YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞRUSAL DİZİLİM ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN SENTEZİ

Elektronik ve Haberleşme Yük. Müh. Fikret TOKAN

FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 14 Nisan 2010
Tez danışmanı **:** Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ (YTÜ)
Jüri üyeleri **:** Prof. Dr. İbrahim AKDUMAN (İTÜ)
: Doç. Dr. Ali YAPAR (İTÜ)
: Doç. Dr. Ahmet Serdar TÜRK (YTÜ)
: Yrd. Doç. Dr. Hamit TORPİ (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ iv

KISALTMA LİSTESİ vi

ŞEKİL LİSTESİ vii

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖNSÖZ xiii

ÖZET xiiiv

ABSTRACT xiiiv

1. GİRİŞ 1

2. DİZİLİM ANTENLERİN UZAK ALAN BÖLGESİNDEKİ IŞIMA İFADELERİNİN ve YÖNLÜLÜK DEĞERLERİNİN FORMÜLASYONU 7

3. GPA ALGORİTMASI 14

3.1 Çok Hedefli Optimizasyon Problemi 14
3.2 GPA Algoritması 15

4. DİZİLİM ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN ANTENLERİN BESLEME GENLİKLERİ ve ARALARINDAKİ MESAFELER KULLANILARAK GPA ALGORİTMASI İLE SENTEZİ 22

4.1 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması 23
4.2 GPA Optimizasyonu 25
4.3 Doğrusal Dizilim Anten Sentezi Örnekleri 28
4.4 Sonuçlar 48

5. YALNIZCA GPA ALGORİTMASI KULLANILARAK TESPİT EDİLMİŞ ELEMANLARIN POZİSYONLARININ KONTROLÜ İLE GİRİŞİM BASTIRILMASI 50

5.1 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması 51
5.2 GPA Kullanılarak Pozisyonu Değişmesi Gereken Antenlerin Tespiti Örnekleri 52
5.3 Sonuçlar 62

6. ÇOK HEDEFLİ OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN PARETO SINIRLARI YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ 64

6.1 PARETO Sınırları Yöntemi 64

6.1.1 NSGA II Algoritması 65
7. NSGA II ALGORİTMASI UYGULAMA ÖRNEĞİ 68
7.1 Sonuçlar 72
8. FAZ DİZİLİMLİ ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN SENTEZİ 73
8.1 Problemin Geometrisi ve Formülasyonu 73
8.2 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması 74
8.3 Faz Dizilimli Antenlerin NSGA II İle Sentezlenmesi Uygulamaları 75
8.4 Kullanılan Amaç Fonksiyonunun Faz Dizilimli Antenlerin Performans Optimizasyonu Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi 84
8.5 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması 84
8.6 Tasarım Örnekleri 85
8.7 Sonuçlar 95
9. SONUÇLAR 96
KAYNAKLAR 98
EKLER 102
Ek 1 Sonsuz küçük dipol antenin uzak alan bölgesindeki elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin elde edilmesi 103
ÖZGEÇMİŞ 106

SİMGE LİSTESİ

$\vec{A}$	Elektrik akım kaynağı vektör potansiyeli
A_n	Antenlerin besleme genliği
d_n	Antenler arasındaki mesafe
D	Yönlülük değeri
E	Elektrik alan
f	Amaç fonksiyonu
$\vec{F}$	Magnetik akım kaynağı vektör potansiyeli
g_j	Eşitsizlik kısıtlamaları
h_j	Eşitlik kısıtlamaları
H	Magnetik alan
I_o	Sabit akım değeri
k	Dalga sayısı
l	Anten boyu
M	Maliyet
N	Arama doğrultusu sayısı
p_c	Çaprazlama oranı
p_m	Mutasyon oranı
P	Başlangıç noktası
R	Anten üzerindeki nokta ile uzak alan bölgesindeki gözlem noktası arasındaki uzaklık
$\boldsymbol{R}$	Reel sayılar kümesi
x	Optimizasyon değişkenleri
X	Çözüm kümesi
Y	Hedef düzlemi
λ	Dalga boyu
η	Ortamın karakteristik empedansı
β_n	Antenin besleme fazı
Ω_A	Huzme katı açı
η_{gen}	Genleşme katsayısı
$\eta_{büz}$	Büzüşme katsayısı
w_i	Ağırlık katsayısı

θ_k Girişim doğrultusu

Δ_n Sarsım miktarı

$\sigma_{pay.}$ Paylaşma parametresi

$\Delta\phi$ Girişimin bastırıldığı bölgenin genişliği

KISALTMA LİSTESİ

CST	Computer Simulation Technology (Bilgisayar Benzetim Teknolojisi)
DF	Dizilim Faktörü
DOA	Dinamik Oran Aralığı
EP	Element Pattern (Eleman Örüntüsü)
GA	Genetik Algoritma
GHz	Gigahertz
GPA	Genelleştirilmiş Patern Arama
MATLAB	Matrix Labarotary (Matris Labaratuarı)
MYLS	Maksimum Yan Lob Seviyesi
NSGA	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması)
YGHG	Yarım Güç Huzme Genişliği
YLS	Yan Lob Seviyesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sonlu uzunluğa sahip bir dipol anten geometrisi. 7
Şekil 2.2 Yarım-dalga dipol antenlerden oluşmuş doğrusal dizilim anten geometrisi. 10
Şekil 3.2.1 GPA algoritmasının akış diyagramı. 17
Şekil 3.2.2 GPA algoritmasının (a) 2*N* tane doğrultuda (b) *N*+1 tane doğrultuda patern arama yöntemleri. 17
Şekil 3.2.3 2*N* tane doğrultuda gerçekleştirilen arama metodu için ağ noktalarındaki maliyet değerleri. 20
Şekil 3.2.4 Başarılı bir yoklama işleminden sonraki ağ noktaları için hesaplanmış maliyetler. 21
Şekil 3.2.5 Başarısız olmuş bir yoklama işlemine ait ağ noktalarındaki maliyetler. 21
Şekil 4.2.1 24 elemanlı doğrusal dizilim antenlerin normalize edilmiş ışıma örüntüleri. Yan lob seviyleri [6^o - 90^o] bölgesinde bastırılırken, bastırılmış geniş bölge [30^o - 70^o] arasındadır. 26
Şekil 4.2.2 Şekil 4.2.1'de verilen ışıma örüntüleri için (a) GA 1 (b) GA 2 (c) GPA işlemleri sonucu elde edilmiş yakınsama eğrileri. 27
Şekil 4.3.1 10 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 30
Şekil 4.3.2 10 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 32
Şekil 4.3.3 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 34
Şekil 4.3.4 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 35
Şekil 4.3.5 13 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 37
Şekil 4.3.6 13 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 39
Şekil 4.3.7 24 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığı durumda dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 41
Şekil 4.3.8 24 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 43
Şekil 4.3.9 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında üç farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 45

Şekil 4.3.10 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 47

Şekil 5.2.1 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 40 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları. 54

Şekil 5.2.2 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 30 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları. 55

Şekil 5.2.3 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 50 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları. 56

Şekil 5.2.4 (a) 70^{o} doğrultusunun bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi..... 57

Şekil 5.2.5 (a) 50^{o} ve 70^{o} doğrultularının bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi. 58

Şekil 5.2.6. (a) 49^{o}-51^{o} ve 69^{o}-71^{o} bölgelerindeki 2^{o}'lik dar bölgelerin bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi. 61

Şekil 5.2.7. (a) 40^{o}-60^{o}'ler arasındaki 20^{o} genişliğindeki bölgenin bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi. 62

Şekil 6.1.1 Üç değişkenli iki hedefli bir optimizasyon problemi için karar uzayının amaç uzayına eşlenmesi. 65

Şekil 7.1 Bölüm 4.3'de (4.3.1) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları. 68

Şekil 7.2 Bölüm 4.3'de (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları. 69

Şekil 7.3 Bölüm 4.3'de (4.3.3) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları. 70

Şekil 7.4 Bölüm 4.3'de (4.3.4) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları. 71

Şekil 8.3.1 İnceltilmiş otuz dört elemanlı dizilimin normalize edilmiş örüntüsünün (a) Kırk elemanlı klasik dizilim ve CST benzetimi ile elde edilmiş örüntülerle kıyaslanması (b) İnceltilmiş dizilim elde edilirken yapılan optimizasyonun yakınsama karakteristiği. 76

Şekil 8.3.2 (a) 40 elemanlı klasik dizilimin; (b) 34 elemanlı inceltilmiş dizilimin, 69^{o}-71^{o} arasındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki en büyük değeri ve MYLS için, verilen huzme tarama aralığındaki Pareto sınırları. 77

Şekil 8.3.3 Şekil 8.3.2(a)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, klasik dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü. 79

Şekil 8.3.4 Şekil 8.3.2(b)'de verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, inceltilmiş dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü. 79

Şekil 8.3.5 (a) 40 elemanlı klasik dizilimin, (b) 34 elemanlı inceltilmiş dizilimin, 65^{o}-75^{o} arasındaki bastırılmak istenen geniş bölgedeki en büyük değeri ve MYLS için, verilen huzme tarama aralığındaki Pareto sınırları. 80

Şekil 8.3.6 Şekil 8.3.5(a)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, klasik dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü. 81

Şekil 8.3.7 Şekil 8.3.5(b)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, inceltilmiş dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü. 82

Şekil 8.6.1 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69^{o}-71^{o} arasındaki bölgedeki en büyük değerin ve MYLS'nin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları. 86

Şekil 8.6.2 Şekil 8.6.1'de verilen a) [(-15 º) - 15 º] b) [(-5 º) - 5 º] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri. 88

Şekil 8.6.3 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69 º -71 º arasındaki bölgenin ortalama değerinin ve MYLS'nin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastırılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları. 89

Şekil 8.6.4 Şekil 8.6.3'de verilen a) [(-15 º) - 15 º] b) [(-5 º) - 5 º] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri. 90

Şekil 8.6.5 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69 º -71 º arasındaki bölgenin en büyük değeri ve yan lob bölgesinin ortalama değerinin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastırılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları. 91

Şekil 8.6.6 Şekil 8.6.4'de verilen a) [(-15 º) - 15 º] b) [(-5 º) - 5 º] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri. 92

Şekil 8.6.7 (a) [(-15^o)-15^o] ve (b) [(-5^o)-5^o] ana huzme tarama aralıkları için klasik dizilimin ve üç farklı tip amaç fonksiyonu çifti kullanılarak elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri. 94

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.2.1 Şekil 4.2.1'de verilen örüntülere ilişkin (a) ışıma özellikleri ve amaç fonksiyonu değerleri (b) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları 28

Çizelge 4.3.1 Şekil 4.3.1'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 31

Çizelge 4.3.2 Şekil 4.3.2'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 32

Çizelge 4.3.3 Şekil 4.3.3'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 35

Çizelge 4.3.4 Şekil 4.3.4'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 36

Çizelge 4.3.5 Şekil 4.3.5'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 38

Çizelge 4.3.6 Şekil 4.3.6'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 40

Çizelge 4.3.7 Şekil 4.3.7'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 42

Çizelge 4.3.8 Şekil 4.3.8'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 44

Çizelge 4.3.9 Şekil 4.3.9'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 46

Çizelge 4.3.10 Şekil 4.3.10'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri 48

Çizelge 5.2.1 Şekil 5.2.4(a), 5.2.5(a), 5.2.6(a) ve 5.2.7(a)'da verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n) 59

Çizelge 8.3.1 Optimize edilmemiş noktaların tüm yan lob ve 69^{o}-71^{o} aralığındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki en büyük seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları 78

Çizelge 8.3.2 Optimize edilmemiş noktaların tüm yan lob ve 65^{o}-75^{o} aralığındaki bastırılmak istenen geniş bölgedeki en büyük seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları 83

Çizelge 8.3.3 Şekil 8.3.3, Şekil 8.3.4, Şekli 8.3.6(a) ve Şekil 8.3.7(b)'de verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n)..... 83

Çizelge 8.6.1 Optimize edilmemiş noktaların yan lob bölgesi ve 69^{o}-71^{o} aralığındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki maksimum seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları..... 87

Çizelge 8.6.2 Şekil 8.6.2(a) ve (b), Şekil 8.6.4(a) ve (b), Şekil 8.6.6(a) ve (b)'de verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n)..... 91

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, dizilim antenlerin ışıma örüntülerinin sentezi, literatürde daha önce bu alanda kullanılmamış yöntemlerle gerçekleştirilerek bu alandaki uygulamalara öncülük etmek amaçlanmıştır.

Tezin konusunun ortaya çıkmasında ve hazırlanmasında orijinal fikirleri ve konuya hakim bakış tarzıyla yönlendirmede bulunan, akademik kişiliğiyle benim için model olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen eşim Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN'a, her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan anne ve babalarıma, evimizin moral ve neşe kaynağı biricik oğlum Emre'ye sonsuz teşekkürler ederim.

Benzetim sonuçlarının elde edilmesinde kullanılan CST programının temininde desteğini esirgemeyen Tübitak Gebze Araştırma Merkezinde bulunan Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN başkanlığındaki Anten Araştırma grubuna ve özellikle değerli tavsiyeleri için Yük. Müh. Umut BULUCU'ya teşekkür ederim.

Çalışmamın bu konu üzerinde çalışacak diğer araştırmacılara kaynak niteliğinde olmasını dilerim.

DOĞRUSAL DİZİLİM ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN SENTEZİ

Bu tez çalışmasında, radar ve iletişim sistemlerinde hayati öneme sahip olan sinyal gücünün gürültü gücüne oranının arttırılması, uzun mesafede haberleşme sağlanabilmesi için yönlülük değeri oldukça yüksek olan huzmeler üretilmesi, girişim içeren sinyallerin bulunduğu doğrultuların bastırılması ve vericiden gönderilen sinyallerin ulaşması istenilmeyen dar/geniş bölgelere sinyallerin çok düşük seviyede ulaşması taleplerinin doğrusal dizilim anten sistemleri kullanılarak karşılanması üzerine çalışılmıştır. Burada belirtilen talepler birbiriyle çelişen tipte taleplerdir ve çok hedefli optimizasyon problemi haline getirilip optimize edilmelidirler. Burada optimize edilebilecek sistem parametreleri dizilimi oluşturan antenlerin genlikleri, fazları ve antenler arasındaki mesafelerdir. Bu tez çalışmasında çok hedefli optimizasyon problemi çözüm yöntemlerinden ilki olan hedeflerin ağırlıklı toplamlar şeklinde ifade edilerek optimizasyonu, bu alanda literatürde ilk kez kullanılan ve deterministik bir yöntem olan genelleştirilmiş patern arama (GPA) metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çok hedefli optimizasyon problemi çözüm yöntemi de hedeflerin Pareto sınırlarının elde edilmesidir. Bunun için daha önce tek bir amaç fonksiyonunda belirtilen hedefler, ayrı ayrı amaç fonksiyonlarıyla belirlenerek, yine literatürde bu alanda ilk kez kullanılan Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA II) yöntemiyle optimize edilerek elde edilen sonuçlar GPA sonuçlarlarıyla kıyaslanmıştır. Tezde ayrıca faz dizilimli antenlerin de performansları ana huzmenin geniş bir bölgede tarama yaptığı durum için NSGA II yöntemiyle optimize edilerek hedeflere ait Pareto sınırları elde edilmiştir. Tez çalışması boyunca elde edilen tüm optimizasyon sonuçları için ayrıca Bilgisayar Benzetim Teknolojisi (CST) benzetimi yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve böylece antenler arasında oluşabilecek ortak kuplaj etkilerinin minimuma indirilmesi için gerekli sistem kısıtlamaları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizilim anten, yönlülük, ışıma örüntüsü, çok hedefli optimizasyon, genelleştirilmiş patern arama algoritması, Pareto optimizasyonu, faz dizilimli anten.

RADIATION PATERN SYNTHESIS of LINEAR ARRAY ANTENNAS

In this thesis, the demands from a communication system such as increasing the ratio of signal to noise which is a crucial problem in radar and communication systems, obtaining narrow beams with high directivity value to meet the demands of long distance communication, suppressing the directions having interfering signals and suppressing the signal level directed to the enemy narrow/broad regions are aimed to be achieved with linear array antennas. These objectives are generally conflict with each other and each objective must be optimized without making the others worse. The system variables that will be optimized are the excitation amplitudes, phases of the elements and the inter-element spacings between the elements. In this thesis, the multi-objective optimization problem is accomplished by using generalized pattern search algorithm (GPS) which is firstly used in literature by this thesis for optimizing radiation pattern characteristics of an array. The GPS algorithm is optimized the objective functions having weighted sums of each demand. Another way of solving multi-objective optimization problems is obtaining the Pareto frontiers of the objective functions. Hence, the demands gathered in a weighted sum for GPS optimization are stated as separately objective functions for obtaining Pareto frontiers. The Pareto frontiers of the objective functions are achieved using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA II) which is also firstly used in literature by this thesis for multi-objective optimization problems. The results obtained using GPS are compared with results of NSGA II algorithm to put forward the success of the optimization procedures. Besides, the radiation patterns of phased arrays are also optimized for beam scanning in a broad region by obtaining Pareto frontiers method. All the optimization results obtained in this thesis are verified by Computer Simulation Technology (CST) software using half-wave dipole antennas in the array to determine the system constraints that must be obeyed to minimize the mutual coupling effects between the array elements.

Keywords: Array antenna, directivity, radiation pattern, multi-objective optimization, generalized pattern search algorithm, Pareto optimization, phased array antennas.

1. GİRİŞ

Genellikle tek bir antenin ışıma örüntüsü oldukça geniştir ve yönlülük değeri (kazancı) düşüktür. Birçok uygulamada, uzun mesafede haberleşme talebini karşılayabilmek için yönlülük değeri yüksek antenler tasarlamak önemlidir. Bu da yalnızca antenin elektriksel uzunluğu arttırılarak sağlanabilir (Balanis, 1997).

Bir antenin boyutlarının arttırılmasıyla genellikle daha yüksek yönlülüğe sahip ışıma örüntüleri elde edilebilir. Her bir elemanın boyutlarını önemli ölçüde arttırmadan antenin boyutlarını genişletmenin diğer bir yolu da ışıma elemanlarını, elektriksel ve geometrik bir yapılandırmada bir araya getirmektir. Çoklu elemandan oluşan bu yeni antene dizilim anten denir. Birçok uygulamada dizilimi oluşturan elemanlar özdeştir. Bu tercih bir zorunluluk olmamakla birlikte, pratikte özdeş elemanlar kullanmak daha uygun ve basit olacaktır.

Yönlülüğü oldukça yüksek örüntüler elde edebilmek için, antenlerin oluşturduğu alanların istenilen doğrultuda birbirlerini güçlendirecek, diğer doğrultularda ise birbirlerini yok edecek şekilde olması gerekmektedir. Dizilim antenin oluşturduğu örüntüyü şekillendirmek için kullanılabilen 5 farklı parametre mevcuttur.

1) Dizilimin geometrik yapılandırılması (lineer, düzlemsel şeklinde veya dairesel).
2) Dizilimi oluşturan antenler arasındaki uzaklık.
3) Her bir antenin uyarılma genliği.
4) Her bir antenin uyarılma fazı.
5) Her bir elemanın bağıl örüntüsü.

Yukarıda verilen parametreler kullanılarak talep edilen ışıma örüntüsü oluşturulabilir. Genellikle, bir dizilim antenin oluşturduğu ışıma örüntüsünden, yönlülük değerinin ve dolayısıyla kazancının büyük olması, yan lob seviyelerinin (YLS) düşük olması, bozucu sinyallerin bulunduğu doğrultuların ve girişim sinyallerinin bulunabileceği dar/geniş bölgelerin bastırılması gibi özellikler talep edilir. Dizilim antenlerin yaygın olarak kullanılmasının sebeplerinden biri de yönlülük değeri yüksek bir ana huzme oluşturup bu huzmeyi istenilen doğrultuya her bir antenin farklı fazlarla beslenerek yönlendirilebilmesidir. Radar ve iletişim sistemlerinde kullanılan dizilim antenlerin davranışı, performans karakteristiğinin pasif, mekanik olarak huzmenin yönlendirildiği dizilimlere göre çok daha karmaşıktır.

Bir dizilim antenden talep edilen örüntünün oluşturulabilmesi için literatürde uzun yıllardır kullanılan metotlar mevcuttur. Bunlardan Fourier dönüşümü metoduyla ana huzme

şekillendirmek mümkündür (Silver, 1979). Schelkunoff (1943) tarafından geliştirilen yöntem kullanıldığında ise istenilen doğrultuları bastırmak mümkün olacaktır. Ana huzme şekillendirmek Woodward ve Lawson metodu olarak bilinen metotla da mümkündür (Woodward, 1946; Woodward ve Lawson, 1948; Skolnik, 1962).

Her bir antenin genliklerinin düzgün olarak beslendiği dizilimlerin örüntülerinin ana huzmeleri oldukça dardır ve böylece yönlülüğü oldukça yüksektir. Her bir antenin genliklerinin binom polinomu katsayılarıyla beslendiği diziliminin örüntüsünde ise yan loblar oluşmaz. Antenlerin genlik değerleri olarak kullanılan bu iki tip beslemenin ödünleşimi olarak ortaya çıkan Dolph-Chebyshev dizilimi yöntemiyle, (Dolph, 1946) yönlülük terimi ve YLS arasında optimum bir seviye sağlanabilir. Yine benzer şekilde daha geniş dizilim antenler için ana huzme kazancıyla YLS arasında optimum bir netice elde edilmesinde, Taylor çizgi kaynak metodu da kullanılabilir (Taylor, 1955). Taylor tek parametre metoduyla (Tang ve Burns, 1984) da rastgele bir ilk YLS için ana huzmeden uzaktaki yan lobların seviyesini belirlemek mümkündür. Bayliss tarafından ortaya konulan Bayliss çizgi kaynak yöntemi, tek darbeli radarların ihtiyaç duyduğu simetrik olmayan örüntülerin elde edilmesinde oldukça yararlıdır (Bayliss, 1968).

Yukarıda bahsedilen metotların her biri dizilim antenden talep edilen örüntü özelliklerini ayrı ayrı oluşturmada oldukça başarılıyken bu taleplerin aynı anda karşılanmasının istendiği durumlarda kullanışlı değillerdir. Özellikle son dönemlerde ortaya çıkan, genetik algoritma (Goldberg, 1989), karınca sürüsü algoritması (Dorigo ve Gambardella, 1997), yapay bağışıklık sistemi algoritması (Cutello ve Nicosia, 2002), parçacık sürüsü optimizasyonu (Clerc ve Kennedy, 2002), melez genetik algoritma olarak adlandırılan memetik algoritma (Moscato, 1989) gibi doğadaki işleyişi temel alarak rastgele arama yapan evrimsel algoritmalar ile yine sezgisel algoritmalar olan benzetimli tavlama (Kirkpatrick vd., 1983) ve tabu arama (Glover, 1989) algoritmaları optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bunun yanında rastgelelik içermeyen belirlenimci tek yönlü optimizasyon (Nelder ve Mead, 1965), örüntü arama optimizasyonu (Torczon, 1991) ve ağ adaptif örüntü arama metodu (Swann, 1972) da optimizasyon problemlerinin çözümünde başarı sağlamışlardır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulama örneklerinde, dizilimi oluşturan anten tipi olarak yarım dalga dipol antenler seçilmiştir. Bir sonraki bölümde öncelikle yarım dalga dipol antenlerin uzak alan bölgesindeki alan ifadeleri verilmiştir. Dizilim antenin uzak alan bölgesindeki ışıma karakterini belirleyen dizilim faktörü (DF) ifadesi de bu tez çalışmasında

kullanılan simetrik yapıdaki dizilimler için elde edilmiştir ve yine bu simetrik yapıdaki dizilimin yönlülük değerinin hesaplanması için gerekli formülasyonlar elde edilmiştir. Yarım dalga dipol antenlerin oluşturduğu dizilimin uzak alan bölgesindeki ışıma örüntüsü hesaplanırken, antenler arasındaki ortak kuplaj etkisinin ihmal edildiği örüntü çarpımı metodu kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının amaçlarından biri de dizilimi oluşturan antenler arasında oluşan ortak kuplaj etkisinin hangi durumlarda baskın bir rol oynadığının belirlenmesidir. Bu nedenle örüntü çarpımı metoduyla gerçekleştirilen tüm optimizasyon problemi çözümleri, CST benzetim programı kullanılarak elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Simetrik yapıdaki dizilimin uzak alan ışıma örüntüsü ifadelerinin elde edilmesiyle yukarıda bahsedilen dizilim anten ışıma örüntüsü talepleri de formülize edilmiş olur.

Üçüncü bölüm bir önceki bölümde verilen dizilim antenin ışıma örüntülerinin sağlaması istenilen hedeflerin gerçekleştirilmesi için gerekli optimizasyon işleminin tanımlanmasına ayrılmıştır. Öncelikle optimizasyon teriminin matematiksel anlamı tanımlanmış ve çok amaçlı bir optimizasyon problemi, çözüm uzayıyla ilgili tüm kısıtlamaları içeren en genel haliyle verilmiştir. Çözüm uzayının sınırları, her bir değişken için tanımlanmış eşitlik ve eşitsizlik ifadeleri, problemle ilgili doğrusal ve doğrusal olmayan kısıtlamalar çok amaçlı bir optimizasyon probleminin çözüm uzayıyla ilgili kısıtlamaları oluştururlar. Bu kısıtlamalar altında çok hedefli optimizasyon problemlerinde kullanılan yöntemlerden biri her bir hedefi tek bir amaç fonksiyonunda bir araya getirmektir. Amaç fonksiyonlarını bir araya getirmede en çok kullanılan yöntem ise, bu fonksiyonları ağırlıklı doğrusal toplamlar şeklinde ifade etmektir. Doğrusal toplamlar şeklinde ifade edilmiş dizilim antenin ışıma örüntüsünden beklenen tüm özellikler bu tezde, daha önce dizilim antenlerin performans optimizasyonlarında literatürde kullanılmamış olan GPA algoritması ile optimize edilmiştir. GPA metodu süreksiz, türevi alınamayan, rastgele veya doğrusal olmayan bir fonksiyonun dahi minimum noktasını araştırmak için geliştirilmiş bir direkt arama metodudur. Böylelikle optimizasyon problemlerinin çözümünde, kullanılan amaç fonksiyonunun gradyanına ihtiyaç duymaksızın etkin bir şekilde kullanılabilir. Optimal bir nokta tespit etmek için gradyan veya yüksek dereceden türev bilgisine ihtiyaç duyan geleneksel metotlardan farklı olarak, GPA metodu başlangıç noktasının etrafındaki noktalar kümesi içinde amaç fonksiyonunun değeri başlangıç noktasının amaç fonksiyonundaki değerinden daha düşük olan bir noktayı arar.

Dördüncü bölümde, bir dizilim antenin ışıma örüntüsünün minimum YLS'ye sahip olması, ana huzmesinin istenilen doğrultudaki kazancının maksimizasyonu ve girişimin bulunduğu doğrultu veya doğrultuların bastırılması gibi birbiriyle çelişen tarzda hedeflerin

gerçekleştirilmesi talebi, dizilim faktörünün genliğinin logaritmasının ağırlıklı toplamları şeklinde tek bir amaç fonksiyonunda toplanmıştır. Bu uygulamada bahsedilen hedeflerin gerçekleştirilmesi, dizilimi oluşturan her bir antenin uyarım genlikleri A_n ve bu antenler arasındaki mesafe d_n'lerin optimizasyonuyla sağlanmıştır. GPA algoritmasıyla gerçekleştirilen optimizasyon işleminde öncelikle antenler arasındaki mesafeler ile ilgili herhangi bir kısıtlama getirilmeden A_n ve d_n değerleri bulunarak istenilen örüntüye sahip dizilimler elde edilmiştir. Daha sonra antenler arasındaki mesafelerin sağlaması gereken minimum değer tanımlanarak optimizasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. GPA algoritmasının performansının kıyaslanması amacıyla oluşturulan amaç fonksiyonları genetik algoritma (GA) kullanılarak da optimize edilmiştir ve elde edilen örüntüler kıyaslanmıştır. Burada, GA algoritması, GPA algoritmasının sonuca ulaştığı döngü sayısı ile aynı nesil sayısı için koşturulmuştur. GPA optimizasyonu işlemi sonucu bulunan A_n ve d_n değerleri kullanılarak CST benzetimi sonuçları elde edilerek, antenler arasındaki mesafeler için getirilecek kısıtlamanın dizilimi oluşturan antenler arasında ortaya çıkacak ortak kuplaja etkisi incelenmiştir.

Beşinci bölümde, doğrusal bir dizilim antenin ışıma örüntüsünde bozulmaya sebep olabilecek herhangi bir bozucu sinyalin bulunduğu girişim doğrultusu veya doğrultularının bastırıldığı bir uygulama örneğine yer verilmiştir. Girişimin bulunduğu doğrultu veya doğrultuların veya geniş bir bölgede yer alan girişimin bastırılması, yalnızca dizilimi oluşturan antenlerin pozisyonlarının optimize edilmesiyle sağlanmıştır. Sentezlenecek dizilimin karmaşıklığını, maliyetini ve ihtiyaç duyduğu enerji miktarını azaltmak için girişimin bulunduğu dar veya geniş bölgelerin bastırılması yalnızca GPA algoritması kullanılarak tespit edilen dizilim elemanlarının pozisyonlarını optimize edilmesiyle sağlanmıştır. Bu uygulamada ayrıca dizilimde bulunan antenlerin uyarım genliklerinin dağılımı için yeni bir genlik dağılımı şekli sunulmuştur.

Dizilim antenin ışıma örüntüsüyle ilgili taleplerin tek bir amaç fonksiyonunda toplanarak karşılanması örneklerinden sonra, diğer bir çok hedefli optimizasyon problemi çözümü olan Pareto sınırlarının elde edilmesi yöntemi altıncı bölümde tanıtılmıştır. Çok hedefli optimizasyon problemlerinde kullanılan klasik optimizasyon algoritmaları, birden çok optimizasyon hedefini tek bir amaç fonksiyonu haline getirip her koşturulduğunda tek bir sonuç verecek şekilde çalışmaktadır. Birbirini domine etmeyen birçok sonuç arandığında, klasik algoritmalar çok kez koşturulmalı ve her koşturma sonunda farklı bir değere ulaşması beklenmekteydi. Son yıllarda bu zorluğun aşılması için tek bir koşturmada bir çok Pareto

optimal çözüm elde edebilen evrimsel algoritmalar kullanılmaktadır (Deb, 2001; Fonseca ve Fleming, 1993; Horn vd., 1994; Srinivas ve Deb, 1995; Zitzler ve Thiele, 1998). Deb ve arkadaşları tarafından geliştirilen NSGA (Srinivas ve Deb, 1995) bu alanda tanıtılan ilk algoritmalardandır. Zaman içerisinde NSGA ile ilgili eksikler giderilerek yine Deb ve arkadaşları tarafından NSGA II algoritması geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında da oluşturulan amaç fonksiyonları NSGA II algoritması kullanılarak aynı anda optimize edilmiştir.

NSGA II algoritması tanıtıldıktan sonra yedinci bölümde, dördüncü bölümde GPA ve genetik algoritma (GA) ile optimize edilmiş tüm taleplerin tek bir toplam şeklinde ifade edildiği amaç fonksiyonları, ayrı ayrı amaç fonksiyonları şekline getirilerek, NSGA II algoritması ile optimize edilmişlerdir. Gerçekleştirilen optimizasyonlar sonunda elde edilen optimum değerlerden yararlanılarak Pareto optimal sınırlar oluşturulmuştur. Verilen Pareto sınırlarını içeren şekillerde, GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen değerler de işaretlenerek elde edilen çözümlerin kıyaslanabilmesi sağlanmıştır.

Tezin sekizinci bölümünde sunulan ilk örnekte, faz dizilimli antenler kullanılarak yan lob bölgesinin ve girişimin bulunduğu dar/geniş bölgenin ana huzme taraması esnasında oluşan maksimum seviyelerinin bastırılması, dizilimi oluşturan elemanların pozisyonlarının bir miktar sarsımları ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla dizilimi oluşturan antenler arasındaki mesafeler başlangıç olarak düzgün olarak seçilmiştir. Daha sonra antenler arasındaki mesafelere sınırlandırılmış miktarda sarsım uygulanarak ışıma örüntüsündeki maksimum yan lob seviyesi (MYLS) ve girişimin bulunduğu dar/geniş bölgenin ana huzme taraması esnasında oluşan en yüksek seviyelerinin ödünleşim değerlerinin verildiği Pareto optimum sınırlar elde edilmiştir. Bu işlem, antenlerin genlik değerlerinin düzgün olarak seçildiği durum ile düzgün genlik değerlerine sahip inceltilmiş dizilim antenler için sırasıyla gerçekleştirilerek, her bir durumda elde edilen değerler kıyaslanmıştır. Bu bölümde sunulan ikinci uygulama örneğinde ise, çok amaçlı optimizasyon problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonlarının optimizasyon başarısı üzerindeki etkisinin gözlemlenebilmesi için birden fazla sayıda amaç fonksiyonu grubu oluşturulmuş ve optimizasyon sonucunda elde edilen ışıma örüntüleri incelenmiştir. Burada, bir önceki uygulamada olduğu gibi faz dizilimli antenler göz önünde bulundurularak yalnızca huzme tarama esnasında yan lob ve girişim bölgelerinde oluşan en yüksek seviyelerin bastırılması amaçlanırken, ayrıca bu bölgelerdeki seviyelerin ortalama değerleri de azaltılmaya çalışılmıştır.

Sonuçlar bölümünde ise genel olarak tezin literatüre olan katkılarına yer verilmiştir. Ayrıca, uygulama örneklerinde GPA algoritması ve NSGA II kullanılarak elde edilen optimizasyon

sonuçlarının CST benzetimi sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla birlikte, yapılan tezin literatüre getirdiği yenilikler özetlenmiştir.

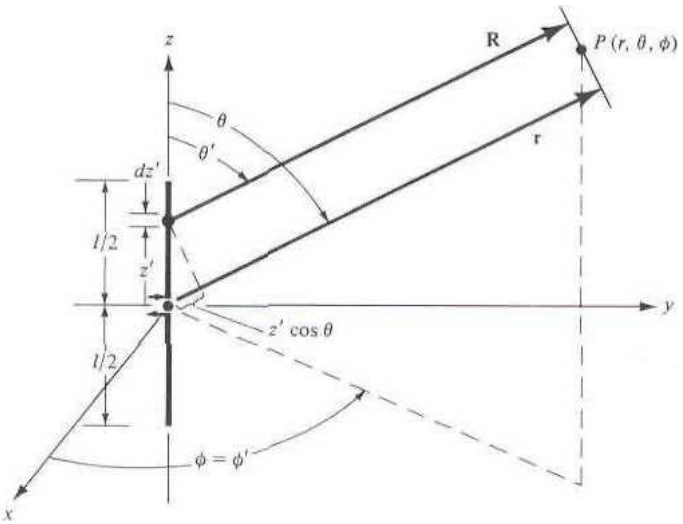
2. DİZİLİM ANTENLERİN UZAK ALAN BÖLGESİNDEKİ IŞIMA İFADELERİNİN ve YÖNLÜLÜK DEĞERLERİNİN FORMÜLASYONU

Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan doğrusal dizilim antenlerin ışıma örüntülerinin sentezi probleminde dizilimi oluşturan anten tipi olarak yarım dalga dipol antenler seçilmiştir. Pratikte en geniş kullanım alanına sahip antenlerden bir tanesi yarım-dalga ($l = \lambda / 2$) dipol antendir (Balanis, 1997). Bunun sebebi yarım-dalga dipol antenin 73 Ω olan ışıma direncinin, bazı iletim hatlarının karakteristik empedansı olan 75 Ω'a çok yakın olması, böylece özellikle rezonans frekansında iletim hattına uydurulmasının oldukça kolay olmasıdır.

Dipol antenlerin alan ifadeleri elde edilirken dipolün yarıçapının ideal olarak sıfır olması matematiksel karmaşıklığı azaltmak açısından yarar sağlamaktadır. Dipolün yarıçapının, kullanılan frekanslardaki dalga boyuna oranla çok küçük kaldığı durumlarda, bu kabul iyi bir yaklaşıklıkla sonuç verir. Çok ince dipoller için (idealde sıfır yarıçaplı) aşağıdaki akım dağılımı kullanılabilir:

$$I_e(x'=0, y'=0, z') = \begin{cases} \vec{a}_z I_o \sin\left[k\left(\frac{l}{2} - z'\right)\right], & 0 \le z' \le l/2 \\ \vec{a}_z I_o \sin\left[k\left(\frac{l}{2} - z'\right)\right], & -l/2 \le z' \le 0 \end{cases} \tag{2.1}$$

Burada l dipol antenin boyunu, I_o sabit bir akım değerini göstermektedir. Bu akım dağılımında antenin merkezden beslendiği ve akımın son noktalarda ($z' = \pm l/2$) sıfırlandığı kabul edilir. Burada bahsedilen antenin geometrisi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Sonlu uzunluğa sahip bir dipol anten geometrisi.

Şekil 2.1'de verilen dipol antenin, çok küçük uzunluğa sahip $\Delta z'$ uzunluklu çok sayıda sonsuz küçük dipole bölündüğü varsayılsın. Dipol daha çok sayıda alt dipole bölündükçe, her bir dipolün boyu dz' olur. z' noktasında, z-ekseni doğrultusunda dz' uzunluklu sonsuz küçük bir dipol için uzak alan elektrik ve magnetik alan bileşenleri aşağıda verilmiştir:

$$dE_\theta \cong jn\frac{kI_e(x',y',z')e^{-jkR}}{4\pi R}\sin\theta\, dz' \tag{2.2.a}$$

$$dE_r \cong dE_\phi = dH_r = dH_\theta = 0 \tag{2.2.b}$$

$$dH_\phi \cong j\frac{kI_e(x',y',z')e^{-jkR}}{4\pi R}\sin\theta\, dz' \tag{2.2.c}$$

Sonsuz küçük dipol antenin uzak alan bölgesindeki elektrik ve magnetik alan bileşenleri için yukarıda verilen (2.2.a), (2.2.b) ve (2.2.c) eşitliklerinin elde edilmesi Ekler bölümündeki Ek 1'de verilmiştir. Bu eşitliklerdeki R aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \tag{2.3}$$

Sonsuz küçük dipolün yarıçapı da sıfır olarak kabul edilirse, (2.3) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$R = \sqrt{(x^2 + y^2 + (z-z')^2} \tag{2.4}$$

Faz ve genlik terimleri için aşağıda verilen uzak alan yaklaşıklıkları kullanılırsa;

$$R \cong \begin{cases} r - z'\cos\theta & faz\ \ terimleri\ \ için \\ r & genlik\ \ terimleri\ \ için \end{cases} \tag{2.5}$$

(2.2.a) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$dE_\theta \cong j\eta\frac{kI_e(x',y',z')e^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta\, e^{jkz'\cos\theta}\, dz' \tag{2.6}$$

Burada k dalga sayısını ve η ortamın karakteristik empedansını göstermektedir. Tüm sonsuz küçük parçaları toplarsak, toplam limit halde entegrale indirgenir. Böylelikle uzak alanda $\vec{E}$ ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$E_\theta = \int_{-l/2}^{l/2} dE_\theta = j\eta \frac{ke^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \left[\int_{-l/2}^{l/2} I_e(x',y',z') e^{jkz'\cos\theta} dz' \right] \tag{2.7}$$

Burada, parantez dışındaki terim sonsuz küçük dipolün eleman örüntüsü, parantez içindeki terim ise sonsuz küçük dipollerin oluşturduğu uzay faktörüdür. Bu iki terimin çarpılması sonucu uzak alanda elektrik alan ifadesi ortaya çıkar. (2.7) ifadesinde (2.1) ile verilen akım dağılımı uygulanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$E_\theta \cong j\eta \frac{kI_o e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \left\{ \int_{-l/2}^{0} \sin\left[k\left(\frac{l}{2} + z' \right) \right] e^{jkz'\cos\theta} dz' + \int_{0}^{l/2} \sin\left[k\left(\frac{l}{2} - z' \right) \right] e^{jkz'\cos\theta} dz \right\} \tag{2.8}$$

Buradaki entegrallerin her biri $\alpha = \pm jk\cos\theta$, $\beta = \pm k$, $\gamma = kl/2$ olmak üzere aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$\int e^{\alpha x} \sin(\beta x + \gamma)\, dx = \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2 + \beta^2} \left[\alpha \sin(\beta x + \gamma) - \beta \cos(\beta x + \gamma) \right] \tag{2.9}$$

Bazı matematiksel işlemlerin sonunda, uzak alan bölgesinde sonlu uzunluklu bir dipol antenin elektrik alan ifadesi aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$E_\theta \cong j\eta \frac{I_o e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2}\cos\theta \right) - \cos\left(\frac{kl}{2} \right)}{\sin\theta} \right] \tag{2.10}$$

Magnetik alanın da uzak alan ifadesi şu şekildedir:

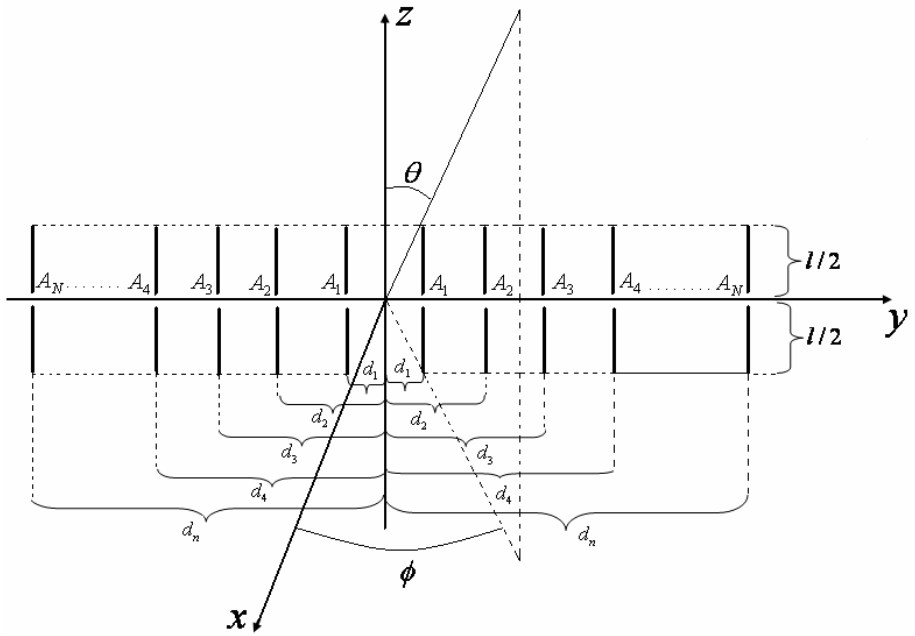
$$H_\phi \cong \frac{E_\theta}{\eta} \cong j \frac{I_o e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2}\cos\theta \right) - \cos\left(\frac{kl}{2} \right)}{\sin\theta} \right] \tag{2.11}$$

Bu tez çalışmasında kullanılan yarım-dalga ($l = \lambda/2$) dipol antenlere ilişkin elektrik ve magnetik alan bileşenleri ise uzak alan bölgesinde aşağıdaki gibidir:

$$E_\theta \cong j\eta \frac{I_o e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta \right)}{\sin\theta} \right] \tag{2.12.a}$$

$$H_\phi \cong j\frac{I_o e^{-jkr}}{2\pi r}\left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}\right] \tag{2.12.b}$$

Bu tez çalışmasında kullanılan yarım dalga dipol antenlerden oluşan doğrusal dizilim anten geometrisi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Yarım-dalga dipol antenlerden oluşmuş doğrusal dizilim anten geometrisi.

Şekil 2.2'de verilen geometrideki gibi özdeş elemanlardan oluşan bir dizilim antenin, antenler arasındaki kuplaj etkisinin ihmal edildiği durumda herhangi bir (θ,ϕ) doğrultusundaki uzak alan ışıma örüntüsü *FF* aşağıdaki gibi verilebilir:

$$FF(\theta,\phi) = EP(\theta,\phi).DF(\theta,\phi) \tag{2.13}$$

(2.13) ile verilen bu ifadeye örüntü çarpımı adı verilir. Örüntü çarpımı ifadesindeki $EP(\theta,\phi)$ terimi dizilimi oluşturan anten tipinin uzak alan ışıma örüntüsünü, $DF(\theta,\phi)$ ise dizilim faktörünü ifade eder. Bu tez çalışmasında, Şekil 2.2'de verildiği gibi *y*-ekseni boyunca simetrik olarak yerleştirilmiş 2*N* sayıda antenden oluşan doğrusal bir dizilimin faktörü aşağıdaki gibi verilebilir:

$$DF = 2\sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left[k\, d_n \sin\theta \sin\phi + \beta_n\right] \tag{2.14}$$

Burada, k dalga sayısını ve A_n , β_n ve d_n de sırasıyla n. antenin besleme genliğini, fazını ve orijine olan uzaklığını vermektedir. Burada kullanılan anten tipi yarım-dalga dipole anten olduğundan, (2.12.1) ifadesi $\theta = 90^o$ (x-y düzlemi) için aşağıdaki gibidir:

$$E_\theta \cong j\eta \frac{I_o e^{-jkr}}{2\pi r} \tag{2.15}$$

Bu tez çalışmasında da elde edilecek tüm ışıma örüntüleri $\theta = 90^o$ için çizdirilecektir. Aralarındaki ortak kuplaj etkisi ihmal edilmiş yarım-dalga dipol antenlerden oluşan doğrusal bir dizilim antenin $\theta = 90^o$ için normalize edilmiş uzak alan ışıma örüntüsü ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$FF(\phi) = AF(\phi) = \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left[k\, d_n \sin\phi + \beta_n\right] \tag{2.16}$$

Eğer maksimum ışıma yönünün ϕ_o ($-90^o \le \phi_o \le 90^o$) olacağı düşünülürse, n. elemana ait besleme fazı β_n aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Balanis, 1997):

$$kd_n \sin\phi + \beta_n\big|_{\phi=\phi_0} = 0 \;\Rightarrow\; \beta_n = -kd_n \sin\phi_o \tag{2.17}$$

Böylece dizilimi oluşturan elemanlar arasındaki aşamalı faz farkı kontrol edilerek, huzme taraması yapan bir dizilim antenin ana huzmesinin maksimum değeri istenilen doğrultuya yönlendirilebilir. (2.17) eşitliği (2.16)'da yerine konursa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$FF(\phi) = \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left[k\, d_n (\sin\phi - \sin\phi_o)\right] \tag{2.18}$$

(2.18) eşitliğiyle verilen uzak alan ışıma örüntüsü ifadesi amaç fonksiyonlarında kullanılarak hedeflenen ışıma örüntüsü özellikleri gerçekleştirilebilir. Dizilim antenlerin ışıma örüntülerinden beklenen özelliklerin biri de yönlülük değerinin yüksek olmasıdır. Yönlülük terimi, anten mühendisliği alanında, ilgili noktaya yönlendirilen elektromagnetik enerjinin maksimizasyonunun ölçüsü olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \tag{2.19}$$

Burada Ω_A huzme katı açıyı göstermektedir. Ω_A ifadesini de aşağıdaki biçimde tanımlayabiliriz:

$$\Omega_A = \iint \left|FF(\theta,\phi)\right|^2 d\Omega = \iint \left|EP(\theta,\phi)\right|^2 \left|DF(\theta,\phi)\right|^2 d\Omega \tag{2.20}$$

Düzgün olmayan besleme genlikli ve yine düzgün olmayan anten konumlarına sahip dizilim antenler için yönlülük değerinin formülasyonunu Stutzma ve Thiele (1998) tarafından ortaya konmuştur:

$$D = \frac{(\sum_{k=0}^{N-1} A_k)^2}{\sum_{m=0}^{N-1}\sum_{p=0}^{N-1} A_m A_p e^{j(\beta_m - \beta_p)} \frac{\sin[\beta(d_m - d_p)]}{\beta(d_m - d_p)}} \tag{2.21}$$

Burada, Stutzma ve Thiele'nin (1998), (2.21) ile verdiği anten yönlülüğü ifadesi bu tezde, simetrik yapıdaki dizilimlere uyarlanmıştır. Çift sayıda antenden oluşmuş doğrusal, düzgün olmayan konum dağılımlı ve antenlerin düzgün olmayan besleme genlikleriyle uyarıldığı durumda (2.21) ifadesi her bir antenin besleme fazı 0^o olduğu durumda aşağıdaki forma gelir:

$$D = \frac{2(a)^2}{2(b_1 + b_2)} \tag{2.22.a}$$

Bu eşitlikte yer alan a, b ve c ifadelerine ilişkin eşitlikler sırasıyla, (2.22.b), (2.22.c) ve (2.22.d) eşitlikleriyle verilmiştir:

$$a = \sum_{n=1}^{N} A_n \tag{2.22.b}$$

$$b_1 = \sum_{n=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} A_n A_m \frac{\sin[2\pi(d_n + d_m)]}{2\pi(d_n + d_m)} \tag{2.22.c}$$

$$b_2 = \sum_{n=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} A_n A_m \frac{\sin[2\pi(d_n - d_m)]}{2\pi(d_n - d_m)} \tag{2.22.d}$$

Buraya kadar dizilim antenlere ait *DF* ve *D* formülasyonu Şekil 2.2'deki gibi çift sayıda antenden oluşmuş bir dizilim için verilmiştir. Eğer, orijine de bir anten konulması sonucu tek sayıda antenden oluşmuş bir dizilim mevcut ise, böyle bir durumdaki dizilimin faktörü aşağıda verildiği gibidir:

$$AF_{tek} = 1 + 2\sum_{n=1}^{N} A_{n+1} \cos\left[\frac{2\pi d_{n+1}}{\lambda}\sin\phi\right] \tag{2.23}$$

Böyle bir dizilime ait yönlülük ifadesini yazmak istersek (2.23) ifadesi her bir antenin besleme fazı 0^o olduğu durumda aşağıdaki forma gelir:

$$D = \frac{a}{2(b_1 + b_2)} \tag{2.24.a}$$

Bu eşitlikte yer alan a, b ve c ifadelerine ilişkin eşitlikler sırasıyla, (2.24.b), (2.24.c) ve (2.24.d) eşitlikleriyle verilmiştir:

$$a = 2\left(\sum_{n=1}^{N+1} A_n\right)^2 - A_1^2 \tag{2.24.b}$$

$$b_1 = \sum_{n=2}^{N+1}\sum_{n=2}^{N+1} A_n A_m \frac{\sin\left[2\pi(d_n + d_m)\right]}{2\pi(d_n + d_m)} \tag{2.24.c}$$

$$b_2 = \sum_{n=2}^{N+1}\sum_{n=2}^{N+1} A_n A_m \frac{\sin\left[2\pi(d_n - d_m)\right]}{2\pi(d_n - d_m)} \tag{2.24.d}$$

Bu tez çalışmasında çoğunlukla yukarıda verilen toplam örüntüsü şeklinde dizilimler için optimizasyon problemleri çözülürken, fark örüntüsü şeklindeki bir dizilim de optimizasyon başarısının gösterilmesi için kullanılmıştır. Fark örüntüsü yalnızca çift sayıda antenden oluşan dizilimler ile elde edilebilir. Bunun için, orijine göre simetrik olan antenlerin bir taraftakilerin fazlarıyla diğer taraftaki antenlerin fazları arasında 180^o fark olması gerekmektedir. Fark örüntüsü oluşturacak bir dizilimin dizilim faktörü aşağıdaki gibidir:

$$AF_{Diff.} = j2\sum_{n=1}^{N} A_n \sin\left[\frac{2\pi d_n}{\lambda}\sin\phi\right] \tag{2.25}$$

Yönlülük terimi fark örüntüsü oluşturan dizilimler için genellikle göz önünde bulundurulmaz (Elliott, 1981).

3. GPA ALGORİTMASI

Bu bölümde GPA metodu tanıtılmadan önce optimizasyon probleminin ne olduğu tanımlanarak bu tanım çok hedefli optimizasyon problemine genişletilecektir. Daha sonra çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek yöntemlerden biri olan, direkt arama algoritmaları sınıfında yer alan ve bu tezde kullanılmış olan GPA algoritması ayrıntılarıyla verilecektir.

3.1 Çok Hedefli Optimizasyon Problemi

Matematikte optimizasyon terimi; bir fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacı ile gerçek ya da tamsayı değerlerini tanımlı bir aralıkta seçip fonksiyona yerleştirerek, sistematik olarak bir problemi incelemek ya da çözmek işlemlerini ifade eder. Örnek olarak bir optimizasyon problemi, ***R*** reel sayılar kümesini göstermek üzere $\vec{f}$ fonksiyonu, $X \to Y$ 'ye tanımlı olsun. X'de öyle bir x_o var mıdır ki tüm x değerleri için $f(x_o) \leq f(x)$ eşitsizliğini sağlasın ifadesi bir minimizasyon problemini, $f(x_o) \geq f(x)$ eşitsizliğini sağlasın ifadesi bir maksimizasyon problemini tanımlar. Pek çok gerçek ve teorik problemler bu genel çerçevede modellenebilir. Bu tür problemlerde X kümesi, genellikle bir takım daraltıcı kısıtlamalar, eşitlikler ve eşitsizlikler ile yerine verilecek değerleri sağlayan öklidyen uzayın bir alt kümesidir. $\vec{f}$ fonksiyonundaki X'in tanım aralığına arama uzayı, X'in alacağı değerlerin kümesine ise çözüm kümesi ya da olası çözümler denir. Burada Y- hedef düzlemini göstermektedir.

Çok kriterli optimizasyon olarak da bilinen çok hedefli optimizasyon ise birbiriyle çelişen iki veya daha fazla sayıda hedefin bazı kısıtlamalar altında aynı anda optimize edilmesi işlemidir. Çok hedefli optimizasyon problemlerine, aynı anda sağlanması mümkün olmayan hedeflerin başarılma oranlarının dengelenmesini gerektiren tüm alanlarda rastlayabiliriz. Bir optimizasyon problemi en genel haliyle, arama uzayında yer alacak doğrusal veya doğrusal olmayan kısıtlamaları, eşitlik ve eşitsizlikleri de göstererek aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Deb, 2001):

$$min/\,maks\left[f_m(\vec{x})\right], \qquad m = 1,2,.....,M \tag{3.1.1}$$

$$g_j(\vec{x}) \geq 0, \qquad j = 1,2,.....,J \tag{3.1.2}$$

$$h_k(\vec{x}) = 0, \qquad k = 1,2,.....,K \tag{3.1.3}$$

$$x_i^{(A)} \le x_i \le x_i^{(Ü)}, \qquad i = 1,2,.....,n \tag{3.1.4}$$

Burada en genel haliyle verilen optimizasyon probleminde, $\vec{f}(\vec{x}) = (f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}),....., f_m(\vec{x}))$ bir veya birden çok sayıda minimize/maksimize edilmek istenen amaç fonksiyonlarını, $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3,..., x_n)$ vektörü problemin çözüm kümesini, $g(\vec{x})$ ve $h(\vec{x})$ de sırasıyla eşitsizlik ve eşitlik ile ilgili kısıtlamaları göstermektedir. (3.1.4) ile verilen son kısıtlama kümesi değişken sınırları olarak adlandırılır ve herbir değişkenin $x_i^{(A)}$ alt sınırı ile $x_i^{(Ü)}$ sınırı arasında kalmasını sağlar.

Genellikle, problemlerin olası çözümleri ve amaç fonksiyonları dışbükeylik göstermediğinden birden çok yerel minimum ve maksimum noktalarına rastlanabilir. Dışbükey olmayan problemlerin çözümünde pek çok algoritma kullanılmasına rağmen yine de yerel optimum noktalar ve global optimum noktalar arasındaki farkların ayırt ve tespit edilmesinde yetersiz kalınmakta ve orijinal probleme bir adım geriden yaklaşılmaktadır. Global optimum noktalara ulaşmak için bir çok farklı başlangıç noktası oluşturulmalı ve her birinin aynı noktaya yakınsayıp yakınsamadığı irdelenmelidir.

Çoklu hedefli optimizasyon problemlerinde kullanılan yöntemlerden biri her bir amacı tek bir amaç fonksiyonunda bir araya getirmektir. Amaç fonksiyonlarını bir araya getirmede en çok kullanılan yöntem ise, bu fonksiyonları ağırlıklı doğrusal toplamlar şeklinde ifade etmektir. Her bir amaç fonksiyonunun çarpılması gereken ağırlıklar, hedefin toplam fonksiyon içindeki ağırlığını kaybetmeyeceği şekilde seçilmelidir. Elde edilecek değerin her bir hedef için belirlenmiş ağırlıklara bağlı olacağı açıktır. Buna rağmen her bir amaç fonksiyonu için tanımlanmış ağırlık değerleri uygun olarak seçilerek oluşturulmuş bir doğrusal toplam fonksiyonu, herhangi bir optimizasyon algoritması ile optimize edilerek oldukça başarılı değerler elde edilebilir.

Optimizasyon problemlerinin çözümlerinde evrimsel temellere dayalı, rastgele çalışan algoritmaların yanı sıra, uygulamalı matematik ve nümerik analiz temellerine dayanan belirlenimci algoritmalar da, yakınsayan ve dışbükey olmayan ifadeleri sınırlı bir zamanda gerçek bir optimal ifadeye ulaştırma alanında oldukça sık kullanılmaktadır.

3.2 GPA Algoritması

GPA, direkt arama metodları sınıfında yer almaktadır. GPA dışında bu sınıfta Simplex arama (Nelder ve Mead, 1965) ve ağ adaptif arama metodları bulunmaktadır (Swann, 1972).

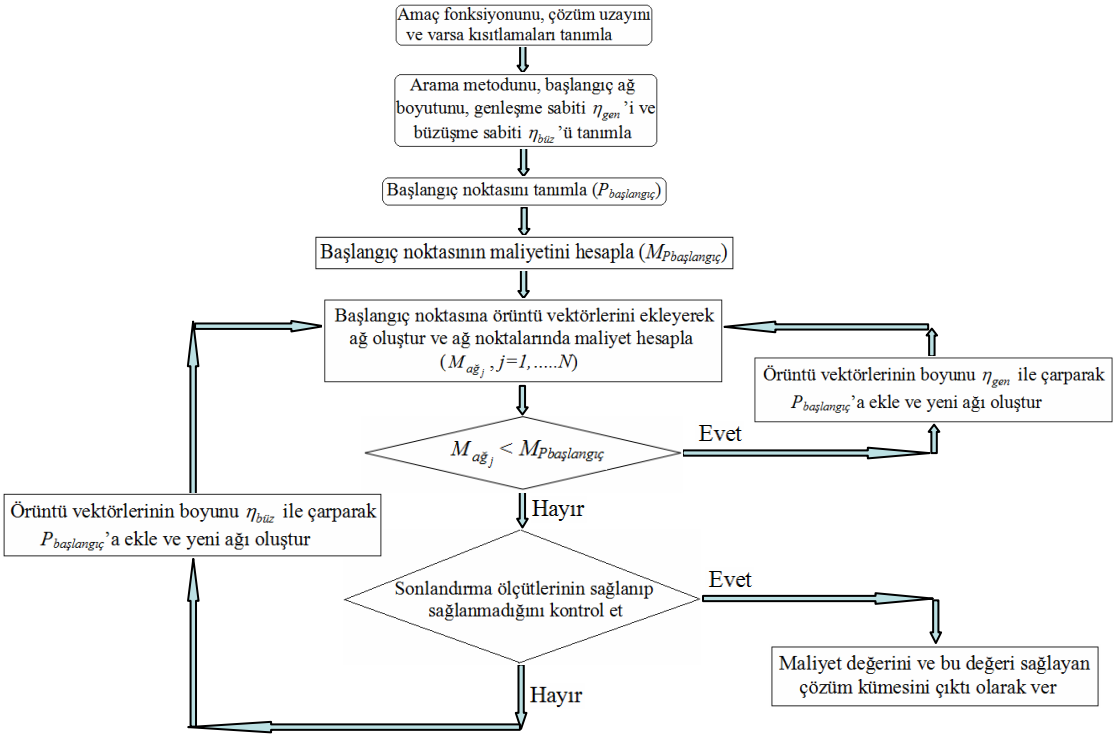
Geneleştirilmiş örüntü arama metodu, herhangi bir kısıtlama getirilmemiş minimizasyon problemlerinin çözümü için ilk kez Lewis (1991) tarafından ortaya konulmuş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yine Lewis ve Torczon (1999) tarafından çözüm uzayında sınırların ve genel doğrusal kısıtlamaların bulunduğu (Lewis ve Torczon, 2000) problemlere uyarlanmıştır. GPA algoritması, genişletilmiş Lagrange modelinde doğrusal olmayan kısıtlamalı problemlerin çözümüne de adapte edilmiştir (Lewis ve Torczon, 2002). GPA algoritması kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların özeti (Mahanti vd., 2007) çalışmasında bulunabilir.

GPA metodu süreksiz, türevi alınamayan, rastgele veya doğrusal olmayan bir fonksiyonun dahi minimum noktasını araştırmak için geliştirilmiş bir direkt arama metodudur. Böylelikle optimizasyon problemlerinin çözümünde, kullanılan amaç fonksiyonunun gradyanına ihtiyaç duymaksızın etkin bir şekilde kullanılabilir. Optimum bir nokta tespit etmek için gradyan veya yüksek dereceden türev bilgisine ihtiyaç duyan geleneksel metotlardan farklı olarak, GPA metodu başlangıç noktasının etrafındaki noktalar kümesi içinde amaç fonksiyonunun değeri başlangıç noktasının amaç fonksiyonundaki değerinden daha düşük olan bir noktayı arar. Bu tez çalışmasında, GPA algoritmasının temel adımları anlatılacaktır. GPA algoritması için daha detaylı bilgi (Lewis ve Torczon, 1999, 2000, 2002; Kolda, 2003) çalışmalarında bulunabilir.

GPA algoritması kısaca şu şekilde özetlenebilir: Algoritma gittikçe optimum noktaya daha çok yaklaşan sıralı noktaları hesaplar. Her adımda, başlangıç noktası etrafında ağ adı verilen noktalar kümesini ağda, başlangıç noktasının amaç fonksiyonundaki değerinden daha küçük bir amaç fonksiyonu değerine sahip noktayı bulana kadar araştırır. Bulunan daha düşük amaç fonksiyonu değerine sahip bu nokta bir sonraki adım için başlangıç noktası olarak atanır. Ağ, başlangıç noktasına örüntü vektörü adı verilen vektörler kümesinin eklenmesiyle oluşur. GPA algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 3.2.1'de gösterilmiştir. Bu akış diyagramına göre, algoritma üç ana adımdan oluşur: Tanımlamalar, yoklama ve sonlandırma işlemleri.

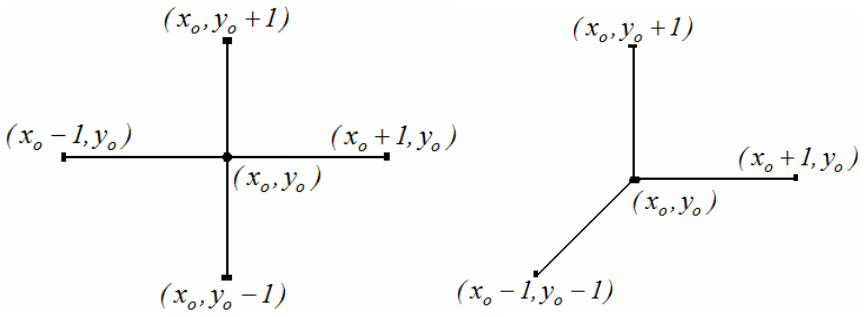
Adım 1. Tanımlamalar: Bu adım aşağıdaki alt adımları içerir.

Adım 1.1. Amaç fonksiyonunun ve çözüm uzayının tanımlanması: Amaç fonksiyonu tanımlandıktan sonra, çözümü oluşturan değişkenler $X_j, j = 1,....N$ ile ilgili kısıtlamalar verilir. Çözüm uzayının alt x_{ja} ve üst sınırları $x_{jü}$ $j = 1,....N$, çözümü oluşturan değişkenler için varsa eşitlik veya eşitsizlik kısıtlamaları ve yine mevcutsa doğrusal olmayan kısıtlama fonksiyonları bu aşamada tanımlanır.



Şekil 3.2.1 GPA algoritmasının akış diyagramı.

Adım 1.2. Çalışma parametrelerinin tanımlanması: Öncelikle arama metodunun belirlenmesi gerekir. Arama metodu, N bilinmeyen sayısını göstermek üzere, $2N$ tane doğrultuda veya N+1 doğrultuda seçilebilir. Örnek olarak iki değişken için tanımlanmış $2N$ veya N+1 sayıda doğrultuda arama metotları sırasıyla Şekil 3.2.2 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.2.2 GPA algoritmasının (a) $2N$ tane doğrultuda (b) N+1 tane doğrultuda patern arama yöntemleri.

Başlangıç noktasından ağ noktasına olan örüntü vektörünün boyu olan başlangıç ağ boyutunun $\Delta X_{j,}\ \ j = 1,....N$ tanımlanması gerekir. Algoritma başlangıç ağ boyutunu kullanarak arama doğrultuları boyunca arama işlemini gerçekleştirir. Daha sonra ağ

noktalarının güncellenmesi için kullanılacak genleşme katsayısı η_{gen} ve büzüşme katsayısı $\eta_{büz}$ değerleri tanımlanmalıdır. Bu değerlerin kullanılması yoklama işlemleri bölümünde anlatılacaktır.

Adım 1.3. Başlangıç noktasının $P_{başaşlang}(X_{j0}, j = 1,.....N)$ tanımlanması: Algoritmanın çalışmaya başlayabilmesi için bir başlangıç noktası ($P_{başlangıç}$) tanımlanmalıdır. Yakınsama hızının arttırılması için başlangıç noktası rastgele veya belirlenimci bir algoritma kullanılarak belirlenebilir.

Adım 2. Yoklama işlemi: Bu bölümde aşağıda verilen alt-adımdaki işlemler gerçekleştirilir:

Adım 2.1. Başlangıç noktası için maliyet ($M_{Pbaşlangıç}$) hesaplanır. Daha sonra amaç fonksiyonuna örüntü vektörleri eklenerek seçilen arama metoduna göre ağ oluşturulur ve ağ noktalarındaki maliyet ($M_{ağ_j}, j=1,.....N$) yeniden hesaplanır.

Adım 2.2. Ağ noktalarında $M_j, j = 1,....N$ hesaplanan amaç fonksiyonu değerleri şu anki noktanın $P_{şuanki}$ amaç fonksiyonu değeriyle karşılaştırılır.

Adım 2.3. Eğer ağ noktalarından $M_j, j = 1,....N$ herhangi birinin amaç fonksiyonu değeri şu anki noktanın $P_{şuanki}$ amaç fonksiyonu değerinden küçükse, bu nokta bir sonraki adımın başlangıç değeri olarak tanımlanır ve yoklama işlemi başarılı olmuştur denir. Tüm noktaların amaç fonksiyonu değerlerinin hesaplanması yerine yakınsamayı hızlandırmak için amaç fonksiyonu değeri, başlangıç noktasının amaç fonksiyonu değerinden daha küçük olan ilk ağ noktası bir sonraki adım için başlangıç noktası olarak da tanımlanabilir. Başarılı bir yoklama işleminden sonra örüntü vektörlerinin $\Leftrightarrow \eta_{exp}\Delta X_j, j = 1,....N$ boyu, genişleme katsayısı 1'den büyük bir değere sahip η_{gen} ile çarpılarak şu anki noktaya $P_{şuanki}(X_{şuanki}, j = 1,....N)$ eklenerek yeni bir ağ oluşturulur $M_j \Leftrightarrow X_{jsuanki} + \Delta X_j, j = 1,....N$ ve Adım 2.1'e gidilir.

Adım 2.4. Ağ noktalarının $M_j, j = 1,....N,$ amaç fonksiyonu değerleri başlangıç noktasının $P_{şuanki}$ amaç fonksiyonu değerinden küçük değilse yoklama işlemi başarısız olmuştur denir, başlangıç noktası değişmez ve sonlandırma ölçütlerine bakılır. Eğer sonlandırma ölçütlerinden herhangi biri sağlanıyorsa, çözüm kümesi $P_{çözüm}$ ve bu çözüm kümesine ait amaç fonksiyonu değeri algoritma çıktısı olarak verilir, ölçütlerden hiçbiri sağlanmıyorsa bir sonraki adıma geçilir.

Adım 2.5. Başarısız bir yoklama işleminden sonra gerçekleşen bu adımda öncelikle örüntü vektörlerinin boyu 1'den küçük bir değer olan büzüşme katsayısı $\eta_{büz}$ ile çarpılır $\Leftrightarrow \eta_{büz}\,\Delta X_j, j = 1,...N,$ ve bu vektörler başlangıç noktasına $P_{şuanki} \Leftrightarrow X_{jsuanki}, \quad j = 1,....N$ eklenerek yeni bir ağ oluşturulup $M_j \Leftrightarrow X_{jsuanki} + \Delta X_j, \; j = 1,....N$ Adım 2.1'e dönülür.

Adım 3. Bu adımda algoritmanın çalışmasının durması için sağlaması gereken ölçütler tanımlanmıştır: (i) Ağın boyutunun alabileceği en küçük değer sağlandığında, (ii) Tanımlanmış maksimum döngü sayısına ulaşıldığında, (iii) Tanımlanmış toplam amaç fonksiyonu hesaplama sayısına ulaşıldığında, (iv) Algoritmanın çalışması için verilen süre dolduğunda, (v) Art arda iki döngü sonunda hesaplanan amaç fonksiyonu değerindeki değişimin tanımlanmış değerden küçük olduğunda algoritmanın çalışması sona erer.

Yukarıda genel hatlarıyla işleyişi açıklanan ve akış diyagramı verilen GPA algoritmasının verilen amaç fonksiyonlarını nasıl optimize edildiğinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki örnek sunulmuştur. Bu örnekte minimize edilmek istenilen amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$f = \begin{cases} [x(i,1)+5]^2 + |x(i,2)| & x(i,1) < -5; \\ -2 * sin(x(i,1)) + |x(i,2)| & x(i,1) < -3; \\ 0.5 * x(i,1) + 2 + |x(i,2)| & x(i,1) < 0; \\ 0.3 * \sqrt{x(i,1)} + 5/2 + |x(i,2)| & x(i,1) \geq 0; \end{cases} \tag{3.2.1}$$

Burada *x* bilinmeyeni yalnızca iki boyutludur. Bu durumda *i* de yalnızca 1'den 2'ye kadar değişmektedir. Çözüm uzayı için herhangi bir sınır ve bilinmeyenler için herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir. Arama metodu olarak *2N* doğrultuda arama, başlangıç ağ boyutu bir birim, genişleme katsayısı η_{gen} ve büzüşme katsayısı $\eta_{büz}$ sırasıyla 2 ve 0.5 seçilmişlerdir. Başlangıç noktası $P_{başlangıç}$ olarak da [2.1, 1.7] noktası seçilmiştir.

Verilen bu başlangıç noktası amaç fonksiyonuna yerleştirilerek bu noktanın maliyeti 4.6347 olarak hesaplanmıştır. Başlangıç noktasına örüntü vektörleri eklendiğinde aşağıdaki ağ noktaları bulunur.

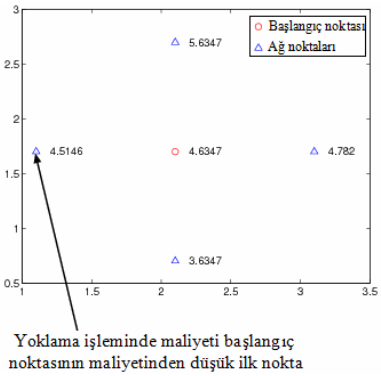
$$[1\ 0] + P_{başlangıç} = [3.1\ 1.7] \tag{3.2.2}$$

$$[0\ 1] + P_{başlangıç} = [2.1\ 2.7] \tag{3.2.3}$$

$$[-1\ 0] + P_{başlangıç} = [1.1\ 1.7] \tag{3.2.4}$$

$$[0\ -1] + P_{başlangıç} = [2.1\ 0.7] \tag{3.2.5}$$

Burada tüm ağ noktaları için maliyet hesabı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu maliyet değerleri, Şekil 3.2.3'de gösterilmiştir. Şekil 3.2.3'de görüldüğü gibi maliyeti daha düşük olan ilk nokta [1.1 1.7] noktasıdır.



Şekil 3.2.3 2*N* tane doğrultuda gerçekleştirilen arama metodu için ağ noktalarındaki maliyet değerleri.

Bu örnekte maliyeti başlangıç noktasının maliyetinden düşük ilk noktanın bir sonraki adımın başlangıç noktası olması tercih edilmiştir. Tüm noktalar içinden en düşük maliyetli olanın bir sonraki adımın başlangıç noktası olarak seçilmesi de diğer bir seçenektir. Başarılı bir yoklama adımından sonra örüntü vektörlerinin boyu genleşme katsayısı η_{gen} ile çarpılarak başlangıç noktasına eklenerek yeni ağ oluşturulmuştur. Oluşan yeni ağ noktaları aşağıdaki gibidir:

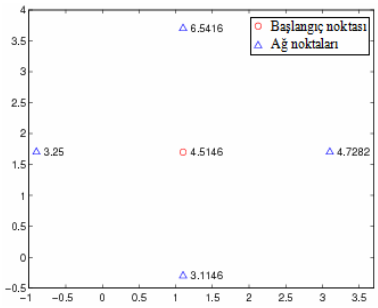
$$2*[1\ 0] + P_{başlangıç+1} = [3.1\ 1.7] \tag{3.2.6}$$

$$2*[0\ 1] + P_{başlangıç+1} = [1.1\ 3.7] \tag{3.2.7}$$

$$2*[-1\ 0] + P_{başlangıç+1} = [-0.9\ 1.7] \tag{3.2.8}$$

$$2*[0\ -1] + P_{başlangıç+1} = [1.1\ -0.3] \tag{3.2.9}$$

Oluşturulan yeni ağ noktalarının maliyet değerleri de Şekil 3.2.4'de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi maliyeti 3.25 olan [-0.9 1.7] noktası düşük maliyetli ilk nokta olduğundan bir sonraki adımda başlangıç noktası olarak kullanılacaktır.



Şekil 3.2.4 Başarılı bir yoklama işleminden sonraki ağ noktaları için hesaplanmış maliyetler.

Bu aşamada da aynı işlemler yapılmış ve [-4.9, 1.7] noktası en düşük maliyete sahip nokta olarak bulunmuştur. Bu adımda ağ boyu 8 birime ulaşmıştır ve başlangıç noktasına eklendiğinde oluşan değerler aşağıda verilmiştir:

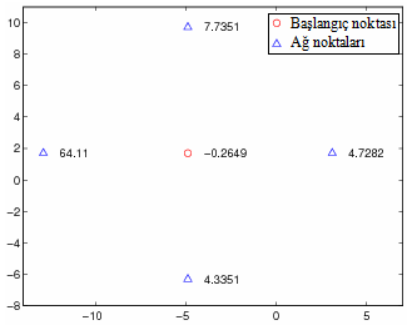
$$8*[1\ 0] + P_{başlangıç+3} = [3.1\ 1.7] \quad (3.2.10)$$

$$8*[0\ 1] + P_{başlangıç+3} = [-4.9\ 9.7] \quad (3.2.11)$$

$$8*[-1\ 0] + P_{başlangıç+3} = [-12.9\ 1.7] \quad (3.2.12)$$

$$8*[0\ -1] + P_{başlangıç+3} = [-4.9\ -1.3] \quad (3.2.13)$$

Elde edilen bu noktalar için hesaplanan maliyet değerleri de Şekil 3.2.5'de verilmiştir. Şekil 3.2.5'de görüldüğü gibi hiçbir noktanın maliyeti başlangıç noktasının maliyetinden düşük değildir. Bu durumda yoklama işlemi başarısız olmuştur denir ve başlangıç noktasının yeri değişmez. Örüntü vektörlerinin boyu büzüşme katsayısı $\eta_{büz}$ ile çarpılarak yeni ağ oluşturulur ve yukarıda açıklanan işlemler sonlandırma ölçütlerinden biri sağlanana kadar devam eder.



Şekil 3.2.5 Başarısız olmuş bir yoklama işlemine ait ağ noktalarındaki maliyetler.

4. DİZİLİM ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN ANTENLERİN BESLEME GENLİKLERİ ve ARALARINDAKİ MESAFELER KULLANILARAK GPA ALGORİTMASI İLE SENTEZİ

Birçok haberleşme sisteminde noktadan noktaya haberleşmek amaçlanmakta, bu yüzden yönlülük değeri yüksek ışıma örüntüleri kullanmak gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, ışıyan elemanları bir araya getirerek bir dizilim oluşturulabilir ve böylelikle kazanç değeri yüksek ana huzmeler elde edilebilir. Haberleşme sistemlerinde aşılması gereken problemlerden biri de yüksek sinyal/gürültü oranının sağlanmasıdır. Çoklu sinyallerin bastırılması sağlanarak ve girişim yapan sinyallerin bulunduğu dar/geniş bölgelere sinyal ulaşması engellenerek bu problem çözülebilir. Haberleşme sistemlerinin bu taleplerinin varlığı, tüm bu hedeflerin çok hedefli bir optimizasyon problemi oluşturularak bu problemin uygun çözüm metotlarıyla çözülmesini gerekli kılmaktadır.

Günümüzde, YLS bastırılırken ana huzme kazancının korunması ile ilgili çalışmalar yapılırken, aynı zamanda yalnızca girişim yapan ve boğucu sinyallerin bastırılması için yapılan çalışmalar da mevcuttur (Yan ve Lu, 1997; Mahanti vd., 2007a; 2007b; Murino, 1996; Boeringer ve Werner, 2004; Khodier ve Christodoulou, 2005; Mahmoud vd., 2007; Babayigit, 2006; Guney ve Onay, 2007; Guney ve Basbug, 2008; Mouhamadou vd., 2006; Guney ve Akdağlı, 2001). Diğer taraftan elde edilen değerler sentez işleminde kulanılacak optimizasyon değişkenlerine de bağlı olacaktır. Dizilim antenlerin örüntü sentezi alanında 60 yıldır birçok sentez yöntemi kullanılmıştır. Genel olarak tek bir sistem değişkenini optimize eden bu çalışmaları iki kategoride toplayabiliriz. İlkinde antenler arasındaki mesafelerin düzgün olduğu durumda dizilimi oluşturan antenlerin besleme genlik ve fazları optimize edilirken (Yan ve Lu, 1997; Mahanti vd., 2007b; Murino, 1996; Khodier ve Christodoulou, 2005; Mahmoud vd., 2007; Babayigit, 2006; Guney ve Onay, 2007; Guney ve Basbug, 2008; Mouhamadou vd., 2006; Guney ve Akdağlı, 2001), diğerinde ise antenlerin genliklerinin düzgün olduğu durumda antenler arasındaki mesafeler optimize edilir (Mahanti vd., 2007a; Boeringer ve Werner, 2004).

Bu tez çalışmasında hem dizilimi oluşturan antenler arasındaki mesafeler hem de antenlerin besleme genlikleri optimize edilerek, dizilimin fiziksel seriminin ve genlik ayarlama devresinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sentez işleminde, ışıma örüntüsünün ilgili nokta doğrultusunda maksimizasyonu ve istenmeyen bozucu sinyallerin bulunduğu doğrultulardaki dar/geniş bölgelerin bastırılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda (i) Dört tane toplam

örüntüsüne ve bir tane fark örüntüsüne sahip doğrusal dizilim antenler kullanılmış (ii) Yukarıda belirtilen çok hedefli optimizasyon problemi *DF* ve yönlülük terimlerinin logaritmik toplamları şeklinde ifade edilmiş (iii) Herbir elemanın pozisyonunu belirleyen d_n ve herbir elemanın besleme genliği A_n değerleri optimizasyon işlemindeki karar değişkenleri olarak belirlenmiştir.

Bilindiği gibi optimizasyon problemlerinin çözümü sonucunda elde edilen değer, optimizasyon esnasında kullanılan algorimaya da bağlıdır. Şu ana kadar genetik algoritma, benzetimli tavlama algoritması, parçacık sürüsü optimizasyonu, koloni seçimi algoritması, arı algoritması gibi evrimsel tabanlı algoritmalar kullanılarak dizilim antenlerin performans optimizasyonu problemi çözülmeye çalışılmıştır. Bu algoritmalar ile gerçekleştirilmiş dizilim anten sentezi çalışmalarından başlıcaları (Yan ve Lu, 1997; Mahanti vd., 2007b; Murino, 1996; Khodier ve Christodoulou, 2005; Mahmoud vd., 2007; Babayigit, 2006; Guney ve Onay, 2007; Guney ve Basbug, 2008; Mouhamadou vd., 2006; Guney ve Akdağlı, 2001) olarak verilebilir. Burada verilen algoritmaların ortak karakterleri rastgele oluşları ve bu yüzden tekrar edilemeyen performanslara sahip olmalarıdır.

4.1 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması

Bu uygulama örneğinde, istenilen ışıma örüntüsünün elde edilebilmesi amacıyla, doğrusal geometriye sahip bir dizilim antenin elemanları arasındaki mesafelerin ve dizilimi oluşturan elemanlardan her birinin besleme genliklerinin, daha önceki bölümde ayrıntılarıyla verilmiş olan GPA algoritması kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu durumda $X_j, j = 1,....N$ çözüm uzayını elemanın pozisyonları d_n ve uyarım genlikleri A_n oluşturur. Bu uygulamada sentezlenecek ışıma örüntüsünün minimum YLS'ye sahip olması, ana huzmenin istenilen doğrultudaki kazancının maksimizasyonu ve girişimin bulunduğu doğrultu veya doğrultuların bastırılması hedeflenmiştir. Tüm bu amaçlar, dizilim faktörünün genliğinin logaritmasının ağırlıklı toplamları ve Bölüm 2'de verilen kazanç fonksiyonu şeklinde, aşağıda verilen tek bir amaç fonksiyonunda toplanmıştır:

$$\begin{aligned} Amaç = {} & w_1\, 20\log\left\{\sum_l \frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi_a}^{\phi_{ü}} \left|FF(\phi)\right| d\phi\right\} + w_3\, 20\log\left\{\sum_k \left|FF(\phi_k)\right|\right\} \\ & + w_2\, 20\log\left\{\sum_i maksimum\left\{FF(\phi)\Big|_{\phi_a}^{\phi_{ü}}\right\}\right\} - w_4\, 20\log D \end{aligned} \tag{4.1.1}$$

$$d_{n+1} - d_n \geq 0.5\lambda, \quad n = 1,.....N-1 \tag{4.1.2}$$

$$\frac{A_{mak.}}{A_{\min.}} \leq C, \qquad C > 1 \tag{4.1.3}$$

(4.1.1) eşitliğinde ϕ_{a_l} ve $\phi_{\ddot{u}_l}$ l=1,…L, bastırılmak istenilen dar/geniş bölgenin alt ve üst sınırlarını, $\Delta\phi_l$ ise $\Delta\phi_l = \phi_{\ddot{u}_l} - \phi_{a_l}$ eşitliğiyle bu bölgenin genişliğini vermektedir. ϕ_k, k=1,…K ise, girişim bulunması sebebiyle bastırılmak istenilen doğrultuları, $w_i, i = 1,...4$ ağırlık katsayılarını göstermektedir. Ağırlık katsayıları, amaç fonksiyonunu oluşturan terimlerin değerlerinin belli bir aralıkta bulunmaması sebebiyle, bir hedefin başarılmasının diğer hedefler yanında baskın olduğu durumda, bu baskınlığı ortadan kaldırmak için kullanılır. Örneğin, iki adet hedefin toplamı şeklinde oluşturulmuş bir amaç fonksiyonunda, bir hedefin minimizasyonu diğer hedefe oranla daha kolaysa, algoritma toplam şeklinde verilen amaç fonksiyonunu minimum yapmak için minimizasyonu kolay olan hedefe ağırlık verecektir. Böyle bir durumda, her iki hedefe de dengeli bir şekilde ulaşılabilmesi için, minimizasyonu daha zor olan hedef bir ağırlıkla çarpılır. Bu hedefin amaç fonksiyonundaki öneminin arttırılması için ağırlık değeri birden büyük olacak şekilde seçilir. Bu uygulamada, (4.1.1) ile verilen amaç fonksiyonunu oluşturan her bir hedef fonksiyonu benzer aralıklarda değer alacak şekilde düzenlendiğinden, ağırlık katsayıları her bir hedef için birim olarak alınabilmiştir.

(4.1.1) ile verilen amaç fonksiyonundaki ilk terim istenilen açılar arasında kalan bölgedeki ortalama değeri, ikinci terim ise bu bölgedeki maksimum değerin minimizasyonu için belirlenmiştir. Üçüncü terim, girişim bulunduğu düşünülen doğrultuların bastırılması için kullanılır. Son terim ise, istenilen doğrultuya yöneltilmiş ana huzmenin kazancının maksimizasyonunun sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Işıma örüntüsünden istenebilecek temel talepleri içeren (4.1.1) eşitliğiyle verilen amaç fonksiyonundaki terimler hep birlikte kullanılabileceği gibi, sentezlenecek olan ışıma örüntüsünden beklentiler doğrultusunda tek tek veya bir kaçı bir arada olacak şekilde de kullanılabilir.

Bu uygulamada, antenler arasında oluşacak ortak kuplaj etkisini en aza indirmek amacıyla tasarımda (4.1.2) ve (4.1.3) ile verilen kısıtlamalar kullanılmıştır. Antenler arasındaki mesafelerin 0.5λ'dan küçük olması (4.1.2) eşitsizliğiyle engellenmiştir. Dizilimi oluşturan elemanların besleme genlikleri de dinamik oran aralığı (DOA=$A_{\text{mak.}}/A_{\text{min.}}$) belli bir değerden küçük olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Böylece, dizilimi oluşturan elemanların genlikleri

arasında büyük farklar oluşması engellenerek, ortak kuplaj etkisinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu uygulamada (4.1.2) ve (4.1.3) ile verilen kısıtlamaların ortak kuplaj etkisinin en aza indirilmesindeki başarısının gözlenebilmesi için bu kısıtlamalar kullanılarak ve kullanılmayarak dizilimi oluşturan her bir antenin pozisyonu ve uyarım genlikleri optimize edilmiş, elde edilen bu değerler kullanılarak oluşturulan ışıma örüntüleri CST tam-dalga elektromagnetik benzetim programı ile de elde edilerek ortak kuplaj etkisinin, ışıma örüntüleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. (4.1.2) eşitliğindeki C parametresi gerçekleştirilen uygulamalarda dizilimi oluşturan toplam anten sayısına bağlı olarak 3 ile 15 arasında tamsayı değerleri olarak seçilmiştir.

4.2 GPA Optimizasyonu

GPA algoritmasının dizilim anten sentezi işlemindeki çalışma mekanizmasının açıklanması için bu bölümde 24 elemanlı doğrusal bir dizilim anten, aşağıda verilen amaç fonksiyonunun taleplerini karşılayacak şekilde GPA algoritması ile optimize edilmiştir.

$$\begin{aligned} Amaç\ Fonksiyonu = 20\log\left\{\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi_a}^{\phi_{ü}}\left|FF(\phi)\right|d\phi\right\} - 20\log D \\ + 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\theta)\right|_{\phi_a=6^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \end{aligned} \tag{4.2.1}$$

Buradan görülebileceği gibi $30^o - 70^o$ arasındaki yan lob bölgesinin ortalama değeri ile $6^o - 90^o$ arasındaki tüm yan lob bölgesinin maksimum değerinin bastırılması, aynı zamanda ana huzme kazancının da maksimizasyonu amaçlanmıştır. GPA algoritmasının başlaması için tanımlanan değerler aşağıda verilmiştir:

- $2N$ (24, optimizasyon değişkenlerinin sayısı) sayıdaki ağ vektörlerinin her birinin boyu birim uzunluklu olacak şekilde seçilmiştir.
- Genleşme faktörü $\eta_{gen} = 2$;
- Büzüşme faktörü $\eta_{büz} = 0.5$.

GPA algoritmasının optimizasyona başlamak için ihtiyaç duyduğu başlangıç noktası, rastgele seçilmek yerine, GA'nın kısa bir süreyle çalıştırılmasıyla gerçekleştirilen bir tohumlama işlemiyle elde edilmiştir. GA için optimizasyonda kullanılan parametreler şu şekildedir:

• Popülasyon büyüklüğü: pop=$2N$ = 24, problemdeki değişkenlerin sayısı;

• Çaprazlama oranı: p_c = 0.75;

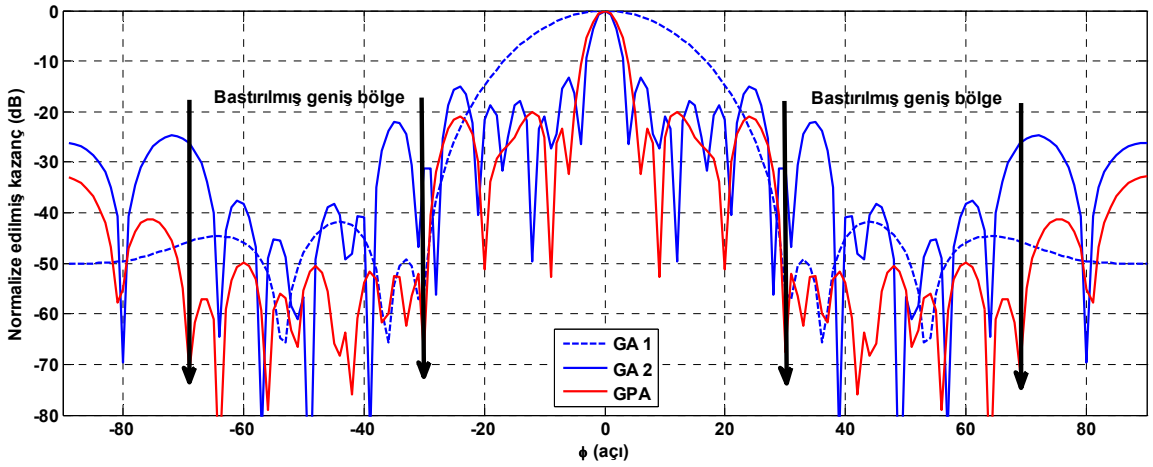
• Mutasyon oranı: $p_m = 0.01$;

• Maksimum nesil sayısı: $MaxG = 30$.

Yukarıda bahsedilen tohumlama işlemi, GPA algoritmasının amaç fonksiyonunu daha hızlı bir şekilde minimum değere yakınsatmak amacıyla kullanılmıştır. GA algoritması (4.2.1) ile verilen amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek için yukarıda verilen parametreleri kullanarak yalnızca 30 nesil için koşturulmuştur.

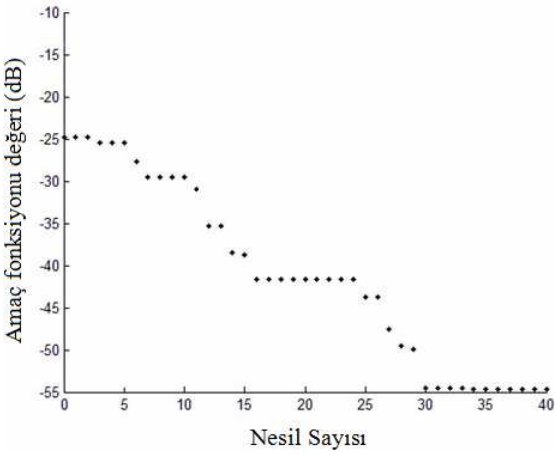
GA kullanılmasında, mutasyon ve çaprazlama işlemlerinin rastgeleliliği sebebiyle değişik arama rutinleri kullanıldığından GA'nın her bir koşturulması sonucunda elde edilecek değerler farklı olacaktır. Bu yüzden, algoritmanın çok sayıda koşturulması sonucunda daha iyi bir yakınsama eğrisi elde etme olasılığı artacaktır. Bu tezde, GPA algoritması ile elde edilen sonuçlar, GA algoritmasıyla elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılacaktır. Bu yüzden, tohumlama işlemi neticesinde elde edilen nokta GA için de başlangıç noktası olarak kullanılarak, GPA ile eşit sayıda döngü sayısıyla tatmin edici değerler elde edilene kadar koşturulmuştur.

GA ile gerçekleştirilen tohumlama işlemi sonucunda elde edilen noktanın örüntüsüyle, bu noktadan başlayarak eşit döngü sayısı sonucunda GPA ve GA ile elde edilen noktalara ait örüntüler Şekil 4.2.1'de, her bir optimizasyon işlemi için elde edilen yakınsama eğrileri ise Şekil 4.2.2 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.2.1'de verilen ışıma örüntülerinin özellikleri ve bu örüntülere ait çözüm kümeleri Çizelge 4.2.1 (a) ve (b)'de sunulmuştur.

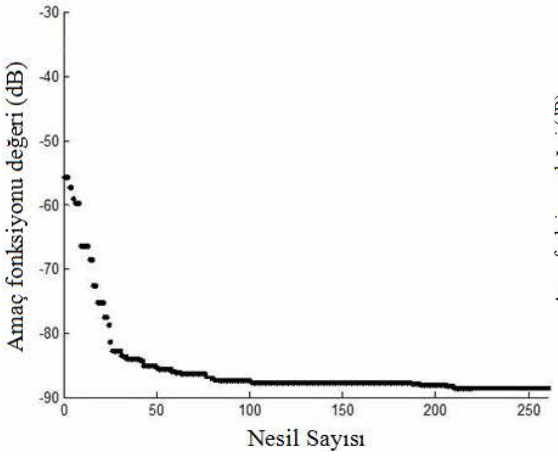


Şekil 4.2.1 24 elemanlı doğrusal dizilim antenlerin normalize edilmiş ışıma örüntüleri. Yan lob seviyeleri [6^o - 90^o] bölgesinde bastırılırken, bastırılmış geniş bölge [30^o - 70^o] arasındadır.

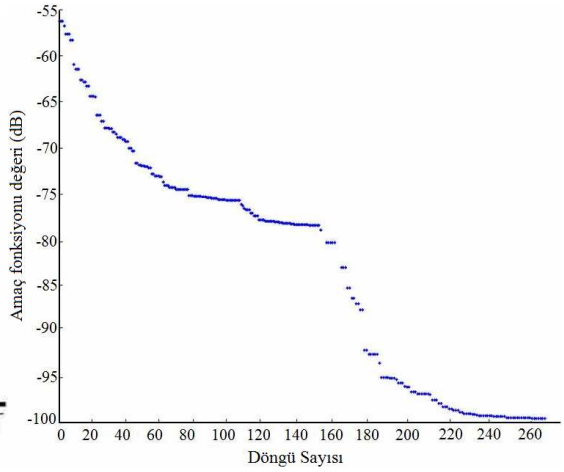
Şekil 4.2.2'de verilen yakınsama eğrilerinden görüleceği gibi, GA ile gerçekleştirilen tohumlama işleminden sonra GA ile aynı noktadan başlayan GPA algoritması, toplam 260 döngü sonunda amaç fonksiyonunu daha küçük seviyelere indirmeyi başarmıştır. Her bir işlem sonucunda oluşan örüntüler, Şekil 4.2.1'den takip edilebileceği gibi Çizelge 4.2.1(a)'dan da takip edilebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.2.2 Şekil 4.2.1'de verilen ışıma örüntüleri için (a) GA 1 (b) GA 2 (c) GPA işlemleri sonucu elde edilmiş yakınsama eğrileri.

Çizelge 4.2.1'de görüldüğü gibi GA ile tohumlama sonrasında elde edilen örüntünün yönlülüğü dolayısıyla kazancı GPA algoritması ile elde edilen değerden daha başarılıyken, MYLS'nin ve $30^o - 70^o$ aralığının bastırılması taleplerinin karşılanmasında ve toplam amaç fonksiyonunun minimizasyonunda daha başarısızdır.

Çizelge 4.2.1 Şekil 4.2.1'de verilen örüntülere ilişkin (a) ışıma özellikleri ve amaç fonksiyonu değerleri (b) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları

Optimizasyon Algoritması	Amaç Fonksiyonu Değeri(dB)	D	YGHG(ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $6^o \le \phi \le 90^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $30^o \le \phi \le 70^o$
GA 1	-54	5.81	18.9^o	-3	-42
GA 2	-88	26.09	3.6^o	-13.2	-22.1
GPA	-100	23.50	4.46^o	-20	-49

(a)

GA 1	$A_n(A)$	0.159	0.803	0.702	1.000	0.474	0.461	0.047	0.434	0.380	0.770	0.093	0.474
	$d_n(\lambda)$	0.035	0.159	0.211	0.482	0.489	0.535	0.622	0.931	0.988	1.099	1.135	1.646
GA 2	$A_n(A)$	0.811	0.677	0.789	0.921	0.928	0.534	0.979	0.717	0.129	0.416	0.891	0.713
	$d_n(\lambda)$	0.464	1.062	1.487	2.238	2.989	3.439	3.995	4.809	5.389	5.563	5.930	6.545
GPA	$A_n(A)$	0.768	0.649	0.371	1.000	0.687	0.445	0.997	0.967	0.608	0.337	0.194	0.165
	$d_n(\lambda)$	0.349	0.552	1.079	1.370	2.119	2.618	3.285	4.072	4.911	5.671	6.056	6.635

(b)

Bundan sonraki bölümde (4.1.1) ile verilen amaç fonksiyonu ve (4.1.2), (4.1.3) kısıtlama koşulları kullanılarak farklı örüntü taleplerinin karşılanması örnekleri verilecektir. Verilecek tüm örneklerde bu bölümde verilen tohumlama işlemi uygulanarak amaca yakınsama başarısı arttırılmıştır.

4.3 Doğrusal Dizilim Anten Sentezi Örnekleri

Bu bölümde, bir önceki bölümde tanıtılan tohumlama işlemi uygulanarak başlatılan GA ve GPS algoritmaları, (4.1.1) ile verilen amaç fonksiyonunun çeşitli dizilim anten tasarımları için minimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Antenler arasında oluşan ortak kuplaj etkisinin dizilimi oluşturan antenlerin aralarındaki mesafeye bağlılığını göstermek ve örüntü çarpımı ile elde edilen örüntünün özelliklerinin tam-dalga simülasyonu ile de elde edilebileceğinin gösterilebilmesi maksadıyla her bir tasarım örneği için iki farklı optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilkinde antenler arasındaki mesafeler hiçbir kısıtlama olmaksızın optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiş, ikincisinde ise (4.1.2) ile verilen kısıtlama antenler arasındaki mesafelere uygulanmıştır. Her iki optimizasyon algoritması da MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimize edilen tüm ışıma örüntüleri yönlülük ve yarım güç huzme genişliği (YGHG) özellikleri bakımından birim genlik değerleriyle

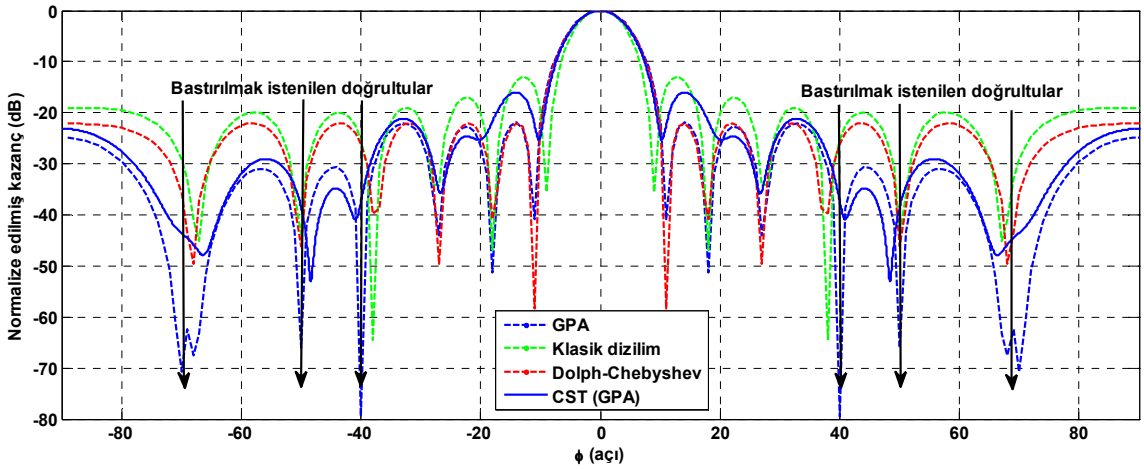
beslenmiş, aralarında düzgün mesafe bulunan "klasik dizilim" örüntüsü ile kıyaslanmıştır. Aynı zamanda, GPA algoritması ile elde edilmiş örüntü ile eşit MYLS'ye sahip ve aynı sayıda antenden oluşmuş Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntüleri, diğer örüntü taleplerinin karşılanması açısından kıyaslanmıştır. Örüntülerin karşılaştırılmasında kullanılan tüm klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin toplam uzunluğu, GPA algoritması ile elde edilen dizilimlerin toplam uzunluğuyla eşit olacak şekilde oluşturulmuştur. Bunun sebebi yönlülük özelliğinin dolayısıyla kazancın toplam anten uzunluğuyla orantılı olarak artmasıdır.

Bunun dışında, dizilimi oluşturan antenler arasındaki ortak kuplaj etkisinin gözlemlenebilmesi böylece örüntü çarpımı ile gerçekleştirilen optimizasyon sonucu elde edilen dizilimin örüntüsünün kuplajın bulunduğu bir ortamda da geçerli olabileceğini göstermek amacıyla GPA ile elde edilen dizilim, üç boyutlu bir elektromagnetik alan benzetim programı olan CST ile gerçeklenmiştir. CST benzetiminde 2.6 GHz frekansında yarım-dalga dipol antenler kullanılmıştır. Ayrıca, (4.1.2) kısıtlamasının kullanıldığı durumlar için, tohumlama işleminden sonucunda elde edilmiş noktanın başlangıç noktası olarak kullanıldığı GA da GPS algoritması ile eşit sayıda döngü sayısı için koşturulmuş ve elde edilen ışıma örüntüleri karşılaştırılarak bu algoritmaların optimizasyon performansları kıyaslanmıştır.

İlk tasarım örneğinde, toplam örüntüsü konfigurasyonuna sahip 10 elemanlı doğrusal bir dizilim antenin örüntüsünün [14^o-90^o] aralığında minimum YLS'ye sahip olması, 40^o, 50^o ve 70^o doğrultularında var olduğu düşünülen girişimleri bastırması ve aynı zamanda yüksek kazanç değerine, düşük YGHG değerine sahip olması beklenmektedir. Bu taleplerin karşılanması için oluşturulan amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$\begin{aligned} Amaç\ Fonksiyonu = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=14^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} - 20\log D \\ + 20\log\left\{\left|FF(40^o)\right|\right\} + 20\log\left\{\left|FF(50^o)\right|\right\} + 20\log\left\{\left|FF(70^o)\right|\right\} \end{aligned} \tag{4.3.1}$$

Burada, (4.1.1) ile verilen eşitlikteki yan lob bastırmak için kullanılabilecek terimlerden yalnızca istenilen bölgedeki MYLS'nin bastırılması için kullanılan terim tek başına (4.3.1) eşitliğinde yer almaktadır. DOA ve toplam anten uzunluğu kısıtlaması kullanılıp, antenler arasındaki mesafelerin optimize edilmesiyle ilgili bir kısıtlama uygulanılmaksızın GPA algoritması ile gerçekleştirilen optimizasyon işlemi sonucu elde edilen örüntü Şekil 4.3.1'de verilmiştir. Bu şekilde GPA ile elde edilmiş dizilimle aynı elektriksel uzunluğa sahip klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin yanı sıra, CST benzetimi sonuçları da verilmiştir.



Şekil 4.3.1 10 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 4.3.1'de görüldüğü gibi, antenler arasındaki kuplaj etkisinin göz önünde bulundurulmadığı örüntü çarpımı metoduyla GPA optimizasyonu kullanılarak elde edilmiş ışıma örüntüsü (4.3.1) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepleri başarıyla gerçekleştirmektedir. Klasik dizilimle karşılaştırıldığında YGHG yaklaşık 1^{o} fazla olmasına rağmen MYLS'nin ve girişim doğrultularının bastırılmasındaki başarısı Şekil 4.3.1'den kolaylıkla görülmektedir. Eşit MYLS'ye sahip Dolph-Chebyshev dizilimi örüntüsü ile karşılaştırıldığında da amaç fonksiyonundaki tüm taleplerin GPA algoritması ile elde edilmiş örüntü ile daha iyi karşılandığı görülmektedir. CST benzetimi ile elde edilmiş örüntü incelendiğinde ise, GPA optimizasyonu ile örüntü çarpımı kullanılarak elde edilmiş örüntünün antenler arasında oluşan kuplaj etkisi sebebiyle pratikte elde edilemeyeceği anlaşılmaktadır. Çizelge 4.3.1(a)'da verilen çözüm kümeleri incelendiğinde, GPA ile elde edilmiş dizilimde, orijinin hemen sağındaki ve solundaki elemanlar arasında $2*0.209\lambda < 0.5\lambda$ olduğu görülmektedir. Dizilimi oluşturan antenlerden yalnızca ikisi arasındaki mesafenin bile 0.5λ'dan küçük olmasının bu sonucu doğurduğu düşünülmektedir. Şekil 4.3.1'de verilen ışıma örüntülerinin özellikleri Çizelge 4.3.1(b)'de verilmiştir.

GPA algoritması kullanılarak belirlenmiş genliklerin ve antenler arası mesafelerin kullanılmasıyla örüntü çarpımı yoluyla elde edilmiş ışıma örüntüsünün, kuplaj etkisini içeren CST benzetimiyle daha fazla örtüşmesini sağlamak amacıyla bundan sonraki aşamada (4.1.2) ile verilen kısıtlama da optimizasyon işlemi sırasında göz önünde bulundurulacaktır.

Çizelge 4.3.1 Şekil 4.3.1'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.691	1.000	0.955	0.761	0.478
	$d_n(\lambda)$	0.209	0.739	1.438	2.228	2.944
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.325	0.975	1.625	2.275	2.925
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.912	0.754	0.557	0.524
	$d_n(\lambda)$	0.325	0.975	1.625	2.275	2.925

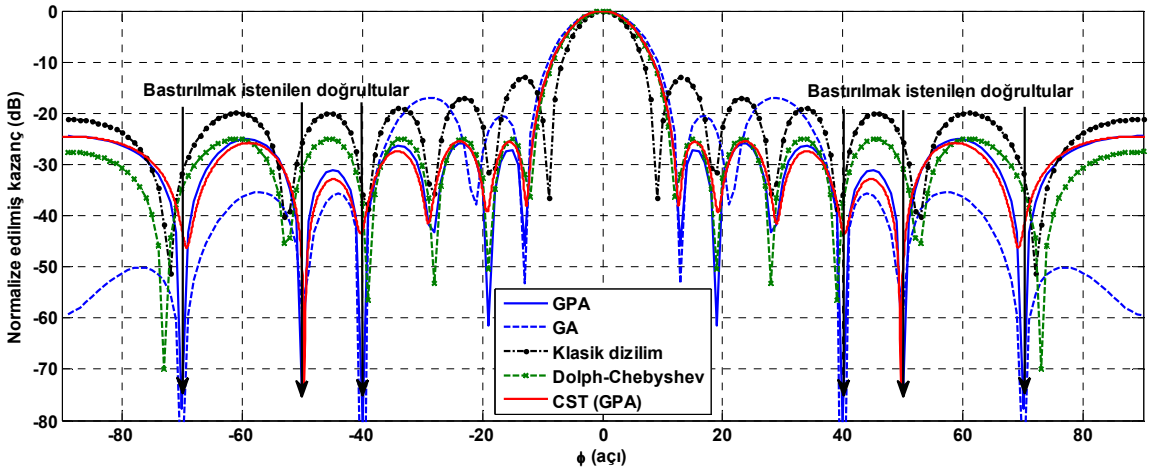
(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS(dB)	YGHG(ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(40^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(50^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(70^o)\rvert$ (dB)
GPA	12.14	-22	8.9	-133	-87	-91
Klasik dizilim	12.79	-13	7.8	-29	-43	-25
Dolph-Chebyshev	11.87	-22	9.2	-35	-46	-26
CST (GPA)	12.24	-16	8.7	-37	-38	-43

(b)

Şekil 4.3.2'de antenler arasındaki mesafeler için (4.1.2) koşulu uygulanarak GPA algoritması ile elde edilmiş örüntü, klasik dizilim örüntüsü, Dolph-Chebyshev örüntüsü ve CST benzetimi örüntüsü ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Antenler arasındaki mesafeler ile ilgili (4.1.2) ile verilen kısıtlama kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sonucu elde edilen çözüm kümesi Çizelge 4.3.2(a)'da, Şekil 4.3.2'de verilen ışıma örüntülerinin özellikleri ise Çizelge 4.3.2(b)'de verilmektedir.

Şekil 4.3.2 ve Çizelge 4.3.2(a) incelendiğinde, GPA ile elde edilen ışıma örüntüsünün beklenen tüm talepleri başarıyla gerçekleştirebildiği görülmektedir. Klasik dizilime ait örüntünün YGHG'si diğer diğer alternatiflere göre daha küçük olsa da MYLS başta olmak üzere diğer taleplerin gerçeklenmesi klasik dizilim ile mümkün değildir. GPA optimizasyonuyla elde edilen örüntü Dolph-Chebyshev dizilimi ile elde edilen örüntüyle kıyaslandığında, MYLS ve YGHG değerleri yaklaşık olarak aynı olmalarına rağmen girişim doğrultuların başarıyla bastırılması yalnızca GPA ile elde edilen örüntü ile sağlanabilmiştir.



Şekil 4.3.2 10 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Çizelge 4.3.2 Şekil 4.3.2'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	1.000	0.917	0.712	0.537	0.371
	$d_n(\lambda)$	0.306	0.912	1.536	2.160	2.831
GA	$A_n(A)$	1.000	0.705	0.686	0.722	0.362
	$d_n(\lambda)$	0.270	0.806	1.343	1.911	2.474
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.315	0.945	1.575	2.205	2.835
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.899	0.721	0.505	0.395
	$d_n(\lambda)$	0.315	0.945	1.575	2.205	2.835

(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(40^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(50^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(70^o)\rvert$ (dB)
GPA	11.14	-25	9.8^o	-81.5	-73.8	-77.7
GA	10.09	-17	10.6^o	-90.4	-58.1	-91.7
Klasik dizilim	12.45	-13	8.1^o	-35.8	-25.7	-31.7
Dolph-Chebyshev	11.36	-25	9.6^o	-37.7	-30.9	-34.8
CST (GPA)	11.14	-25	9.8^o	-43	-50.5	-42.9

(b)

GA ile elde edilen dizilimin örüntüsünde girişimin bulunduğu doğrultular iyi şekilde bastırılırken, MYLS GA ile oluşturulmuş örüntüde GPA örüntüsünden 8 dB daha yüksektir.

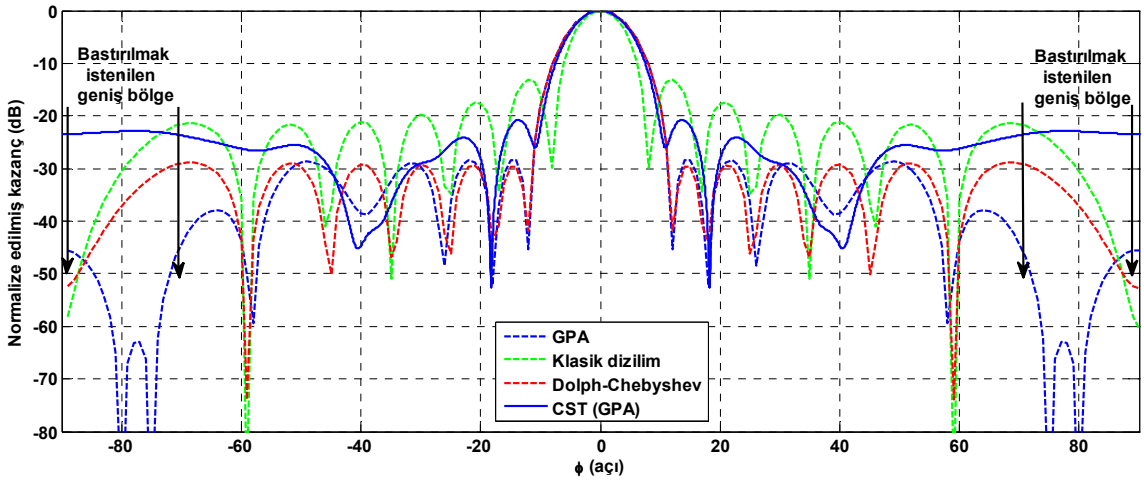
Son olarak CST benzetimi sonuçları incelendiğinde, MYLS ve YGHG değerleri örüntü çarpımı yoluyla elde edilen değerlerle neredeyse aynı iken, bastırılmak istenilen doğrultular da en az -43 dB'ye kadar bastırılmıştır.

Çizelge 4.3.2(b)'de görüldüğü gibi hem GPA hem de GA algoritmaları ile tespit edilen anten konumları arasında en az 0.5 λ mesafe bulunması sağlanmıştır. Bu sayede antenler arasında oluşacak ortak kuplaj etkisi minimum düzeyde tutulmuş ve örüntü çarpımıyla elde edilen örüntü, yarım-dalga dipol antenlerin kullanıldığı CST benzetimi ile de yaklaşık olarak elde edilmiştir.

İkinci tasarım örneğinde, toplam örüntüsü konfigurasyonuna sahip 12 elemanlı doğrusal bir dizilim antenin örüntüsünün [10^o-90^o] aralığında minimum YLS'ye sahip olması, ve [70^o-90^o] aralığında geniş bastırılmış bölge oluşturması aynı zamanda yüksek kazanç değerine, düşük YGHG değerine sahip olması beklenmektedir. Bu taleplerin karşılanması için oluşturulan amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$\begin{aligned} Amaç\ \ Fonksiyonu = 20\log\left\{ maksimum\left\{ \left| FF(\phi) \right|_{\phi_a=10^0}^{\phi_{ü}=90^0} \right\} \right\} - 20\log D \\ + 20\log\left\{ maksimum\left\{ \left| FF(\phi) \right|_{\phi_a=70^0}^{\phi_{ü}=90^0} \right\} \right\} \end{aligned} \tag{4.3.2}$$

Burada, (4.1.1) ile verilen eşitlikteki maksimum seviyelerin bastırılması amacıyla kullanılan terim hem YLS'yi hem de ayrıca istenilen bölgenin bastırılması için kullanılmıştır. Öncelikle antenler arasındaki mesafeler için herhangi bir kısıtlama kullanılmaksızın GPA algoritması kullanılarak antenlerin besleme genliklerinin ve konumlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonrasında elde edilen dizilime ait ışıma örüntüsü, eşit uzunluğa sahip klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntüleriyle birlikte Şekil 4.3.3'de verilmiştir. Ayrıca, yarım-dalga dipol antenler kullanılarak elde edilen CST benzetimi sonuçları da, antenler arasında oluşacak kuplaj etkilerinin incelenmesi için Şekil 4.3.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3.3 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 4.3.3'de görüldüğü gibi, GPA optimizasyonu kullanılarak elde edilmiş dizilimin antenler arasındaki kuplaj etkisinin göz önünde bulundurulmadığı örüntü çarpımı metoduyla oluşturulan ışıma örüntüsü, (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepleri başarıyla gerçekleştirmektedir. GPA ile antenlerin genlikleri ve pozisyonları için elde edilen değerler Çizelge 4.3.3(a)'da verilmiştir. Şekil 4.3.3'de verilen tüm ışıma örüntülerinin özelliklerinin verildiği Çizelge 4.3.3(b)'de de görüldüğü gibi klasik dizilimin kazancı GPA ile optimize edilmiş dizilimin ve Dolph-Chebyshev diziliminin kazançlarından bir miktar yüksektir. Fakat örüntünün MYLS'si incelendiğinde klasik dizilimin MYLS'sinin GPA ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntülerinden 16 dB yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, bastırılmak istenilen geniş $[70^o\text{-}90^o]$ aralığınındaki maksimum seviye incelendiğinde, GPA ile elde edilin dizilimin bu bölgedeki maksimum seviyesi -46 dB iken, klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinde bu seviyelerin sırasıyla -22 dB ve -28 dB oldukları görülmektedir. GPA algoritmasıyla tespit edilen anten besleme genlikleri ve konumları kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonuçları incelendiğinde, kazanç hedefinin dışında hiçbir hedefin oluşturulamadığı gözlenmektedir. Çizelge 4.3.3(a)'da GPA algoritmasıyla optimize edilen anten konumları incelendiğinde, orijinin hemen sağındaki ve solundaki antenler arasındaki mesafenin $2*0.151\lambda < 0.5\lambda$ ve yine orijinden itibaren her iki taraftaki ikinci ve üçüncü antenler arasındaki mesafenin de $1.108\lambda - 0.731\lambda < 0.5\lambda$ olduğu görülebilir. CST benzetimi sonuçlarında ortaya çıkan kuplaj etkilerinin sebebi olarak yukarıda belirtilen durumların bulunması düşünülebilir.

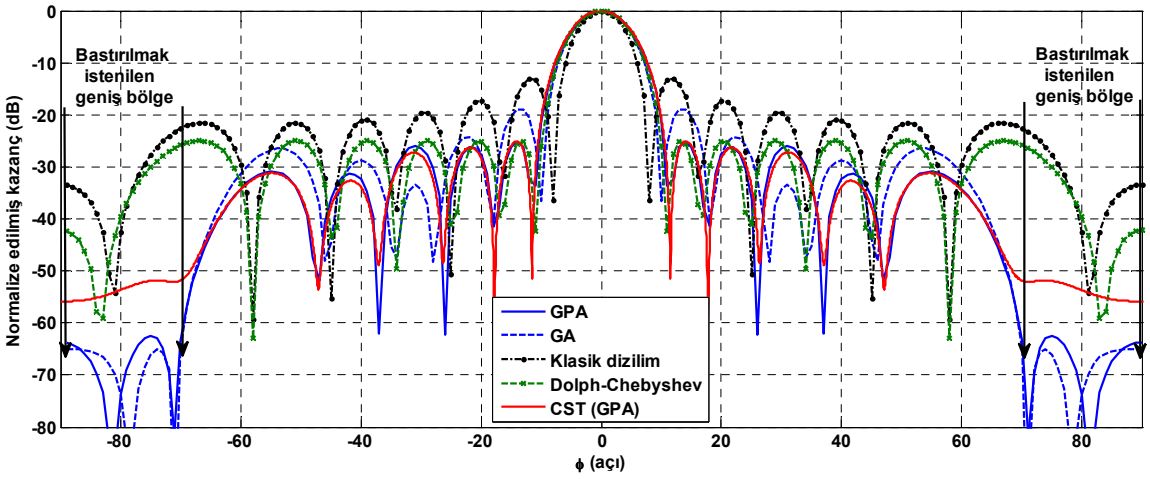
Çizelge 4.3.3 Şekil 4.3.3'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.769	1.000	0.597	0.913	0.665	0.308
	$d_n(\lambda)$	0.151	0.731	1.108	1.712	2.459	3.204
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.291	0.873	1.455	2.037	2.619	3.201
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.918	0.771	0.584	0.391	0.289
	$d_n(\lambda)$	0.291	0.873	1.455	2.037	2.619	3.201

(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}\ (dB)$ $70^o \le \phi \le 90^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}\ (dB)$ $70^o \le \phi \le 90^o$
GPA	11.99	-28	9.1	-46	-58
Klasik dizilim	13.87	-12	7.2	-22	-23
Dolph-Chebyshev	12.02	-28	9.1	-28	-30
CST (GPA)	12.56	-21	8.7	-23	-23.2

(b)



Şekil 4.3.4 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Bundan sonraki aşamada, (4.1.2) ile verilen kısıtlama antenlerin pozisyonları için kullanılarak, antenlerin pozisyonları GPA algoritması ile yeniden elde edilmiştir. Aynı koşullar altında eşit döngü sayısı için GA algoritması ile de (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonu minimize edilmeye çalışılmıştır. (4.1.2) kısıtlaması kullanılarak tespit edilen anten uyarım genlikleri ve antenler arası mesafeler kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi

sonuçları da tüm diğer dizilimlere ait örüntüler ile birlikte Şekil 4.3.4'de verilmiştir. Şekil 4.3.4'de verilen örüntüleri oluşturan dizilimlerdeki antenlerin uyarım genlikleri ve aralarındaki mesafeler Çizelge 4.3.4(a)'da, örüntülere ait ışıma özellikleri Çizelge 4.3.4(b)'de verilmiştir.

Çizelge 4.3.4 Şekil 4.3.4'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	1.000	0.928	0.768	0.588	0.467	0.235
	$d_n(\lambda)$	0.305	0.902	1.501	2.094	2.704	3.253
GA	$A_n(A)$	1.000	0.916	0.784	0.720	0.601	0.342
	$d_n(\lambda)$	0.305	0.908	1.501	2.027	2.631	3.224
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.295	0.885	1.475	2.065	2.655	3.245
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.93	0.803	0.637	0.457	0.422
	$d_n(\lambda)$	0.295	0.885	1.475	2.065	2.655	3.245

(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $70^o \le \phi \le 90^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}(dB)$ $70^o \le \phi \le 90^o$
GPA	12.37	-25.1	9.8^o	-62.6	-68.83
GA	12.94	-18.9	10.6^o	-65.1	-69.93
Klasik dizilim	14.06	-13.1	8.1^o	-22.5	-34.17
Dolph-Chebyshev	12.86	-25	9.6^o	-25.8	-38.75
CST (GPA)	12.37	-25.1	9.8^o	-51.8	-54.12

(b)

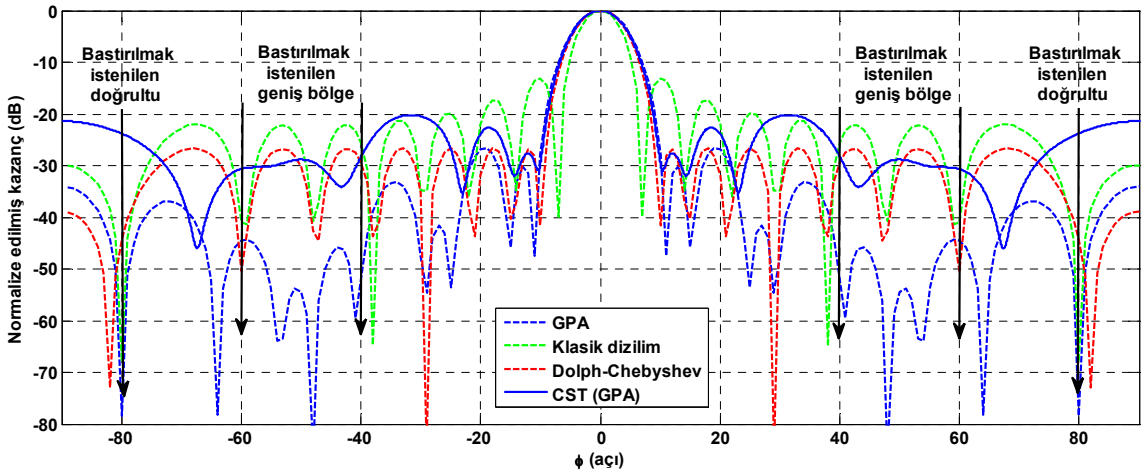
Şekil 4.3.4 ve Çizelge 4.3.4(b)'de görüldüğü gibi (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepler hem GPA hem de GA algoritmaları ile elde edilen dizilimler ile gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalar ile elde edilen örüntüler, klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntüleriyle kıyaslandığında, klasik dizilimin örüntüsünün YGHG'sinden yalnızca 1.7^o daha geniş örüntüye sahip GPA örüntüsünün, MYLS'si klasik dizilimden 12 dB, GA ile elde edilmiş dizilimin örüntüsünden ise 7 dB daha düşüktür. Bunun yanında GPA ile elde edilmiş örüntüde bastırılmak istenilen geniş bölgenin maksimum seviyesi -62.6 dB iken, klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinde bu değerler sırasıyla -22.5 dB ve -25.8 dB'dir. CST benzetimi sonucu elde edilen örüntü incelendiğinde, bastırılmak istenilen geniş bölge dışında

GPA örüntüsüyle birebir örtüştüğü görülmektedir. Bastırılmak istenilen bölgedeki maksimum seviyesi de -51.8 dB gibi çok küçük bir değere sahiptir. Çizelge 4.3.4(a) incelendiğinde, GPA ve GA algoritmaları sonucunda belirlenen antenlerin pozisyonları arasındaki mesafelerin tamamının 0.5λ'dan büyük olduğu görülmektedir. Bu sayede örüntü çarpımı yoluyla elde edilen ışıma örüntüsü ile CST benzetimi sonuçları uyum içerisindedir.

Üçüncü tasarım örneğinde, orijine bir eleman yerleştirilmek suretiyle oluşturulmuş 13 elemanlı doğrusal bir dizilim antenin örüntüsünün tüm yan lob bölgesindeki maksimum seviyesinin bastırılması, ve [40^o - 60^o] aralığında geniş bölgedeki ortalama değeri minimize edilirken aynı zamanda yüksek kazanç değerine sahip olması beklenmektedir. Bunun yanında girişimin bulunduğu düşünülen 80^o doğrultusunun da bastırılması istenmektedir. Bu taleplerin karşılanması için oluşturulan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} Amaç\ Fonksiyonu = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=10^o}^{\phi_u=90^o}\right\}\right\} - 20\log D \\ + 20\log\left\{\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi_a=40^o}^{\phi_u=60^o}\left|FF(\phi)\right|d\phi\right\} + 20\log\left\{\left|FF(80^o)\right|\right\} \end{aligned} \tag{4.3.3}$$

Bu örnekte amaç fonksiyonu oluşturulurken, (4.1.1) ile verilen eşitlikteki entegral teriminin etkinliğinin gözlemlenebilmesi için bastırılacak geniş bölge için bu terim kullanılmıştır.



Şekil 4.3.5 13 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Öncelikle antenler arasındaki mesafe için bir kısıtlama getirmeksizin GPA algoritmasıyla gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen örüntü, klasik dizilim ve Dolph-Chebyshev dizileriyle karşılaştırılarak Şekil 4.3.5'de verilmiştir. Şekil 4.3.5'de ayrıca GPA

algoritması ile bulunan çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonucu oluşan ışıma örüntüsü de verilmiştir. Şekil 4.3.5'de verilen GPA örüntüsünün elde edilmesinde kullanılan dizilimi oluşturan antenlerin besleme genlikleri ve antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.5(a)'da verilmiştir.

Çizelge 4.3.5 Şekil 4.3.5'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.867	1.000	0.930	0.280	0.570	0.484	0.204
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.595	1.331	1.932	2.242	2.997	3.751
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.625	1.250	1.875	2.500	3.125	3.750
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.968	0.876	0.739	0.575	0.406	0.366
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.625	1.250	1.875	2.500	3.125	3.750

(a)

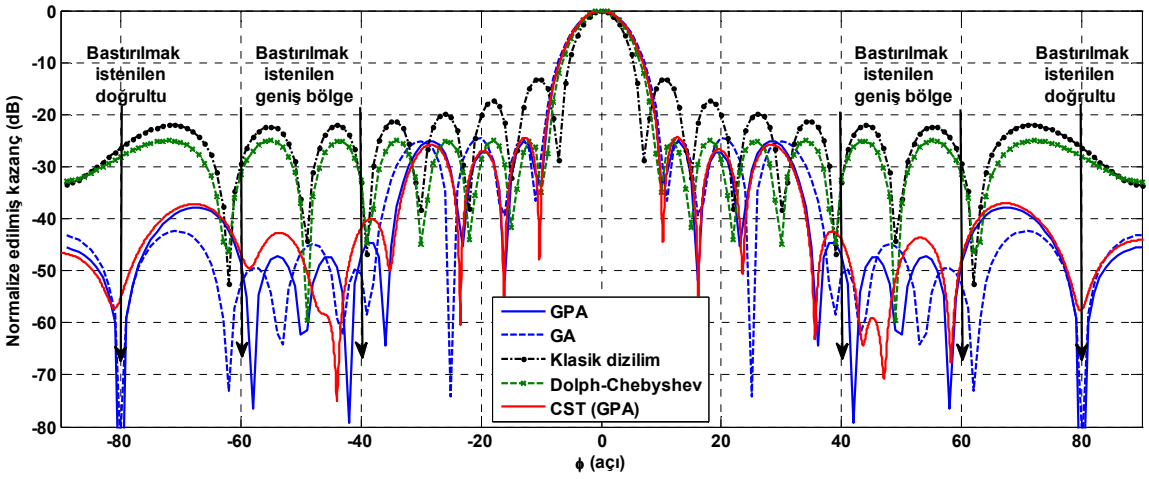
Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(80^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $40^o \le \phi \le 60^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}(dB)$ $40^o \le \phi \le 60^o$
GPA	14.01	-26.7	8.08^o	-79	-44.5	-52
Klasik dizilim	15.62	-13.1	6.21^o	-68	-22.3	-29
Dolph-Chebyshev	14.84	-26.7	7.50^o	-44	-26.7	-32
CST (GPA)	14.41	-20.2	7.83^o	-24	-28.8	-30

(b)

Şekil 4.3.5'de görüldüğü gibi GPA algoritmasıyla elde edilen ışıma örüntüsü, (4.3.3) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepleri Çizelge 4.3.5(b)'de de görüldüğü gibi başarıyla yerine getirmektedir. GPA ile elde edilen örüntü klasik dizilim örüntüsüyle kıyaslandığında, YGHG'deki yalnızca 1.8^o'lik bir artışla MYLS -13.1 dB'den -26.7 dB'ye, bastırılmak istenilen geniş [40^o- 60^o] bölgesindeki maksimum değer de -22.3 dB'den -44.5 dB'ye indirilirken, girişimin bulunduğu 80^o doğrultusundaki değer de 11 dB daha bastırılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen örüntü, aynı MYLS'ye sahip Dolph-Chebyshev dizilimi örüntüsüyle kıyaslandığında, YGHG'deki yaklaşık olarak 0.5^o'lik bir artışa karşılık bastırılmak istenilen geniş bölgenin ortalama seviyesi 20 dB, 80^o doğrultusundaki değer de 35 dB daha düşüktür.

CST benzetimi sonuçları incelendiğinde, ana huzmenin örüntü çarpımı yoluyla elde edilen örüntüyle örtüşmesine rağmen, yan lopların çok farklı biçimlerde oluştukları görülür. Bu yüzden optimize edilen dizilimin CST benzetimi ile talep edilen doğrultu ve geniş bölge bastırma hedefleri gerçekleştirilememiştir. Bunun nedenini irdeleyecek olursak, orijinin sağındaki ve solundaki 3. ve 4. antenler arasındaki mesafenin $(2.242 - 1.932)\lambda < 0.5\ \lambda$ olduğu görülür. Belirtilen antenlerin birbirine fazla yakın olmasının bu sonuca yol açtığı söylenebilir. Bu sonuçlardan sonra, (4.1.2) ile verilen kısıtlama kullanılarak GPA ve GA algoritmalarıyla aynı amaç fonksiyonu tekrar minimize edilmiştir.

GPA ve GA algoritmaları ile bulunan dizilimlere ait örüntüler, klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntüleri ile birlikte Şekil 4.3.6'da verilmiştir. GPA optimizasyonu ile elde edilen çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzeti sonuçları da Şekil 4.3.6'da verilmektedir. Burada verilen örüntülerin oluşması için her bir antene uygulanması gereken besleme genlikleri ve antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.6(a)'da verilmiştir. Buradan antenler arasındaki mesafelerin (4.1.2) ile verilen şarta uygun olarak tespit edildikleri görülmektedir.



Şekil 4.3.6 13 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Çizelge 4.3.6 Şekil 4.3.6'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	1.000	0.848	0.781	0.625	0.510	0.403	0.183
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.604	1.198	1.803	2.432	3.043	3.654
GA	$A_n(A)$	1.000	0.984	0.887	0.710	0.539	0.407	0.206
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.607	1.198	1.826	2.436	2.953	3.499
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.609	1.218	1.827	2.436	3.045	3.654
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.000	0.970	0.885	0.756	0.600	0.436	0.435
	$d_n(\lambda)$	0.000	0.609	1.218	1.827	2.436	3.045	3.654

(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(80^o)\rvert$ (dB)	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $40^o \le \phi \le 60^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}(dB)$ $40^o \le \phi \le 60^o$
GPA	14.02	-25.1	8.06^o	-110	-47.1	-53
GA	13.11	-24.6	8.32^o	-82.2	-44.8	-52
Klasik dizilim	15.34	-13.2	6.35^o	-26.3	-22	-30
Dolph-Chebyshev	14.79	-25	7.52^o	-28	-25	-32
CST (GPA)	14.04	-24.4	8.04^o	-55.3	-41.8	-51

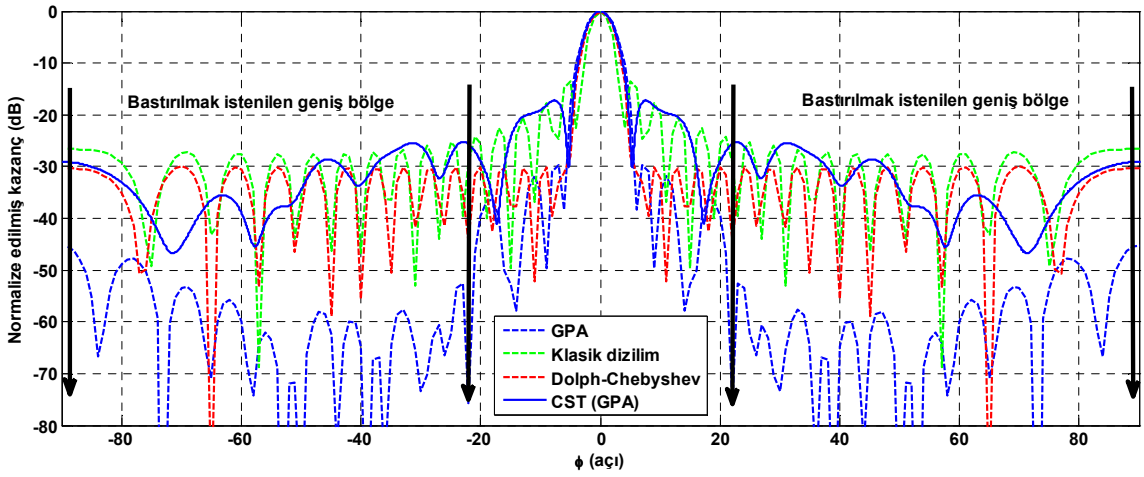
(b)

Şekil 4.3.6 incelendiğinde, GPA ile elde edilen örüntünün (4.3.3) ile verilen hedeflerin tamamını GA ile elde edilen örüntüden daha başarılı bir şekilde gerçekleştirebildiği görülür. Çizelge 4.3.6(b)'de tüm dizilimler ile oluşturulan ışıma örüntülerinin özellikleri verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi GPA örüntüsünün YGHG'si, klasik dizilimden 1.7^o daha geniş olmasına rağmen, bastırılmak istenilen geniş bölgedeki ortalama değeri klasik dizilimden -23 dB, girişim doğrultusunda da 85 dB daha düşüktür. Yine eşit MYLS'ye sahip Dolph-Chebyshev dizilimi örüntüsüyle karşılaştırıldığında, GPA ile elde edilen örüntünün, bastırılmak istenilen geniş bölgedeki ortalama değerinin Dolph-Chebyshev dizilimine göre -21 dB, girişim doğrultusundaki değerinin ise yaklaşık 80 dB daha düşük olduğu görülür. GPA optimizasyonu sonucu elde edilen çözüm kümesi uygulanarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonuçları da incelendiğinde, örüntünün yüksek kazanç değerine sahip olduğu ve bunun yanında girişim doğrultusunda -55.3 dB, [40^o - 60^o] aralığındaki geniş bölgede ise -51 dB ortalama seviyesine sahip olduğu görülür. Bu sonuçlara bakarak, optimizasyon sonucunda elde edilen çözüm kümesinin, pratikte bir dizilim tasarlamada da kullanılarak talep edilen hedeflerin gerçeklenebileceği bir ışıma örüntüsü elde edilebileceği görülür.

Dördüncü tasarım örneğinde, 24 elemanlı doğrusal bir dizilim antenin örüntüsünün tüm yan lob bölgesindeki maksimum seviyesinin bastırılması, ve çok geniş bir bölge olan [22^o - 90^o] aralığındaki maksimum değer minimize edilmek suretiyle oldukça düşük YLS'ne sahip bir bölge oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu talepler gerçekleştirilirken, ana huzme kazancının da mümkün olan en yüksek değere sahip olması beklenmektedir. Belirtilen taleplerin karşılanması için oluşturulan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} Amaç\ \ Fonksiyonu\ \ &= 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=6^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} - 20\log D \\ &+ 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=22^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \end{aligned} \tag{4.3.4}$$

Bu örnekte amaç fonksiyonu oluşturulurken, (4.1.1) ile verilen eşitlikteki maksimum seviyenin bastırılması için tanıtılan terimler, MYLS'nin ve bastırılmak istenilen çok geniş bölgenin maksimum seviyesinin minimizasyonunda kullanılmıştır. Öncelikle antenler arasındaki mesafe için bir kısıtlama getirmeksizin GPA algoritmasıyla gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen örüntü, klasik dizilim ve Dolph-Chebyshev dizileriyle karşılaştırılarak Şekil 4.3.7'de verilmiştir.



Şekil 4.3.7 24 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığı durumda dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 4.3.7'de ayrıca GPA algoritması ile bulunan çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonucu oluşan ışıma örüntüsü de verilmiştir. Şekil 4.3.7'de verilen GPA örüntüsünün elde edilmesinde kullanılan dizilimi oluşturan antenlerin besleme genlikleri ve antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.7(a)'da verilmiştir.

Çizelge 4.3.7 Şekil 4.3.7'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.22	0.69	0.58	1.00	0.98	0.87	0.69	0.37	0.27	0.33	0.18	0.06
	$d_n(\lambda)$	0.21	0.38	0.82	1.45	2.28	3.13	3.97	4.71	5.15	5.83	6.63	7.43
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$d_n(\lambda)$	0.32	0.96	1.61	2.26	2.90	3.55	4.19	4.84	5.49	6.13	6.78	7.42
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.00	0.97	0.93	0.88	0.80	0.72	0.63	0.53	0.44	0.35	0.26	0.36
	$d_n(\lambda)$	0.32	0.96	1.61	2.26	2.90	3.55	4.19	4.84	5.49	6.13	6.78	7.42

(a)

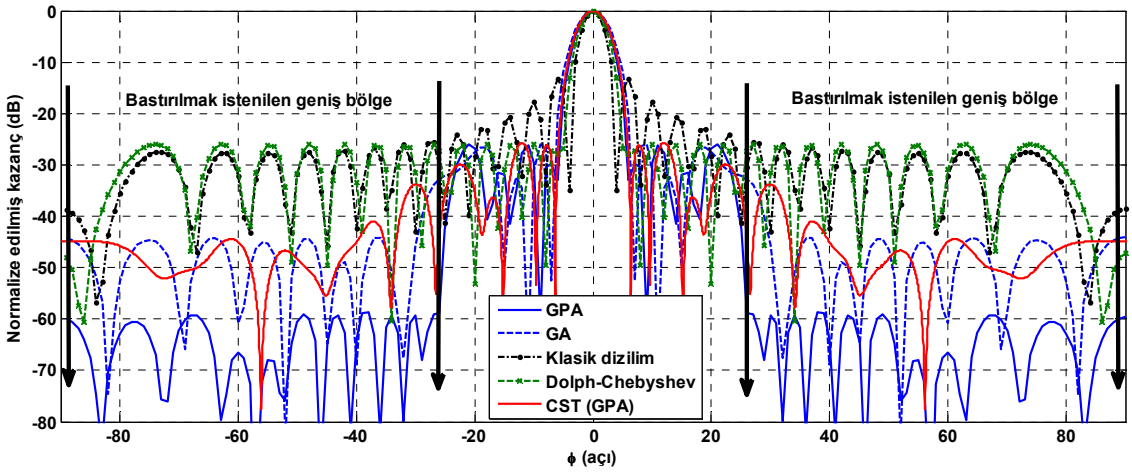
Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $25^o \le \phi \le 90^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}(dB)$ $25^o \le \phi \le 90^o$
GPA	23.98	-30	4.49	-46	-61
Klasik dizilim	30.80	-13	3.06	-24	-31
Dolph-Chebyshev	26.93	-30	4.04	-30	-35
CST (GPA)	24.62	-17	4.37	-25	--33

(b)

Şekil 4.3.7'de görüldüğü gibi GPA algoritmasıyla elde edilen ışıma örüntüsünün, (4.3.4) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepleri gerçekleme başarısının belirlenmesi için, elde edilmiş örüntülerin özelliklerinin verildiği Çizelge 4.3.7(b)'den de yararlanılabilir. GPA ile elde edilen örüntünün MYLS'sinin -30 dB, [25^o - 90^o] aralığındaki maksimum seviyenin -46 dB ve ana huzme kazancının 23.98 dB olduğu Çizelge 4.3.7(b)'den görülebilir. Verilen değerler GPA algoritmasıyla oluşturulan ışıma örüntüsünün, (4.3.4) ile verilen amaç fonksiyonunu başarılı bir şekilde minimize ettiğini göstermektedir. GPA ile elde edilmiş dizilim örüntüsünün YGHG'si klasik dizilimin örüntüsünden 1.43^o daha genişken, MYLS'si ve bastırılmak istenilen geniş bölgenin maksimum seviyesi sırasıyla -17 dB ve -22 dB daha düşüktür. GPA ile elde edilmiş dizilim örüntüsü, eşit MYLS'ye sahip Dolph-Chebyshev dizilimi örüntüsüyle kıyaslandığında, Dolph-Chebyshev dizilimi örüntüsünün ana huzme kazancı yüksekken, derin bastırılmış bölge oluşturulmak istenilen aralıktaki maksimum seviyesi de 16 dB daha yüksektir.

CST benzetimi sonuçları incelendiğinde, örüntü çarpımı yoluyla elde edilen örüntü ile yalnızca ana huzmenin çakıştığı görülmektedir. Ana huzme dışında kalan bölgelerde ise benzetim örüntüsü ile olmasını beklediğimiz örüntü arasında çok büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Optimize edilen dizilimin CST benzetimi ile talep edilen doğrultu ve geniş bölge bastırma hedeflerinin gerçekleştirilemediği açıktır. Bunun nedenini yine antenler

arasındaki mesafelerin birbirine yakın olma ihtimalinde ararsak, Çizelge 4.3.7(a)'da görüldüğü gibi, orijinin hemen sağındaki ve solundaki antenler arasındaki mesafenin 2*0.216 $\lambda < 0.5\ \lambda$, ikinci ve birinci antenler arasındaki masafenin (0.387-0.216) $\lambda < 0.5\ \lambda$, üçüncü ve ikinci antenler arasındaki mesafenin (0.825-0.387) $\lambda < 0.5\ \lambda$, dokuzuncu ve sekizinci antenler arasındaki mesafenin (5.153-4.716) $\lambda < 0.5\ \lambda$ olduğu görülür. Belirtilen antenlerin birbirine fazla yakın olmasının bu sonuca yol açtığı söylenebilir. CST benzetimi sonuçlarının, örüntü çarpımı yardımıyla GPA ile elde edilen sonuçlar ile çakışmaması üzerine, (4.1.2) ile verilen kısıtlama kullanılarak GPA ve GA algoritmalarıyla aynı amaç fonksiyonu tekrar minimize edilmiştir. GPA ve GA algoritmaları ile bulunan dizilimlere ait örüntüler, klasik ve Dolph-Chebyshev dizilimlerinin örüntüleri ile birlikte Şekil 4.3.8'de verilmiştir. GPA optimizasyonu ile elde edilen çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzeti sonuçları da Şekil 4.3.8'de verilmektedir. Burada verilen örüntülerin oluşması için her bir antene uygulanması gereken besleme genlikleri ve antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.8(a)'da verilmektedir. Buradan antenler arasındaki mesafelerin (4.1.2) ile verilen şarta uygun olarak optimize edildikleri de görülmektedir.



Şekil 4.3.8 24 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında beş farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 4.3.8 incelendiğinde, GPA ile elde edilen örüntünün (4.3.4) ile verilen hedeflerin tamamını GA ile elde edilen örüntüden daha başarılı bir şekilde gerçekleştirebildiği görülür. Çizelge 4.3.8(b)'de tüm dizilimler ile oluşturulan ışıma örüntülerinin özellikleri verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi GPA örüntüsünün YGHG'si, klasik diziliminkinden 1.2^{o} daha geniş olmakla birlikte, MYLS'si 12.8 dB, oluşturulmak istenilen oldukça geniş derin bastırılmış bölgedeki en yüksek seviyesi de 33 dB daha düşüktür.

Çizelge 4.3.8 Şekil 4.3.8'de verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	1.00	0.89	0.81	0.79	0.76	0.63	0.48	0.44	0.41	0.28	0.18	0.07
	$d_n(\lambda)$	0.30	0.90	1.51	2.11	2.71	3.32	3.92	4.51	5.12	5.67	6.17	6.74
GA	$A_n(A)$	0.95	0.89	1.00	0.84	0.75	0.62	0.60	0.51	0.47	0.32	0.25	0.14
	$d_n(\lambda)$	0.29	0.79	1.29	1.79	2.29	2.79	3.29	3.79	4.29	4.79	5.29	5.94
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	$d_n(\lambda)$	0.29	0.88	1.46	2.05	2.64	3.22	3.81	4.40	4.98	5.57	6.16	6.75
Dolph-Chebyshev	$A_n(A)$	1.00	0.98	0.94	0.89	0.83	0.50	0.76	0.59	0.68	0.41	0.33	0.57
	$d_n(\lambda)$	0.29	0.88	1.46	2.05	2.64	3.22	3.81	4.40	4.98	5.57	6.16	6.75

(a)

Optimizasyon Algoritması	D	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})	$\lvert FF(\phi)\rvert_{mak.}(dB)$ $25^o \le \phi \le 90^o$	$\lvert FF(\phi)\rvert_{ort.}(dB)$ $25^o \le \phi \le 90^o$
GPA	23.09	-26.1	4.64^o	-58.7	-66.66
GA	20.45	-26.0	5.27^o	-32.7	-50.22
Klasik dizilim	28.07	-13.3	3.46^o	-25.5	-33.81
Dolph-Chebyshev	25.62	-26.0	4.16^o	-26.1	-33.54
CST (GPA)	22.36	-25.7	4.92^o	-35.8	-47.13

(b)

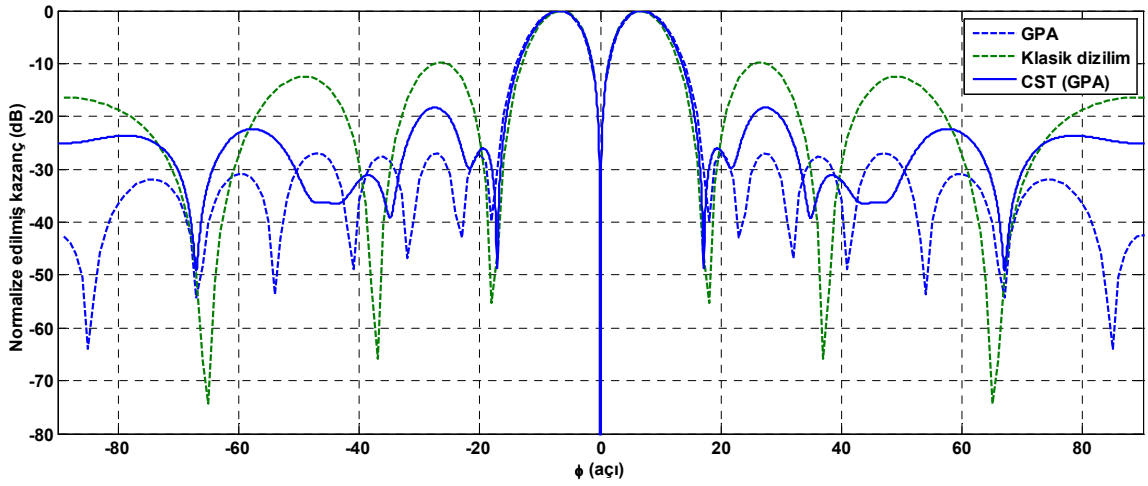
GPA ile elde edilen dizilimin örüntüsü incelendiğinde, yaklaşık olarak 65^o'lik genişliğe sahip ve en yüksek seviyesi -58.7 dB olan bir bölge oluşturulmuştur. Dolph-Chebyshev dizilimi ile oluşan örüntü incelendiğinde, aynı bölgedeki en yüksek seviyenin -26.1 dB olarak gerçekleştiği görülür. GPA algoritması ile eşit döngü sayısı için koşturulmuş GA ile elde edilen dizilimin örtüsünün özellikleri incelendiğinde, ana huzme kazancı, MYLS'si ve bastırılmak istenilen geniş bölgedeki en yüksek seviyesi değerlerinin tamamının GPA ile oluşturulan ışıma örüntüsü özelliklerinin gerisinde kaldığı açıkça görülmektedir.

GPA optimizasyonu kullanılarak oluşturulan dizilimdeki antenlerin besleme genlikleri ve antenler arasında bulunan mesafeler kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonuçları incelenecek olursa, örüntü özellikleri GPA örüntüsünün özelliklerinin gerisinde kalsa da, GA ile elde edilmiş dizilimin örüntüsü ile benzer özellikler göstermektedir. Bastırılmak istenilen geniş bölgede yaklaşık olarak 50^o'lik en yüksek seviyesi yine yaklaşık olarak 45 dB olan bir bölge elde edilebilmiştir. Bu sonuçlara bakarak, optimizasyon sonucunda elde edilen çözüm

kümesinin, pratikte bir dizilim tasarlamada da kullanılarak talep edilen hedeflere yakın değerler elde edilebileceği görülür.

Beşinci ve son tasarım örneğinde, 12 elemanlı doğrusal bir dizilim antenin fark örüntüsünün tüm yan lob bölgesindeki maksimum seviyesinin bastırılması amaçlanmaktadır. Fark örüntüsü oluşturmak için simetrik dizilimin bir tarafındaki elemanlar diğer taraftaki elemanlara göre aralarında 180^o faz farkı olacak şekilde beslenmişlerdir. Belirtilen talebin karşılanması için oluşturulan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekildedir:

$$Amaç\ \ Fonksiyonu\ \ = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=16^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \tag{4.3.5}$$



Şekil 4.3.9 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanılmadığında üç farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Bu örnekte amaç fonksiyonu oluşturulurken, (4.1.1) ile verilen eşitlikteki yalnızca maksimum seviyenin bastırılması için kullanılan terim MYLS'nin bastırılması için kullanılmıştır. Öncelikle antenler arasındaki mesafe için bir kısıtlama getirmeksizin GPA algoritmasıyla gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen örüntü, klasik dizilim örüntüsüyle karşılaştırılarak Şekil 4.3.9'da verilmiştir.

Şekil 4.3.9'da ayrıca GPA algoritması ile bulunan çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonucu oluşan ışıma örüntüsü de verilmiştir. Şekil 4.3.9'da verilen GPA örüntüsünün elde edilmesinde kullanılan dizilimi oluşturan antenlerin besleme genlikleri ve antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.9(a)'da verilmiştir.

Şekil 4.3.9'da görüldüğü gibi GPA algoritmasıyla elde edilen ışıma örüntüsü klasik dizilim örüntüsüne göre 0.4^o daha geniş bir yarım güç huzme açısına sahip olmasına rağmen, MYLS'si -27 dB olarak gerçekleşmiştir ve bu değer klasik dizilimin örüntüsünden 17 dB daha düşüktür. Yukarda bahsedilen dizilimlerin örüntü özelliklerine ilişkin değerler Çizelge 4.3.9(b)'de verilmiştir.

Çizelge 4.3.9 Şekil 4.3.9'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.143	0.901	0.783	0.516	1.000	0.497
	$d_n(\lambda)$	0.086	0.782	1.497	1.605	2.301	3.045
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.275	0.825	1.375	1.925	2.475	3.025

(a)

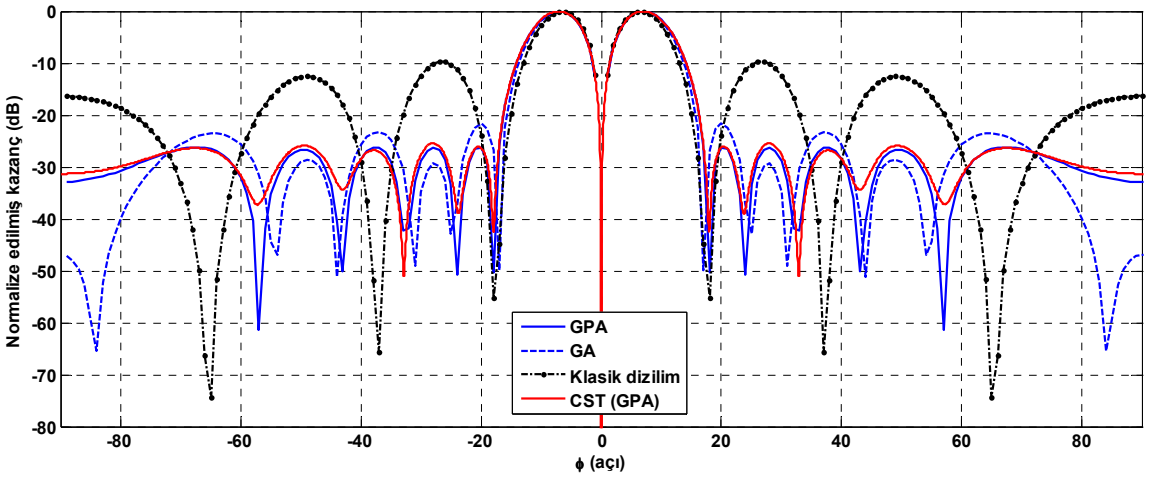
Optimizasyon Algoritması	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})
GPA	-27	7.4^o
Klasik dizilim	-10	7^o
CST (GPA)	-18	7.3^o

(b)

CST benzetimiyle elde edilen sonuçlar da incelendiğinde, örüntü çarpımı yoluyla elde edilen örüntünün ana huzme boyunca çakıştığı görülmektedir. Ana huzme dışında kalan bölgede ise MYLS'nin -18 dB olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak yine antenler arasındaki mesafelerden birinin veya birkaçının 0.5λ'dan küçük olması düşünülebilir. Gerçekten de, Çizelge 4.3.9(a)'da görüldüğü gibi, orijinin hemen sağındaki ve solundaki antenler arasındaki mesafenin $2*0.086\lambda < 0.5\ \lambda$ olduğu görülür. Belirtilen antenler arasındaki mesafenin çok küçük olmasının bu sonuca yol açtığı söylenebilir. CST benzetimi sonuçlarının ana huzme dışında, örüntü çarpımı yardımıyla GPA ile elde edilen sonuçlar ile çakışmaması üzerine, (4.1.2) ile verilen kısıtlama kullanılarak GPA ve GA algoritmalarıyla aynı amaç fonksiyonu tekrar minimize edilmiştir.

GPA ve GA algoritmaları ile bulunan dizilimlere ait örüntüler, klasik dizilimin örüntüsü ile birlikte Şekil 4.3.10'da verilmiştir. GPA optimizasyonu ile elde edilen çözüm kümesi kullanılarak gerçekleştirilen CST benzeti sonuçları da Şekil 4.3.10'da verilmektedir. Burada verilen örüntülerin oluşması için her bir antene uygulanması gereken besleme genlikleri ve

antenler arasındaki mesafeler Çizelge 4.3.10(a)'da verilmektedir. Buradan antenler arasındaki mesafelerin (4.1.2) ile verilen şarta uygun olarak optimize edildikleri de görülebilir.



Şekil 4.3.10 12 elemanlı doğrusal dizilim antenin mesafe ile ilgili kısıtlama kullanıldığında dört farklı metotla elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 4.3.10 incelendiğinde, klasik dizilimin örüntüsünün daha önce verildiği gibi -10 dB MYLS'ye sahip olduğu görülmektedir. GPA ve GA ile gerçekleştirilen optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilen örüntüler ve bu örüntülerin özelliklerinin verildiği Çizelge 4.3.10(b) incelendiğinde, YGHG'nin klasik dizilim örüntüsüne göre çok az artmasına rağmen, MYLS'lerinin sırasıyla 16.2 ve 11.7 dB daha düşük seviyelerde olduğu görülür.

GPA optimizasyonu kullanılarak oluşturulan dizilimdeki antenlerin besleme genlikleri ve antenler arasında bulunan mesafeler kullanılarak gerçekleştirilen CST benzetimi sonuçları incelenecek olursa, YGHG değerinin ve MYLS değerlerinin neredeyse aynı olduğu görülür. Yalnızca amaçlar içerisinde bulunmayan yan lob bölgesindeki bazı doğrultuların derinliklerinin GPA ile oluşturulmuş örüntüye oranla daha düşük olduğu görülür. Yine de CST benzetimi sonucunda oluşturulan derinlikler -35 dB ve daha düşük seviyededirler ki bu da ana huzmenin seviyesinin en az 3 binde birine karşılık gelir.

Çizelge 4.3.10 Şekil 4.3.10'da verilen örüntülere ilişkin (a) genlik uyarım değerleri ve eleman pozisyonları (b) ışıma özellikleri

GPA	$A_n(A)$	0.596	0.847	1.000	0.833	0.629	0.373
	$d_n(\lambda)$	0.576	1.076	1.576	2.076	2.576	3.076
GA	$A_n(A)$	0.507	0.859	1.000	0.887	0.647	0.436
	$d_n(\lambda)$	0.506	1.006	1.507	2.006	2.506	3.007
Klasik dizilim	$A_n(A)$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$d_n(\lambda)$	0.280	0.840	1.400	1.960	2.520	3.080

(a)

Optimizasyon Algoritması	MYLS (dB)	YGHG (ϕ_{YGHG})
GPA	-26.2	7.6^o
GA	-21.7	7.37^o
Klasik dizilim	-10	7^o
CST (GPA)	-25.4	7.61^o

(b)

4.4 Sonuçlar

Bu uygulama örneğinde MYLS'nin bastırılması, girişimin bulunduğu doğrultuların ve bozucu sinyaller gönderilen dar/geniş bölgelerin bastırılması hedefleri gerçekleştirilirken ana huzme kazancının da maksimizasyonu hedeflenmiştir. Bu hedefler tek bir amaç fonksiyonunda toplamlar şekline ifade edilmiştir. Burada optimize edilecek parametreler antenlerin besleme genlikleri ve antenler arası mesafelerdir. Oluşturulan amaç fonksiyonu, antenler arasındaki mesafeler ilgili bir kısıtlama bulunmazken ve böyle bir kısıtlama bulunuyorken ayrı ayrı optimize edilmiştir. Optimizasyon esnasında literatürde bu alanda ilk kez kullanılan GPA algoritması kullanılmıştır. GPA algoritmasının sonuçları rastgele bir algoritma olan GA ile karşılaştırılmıştır. GPA algoritması ile elde edilen tüm sonuçlar CST benzetimi için de kullanılarak antenler arasındaki ortak kuplaj etkisinin elde edilen örüntüler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakarak, (4.1.2) ile verilen kısıtlama kullanılmadığı durumda gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen değerlerin CST benzetimi sonuçlarıyla örtüşmediği gözlemlenmiştir. (4.1.2) koşulu uygulanarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları incelendiğinde ise örüntü çarpımı yöntemiyle elde edilen bir ışıma örüntüsünün ortak kuplaj etkisinin göz önünde bulundurulduğu CST simülasyonu

sonuçlarıyla neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara bakarak, optimizasyon sonucunda elde edilen çözüm kümesinin, pratikte bir dizilim tasarlamada da kullanılarak talep edilen hedeflere ulaşılabileceği sonucuna varabiliriz.

5. YALNIZCA GPA ALGORİTMASI KULLANILARAK TESPİT EDİLMİŞ ELEMANLARIN POZİSYONLARININ KONTROLÜ İLE GİRİŞİM BASTIRILMASI

Elektromagnetik ortamın kirlenmesindeki artışa bağlı olarak, belirlenmiş doğrultulardaki girişim sinyallerinin bastırılması günümüz radar ve haberleşme sistemi uygulamaları için önemli bir problem olarak kabul edilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için tek veya birden çok doğrultunun bastırılması veya bozucu işaret içeren dar/geniş bölgelerin bastırılması çeşitli çalışmalarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların bir grubunda optimizasyon değişkeni olarak maliyetli bir yöntem olan dijital genlik zayıflatıcıları ve dijital faz kaydırıcılar kullanılmıştır (Steyskal vd., 1986). Bu yönteme alternatif olabilecek oldukça kullanışlı bir yöntem de dizilimi oluşturan antenlerin pozisyonlarının örüntüden beklenen ışıma özelliklerini oluşturacak şekilde optimize edilmeleridir (Hejres, 2004; Abu-Al-Nadi, 2006; Khodier ve Christodoulou, 2005). Bu metotta da antenlerin pozisyonlarının değiştirilebilmesi için servo motorlar gibi bir mekanik sürücü sistemine ihtiyaç vardır.

Literatürde, dizilimi oluşturan antenlerin pozisyonlarının optimizasyonuyla istenilen dar/geniş bölgelerin bastırılması problemlerinin çözümüyle ilgili birkaç istisna (Hejres, 2004; Abu-Al-Nadi vd., 2006) hariç tüm çalışmalarda (Khodier ve Christodoulou, 2005; Ismail ve Dawoud, 1991; Akdagli vd., 2002) antenlerin tamamının pozisyonları optimize edilmiştir. Dizilimi oluşturan anten sayısı arttıkça her bir antenin pozisyonunun kontrolü karmaşıklaşacak ve maliyet artacaktır. Bu karmaşıklığı ve maliyeti azaltmak için, doğrusal olmayan programlama tekniği (Hejres, 2004) ve Levenberg-Marquard algoritması (Abu-Al-Nadi vd., 2006) kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, antenlerin sadece tespit edilen bir kısmının pozisyonlarının değiştirilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Hejres (2004) tek bir doğrultunun bastırılması problemini, dizilimi oluşturan antenlerin sırasıyla %100, %60 ve %50'sinin pozisyonlarının kontrolüyle gerçekleştirerek bu doğrultuyu bastırmadaki başarılarını kıyaslamıştır. Sonuçlardan görülebileceği gibi, antenlerin tamamının pozisyonlarının kontrolü bastırılmak istenilen doğrultuda sağlanan derinlik, antenlerin %60'ı kontrol edildiğinde 20 dB, %50'si kontrol edildiğinde ise 35 dB artmıştır. Abu-Al-Nadi vd., (2006)'nin gerçekleştirdiği çalışmada, 3.6^{o}'lik dar bir bölge bastırılmak istenildiğinde örüntünün başlangıçtaki YLS'si 5 dB artmıştır. 2.7^{o}, 0.2^{o} ve 1.8^{o}'lik genişliğe sahip üç ayrı doğrultunun bastırılması gibi daha zor taleplerin oluşturulması istendiğinde ise başlangıçtaki YLS'si 10 dB kadar artmıştır. Bu örnekler göstermektedir ki, birden çok doğrultunun

bastırılması ya da dar/geniş bölgelerin bastırılması gibi nispeten daha zor talepler ile karşılaşıldığında daha kullanışlı güncel algoritmalar kullanmak gerekmektedir.

Bu uygulamada da üçüncü bölümde tanıtılan ve belirlenimci bir algoritma olan GPA algoritması kullanılmıştır. GPA algoritması her bir adımda ağ noktalarının maliyetine bakarak maliyeti düşük noktayı bir sonraki adım için başlangıç noktası olarak seçmesinden dolayı, her bir elemanın pozisyonunun kontrolü yerine yalnızca gerekli antenlerin pozisyonlarının optimize edileceği böyle bir problemin çözümü için çok uygundur. Buradaki uygulama örneğinde, sentezlenecek dizilimin karmaşıklığını, maliyetini ve ihtiyaç duyduğu enerji miktarını azaltmak için girişimin bulunduğu dar veya geniş bölgelerin bastırılması yalnızca GPA algoritması kullanılarak tespit edilen dizilim elemanlarının pozisyonlarının kontrolüyle sağlanmıştır. Bu uygulamada dizilimde bulunan antenlerin uyarım genlikleri için de yeni bir genlik dağılım şekli tanıtılmıştır.

5.1 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması

Bu çalışmada, belirlenen tek bir veya birden çok doğrultuda, dar/geniş bölgede bulunan girişim bastırılırken MYLS'sini de belirli bir seviyenin altında tutmak amacıyla tasarlanacak doğrusal dizilim anten geometrisi ile ilgilenilmektedir. Bu problemde kullanılan geometri de Şekil 2.2'de verildiği gibidir. Belirtilen hedeflere ulaşmak için kullanılan amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$Amaç = 20\log\left\{\sum_k \left|FF(\phi_k)\right|\right\} + 20\log\left\{\sum_i maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|\right\}_{\phi_{a_i}}^{\phi_{ü_i}}\right\} - s * YLS(dB) \tag{5.1.1}$$

$$YLS = \begin{cases} MYLS, & MYLS \geq -29\,dB \quad durumunda \\ 0, & diger\ durumlarda \end{cases} \tag{5.1.2}$$

burada s, >>1 olan bir sabittir, $\theta_{ü_i}, \theta_{a_i}$ maksimum seviyenin bastırılmasının hedeflendiği yan lob bölgesinin sınırlarını göstermektedir. θ_k, k=1,…K ise girişimin bulunduğu nokta veya noktaların doğrultularını vermektedir.

Yukarıda (5.1.1) ve (5.1.2) ile verilen amaç fonksiyonundaki ana huzmenin $\phi = 0^o$ doğrultusundaki uzak alan ışıma örüntüsü ifadesi, antenlerin basamak dağılımlı genlikler ile uyarıldığı ve antenler arasındaki mesafenin başlangıçta 0.5λ olduğu göz önünde bulundurularak antenlerin çok küçük miktarlarda hareket ettirilmesini sağlayacak şekilde

(2.18) ifadesindeki anten pozisyonlarına Δ_n kadar sarsım uygulanarak aşağıda verilmiştir:

$$FF(\phi) = \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left[k\left(d_n + \Delta_n\right)\sin\phi\right] \tag{5.1.3}$$

(5.1.1) ve (5.1.2) ile verilen amaç fonksiyonundaki talepler, dizilimde bulunan elemanlar arasından GPA algoritmasının tespit ettiği antenlerin pozisyonlarının yine GPA ile belirlenen miktarlarda değiştirilmesiyle karşılanır. (5.1.1) ile verilen fonksiyonda ilk terim girişimin bulunduğu doğrultu veya doğrultuların bastırılması için uygulanırken, ikinci terim ise arzu edilen bastırılmış dar veya geniş bölgelerin oluşturulmasını sağlar. Bunun yanında, amaç fonksiyonuna YLS terimi de eklenerek, diğer amaçlar karşılanırken MYLS'nin talep edilen değerin altında tutulması amaçlanmıştır. Verilecek örneklerde MYLS yaklaşık olarak -30 dB olacak şekilde seçilmiş basamak dağılımlı genlik uyarımları kullanılacağından, MYLS'nin -29 dB'den küçük değerleri için diğer hedeflere ulaşılmasını sağlayacak kısıtlama kullanılmıştır.

Verilen amaç fonksiyonu ile bir veya birden çok girişim doğrultusunda huzmenin bastırılması veya dar/geniş bastırılmış bölgeler oluşturulması talepleri gerçekleştirilebilir. Bunun yanında verilmiş olan amaç fonksiyonu, ışıma örüntüsünden beklenen özelliklerin oluşturulması için kısmen de kullanılabilir.

5.2 GPA Kullanılarak Pozisyonu Değişmesi Gereken Antenlerin Tespiti Örnekleri

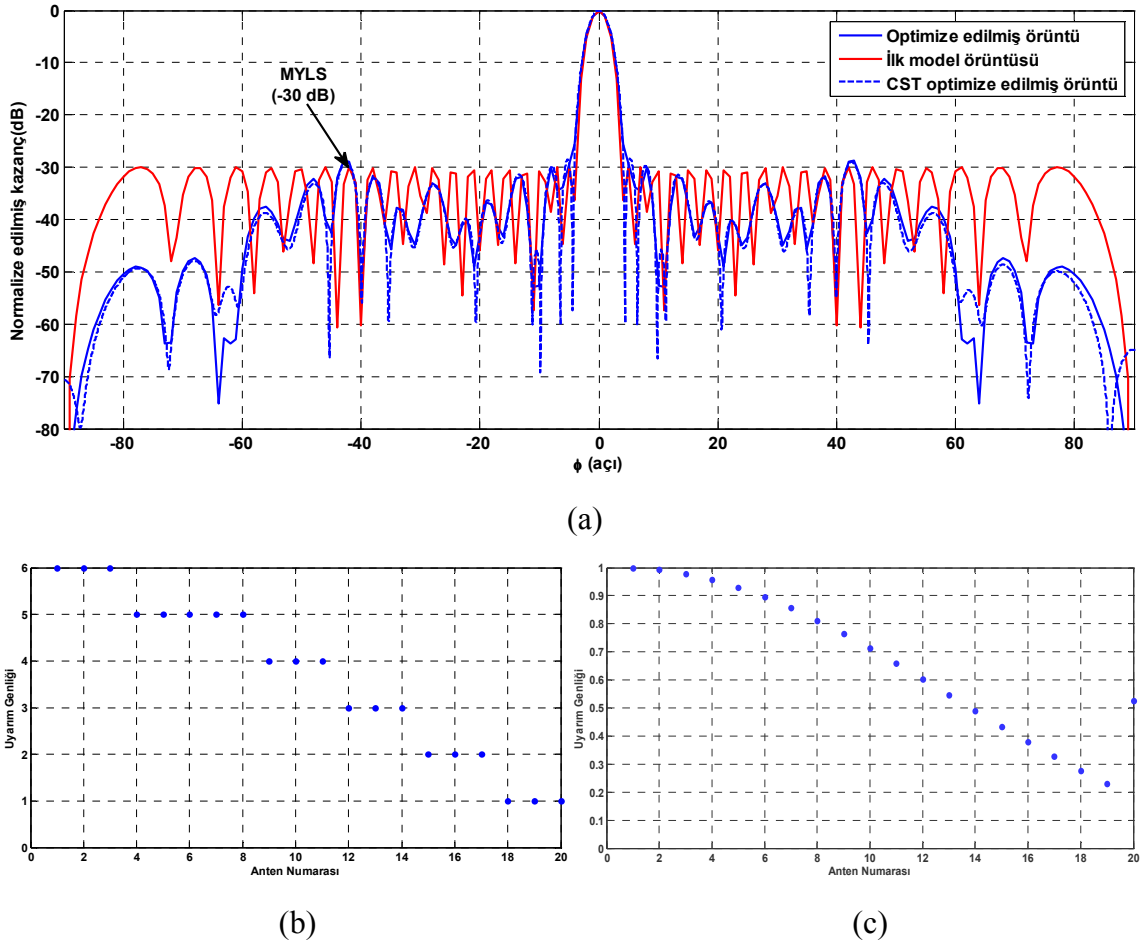
Literatürde, girişimin bulunduğu belirlenmiş doğrultuların bastırılması uygulamalarında çoğunlukla ilk model olarak, dizilimin oluşturduğu ışıma örüntüsünde -30 dB MYLS oluşturacak Dolph-Chebyshev fonksiyonu katsayıları antenlerin uyarım genlikleri olarak uygulanarak, istenilen doğrultuların bastırılması için antenlerin pozisyonlarına uygulanması gereken sarsım miktarları optimize edilmiştir. Dolph-Chebyshev fonksiyonu katsayılarının sürekli değerler olması sebebiyle, sayısal zayıflatıcıların kullanıldığı pratik uygulamalarda bu katsayıların antenlerin uyarım genlikleri olarak kullanılması elverişli değildir. Bunun yanı sıra, dizilimi oluşturan anten sayılarının değişmesiyle -30 dB MYLS oluşturulması için antenlerin uyarım genlikleri olarak kullanılacak Dolph-Chebyshev fonksiyonu katsayıları da değişir. Dizilimi oluşturan anten sayısının artması sabit bir MYLS oluşturulması için antenlerin uyarılmasında kullanılacak Dolph-Chebyshev fonksiyonu katsayılarının DOA'nın artmasına yol açar. Böylece elektriksel uzunluğu fazla olan dizilimlerde antenlerin uyarım genliklerinin Dolph-Chebyshev fonksiyonu katsayıları olarak seçilmesiyle DOA artar. Bu

durumda da, DOA'nın artmasına bağlı olarak dizilimi oluşturan antenler arasındaki ortak kuplaj etkisinin artması ve böylece oluşturulacak ışıma örüntüsünde bozulma kaçınılmaz olur.

Bu uygulamada, pratik uygulamalarda antenlerin uyarım genlikleri için kullanılan ayrık değerlere sahip sayısal zayıflatıcılarla uyumlu şekilde kullanılabilecek basamak dağılımlı genlik katsayıları tanıtılmış ve kullanılmıştır. Bunun yanında, dizilimi oluşturan antenler arasında oluşabilecek ortak kuplaj etkisini azaltmak için tasarım örneklerinde DOA belirli bir değerle sınırlanarak antenlerin uyarılmasında kullanılacak basamak dağılımlı genlik değerlerinin genişlikleri ve basamak yükseklikleri, MYLS -30 dB civarı olacak şekilde GPA algoritması kullanılarak optimize edilmiştir.

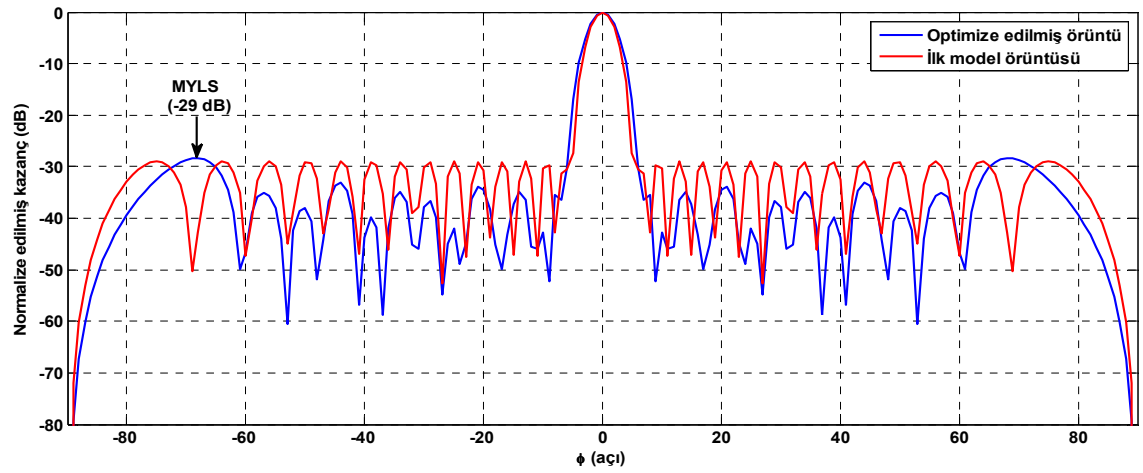
Dizilimi oluşturan antenlerin arasındaki mesafenin optimizasyon sonrasında azalarak, antenler arasında oluşacak ortak kuplaj etkisini arttırmasını önlemek amacıyla bu uygulamada antenlerin pozisyonlarının her biri için izin verilen sarsım miktarı $0.1\,\lambda$ ile sınırlandırılmıştır. GPA algoritmasının tanıtıldığı bölümde değinilen genişleme faktörü η_{gen} ve büzüşme faktörü $\eta_{büz}$ optimizasyon işlemi sırasında sırasıyla 2 ve 0.5 olarak seçilmiştir.

Öncelikle 40 adet yarım-dalga dipol antenden oluşmuş aralarında başlangıç olarak 0.5 λ mesafe olan bir dizilimin, DOA'sı 6 ile sınırlanarak, -30 dB MYLS oluşturacak basamak dağılımlı genlik uyarımları GPA algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Chebyshev fonksiyonu katsayıları ve basamak dağılımlı genlikler ile -30 dB MYLS için dizilimi oluşturan antenler uyarıldıklarında elde edilen ışıma örüntüleri Şekil 5.2.1(a)'da ve her bir genlik dağılımı sırasıyla Şekil 5.2.1(b) ve (c)'de verilmiştir. Bundan sonra verilecek olan uygulama örneklerinde aralarında 0.5 λ mesafe olan ve Şekil 5.2.1'de verilen basamak dağılımlı genlik katsayılarıyla uyarılmış dizilim ilk model olarak uygulanarak gerekli antenlerin pozisyonları optimize edilerek hedefler gerçekleştirilecektir. Dizilimi oluşturan antenlerden amaca bağlı olarak gerekli olanların pozisyonlarının GPA algoritması kullanılarak optimize edilmesiyle elde edilen dizilimlerin ışıma örüntüleri, tam-dalga elektromagnetik benzetim programı olan CST benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

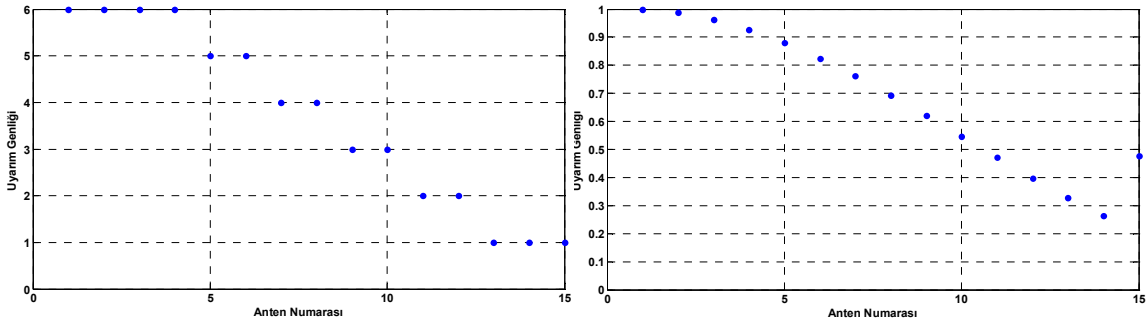


Şekil 5.2.1 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 40 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları.

Yukarıdaki Şekil 5.2.1'de görüldüğü gibi Şekil 5.2.1(b)'de görülen basamak dağılımlı genlik katsayıları kullanılarak elde edilen ışıma örüntüsünün MYLS'si istenildiği gibi -30 dB civarındadır. GPA algoritmasıyla elde edilen bu basamak dağılımlı genlik değerlerinin daha farklı sayıda antenlerden oluşan dizlimler için kullanılarak da yaklaşık olarak -30 dB civarında MYLS oluşturabileceğini göstermek amacıyla 30 ve 50 adet yarım-dalga dipol antenden oluşan dizilimler için de aynı optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2.2(a)'da 30 elemandan oluşan dizilim için optimizasyon sonucunda elde edilen ışıma örüntüsü ilk model örüntüsüyle karşılaştırılarak verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi MYLS -29 dB olarak gerçekleşmiştir. Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları Şekil 5.2.2(b)'de, Chebyshev fonksiyonu katsayıları ise Şekil 5.2.2(c)'de verilmiştir.



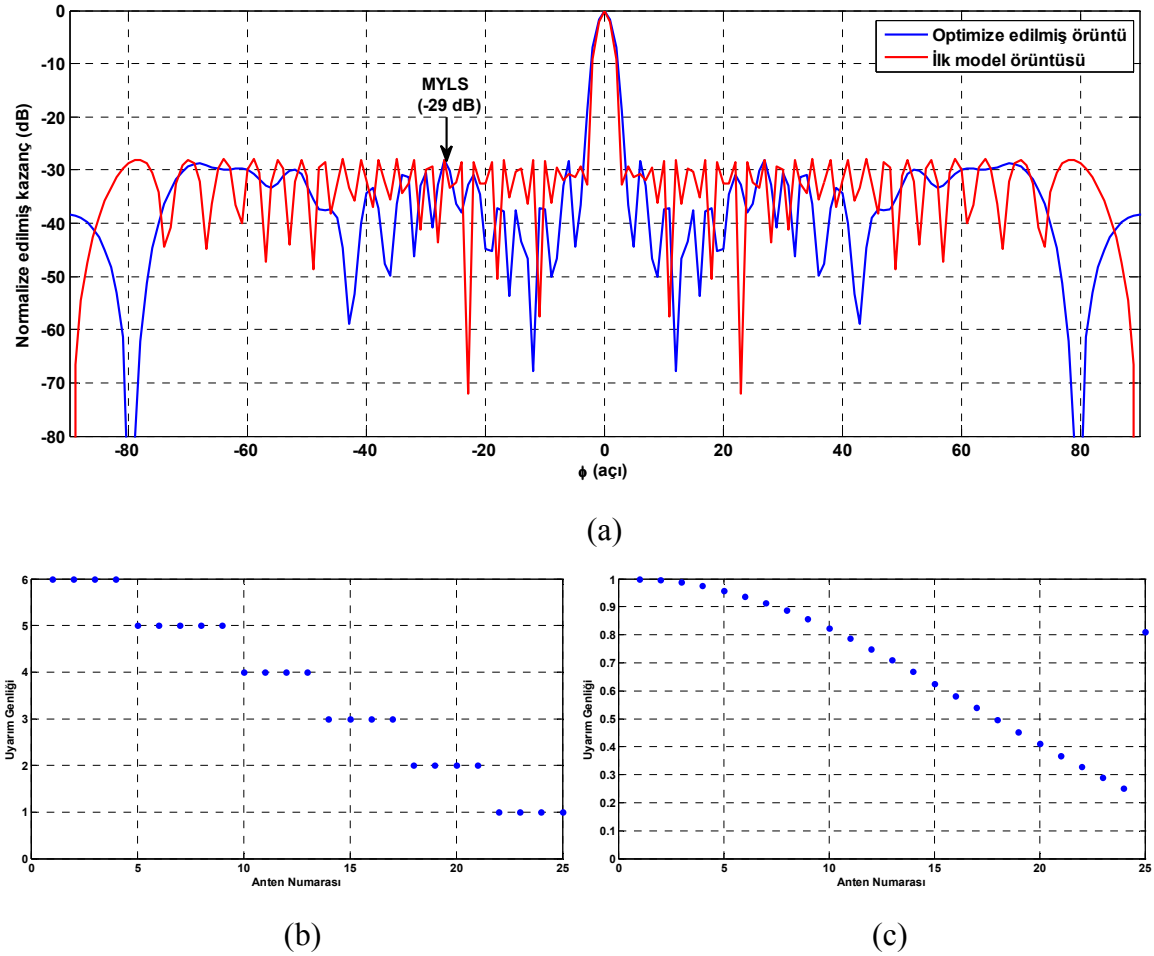
(a)



(b) (c)

Şekil 5.2.2 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 30 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları.

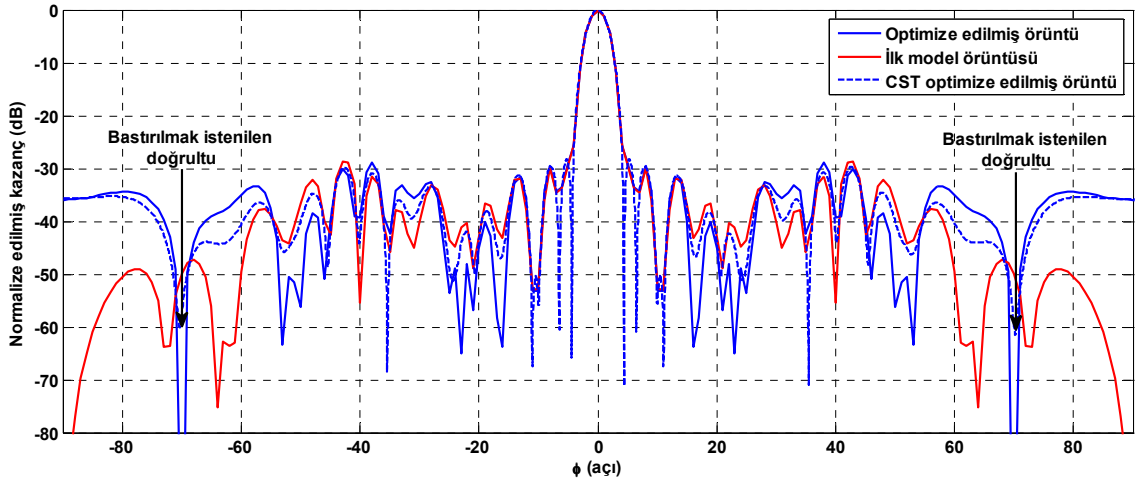
Şekil 5.2.3(a)'da ise 50 adet yarım-dalga dipol antenden oluşan dizilim için optimizasyon sonucunda elde edilen ışıma örüntüsü, ilk model örüntüsüyle karşılaştırılarak verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi MYLS 30 elemandan oluşan dizilimde olduğu gibi yine -29 dB olarak gerçekleşmiştir. Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları Şekil 5.2.3(b)'de, Chebyshev fonksiyonu katsayıları ise Şekil 5.2.3(c)'de verilmiştir. Elde edilen uzak alan ışıma örüntülerinden basamak dağılımlı genlik katsayıları kullanarak düşük MYLS'ye sahip örüntüler elde edilebileceği açıktır. Verilen her üç örnekteki DOA değeri 6 ile sınırlanmıştır. DOA değeri biraz daha büyük tutularak daha düşük MYLS'ye sahip ışıma örüntülerinin sentezlenebileceği söylenebilir.



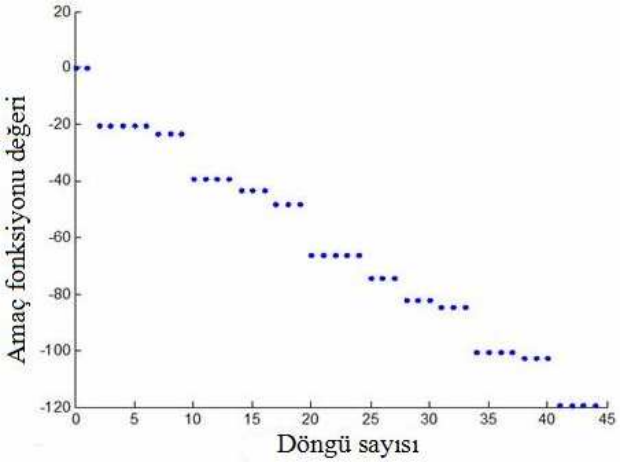
Şekil 5.2.3 (a) Chebyshev fonksiyonu ve basamak dağılımlı genlik katsayıları ile uyarılmış 50 antenden oluşan dizilimlerin ışıma örüntüleri (b) Dizilimi oluşturan antenlerin uyarılmasında kullanılmış basamak dağılımlı genlik katsayıları (c) Chebyshev fonksiyonu katsayıları.

Bu çalışmadaki ilk tasarım örneğinde, her bir elemanın basamak dağılımlı genlik katsayılarıyla beslendiği 40 adet yarım-dalga dipol antenden oluşmuş doğrusal dizilim kullanılarak ilk modelde de görüldüğü gibi yan lob bölgesinin tepe noktalarından biri olan 70^o doğrultusu bastırılmaya çalışılmıştır. Şekil 5.2.4(a)'da ilk modelin ışıma örüntüsü, 70^o doğrultusunun bastırılabilmesi için gerekli elemanların pozisyonlarının GPA algoritması kullanılması sonucu elde edilen dizilimin ışıma örüntüsü ve bu dizilimin CST benzetim sonuçları ile birlikte verilmiştir. Bastırılmak istenilen doğrultunun seviyesinin optimizasyon sonunda yaklaşık olarak 55 dB azaltıldığı Şekil 5.2.4'de açıkça görülmektedir. İstenilen amacın gerçeklenebilmesi için pozisyonlarının optimize edilmesi gereken antenler ve bu antenlerin pozisyonlarına uygulanacak sarsım miktarları Çizelge 5.2.1'in ilk sütununda verilmiştir. Buradan açıkça görülmektedir ki, girişimin bulunduğu bölgenin bu seviyede bastırılabilmesi yalnızca GPA algoritmasının tespit ettiği 6 antenin pozisyonlarının en fazla 0.0625 λ değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Şekil 5.2.4(b)'de görülebileceği gibi belirlenen

antenlerin pozisyonlarının yer değiştirme miktarları talepler doğrultusunda yalnızca 44 döngü sonunda optimize edilmiştir. Şekil 5.2.4(b)'de GPA algoritması (5.1.1) ve (5.1.2) ile verilen amaç fonksiyonu için minimum değer alması için çalışmaktadır.



(a)

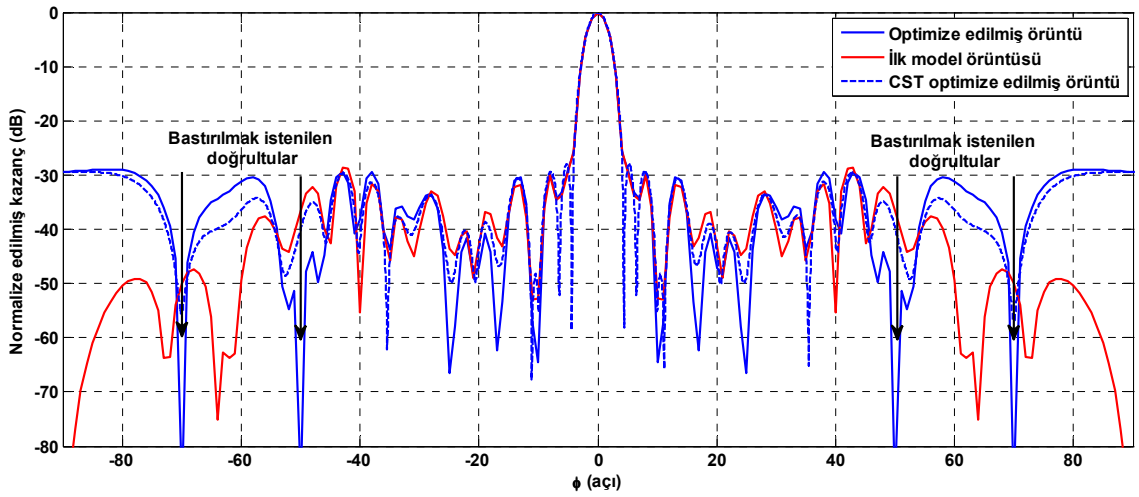


(b)

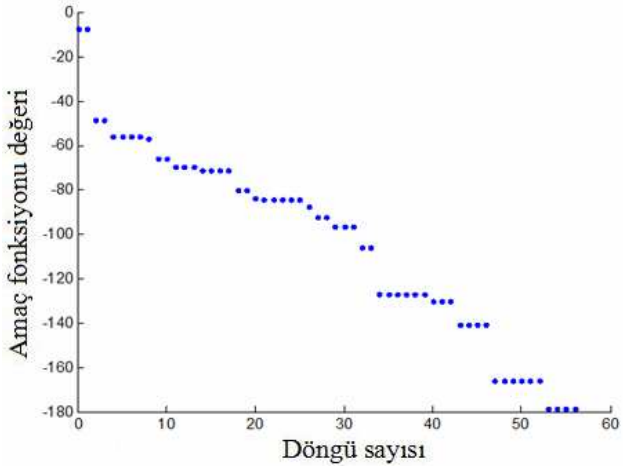
Şekil 5.2.4 (a) 70^{o} doğrultusunun bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi.

İkinci uygulamada yine ilk modelin ışıma örüntüsünde yan lobların tepe değerini aldığı noktalardan olan 50^{o} ve 70^{o} doğrultularının bastırılması, yalnızca belirlenmiş elemanlarının pozisyonlarının GPA algoritması kullanılarak optimize edilmesiyle sağlanmıştır. Bu uygulamadaki amaç fonksiyonu bastırılmak istenilen doğrultuların toplam değerinden ve MYLS ile verilen kısıtlamadan oluşmaktadır. Şekil 5.2.5(a)'da ilk modelin ışıma örüntüsü, 50^{o} ve 70^{o} doğrultularının bastırılabilmesi için gerekli elemanların pozisyonlarının GPA algoritması kullanılması sonucu elde edilen dizilimin ışıma örüntüsü ve bu dizilimin CST

benzetim sonuçları ile birlikte verilmiştir. Şekil 5.2.5(b)'de ise ışıma örüntüsünden beklentiler doğrultusunda oluşturulmuş amaç fonksiyonunun döngü sayısına bağlı olarak değişimi verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.2.5 (a) 50° ve 70° doğrultularının bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi.

Şekil 5.2.5(a)'da görüldüğü gibi bir önceki örnekte verilen doğrultu yine başarılı bir şekilde bastırılmış, ilk model örüntüsündeki değeri yaklaşık olarak -35 dB olan 50° doğrultusu ise oldukça derin bir seviyeye kadar bastırılmıştır. Şekil 5.2.5(b)'de verildiği gibi GPA algoritması yalnızca 53 döngü sonunda pozisyonlarının değişmesi gereken antenleri tespit etmiş ve bu pozisyonlara uygulanması gereken sarsım miktarlarını optimize etmiştir. İstenilen amacın gerçeklenebilmesi için pozisyonlarının optimize edilmesi gereken antenler ve bu

antenlerin pozisyonlarına uygulanacak sarsım miktarları Çizelge 5.2.1'in ikinci sütununda verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, girişimin bulunduğu doğrultuların bastırılabilmesi yalnızca 18 antenin pozisyonlarının en fazla 0.0635λ yer değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Burada konumları değiştirilen anten sayısı, dizilimi oluşturan toplam anten sayısının % 45'ine karşılık gelmektedir.

Çizelge 5.2.1 Şekil 5.2.4(a), 5.2.5(a), 5.2.6(a) ve 5.2.7(a)'da verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n)

Anten Sıra Numarası	Δ_n (λ)			
	Şekil 5.2.4(a)	Şekil 5.2.5(a)	Şekil 5.2.6(a)	Şekil 5.2.7(a)
± 1	-	-	-	-
± 2	-	-	-	0.0036
± 3	-	-	-	0.0234
± 4	-	-	-	0.0391
± 5	-	-	-	-
± 6	-	-	-	-
± 7	-	0.0205	0.0003	-
± 8	0.0044	0.0010	-	0.0078
± 9	0.0625	0.0635	0.0525	-0.0303
± 10	0.0090	-0.0039	-	-0.0620
± 11	-	-0.0020	0.0078	0.0547
± 12	-	-	0.0823	0.0938
± 13	-	-	-	-0.0078
± 14	-	-	-	0.0430
± 15	-	0.0156	0.0293	0.0781
± 16	-	-	-0.0028	-0.0228
± 17	-	0.0020	-	-
± 18	-	-	0.0261	0.0999
± 19	-	-0.0302	-0.0196	-0.0976
± 20	-	-0.0391	-0.0571	0.0040

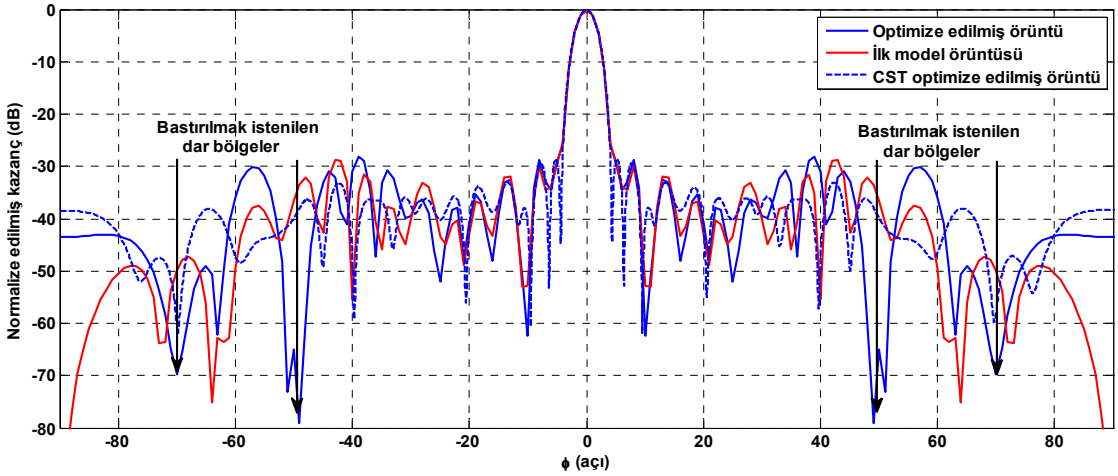
Bundan sonraki uygulamalarda ise, girişim sebebiyle tek veya birden çok doğrultunun bastırılması yerine dar/geniş bölgelerin bastırılması, yine dizilimi oluşturan antenlerin tamamının değil bir kısmının pozisyonlarının optimizasyonu ile sağlanılmaya çalışılmıştır.

Böylelikle, ışıma örüntüsünden istenilen talepler zorlaştırılarak, yer değiştirmesi gereken anten sayısının değişimi ve her bir antene uygulanması gereken yer değiştirme miktarlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

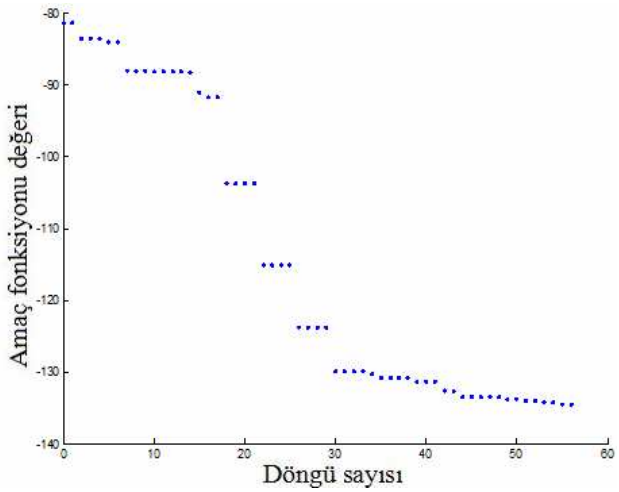
Üçüncü uygulamada, daha zor taleplerin de yalnızca GPA algoritması kullanılarak tespit edilen antenlerinin pozisyonlarının optimizasyonu ile gerçekleştirilebileceğini göstermek için 49^{o}-51^{o} ve 69^{o}-71^{o}'ler arasındaki 2^{o}'lik dar bölgeler bastırılmaya çalışılmıştır. (5.1.1) ve (5.1.2) ile verilen amaç fonksiyonunda bastırılmak istenilen dar bölgelerin maksimum seviyelerinin toplamı, MYLS -29 dB'yi geçmeme koşulu altında minimize edilmiştir. İlk modelin ve optimize edilmiş dizilimin ışıma örüntüleri ile CST benzetimi sonucu elde edilen ışıma örüntüleri Şekil 5.2.6(a)'da verilmiştir. Amaç fonksiyonunun değerinin döngü sayısı ile değişimini veren yakınsama eğrisi ise Şekil 5.2.6(b)'de verilmiştir.

Şekil 5.2.6(a)'de görüldüğü gibi, 49^{o}-51^{o} arasındaki maksimum seviye yaklaşık olarak 40 dB, 69^{o}-71^{o} arasındaki dar bölgenin maksimum seviyesi ise 20 dB kadar bastırılmıştır. MYLS ise yine Şekil 5.2.6(a)'da verildiği gibi -29 dB'de kalmıştır. Verilen hedefler için gerçekleştirilen optimizasyon işlemi Şekil 5.2.6(b)'de görüldüğü gibi yalnızca 60 döngüde tamamlanmıştır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için pozisyonlarının değişmesi gereken antenler ve pozisyonların değişim miktarları Çizelge 5.2.1'in üçüncü sütununda verilmiştir. Buradan görüleceği gibi dizilimi oluşturan 40 antenden yalnızca 18'inin pozisyonlarının değiştirilmesiyle yukarıda belirtilen talepler gerçekleştirilmiş oldu. Antenlerin pozisyonlarına uygulanması gereken sarsım miktarları incelendiğinde en büyük sarsım miktarının $0.0823\ \lambda$ olduğu görülmektedir.

Son olarak, ilk modelin oluşturduğu ışıma örüntüsünün yan lob bölgesinde üç adet tepe noktasını içine alacak şekilde seçilmiş 20^{o} genişliğindeki 40^{o}-60^{o} bölgesindeki maksimum seviyenin bastırılması amaçlanmıştır. İlk modelin ışıma örüntüsü, optimize edilmiş dizilimin ışıma örüntüsü ve CST benzetimi sonucu elde edilen ışıma örüntüsü ile birlikte Şekil 5.2.7(a)'da verilmiştir. Burada, optimizasyondan önce yaklaşık olarak -30 dB olan bastırılmak istenilen bölgenin maksimum seviyesi, GPA algoritmasının belirlediği ve Çizelge 5.2.1'in son sütununda görülebileceği gibi 30 antenin en fazla $0.0976\ \lambda$ yer değiştirilmesiyle -58 dB seviyesine kadar bastırılabilmiştir. Girişimin bulunduğu varsayılan bu genişlikteki bir bölgenin yaklaşık olarak 30 dB kadar bastırılmasını GPA algoritması Şekil 5.2.7(b)'den de görülebileceği gibi yalnızca 40 adımda tamamlamıştır.



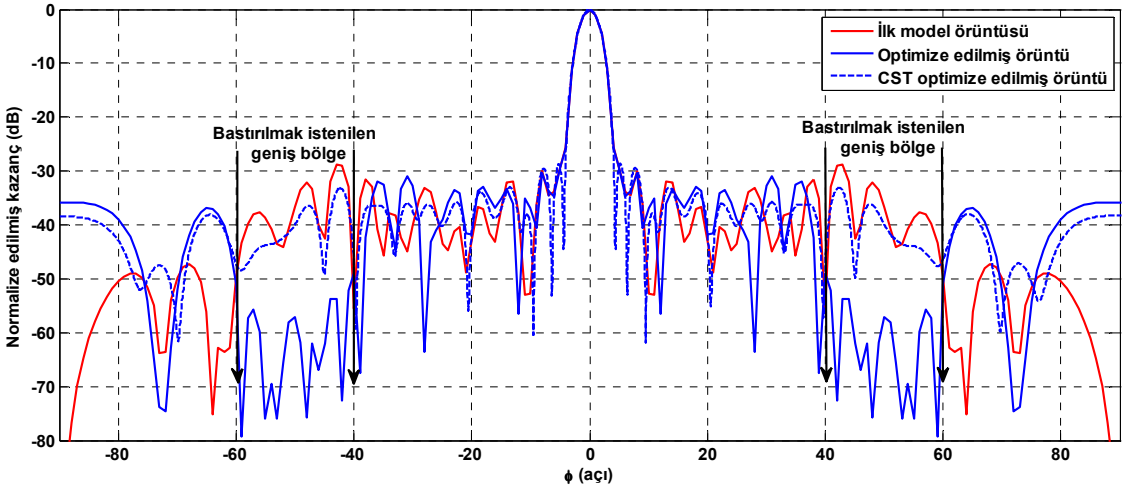
(a)



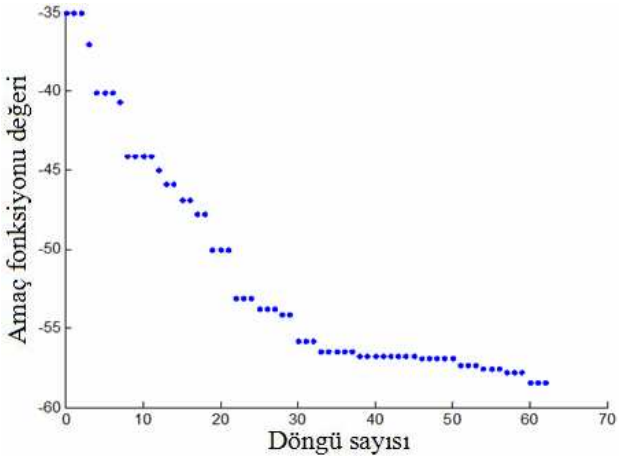
(b)

Şekil 5.2.6. (a) 49° -51° ve 69° -71° bölgelerindeki 2° 'lik dar bölgelerin bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi.

Bu örnekteki hedefin diğer örnekte verilen hedeflere göre nispeten daha zor gerçekleştirilebileceği açıktır. Beklenildiği gibi hedefin gerçekleştirilmesi için antenlerin %75'inin pozisyonunun konrolü gerekmektedir. Dizilimi oluşturan antenlerin çoğunun pozisyonunun değiştirilmesi de antenler arasındaki ortak kuplaj etkisinin artmasına yol açmıştır. Bu durum da örüntü çarpımı metoduyla elde edilen örüntünün CST benzetimi sonucunda elde edilen örüntüyle çakışmamasına yol açmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.2.7. (a) 40° -60° 'ler arasındaki 20° genişliğindeki bölgenin bastırılması için optimize edilmiş dizilimin, aynı dizilimin CST benzetimi ışıma örüntüsü ve ilk modelin ışıma örüntüsü (b) Verilen amaç fonksiyonu için döngü sayısına bağlı olarak elde edilmiş yakınsama eğrisi.

5.3 Sonuçlar

Bu uygulamada, radar ve haberleşme sistemleri için hayati öneme sahip, elektromagnetik ortamın kirlenmesindeki artışa bağlı olarak belirlenmiş doğrultulardaki girişim sinyallerinin bastırılması problemi, literatürde daha önce yapılan çalışmalardaki gibi dizilimi oluşturan tüm antenlerin pozisyonlarının optimizasyonu ile değil, GPA algoritmasının tespit ettiği antenlerin konumlarının yine bu algoritma kullanılarak belirlenmiş miktarlarda yer değiştirmesi sonucu çözülmüştür. Dizilim antenin oluşturduğu ışıma örüntüsünden beklenen özellikler arttıkça (MYLS'nin azaltılması, girişimin bulunduğu bölgelerin bastırılması, ana huzme genişliğinin daraltılması, v.b) veya daha zor karşılanacak talepler oluşturulduğunda (daha geniş bölgelerin

bastırılması, bastırılmak istenen bölgenin ana huzmeye oldukça yakın olması, vb.), optimizasyon işleminde yer değiştirmesi gereken anten sayısı ve her bir antene uygulanması gereken yer değiştirme miktarı artacaktır. Dizilimde yer değiştiren anten sayısının ve antenlerin yer değiştirme miktarlarının artması, dizilimi oluşturan antenlerden, birbiri arasındaki mesafenin, ilk modeldeki antenler arasındaki mesafeye göre daha az olan anten sayısının artmasına yol açacaktır. Bu sebeple, antenler arasındaki ortak kuplaj etkisi de artacak ve böylece örüntü çarpımıyla elde edilen örüntülerle tam elektromagnetik dalga benzetimi sonuçları tam olarak örtüşmeyecektir.

Bu uygulamada elde edilen sonuçlar incelendiğinde de tek bir doğrultunun bastırılması probleminin çözümünde yer değiştirmesi gereken anten sayısı yalnızca 6 iken, geniş bir bölgenin bastırılması talebi karşısında bu sayı 30'a yükselmiştir. Optimize edilmiş dizilimlerin patern çarpımı ile elde edilmiş örüntüleriyle CST benzetimi sonucu elde edilen örüntüler karşılaştırıldığında, daha az sayıda antenin pozisyonlarının yer değiştirilmesiyle oluşmuş dizilim antenlerin örüntülerinin CST benzetim sonuçlarıyla daha iyi örtüştüğü görülür.

Sonuç olarak, sentez edilmek istenen ışıma örüntüsü için dizilimde bulunan antenlerden mümkün olduğunca az sayıda antenin pozisyonlarının değiştirilmesi dizilim geometrisi sentezi probleminde çok büyük öneme sahiptir ve GPA algoritması bu geometrileri olabildiğince az sayıda antenin pozisyonlarının optimizasyonuyla gerçekleştirebilmektedir.

6. ÇOK HEDEFLİ OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN PARETO SINIRLARI YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ

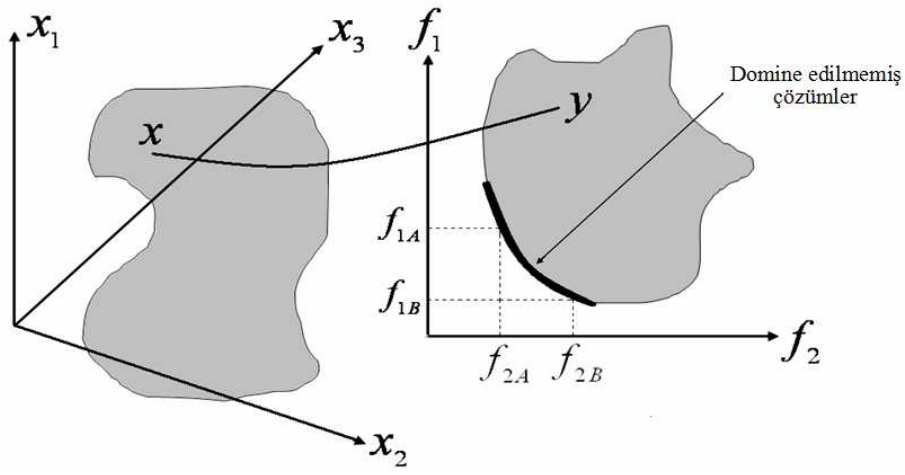
Bu bölümde, ikinci bölümde tanıtılan çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümüne objektif çözümler sunan Pareto sınırları yöntemi tanıtılacak ve bu yöntemle oluşturulmuş amaç fonksiyonlarının çözümündeki en etkili algoritmalardan olan ve bu tez çalışmasında da kullanılmış NSGA II algoritması ayrıntılarıyla verilecektir.

6.1 PARETO Sınırları Yöntemi

Çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek diğer bir yöntem de Pareto sınırlarını elde etmektir. Bu çözüm yönteminde herhangi bir ağırlık kullanılmadığından ve böylelikle hedefler ile ilgili ön bilgiye ihtiyaç duyulmadığından, Pareto çözümü objektif bir sonuç verir. Çok hedefli optimizasyon için bu çözümü İtalyan bir ekonomist olan Vilfredo Pareto ortaya koymuştur.

Çok hedefli bir optimizasyon probleminde en az bir hedefin değeri, diğer hedeflerin değerlerinin hiçbiri kötüleşmeden iyileştirilebiliyorsa bu duruma Pareto ilerlemesi denir. Daha fazla Pareto ilerlemesi sağlanamadığı noktadaki çözüm, diğer bir deyişle bir hedefin değerinin iyileşmesi en az bir diğer hedefin değerinin kötüleşmesine sebep olduğu noktadaki çözüm, Pareto optimum çözümdür. Pareto optimum çözümlerin kümesi değişik hedefler arasındaki ödünleşim yüzeylerini oluşturur. Bu yüzeyi oluşturan çözümler başka herhangi bir çözüm tarafından domine edilemezler. Bu optimal çözümlerin kümesine Pareto sınırı denir. (3.1.2), (3.1.3) ve (3.1.4) ile verilen kısıtlamalar, karar uzayı $x \in R^n$ 'de olası bir D bölgesi tanımlar ve çoklu hedefe sahip amaç fonksiyonu $\vec{f}$ olası D bölgesini amaç fonksiyonu uzayı $y \in R^n$ 'e eşler. Örnek olarak üç değişkenli ve iki amaç fonksiyonlu bir durum için Pareto sınırı Şekil 6.1.1'de verilmiştir.

Çok hedefe sahip optimizasyon problemlerinin çözümü için tanıtılan Pareto çözümünün elde edilebilmesi için, oluşturulan amaç fonksiyonları bir optimizasyon algoritması ile optimize edilmelidir. Bu tezde, Deb tarafından tanıtılan (Deb, 2001; Deb vd., 2002) NSGA II algoritması kullanılmıştır.



Şekil 6.1.1 Üç değişkenli iki hedefli bir optimizasyon problemi için karar uzayının amaç uzayına eşlenmesi.

6.1.1 NSGA II Algoritması

Çok hedefli optimizasyon problemlerinde kullanılan klasik optimizasyon algoritmaları, birden çok optimizasyon hedefini tek bir amaç fonksiyonu haline getirip her koşturulduğunda tek bir sonuç verecek şekilde çalışmaktadır. Birbirini domine etmeyen bir çok sonuç arandığında, klasik algoritmalar çok sayıda koşturulmalı ve her koşturma sonunda farklı bir değere ulaşması beklenmekteydi. Son yıllarda bu zorluğun aşılması için tek bir koşturmada bir çok Pareto optimum çözüm elde edebilen evrimsel algoritmalar kullanılmaktadır (Deb, 2001; Fonseca ve Fleming, 1993; Horn, 1994; Srinivas ve Deb, 1995; Zitzler ve Thiele, 1998). Yine Deb ve arkadaşları tarafından geliştirilen NSGA (Srinivas ve Deb, 1995) bu alanda tanıtılan ilk algoritmalardandır. Zaman içerisinde NSGA algoritması ile ilgili şu eleştiriler yapılmıştır.

- Domine edilmemiş sıralama için hesaba dayalı yüksek karmaşıklık: NSGA algoritması $O(MN^3)$ hesap karmaşıklığına sahiptir. Burada M hedef sayısını, N popülasyon sayısını göstermektedir. Popülasyonun artmasıyla hesap karmaşıklığının çok büyük oranda artacağı açıktır.
- Algoritmanın seçkincilik içermemesi: Son yıllarda yapılan çalışmalar (Zitzler ve Deb, 2000; Rudolph, 1999) seçkinciliğin kullanılmasının, algoritmanın hızını oldukça arttıracağını ve bir kez elde edilmiş iyi çözümlerin kaybolmasını engelleyeceğini ortaya koymuştur.
- Paylaşma parametresi $\sigma_{pay.}$'in tanımlanması gerektiği: Geleneksel mekanizmalarda popülasyondaki çeşitliliği garantileyerek eşdeğer çözümler bu parametre sayesinde elde edilir.

NSGA II tüm bu eleştiriler göz önünde bulunarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Seçkincilik teriminin evrimsel algoritmalar ile gerçekleştirilen optimizasyonların sonuçlarını daha ileriye götürmesi üzerine, seçkincilik terimi çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümünde de kullanılarak (Zitzler vd., 2000) algoritmanın çözüme yakınsama hızının artması sağlanmıştır. NSGA II hızlandırılarak hesap karmaşıklığı $O(MN^2)$ boyutuna indirilmiştir. Son olarak paylaşma parametresi $\sigma_{pay.}$ eleştirisi için, kalabalık kıyaslama yaklaşımı gerçekleştirmek için kalabalık kıyaslama operatörü tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen bu yenilikler ile NSGA II'nin, çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümlerinde literatürde yer alan diğer yaklaşımlardan daha başarılı olduğu görülmektedir (Deb, 2002). Bu sebepten, birden çok hedefin aynı anda optimize edilmeye çalışıldığı bu tez çalışmasında Matlab'da bulunan NSGA II araç takımı kullanılmıştır.

NSGA II algoritmasının, çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümünde GA kullanılarak geliştirilmiş etkin bir algoritma olması sebebiyle, bu bölümde GA'ların çalışma mantığına da kısaca değinilecektir. GA' lar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir amaç fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama, değiştirme gibi operatörler kullanır. GA' ların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötüleri elenebilir. Bir problemin GA ile çözümünde izlenecek işlem adımları aşağıda verilmektedir:

i) Kullanıcının önceden tanımladığı kurallara göre genellikle rastsal bir çözüm grubu seçilir veya kullanıcı kendisi ilk çözüm grubunu belirleyebilir. İlk çözüm grubuna başlangıç popülasyonu denir.

ii) Her bir kromozom için bir maliyet değeri hesaplanır; bulunan maliyet değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir. Popülasyonda yer alan en düşük maliyet değerine sahip birey (kromozom), bir sonraki yeni nesle doğrudan değiştirilmeden aktarılır. Buna seçkincilik denir.

iii) İki grup dizi (kromozom), belirli bir seçim yöntemine göre (maliyet değerlerine göre hesaplanmış olasılık değerlerine göre) rastsal olarak seçilir.

iv) Seçilen iki kromozom için rastsal olarak genetik operatörler kullanılarak çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Sonuçta yeni popülasyonda yer alacak iki yeni birey (kromozom) oluşur. Çaprazlama, yeni popülasyonda yer alacak birey sayısına ulaşılana dek sürer.

v) Yeni popülasyondaki bireyler, rastsal olarak mutasyon işleminden geçerler.

vi) Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler sürdürülür. Eğer en büyük nesil sayısına ulaşılmamışsa adım 2'ye dönülür. Adım sayısı, en büyük nesil sayısına ulaşınca işlem bitirilir. Maliyet değeri en düşük olan kromozom (çözüm) seçilir.

7. NSGA II ALGORİTMASI UYGULAMA ÖRNEĞİ

Bu bölümde, çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümü için bir önceki bölümde verilen Pareto sınırları oluşturmak üzere elde edilen amaç fonksiyonlarının NSGA II algoritması ile optimize edilmesi üzerine örnekler sunulacaktır. Bölüm 4'de oluşturulan çok amaçlı problemleri tek bir toplam fonksiyonu şeklinde tanımlanarak belirli kısıtlamalar altında GPA algoritması ile çözülmekteydi. Bu bölümde aynı ışıma örüntüsü sentezi hedefleri NSGA II algoritmasının kullanılmasına uygun hale getirilerek ayrı ayrı ifade edilmiş ve gerçekleştirilecek optimizasyon sonucunda belirtilen hedefler için Pareto sınırları elde edilmiştir.

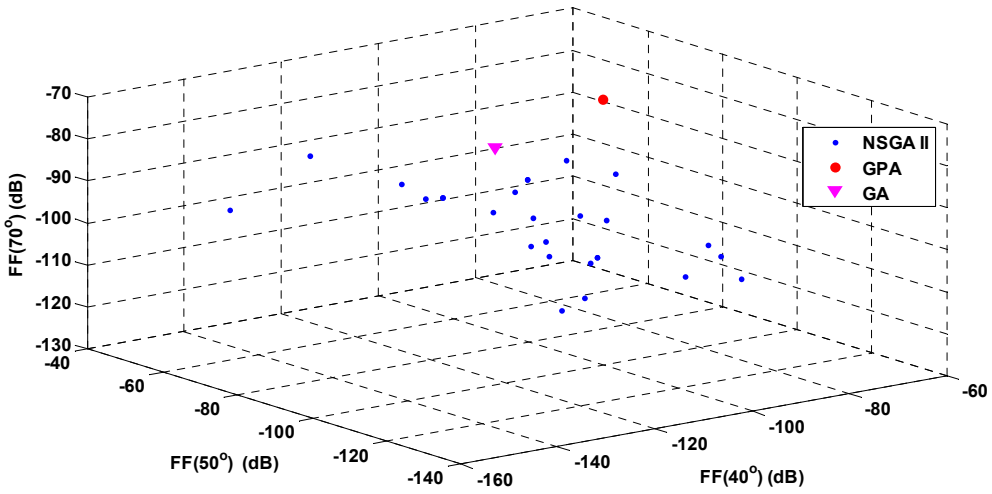
İlk örnekte, Bölüm 4.3'de (4.3.1) ile verilen üç farklı doğrultunun bastırılması hedefleri için ayrıca bir Pareto optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada 40^o, 50^o ve 70^o doğrultularının bastırılması, aşağıda verilen amaç fonksiyonlarıyla sağlanmıştır:

$$Amaç\ \ Fonksiyonu(1) = 20\log\left\{\left|FF(40^o)\right|\right\} \tag{7.1}$$

$$Amaç\ \ Fonksiyonu(2) = 20\log\left\{\left|FF(50^o)\right|\right\} \tag{7.2}$$

$$Amaç\ \ Fonksiyonu(3) = 20\log\left\{\left|FF(70^o)\right|\right\} \tag{7.3}$$

Yukarıda verilen amaç fonksiyonları için elde edilen Pareto yüzeyleri Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1'de ayrıca girişim doğrultularının bastırılması için GPA ve GA algoritmaları kullanılarak Bölüm 4.3'de elde edilmiş değerler de belirtilmiştir.



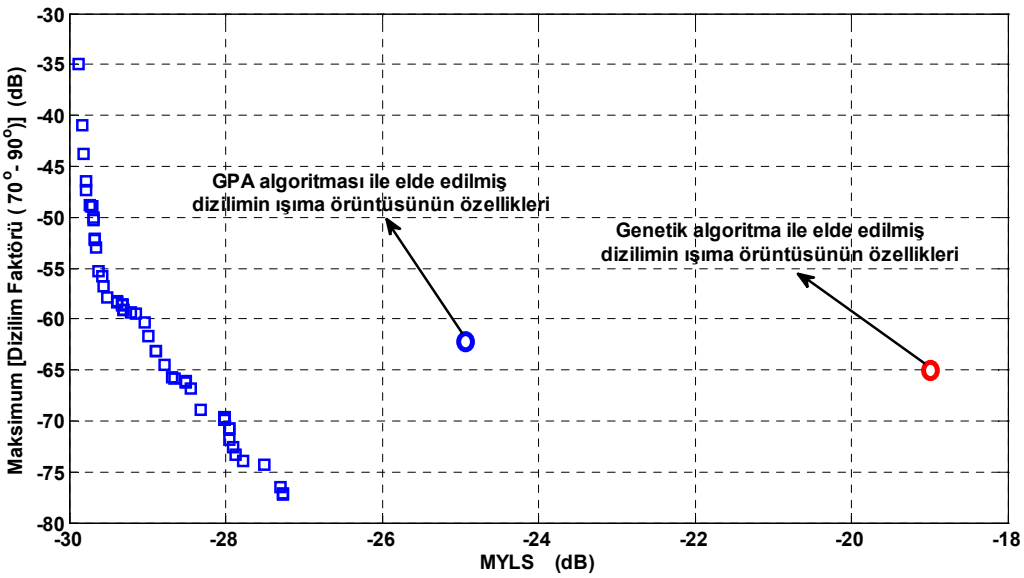
Şekil 7.1 Bölüm 4.3'de (4.3.1) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları.

Şekil 7.1'de üç farklı amaç fonksiyonu için verilen üç boyutlu Pareto sınırlarının değerlerini şekil üzerinden belirlemek zor olmakla birlikte, Pareto sınırı değerlerinden sırasıyla 40^o, 50^o ve 70^o doğrultularının bastırılması amacı için NSGA II ile elde edilen (-91.79,-74.09,-109.5) değerlerinin Bölüm 4'te verilen Çizelge 4.3.2'deki değerleri domine ettiği söylenebilir.

Bölüm 4.3'de (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonunun GPA ve GA algoritmaları kullanılarak minimize edilmesi sonucunda elde edilen çözüm kümelerine alternatif olabilecek çözüm kümelerinin araştırılması ve amaç fonksiyonu için elde edilmiş minimum değerin başarısının gözlemlenebilmesi için de bir Pareto optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen Pareto eğrileri, GPA ve GA algoritması ile oluşturulan örüntülerin özellikleriyle birlikte Şekil 7.2'da verilmiştir. Burada kullanılan amaç fonksiyonları ise şu şekildedir:

$$Amaç\ \ Fonksiyonu(1) = 20\log\left\{maksimum\left|FF(10^o - 90^o)\right|\right\} \tag{7.4}$$

$$Amaç\ \ Fonksiyonu(2) = 20\log\left\{maksimum\left|FF(70^o - 90^o)\right|\right\} \tag{7.5}$$



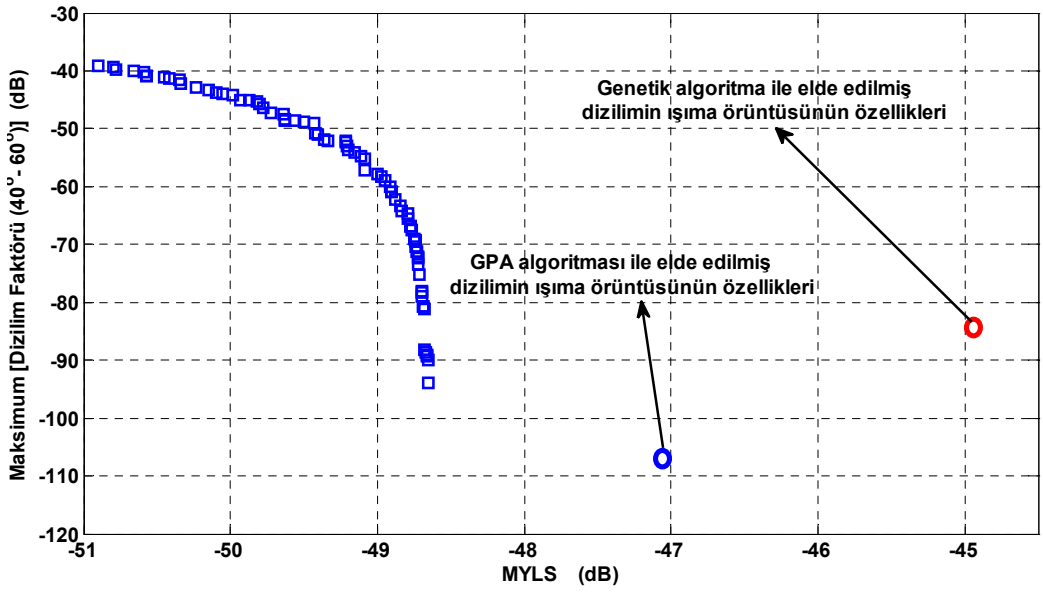
Şekil 7.2 Bölüm 4.3'de (4.3.2) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları.

Şekil 7.2'de görüldüğü gibi GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen örüntü özelliklerinden daha iyi değerlere sahip değerlere Pareto optimizasyonu sonucunda ulaşılmıştır. NSGA II algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar ile oluşturulacak dizilimin ışıma örüntüsünün (7.4) ve (7.5) ile verilen amaç fonksiyonlarını daha iyi bir şekilde gerçekleştirebileceği söylenebilir.

Üçüncü olarak Bölüm 4.3'de (4.3.3) ile verilen amaç fonksiyonunun GPA ve GA algoritmaları kullanılarak minimize edilmesi sonucunda elde edilen çözüm kümelerine alternatif olabilecek çözüm kümelerinin araştırılması ve amaç fonksiyonu için elde edilmiş minimum değerin başarısının gözlemlenebilmesi için ayrıca bir Pareto optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen Pareto eğrileri, GPA ve GA algoritması ile oluşturulan örüntülerin özellikleriyle birlikte Şekil 7.3'de verilmiştir. Burada kullanılan amaç fonksiyonları ise şu şekildedir:

$$Amaç\ Fonksiyonu(1) = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=10^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \tag{7.6}$$

$$Amaç\ Fonksiyonu(2) = 20\log\left\{\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi_a=40^o}^{\phi_{ü}=60^o}\left|FF(\phi)\right|d\phi\right\} \tag{7.7}$$



Şekil 7.3 Bölüm 4.3'de (4.3.3) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları.

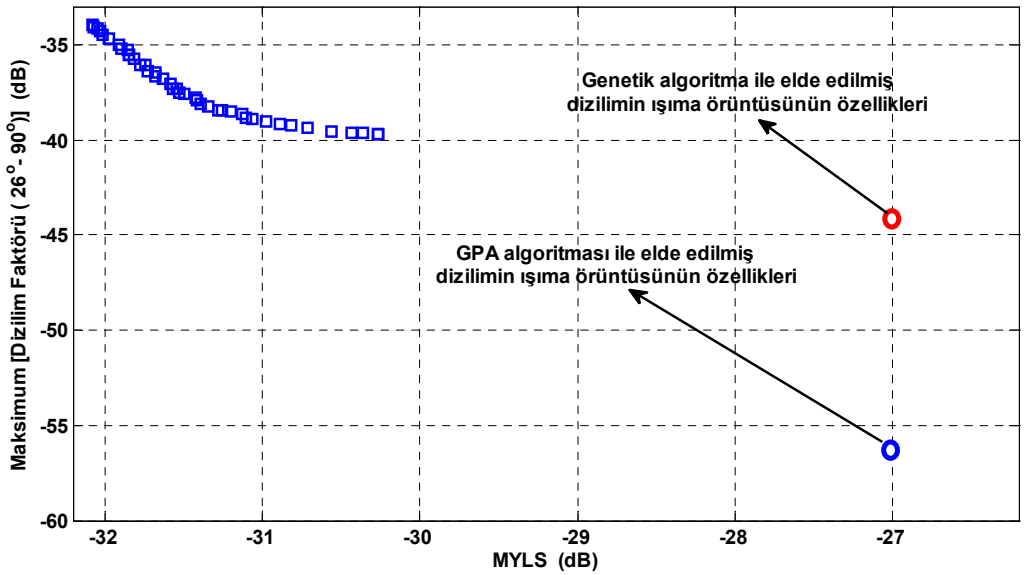
Şekil 7.3'de görüldüğü gibi GA ile elde edilen örüntü özelliklerinden daha iyi değerlere sahip değerlere Pareto optimizasyonu sonucunda ulaşılırken, GPA optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler Pareto optimizasyonuyla domine edilememiştir. Bu sebepten, GPA optimizasyonu sonuçlarının, Pareto sonuçlarına alternatif bir çözüm olduğu söylenebilir.

Son olarak Bölüm 4.3'de (4.3.4) ile verilen amaç fonksiyonunun GPA ve GA algoritmaları kullanılarak minimize edilmesi sonucunda elde edilen çözüm kümelerine alternatif olabilecek

çözüm kümelerinin araştırılması ve amaç fonksiyonu için elde edilmiş minimum değerin başarısının gözlemlenebilmesi için Pareto optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen Pareto eğrileri, GPA ve GA algoritması ile oluşturulan örüntülerin özellikleriyle birlikte Şekil 7.4'de verilmiştir. Burada kullanılan amaç fonksiyonları ise şu şekildedir:

$$Amaç\ Fonksiyonu(1) = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=6^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \tag{7.8}$$

$$Amaç\ Fonksiyonu(2) = 20\log\left\{maksimum\left\{\left|FF(\phi)\right|_{\phi_a=25^o}^{\phi_{ü}=90^o}\right\}\right\} \tag{7.9}$$



Şekil 7.4 Bölüm 4.3'de (4.3.4) ile verilen amaç fonksiyonlarının GPA ve GA algoritmaları ile elde edilen sonuçlarıyla birlikte verilen NSGA II algoritması sonuçlarına ait Pareto sınırları.

Şekil 7.4'de görüldüğü gibi ne GA ne de GPA ile elde edilen örüntü özelliklerini domine edebilecek Pareto optimizasyonu sonuçlarına ulaşılamamıştır. Bunun yanında GPA sonuçlarının, GA optimizasyonu sonuçlarını domine ettiği açıkça görülmektedir. Burada GPA ile elde edilen -27 dB MYLS'si Pareto optimizasyonu sonucunda (-31dB) – (-32 dB) aralığına taşındığı, bunun yanında Pareto optimizasyonu ile minimum -40 dB olarak bulunan bastırılmak istenilen bölgenin en yüksek seviyesinin, GPA algoritması ile -55 dB'nin altına çekilebildiği açıktır. Bu sebeple, GPA algoritması ile elde edilen sonuçların Pareto optimizasyonu sonuçlarına alternatif bir çözüm olduğu söylenebilir.

7.1 Sonuçlar

Bu bölümde, Bölüm 4.3'de GPA ve GA ile çözülmüş çok hedefli optimizasyon problemlerinin, diğer bir çok hedefli optimizasyon problemi çözüm yöntemi olan Pareto sınırları elde edilmiştir. Bunun için Bölüm 4.3'de toplamlar şeklinde tek bir fonksiyonla tanımlanan amaç fonksiyonları, burada NSGA II algoritmasının kullanımına uygun hale getirilerek tekrar optimize edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki, domine edilmemiş çözümleri Pareto sınırları halinde veren NSGA II algoritmasının elde ettiği değerler bir örnek haricinde diğer algoritmalarla elde edilen sonuçlara geniş bir alternatif çözüm yelpazesi sunar.

8. FAZ DİZİLİMLİ ANTENLERİN IŞIMA ÖRÜNTÜLERİNİN SENTEZİ

Dizilim anten sentezi alanında ışıma örüntüsünün YLS'sinin azaltılması, toplam ışıma gücünün verimliliğinin korunması açısından oldukça önemlidir. Dizilimi oluşturan antenlerin ışıma örüntülerine ait YLS azaltılırken birçok çalışmada yalnızca dikine ışıyan dizilimler göz önünde bulundurulur (Boeringer vd., 2004; Haupt, 1995, 1997; Mahmoud, 2007; Panduro vd., 2005). Dizilimi oluşturan elemanların pozisyonlarının kontrolüyle düzgün olmayan bir geometri ortaya çıkar ve ana huzme dikine ışıma dışında herhangi bir doğrultuya yönlendirildiğinde, huzmede seviyesi ana huzme seviyesine yaklaşan istenmeyen lobların oluştuğu görülür. Ana huzme tarama yaparken istenmeyen lobların oluşmasının önlenmesi için optimizasyon işlemi huzme taraması yapılacağı dikkate alınarak yapılmalıdır (Bray vd., 2002; Tokan ve Gunes, 2009).

Bu bölümde gerçekleştirilecek her iki uygulamada da, dikine ışıma yapan bir dizilim ile geniş bantlar arasında değişen bölgede huzme taraması yapan faz dizilimli antenin yan lob bölgesinin ve bozucu bir işaretin bulunduğu düşünülen dar/geniş bölgelerin en yüksek seviyelerinin bastırılması için gerekli dizilim geometrisinin sentezlenebilmesi için sınırlandırmaların yer aldığı bir optimizasyonu problemi ortaya konulmuştur. Burada hedeflerin genellikle birbiriyle çelişmesi sebebiyle, her iki amacın birlikte optimize edildiği domine edilmemiş çözüm kümeleri, oldukça hızlı bir algoritma olan NSGA II kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra, MYLS ve girişim bölgesi ile huzme tarama aralığı arasındaki ödünleşim çözüm kümelerinden yararlanarak tüm tasarım seçeneklerinin sunulduğu Pareto sınırları elde edilmiştir. Pareto sınırları ile verilen örüntü özellikleri ana huzmenin yönlendirildiği yalnızca bir doğrultu için değil, tüm ana huzme tarama aralığı için geçerlidir.

Optimizasyon sırasında her bir antenin yer değiştirebileceği miktarı sınırlandırılarak, antenlerin birbirleriyle oldukça yakınlaşmaları engellenmiş, böylece antenler arasında oluşabilecek ortak kuplaj etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Elde edilen Pareto sınırları üzerinde seçilen MYLS ve girişimin bulunduğu bölgenin huzme taraması esnasındaki en yüksek seviyelerini gösteren noktaların oluşması için kullanılan sarsım miktarları kullanılarak elde edilen ışıma örüntüleri, tam-dalga benzetim programı CST sonuçları ile kıyaslanarak ortak kuplaj etkisinin örüntüler üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

8.1 Problemin Geometrisi ve Formülasyonu

Bu bölümdeki uygulama örneklerinde de anten tipi olarak 2.6 GHz frekansında yarım-dalga

dipol antenler kullanılmıştır. Problemin geometrisi Bölüm 2'de verilen Şekil 2.2'deki gibidir. Huzme taraması yapacak olan dizilimdeki her bir antenin fazı (2.17) ile verilen eşitlikteki gibi hesaplanabilir. Faz dizilimli anten teknolojisinde huzme tarama işleminin sürekli olması gerektiğinden sistem dizilimi oluşturan elemanların fazlarını sürekli olarak değiştirebilmelidir. Pratikte bu işlem ferit veya diyot faz kaydırıcılar kullanılarak gerçekleştirilir (Balanis, 1997).

Buradaki uygulama örneklerinde, yan lob bölgesinin ve girişimin bulunduğu dar/geniş bölgenin huzme taraması esnasında oluşan en yüksek seviyelerinin bastırılması, dizilimi oluşturan elemanların pozisyonlarına küçük miktarlarda sarsımlar uygulanarak gerçekleştirileceğinden, Δ_n , *n.* elemanın sarsım miktarını göstermek üzere uzak alan ifadesi (2.17) eşitliği Bölüm 5'te verilen (5.1.3) eşitliğine yerleştirilerek aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$FF(\phi) = \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left[k(d_n + \Delta_n)(\sin\phi - \sin\phi_o)\right] \tag{8.1.1}$$

Bu şekilde problemler, ana huzmenin belirlenmiş bölgeleri taraması esnasında yan lob ve girişimin bulunduğu bölgelerdeki en yüksek seviyelerin bastırılması için her bir antenin konumuna uygulanacak sarsım miktarları Δ_n 'lerin, NSGA II algoritması kullanılarak optimize edilmesi problemine dönüşmüş olur.

8.2 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması

Bu bölümdeki ilk uygulama örneğinde, doğrusal klasik dizilimli antenlerin yanı sıra, inceltilmiş dizilimli antenler de kullanılarak elde edilen ışıma örüntüleriyle istenilen amaçların sentezlenebilme başarıları kıyaslanmıştır. Genellikle MYLS'nin azaltılması amacıyla dizilimde bulunan antenlerin bir kısmının beslenip bir kısmının beslenmediği duruma inceltilmiş dizilim denir (Haupt, 1995).

Bu uygulama örneğinde, ana huzmesi belirtilen açılar arasında huzme taraması yaparken, yan lob seviyelerinin minimum seviyede tutulmasını ve girişim oluşabilecek bölgelerde oldukça derin biçimde bastırılmış dar/geniş bölgelerin oluşturulmasını sağlayacak doğrusal faz dizilimli anten geometrisinin sentezlenmesi amaçlanmıştır. Uygulamada verilen örneklerde, tek bir bölgede girişim olduğu varsayılmıştır. Bunun yanında, bu yaklaşım birden çok bölgede girişim olabileceği duruma da genişletilebilir.

Bir amacın daha da iyileştirilmesinin diğer amacın kötüleşmesini gerektirdiği çok hedefli optimizasyon problemlerinde, her bir amaç fonksiyonu bir diğerinin değerini

kötüleştirmeyecek şekilde optimize edilmelidir. Böylelikle yukarıda tanımlanan problem için oluşturulmuş amaç fonksiyonları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Minimize\left\{f_1(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{ maks\left[maks\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|_{\phi=-90^o}^{\phi=\phi_o-\frac{\phi_{HG}}{2}},\ maks\left|FF(\phi)\right|_{\phi=\phi_o+\frac{\phi_{HG}}{2}}^{\phi=90^o} \right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{oü}} \right\} \tag{8.2.1}$$

$$Minimize\left\{f_2(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{ maks\left[maks\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|_{\phi=\phi_{sıfıa}}^{\phi=\phi_{sıfıü}} \right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{oü}} \right\} \tag{8.2.2}$$

$$0.1\lambda \le \left|\Delta_n\right| \tag{8.2.3}$$

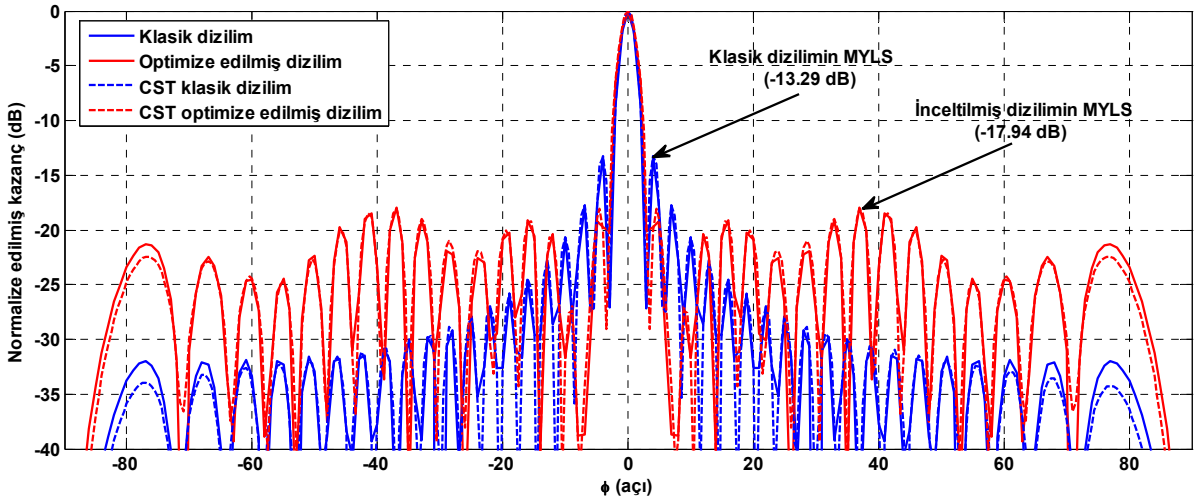
Burada ϕ_o ve ϕ_{HG} sırasıyla, maksimum ışıma doğrultusu ve bu doğrultu için oluşan ana huzme genişliğini, ϕ_{o_a} ve $\phi_{o_ü}$ huzme taraması yapılacak bölgenin alt ve üst sınırlarını vermektedir. (8.2.1) ve (8.2.2) ile verilen eşitliklerde $\vec{x}$ karar vektörü, *N* dizilimi oluşturan anten sayısını göstermek üzere *n*-boyutlu (*n*= *N*/2) sarsım vektörü $\vec{\Delta}_n$ ile yer değiştirmiştir. Hem (8.2.1) hem de (8.2.2) eşitliğinde minimizasyon operatörü yan lob bölgesinde ve girişimi bastırmak istediğimiz bölgede huzme taraması esnasında oluşabilecek en büyük değerlere uygulanmıştır. Dizilimde bulunan antenler arasında oluşabilecek ortak kuplaj etkisini en küçük seviyede tutabilmek amacıyla her bir anten için sınırlandırılmış sarsım miktarı (8.2.3) ile verilmektedir.

8.3 Faz Dizilimli Antenlerin NSGA II İle Sentezlenmesi Uygulamaları

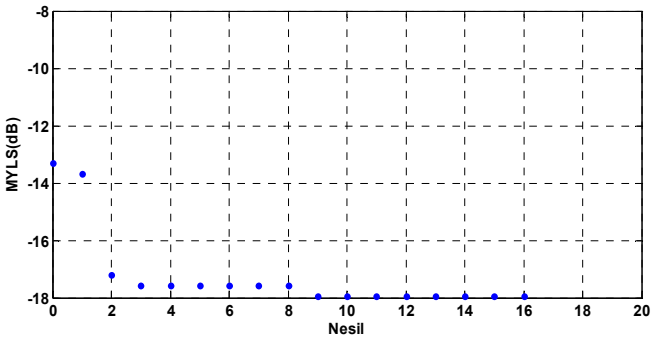
Bu bölümde NSGA II kullanılarak gerçekleştirilen Pareto optimizasyonunun, (8.2.1), (8.2.2) ve (8.2.3) ile verilen amaç fonksiyonlarına uygulanmasıyla elde edilmiş örneklere yer verilmiştir. Gerçekleştirilen örneklerde aralarında başlangıç olarak düzenli 0.5λ mesafe bulunan 40 adet yarım-dalga dipol anten içeren düzgün uyarılmış bir faz dizilimli anten ele alınmıştır.

Uygulama örneklerinde kullanılan diğer bir dizilim anten şekli de klasik dizilimin inceltilmiş çeşitlemesidir. Basit bir genetik optimizasyon işlemi (8.2.1) ile verilen amaç fonksiyonuna uygulanarak düzgün uyarım genliklerine sahip klasik dizilimin uyarım genlikleri, ışıma örüntüsünün en büyük yan lob seviyesini mümkün olan en küçük değere indirmek amacıyla 1 veya 0'a yuvarlatılmıştır. Böylelikle inceltilmiş dizilim anten için elde edilmiş uyarım genlikleri [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1] olarak tespit edilmiştir. Bu genlik değerleri

uygulanarak elde edilen ışıma örüntüsü, klasik dizilim ve CST benzetim örüntüleri ile karşılaştırılarak Şekil 8.3.1(a)'da verilmiştir. Hangi antenlerin beslenip hangi antenlerin beslenmeyeceği, Şekil 8.3.1(b)'deki yakınsama karakteristiğinden de görülebileceği gibi yalnızca dokuz neslin sonunda elde edilmiştir.



(a)

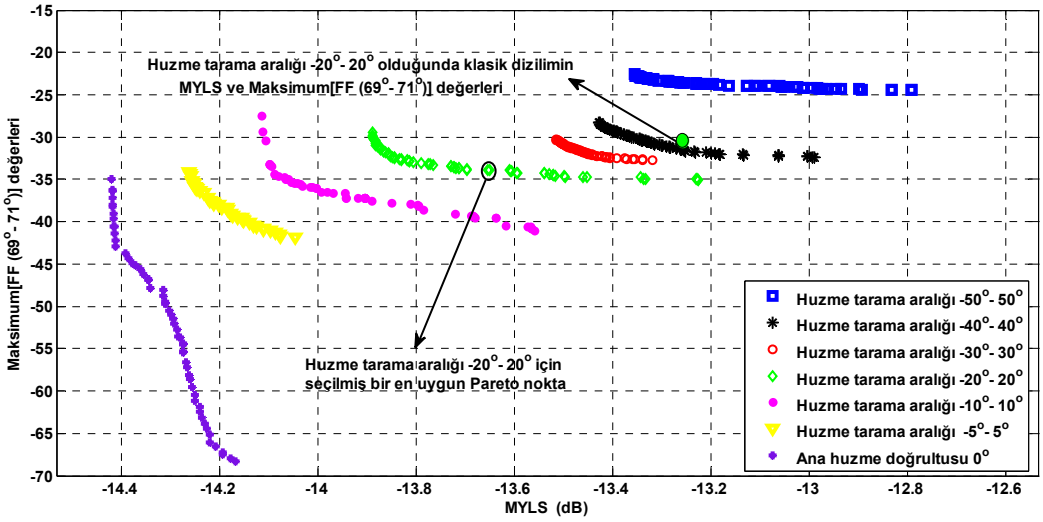


(b)

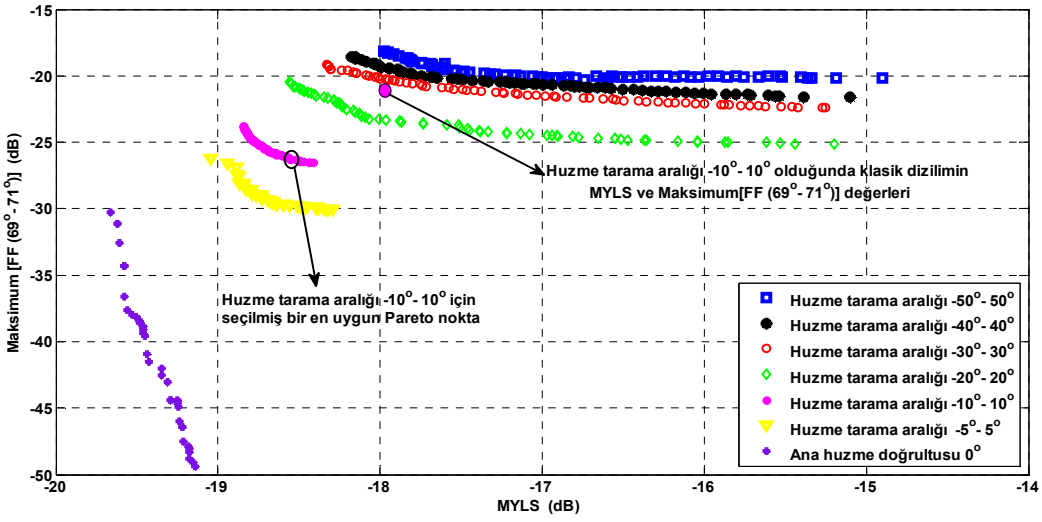
Şekil 8.3.1 İnceltilmiş otuz dört elemanlı dizilimin normalize edilmiş örüntüsünün (a) Kırk elemanlı klasik dizilim ve CST benzetimi ile elde edilmiş örüntülerle kıyaslanması (b) İnceltilmiş dizilim elde edilirken yapılan optimizasyonun yakınsama karakteristiği.

Burada verilecek tüm örneklerde örüntü çarpımı kullanılarak sentezlenmiş tüm ışıma örüntüleri, 2.6 GHz frekansında yarım-dalga dipol antenlerin kullanıldığı CST benzetimleri ile elde edilmiş ışıma örüntüleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 8.3.1(a)' da görüldüğü gibi klasik dizilimdeki uygun altı elemanın söndürülmesi ile elde edilmiş inceltilmiş antenin en büyük yan lob seviyesi yaklaşık olarak 5 dB azaltılmıştır. Böylelikle, dizilim antenin çalışabilmesi için gerek duyduğu enerji miktarı, dizilimin maliyeti ve karmaşıklığı azaltılmıştır.

Karar vektörü tüm anten dizilimleri için elemanların pozisyonlarının yer değiştirme vektörünü içerir ve simetrik dizilim geometrisi dolayısıyla boyutu dizilimi oluşturan anten sayısının yarısına eşittir (Şekil 2.2). (8.2.1)-(8.2.3) eşitlikleri ile çok amaçlı durum ele alındığından Pareto sınırları huzme tarama aralığına bağlı olarak değişen tüm yan lob bölgesinin en büyük seviyesi ve bastırmak istediğimiz bölgenin en büyük seviyesinin belirlediği amaç fonksiyonu düzleminde oluşur. Böylece Pareto sınırlarında gözlemlenebilen örüntü özellikleri ana huzmenin yalnızca seçilmiş tek bir doğrultusu için değil, belirlenmiş tüm huzme tarama aralığında geçerlidir.



(a)



(b)

Şekil 8.3.2 (a) 40 elemanlı klasik dizilimin; (b) 34 elemanlı inceltilmiş dizilimin, 69 ° - 71 ° arasındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki en büyük değeri ve MYLS için, verilen huzme tarama aralığındaki Pareto sınırları.

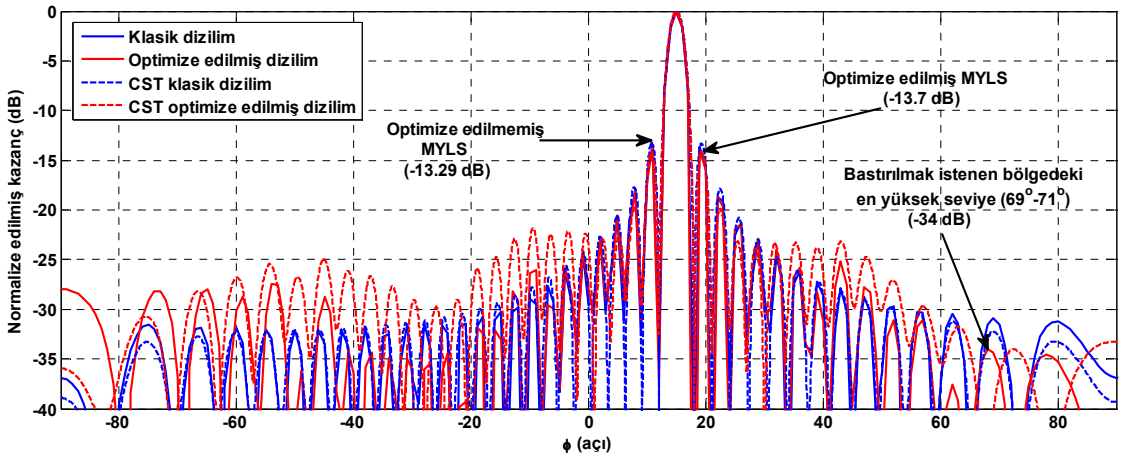
Şekil 8.3.2(a) ve (b) klasik ve inceltilmiş dizilimli antenlerin huzme tarama aralığı [(-50^o)- 50^o], [(-40^o)- 40^o], [(-30^o)- 30^o], [(-20^o)- 20^o], [(-10^o)- 10^o], [(-5^o)- 5^o] ve [0^o] iken 69^o - 71^o 'ler arasında kalan bölgenin ve MYLS'nin bastırılması amaçlanarak elde edilmiş Pareto sınırlarını vermektedir. Bunun yanında, dizilimlerin optimize edilmediği durumlardaki özelliklerini gösteren tüm çözüm çiftleri her bir huzme tarama aralığı için Çizelge 8.3.1'de verilmiştir. Şekil 8.3.2'de verilen Pareto sınırları düzleminde ön plana çıkartılarak verilen izole edilmiş tekil noktaların özellikleri Çizelge 8.3.1'de yıldız (*) ile işaretlenmiştir. Böylelikle, Şekil 8.3.2(a) ve 8.3.2(b)'de verilen NSGA II kullanılarak elde edilmiş Pareto sınırları gösteren ödünleşim çözüm kümeleri yardımıyla, önceden belirlenmiş hedeflerleri gerçekleyebilecek tüm çözümler tasarımcıya sunulmuş olur. Bundan sonraki aşamada uygulamaya bağlı olarak tasarımda kullanılacak çözüm kümesinin seçimi gerçekleştirilmelidir.

Çizelge 8.3.1 Optimize edilmemiş noktaların tüm yan lob ve 69^o -71^o aralığındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki en büyük seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları

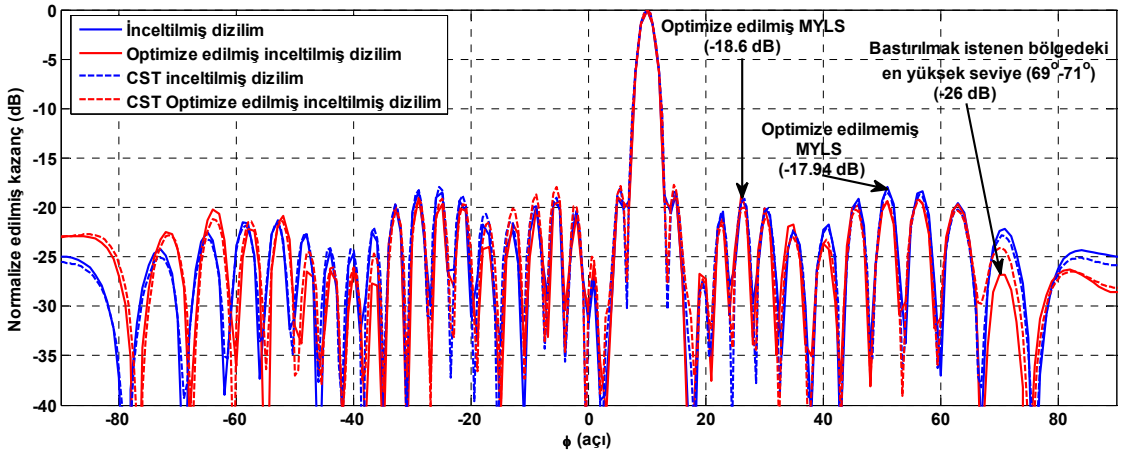
	Klasik Dizilim		İnceltilmiş Dizilim	
	MYLS	Maksimum [FF(69^0-71^0)]	MYLS	Maksimum [FF(69^0-71^0)]
Ana huzme doğrultusu 0^o	-13.30 dB	-33.32 dB	-17.96 dB	-25.7 dB
Huzme tarama aralığı [(-5^0) - 5^0]	-13.29 dB	-31.88 dB	-17.94 dB	-22.55 dB
Huzme tarama aralığı [(-10^0) - 10^0]	-13.29 dB	-31.57 dB	-17.94* dB	-22.11* dB
Huzme tarama aralığı [(-20^0) - 20^0]	-13.29* dB	-30.43* dB	-17.94 dB	-17.94 dB
Huzme tarama aralığı [(-30^0) - 30^0]	-13.29 dB	-28.71 dB	-17.94 dB	-17.94 dB
Huzme tarama aralığı [(-40^0) - 40^0]	-13.24 dB	-25.81 dB	-17.94 dB	-17.94 dB
Huzme tarama aralığı [(-50^0) - 50^0]	-13.24 dB	-20.68 dB	-17.94 dB	-17.94 dB

Şekil 8.3.2(a) ve 8.3.2(b)'den görülebileceği gibi huzme tarama aralığının genişlemesi hem MYLS'nin hem de bastırılmak istenen bölgedeki en yüksek seviyenin bastırılma performansında kötüleşmeyi beraberinde getirir.

Şekil 8.3.3'de, [(-20°) – 20°] arasında huzme taraması yapabilen, ana huzmesi 15°'ye doğrultulmuş 40 elemanlı doğrusal bir faz dizilimli antenin seçilen bir nokta çifti (-13.7dB; -34 dB) için elde edilmiş ışıma örüntüsü, optimize edilmemiş dizilimin örüntüsü ve bunların CST benzetim sonuçları ile birlikte verilmiştir. Burada ana huzme doğrultusunun 15° olarak seçilmesi sebebiyle yan lobların oluştuğu [(-90°) - 12°] ve [18° - 90°] bölgelerindeki huzme taraması esnasındaki en büyük seviyenin -13.7 dB'e, bastırılmak istenen [69°-71°] dar bölgedeki en yüksek seviyenin de yaklaşık olarak 3.5 dB azaltılarak -34 dB'e indirildiği görülmektedir. Optimize edilmiş durum için de optimize edilmemiş hal de olduğu gibi YGHG, $\phi_{HPBW} = 2.625^{o}$ olarak korunmuştur.

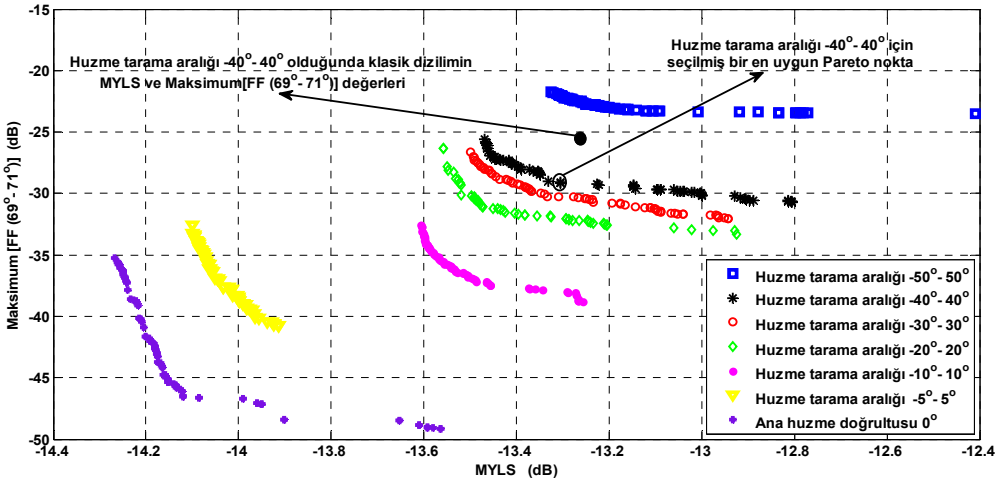


Şekil 8.3.3 Şekil 8.3.2(a)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, klasik dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü.

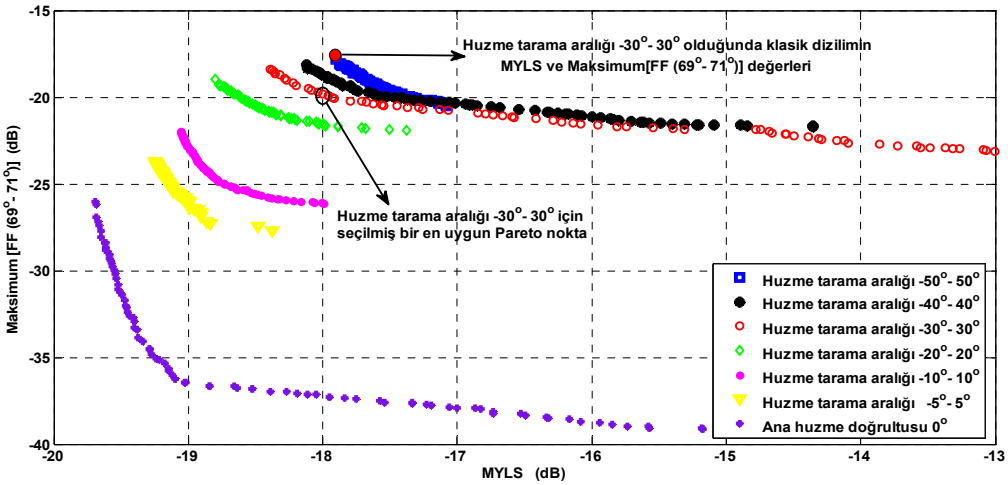


Şekil 8.3.4 Şekil 8.3.2(b)'de verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, inceltilmiş dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü.

Şekil 8.3.4'de ise yine aynı aralıkta huzme taraması yapabilen, ana huzmesi 10^{o}'ye doğrultulmuş 34 elemanlı inceltilmiş bir dizilim antenin Pareto sınırı üzerinde seçilen bir nokta çifti (-18.6dB; -26 dB) için elde edilmiş ışıma örüntüsü, optimize edilmemiş durum ve bunların CST benzetim sonuçları ile birlikte gösterilmiştir. Böylece, yan lob bölgesinin ([(-90^{o}) - 7^{o}] ve [13^{o} - 90^{o}]) en yüksek seviyesi 0.66 dB, bastırmak istediğimiz bölgenin ([69^{o} - 71^{o}]) en yüksek seviyesi ise 3.89 dB azaltılmıştır. İnceltilmiş dizilim antenin optimizasyonu sonucunda da $\phi_{HPBW} = 2.84^{o}$ kalarak optimizasyondan önceki değerini korumuştur. Yukarıda verilen klasik ve inceltilmiş dizilim antenlerin ışıma örüntülerinin sentezlenmiş olarak elde edilebilmesi için her bir antene uygulanması gereken yer değiştirme miktarları Çizelge 8.3.3'de verilmiştir.



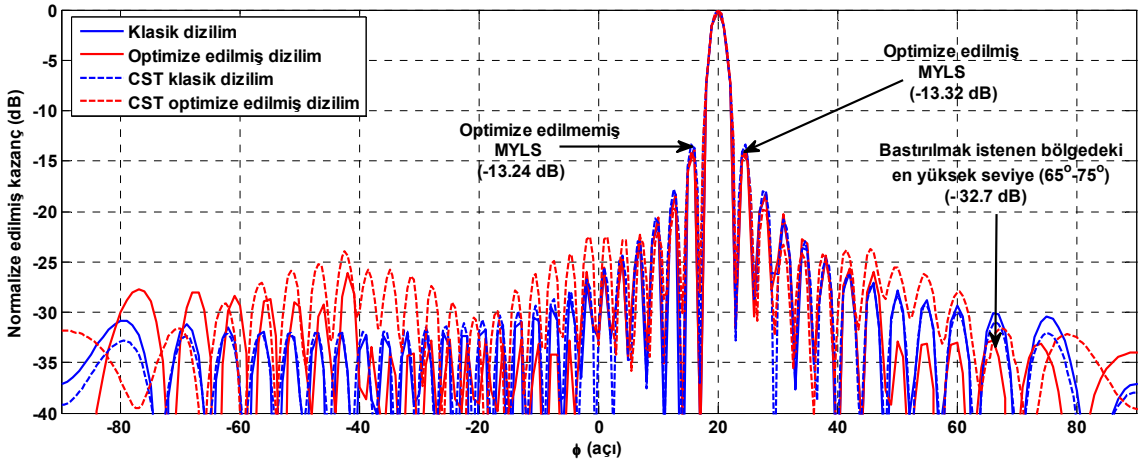
(a)



(b)

Şekil 8.3.5 (a) 40 elemanlı klasik dizilimin, (b) 34 elemanlı inceltilmiş dizilimin, 65^{o} - 75^{o} arasındaki bastırılmak istenen geniş bölgedeki en büyük değeri ve MYLS için, verilen huzme tarama aralığındaki Pareto sınırları.

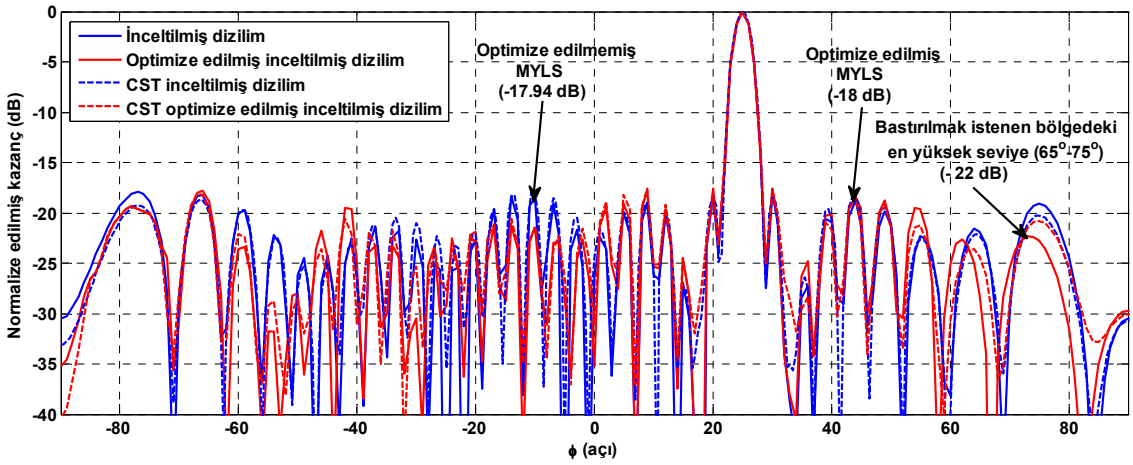
Şekil 8.3.5(a) ve (b)'de ana huzme [(-50°)- 50°], [(-40°)- 40°], [(-30°)- 30°], [(-20°)- 20°], [(-10°)- 10°], [(-5°)- 5°] ve [0°] aralıklarında tarama yaparken, bozucu sinyallerin bulunduğu varsayılan geniş 65° - 75° bölgesindeki en büyük seviyenin ve aynı zamanda yan lob bölgesindeki en yüksek seviyenin bastırılma performanslarını gösteren Pareto sınırları sırasıyla, klasik ve inceltilmiş dizilim antenler için verilmiştir. Pareto sınırlarını gösteren şekillerde işaretlenmiş, optimize edilmemiş durumların örüntü özelliklerini gösteren noktaların sahip olduğu değerler Çizelge 8.3.2'de yıldızlar (*) ile gösterilmiştir. Geniş bölgenin bastırılması için de klasik ve inceltilmiş dizilim antenlerin optimizasyon performanslarını gösteren Pareto sınırları üzerinde seçilmiş noktaların özelliklerine sahip ışıma örüntüleri sırasıyla Şekil 8.3.6 ve Şekil 8.3.7'da verilmiştir.



Şekil 8.3.6 Şekil 8.3.5(a)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, klasik dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü.

Girişimin bulunduğu geniş bölgenin bastırılması için verilmiş olan ilk örnekte, Şekil 8.3.5(a)'da verilen Pareto sınırları düzleminde [(-40°)– 40°] huzme tarama bölgesine ait MYLS -13.32 dB, bastırılmak istenen bölgedeki en yüksek değer de -29 dB olarak gözükmektedir. Ana huzme, yukarıda verilen tarama sınırları içerisinde kalan 20° 'ye yönlendirilerek, Pareto sınırı üzerinde seçilmiş noktayı sağlayacak sarsım miktarları dizilime uygulandığında elde edilen ışıma örüntüsü, klasik dizilimin örüntüsü ve benzetim sonucu elde edilen örüntüyle birlikte Şekil 8.3.6'da verilmiştir. Ana huzme doğrultusunun 20° olarak seçilmesi sebebiyle yan lob bölgeleri [(-90°) - 36°] ve [44° - 90°] olarak oluşmuştur. Optimizasyondan önce aynı huzme tarama aralığı için oluşan örüntünün özellikleri, Çizelge 8.3.2'de verildiği gibi yan lob bölgesi için -13.24 dB ve girişimin bulunduğu geniş bölge için

-24.68 dB'dir. YGHG, 3.31° olarak optimizasyon boyunca korunmuştur.



Şekil 8.3.7 Şekil 8.3.5(b)'da verilen Pareto sınırları üzerinden seçilmiş bir optimum nokta için elde edilmiş ışıma örüntüsü, inceltilmiş dizilimin örüntüsü ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüsü.

Son olarak, [(-30°) – 30°] aralığında huzme taraması yapan inceltilmiş dizilim antenin, Pareto sınırı üzerindeki (-18 dB; -20 dB) noktasını oluşturan sarsım miktarları kullanılarak elde edilmiş ışıma örüntüsünü, ana huzme 25°'ye yönlendirildiğinde Şekil 8.3.7'de ki gibidir. Burada, huzme tarama esnasında ([(-90°) - 21°] ve [29° - 90°]) yan lob bölgelerinde oluşan en yüksek seviye 0.06 dB, girişimin gözüktüğü geniş bölgede ise 4.06 dB azaltılmıştır. Optimizasyondan önce ve sonra $\phi_{HPBW} = 3.08^{o}$ değerine sahiptir. Optimize edilmemiş duruma ait, Şekil 8.3.5(b)'de de gösterilen noktanın örüntü özellikleri Çizelge 8.3.2'de verilmiştir. Klasik ve inceltilmiş dizilim antenlerin huzme taraması esnasında yan lob ve girişim bölgelerinin bastırılabilmesi için her bir antene uygulanması gereken yer değiştirme miktarları Çizelge 8.3.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3.2 Optimize edilmemiş noktaların tüm yan lob ve 65^{o}-75^{o} aralığındaki bastırılmak istenen geniş bölgedeki en büyük seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları

	Klasik Dizilim		İnceltilmiş Dizilim	
	MYLS	Maksimum [FF(65^0-75^0)]	MYLS	Maksimum [FF(65^0-75^0)]
Ana huzme doğrultusu 0^o	-13.3 dB	-32.06 dB	-17.96 dB	-22.5 dB
Huzme tarama aralığı [(-5^0) - 5^0]	-13.29 dB	-31.74 dB	-17.94 dB	-22.08 dB
Huzme tarama aralığı [(-10^0) - 10^0]	-13.29 dB	-31.57 dB	-17.94 dB	-22.05 dB
Huzme tarama aralığı [(-20^0) - 20^0]	-13.29 dB	-30.18 dB	-17.94 dB	-17.94 dB
Huzme tarama aralığı [(-30^0) - 30^0]	-13.29 dB	-27.96 dB	-17.94* dB	-17.94* dB
Huzme tarama aralığı [(-40^0) - 40^0]	-13.24* dB	-24.68* dB	-17.94 dB	-17.94 dB
Huzme tarama aralığı [(-50^0) - 50^0]	-13.24 dB	-20.68 dB	-17.94 dB	-17.94 dB

Çizelge 8.3.3 Şekil 8.3.3, Şekil 8.3.4, Şekli 8.3.6(a) ve Şekil 8.3.7(b)'de verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n)

Anten Sıra Numarası	Δ_n (λ)			
	Şekil 5.2.4(a)	Şekil 5.2.5(a)	Şekil 5.2.6(a)	Şekil 5.2.7(a)
± 1	-	-	-	-
± 2	-	-	-	0.0036
± 3	-	-	-	0.0234
± 4	-	-	-	0.0391
± 5	-	-	-	-
± 6	-	-	-	-
± 7	-	0.0205	0.0003	-
± 8	0.0044	0.0010	-	0.0078
± 9	0.0625	0.0635	0.0525	-0.0303
± 10	0.0090	-0.0039	-	-0.0620
± 11	-	-0.0020	0.0078	0.0547
± 12	-	-	0.0823	0.0938
± 13	-	-	-	-0.0078
± 14	-	-	-	0.0430
± 15	-	0.0156	0.0293	0.0781
± 16	-	-	-0.0028	-0.0228
± 17	-	0.0020	-	-
± 18	-	-	0.0261	0.0999
± 19	-	-0.0302	-0.0196	-0.0976
± 20	-	-0.0391	-0.0571	0.0040

8.4 Kullanılan Amaç Fonksiyonunun Faz Dizilimli Antenlerin Performans Optimizasyonu Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi

Kllanılan amaç fonksiyonlarının optimizasyon başarısı üzerindeki etkisinin gözlemlenebilmesi için bu uygulama örneğinde birden fazla sayıda amaç fonksiyonu grubu oluşturulmuş ve optimizasyon sonucunda elde edilen ışıma örüntüleri incelenmiştir. Burada, bir önceki uygulamada olduğu gibi yalnızca huzme tarama esnasında yan lob ve girişim bölgelerinde oluşan en yüksek seviyelerin bastırılması amaçlanmamış, bu bölgelerdeki seviyelerin ortalama değerleri de azaltılmaya çalışılmıştır.

Bir önceki örnekte yer alan ışıma örüntüleri incelendiğinde, örüntü çarpımı ile elde edilen ışıma örüntüleriyle, CST benzetimi sonucu elde edilen örüntülerin uyumlu oldukları gözükmektedir. Daha da uyumlu örüntüler elde edebilmek için klasik dizilim geometrisinde antenler arasındaki başlangıç mesafesi 0.6λ olarak alınmış ve antenlerin pozisyonları için verilen sarsım miktarı yine 0.1λ ile sınırlandırılmıştır. Böylece antenler arasındaki mesafenin genel olarak 0.5λ'dan büyük olması sağlanmıştır. Bu uygulamada yer alan tüm örneklerde Şekil 2.2'de geometrisi verilen simetrik yapıda dizilmiş 24 adet yarım-dalga dipol anten kullanılmıştır. Bu örnekte de çeşitli huzme tarama arlıkları için yan lob seviyeleri ile girişim bölgesinin arasındaki ödünleşim sonuçları Pareto sınırları ile verilmiştir.

8.5 Amaç Fonksiyonlarının Oluşturulması

Bu uygulama örneğinde, kullanılan amaç fonksiyonlarının optimizasyon başarısı üzerindeki etkisinin gözlemlenebilmesi için birden fazla sayıda amaç fonksiyonu grubu oluşturularak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan amaç fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$Minimize\left\{f_1(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{mak\left[mak\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|_{\phi=-90^o}^{\phi=\phi_o-\frac{\phi_{HG}}{2}},\ mak\left|FF(\phi)\right|_{\phi=\phi_o+\frac{\phi_{HG}}{2}}^{\phi=90^o}\right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{o\ddot{u}}}\right\} \tag{8.5.1}$$

$$Minimize\left\{f_2(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{mak\left[mak\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|_{\phi=\phi_{sıfı_a}}^{\phi=\phi_{sıfı_{\ddot{u}}}}\right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{o\ddot{u}}}\right\} \tag{8.5.2}$$

$$Minimize\left\{f_3(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{mak\left[\left(\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi=-90^o}^{\phi=\phi_o-\frac{\phi_{HG}}{2}}\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|d\phi\right)+\left(\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi=\phi_o+\frac{\phi_{HG}}{2}}^{\phi=90^o}\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|d\phi\right)\right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{o\ddot{u}}}\right\} \tag{8.5.3}$$

$$Minimize\left\{f_4(\vec{\Delta})\right\} = Minimize\left\{mak\left[\frac{1}{\Delta\phi}\int_{\phi_{sıfır_a}}^{\phi_{sıfır_ü}}\left|FF(\phi,\vec{\Delta})\right|d\phi\right]_{\phi_o=\phi_{oa}}^{\phi_o=\phi_{oü}}\right\} \tag{8.5.4}$$

$$0.1\lambda \geq \left|\Delta_n\right| \tag{8.5.5}$$

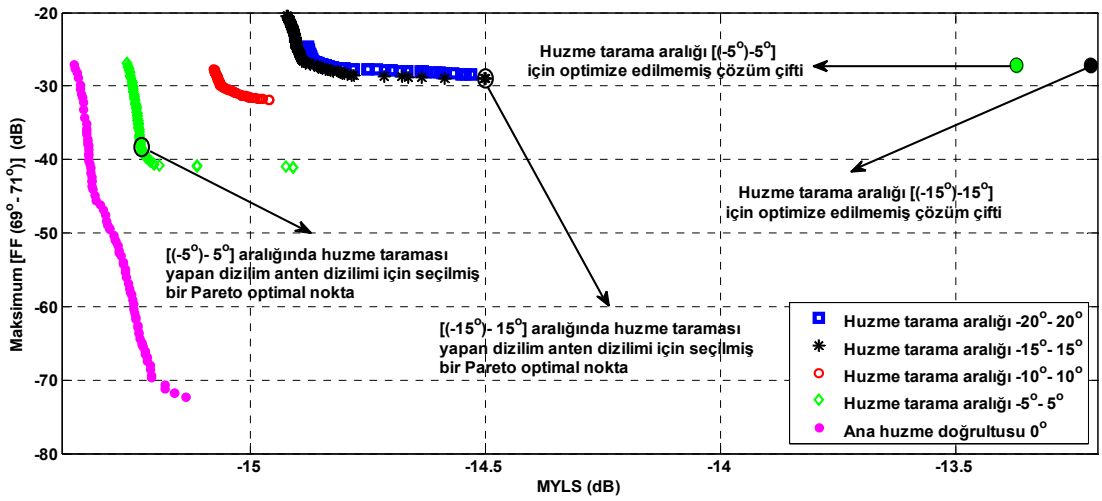
Yukarıdaki eşitliklerdeki *FF* değeri için (8.1.1) ile verilen eşitlik kullanılmıştır. Burada, $\Delta\phi$ yan lob bölgesinin veya girişimin bastırıldığı bölgenin genişliğini verir. (8.5.5) eşitsizliği yine antenler arasındaki mesafelerin belli bir seviyenin altına inmesini engellemek için kullanılmıştır. Antenler arasında başlangıçtaki mesafenin bir önceki örneğe göre daha büyük seçilmesiyle, antenler arasında oluşacak ortak kuplaj etkisinin daha küçük seviyelerde tutulacağı öngörülmüştür. İlk iki amaç fonksiyonu bir önceki örnekte olduğu gibi ana huzme belirtilen bölgede tarama yaparken, yan lob bölgesi ve girişimin bulunduğu gölgede oluşabilecek en yüksek değerleri tespit edip, bu seviyeyi mümkün olduğu kadar bastırmaya çalışır. Yukarıda verilen üçüncü amaç fonksiyonu ise yine huzme tarama esnasında ana huzmenin sol tarafında oluşan yan lob bölgesinin ortalama değeriyle, sağ tarafında oluşan yan lob bölgesinin ortalama değerleri toplamının en büyük değerini bastırır. Son amaç fonksiyonu da girişim bölgesinin huzme tarama sırasındaki en büyük ortalama değerini minimize eder.

8.6 Tasarım Örnekleri

Bu bölümde huzme taraması esnasında yan lob ve girişim bölgelerinin bastırılma başarısının farklı amaç fonksiyonlarının kullanılmasıyla nasıl etkilendiğinin belirlenmesi amacıyla üç farklı tip amaç fonksiyonu grubu oluşturulup, (8.5.5) ile verilen kısıtlamaya bağlı kalarak geliştirilmiş NSGA II algoritması ile elde edilmiş Pareto optimizasyonu sonuçlarına yer verilmiştir. Bu uygulamada verilecek tüm örneklerde, girişimin 69^o - 71^o aralığındaki dar bölgede bulunduğu kabul edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi başlangıçtaki antenler arası mesafe 0.6λ olarak alınmış ve antenlerin pozisyonları için verilen sarsım miktarı 0.1λ ile sınırlandırılmıştır. Böylece antenler arasındaki mesafenin genel olarak 0.5λ'dan büyük olması sağlanarak oluşacak kuplaj etkisinin minimum düzeyde olması beklenmektedir. Antenler arasındaki kuplaj etkisinin ihmal edildiği örüntü çarpımı ile elde edilmiş tüm ışıma örüntüleri, 2.6 Ghz frekansında yarım-dalga dipol antenlerin kullanıldığı CST benzetimi sonuçları ile birlikte verilmiştir.

İlk olarak önceki uygulamadaki gibi (8.5.1) ve (8.5.2) ile verilen amaç fonksiyonları kullanılarak minimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece yan lob ve girişim bölgesinin

huzme tarama sırasında oluşan maksimum seviyeleri minimize edilmiştir. Bu amaç fonksiyonları kullanılarak ana huzmenin taramasının [(-20 º) - 20 º], [(-15 º) - 15 º], [(-10 º) - 10 º], [(-5 º) - 5 º] ve [0 º] aralıkları için elde edilen Pareto sınırları Şekil 8.6.1'de verilmiştir. Şekil 8.6.1'de (8.5.1) ve (8.5.2) amaç fonksiyonu çifti kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda çeşitli huzme tarama aralıkları için elde edilmiş Pareto sınırları verilmiştir. Bu örnekte de, beklenildiği üzere huzme tarama aralığının genişlemesi hem yan lob bölgesinin hem de girişim bölgesinin bastırılma başarısında düşüşe sebep olur. Dizilimlerin optimize edilmemiş durumdaki örüntülerinin seçilmiş tarama aralığındaki özellikleri, ait oldukları huzme tarama aralıklarının gösterildiği renkte izole noktalar ile belirtilmiştir. Aynı zamanda tüm tarama aralıkları için optimize edilmemiş durumdaki örüntü özellikleri Çizelge 8.6.1'de verilmiştir. Çizelge 8.6.1'de yıldız (*) ile işaretlenmiş değerler, Pareto sınırları üzerinde seçilmiş noktaların ait olduğu huzme tarama aralıklarındaki optimizasyondan önceki ışıma özelliklerini göstermektedir.



Şekil 8.6.1 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69 º -71 º arasındaki bölgedeki en büyük değerin ve MYLS'nin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları.

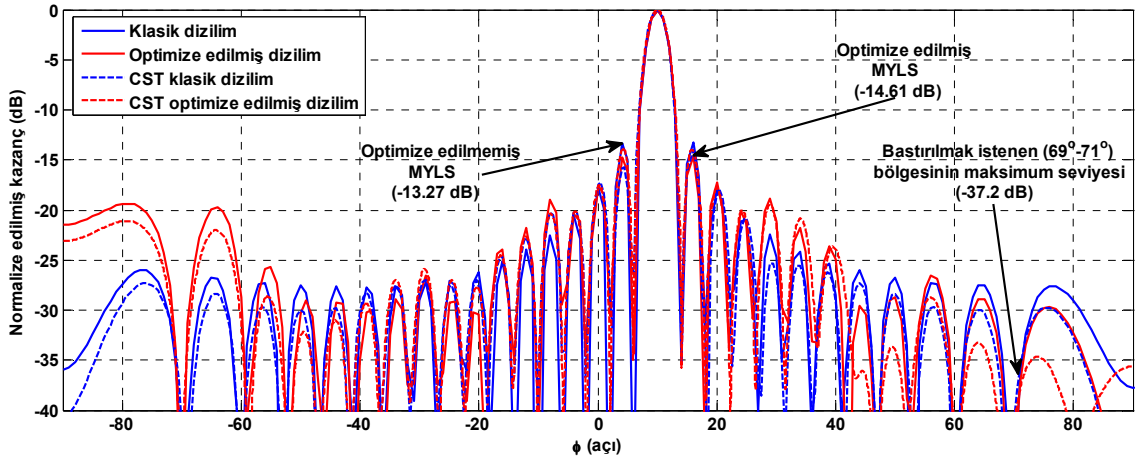
Şekil 8.6.1'de görüldüğü gibi, [(-15 º) - 15 º] aralığında huzme taraması yapan klasik dizilimli antenin MYLS -13.21 dB ve girişim bölgesinin en yüksek seviyesi -27.47 dB iken, optimizasyon sonrasında Pareto sınırı üzerinde seçilen bir nokta için bu değerler sırasıyla -14.61 dB ve -29.5 dB'e indirilmiştir. [(-5 º) - 5 º] aralığında huzme taraması için ise -13.36 dB ve -27.47 dB olan yan lob bölgesi ve girişim bölgesinin maksimum seviyeleri, optimizasyon sonunda Pareto sınırı üzerinde seçilmiş bir nokta için -15.29 dB ve -39.2 dB olacak şekilde bastırılmıştır.

Çizelge 8.6.1 Optimize edilmemiş noktaların yan lob bölgesi ve 69° -71° aralığındaki bastırılmak istenen dar bölgedeki maksimum seviyelerini gösteren düzlem üzerindeki pozisyonları

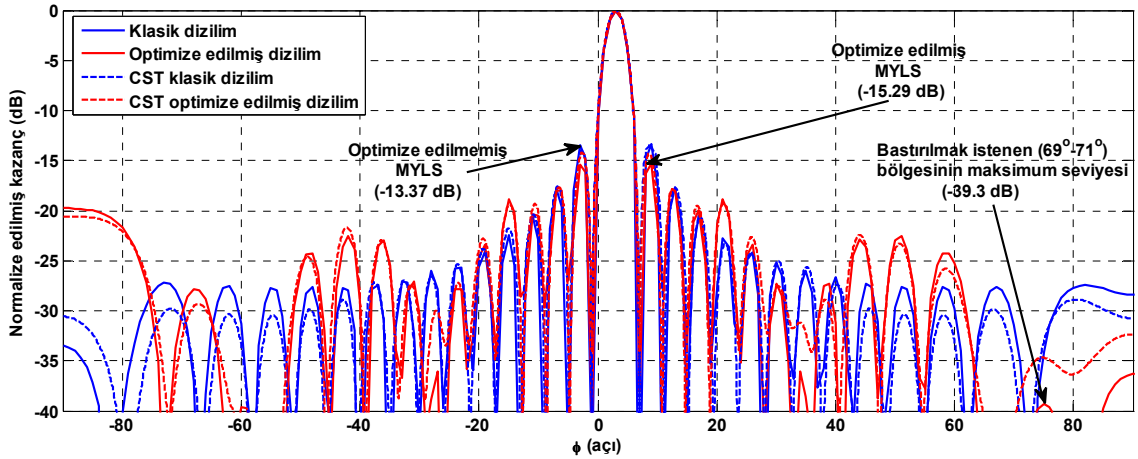
	Klasik Dizilim			
	MYLS	Ortalama YLS	Maksimum [FF(69^0-71^0)]	Ortalama [FF(69^0-71^0)]
Ana huzme doğrultusu 0^o	-13.44 dB	31.65 dB	-27.47 dB	27.68 dB
Huzme tarama aralığı [(-5^0) - 5^0]	-13.36 dB*	31.65 dB*	-27.47 dB*	27.68 dB*
Huzme tarama aralığı [(-10^0) - 10^0]	-13.27 dB	31.43 dB	-27.47 dB	27.68 dB
Huzme tarama aralığı [(-15^0) - 15^0]	-13.21 dB*	30.69 dB*	-27.47 dB*	27.68 dB*
Huzme tarama aralığı [(-20^0) - 20^0]	-13.21 dB	29.84 dB	-26.68 dB	27.43 dB

Şekil 8.6.1'deki Pareto sınırları üzerinde seçilmiş noktaların özelliklerini sağlayan dizilim geometrisini oluşturan her bir anten için optimize edilmiş sarsım miktarları Çizelge 8.6.2'de verilmiştir. Tasarlanmak istenen dizilimin geometrisi oluşturmak üzere, klasik dizilime Çizelge 8.6.2'de verilen sarsım miktarları uygulandığında [(-15°) - 15°] ve [(-5°) - 5°] tarama aralıkları için elde edilen ışıma örüntüleri Şekil 8.6.2(a) ve (b)'de verilmiştir.

Şekil 8.6.2(a)'da ana huzme doğrultusu 10° olarak seçilmiş, böylece [(-90°) – (6°)] ve [(14°) – 90°] bölgeleri, bastırılmak istenen yan lob bölgesini oluşturur. Yan lob bölgesinin maksimum seviyesi -14.61 dB, girişim bölgesinin [(69°) – (71°)] maksimum seviyesi ise -37.2 dB olmuştur. Şekil 8.6.2(b)'de ana huzme doğrultusu tarama bölgesi içinde 3° olarak seçilmiş ve [(-90°) – (-1°)] ve [(7°) – 90°] bölgeleri yan lob bölgelerini oluşturur. Bu bölgelerde oluşan maksimum seviye -15.29 dB, girişim bölgesinde ise -39.3 dB olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi huzme tarama aralığındaki artış, amaçladığımız hedeflerin gerçeklenme başarısını azaltmıştır. Bundan sora verilecek örneklerde de huzme tarama aralıkları ve ana huzme doğrultuları bu örnekle aynı doğrultular olarak seçilmiş, bu sebeple oluşacak yan loblar yine bu örnekte verilen bölgelerde oluşmuştur.



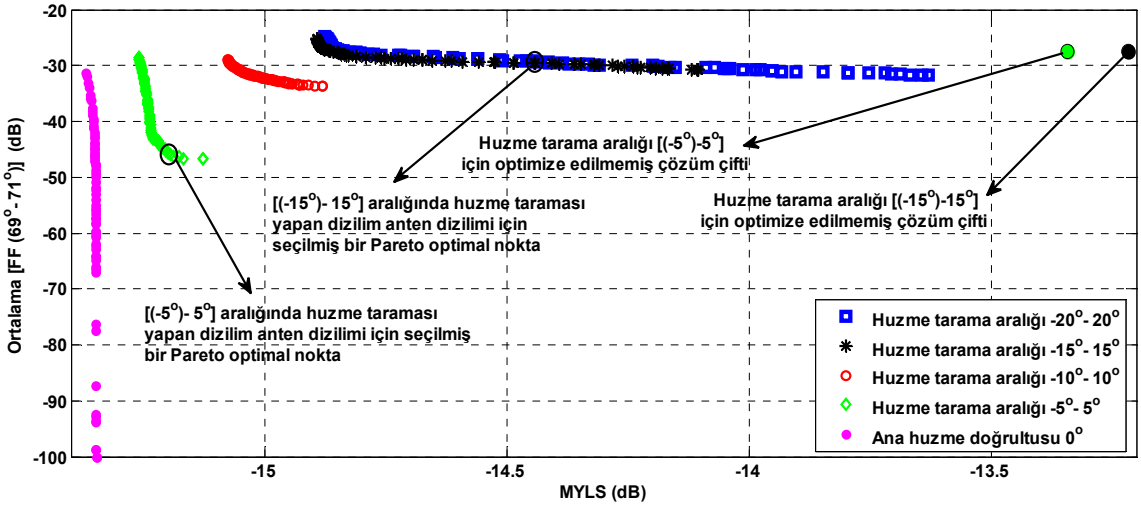
(a)



(b)

Şekil 8.6.2 Şekil 8.6.1'de verilen a) [(-15 º) - 15 º] b) [(-5 º) - 5 º] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri.

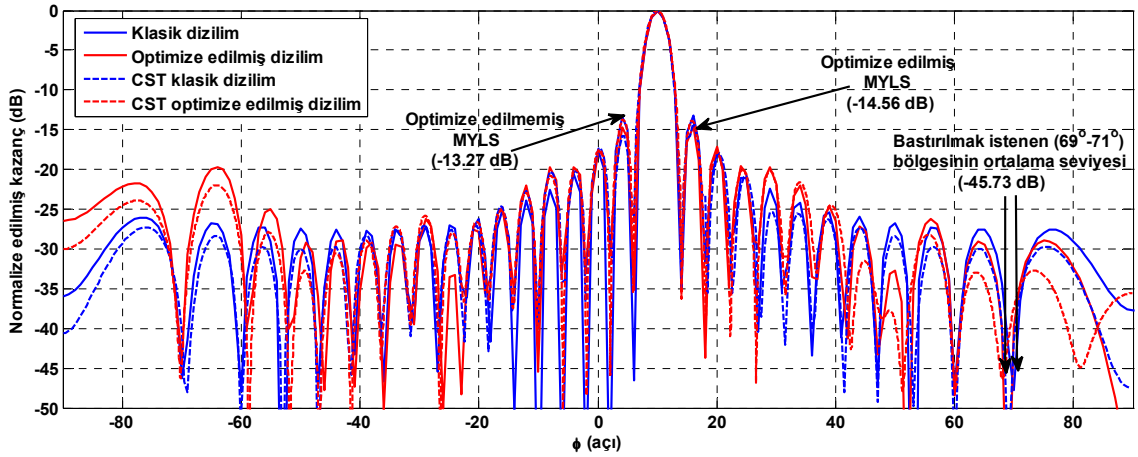
İkinci olarak (8.5.1) ve (8.5.4) amaç fonksiyonu çifti kullanılarak, yan lob bölgesinin maksimum seviyesi bastırılırken, girişim bölgesinin ortalama değerlerinden huzme taraması esnasında oluşan en büyüğünün minimize edilmesi amaçlanmıştır. Her bir huzme tarama aralığı için geliştirilmiş NSGA II kullanılarak elde edilen Pareto sınırları Şekil 8.6.3'de verilmiştir.



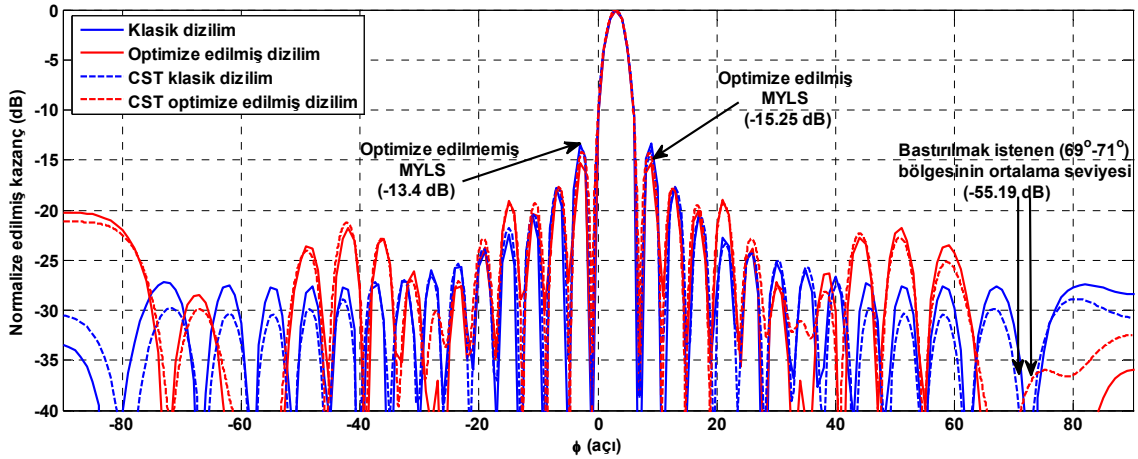
Şekil 8.6.3 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69 º -71 º arasındaki bölgenin ortalama değerinin ve MYLS'nin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastırılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları.

Burada da huzme tarama aralıkları [(-15 º) - 15 º] ve [(-5 º) - 5 º] için optimize edilmemiş çözüm çiftleri, huzme tarama aralıklarının gösterildiği renkte izole noktalar ile belirtilmiştir. Tüm tarama aralıkları için optimize edilmemiş durumdaki örüntü özellikleri Çizelge 8.6.1'de yer almaktadır.

Şekil 8.6.3'de görülen [(-15 º) - 15 º] aralığında huzme taraması yapan klasik dizilimli antenin MYLS -13.21 dB iken optimizasyon sonrasında MYLS için -14.2 dB ile -14.8 dB arasında değişen çözüm alternatifleri bulunmuştur. Girişimin bulunduğu dar bölgedeki en yüksek ortalama seviye ise -27.68 dB iken, optimizasyon sonrasında Pareto sınırı üzerinde seçilen bir nokta için bu değer -45.2 dB'e indirilmiştir. [(-5 º) - 5 º] aralığında huzme taraması için ise -13.36 dB olan yan lob bölgesinin maksimum seviyesi optimizasyon sonunda, -15.16 dB ile -15.26 dB aralığında değer alabilir. Aynı tarama aralığında optimizasyon sonunda -28 dB ile -46 dB arasında değişen değerler alabilen girişim bölgesinin ortalama değerinin optimizasyondan önceki değeri ise -27.68 dB'dir. Pareto sınırları üzerinde [(-15 º) - 15 º] tarama aralığı için seçilmiş noktanın özelliklerini sağlayan sarsım miktarlarıyla elde edilmiş ışıma örüntüsü Şekil 8.6.4(a)'da, [(-5 º) - 5 º] tarama aralığı için Pareto sınırı üzerinde seçilmiş noktanın özelliklerini sağlayan sarsım miktarlarıyla elde edilmiş örüntü ise Şekil 8.6.4(b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

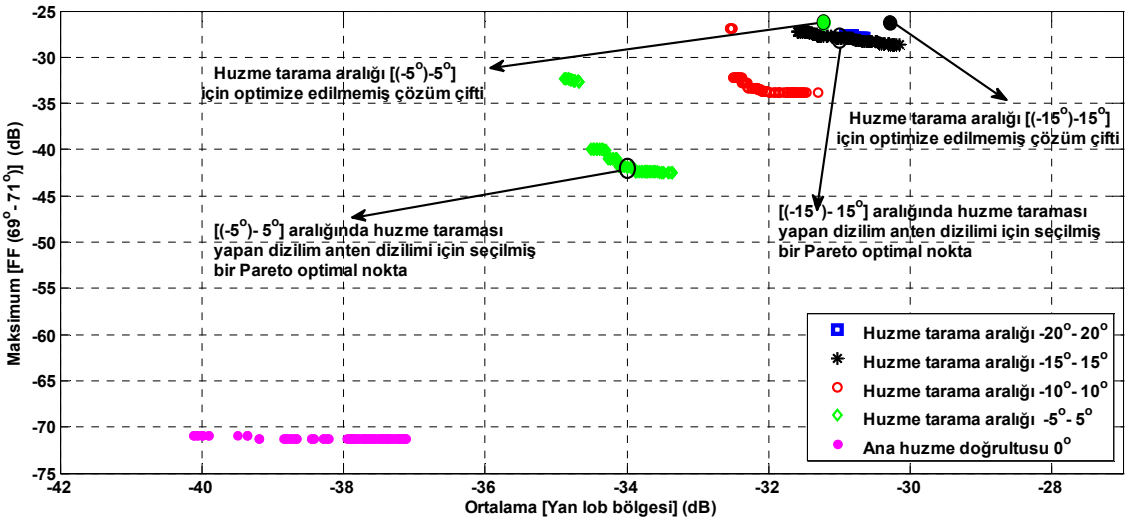
Şekil 8.6.4 Şekil 8.6.3'de verilen a) [(-15 º) - 15 º] b) [(-5 º) - 5 º] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri.

Şekil 8.6.4(a) ve (b)'de verilen ışıma örüntülerinin oluşması için klasik dizilimdeki antenlerin pozisyonlarına uygulanması gereken sarsım miktarları Çizelge 8.6.2'de verilmiştir. Yukarıda verilen şekillerden de görüleceği gibi klasik dizilimdeki elemanların pozisyonlarına uygulanacak sarsım miktarı 0.1λ ile sınırlandırıldığından, optimizasyon sonunda dizilimin toplam uzunluğundaki artış oldukça küçük kalmıştır. Böylece elde edilmiş ışıma örüntülerinin huzme genişliğinin, klasik dizilimin ışıma örüntüsünün huzme genişliği ile neredeyse aynı kalması sağlanmıştır. Seçilen ana huzme doğrultuları için, [(-15 º) - 15 º] huzme tarama aralığında MYLS -13.27 dB'den -14.56 dB'ye düşürülürken, daha dar bir tarama aralığı olan [(-5 º) - 5 º] aralığında -15.25 dB'ye düşürülmüştür. Girişimin bulunduğu dar bölge göz önünde bulundurulduğunda ise optimizasyondan önce her iki tarama aralığı için -27.68 dB

olan ortalama seviyenin, [(-15°) - 15°] ve [(-5°) - 5°] huzme tarama aralıkları için Şekil 8.6.4(a) ve (b)'de görüldüğü gibi sırasıyla -45.73 dB ve -55.19 dB'ye indirilmesi sağlanmıştır.

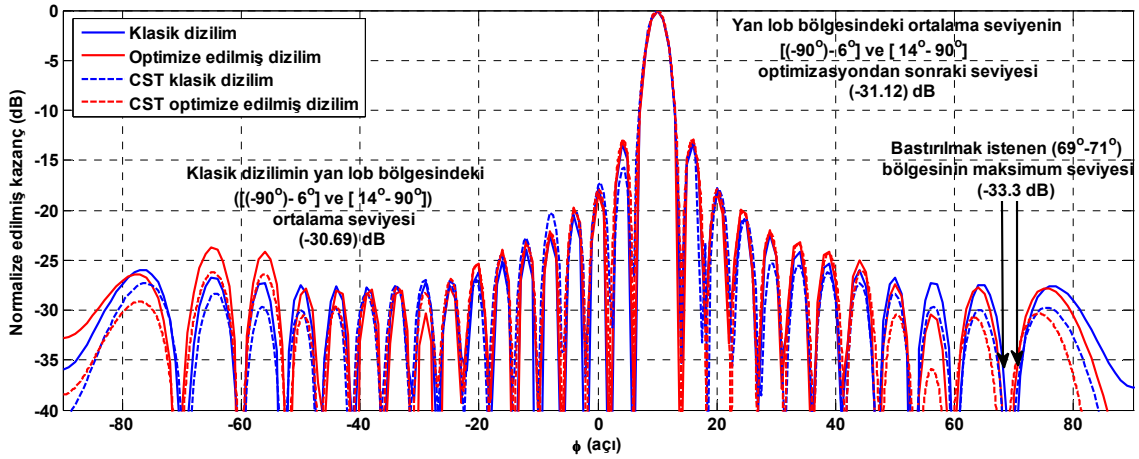
Çizelge 8.6.2 Şekil 8.6.2(a) ve (b), Şekil 8.6.4(a) ve (b), Şekil 8.6.6(a) ve (b)'de verilen optimize edilmiş ışıma örüntülerini sağlayan sarsım miktarları(Δ_n)

Anten Sıra Numarası	Δ_n (λ)					
	Şekil 8.6.2(a)	Şekil 8.6.2(b)	Şekil 8.6.4(a)	Şekil 8.6.4(b)	Şekil 8.6.6(a)	Şekil 8.6.6(b)
± 1	-0.0352	-0.0327	-0.0127	-0.0370	0.0182	0.0340
± 2	-0.0892	-0.0998	-0.0658	-0.0997	0.0555	0.0560
± 3	-0.0962	-0.0998	-0.0952	-0.0932	0.0644	0.0558
± 4	-0.0885	-0.0999	-0.0808	-0.0998	0.0644	0.0318
± 5	-0.0970	-0.0999	-0.0999	-0.0988	0.0595	0.0520
± 6	-0.0792	-0.0998	-0.0908	-0.0998	0.0425	0.0516
± 7	-0.0948	-0.0998	-0.0804	-0.0971	0.0543	0.0544
± 8	-0.0885	-0.0986	-0.0640	-0.0994	0.0417	0.0643
± 9	0.0251	0.0998	0.0384	0.0997	0.0420	0.0604
± 10	0.099	0.0999	0.0999	0.0891	0.0724	-0.0534
± 11	0.0524	0.0999	0.0486	0.0999	0.0465	0.0457
± 12	0.0233	0.0999	0.0302	0.0998	0.0274	0.0950

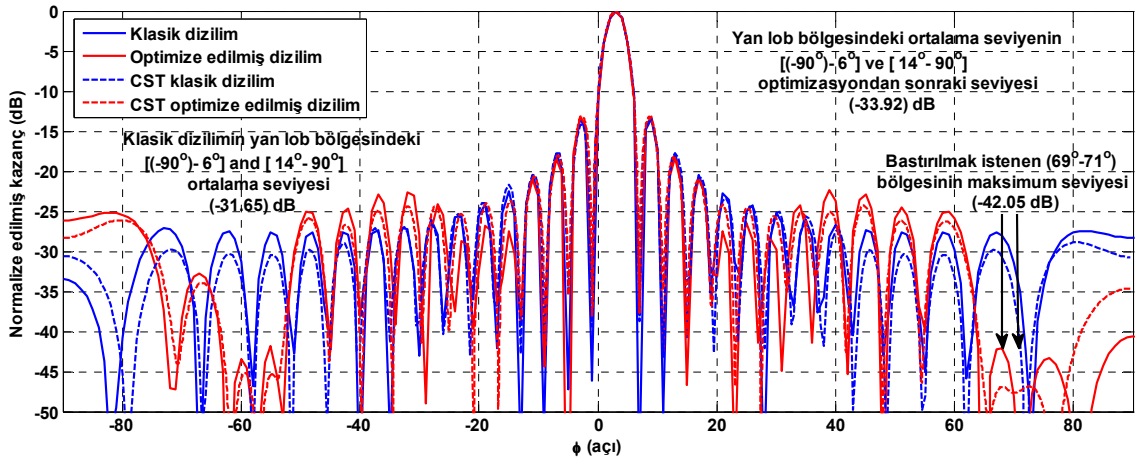


Şekil 8.6.5 24 elemanlı dizilim kullanılarak, 69° -71° arasındaki bölgenin en büyük değeri ve yan lob bölgesinin ortalama değerinin verilen huzme tarama aralıklarındaki en yüksek seviyelerinin bastırılması amacıyla elde edilmiş Pareto sınırları.

Son olarak, (8.5.2) ve (8.5.3) ile verilen amaç fonksiyonları kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Böylece, yan lob bölgesindeki maksimum seviye ile girişim bölgesinin ortalama değerlerinin huzme tarama sırasındaki maksimum seviyeleri minimize edilmiş olur. Her bir huzme tarama aralığı için NSGA II kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen Pareto sınırları Şekil 8.6.5'de verilmiştir. Şekil 8.6.5'de görüldüğü gibi klasik dizilimin [(-15^o) - 15^o] ve [(-5^o) - 5^o] tarama aralıkları için girişim bölgesindeki maksimum seviyeleri -27.47 dB, yan lob bölgesindeki ortalama değerleri ise sırasıyla -30.69 dB ve -31.65 dB'dir. Klasik dizilimde girişim bölgesinin en yüksek seviyesi ve yan lob bölgesinin ortalama seviyesinin tüm huzme tarama aralıkları için en büyük değerleri Çizelge 8.6.1'de verilmiştir.



(a)



(b)

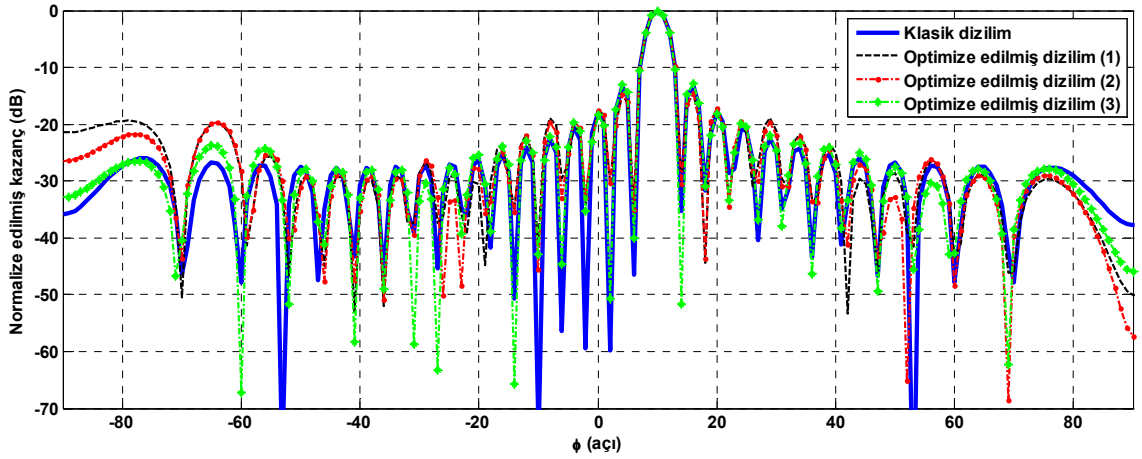
Şekil 8.6.6 Şekil 8.6.4'de verilen a) [(-15^o) - 15^o] b) [(-5^o) - 5^o] huzme tarama aralıklarına ait Pareto sınırları üzerinde seçilmiş optimum noktalar için elde edilmiş ışıma örüntüleri, klasik dizilimin örüntüleri ve yarım-dalga dipol antenler kullanılarak gerçekleştirilmiş CST benzetimi örüntüleri.

Ayrıca, bu uygulamada kullanılan huzme tarama aralıkları için klasik dizilimin örüntü özelliklerinin maksimum seviyeleri Çizelge 8.6.1'de yıldız (*) ile işaretlenmiştir.

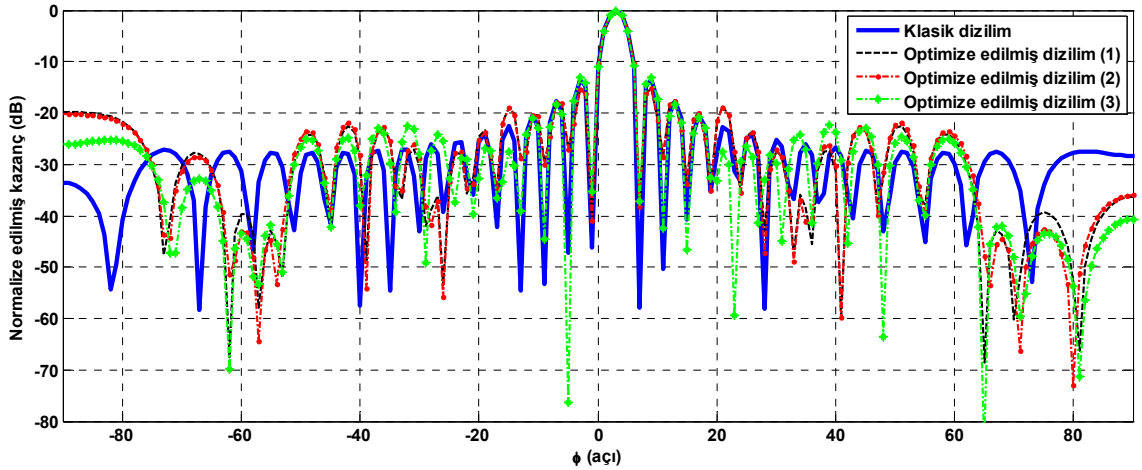
Optimizasyon sonucunda [(-15^o) - 15^o] huzme tarama aralığı için elde edilen Pareto sınırı incelendiğinde, yan lob bölgesinin ortalama seviyesinin -30.4 dB ile -31.6 dB arasında değişen değerlere sahip olabildiği, girişim bölgesinin maksimum seviyesinin ise -27.2 dB ile -28.7 dB arasında değişen değerleri alabileceği görülmektedir. Bu Pareto sınırları üzerinde rastgele seçilmiş noktaların özelliklerini taşıyan ışıma örüntüleri Şekil 8.6.6(a) ve (b)'de verilmiştir.

Şekil 8.6.6(a) ve (b)'de verilen ışıma örüntülerinin oluşması için klasik dizilimdeki antenlerin pozisyonlarına uygulanması gereken sarsım miktarları Çizelge 8.6.2'de verilmiştir. Yukarıdaki şekillerden görüleceği gibi her iki huzme tarama aralığı için de optimizasyondan sonra huzme genişliğinde bir artış, diğer bir deyişle kazançta bir azalma olmamıştır. Yukarıdaki şekillerden görüldüğü gibi [(-15^o) - 15^o] huzme tarama aralığında klasik dizilim için -30.69 dB olan ortalama yan lob seviyesi yalnızca dizilimi oluşturan antenlerin pozisyonlarının optimizasyonu ile -31.12 dB'e, aynı tarama aralığında klasik dizilim için -27.47 dB olan girişim bölgesinin maksimum seviyesi ise -33.3 dB'e indirilmiştir. Seçilen diğer tarama aralığı için optimizasyondan önceki ve sonraki ışıma örüntüleri incelendiğinde, -31.65 dB olan ortalama yan lob seviyesinin seçilen ana huzme doğrultusu için -33.92 dB'ye, girişimin bulunduğu bölgenin maksimum seviyesinin ise -27.47 dB'den -42.05 dB'e düşürüldüğü görülür.

Şu ana kadar verilen örneklerde farklı amaç fonksiyonu çiftlerinin kullanılmasıyla yan lob bölgesi ve girişim bölgesi seviyelerinin bastırılması sağlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan 3 farklı amaç fonksiyonu çifti ile elde edilmiş ışıma örüntüleri yukarıda verilmiştir. Kullanılan amaç fonksiyonu çiftlerinin optimizasyon başarısı üzerindeki etkisinin objektif bir şekilde gözlemlenebilmesi için klasik dizilimin örüntüsü ile optimizasyon sonucunda elde edilen ışıma örüntüleri bu tez çalışmadaki ışıma örüntülerinin elde edilmesinde kullanılan [(-15^o) - 15^o] ve [(-5^o) - 5^o] huzme tarama aralıkları için sırasıyla Şekil 8.6.7(a) ve (b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8.6.7 (a) [(-15^o)-15^o] ve (b) [(-5^o)-5^o] ana huzme tarama aralıkları için klasik dizilimin ve üç farklı tip amaç fonksiyonu çifti kullanılarak elde edilen normalize edilmiş ışıma örüntüleri.

Şekil 8.6.7(a) ve (b)'de görülen ilk tip optimizasyonda kullanılacak amaç fonksiyonu çiftinin hedefleri, huzme taraması esnasında yan lob bölgesinin ve girişimin bulunduğu dar bölgenin maksimum seviyelerinin bastırılması; ikinci tip amaç fonksiyonu çifti kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon işlemindeki hedefler, yan lob bölgesinin maksimum seviyesinin, girişim bölgesinin ise ortalama seviyesinin huzme tarama esnasında bastırılmasıdır. Optimizasyon işleminde kullanılmış üçüncü tip amaç fonksiyonu çiftinin hedefleri ise, huzme tarama esnasında yan lob bölgesinin ortalama seviyesinin, girişim bölgesinin ise maksimum seviyesinin bastırılmasıdır.

Üçüncü tip optimizasyon işleminde huzme tarama esnasında oluşan yan lob bölgesinin maksimum seviyesinin bastırılması yerine, bu bölgedeki ortalama seviyelerin bastırılması

sebebiyle Şekil 8.6.7(a)'da görüldüğü gibi en yüksek yan lob seviyesi üçüncü tip optimizasyon sonucunda oluşmuştur. Girişim bölgesinde oluşacak bastırılmış derin bir nokta bu bölgedeki ortalama seviyeyi de düşürecektir. Bu sebeple, ikinci tip amaç fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon işlemi sonucunda girişim bölgesinde en düşük seviye gözlemlenmiştir.

Şekil 8.6.7(b)'de görüldüğü gibi, yan lob bölgesindeki en küçük seviyeler çoğunlukla huzme taraması esnasında ortalama yan lob seviyelerinin bastırıldığı üçüncü tip optimizasyon fonksiyonu çifti kullanıldığında oluşmuştur. Yan lob bölgesindeki minimum seviye ise bu bölgedeki seviyelerin maksimum değerlerinin bastırıldığı birinci tip amaç fonksiyonu çifti kullanıldığında elde edilmiştir.

8.7 Sonuçlar

Bu bölümdeki ilk uygulama örneğinde hem dar bölgenin hem de geniş bölgenin, huzme tarama işlemi esnasında yan lob bölgesi ile birlikte bastırılması hedefi yalnızca faz dizilimini oluşturan antenlerin pozisyonlarının çok ufak miktarlarda değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Elde edilen ışıma örüntüleri tam-dalga benzetim sonucu elde edilen örüntülerle kıyaslandığında, büyük oranda örtüştükleri görülmektedir. Bu durum, her bir antenin sarsım miktarının 0.1λ ile sınırlandırılması sonucu sağlanmıştır. Bu sınırlandırma sayesinde antenler arası mesafe belirli sınırlar içerisinde tutulmuş, böylece antenler arasında oluşan kuplaj etkisinin en alt seviyede kalması sağlanmıştır.

Faz dizilimli antenler için verilen ikinci uygulama örneğinde ise, optimizasyonda kullanılacak amaç fonksiyonlarının, optimizasyon başarısı üzerindeki etkisinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda amaç fonksiyonu grupları oluşturularak her bir amaç fonksiyonu grubu kullanılarak elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için bölümdeki şekillerde, elde edilen ışıma örüntüleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

9. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, özellikle radar ve iletişim sistemlerinde hayati önemi olan sinyal gücünün gürültü gücüne oranının arttırılması, uzun mesafede haberleşme sağlanabilmesi için yönlülük değeri oldukça yüksek olan huzmeler üretilmesi, girişim içeren sinyallerin bulunduğu doğrultuların bastırılması ve vericiden gönderilen sinyallerin ulaşmaması istenilen dar/geniş bölgelere sinyallerin çok düşük seviyede ulaşması taleplerinin dizilim anten sistemleri kullanılarak karşılanması üzerine çalışılmıştır.

Radar ve iletişim sistemleri ile ilgili yukarıda verilen talepler birbiriyle çelişen tipte talepler olarak tanımlanır. Genellikle belirtilen sistem taleplerinden birinin olabildiğince maksimizasyonu, diğer sistem parametrelerinden en az birinin kötüleşmesiyle sonuçlanır. Bu yüzden, burada olduğu gibi çok hedefli bir optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla geliştirilen teknikler, dizilim antenlerin ışıma örüntülerinin sentezi için de kullanılmıştır.

Bu tezde kullanılan yöntemlerden ilki, tüm hedeflerin belirli kısıtlamalar içeren tek bir amaç fonksiyonunda ağırlıklı toplamlar şeklinde ifade edilmesidir. Bu alanda literatürde daha önce hiç kullanılmamış bir algoritma olan GPA algoritması tezde belirlenen çok hedefli optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmıştır. GPA metodu süreksiz, türevi alınamayan, rastgele veya doğrusal olmayan bir fonksiyonun dahi minimum noktasını araştırmak için geliştirilmiş bir direkt arama metodudur. GPA metodunu son yıllarda optimizasyon problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan evrimsel algoritmalardan ayıran en büyük özellik, bu metodun hiçbir rastgelelik içermemesi ve böylece tekrarlanabilir çözümler üretmesidir.

Tezdeki dizilim antenlerin performans optimizasyonuyla ilgili ilk örnekler dördüncü bölümde verilmiştir. Bu bölümdeki uygulama örneklerinde GPA algoritmasıyla elde edilen tüm sonuçlar, GA ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak, GPA algoritmasıyla ne denli başarılı sonuçlar elde edilebileceği ortaya konmuştur. Bu bölümde verilen tüm sentez örneklerinde, öncelikle optimizasyon değişkenleri için herhangi bir kısıtlama getirilmeden sonuçlar elde edilerek, ortak kuplaj etkisinin azaltılması için tanımlanmış kısıtlamalar kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Tez boyunca verilen tüm örneklerdeki dizilimleri oluşuran anten tipi yarım-dalga dipol antendir. GPA algoritmasıyla elde edilen tüm sentez sonuçları için CST benzetimi sonuçları da elde edilerek, antenler arasındaki ortak kuplaj etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı örüntü çarpımı yöntemiyle elde edilen örüntülerin benzetim sonuçlarıyla örtüşmeleri için gerekli şartlar ortaya konmuştur. Belirlenen kısıtlamalara

uyulduğu takdirde örüntü çarpımı ile sentezlenecek dizilimlerinin örüntülerinin pratik sonuçlarla uyum sağlayacağı görülmüştür.

Beşinci bölümde verilen uygulama örneklerinde de, yukarıda belirtilen sistem gereksinimlerinin yalnızca antenler arasındaki mesafelerin optimizasyonuyla gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur. Bunun yanında, dizilimi oluşturan tüm antenlerin pozisyonlarının optimizasyonuna da gerek olmadığı, yalnızca tespit edilen antenlerin pozisyonlarının değiştirilmesiyle talep edilen ışıma örüntüsünün sentezlenebileceği gösterilmiştir. Antenlerin tamamı yerine yalnızca birkaçının yer değiştirmesi sayesinde sistemin maliyeti, karmaşıklığı ve ihtiyacı olan enerji miktarı azalacaktır. Bu uygulama örneğinde ayrıca dizilimi oluşturan antenlerin besleme genlikleri için basamak dağılımlı genlik katsayıları kullanılabileceği fikri ortaya konmuştur.

Altıncı bölümde çok hedefli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek bir diğer yöntem olan Pareto sınırlarının belirlenmesi yöntemi tanıtılarak, bu yönteme uygun olarak ifade edilmiş amaç fonksiyonlarının NSGA II algoritmasıyla çözülebileceği gösterilmiştir. Yedinci bölümde, Pareto sınırlarının belirlenmesi yönteminin performansını ortaya koymak için dördüncü bölümde belirlenen amaç fonksiyonları NSGA II algoritmasıyla da optimize edilerek, Pareto sınırları belirleme yöntemiyle elde edilen değerlerin domine edilemeyen değerler olduğu gösterilmiştir.

Son bölümde verilen örneklerde ise, MYLS ve girişim bölgelerinin bastırılması hedefleri faz dizilimli anten için gerçekleştirilmiştir. Burada, belirtilen hedefler tek bir doğrultu için değil tüm huzme tarama aralığında geçerli olacak şekilde optimize edilmelidir. Bunun için gerekli amaç fonksiyonları oluşturularak faz dizilimli bir antenin performansı da optimize edilmiştir. Optimizasyonda yine Pareto optimal sonuçlar elde edilerek, bu yöntem ile elde edilen sonuçların görsel olarak sunulma avantajı ortaya konmuştur. Son olarak faz dizilimli antenin performans optimizasyonuna kullanılan amaç fonksiyonlarının etkisinin de gözlenmesi için farklı amaç fonksiyonu grupları oluşturarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

Abu-Al-Nadi, D. I., Ismail, T. H. and Mismar, M. J., (2006), "Interference Suppression by Element Position Control of Phased Arrays Using LM Algorithm", Int. J. Electron. Commun., 60: 151-158.

Akdagli, A., Guney, K. ve Karaboga, D., (2002), "Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays by Controlling Only the Element Positions with the Use of Improved Touring Ant Colony Optimization Algorithm", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 16: 1423-1441.

Babayigit, B., Akdagli, A. ve Guney, K., (2006), "A Clonal Selection Algorithm for null Synthesizing of Linear Antenna Arrays by Amplitude Control", Journal of Electromagn. Wave and Appl., 20 (8): 1007-1020.

Balanis, C. A., (1997), Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.

Bayliss, E. T., (1968), ''Design of Monopulse Antenna Difference Patterns with Low Sidelobes'', Bell System Tech. J., 47: 623-640.

Boeringer, D. W. ve Werner, D. H., (2004), "Particle Swarm Optimization versus Genetic Algorithms for Phased Array Synthesis", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 52 (3), 771-779.

Bray, M. G., Werner, D. H., Boeringer, D. W. ve Machuga, D. W., (2002), "Optimization of Thinned Aperiodic Linear Phased Arrays Using Genetic Algorithms to Reduce Grating Lobes During Scanning", IEEE Trans. Antennas Propagat., 50: 1732-1742.

Clerc, M. ve Kennedy, J., (2002), "The Particle Swarm-Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6: 58-73.

Cutello V. ve Nicosia, G., (2002), "An Immunological Approach to Combinatorial Optimization Problems", Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2527: 361-370.

Deb, K., (2001), Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms, Wiley, U.K.

Deb, K., Pratap, A., Agrawal, S. ve Meyarivan, T., (2002), "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6: 182-197.

Dolph, C. L., (1946), ''A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship Between Beamwidth and Sidelobe Level'', Proc. IRE, 34: 335-345.

Dorigo, M. ve Gambardella, L. M., (1997), "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1: 53-66.

Fonseca, C. M. ve Fleming, P. J., (1993), "Genetic algorithms for multiobjective optimization: Formulation, discussion and generalization", in Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, 1993, San Mateo, CA, 416-423.

Glover, F., (1989) "Tabu Search- Part I", ORSA Journal on Computing, 1: 190-206.

Goldberg, D. E., (1989), Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, New York.

Guney, K. ve Akdağlı, A., (2001), "Null Steering of Linear Antenna Arrays Using a Modified Tabu Search Algorithm", Progress In Electromagnetics Research, 33: 167-182.

Guney, K. ve Basbug, S., (2008), "Interference Suppression of Linear Antenna Arrays by Amplitude-Only Control Using a Bacterial Foraging Algorithm", Progress In Electromagnetics Research, 79: 475-497.

Guney, K. ve Onay, M., (2007), "Amplitude-Only Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays with the Use of Bees Algorithm", Progress In Electromagnetics Research, 70: 21-36.

Haupt, R. L., (1995), Thinned Arrays Using Genetic Algorithms, IEEE Trans. Antennas Propagat., 43: 993-999.

Haupt, R. L., (1997), "Phase-Only Adaptive Nulling with a Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45(6): 1009-1015.

Hejres, J. A., (2004), "Null Steering in Phased Arrays by Controlling the Positions of Selected Elements", IEEE Trans. Antennas Propagat., 52: 2891-2895.

Horn, J., Nafploitis, N. ve Goldberg, D. E., (1994), "A Niched Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization", in Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ, 1994, 82–87.

Ismail, T. H. ve Dawoud, M. M., (1991), "Null Steering in Phased Arrays by Controlling the Element Positions", IEEE Trans. Antennas Propagat., 39: 1561-1566.

Khodier, M. M. ve Christodoulou, C. G., (2005), "Linear Array Geometry Synthesis with Minimum Sidelobe Level and Null Control Using Particle Swarm Optimization", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 53(8): 2674-2679.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., ve Vecchi, M. P., (1983), "Optimization by Simulated Annealing", Science New Series, 220: 671-680.

Kolda, T. G., Lewis, R. M. ve Torczon, V., (2003), "Optimization by Direct Search: New Perspectives on Some Classical and Modern Methods", SIAM Rev., 45: 385-482.

Lewis, R. M. ve Torczon, V., (1999), "Pattern Search Algorithms for Bound Constrained Minimization", SIAM Journal on Optimization, 9(4) : 1082-1099.

Lewis, R. M. ve Torczon, V., (2000), "Pattern Search Methods for Linearly Constrained Minimization", SIAM Journal on Optimization, 10(3): 917-941.

Lewis, R. M. ve Torczon, V., (2002), "A Globally Convergent Augmented Lagrangian Pattern Search Algorithm for Optimization with General Constraints and Simple Bounds", SIAM Journal on Optimization, 12: 1075-1089.

Mahanti, G. K., Chakrabarty, A. ve Das, S., (2007), "Phase-Only and Amplitude-Phase Only Synthesis of Dual-Beam Pattern Linear Antenna Arrays Using Floating-Point Genetic Algorithms", Progress In Electromagnetics Research, 68: 247-259.

Mahanti, G. K., Pathak, N., ve Mahanti, P., (2007), "Synthesis of Thinned Linear AntennaArrays With Fixed Sidelobe Level Using Real-Coded Genetic Algorithm", Progress In Electromagnetics Research, 75: 319-328.

Mahmoud, K. R., Eladawy, M. I., Bansal, R., Zainud-Deen, S. H. ve Ibrahem, S. M. M., "Analysis of Uniform Circular Arrays for Adaptive Beamforming Applications Using Particle

Swarm Optimization Algorithm", International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 18(1): 42-52.

Moscato, P., (1989), "On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Martial Arts: Towards Memetic Algorithms", Caltech Concurrent Computation Program, report 826.

Mouhamadou, M., Armand, P., Vaudon, P. ve Rammal, M., (2006), "Interference Supression of the Linear Antenna Arrays Controlled by Phase with Use of SQP Algorithm", Progress In Electromagnetics Research, 59: 251-265.

Murino, V., Trucco, A. ve Regazzoni, C. S. (1996), "Synthesis of Unequally Spaced Arrays by Simulated Annealing", IEEE Transactions on Signal Processing, 44(1): 119-127.

Nelder, J. A. ve Mead, R., (1965), A Simplex Method for Function Minimization, The Computer Journal, 7: 308-313.

Panduro, M. A., Covarrubias, D. H., Brizuela, C. A. ve Marante, F. R., (2005), "A Multi-Objective Approach in the Linear Antenna Array Design", Int. J. Electron. Commun. (AEÜ), 59: 205-212.

Rudolph, G., (1999), "Evolutionary Search Under Partially Ordered Sets", Dept. Comput. Sci., Univ. Dortmund, Tech. Rep., 67-99.

Schelkunov, S. A., (1943), ''A Mathematical Theory of Linear Arrays'', Bell System Tech. J., 80–107.

Silver, S., (1979), Microwave Antenna Theory and Design, McGraw-Hill, New York.

Skolnik, M. I., (1962), Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, New York.

Srinivas, N. and Deb, K., (1995), "Multiobjective Function Optimization Using Nondominated Sorting Genetic Algorithms", Evol. Comput., 2(3): 221-248.

Steyskal, H., Shore, R. A. ve Haupt, R. L., (1986), "Methods for Null Control and Their Effects on the Radiation Pattern", IEEE Trans. Antennas Propagat., 34: 404-409.

Stutzman, V. L. ve Thiele, G. A., (1998), Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, New York.

Swann, W. H., (1972), Direct Search Methods, in Numerical Methods for Unconstrained Optimization, Academic Press, London and New York, 13-28.

Tang, R., ve Burns, R. W., (1984), Phased Arrays, Ch. 20 in Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York.

Taylor, T. T., (1955), ''Design of Line Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Sidelobes'', IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 3: 16-28.

Tokan, F. ve Gunes, F., (2009), "The Multi-Objective Optimization of Non-Uniform Linear Phased Arrays Using the Genetic Algorithm", Progress In Electromagnetics Research B, 17: 135-151.

Torczon, V., (1991), "On the Convergence of Pattern Search Algorithms", SIAM Journal on Optimization, 1: 1-25.

Woodward, P. M., (1946) "A Method for Calculating the Field over a Plane Aperture Required to produce a Given Polar Diagram", J. IEE., 93: 1554-1558.

Woodward, P. M. ve Lawson, J. D., (1948), "The Theoretical Precision with which an Arbitrary Radiation-Pattern May be Obtained from a Source of a Finite Size", J. IEE., 95: 363-370.

Yan, K. K. ve Lu, Y., (1997), "Sidelobe Reduction in Array-Pattern Synthesis Using Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45(7): 1117-1122.

Zitzler, E., Deb, K. ve Thiele, L., (2000), "Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results", Evol. Comput., 8(2): 173-195.

Zitzler, E. ve Thiele, L., (1998), "Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms—A Comparative Case Study", in Parallel Problem Solving From Nature, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998, 292-301.

EKLER

Ek 1 Sonsuz küçük dipol antenin uzak alan bölgesindeki elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin elde edilmesi

Ek 1 Sonsuz küçük dipol antenin uzak alan bölgesindeki elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin elde edilmesi

Sonsuz küçük dipol antenler genellikle daha karmaşık geometrilere ait elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin hesaplamasında kullanılır. Tel için, çok küçük ($l << \lambda$) ve çok ince ($a << \lambda$) olması kabullerinin yanı sıra, üzerinden akan akımın da aşağıda verildiği gibi sabit olduğu varsayılır:

$$\vec{I}(z') = \vec{a}_z I_o \qquad \text{(Ek 1.1)}$$

Kaynakların bilindiği bir durumda öncelikle elektrik akım kaynağı vektör potansiyeli $\vec{A}$ *ve* magnetik akım kaynağı vektör potansiyeli $\vec{F}$ hesaplanır. Daha sonra elde edilen bu değerler yardımıyla $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ bileşenleri bulunur. Burada, kaynak yalnızca elektrik akımı I_e taşıdığından, $\vec{F}$ sıfırdır. $\vec{A}$'nın bulunması için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\vec{A}(x,y,z) = \frac{\mu}{4\pi}\int_C I_e(x',y',z')\frac{e^{-jkR}}{R}dl' \qquad \text{(Ek 1.2)}$$

Burada *x,y,z* gözlem noktasının koordinatlarını, *x',y',z'* ise kaynağın bulunduğu koordinatları vermektedir. *R*, kaynak üzerindeki herhangi bir noktadan gözlem noktasına olan uzaklığı, *C* ise kaynağın uzunluğu boyunca yolu göstermektedir. (2.5) ile verilen uzak alan koşulu burada da uygulanırsa, (Ek 1.2) ifadesi aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\vec{A}(x,y,z) = \vec{a}_z \frac{\mu I_o}{4\pi r}e^{-jkr}\int_{-l/2}^{+l/2} dz' = \vec{a}_z \frac{\mu I_o l}{4\pi r}e^{-jkr} \qquad \text{(Ek 1.3)}$$

Bu aşamadan sonra ilk olarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak $\vec{H}$ ifadesi bulunur.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu}\nabla \times \vec{A} \qquad \text{(Ek 1.4)}$$

Daha sonraki aşamada ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak $\vec{E}$ ifadesi bulunur.

$$\vec{E} = \frac{1}{jw\varepsilon}\nabla \times \vec{H} \qquad \text{(Ek 1.5)}$$

Bu işlemlerin daha kolay yapılabilmesi için öncelikle kartezyen koordinat sisteminden küresel koordinat sistemine geçilmelidir. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir:

$$\begin{bmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta\cos\phi & \sin\theta\ \sin\phi & \cos\theta \\ \cos\theta\cos\phi & \cos\theta\sin\phi & -\sin\theta \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} \qquad \text{(Ek 1.6)}$$

Bu problem için $A_x=A_y=0$'dır, böylece aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$A_r = A_z \cos\theta = \frac{\mu I_o l e^{-jkr}}{4\pi r}\cos\theta \qquad \text{(Ek 1.7.a)}$$

$$A_\theta = -A_z \sin\theta = -\frac{\mu I_o l e^{-jkr}}{4\pi r}\sin\theta \qquad \text{(Ek 1.7.b)}$$

$$A_\phi = 0 \qquad \text{(Ek 1.7.c)}$$

Yukarıdaki eşitlikler (Ek 1.4)'de yerleştirilirse aşağıdaki eşitliğe ulaşılır:

$$\vec{H} = \vec{a}_\phi \frac{1}{\mu r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta) - \frac{\partial A_r}{\partial \theta}\right] = j\frac{kI_o l \sin\theta}{4\pi r}\left[1 + \frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr} \qquad \text{(Ek 1.8)}$$

Yukarıda bulunan ifade (Ek.5) eşitliğinde yerine konulursa $\vec{E}$ için aşağıdaki ifade bulunur:

$$E_r = \eta\frac{I_o l\cos\theta}{2\pi r^2}\left[1 + \frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr} \qquad \text{(Ek 1.9.a)}$$

$$E_\theta = j\eta\frac{kI_o l\sin\theta}{4\pi r}\left[1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2}\right]e^{-jkr} \qquad \text{(Ek 1.9.b)}$$

$$E_\phi = 0 \qquad \text{(Ek 1.9.c)}$$

Yukarıda verilen eşitliklerdeki $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ ifadeleri, kaynağın kendi üzeri hariç diğer her yerde geçerlidir. Uzak alan bölgesinde bu ifadeler aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$E_\theta \cong j\eta\frac{kI_o l e^{-jkr}}{4\pi\ \ r}\sin\theta \qquad \text{(Ek 1.10.a)}$$

$$E_r \cong E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \qquad \text{(Ek 1.10.b)}$$

$$H_\phi \cong j\frac{kI_o l e^{-jkr}}{4\pi\ \ r}\sin\theta \qquad \text{(Ek 1.10.c)}$$

(Ek 1.9.a) ifadesi (Ek 1.9.b) ile kıyaslandığında, mesafenin kendisi yerine karesi ile ters orantılı olarak değiştiği görülür. Bu sebeple (Ek 1.9.a) ile verilen elektrik alan bileşeni (Ek 1.9.b) ile verilen alan bileşeninden daha küçüktür ve bu terim ihmal edilerek Ek 1.10.a,b,c eşitlikleri elde edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	25.08.1979	
Doğum yeri	Kırklareli	
Lise	1991-1997	Lüleburgaz Anadolu Lisesi
Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Haberleşme Programı
Doktora	2005-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Haberleşme Programı
Çalıştığı kurum		
	2000-2009	YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Müh. Araştırma Görevlisi