	7.43E-012	1.69E-012	1.59E-012	1.17E-012	5.58
	PSO	2.58E-014	2.577	0.753	0.931	0.793	3.70
	MYAK	4.44E-015	7.99E-015	7.40E-015	7.99E-015	1.35E-015	9.33
f_{18}	YAK	0	1.11E-016	4.81E-017	0	5.60E-017	8.83
	FG	0	0	0	0	0	5.50
	PSO	0	0.151	0.033	0.023	0.037	3.63
	MYAK	0	0	0	0	0	9.13
f_{19}	YAK	2.26E-016	5.46E-016	4.16E-016	4.52E-016	9.11E-017	18.56
	FG	3.85E-023	4.60E-022	1.20E-022	8.63E-023	9.26E-023	14.70
	PSO	1.57E-032	0.4976	0.0399	3.07E-026	0.102	12.47
	MYAK	5.69E-032	6.12E-031	1.76E-031	1.46E-031	1.13E-031	18.63
f_{20}	YAK	1.77E-016	5.48E-016	4.44E-016	4.63E-016	7.84E-017	16.59
	FG	2.13E-024	2.09E-023	9.20E-024	8.20E-024	5.08E-024	12.80
	PSO	1.35E-032	0.055	0.007	1.47E-032	0.014	10.70
	MYAK	3.20E-032	2.51E-031	8.22E-032	7.51E-032	4.63E-032	16.71

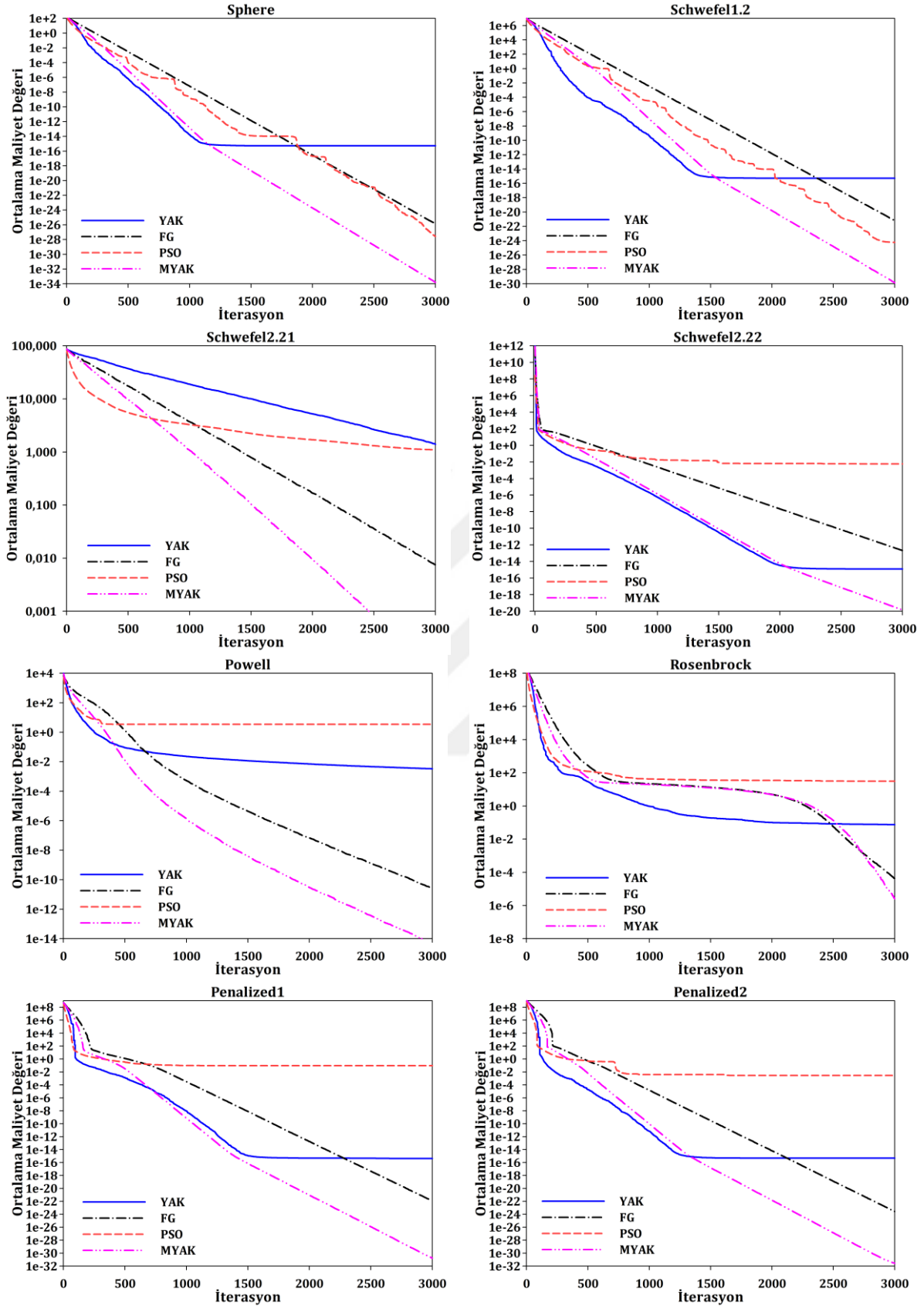
Tablo 4.7. Friedman testi ile hesaplanan MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama rank değerleri ($NP=40$, $NP=60$, $NP=80$ ve $NP=100$) [213, 214]

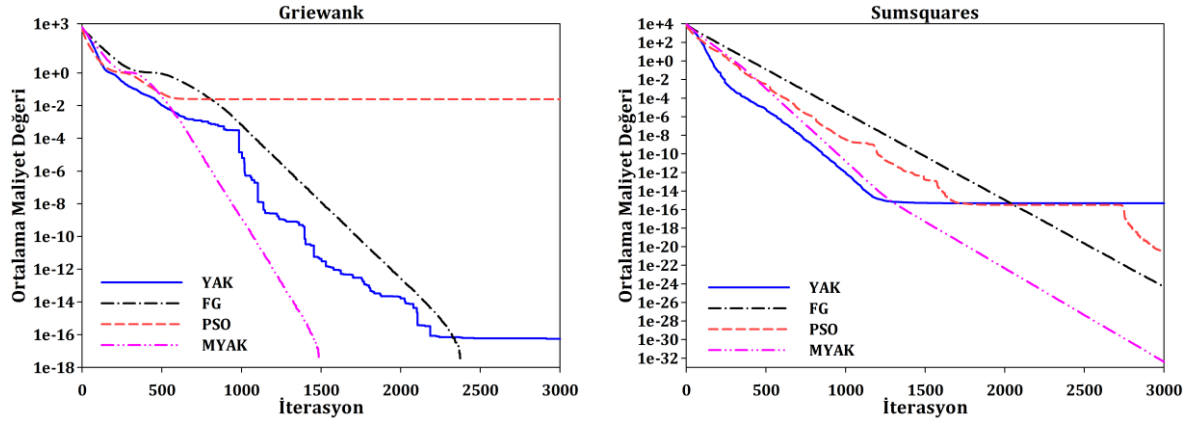
Fonksiyon	Popülasyon sayısı															
	$NP=40$				$NP=60$				$NP=80$				$NP=100$			
	YAK	FG	PSO	MYAK	YAK	FG	PSO	MYAK	YAK	FG	PSO	MYAK	YAK	FG	PSO	MYAK
f_1	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00
f_2	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00
f_3	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00
f_4	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00
f_5	2.00	1.00	4.00	3.00	2.00	1.00	4.00	3.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00
f_6	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00
f_7	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	4.00	3.00	1.00	2.00
f_8	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00
f_9	2.00	2.00	4.00	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
f_{10}	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
f_{11}	3.00	2.00	4.00	1.00	4.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00
f_{12}	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	1.50	4.00	1.50	3.00	1.50	4.00	1.50
f_{13}	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
f_{14}	1.00	3.00	4.00	2.00	1.50	3.00	4.00	1.50	1.50	3.00	4.00	1.50	1.50	4.00	3.00	1.50
f_{15}	1.50	4.00	3.00	1.50	1.50	4.00	3.00	1.50	1.50	4.00	3.00	1.50	1.50	4.00	3.00	1.50
f_{16}	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	4.00	2.00	2.00	2.00
f_{17}	2.00	3.00	4.00	1.00	2.0	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00
f_{18}	3.00	1.00	4.00	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	3.00	1.50	4.00	1.50	3.00	1.50	4.00	1.50
f_{19}	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00
f_{20}	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	2.00	4.00	1.00
Ortalama rank değeri	2.50	2.23	3.73	1.55	2.75	2.35	3.35	1.55	2.85	2.40	3.25	1.50	2.93	2.48	3.08	1.53



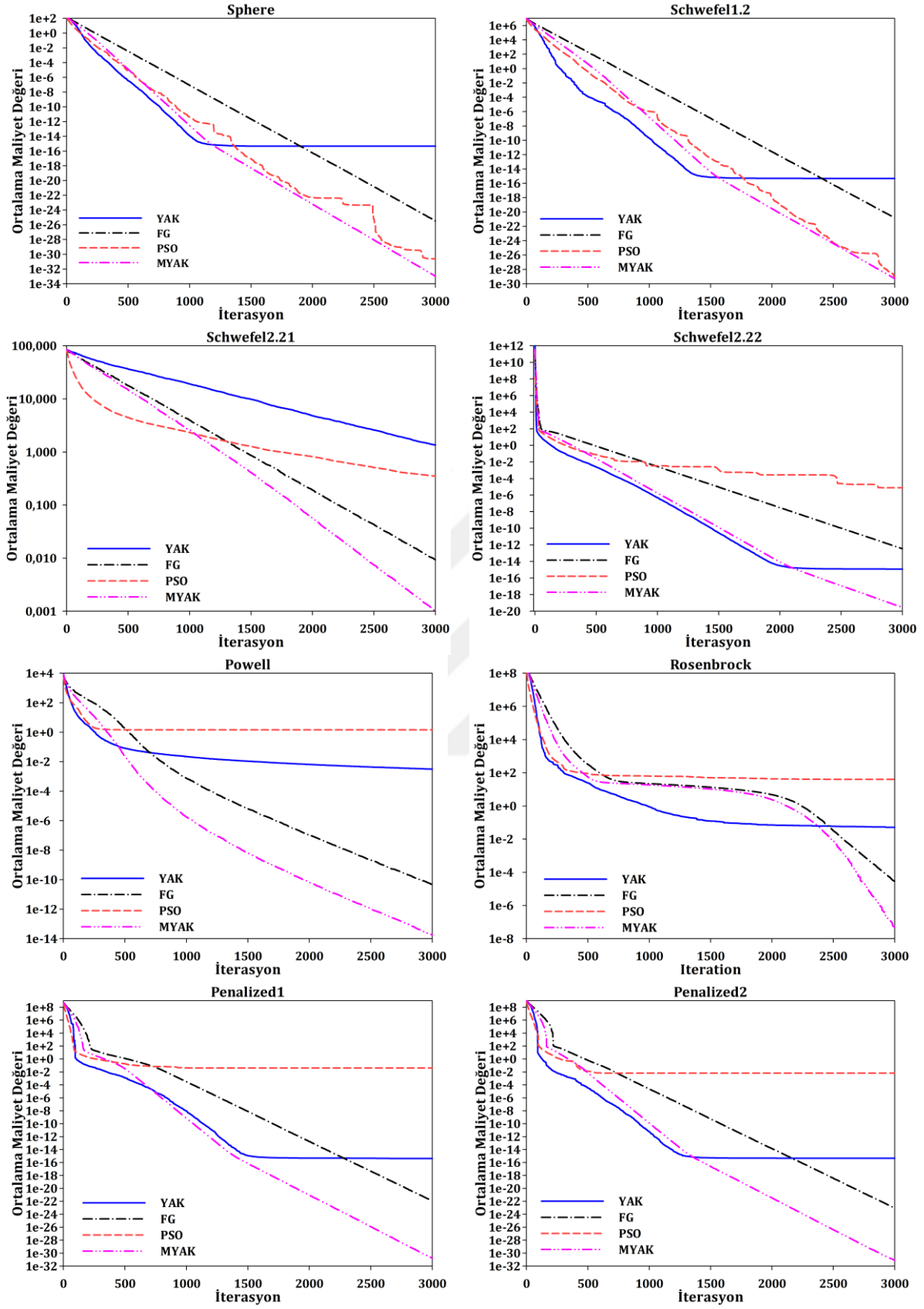


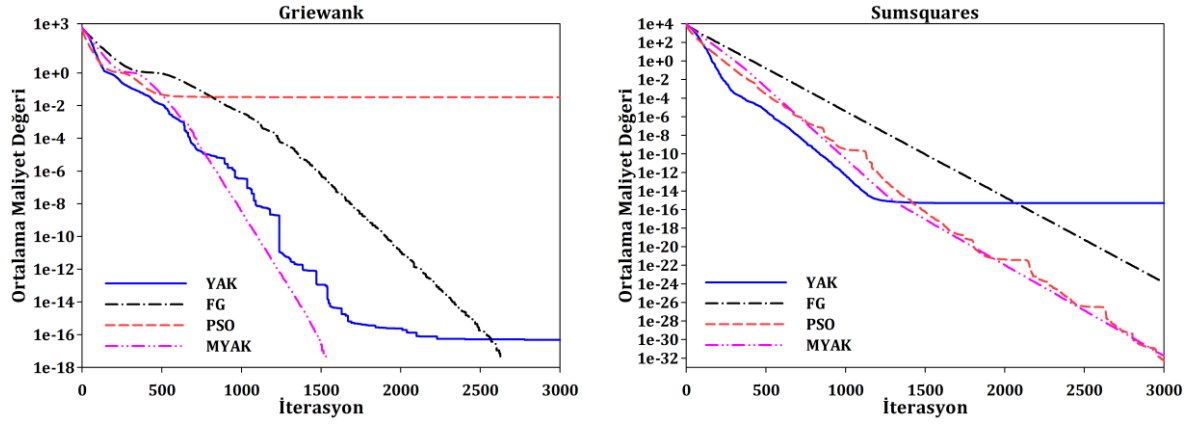
Şekil 4.1. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları ($NP=60$)



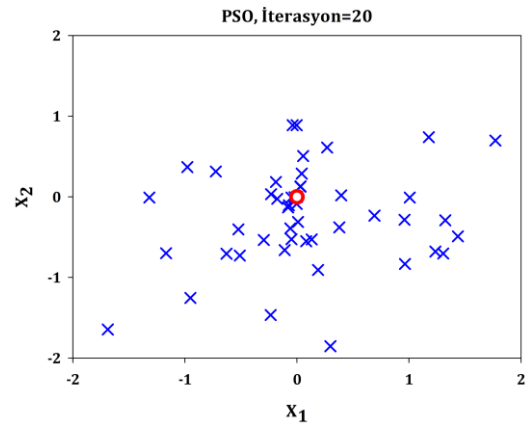
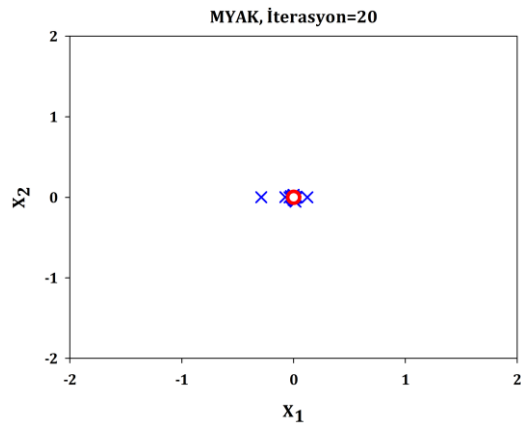
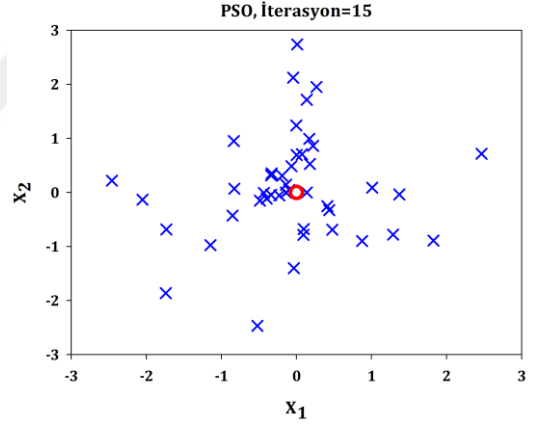
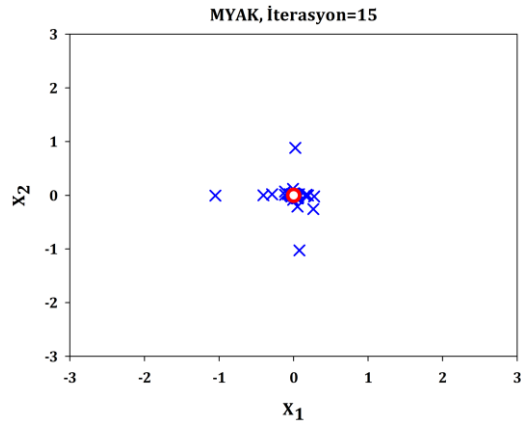
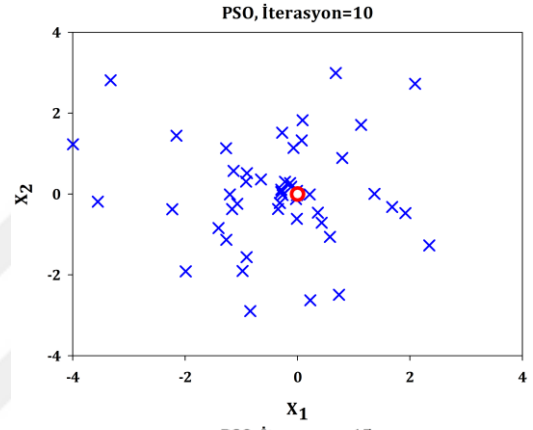
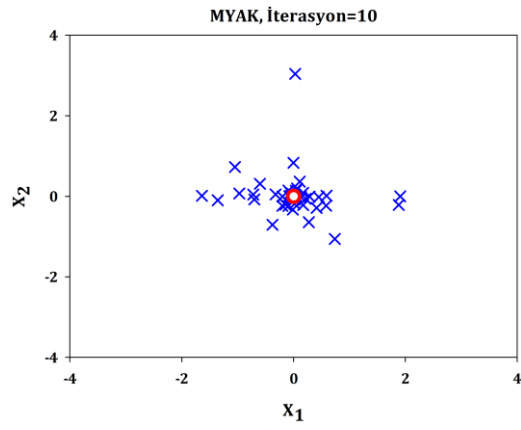
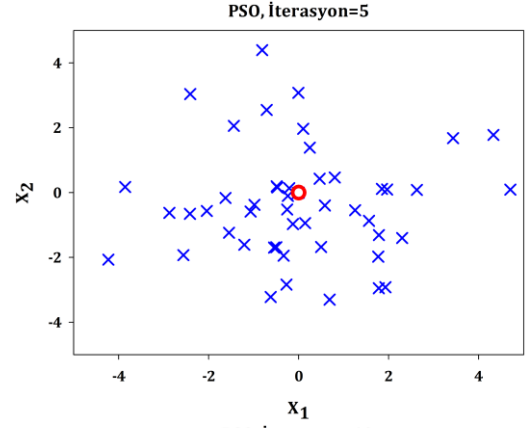
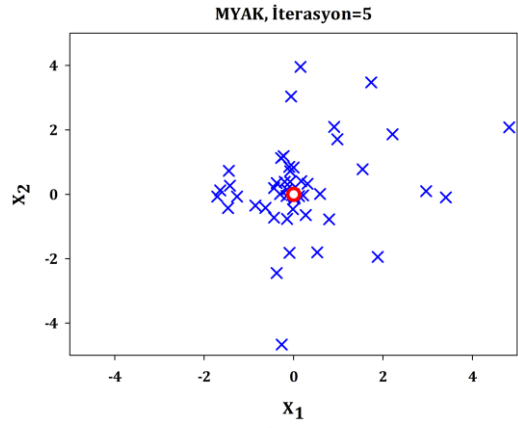


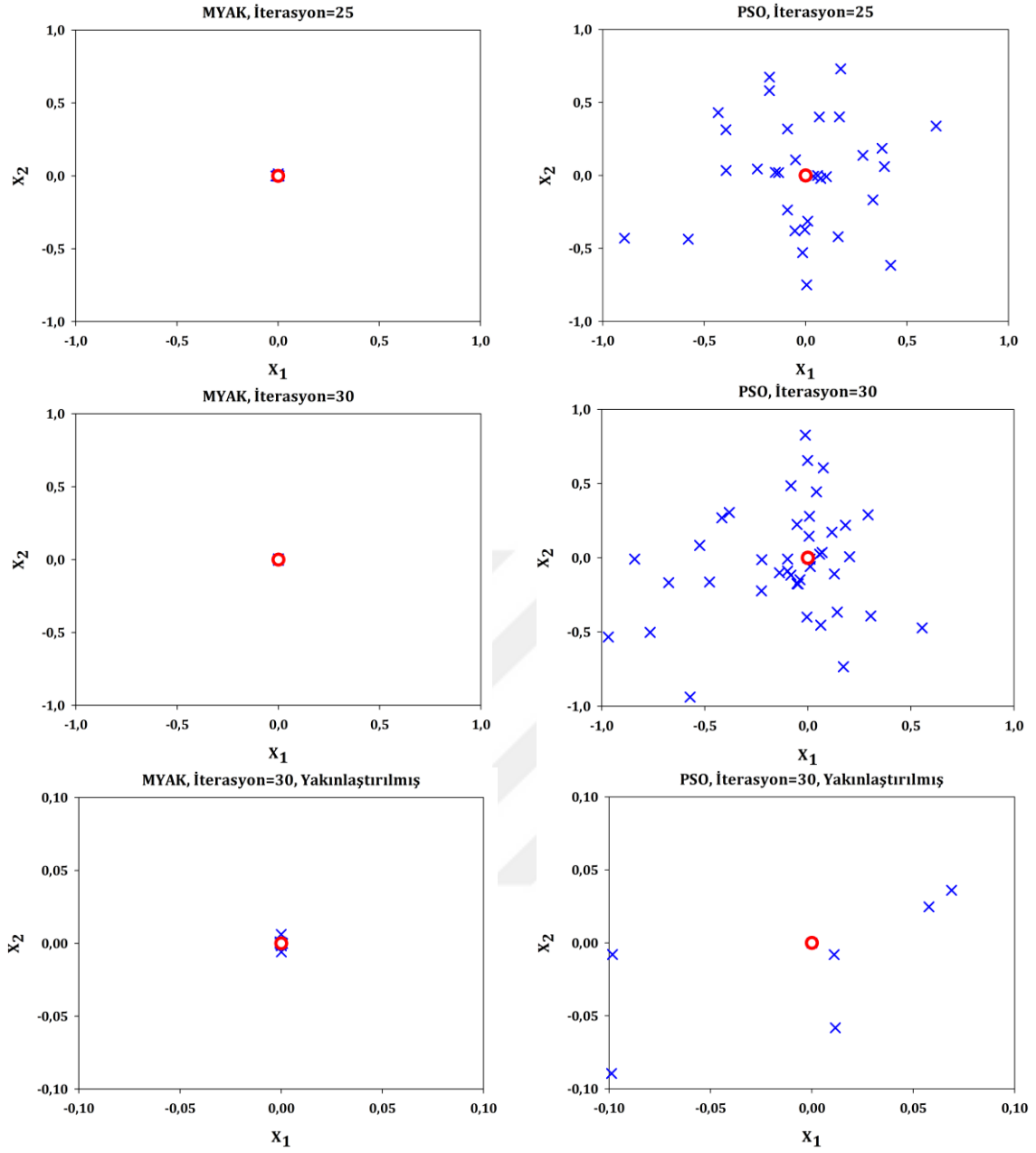
Şekil 4.2. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları ($NP=80$)



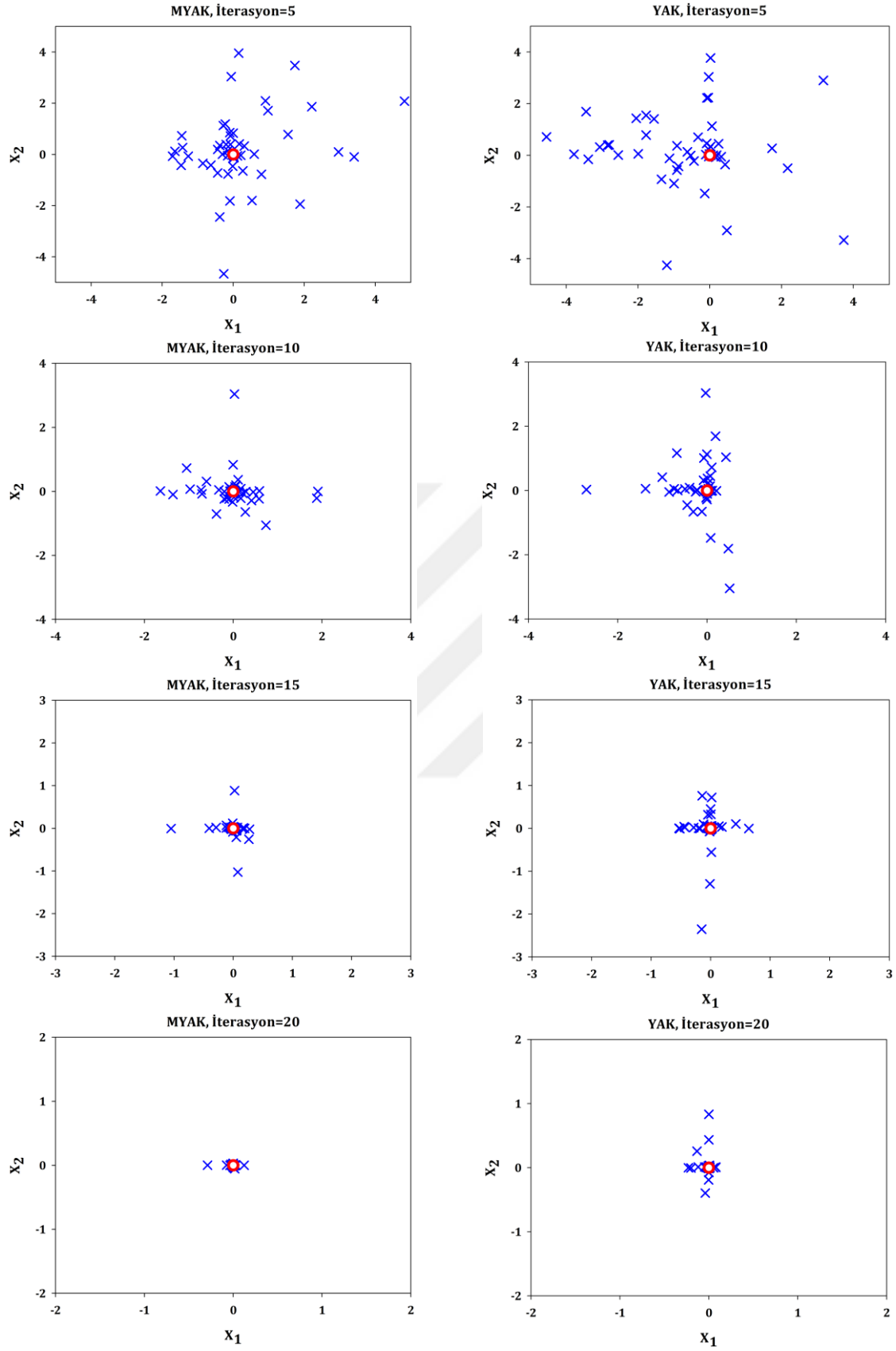


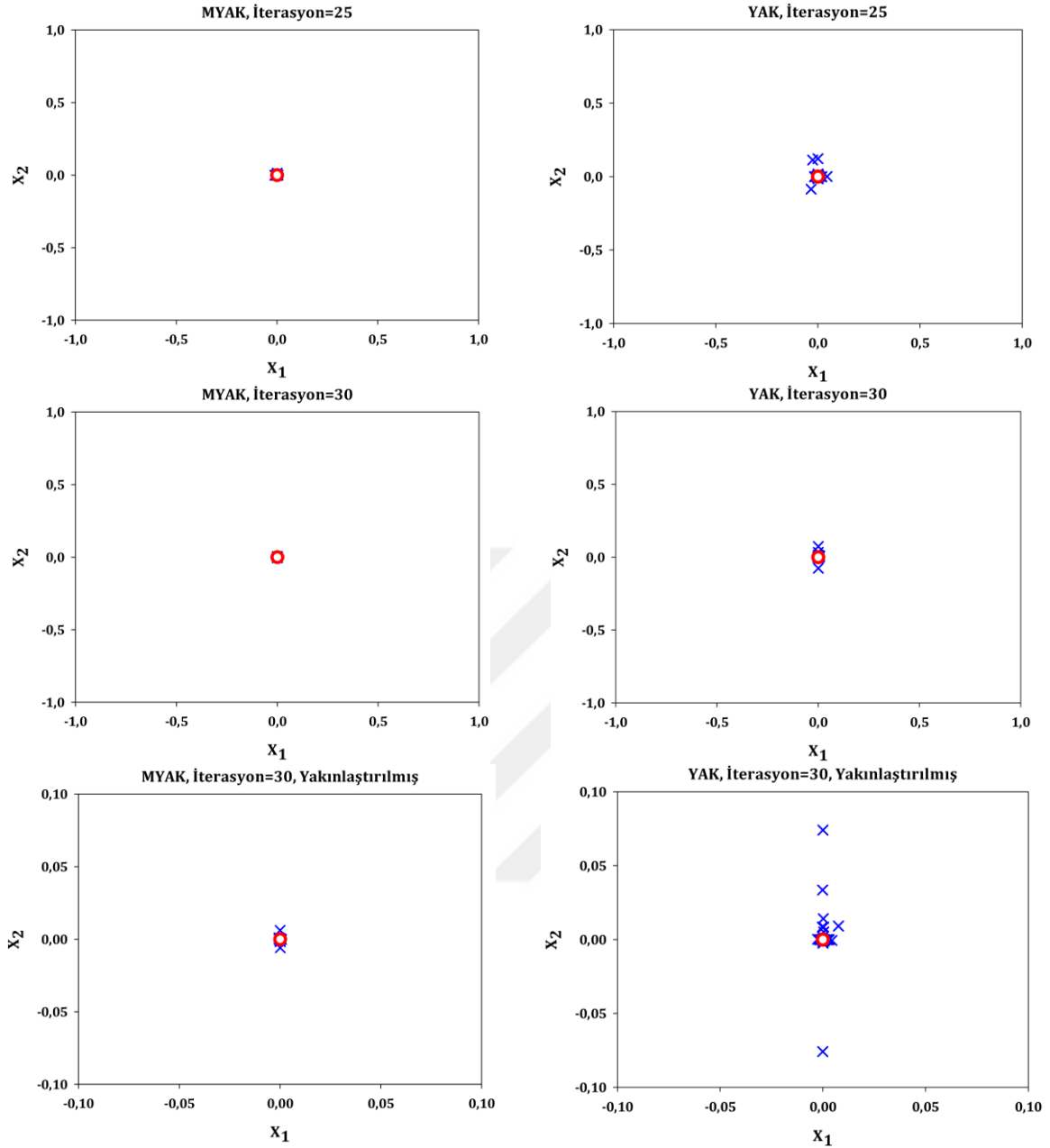
Şekil 4.3. Çeşitli optimizasyon test fonksiyonları için 30 kez koşturulduktan sonra MYAK, YAK, FG ve PSO algoritmalarının ortalama yakınsama performansları ($NP=100$)



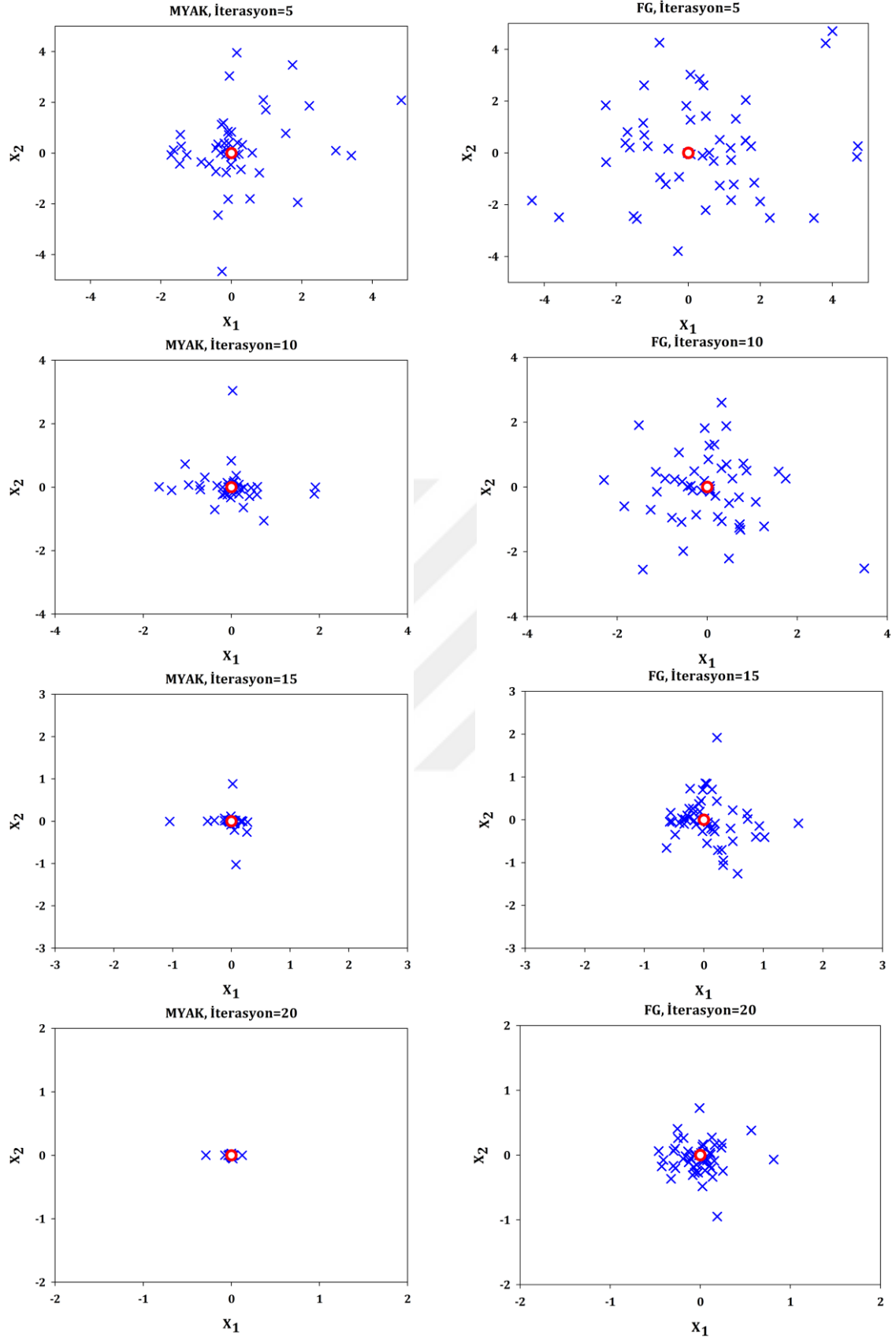


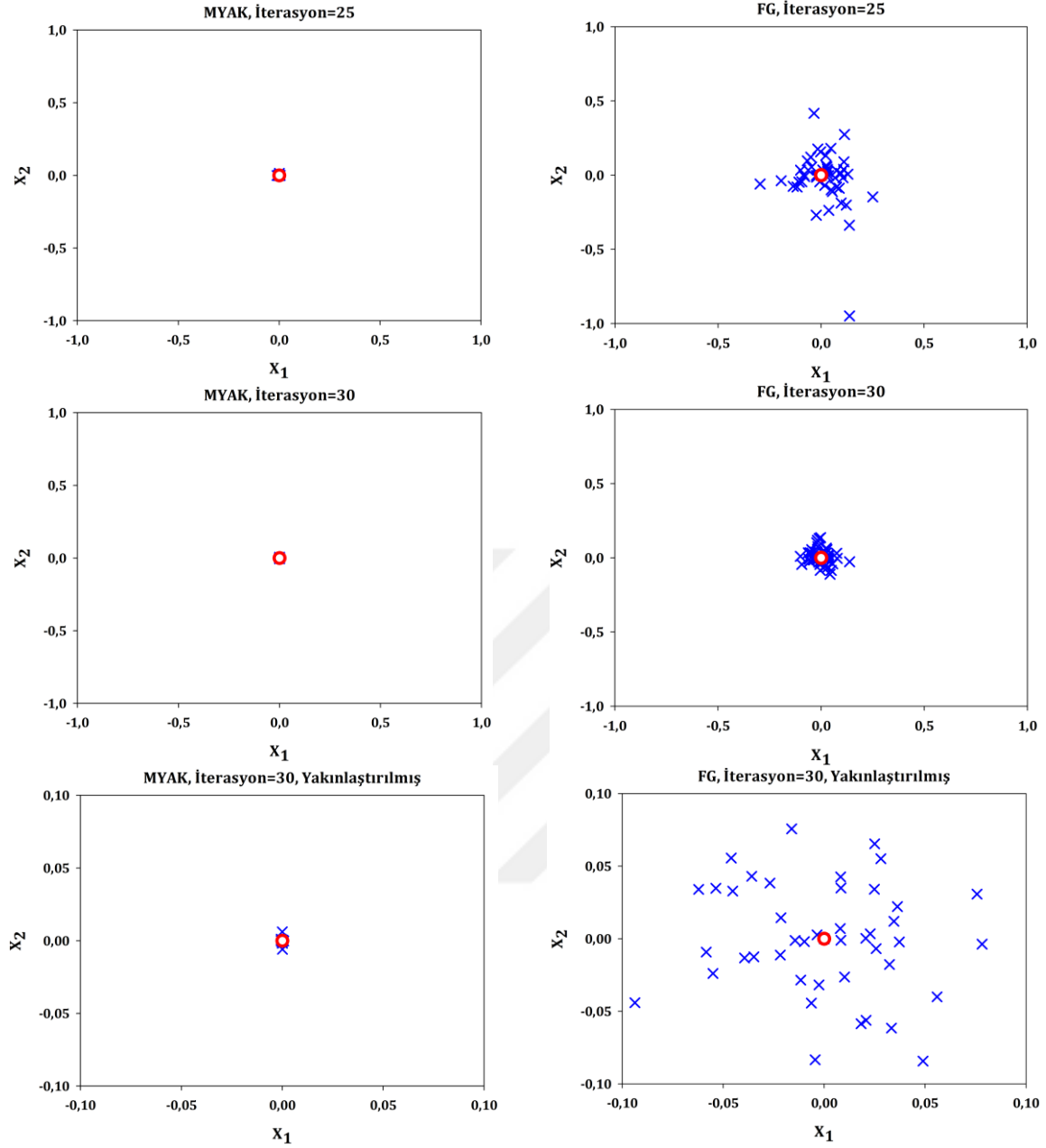
Şekil 4.4. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve PSO algoritmalarının yakınsama hızları





Şekil 4.5. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve YAK algoritmaların yakınsama hızları





Şekil 4.6. İki boyutlu Sphere fonksiyonu üzerinde MYAK ve FG algoritmaların yakınsama hızları

Tablo 4.8. Altı farklı test fonksiyonu üzerinde bağımsız koşuturulan MYAK, MYAKFG, YAK ve MFG algoritmalarının karşılaştırmalı deneysel sonuçları

Fonksiyonlar	Algoritmalar	Ortalama	Standart sapma	En düşük	En yüksek
f_1 -Sphere	YAK [109]	2.883E-023	8.286E-023	1.212E-025	6.250E-022
	MYAKFG [109]	1.165E-035	4.207E-035	2.131E-039	2.486E-034
	MFG [109]	1.665E-004	1.274E-003	0	9.954E-003
	MYAK	1.541E-037	1.594E-037	8.416E-039	7.510E-037
f_2 -Quartic with noise	YAK [109]	6.526E-002	1.449E-002	4.075E-002	1.123E-001
	MYAKFG [109]	2.431E-002	4.746E-003	1.255E-002	3.737E-002
	MFG [109]	6.558E-004	2.848E-004	3.475E-004	2.319E-003
	MYAK	8.573E-003	2.108E-003	3.559E-003	1.415E-002
f_3 -Rosenbrock	YAK [109]	0.438	0.192	4.74E-003	9.005
	MYAKFG [109]	0.183	0.298	5.75E-003	1.597
	MFG [109]	27.143	0.529	2.54E+001	27.969
	MYAK	1.028E-011	4.031E-011	2.038E-014	5.018E-014
f_4 -Ackley	YAK [109]	3.946E-014	4.228E-015	2.887E-014	5.018E-014
	MYAKFG [109]	3.147E-014	3.122E-015	2.176E-014	3.952E-014
	MFG [109]	2.078E-006	1.239E-015	3.997E-015	9.386E-005
	MYAK	6.158E-015	1.790E-015	4.441E-015	7.994E-015
f_5 -Griewank	YAK [109]	6.077E-009	4.029E-008	0	3.130E-007
	MYAKFG [109]	3.574E-008	1.994E-008	0	1.552E-008
	MFG [109]	8.008E-004	2.790E-003	0	1.232E-002
	MYAK	0	0	0	0
f_6 -Rastrigin	YAK [109]	0	0	0	0
	MYAKFG [109]	0	0	0	0
	MFG [109]	61.137	43.580	2.985	140.020
	MYAK	0	0	0	0

4.2. UMTS, WLAN ve WiMAX İletişim Teknolojileri ile Uyumlu Çift-Bantlı Monopol Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi

Bu bölümde, YAK algoritması ile entegre tasarım sistemi kullanılarak UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları ile uyumlu, 1.78–3.90 GHz ile 5.00–6.54 GHz frekans aralıklarında çalışan $42 \times 51 \times 1.6$ mm³ boyutlarında bir çift-bantlı monopol anten tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Monopol anten mikroşerit hat beslemeli bir düzlemsel ışıyıcı ile yaklaşık olarak yarı ölçülere sahip bir toprak düzleminden meydana gelmektedir. Monopole antene ait bant genişliği, ışıma örüntüsü, yüzey akım dağılımı ve kazanç gibi anten performans parametreleri elde edilmiştir. Monopol antenin benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları tolere edilebilir sınırlar içerisinde uyumlu olarak bulunmuştur. Ayrıca, YAK algoritması kullanılarak tasarlanmış çift-bantlı monopol antenin çalışma bantları açısından değerlendirildiğinde, daha önce literatüre sunulmuş antenlere kıyasla çok daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir.

4.2.1. Anten Tasarım Süreci

Bu çalışmada, monopol anten tasarım sürecinde MATLAB® yazılım ortamında geliştirilen bir program kodu ile YAK algoritması ve HyperLynx® 3B EM programının birlikte entegre edilerek oluşturulan bir optimizasyon tasarım yöntemi kullanılmıştır. Tasarım üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, HyperLynx® 3B EM programı kullanarak kaba bir anten

geometrisinin analizi gerçekleştirildi. İkinci ve üçüncü aşamalarda ise en uygun anten geometrisi tespit edilmiştir. Bu son iki aşamada, belirtilen tasarım amaçlarına göre önerilen entegre optimizasyon metodunu kullanarak yama ve zemin düzlemindeki yuvaların ve fiziksel parametrelerin en uygun değerini hesaplamayı içerir. Ayrıca, YAK algoritmasının performansının karşılaştırılması amacı ile FG ve PSO algoritmaları da tasarım süreçlerinde kullanılmıştır. Optimizasyon işlemleri, Intel i7 3.40 GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir kişisel bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Tasarım için 4.4 dielektrik sabitli 1.6 mm yüksekliğinde FR4 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Benzetimde, 1 Voltluk dalga kaynağı ile uyarılan 3 mm kalınlığına sahip 50 Ω 'luk mikroşerit hat beslemeli bir ışıma elemanından oluşmaktadır. Ayrıca, dalga boyu oranı başına düşen ızgaralama değeri 7 GHz üst sınır olmak üzere 20 olarak ayarlanmıştır. Kullanılan optimizasyon amaç fonksiyonu içerisinde, hedeflenen amaçlara göre, ışıma modeli, kazanç polarizasyon gibi diğer anten parametreleri de kullanılabilir. Ancak, çoklu-optimizasyon amaç fonksiyonlarının, optimizasyon problemleri için en uygun çözümleri bulma süresinin ve bilgisayar sistem gereksinimlerinin artması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Anten tasarım sürecimizde bu dezavantajlarından sakınmak için, kullanılan amaç fonksiyonu içerisinde anten çalışma bandı için çok önemli faktörlerden biri olan S_{11} parametresi dikkate alınmıştır. Optimizasyon işlemi içerisinde gerçekleştirilen benzetimler 1 GHz ile 7 GHz aralığında 61 frekans noktasında üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak, Eşitlik (4.1)'de verilen maliyet (amaç) fonksiyonunun (MF) içerisinde, tasarım amacına yönelik olan UMTS, WLAN ve WiMAX ile ilgili 9 adet frekans noktası seçilmiştir.

$$MF = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N M(f_n) \quad (4.1)$$

$$M(f_n) = \begin{cases} 0, & \text{if } (S_{11\text{Elde edilen}} < S_{11\text{Istenen}}) \\ |S_{11\text{Istenen}} - S_{11\text{Elde edilen}}|, & \text{other} \end{cases} \quad (4.2)$$

Burada, Eşitlik (4.2)'de verilen M , MF içerisindeki maliyet terimleridir ve $n=1, 2, \dots, N=9$ ' dir. Buna ek olarak, $f_n = \{1.9, 2.0, 2.1, 2.4, 2.5, 3.5, 5.2, 5.5, 5.8\}$ GHz frekans değerlerine sahiptir. Bu çalışma için, $S_{11\text{Istenen}}$ parametrenin minimum değeri -30 dB olarak seçilmiştir. Önerilen entegre tasarım sisteminin akış şeması Şekil 4.7'de verilmiştir. Optimizasyon işlemi yürüten entegre optimizasyon program ara yüzü esas olarak YAK algoritmasının ürettiği olası çözümleri, HyperLynx® tarafından üretilen benzetim (.sim) ve s-parametresi (.sp) dosyalarına yazma ve okuma işlemlerini gerçekleştirmektedir. İlk adımda, YAK algoritmasına ait, deneme, iterasyon sayısı ve koloni boyutunun ilk değerleri atanır. Daha sonra, anten tasarım değişkenlerini temsil eden olası çözümleri rastgele olarak üretilir. Entegre optimizasyon tekniği içerisindeki YAK algoritması tarafından bu olası çözümler, üretilen benzetim (.sim) dosyasına yazılır ve yeni

benzetim (.sim) dosyası, HyperLynx® program tarafından benzetimi gerçekleştirilir. Benzetim işleminden sonra ulaşılan anten geri dönüş kaybı sonuçları s-parametresi (.sp) dosyasının içerisine kayıt edilmektedir. Son aşamada ise, MF değerleri, geri dönüş kayıpları kullanılarak hesaplanır ve elde edilen olası çözümler YAK algoritması tarafından MF değerlerine göre geliştirir. Algoritma, daha iyi anten tasarımlarını gerçekleştirmek amacı ile olası çözümler olarak adlandırılan yeni veri setlerini üretir ve bu veri setlerini yinelemeli olarak belirlenen hedef iterasyon sayısına kadar geliştirilmeye devam eder.

Bütün anten tasarımlarında, popülasyon boyutu 50 maksimum jenerasyon sayısı ya da iterasyon sayısı 100 olarak alınmıştır. Aşağıda tasarımda kullanılan algoritmalara ait özel parametrelere ait bilgiler verilmiştir.

YAK ayarları: YAK algoritmasının limit parametre değeri koloninin popülasyon boyutu ile problemin boyutuna bağlı olarak Eşitlik (4.3)'de verildiği gibi tanımlanmıştır.

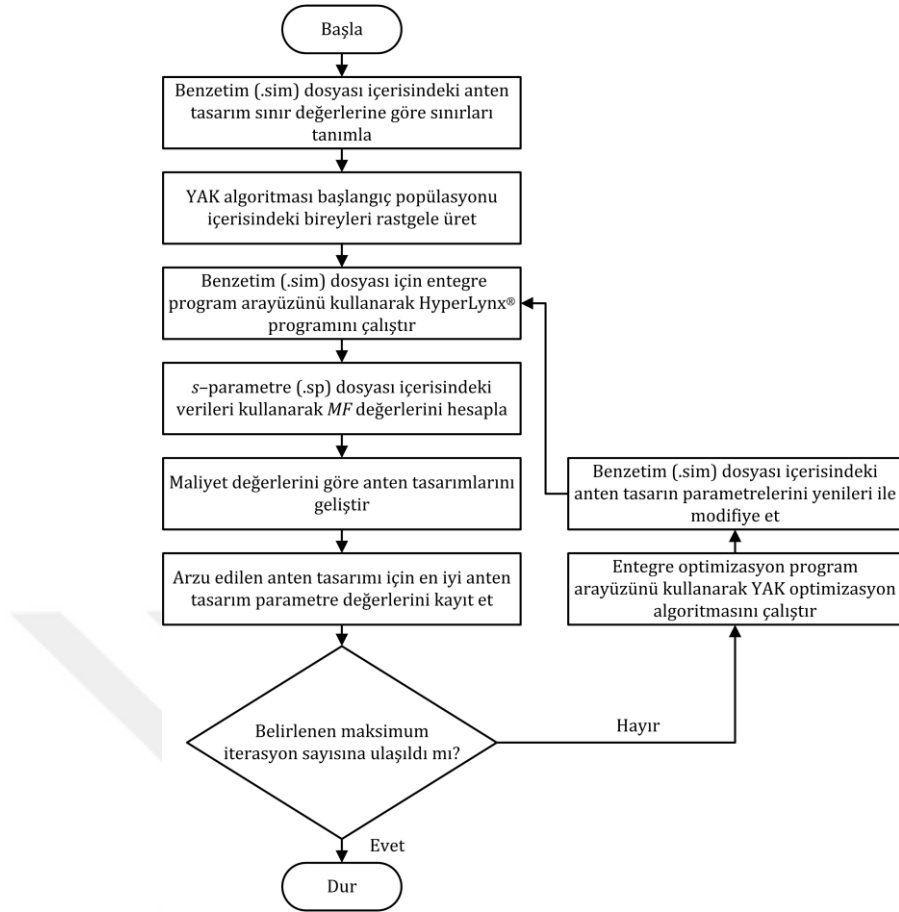
$$limit = SN \times D \quad (4.3)$$

burada, SN işçi arı sayısı veya yiyecek kaynağı sayısıdır ve D problem boyutunu temsil etmektedir.

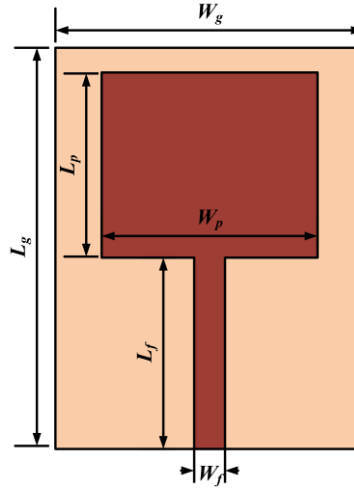
FG ayarları: Çözümler arasında farklılıklar sağlamak amacı ile kullanılan F reel bir sabit sayıdır. Bu çalışma için bu değer 0.6 belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma için popülasyon içerisindeki çeşitliliği sağlamak amaçlı kullanılan çaprazlama değeri ise 0.9 olarak seçilmiştir.

PSO ayarları: Bilişsel ve sosyal sabitleri olarak adlandırılan φ_1 ve φ_2 parametreleri, popülasyon deneyimleri ve bireyler arasındaki ağırlığın değişimleri için kullanılmaktadır. Bu çalışma için sabit değerlerinin her ikisi için 1.8 ve parçacıkların hızını ölçekleme faktörü olarak ta kullanılan atalet ağırlık değeri 0.6 olarak ayarlanmıştır.

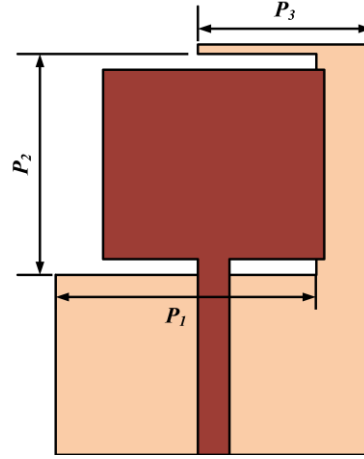
Anten tasarım sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için, anten tasarımı üç ana aşama ile gösterilerek anlatılmıştır. Her bir tasarım adımı içerisinde YAK algoritması ile elde edilen anten nihai geometrilerine ait tasarımlar, sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' gösterilmiştir ve bu anten geometrilerine ait S_{11} eğrileri ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Aşama 1 için Şekil 4.8'de verilen bir dikdörtgen şekilli mikroşerit anten, başlangıç anten tasarım geometrisi olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bu antene ait fiziksel parametreler Tablo 4.8'de verilmiştir. Aşama 1'de dikkate alınan başlangıç anteninin, sadece 4.5 GHz ve 5.25 GHz frekanslarında çalıştığı Şekil 4.11'den açık bir şekilde görülmektedir. Aşama 1'deki anten tasarımının performansının, UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları için arzu edilen çalışma bantları açısından yeterli olmadığı S_{11} eğrisinden görülmektedir.



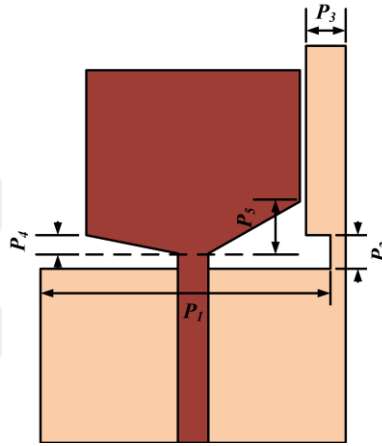
Şekil 4.7. Önerilen anten tasarımı için kullanılan optimizasyon tekniğine ait akış diyagramı



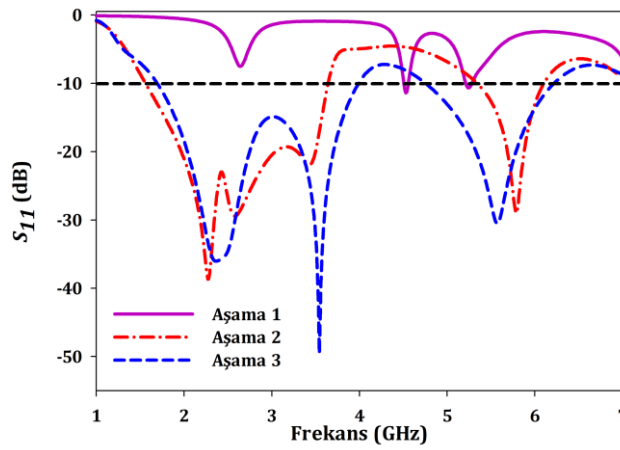
Şekil 4.8. Aşama 1’de ele alınan dikdörtgen şekilli mikroşerit anten geometrisi



Şekil 4.9. Aşama 2’de YAK algoritması ile elde edilen monopole anten geometrisi



Şekil 4.10. Aşama 3’de YAK algoritması ile elde edilen monopol antenin nihai geometrisi



Şekil 4.11. Aşama 1, 2 ve 3 için anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri

Tablo 4.9. Aşama 1’de ele alınan dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin boyutları (mm)

Anten boyutları	L_g	W_g	L_p	W_p	L_f	W_f
Değer	51	42	25	30	19	3

Aşama 1’deki ele alınan antene ait S_{11} performansı arttırmak amacıyla, başlangıç antenin iletken yama ve toprak düzlemleri üzerine oyuk kazıma yöntemi uygulanarak modifiye edildi. Benzetim denemeleri gerçekleştirilerek S_{11} parametresini etkileyen uygun olan fiziksel parametreler belirlendi. Birçok denemeden sonra iyi sonuçlar üreten P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ve P_5 parametreler optimizasyon sürecinde kullanılmak üzere seçildi. P_1 , P_2 , ve P_3 parametreleri toprak düzlemindeki değişimlerini ve P_4 ve P_5 parametreleri ise antenin iletken yama kısmındaki değişimleri temsil etmektedir. Aşama 2’de, antenin toprak düzleminde seçilen P_1 , P_2 ve P_3 parametreleri, YAK, FG ve PSO algoritmaları kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirildi. Optimizasyon sürecinde kullanılan parametrelere ait alt ve üst sınırlar Tablo 4.9’da ve optimizasyon işlemi ile bu parametrelere ait belirlenen en uygun değerler ise Tablo 4.10’da verilmiştir. Ayrıca, Aşama 2 için, YAK, FG ve PSO algoritmalarıyla elde edilen en iyi normalize edilmiş maliyet değerleri de Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Bu aşama için değerlendirme yapıldığında, YAK algoritması ile elde edilen en iyi normalize edilmiş maliyet değerlerinin FG ve PSO algoritmaları ile elde edilmiş değerlerden çok daha küçük olduğu açıkça görülmektedir. Buna ek olarak, bütün algoritmalar için yakınsama hız performanslarını gösteren eğrilerinin verildiği Şekil 4.12 incelendiğinde, YAK algoritmasının yakınsama hızının diğerlerine göre çok daha hızlı olduğu görülmektedir. Şekil 4.13’te her bir algoritma ile ele edilen anten tasarımlarına ait S_{11} parametre eğrileri verilmiştir. Kullanılan optimizasyon algoritmaları yardımıyla, monopole anten tasarımının çalışma frekans bantlarında iyileşme elde edilmiştir. FG ve PSO algoritmaları kullanılarak elde edilen anten tasarımlarının, WLAN ve UMTS için yukarıda bahsedilen tüm çalışma bantlarını kapsadıkları görülmektedir. YAK algoritması ile tasarlanan antenin, birinci çalışma bandı için -10 dB altındaki bant genişliği 1.56 GHz ile 3.64 GHz arasındadır. İkinci çalışma bandı için ise 5.34 GHz ile 6.10 GHz frekans aralığındadır. Ayrıca ilgili anten tasarımı WiMAX uygulaması için arzu edilen 3.5 GHz bandını da kapsamaktadır. Ancak, ikinci çalışma bant aralığı yeterli değildir. Antenin iletken yama kısmında açılan oyuklar S_{11} parametresi üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Bundan dolayı Aşama 3 için, nihai anten geometrisinde iletken yamanın her iki alt köşesinde simetrik olarak kesme işlemi gerçekleştirilerek yeniden şekillendirildi ve eski tasarım parametrelerini iki yeni parametre eklendi. Daha sonra P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ve P_5 toplam beş parametre yeni optimizasyon işlemine tabi tutuldu. Optimizasyon işleminde kullanılan tasarım parametrelerine ait alt ve üst sınır değerleri Tablo 4.13’de, optimizasyon sonucu elde edilen en uygun tasarım parametre değerleri ise Tablo 4.14’de verilmiştir. YAK, FG ve PSO ile optimizasyon süreçlerinde elde edilen normalize edilmiş en iyi maliyet değerleri Tablo 4.15’te verilmiştir. YAK algoritması ile ulaşılan normalize edilmiş en iyi maliyet değeri, FG ve PSO algoritmaların ulaştığı

değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 4.14'te optimizasyon işleminde kullanılan algoritmalara ait yakınsama hız grafikleri incelendiğinde YAK algoritmasının FG ve PSO algoritmalarına göre daha yüksek bir yakınsama hızına sahip olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 4.15'te verilen S_{11} parametre eğrileri değerlendirildiğinde, gerçekleştirilen en son modifikasyon ile bu çalışmada kullanılan tüm algoritmalar ile yapılan anten tasarımlarının birinci bandının derin ve geniş bir aralığa ulaşmıştır. Ayrıca, YAK ve FG algoritmaları için ikinci bant üst frekanslara doğru kaymış ve genişlemiştir. YAK ile entegre edilerek oluşturulmuş optimizasyon yöntemi ile tasarlanan monopole anten için birinci ve ikinci çalışma bandı empedans bant genişlikleri sırasıyla 2.30 GHz (1.69 GHz–3.99 GHz) ve 1.47 GHz (4.75 GHz–6.22 GHz)'dir. Benzetim sonuçlarına göre, nihai anten tasarımının çalışma bantları, yukarıda bahsedilen ve arzu edilen UMTS, WLAN ve WiMAX çalışma bantlarının tamamını kapsamaktadır.

Tablo 4.10. Aşama 2'deki optimizasyon işlemleri için kullanılan optimizasyon tasarım parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri (mm)

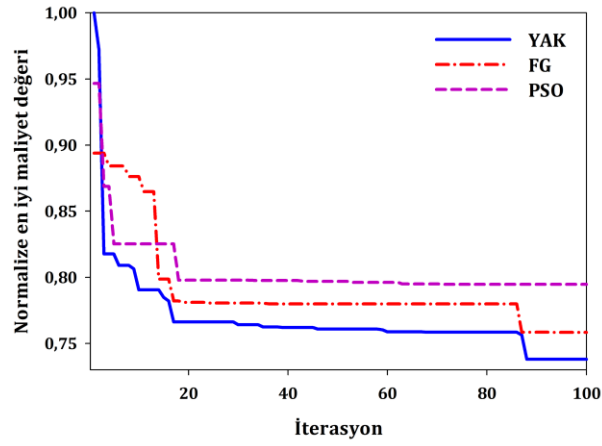
Parametre	P_1	P_2	P_3
Alt sınır	0	0	0
Üst sınır	41	41	42

Tablo 4.11. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en uygun parametre değerleri

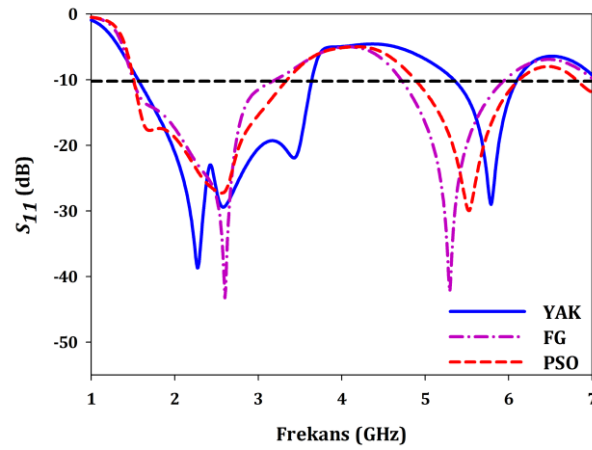
	Algoritma		
	YAK	FG	PSO
P_1 değeri	35.2	37.0	40.4
P_2 değeri	14.5	0.8	20.0
P_3 değeri	21.8	5.0	7.7

Tablo 4.12. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen normalize edilmiş en uygun maliyet değerleri

Algoritma	Normalize en iyi maliyet değer
YAK	0.7379
FG	0.7583
PSO	0.7946



Şekil 4.12. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait gelişim eğrileri



Şekil 4.13. Aşama 2 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri

Tablo 4.13. Aşama 3'deki optimizasyon işlemleri için kullanılan optimizasyon tasarım parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri (mm)

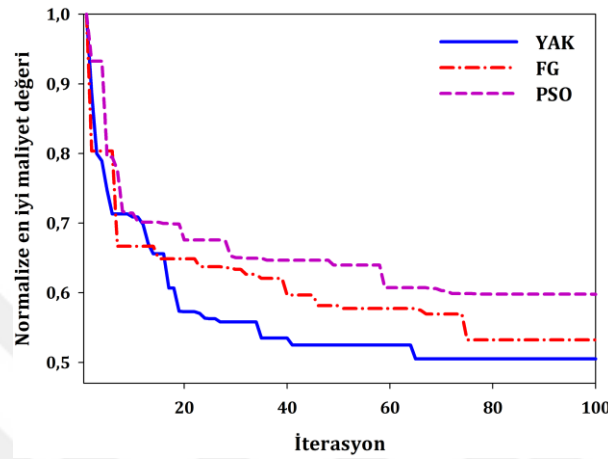
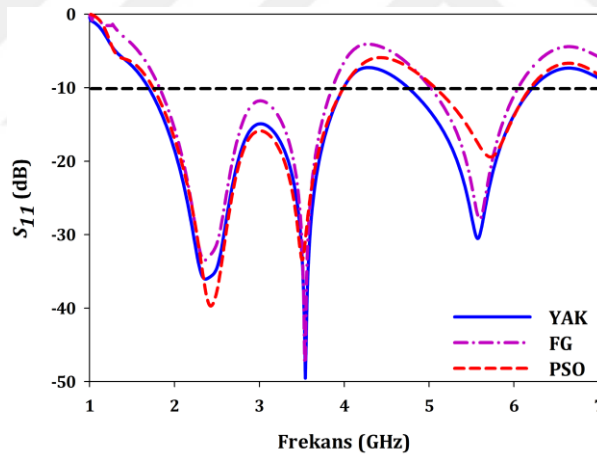
Parametre	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Alt sınır	0	0	0	0	0
Üst sınır	41	41	42	15	15

Tablo 4.14. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en uygun parametre değerleri

	Algoritma		
	YAK	FG	PSO
P_1 değeri	40.5	40.6	40.4
P_2 değeri	4.9	4.2	20.1
P_3 değeri	3.7	3.6	3.0
P_4 değeri	0.7	0.7	0.5
P_5 değeri	5.5	5.6	7.1

Tablo 4.15. Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen normalize edilmiş en uygun maliyet değerleri

Algoritma	Normalize en iyi maliyet değeri
YAK	0.5049
FG	0.5325
PSO	0.5975

**Şekil 4.14.** Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmalarına ait gelişim eğrileri**Şekil 4.15.** Aşama 3 için YAK, FG ve PSO algoritmaları ile elde edilen anten tasarımlarına ait S_{11} parametre değişimleri

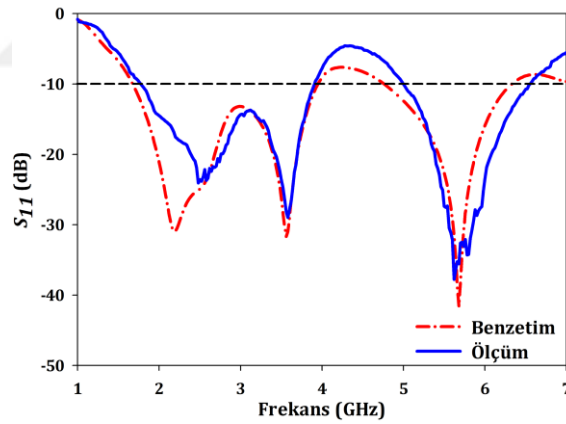
4.2.2. Monopol Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi

Antenin iletken yama bileşeni ve toprak düzlemi FR4 baskı devre kartı üzerine LPKF ProtoMat E33 baskı devre kartı çizici cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Epoksi cam özelliğine sahip olan FR4, iyi mekanik özellikleri ve düşük maliyetli olmalarından dolayı birçok mikrodalga anten ve filtre tasarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir materyaldir. Sunulan tasarımda, yüksekliği 1.6 mm, dielektrik sabiti 4.4, bakır folyo kalınlığı 0.35 mm ve tanjant kaybı değeri 0.02 olan bir FR4 materyali kullanılmıştır. Alt ve üst düzlemler üzerindeki

şerit hat ve oyuk yapıları, LPKF ProtoMat E33 cihazı kullanılarak şekil verilmiştir. Tasarımda, doğrusal polarizasyona sahip tek nokta besleme kullanılmıştır. S_{11} parametre değişimleri Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör kullanılarak ölçülmüştür. YAK optimizasyon algoritması ile hesaplanan boyutlar kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilen nihai monopol anten tasarımı Şekil 4.16'da verilmiştir. Ölçüm ve benzetim S_{11} parametre grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.17'de verilmiştir. Ölçüm ve benzetim sonuçları arasındaki bazı farklar, üretim süreçlerinde geometri farklılıkları, altta geçirgenliği ve kalınlığı, bakır kaplamanın ve besleme kablolarındaki uyumsuzluğa bağlı olabilmektedir.



Şekil 4.16. Üretimi gerçekleştirilen monopol anten



Şekil 4.17. Önerilen antenin benzetim ve ölçüm S_{11} parametreleri

Şekil 4.17'deki sonuçlar, tasarlanan antenin iki farklı çalışma bandında çalıştığını göstermektedir. Maksimum geri dönüş kaybı sırasıyla, 2.48 GHz, 3.56 GHz ve 5.62 GHz için 24.07 dB, 28.12 dB ve 37.78 dB olarak görülmüştür. Ölçülen 2.12 GHz bant genişliği 1.78 GHz ve 3.90 GHz arasındadır. Üst bant 1.54 GHz bant genişliğine sahiptir ve 5.00 GHz ile 6.54 GHz arasındadır. Ayrıca, oyuk yükleme tekniği yardımı ile antenin boyutları azalırken, sunulan antenin çalışma bantları belirgin olarak geliştirilmiştir. Literatüre daha önce sunulmuş olan çok-bantlı anten uygulamaları Tablo 4.16'da verilmiştir. Küçük antenler, genellikle kompaktlığın gerekli olduğu

durumlarda kullanılmaktadır. Ancak bu antenler geniş bant özelliklere sahip değildirler. Benzer antenlerin çoğu kompakt özelliği taşımasına rağmen, bu antenlerin çoğunun çalışma bantları WLAN ve WiMAX uygulamalarının bazı çalışma bantlarının kapsamamaktadır [117–121, 125, 127, 128]. Ayrıca, literatüre sunulan büyük antenlerin [122, 124, 126] ölçülen WLAN ve WiMAX bantları, bu çalışmada sunulan monopol antenden daha zayıftır. Önerilen antenin çalışma bantları, WLAN ve WiMAX uygulamalarının çoğunu kapsamaktadır. Önerilen anten, 1.9 GHz ve 2.1 GHz bant aralığında çalıştığı için UMTS uygulaması için gerekliliklerini de sağlamaktadır. Ulaşılan bütün sonuçlar, önerilen anten konfigürasyonunun, UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları için çok iyi bir aday olduğunu göstermiştir.

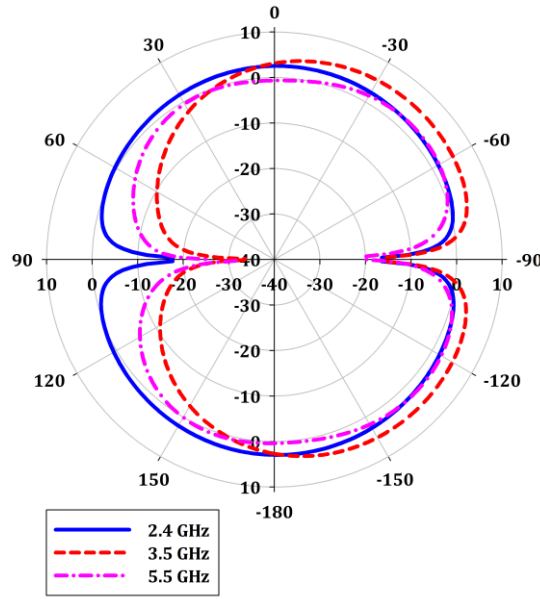
Tablo 4.16. Literatüre daha önce rapor edilmiş çok bantlı antenler

Referans	Boyut (mm ²)	Toplam alan (mm ²)	UMTS (GHz)	WLAN (GHz)	WiMAX (GHz)
[117]	30 × 25	750	-	2.4 / 5.2 / 5.8	-
[118]	50 × 30	1500	-	2.4 / 5.2 / 5.8	-
[119]	30 × 25	750	-	-	2.5 / 3.5 / 5.5
[120]	23 × 36.5	839,5	-	2.4 / 5.8	2.5 / 3.5
[121]	20 × 38	760	-	2.4 / 5.8	2.5 / 3.5
[122]	70 × 60	4200	-	5.2 / 5.8	3.5 / 5.5
[124]	62 × 64	3720	-	5.2 / 5.8	3.5
[125]	14 × 15	210	-	2.4 / 5.2	-
[126]	50 × 50	2500	-	2.4	3.5 / 5.5
[127]	28 × 32	896	-	2.4 / 5.2	2.5 / 3.5
[128]	22 × 26	572	-	2.4 / 5.2	-
Önerilen anten	42 × 51	2142	1.9 / 2.1	2.4 / 5.2 / 5.8	2.5 / 3.5 / 5.5

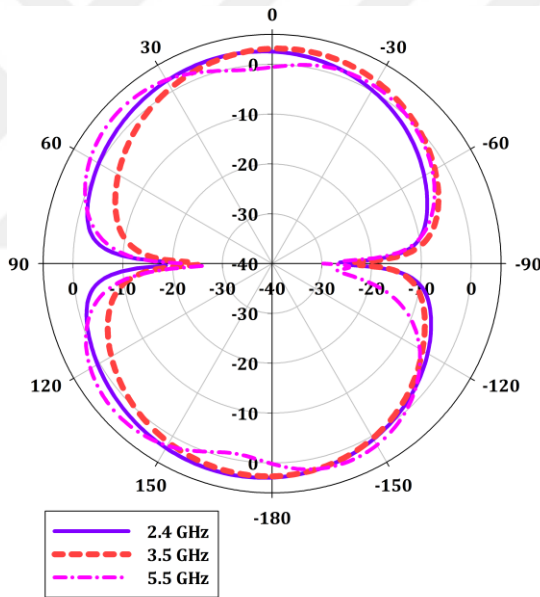
4.2.3. Monopole Antenin Performans Analizi

4.2.3.1. Işıma Örüntüsü

2.4 GHz, 3.5 GHz ve 5.5 GHz toplam üç adet antenin çalışma frekans değerleri için xz ve yz düzlemleri için benzetim ışınım örüntüleri sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmiştir. Önerilen antenin benzetim ışınım örüntüleri, nerede ise tüm çalışma bantları için kararlı bir yapıya sahiptir ve genellikle çalışma frekans aralığında, çoğunlukla çok yönlü (omnidirectional) özellik göstermektedir.



Şekil 4.18. xz-düzleminde farklı frekans değeri için önerilen antenin benzetim ışıma örüntüleri

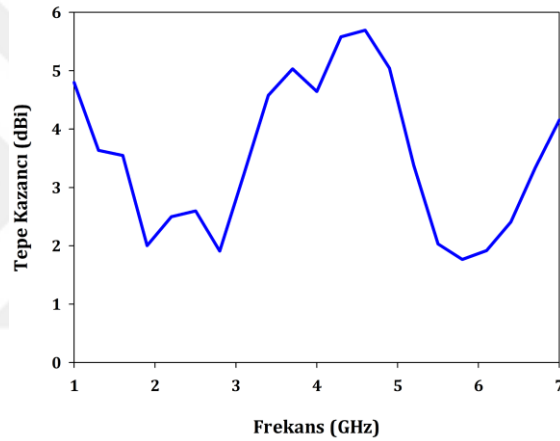


Şekil 4.19. yz-düzleminde farklı frekans değeri için önerilen antenin benzetim ışıma örüntüleri

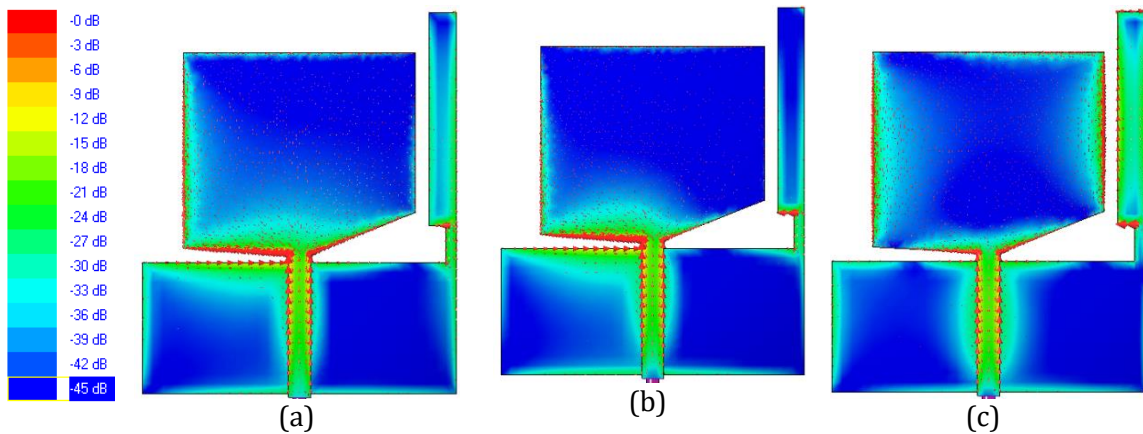
4.2.3.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları

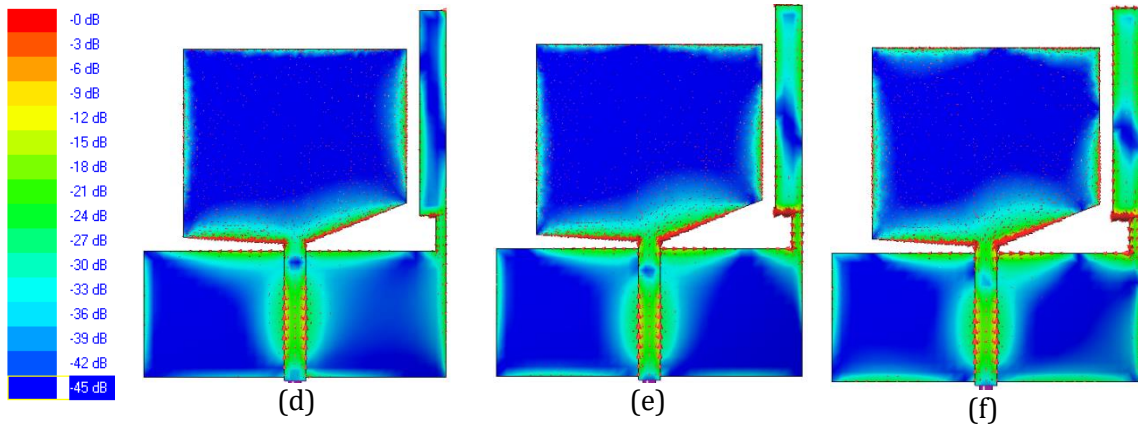
Monopole antenin frekans değerlerine karşı kazanç eğrileri, Şekil 4.20’de verilmiştir. 1.78 GHz ile 3.90 GHz frekansları arasındaki tepe kazanç değeri 5.03 dBi. Bununla birlikte, 5.00 GHz ve 6.54 GHz frekans değerleri arasında monopole antenin kazanç değeri azalmaktadır. Ayrıca bu ikinci bant aralığında azami kazanç değeri 1.94 dBi.

Monopole antenin akım mekanizmasını araştırmak için, 2.0, 2.4, 3.5, 5.2, 5.5 ve 5.8 GHz çalışma frekans noktaları için benzetim yüzey akım dağılımları elde edilmiştir. Yüzey akım dağılımları Şekil 4.21'de gösterilmiştir. 2.0 GHz ve 2.4 GHz frekans noktaları için Şekil 4.21a ve Şekil 4.21b'de görüldüğü üzere akım dağılımları iletken yamanın sol alt kenarına oldukça yoğunlaşmıştır. 3.5 GHz frekans noktası için Şekil 4.21c'de görüldüğü üzere orta rezonans değerini sağlamak için iletken yamanın her iki yanında güçlü rezonans akımları akmaktadır. Buna ek olarak 3.5 GHz frekans noktası için akım dağılımları toprak düzleminde bulunana şeridin sağ tarafına doğru yoğunlaşmaktadır. Şekil 4.21d ise, 5.2 GHz frekans noktasındaki akım dağılımları iletken yamanın sol ve sağ kenarlarının her ikisinde yoğun bir şekilde toplanmaktadır. Şekil 4.21e ve Şekil 4.21f 5.5 GHz ve 5.8 GHz frekans noktaları için oluşan akım dağılımlarını göstermektedir ve üst rezonans modları için oluşan akım dağılımları genellikle iletken yamanın alt kısmı ve toprak düzlemindeki şeridin sağına toplanmaktadır.



Şekil 4.20. Monopol antenin tepe kazanç eğrisi





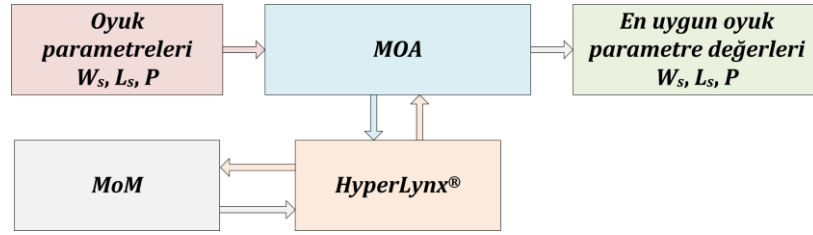
Şekil 4.21. Monopol antenin yüzey akım dağılımları: (a) 2.0 GHz, (b) 2.4 GHz, (c) 3.5 GHz, (d) 5.2 GHz, (e) 5.5 GHz (f) 5.8 GHz

4.3. Oyuk Yapısı ve MYAK Kullanılarak Dikdörtgen Mikroşerit Antenin Bant Genişliğinin Arttırılması

Bu çalışmada, geliştirilen MYAK ile entegre edilen MoM tekniğe dayalı HyperLynx® 3B elektromanyetik benzetim programlarından meydana gelen optimizasyon tasarım tekniği kullanılarak, dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin toprak düzlemine açılan oyuk yapısının optimizasyonu ile bant genişliğinin arttırılmıştır. Tasarımın ana amacı dikdörtgen şekilli antenin toprak düzlemine açılan oyuk yapısının bant genişliğini arttıracak şekilde, en uygun pozisyon ve boyutlarının entegre optimizasyon tekniğini kullanılarak belirlenmesidir. Benzetim ve ölçüm sonuçları, HyperLynx® 3B elektromanyetik benzetim programı ile entegre MYAK kullanılarak elde edilen, oyuk yapıli dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin bant genişliğinin %45 üzerinde bir iyileşme sergilediği göstermiştir.

4.3.1. Anten Tasarımı ve Optimizasyonu

Bu çalışmada, anten bant genişliğinin arttırılmasına yönelik mikroşerit antenin toprak düzlemi üzerinde oyuk yapısının kullanımı önerilmiştir. Toprak düzlemi içerisine uygulanan oyuk yapısının boyutları ve pozisyonunu belirlemek için parametrik çalışma gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu işlem, birden çok denemeye ve oldukça fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, belirlenen amaç için oyuk yapısının en uygun boyut ve pozisyonlarını bulmak mümkünde olmayabilir. Yukarıda bahsedilen bu dezavantajlardan sakınabilmek ve geniş bantlı anten tasarımını gerçekleştirmek için geliştirilen MYAK optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bu metotta ait blok diyagramı Şekil 4.22’de verilmiştir.



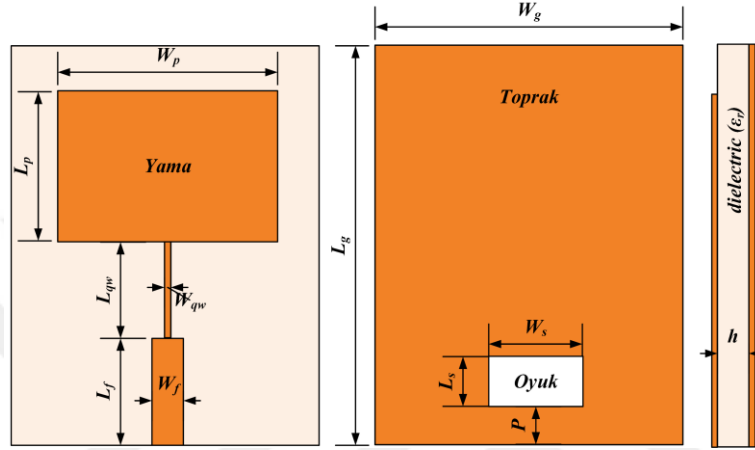
Şekil 4.22. Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin optimizasyon metodolojisi

Başlangıç için farklı boyutlara sahip 7 adet dikdörtgen şekilli mikroşerit anten belirlendi ve daha sonra bu antenlerin toprak düzlemlerine yine dikdörtgen şekilli oyuk yapıları eklenerek modifiye edildi. Her bir antenin toprak düzlemindeki oyuk yapılarının pozisyonları ve boyutları, en geniş bant genişliğini sağlayacak şekilde önerilen optimizasyon tekniği ile optimize edildi. Optimizasyon işleminin başlangıcında, iterasyon sayısı, F ölçekleme faktörü, CR çaprazlama sabiti ve koloni boyutu gibi optimizasyon parametrelerinin değerleri atandı ve MYAK'nın başlangıç adımı, oyuk parametrelerinin olası çözümleri rastgele olarak belirlendi. Her bir olası çözüm noktası için entegre optimizasyon tekniği yardımı ile HyperLynx® 3B elektromanyetik benzetim programı kullanılarak, anten geometrilerinin benzetimleri gerçekleştirildi. Her bir iterasyon sonucunda istenen anten empedans eşleştirme performansını sağlayan en iyi çözümler kayıtlı edildi. Belirlenen iterasyon sayısına kadar çözüm noktaları rekürsif olarak iyileştirilmeye devam edildi. Benzetimlerde, ısıma elemanını uyarmak için, 50Ω 'luk bir karakteristik empedansa sahip bir mikroşerit iletim hattı kullanılmış ve daha iyi empedans eşleştirmesi için çeyrek dalga boyu transformatörü dahil edilmiştir [220]. Optimizasyon işlemleri, Intel i7 3.40 GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir kişisel bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Tasarım için 4.4 dielektrik sabitli 1.6 mm yüksekliğinde FR4 alttaş malzeme kullanılmıştır. Ayrıca, dalga boyu oranı başına düşen örgü hatlarının değeri 8 GHz üst sınır olmak üzere 20 olarak ayarlanmıştır. Her bir anten tasarımı için, her bir benzetim 1 GHz ile 8 GHz aralığında 71 tane ayrık frekans noktası için gerçekleştirilmiştir. MF ilgili frekans aralığında bulunan tüm frekanslar kullanılarak yapılandırılmıştır. Optimizasyon sürecinde kullanılan popülasyon sayısı $NP=100$, ölçekleme faktörü $F=0.6$, çaprazlama sabiti $CR=0.4$, deneme sayısı $trial= NP \times D$ ve iterasyon sayısı 100 olarak ayarlanmıştır. Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin bant genişliğini arttırmaya yönelik kullanılan MF , Eşitlik (4.4)' de verilmiştir.

$$MF = \min \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N Q(f_n) \right) \quad (4.4)$$

$$Q(f_n) = \begin{cases} VSWR(f_n), & VSWR \geq 2.0 \\ 0, & VSWR < 2.0 \end{cases} \quad (4.5)$$

burada, $n = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ ve N , MF içerisindeki frekans nokta sayısı ve N 'in değeri 71 olarak seçilmiştir. Şekil 4.23'te antenlerin temel modeli verilmiştir. Seçilen 7 farklı temel antenin boyut parametreleri ve değerleri Tablo 4.17'de gösterilmiştir. Oyuk yapısına sahip olmayan temel antenlerin alt, üst, merkez frekans değerleri ve bant genişliklerine ait değerler Tablo 4.18'de listelenmiştir. Mikroşerit antenler dar bant genişliğine sahip olduğu iyi bilinmektedir. Tablo 4.18 incelendiğinde seçilen bu 7 temel antenin bant genişliklerin ortalama olarak %3 civarında olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.23. Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerin modeli

Tablo 4.17. Seçilen dikdörtgen şekilli temel antenlere ait boyutlar (mm)

Antenler	Mikroşerit antenlerin boyutları							
	L_g	W_g	L_p	W_p	L_f	W_f	L_{qw}	W_{qw}
Anten 1	19.20	16	9.60	11.52	4.36	3	3.37	0.60
Anten 2	24	20	12	14.40	5.45	3	4.21	0.60
Anten 3	30	25	15	18	6.82	3	5.26	0.60
Anten 4	36	30	18	21.60	8.18	3	6.32	0.60
Anten 5	43.20	36	21.60	25.92	9.82	3	7.58	0.60
Anten 6	51.84	43.20	25.92	31.10	11.78	3	9.09	0.60
Anten 7	62.21	51.84	31.10	37.32	14.14	3	10.91	0.60

Tablo 4.18. Oyuksuz dikdörtgen mikroşerit antenlerin alt, üst, merkez frekansları ve bant genişlikleri (mm)

Antenler	f_{alt}	$f_{üst}$	f_{merkez}	Bant genişliği (GHz)	Bant genişliği (%)
Anten 1	6.82	7.18	7.00	0.36	5.21
Anten 2	5.59	5.83	5.71	0.24	4.20
Anten 3	4.48	4.65	4.57	0.17	3.64
Anten 4	3.77	3.89	3.83	0.12	3.13
Anten 5	3.17	3.25	3.21	0.08	2.49
Anten 6	2.66	2.72	2.69	0.06	2.23
Anten 7	2.23	2.28	2.25	0.05	2.22
Ortalama bant genişliği				%3.30	

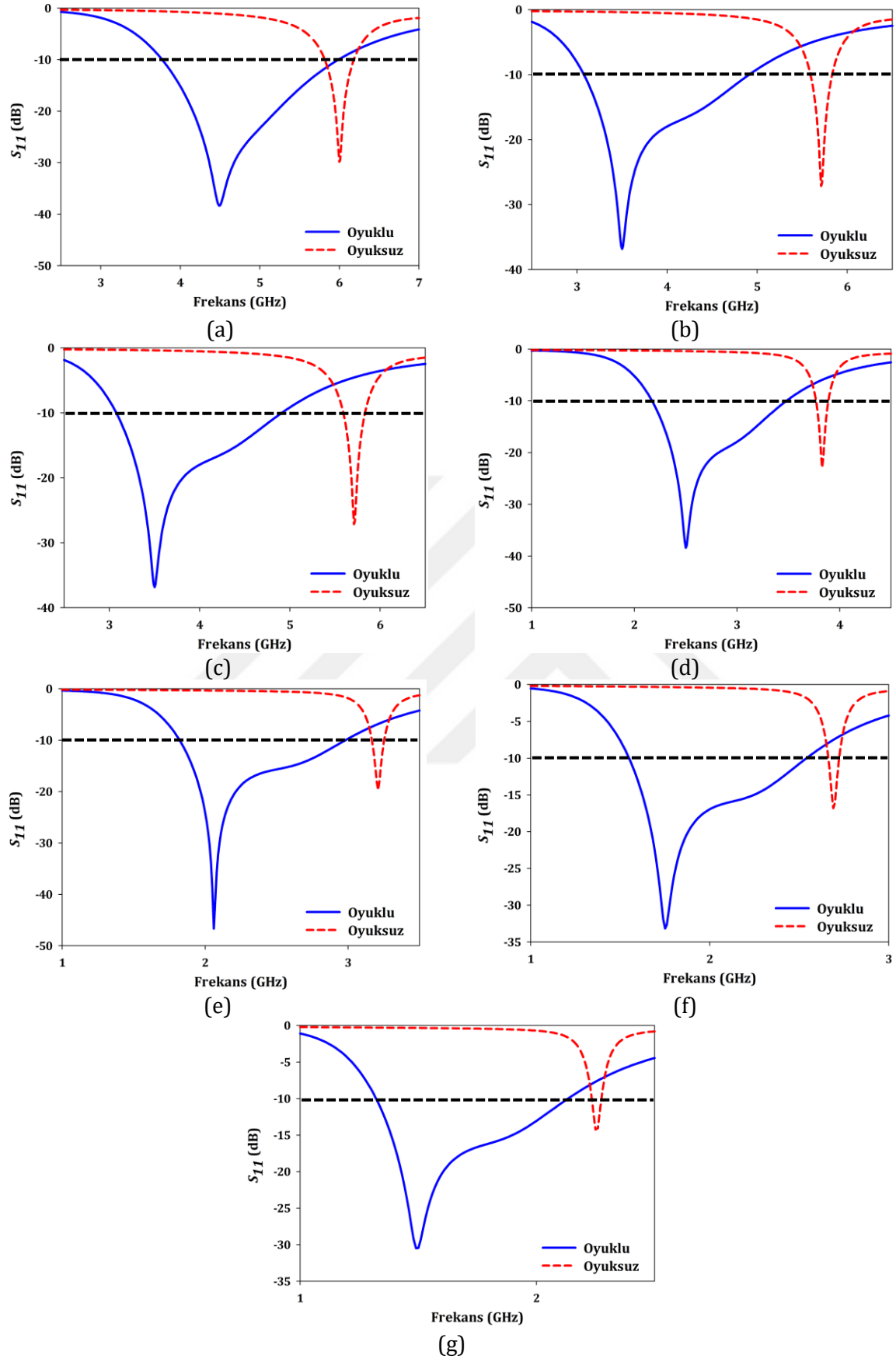
Temel mikroşerit antenlerin toprak düzlemi üzerine yüklenecek olan oyuk yapılarına ait optimizasyon parametre değişken aralıkları ve optimizasyon sürecinden sonra amaç fonksiyonuna uygun bu parametrelere ait bulunmuş en uygun değerleri Tablo 4.19’da gösterilmiştir. Ayrıca, optimize edilmiş oyuk yapılarına sahip her bir antenin bant genişlik değerleri Tablo 4.20’de gösterilmiştir. Tablo 4.20’deki yüzde bant genişlikleri incelendiğinde, oyuk yüklü dikdörtgen şekilli mikroşerit anten tasarımlarının bant genişliklerinin %45’in üzerinde olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Oyuk yüklü ve oyuk yapısına sahip olmayan dikdörtgen şekilli mikroşerit anten tasarımlarına ait benzetim S_{11} parametre eğrileri Şekil 4.24’te gösterilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları, toprak düzlemine açılan ve MYAK ile optimize edilen oyuk yapılarının dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerin bant genişlikleri çok belirgin bir düzeyde arttırdığını göstermiştir.

Tablo 4.19. Oyuk yapılarına ait optimizasyon parametre değişken aralıkları ve optimum değerleri (mm)

Antenler	Optimizasyon parametreleri	Aralıklar	Elde edilen en iyi değerler
Anten 1	W_s	[1.0–15.9]	14.99
	L_s	[0.5–16.0]	7.95
	P	[6.0–10.0]	7.08
Anten 2	W_s	[1.0–19.9]	18.99
	L_s	[0.5–16.0]	7.90
	P	[6.0–13.0]	8.85
Anten 3	W_s	[1.0–24.9]	23.99
	L_s	[0.5–16.0]	9.18
	P	[6.0–16.0]	10.93
Anten 4	W_s	[1.0–29.9]	28.99
	L_s	[0.5–16.0]	11.18
	P	[6.0–19.0]	13.05
Anten 5	W_s	[1.0–35.9]	34.99
	L_s	[0.5–16.0]	14.13
	P	[6.0–21.0]	15.28
Anten 6	W_s	[1.0 – 43.1]	42.19
	L_s	[0.5–16.0]	14.10
	P	[6.0–24.0]	18.75
Antenna 7	W_s	[1.0–62.1]	61.20
	L_s	[0.5–16.0]	13.38
	P	[6.0–27.0]	23.10

Tablo 4.20. Oyuk yüklü dikdörtgen mikroşerit antenlerin alt, üst, merkez frekansları ve bant genişlikleri (mm)

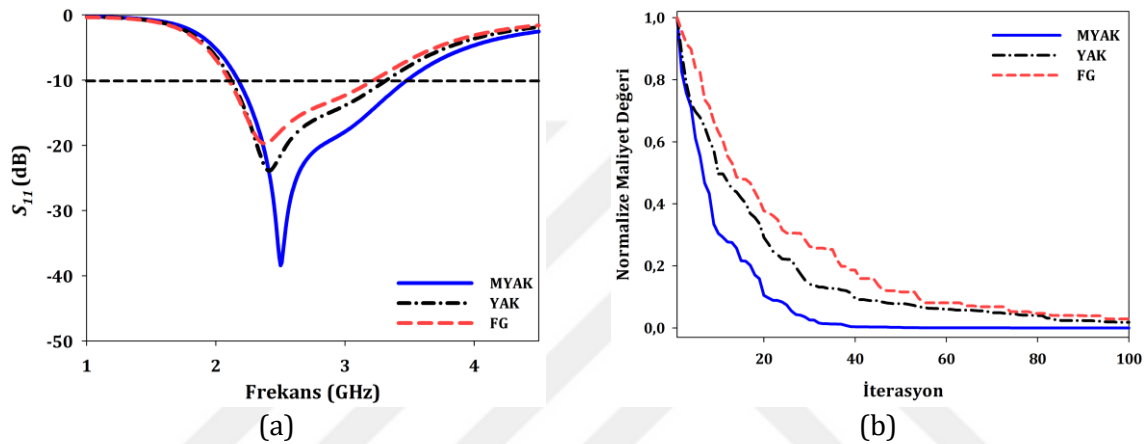
Antenler	f_{alt}	$f_{üst}$	f_{merkez}	Bant genişliği (GHz)	Bant genişliği (%)
Anten 1	3.77	5.99	4.88	2.22	45.49
Anten 2	3.08	4.91	4.00	1.83	45.81
Anten 3	2.59	4.14	3.37	1.55	46.06
Anten 4	2.17	3.48	2.83	1.31	46.37
Anten 5	1.82	2.98	2.40	1.16	48.33
Anten 6	1.55	2.54	2.05	0.99	48.41
Anten 7	1.32	2.13	1.73	0.81	46.96
Ortalama bant genişliği					46.78 %



Şekil 4.24. Oyuk yüklü ve oyuk yüklü olmayan 7 anten için benzetim S_{11} -frekans grafikleri:
a) Anten 1, b) Anten 2, c) Anten 3, d) Anten 4, e) Anten 5, f) Anten 6 ve g) Anten 7

4.3.2. Prototipi Gerçekleştirilen Anten Üzerinde MYAK Algoritmasının YAK ve FG Algoritmaları ile Karşılaştırılması

MYAK, YAK ve FG algoritmalarının performansını göstermek amacıyla, bu algoritmalar ile elde edilen 4 numaralı antene ait S_{11} parametre ve yakınsama hız eğrileri Şekil 4.25'te verilmiştir. Ayrıca, optimizasyon sürecinde kullanılan entegre tasarım sistemi içerisinde bulunan MYAK, YAK ve FG algoritmaları ile elde edilmiş normalize edilmiş maliyet değerleri Tablo 4.21'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, üç algoritmanın optimizasyon işlemi arasında hem yakınsama hemde S_{11} parametre eğrileri açısından en iyi performans sağlaması nedeni ile MYAK en iyi sonucu elde etmiştir.



Şekil 4.25. Anten 4 için MYAK, YAK ve FG algoritmaları ile elde edilen S_{11} parametre ve yakınsama hız eğrileri: a) S_{11} parametre eğrileri, b) Yakınsama hız eğrileri

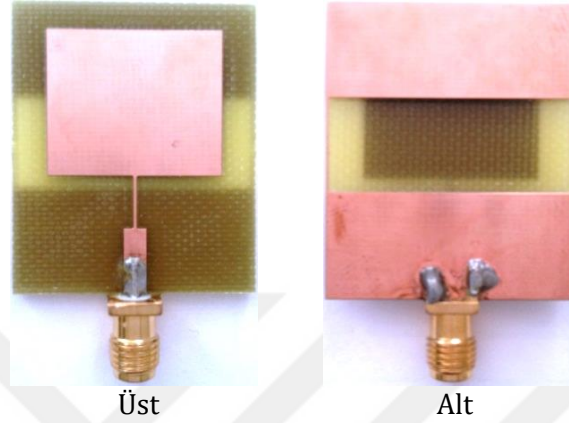
Tablo 4.21. Anten 4 için MYAK, YAK ve FG algoritmaları ile elde edilen normalize maliyet değerleri

Algoritmalar	Oyuk Parametreleri (mm)			Frekans (GHz)			Bant genişliği (GHz)	Bant Genişliği (%)	Normalize MF değeri
	P	L_s	W_s	f_{alt}	$f_{üst}$	f_{merkez}			
MYAK	13.05	11.18	28.99	2.17	3.48	2.83	1.31	46.37	0.0086
YAK	12.83	14.40	28.99	2.12	3.32	2.72	1.20	44.11	0.0135
FG	12.80	15.51	28.99	2.10	3.22	2.66	1.12	42.10	0.0185

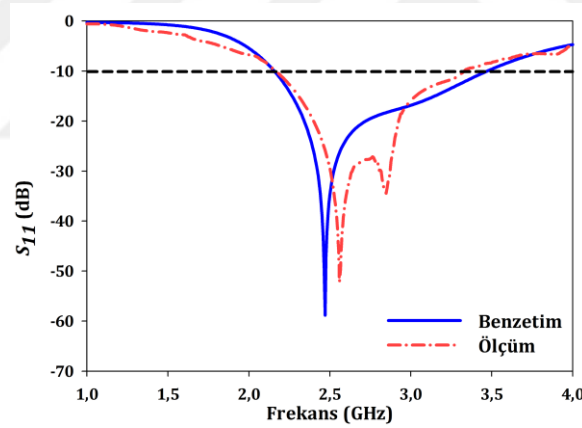
4.3.3. Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi

Benzetimleri gerçekleştirilen 7 adet antenden 4 numaralı anten, genişliği 30 mm, uzunluğu 36 mm, 1.6 mm yüksekliğinde, 4.4 dielektrik sabitine sahip FR4 alttaş malzeme üzerine LPKF ProtoMat E33 baskı devre kartı çizici cihazı kullanılarak üretilmiştir. Anten 4'ün S_{11} parametre eğrileri, Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 4.26'da verilen oyuk yüklü Anten 4'e ait prototip, Tablo 4.17 ve Tablo 4.19'da verilen parametre değerlerine göre başarılı bir şekilde üretilmiştir. Karşılaştırmalı olarak benzetim ve ölçüm S_{11} grafikleri Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.27 incelendiğinde, ölçüm sonuçları ile benzetim sonuçları arasında kabul edilebilir bir uyum söz konusu olduğu

görülmektedir. Ölçüm ve benzetim sonuçları arasındaki bazı farklar, üretim süreçlerinde geometri farklılıkları, alttaş geçirgenliği ve kalınlığı, bakır kaplamanın ve besleme kablolarındaki uyumsuzluğa bağlı olabilmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre, Geniş bant özelliğine sahip Anten 4, 2.16 GHz ile 3.33 GHz arasında yayılan bir empedans bant genişliğinde çalışmaktadır ve toprak düzlemi üzerinde oyuk yapısına sahip üretilen Anten 4'ün bant genişliği, %42'in üzerindedir.



Şekil 4.26. Oyuk yüklü Anten 4'e ait prototip

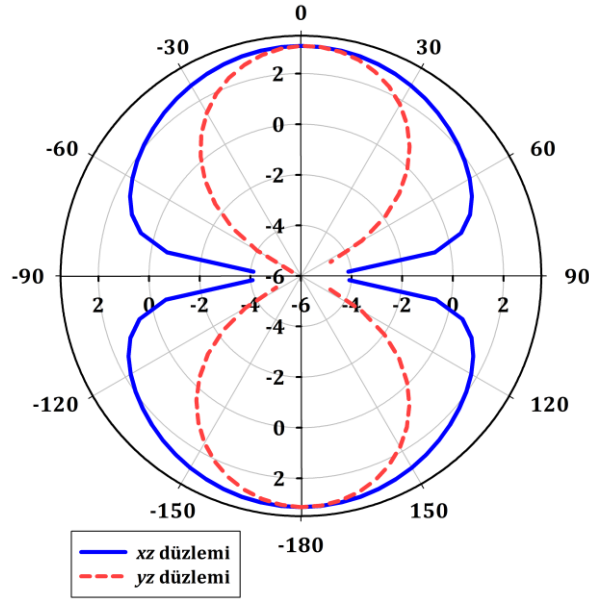


Şekil 4.27. Anten 4'e ait benzetim ve ölçüm S_{11} parametreleri

4.3.4. Gerçekleştirilen Anten 4'ün Performans Analizi

4.3.4.1. Işıma Örüntüsü

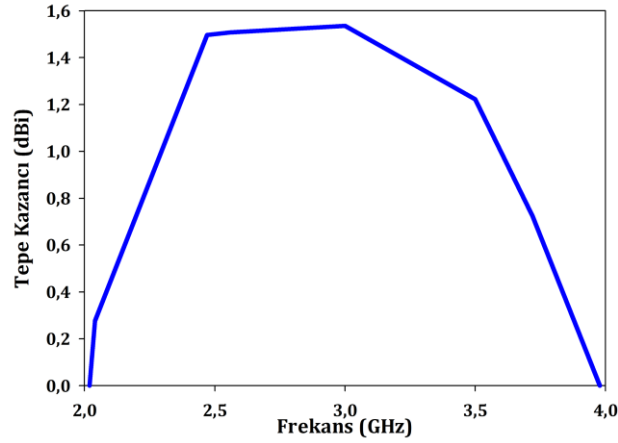
Anten 4'e ait, xz ve yz düzlemleri için 2.56 GHz çalışma frekansındaki benzetim ışıma modelleri, Şekil 4.28'de verilmiştir. Anten, xy düzlemine yerleştirilmiştir. Şekil 4.28'de dikkate alındığında, 2.56 GHz frekans değerinde xz ve yz düzlemleri için Anten 4 ışıma modelleri "8" şeklinde veya iki yönlü olduğu net bir şekilde görülmektedir.



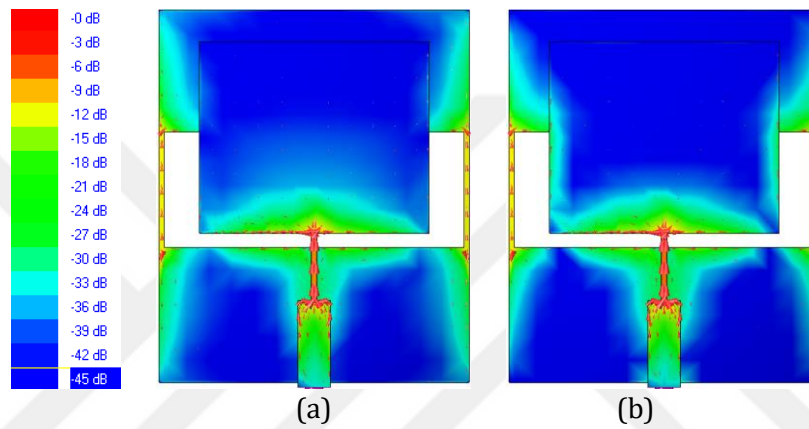
Şekil 4.28. Çalışma frekansı 2.56 için prototip Anten 4'ün benzetim ışıma modelleri

4.3.4.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları

Oyuk yüklü Anten 4'e ait frekans ve tepe kazanç grafiği Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Anten 4'ün kazanç eğrisi, çalışma frekansları arasında karardır. Kazanç grafiği, 2.56 GHz değerindeki çalışma frekansı için kazanç değeri 1.51 dBi civarında olduğunu göstermektedir. Antenin toprak düzlemi üzerine açılan oyuk yapısının etkisini daha iyi anlamak için farklı frekans noktalarında yüzey akım dağılımlarının gösterimi Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.30a incelendiğinde 2.56 GHz çalışma frekansı için yüzey akım dağılımları iletken yamanın alt kenarına ve besleme hattını çevresine toplanarak yoğunlaşmıştır. Ayrıca, toprak düzlemi üzerindeki yüzey akımları ise dikdörtgen oyuk yapısının kısa kenarları etrafında toplanırken uzun kenarlarının çevresinde de yoğunlaşmaktadır. Şekil 4.30b incelendiğinde 3.0 GHz frekanslı çalışma noktası için yüzey akım dağılımları, anten besleme hattında ve iletken yamanın sağ ve sol kenarlarında toplandığı açıkça görülmektedir. Buna ek olarak toprak düzlemde olan oyuk yapısının kısa kenarları üzerindeki akım yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.29. Anten 4 için frekans tepe kazanç eğrisi

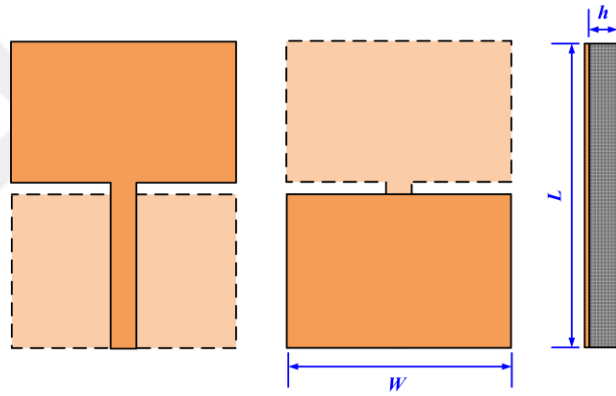
Şekil 4.30. Farklı frekansta oyuk yüklü Anten 4'ün yüzey akım dağılımları: a) 2.56 GHz
b) 3.0 GHz

4.4. Bant Reddeden Özelliğe Sahip UWB Monopol Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi

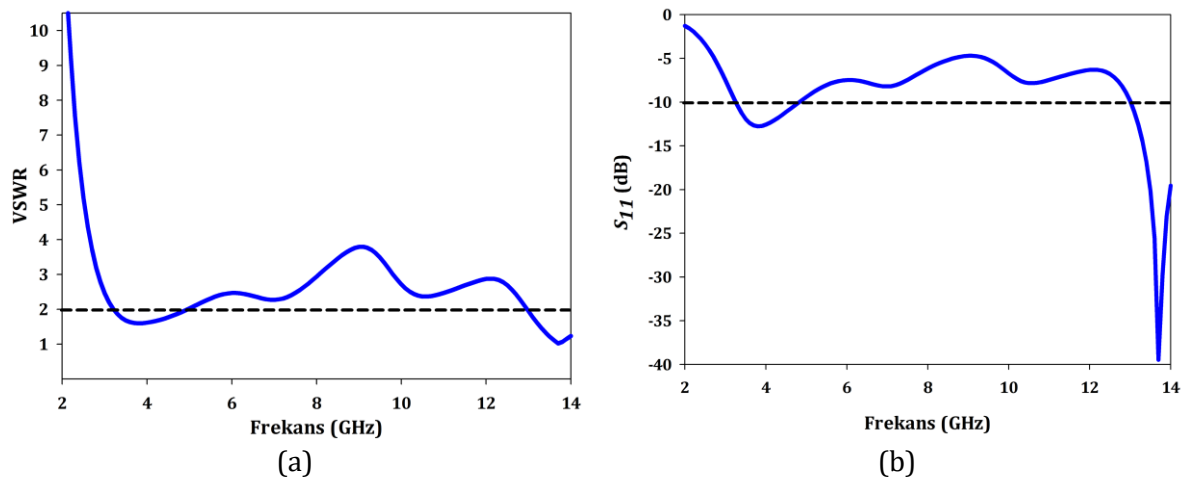
Bu çalışmada, bant reddeden özelliğe sahip olan ve olmayan monopol anten tasarımları, MYAK ve HyperLynx® 3B elektromanyetik programın entegre edilmesi ile birlikte oluşturulan tasarım optimizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MYAK, UWB monopol anten fiziksel parametrelerinin en uygun olan değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. UWB monopol anten 2.9 GHz ile 13 GHz frekans bantları arasında çalışmaktadır. Bununla birlikte, anten üzerinde oyuk açma ve şerit yerleştirme gibi çeşitli teknikler kullanılarak, UWB monopol antene, WLAN (5.2/5.8 GHz) ve WiMAX (3.5/5.5 GHz) çalışma bantlarına karşılık gelen 3.3 GHz ile 3.6 GHz aralıkları ve 5.15 GHz ile 5.825 GHz aralıkları da bant reddetme özelliği kazandırılmıştır. Nihai anten $20 \times 29 \text{ mm}^2$ boyutuna sahiptir ve FR4 alttaş malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem ile gerçekleştirilen antenin özelliklerini daha iyi göstermek amacı ile literatüre daha önce sunulmuş çeşitli çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tasarımı gerçekleştirilen bant reddetme yeteneğine sahip olan UWB monopol antenin, WLAN ve WiMAX'te bant durdurmaya ihtiyaç duyulan uygulamalar için iyi bir aday olduğunu göstermiştir.

4.4.1. UWB Monopole Anten Tasarımı ve Optimizasyonu

Bu çalışmada, girişim problemlerine neden olan bantlarda çift bant reddetme özelliğini elde etmek için UWB monopole antenin üst düzleminde oyuk ve şerit yapılarının kullanılması önerilmiştir. Kullanılan oyuk ve şerit yapılarının boyutlarının ve pozisyon optimizasyon işlemleri parametrik çalışmalarla gerçekleştirilebilir. Ancak bu yöntem, bir çok denem işlemlerinin yapılmasının gerektirebilir. Ek olarak, UWB anten içerisine entegre edilen oyuk ve şerit yapılarının fiziksel parametrelerinin en uygun değerlerinin bu işlemlerle yapılması oldukça zaman alabilir. Tasarım sürecinde, yukarıda sayılan bu dezavantajlardan sakınmak için geliştirilen MYAK optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Anten tasarımı iki aşamadan meydana gelmiştir. Başlangıç geometrisi olarak Şekil 4.31’de verilen $20 \times 29 \text{ mm}^2$ boyutlarında eşdüzlem dalga kılavuzu beslemeli bir monopole dikdörtgen mikroşerit anten seçilmiştir. Seçilen anten geometrisine ait gerilim duran dalga oranı (Voltage standing wave ratio, VSWR) ve S_{11} parametresi grafikleri Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.31. UWB anten tasarımı için başlangıç anten geometrisi



Şekil 4.32. Başlangıç antenin VSWR ve S_{11} parametre grafikleri: a) VSWR, b) S_{11} parametre
UWB sistemlerinin 3.1 GHz ile 10.6 GHz arasında sürekli bir geniş bant genişliği üzerinde

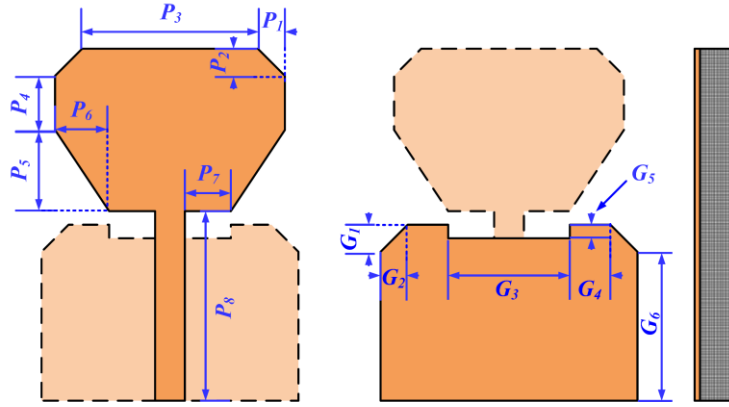
antenin empedans eşleşmesi sağlamak amacıyla, anten geometrisini belirlemek için başlangıç anteni üzerinde temel bir parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, birinci

aşamada elde edilen ve MYAK algoritması ile optimize edilen anten geometrisi üzerine ince oyuk yapısı ve şeritler ekleyerek modifiye edilmiştir. Benzetimlerde, ışıma yaması 1 Voltluk dalga kaynağı ile beslenen 3 mm kalınlığındaki 50 Ω 'luk mikroşerit besleme hattı ile besleme yapılmıştır. Ayrıca, dalga boyu oranı başına düşen örgü hatlarının değeri 14 GHz üst sınır olmak üzere 20 olarak ayarlanmıştır. Her bir anten tasarımı için, her bir benzetim 2 GHz ile 14 GHz aralığında 121 tane ayrık frekans noktası için gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama için birkaç denemeden sonra, UWB çalışma bantlarını elde edebilmek için önerilen antenin en etkili parametreleri ve geometrisi Şekil 4.33'de verilmiştir. Birinci aşama için belirlenen bu 14 parametre optimize edilmiştir. $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$ ve P_8 parametreleri ışıma yaması üzerindeki değişimleri temsil ederken, G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 ve G_6 parametreleri ise antenin toprak düzlemi üzerindeki değişimleri ifade etmektedir. Birinci aşamada, antenin yama ve toprak düzlemi üzerinde seçilen bu parametreler, UWB sistemler için iyi bir empedans uygunluğu elde etmek için geliştirilen MYAK kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon işlemleri, Intel i7 3.40 GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir kişisel bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Tasarım için 4.4 dielektrik sabitli 1.6 mm yüksekliğinde FR4 alttaş malzeme kullanılmıştır. Optimizasyon sürecinde kullanılan popülasyon sayısı $NP=100$, ölçekleme faktörü $F=0.6$, çaprazlama sabiti $CR=0.4$, deneme sayısı $trial= NP \times D$ ve iterasyon sayısı 100 olarak ayarlanmıştır. Birinci aşamada, başlangıç anteni için kullanılan birinci maliyet fonksiyonu MF_1 , Eşitlik (4.6)'da verilmiştir.

$$MF_1 = \frac{1}{K} \sum_{3.1}^{10.6} VSWR(f) \quad (4.6)$$

$$VSWR(f) = \begin{cases} VSWR(f), & VSWR \geq 2.0 \\ 0, & VSWR < 2.0 \end{cases} \quad (4.7)$$

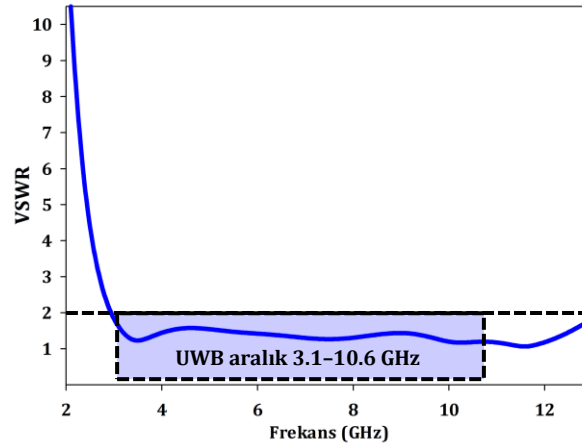
Burada, maliyet fonksiyonu MF_1 içerisindeki örnek nokta sayısı $K=76$ 'dır. MYAK algoritması ile en uygun değerleri belirlenen fiziksel parametreler Tablo 4.22'de verilmiştir. Elde edilen optimal anten geometrisine ait benzetim VSWR grafikleri Şekil 4.34'te verilmiştir. Şekil 4.34 incelendiğinde, önerilen optimizasyon yöntemi ile UWB sistemler için makul bir çalışma bandının elde edildiği görülmektedir. Antenin bant genişliği, 2.9 GHz ile 13 GHz arasındadır. Antenin çalışma bant aralığı, UWB sistemleri için tanımlanmış olan 3.1 GHz ile 10.6 GHz bant aralığını kapsamaktadır.



Şekil 4.33. Birinci aşamada elde edilen UWB anten geometrisi

Tablo 4.22. Önerilen UWB anten için tasarım parametreleri, aralıkları ve MYAK ile bulunan en uygun değerleri

	Optimizasyon parametresi	Aralık (mm)	En iyi değer(mm)
Yama	P_1	[0.5, 3.0]	3.0
	P_2	[0.5, 3.0]	2.5
	P_3	[0.5, 13.0]	12.0
	P_4	[0.5, 6.0]	4.5
	P_5	[8.0, 16.0]	6.0
	P_6	[0.5, 6.0]	5.0
	P_7	[0.5, 3.0]	2.5
	P_8	[8.0, 16.0]	16.0
Toprak	G_1	[0.5, 5.5]	3.2
	G_2	[0.5, 5.5]	3.0
	G_3	[5.0, 10.0]	8.2
	G_4	[0.1, 1.6]	3.1
	G_5	[0.5, 2.0]	0.6
	G_6	[5.0, 13.0]	12.2



Şekil 4.34. MYAK ile optimize edilen UWB antenin VSWR grafiği

Son aşamada, çift bant reddeme özelliğini gerçekleştirmek için, ilk aşamada tasarlanan UWB antenin üst yüzeyine ince oyuk ve şerit yapıları eklenerek anten modifiye edilmiştir. İnce oyuk ve şerit yapıları, MYAK ve HyperLynx® 3B elektromanyetik programlardan oluşan entegre optimizasyon tekniği kullanarak optimize işlemi gerçekleştirilmiştir. Arzu edilen bant reddetme özelliğini sağlayacak olan ince oyuk ve şerit yapıların en uygun boyutlarını elde etmek için Eşitlik (4.8)'de verilen ikinci maliyet fonksiyonu MF_2 minimize edilmiştir.

$$MF_2 = \min(M_1 + M_2) \quad (4.8)$$

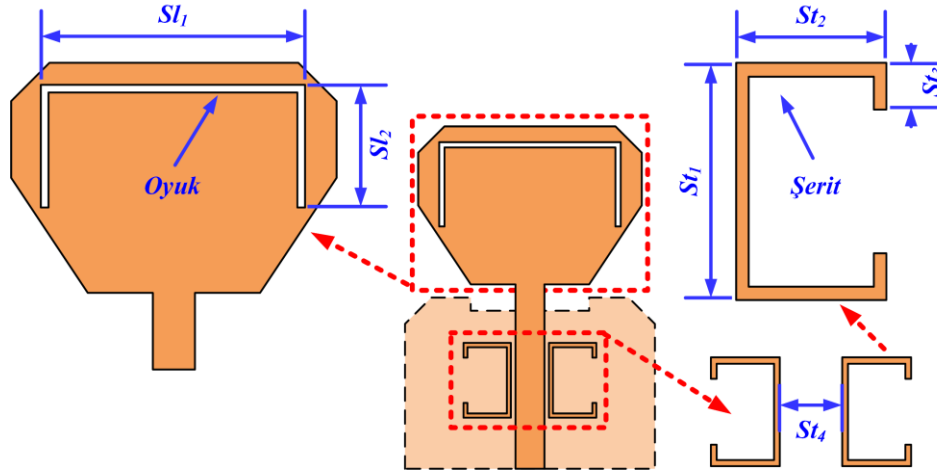
$$M_1 = \frac{1}{L} \sum_{2.9GHz}^{3.2GHz} Q_1(f) + \frac{1}{M} \sum_{3.7GHz}^{4.9GHz} Q_1(f) + \frac{1}{N} \sum_{6.1GHz}^{10.7GHz} Q_1(f) \quad (4.9)$$

$$M_2 = -\frac{1}{P} \sum_{3.3GHz}^{3.6GHz} Q_2(f) - \frac{1}{R} \sum_{5GHz}^{6GHz} Q_2(f) \quad (4.10)$$

$$Q_1(f) = \begin{cases} VSWR, & VSWR \geq 2.0 \\ 1.9, & VSWR < 2.0 \end{cases} \quad (4.11)$$

$$Q_2(f) = \begin{cases} VSWR, & VSWR \leq 8.0 \\ 8.0, & VSWR > 8.0 \end{cases} \quad (4.12)$$

Burada, M_1 maliyet parametrelerinin içinde yer alan örnekleme noktalarının sayısı $L=4$, $M=13$ ve $N=47$ 'dir. Bunlara ek olarak ise M_2 maliyet parametreleri içerisindeki örnek frekans sayıları $P=4$ ve $R=11$ 'dir. Çift bant reddenden özelliğe sahip UWB antene ait geometri ve konfigürasyonlar Şekil 4.35'de verilmiştir. Anten, yama üzerine açılmış bir adet ters U-oyuk ve antenin besleme hattının her iki yanında iki adet C-şerit mevcuttur. Işıma yamasının içerisine yerleştirilmiş ters U-oyuk yapısı 3.5 GHz çalışma noktası için bir ret etme karakteristiği elde etmek için kullanılırken, antenin üst düzlemi üzerinde besleme hattını her iki yanına yerleştirilmiş olan iki adet C-şerit ise 5.5 GHz frekans noktası için ret etme özelliği sağlamak için kullanılmaktadır. Antende kullanılan oyuk ve şerit yapılarının genişlikleri parametrik çalışma ile bir kaç denemeden sonra 0.4 mm olarak ayarlanmıştır.

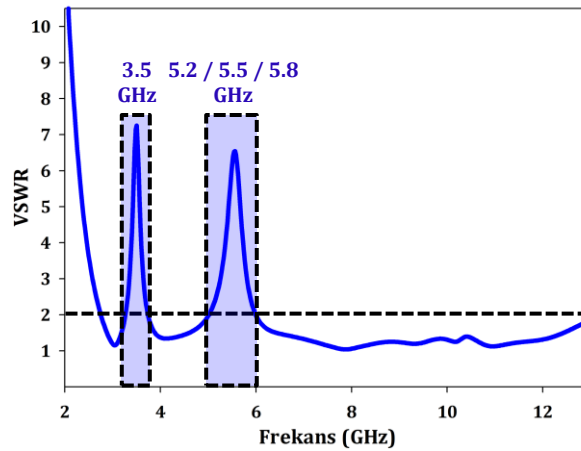


Şekil 4.35. Çift bant reddetme özelliğine sahip UWB antenin geometrisi

Optimizasyon işleminde sonra şerit ve oyuk geometri yapıları ile ilgili altı adet parametreye ait en uygun değerler ve optimizasyon aralıkları Tablo 4.23'de verilmiştir. Burada, S_{l1} ve S_{l2} , parametreleri ışına yamasında bulunan oyuk yapısı içerisindeki değişimleri gösterirken, S_{t1} , S_{t2} , S_{t3} ve S_{t4} parametreleri ise şerit geometrisi içerisindeki değişimleri ifade etmektedir. Bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin benzetim VSWR eğrisi Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

Tablo 4.23. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB anten için tasarım parametreleri, aralıkları ve MYAK ile bulunan en uygun değerleri

Optimizasyon değişkenleri	Aralık (mm)	En iyi değerler (mm)
<i>Oyuk</i>	S_{l1}	[8.0, 15.0]
	S_{l2}	[1.0, 7.0]
<i>Şerit</i>	S_{t1}	[5.5, 9.0]
	S_{t2}	[1.5, 4.5]
	S_{t3}	[1.0, 3.5]
	S_{t4}	[3.3, 4.0]

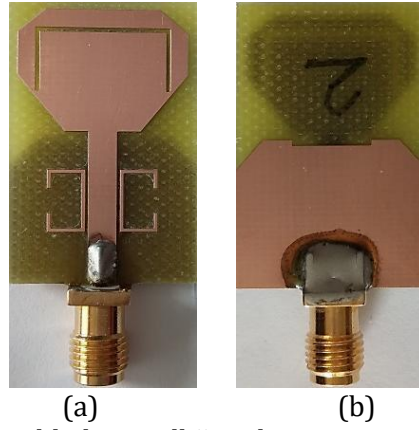


Şekil 4.36. MYAK ile optimize edilen çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin VSWR grafiği

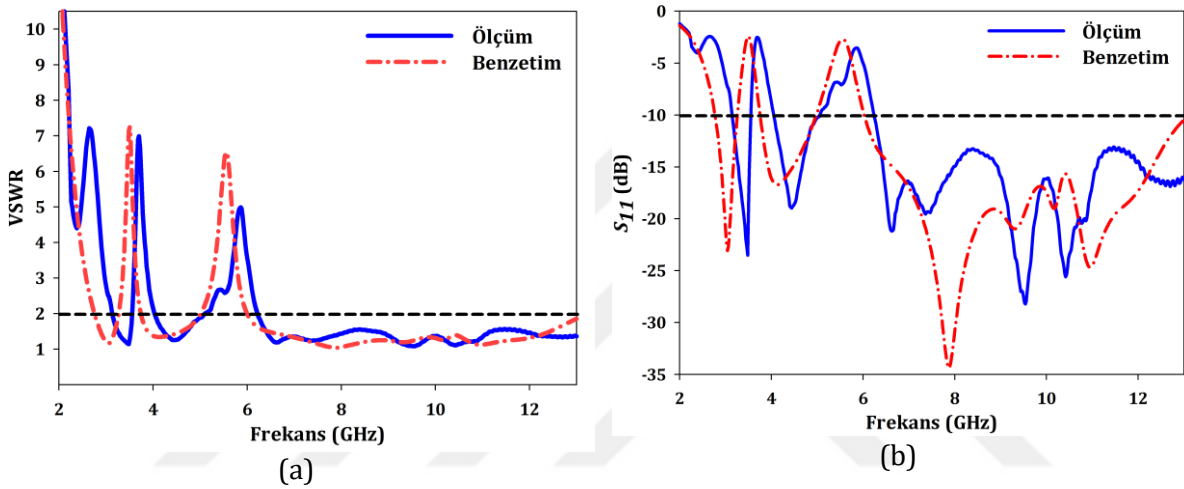
Elde edilen optimizasyon sonuçları incelendiğinde, 2.9 GHz ile 13 GHz arasında $VSWR > 2$ değeri için iki ayrı durdurma bantı elde edildiği açıkça görülmektedir. Ters U-oyuk yapısı ile 3.27 GHz ile 3.74 GHz arasında bir bant reddeden karakteristik elde edilmiştir. WLAN girişimlerini engellemek için daha geniş bir bant reddetme karakteristiğine ihtiyaç duyulmaktadır ve besleme hattının her iki yanına eklenen simetrik C-şeritler, WLAN bandı girişimleri için gerekli olan geniş bantı sağlamaktadır. Şekil 4.35’de simetrik C-şerit yapılarının 5.01 GHz ile 5.99 GHz arasında bant durdurma karakteristiğini sağladığı görülmektedir.

4.4.2. Çift Bant Reddeden Özelliğe Sahip UWB Anten Prototipin Gerçekleştirilmesi

Çift bant reddeden özelliğe sahip önerilen UWB anten, genişliği 20 mm, uzunluğu 29 mm, 1.6 mm yüksekliğinde, 4.4 dielektrik sabitine sahip ve tanjant kaybı 0.02 olan FR4 altaş malzeme üzerine LPKF ProtoMat E33 baskı devre kartı çizici cihazı kullanılarak üretilmiştir. UWB antenin S_{11} parametre eğrileri ölçüm işlemleri, Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.37’de, Tablo 4.22 ve Tablo 4.23’deki verilen parametre değerleri kullanılarak üretilen çift bant reddeden UWB antenin prototipi görülmektedir. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin $VSWR$ ve S_{11} parametre ölçüm ve benzetim eğrileri sırasıyla Şekil 4.38a ve Şekil 4.38b’de verilmiştir. Şekil 4.38 incelendiğinde ölçüm ve benzetim sonuçlarının iyi bir uyum içerisinde örtüştüğü açık bir şekilde görülmektedir. Ölçüm ve benzetim sonuçları arasındaki bazı farklar, üretim süreçlerinde geometri farklılıkları, altaş geçirgenliği ve kalınlığı, bakır kaplamanın ve besleme kablolarındaki uyumsuzluğa bağlı olabilmektedir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, bant reddeden özelliğe sahip olan UWB antenin 2.9 GHz ile 13 GHz arasında dağılan bir empedans bant genişliğinde çalıştığı ve bununla birlikte WLAN ve WiMAX girişim problemlerine neden olan frekans bantlarında iki adet iyi bir bant reddedme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, UWB sistemlerde çalışan antenlerin çalışma bant aralıklarının önemli olduğu kadar, antenlerin sahip oldukları boyutlarında çok önemli olduğu iyi bilinmektedir. Tablo 4.24’de verilen literatüre daha önce sunulmuş olan UWB ve bant reddeden özelliğe sahip bazı antenler [133–148] ile karşılaştırıldığında önerilen bant reddeden UWB antenin daha küçük boyutlarada kompakt bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ek olarak, WLAN ve WiMAX uygulamaları için UWB sistemlerde girişime neden olan bantlar için literatüre sunmuş bu antenlerin çoğunun çift bant reddetme özellikleri sınırlıdır. Elde edilen benzetim ve ölçüm sonuçları, çift bant reddeden özelliğe sahip önerilen UWB anten configasyonunun, hem UWB sistemlerde hemde WLAN ve WiMAX bantları için ortaya çıkan girişim problemlerini önlemek için kullanılabilecek iyi bir aday olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.37. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin üretilen prototipi

Şekil 4.38. Çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin VSWR ve S_{11} benzetim ve ölçüm eğrileri : a) VSWR eğrileri, b) S_{11} parametre eğrileri

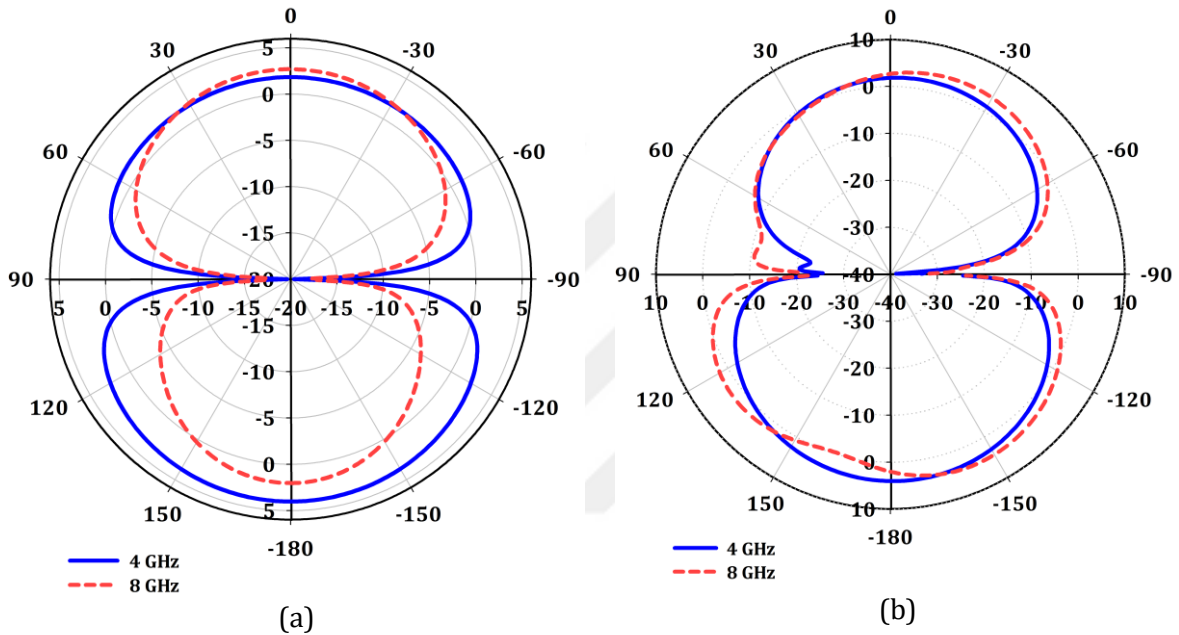
Tablo 4.24. Literatüre sunulmuş bant reddeden özelliğe sahip UWB antenler

Antenler	Boyut (mm ²)	Alan (mm ²)	Reddedilen bant
[133]	32 × 26.8	857.6	5.8 GHz
[134]	30 × 35	1050	5.5 GHz
[135]	28 × 32	896	5.0–5.6 GHz
[136]	28 × 30	840	5.15–5.825 GHz
[137]	32 × 35	1120	3.26–3.75 GHz & 5.02–5.9 GHz
[138]	30 × 39.3	1179	5.15–5.825 GHz
[139]	20.4 × 64	1305.6	5 GHz
[140]	38 × 40	1520	5.2–5.8 GHz
[141]	30 × 29	870	5.2–5.95 GHz
[142]	35 × 30	1050	5.24–6.46 GHz
[143]	40 × 31	1240	5.15 GHz
[144]	34 × 34	1156	5 GHz
[145]	49 × 53	2597	5.05–6.17 GHz
[146]	45 × 44	1980	3 GHz & 5 GHz
[147]	36 × 40	1440	3.29–3.9 GHz & 5.1–5.85 GHz
[148]	34 × 34	1156	5–6 GHz
Önerilen UWB anten	20 × 29	580	3.4–3.7 GHz & 5.1–5.9 GHz

4.4.3. Gerçekleştirilen Anten 4'ün Performans Analizi

4.4.3.1. Işıma Örüntüsü

xz ve yz düzlemleri için 4 GHz ve 8 GHz frekans noktaları için xy düzlemine yerleştirilmiş bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin benzetim ışıma modelleri Şekil 4.39'da verilmiştir. Şekil 4.39a'da xz düzleminde 4 GHz ve 8 GHz çalışma frekans noktaları için anten ışıma modelleri genellikle çok yönlü bir karakteristik sergilemiştir. Buna ek olarak, yz düzleminde "8" şekline sahip ışıma örüntüsü aynı çalışma frekansları için iki yönlü bir karakteristik sergilemektedir.

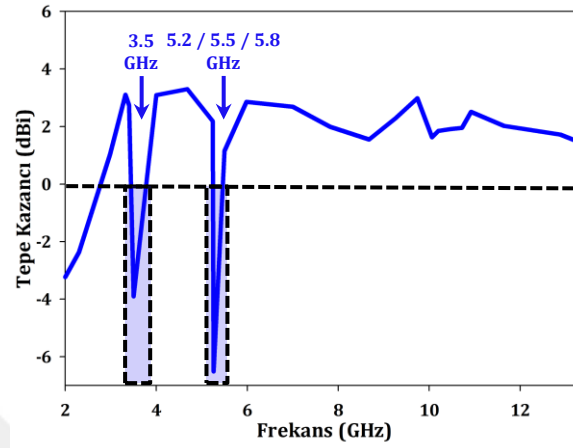


Şekil 4.39. Farklı frekanslar için çift bant reddeden özelliğe sahip UWB antenin ışıma modelleri
a) xz düzlemi, b) yz düzlemi

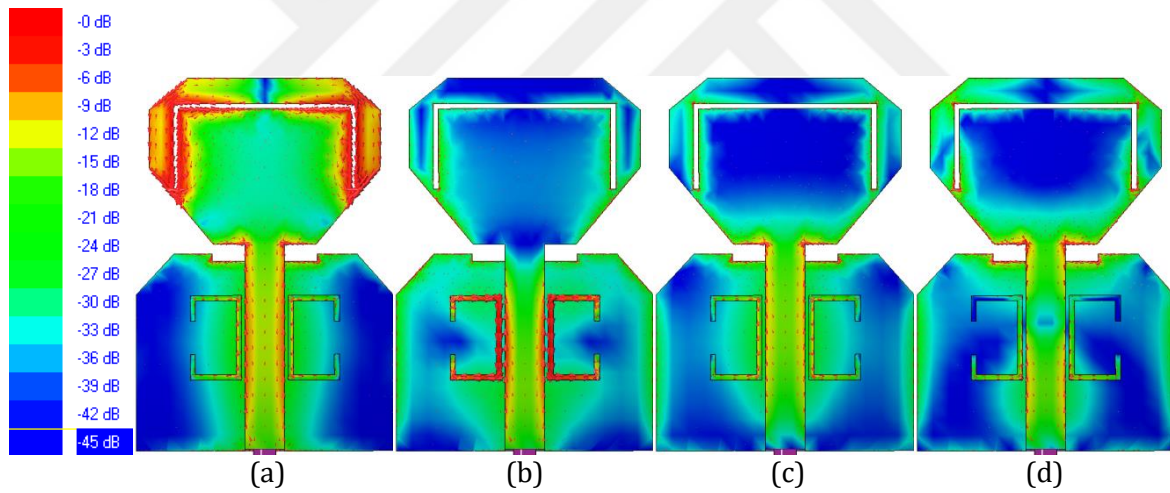
4.4.3.2. Kazanç ve Yüzey Akım Dağılımları

Önerilen UWB antenin frekans kazanç grafiği Şekil 4.40'da verilmiştir. Kazanç eğrisi incelendiğinde, WLAN için 3.5 GHz ve WiMAX için merkez 5.5 GHz frekansları için kazanç değerlerinin etkili bir şekilde sırasıyla 3.9dBi ve 6.5 dBi değerlerine doğru azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Çalışma frekansları 3.5 GHz ve 5.5 GHz için, azalan kazanç değerine bant reddetme özelliği neden olmaktadır. Önerilen UWB antenin, bant reddetme özelliğinin olmadığı frekans noktalarında anten kazanç değerlerinin 1.5 dBi ile 3.3 dBi arasında değişim göstermektedir. Oyuk ve şerit yapılarının etkilerini daha iyi anlamak için, Şekil 4.41'de farklı frekans çalışma noktaları için yüzey akım dağılımları verilmiştir. Şekil 4.41a'da 3.5 GHz frekans çalışma noktası için yüzey akım dağılımları incelendiğinde ışıma yaması içerisinde ters U-oyuk yapısı etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Buradan 3.5 GHz frekans noktası için bant reddetme özelliğini ters U-oyuk yapısının sağladığı açıkça görülmektedir. Şekil 4.41b incelendiğinde ise 5.5 GHz frekans

çalışma noktaları için yüzey akım dağılımları C-şeritlerinin etrafında yoğunlaştığı ve 5.5 GHz frekans noktası için bant reddetme özelliğinin C-şeritleri tarafından sağlandığı açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.41c ve Şekil 4.41d'de 4 GHz ve 7.5 GHz çalışma frekans noktaları ters U-oyuk ve C-şeritlerinin etrafında yüzey akım dağılımları gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.40. Çift bant reddetme özelliğine sahip UWB antenin tepe kazanç eğrisi



Şekil 4.41. Çift bant reddetme özelliğine sahip önerilen UWB antenin farklı frekans değerleri için yüzey akım dağılımları: a) 3.5 GHz, b) 5.5 GHz, c) 4 GHz, d) 7.5 GHz

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde mobil cihazlar insanların günlük hayatları içerisinde vazgeçilmez bir parça haline gelmiştir. Sadece bir cihaz, birkaç yıl içerisinde hızla gelişen uydu haberleşme ve kablosuz iletişim sistemlerini kullanarak onlarca işlemi yapabilmekte ve kullanıcıların gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Buna ek olarak uydu haberleşme ve kablosuz iletişim sistemlerindeki bu gelişim bu sistemlerde kullanılan cihazların boyutlarının küçülmesine ve güncel hayatta bu cihazların yaygın bir şekilde kullanımının artmasına neden olmuştur. Boyutları küçülen ve yaygın olarak kullanılan bu cihazların performansındaki beklentide oldukça yüksek olmaktadır. Maliyet, ağırlık, boyut, kurulum kolaylığı, performans ve aerodinamik gereksinimleri olan uzay, uçak ve füzer sistemleri uygulamalarında performansı yüksek profili düşük antenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlara ek olarak günümüzde gezgin radyo ve koblosuz iletişim sistemlerinde kullanılan birçok cihazda bunlara benzer özellikler vardır. Söz konusu gereksinimlerin karşılanması için bu kablosuz cihazlarda çok çeşitli anten yapıları kullanılmaktadır. Bu anten yapılarının içerisinde yer alan mikroşerit antenler (MA) yoğun bir ilgi görmektedir. Geniş bir frekans yelpazesi üzerinde yüksek bir performansa sahip olan MA'lar, hafif, ucuz ve düşük bir profile sahiptirler.

Yıllar içerisinde koblosuz iletişim teknolojisinin gelişimine bağlı olarak bu teknolojiye kullanılan sistemlerin daha karmaşık bir yapıya bürünmesine neden olmuştur. Bununla birlikte bu karmaşıklıkla birlikte ortaya çıkan problemlerde çözümü bilinen analitik ve klasik yöntemlerle çözümü oldukça güçleşmiştir. Bu gibi karmaşık yapıya sahip sistemlerde mevcut problemlerin çözümünde alternatif çözüm yollarından olan optimizasyon yöntemi kullanılmaya başlanmış ve elde ettiği etkin çözümlerden dolayı her alanda zor ve karmaşık problemlerin çözümünde uygulanma popülaritesini arttırmıştır. Geçtiğimiz yüzyılın sonlarından itibaren bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişimler sayesinde optimizasyon yöntemlerinin sosyal, sağlık ve fen bilimleri gibi hemen her alanda kullanımları giderek artış göstermiştir. Buna ek olarak, mühendislik alanındaki bilim camiasının pek çoğu bilgisayarları kullanarak sayısal modellemeler ve çözümler yapmaya yönelmişlerdir. Bu yönelmeler ve gelişmeler sayesinde problemlerin daha hızlı ve daha az maliyetli çözümü için araştırmalar yapılarak yeni yöntemlerin ya da mevcut yöntemlerin geliştirilmesi yönünde ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle klasik optimizasyon tekniklerinin çözmekte başarısız olduğu veya problemlerin çözüm sürecinin zaman aldığı durumlar için alternatif yöntem olarak geliştirilen, tamamen doğa olaylarının modellenmesi ile ortaya konulan ve çözüme yönelik olan yapay zekâ kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Klasik çözüm yöntemlerinin büyük problemlerde yetersiz kalması ya da ihtiyaç duyulan çözüm hesaplama sürelerinin çok büyük olmasından dolayı yapay zekâ optimizasyon teknikleri en iyi çözümü garanti etmese dahi, amaca uygun iyi bir çözümü bulması açısından çeşitli alanlarda

çalışan çoğu araştırmacıyı oldukça etkilemiştir. Son yıllarda, iletişim teknolojilerinin birçok alanında da yaygın olarak kullanılmaya başlanan yapay zekaya dayalı optimizasyon teknikleri, mikrodalga frekanslarında tasarım, benzetim ve optimizasyon problemlerinde elde ettiği hızlı, doğru ve esnek çözümlerden dolayı çok yoğun bir ilgi görmüştür.

Bu tez çalışmasında, kablosuz iletişim sistemlerinde UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları için 1 anten ve UWB sistemlerine yönelik 1 anten bununla birlikte mikroşerit anten bant genişliğinin artırılmasına yönelik 1 anten olmak üzere toplam 3 adet anten tasarımı gerçekleştirilmiş ve prototipi üretilmiştir. Ayrıca, son iki antenin tasarım süreçlerinde kullanılmak üzere YAK ve FG algoritmalarının birbiri ile entegre edilmesi ile elde edilen MYAK optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Optimizasyon yönteminin performans değerlendirilmesi için optimizasyon test aşamalarında kullanılan 20 adet optimizasyon test fonksiyonu kullanılmıştır. Buna ek olarak, geliştirilen MYAK performansı, literatüre daha önce sunulan yine YAK ve FG algoritmaları kullanılarak melezleme tekniği ile geliştirilmiş bir optimizasyon tekniği ile de karşılaştırılmış ve performans değerlendirmelerine ait elde edilen test sonuçları, geliştirilen MYAK optimizasyon tekniğinin performansının YAK, FG, PSO ve melez YAKFG algoritmasına göre çok daha iyi olduğu göstermiştir. Anten tasarım aşamalarında kullanılan algoritmalar ile HyperLynx® 3B programı entegre etmek için MATLAB® programı kullanılarak bir yazılım arayüzü geliştirilmiştir.

Birinci anten tasarımında, UMTS, WLAN ve WiMAX uygulamaları için anten üzerinde belirlenen tasarım parametreleri YAK algoritması ve HyperLynx® 3B programının birbiri ile entegre edilmesi ile oluşturulan optimizasyon tekniği kullanılarak monopole anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. $42 \times 51 \text{ mm}^2$ boyutlarındaki monopol anten 1.78 GHz ile 3.90 GHz ve 5.00 GHz ile 6.54 GHz frekans aralıklarında çalışmaktadır. Bu frekans aralıkları UMTS, WLAN ve WiMAX frekans bantlarını desteklemektedir.

İkinci anten tasarımı, dikdörtgen mikroşerit antenlerin bant genişliklerini iyileştirmeye yönelik yapılan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı boyutlarda 7 adet dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin, toprak düzlemine açılan yine oyuk yapısının istenen amaca yönelik en uygun pozisyonlarının ve boyutlarının, geliştirilen MYAK optimizasyon yöntemi ile tespit edilme işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre dikdörtgen şekilli antenlerin bant genişliğinin %45 üzerinde arttığı görülmüştür.

Üçüncü anten tasarımı, $20 \times 29 \text{ mm}^2$ boyutlarında ışıma yaması içerisinde ters U-oyuk ve besleme hattının her iki yanına simetrik olarak yerleştirilmiş C-şeritlerden meydana gelen ve çift bant reddetme özelliğine sahip UWB bir anten gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antene, 3.1 GHz ile 10.6 GHz çalışma frekans aralığında, WiMAX (3.5 GHz, 5.5 GHz) ve WLAN (5.2 GHz, 5.8 GHz)

uygulamaları için girişim problemi oluşturan çalışma frekans noktalarında bant reddetme özelliği kazandırılmıştır.

Anten yapıları, HyperLynx® 3B programı ile optimizasyon algoritmalarının entegre edilmesiyle MATLAB® ortamında geliştirilen program arayüzü kullanılarak tasarlanmıştır. Antenlerin performansları, S-parametreleri, bant genişliği, ışıma örüntüsü, yüzey akım dağılımı, ve kazanç yönünden incelenmiştir. Tasarım aşamasından sonra anten tasarımları çift yüzlü bakır 1.6 mm kalınlığındaki ve 4.4 dielektrik sabitine sahip FR4 materyal üzerine LPKF-ProtoMat E33 CNC cihazı kullanılarak prototipleri gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen antenlerin S_{11} parametreleri Keysight Teknolojileri N5227A PNA mikrodalga network analizör kullanılarak ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, geliştirilen optimizasyon teknikleri ile tasarlanan anten tasarımlarının, kompakt ve gezgin terminallere yerleştirilebilmeleri gibi fiziksel özelliklerinin yanında, geniş bant, iyi kazanç ve ışıma modeli gibi karakteristiklere de sahiptir. Ayrıca, dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerin bant genişliğini arttırmaya yönelik uygulanan yöntemin ve bunlara ek olarak bu tez çalışmasında tasarlanan antenlerin UMTS, WLAN, WiMAX ve UWB gibi sistemler için geliştirilecek olan anten tasarımları açısından literatüre ve endüstriye çok önemli katkı sağlayacağı da düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçları daha da geliştirmek için tez içerisinde kullanılan yapay zekâ teknikleri ile ilgili uygulamaya yönelik bilgiler temel alınarak anten tasarımlarına yönelik bu tür problemlerin çözümünü gerçekleştiren çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Deschamps, G. A., *Microstrip microwave antennas*, Proc. 3rd USAF Symposium on Antennas, 1953, pp. 189–195.
- [2]. Gutton, H.; Baissinnot, G., Flat aerial for ultrahigh frequencies, French Patent, 70313, 1955.
- [3]. Munson, R. L., Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **1974**, 22, (1), 74–78.
- [4]. Howell, Q. E., Microstrip antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **1975**, 23, 90–93.
- [5]. Yang, F., Zhang, X. X., Ye, X. N., Rahmat-Samii, Y., Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **2001**, 49, 1094–1100.
- [6]. Chuang, H.-R., Kuo, L.-C., 3D FDTD design analysis of a 2.4 GHz polarization diversity printed dipole antenna with integrated balun and polarization switching circuit for WLAN and wireless communication applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* **2003**, 51, (2), 374–381.
- [7]. Chen, H.-M., Chen, J.-M., Cheng, P.-S. and Lin, T.-F., Feed for dual-band printed dipole antenna. *Electronics letters* **2004**, 40, (21), 1320–1322.
- [8]. Liao, W.-J., Lu, Y.-C. Chou, H.-T., *A multiband microstrip dipole antenna*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 3–8 July 2005, pp.462–465.
- [9]. Rmili, H., Floc'h, J. M., Besnier, P., Drissi, M., *A dual-band printed dipole antenna for IMT-2000 and 5-GHz WLAN applications*, Proceedings of the 9th European Conference on Wireless Technology, 10–12 Sept. 2006, pp. 6–10.
- [10]. Wong, K.-L., Lin, Y.-C., Tseng, T.-C., Thin internal GSM/DCS patch antenna for a portable mobile terminal. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **2006**, 54, (1), 238–242.
- [11]. Sainati, R. A., *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Nowood, MA: Artech House, 1996.
- [12]. Sagioglu, S., Güney, K., Calculation of resonant frequency for an equilateral triangular microstrip antenna with the use of artificial neural networks. *Microwave and Optical Technology Letters* **1997**, 14, (2), 89–93.
- [13]. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A., *Microstrip Antenna Design Handbook*, Londra, Artech House, 2001.
- [14]. Kumar, G., Ray, K.P., *Broadband Microstrip Antennas*, USA, Artech House, 2003.
- [15]. Güney, K., Gultekin, S. S., Artificial neural networks for resonant frequency calculation of rectangular microstrip antennas with thin and thick substrates. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves* 2004, 25, (9), 1383–1399.
- [16]. Güney, K., Sarikaya, N., Adaptive neuro-fuzzy inference system for computing the resonant frequency of circular microstrip antennas. *ACES JOURNAL* **2004**, 19, (3), 188–197.
- [17]. Turker, N., Gunes, F., Yildirim, T., Artificial neural design of microstrip antennas. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* **2006**, 14, (3), 445–453.
- [18]. Sadat, S., Fardis, M., Gharakhili, F.G., Dadashzadeh, G.R., A compact microstrip square-ring slot antenna for UWB applications. *Progress In Electromagnetics Research* **2007**, 67, 173–179.
- [19]. Krishna, D. D., Gopikrishna, M., Aanandan, C. K., Mohanan, P., Vasudevan, K., Compact dual band slot loaded circular microstrip antenna with a superstrate. *Progress In Electromagnetics Research* **2008**, 83, 245–255.
- [20]. Yin, X.-C., Ruan, C.-L., Ding, C.-Y., Chu, J.-H., A compact ultra-wideband microstrip antenna with multiple notches. *Progress In Electromagnetics Research*, **2008**, 84, 321–332.
- [21]. Alkanhal, M. A. S., Composite compact triple-band microstrip antennas. *Progress In Electromagnetics Research* **2009**, 93, 221–236.
- [22]. Malathi, P., Kumar, R., On the design of multilayer circular microstrip antenna using artificial neural network. *International Journal of Recent Trends in Engineering* **2009**, 2, (5), 70–74.
- [23]. Thakare, V. V., Singhal, P., Microstrip antenna design using artificial neural networks. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering* **2010**, 20, 76–86.

- [24]. Paulson, M., Kundukulam, S.O., Aanandan, C.K., Mohanan, P., Resonance frequencies of compact microstrip antenna. *Electronics letters* **2001**, 37, 1151–1153.
- [25]. Gao, S.C., Li, L. W., Leong, M. S. Yeo, T. S., Analysis of an H-shaped patch antenna by using FDTD method. *Progress In Electromagnetics Research* **2001**, 34, 165–187.
- [26]. Sheta, A.F., Mohra, A., Mahmoud, S.F., Multi-band operation of a compact H-shaped microstrip antenna. *Microwave and Optical Technology Letters* **2002**, 35, 363–367.
- [27]. Deshmukh, A. A., Kumar, G., Formulation of resonant frequency for compact rectangular microstrip antennas. *Microwave and Optical Technology Letters* **2007**, 49, (2), 498–501.
- [28]. Akdagli, A. Ozdemir, C., Yamacli, S., Arcasoy, C. C., Improved formulas for the resonant frequencies of dual frequency arrow shaped compact microstrip antenna. *Microwave and Optical Technology Letters* **2008**, 50, 62–65.
- [29]. Akdagli, A., Toktas, A. A novel expression in calculating resonant frequency of H-shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm. *Journal Of Electromagnetic Waves And Applications* **2010**, 24, (14–15), 2049–4061.
- [30]. Akdagli, A., Bicer, M.B., Ermis, S., A novel expression for resonant length obtained by using artificial bee colony algorithm in calculating resonant frequency of C-shaped compact microstrip antennas. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* **2011**, 19, 597–606.
- [31]. Toktas A., Akdagli A., Bicer M.B., Kayabasi, A., Simple formulas for calculating resonant frequencies of C and H shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **2011**, 25, 1718–1729.
- [32]. Bhattacharyya, A. K., Garg, R., Generalized transmission line model for microstrip patches. *IEEE Proceedings H–Microwaves, Antennas and Propagation*, **1985**, 132, (2), 93–98.
- [33]. Richards, W. F., Lo, Y. T., Harisson, D. D., An improved theory for microstrip antennas and applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **1981**, (29), 38–46.
- [34]. Harrington, R. F., *Field Computation by Moment Methods*, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1993.
- [35]. Taflov, A., *Computational Electrodynamics: The Finite - Difference Time Domain Method*, Boston, Artech House, 1995.
- [36]. Liu, X. F.; Jiao, Y. C.; Zhang, F. S., Chen, Y. B., Design of a Low -Profile Modified U-Slot Microstrip Antenna Using PSO Based on IE3D. *Microwave and Optical Technology Letters* **2007**, (49), 1111–1114.
- [37]. Jin N. B., Rahmat-Samii Y., Parallel particle swarm optimization and finite difference time domain algorithm for multiband and wideband patch antenna designs. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **2005**, (53), 3459–3468.
- [38]. Yilmaz A. E., Kuzuoglu M., Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using particle swarm optimization. *Microwave and Optical Technology Letters* **2007**, (49), 2905–2907.
- [39]. Namkung J., Hines E. L., Green R. J., Leeson M. S., Probe-feed microstrip antenna feed point optimization using a genetic algorithm and the method of moments. *Microwave and Optical Technology Letters* **2007**, (49), 325–329.
- [40]. Zhang L., Cui Z., Jiao Y. C., Zhang F. S., Broadband patch antenna design using differential evolution algorithm. *Microwave and Optical Technology Letters* **2009**, (51), 1692–1695.
- [41]. Goudos S. K., Siakavara K., Sahalos J.N., *Modified spiral RFID tag antenna optimal design using artificial bee colony optimization*, Proceeding of the 43rd European Microwave Conference, Nuremberg, Germany, 7–10 October 2013, pp.1255–1258.
- [42]. Goudos S. K., Siakavara K., Sahalos J. N., *Optimizing meandered spiral antenna for RFID tags using Gbest-guided artificial bee colony algorithm*, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), Hague, Netherlands, 6–11 April 2014, pp.2962–2965.
- [43]. Lamberti L., Pappalettere C., Weight optimization of skeletal structures with multipoint simulated annealing, *Computer Modelling in Engineering and Sciences* **2007**, (18), 183–221.
- [44]. Precup R.-E., David R.-C., Petriu E. M., Preitl S., Paul A. S., Gravitational search algorithm-based tuning of fuzzy control systems with a reduced parametric sensitivity, in *Soft Computing in Industrial Applications*, Gaspar-Cunha A., Takahashi R., Schaefer G., Costa L.,

- Eds., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, *Advances in Intelligent and Soft Computing* **2011**, (96), 141–150.
- [45] Birbil S.I., Fang S.C., An electromagnetism-like mechanism for global optimization. *Journal of Global Optimization* **2003**, (25), 263–282.
- [46] Özdağ R., Karcı A., *The Application of Electromagnetism-like Algorithm for the Dynamic Deployment Problem in Wireless Sensor Networks*, in Proc. 2nd International Eurasian Conference on Mathematical Sciences and Applications, Sarajevo, Bosnia and Hersegovina, 26–29 August 2013, pp. 199–200.
- [47] Erol O.K., Eksin İ., A new optimization method: Big bang-big crunch. *Advances in Engineering Software* **2006**, (37), 106–111.
- [48] Yang X.-S., *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*, NISCO 2010, SCI 284, 2010, pp. 65–74.
- [49] Yang X.-S., Gandomi A.H., Bat Algorithm: A Novel Approach for Global Engineering Optimization. *Engineering Computations* **2012**, (29), 464–483.
- [50] Yang X.-S., Bat Algorithm for Multi-Objective Optimisation. *International Journal of Bio-Inspired Computation* **2011**, (3), 267–274.
- [51] Tsai J.-T., Solving Japanese nongrams by Taguch-based genetic algorithm, *Applied Intelligence* **2012**, 37, 405–419.
- [52] Xing H., Qu R., A compact genetic algorithm for the network coding based resource minimization problem. *Applied Intelligence* **2011**, (36), 809–823.
- [53] Rivero J., Coadra D., Calle J., Isasi P., Using the ACO algorithm for path searches in social network. *Applied Intelligence* **2011**, (36), 899–917.
- [54] Karaboga D., An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department 2005.
- [55] Karaboga D., Artificial bee colony algorithm. Scholarpedia, 5(3):6915, 2010.
- [56] De Castro L.N., Von Zuben F.J., Learning and optimization using the clonal selection principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* **2002**, (6), 239–251.
- [57] Karcı A., Theory of saplings growing-up algorithm, in Proc. ICANNGA-2007: *Adaptive and Natural Computing Algorithms*, Editors: Beliczynski B., Dzielinski A., Iwanowski M., Ribeiro B., LNCS, **2007**, (4431), 450–460.
- [58] Karcı A., Alataş B., *Thinking Capability of Saplings Growing Up Algorithm*, in Proc. IDEAL-2006: 7th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning, LNCS, 2006, pp. 386–393.
- [59] Karcı A., *Saplings Sowing and Growing up Algorithm Convergence Properties*, in Proc. INISTA-2007: International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Yıldız Technical University, İstanbul, 2007, pp. 322–326.
- [60] Karcı A., Yiğiter M., Demir M., *Natural Inspired Computational Intelligence Method: Saplings Growing Up Algorithm*, in Proc. Ikecco 2007 International Kyrgyz-Kazak Electronics and Computer Conference, Bishkek-Almaty, 2007, pp. 18.
- [61] Demir M., Yiğiter M., Karcı A., *Application of Saplings Growing Up Algorithm to Clustering Medical Data*, in Proc. Ikecco 2007 International Kyrgyz-Kazak Electronics And Computer Conference, Bishkek-Almaty, 2007, pp. 9–15.
- [62] Demir M., Karcı A., Özdemir M., Fidan Gelişim Algoritması Yardımı ile DNA Motiflerinin Keşfi. *Çankaya University Journal of Science and Engineering* **2011**, (8), 51–62.
- [63] Mehrabian A.R., Lucas C., A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. *Ecological Informatics* **2006**, (1), 355–366.
- [64] Mucherino A., Seref O., Monkey search: A novel metaheuristics search for global optimization I. Continuous parameter optimization. *Evolutionary Computation* **2007**, (953), 25–49.
- [65] Passino K.M., Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE Control Systems Magazine*, **2002**, (22), 52–67.

- [66] Canayaz M., Karcı A., *A New Metaheuristic Cricket-Inspired Algorithm*, in Proc. 2nd International Eurasain Conference on Mathematical Sciences and Applications, Sarajevo, Bosnia and Hercegovina, 26 - 29 August 2013, pp. 176.
- [67] Deniz Ülker E., Haydar A., Comparing the Robustness of Evolutionary Algorithms on the Basis of Benchmark Functions. *Advances in Electrical and Computer Engineering* **2013**, (13), 59–64.
- [68] Alataş B., ACROA: Artificial Chemical Reaction Optimization Algorithm for Global Optimization. *Expert Systems with Applications* **2011**, (38), 13170–13180.
- [69] Karcı A., *A new Metaheuristic Algorithm Based Chemical Process: Atom Algorithm*, in Proc. 1st International Eurasain Conference on Mathematical Sciences and Applications, Prishtine, Kosovo, 3–7 September 2012, pp. 83–84.
- [70] Erdoğan Yıldırım A., Karcı A., *Solutions of Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithm and Atom Algorithm*, in Proc. 2nd International Eurasain Conference on Mathematical Sciences and Applications, Sarajevo, Bosnia and Hercegovina, 26–29 August 2013, pp. 134.
- [71] Karadoğan A., Karcı A., *Artificial Atom Algorithm for Reinforcement Learning*, in Proc. 2nd International Eurasain Conference on Mathematical Sciences and Applications, Sarajevo, Bosnia and Hercegovina, 26–29 August 2013, pp. 379.
- [72] Niizuma D., Yasuda K., A. Ishigame, Multi-point tabu search for traveling salesman problems. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. **2006**, (1), 126–129.
- [73] Gargari E.A., Lucas C., *Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition*, in Proc. IEEE congress on evolutionary computation, Singapore, 2007, pp. 4661–4667.
- [74] Yang X.-S., *Firefly algorithm, Levy flights and global optimization*, in Proc. Research and Development in Intelligent Systems XXVI (Eds M. Bramer, R. Ellis, M. Petridis), Springer London, 2010, pp. 209–18.
- [75] Yang X.-S., Firefly algorithms for multimodal optimization, *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications. Lecture Notes in Computer Science* **2009**, (5792), 169–178.
- [76] Yang X.-S., Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization. *International Journal of Bio-Inspired Computation* **2010**, (2), 78–84.
- [77] Yang X.-S., Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm, Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications. *Studies in Computational Intelligence* **2009**, (191), 1–14.
- [78] Kennedy J., Eberhart R.C., *Particle swarm optimization*, in Proc. of IEEE international conference on neural Networks, Australia, 1995, pp. 1942–1948.
- [79] El-Hefnawy N. A., Solving Bi-level Problems Using Modified Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Journal of Artificial Intelligence* **2014**, (12), 88–101.
- [80] Ortakçı Y., Göloğlu Cevdet, *Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Küme Sayısının Belirlenmesi*, Akademik Bilişim 12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı, Uşak Üniversitesi, 1–3 Şubat 2012, pp. 335–341.
- [81] Eberhart R., Kennedy J., *A New Optimizer Using Particle Swarm Theory*, Sixth International Symposium on Micro Machines and Human Science, 1995, pp. 39–43.
- [82] Özsağlam M. Y., Cunkaş M., Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Politeknik Dergisi*, **2008**, (11), 299–305.
- [83] Chu S.C., Tsai P.W., Pan J.S., Cat swarm optimization, *PRICAI 2006: Trends in Artificial Intelligence Lecture Notes in Computer Science* **2006**, (4099) 854–858.
- [84] Lee K.S., Geem Z.W., A new metaheuristics algorithm for continues engineering optimization: Harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* **2005**, (194), 3902–3933.
- [85] Akyol S., Alataş B., Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi* **2012**, (1), 36–50.
- [86] Thangaraj, M., Pant, A., Abraham, A. and Bouvry, P., Particle swarm optimization: hybridization perspectives and experimental illustrations. *Applied Mathematics and Computation* **2011**, (217), 5208–5226.

- [87] Tsai P.W., Pan J.S., Liao B.Y., Chu S.C., Enhanced artificial bee colony optimization. *International journal of innovative computing, information & control* **2009**, (5), 5081–5092.
- [88] Narasimhan H., *Parallel artificial bee colony (PABC) algorithm*, in: Proceedings of the World Congress on Nature Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), 2009, pp. 306–311.
- [89] Subotic M., Tuba M., Stanarevic N., *Parallelization of the artificial bee colony (ABC) algorithm*, in: Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Neural Networks and 11th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing and 11th WSEAS International Conference on Fuzzy Systems, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Stevens Point, Wisconsin, USA, 2010, pp. 191–196.
- [90] Zou W., Zhu Y., Chen H., Sui X., A clustering approach using cooperative artificial bee colony algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society* **2010**, 1–16.
- [91] Subotic M., Tuba M., Stanarevic N., Different approaches in parallelization of the artificial bee colony algorithm. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences* **2011**, (5), 755–762.
- [92] Zhu G., Kwong S., Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical optimization. *Applied Mathematics and Computation* **2010**, (217), 3166–3173.
- [93] Xu X., Lei X., Multiple sequence alignment based on ABC SA. in: *Proceedings of the Artificial Intelligence and Computational Intelligence. Lecture Notes in Computer Science* **2010**, (6320), 98–105.
- [94] Tuba M., Bacanin N., Stanarevic N., *Guided artificial bee colony algorithm*. in: *Proceedings of the European Computing Conference (ECC11)*, 2011, pp. 398–403.
- [95] Li G., Niu P., Xiao X., Development and investigation of efficient artificial bee colony algorithm for numerical function optimization. *Applied Soft Computing* **2011**, (12), 320–332.
- [96] Weber M., Neri F., Tirronen V., Distributed differential evolution with explorative-exploitative population families. *Genetic Programming and Evolvable Machines* **2009**, (10), 343–371.
- [97] Bi X., Wang Y., *An improved artificial bee colony algorithm*, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), 2011, pp. 174–177.
- [98] Gao W.F., Liu S.Y., A modified artificial bee colony algorithm. *Computers & Operations Research* **2012**, (39), 687–697.
- [99] Mezura-Montes E., Cetina-Dominguez O., Empirical analysis of a modified artificial bee colony for constrained numerical optimization. *Applied Mathematics and Computation* **2012**, (218), 10943–10973.
- [100] Bacanin N., Tuba M., Artificial bee colony (ABC) algorithm for constrained optimization improved with genetic operators. *Studies in Informatics and Control* **2012**, (21), 137–146.
- [101] Gao W.F., Liu S.Y., Jiang F., An improved artificial bee colony algorithm for directing orbits of chaotic systems. *Applied Mathematics and Computation* **2011**, (218), 3868–3879.
- [102] Gao W.F., Liu S.Y., Huang L.L., A global best artificial bee colony algorithm for global optimization. *Journal of Computational and Applied Mathematics* **2012**, (236), 2741–2753.
- [103] Liu Y., Ling X.X., Liang Y., Liu G.H., Improved artificial bee colony algorithm with mutual learning. *Journal of Systems Engineering and Electronics* **2012**, (23), 265–275.
- [104] Kang F., Li J., Xu Q., Hybrid simplex artificial bee colony algorithm and its application in material dynamic parameter back analysis of concrete dams. *Journal of Hydraulic Engineering* **2009**, (40), 736–742.
- [105] Marinakis Y., Marinaki M., Matsatsinis N., *A hybrid discrete artificial bee colony grasp algorithm for clustering*, in: Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE: 2009), 2009, pp. 548–553.
- [106] Xiao R., Chen T., *Enhancing ABC optimization with Ai-net algorithm for solving project scheduling problem*, in: Proceedings of the 7th International Conference on Natural Computation (ICNC). 2011, pp. 1284–1288.
- [107] Abraham A., Jatoth R.K., Rajasekhar A., Hybrid differential artificial bee colony algorithm. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* **2012**, (9), 249–257.

- [108] Kang F., Li J., Ma Z., Li H., Artificial bee colony algorithm with local search for numerical optimization. *Journal of Software* **2011**, (6), 490–497.
- [109] Worasuchee C., A hybrid artificial bee colony with differential evolution. *International Journal of Machine Learning and Computing* **2015**, (5), 179–186.
- [110] Zhao J., Wang H., Tan D.-K., Ye J., Sun H., Hu Y.-T., Artificial bee colony based on special central and adapt number of dimensions learning. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing* **2016**, (7), 645–652.
- [111] Zhao J., Fu X.-F., Lv L., Wu R.-X., Wang H., Xiang Y., Fan T.-H., Opposition-based artificial bee colony using different learning models. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing* **2016**, (7), 1206–1214.
- [112] Dao T.-K., Pan T.-S., Nguyen T.-T., A compact artificial bee colony optimization for topology control scheme in wireless sensor networks. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing* **2015**, (6), 297–310.
- [113] Storn R., Price K., Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, **1997**, (11), 341–359.
- [114] Matlab, Ver.7.11.0, Mathworks, 2016.
- [115] Rao, S. M., Wilton, D. R., Glisson A. W., Electronic scattering by surfaces of arbitrary shape. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* **1982**, (30), 409–418.
- [116] HyperLynx® 3D EM. Version 15. Mentor Graphics Corporation, Wilsonville (OR).
- [117] Liu W. C., Wu C. M., Chu N. C., A compact CPW-fed slotted patch antenna for dual-band operation. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2010**, (9), 110–113.
- [118] Huang C. Y., Yu E. Z., A slot-monopole antenna for dual-band WLAN applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2011**, (10), 500–502.
- [119] Lu J. H., Huang B. J., Planar multi-band monopole antenna with L-shaped parasitic strip for WiMAX application. *Electronics Letters*, **2010**, (46), 671–672.
- [120] Liu P., Zou Y., Xie B., Liu X., Sun B., Compact CPW-fed tri-band printed antenna with meandering split-ring slot for WLAN/WiMAX applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2012**, (11), 1242–1244.
- [121] Iddi H. U., Kamaruddin M. R., Rahman T. A., Abdulrahman Y. A., Khalily M., Jamlos M. F., Triple-band CPW-fed planar monopole antenna for WLAN/WiMAX application. *Microwave and Optical Technology Letters*, **2013**, (55), 2209–2214.
- [122] Kaur J., Khanna R., Development of dual-band microstrip patch antenna for WLAN/MIMO/WiMAX/AMSAT/WAVE applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, **2014**, (56), 988–993.
- [123] Kaur J., Khanna R., Kartikeyan M., Novel dual-band multistrip monopole antenna with defected ground structure for WLAN/IMT/BLE/Bluetooth/WiMAX applications. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*. **2013**, (6), 93–100.
- [124] Malekpoor H., Jam S., Design of multi-band asymmetric patch antenna for wireless applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, **2013**, (55), 730–734.
- [125] Basaran S. C., Erdemli Y. E., Dual-Band split-ring antenna design for WLAN applications. *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, **2008**, (16), 78–86.
- [126] Yuan Z. X., Yin Y. Z., Ding Y., Li B., Xie J. J., Multiband printed and double-sided dipole antenna for WLAN/WiMAX applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, **2012**, (54), 1019–1022.
- [127] Hu W., Yin Y. Z., Fei P., Yang X., Compact tri-band square-slot antenna with symmetrical L-strips for WLAN/WiMAX applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2011**, (10), 462–465.
- [128] Basaran S. C., Compact Dual-Band split-ring antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN applications. *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, **2012**, (20), 347–352.
- [129] Anon, FCC First Report and Order on Ultra-Wideband Technology, 2002.
- [130] Kumar R., Naidu V. P., Kamble V., Ram Krishna R. V. S., Simulation, Design of Compact Multi-band Microstrip Slot Antennas for WiMAX/WLAN and UWB Applications. *Wireless Personal Communication*, **2015**, (80), 1175–1192.

- [131] Sarkar M., Dwari S., Daniel A., Printed Monopole Antenna for Ultra-Wideband Application with Tunable Triple Band-Notched Characteristics. *Wireless Personal Communication*, **2015**, (84), 2943–2954.
- [132] Haroon S., Alimgeer K. S., Khalid N., Malik B. T., Shafique, M. F., Khan S. A., A Low Profile UWB Antenna with Triple Band Suppression Characteristics. *Wireless Personal Communication*, **2015**, (82), 495–507.
- [133] Jiang J-B., Zhang X., Yan Z-H., Song Y., Wu W., Band-Notched UWB Printed Antenna with an Inverted C-Slotted Ground. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **2008**, (22), 14–15.
- [134] Pancera E., Modotto D., Locatelli A., Pigozzo F-M., De Angelis C., *Novel design of UWB antenna with band-notch capability*, European Conference on Wireless Technologies. 2007, pp. 48–50.
- [135] Jiang J-B., Yan Z-H., Wang C., A novel compact UWB notch filter antenna with a dual-y-shaped slot. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, **2010**, (14), 165–170.
- [136] Bao X-L., Ammann M-J., *Printed band-rejection UWB antenna with H-shaped Slot*, Antenna Technology: Small and Smart Antennas Metamaterials and Applications, 2007, pp. 319–322.
- [137] Weng Y-F., Cheung S-W., Yuk T- I., *Ultrawideband antenna using CPW resonators for dual-band notched characteristic*, International Conference on Wireless Communications & Signal Processing, 2009, pp. 1–4.
- [138] Weng Y-F., Lu W-J., Cheung S-W., Yuk T-I., *UWB antenna with single or dual band-notched characteristic for WLAN band using meandered ground stubs*, Loughborough Antennas & Propagation Conference, 2009, pp. 757–760.
- [139] Barbarino S., Consoli, F., UWB circular slot antenna provided with an inverted-L notch filter for the 5 GHz WLAN band. *Progress In Electromagnetics Research*, **2010**, (104), 1–13.
- [140] Peng L., Ruan C-L., UWB band-notched monopole antenna design using electromagnetic-bandgap structures. *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, **2011**, (59), 1074–1081.
- [141] Lui W-J., Cheng C-H., Zhu H-B. Improved frequency notched ultrawideband slot antenna using square ring resonator. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2007**, (55), 2445–2450.
- [142] Wu S-J., Kang C-H., Chen K-H., Tarng J-H., Study of an ultrawideband monopole antenna with a band-notched open-looped resonator. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2010**, (58), 1890–1897.
- [143] Kelly J-R., Hall P-S., Gardner P., Band-notched UWB antenna incorporating a microstrip open-loop resonator. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2011**, (59), 3045–3048.
- [144] Ma T-G., Hua R-C., Chou C-F., Design of a multiresonator loaded band-rejected ultrawideband planar monopole antenna with controllable notched bandwidth. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2008**, (56), 2875–2883.
- [145] Jang J-W., Hwang H-Y., An improved band-rejection UWB antenna with resonant patches and a slot. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **2009**, (8), 299–302.
- [146] Zarrabi F-B., Shire A-M., Rahimi M, Gandji N-P., Ultra-wideband tapered patch antenna with fractal slots for dual notch application. *Microwave and Optical Technology Letters*, **2014**, (56), 1344–1348.
- [147] Singh R., Pandey G-K., Agarwal M., Singh H-S., Bharti P-K., Meshram M-K., Compact planar monopole antenna with dual band notched characteristics using T - Shaped stub and rectangular mushroom type electromagnetic band gap structure for UWB and Bluetooth applications. *Wireless Personal Communication*, **2014**, (78), 215–230.
- [148] Choukiker Y-K., Behera S-K., Modified Sierpinski square fractal antenna covering ultra-wide band application with band notch characteristics. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, **2014**, (8), 506–512.

- [149] He W., Jin R., Geng J. E., Shape patch with wideband and circular polarization for millimeter-wave communication. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2008**, (56), 380–383.
- [150] Lau K. L., Luk K. M., Lee K. L., Design of a circularly-polarized vertical patch antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2006**, (50), 1332–1335.
- [151] Sun D. M. B., Song I. S., Choa S. H., Koh I. S., Lee Y. S., Yook J. G., Package-Level integrated antennas based on LTCC technology. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2006**, (54), 2190–2197.
- [152] Lin S., Row J., Bandwidth enhancement for dual-frequency microstrip antenna with conical radiation. *Electronics Letters*, **2008**, (44), 2–3.
- [153] Yang R., Xie Y., Li D., Zhang J., Jiang J., Band-width Enhancement of Microstrip Antennas with Metamaterial Bilayered Substrates. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **2007**, (21), 2321–2330.
- [154] Patel S. K., Argyropoulos C., Enhanced bandwidth and gain of compact microstrip antennas loaded with multiple corrugated split ring resonators. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **2016**; 30: 945–961.
- [155] Djaiz A., Nedil M., Habib M. A., Denidni T. A., Design and Implementation of a Miniaturized CPW-FED Antenna with Enhanced Bandwidth. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, **2008**, (22), 1242–1249.
- [156] Shetawy S. A., Abdallah E. A., Abdel-Aziz D., *Slot-ted ground plane of the rectangular patch micro-strip antenna with enhanced bandwidth and size reduction*, 12th WSEAS International Conference on Communications, Greece. 2008, pp. 286–292.
- [157] AbuTarboush H. F., Al-Ra-weshidy H. S., Nilavalan R., *Bandwidth enhancement for microstrip patch an-tenna using stacked patch and slot*, IEEE International Workshop on Antenna Technology, Santa Monica, 2009, pp. 1–4.
- [158] Misran N., Shakib M. N., Islam M. T., Yatim B., *Design analysis of a slotted microstrip antenna for wireless communication*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, pp. 378–380.
- [159] Holland J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Cambridge MAMIT Press, 1992.
- [160] Dorigo M., Statzle T., *Ant colony optimization*, Cambridge MAMIT Press, 2004.
- [161] Fister I., Yang X. S., Brest J., A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, **2013**, (13), 34–46.
- [162] Yang X. S., *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*, Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, 2010; p 65–74.
- [163] Jin N. B., Rahmat-Samii Y., Parallel particle swarm optimization and finite difference time domain algorithm for multiband and wideband patch antenna designs, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2005**, (53), 3459–3468.
- [164] Yilmaz A. E., Kuzuoglu M., Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using particle swarm optimization, *Microwave and Optical Technology Letters*, **2007**, (49), 2905–2907.
- [165] Namkung J., Hines E. L., Green R. J., Leeson M. S., Probe-feed microstip antenna feed point optimization using a genetic algorithm and the method of moments, *Microwave and Optical Technology Letters*, **2007**, (49), 325–329.
- [166] Zhang L., Cui Z., Jiao Y. C., Zhang F. S., Broadband patch antenna design using differential evolution algorithm, *Microwave and Optical Technology Letters*, **2009**, (51), 1692–1695.
- [167] Goudos S. K., Siakavara K., Sahalos J. N., *Modified spiral RFID tag antenna optimal design using artificial bee colony optimization*, Proceeding of the 43rd European Microwave Conference, Nuremberg, Germany, 2013.
- [168] Goudos S. K., Siakavara K., Sahalos J. N., *Optimizing meandered spiral antenna for RFID tags using Gbest-guided artificial bee colony algorithm*, The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), Hague, Netherlands, 2014.
- [169] Kerkhoff A-J., Ling H., Design of a band-notched planar monopole antenna using genetic algorithm optimization. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **2007**, (55), 604–610.

- [170] Xie L., Jiao J.-C., Zhao G., *A compact band-notched UWB slot antenna optimized by genetic algorithm*, 2011 IEEE International conference, Beijing, 2011.
- [171] Montaser A.-M., Mahmoud K.-R., Abdel-Rahman A.-B., Elmikati H.-A., Design Bluetooth and notched-UWB E-shape antenna using optimization techniques. *Progress In Electromagnetics Research B*, **2003**, (47), 279–295.
- [172] Islam M.T., Misran N., Take T.C., Moniruzzaman M., *Optimization of micro-strip patch antenna using particle swarm optimization with curve fitting*. 2009 International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Selangor, Malaysia,. 2009, pp. 711–714.
- [173] Chouksey S., Ghadle M., A genetic algorithm for optimization of microstrip patch antenna. *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering*, **2012**, (1), 97–99.
- [174] Jayasinghe J., Anguera J., Uduwawala D., On the behavior of several fitness functions for genetically optimized microstrip antennas. *International Journal of Scientific World*, **2015**, (3); 53–58.
- [175] Ericsson Mobility Report, <https://www.ericsson.com/news/1790097> (01.06.2017).
- [176] Samukic A., *UMTS Universal Mobile Telecommunications System development of standards for the third generation*, The Ninth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 8–11 September 1998, pp. 978–984.
- [177] IEEE 802.11 standart Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (01.06.2017).
- [178] Andrews, J. G., Ghosh, A., Muhamed, R., *Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, America, 2007.
- [179] WiMAX Maps, <https://www.wimaxmaps.org/> (01.06.2017).
- [180] WiMAX Forum, <http://wimaxforum.org/> (01/06.2017).
- [181] Balanis C. A., *Antenna Theory: Analysis and Design*, Wiley Interscience, 2005.
- [182] James J. R., Hall, P. S., *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd., London, 1989.
- [183] Balanis C. A., Loannides, P. I., *Introduction to smart antennas*, Morgan & Claypool, 2007.
- [184] Antoniou, A., Lu W.-S., *Practical Optimization Algorithms and Engineering Application*, SpringerScience + BusinessMedia, New York, 2007.
- [185] Nocedal J., Wright S. J., *Numerical Optimization*, Springer-Verlag, New York, 1999.
- [186] Fletcher R., *Practical Methods of Optimization*, Second Edition, John Wiley&Sons, 2000.
- [187] Haupt R. L., Haupt Sue A., *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons Inc., Second Edition, 2004.
- [188] Karaboga, D., Gorkemli, B., *A Combinatorial Artificial Bee Colony Algorithm for Traveling Salesman Problem*, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 2011, pp. 50–53.
- [189] Alataş, B., Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları Geliştirme, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [190] Chakraborty U. K., *Advances in Differential Evolution*, Heidelberg. Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [191] Tsai P. W., Pan J. S., Liao BY, Chu S. C., Enhanced artificial bee colony optimization, *Int J Innov International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, **2009**, (5), 5081–5092.
- [192] Narasimhan H., *Parallel artificial bee colony (PABC) algorithm*, Proceedings of the World Congress on Nature Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), 2009, pp. 306–311.
- [193] Subotic M., Tuba M., Stanarevic N., *Parallelization of the artificial bee colony (ABC) algorithm*, Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Neural Networks and 11th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing and 11th WSEAS International Conference on Fuzzy Systems, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Stevens Point, Wisconsin, USA, 2010, pp. 191–196.
- [194] Zou W., Zhu Y., Chen H., Sui X., A clustering approach using cooperative artificial bee colony algorithm, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, **2010**.
- [195] Subotic M., Tuba M., Stanarevic N., Different approaches in parallelization of the artificial bee colony algorithm, *International Journal Of Mathematical Models And Methods in Applied Sciences*, **2011**, (5), 755–762.

- [196] Zhu G., Kwong S., Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical optimization, *Applied Mathematics and Computation*, **2010**, (217), 3166–3173.
- [197] Xu X., Lei X., Multiple sequence alignment based on ABC SA, *Proceedings of the Artificial Intelligence and Computational Intelligence. Lecture Notes in Computer Science*, 2010, 6320, pp. 98–105.
- [198] Tuba M., Bacanin N., Stanarevic N., Guided artificial bee colony algorithm, *Proceedings of the European Computing Conference (ECC11)*, 2011, pp. 398–403.
- [199] Li G., Niu P., Xiao X., *Development and investigation of efficient artificial bee colony algorithm for numerical function optimization*, *Applied Soft Computing*, **2011**, (12), 320–332.
- [200] Weber M., Neri F., Tirronen V., *Distributed differential evolution with explorative-exploitative population families*, *Genetic Programming and Evolvable Machines*, **2009**, (10), 343–371.
- [201] Bi X., Wang Y., An improved artificial bee colony algorithm, *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Research and Development (ICCRD)*, 2011, (2), pp. 174–177.
- [202] Gao W. F., Liu S. Y., A modified artificial bee colony algorithm, *Computers & Operations Research*, **2012** (39), 687–697.
- [203] Mezura-Montes E., Cetina-Dominguez O., Empirical analysis of a modified artificial bee colony for constrained numerical optimization, *Applied Mathematics and Computation*, **2012**, (218), 10943–10973.
- [204] Bacanin N., Tuba M., Artificial bee colony (ABC) algorithm for constrained optimization improved with genetic operators, *Studies in Informatics and Control*, **2012**, (21), 137–146.
- [205] Gao W. F., Liu S. Y., Jiang F., An improved artificial bee colony algorithm for directing orbits of chaotic systems, *Applied Mathematics and Computation*, **2011**, (218), 3868–3879.
- [206] Gao W. F., Liu S. Y., Huang L. L., A global best artificial bee colony algorithm for global optimization, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **2012**, (236), 2741–2753.
- [207] Liu Y., Ling X. X., Liang Y., Liu G. H., Improved artificial bee colony algorithm with mutual learning, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, **2012**, (23), 265–275.
- [208] Kang F., Li J., Xu Q., Hybrid simplex artificial bee colony algorithm and its application in material dynamic parameter back analysis of concrete dams, *Journal of Hydraulic Engineering*, **2009**, (40), 736–742.
- [209] Marinakis Y., Marinaki M., Matsatsinis N., A hybrid discrete artificial bee colony grasp algorithm for clustering, *Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE: 2009)*, 2009, pp. 548–553.
- [210] Xiao R., Chen T. Enhancing ABC optimization with Ai-net algorithm for solving project scheduling problem, *Proceedings of the 7th International Conference on Natural Computation (ICNC)*, 2011, pp. 1284–1288.
- [211] Abraham A., Jatoth R. K., Rajasekhar A., Hybrid differential artificial bee colony algorithm, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, **2012**, (9), 249–257.
- [212] Kang F., Li J., Ma Z., Li H., Artificial bee colony algorithm with local search for numerical optimization, *Journal of Software*, **2011**, (6), 490–497.
- [213] Friedman M., 1937. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance, *Journal of the American Statistical Association*, **1937**, (32), 675–701.
- [214] Friedman M., Comparison of Alternative Tests of Significance for the Problem of \$m\$ Rankings. *The Annals of Mathematical Statistics*, **1940**, (11), 86–92.
- [215] Zhao J., Wang H., Tan D-K., Ye J., Sun H., Hu Y-T., Artificial bee colony based on special central and adapt number of dimensions learning, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, **2016**, (7), 645–652.
- [216] Zhao J., Fu X-F., Lv L., Wu R-X., Wang H., Xiang Y., Fan T-H., Opposition-based artificial bee colony using different learning models, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, **2016**, (7), 1206–1214.
- [217] Dao T-K., Pan T-S., Nguyen T-T., A compact artificial bee colony optimization for topology control scheme in wireless sensor networks, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, **2015**, (6), 297–310.

- [218] Taheri K., Hasanipanah M., Golzar S. B., Majid M. Z. A., A hybrid artificial bee colony algorithm-artificial neural network for forecasting the blast-produced ground vibration, *Engineering with Computers*, **2016**, 1–12.
- [219] Cheng M–Y., Lien L–C., A hybrid AI-based particle bee algorithm for facility layout optimization, *Engineering with Computers*, **2012**, (28), 57–69.
- [220] Kraus J. D., Marhefka R. J., *Antennas for All Applications*, McGraw Hill, Third Edition, New York, 2006.



EKLER

Aşağıda, YAK ve FG algoritmalarının birbirine entegre edilmesi ile geliştirilen MYAK algoritmasına ait MATLAB kodu verilmiştir.

```

clear all; close all; clc; tic;
D=2; /* Optimizasyonu gerçekleştirecek problemin parametre sayısı(problem boyutu) */
/* HV-ABC algoritmasının kontrol parametreleri */
NP=50; /* Koloninin boyutu(İşçi Arılar+Kaşif Arılar) */
FoodNumber=NP; /* Koloni boyutunun yarısına eşit olan yiyecek sayısı */
limit=NP*D; /* Bir yiyecek kaynağının, işçi arılar tarafından iyileştirilme deneme sayısı */
maxCycle=1000; /* Maksimum iterasyon sayısı {Durdurma kriteri} */
maxEval=25000; /* Maksimum fonksiyon gelişim sayısı {Durdurma kriteri} */
/* Probleme ait özel değişkenler */
objfun='sphere'; /* Optimize edilecek maliyet fonksiyonu */
ub=ones(1,D)*(5.12); /* Parametrelerin alt sınırları */
lb=ones(1,D)*(-5.12); /* Parametrelerin üst sınırları */
runtime=1; /* Algoritmanın sağlamlığını görmek amacı ile yapılan çalıştırma sayısı */
XVmin=lb;
XVmax=ub;
fname=objfun;
F = 0.6; /* Ölçekleme sayısı [0, 2] arasında bir değer */
CR = 0.4; /* Çaprazlama olasılık sabiti [0, 1] arasında bir değer */
% Arama      1 --> DE/best/1/exp      6 --> DE/best/1/bin
% Stratejiler 2 --> DE/rand/1/exp      7 --> DE/rand/1/bin
%            3 --> DE/rand-to-best/1/exp  8 --> DE/rand-to-best/1/bin
%            4 --> DE/best/2/exp      9 --> DE/best/2/bin
%            5 --> DE/rand/2/exp      else DE/rand/2/bin
strategy =2;
pop = zeros(NP,D);
GlobalMins=zeros(1,runtime);
for r=1:runtime
    %----- Populasyon matrisi NPxD -----
    %----minimum ve maksimum parametre değerleri arasında oluşturulan-----
    %-----
    Range = repmat((ub-lb),[FoodNumber 1]);
    Lower = repmat(lb,[FoodNumber 1]);
    Foods = rand(FoodNumber,D) .* Range + Lower;
    for i=1:NP
        ObjVal(i)=feval(objfun,Foods(i,:));
        Fitness(i)=calculateFitness(ObjVal(i));
    end
    pop=Foods;
    popold = zeros(size(pop)); % Geçiş populasyonu
    val = zeros(1,NP); % Maliyet dizisi
    bestmem = zeros(1,D); % En iyi populasyon üyesi
    bestmemit = zeros(1,D); % İterasyondaki en iyi populasyon üyesi
    %-----Başlangıçta en iyi üyelerin değerlendirilmesi-----
    ibest = 1;
    val(1) = feval(fname,pop(ibest,:));
    bestval = val(1);
    for i=2:NP
        val(i) = feval(fname,pop(i,:));
        if (val(i) < bestval)
            ibest = i;
            bestval = val(i);
        end
    end
    bestmemit = pop(ibest,:); % Geçerli iterasyondaki en iyi üye
    bestvalit = bestval; % Geçerli iterasyondaki en iyi değer
    bestmem = bestmemit;
    %-----DE-Minimization-----
    %-----popold is the population which has to compete. It is-----
    %-----static through one iteration. pop is the newly-----
    %-----emerging population.-----
    pm1 = zeros(NP,D); % Başlangıç populasyonu matris 1
    pm2 = zeros(NP,D); % Başlangıç populasyonu matris 2
    pm3 = zeros(NP,D); % Başlangıç populasyonu matris 3
    pm4 = zeros(NP,D); % Başlangıç populasyonu matris 4
    pm5 = zeros(NP,D); % Başlangıç populasyonu matris 5
    bm = zeros(NP,D); % Başlangıçtaki en iyi üye matrisi
    ui = zeros(NP,D); % Ara populasyon vektörü
    mui = zeros(NP,D); % Ara populasyon için maskeleme

```

```

mpo = zeros(NP,D);      % Eski populasyon için maskeleme
rot = (0:1:NP-1);      % İndeks çevrim dizisi (Boyut NP)
rotd= (0:1:D-1);      % İndeks çevrim dizisi (Boyut D)
rt = zeros(NP);        % Başka indeks çevrim dizisi
rtd = zeros(D);        % Eksponansiyel çaprazlama için indeks çevrim dizisi
a1 = zeros(NP);        % İndeks dizisi
a2 = zeros(NP);        % İndeks dizisi
a3 = zeros(NP);        % İndeks dizisi
a4 = zeros(NP);        % İndeks dizisi
a5 = zeros(NP);        % İndeks dizisi
ind = zeros(4);
trial=zeros(1,FoodNumber);
/* En iyi yiyecek kaynağının hafızaya alınması */
BestInd=find(ObjVal==min(ObjVal));
BestInd=BestInd(end);
GlobalMin=ObjVal(BestInd);
GlobalParams=Foods(BestInd,:);
iter=1;
Eval=0;
while ((iter <= maxCycle)),
%% %% %% %% %% GÖREVLİ ARI FAZİ %% %% %% %% %%
for i=1:(FoodNumber)
    Param2Change=fix(rand*D)+1;
    neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;
    while(neighbour==i)
        neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;
    end;
    sol=Foods(i,:);
    sol(Param2Change)=Foods(i,Param2Change)+(Foods(i,Param2Change)-Foods(neighbour,Param2Change))*(rand-0.5)*2;
    ind=find(sol<lb);
    sol(ind)=lb(ind);
    ind=find(sol>ub);
    sol(ind)=ub(ind);
    Eval=Eval+1;
    ObjValSol=feval(objfun,sol);
    FitnessSol=calculateFitness(ObjValSol);
    if (FitnessSol>Fitness(i))
        Foods(i,:)=sol;
        Fitness(i)=FitnessSol;
        ObjVal(i)=ObjValSol;
        trial(i)=0;
        if(ObjVal(i)<=val(i))
            pop(i,:)=sol;
            val(i)=ObjValSol;
        end
    else
        trial(i)=trial(i)+1;
    end;
end;
prob=(0.9.*Fitness./max(Fitness))+0.1;
popold = Foods;      % Görevli arı fazından aktarılan populasyonu işleme al.
ind = randperm(4);    % İndeks işaretçi dizisi
a1 = randperm(NP);    % Vektör pozisyonlarının karıştırılması
rt = rem(rot+ind(1),NP); % ind(1) pozisyonu ile çevrim indisleri
a2 = a1(rt+1);        % çevrim vektör yerleşimi
rt = rem(rot+ind(2),NP);
a3 = a2(rt+1);
rt = rem(rot+ind(3),NP);
a4 = a3(rt+1);
rt = rem(rot+ind(4),NP);
a5 = a4(rt+1);
pm1 = popold(a1,:);   % Karıştırılmış populasyon 1
pm2 = popold(a2,:);   % Karıştırılmış populasyon 2
pm3 = popold(a3,:);   % Karıştırılmış populasyon 3
pm4 = popold(a4,:);   % Karıştırılmış populasyon 4
pm5 = popold(a5,:);   % Karıştırılmış populasyon 5
for i=1:NP
    bm(i,:) = bestmemit;
end
mui = rand(NP,D) < CR;
if (strategy > 5)
    st = strategy-5;    % Binomiyal çaprazlama
else
    st = strategy;      % Eksponansiyel çaprazlama
end

```

```

mui=sort(mui');
for i=1:NP
    NT=floor(rand*D);
    if NT > 0
        rtd = rem(rotd+NT,D);
        mui(:,i) = mui(rtd+1,i);
    end
end
mui = mui';
end
mpo = mui < 0.5;
if (st == 1) % DE/best/1
    ui = bm + F*(pm1 - pm2); % Farksal değişim
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % Çaprazlama
elseif (st == 2) % DE/rand/1
    ui = pm3 + F*(pm1 - pm2); % Farksal değişim
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % Çaprazlama
elseif (st == 3) % DE/rand-to-best/1
    ui = popold + F*(bm-popold) + F*(pm1 - pm2); % Farksal değişim
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % Çaprazlama
elseif (st == 4) % DE/best/2
    ui = bm + F*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % Farksal değişim
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % Çaprazlama
elseif (st == 5) % DE/rand/2
    ui = pm5 + F*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % Farksal değişim
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % Çaprazlama
end
for i=1:NP
    Dim=ui(i,:);
    ind=find(Dim<XVmin);
    Dim(ind)=XVmin(ind);
    ind=find(Dim>XVmax);
    Dim(ind)=XVmax(ind);
    ui(i,:)=Dim;
end
i=1;
t=0;
while(t<FoodNumber)
    if(rand<prob(i))
        t=t+1;
        Eval=Eval+1;
        tempval = feval(fname,ui(i,:));
        if (tempval <= val(i))
            pop(i,:) = ui(i,:);
            val(i) = tempval;
            if (tempval < bestval)
                bestval = tempval;
                bestmem = ui(i,:);
            end
            trial(i)=0;
        else
            trial(i)=trial(i)+1;
        end
    end
    i=i+1;
    if (i==(FoodNumber)+1)
        i=1;
    end;
end;
Foods=pop;
ObjVal=val;
for i=1:NP
    Fitness(i)=calculateFitness(ObjVal(i));
end
/* En iyi yiyecek kaynağının hafızaya alınması */
ind=find(ObjVal==min(ObjVal));
ind=ind(end);
if (ObjVal(ind)<GlobalMin)
    GlobalMin=ObjVal(ind);
    GlobalParams=Foods(ind,:);
end;

%%%%%%%%%%%%%% İZCİ ARI FAZI
ind=find(trial==max(trial));

```

```
ind=ind(end);
if (trial(ind)>limit)
    trial(ind)=0;
    sol=(ub-lb).*rand(1,D)+lb;
    ObjValSol=feval(objfun,sol);
    FitnessSol=calculateFitness(ObjValSol);
    Foods(ind,:)=sol;
    Fitness(ind)=FitnessSol;
    ObjVal(ind)=ObjValSol;
end;
%-----
clf;
subplot(1,2,1);plot(Foods(:,1),Foods(:,2),'*b');hold on;plot(GlobalParams(:,1),GlobalParams(:,2),'Or');
axis([-5.12 5.12 -5.12 5.12]);
subplot(1,2,2);plot(Foods(:,1),Foods(:,2),'*b');hold on;plot(GlobalParams(:,1),GlobalParams(:,2),'Or');
pause(1e-1);
GFMIN=GlobalMin;
GGMIN(r,iter)=GFMIN;
fprintf('Iter=%d ObjVal=%g\n',iter,GFMIN);
iter=iter+1;
end % End of ABC
fprintf('-----\n');
fprintf('--- %i Run Results -----\n',r);
fprintf('-----\n');
fprintf('HYBRID ABC-DE Global Min = %g\n',GlobalMin);
fprintf('Eval = %i\n',Eval);
fprintf('-----\n');
GlobalMins(r)=GFMIN;
end;
toc;
MLBestfmin=mean(GlobalMins);
StdLBestfmin=std(GlobalMins);
FminBest=min(GlobalMins);
FminWorst=max(GlobalMins);
FminMedian=median(GlobalMins);
SEM=StdLBestfmin/sqrt(runtime);
fprintf('Best=%g\n',FminBest);
fprintf('Worst=%g\n',FminWorst);
fprintf('Mean=%g\n',MLBestfmin);
fprintf('Median=%g\n',FminMedian);
fprintf('StdDev=%g\n',StdLBestfmin);
fprintf('SEM=%g\n',SEM);
save all;
```

ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı : Deniz ÜSTÜN
Doğum Tarihi : 26.04.1976
Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans
E-mail : denizustun@mersin.edu.tr

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Teknik Lise	Elektrik	Tarsus Teknik Lisesi	1991-1994
Lisans	Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	1997-2001
Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2006-2009

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Öğretim Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Bölümü	2003-2008
Öğretim Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü	2008-Devam ediyor

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

Tezler

1. **Ustun, D.**, (2009), Birleşik Zaman-Frekans Analiz (BZFA) Teknikleri Kullanarak Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) Görüntülerinde Hareket Telifisi Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Benzetimlerinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Prof. Dr. Caner Özdemir, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye.

Uluslararası Hakemli Dergilerde Makaleler (SCI-Expanded)

1. **Ustun, D.**, Akdagli, A., "Design of a dual-wideband monopole antenna by artificial bee colony algorithm for UMTS, WLAN, and WiMAX applications", Cambridge University Press, 9, 1197-1208, (2017).
2. Esme, U., Kulekci, M., **Ustun, D.**, Buldum, B., Kazancoglu, Y., Ocalir, S., "Modeling and Optimization of CNC Milling of AISI 1050 Steel by A Regression Based Differential Evolution Algorithm (DEA)", Materials Testing, 58, 632-639, (2016).
3. Kulekci, M., Esme, U., Ocalir, S., **Ustun, D.**, Kazancoglu, Y., "Tensile Shear Strength and Elongation of FSW Parts Predicted by Taguchi-Based Fuzzy Logic", Carl Hanser Verlag, 58, 351-356, (2016).
4. Esme, U., Kulekci, M., **Ustun, D.**, Kahraman, F., Kazancoglu, Y., "Grey-based fuzzy algorithm for the optimization of the ball burnishing process", Carl Hanser Verlag, 57, 666-673, (2015).

5. Toktas, A., Bicer, M., Kayabasi, A., **Ustun, D.**, Akdagli, A., Kurt, K., “A Novel and Simple Expression to Accurately Calculate the Resonant Frequency of Annular-Ring Microstrip Antennas”, Cambridge University Press, 7, 727–733, (2015).
6. Akdagli, A., Toktas, A., Bicer, M., Kayabasi, A., **Ustun, D.**, Kurt, K., “ANFIS Model for Determining Resonant Frequency of Rectangular Ring Compact Microstrip Antennas”, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 46, 483–490, (2014).
7. **Ustun, D.**, Ozdemir, C., Akdagli, A., Toktas, A., Berkan Bicer, M., “A Powerful Method Based on Artificial Bee Colony Algorithm for Translational Motion Compensation of ISAR Image”, Wiley-Blackwell, 56, 2691–2698, (2014).
8. Kayabasi, A., Toktas, A., Akdagli, A., Bicer, M., **Ustun, D.**, “Applications of ANN and ANFIS to Predict the Resonant Frequency of L-Shaped Compact Microstrip Antennas”, Applied Computational Electromagnetics Society Journal, 29, 460–469, (2014).
9. Ibrikci, T., **Ustun, D.**, Kaya, I., “Diagnosis of Several Diseases by Using Combined Kernels with Support Vector Machine”, Springer Science + Business Media, 36, 1831–1840, (2012).
10. Ozcanli, M., Keskin, A., Serin, H., Yamacli, S., **Ustun, D.**, “Effects of Soybean Biodiesel on Engine Vibration and Noise Emission”, Energy Education Science and Technology Part A–Energy Science and Research, 28, 949–956, (2012).

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler (Diğer İndisler)

1. Yılmaz, C., **Ustun, D.**, Akdagli, A., “A Simple Closed-Form Expression for Calculation of The Electrospun Nanofiber Diameter by Using ABC Algorithm”, International Journal of Scientific & Technology Research, 6, 87–94, (2017).
2. Kutuk, T., **Ustun, D.**, Buldum, B., Akdagli, A., “A Simple Formulation In Computing Surface Roughness Of AZ91D Magnesium Alloy Derived By Using Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm”, International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology, 5, 1–7, (2017).
3. Tekin, E. M., Ustun, D., Buldum, B., Akdagli, A., “A Closed Form Equation Obtained by Artificial Bee Colony for the Surface Roughness of AISI 1050 Steel”, International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology, 5, 11–16, (2017).

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. **Ustun, D.**, Akdağlı, A., “Yeni Bir Melez Optimizasyon Algoritması Kullanarak UMTS, WLAN Ve WiMAX Uygulamaları için Çift-Geniş Bantlı Monopole Anten Tasarımı”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31, 211–220, (2016).
2. **Ustun D.**, Yamaçlı S., Keskin A., Özcanli M., Baştürk Ö., “Etil Ve Metil Alkolün Bir Benzinli Motorda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Motor Titreşimine Olan Etkisinin Frekans Analiz Yöntemi İle Araştırılması”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 223–235, (2007).

Uluslararası Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

1. **Ustun, D.**, Akdagli, A., “A hybrid optimization method of artificial bee colony and differential evolution algorithms for designing stepped-impedance low pass microstrip filter”, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, ADANA, Türkiye, 2016.
2. **Ustun, D.**, Akdagli, A., “Design of the dual-wideband monopole antenna for UMTS, WLAN and WiMAX applications by using a novel hybrid optimization algorithm”, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, ADANA, Türkiye, 2016.
3. **Ustun, D.**, Akdagli, A., “Designing a wideband monopole antenna with a hybrid optimization algorithm based on artificial bee colony and differential evolution”, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, ADANA, Türkiye, 2016.
4. Kayabasi, A., **Ustun, D.**, Akdagli, A., “An Application of Support Vector Machine to Compute The Operating Frequency of E-Shaped Patch Antennas”, 4 Th International Symposium on Development of Kop Region”, 2016-10-21, 2016-10-23, Karaman, Türkiye, 2016.
5. **Ustun, D.**, Akdagli, A., “A Novel Hybrid Optimization Method Based on Artificial Bee Colony and Differential Evolution Algorithms: An Example of Training Artificial Neural Networks for the XOR Problem”, 1st International Conference on Enginnering Technology and Applied Sciences, 2016-04-21, 2016-04-22, Afyon, Türkiye, 2016.
6. **Ustun, D.**, Akdagli, A., “Flexible Design of the Butterworth and Chebyshev Low Pass Filters with The Hybrid Differential Artificial Bee Colony Algorithm”, 1st International Conference on Enginnering Technology and Applied Sciences, 2016-04-21, 2016-04-22, Afyon, Türkiye, 2016.
7. Demirci, S., **Ustun, D.**, Ozdemir, C., “Imaging of Wide-Angle Near-Field Inverse Synthetic Aperture Radar Data Using Back-Projection Algorithm”, Piers 2011 Marrakesh: Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2011-03-20, 2011-03-20, Marrakesh, Fas, 2011.

Ulusal Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

1. **Ustun, D.**, Akkus, M., Bicer, M., Temurtas, H., Akdagli, A., “Sezgisel Algoritmalar ile Butterworth ve Chebyshev Alçak Geçiren Filtre Tasarımı”, IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2015-05-16, 2015-05-19, Malatya, Türkiye, 2015.
2. **Ustun, D.**, Yamacli, S., Kose, E., “Semiconductor Accelerometer via Multi-Function with Vibration Analyzer System Design and Implementation”, GAP V. Ulusal Mühendislik Kongresi, 2006-04-26, 2006-04-28, Şanlıurfa, Türkiye, 2006.

Projeler

1. Elektrik Enerjisi Üretmek İçin Yeni Tip Mikro Enerji Üretici Cihazı Tasarımı, BAP, Proje No: 2017-1-AP4-2218 – Devam ediyor (Araştırmacı).
2. Proteinlerin Düzensiz Bölgelerinin Tahmin Edilmesi ve Bu Bölgeleri Tanımlayıcı Özelliklerin Bulunması , BAP, Proje No: 2015-AP4-1388 – Devam ediyor (Araştırmacı)

3. Kablosuz iletişim sistemlerine yönelik anten yapılarının tasarımı için yapay zeka optimizasyon tekniklerine dayalı algoritmaların geliştirilmesi ve uygulanması, BAP, Proje No: BAP-FBE EEMB (DÜ) 2013-4 DR – Devam ediyor (Araştırmacı)
4. Birleşik Zaman-Frekans Analiz (BZFA) Teknikleri Kullanılarak Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) Görüntülerinde Hareket Telifisi Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Benzetimlerinin Gerçekleştirilmesi, BAP, Proje No: BAP-FBE EEM(DÜ)2008-3YL (Araştırmacı).
5. Matlab paket programı kullanarak elektronik devrelerin, kontrol sistemlerinin ve takım tezgahlarının simülasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi. Kont ve Elektronik Bölümü öğrencilerinin, matlab ve simülasyon konularında eğitilmesi., BAP, Proje No: BAP-TTEF EB (YGÜ) 2006-1 (Araştırmacı).
6. Yarıiletken ivmeölçer kullanılarak titreşim analizörü tasarlanması ve takım tezgahlarında arıza tanımda kullanılması, BAP, Proje No: BAP-TTE F (ÖB) 2005-1 (Araştırmacı)

