

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI İLE
LİNEER ANTEN DİZİ SENTEZİ**

**Tezi Hazırlayan
Bilal BABAYİĞİT**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Kerim GÜNEY**

**Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi**

**Mayıs 2007
KAYSERİ**

Prof. Dr. Kerim GÜNEY danışmanlığında **Bilal BABAYİĞİT** tarafından hazırlanan “**Yapay Bağışıklık Algoritmaları ile Lineer Anten Dizi Sentezi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

28 / 05 / 2007

JÜRİ:

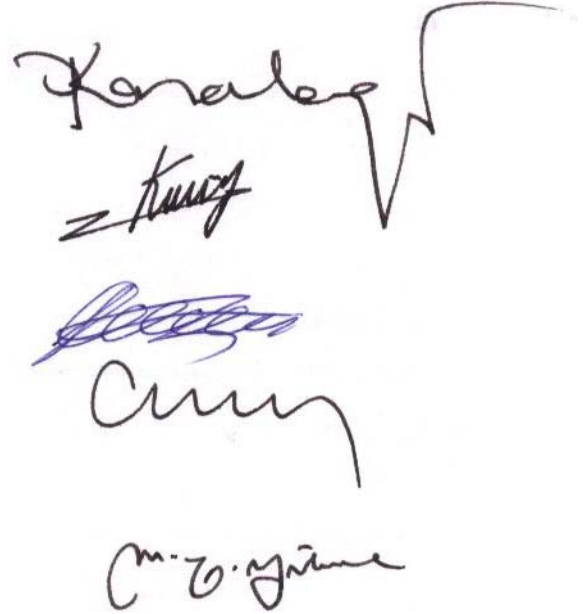
Başkan: Prof. Dr. Derviş Karaboğa

Üye : Prof. Dr. Kerim Güney

Üye : Doç. Dr. Fatih Vehbi Çelebi

Üye : Doç. Dr. Celal Yıldız


Üye : Doç. Dr. Mehmet Emin Yüksel

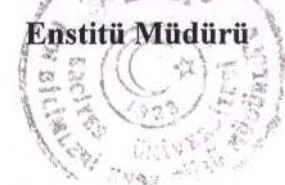


ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 05/06/2007. tarih ve 2007/15-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05 / 06 / 2007


Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

Bu tezde ve buna bağlı olarak yaptığım bütün çalıőmalarımnda kendisinden çok Őey öğrendiğim sayın hocam Prof. Dr. Kerim GÜNEY'e teőekkürüm sonsuzdur. Ayrıca bölüm başkanım sayın hocam Prof. Dr. Derviş KARABOĞA'ya yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Babam emekli Öğretim Görevlisi Hasan BABAYİĞİT'e, anneme ve kardeőlerime hayatım boyunca yaptıkları maddi ve manevi desteklerinden dolayı Őükranlarımı sunarım.

Ayrıca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen hayat arkadaőım eőim Ahu Hanıma teőekkürlerimi sunarım.

YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI İLE LINEER ANTEN DİZİ SENTEZİ

Bilal BABAYİĞİT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Mayıs 2007

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kerim GÜNEY

ÖZET

Yapay bağışıklık sistemi (YBS), modern bağışıklık bilimi teorileri, prensipleri ve kavramlarından esinlenerek problemleri çözmek için geliştirilmiş bir hesaplama tekniğidir. Klonal seçme algoritması (KSA), bağışıklık ağ algoritması (opt-AINET: Optimized immune network) ve bağışıklık algoritması (opt-IA: Optimization immune algorithm) YBS hesaplama tekniğine dayanan algoritmalarlardır. KSA ve opt-IA bağışıklık sistemindeki klonal seçme prensibinden, opt-AINET bağışıklık ağ teorisinden esinlenerek geliştirilmiş algoritmalarlardır. Bu tez çalışmasında, üç yapay bağışıklık algoritması (KSA, opt-AINET ve opt-IA) lineer anten dizi sentezi için sunulmuştur. KSA, opt-AINET ve opt-IA ile lineer anten dizilerinin eleman uyarımları ve yerleri, şekillendirilmiş demet diyagramlarını üretmek ve önceden belirlenmiş doğrultularda sıfırlara sahip diyagramları elde etmek için başarılı bir biçimde belirlenmiştir. Şekillendirilmiş demet sentezi için, kosekant, sektörel, kalem ve kosinüs diyagramları elde edilmiştir. Diyagram sıfırlama için ise, önceden belirlenmiş doğrultularda tek, çok ve geniş sıfırları olan Chebyshev örnekleri verilmiştir. KSA, opt-AINET ve opt-IA kullanılarak elde edilen diyagramların hem demet şekillendirme hem de diyagram sıfırlama için arzu edilen diyagramlar ile oldukça iyi bir uyum içerisinde oldukları gösterilmiştir. Lineer anten dizi sentezinde maksimum yan demet seviyesi, sıfır derinlik seviyesi ve çalışma aralığı oranı gibi bazı tasarım kriterleri de dikkate alınmıştır. KSA ile ayrık faz kaydırıcılar kullanarak yeniden düzenlenebilir anten dizileri tasarlanmıştır. Ayrıca sadece seçilmiş dizi elemanlarının yerleri kontrol edilerek istenen doğrultularda sıfırları olan diyagramlar elde edilmiştir. Anten dizi sentezi için yapay bağışıklık algoritmalarının avantajları, uygulamadaki basitlikleri, esneklikleri ve doğruluklarıdır.

Anahtar Kelimeler: Anten dizileri, demet şekillendirme, diyagram sıfırlama, klonal seçme algoritmaları, yapay bağışıklık algoritmaları.

LINEAR ANTENNA ARRAY SYNTHESIS USING ARTIFICIAL IMMUNE ALGORITHMS

Bilal BABAYİĞİT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph.D. Thesis, May 2007

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Kerim GÜNEY

ABSTRACT

Artificial Immune System (AIS) is a new computing paradigm inspired by theories, principles, and concepts of modern immunology to solve problems. Clonal selection algorithm (CLONALG), optimized immune network (opt-AINET), and optimization immune algorithm (opt-IA) are the algorithms based on the artificial immune paradigm. CLONALG and opt-IA are inspired by the clonal selection principle of the human immune system, while opt-IA is inspired by idiotypic network theory. In this thesis, three artificial immune algorithms, CLONALG, opt-AINET, and opt-IA, were presented for a linear antenna array synthesis. CLONALG, opt-AINET, and opt-IA were successfully used to determine the element excitations and positions of the linear antenna arrays to produce the shaped-beam patterns and to obtain the patterns having nulls at prescribed directions. For the shaped beam pattern synthesis, the cosecant, flat-topped, pencil and cosine patterns were obtained. For the pattern nulling, examples of Chebyshev patterns having single, multiple and broad nulls at prescribed directions were given. It was shown that the patterns obtained by using CLONALG, opt-AINET, and opt-IA are in very good agreement with the desired patterns for both beam shaping and pattern nulling. Some design specifications such as the maximum side lobe level, null depth level and dynamic range ratio were taken into account in the antenna array synthesis. CLONALG was used to design a reconfigurable dual beam linear antenna array with discrete phase shifters. CLONALG was also used for null steering in the antenna radiation pattern by controlling only the positions of selected elements of a linear array. Advantages of these artificial immune algorithms for the antenna array synthesis are ease of implementation, flexibility and accuracy.

Keywords: Antenna arrays, beam shaping, pattern nulling, clonal selection algorithms, artificial immune algorithms.

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI	7
2.1. Bağışıklık Sistemi	7
2.1.1. Doğal Bağışıklık Sistemi	7
2.1.2. Edinsel Bağışıklık Sistemi	8
2.1.2.1. Hümorale Bağışıklık	10
2.1.2.2. Hücrele Bağışıklık	10
2.1.3. Edinsel Bağışıklık Cevabı	10
2.1.3.1. Edinsel Bağışıklık Cevabının Evreleri	12
2.1.4. Bağışıklık Sisteminin Hücreleri	13
2.1.5. Klonal Seçme Prensibi	15
2.1.6. Bağışıklık Ağ Teorisi	16
2.2. Yapay Bağışıklık Algoritmaları	17
2.2.1. Klonal Seçme Algoritması (KSA)	18
2.2.2. Bağışıklık Ağ Algoritması (opt-AINET)	19

2.2.3.	Bağışıklık Algoritması (opt-IA)	21
3. BÖLÜM		
YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI İLE ANTEN DİZİLERİNİN SENTEZİ ..24		
3.1.	Giriş	24
3.2.	KSA'nın Anten Dizi Sentezine Uygulanması	24
3.2.1.	KSA ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme.....	25
3.2.1.1.	Kalem, Sektörel ve Kosekant Diyagram Örnekleri	25
3.2.1.2.	Kosinüs Diyagramı Örneği.....	32
3.2.2.	KSA ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme	36
3.2.2.1.	Sadece Genlik Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama.....	36
3.2.2.2.	Sadece Faz Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama.....	42
3.2.2.3.	Genlik ve Faz Kontrolü ile Sıfırlar Üretme	46
3.2.2.4.	Sadece Yer Kontrolü ile Sıfırlar Üretme	50
3.2.3.	KSA ile Gezgin Haberleşme Sistemi Baz İstasyonu için Demet Şekillendirme.....	55
3.2.4.	Sadece Seçilmiş Elemanların Yerlerinin Kontrolü ile Sıfırlar Üretme	58
3.2.5.	Yeniden Düzenlenebilir (Reconfigurable) Anten Dizilerinin Sentezi.....	63
3.3.	opt-AINET Algoritmasının Anten Dizi Sentezine Uygulanması	67
3.3.1.	opt-AINET Algoritması ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme	67
3.3.1.1.	Sektörel Diyagram Örneği.....	68
3.3.2.	opt-AINET ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme	69
3.3.2.1.	Sadece Faz Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama.....	69
3.3.2.2.	Sadece Yer Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama.....	73
3.4.	opt-AI Algoritmasının Anten Dizi Sentezine Uygulanması.....	77

3.4.1.	opt-IA Algoritması ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme ...	77
3.4.1.1.	Sektörel ve Kalem Diyagram Örnekleri	77
3.4.2.	opt-IA ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme	80
3.4.2.1.	Sadece Genlik Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama.....	80
4. BÖLÜM		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		85
KAYNAKLAR.....		89
ÖZGEÇMİŞ.....		97

KISALTMALAR VE SİMGELER

KISALTMALAR

AF_o	: Elde Edilen Diyagram
AF_d	: Arzu Edilen Diyagram
MSL	: Maksimum Yan Demet Seviyesi (Maximum Sidelobe Level)
MSL_o	: Elde Edilen Maksimum Yan Demet Seviyesi
MSL_d	: Arzu Edilen Maksimum Yan Demet Seviyesi
NLD	: Sıfır Derinlik Seviyesi (Null Depth Level)
NDL_o	: Elde Edilen Sıfır Derinlik Seviyesi
NDL_d	: Arzu Edilen Sıfır Derinlik Seviyesi
DRR	: Çalışma Aralığı Oranı (Dynamic Range Ratio)
TAA	: Tabu Araştırma Algoritması
WLM	: Woodward-Lawson Metodu
FDM	: Fourier Dönüşüm Metodu
YBS	: Yapay Bağışıklık Sistemi
AIS	: Artificial Immune System
KSA	: Klonal Seçme Algoritması
CLONALG	: Clonal Selection Algorithm
opt-AINET	: Bağışıklık Ağ Algoritması (Optimized Immune Network)
opt-IA	: Bağışıklık Algoritması (Optimization Immune Algorithm)

SİMGELER

AF	: Dizi Faktörü (Array Factor)
θ	: Dizi ekseninin enine olan açısı
u	: $\sin(\theta)$
λ	: Dalga boyu
d	: Dizi elemanları arasındaki eşit mesafe
d_k	: Dizi merkezi ile k'nci dizi elemanı arasındaki mesafe
a_k	: k'nci dizi elemanının uyarım genliği
δ_k	: k'nci dizi elemanının uyarım fazı

φ_k	: k'inci elemanın yer pertürbasyonu
W	: Ağırlık faktörü
β	: Çarpım faktörü
σ_s	: Baskılama seviyesi
α	: Mutasyon oranı
ρ, ν	: Azalmayı kontrol eden parametreler

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Şekil 3.2-3.6’da verilen diyagramlar için KSA ile belirlenen eleman uyarımları ve yerleri.	31
Tablo 3.2. KSA, TAA, WLM ve FDM ile belirlenen uyarım genlikleri (a_k).	35
Tablo 3.3. KSA, TAA, WLM ve FDM’nin DRR değerleri.	35
Tablo 3.4. Şekil 3.13-3.16’da verilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleri.	39
Tablo 3.5. Şekil 3.13-3.19 için merkez elemanlarına göre normalize edilmiş uyarım genlikleri (a_k).	41
Tablo 3.6. Şekil 3.20-3.25’te verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan eleman fazları (δ_k).	46
Tablo 3.7. Şekil 3.26-3.30’da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan genlik (a_k) ve derece cinsinden faz değerleri (δ_k).	50
Tablo 3.8. Şekil 3.31-3.36’da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalga boyu cinsinden eleman yerleri (d_k).	55
Tablo 3.9. Şekil 3.38’de verilen diyagram için KSA ile hesaplanan uyarım genlik ve faz değerleri.	58
Tablo 3.10. Şekil 3.39-3.40’da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalgaboyu cinsinden eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri (φ_k).	60
Tablo 3.11. Şekil 3.41’de verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalgaboyu cinsinden eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri (φ_k).	62
Tablo 3.12. Şekil 3.42-3.43’te verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan eleman uyarımları.	67
Tablo 3.13. Şekil 3.44’te verilen diyagram için opt-AINET ile belirlenen eleman genlikleri.	69
Tablo 3.14. Şekil 3.45-3.49’da verilen diyagramlar için opt-AINET ile hesaplanan derece cinsinden eleman fazları (δ_k).	73

Tablo 3.15. Şekil 3.50-3.54'te verilen diyagramlar için opt-AINET ile hesaplanan dalga boyu cinsinden eleman yerleri (d_k).....	77
Tablo 3.16. Şekil 3.55 ve Şekil 3.56'da verilen diyagramlar için opt-IA ile belirlenen eleman genlikleri (a_k).....	79
Tablo 3.17. Şekil 3.57-3.61'de verilen diyagramlar için opt-IA ile hesaplanan uyarım genlikleri (a_k).	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Doğal ve edinsel bağışıklık sistemi temel mekanizmaları.....	8
Şekil 2.2.	Edinsel bağışıklığın çeşitleri: hümodal ve hücresele bağışıklık.	9
Şekil 2.3.	Edinsel bağışıklıktaki özgüllük ve bellek, birincil ve ikincil cevaplar.....	11
Şekil 2.4.	Edinsel bağışıklık cevabının evreleri.....	12
Şekil 2.5.	Klonal seçme prensibi.	15
Şekil 2.6.	Bağışık ağ teorisi prensibi.	17
Şekil 2.7.	Klonal seçme algoritması akış diyagramı.....	18
Şekil 2.8.	opt-AINET algoritması akış diyagramı.	20
Şekil 2.9.	opt-IA algoritması akış diyagramı.....	22
Şekil 3.1.	Eşlenik simetrik uyarımlı ve simetrik yerleşimli doğrusal dizi anten geometrisi.	25
Şekil 3.2.	KSA ile sadece eleman yerleri belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—) ve eşit aralıklı (0.5λ) düzgün uyarımlı 32 elemanlı dizinin diyagramı (...).	27
Şekil 3.3.	$MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.9)'da verilen arzu edilen sektörel diyagramın zarfı (...) ve KSA ile sadece genlikler belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—)...	28
Şekil 3.4.	$MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.11)'de verilen arzu edilen kosekant diyagramının zarfı (...) ve KSA ile üretilen dizi diyagramı (—).	29
Şekil 3.5.	$MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.12)'de verilen arzu edilen sektörel diyagramın zarfı (...) ve KSA ile sadece genlikler belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—)...	30
Şekil 3.6.	$MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.13)'te verilen arzu edilen kosekant diyagramının zarfı (...) ve KSA ile üretilen dizi diyagramı (—).	30
Şekil 3.7.	Tek sayıda elemanlı, eşit aralıklı olarak yerleştirilmiş ve simetrik olarak uyarılmış doğrusal dizi anten geometrisi.....	32
Şekil 3.8.	Arzu edilen kosinüs diyagramı.....	33
Şekil 3.9.	KSA ile elde edilen kosinüs diyagramı.	34

Şekil 3.10. TAA ile elde edilen kosinüs diyagramı.....	34
Şekil 3.11. WLM ile elde edilen kosinüs diyagramı.....	34
Şekil 3.12. FDM ile elde edilen kosinüs diyagramı.....	35
Şekil 3.13. Sıfırlama örnekleri için başlangıç Chebyshev dizi diyagramı.....	36
Şekil 3.14. Genlik kontrolü ile üretilen 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	37
Şekil 3.15. Genlik kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	38
Şekil 3.16. Genlik kontrolü ile üretilen çalışma aralığı oranı kısıtlı 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	39
Şekil 3.17. Genlik kontrolü ile üretilen 15° ve 25° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.....	40
Şekil 3.18. Genlik kontrolü ile üretilen 15° , 25° ve 35° de sıfırlara sahip dizi diyagramı...	40
Şekil 3.19. Genlik kontrolü ile üretilen (23°) - (27°) aralığında geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.....	41
Şekil 3.20. Faz kontrolü ile üretilen -10° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	43
Şekil 3.21. Faz kontrolü ile üretilen -10° de daha derin sıfıra sahip dizi diyagramı.....	43
Şekil 3.22. Faz kontrolü ile üretilen (12°) - (16°) aralığında geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.....	44
Şekil 3.23. Faz kontrolü ile üretilen -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.....	45
Şekil 3.24. Faz kontrolü ile üretilen -33° , -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.....	45
Şekil 3.25. Yuvarlatma yapılmış eleman faz değerlerinin kullanılması ile üretilen -33° , -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.....	46
Şekil 3.26. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	47
Şekil 3.27. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen sıfır derinliği baskın ve çalışma aralığı oranı kısıtlı -15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	48
Şekil 3.28. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -25° merkezli 5° 'lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.....	48

Şekil 3.29. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -15° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	49
Şekil 3.30. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -33° , -15° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	49
Şekil 3.31. Yer kontrolü ile üretilen 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.	51
Şekil 3.32. Yer kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.	52
Şekil 3.33. Yer kontrolü ile üretilen 33° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.	52
Şekil 3.34. Yer kontrolü ile üretilen 14° ve 26° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	53
Şekil 3.35. Yer kontrolü ile üretilen 14° , 26° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	53
Şekil 3.36. Yuvarlatılma yapılmış eleman yer değerlerinin kullanılması ile üretilen 14° , 26° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	54
Şekil 3.37. (a) Baz istasyonu sistemi (b) Gezgin haberleşme sistemi için şekillendirilmiş demet diyagramı.	56
Şekil 3.38. Arzu edilen diyagramın zarfı (\cdots) ve KSA ile elde edilen diyagram ($—$).	58
Şekil 3.39. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° sıfıra sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 14 eleman için, (c) 12 eleman için.	60
Şekil 3.40. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° ve 25° sıfırlara sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 16 eleman için, (c) 14 eleman için, (d) 12 eleman için.	61
Şekil 3.41. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° , 25° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 18 eleman için, (c) 16 eleman için, (d) 14 eleman için.	62
Şekil 3.42. Çift demetli anten dizisi için arzu edilen diyagramın zarfı (\cdots) ve çalışma aralığı 10 için KSA ile elde edilen diyagram ($—$), (a) kalem diyagram (b) sektörel diyagram.	65

Şekil 3.43. Çift demetli anten dizisi için arzu edilen diyagramın zarfı (···) ve çalışma aralığı 5 için KSA ile elde edilen diyagram (—), (a) kalem diyagram (b) sektörel diyagram.....	66
Şekil 3.44. Arzu edilen diyagramın zarfı (···) ve opt-AINET ile elde edilen sektörel diyagram (—).	68
Şekil 3.45. Faz kontrolü ile üretilen 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	70
Şekil 3.46. Faz kontrolü ile üretilen 14° de daha derin sıfıra sahip dizi diyagramı.....	71
Şekil 3.47. Faz kontrolü ile üretilen -14° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.	71
Şekil 3.48. Faz kontrolü ile üretilen -25° ve 14° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	72
Şekil 3.49. Faz kontrolü ile üretilen -25° , 14° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı. .	72
Şekil 3.50. Yer kontrolü ile üretilen 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.	73
Şekil 3.51. Yer kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	74
Şekil 3.52. Yer kontrolü ile üretilen 25° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.	75
Şekil 3.53. Yer kontrolü ile üretilen 15° ve 25° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.	76
Şekil 3.54. Yer kontrolü ile üretilen 15° , 25° ve 35° de sıfırlara sahip dizi diyagramı....	76
Şekil 3.55. Arzu edilen diyagramın zarfı (···) ve opt-AI ile elde edilen sektörel diyagram (—).....	78
Şekil 3.56. Arzu edilen diyagramın zarfı (···) ve opt-AI ile elde edilen kalem diyagram (—).....	79
Şekil 3.57. Genlik kontrolü ile üretilen 33° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	80
Şekil 3.58. Genlik kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 33° de sıfıra sahip dizi diyagramı.....	81
Şekil 3.59. Genlik kontrolü ile üretilen 30° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.	82

Şekil 3.60. Genlik kontrolü ile üretilen 20° ve 33° de iki sifıra sahip dizi diyagramı. 83

Şekil 3.61. Genlik kontrolü ile üretilen 10° , 20° ve 33° de üç sifıra sahip dizi diyagramı. .
..... 83

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Günümüzde anten dizileri radar, gezgin ve kablosuz haberleşme sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Demet tarama, demet şekillendirme, yüksek yöneltilik ve kazanç gerektiren uygulamalarda anten dizileri kullanılmaktadır ve genelde geometrik yapılarına göre isimlendirilmektedirler (lineer, düzlemsel, dairesel, vb.). Literatürde, anten dizi sentezine ait çeşitli amaçlara yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur [1-63]. Genel olarak anten dizi sentezi, üç grupta sınıflandırılabilir [2]. Birinci grup anten dizi sentezinin amacı, arzu edilen doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramını üretmektir [9-47, 59]. İkinci grup anten dizi sentezinin amacı, tüm görünen bölgede arzu edilen diyagramı en iyi yaklaşıklıkla üreten bir anten dizisi tasarlamaktır [48-63]. İkinci grup dizi sentezi şekillendirilmiş demet sentezi ya da demet şekillendirme olarak da bilinir. Üçüncü grupta ise, dar ana demetlere ve düşük yan demetlere sahip diyagramları üreten anten dizisi tasarlanmaktadır. Dolph-Chebyshev metodu [7] ve Taylor metodu [8], üçüncü grup dizi sentezini gerçekleştiren temel metotlardır.

Son yıllarda gelişen haberleşme teknolojisi ile birlikte elektromanyetik ortam kirliliği artmıştır. Bunun paralelinde, elektromanyetik kirlilikten dolayı oluşan girişimleri bastırmak ve böylece işaret-gürültü oranındaki düşmeği en aza indirebilmek için, girişimlerin olduğu doğrultularda sıfırları olan diyagrama sahip anten dizisi tasarlamak, radar ve haberleşme sistemleri için oldukça önem kazanmıştır [9-42]. Girişim kaynağının doğrultusu zamanla hafifçe değiştiğinde veya tam olarak bilinmediğinde geniş sıfırlara sahip dizi diyagramına ihtiyaç duyulmaktadır [43-47]. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar genellikle dört grupta toplanmaktadır: Dizi elemanlarının genlik ve fazlarının aynı anda kontrolü [9-17], sadece genliklerinin kontrolü [18-24], sadece fazlarının kontrolü [25-32] ve sadece yerlerinin kontrolü

[28, 33-42]. Anten dizi diyagramında istenilen doğrultularda sıfırlar üretmek için dizi elemanlarının genlikleri ve fazları birlikte kontrol edilerek yapılan tasarımlar, kullanılacak zayıflatıcıların ve faz kaydırıcıların maliyetleri beraber düşünüldüğünde, uygulama açısından en pahalı olan tasarımlardır. Ancak bu tasarımlar, sadece genlik kontrolü veya sadece faz kontrolü ile yapılan tasarımlara göre daha geniş bir çözüm uzayına sahip olduklarından dolayı, en etkin tasarımlardır. Sadece genliklerin kontrol edilmesiyle yapılan tasarımlarda, dizi eleman genliklerinin değiştirilebilmesi için eleman sayısı kadar zayıflatıcı kullanılır. Şayet eleman genlikleri dizi merkezi civarında çiftli simetriye sahipse, zayıflatıcı sayısı ve dolayısıyla hesaplama zamanı yarıya düşer. Uygulama açısından en basit ve maliyeti en düşük olan tasarım, sadece faz kontrolü ile yapılan tasarımdır. Ancak, sadece faz kontrolü ile sıfırlama problemi kendi tabiatından dolayı lineer olmayan bir problemdir ve analitik yöntemlerle doğrudan çözümü mümkün değildir. Fazlardaki değişimler çok küçük kabul edilerek, sıfırlama denklemleri lineerleştirilebilir, ancak bu kabul ana demete göre simetrik açılarda sıfırların üretilmemesine sebep olmaktadır [25]. Bu problemi çözmek için lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılan optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Ancak, bu teknikler ile simetrik sıfırlar elde edilirken faz değişimleri büyük kabul edildiğinden dolayı, sıfırlama doğrultusu dışındaki bölgelerde üretilen dizi diyagramı başlangıç dizi diyagramından oldukça uzaklaşmaktadır [26, 28]. Sadece yerlerin kontrolü ile dizi diyagramında sıfırlar üretmek için sunulan metotlarda [28, 33-42], dizideki her bir elemanın hareket ettirilmesi için servo motorlar gibi bir mekanik sürücü sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak dizide bulunan eleman sayısı arttıkça, dizideki hareketli eleman sayısı da artacağından, yeni yerleri bulmak için gerekli hesaplama zamanı da artacaktır. Dizideki hareketli eleman sayısını azaltmak ve dizi performansını etkili bir şekilde artırmak için, sadece seçilmiş elemanların yerlerinin kontrolü metodu tercih edilmektedir [38]. Bu metotta, sadece seçilmiş dizi elemanlarının yerleri kontrol edilmekte, istenen doğrultularda sıfırların üretilmesine katkısı az olan dizi elemanları hareket ettirilmeyerek daha az sayıda (seçilmiş) elemanın yerleri belirlenerek dizi diyagramında istenilen doğrultularda sıfırlar üretilmektedir.

Literatürde, şekillendirilmiş diyagram sentezi için sunulan Fourier dönüşüm metodu (FDM) [2] ve Woodward-Lawson metodu (WLM) [5], ne şekillendirme bölgesinde ne

de yan demet bölgesinde herhangi bir kontrole sahip değildir. Dizi eleman uyarılarını iteratif bir yaklaşımla belirleyen Orchard-Elliot metodu [6] ile bu eksiklik giderilmiştir. Şekillendirilmiş demet sentezi için sunulan bu üç temel metodun ortak dezavantajı, bu metodların dizi elemanlarının sadece eşit aralıklı olduğu durumda geçerli olmasıdır. Dizi elemanlarının eşit aralıklı olmadığı durum için eleman yerlerinin belirlenmesi problemi, doğrusal olmayan bir problemdir. Bu yüzden dizi eleman yerlerinin belirlenmesi için kullanılacak metod, doğrusal olmayan çok parametrelili bir problemi çözebilecek kabiliyette olmalı ve dizi elemanları arasındaki ortak etkileşimi önlemek için iki komşu eleman arasında olması gereken minimum mesafe gibi kısıtlamaları da göz önünde bulundurabilmelidir [48]. Dizi elemanlarının eşit aralıklı olması, matematiksel bakımdan basitlik sağladığı için literatürde sunulan metodların bir çoğu [1-6] sadece elemanların eşit aralıklı olduğu durum için geçerlidir. Öte yandan, arzu edilen diyagrama daha iyi yaklaşmak için sentez işlemine uygun eleman yerlerinin belirlenmesi de dahil edildiğinden dizi elemanlarının eşit aralıklı olmadığı durumda yapılan tasarımların eşit aralıklı olduğu durumda yapılan tasarımlara göre daha iyi sonuçlar ürettiği bilinen bir gerçektir [48].

Yeniden düzenlenebilir (reconfigurable) anten dizilerine özellikle radar ve uydu haberleşme sistemlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Genelde, besleme sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi anten dizilerinin eleman uyarılarından sadece faz uyarımları farklı olduğunda oldukça basit olmaktadır. Sadece faz uyarımları kontrol edilerek yeniden düzenlenebilir anten dizisi tasarlanmasında çeşitli metodlar [49-57] sunulmuş ve kullanılmıştır. Bucci ve ark. [49, 50] izdüşüm yaklaşımına dayanan bir metod sunmuş, Dobias ve Gunther [51] değişen izdüşüm yaklaşımına dayanan bir yöntemi kuantalanmış faz kaydırıcılar kullanan yeniden düzenlenebilir anten dizileri için sunmuştur. Durr ve ark. [52] önceden belirlenmiş sabit genlik dağılımını devam ettirirken farklı faz dağılımları arasında anahtarlama yapılması ile çoklu ışına diyagramları üretilebilen lineer anten dizileri tasarlanması için modifiye Woodward-Lawson sentez metodu önermişlerdir. Bir başka çalışmada, ısıl işlem algoritması (SA: Simulated annealing) kullanılarak genlik dağılımları belirlenerek çoklu ışına diyagramları elde edilmiştir [53]. Gies ve Rahmat-Samii [54] yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizi tasarımı için parçacık sürü optimizasyonu (PSO: Particle swarm optimization) algoritmasına dayanan bir metod sunmuşlardır. Literatürde, yeniden

düzenlenebilir anten dizi tasarımı için genetik algoritma (GA) ya dayanan çeşitli metotlar da sunulmuştur [55, 56].

Anten dizi sentezi için kullanılan analitik metotların ya da klasik optimizasyon tekniklerinin bir çoğunda [1-4], verilen bir problem için elde edilen çözüm tektir; başka bir deyişle bu teknikler, verilen bir anten dizi sentez problemi için esnek ve genel çözümler üretebilme açısından yetersiz kalmışlardır [59]. Ayrıca, klasik optimizasyon tekniklerinin başlangıç tahminlerine aşırı hassas olmalarından dolayı yerel optimum noktalara takılma ihtimalleri yüksektir. Parametre sayısı arttığında ve doğal olarak çözüm uzayı genişlediğinde, çözüm kalitesinin başlangıç tahminlerine bağımlılığı da artmaktadır. Şayet başlangıç tahminleri global optimum nokta civarında yapılmamışsa, elde edilen sonuç çözüm de bir yerel optimum olacaktır. Analitik ve klasik optimizasyon tekniklerinin bu dezavantajları, araştırmacıları birçok mühendislik probleminin çözümünde olduğu gibi anten dizi sentez problemlerinin çözümünde de modern sezgisel optimizasyon tekniklerinin [64] kullanımına sevk etmiştir. Türeve dayalı bilgilerin yoksunluğundan dolayı klasik optimizasyon tekniklerine göre daha yavaş olan sezgisel optimizasyon tekniklerine olan ilgi, her geçen gün gelişme gösteren bilgisayar teknolojisinin paralelinde artmış ve bu teknikler günümüzde geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Modern sezgisel optimizasyon teknikleri, hiç bir ön bilgi gerektirmeksizin probleme kolaylıkla uygulanabilme, yerel optimum noktalardan kurtulabilme ve çok parametrelili problemler için global çözümler üretebilme gibi birçok avantaja sahiptirler [64]. Anten dizi sentez problemlerinin çözümü için başarılı bir şekilde kullanılmış en popüler modern sezgisel optimizasyon teknikleri; SA [53], tabu araştırma algoritması (TAA) [15, 32, 47, 59, 60], GA [14, 20, 21, 27, 28, 34, 55, 56], diferansiyel gelişim algoritması [23, 37, 58], PSO algoritması [39, 54, 61] ve karınca koloni algoritmasıdır [16, 22, 36, 59].

Bu tez çalışmasında, lineer anten dizi elemanlarının genlik, faz ve yer gibi parametrelerinden sadece biri yada her ikisi, şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek ve arzu edilen doğrultularda tekli, çoklu ve geniş sıfırlara sahip diyagramları elde etmek amacıyla, YBS algoritmalarından KSA [65], opt-AINET [66] ve opt-IA [67] kullanılarak optimal biçimde belirlenmiştir. Ayrıca, KSA ile gezgin haberleşme sistemi baz istasyonu için şekillendirilmiş demet sentezi gerçekleştirmek

için dizi elemanlarının hem genlik hem de fazları, seçilmiş elemanların yerlerinin kontrol edilmesiyle dizi diyagramında istenilen doğrultularda sıfırlar üretilebilmek için dizi elemanlarının yerleri, yeniden düzenlenebilir anten dizi tasarımı için genlik ve faz değerleri optimal bir biçimde belirlenmiştir.

YBS, modern bağışıklık bilimi, gözlenen bağışıklık fonksiyonları, prensipleri ve mekanizmalarından esinlenerek problemleri çözmek için geliştirilmiş bir hesaplama tekniğidir. YBS'nin gelişimi ve uygulanması esnek hesaplama tekniklerinden yapay sinir ağları, bulanık sistemler ve evrimsel algoritmalarından sonra olmuştur. Biyolojik olaylardan esinlenerek geliştirilen hesaplama tekniklerinden olan YBS'ye olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Klonal seçme prensibi [68, 69], bağışıklık ağı teorisi [70] gibi temel bağışıklık süreçlerinden esinlenerek çeşitli YBS algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlar KSA, opt-AINET ve opt-IA algoritmalarıdır.

İnsan bağışıklık sistemindeki klonal seçme prensibinden [68, 69] esinlenerek geliştirilen KSA [65], yerel minimumdan kurtulabilme, belirli kurallar yerine rasgele geçiş kuralları kullanma, çok parametrelili optimizasyon problemleri ile rahatlıkla çalışabilme yeteneklerine sahiptir. Ayrıca uygulanması basit ve anlaşılması kolaydır. Bu cazip özelliklerinden dolayı çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır [17, 24, 41, 42, 57, 62, 63, 65, 71-78].

opt-AINET [66], bağışıklık ağı teorisinden [70] esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır. opt-AINET çeşitli optimizasyon ve mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır [66, 79-81]. opt-AINET algoritması popülasyon büyüklüğünün dinamik olarak ayarlanması, yerel ve küresel arama yapabilmesi gibi özelliklere sahiptir.

opt-IA [67], insan bağışıklık sistemindeki klonal seçme prensibinden esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir algoritmadır. opt-IA çeşitli ayrık, sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü ile proteinlerin iki boyutlu tahmini problemlerinde oldukça başarılı bir şekilde kullanılmıştır [67, 82]. Oldukça yeni bir algoritma olan opt-IA, henüz pek fazla mühendislik problemlerine uygulanmamıştır.

Bu tez çalışmasında, yapay bağışıklık algoritmalarından KSA, opt-AINET ve opt-IA literatürde ilk defa anten dizi sentezi problemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan yapay bağışıklık algoritmaları ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiş, anten dizi sentezi problemleri için alternatif çözümler ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasında, istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagram sentezi ve şekillendirilmiş demet sentezi problemleri etkin bir şekilde çözülmüştür. Ayrıca gezgin haberleşme sistemi baz istasyonu anteni için şekillendirilmiş demet sentezi, seçilen elemanların yerlerinin kontrolü ile diyagram sıfırlama ve yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizi tasarımı başarı ile gerçekleştirilmiştir. Belirtilen anten dizi sentezleri dizi elemanlarının genlik, faz ve yer gibi parametrelerinin sadece biri ya da aynı anda her ikisi belirlenerek gerçekleştirilmiştir.

Dizilerin pratik olarak kolaylıkla gerçekleştirilebilmesini sağlamak, hem donanım maliyetini hem de hesaplama zamanını düşürmek için elemanların dizi merkezlerine göre simetrik olarak yerleştirildiği kabul edilmiştir. KSA, opt-AINET ve opt-IA ile yapılan anten dizi sentezinde, sıfır derinlik seviyesi (NDL: Null depth level), maksimum yan demet seviyesi (MSL: Maximum sidelobe level), eleman genliklerinin çalışma aralığı oranı (DRR: Dynamic range ratio) ve iki komşu eleman arasındaki minimum mesafe gibi tasarım kriterleri de optimizasyona dahil edilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, bağışıklık sisteminin temel özellikleri verilerek çalışma şekli açıklanmıştır. Bu sistemdeki bazı çalışma prensipleri anlatılarak, bu prensiplerden esinlenerek geliştirilmiş KSA, opt-AINET ve opt-IA algoritmaları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, KSA, opt-AINET ve opt-IA'nın anten dizi sentezine uygulamaları ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Dördüncü bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. BÖLÜM

YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI

2.1. Bağışıklık Sistemi

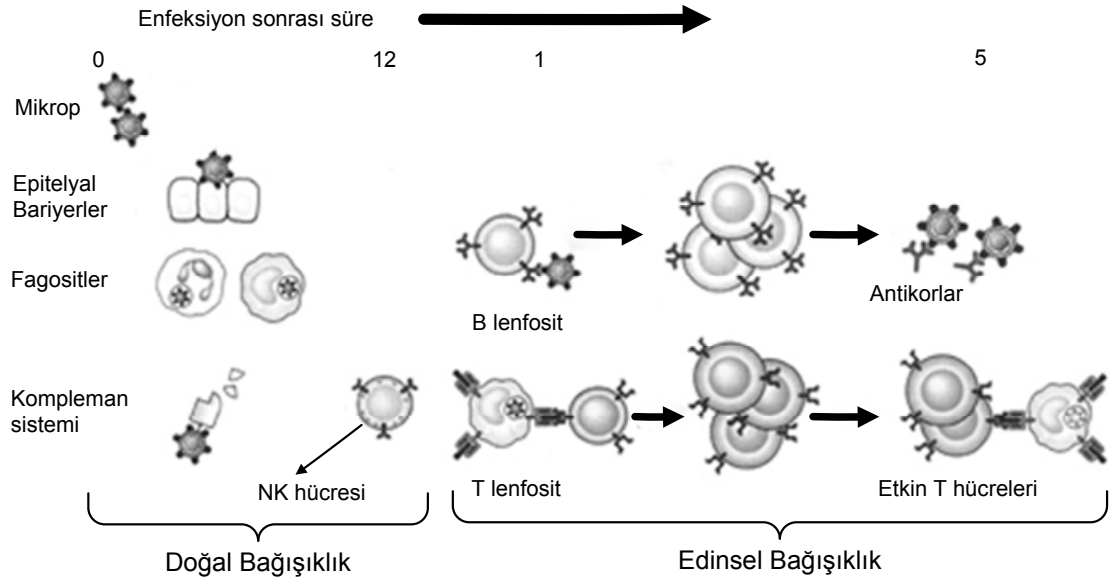
Tüm çok hücreli canlılar, enfeksiyonlara karşı kendilerini korumak için çeşitli savunma mekanizmalarına sahiptir. Enfeksiyona karşı savunmayı sağlayan hücreler, dokular ve moleküllerin toplamına bağışıklık sistemi adı verilir. Bu hücrelerin ve moleküllerin enfeksiyona yol açan mikroplara karşı düzenli olarak verdikleri tepkiye de bağışıklık cevabı denir. Bağışıklık sisteminin fizyolojik işlevi, enfeksiyonları engellemek ve yerleşmiş enfeksiyonları yok etmektir [83].

Vücudumuzun savunma mekanizması, enfeksiyonlara karşı ilk koruyucu engeli oluşturan doğal (innate) bağışıklık sistemi ile sonrasında daha yavaş olarak devreye giren ancak enfeksiyonlara karşı daha etkili savunma sağlayan edinsel (adaptif, özgül veya kazanılmış) bağışıklık sisteminden oluşur. Doğal ve edinsel bağışıklık sistemi temel mekanizmaları Şekil 2.1'de görülmektedir.

2.1.1. Doğal Bağışıklık Sistemi

Doğal bağışıklık mekanizmaları, enfeksiyonlara karşı ilk koruyucu engeli oluşturur. Bazı mekanizmaları enfeksiyonları önlerken (epitelyal bariyerler) diğerleri mikropları yok eder (fagositler, NK hücreleri ve kompleman sistemi). Doğal bağışıklık sisteminin mikropların girmesini engelleyen ilk savunma hattını, epitel tabakası, epitelde bulunan özelleşmiş hücreler ile doğal antibiyotikler oluşturur. Mikroplar epiteli deler ve dokulara ya da dolaşıma girerlerse fagositler, NK (doğal öldürücü) denilen özelleşmiş hücreler ve kompleman sisteminin proteinlerini de içeren bazı plazma proteinleri

tarafından saldırıya uğrarlar. Doğal bağışıklık sisteminin bütün bu mekanizmaları, mikropları özgül olarak tanır ve tepki verirler, ancak enfeksiyona yol açmayan yabancı maddelere tepki vermezler. Doğal bağışıklık cevapları enfeksiyonlara karşı erken savunma sağlamanın yanı sıra, doğal enfeksiyona yol açan maddelere karşı gelişen edinsel bağışıklık cevaplarını da güçlendirir. Doğal bağışıklık birçok enfeksiyona karşı efektör olarak savaşsa da, insanlar için patojenik olan mikroplar doğal bağışıklık cevabına karşı direnecek şekilde gelişirler. Enfeksiyona yol açan maddelere karşı savunma oluşturmak edinsel bağışıklık cevabının görevidir.

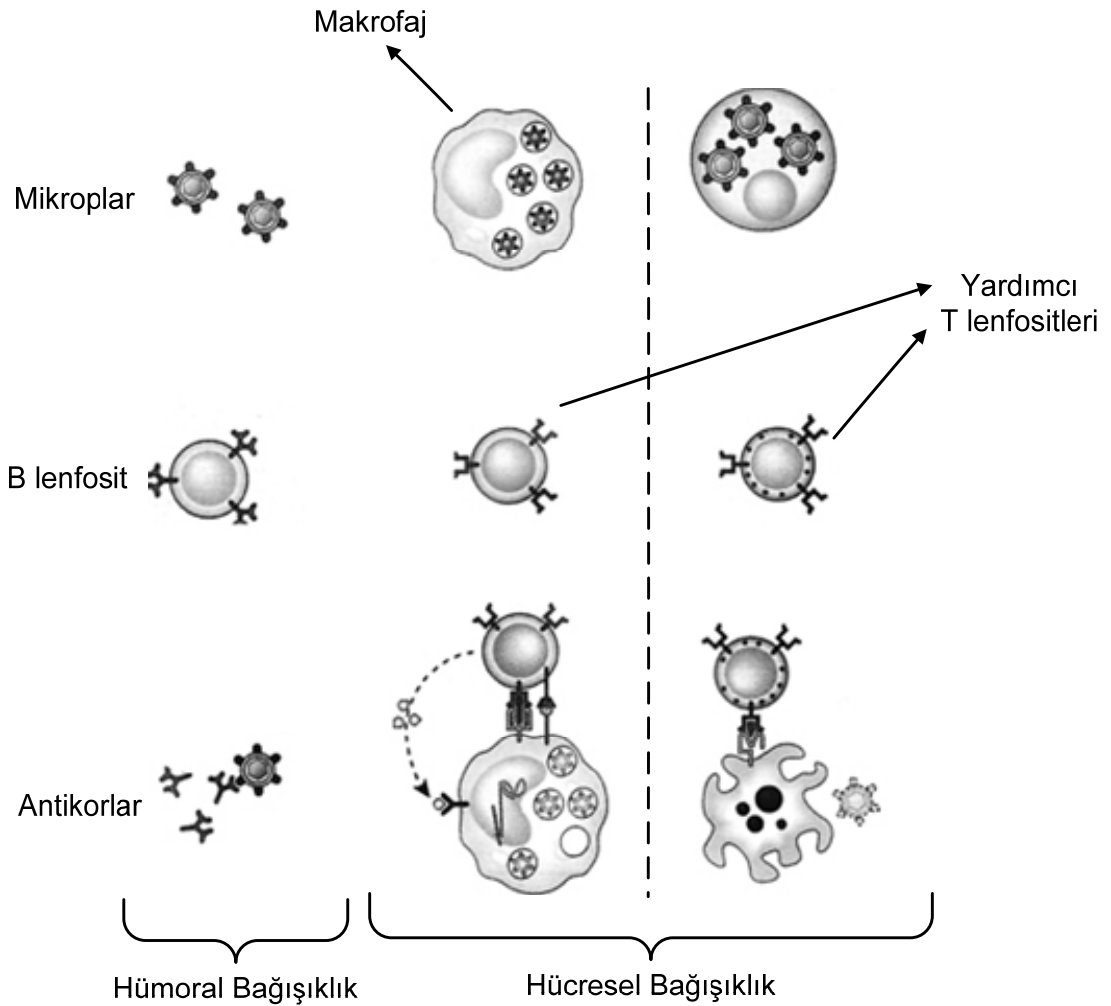


Şekil 2.1. Doğal ve edinsel bağışıklık sistemi temel mekanizmaları.

2.1.2. Edinsel Bağışıklık Sistemi

Edinsel bağışıklık sistemi, lenfositler ve onların antikor gibi ürünlerinden oluşur. Doğal bağışıklık cevabının mekanizmaları mikrop tiplerini tanırken, edinsel bağışıklık hücreleri (lenfositler), mikropların ürettiği değişik maddeleri ve enfeksiyona yol açmayan molekülleri de tanıyan reseptörler taşırlar. Bu maddelere antijen denir. Edinsel bağışıklık sistemi bir kez tanıştığı mikroorganizma ile sonraki karşılaşmalarında çok daha etkili bir cevap oluşturabilirken, doğal bağışıklık sistemi her karşılaşmada benzer biçimde cevap oluşturur. Edinsel bağışıklık cevapları, ancak mikroplar ya da onların antijenleri epitelyal bariyerleri aşmış, lenfositler tarafından tanındıkları lenfoid organlara

taşınırlarsa tetiklenir. Edinsel bağışıklık cevapları değişik tipteki mikroplarla savaşmak üzere özel mekanizmalar oluşturur. Antikorlar hücre dışında, T lenfositler hücre içinde yaşayan mikropları etkisiz hale getirirler. Edinsel bağışıklık cevapları mikropları yok etmek için genellikle doğal bağışıklık sisteminin hücreleri ile moleküllerini kullanır ve edinsel bağışıklık, doğal bağışıklığın bu mekanizmalarını kuvvetlendirir. Örneğin antikorlar mikroplara bağlanır, antikorla kaplanan mikrop fagositlere kolayca bağlanarak onları harekete geçirir ve mikroplar bu yolla fagositler tarafından sindirilip yok edilirler. Edinsel bağışıklık cevabı lenfosit ve onların ürünleri sayesinde daha geç gelişir. Değişik hücre ve moleküllerin oluşturduğu, hücre dışı ile hücre içi mikroplara karşı savunma sağlayan iki türlü edinsel bağışıklık vardır; hüморal ve hücrenel bağışıklık. Edinsel bağışıklığın çeşitleri Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Edinsel bağışıklığın çeşitleri: hüморal ve hücrenel bağışıklık.

2.1.2.1. Hümorale Bağışıklık

Hümorale bağışıklık B lenfosit hücreleri tarafından oluşturulur. Hümorale bağışıklıkta, B lenfositler hücre dışı mikropları yok etmek için antikor salgırlar. Antikorlar mukozal yüzeydeki ve kandaki mikropları konak hücrelere ve ilgili dokulara erişmesini ve yerleşmesini engellerler. Böylelikle antikorlar enfeksiyonları yerleşmeden engellemiş olurlar. Antikorlar enfekte hücrenin içinde yaşayan ve bölünen hücrelere erişemezler. Hücre içi mikroplara karşı savunma hücresele bağışıklık sistemi ile sağlanır.

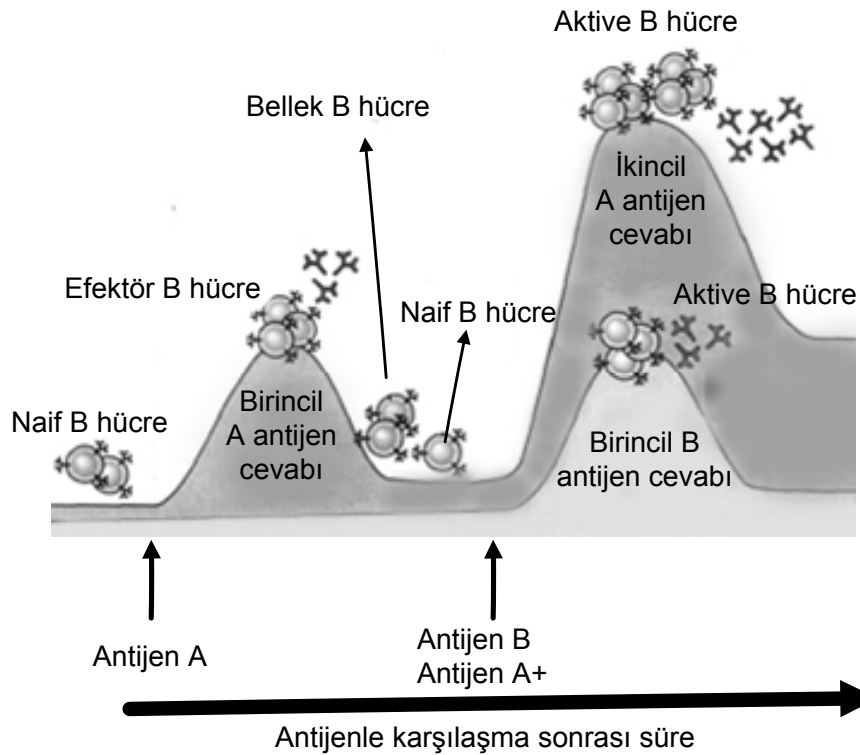
2.1.2.2. Hücresele Bağışıklık

Hücresele bağışıklık T lenfosit hücreleri tarafından oluşturulur. Bazı T lenfositler, makrofaj içinde yutulmuş (fagositoza uğramış) mikropları öldürmek üzere makrofajları aktif hale (efektör konuma) getirir. Diğer T lenfositleri sitoplazmasında enfeksiyona yol açan mikropları barındıran tüm enfekte hücreleri öldürürler ve enfeksiyon için kaynak oluşturanlarını da uzaklaştırırlar. B lenfositler tarafından üretilen antikorlar özellikle hücre dışı mikrobik antijenleri tanırlarken, T lenfositler hücre içindeki mikropların ürettiği antijenleri tanırlar. T ve B lenfositler arasındaki başka bir önemli fark ise, çoğu T hücresinin sadece mikrobik protein antijenleri tanımasına karşın, antikorların protein, karbonhidrat ve lipid de içeren pek çok değişik mikrobik molekül (antijen) tiplerini tanımasıdır.

2.1.3. Edinsel Bağışıklık Cevabı

Bağışıklık sistemi, enfeksiyonu geçirerek ya da aşılama ile veya daha önce enfeksiyon geçirerek bağışıklık kazanmış bireylerden alınan antikor ve lenfositler bireye verilerek güçlendirilebilir. Bağışıklık sistemi, bir mikrobun antijenine maruz kaldığında enfeksiyonu yok etmek için bir cevap oluşturur ve aynı mikrobun daha sonra oluşturacağı enfeksiyona karşı direnç gelişimine sebep olur. Böylelikle o mikroba karşı bağışık olurken, mikropla daha önce karşılaşmamış birey naif kalır. Edinsel bağışıklığı doğal bağışıklıktan ayıran en önemli fark yapısal olarak birbirinden farklı antijenlere gösterdiği özgülük ve antijenle daha önceki karşılaşma sonucu gelişen bellektir.

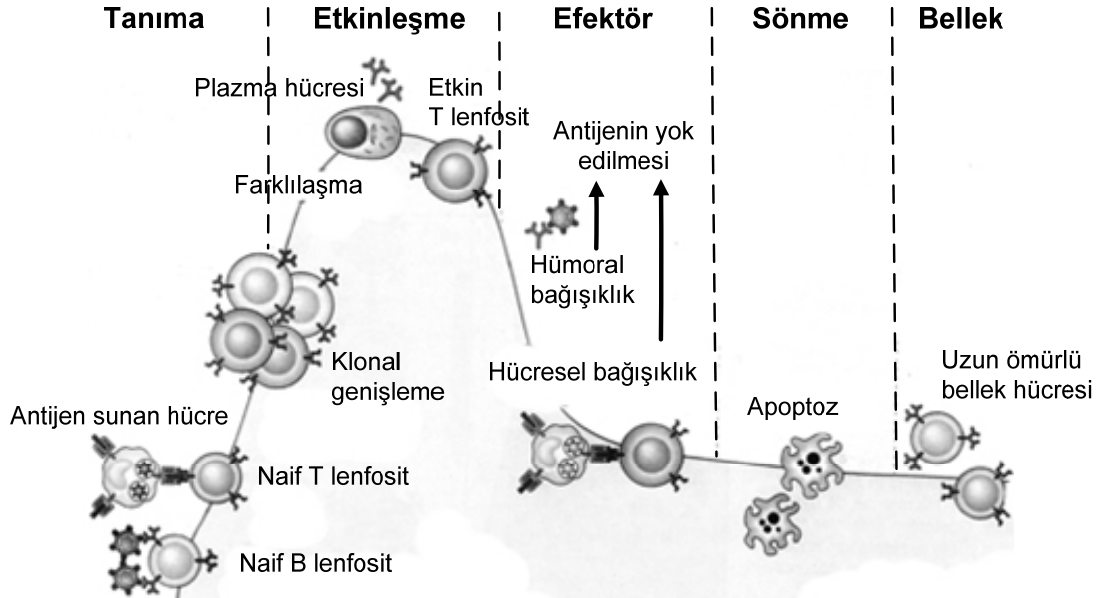
Daha önce maruz kalınan bir antijenle yeniden karşılaşıldığında artmış bağışıklık cevabının oluşması ve ilk antijene benzerlik gösterse dahi başka bir antijene benzer bir cevabın gösterilmemesi, bağışıklık cevabının özgüllüğünü göstermektedir. Bağışıklık sistemi, aynı antijenle tekrar karşılaştığında daha fazla ve daha etkili bir bağışıklık cevabı oluşturur. Antijenle ilk karşılaşmada bağışıklık cevabı antijenle ilk defa karşılaşan naif lenfositler tarafından oluşturulur ve buna birincil bağışıklık cevabı adı verilir. Aynı antijen ile tekrar karşılaşıldığında ise ikincil bağışıklık cevabı adı verilen, birincil cevaba göre daha hızlı, büyük ve antijeni daha iyi ortadan kaldıran bir bağışıklık cevabı ortaya çıkar. İkincil cevap, birincil cevap sırasında oluşan uzun ömürlü bellek lenfositlerinin efektör konuma geçişi sonucunda oluşur. Bellek, bağışıklık sisteminin yinelenen ve süreğen (akut) enfeksiyonlarla mücadele etme yeteneğini en yüksek düzeye ulaştırır, çünkü bir mikropla her karşılaşma daha fazla sayıda önceden oluşmuş bellek hücrelerinin aktivasyonuna yol açar. Bağışıklık cevapları özelleşmiştir ve farklı sınıflardaki mikroplara karşı en iyi savunmayı oluşturabilmek için farklı cevap şekilleri geliştirebilir. Edinsel bağışıklıkta özgüllük ve bellek, birincil ve ikincil bağışıklık cevabı Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Edinsel bağışıklıkta özgüllük ve bellek, birincil ve ikincil cevaplar.

2.1.3.1. Edinsel Bağışıklık Cevabının Evreleri

Bağışıklık cevabı antijenin özgül lenfosit tarafından tanınması, lenfositlerin aktivasyonu, antijenin yok edilmesi, bağışıklık cevabının sonlandırılması ve bellek gibi birbiri ardından gelen çeşitli evrelerden oluşmaktadır. Edinsel bağışıklık cevabının evreleri Şekil 2.4'te görülmektedir. Bu prensipler hem B hücrelerince gerçekleştirilen humoral bağışıklığa hem de T hücrelerince gerçekleştirilen hücresel bağışıklığa uygulanabilir. Her evre, lenfositlerin ve bağışıklık sisteminin parçalarının belirli reaksiyonlarını içerir ve her evrenin süresi farklı bağışıklık cevapları için farklılık gösterir.



Şekil 2.4. Edinsel bağışıklık cevabının evreleri.

Tanıma evresi sırasında, antijene özgül naif lenfositler mikropların antijenlerini tanıyarak edinsel bağışıklık cevabını başlatırlar. Etkinleşme evresinde, antijenlerle karşılaşan lenfosit klonları hızlıca çoğalmaya başlar ve bu soydan gelen çok sayıda hücre oluşturur. Bu işleme klonal genişleme adı verilir. Çoğalan naif lenfositlerin bazıları efektör lenfositlere dönüşürler. Efektör hücreler ve ürünleri doğal bağışıklığın da yardımıyla antijenleri yok edecek maddeleri üretirler. B lenfositlerinin efektör konumundaki hücreleri antikor salgılayan plazma hücrelere farklılaşırken bazı T lenfositleri ise enfekte hücreleri yok eden efektör hücrelere farklılaşırlar. Antijenlerin

yok edildiği bu evreye bağışıklık cevabının efektör evresi denilmektedir. Enfeksiyon temizlendikten sonra, lenfosit aktivasyonuna yol açan uyarım sona erer. Antijenle uyarılmış hücrelerin çoğu apoptoz adı verilen programlanmış hücre ölümü aracılığıyla ölür ve ölü hücreler zararlı bir reaksiyon başlatmadan önce fagositler tarafından temizlenirler. Bağışıklık cevabı ortadan kalktıktan sonra, kalan hücreler bellek hücrelerine dönüşürler ve dinlenme evresinde seneler boyu varlıklarını sürdürebilirler. Bellek hücreleri aynı mikropla tekrar karşılaştıklarında hızlı bağışıklık cevabı oluşturabilirler [83].

2.1.4. Bağışıklık Sisteminin Hücreleri

Lenfositler: Edinsel bağışıklığı düzenleyen anahtar hücrelerdir. Antijenlere özgül reseptörler taşıyan tek hücre grubudur. Lenfositler morfolojik olarak birbirine çok benzemelerine ve hatta birbirinden ayırt edilememelerine karşın, işlevsel anlamda köken aldığı dizi ve fenotip olarak birbirinden farklıdır. Günümüzde bu hücreler, yüzey proteinleri aracılığı ile birbirinden ayırt edilebilmektedir.

B lenfositler (hücreler) antikor üretebilen tek hücre grubudur ve hümmoral bağışıklığı düzenleyen hücrelerdir. B hücreleri yüzeylerinde antijenleri tanıyan ve hücre aktivasyon işlemlerini başlatan reseptörler olarak görev alan antikorlar içerirler. Çözünür antijenler ve mikropların veya diğer hücrelerin yüzeylerindeki antijenler B hücre yüzeylerindeki bu antijen bağlayan reseptörlere bağlanabilir ve hümmoral bağışıklığı aktive edebilirler.

T hücreleri ise, hücreesel bağışıklığın hücreleridir. T hücrelerinin antijen reseptörleri ise, yalnızca peptid yapılı antijenleri tanır. Bu peptidler majör histokompatibilite antijenleri (MHC) adı verilen özel peptid sunan moleküllere bağlı durumdadırlar. Bu moleküller antijen sunan hücreler adı verilen bir grup özelleşmiş hücrelerde bulunurlar. T lenfositleri arasında, antikor yapımı için B lenfositlerine ve yutulmuş mikropların yıkımı için fagositlere yardım eden yardımcı T hücreleri bulunmaktadır. Öldürücü T hücreleri, hücre içi mikropları taşıyan kanser hücreleri, virüsler gibi mikrobik işgalcileri öldürür. Baskılayıcı T hücreleri ise efektör T hücrelerin aktivasyonu ve bağışıklık cevabının devamı için hayati öneme sahiptir.

B ve T lenfositlerinden sonra üçüncü bir sınıf lenfosit ise NK (doğal öldürücü) hücreleridir ve bu hücreler doğal bağışıklık sisteminin bir parçasıdır. B ve T lenfositlerinde bulunan antijen reseptörlerine sahip değildirler. Doğal öldürücüler olarak görevlendirildikleri için bir özel antijeni tanımaya ihtiyaç duymazlar. Özellikle tümörlere saldırırlar ve çok sayıda enfekte edici mikroplara karşı savunma yaparlar.

Tüm lenfositler kemik iliğindeki kök hücrelerden gelişir. B lenfositleri kemik iliğinde olgunlaşırken, T hücreleri timus adlı organda olgunlaşırlar. Olgun lenfositler, yüzeylerinde taşıdıkları özgül reseptörü tanıyan antijen ile karşılaştıklarında lenfoid organları terk ederek, dolaşıma geçer ve periferik lenfoid organlara (lenf düğümleri, dalak) göç ederler. Naif lenfositler, mikrobik antijenleri tanımları ve aynı zamanda mikrobun uyardığı ikincil tehlike uyarılarını da algıladıkları zaman, antijene özgül lenfositler çoğalır, efektör hücreler ve bellek hücrelere dönüşürler.

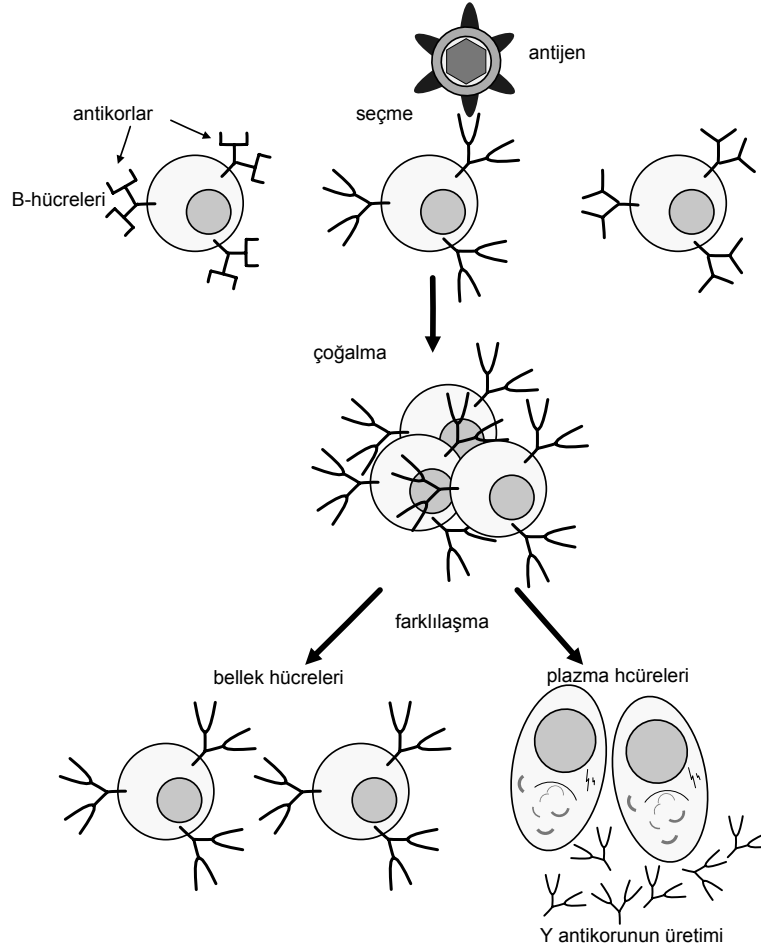
Antijen Sunan Hücreler: Mikrobik antijenleri yakalayıp T lenfositlerinin tanınması için gösteren özelleşmiş hücreler antijen sunan hücrelerdir. Naif T lenfositlerinin antijenlere karşı bağışıklık cevabı başlatabilmesi için antijenlerin antijen sunan hücrelerce sunulması gerekmektedir.

Mikroplar, vücuda genellikle deriden fiziksel temas, sindirim sisteminden beslenme veya solunum sisteminden solunum sırasında girerler. Vücutta tüm dış çevrenin ara yüzeyleri epitel tabakası ile örtülüdür ve epitelin temel işlevi enfeksiyona karşı fiziksel bir engel oluşturmaktır. Epitelden giren mikroplar, epitelde bulunan antijen sunucu hücrelerce yakalanır ya da lenfatik damarlara veya kan damarlarına geçer. Mikrobik antijenler periferik lenfoid organlara, lenf düğümleri ve dalağa taşınır ve orada protein antijenler yardımcı T lenfositlerinin tanınması için sunulur.

Efektör Hücreler: Mikropları yok eden hücreler efektör hücreler olarak isimlendirmektedir. Doğal bağışıklık sisteminde makrofajlar ve bazı granüositler doğrudan doğruya mikropları tanır ve ortadan kaldırırken, edinsel bağışıklık sisteminde B ve T lenfositlerinin salgıladıkları ürünler ile mikropların öldürülmesini sağlarlar.

2.1.5. Klonal Seçme Prensibi

Bağışıklık sisteminin en az bir milyar farklı antijeni veya antijen parçasını birbirinden ayırt edebilme yeteneği vardır. Pek çok antijene özgül cevabın gelişebilmesi farklı lenfosit tür topluluğunun (lenfosit özgüllüğünün) son derece çeşitli olduğunu göstermektedir. Bu özgüllüğün ve çeşitliliğin temelinde lenfositlerin pek çok farklı klondan oluşması ve her klonun diğer klondaki lenfositlerden farklı bir antijen reseptör dağılımına sahip olması yatmaktadır. Klonal seçme prensibi [68, 69], çeşitli antijenlere özgül lenfosit klonlarının bu antijenlerle karşılaşmadan önce oluştuğunu ve her antijenin özgül bir klonun lenfositlerini seçip aktive ederek bağışıklık cevabı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 2.5'te sisteminin klonal seçme mekanizması görülmektedir. Şekil 2.5'te yalnızca B hücrelerinin plazma hücrelerine (antikor salgılayan efektör hücrelere) ve bellek hücrelerine farklılaşması gösterilmiştir, ancak aynı prensipler T hücrelerine de uygulanabilir.



Şekil 2.5. Klonal seçme prensibi.

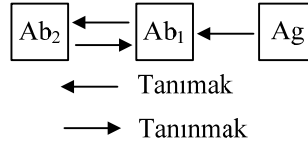
Pek çok antijen için reseptör taşıyan olgun lenfositler, antijenle karşılaşmadan önce gelişirler. Antijen için daha önceden var olan özgül lenfositler antijence seçilerek etkin kılıılır. Yani B hücrelerinin antikoru sadece kendisine uyan antijenle birleşmektedir. Antijenle antikor arasındaki birleşme (bağlanma) iki molekül arasındaki etkileşimin kuvveti (afinite) oranında süratli ve güçlüdür. Afinite ne kadar yüksekse, antijen ve antikor arasındaki bağlanma da o kadar güçlüdür. Seçilen B hücreleri klonlanarak çoğalmaya ve antikor salgılayan plazma hücreleri olarak farklılaşmaya başlarlar. Yüksek afiniteli B hücreleri daha çok çoğalırlar. Yeni hücreler, yüksek oranda mutasyona (somatik hipermutasyon) maruz kalırlar. Somatik hipermutasyon antijene çok değişik afinitelerde bağlanabilen değişik B hücre klonlarının ortaya çıkmasına yol açar. Somatik mutasyon işleminin rasgele olma özelliğinden dolayı, bazı klonlar vücut için zararlı olabilirler. Böyle hücreler ile antijene karşı düşük afiniteye sahip B hücreleri ölürlü, yerlerine yeni hücreler üretilir. Bağışıklık cevabı geliştikçe antikoru afinitesi de artış gösterir. Sonuçta bağışıklık sistemi antijeni en iyi tanıyıp yok eden hücreleri geliştirmiş olur. B hücrelerinin bir kısmı yüksek afiniteli bellek hücrelerine dönüşürlü. Bellek B hücreleri antikor salgılamazlar. Antijenin ortadan kaldırılması sonrasında antijenle tekrar karşılaşma olmadıkça dolaşımda kalıp varlıklarını sürdürebilmektedirler. Antijenle tekrar karşılaşıldığında hızla cevap oluşturmaya hazırdırlar.

2.1.6. Bağışıklık Ağ Teorisi

Klonal seçme prensibinde, bağışıklık hücreleri yüzey moleküllerinin yabancı antijeni tanıyarak oluşturduğu bağışıklık cevabının temel özellikleri açıklanmaktadır. Bağışıklık ağ teorisinde [70] ise, bağışıklık sisteminin sadece bağışıklık hücreleri yüzey molekülleri ile antijenler arasındaki etkileşimleri kapsamadığı, bağışıklık sisteminin antijenlerin yokluğunda bile birbirlerini tanıyan hücreler ve moleküller ağına sahip olduğu ve bağışıklık hücreleri yüzey moleküllerinin aynı zamanda diğer bağışıklık hücreleri yüzey molekülleri tarafından da tanınabileceği öngörülmektedir. Moleküller arası etkileşimler sonucu, öğrenme ve bellek, öz antijenine cevap vermeme, hücre popülasyonlarının büyüklüğü ve çeşitliliği gibi özellikler ortaya konmaktadır.

Antijenlerin epitop isimli parçaları antikoru paratop ismi verilen parçaları tarafından tanınır. Bununla birlikte, antikordaki epitop özellik gösteren idiotop isimli parçalar da

bulunmaktadır. Bağışıklık ağ teorisine göre, antikorların idiotopları bağka antikorların paratopları tarafından tanınabilir. Antikorlar arası bağlanma yapısı, antijenlere bağlanma yapısı ile aynıdır. Bir paratop bir epitopu (antijende veya antikorda olsun) tanırsa, uyarı sinyali alır. Eğer bağka bir antikor tarafından tanınırsa bir baskılayıcı sinyal alır. Bu hücrelerin vereceği cevapları kontrol eder. Örneğin uyarı sinyali hücrelerin çoğalmasını, aktivasyonunu ve antikor salgılanmasına, bir baskılayıcı sinyalde hücre ölümüne sebep olur. Sistemde bir antijenle ile karęılaşırsa, antikorlar üzerindeki paratop kümeleri tarafından tanınırlar. Bu aynı paratop kümesi, bağka hücreler üzerindeki epitop kümelerini de tanıyabilir. Bu ikinci küme aynı paratop kümesi ile eğleşirse, antijenin dahili bir örüntüsünü oluşturur. Bu durum Şekil 2.6'da görülmektedir. Şekil 2.6'dan görüldüğü üzere, Ag yabancı antijenini tanıyan Ab_1 antikoru, Ab_2 antikoru da tanıyabilir. Hem Ag hem de Ab_2 aynı Ab_1 antikoru tarafından tanınabilir. Bu durumda Ab_2 antijenin dahili bir görüntüsüdür.



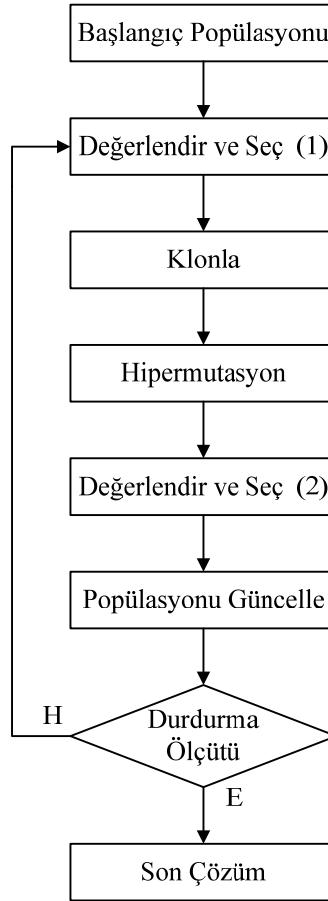
Şekil 2.6. Bağışıklık ağ teorisi prensibi.

2.2. Yapay Bağışıklık Algoritmaları

YBS, modern bağışıklık bilimi, gözlenen bağışıklık fonksiyonları, prensipleri ve kavramlarından esinlenerek karmaşık mühendislik problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir hesaplama tekniğidir. Biyolojik sistemlerden esinlenerek geliştirilmiş tekniklerin yenilerinden olan YBS'ye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bilgisayar bilimcileri, mühendisler, matematikçiler ve diğer araştırmacılar en az beyin kadar karmaşıklığa sahip olan bağışıklık sisteminin yetenekleri üzerine ilgi duymuş ve klonal seçme ve bağışıklık ağ mekanizmalarından esinlenerek çeşitli YBS bağışıklık algoritmaları geliştirmişlerdir. Bunlar, KSA, opt-AINET ve opt-IA'dır.

2.2.1. Klonal Seçme Algoritması (KSA)

KSA [65], insan bağışıklık sistemindeki klonal seçme prensibinden [68, 69] esinlenerek geliştirilmiş nispeten yeni bir optimizasyon algoritmasıdır. KSA, yerel minimumdan kurtulabilme, belirli kurallar yerine rasgele geçiş kuralları kullanma, çok parametrelili optimizasyon problemleri ile rahatlıkla çalışabilme yeteneklerine sahiptir. Ayrıca uygulanması basit ve anlaşılması kolaydır. Bu cazip özelliklerinden dolayı çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır [17, 24, 41, 42, 57, 62, 63, 65, 71-78]. KSA'nın akış diyagramı Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Klonal seçme algoritması akış diyagramı.

KSA'nın çalışması şu şekildedir: İlk olarak rasgele üretilen hücrelerden verilen sınırlar dahilinde bir başlangıç popülasyonu (N_{pop}) oluşturulur. Her bir hücre muhtemel bir çözümü, antijen ise problemi temsil etmektedir. Hücreler ikili bit dizilerinden oluşur.

Bit dizilerinin uzunluğu kullanıcı tarafından problem için istenen hassasiyete göre seçilir. Daha sonra popülasyondaki her hücreye ait maliyet fonksiyonu değeri (uygunluk) hesaplanır ve hücreler uygunluk değerlerine göre sıralanır. En yüksek uygunluk değerine sahip n tane hücre seçilir ve sonra uygunluk değerleri ile orantılı olarak klonlanır. Seçilen n tane hücrenin her biri için oluşturulan klon sayısı

$$N_c = \sum_{i=1}^n \text{round} \left(\frac{\beta N_{\text{pop}}}{i} \right) \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada β çarpım faktörü ve round (.) argümanını en yakın tam sayıya tamamlayan bir operatördür. Oluşturulan klonlar, uygunluk değerleri ile ters orantılı olarak mutasyona uğrarlar. Daha sonra mutasyona uğratılmış klonların uygunluk değerleri hesaplanır. Seçilen her bir hücre ve klonları bir alt popülasyon oluşturur. Her bir alt popülasyonun en yüksek uygunluk değerine sahip hücresi seçilir ve yaşamasına izin verilir. Popülasyonun en düşük uygunluk değerlerine sahip d tane hücresi rasgele üretilen hücrelerle değiştirilir. Böylelikle popülasyondaki çeşitlilik sağlanmış olur. Bu işlemler durdurma ölçütü sağlanana kadar devam eder.

2.2.2. Bağışıklık Ağ Algoritması (opt-AINET)

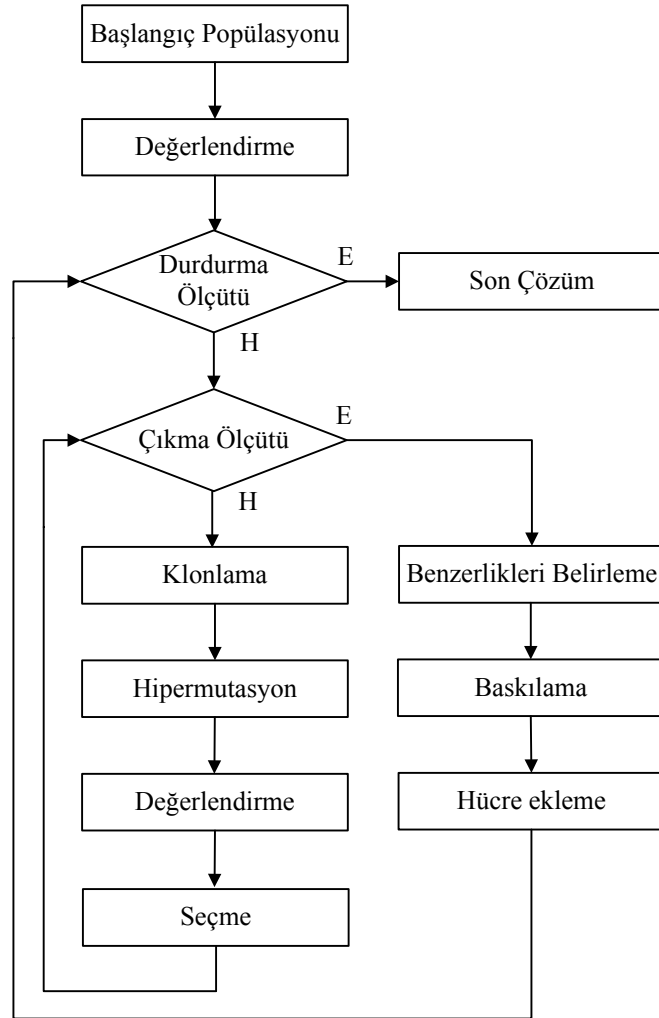
opt-AINET [66], bağışıklık ağ teorisinden [70] esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır. opt-AINET çok modlu ve çok amaçlı optimizasyon problemleri ile çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmıştır [66, 79-81]. opt-AINET algoritması popülasyon büyüklüğünün dinamik olarak ayarlanması, yerel ve küresel arama yapabilmesi gibi özelliklere sahiptir. Yerel arama klonlama, hipermutasyon, ve seçme işlemleri ile gerçekleştirilmekte, küresel arama ise rasgele hücrelerin eklenmesi ve popülasyon büyüklüğünün değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. opt-AINET algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.8'de görülmektedir.

opt-AINET'in çalışması şu şekildedir: Başlangıçta verilen sınırlar dahilinde rasgele üretilen hücrelerinden bir başlangıç popülasyonu (N_{pop}) oluşturulur. Hücreler reel değerli vektörlerden oluşur ve muhtemel çözümleri temsil etmektedir. Daha sonra popülasyondaki her hücreye ait maliyet fonksiyonu (uygunluk) değeri hesaplanır ve

popülasyondaki bütün hücreler klonlanmak üzere seçilir. Her hücrenin dup adet klonu oluşturulur ($N_c = dup * N_{pop}$). Oluşturulan klonlar uygunluk değerleri ile ters orantılı olarak mutasyona uğrarlar. Mutasyon

$$\alpha = \frac{1}{v} e^{-f} \quad (2.2)$$

ile belirlenir. Burada v azalmayı kontrol eden bir parametre, f $[0,1]$ aralığında normalize edilmiş uygunluk değerleridir. Daha sonra mutasyona uğratılmış klonların uygunluk değerleri hesaplanır. Her bir hücre ve klonları bir alt popülasyon oluşturur. Her bir alt



Şekil 2.8. opt-AINET algoritması akış diyagramı.

popülasyonun en yüksek uygunluk değerine sahip hücresi seçilir ve yaşamasına izin verilir. Klonlanma ile başlayıp en yüksek uygunluk değerlerine sahip hücrelerin seçilmesi ile biten bu döngü, iki iterasyon arasında popülasyonun ortalama uygunluk değerinde önemli bir değişim olmayıncaya kadar tekrar eder. Döngüden çıkma ölçütü

$$\left| \text{Ort}_{\text{uygunluk}} - \text{YeniOrt}_{\text{uygunluk}} \right| \leq \text{Değişmezlik Faktörü} \quad (2.3)$$

ile tanımlanır. Döngüden çıkma ölçütü sağlandığında, popülasyonun küresel olarak değişmezliğe ulaştığı kabul edilmektedir. İç döngü işlemlerinden sonra dış döngü işlemlerine geçilir. İlk olarak bütün hücreler arasındaki benzerlikler (öklit mesafeleri) belirlenir. Baskılama işlemi, benzer veya uyarılmamış hücreler ile

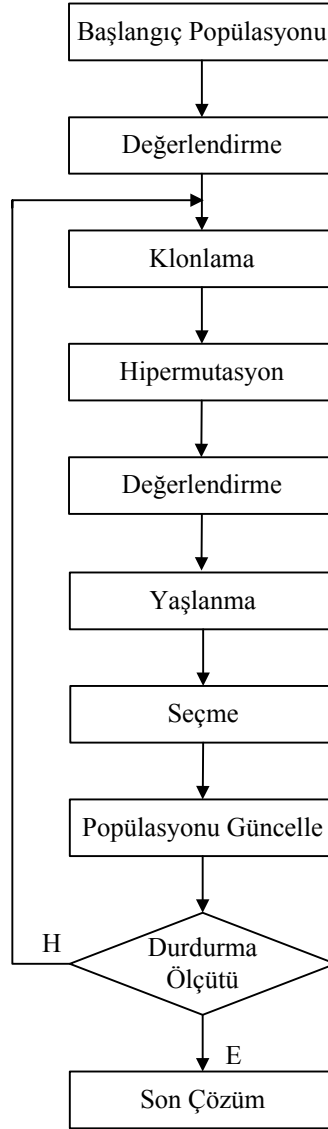
$$\left(\frac{\text{Mesafe}}{\text{En Uzak Mesafe}} \right) \leq \sigma_s \quad (2.4)$$

eşitliğine göre baskılama eşik seviyesinin (σ_s) altına düşmüş hücreleri yok etmek için kullanılmaktadır. Baskılama işleminden sonra yaşamını devam ettiren hücreler bellek hücreleri haline gelirler. Baskılamadan sonra, popülasyonun büyüklüğü yaşamını devam ettiren hücrelerin % m 'si kadar bir oranda artırılır. Yeni hücreler rasgele bir şekilde üretilir ve klonlama, hipermutasyon, seçme döngüsü yeniden başlar. Bu işlemler durdurma ölçütü sağlanana kadar devam eder.

2.2.3. Bağışıklık Algoritması (opt-IA)

Bağışıklık algoritması [67], insan bağışıklık sistemindeki klonal seçme prensibinden esinlenerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Çeşitli ayrık ve sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça başarılı bir şekilde kullanılmıştır [67, 82]. opt-IA'nın akış diyagramı Şekil 2.9'da görülmektedir.

opt-IA'nın çalışması şu şekildedir: Başlangıçta verilen sınırlar dahilinde rasgele üretilen hücrelerden bir başlangıç popülasyonu (N_{pop}) oluşturulur. Hücreler ikili bit dizilerinden oluşur ve muhtemel çözümleri temsil etmektedir. Daha sonra popülasyondaki her hücreye ait maliyet fonksiyonu (uygunluk) değeri hesaplanır. Hücrelerin uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra popülasyondaki bütün hücreler klonlanmak üzere seçilir.



Şekil 2.9. opt-IA algoritması akış diyagramı.

Her hücrenin dup adet klonu oluşturulur ($N_c = dup * N_{pop}$). Oluşturulan klonlar uygunluk değerleri ile ters orantılı olarak mutasyona uğrarlar. Mutasyon

$$\alpha = e^{(-\rho * f)} \quad (2.3)$$

ile belirlenir. Burada ρ azalmayı kontrol eden bir parametre, f $[0,1]$ aralığında normalize edilmiş uygunluk değerleridir. Popülasyonda çeşitlilik ve algoritmanın yerel minimaya takılı kalmaması yaşlanma operatörü ile sağlanır. Yaşlanma operatörü, bağışıklık sisteminde gözlenen, B hücresi için beklenen yaşam süresinden esinlenerek geliştirilmiştir. Bağışıklık sisteminde B hücrelerinin sınırlı yaşam süreleri söz konusu

iken bellek B hücreleri uzun yaşam süreleri söz konusudur. Yaşlanma operatörü yaşlanmış B hücrelerini popülasyondan çıkarır. Yaşlanma operatörünün τ_B parametresi, üretilen B hücrelerinin popülasyonda kalması için izin verilen maksimum iterasyon sayısını belirler. Bir B hücresi τ_B+1 yaşlılıkta ise o anki popülasyondan çıkarılır. Mutasyon işleminden sonra, başarılı bir şekilde mutasyona uğramış (daha iyi uygunluk değerine sahip) bir B hücrelerinin yaşı sıfır olur. Böylelikle yeni B hücrelerine verilen arama uzayında daha etkili bir şekilde araştırma yapma fırsatı verilmiş olur. Ana ve klonlanmış B hücrelerinin oluşturduğu popülasyonlar içinde en yüksek uygunluk değerine sahip B hücreleri seçilir. Eğer seçim sonucunda yaşamını sürdüren B hücresi sayısı popülasyon sayısından az ise, bu durumda aradaki fark kadar hücre rasgele bir şekilde üretilerek popülasyona eklenir. Bu işlemler durdurma ölçütü sağlanana kadar devam eder.

3. BÖLÜM

YAPAY BAĞIŞIKLIK ALGORİTMALARI İLE ANTEN DİZİLERİNİN SENTEZİ

3.1. Giriş

Bu bölümde, KSA, opt-AINET ve opt-IA yapay bağışıklık algoritmalarının anten dizilerinin şekillendirilmiş demet sentezi ile istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagram sentezine uygulanması anlatılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekillendirilmiş demet sentezi ile istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagram sentezi, anten dizi elemanlarının genlik, faz ve yer gibi parametrelerinin sadece biri ya da aynı anda her ikisi belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca KSA ile gezgin haberleşme sistemi baz istasyonu anteni için şekillendirilmiş demet diyagram sentezi, seçilmiş elemanların yerlerinin kontrol edilmesiyle istenen doğrultularda sıfırlara sahip diyagram sentezi ve yeniden düzenlenebilir anten dizi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan sentez işlemlerine, sıfır derinlik seviyesi, maksimum yan demet seviyesi ve eleman genliklerinin çalışma aralığı oranı gibi tasarım kriterleri de dahil edilmiştir.

3.2. KSA'nın Anten Dizi Sentezine Uygulanması

KSA kullanılarak yapılan anten dizi sentezinde, doğrusal anten dizilerinin eleman uyarım genlikleri, fazları veya yerleri, tüm görünen bölgede şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek ve istenilen doğrultularda tekli ve çoklu dar sıfırlara veya geniş sıfırlara sahip diyagramlar üretmek için belirlenmiştir. KSA ile yapılan anten dizi sentezi örneklerinde KSA'nın optimizasyon parametreleri N_{pop} , iterasyon sayısı, n , β , ve d değerleri sırasıyla, 70, 200, 40, 2 ve 20 civarlarında seçilmiştir. Optimize edilecek her bir parametre (genlik, faz veya yer) 10 bitlik diziler ile temsil edilmiştir.

3.2.1. KSA ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme

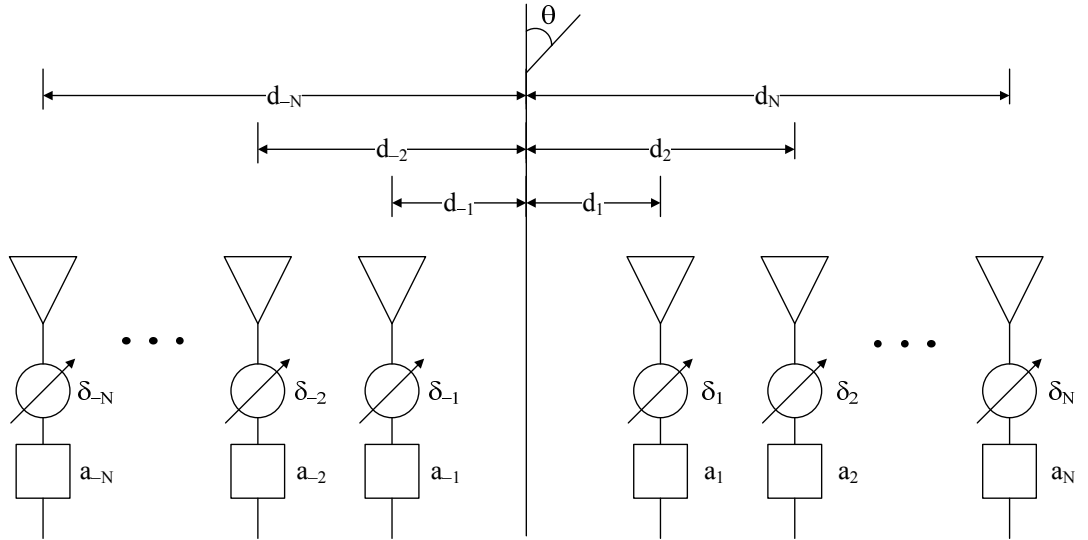
Doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet sentezinde, kalem, sektörel, kosekant ve kosinüs diyagramlarını üretmek için, doğrusal anten dizi elemanlarının uyarım genlikleri ve/veya fazları ve yerleri KSA ile optimal olarak belirlenmiştir.

3.2.1.1. Kalem, Sektörel ve Kosekant Diyagram Örnekleri

Dizi elemanları Şekil 3.1’de gösterildiği gibi dizi merkezi civarında eşlenik simetrik olarak uyarılan ($a_k = a_{-k}$ ve $\delta_k = -\delta_{-k}$) ve simetrik olarak yerleştirilen ($d_k = d_{-k}$) $2N$ tane yönsüz elemandan oluşan doğrusal anten dizisi için dizi faktörü ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF(\theta) = 2 \sum_{k=1}^N a_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_k \sin \theta + \delta_k\right) \quad (3.1)$$

Burada λ dalga boyu, d_k , a_k ve δ_k sırasıyla, dizi merkezi ile k 'inci eleman arasındaki mesafe, k 'inci elemanın uyarım genliği ve k 'inci elemanın uyarım fazıdır.



Şekil 3.1. Eşlenik simetrik uyarımlı ve simetrik yerleşimli doğrusal dizi anten geometrisi.

Arzu edilen kalem, sektörel ve kosekant diyagramlarını KSA ile elde etmek için (3.1) ifadesinde verilen her bir dizi elemanının uyarımları (a_k ve δ_k) veya yerleri (d_k)

belirlenmiştir [62]. Üretilcek diyagramları hem şekillendirme bölgesinde hem de yan demet bölgesinde kontrol edebilmek amacıyla KSA ile minimize edilecek aşağıdaki maliyet fonksiyonuna W ve ESL ağırlık faktörleri de dahil edilmiştir.

$$C = \sum_{\theta=-90^0}^{90^0} [W(\theta) |AF_o(\theta) - AF_d(\theta)| + ESL(\theta)] \quad (3.2)$$

Burada AF_o ve AF_d , sırasıyla, elde edilen diyagram ve arzu edilen diyagramdır. Doğrusal anten dizilerinin sentez işlemlerinde antikorların afinite değerleri

$$AFF = \frac{1}{1+C} \quad (3.3)$$

dir. Şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek için yapılan örneklerde minimize edilecek maliyet fonksiyonu içerisindeki parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$W(\theta) = \begin{cases} 10, & \text{şekillendirme bölgesi} \\ 1, & \text{yan demet bölgesi} \end{cases} \quad (3.4)$$

ve

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_o(\theta) > MSL_d(\theta) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.5)$$

Burada MSL_o ve MSL_d , sırasıyla, elde edilen maksimum yan demet seviyesi ve arzu edilen maksimum yan demet seviyesidir.

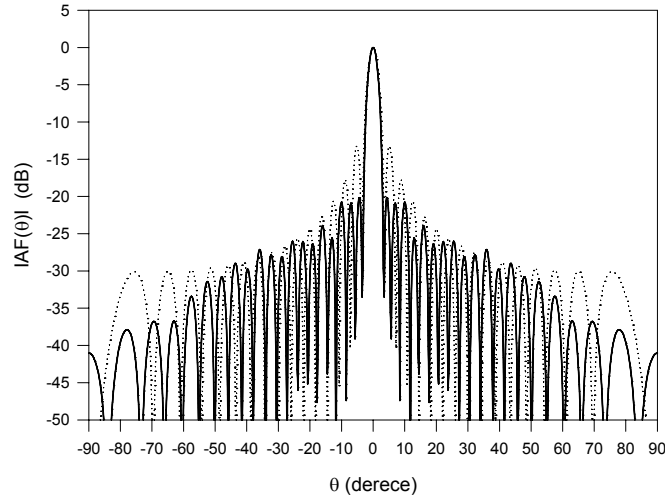
Birinci örnekte, dizi elemanları düzgün uyarımlı ve eşit aralıklı olmadığı durumda kalem diyagramı üretmek amacıyla 32 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizi elemanlarının sadece yerleri belirlenmiştir. Bu amaçla, (3.2) ve (3.5) ifadelerindeki maliyet fonksiyon parametre değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta \leq 3^0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.6)$$

ve

$$MSL_d(\theta) = -20\text{dB} \quad \text{eğer} \quad 5^0 \leq \theta \leq 90^0 \quad (3.7)$$

Komşu elemanlar arasında minimum uzaklık değeri, ortak kuplajın etkisini önlemek amacıyla 0.4λ olarak kısıtlanmıştır. Sadece eleman yer değerleri belirlenerek üretilen diyagram Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Şekil 3.2’de verilen diyagram incelendiğinde (3.7) ifadesinde tanımlanan değeri aşan hiç bir yan demet yoktur. Karşılaştırma yapmak için dizi elemanları arasındaki mesafe 0.5λ olan, eşit aralıklı düzgün uyarımlı dizinin diyagramı da Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’de verilen diyagram incelendiğinde, eşit aralıklı olmayan dizi için elde edilen sonuçların eşit aralıklı diziyeye göre daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. KSA ile sadece eleman yerleri belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—) ve eşit aralıklı (0.5λ) düzgün uyarımlı 32 elemanlı dizinin diyagramı (...).

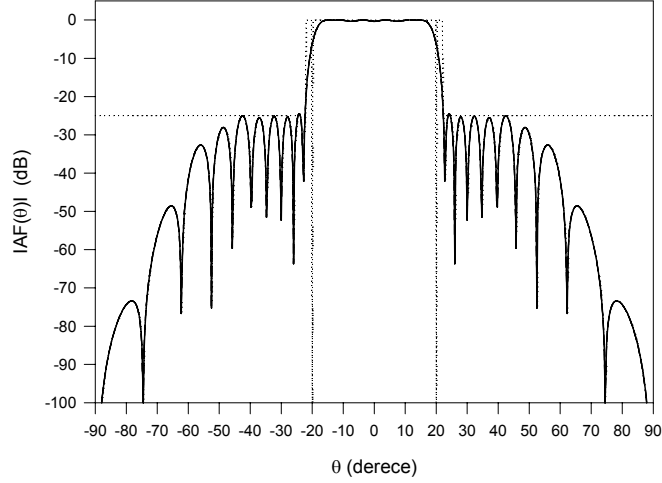
İkinci örnekte, sektörel demete sahip dizi diyagramı elde etmek için aralarındaki mesafe 0.5λ olan 32 elemanlı dizinin sadece genlikleri belirlenmiştir. Bu sektörel demeti üretmek için $AF_d(\theta)$ ve $MSL_d(\theta)$ parametreleri

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta \leq 20^\circ \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.8)$$

ve

$$MSL_d(\theta) = -25 \text{ dB} \quad \text{eğer} \quad 22^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (3.9)$$

olarak değiştirilmiştir. KSA kullanılarak belirlenen genliklerden üretilen diyagram Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Şekil 3.3'teki sektörel diyagram incelendiğinde, (3.8) ve (3.9) ifadelerinde belirlenen tasarım kriterlerinin sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.3. $MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.9)'da verilen arzu edilen sektörel diyagramın zarfı (...) ve KSA ile sadece genlikler belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—).

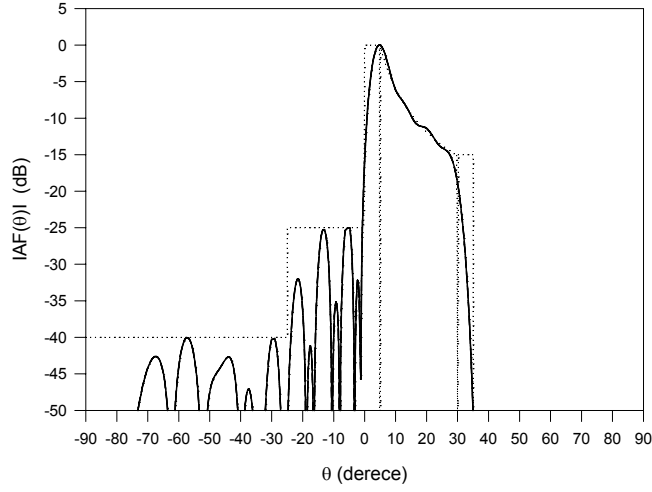
Üçüncü örnekte, kosekant demetine sahip diyagram elde etmek için aralarındaki mesafe 0.5λ olan 32 yönsüz kaynaklı dizinin uyarım genlik ve faz değerleri KSA ile belirlenmiştir. $AF_d(\theta)$ ve $MSL_d(\theta)$ parametre değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} \cos ec(\theta), & 5 \leq \theta \leq 30^\circ \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.10)$$

ve

$$MSL_d(\theta) = \begin{cases} -40 \text{ dB} & \text{eğer } -90^\circ \leq \theta < -25^\circ \\ -25 \text{ dB} & \text{eğer } -25^\circ \leq \theta \leq 0^\circ \\ -50 \text{ dB} & \text{eğer } 35^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.11)$$

Şekil 3.4'te, KSA ile elde edilen kosekant diyagramı görülmektedir. Şekil 3.4'te verilen diyagram, hem şekillendirme hem de yan demet bölgesinde arzu edilen kosekant diyagramı ile iyi bir uyum içerisindedir.



Şekil 3.4. $MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.11)'de verilen arzu edilen kosekant diyagramının zarfı (...) ve KSA ile üretilen dizi diyagramı (—).

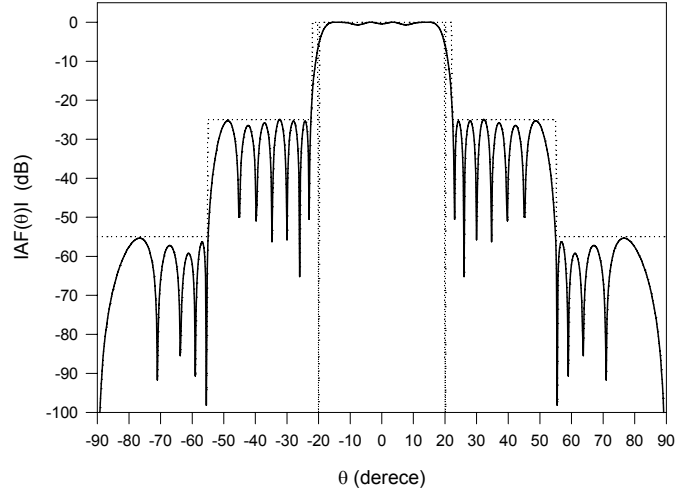
Dördüncü ve beşinci örneklerde, farklı yan demet seviyelerine kısıtlanmış sektörel ve kosekant diyagramlar elde etmek için (3.9) ve (3.11) eşitliklerinde verilen $MSL_d(\theta)$ değerleri, sırasıyla, (3.12) ve (3.13) eşitliklerinde verilen değerlerle değiştirilmiştir.

$$MSL_d(\theta) = \begin{cases} -25 \text{ dB} & \text{eğer } 22^\circ \leq \theta < 55^\circ \\ -55 \text{ dB} & \text{eğer } 55^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.12)$$

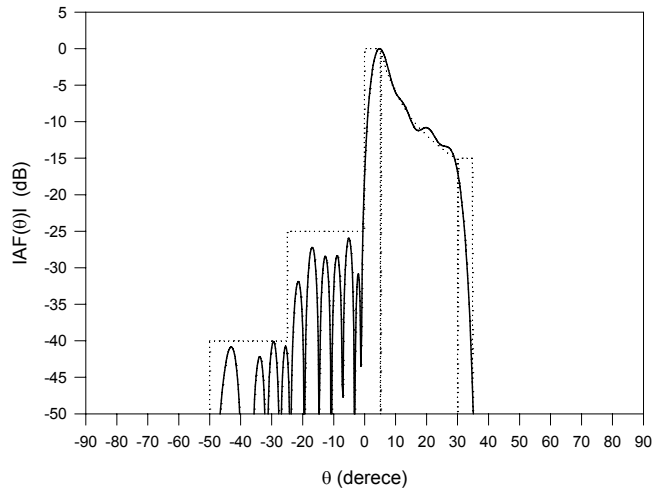
ve

$$MSL_d(\theta) = \begin{cases} -50 \text{ dB} & \text{eğer } -90^\circ \leq \theta < -50^\circ \\ -40 \text{ dB} & \text{eğer } -50^\circ \leq \theta < -25^\circ \\ -25 \text{ dB} & \text{eğer } -25^\circ \leq \theta \leq 0^\circ \\ -50 \text{ dB} & \text{eğer } 35^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.13)$$

Dördüncü ve beşinci örneklerde, aralarındaki mesafe 0.5λ olan 32 yönsüz kaynaklı dizinin, sırasıyla, uyarım genlik değerleri ve hem uyarım genlik hem de faz değerleri KSA ile belirlenmiştir. Elde edilen diyagramlar Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmektedir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 incelendiğinde yan demet bölgesinde iyi bir kontrol elde edildiği fakat yan demet bölgesinde daha fazla kısıtlamanın şekillendirme bölgesinde daha kötü bir performans elde edilmesine sebep olduğu görülmektedir. Bu örnekler KSA'nın esnekliğini açıkça göstermektedir.



Şekil 3.5. $MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.12)'de verilen arzu edilen sektörel diyagramın zarfı (...) ve KSA ile sadece genlikler belirlenerek üretilen dizi diyagramı (—).



Şekil 3.6. $MSL_d(\theta)$ değeri eşitlik (3.13)'te verilen arzu edilen kosekant diyagramının zarfı (...) ve KSA ile üretilen dizi diyagramı (—).

Şekil 3.2-3.6'da verilen diyagramları üretmek için KSA ile belirlenen, genlik, faz ve yer değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2-3.6'da verilen diyagramlar incelendiğinde, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.5'teki diyagramların ana demete göre simetrik oldukları,

Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'daki diyagramların ise ana demete göre simetrik yapıda olmadıkları görülmektedir. Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.5'teki diyagramların ana demete göre simetrik olmasının sebebi genlik uyarımlarının dizi merkezine göre simetrik olmasından dolayı çiftli simetriye sahip olmasıdır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'daki diyagramların ana demete göre simetrik yapıda olmamalarının sebebi ise, genlik uyarımları dizi merkezine göre simetrik yapıda iken, faz uyarımlarının simetrik yapıda olmayıp tekli simetriye sahip olmasıdır. Bu simetri durumundan dolayı 2N elemanlı dizi için gerekli zayıflatıcı sayısı N, faz kaydırıcı sayısı ise 2N'dir. Fakat dizi eleman fazlarındaki bu tekli simetri durumundan dolayı 2N elemanlı dizi için kullanılması gereken faz kaydırıcı sayısı 2N iken faz kaydırıcılar için gerekli denetleyici sayısı N'dir.

Eleman genliklerinin DRR değerleri, Şekil 3.3 ve Şekli 3.5'te verilen sektörel diyagramlar için sırasıyla, 30 ve 30.18 olarak elde edilirken Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'da verilen kosekant diyagramları için sırasıyla, 23.77 ve 20.06 olarak elde edilmiştir. KSA ile daha düşük çalışma aralığı değerleri elde etmek mümkündür.

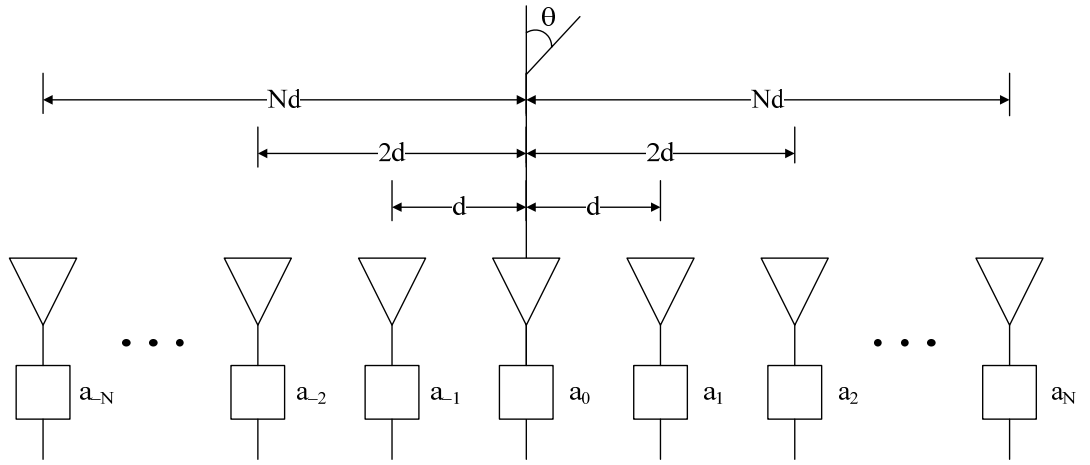
Tablo 3.1. Şekil 3.2-3.6'da verilen diyagramlar için KSA ile belirlenen eleman uyarımları ve yerleri.

k	Şekil 3.2	Şekil 3.3	Şekil 3.4		Şekil 3.5	Şekil 3.6	
	$d_k (\lambda)$	a_k	a_k	δ_k (derece)	a_k	a_k	δ_k (derece)
±1	0.25748	1.00000	1.00000	±164.41643	1.00000	1.00000	±162.57328
±2	0.76499	0.65391	0.80820	±133.85870	0.63760	0.83176	±130.33810
±3	1.25459	0.17371	0.55775	±107.52510	0.17253	0.56809	±105.27469
±4	1.75000	-0.15433	0.37563	±97.45898	-0.16568	0.37402	±98.80021
±5	2.22463	-0.20815	0.33311	±98.80714	-0.20447	0.33852	±102.00666
±6	2.71329	-0.06670	0.33493	±85.94367	-0.05035	0.34500	±85.93525
±7	3.23744	0.07908	0.30208	±68.41792	0.08490	0.30351	±64.74761
±8	3.79775	0.11453	0.21886	±55.98136	0.12426	0.22522	±51.55778
±9	4.37507	0.03333	0.18363	±51.55497	0.03313	0.18092	±51.56339
±10	4.99995	-0.05222	0.16641	±46.48596	-0.05073	0.16729	±46.56755
±11	5.67859	-0.05411	0.14998	±25.73818	-0.05377	0.14199	±27.22810
±12	6.39492	-0.03333	0.12383	±15.80687	-0.03313	0.11281	±11.45916
±13	7.15371	0.03954	0.10554	±11.47039	0.03784	0.10592	±10.02814
±14	7.95202	0.05249	0.10369	±17.18873	0.04541	0.11867	±11.46196
±15	8.78615	-0.03333	0.08246	±14.97557	-0.03602	0.10943	±8.59437
±16	9.49087	-0.03333	0.04207	±11.31311	-0.03876	0.04986	±4.01070

3.2.1.2. Kosinüs Diyagramı Örneği

Dizi elemanları Şekil 3.7’de gösterildiği gibi eşit aralıklı olarak yerleştirilen ve simetrik olarak uyarılan $2N+1$ tane yönsüz elemandan oluşan enine ışıklı doğrusal anten dizisi için dizi faktörü ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF(\theta) = a_0 + 2 \sum_{k=1}^N a_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_k \sin \theta\right) \quad (3.14)$$



Şekil 3.7. Tek sayıda elemanlı, eşit aralıklı olarak yerleştirilmiş ve simetrik olarak uyarılmış doğrusal dizi anten geometrisi.

Şekil 3.8’de verilen arzu edilen kosinüs diyagramını elde etmek için aralarındaki mesafe 0.5λ olan 21 elemanlı doğrusal dizisinin eleman uyarımları genlikleri (a_k)

$$C = \sum_{\theta=-90^\circ}^{90^\circ} [W(\theta) |AF_0(\theta) - AF_d(\theta)|] \quad (3.15)$$

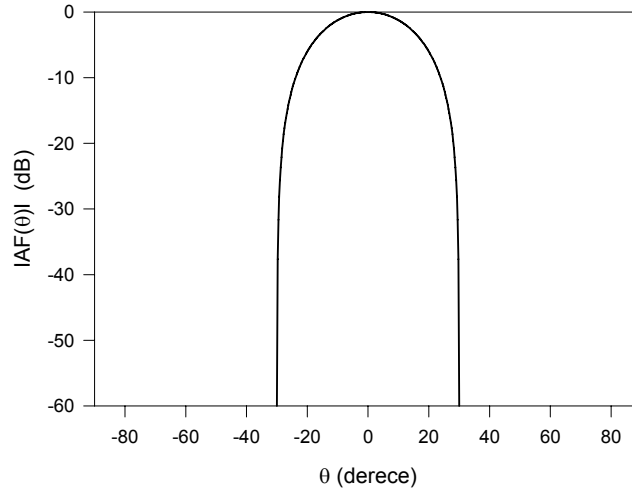
maliyet fonksiyonu minimize edilerek KSA ile belirlenmiştir. Bu amaçla, (3.15) ifadesindeki $W(\theta)$ ve $AF_d(\theta)$ parametre değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$W(\theta) = \begin{cases} 2, & \text{şekillendirme bölgesi} \\ 1, & \text{yan demet bölgesi} \end{cases} \quad (3.16)$$

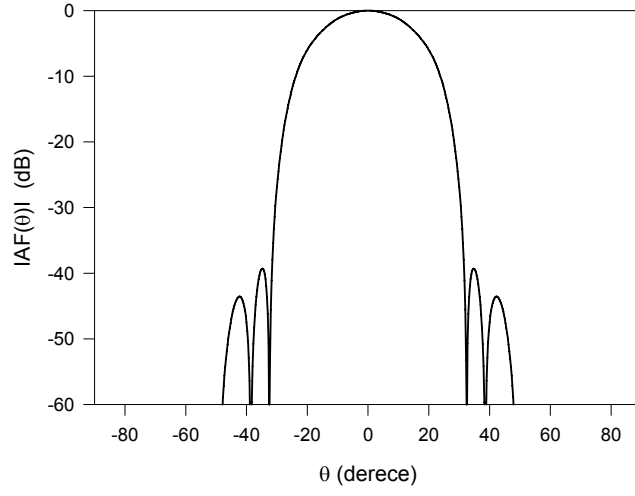
ve

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 0, & -90^\circ \leq \theta < -30^\circ \\ \cos 3\theta, & -30^\circ \leq \theta \leq 30^\circ \\ 0, & 30^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.17)$$

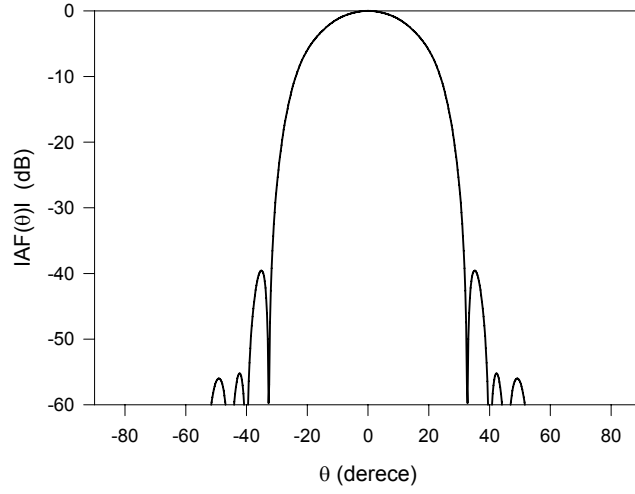
Karşılaştırma yapmak amacıyla, Şekil 3.8’de verilen kosinüs diyagramı ayrıca TAA [60] ve temel dizi tekniklerinden WLM [5] ve FDM [2] ile de elde edilmiştir. KSA, TAA, WLM ve FDM kullanılarak elde edilen dizi eleman genlikleri dizi merkezine göre simetrik formda Tablo 3.2’de verilmiştir. Tablo 3.2’de verilen dizi eleman genlikleri kullanılarak Şekil 3.9-3.12’de gösterilen dizi diyagramları elde edilmiştir. Dizi elemanları dizi merkezine göre simetrik olarak uyarıldıklarından, elde edilen diyagramlar $\theta=0^\circ$ ’a göre simetrik yapıdadır. KSA, TAA, WLM ve FDM ile yapılan sentez işleminde elde edilen çalışma aralığı oranları ise Tablo 3.3’te verilmiştir.



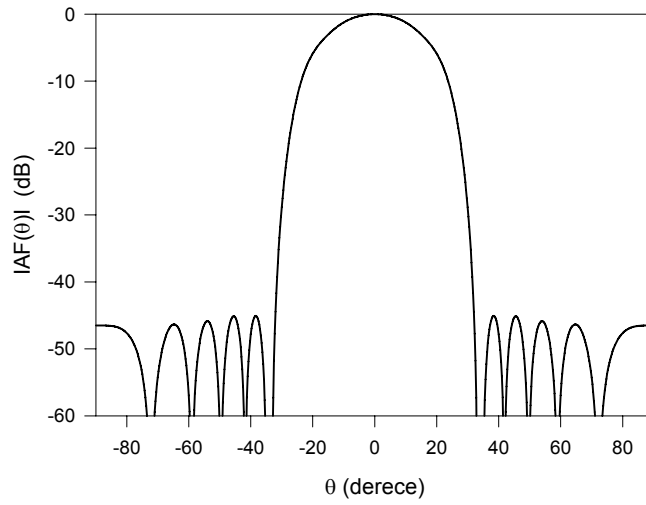
Şekil 3.8. Arzu edilen kosinüs diyagramı.



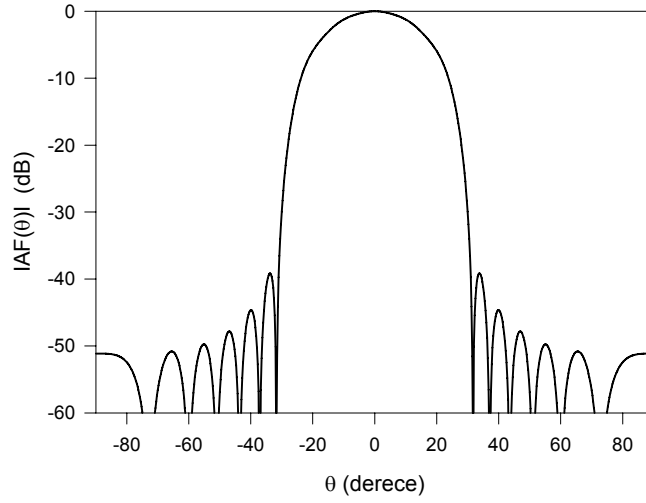
Şekil 3.9. KSA ile elde edilen kosinüs diyagramı.



Şekil 3.10. TAA ile elde edilen kosinüs diyagramı.



Şekil 3.11. WLM ile elde edilen kosinüs diyagramı.



Şekil 3.12. FDM ile elde edilen kosinüs diyagramı.

Tablo 3.2. KSA, TAA, WLM ve FDM ile belirlenen uyarım genlikleri (a_k).

k	KSA	TAA	WLM	FDM
0	0.330445	0.325781771	0.325102804	0.324759526
± 1	0.256807	0.253786002	0.253364604	0.253512695
± 2	0.104500	0.103255252	0.103853701	0.104200478
± 3	-0.003999	-0.004500499	-0.003594089	-0.004055557
± 4	-0.022754	-0.021995721	-0.022769933	-0.023127603
± 5	0.000990	0.001141347	-0.000120854	0.000710680
± 6	0.009238	0.008588479	0.009617646	0.009994975
± 7	-0.001076	-0.000600541	0.001076557	-0.000239578
± 8	-0.004305	-0.003978098	-0.005154351	-0.005563155
± 9	0.000716	0.000401088	-0.001908293	0.000108706
± 10	0.001551	0.001477983	0.003083609	0.003542504

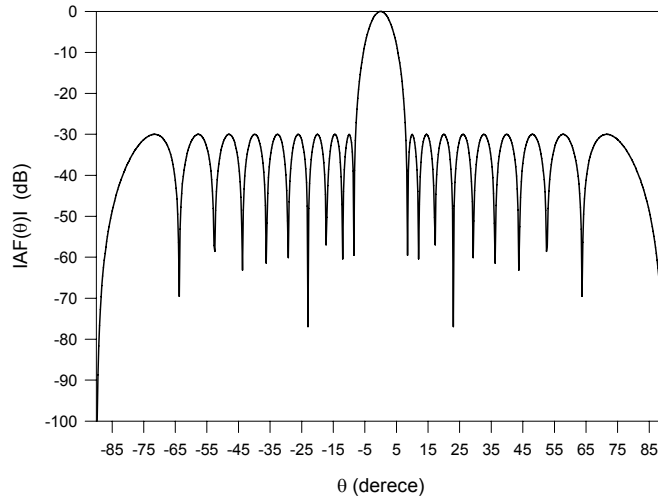
Şekil 3.9-3.12’de verilen dizi diyagramları incelendiğinde, arzu edilen diyagrama en iyi yaklaşan diyagramların KSA ve TAA ile elde edilen diyagramlar olduğu görülmektedir. Ancak Tablo 3.3’te verilen çalışma aralığı değerleri de incelendiğinde, KSA ile yapılan sentez işleminde elde edilen çalışma aralığı oranının TAA ile elde edilen çalışma aralığı oranından daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.3. KSA, TAA, WLM ve FDM’nin DRR değerleri.

	KSA	TAA	WLM	FDM
DRR	461	812	2690	2988

3.2.2. KSA ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme

KSA ile simetrik veya asimetrik doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramlarını üretmek için, doğrusal anten dizilerinin genlik, faz ve yer gibi parametreleri belirlenmiştir. Maksimum yan demet seviyesi, çalışma aralığı oranı ve sıfır derinliği gibi tasarım kriterleri de optimizasyon işlemine dahil edilmiştir. Diyagram sıfırlama örneklerinde, Şekil 3.13'te verilen yan demet seviyesi 30 dB, dizi elemanları aralarındaki mesafe 0.5λ olan 20 elemanlı Chebyshev dizisinin diyagramı, başlangıç diyagramı olarak alınmıştır.



Şekil 3.13. Sıfırlama örnekleri için başlangıç Chebyshev dizi diyagramı.

3.2.2.1. Sadece Genlik Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama

Doğrusal anten dizi diyagramında sadece genlik kontrolü ile önceden belirlenmiş doğrultularda sıfırlar üretmek için (3.1) ifadesinde verilen her bir dizi elemanın uyarım genliği (a_k) KSA ile belirlenmiştir [24]. Bu durum için elemanların uyarım fazları $\delta_k = 0$ ve elemanlar arasındaki aralık $d = 0.5\lambda$ olarak alınmıştır. Sadece genlikler kontrol edilerek istenilen açı veya açılarda sıfırlara sahip dizi diyagramlarını üretmek amacıyla (3.2) eşitliği ile verilen maliyet fonksiyonu minimize edilmiştir.

Birinci örnek olarak 15° de sıfırı olan Chebyshev dizisinin eleman uyarım genlikleri belirlenmiş ve elde edilen diyagram Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Birinci örnekte Eşitlik (3.2)'de verilen maliyet fonksiyon parametrelerinin değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

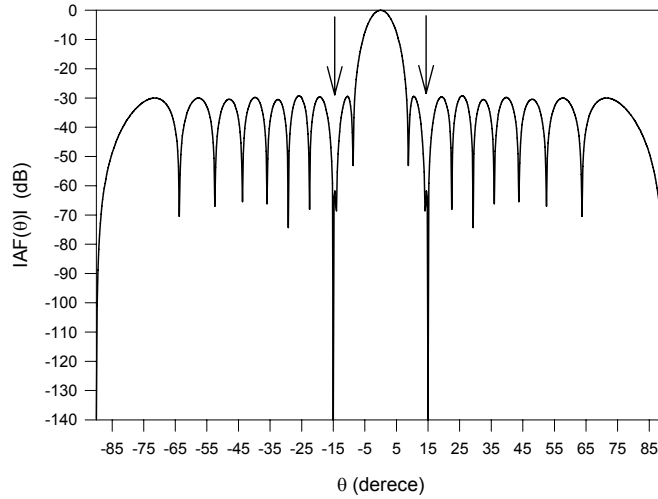
$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } \theta = 15^\circ \\ \text{Başlangıç Chebyshev diyagramı,} & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.18)$$

$$W(\theta) = \begin{cases} 100, & \text{eğer } \theta = 15^\circ \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.19)$$

ve

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -28 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.20)$$

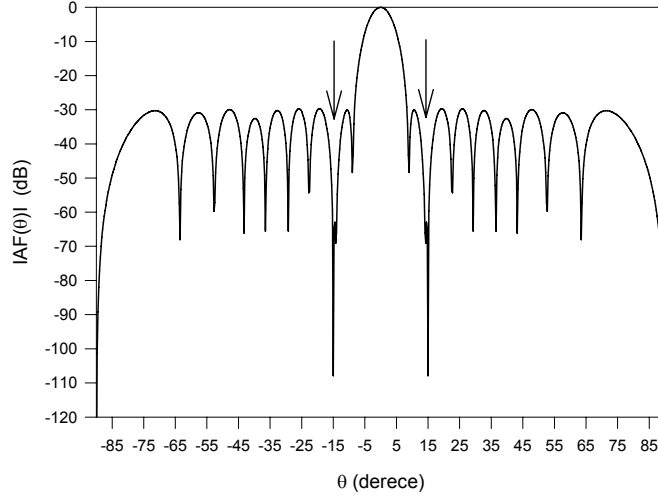
Şekil 3.14'te verilen diyagramda 140 dB'nin üzerinde sıfır derinliği elde edildiği ve hiçbir yan demetin -28 dB seviyesini geçmediği ayrıca elde edilen diyagramın başlangıç Chebyshev diyagramı ile oldukça uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14. Genlik kontrolü ile üretilen 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

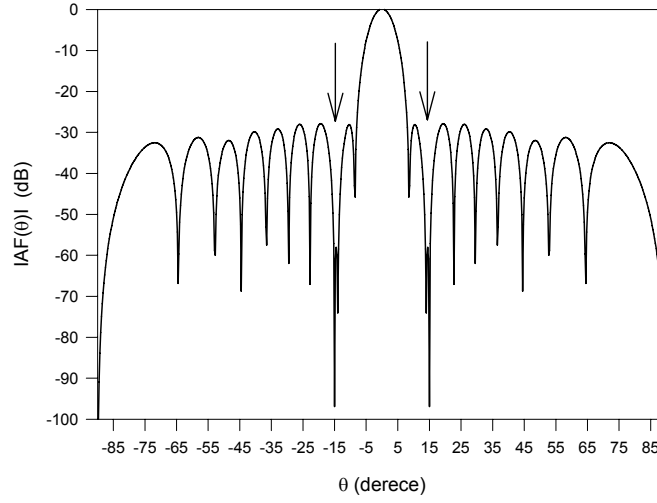
Sıfır derinliğinden taviz vererek daha düşük bir MSL elde etmek için ikinci örnekte, MSL'sine kısıt getirilmiştir. İkinci örnek için $ESL(\theta)$ değerleri Eşitlik (3.21)'deki gibi değiştirilip diğer bütün tasarım parametreleri ise birinci örnekle aynı alınmıştır.

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -29.7 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.21)$$



Şekil 3.15. Genlik kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 15° de sifıra sahip dizi diyagramı.

MSL'si kısıtlı 15° de sifıra sahip dizi diyagramı Şekil 3.15'te görülmektedir. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi diyagramın MSL'si iyileşirken, sıfır derinliği kötüleşmiştir. KSA ile yapılan diyagram sıfırlama işleminin esnekliğini göstermek için birinci örnekte verilen problemin DRR'si Chebyshev dizisi ile aynı olacak şekilde kısıtlanarak yeniden çözülmüş ve elde edilen diyagram Şekil 3.16'da verilmiştir. Beklenildiği gibi, Şekil 3.16'daki diyagram Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'teki diyagramlara göre daha kötüdür çünkü daha küçük çalışma aralığı oranı ile yapılan tasarımlar, daha küçük çözüm uzayına sahip olduğundan arzu edilen sonuca daha iyi yaklaşan çözümler üretemezler. Şekil 3.13-3.16'da verilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

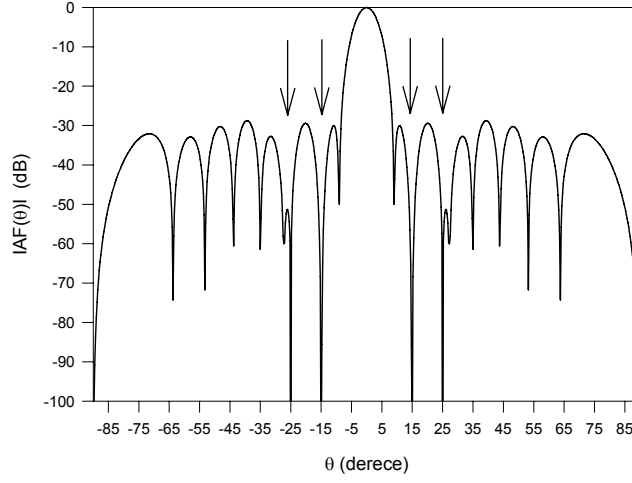


Şekil 3.16. Genlik kontrolü ile üretilen çalışma aralığı oranı kısıtlı 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

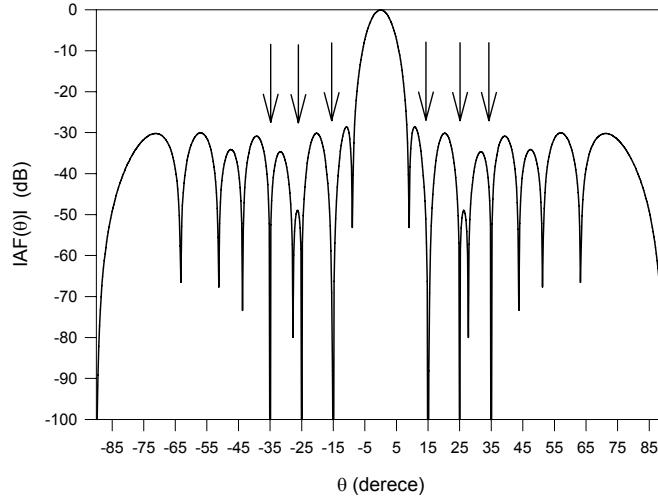
Tablo 3.4. Şekil 3.13-3.16’da verilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleri.

	Şekil 3.13	Şekil 3.14	Şekil 3.15	Şekil 3.16
NDL (dB)	–	-140.09	-107.90	-96.89
MSL (dB)	-30.00	-29.32	-29.74	-28.00
DRR	3.50	4.24	4.25	3.50

KSA ile aynı zamanda çoklu sıfırlara sahip diyagramlar için sentez işlemi gerçekleştirebilmektedir. Bu amaçla, 15° ve 25° de sıfırları olan diyagramı, ve 15° , 25° ve 35° de üç sıfırı olan diyagramı sentez edebilmek için (3.18) ifadesinde sadece $AF_d(\theta)$ değeri değiştirilmiştir. Çoklu sıfırlara sahip diyagramlar Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilen bu diyagramlardan görüldüğü gibi, sıfır olması istenilen doğrultularda 100 dB’den daha büyük bir sıfır derinliği elde edilmiştir.

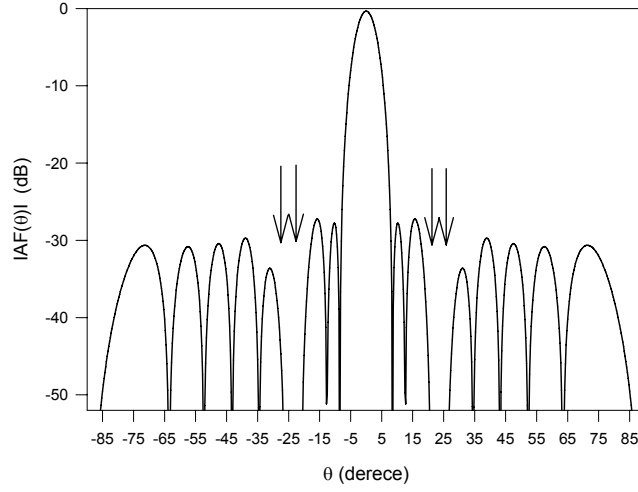


Şekil 3.17. Genlik kontrolü ile üretilen 15° ve 25° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.18. Genlik kontrolü ile üretilen 15° , 25° ve 35° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Son örnekte, sadece genlik kontrolü ile geniş bir sıfıra sahip dizi diyagramını elde etmek amacıyla (23°)-(27°) aralığında geniş sıfıra sahip diyagram üretilmiş ve üretilen diyagram Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Şekil 3.19'dan görüldüğü gibi geniş sıfırlama bölgesinde 50 dB den daha büyük bir sıfır derinliği elde edilmiştir.



Şekil 3.19. Genlik kontrolü ile üretilen (23°) - (27°) aralığında geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Şekil 3.14-3.19'da verilen diyagramları üretmek için KSA ile belirlenen uyarım genlikleri, dizi merkezine göre simetrik olarak Tablo 3.5'te verilmiştir. Belirlenen uyarım genlikleri simetrik olduklarından, Şekil 3.14-3.19'da verilen diyagramlar dizi merkezine göre simetrik olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Şekil 3.13-3.19 için merkez elemanlarına göre normalize edilmiş uyarım genlikleri (a_k).

k	Chebyshev diyagramı	KSA ile hesaplanmış eleman genlikleri					
	Şekil 3.13	Şekil 3.14	Şekil 3.15	Şekil 3.16	Şekil 3.17	Şekil 3.18	Şekil 3.19
± 1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
± 2	0.97010	0.97419	1.00140	0.97854	1.00860	0.98759	0.94930
± 3	0.91243	0.94153	0.94210	0.96126	0.98871	0.99716	0.87588
± 4	0.83102	0.87699	0.87463	0.89102	0.90745	0.89086	0.78417
± 5	0.73147	0.76878	0.77650	0.79147	0.72454	0.73713	0.67802
± 6	0.62034	0.62960	0.62592	0.65034	0.59554	0.61503	0.61680
± 7	0.50461	0.47581	0.46642	0.48504	0.51001	0.48758	0.56294
± 8	0.39104	0.34147	0.34263	0.34104	0.34374	0.37590	0.40989
± 9	0.28558	0.23564	0.23565	0.28558	0.20812	0.19873	0.19895
± 10	0.32561	0.30062	0.28811	0.30436	0.24849	0.23959	0.24159

3.2.2.2. Sadece Faz Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama

Sadece faz kontrolü ile istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagramı üretmek için, (3.1) ifadesinde verilen her bir dizi elemanın faz uyarımları (δ_k), Eşitlik (3.15) ile verilen maliyet fonksiyonu KSA ile minimize edilerek belirlenmiştir. Faz değişimleri küçük olarak kabul edildiğinden dolayı ana demete göre simetrik doğrultularda sıfırlara sahip diyagramlar üretilmemiştir. KSA kullanarak faz kontrolü ile diyagram sıfırlama, altı örnek ile ele alınmıştır.

Sadece faz kontrolü ile sıfırlamanın ilk örneğinde, girişim doğrultusu (θ_i) ana demete göre birinci yan demetin tepesi (-10°) seçilmiştir. Birinci yan demetin tepesinde sıfır üretmek amacıyla Eşitlik (3.15)'te verilen maliyet fonksiyon parametre değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } \theta = \theta_i \\ \text{Başlangıç diyagramı,} & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.22)$$

ve

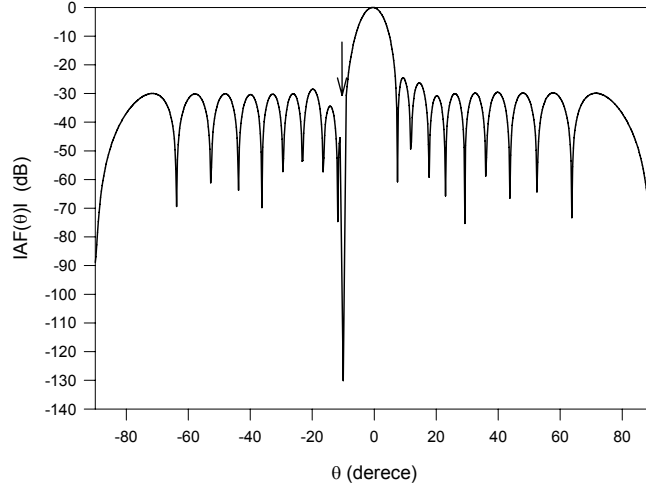
$$W(\theta) = \begin{cases} 100, & \text{eğer } \theta = \theta_i \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.23)$$

Elde edilen sonuç diyagram Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Şekil 3.20'den görülebileceği gibi üretilen diyagram ile başlangıç Chebyshev diyagramı birbirini ile uyum içerisindedir. Ancak girişim doğrultusunun simetriğindeki doğrultuda yan demet seviyesinde artışın olması kaçınılmazdır. İkinci örnekte ise aynı sıfırlama doğrultusunda daha derin sıfır elde etmek için $AF_d(\theta)$ parametre değeri birinci örnekte olduğu gibi alınmış, $W(\theta)$ ise aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

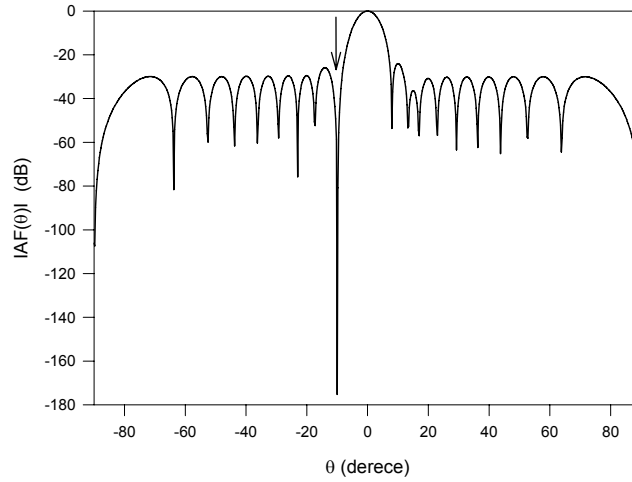
$$W(\theta) = \begin{cases} 200, & \text{eğer } \theta = \theta_i \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.24)$$

Eşitlik (3.24) kullanılarak elde edilen diyagram Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Şekil 3.21'deki diyagramın NLD'si 175 dB iken Şekil 3.20'deki diyagramın NLD'si

130 dB'dir. Şekil 3.21'deki diyagramın MSL'si -25.5 dB, Şekil 3.20'deki diyagramın MSL'si ise -25 dB'dir.

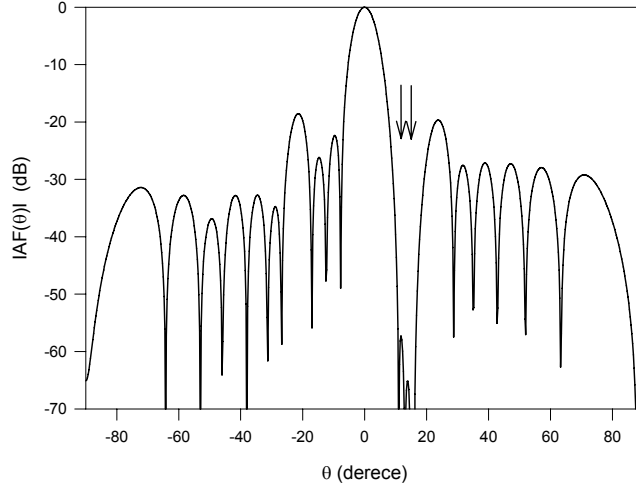


Şekil 3.20. Faz kontrolü ile üretilen -10° de sıfıra sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.21. Faz kontrolü ile üretilen -10° de daha derin sıfıra sahip dizi diyagramı.

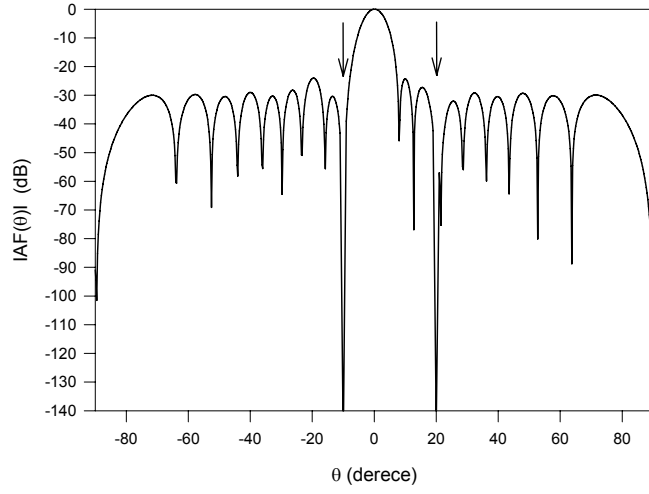
Üçüncü örnekte, KSA ile sadece faz kontrolü ile geniş bir sıfıra sahip dizi diyagramı elde etmek amacıyla (12°) - (16°) aralığında geniş sıfıra sahip diyagram elde edilmiş ve Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Şekil 3.22'den görüldüğü gibi geniş sıfırlama bölgesinde 55 dB'den daha derin sıfır derinliği elde edilmiştir.



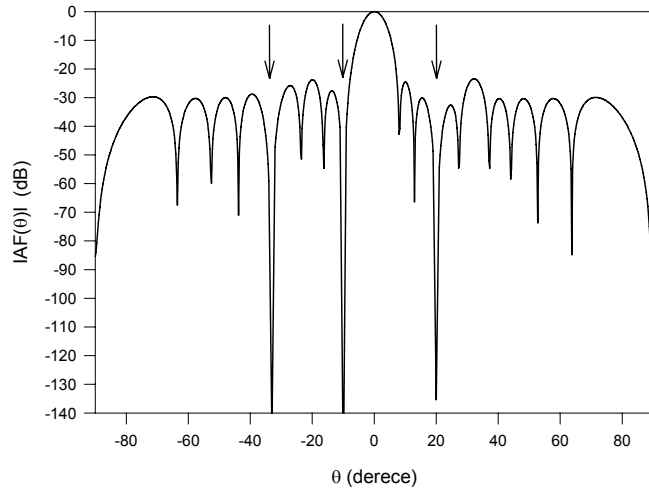
Şekil 3.22. Faz kontrolü ile üretilen (12°)-(16 $^\circ$) aralığında geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Dördüncü ve beşinci örneklerde ise sırasıyla, ana demete göre birinci ve üçüncü yan demet tepelerinde (-10° ve 20°) ve birinci, üçüncü ve beşinci yan demet tepelerinde (-33° , -10° ve 20°) sıfırları olan diyagramlar elde edilmiştir. Elde edilen diyagramlar, sırasıyla, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te görülmektedir. Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'teki diyagramlar için sıfır olması istenilen doğrultularda 130 dB'nin üstünde sıfır derinlikleri elde edilmiştir.

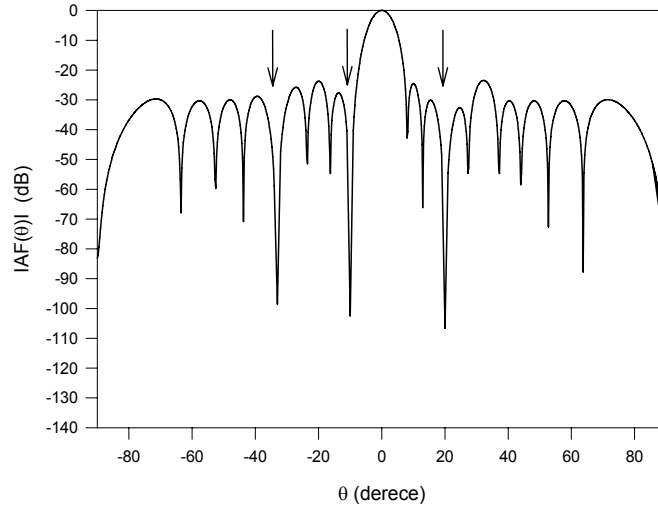
Altıncı örnekte, faz değerlerinde yapılan küçük değişimlerin üretilen dizi diyagramına etkileri incelenmiştir. Bunun için Şekil 3.24'te verilen diyagram, eleman faz değerlerinde yüzde bir hasiyete kadar yuvarlatma yapılarak Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Şekil 3.25'te verilen diyagramdan 100 dB'den daha derin sıfır seviyesi elde edildiği ve faz değerlerindeki küçük değişimlerin dizi diyagramını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Şekil 3.20-3.25'te verilen diyagramları üretmek için KSA ile belirlenen eleman faz değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.23. Faz kontrolü ile üretilen -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.24. Faz kontrolü ile üretilen -33° , -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.25. Yuvarlatma yapılmış eleman faz değerlerinin kullanılması ile üretilen -33° , -10° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

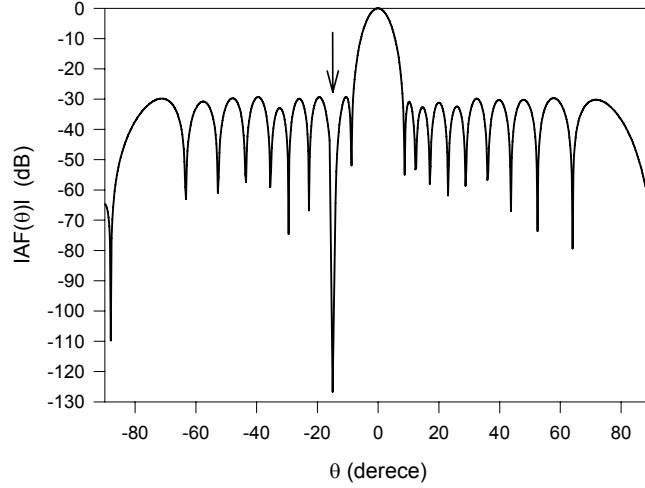
Tablo 3.6. Şekil 3.20-3.25'te verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan eleman fazları (δ_k).

KSA ile hesaplanmış eleman fazları (derece)						
k	Şekil 3.20	Şekil 3.21	Şekil 3.22	Şekil 3.23	Şekil 3.24	Şekil 3.25
±1	±0.67884	±0.94721	∓4.60521	±0.00000	±2.12166	±2.12
±2	±2.52537	±2.54983	∓9.60208	∓0.94532	±1.77571	±1.78
±3	±4.90905	±3.33467	∓4.45331	∓0.26287	∓1.97550	∓1.98
±4	±7.55388	±3.18570	±3.21905	±2.97233	±1.67132	±1.67
±5	±10.22076	±1.86710	±1.96376	±4.81794	±8.19679	±8.20
±6	±11.78024	∓0.16982	∓7.54631	±3.12245	±3.49120	±3.49
±7	±11.44099	∓2.36465	∓14.58716	∓2.86467	∓8.29494	∓8.29
±8	±9.31635	∓4.05179	∓12.22153	∓9.85367	∓9.90317	∓9.90
±9	±7.46226	∓4.40960	±22.31928	∓10.81676	∓2.75661	∓2.76
±10	±2.67571	∓1.62646	±25.13342	∓2.76487	∓0.20157	∓0.20

3.2.2.3. Genlik ve Faz Kontrolü ile Sıfırlar Üretme

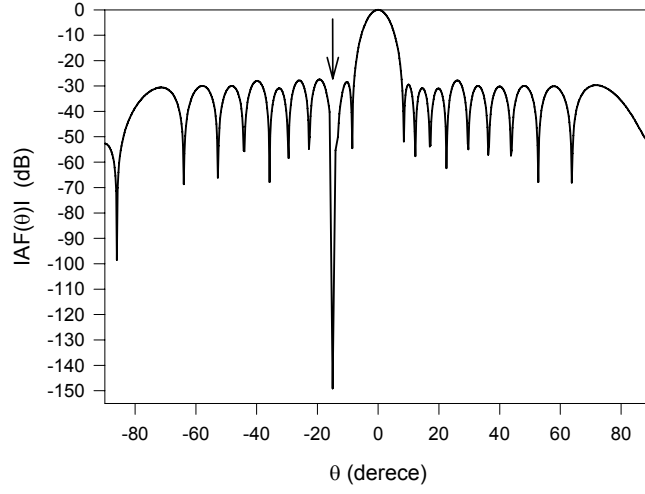
KSA ile genlik ve faz kontrolü ile dizi diyagramında sıfırlar üretmek için (3.1) ile verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir dizi elemanın hem genlik (a_k) hem de faz (δ_k) uyarımları, istenilen açılarda sıfırlar üretmek için (3.15) ile verilen maliyet fonksiyonu minimize edilerek belirlenmiştir [17]. KSA ile istenen doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramlarının üretilebildiğini göstermek için, beş farklı örnek verilmiştir.

Birinci örnekte, -15° de sıfırı olan Chebyshev dizisinin eleman uyarım genlikleri ve fazları belirlenmiş ve elde edilen diyagram Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Bu diyagram için MSL, NLD ve DRR değerleri sırasıyla, -29.47 dB, 126.71 dB ve 4.13 olarak elde edilmiştir.



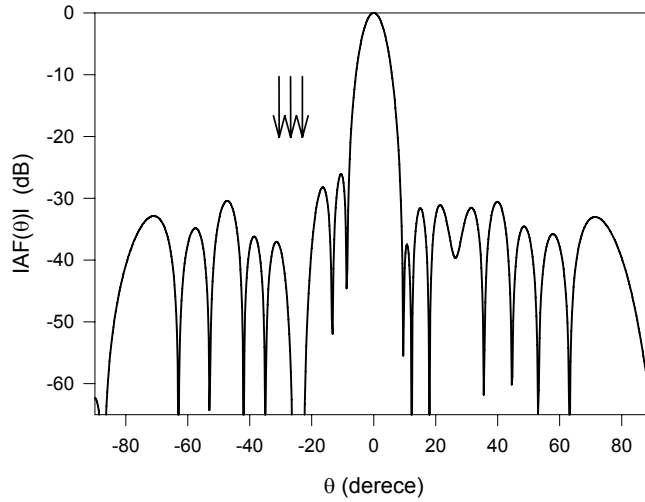
Şekil 3.26. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

İkinci örnekte, daha küçük çalışma aralığında daha derin sıfırlar elde etmek için maliyet fonksiyonu içindeki ağırlık faktörünün değeri artırılarak birinci örnekte verilen -15° 'de sıfıra sahip dizi diyagramı yeniden üretilmiş ve elde edilen diyagram Şekil 3.27'de verilmiştir. Şekil 3.27'deki diyagram için MSL, NDL ve DRR değerleri, sırasıyla, -27.48 dB, 149.1 dB ve 3.6 olarak elde edilmiştir. Böylece, ağırlık faktörünün uygun seçimiyle, MSL'den taviz verilerek daha düşük çalışma aralığında daha derin bir sıfır elde edilmiştir.



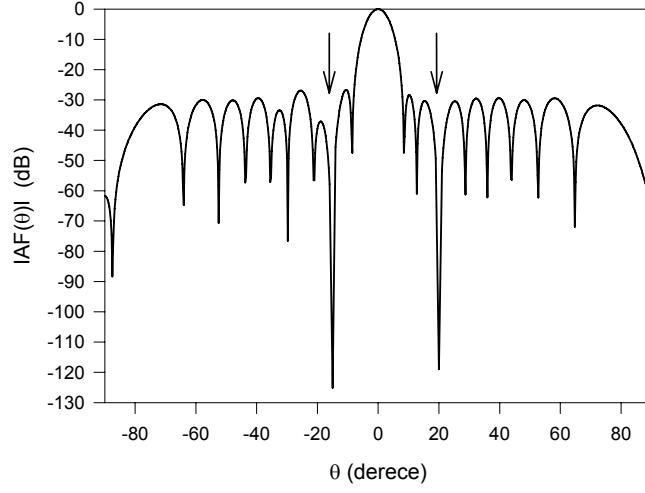
Şekil 3.27. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen sıfır derinliği baskın ve çalışma aralığı oranı kısıtlı -15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

Genlik ve faz kontrolü ile sıfırlamanın üçüncü örneğinde, -25° merkez olmak üzere 5° 'lik bir bölgede geniş sıfırı olan diyagram, 65 dB'nin üzerinde sıfır derinliği ile elde edilmiş ve Şekil 3.28'de gösterilmiştir.

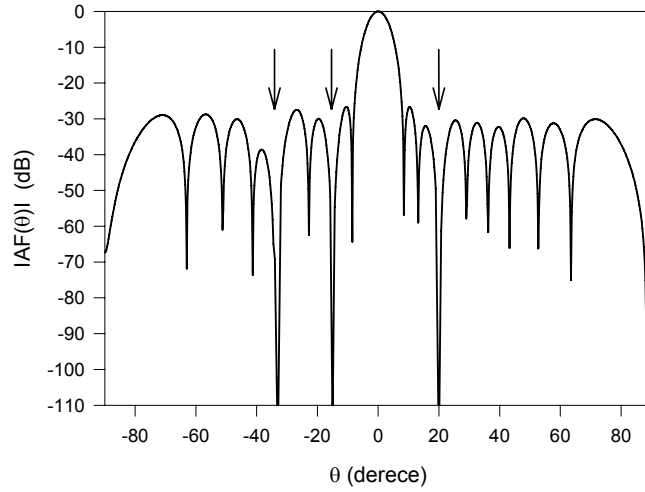


Şekil 3.28. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -25° merkezli 5° 'lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Dördüncü ve beşinci örneklerde ise -15° ve 20° de iki sıfırı olan diyagram ve -33° , -15° ve 20° de üç sıfırı olan diyagram, 110 dB'in üstünde sıfır derinlikleri ile elde edilmiş ve bu diyagramlar sırasıyla, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -15° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.30. Genlik ve faz kontrolü ile üretilen -33° , -15° ve 20° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Şekil 3.26-3.30'da verilen diyagramları elde etmek için belirlenen genlik ve faz değerleri, eşlenik simetrik formda Tablo 3.7'de verilmiştir. Tablo 3.7'de verilen eleman genlik değerleri merkezdeki elemanlara göre normalize edilmiştir.

Tablo 3.7. Şekil 3.26-3.30'da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan genlik (a_k) ve derece cinsinden faz değerleri (δ_k).

k	Şekil 3.26		Şekil 3.27		Şekil 3.28		Şekil 3.29		Şekil 3.30	
	a_k	δ_k	a_k	δ_k	a_k	δ_k	a_k	δ_k	a_k	δ_k
±1	1.00000	0.0000	1.00000	0.0000	1.00000	0.0000	1.00000	0.0000	1.00000	0.0000
±2	0.97544	±0.0037	0.95819	∓1.2260	0.99333	±0.8443	0.9301	∓0.4710	0.95512	∓1.1358
±3	0.93205	∓1.1595	0.91985	∓1.2507	0.91307	∓0.5998	0.87345	∓1.9687	0.88543	∓2.2202
±4	0.86219	∓0.2041	0.86582	±0.2869	0.81245	∓4.1535	0.81293	∓1.0827	0.85059	∓0.8922
±5	0.74635	±1.9136	0.76421	±1.7985	0.67781	∓2.6114	0.75131	±1.4064	0.78647	±1.7189
±6	0.61651	±2.1706	0.63170	±1.4324	0.59792	∓0.0743	0.63511	±2.5156	0.63220	±3.4366
±7	0.49021	±2.0185	0.49373	±1.9693	0.51643	∓0.1667	0.50862	±1.1224	0.48485	∓4.0101
±8	0.36128	±1.1459	0.36644	±1.1011	0.37023	±4.1681	0.34104	∓0.9549	0.39732	∓3.9570
±9	0.24190	±0.4047	0.27797	∓1.4184	0.20295	±7.3403	0.22280	∓1.1347	0.22836	±1.7407
±10	0.29875	∓0.9855	0.32996	∓1.3932	0.19361	∓0.8082	0.27851	∓2.1479	0.26561	∓2.8513

3.2.2.4. Sadece Yer Kontrolü ile Sıfırlar Üretme

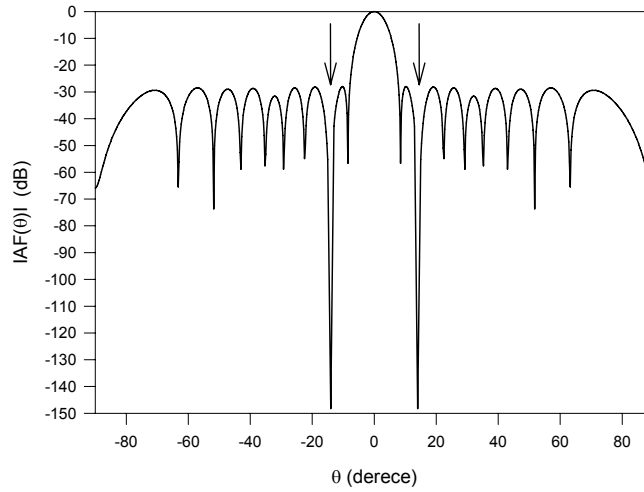
Sadece yer kontrolü ile istenilen doğrultularda sıfırlar üretmek için (3.1)'de verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir dizi elemanın yeri (d_k), (3.2) eşitliği ile verilen maliyet fonksiyonu minimize edilerek KSA ile belirlenmiştir [42]. Yer kontrolü ile sıfırlama örneklerinde, diyagramlarında sıfırlar üretilecek dizilerin eleman genlikleri (a_k) başlangıç Chebyshev dizisinin eleman genliklerine eşit olarak alınmış ve eleman fazlarının da sıfır olduğu ($\delta_k=0$) kabul edilmiştir. Komşu elemanlar arasında oluşabilecek ortak kuplajı önlemek için iki komşu eleman arasındaki minimum mesafe 0.4λ 'dan küçük olmayacak şekilde kısıtlanmıştır.

Yer kontrolü ile sıfırlamanın ilk örneğinde, girişim doğrultusu (θ_i) olarak Chebyshev dizi diyagramı ana demetine göre 14° civarında oluşan ikinci yan demetin tepesi seçilmiştir. Maliyet fonksiyonundaki $W(\theta)$ ve $ESL(\theta)$ parametre değerleri (3.23) ve (3.20)'deki eşitlikler gibi seçilmiştir. Elde edilen sonuç diyagram Şekil 3.31'de görülmektedir. Bu diyagram için -28 dB'den düşük yan demet seviyesi ve 140 dB'den daha derin sıfır derinliği elde edilmiştir.

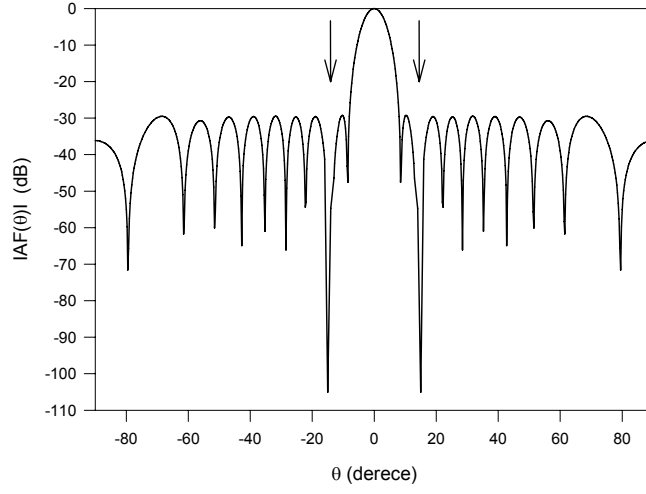
İkinci örnekte ise daha küçük bir maksimum yan demet seviyesinde sıfırlama gerçekleştirmek amacıyla maliyet fonksiyonunda sadece maksimum yan demet seviyesine kısıtlama getirilmiştir. İkinci örnek için, $ESL(\theta)$ Eşitlik (3.25)'teki gibi değiştirilip diğer bütün tasarım parametreleri ise birinci örnekle aynı alınmıştır.

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -29.4 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.25)$$

Bu durum için elde edilen diyagram Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi Şekil 3.32'de verilen diyagramın maksimum yan demet seviyesi Şekil 3.31'den daha iyi olmakla birlikte, sıfır derinlik seviyesi daha kötüdür. Bu sonuçlardan da görülmektedir ki, sentez işleminin daha düşük maksimum yan demet seviyesine zorlanması sıfır derinliğinin azalmasına sebep olmuştur. Şayet sıfır derinliğinin azalması istenmiyorsa bu durumda da üretilen diyagram ile başlangıç Chebyshev diyagramı arasındaki uyumdan taviz vermek gerekecektir.

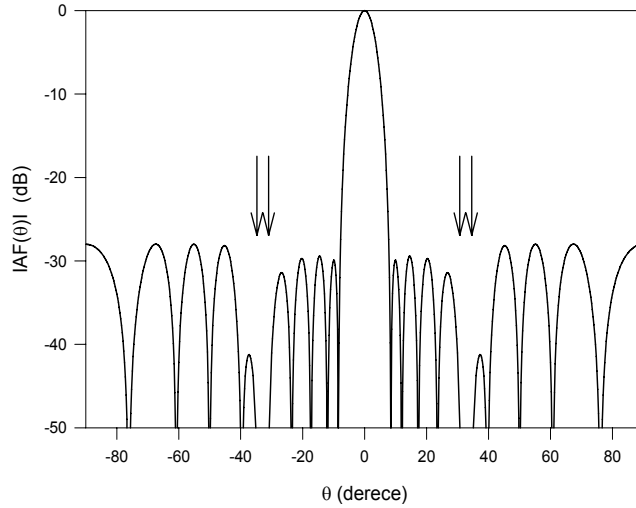


Şekil 3.31. Yer kontrolü ile üretilen 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.



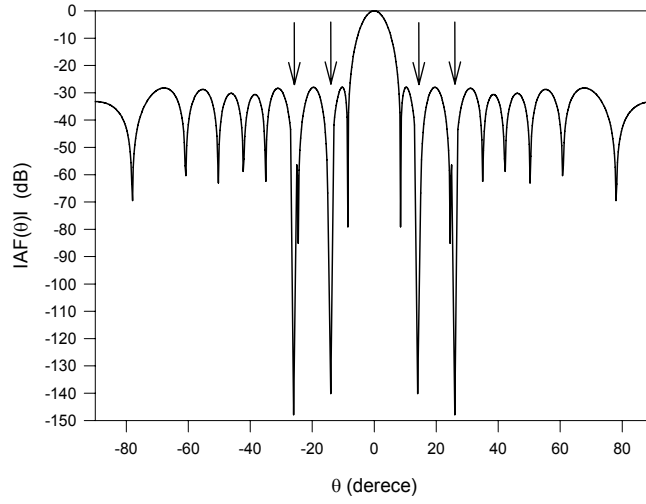
Şekil 3.32. Yer kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

Yer kontrolü ile geniş açı bölgesinde sıfırlama örneğinde, merkezi 33° de $\Delta\theta_i = 5^\circ$ lik bir bölgede geniş sıfıra sahip diyagram, 50 dB'den daha derin bir sıfır derinliği ile elde edilmiş ve Şekil 3.33'te gösterilmiştir.

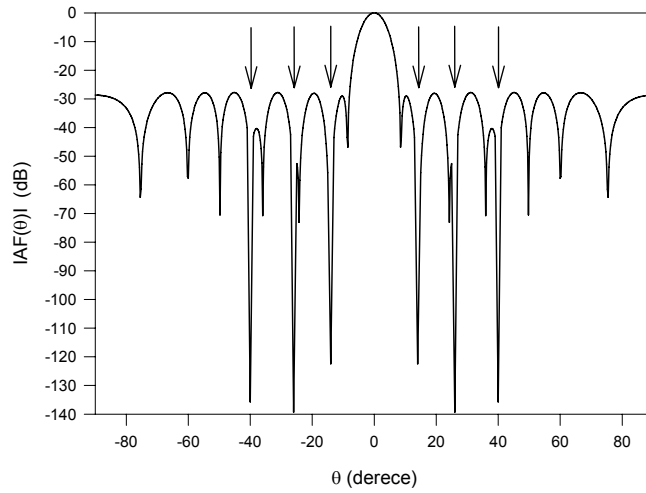


Şekil 3.33. Yer kontrolü ile üretilen 33° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Sadece yer kontrolü ile sıfırlamanın dördüncü ve beşinci örneklerinde sırasıyla, ana demete göre 14° ve 26° de oluşan ikinci ve dördüncü yan demet tepeleri ve ana demete göre 14° , 26° ve 40° de oluşan ikinci, dördüncü ve altıncı yan demet tepelerinin sıfırlanması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, iki sıfıra sahip diyagram için Şekil 3.34'te, üç sıfıra sahip diyagram için ise Şekil 3.35'te verilmiştir. Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te verilen bu diyagramlardan görüldüğü gibi sıfırlama doğrultularında 120 dB 'nin üstünde sıfır derinlikleri elde edilmiştir.

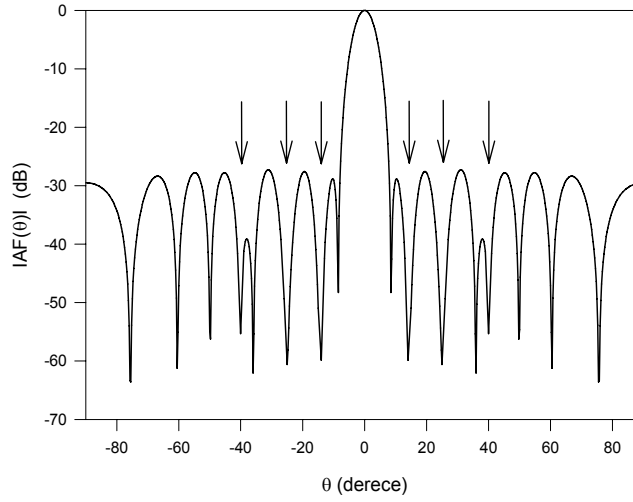


Şekil 3.34. Yer kontrolü ile üretilen 14° ve 26° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.35. Yer kontrolü ile üretilen 14° , 26° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Yer kontrolü ile sıfırlamanın son örneğinde, yer değerlerinde meydana gelen değişimlerin dizi diyagramına olan etkileri incelenmiştir. Bunun için Şekil 3.35'te verilen diyagram için elde edilen eleman yer değerlerinde yüzde bir hassasiyete kadar yuvarlatma yapılmıştır. Yuvarlatma yapılarak üretilen diyagram Şekil 3.36'da gösterilmiştir. Şekil 3.36'daki diyagram incelendiğinde, Şekil 3.35'teki diyagrama benzediği ancak sıfırlama doğrultularında daha sık sıfır derinliklerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.36. Yuvarlatılma yapılmış eleman yer değerlerinin kullanılması ile üretilen 14° , 26° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Dizi eleman genlikleri ve yerleri simetrik olduğu için Şekil 3.31-3.36'da verilen diyagramlar simetrik olarak elde edilmiştir. Şekil 3.31-3.36'da gösterilen diyagramlar için KSA ile belirlenen eleman yerleri, dizi merkezine göre simetrik olarak Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Şekil 3.31-3.36'da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalga boyu cinsinden eleman yerleri (d_k).

k	Şekil 3.31	Şekil 3.32	Şekil 3.33	Şekil 3.34	Şekil 3.35	Şekil 3.36
±1	0.256640	0.257344	0.250000	0.272242	0.277422	0.28
±2	0.771775	0.763281	0.750000	0.787372	0.785063	0.79
±3	1.279412	1.262263	1.250000	1.264875	1.248238	1.25
±4	1.759665	1.747019	1.763270	1.732215	1.731200	1.73
±5	2.230165	2.224000	2.244845	2.222507	2.219861	2.22
±6	2.700000	2.700500	2.746625	2.714262	2.697808	2.70
±7	3.200000	3.181500	3.289500	3.201390	3.196333	3.20
±8	3.700000	3.690359	3.778000	3.677856	3.692923	3.69
±9	4.256501	4.245000	4.162750	4.181413	4.175155	4.18
±10	4.800000	4.825000	4.793750	4.825000	4.850000	4.85

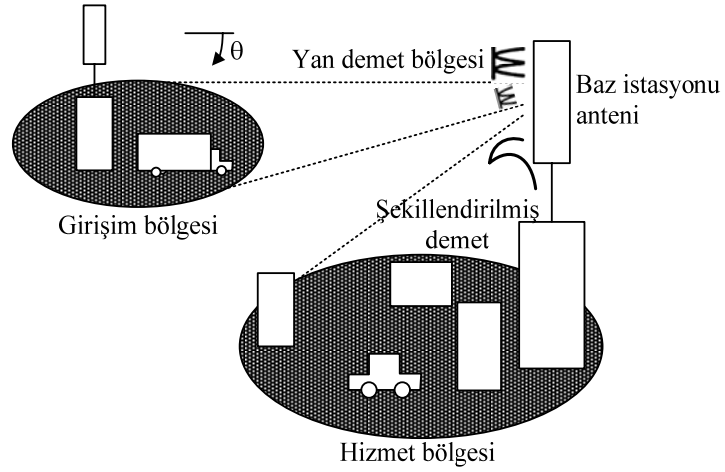
3.2.3. KSA ile Gezgin Haberleşme Sistemi Baz İstasyonu için Demet Şekillendirme

Bu bölümde, KSA ile gezgin haberleşme sistemi baz istasyonu anteni için şekillendirilmiş demet sentezi gerçekleştirilmiştir. Gezgin haberleşme sistemlerinde kullanılan baz istasyonu antenlerinde daha iyi güç yönetimi sağlamak için şekillendirilmiş demet diyagramı ışınımına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.37'de gösterildiği gibi baz istasyonu civarında bir girişim kaynağı varsa, girişim kaynakları yönünde düşük seviyeye ve hizmet bölgesi yönünde de yüksek seviyeye sahip şekillendirilmiş diyagramın ışınımı ile bu girişim kaynağının etkisi minimum seviyeye indirilebilmektedir.

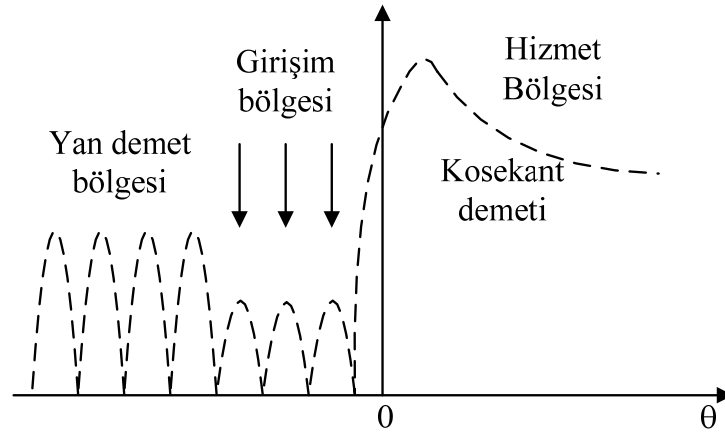
Dizi merkezi civarında eşlenik simetrik olarak uyarılan ve simetrik olarak yerleştirilen $2N$ tane yönsüz elemanlı doğrusal anten dizisi için dizi faktörü ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF(u) = 2 \sum_{k=1}^N a_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_k u + \delta_k\right) \quad (3.26)$$

Burada $u = \sin\theta$ ($-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$), d_k , a_k ve δ_k , sırasıyla, dizi merkezi ile k . eleman arasındaki mesafe, k . elemanın uyarım genliği ve k . elemanın uyarım fazıdır. Gezgin haberleşme sistemlerindeki baz istasyon antenleri için şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek için (3.26) ifadesinde verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir doğrusal anten dizi elemanının uyarım genliği (a_k) ve fazı (δ_k) hesaplanmıştır. Üretilen



(a)



(b)

Şekil 3.37. (a) Baz istasyonu sistemi (b) Gezinin haberleşme sistemi için şekillendirilmiş demet diyagramı.

diyagramı hizmet, girişim ve yan demet bölgelerinde kontrol edebilmek amacıyla KSA ile minimize edilecek aşağıdaki maliyet fonksiyonuna W ve ESL faktörleri de dahil edilmiştir.

$$C = \sum_{u=-1}^1 [W(u)|AF_o - AF_d| + ESL(u)] \quad (3.27)$$

Burada AF_o ve AF_d , sırasıyla, KSA ile elde edilen diyagram ve arzu edilen diyagramdır. Şekil 3.37 (b)'de verilen arzu edilen diyagramı üretmek için, aralarındaki mesafe $\lambda/2$

olan 20 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizisinin eleman uyarım genlikleri ve fazları optimum olarak belirlenmiştir [63]. Eşitlik (3.27) de verilen maliyet fonksiyonu parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$W(u) = \begin{cases} 10, & \text{şekillendirme bölgesi} \\ 1, & \text{yan demet bölgesi} \end{cases} \quad (3.28)$$

ve

$$ESL(u) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_o(u) > MSL_d(u) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.29)$$

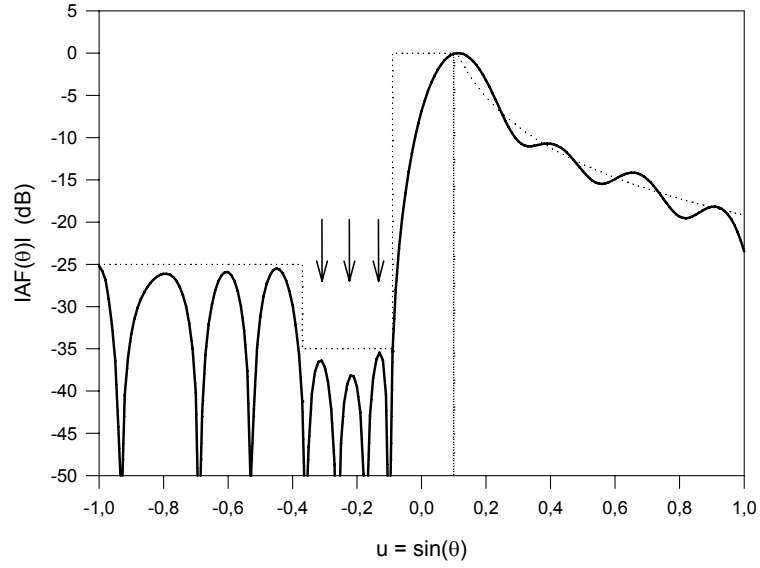
Burada MSL_o ve MSL_d , sırasıyla, KSA ile elde edilen maksimum yan demet seviyesi ve arzu edilen maksimum yan demet seviyesidir. Arzu edilen diyagram için, Eşitlik (3.27) ve (3.29)'da verilen maliyet fonksiyon parametrelerinin değerleri ise

$$AF_d(u) = \begin{cases} \cos ec(u), & 0.1 \leq u \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.30)$$

ve

$$MSL_d(u) = \begin{cases} -35 \text{ dB}, & \text{eğer } u \leq -0.38 \\ -25 \text{ dB}, & \text{eğer } -0.38 < u < -0.1 \end{cases} \quad (3.31)$$

dir. Optimizasyon sırasında dizi eleman genliklerinin çalışma aralığı oranı 10'dan küçük olacak şekilde kısıtlanmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen diyagram Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Şekil 3.38'dan açıkça görüldüğü gibi, hizmet bölgesinde kosekant demeti elde edilirken girişim bölgesinde -35 dB ve yan demet bölgesinde de -25 dB'lik bir seviye elde edilmiştir. Şekillendirme bölgesi için elde edilen kosekant demeti, bu bölgede tanımlı arzu edilen diyagram ile iyi bir uyum içerisindedir. Şekil 3.38'de verilen diyagram için KSA ile belirlenen eleman genlik ve faz değerleri dizi merkezine göre eşlenik simetrik formda Tablo 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.38. Arzu edilen diyagramın zarfı (···) ve KSA ile elde edilen diyagram (—).

Tablo 3.9. Şekil 3.38’de verilen diyagram için KSA ile hesaplanan uyarım genlik ve faz değerleri.

k	a_k	δ_k (derece)
± 1	0.9594	155.98
± 2	0.5371	123.94
± 3	0.4462	124.18
± 4	0.3453	98.08
± 5	0.3000	100.18
± 6	0.1519	74.49
± 7	0.1826	22.92
± 8	0.1094	153.61
± 9	0.1100	139.29
± 10	0.1825	6.37

3.2.4. Sadece Seçilmiş Elemanların Yerlerinin Kontrolü ile Sıfırlar Üretme

Sadece yer kontrolünde dizi diyagramında sıfırlar üretmek için dizi elemanlarının en uygun pozisyonları belirlenmektedir. Sadece yerlerin kontrolü için sunulan metotlarda, dizideki her bir elemanın hareket etmesi için servo motorlar gibi bir mekanik sürücü sisteme ihtiyaç duyulur. Dizide bulunan eleman sayısı arttıkça, dizideki hareketli eleman sayısı da artacağından dolayı yeni yerleri bulmak için gerekli hesaplama zamanı

da artacaktır. Dizideki yer değiştiren hareketli eleman sayısını azaltmak ve dizi performansını etkili bir şekilde artırmak için, sadece seçilmiş elemanların yerlerinin kontrolü metodu tercih edilmektedir [38]. Girişim kaynakları doğrultusunda tekli ve çiftli sıfırların yönlendirilmesi için sadece seçilmiş anten dizi elemanlarının yerleri KSA ile hesaplanmıştır [41].

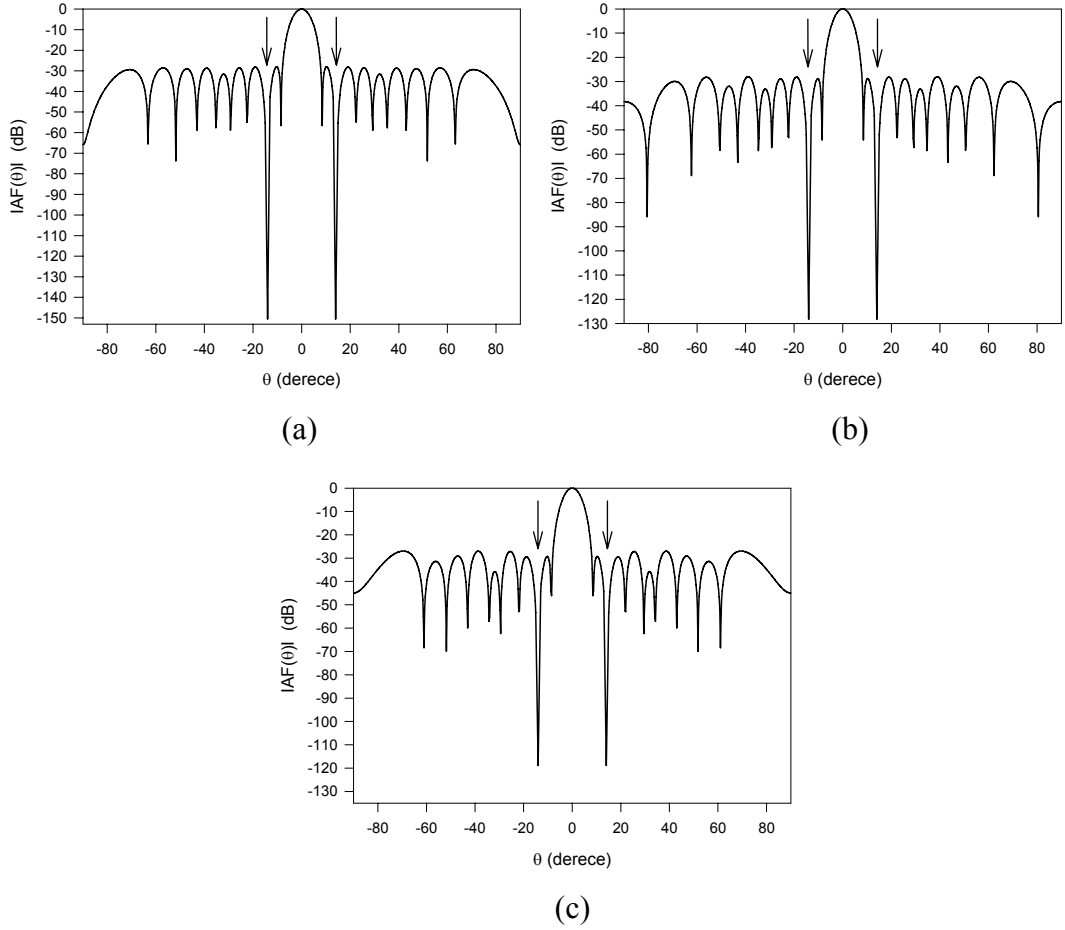
Yer kontrolü ile dizi diyagramında sıfırlar üretmek için (3.1) ile verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir dizi elemanın yeri (d_k) KSA ile belirlenmiştir. Her bir dizi elemanının yerinin sıfır konumlarına katkısı (3.1)'de verilen d_k 'nın yerine $d_k + \varphi_k$ ile yer değiştirilerek hesaplanmaktadır. Burada φ_k k'ncı elemanın yer pertürbasyonudur. İstenen sıfırlama performansını sağlayan optimal eleman yer değerlerini belirlemek için (3.2) eşitliği ile verilen maliyet fonksiyonu KSA ile minimize edilmiştir.

KSA'nın sadece seçilmiş elemanların yerlerinin kontrolü ile sıfırların üretilebildiğini göstermek için üç farklı örnek ele alınmıştır. Örneklere Şekil 3.13'te görülen yan demet seviyesi 30 dB, dizi elemanları aralarındaki mesafe 0.5λ olan 20 elemanlı Chebyshev dizisinin diyagramı, başlangıç diyagramı olarak kullanılmıştır. Her üç örnek için Eşitlik (3.2) ile verilen maliyet fonksiyonundaki $W(\theta)$ ve $ESL(\theta)$ parametre değerleri ise, (3.23) ve (3.20)'deki eşitlikler gibi alınmıştır.

Birinci örnekte, Chebyshev dizi diyagramının ana demete göre 14° de oluşan ikinci yan demetinin tepesinde sıfırlar üretmek amaçlanmıştır. KSA ile elde edilen diyagramlar Şekil 3.39 (a), (b) ve (c) de, sırasıyla bütün elemanların, seçilen 14 ve 12 elemanın yerlerinin pertürbe edildiği durum için gösterilmiştir. Şekil 3.39'daki diyagramdan görüldüğü gibi sıfır olması istenilen doğrultuda 115 dB'den daha derin sıfırlar elde edilmiştir. Şekil 3.39'da gösterilen diyagramlar için KSA ile belirlenen pertürbasyon değerleri, dizi merkezine göre simetrik olarak Tablo 3.10'da verilmiştir. Tablo 3.10'da verilen pertürbasyon değerleri her bir elemanın sıfır konumuna göre önemini bulmak için kullanılmaktadır ve sonuç olarak kontrol edilen eleman sayısı bulunmaktadır. Sıfır konumlarına katkısı az olan elemanların yerleri dondurulmaktadır.

İkinci örnekte, Chebyshev ana demetine göre 14° ve 25° de oluşan ikinci ve dördüncü yan demet tepelerinin sıfırlanması istenmiştir. KSA ile elde edilen diyagramlar Şekil 3.40 (a), (b), (c) ve (d)'de, sırasıyla bütün elemanların, seçilmiş 16, 14 ve 12

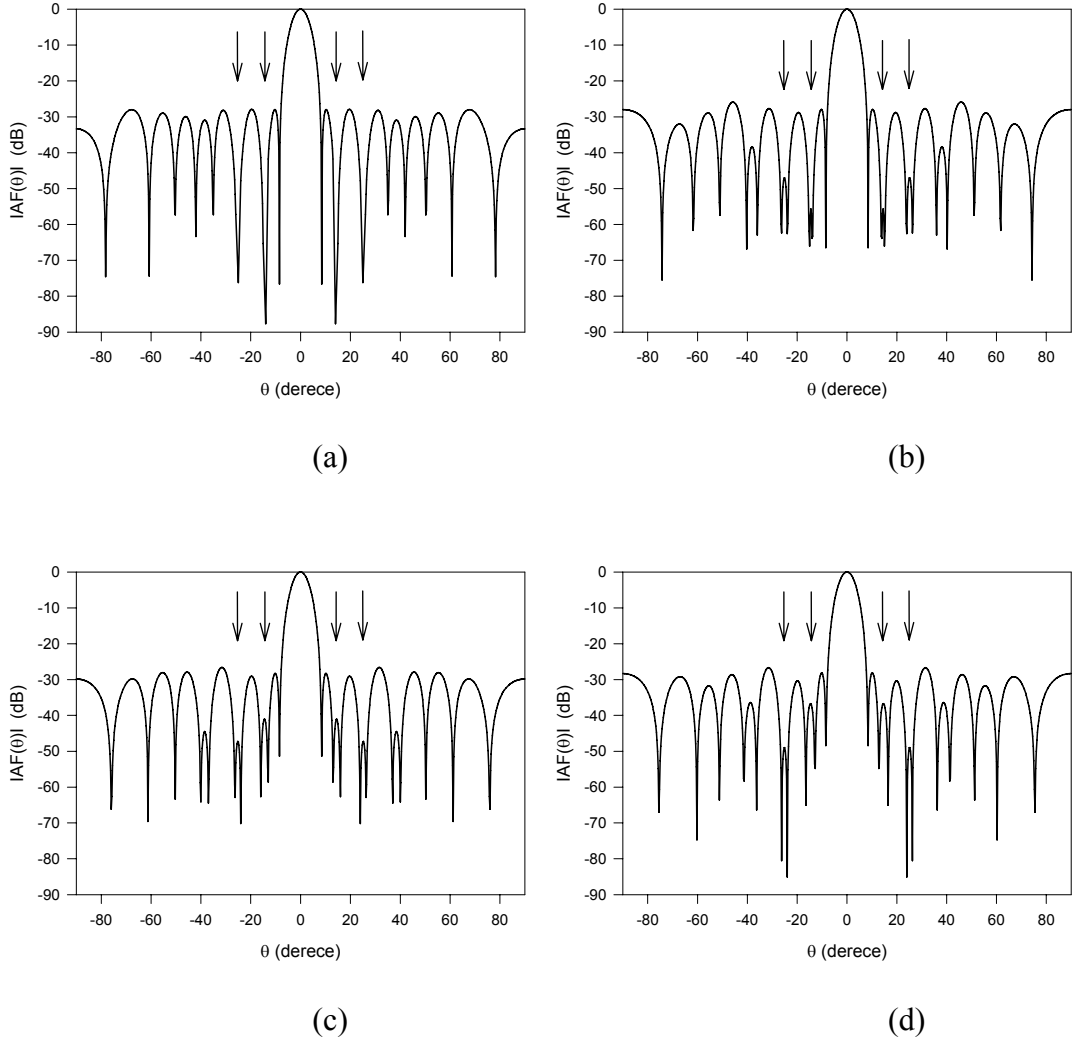
elemenin yerlerinin pertürbe edildiği durum için gösterilmiştir. Dizi eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri dizi merkezine göre simetrik olarak Tablo 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.39. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° sıfıra sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 14 eleman için, (c) 12 eleman için.

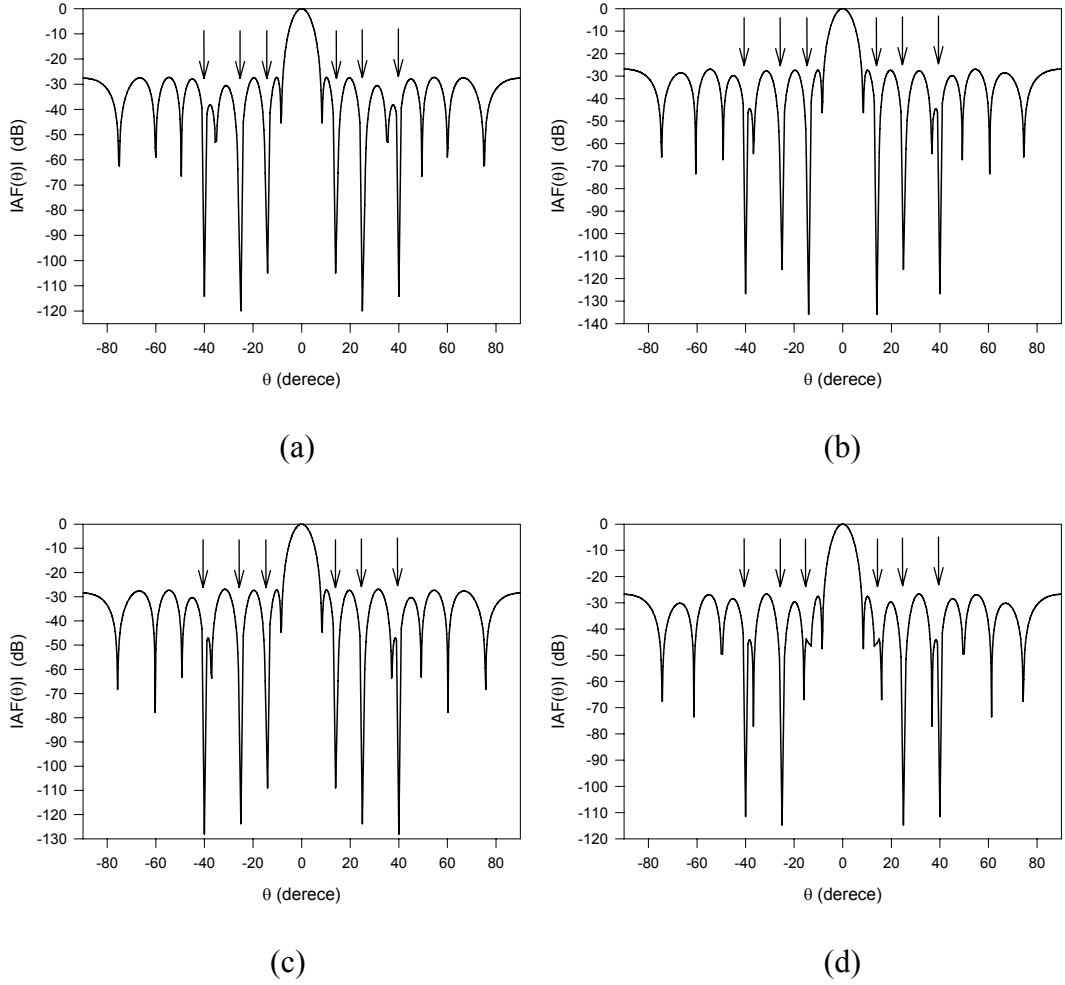
Tablo 3.10. Şekil 3.39-3.40'da verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalgaboyu cinsinden eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri (φ_k).

k	Şekil 3.39a	Şekil 3.39b	Şekil 3.39c	Şekil 3.40a	Şekil 3.40b	Şekil 3.40c	Şekil 3.40d
+1	0.006640	—	—	0.023986	0.027918	0.028068	0.025000
+2	0.021775	0.017702	—	0.037992	0.038716	0.038199	0.030000
+3	0.029412	0.031789	0.027151	0.014302	—	—	—
+4	0.009665	—	—	-0.018492	—	—	—
+5	—	-0.019482	-0.034736	-0.027997	-0.023774	—	—
+6	—	-0.053695	-0.063000	-0.035408	-0.038768	-0.020313	—
+7	—	-0.055000	-0.066980	-0.048002	-0.043032	-0.024503	-0.028578
+8	—	-0.041373	-0.064200	-0.072078	-0.070648	-0.037000	-0.040349
+9	0.006501	—	—	-0.069984	-0.067870	-0.050374	-0.059384
+10	0.050000	0.071000	0.073937	0.075443	0.081016	0.081078	0.065446



Şekil 3.40. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° ve 25° sıfırlara sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 16 eleman için, (c) 14 eleman için, (d) 12 eleman için.

Üçüncü örnekte, Chebyshev ana demetine göre 14° , 25° ve 40° de oluşan ikinci, dördüncü ve altıncı yan demet tepelerinin sıfırlanması istenmiştir. KSA ile elde edilen diyagramlar Şekil 3.41 (a), (b), (c) ve (d)'de, sırasıyla bütün elemanların, seçilmiş 18, 16 ve 14 elemanın yerlerinin pertürbe edildiği durum için gösterilmiştir. Dizi eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri dizi merkezine göre simetrik olarak Tablo 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.41. Pertürbasyon değerleri kullanılarak üretilen 14° , 25° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı (a) 20 eleman için, (b) 18 eleman için, (c) 16 eleman için, (d) 14 eleman için.

Tablo 3.11. Şekil 3.41'de verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan dalgaboyu cinsinden eleman yerlerinin pertürbasyon değerleri (φ_k).

k	Şekil 3.41a	Şekil 3.41b	Şekil 3.41c	Şekil 3.41d
± 1	0.028915	0.030543	0.033827	0.026393
± 2	0.047713	0.052361	0.052947	0.043734
± 3	0.020733	0.013103	0.015003	–
± 4	0.004985	–	–	–
± 5	-0.011906	-0.005997	–	–
± 6	-0.027488	-0.028369	-0.025761	-0.020630
± 7	-0.019795	-0.033680	-0.034062	-0.034374
± 8	-0.030381	-0.028801	-0.026001	-0.050000
± 9	-0.082287	-0.074005	-0.068869	-0.082977
± 10	0.094912	0.086261	0.083988	0.078707

3.2.5. Yeniden Düzenlenebilir (Reconfigurable) Anten Dizilerinin Sentezi

Yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizilerinin kullanılması ile yapılan tasarımlarda, kalem veya sektörel diyagram üreten ortak genlik dağılımları ve değişen faz dağılımları belirlenmektedir.

Eşit aralıklı doğrusal anten dizisinde, eleman genlikleri ve fazları dizi merkezi civarında çiftli simetriye sahipse, $2N$ tane yönsüz elemanlı anten dizisi normalize dizi faktörü ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF(\theta) = \sum_{k=1}^N a_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} d_k \sin \theta\right) e^{j\delta_k} \quad (3.32)$$

Burada d_k , a_k ve δ_k sırasıyla, dizi merkezi ile k 'inci eleman arasındaki mesafe, k 'inci elemanın uyarım genliği ve k 'inci elemanın uyarım fazıdır. Üretilecek diyagramları hem şekillendirme bölgesinde hem de yan demet bölgesinde kontrol edebilmek amacıyla aşağıdaki maliyet fonksiyonu KSA ile minimize edilecektir.

$$C = \sum_{\theta=-90^\circ}^{90^\circ} \left[W_p(\theta) |AF_{op}(\theta) - AF_{dp}(\theta)| + ESL_p(\theta) + W_f(\theta) |AF_{of}(\theta) - AF_{df}(\theta)| + ESL_f(\theta) \right] \quad (3.33)$$

Burada $AF_{op}(\theta)$, $AF_{of}(\theta)$, $AF_{dp}(\theta)$ and $AF_{df}(\theta)$, sırasıyla, KSA ile elde edilen kalem diyagramı, KSA ile elde edilen sektörel diyagram, arzu edilen kalem diyagram ve arzu edilen sektörel diyagramdır.

KSA ile dizi elemanları aralarındaki mesafe 0.5λ olan 20 elemanlı yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizilerinin tasarımı gerçekleştirilmiştir [57]. Yapılan tasarıma ayırık faz kaydırıcılar da dahil edilmiştir. Bütün faz değerleri kalem diyagram için 0° olarak alınmış, sektörel diyagram için ise $-180^\circ < \delta < 180^\circ$ aralığında değiştirilmiştir. 6 bitlik faz kaydırıcılar kullanılmıştır. Optimum faz değerleri -180° ve $+180^\circ$ arasında 5.625° adımla kuantalanmıştır. Eşitlik (3.33)'te verilen maliyet fonksiyonunun parametreleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$W_p(\theta) = \begin{cases} 10, & \text{şekillendirme bölgesi için} \\ 1, & \text{yan demet bölgesi için} \end{cases} \quad (3.34)$$

$$W_f(\theta) = \begin{cases} 10, & \text{şekillendirme bölgesi için} \\ 1, & \text{yan demet bölgesi için} \end{cases} \quad (3.35)$$

$$ESL_p(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_o(\theta) > MSL_d(\theta) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.36)$$

ve

$$ESL_f(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_o(\theta) > MSL_d(\theta) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.37)$$

Burada $MSL_o(\theta)$ ve $MSL_d(\theta)$, sırasıyla, KSA ile elde edilen maksimum yan demet seviyesi ve arzu edilen maksimum yan demet seviyesidir.

Kalem diyagram için, maliyet fonksiyonu parametre değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$AF_{dp}(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta \leq 5^\circ \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.38)$$

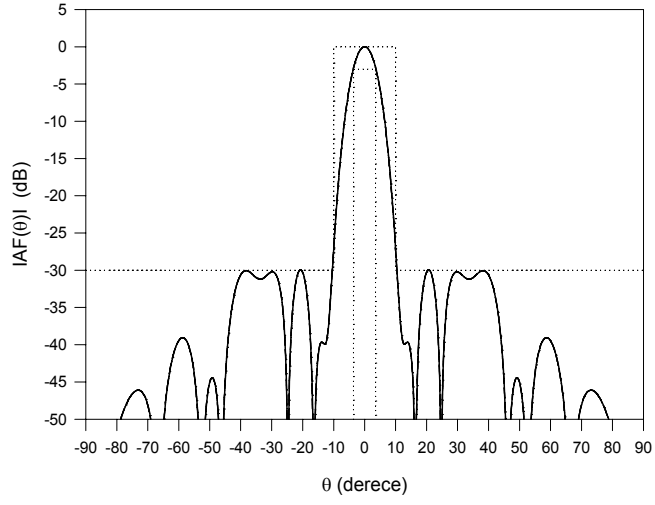
$$MSL_d(\theta) = -30 \text{ dB} \quad \text{eğer} \quad 10^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (3.39)$$

Sektörel diyagram için ise, maliyet fonksiyonu parametre değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

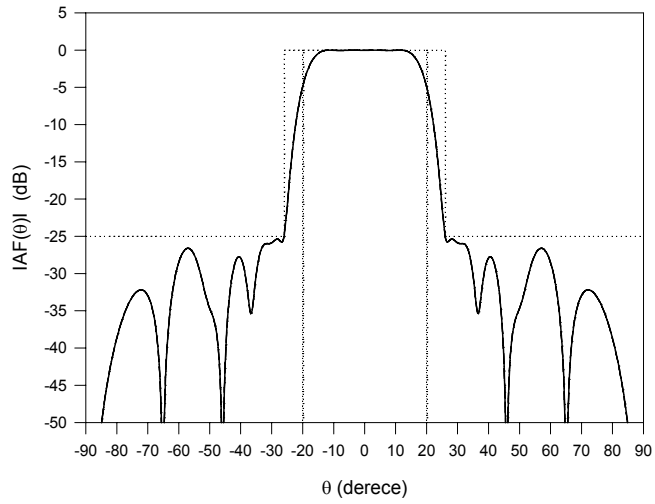
$$AF_{dr}(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta \leq 20^\circ \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.40)$$

$$MSL_d(\theta) = -25 \text{ dB} \quad \text{eğer} \quad 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (3.41)$$

Genliklerin DRR'si 10 olacak şekilde kısıtlanmıştır. Daha sonra eleman uyarımları KSA ile optimize edilmiş, elde edilen çift demetli diyagramlar Şekil 3.42'de gösterilmiştir. Şekil 3.42'deki diyagramlar incelendiğinde, şekillendirme bölgesinde hem kalem hem de sektörel diyagramların arzu edilen diyagramlarla iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan KSA'nın ayırık faz kaydırıcılara sahip yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizilerinin tasarımında kullanılabildiği açıkça görülmektedir.



(a)

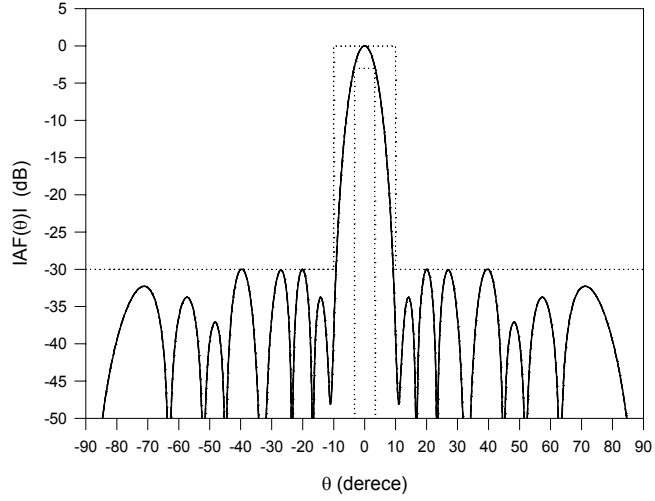


(b)

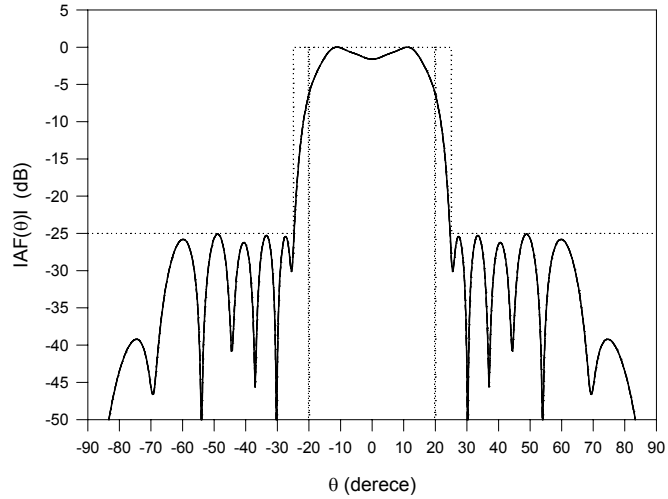
Şekil 3.42. Çift demetli anten dizisi için arzu edilen diyagramın zarfı (---) ve çalışma aralığı 10 için KSA ile elde edilen diyagram (—), (a) kalem diyagram (b) sektörel diyagram.

Yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizi sentezinde KSA'nın esnekliğini göstermek için, genliklerin çalışma aralığı oranı 5 olarak kısıtlanmıştır. Kısıtlanmış durumda elde edilen sonuç diyagramlar Şekil 3.43'te görülmektedir. Şekil 3.42-3.43'teki diyagramlar incelendiğinde, beklenildiği gibi Şekil 3.42'deki

diyagramların performansının Şekil 3.43'teki diyagrama göre daha iyi olduğu görülmektedir. Çünkü daha büyük çalışma aralığı oranı ile yapılan tasarımlar, daha büyük çözüm uzayına sahip olduğundan sonuca daha iyi yaklaşan çözümler üretilebilmektedir. Şekil 3.42-3.43'teki diyagramlar için KSA ile hesaplanan eleman uyarımları Tablo 3.12'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.43. Çift demetli anten dizisi için arzu edilen diyagramın zarfı (---) ve çalışma aralığı 5 için KSA ile elde edilen diyagram (—), (a) kalem diyagram (b) sektörel diyagram.

Tablo 3.12. Şekil 3.42-3.43'te verilen diyagramlar için KSA ile hesaplanan eleman uyarımları.

k	Ortak genlikler a_k		Fazlar δ_k (derece)	
	Şekil 3.42a ve 3.42b	Şekil 3.43a ve 3.43b	Şekil 3.42b	Şekil 3.43b
+1	1.00000	1.00000	-180.000	-174.375
+2	0.86297	0.89314	-157.500	163.125
+3	0.84701	0.86000	-118.125	129.375
+4	0.78248	0.80000	-90.000	95.625
+5	0.57590	0.63066	-56.250	61.875
+6	0.39067	0.49004	-5.625	11.250
+7	0.32287	0.37504	50.625	-33.750
+8	0.23952	0.30161	95.625	-73.125
+9	0.15543	0.20649	151.875	-135.000
+10	0.10000	0.20000	-129.375	180.000

*Şekiller 3.42a ve 3.43a verilen kalem diyagramlar için bütün uyarım fazları 0° alınmıştır.

3.3. opt-AINET Algoritmasının Anten Dizi Sentezine Uygulanması

opt-AINET algoritması ile yapılan anten dizi sentezinde, doğrusal dizi elemanlarının uyarım genlikleri şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek, uyarım fazları ve yerleri ise istenilen doğrultularda tekli ve çoklu dar sıfırlara veya geniş sıfırlara sahip diyagramlar üretmek için belirlenmiştir. opt-AINET kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal anten dizi sentezi uygulamalarında opt-AINET parametreleri $N_{pop} = 20$, $\sigma_s = 0.2$, $dup = 10$, $m = 0.4$, $v = 1$, değişmezlik faktörü 0.0001 ve maksimum maliyet fonksiyonu değerlendirme sayısı 20000 olarak seçilmiştir. Şekillendirilmiş demet sentezi örneğinde sektörel diyagram elde edilmiştir. Diyagram sıfırlama örneklerinde Şekil 3.13'te verilen dizi elemanları aralarındaki mesafe 0.5λ , yan demet seviyesi 30 dB olan 20 elemanlı Chebyshev dizisinin diyagramı başlangıç diyagramı olarak alınmıştır.

3.3.1. opt-AINET Algoritması ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme

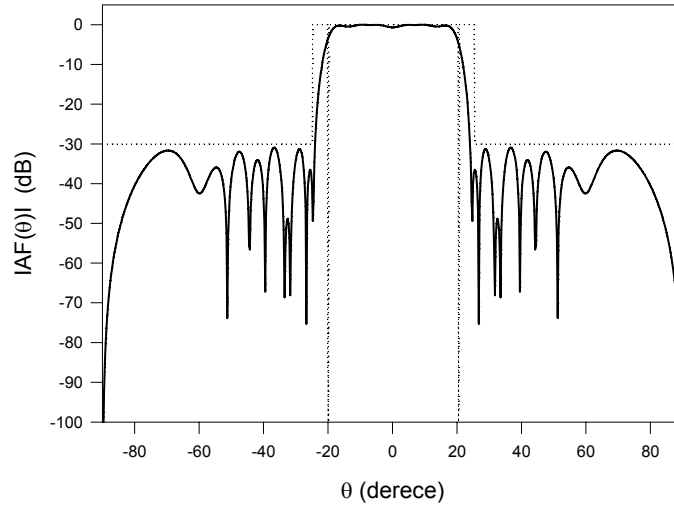
Doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet sentezinde, sektörel diyagramı üretmek için, doğrusal anten dizi elemanlarının uyarım genlikleri opt-AINET ile optimal olarak belirlenmiştir.

3.3.1.1. Sektörel Diyagram Örneği

Sektörel demete sahip dizi diyagramı elde etmek için aralarındaki mesafe 0.5λ olan 32 elemanlı dizinin sadece genlikleri belirlenmiştir. Bu sektörel demeti üretmek için $AF_d(\theta)$ değeri (3.8) eşitliğindeki gibi alınmış, $MSL_d(\theta)$ parametre değeri ise (3.42) eşitliğindeki gibi seçilmiştir.

$$MSL_d(\theta) = -30\text{dB} \quad \text{eğer} \quad 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (3.42)$$

opt-AINET ile eleman genlikleri belirlenerek elde edilen sektörel diyagram Şekil 3.44'te gösterilmiştir. Şekil 3.44'teki sektörel diyagram incelendiğinde, arzu edilen diyagram ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Şekil 3.44'te verilen sektörel diyagram için opt-AINET ile belirlenen eleman genlik değerleri, dizi merkezine göre simetrik formda Tablo 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.44. Arzu edilen diyagramın zarfı (...) ve opt-AINET ile elde edilen sektörel diyagram (—).

Tablo 3.13. Şekil 3.44'te verilen diyagram için opt-AINET ile belirlenen eleman genlikleri.

k	a_k
±1	1.00000
±2	0.61270
±3	0.11480
±4	-0.17010
±5	-0.19025
±6	-0.01933
±7	0.08629
±8	0.07967
±9	-0.02354
±10	-0.07473
±11	-0.04146
±12	0.01510
±13	0.03516
±14	0.02541
±15	-0.02594
±16	-0.02558

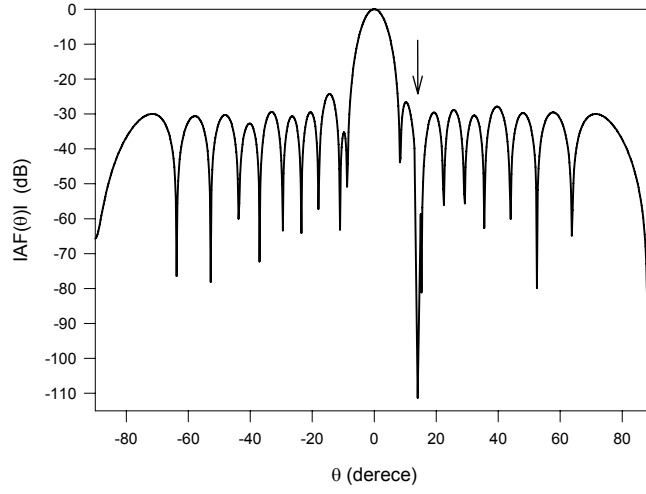
3.3.2. opt-AINET ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme

opt-AINET ile istenen doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramlarını üretmek için, doğrusal anten dizilerinin faz ve yer gibi parametreleri belirlenmiştir. Maksimum yan demet seviyesi ve sıfır derinliği gibi tasarım kriterleri de optimizasyon işlemine dahil edilmiştir.

3.3.2.1. Sadece Faz Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama

opt-AINET ile sadece fazlar kontrol edilerek diyagram sıfırlamada, (3.1)'de verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir dizi elemanının faz uyarımları (δ_k), (3.15) eşitliğinde verilen maliyet fonksiyonunu minimize etmek için belirlenmiştir. Maliyet fonksiyon parametre değerleri $AF_d(\theta)$ ve $W(\theta)$, sırasıyla, Eşitlik (3.22) ve (3.23) gibi seçilmiştir.

Sadece faz kontrolü ile sıfırlamanın ilk örneğinde 14° de sıfırı olan Chebyshev dizi diyagramı üretilmiş ve bu diyagram Şekil 3.45'te gösterilmiştir.



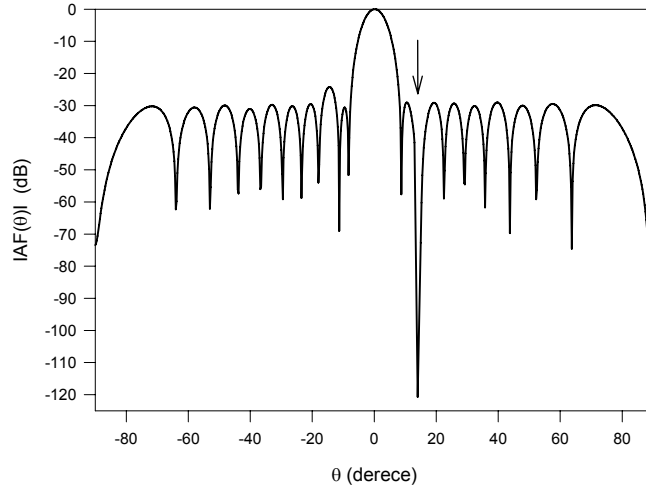
Şekil 3.45. Faz kontrolü ile üretilen 14° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

Sadece faz kontrolü ile sıfırlamanın ikinci örneğinde, aynı sıfırlama doğrultusunda daha derin sıfır elde etmek amacıyla $W(\theta)$ değeri

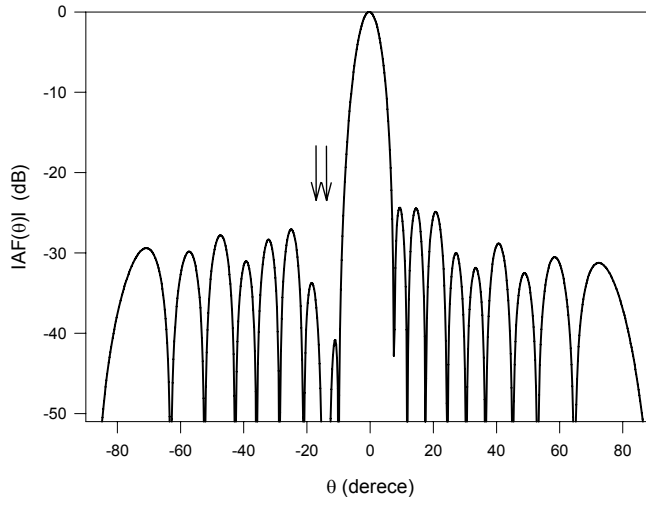
$$W(\theta) = \begin{cases} 150, & \text{eğer } \theta = \theta_i \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.43)$$

ile değiştirilmiş ve elde edilen sonuç diyagram Şekil 3.46'da gösterilmiştir. Şekil 3.45 ve Şekil 3.46 için sıfır derinlik seviyeleri, sırasıyla 111.2 dB ve 120.7 dB olarak elde edilmiştir.

Üçüncü örnekte, -14° merkezli ve $\Delta\theta=5^\circ$ olduğu durum için geniş sıfıra sahip diyagram opt-AINET ile elde edilmiş ve Şekil 3.47'de gösterilmiştir. Sıfır olması istenilen geniş bölgede 50 dB'nin üzerinde bir sıfır derinliği elde edilmiştir.

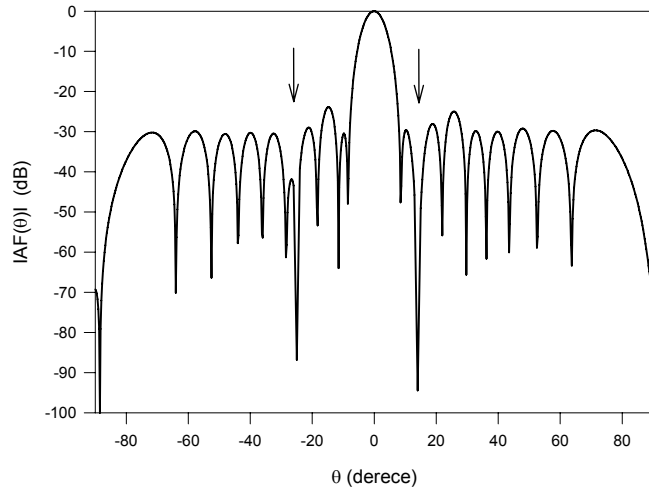


Şekil 3.46. Faz kontrolü ile üretilen 14° de daha derin sıfıra sahip dizi diyagramı.

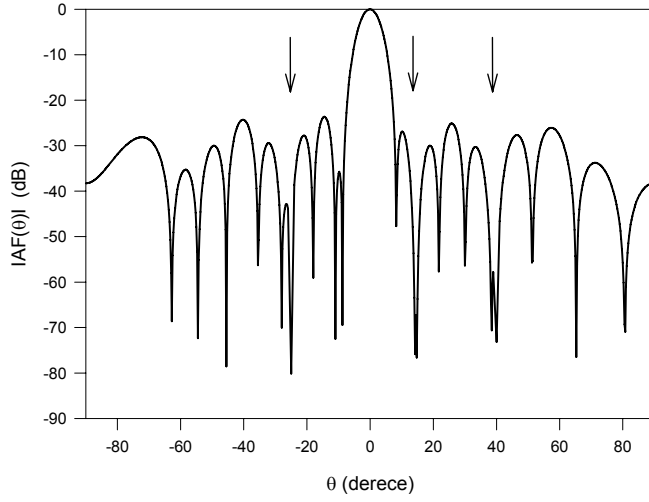


Şekil 3.47. Faz kontrolü ile üretilen -14° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Sadece faz kontrolü ile sıfırlamanın son iki örneğinde, -25° ve 14° de iki sıfırı olan diyagram ve -25° , 14° ve 40° de üç sıfırı olan diyagram, 70 dB'nin üstünde sıfır derinlikleri ile elde edilmiş ve bu diyagramlar sırasıyla, Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da gösterilmiştir. opt-AINET ile belirlenen uyarım faz değerleri, dizi merkezine göre eşlenik simetrik olarak Tablo 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.48. Faz kontrolü ile üretilen -25° ve 14° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



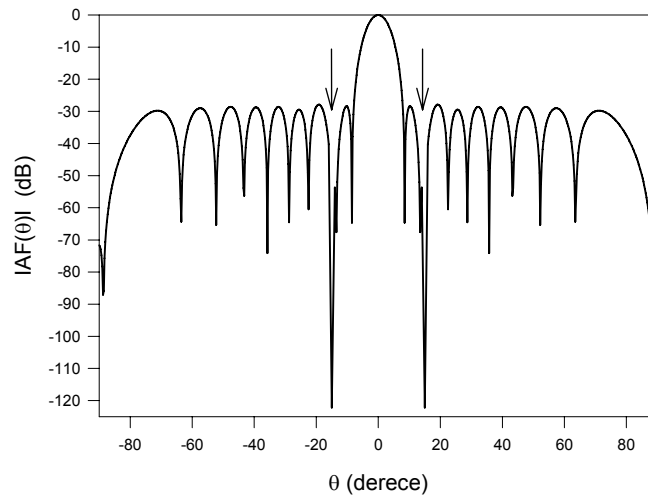
Şekil 3.49. Faz kontrolü ile üretilen -25° , 14° ve 40° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Tablo 3.14. Şekil 3.45-3.49’da verilen diyagramlar için opt-AINET ile hesaplanan derece cinsinden eleman fazları (δ_k).

k	Şekil 3.45	Şekil 3.46	Şekil 3.47	Şekil 3.48	Şekil 3.49
± 1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
± 2	± 2.0123	± 0.8724	± 3.3538	± 0.4335	± 2.6250
± 3	± 3.4552	± 0.7983	± 4.4680	± 2.7712	± 0.1617
± 4	± 1.4752	∓ 1.5406	± 3.3376	± 3.1402	± 7.7071
± 5	∓ 0.9698	∓ 4.0447	± 5.8445	∓ 1.1229	± 1.6683
± 6	∓ 2.4397	∓ 6.6549	± 10.726	∓ 5.9312	∓ 9.3594
± 7	∓ 4.6569	∓ 7.9011	± 12.354	∓ 5.0401	∓ 0.6037
± 8	∓ 4.8460	∓ 7.4210	± 11.683	± 1.6430	± 0.8305
± 9	± 2.5790	∓ 1.4017	∓ 1.7919	± 9.1723	± 0.7736
± 10	± 3.8516	± 2.8395	∓ 10.855	± 5.0652	± 7.3668

3.3.2.2. Sadece Yer Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama

opt-AINET ile eleman yerlerini belirleyerek dizi diyagramında istenilen doğrultularda sıfırlar üretmek için (3.1)’de verilen dizi faktörü ifadesindeki her bir dizi elemanının dizi merkezine göre uzaklığı (d_k), (3.2) ile verilen maliyet fonksiyonu minimize edilerek belirlenmiştir. Komşu dizi elemanları arasında ortak kuplajın oluşması önlemek amacıyla iki komşu eleman arasında olması gereken minimum mesafe 0.4λ ’dan küçük olmayacak şekilde kısıtlanmıştır. Yer kontrolü ile sıfırlamanın ilk örneğinde, ana demete göre 15° civarında oluşan ikinci yan demetin tepe noktasında sıfırı olan Chebyshev diyagramı üretilmiş ve Şekil 3.50’de gösterilmiştir.



Şekil 3.50. Yer kontrolü ile üretilen 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

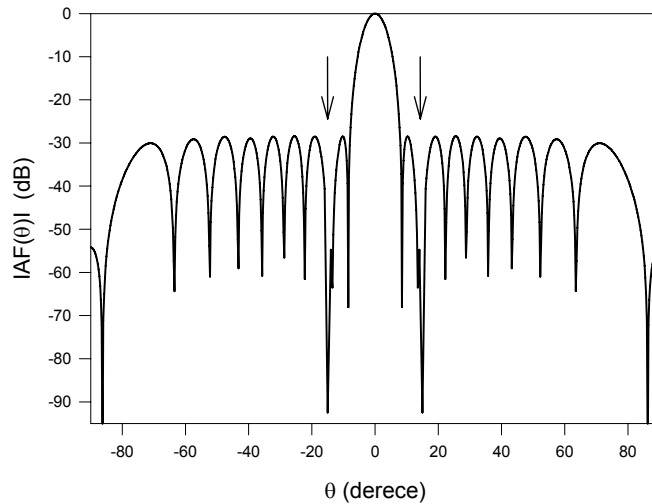
Birinci örnek için maliyet fonksiyonundaki $AF_d(\theta)$ ve $W(\theta)$ parametre değerleri, sırasıyla, (3.18) ve (3.19)'daki gibi seçilmiştir. $ESL(\theta)$ parametre değeri (3.44) eşitliğindeki gibi alınmıştır.

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -27.9 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.44)$$

İkinci örnekte ise daha küçük bir maksimum yan demet seviyesinde sıfırlama gerçekleştirmek amacıyla maliyet fonksiyonunda sadece MSL 'sine kısıtlama getirilmiştir. İkinci örnek için, $ESL(\theta)$ değeri Eşitlik (3.45)'teki gibi değiştirilip diğer bütün tasarım parametreleri ise birinci örnekle aynı alınmıştır.

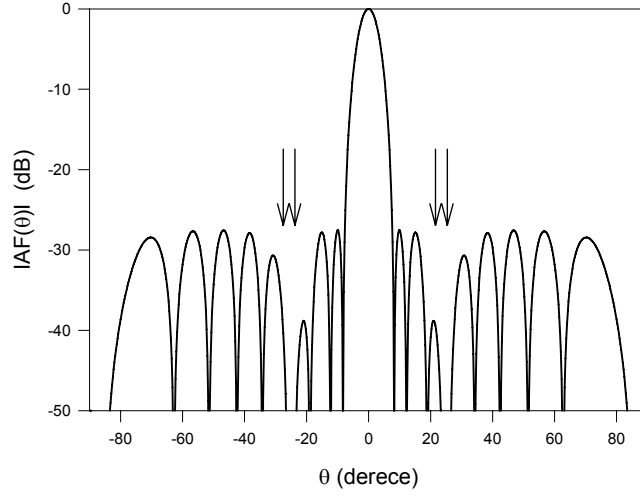
$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -28.4 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.45)$$

İkinci örnek için elde edilen diyagram Şekil 3.51'de görülmektedir. Şekil 3.50 ve Şekil 3.51'de verilen diyagramlar karşılaştırıldığında, Şekil 3.50'deki diyagram için MSL ve NDL değerleri sırasıyla, -27.9 dB ve 122 dB iken, Şekil 3.51'de verilen diyagram için bu değerler sırasıyla, -28.4 dB ve 92 dB olarak elde edilmiştir.



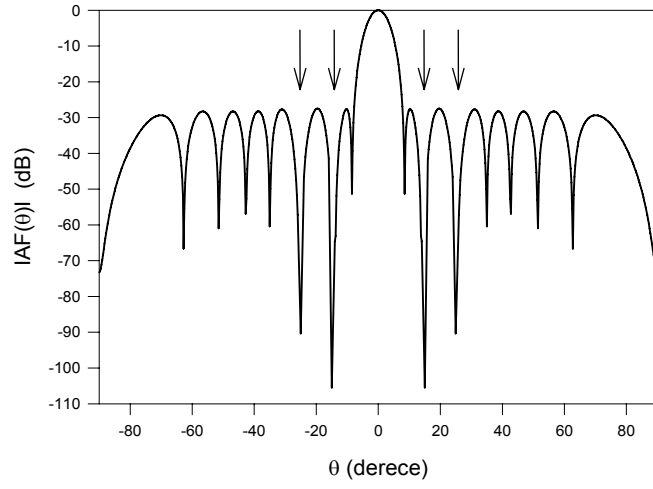
Şekil 3.51. Yer kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 15° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

Üçüncü örnekte, 25° merkez olmak üzere 5° lik bir bölgede geniş sıfırı olan diyagram, bu bölge için 60 dB'lik bir sıfır derinliği ile elde edilmiş ve Şekil 3.52'de gösterilmiştir.

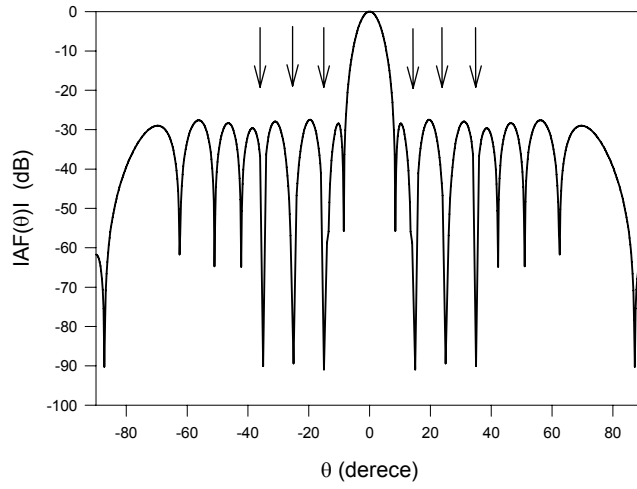


Şekil 3.52. Yer kontrolü ile üretilen 25° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.

Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'te ise sırasıyla, opt-AINET ile elde edilen, 15° ve 25° de iki sıfırı olan diyagram ve 15° , 25° ve 35° de üç sıfırı olan diyagram gösterilmiştir. Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'te verilen bu diyagramlarda 85 dB'nin üzerinde sıfır derinlikleri elde edilmiştir. Şekil 3.50-3.54'te verilen diyagramlar için opt-AINET ile belirlenen eleman yerleri, dizi merkezine simetrik formda Tablo 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.53. Yer kontrolü ile üretilen 15° ve 25° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.54. Yer kontrolü ile üretilen 15° , 25° ve 35° de sıfırlara sahip dizi diyagramı.

Tablo 3.15. Şekil 3.50-3.54'te verilen diyagramlar için opt-AINET ile hesaplanan dalga boyu cinsinden eleman yerleri (d_k).

k	Şekil 3.50	Şekil 3.51	Şekil 3.52	Şekil 3.53	Şekil 3.54
±1	0.26110	0.25860	0.25190	0.27472	0.27353
±2	0.77433	0.76960	0.75260	0.79229	0.78680
±3	1.27123	1.26850	1.25470	1.27177	1.26263
±4	1.75424	1.75580	1.76020	1.73610	1.72675
±5	2.23037	2.23010	2.28490	2.22783	2.21926
±6	2.70683	2.70220	2.80090	2.72464	2.70922
±7	3.19580	3.18730	3.27940	3.22019	3.21379
±8	3.70214	3.69770	3.68000	3.66761	3.66616
±9	4.26962	4.26950	4.16530	4.21318	4.20243
±10	4.79027	4.79100	4.78400	4.81343	4.82029

3.4. opt-AI Algoritmasının Anten Dizi Sentezine Uygulanması

opt-IA algoritması ile yapılan anten dizi sentezinde, doğrusal dizi elemanlarının uyarım genlikleri şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek ve istenilen doğrultularda tekli ve çoklu dar sıfırlara veya geniş sıfırlara sahip diyagramlar üretmek için belirlenmiştir. opt-IA kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal anten dizi sentezi uygulamalarında opt-IA parametre değerleri $N_{pop} = 10$, $dup = 2$, $\tau_B = 20$, $\rho = 2.5$ ve maksimum maliyet fonksiyonu değerlendirme sayısı 20000 olarak seçilmiştir.

3.4.1. opt-IA Algoritması ile Doğrusal Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme

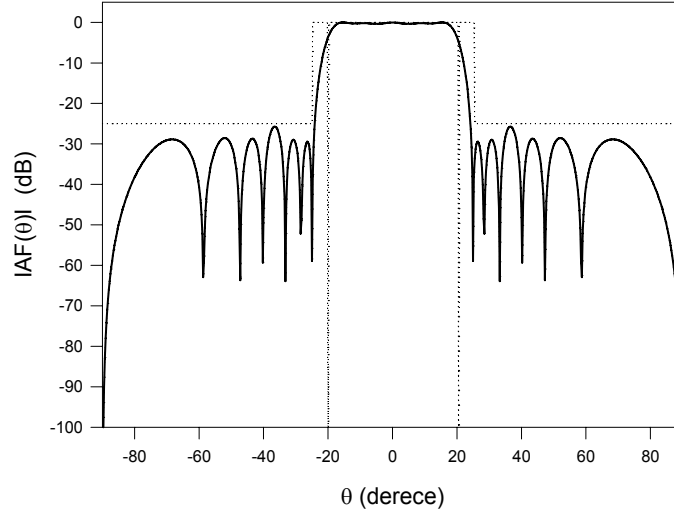
Doğrusal anten dizilerinin şekillendirilmiş demet sentezinde arzu edilen sektörel ve kalem diyagramlarını elde etmek için, dizi elemanları arasındaki mesafe yarım dalga boyu olan 26 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizisinin uyarım genlikleri opt-IA ile optimal olarak belirlenmiştir.

3.4.1.1. Sektörel ve Kalem Diyagram Örnekleri

Sektörel ve kalem diyagramlarını elde etmek için yapılan örneklerde, opt-IA ile minimize edilecek (3.2) eşitliğinde verilen maliyet fonksiyonu içerisindeki $W(\theta)$ ve $ESL(\theta)$ parametreleri, sırasıyla, (3.4) ve (3.5) eşitliklerindeki gibi seçilmiştir.

Sektörel demete sahip dizi diyagramı elde etmek için yapılan birinci örnekte, (3.2) ve (3.5) ifadelerindeki $AF_d(\theta)$ ve $MSL_d(\theta)$ parametre değerleri sırasıyla, (3.8) ve (3.41) eşitliğindeki gibi alınmıştır.

opt-IA ile eleman genliklerinin belirlenmesiyle üretilen sektörel diyagram Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Şekil 3.55'teki sektörel diyagram incelendiğinde, arzu edilen diyagram ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



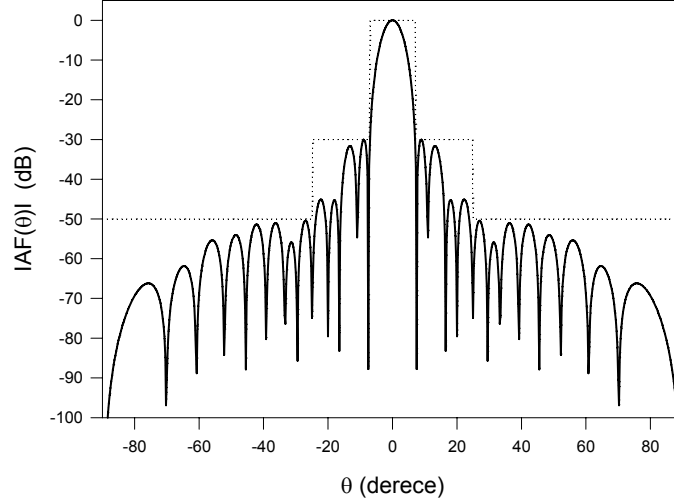
Şekil 3.55. Arzu edilen diyagramın zarfı (...) ve opt-AI ile elde edilen sektörel diyagram (—).

İkinci örnekte, kalem diyagramı üretmek amacıyla 26 yönsüz kaynaklı doğrusal anten dizi elemanlarının sadece genlikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, (3.2) ve (3.5) ifadelerindeki $AF_d(\theta)$ parametre değeri (3.6) eşitliğindeki gibi alınmış, $MSL_d(\theta)$ parametre değeri ise aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$MSL_d(\theta) = \begin{cases} -30 \text{ dB} & \text{eğer } 7^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ -50 \text{ dB} & \text{eğer } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.46)$$

Sadece eleman genlik değerleri opt-IA ile belirlenen bu diziye ait diyagram Şekil 3.56'da gösterilmiştir. Şekil 3.56'daki diyagram incelendiğinde, üretilen kalem diyagramın arzu edilen diyagram ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Şekil 3.55-3.56’da verilen diyagramları üretmek için opt-IA ile belirlenen genlik değerleri, dizi merkezine göre simetrik formda Tablo 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.56. Arzu edilen diyagramın zarfı (---) ve opt-AI ile elde edilen kalem diyagram (—).

Tablo 3.16. Şekil 3.55 ve Şekil 3.56’da verilen diyagramlar için opt-IA ile belirlenen eleman genlikleri (a_k).

k	Şekil 3.55	Şekil 3.56
±1	1.00000	1.00000
±2	0.62014	0.97002
±3	0.11758	0.91610
±4	-0.18695	0.84516
±5	-0.17230	0.77034
±6	-0.01758	0.69056
±7	0.11097	0.60179
±8	0.06743	0.50630
±9	0.01706	0.41003
±10	-0.07065	0.31155
±11	-0.03859	0.20778
±12	0.03609	0.12375
±13	0.02770	0.04916

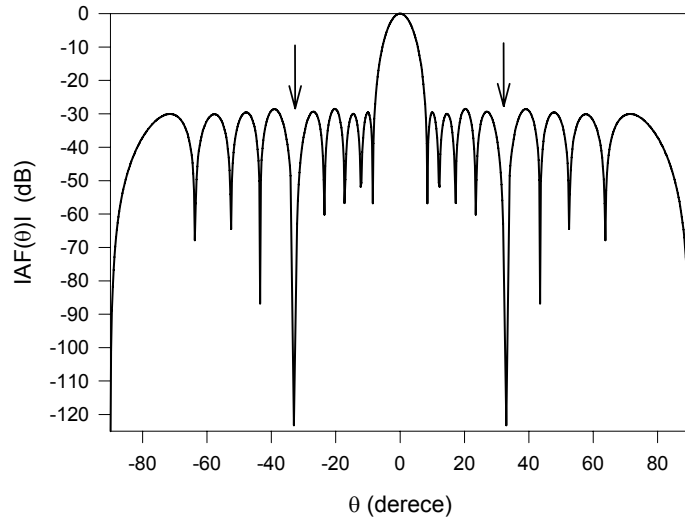
3.4.2. opt-IA ile Dizi Diyagramında Önceden Belirlenmiş Doğrultularda Sıfırlar Üretme

opt-IA ile istenen doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramlarını üretmek için, doğrusal anten dizilerinin uyarım genlikleri belirlenmiştir. Maksimum yan demet seviyesi ve sıfır derinliği gibi tasarım kriterleri de optimizasyon işlemine dahil edilmiştir. Diyagram sıfırlama örneklerinde, Şekil 3.13'te verilen yan demet seviyesi 30 dB, dizi elemanları aralarındaki mesafe 0.5λ olan 20 elemanlı Chebyshev dizisinin diyagramı, başlangıç diyagramı olarak alınmıştır.

3.4.2.1. Sadece Genlik Kontrolü ile Diyagram Sıfırlama

Doğrusal anten dizi diyagramında sadece genlik kontrolü ile sıfırlar elde etmek için (3.1) ifadesinde verilen her bir dizi elemanının genlik uyarımları (a_k), (3.2) ile verilen maliyet fonksiyonu opt-IA ile minimize edilerek belirlenmiştir.

İlk örnekte, ana demete göre beşinci yan demetin tepesi (33°) sıfırlanmış ve elde edilen diyagram Şekil 3.57'de gösterilmiştir.



Şekil 3.57. Genlik kontrolü ile üretilen 33° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

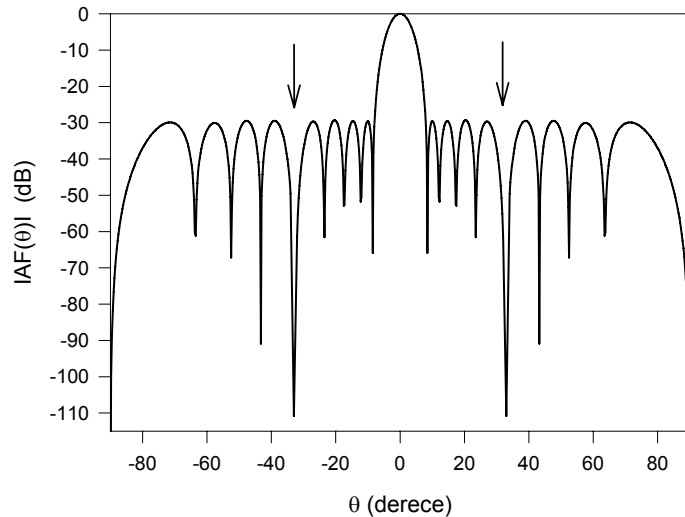
İlk örnekte, $ESL(\theta)$ maliyet fonksiyonu parametre değeri Eşitlik (3.47)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -28.5 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.47)$$

Şekil 3.57'de verilen diyagram için yan demet seviyesi ve sıfır derinliği değerleri sırasıyla, -28.6 dB ve 123 dB olarak elde edilmiştir. Başlangıç Chebyshev dizisi ve Şekil 3.57'de verilen diyagram için elde edilen çalışma aralığı oranı değerleri sırasıyla, 3.5 ve 3.67'dir. İkinci örnekte, sıfır derinliğinden taviz vererek daha düşük maksimum yan demet seviyesine sahip diyagram elde etmek için, $ESL(\theta)$ değeri Eşitlik (3.48)'deki gibi değiştirilip birinci örnek yeniden ele alınmıştır.

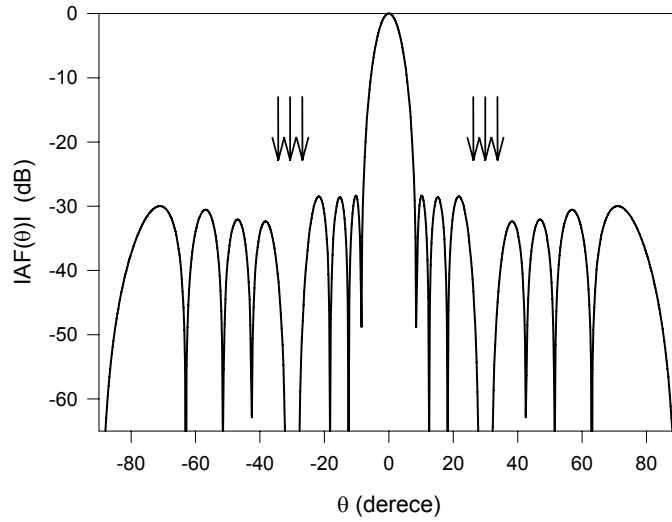
$$ESL(\theta) = \begin{cases} 5, & \text{eğer } MSL_d > -29.3 \text{ dB} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.48)$$

Elde edilen diyagram, Şekil 3.58'de gösterilmiştir. Bu diyagram için maksimum yan demet seviyesi, sıfır derinliği ve çalışma aralığı oranı değerleri sırasıyla, -29.46 dB, 110 dB ve 3.75 olarak elde edilmiştir.

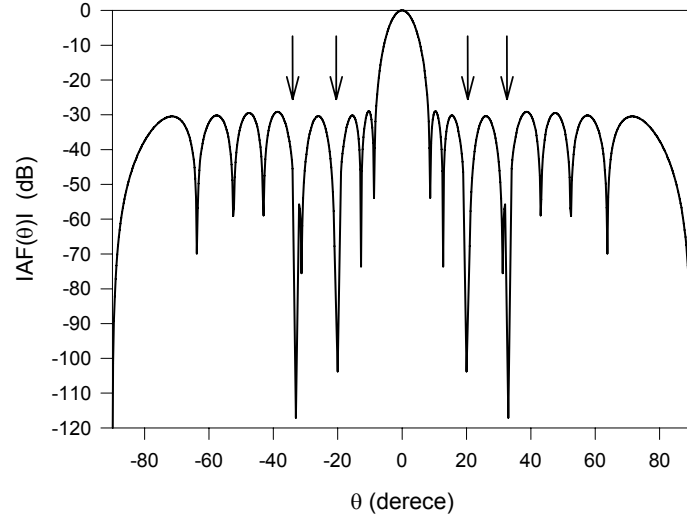


Şekil 3.58. Genlik kontrolü ile üretilen maksimum yan demet seviyesi kısıtlı 33° de sıfıra sahip dizi diyagramı.

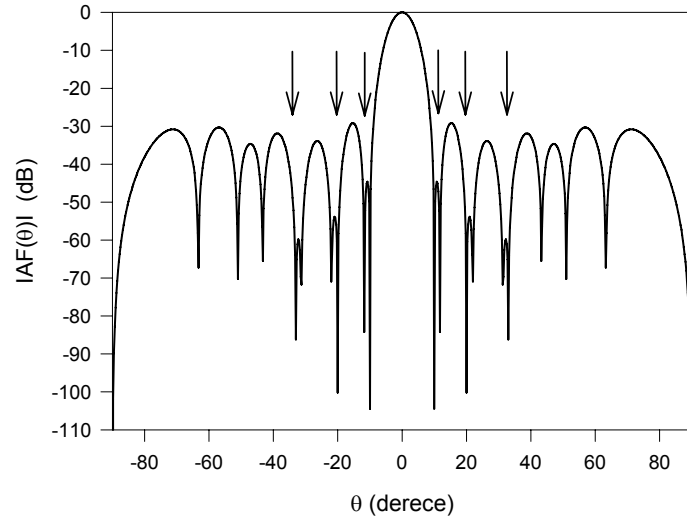
opt-IA ile sadece genlikler kontrol edilerek sıfırlamanın üçüncü örneğinde, merkezi 30° olan $\Delta\theta=5^\circ$ lik bir bölgede geniş sıfıra sahip diyagram üretilmiştir. Dördüncü ve beşinci örneklerde ise sırasıyla, ana demete göre üçüncü ve beşinci yan demet tepelerinde (20° ve 33°) ve birinci, üçüncü ve beşinci yan demet tepelerinde (10° , 20° ve 33°) sıfırları olan diyagramlar elde edilmiştir. Sonuçlar, geniş sıfırı olan diyagram için Şekil 3.59'da, iki sıfırı olan diyagram için Şekil 3.60'da, üç sıfırı olan diyagram için ise Şekil 3.61'de gösterilmiştir. Şekil 3.59'daki geniş sıfıra sahip diyagram için 64 dB'lik bir sıfır derinliği elde edilirken Şekil 3.60 ve Şekil 3.61'de verilen iki ve üç sıfıra sahip diyagramlarda ise sıfır olması istenilen açılarda 85 dB'den daha derin sıfır derinlikleri elde edilmiştir. Şekil 3.57-3.61'de verilen diyagramlar için opt-IA ile belirlenen eleman genlikleri, dizi merkezine simetrik formda Tablo 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.59. Genlik kontrolü ile üretilen 30° merkezli 5° lik bölgede geniş sıfıra sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.60. Genlik kontrolü ile üretilen 20° ve 33° de iki sıfıra sahip dizi diyagramı.



Şekil 3.61. Genlik kontrolü ile üretilen 10° , 20° ve 33° de üç sıfıra sahip dizi diyagramı.

Tablo 3.17. Şekil 3.57-3.61’de verilen diyagramlar için opt-IA ile hesaplanan uyarım genlikleri (a_k).

k	Şekil 3.57	Şekil 3.58	Şekil 3.59	Şekil 3.60	Şekil 3.61
±1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
±2	0.91184	0.91699	0.97436	0.88856	0.88649
±3	0.87909	0.87276	0.94501	0.81516	0.81898
±4	0.86164	0.85079	0.85434	0.79318	0.73467
±5	0.71984	0.71968	0.69726	0.70151	0.62743
±6	0.55911	0.55956	0.57828	0.56987	0.51384
±7	0.49596	0.49412	0.52947	0.49304	0.41127
±8	0.41808	0.42212	0.47040	0.37295	0.33194
±9	0.27216	0.26635	0.23515	0.19882	0.16606
±10	0.29801	0.29037	0.23044	0.24237	0.18637

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, KSA, opt-AINET ve opt-IA algoritmaları ile lineer anten dizilerinin genlik, faz ve yer gibi parametrelerinin sadece birisi ya da aynı anda her ikisi, şekillendirilmiş demet sentezini gerçekleştirmek ve önceden belirlenmiş doğrultularda tekli, çoklu ve geniş sınırlara sahip diyagramları elde etmek amacıyla belirlenmiştir. Ayrıca KSA ile gezgin haberleşme sistemi baz istasyonu anteni için şekillendirilmiş demet sentezi gerçekleştirilmiş, seçilmiş elemanların yerlerinin kontrol edilmesiyle diyagramların sıfırlanmasını sağlayan bir teknik sunulmuş ve yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Uygulama örneklerinde verilen anten dizilerinin, pratik olarak kolaylıkla gerçekleştirilebilmesini sağlamak, hem donanım maliyetini hem de hesaplama zamanını düşürmek için elemanların dizi merkezlerine göre simetrik olarak yerleştirildiği ve simetrik olarak uyarıldığı kabul edilmiştir. Verilen uygulama örneklerinde elde edilen sonuçlar 2–4 dakika aralığında bulunmuştur.

KSA ile yapılan şekillendirilmiş demet sentezinde, kalem, sektörel, kosekant ve kosinüs diyagram örnekleri ele alınmıştır. Kalem diyagram üretilirken dizi elemanlarının sadece yerleri, sektörel diyagramlar üretilirken dizi elemanlarının sadece genlikleri, kosekant diyagramları üretilirken dizi elemanlarının hem genlik hem de fazları, kosinüs diyagramı üretilirken dizi elemanlarının sadece genlikleri belirlenmiştir. KSA ile elde edilen diyagramların, arzu edilen kalem, sektörel ve kosekant diyagramları ile iyi bir uyum içerisinde oldukları gösterilmiştir. Sektörel ve kosekant diyagram örneklerinde ek kısıtlamalar getirilerek arzu edilen diyagram elde edilmeye çalışılmıştır. Kalem diyagram örneğinde eşit aralıklı olmayan dizi için elde edilen sonuçların eşit aralıklı dizi için elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, karşılaştırma

yapmak için kosinüs diyagramı, TAA, FDM ve WLM ile elde edilmiş ve arzu edilen diyagrama en iyi yaklaşan diyagramların KSA ve TAA ile elde edilen diyagramlar olduğu görülmüştür. Ancak KSA ile yapılan sentez işleminde elde edilen DRR değerinin TAA ile elde edilen DRR değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

opt-AINET ile yapılan şekillendirilmiş demet sentezinde sektörel diyagram örneği, opt-IA ile yapılan şekillendirilmiş demet sentezinde ise sektörel ve kalem diyagram örnekleri ele alınmıştır. Hem opt-AINET hem de opt-IA ile yapılan demet sentezi örneklerinde dizi elemanlarının genlikleri belirlenmiştir. Her iki algoritma ile üretilen diyagramların arzu edilen diyagramlarla iyi bir uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Doğrusal anten dizileri ile diyagram sıfırlama örneklerinde, 30 dB yan demet seviyesine sahip Chebyshev dizi diyagramı başlangıç diyagramı olarak alınmıştır. Chebyshev diyagramının belirli doğrultularında sıfırlar elde etmek için, KSA ile yapılan diyagram sıfırlama örneklerinde, dizi elemanlarının genlik, faz ve yer parametreleri, opt-AINET ile yapılan diyagram sıfırlama örneklerinde dizi elemanlarının faz ve yer parametreleri, opt-IA ile yapılan diyagram sıfırlama örneklerinde ise dizi elemanlarının genlikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler kullanılarak üretilen sonuç diyagramlarda, istenilen doğrultularda oldukça derin sıfırlar elde edilmiştir. Ayrıca, üretilen bu sıfırlama diyagramlarının, sıfırlama doğrultusu dışındaki açılarda da başlangıç Chebyshev dizi diyagramı ile oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir. Simetrik doğrultularda sıfırlama işlemi için, dizi elemanlarının sadece genlikleri ve sadece yerleri belirlenmiş, simetrik olmayan doğrultularda sıfırlama işlemi için ise dizi elemanlarının sadece fazları belirlenmiştir. Genlik ve faz kontrolü ile elde edilen sonuçların sadece genlik, sadece faz ve sadece yer kontrolü ile elde edilen sonuçlardan daha iyi bir performansta olduğu görülmüştür.

KSA ile gezgin haberleşme sistemleri baz istasyonu anteni için şekillendirilmiş demet sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, anten dizi elemanlarının uyarım genlik ve faz değerleri tespit edilerek hizmet bölgesinde kosekant diyagramı, girişim bölgesinde ise arzu edilen seviyede yan demete sahip diyagram elde edilmiştir.

KSA kullanılarak lineer anten dizisinin sadece seçilmiş elemanlarının yerleri kontrol edilerek istenen doğrultularda sıfırları olan diyagramlar elde edilmiştir. İstenen doğrultularda sıfırların üretilmesine katkısı az olan anten dizi elemanları dondurularak (hareket ettirilmesine izin verilmeyerek) daha az sayıda (seçilmiş) elemanla istenen sıfır derinlik ve maksimum yan seviyesi gibi tasarım kriterleri de sağlanarak diyagram sıfırlama başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle daha az sayıda eleman seçilerek dizideki yer değiştiren hareketli eleman sayısı azaltılmış, dizi performansı etkili bir şekilde artırılmıştır.

KSA ile ayırık faz kaydırıcılara sahip yeniden düzenlenebilir çift demetli anten dizisi tasarımı da yapılmıştır. Bunun için kalem ve sektörel diyagramlar üreten ortak genlik dağılımları, sektörel diyagram için faz dağılımları elde edilmiştir. Yapılan tasarımlar ile hem şekillendirme hem yan demet bölgelerinde istenen kriterleri sağlayan diyagramların elde edilebileceği ve bu tasarımların pratikte çift demetli anten dizilerinin tasarımında da kullanılabilmesi görülmüştür.

Her üç yapay bağıklık algoritması ile yapılan optimizasyon işlemlerine MSL, NDL ve eleman genliklerinin DRR değerleri gibi tasarım kriterleri de dahil edilmiştir. Eşit aralıklı olmayan dizi için diyagram sıfırlama örneklerinde, komşu dizi elemanları arasında ortak kuplajın oluşmasını önlemek amacıyla iki komşu eleman arasında olması gereken minimum mesafeye kısıtlama getirilmiştir. Tezde sunulan yapay bağıklık algoritmaları ile yapılan tasarımlarda, maliyet fonksiyon parametre değerlerinin uygun biçimde değiştirilmesi ile maksimum yan demet seviyesi, sıfır derinlik seviyesi ve eleman genliklerinin çalışma aralığı oranı gibi tasarım kriterlerinin birbirlerine göre daha ön plana çıkarılabileceği gösterilmiştir. Maksimum yan demet seviyesinden taviz vererek daha derin sıfıra sahip diyagramlar, sıfır derinlik seviyesinden taviz verilerek daha düşük maksimum yan demet seviyesine sahip diyagramlar ve sıfır derinliği ya da maksimum yan demet seviyesinden taviz vererek daha düşük çalışma aralığı oranına sahip dizi diyagramları elde edilmiştir. Böylece, birçok tasarım kriterinin aynı anda optimizasyon işlemine dahil edilmesinden dolayı daha genel ve esnek tasarımlar sunulmuştur.

Tez çalışmasında KSA, opt-AINET ve opt-IA kullanılarak lineer anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Her üç algoritma ile oldukça iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu algoritmalar farklı geometrilerdeki (dairesel, düzlemsel, yay, vb.) anten dizi tiplerine de uygulanabilir. Ayrıca bozulan elemanlardan dolayı oluşan dizi diyagramındaki bozulmaların giderilmesi ve düzlemsel dizilerde elemanların seyreltilmesi gibi anten dizi problemlerinin çözümü ile çok farklı elektromanyetik ve anten problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılabilir. Tez çalışmasında sunulan algoritmaları parçacık sürü ve diferansiyel gelişim gibi optimizasyon algoritmaları ile hibrid yapılar oluşturarak algoritma performansları artırılabilir. Ayrıca tezde sunulan yapay bağışıklık algoritmalarının hipermutasyon ve çeşitlilik operatörleri için farklı yaklaşımlar geliştirerek problem çözme performansları artırılabilir. Bağışıklık sistemindeki çeşitli mekanizmalardan esinlenerek yeni bir bağışıklık algoritması yaklaşımı geliştirebilir.

KAYNAKLAR

1. Ma, M.T., Theory and Application of Antenna Arrays, John Wiley and Sons, 1974.
2. Balanis, C.A., Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley and Sons, 1982.
3. Mailloux, R.J., Phased Array Antenna Handbook, Artech House, 1994.
4. Schelkunoff, S.A., A Mathematical Theory of Linear Arrays, Bell System Technical Journal, 22, 80-107, 1943.
5. Woodward, P.M., A Method for Calculating the Field over a Plane Aperture Required to Produce a Given Polar Diagram, J. IEE, 93, 1554-1558, 1946.
6. Orchard, H.J., Elliot R.S., Stern, J.G., Optimizing the Synthesis of Shaped Beam Antenna Patterns, IEE Proc. Microwave, Antennas Propagat., 132, 63-68, 1985.
7. Dolph, C.L., A Current Distribution for Broadside Arrays which Optimizes the Relationship Between Beamwidth and Sidelobe Level, Proc. IRE Waves and Electronics, 1946.
8. Taylor, T.T., Design of Line Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Sidelobe, IRE Trans. Antennas Propagat., 3, 16-28, 1955.
9. Ng, T.S., Cheah, J.Y.C., Paoloni, F.J., Optimization with Controlled Null Placement in Antenna Array Pattern Synthesis, IEEE Trans. Antennas Propagat., 33, 215-217, 1985.
10. Steyskal, H., Shore, R.A., Haupt, R.L., Methods for Null Control and Their Effects on the Radiation Pattern, IEEE Trans. Antennas Propagat., 34, 404-409, 1986.
11. Stuckman, B.E., Hill, J.C., Method of Null Steering in Phased Array Antenna Systems, Electronics Letters, 26, 1216-1218, 1990.
12. Shpak, D.J., A Method for the Optimal Pattern Synthesis of Linear Arrays with Prescribed Nulls, IEEE Trans. Antennas Propagat., 44, 286-294, 1996.

13. Vescovo, R., Pattern Synthesis with Null Constraints for Circular Arrays of Equally Spaced Isotropic Elements, *IEE Proc. Microwave Antennas Propagat.*, 143(2), 103-106, 1996.
14. Chung, Y.C., Haupt, R.L., Amplitude and Phase Adaptive Nulling with a Genetic Algorithm, *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 14, 631-649, 2000.
15. Güney, K., Akdağlı, A., Null Steering of Linear Antenna Arrays Using Modified Tabu Search Algorithm, in *Book Series of Progress in Electromagnetics Research, (PIER)*, J.A. Kong (Editor), 33, 167-182, 2001.
16. Karaboğa, D., Güney, K., Akdağlı, A., Antenna Array Pattern Nulling by Controlling both the Amplitude and Phase Using Modified Touring Ant Colony Optimisation Algorithm, *Int. J. Electronics*, 91(4), 241-251, 2004.
17. Babayiğit, B., Güney, K., Klonal Seçme Algoritması Kullanarak Genlik ve Faz Kontrolü ile Doğrusal Anten Dizi Diyagramında Sıfırların Üretilmesi, *ELECO'2006, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa*, 72-76, 6-10 Aralık, 2006.
18. Vu, T.B., Simultaneous Nulling in Sum and Difference Patterns by Amplitude Control, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 34, 214-218, 1986.
19. Ibrahim, H.M., Null Steering by Real-Weight Control—A Method of Decoupling the Weights, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 39, 1648-1650, 1991.
20. Liao, W.P., Chu, F.L., Null Steering in Planar Arrays by Controlling Only Current Amplitudes Using Genetic Algorithm, *Microwave and Optical Technology Letters*, 16, 97-103, 1997.
21. Liao, W.P., Chu, F.L., Array Pattern Synthesis with Null Steering Using Genetic Algorithms by Controlling Only the Current Amplitudes, *Int. J. Electronics*, 86, 445-457, 1999.
22. Karaboğa, N., Güney, K., Akdağlı, A., Null Steering of Linear Antenna Arrays by Using Modified Touring Ant Colony Optimisation Algorithm, *Int. J. RF and Microwave Computer Aided Eng.*, 12(4), 375-383, 2002.

23. Yang, S., Gan, Y.B., Qing, A., Antenna Array Pattern Nulling Using a Differential Evolution Algorithm, *Int. J. RF and Microwave Computer Aided Eng.*, 14, 57-63, 2004.
24. Babayiğit, B., Akdağlı, A., Güney, K., A Clonal Selection Algorithm for Null Synthesizing of Linear Antenna Arrays by Amplitude Control, *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 20, 1007-1020, 2006.
25. Steyskal, H., Simple Method for Pattern Nulling by Phase Perturbation, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 31, 163-166, 1983.
26. Shore, R.A., Nulling at Symmetric Pattern Location with Phase-Only Weight Control, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 32, 530-533, 1984.
27. Haupt, R.L., Phase-Only Adaptive Nulling with a Genetic Algorithm, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 45, 1009-1015, 1997.
28. Liao, W.P., Chu, F.L., Array Pattern Nulling by Phase and Position Perturbations with the Use of the Genetic Algorithm, *Microwave and Optical Technology Letters*, 15, 251-256, 1997.
29. Lozano, M.V., Ares, F., Phase-Only Null Fixing in Equispaced Linear Antenna Arrays Using Roots Searching, *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 13, 1569-1578, 1999.
30. Ismail, T.H., Mismar, M.J., Null Steering with Arbitrary Phase Perturbations Using Dual Phase Shifters, *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 13, 1021-1029, 1999.
31. Vescovo, R., Null Synthesis by Phase Control for Antenna Arrays, *Electronics Letters*, 36, 198-199, 2000.
32. Akdağlı, A., Güney, K., Null Steering of Linear Antenna Arrays by Phase Perturbations Using Modified Tabu Search Algorithm, *J. Commun. Technol. Electron.*, 49, 37-42, 2004.
33. Ismail, T.H., Dawoud, M.M., Null Steering in Phased Arrays by Controlling the Element Positions, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 39, 1561-1566, 1991.

34. Tennant, A., Dawoud, M.M., Anderson, A.P., Array Pattern Nulling by Element Position Perturbations Using a Genetic Algorithm, *Electronics Letters*, 30, 174-176, 1994.
35. Dawoud, M.M., Null Steering in Scanned Linear Arrays by Element Position Perturbations, *Int. J. Electronics*, 8, 743-757, 1995.
36. Akdağlı, A., Güney, K., Karaboğa, D., Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays by Controlling Only the Element Positions with the Use of Improved Touring Ant Colony Optimization Algorithm, *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 16, 1423-1441, 2002.
37. Kurup, D.G., Himdi, M., Rydberg, A., Synthesis of Uniform Amplitude Unequally Spaced Antenna Arrays Using the Differential Evolution Algorithm, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 51, 2210-2217, 2003.
38. Hejres, J.A., Null Steering in Phased Arrays by Controlling the Positions of Selected Elements, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 52, 2891-2895, 2004.
39. Khodier, M.M., Christodoulou, C.G., Linear Array Geometry Synthesis with Minimum Sidelobe Level and Null Control Using Particle Swarm Optimization, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 53, 2674-2679, 2005.
40. Abu-Al-Nadi, D.I., Ismail, T.H., Mismar, M.J., Interference Suppression by Element Position Control of Phased Arrays Using LM Algorithm, *Int. J. Electron. Commun.*, 60, 151-158, 2006.
41. Babayiğit, B., Güney, K., Akdağlı, A., A Clonal Selection Algorithm for Array Pattern Nulling by Controlling the Positions of Selected Elements, *EWS'2006*, 4th Int. Workshop on Electromagnetic Wave Scattering, Gebze, Kocaeli, Turkey, Pt.5, 21-26, Sept. 18-22, 2006.
42. Güney, K., Babayiğit, B., Akdağlı, A., Position Only Pattern Nulling of Linear Antenna Array by Using a Clonal Selection Algorithm, Accepted for Publication in *Journal of Electrical Engineering*.
43. Prasad, S., Linear Antenna Arrays with Broad Nulls with Applications to Adaptive Arrays, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 27, 185-190, 1979.

44. Steyskal, H., Wide-Band Nulling Performance Versus Number of Pattern Constraints for an Array Antenna, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 31, 159-163, 1983.
45. Er, M.H., Technique for Antenna Array Pattern Synthesis with Controlled Broad Nulls, *IEE Proc. Microwave, Antennas Propagat.*, 135, 375-380, 1988.
46. Er, M.H., Linear Antenna Array Pattern Synthesis with Prescribed Broad Nulls, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 38, 1496-1498, 1990.
47. Güney, K., Akdağlı, A., Tabu Search Algorithm for the Optimal Pattern Synthesis of Linear Antenna Arrays with Broad Nulls, *Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences*, 17(2), 61-70, 2001.
48. Kumar, B.P., Branner, G.R., Design of Unequally Spaced Arrays for Performance Improvement, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 47, 511-523, 1999.
49. Bucci, O.M., Mazzarella, G., Panariello, G., Reconfigurable Arrays by Phase-Only Control, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 39, 919-925, 1991.
50. Bucci, O.M., et al., Antenna Pattern Synthesis: A New General Approach, *Proc. IEEE*, 82, 358-371, 1994.
51. Dobias, F., Gunther, J., Reconfigurable Array Antennas with Phase-Only Control of Quantized Phase Shifters, *IEEE APS Int. Symp.*, Newport, Beach, CA, 35-39, 1995.
52. Durr, M., Trastoy, A., Ares, F., Multiple-Pattern Linear Antenna Arrays with Single Prefixed Distributions: Modified Woodward–Lawson Synthesis, *Electronics Letters*, 26, 1345-1346, 2000.
53. Diaz, X., et al., Design of Phase-Differentiated Multiple-Pattern Antenna Arrays, *Microwave and Optical Technology Letters*, 26, 52-53, 2000.
54. Gies, D., Rahmat-Samii, Y., Particle Swarm Optimization for Reconfigurable Phase-Differentiated Array Design, *Microwave and Optical Technology Letters*, 38, 168-175, 2003.
55. Baskar, S., Alphones, A., Suganthan, P.N., Genetic-Algorithm-Based Design of a Reconfigurable Antenna Array with Discrete Phase Shifters, *Microwave and Optical Technology Letters*, 45, 461-465, 2005.

56. Mahanti, G.K., Chakraborty, A., Das, S., Floating-Point Genetic Algorithm for Design of a Reconfigurable Antenna Arrays by Phase-Only Control, APMC'05, Proc. Microwave Conf., 5, Suzhou, China, Dec. 4-7, 2005.
57. Akdağlı, A., Güney, K., Babayiğit, B., Clonal Selection Algorithm for Design of Reconfigurable Antenna Array with Discrete Phase Shifters, J. Electromagnetic Waves and Applications, 21(2), 215-227, 2007.
58. Yang, S., Gan, Y.B., Qing, A., Sideband Suppression in Time Modulated Linear Arrays by the Differential Evolution Algorithm, IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett., 1(1), 173-175, 2002.
59. Akdağlı, A., Tabu Araştırma ve Karınca Koloni Optimizasyon Algoritmaları ile Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme ve Diyagram Sıfırlama, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2002.
60. Akdağlı, A., Güney, K., Shaped-Beam Pattern Synthesis of Equally and Unequally Spaced Linear Antenna Arrays with the Use of Modified Tabu Search Algorithm, Microwave and Optical Technology Letters, 36, 16-20, 2003.
61. Boeringer, D.W., Werner, D.H., Particle Swarm Optimization versus Genetic Algorithms for Phased Array Synthesis, IEEE Trans. Antennas Propagat., 52(3), 771-779, 2004.
62. Güney, K., Akdağlı, A., Babayiğit, B., Shaped-Beam Pattern Synthesis of Linear Antenna Arrays with the Use of a Clonal Selection Algorithm, Neural Network World, 16(6), 489-501, 2006.
63. Güney, K., Akdağlı, A., Babayiğit, B., Gezgin Haberleşme Sistemi Baz İstasyonu Anteni için Şekillendirilmiş Demet Sentezinin Klonal Seçme Algoritması ile Gerçekleştirilmesi, URSI (Union Radio Science International)-Türkiye'2006, 3. Ulusal Kongresi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 462-465, 6-8 Eylül, 2006.
64. Pham, D.T., Karaboğa, D., Intelligent Optimisation Techniques, Springer-Verlag, London, UK, 2000.
65. de Castro, L.N., Von Zuben, F.J., Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle, IEEE Trans. Evol. Comput., 6(3), 239-251, 2002.

66. de Castro, L.N., Timmis, J., An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization, CEC '02, Proc. IEEE Congr. Evol. Comput., Honolulu, HI, USA, 699-704, May, 2002.
67. Cutello, V., et al., An Immunological Algorithm for Global Numerical Optimization, EA'05, Proc. 7th Int. Conf. on Artificial Evolution, Lille, France, 284-295, 2005.
68. Jerne, N.K., The Immune System, Scientific American, 229, 51-60, 1973.
69. Ada, G.L., Nossal, G., The Clonal Selection Theory, Scientific American, 257, 50-57, 1987.
70. Jerne, N.K., Toward a Network Theory of the Immune System, Ann. Immunol. (Inst. Pasteur), 125C, 373-389, 1974.
71. Campelo, F., et al., A Clonal Selection Algorithm for Optimization in Electromagnetics, IEEE Trans. Magn., 41(5), 1736-1739, 2005.
72. Coello, C.A., Cortes, N.C., Solving Multiobjective Optimization Problems Using a Artificial Immune System, Genetic Prog. and Evol. Machines, 6, 163-190, 2005.
73. Stevens, D., Das, S., Natarajan, B., A Multi-Objective Algorithm for DS-CDMA Code Design Based on the Clonal Selection Principle, GECCO'2005, Proc. Genetic and Evol. Comput. Conf., Washington, USA, 2015-2020, June, 2005.
74. Gong, M., et.al., An Artificial Immune System Algorithm for CDMA Multiuser Detection Over Multi-Path Channels, GECCO'2005, Proc. Genetic and Evol. Comput. Conf., Washington, USA, 2105-2111, June, 2005.
75. de França, F.O., Von Zuben, F.J., de Castro, L.N., An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization on Dynamic Environments, GECCO, Washington, USA, 289-296, June 2005.
76. Anand, R.B., Tiwari, M.K., Shankar, R., A Self-Organized Neural Network Metamodelling and Clonal Selection Optimization-Based Approach for the Design of a Manufacturing System, Int. J. Production Research, 44(6), 1147-1170, 2006.
77. Zuo, X.Q., Fan, Y.S., A Chaos Search Immune Algorithm with its Application to Neuro-Fuzzy Controller Design, Chaos Solitons and Fractals, 30, 94-109, 2006.

78. Dong, W., Shi, G., Zhang, L., Immune Memory Clonal Selection Algorithms for Designing Stack Filters, *Neurocomputing*, 70, 777-784, 2007.
79. Zhong, Y., et al., An Unsupervised Artificial Immune Classifier for Multi/hyperspectral Remote Sensing Imaginery, *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.*, 44, 420-431, 2006.
80. Campelo, F., et al., A Modified Immune Network Algorithm for Multimodal Electromagnetic Problems, *IEEE Trans. Magn.*, 42, 1111-1114, 2006.
81. Freschi, F., Repetto, M., VIS: An Artificial Immune Network for Multi-Objective Optimization, *Engineering Optimization*, 38(8), 975-996, 2006.
82. Cutello, V., et al., Clonal selection algorithms: A Comparative Case Study Using Effective Mutation Potentials, *Lecture Notes in Computer Science*, 3627, 13-28, 2005.
83. Abbas, A.K., Lichtman, A.H., *Temel İmmünoloji (Çevirici Editörleri: Camcıoğlu, Y., Deniz, G.)*, İstanbul Tıp Kitabevi, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Bilal BABAYİĞİT, 1975 yılında Yozgat'da doğdu. İlk eğitim-öğretimini Kayseri Kılıçaslan İlkokulu'nda, orta ve lise eğitim-öğretimini ise 1986-1993 yılları arasında Kayseri Sami Yangın Anadolu Ticaret Lisesi'nde tamamladı. 1993 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde başladığı lisans eğitim-öğretiminden 1998 yılında mezun oldu. Yüksek lisans eğitim-öğretimine 1998 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. Yüksek lisans eğitim-öğretimini 2000 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitim-öğretimine başladı. Kasım 1998'den beri Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır.

Adres : Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Tel : 0352 4374901 – 32526
Faks : 0352 4375784
E-posta : bilalb@erciyes.edu.tr