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

MARTI OPTİMİZASYON, SALP SÜRÜ VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMALARI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

Hazırlayan
Erhan KURT

Danışman
Prof. Dr. Kerim GÜNEY

Doktora Tezi

Mart 2023
KAYSERİ

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

MARTI OPTİMİZASYON, SALP SÜRÜ VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMALARI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Erhan KURT

Danışman
Prof. Dr. Kerim GÜNEY

Mart 2023
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Erhan KURT

“Martı Optimizasyon, Salp Sürü ve Kuzey Çakır Kuşu Algoritmaları ile Doğrusal ve Düzlemsel Anten Dizi Sentezi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Erhan KURT	Prof. Dr. Kerim GÜNEY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ferhat DALDABAN

TEŞEKKÜR

Bu tezde ve buna bağlı olarak yaptığım diğer çalışmalarda, engin bilgi ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde büyük katkı sahibi olan sayın hocam Prof. Dr. Kerim GÜNEY'e teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitemde bulunarak çalışmalarımı kıymetli fikirleri ile yönlendiren hocalarım Prof. Dr. Celal YILDIZ ve Prof. Dr. Derviş KARABOĞA'ya ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince vermiş olduğu değerli destek ve tavsiyelerinden dolayı Doç. Dr. Suad BAŞBUĞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte bana sabır göstererek her daim yanımda olup bana destek olan eşim Hilal KURT'a ve kızım Zeynep'e, emeklerinin karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anne ve babama ayrıca kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Erhan KURT

Mart 2023, KAYSERİ

MARTI OPTİMİZASYON, SALP SÜRÜ VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMALARI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

Erhan KURT

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Mart 2023
Danışman: Prof. Dr. Kerim GÜNEY

ÖZET

Anten dizileri modern haberleşme ve radar sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin performansı anten dizi tasarımına sıkı bir şekilde bağlıdır. Anten dizi sentezinin temel hedefi, anten dizi elemanlarının genliklerini, fazlarını ve konumlarını belirleyerek arzu edilen ışıma diyagramını elde etmektir.

Bu tezde, değiştirilmiş martı optimizasyon algoritması (DMOA), değiştirilmiş salp sürü algoritması (DSSA) ve değiştirilmiş kuzey çakır kuşu algoritması (DKÇKA), doğrusal, eliptik, dairesel ve eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi için sunulmuştur. DMOA ile doğrusal anten dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri optimize edilerek yan demet bastırma başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. DMOA sadece genlik, sadece yer ve sadece faz kontrolü yapılarak doğrusal anten dizilerinde diyagram sıfırlama için de kullanılmıştır. Ayrıca doğrusal anten dizilerinde DMOA kullanılarak dizi arızası giderme işlemi de gerçekleştirilmiştir. DSSA ile eliptik anten dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri hesaplanarak sabit birinci sıfır demet genişliğinde düşük maksimum yan demet seviyesine sahip ışıma diyagramları elde edilmiştir. Dairesel anten dizilerinde düşük maksimum yan demet seviyesi ve küçük dizi büyüklüğü elde etmek için dizi elemanlarının genlik ve yer değerleri DKÇKA ile belirlenmiştir. Eşmerkezli dairesel anten dizi elemanlarının genlikleri düşük maksimum yan demet seviyesine ve dar birinci sıfır demet genişliğine sahip dizi diyagramı oluşturmak için DKÇKA ile optimum olarak hesaplanmıştır.

DMOA, DSSA ve DKÇKA ile elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan sentez yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak, DMOA, DSSA ve DKÇKA ile elde edilen sonuçların diğer metotlar ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Anten dizi sentezi, diyagram sıfırlama, dizi arızası giderme, yan demet bastırma, martı optimizasyon algoritması, salp sürü algoritması, kuzey çakır kuşu algoritması

LINEAR AND PLANAR ANTENNA ARRAY SYNTHESIS USING SEAGULL OPTIMIZATION, SALP SWARM AND NORTHERN GOSHAWK ALGORITHMS

Erhan KURT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
PhD Thesis, March 2023
Supervisor: Prof. Dr. Kerim GÜNEY

ABSTRACT

Antenna arrays are widely used in modern communication and radar systems. The performance of these systems depends strongly on the antenna array design. The main target of antenna array synthesis is to achieve desired radiation pattern by controlling amplitudes, phases, and positions of the antenna array elements.

In this thesis, modified seagull optimization algorithm (MSOA), modified salp swarm algorithm (MSSA), and modified northern goshawk optimization (MNGO) algorithm are presented for pattern synthesis of linear, elliptical, circular, and concentric circular antenna arrays. MSOA is successfully used for sidelobe suppression by optimizing the amplitude-only and position-only values of the linear antenna array elements. MSOA is also utilized for pattern nulling of linear antenna arrays by controlling the amplitude-only, position-only, and phase-only. The array failure correction is also performed by using MSOA for linear antenna arrays. MSSA is used for achieving radiation patterns with low maximum sidelobe level (MSL) at fixed first null beam width (FNBW) by computing the amplitude-only and position-only values of the elliptical antenna array elements. The amplitudes and the positions of circular antenna array elements are determined by MNGO in order to obtain low MSL and reduced size of circumferences. The element amplitudes of concentric circular antenna arrays are also optimally calculated by MNGO to produce an array pattern with low MSL and narrow FNBW.

The results of the MSOA, MSSA, and MNGO are compared with the results of the synthesis methods available in the literature. In general, it was shown that the results of MSOA, MSSA, and MNGO are better than those of other synthesis methods.

Keywords: Antenna array synthesis, pattern nulling, pattern failure correction, sidelobe level reduction, seagull optimization algorithm, salp swarm algorithm, northern goshawk optimization algorithm.

İÇİNDEKİLER

MARTI OPTİMİZASYON, SALP SÜRÜ VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMALARI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR VE SİMGELER x
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xvi
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Anten Dizileri 2
1.2. Literatür Taraması 3
1.3. Tezin Amacı 6

2. BÖLÜM

MARTI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI, SALP SÜRÜ ALGORİTMASI VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMASI

2.1. Giriş 9
2.2. Martı Optimizasyon Algoritması (MOA) 9

2.2.1. Popülasyon Üyelerinin Göç Hareketi 10
2.2.2. Popülasyonu Oluşturan Üyelerin Avlanma Hareketi 12
2.2.3. Değiştirilmiş Martı Optimizasyon Algoritması (DMOA) 14
2.3. Salp Sürü Algoritması (SSA) 15
2.3.1. Değiştirilmiş Salp Sürü Algoritması (DSSA) 17
2.4. Kuzey Çakır Kuşu Algoritması (KÇKA) 18
2.4.1. Algoritmanın Başlangıç İşlemleri 18
2.4.2. Avın Belirlenmesi ve Saldırı Hareketi 19
2.4.3. Kaçış ve Kovalamaca Hareketi 20
2.4.4. Değiştirilmiş Kuzey Çakır Kuşu Algoritması (DKÇKA) 23

3. BÖLÜM

MARTI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI, SALP SÜRÜ ALGORİTMASI VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMASI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

3.1. Giriş 24
3.2. DMOA'nın Doğrusal Anten Dizi Sentezine Uygulanması 25
3.2.1. DMOA Kullanılarak Doğrusal Anten Dizilerinde Yan Demet Bastırma ve Diyagram Sıfırlama 26
3.2.2. DMOA Kullanılarak Chebyshev Dizi Diyagramında İstenilen Doğrultularda Sıfırlara Sahip Dizi Sentezi 41
3.2.3. DMOA Kullanılarak Doğrusal Anten Dizilerinde Dizi Elemanı Arızası Giderme 53
3.3. DSSA'nın Eliptik Anten Dizi Sentezine Uygulanması 57
3.4. DKÇKA'nın Anten Dizi Sentezine Uygulanması 72
3.4.1. DKÇKA Kullanılarak Dairesel Anten Dizi Sentezi 72
3.4.2. DKÇKA Kullanılarak Eşmerkezli Dairesel Anten Dizi Sentezi 82

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler 90

KAYNAKÇA 93
ÖZGEÇMİŞ 107

KISALTMALAR VE SİMGELER

KISALTMALAR

MSL	: Maksimum Yan Demet Seviyesi (Maximum Sidelobe Level)
NDL	: Sıfır Derinlik Seviyesi (Null Depth Level)
FNBW	: İlk Sıfır Demet Genişliği (First Null Beam Width)
DRR	: Çalışma Aralığı Oranı (Dynamic Range Ratio)
MOA	: Martı Optimizasyon Algoritması
DMOA	: Değiştirilmiş Martı Optimizasyon Algoritması
SSA	: Salp Sürü Algoritması
DSSA	: Değiştirilmiş Salp Sürü Algoritması
KÇKA	: Kuzey Çakır Kuşu Algoritması
DKÇKA	: Değiştirilmiş Kuzey Çakır Kuşu Algoritması
GA	: Genetic algorithm (genetik algoritma)
DE	: Differential evolution (diferansiyel gelişim algoritması)
BBO	: Biogeography-based optimization (biyocoğrafya-tabanlı optimizasyon)
BSA	: Backtracking search algorithm (geri-izleme arama algoritması)
GWO	: Grey wolf optimization (gri kurt optimizasyon)
ALO	: Ant lion optimization (karınca aslanı optimizasyon)
PSO	: Particle swarm optimization (parçacık sürü optimizasyon)
TSA	: Tabu search algorithm (tabu araştırma algoritması)
MA	: Memetic algorithm (memetik algoritma)
CRPSO	: Craziness based pso (çılgınlık tabanlı pso)
HSA	: Harmony search algorithm (armoni arama algoritması)
CLPSO	: Comprehensive learning pso (kapsamlı öğrenmeli pso)
FiADE	: Fitness-adaptive differential evolution (uygunluk uyarlamalı de)
DS	: Differantial search (diferansiyel arama)
MVMO	: Mean variance mapping optimization (ortalama varyans eşleştirme optimizasyon algoritması)
ACO	: Ant colony optimization (Karınca koloni optimizasyon)
TACO	: Touring ant colony optimization (tur atan karınca koloni optimizasyon)
MTACO	: Modified touring ant colony optimization (modifiye edilmiş TACO)
BA	: Bees algorithm (arı algoritması)
BFA	: Bacterial foraging algorithm (bakteriyel besin arama algoritması)

PGSA	: Plant growth simulation algorithm (bitki gelişim simülasyon algoritması)
SOA	: Seeker optimization algorithm (arayıcı optimizasyon algoritması)
CLONALG	: Clonal selection algorithm (klonal seçme algoritması)
SOS	: Symbiotic organisms search (ortak yaşam organizma arama)
FPA	: Flower pollination algorithm (çiçek tozlaşma algoritması)
APSO	: Accelerated PSO (hızlandırılmış PSO)
SA	: Simulated annealing (ısıl işlem algoritması)
SQP	: Sequential quadratic programming (ardışıl kuadratik programlama)
FA	: Firefly algorithm (ateş böceği algoritması)
CSO	: cat swarm optimization (kedi sürü optimizasyon)
MFO	: Moth flame optimization (güve-alev optimizasyon)
HA	: Hybrid algorithm (melez algoritma)
MMVO	: Modified multi-verse optimizer (değiştirilmiş çoklu evren optimizasyon)
PSOd	: Distribution based pso (dağılıma dayalı pso)
EP	: Evolutionary programming (evrimsel programlama)
BFO	: Bacterial foraging optimization (bakteriyel besin arama optimizasyon)
OGSA	: Opposition based gravitational search algorithm (karşıtlığa dayalı yerçekimi algoritması)

SİMGELER

AF	: Dizi Faktörü (Array factor)
AF_{d}	: İstenilen dizi faktörü
AF_{dB}	: Desibel cinsinden dizi faktörü
θ	: Kutupsal açı
θ_d	: Girişimin olduğu açı
ϕ	: Azimut açı
λ	: Dalga boyu
k	: Dalga sayısı
I_n	: n'inci dizi elemanının genliği
d_n	: Dizi merkezi ile n'inci dizi elemanı arasındaki mesafe
d	: Dizi elemanları arasındaki mesafe
δ_n	: n'inci dizi elemanının uyarım fazı
ρ_n	: n'inci elemanın orijine olan radyal mesafesi
ϕ_n	: n'inci elemanın açısal pozisyonunu
w_{FNBW}	: Ana demet seviyesi kontrolü için ağırlık faktörü

w_{MSL} : Yan demet seviyesi için ağırlık faktörü

w_{NULL} : Sıfır derinlik kontrolü için ağırlık faktörü

f_{FNBW} : Ana demet genişliğini kontrol etmek için maliyet fonksiyonu

f_{MSL} : Yan demet seviyesini kontrol etmek için maliyet fonksiyonu

f_{NULL} : Sıfır derinliğini kontrol etmek için maliyet fonksiyonu

f_{DRR} : Çalışma aralığı oranını kontrol etmek için maliyet fonksiyonu

f_C : Dizinin fiziksel büyüklüğünü kontrol etmek için maliyet fonksiyonu

$NULL_d$: Arzu edilen sıfır derinlik seviyesi

E_{MSL} : İstenilen yan demet seviyesini aşan miktarları tespit eden fonksiyon

CV_o : Toplam çevre uzunluğu

CV_d : Elde edilen çevre uzunluğu

$\vec{C}_S$: Çarpışmadan kaçan arayıcı üyenin konumu

$\vec{P}_S$: Arayıcının mevcut konumu

MS : Popülasyondaki toplam martı sayısı

α : Hareket etme faktörü

f_c : Hareket etme faktörünün kontrol frekansı

$\vec{M}_s$: Üyelerin hareketinden sonraki pozisyonları

$\vec{P}_{bs}$: En iyi maliyet fonksiyonuna sahip üyenin konumu

B : Tarama faktörü

$\vec{D}_s$: En iyi maliyet fonksiyonuna sahip üye

$\vec{P}_s(t)$: En iyi çözüm

x_j^1 : Lider salpin konumu

F_j : Besin kaynağının konumu

c_1 : Denge faktörü

l : Mevcut iterasyon

L : Maksimum iterasyon

x_j^i : Takipçi salplerin konumu

X : Popülasyon matrisi

G : Popülasyondaki toplam üye sayısı

m : Değişken sayısı

P_i : Üyenin konumu

R : Saldırı alanının yarıçapı

$F_i^{new,P2}$: Amaç fonksiyonunun son değeri

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Şekil 3.2'de gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri 29

Tablo 3.2. Şekil 3.4'de gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri. 30

Tablo 3.3. Şekil 3.6'da gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri. 32

Tablo 3.4. Şekil 3.7'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri..... 33

Tablo 3.5. Şekil 3.8'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri..... 34

Tablo 3.6. Şekil 3.9'da DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri..... 35

Tablo 3.7. Şekil 3.2, 3.4 ve 3.6-3.9'da DMOA ile elde edilen dizi diyagramları için dizi elemanlarının genlik değerleri 36

Tablo 3.8. Şekil 3.10'da gösterilen ışıma diyagramları için MSL değerleri..... 37

Tablo 3.9. Şekil 3.11'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri. 38

Tablo 3.10. Şekil 3.12'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri. 39

Tablo 3.11. Şekil 3.13'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri. 40

Tablo 3.12. Şekil 3.10-3.13'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramları için λ cinsinden eleman yer değerleri 41

Tablo 3.13. Şekil 3.15'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının NDL, MSL ve DRR değerlerinin MTACO [12], BA [15], HSA [23] ve BSA [27] ile elde edilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleriyle karşılaştırılması. 43

Tablo 3.14. Şekil 3.17'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının NDL, MSL ve DRR değerlerinin BFA [16] ve BGSA [19] ile elde edilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleriyle karşılaştırılması 45

Tablo 3.15. Şekil 3.15, 3.17-3.21'de gösterilen ışıma diyagramları için DMOA ile hesaplanan dizi elemanlarının genlik (I_n) değerleri 49

Tablo 3.16. Şekil 3.22'de DMOA ile elde edilen dizi diyagramının MSL ve NDL değerlerinin HSA [23], BSA [27], CLONALG [37], BFA [38] ve BA [78] ile elde edilen diyagramların NDL ve MSL değerleriyle karşılaştırılması. 50

Tablo 3.17. Şekil 3.23'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının MSL ve NDL değerlerinin SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BFA [38] ile elde edilen diyagramların MSL ve NDL değerleriyle karşılaştırılması. 51

Tablo 3.18. Şekil 3.24'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının MSL ve NDL değerlerinin SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BA [78] ile elde edilen diyagramların MSL ve NDL değerleriyle karşılaştırılması 52

Tablo 3.19. Şekil 3.22-3.24'de gösterilen ışıma diyagramları için DMOA ile elde edilen faz (δ_n) değerleri. 53

Tablo 3.20. Şekil 3.25-3.27'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramları için MSL, FNBW ve DRR değerleri 55

Tablo 3.21. Şekil 3.25-3.27'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramlarının genlik (I_n) değerleri. 57

Tablo 3.22. Üniform dizi diyagramına ait parametre değerleri. 59

Tablo 3.23. Şekil 3.29'da verilen 8 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma değerleri ve ortalama optimizasyon süreleri 61

Tablo 3.24. Şekil 3.31'de verilen 8 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri. 62

Tablo 3.25. Şekil 3.33'te verilen 12 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma ve ortalama optimizasyon süreleri 64

Tablo 3.26. Şekil 3.34'te verilen 12 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri 65

Tablo 3.27. Şekil 3.35'te verilen 20 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma ve ortalama optimizasyon süreleri 66

Tablo 3.28. Şekil 3.36'da verilen 20 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri 67

Tablo 3.29. DSSA kullanılarak sadece genlik kontrolü ile gerçekleştirilen diyagram sentezi örnekleri için elde edilen dizi elemanlarının genlik değerleri 68

Tablo 3.30. Şekil 3.37'de verilen açısal konum kontrolü ile elde dilen 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL değerleri. 69

Tablo 3.31. Şekil 3.38'de verilen açısal konum kontrolü ile elde edilen 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile bulunan MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri 70

Tablo 3.32. Şekil 3.37 ve 3.38'de gösterilen ışıma diyagramları için DSSA ile elde edilen dizi elemanlarının açısal konum değerleri 71

Tablo 3.33. Şekil 3.41, 3.43 ve 3.44'te verilen dairesel dizi diyagramlarına ait MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerleri 75

Tablo 3.34. Şekil 3.45'te gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve çevresel büyüklük değerleri. 79

Tablo 3.35. Şekil 3.46'da gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve çevresel büyüklük değerleri. 80

Tablo 3.36. Şekil 3.41 ve 3.43-3.46'daki ışıma diyagramlarına ait DKÇKA ile elde edilen eleman yer ve genlik değerleri 81

Tablo 3.37. DKÇKA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerine ilişkin 30 bağımsız çalışma sonucunda elde edilen ortalama MSL ve standart sapma değerleri 82

Tablo 3.38. Şekil 3.49-3.55'de gösterilen dizi diyagramlarının MSL, FNBW ve DRR değerleri 88

Tablo 3.39. Şekil 3.49-3.55'de gösterilen dizi diyagramları için DKÇKA ile elde edilen eleman genlik değerleri 89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Martıların göç etme ve avlanma sırasındaki davranışları 10

Şekil 2.2. Popülasyonu oluşturan martıların ilk konumları 11

Şekil 2.3. Popülasyonu oluşturan martıların en iyi konuma sahip martıya doğru hareket etmeleri..... 11

Şekil 2.4. Popülasyonu oluşturan üyelerin en iyi konuma sahip üyenin konumuna gelmeleri 12

Şekil 2.5. Popülasyon üyelerinin avlanma sırasındaki hareketleri 13

Şekil 2.6. MOA'ya ait sözde kod yapısı 14

Şekil 2.7. Orijinal MOA ve DMOA için α değerinin iterasyon sayısına göre değişimi..... 15

Şekil 2.8. (a) Tek bir salp yapısı, (b) Zincir şeklindeki salp sürüsü 16

Şekil 2.9. SSA'ya ait sözde kod yapısı 17

Şekil 2.10. Kuzey çakır kuşu [145]..... 18

Şekil 2.11. KÇKA'nın ilk aşamasında av tespiti ve saldırı hareketi..... 20

Şekil 2.12. KÇKA ile av arasındaki kaçış, kovalamaca ve yakalama hareketi 21

Şekil 2.13. KÇKA'ya ait akış şeması..... 22

Şekil 3.1. Eşlenik simetrik uyarıma sahip dizi merkezi etrafında simetrik olarak yerleştirilmiş doğrusal anten dizisi geometrisi 26

Şekil 3.2. DMOA, GWO [28], ALO [29] ve MFO [117] ile elde edilen düşük yan demet seviyeli N=10 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları 29

Şekil 3.3. Şekil 3.2.'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri..... 29

Şekil 3.4. DMOA, GWO [28] ve MFO [117] ile elde edilen düşük yan demet seviyeli N=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları..... 30

Şekil 3.5. Şekil 3.4.'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri..... 31

Şekil 3.6. DMOA, BBO [26] ve ALO [29] ile elde edilen dar ana demet genişliğine sahip N=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları 32

Şekil 3.7. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [46º, 71º] ve [108º, 134º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=12 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları 33

Şekil 3.8. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [60º, 75º] ve [104º, 120º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları 34

Şekil 3.9. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [66º, 78º] ve [101º, 113º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=20 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları 35

Şekil 3.10. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, TSA [57], MA [57], GA [57], FiADE [62] ve PSO [62] ile elde edilen N=12 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları 37

Şekil 3.11. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, HSA [23], BSA [27], TSA [57], MA [57] ve PSO [62] ile elde edilen 9º'de sıfıra sahip N=22 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları 38

Şekil 3.12. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, BSA [27], CLPSO [61] ve MVMO [67] ile elde edilen 30º, 32.5º ve 35º'de sıfırlara sahip N=28 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları 39

Şekil 3.13. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, HSA [23], BSA [27] ve PSO [51] ile elde edilen 9º'de sıfıra sahip N=32 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları 40

Şekil 3.14. Başlangıç Chebyshev diyagramı 42

Şekil 3.15. 14º'de sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 43

Şekil 3.16. Şekil 3.15'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri 44

Şekil 3.17. DMOA kullanılarak 14º'de sıfıra ve düşük DRR değerine sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 45

Şekil 3.18. DMOA kullanılarak 14º'de sıfıra ve düşük MSL değerine sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 46

Şekil 3.19. DMOA kullanılarak 14º ve 26º'de ikili sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 47

Şekil 3.20. DMOA kullanılarak 14º, 26º ve 33º'de üçlü sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 47

Şekil 3.21. DMOA kullanılarak 30º'de $\Delta\theta$ = 5º'lik geniş sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı 48

Şekil 3.22. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -10º'de sıfıra sahip dizi diyagramı 50

Şekil 3.23. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -10º ve 20º'de sıfıra sahip dizi diyagramı 51

Şekil 3.24. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -33º, -10º ve 20º'de sıfıra sahip dizi diyagramı 52

Şekil 3.25. 6 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları 55

Şekil 3.26. 8 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları 56

Şekil 3.27. 10 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları 56

Şekil 3.28. *N* elemana sahip eliptik dizinin geometrisi 58

Şekil 3.29. 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 60

Şekil 3.30. Birinci örnekte 8 elemana sahip eliptik dizi için değiştirilmiş SSA ve orijinal SSA'nın yakınsama eğrileri 61

Şekil 3.31. 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 62

Şekil 3.32. İkinci örnekte 8 elemana sahip eliptik dizi için değiştirilmiş SSA ve orijinal SSA'nın yakınsama eğrileri 63

Şekil 3.33. 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 64

Şekil 3.34. 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 65

Şekil 3.35. 20 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 66

Şekil 3.36. 20 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 67

Şekil 3.37. Açısal konum kontrolü ile bulunan 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 69

Şekil 3.38. Açısal konum kontrolü ile bulunan 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları 70

Şekil 3.39. DSSA ile yapılan 20 bağımsız optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen MSL değerlerine ilişkin kutu diyagramı 71

Şekil 3.40. *N* adet yönsüz elemana sahip, elemanları arasındaki mesafe eşit olmayan dairesel anten dizi geometrisi 73

Şekil 3.41. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen N=8 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları 75

Şekil 3.42. DKÇKA ile orijinal KÇKA'nın yakınsama eğrileri 76

Şekil 3.43. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen *N*=10 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları 77

Şekil 3.44. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen *N*=12 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları 78

Şekil 3.45. DKÇKA, CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], PSOd [122] ve GWO [122] ile çevre uzunluğu kısıtlaması olmadan elde edilen N=12 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları 79

Şekil 3.46. DKÇKA, SQP [101], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen *N*=20 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları 80

Şekil 3.47. DKÇKA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örnekleri için 30 bağımsız çalışma sonucunda elde edilen MSL değerlerine ait kutu diyagramı 82

Şekil 3.48. Elemanları eşit mesafeli olarak yerleştirilmiş eşmerkezli dairesel anten dizisi 83

Şekil 3.49. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, MFO [116] ve ALO [120] ile elde edilen ışıma diyagramları 85

Şekil 3.50. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, BBO [112] ve ALO-SQP [124] ile elde edilen ışıma diyagramları 85

Şekil 3.51. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, EP [97], SQP [112] ve ALO-SQP [124] ile elde edilen ışıma diyagramları 86

Şekil 3.52. N_1=8, N_2=10, N_3=12 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, MFO [116] ve ALO [120] ile elde edilen ışıma diyagramları 86

Şekil 3.53. N_1=8, N_2=10, N_3=12 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, BBO [112] ve SOS [115] ile elde edilen ışıma diyagramları 87

Şekil 3.54. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip merkezi elemanı olan eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, OGSA [110] ve CSO [111] ile elde edilmiş ışıma diyagramları 87

Şekil 3.55. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip merkezi elemanı olan eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA ve BFO [102] ile elde edilmiş ışıma diyagramları 88

GİRİŞ

Anten dizileri, haberleşme, radar ve uydu sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin performansı anten dizi tasarımına sıkı bir şekilde bağlıdır. Bu tez çalışmasında, farklı geometrilere sahip anten dizilerinde istenilen dizi diyagramlarını elde etmek için dizi elemanlarının genlik, faz veya yer değerleri martı optimizasyon algoritması (MOA), salp sürü algoritması (SSA) ve kuzey çakır kuşu algoritması (KÇKA) kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan algoritmaların performansında iyileştirmeler yapmak amacıyla algoritmalarda değişiklikler yapılmıştır.

Tezin birinci bölümünde literatürde yer alan anten dizi sentezi çalışmalarından ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Tezin amacı da bu bölümde açıklanmıştır.

İkinci bölümde, tez çalışmasında kullanılan optimizasyon algoritmaları olan MOA, SSA ve KÇKA detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Algoritmalarda yapılan değişiklikler de bu bölümde verilmiştir.

Üçüncü bölümde, değiştirilmiş MOA (DMOA), değiştirilmiş SSA (DSSA) ve değiştirilmiş KÇKA (DKÇKA) kullanılarak çeşitli anten dizi sentezleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan farklı metotların sonuçları ile karşılaştırılmış ve genellikle DMOA, DSSA ve DKÇKA ile elde edilen sonuçların diğer metotlar ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

Tezin son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Anten Dizileri

Genellikle tek bir antene ait ışıma diyagramı oldukça geniştir ve kazancı düşüktür. Uydu, radar, mobil ve kablosuz haberleşme sistemleri gibi birçok uygulama uzak mesafe haberleşmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için farklı elektriksel büyüklük ve geometrik şekillerde anten dizileri tasarlanmıştır [1-130]. Anten dizileri, iki veya daha fazla anten elemanının bir araya getirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Diziyi oluşturan anten elemanları doğrusal, eliptik, dairesel, eşmerkezli dairesel gibi geometrik şekillerde yerleştirilebilirler ve anten dizisi bu şekle göre isimlendirilir. Haberleşme sistemlerinin performansı büyük ölçüde anten dizilerinin verimli tasarımına bağlıdır. Anten dizilerinde istenilen ışıma diyagramını elde etmek için tüm dizinin geometrik şekli, dizi elemanlarının uyarım genlikleri, uyarım fazları, konumları ve bireysel elemanların bağıl diyagramı kontrol edilebilir. Yüksek yönelticilik elde edebilmek için ışıma diyagramında birinci sıfır demet genişliğinin (FNBW: First null beam width) olabildiğince dar olması istenir. Ayrıca aynı frekans bandında çalışan farklı sistemlerden yayılan dalgalardan dolayı girişimler meydana gelebilmektedir. Bu girişimleri engelleyebilmek için ise düşük maksimum yan demet seviyesine (MSL: Maximum sidelobe level) sahip anten dizisi tasarlamak önemlidir. Anten dizi sentezinde dizi elemanlarının genliklerinin çalışma aralığı oranı (DRR: Dynamic range ratio) ve sıfır derinlik seviyesi (NDL: Null depth level) gibi parametreler de dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerden birinin iyileştirilmesi diğerlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Anten dizi sentezi çalışmalarında temel amaç, dizi diyagramının dar ana demet

genişliğine, düşük yan demet seviyesine, istenilen doğrultularda derin sıfırlara ve düşük çalışma aralığı oranına sahip olmasıdır.

1.2. Literatür Taraması

Son yıllarda gelişen teknoloji ile cihazlar daha çok kablosuz hizmetler sunmaya başlamıştır. Kablosuz teknolojinin veri aktarımı ve iletişimin tüm alanlarında uygulanması anten dizilerinin kullanımının yayılmasını hızlandırmıştır. Bununla birlikte, bu teknolojinin kullanımındaki artış, parazit ve elektromanyetik kirlilik gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bu kirliliğin sebep olduğu etkiyi en aza indirmek için yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır. Arzu edilen doğrultularda sıfırlamaların olduğu ışıma diyagramlarına sahip dizi sentezi çalışmaları literatürde oldukça yaygındır [7-79]. Anten dizisine ait ışıma diyagramında arzu edilen doğrultu veya doğrultularda sıfırlar oluşturabilmek için anten dizi elemanlarının sadece genlikleri [7-29], sadece fazları [30-44], sadece yerleri [45-68] ve hem genlik hem fazları [69-79] kontrol edilebilir. Genlik ve faz değerlerinin birlikte kontrolü yapılarak elde edilen sonuçlar çözüm uzaylarının geniş olmasından kaynaklı genlik ve faz değerlerinin ayrı ayrı kontrolünün yapılarak elde edilen sonuçlardan daha iyidir. Fakat bu tarz tasarımlarda kullanılacak olan zayıflatıcı ve faz kaydırıcı elemanlar sistem maliyetini arttıracaktır. Buna karşılık sadece genlik kontrolü ile yapılan tasarımlarda eleman sayısı kadar zayıflatıcı kullanmak yeterli olacaktır. Ayrıca dizi elemanları dizi merkezine göre simetrik olarak yerleştirilir ve eşlenik simetrik uyarıma sahip olacak şekilde tasarlanırsa hem kullanılacak olan zayıflatıcı eleman sayısı hem de hesaplama süresi yarı yarıya düşecektir. Sadece faz kontrolü ile tasarlanan sistemlerde dijital ve analog faz kaydırıcılar kullanılabilmektedir. Bu tarz sistemlerin maliyeti düşük ve sistemin uygulanması basittir. Anten dizi elemanlarının sadece yer kontrolü ile yapılan tasarımlarda ise mekanik sürücüler kullanılarak dizi elemanları istenilen konumlara getirilebilmektedir.

Anten dizilerinde beklenmedik bir anda dizi elemanlarından biri veya birkaçı bozulabilir. Bu durum dizi diyagramına ait MSL ve FNBW değerlerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilmektedir. Arızalı olan dizi elemanlarının tamir edilmesi ise uzun zaman alabilmekte veya farklı sorunlara yol açabilmektedir. Örneğin su altı veya uydu haberleşme aygıtlarında bu tür arızaları tamir etmeye çalışmak zaman alıcı ve pahalı bir seçenek olacaktır. Bozulan dizi elemanlarının tamiri yerine sağlam kalan dizi

elemanlarının parametrelerinin tekrardan hesaplanması, ışıma diyagramı üzerindeki bozulmaların belirli bir şekilde önüne geçmektedir. Literatürde anten dizilerinde meydana gelen arızaların bu metotla giderildiği çeşitli çalışmalar sunulmuştur [80-85].

Birçok haberleşme sisteminde kullanılan anten dizilerinin ışıma diyagramında ana demetin haricindeki bölgelerde bulunan yan demetler istenmeyen ışımalardır. Çeşitli yöntemler kullanılarak ışıma diyagramında dar ana demete ve düşük yan demetlere sahip anten dizileri tasarlamak mümkündür. Fakat MSL değeri düşürüldükçe FNBW değeri artma eğilimi gösterecektir. Bu sebeple yan demet bastırma problemlerinde optimizasyon işleminin amaç fonksiyonuna FNBW değeri de dahil edilerek ana demet genişliği mümkün olan en iyi seviyede tutulmaya çalışılır. Ayrıca tasarım işleminde yan demet seviyesi bastırma ile birlikte istenilen doğrultularda sıfırlamada yapılacaksa, sıfır derinlik ve yan demet seviyelerinin birbirini ters yönde etkileyeceği dikkate alınmalıdır. Literatürde yan demet seviyesi azaltılmış anten dizi sentezi tasarımına ait çok sayıda çalışma yapılmıştır [86-130].

Klasik optimizasyon teknikleri anten dizi sentezi çalışmalarında kullanılmaktadır fakat bu tekniklerin çoğu ele alınan problem için genel ve esnek çözüm üretmede yetersiz kalır. Ayrıca yerel bir çözüm noktasına takılıp kalma ihtimalleri oldukça yüksektir. Klasik optimizasyon yöntemlerinin performansı başlangıç değerinin tahminine bağlıdır. Karşılaşılan bu tür dezavantajlardan dolayı anten dizisi tasarımında daha esnek ve genel çözümler üretebilen metasezgisel yöntemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metasezgisel yöntemler farklı problemlere uygulanabilme, yerel minimum noktalarından kurtularak genel ve esnek çözümler sunabilme gibi özelliklere sahiptirler. Literatürde çok sayıda modern optimizasyon algoritması anten dizi sentezine uygulanmıştır. Bunlara örnek olarak genetik algoritma (GA: Genetic algorithm) [9, 10, 32, 38, 46, 57, 59, 60, 73, 77, 82, 83, 87, 88, 105], diferansiyel gelişim (DE: Differantial evolution) algoritması [13, 38, 50, 58, 59, 103], uygunluk uyarlamalı DE (FiADE: Fitness-adaptive differential evolution) [62], diferansiyel arama (DS: Differantial search) algoritması [85], parçacık sürü optimizasyon (PSO: Particle swarm optimization) algoritması [34, 44, 51, 59, 62, 79, 91, 97, 100], çılgınlık tabanlı PSO (CRPSO: Craziness based PSO) [24], kapsamlı öğrenmeli PSO (CLPSO: Comprehensive learning PSO) [61], dağılıma dayalı PSO (PSOd: Distribution based PSO) [122], yapay bağışıklık algoritması [17, 43], arı algoritması (BA: Bees algorithm) [15, 54, 78],

bitki gelişim simülasyon algoritması (PGSA: Plant growth simulation algorithm) [19], yarasa algoritması (bat algorithm) [21, 80], ısıl işlem (SA: Simulated annealing) algoritması [95], tabu araştırma algoritması (TSA: Tabu search algorithm) [11, 36, 57, 74], geri-izleme arama algoritması (BSA: Backtracking search algorithm) [27], gri kurt optimizasyon (GWO: Grey wolf optimization) algoritması [28, 122], karınca aslanı optimizasyon (ALO: Ant lion optimization) algoritması [29, 118, 119, 120], ateş böceği algoritması (FA: Firefly algorithm) [42, 84, 109], karınca koloni optimizasyon (ACO: Ant colony optimization) algoritması [56, 86], memetik algoritması (MA: Memetic algorithm) [38, 39, 57], tur atan karınca koloni optimizasyon (TACO: Touring ant colony optimization) algoritması [49], modifiye edilmiş TACO (MTACO: Modified touring ant colony optimization) [12, 75], klonal seçme algoritması (CLONALG: Clonal selection algorithm) [14, 37, 53], ortalama varyans eşleştirme optimizasyon algoritması (MVMO: Mean variance mapping optimization) [67, 107], bakteriyel besin arama algoritması (BFA: Bacterial foraging algorithm) [16, 38, 63], armoni arama algoritması (HSA: Harmony search algorithm) [23, 100], biyocoğrafya-tabanlı optimizasyon (BBO: Biogeography-based optimization) algoritması [20, 26, 98, 112], bakteriyel besin arama optimizasyonu (BFO: Bacterial foraging optimization) [102], karşıtlığa dayalı yerçekimi algoritması (OGSA: Opposition based gravitational search algorithm) [110], melez algoritma (HA: Hybrid algorithm) [118], arayıcı optimizasyon algoritması (SOA: Seeker optimization algorithm) [22, 108], kedi sürü optimizasyon algoritması (CSO: Cat swarm optimization) [66, 111], evrimsel programlama (EP: Evolutionary programming) [97], ardışıl kuadratik programlama (SQP: Sequential quadratic programming) [101, 112], taguchi metot (Taguchi) [114], ortak yaşam organizma arama (SOS: Symbiotic organisms search) algoritması [115, 119], güve-alev optimizasyon (MFO: Moth flame optimization) algoritması [116, 117], değiştirilmiş çoklu evren optimizasyon (MMVO: Modified multi-verse optimizer) algoritması [121], çiçek tozlaşma algoritması (FPA: Flower pollination algorithm) [123], hızlandırılmış PSO (APSO: Accelerated PSO) [123], melez karınca aslanı optimizasyon-ardışıl kuadratik programlama (ALO-SQP) [124], yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritması [126, 127], sosyal grup optimizasyon algoritması (social group optimization algorithm) [128], balina algoritması (whale algorithm) [129], sosyal örümcek algoritması (social spider algorithm) [130] verilebilir.

1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında değiştirilmiş martı optimizasyon algoritması (DMOA), değiştirilmiş salp sürü algoritması (DSSA) ve değiştirilmiş kuzey çakır kuşu algoritması (DKÇKA) kullanılarak farklı geometriye sahip anten dizi sentezleri gerçekleştirilmiştir. Martı optimizasyon algoritması (MOA) [131], doğada sürüler halinde yaşayan martıların göç etme ve avlanma davranışları temel alınarak iki aşamada tasarlanmış bir algoritmadır. Algoritmanın birinci aşamasında popülasyonu oluşturan martılar çözüm alanı içerisinde rastgele dağıtılır. Daha sonra konumu en iyi olan martıya doğru diğer martılar harekete geçerler ve konumlarını en iyi konuma sahip martının konumu ile eşitlerler. İkinci aşamada ise martılar avlarını belirledikten sonra avına spiral bir dönme hareketi ile hızlı bir şekilde yaklaşarak avını yakalar ve aynı şekilde hızla yukarı yükselir. Bu iki hareketin matematiksel olarak modellenmesi ile oluşturulan MOA literatürde çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanmıştır [131-135]. Bu tez çalışmasında, martı optimizasyon algoritması martıların hareket etme faktöründe değişiklik yapılarak anten dizi sentezi problemlerine uygulanmış ve yapılan değişikliğin algoritma üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ayrıca MOA'da yapılan bu değişiklik Xia ve ark. [135] tarafından çeşitli test fonksiyonlarında denenmiştir.

Salp sürü algoritması (SSA) [136] sürü tabanlı metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Okyanuslarda yaşayan salp sürülerinin hareketlerinden esinlenerek üretilmiştir. Popülasyonu oluşturan üyeler en önde bulunan lideri takip ederek hareket ederler. Basit yapısı sayesinde birçok probleme başarıyla uygulanmıştır [136-140]. Ayrıca bu sayede farklı problemlere uygulanırken değişiklik yapmak mümkündür. Bu doğrultuda takipçi salplerin konumlarının hesaplanmasında değişiklik yapılarak oluşturulan DSSA anten dizi sentezi problemlerine uygulanmıştır.

Kuzey çakır kuşu algoritması (KÇKA) [142] kuzey çakır kuşlarının avlanma başarılarını temel alarak tasarlanmıştır. Oldukça yeni bir yöntem olan KÇKA literatürde çeşitli optimizasyon problemleri için uygulanmıştır [142, 144]. Avını belirleme, avına yönelme, avın kaçması ve kovalamaca sırasında göstermiş olduğu hareketler matematiksel olarak modellenmiştir. Probleme ait çözüm uzayına rastgele dağıtılan üyelerin her biri problemin muhtemel bir çözümünü temsil etmektedir. Her bir üyenin avlanma sonunda avını yakaladığı varsayımı yapılmıştır. Üyeler çözüm uzayında rastgele olarak bir av

belirler ve avına saldırırlar. Rastgele seçim sayesinde arayıcı üyeler yerel minimumlara takılmadan genel çözüm noktalarını arayabilmektedir. Bu çalışmada, KÇKA'nın arama kabiliyetini arttırabilmek için av ile avcı arasındaki mesafenin hesaplanmasında değişlik yapılarak DKÇKA oluşturulmuştur.

Bu tezde, doğrusal anten dizilerinde arzu edilen diyagramları elde etmek amacıyla dizi elemanlarının sadece genlikleri, sadece yerleri ve sadece fazları DMOA kullanılarak belirlenmiştir. DSSA ile, eliptik anten dizilerinde dar ana demet genişliğine ve düşük yan demetlere sahip diyagramların sentezi gerçekleştirilmiştir. DKÇKA ise dairesel ve eşmerkezli dairesel anten dizilerinde yan demet seviyesi bastırılmış dar ana demete sahip dizi diyagramları elde etmek için kullanılmıştır.

DMOA ile doğrusal anten dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri hesaplanarak yan demet seviyesi bastırılmış ve istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagram sentezi gerçekleştirilmiştir. Tasarım kriterleri olarak FNBW, MSL, NDL ve DRR dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, HSA [23], CRPSO [24], BBO [26], BSA [27], GWO [28], ALO [29], PSO [51, 62], TSA [57], MA [57], GA [57], CLPSO [61], FiADE [62], MVMO [67], DS [85] ve MFO [117] algoritmaları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. DMOA'nın performansını test etmek için tekli, çoklu ve geniş sıfırlara sahip Chebyshev diyagramları da tasarlanmıştır. Arzu edilen ışıma diyagramlarını elde etmek için dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece faz değerleri belirlenmiştir. DMOA ile bulunan optimizasyon sonuçları, MTACO [12], BA [15, 78], BFA [16, 38], PGSA [19], SOA [22], HSA [23], BSA [27] ve CLONALG [37] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca arızalanan dizi elamanlarının diyagram üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla sağlam olan dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA kullanılarak yeniden hesaplanmıştır.

DSSA kullanılarak eliptik anten dizilerinde farklı FNBW değerlerine sahip yan demet seviyesi bastırılmış diyagram sentezleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla eliptik anten dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri DSSA ile belirlenmiştir. DSSA kullanılarak elde edilen sonuçlar, ALO [119], SOS [119], FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, DSSA'nın birbirinden bağımsız 20 defa koşturulmasıyla elde edilen MSL değerleri kutu grafiğinde gösterilmiştir.

DKÇKA, dairesel ve eşmerkezli dairesel anten dizilerinde düşük yan demetlere ve dar ana demet genişliğine sahip diyagram sentezi gerçekleştirmek için kullanılmıştır. DKÇKA kullanılarak dairesel anten dizilerinde dizi elemanlarının genlik ve yer değerleri birlikte hesaplanmıştır. Tasarım kriteri olarak dairesel dizinin büyüklüğü de dikkate alınmıştır. DKÇKA kullanılarak elde edilen MSL ve büyüklük değerleri, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], HA [118], ALO [118], MMVO [121], PSOd [122] ve GWO [122] ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerinde DKÇKA'nın 30 defa koşturulmasıyla elde edilen MSL değerleri, ortalama optimizasyon süreleri ve standart sapma değerleri de çalışmaya eklenmiştir. DKÇKA ile ikinci grupta ise eşmerkezli dairesel dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Sadece genlik değerleri kontrol edilerek düşük yan demet seviyesine, dar ana demet genişliğine ve düşük DRR değerine sahip dizi diyagramları tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, EP [97], BFO [102], OGSA [110], CSO [111], BBO [112], SQP [112], SOS [115], MFO [116], ALO [120] ve ALO-SQP [124] ile edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. BÖLÜM

MARTI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI, SALP SÜRÜ ALGORİTMASI VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMASI

2.1. Giriş

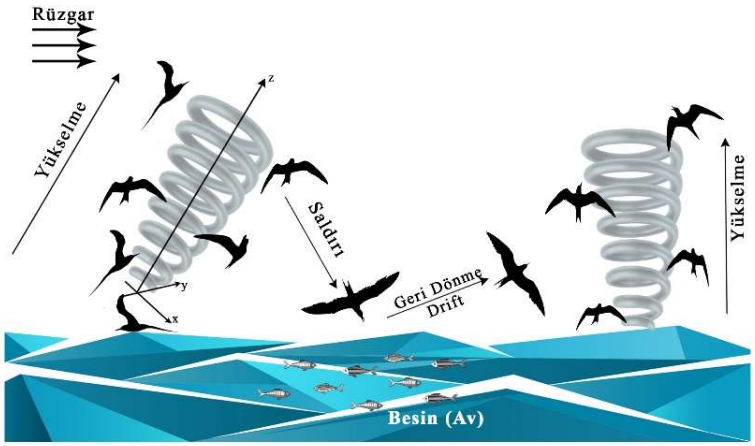
Optimizasyon, matematiksel bir fonksiyonun minimize ya da maksimize edilme süreci olarak tanımlanabilir. Optimizasyon işlemine gerek duyan problemler ise optimizasyon problemi olarak ifade edilir. Modern optimizasyon algoritmalarının amacı bir probleme ait çözüm uzayı içerisinde genel bir çözüm noktası bulabilmektir. Literatürde, sosyal, biyoloji, zooloji ve fizik gibi bilimler temel alınarak geliştirilen çok sayıda modern optimizasyon metodu mevcuttur.

Bu bölümde modern optimizasyon metotlarından MOA, SSA ve KÇKA hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

2.2. Martı Optimizasyon Algoritması (MOA)

Martılar, bilimsel adı Laridae olan kuş ailesinin bir üyesidir. Yeryüzünün her yerinde yaşayabilen, yaşadığı yere uyum sağlayabilen farklı büyüklüklere sahip canlılardır. Böcek, solucan, küçük balık ve sürüngen gibi canlılar ile beslenirler. Beslenme sırasında yaptıkları hareketlerden dolayı oldukça zeki canlılardır. Balıkları kendilerine çekmek için ekmek kırıntılarını kullanırlar veya toprak altındaki solucanları çıkartmak için ayakları ile yağmur yağma benzeri ses üretirler [131]. Martılar doğada genellikle sürüler halinde yaşarlar ve avlanırlar. Sürü halinde bir konumdan diğerine göç ederken Şekil 2.1'de gösterildiği gibi spiral bir dönme hareketi yaparak yukarı yükselirler. Avlanma esnasında

hızlı bir şekilde avına doğru ilerleyip avını yakaladıktan sonra tekrar spiral bir dönme hareketi ile yukarı yükselirler.



Şekil 2.1. Martıların göç etme ve avlanma sırasındaki davranışları

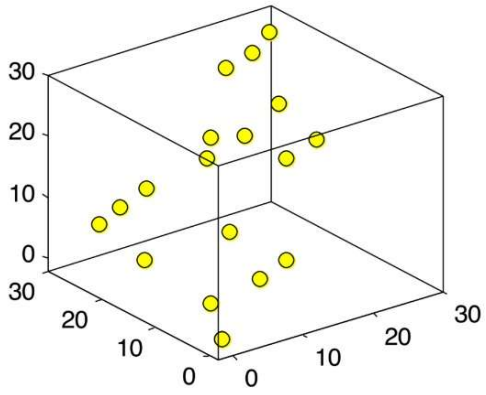
Martı optimizasyon algoritması martıların göç sırasında ve avlarına saldırırken göstermiş oldukları davranışlarından esinlenerek üretilmiştir. Bu iki hareketin matematiksel olarak modellenmesi ile oluşturulan MOA literatürde çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanmıştır [131-135].

2.2.1. Popülasyon Üyelerinin Göç Hareketi

İlk olarak topluluğu oluşturan martılar çözüm alanı içerisinde rastgele dağıtılırlar. Bu durum Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Dağıtma işlemi sonucunda doğada olduğu gibi her bir martının konumu martıların birbirine çarpmasını önlemek amacıyla farklıdır [131]. Göç hareketinin ilk aşamasında her bir martının bir sonraki konumu aşağıdaki formülde ifade edilen şekilde tekrar hesaplanır.

$$\vec{C}_S = \alpha . \vec{P}_S(t) \tag{2.1}$$

burada $\vec{C}_S$ çarpışmadan kaçınan arayıcı üyenin konumunu ifade etmektedir. α, $\vec{P}_S$ ve t sırasıyla hareket etme faktörünü, arayıcının mevcut konumunu ve mevcut iterasyon sayısını temsil etmektedir. s ise popülasyon bireyinin indisidir ve s = 1, 2, 3,…, MS şeklinde bütün bireyler tanımlanabilir. MS popülasyondaki toplam martı sayıdır.

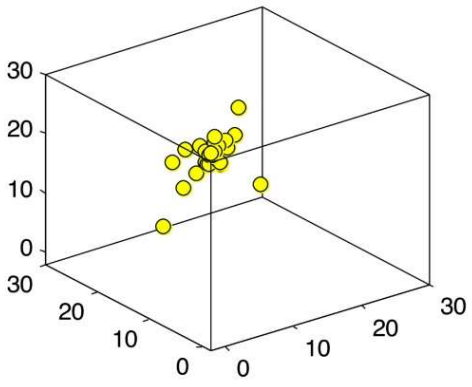


Şekil 2.2. Popülasyonu oluşturan martıların ilk konumları

Denklem (2.1)'de ifade edilen hareket etme faktörü ise aşağıda yer alan formül ile hesaplanabilir.

$$\alpha = f_c - (t(\frac{f_c}{Max_{iterasyon}})), \quad t = 0,1,2,...,Max_{iterasyon} \tag{2.2}$$

burada f_c hareket etme faktörünün kontrol frekansıdır. α parametresinin değeri f_c'den başlayarak 0'a kadar doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Konumları belirlenen martıların bir sonraki hareketleri Şekil 2.3'de gösterildiği gibi en iyi konuma sahip popülasyon üyesine doğrudur.



Şekil 2.3. Popülasyonu oluşturan martıların en iyi konuma sahip martıya doğru hareket etmeleri

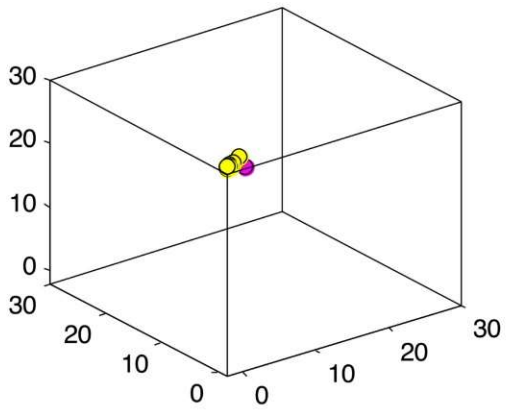
En iyi konuma sahip üyeye doğru hareket eden popülasyondaki üyelerin bir sonraki pozisyonları $\vec{M}_s$ aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanabilir.

$$\vec{M}_s = B \,.\, (\vec{P}_{bs}(t) - \vec{P}_s(t)) \tag{2.3}$$

burada B ve $\vec{P}_{bs}$ sırasıyla tarama faktörünü ve en iyi maliyet fonksiyonu değerine sahip üyenin konumunu ifade etmektedir. Aşağıdaki formülde verilen tarama faktörü B rastgele bir değer alarak arama uzayının daha kapsamlı taranmasını sağlamaktadır.

$$B = 2.\alpha^{2}.rd \tag{2.4}$$

Burada rd [0, 1] algoritma tarafından rastgele belirlenen gerçek bir sayıdır. Göç hareketinin son safhasında ise popülasyonu oluşturan üyeler Şekil 2.4'de görüldüğü gibi konumlarını en iyi konuma sahip üyenin konumu ile değiştirir.



Şekil 2.4. Popülasyonu oluşturan üyelerin en iyi konuma sahip üyenin konumuna gelmeleri

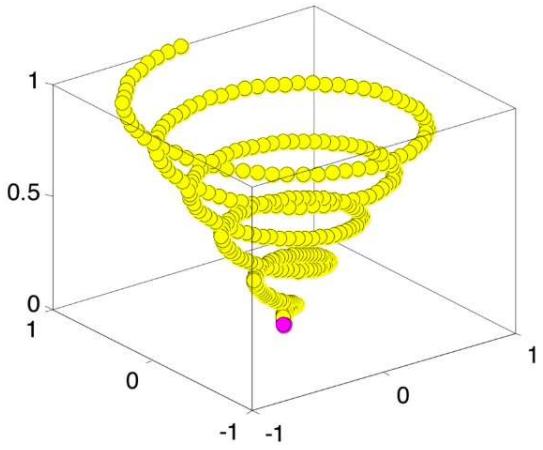
Bu durum aşağıdaki formül ile gerçekleştirilmektedir.

$$\vec{D}_s = \left| \vec{M}_s + \vec{C}_s \right| \tag{2.5}$$

burada $\vec{D}_s$ en iyi maliyet fonksiyonu değerine sahip popülasyon üyesi ile mevcut üyenin arasındaki mesafedir. Popülasyonu oluşturan üyelerin göç hareketinden sonra algoritmanın ikinci aşaması olan avlanma aşamasına geçilmektedir.

2.2.2. Popülasyonu Oluşturan Üyelerin Avlanma Hareketi

Sürüler halinde yaşayan martılar avlarını belirledikten sonra ona yukarıdan aşağıya doğru Şekil 2.5'de gösterildiği gibi spiral bir hareket ile hızlı bir şekilde yaklaşmaktadır [131].



Şekil 2.5. Popülasyon üyelerinin avlanma sırasındaki hareketleri

MOA'da bu spiral hareket matematiksel olarak x, y ve z yönünde modellenmiştir:

$$\begin{aligned} x' &= r\cos(g) \\ y' &= r\sin(g) \\ z' &= r.g \end{aligned} \tag{2.6}$$

burada r her bir dönüş sırasındaki yarıçapı ifade eder ve $r = u \times e^{gv}$ şeklinde hesaplanır. Formülde geçen g [0, 2π] arasında rastgele gerçek bir sayı, u ve v ise spiral hareketi tanımlayan algoritmanın başında belirlenen sabit katsayılardır.

MOA'ya ait sözde kod yapısı Şekil 2.6'da verilmiştir. Denklemler (2.3) - (2.6) kullanılarak popülasyon üyelerinin her birinin maliyet fonksiyonları hesaplanır. Oluşan son durumda en iyi maliyet fonksiyonuna sahip üye

$$\vec{P}_s(t) = (\vec{D}_s\, x'\, y'\, z') + \vec{P}_{bs}(t) \tag{2.7}$$

ile belirlenir. $\vec{P}_s(t)$ optimizasyon işleminin en iyi çözümü olarak kayıt edilir.

MOA yapı olarak sade ve anlaşılır bir yapıya sahiptir. Bu sayede MOA farklı optimizasyon problemlerine rahatça uygulanmıştır [131-135]. MOA ile ilgili detaylı bilgi [131]'de bulunmaktadır.

Giriş: Martı popülasyonunun belirlenmesi P_s
Çıkış: Optimum üye değeri P_{bs}
1: **procedure** MOA
//Başlangıç değerlerinin oluşturulması
2: α, B ve $Max_{iterasyon}$ belirlenmesi
3: $f_c = 2$, $u = 1$, $v = 1$
4: **while** ($t <$ Max$_{iteration}$) **do**
5: $\vec{P}_{bs} \leftarrow$ **Fitness değerini hesapla** ($\vec{P}_s$) // /*göç hareketi */ComputeFitness foksiyonunu kullanarak her bir eleman için hesapla
6: $g \leftarrow$ Rand(0, 2π), $rd \leftarrow$ Rand(0, 1)
/*saldırı hareketi
7: r ← u × e^{gv}
8: Denklem (2.5)'i kullanarak mesafeyi hesapla $\vec{D}_s$
9: $P \leftarrow x' \times y' \times z'$
10: $\vec{P}_s(t) \leftarrow (\vec{D}_s \times P) + \vec{P}_{bs}$
11: $t \leftarrow t + 1$
12: **end while**
13: $\vec{P}_{bs}$ 'ye dön
14: **end procedure**

1: **ComputeFitness** ($\vec{P}_s$)
2: **for** i ← 1 to n **do** / n problem boyutunu ifade eder
3: $FIT_s[i] \leftarrow FitnessFunction$ ($\vec{P}_s$(i, :)) / her üyenin ağırlık fonksiyonunu hesapla
4: **end for**
5: $FIT_{sbest} \leftarrow$ **BEST**(FIT_s[]) / en iyi ağırlık fonksiyonunu hesapla
6: return FIT_{sbest}
7: **end procedure**

1: **procedure** BEST(FIT_s[])
2: $Best \leftarrow FIT_s[0]$
3: **for** i ← 1 to n **do**
4: **if** ($FIT_s[i] < Best$) **then**
5: $Best \leftarrow FIT_s[i]$
6: **end if**
7: **end for**
8: return $Best$
9: **end procedure**

Şekil 2.6. MOA'ya ait sözde kod yapısı

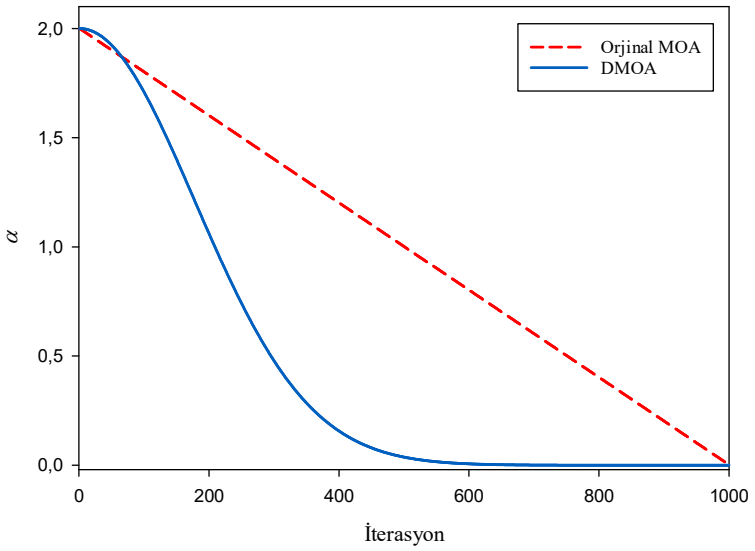
2.2.3. Değiştirilmiş Martı Optimizasyon Algoritması (DMOA)

Bu çalışmada, MOA'nın çözüm uzayında yapmış olduğu arama kabiliyetini arttırmak için Denklem (2.2) ile hesaplanan hareket etme faktörü α değiştirilmiştir. Algoritmanın her bir döngü sürecindeki α değeri, f_c'den başlayarak 0'a doğru doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Optimizasyon örneklerinde her bir iterasyon adımı tek tek incelendiğinde

α değerinin başlangıç iterasyon değerlerinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda α parametresi için

$$\alpha = f_c . e^{\left(\frac{-7t}{2Max_{iterasyon}}\right)^2}, \quad t = 0,1,2,...,Max_{iterasyon} \tag{2.8}$$

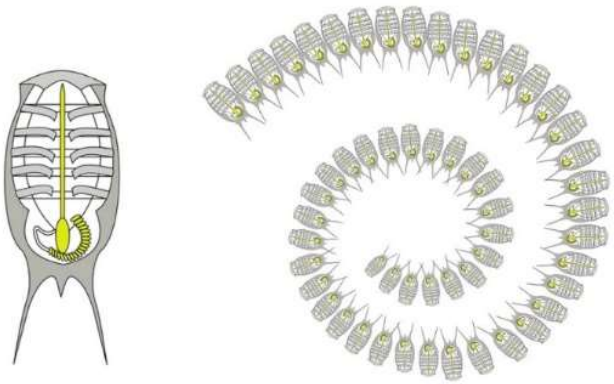
denklemi kullanılmıştır. Yapılan bu değişiklik ile α değerinin değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Bu değişikliğin ana amacı döngünün başında daha iyi bir arama kabiliyeti kazanmak ve optimizasyonun ilerleyen döngülerinde daha ince bir ayarlama sağlamaktır.



Şekil 2.7. Orijinal MOA ve DMOA için α değerinin iterasyon sayısına göre değişimi

2.3. Salp Sürü Algoritması (SSA)

SSA [136], okyanuslardaki salplerin yiyecek için toplanma ve gezinme davranışlarından esinlenen metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Şeffaf şişe şeklinde bir gövdeye sahip olan bu deniz canlıları Salpidae familyasına aittir. Tek bir salpe ait gövde şekli Şekil 2.8a'da gösterilmiştir. Vücut dokuları denizanalarına çok benzer yapıdadır. Doğada zincire benzeyen bir sürü halinde yaşarlar. Şekil 2.8b'de zincir yapısı verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.8. (a) Tek bir salp yapısı, (b) Zincir şeklindeki salp sürüsü

Salp sürüsünün yaptıkları hareketler SSA'nın yapısını oluşturur. Popülasyonu oluşturan bireyler, çok boyutlu arama alanında rastgele dağıtılır. Optimizasyon sürecinde takipçiler, en iyi çözümü bulmak için arama alanında gezinirken lideri takip ederler. Sürü tabanlı benzer optimizasyon tekniklerinde olduğu gibi popülasyondaki üyelerin konumları *n*-boyutlu çözüm uzayı içerisinde belirlenir. *n* optimizasyon problemindeki değişken sayısıdır. Popülasyonu oluşturan üyelerin konumları *x* olarak isimlendirilen iki boyutlu matris içerisinde kayıt edilir [136].

SSA'ya ait sözde kod Şekil 2.9'da verilmiştir. Optimizasyon işlemine öncelikle lider salpin konumunun aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmesi ile başlanır.

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j) & c_3 \geq 0 \\ F_j - c_1((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j) & c_3 < 0 \end{cases} \tag{2.9}$$

burada x_j^1 ve F_j sırasıyla j'inci boyuttaki ilk salpin yani lider olanın ve besin kaynağının konumlarıdır. ub_j ve lb_j sırasıyla j'inci boyuttaki üst ve alt sınır noktalarına karşılık gelen parametrelerdir. Formülde geçen c_2 ve c_3 [0, 1] arasında rastgele seçilen sayıları ifade eder. Denklem (2.9) liderin yalnızca besin kaynağına göre konumunu güncellediğini göstermektedir. Optimizasyon sürecinde keşif ve sömürü arasındaki dengeyi sağlamada

$$c_1 = 2e^{-\left(\frac{4l}{L}\right)^2} \tag{2.10}$$

ub ve *lb* dikkate alınarak başlangıç popülasyonunun rastgele oluşturulması x_i (i = 1,2,3,…,n)
for 1⟵ ***L*** (sonlandırma koşulları boyunca devam et)
  Popülasyondaki her bir üyenin maliyet fonksiyonunu hesapla
  En iyi üyeyi ***F*** olarak belirle
  c_1 değerini Denklem (2.10) kullanarak güncelle
 for (her üye için (x_i) **do**
  if i⟵1 **then**
  Denklem (2.9) kullanarak liderin pozisyonunu güncelle
  else
  Denklem (2.11) kullanarak takipçilerin pozisyonunu güncelle
  end
 end
 Değişkenlerin üst ve alt sınırlarına göre salpleri değiştir
end
Return ***F***

Şekil 2.9. SSA'ya ait sözde kod yapısı

ile tanımlanan c_1 parametresi önemli rol oynar [136]. Burada l ve L sırasıyla mevcut iterasyonu ve maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. Temel SSA'da liderden sonra gelen takipçi salplerin konumları aşağıdaki denklemde belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$x_j^i = \frac{1}{2}(x_j^i + x_j^{i-1}) \qquad için \;\; i \geq 2 \tag{2.11}$$

burada x_j^i j'inci boyuttaki i'nci takipçinin mevcut pozisyonudur.

SSA incelendiğinde anlaşılması kolay bir kod yapısına sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle SSA çeşitli mühendislik problemlerine kolayca uygulanmıştır [136-140]. SSA ile ilgili detaylı bilgi [136]'da verilmiştir.

2.3.1. Değiştirilmiş Salp Sürü Algoritması (DSSA)

Temel SSA, optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça başarılı performans göstermektedir. SSA'nın basit bir yapısı vardır. Farklı optimizasyon problemlerine uygulanırken algoritmada kolaylıkla değişiklikler yapılabilir. Bu doğrultuda bu çalışmada Denklem (2.11)'de verilen takipçi salplerin konumunun belirlenmesinde kullanılan formül değiştirilmiştir. Literatürde No Free Lunch teoremi [141] olarak ifade edilen yöntem kullanılarak takipçi salplerin konumu aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$x_j^i = \frac{\sum_{m=1}^{M}(x_j^m)}{M} \tag{2.12}$$

burada M toplam takipçi salp sayısıdır. Böylece bir sonraki takipçi salpin konumu hesaplanırken daha önceki bütün salplerin konumu dikkate alınmaktadır.

2.4. Kuzey Çakır Kuşu Algoritması (KÇKA)

KÇKA [142] kuzey çakır kuşlarının doğada yiyecek için avlanma davranışlarından esinlenerek üretilmiş metasezgisel bir algoritmadır. Avlanma stratejileri iki aşamadan oluşur. İlk aşama avı belirlemek, ikinci aşama ise avının peşinde kovalamacadır. Kuzey çakır kuşu Atmacagiller kuş ailesine ait bir türdür. Nispeten kısa kanatları ve uzun kuyruğu olan orta büyüklükte bir yırtıcıdır. Doğal ortamda bulunan kuzey çakır kuşunun fotoğrafı Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Kuzey çakır kuşu [145]

Kuzey çakır kuşlarının avını kovalama ve yakalamaları oldukça zeki bir süreçtir. Bu davranışların matematiksel olarak modellenmesi KÇKA'nın temelini oluşturmaktadır.

2.4.1. Algoritmanın Başlangıç İşlemleri

KÇKA popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Kuzey çakır kuşları bu algoritmanın çözüm uzayındaki araştırmacı üyeleridir. Popülasyonu oluşturan her bir üye optimizasyon problemi için önerilen bir çözüm anlamına gelmektedir. Matematiksel olarak üyelerin her biri bir vektördür ve bu vektörlerin birleşimi algoritmanın popülasyonunu oluşturan matris içerisine kaydedilir. KÇKA için popülasyon matrisi aşağıdaki şekilde belirlenmiştir [142].

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_G \end{bmatrix}_{G\times m} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \cdots x_{1,j} \cdots x_{1,m} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \quad \iddots \quad \vdots \\ x_{i,1} \cdots x_{i,j} \cdots x_{i,m} \\ \vdots \quad \iddots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ x_{G,1} \cdots x_{G,j} \cdots x_{G,m} \end{bmatrix}_{G\times m} \tag{2.13}$$

burada X ve X_i sırasıyla popülasyon matrisini ve i'nci önerilen çözümü temsil etmektedir. $x_{i,j}$ i'nci önerilen çözümün j'inci değişkene ait değeridir. G ve m sırasıyla popülasyondaki üye sayısını ve problemdeki değişken sayısını ifade etmektedir. $i = \{1, 2, 3, \ldots, G\}$ ve $j = \{1, 2, 3, \ldots, m\}$ şeklinde değer alırlar.

Popülasyondaki her bir araştırmacı üye önerilen bir muhtemel çözümdür. Bu doğrultuda her bir üyenin amaç fonksiyonu yazılarak aşağıdaki gibi bir matris elde edilir.

$$F(X) = \begin{bmatrix} F_1 = F(X_1) \\ \vdots \\ F_1 = F(X_i) \\ \vdots \\ F_G = F(X_G) \end{bmatrix}_{G\times 1} \tag{2.14}$$

burada F ve F_i sırasıyla elde edilen amaç fonksiyonunu ve i'nci önerilen çözüm için amaç fonksiyonunun değerini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonuna ait kriterler ile hangi çözümün daha iyi olduğuna karar verilir. Amaç fonksiyonunun değeri, minimizasyon problemlerinde ne kadar küçük ise veya maksimizasyon problemlerinde ne kadar büyük ise önerilen çözüm o kadar iyidir.

KÇKA, kuzey çakır kuşlarının avlanma esnasındaki iki temel davranışı olan

i. Avın belirlenmesi ve saldırı
ii. Kaçış ve kovalamaca

davranışlarının matematiksel modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

2.4.2. Avın Belirlenmesi ve Saldırı Hareketi

Kuzey çakır kuşu avlanmanın ilk aşamasında rastgele bir av seçer ve avına doğru hızlıca hareket eder. Bu aşama çözüm uzayındaki rastgele av seçimi nedeniyle KÇKA'nın arama gücünü arttırır. Ayrıca en uygun alanı belirlemek amacıyla arama alanının küresel olarak aranmasını sağlar. Bu aşamada kuzey çakır kuşunun davranışının bir şeması, av seçimi

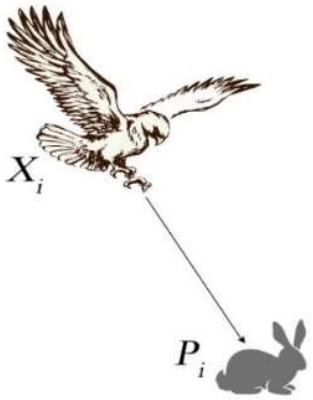
ve saldırısı Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Avlanmanın ilk aşamasında ifade edilen kavramlar matematiksel olarak

$$x_{i,j}^{new,P1} = \begin{cases} x_{i,j} + r(p_{i,j} - I\,x_{i,j}), & F_{P_i} < F_i \\ x_{i,j} + r(x_{i,j} - p_{i,j}), & F_{P_i} \geq F_i \end{cases} \tag{2.15}$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{new,P1}, & F_i^{new,P1} < F_i \\ X_i, & F_i^{new,P1} \geq F_i \end{cases} \tag{2.16}$$

ve

$$P_i = X_h \tag{2.17}$$



Şekil 2.11. KÇKA'nın ilk aşamasında av tespiti ve saldırı hareketi

denklemleri ile modellenir. Burada h [0, G] aralığında rastgele seçilmiş bir doğal sayıyı, P_i ve F_{Pi} ise sırasıyla i'nci çakır kuşu için avın konumunu ve amaç fonksiyonunun değerini temsil eder. $x_{i,j}^{new,\,P1}$ i'nci popülasyon üyesinin j'inci boyutundaki yeni konumu, $F_i^{new,\,P1}$ i'nci popülasyon üyesinin birinci aşamadaki amaç fonksiyonunun değeri, $X_i^{new,\,P1}$ i'nci önerilen çözümün yeni değeri, r [0, 1] aralığında düzgün olarak dağıtılmış rastgele bir sayı ve I 1 veya 2 değerine sahip rastgele seçilen bir katsayıdır.

2.4.3. Kaçış ve Kovalamaca Hareketi

Kuzey çakır kuşu avına doğru hareket etmeye başladıktan sonra av kaçacak ve kovalamaca başlayacaktır. Kuzey çakır kuşlarının yüksek hızları sebebiyle neredeyse bütün kovalamaca avların yakalanması ile sonuçlanır. Bu davranışın simülasyonu

algoritmanın çözüm uzayının yerel olarak aranmasına yönelik kullanım gücünü artırır. Kuzey çakır kuşu ile av arasındaki kovalamaca süreci Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. KÇKA ile av arasındaki kaçış, kovalamaca ve yakalama hareketi

KÇKA'da bu avın R yarıçaplı kapalı bir saldırı alanı içerisinde gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Algoritmanın ikinci aşamasında ifade edilen kavramlar matematiksel olarak aşağıdaki şekilde modellenir.

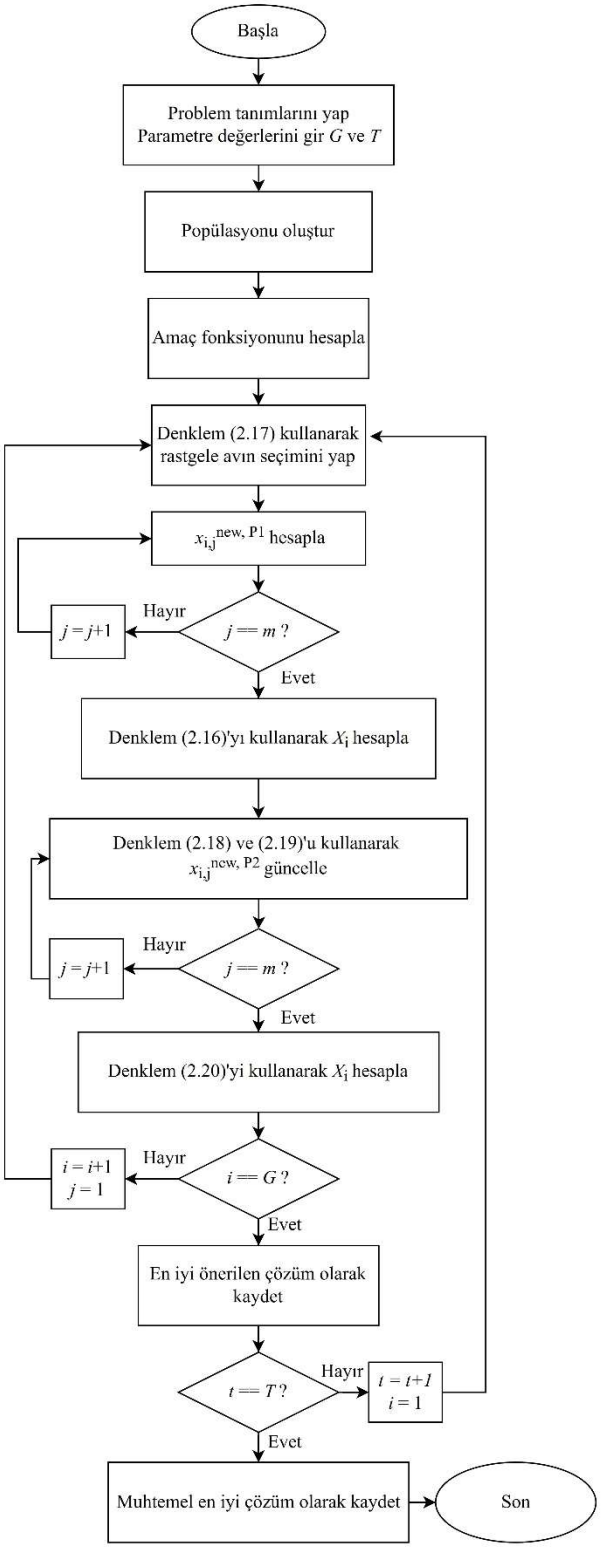
$$x_{i,j}^{new,P2} = x_{i,j} + R(2r-1)x_{i,j} \tag{2.18}$$

ile

$$R = 0.02\left(1-\frac{t}{T}\right) \tag{2.19}$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{new,P2}, & F_i^{new,P2} < F_i \\ X_i, & F_i^{new,P2} \geq F_i \end{cases} \tag{2.20}$$

burada R av ile avcı arasındaki tahmini mesafedir. t ve T sırasıyla mevcut iterasyonu ve maksimum iterasyonu temsil eder. $X_i^{new,P2}$ i'nci aday için önerilen çözümün yeni durumunu ifade ederken $x_{i,j}^{new,P2}$ aynı aday için j'nci boyuttaki yeni çözümüdür. $F_i^{new,P2}$ ikinci aşama sonucunda elde edilen amaç fonksiyonunun değeridir. KÇKA'yı oluşturan bütün parametrelerin akış diyagramı Şekil 2.13'de verilmiştir. KÇKA algoritması ile ilgili detaylı bilgiler [142]'de sunulmuştur. KÇKA literatürde çeşitli optimizasyon problemleri için uygulanmıştır [142-144].



Şekil 2.13. KÇKA'ya ait akış şeması

2.4.4. Değiştirilmiş Kuzey Çakır Kuşu Algoritması (DKÇKA)

KÇKA'nın matematiksel olarak modellenmesinde av ile avcı arasındaki tahmini mesafe *R* olarak ifade edilmiştir. Denklem (2.19) kullanılarak hesaplanan mesafe algoritmanın çözüm uzayındaki arama kabiliyetini etkileyen bir parametredir. Bu çalışmada, algoritmanın arama kabiliyetini artırabilmek için *R* parametresi aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$R = 2\psi r - \psi \tag{2.21}$$

ile

$$\psi = 2 - \left(\frac{2t}{T} \right) \tag{2.22}$$

$$x_{i,j}^{new,P2} = x_{i,j} + Rx_{i,j} \tag{2.23}$$

R parametresi yerel optimum noktalarında daha iyi arama yapılabilmesi amacıyla her bir döngüde Denklem (2.21) kullanılarak güncellenmiştir.

3. BÖLÜM

MARTI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI, SALP SÜRÜ ALGORİTMASI VE KUZEY ÇAKIR KUŞU ALGORİTMASI İLE DOĞRUSAL VE DÜZLEMSEL ANTEN DİZİ SENTEZİ

3.1. Giriş

Bu tez çalışmasında ilk olarak DMOA kullanılarak doğrusal anten dizi diyagram sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri belirlenerek yan demet seviyesi düşürülmüş ve arzu edilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagramlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, HSA [23], CRPSO [24], BBO [26], BSA [27], GWO [28], ALO [29], PSO [51, 62], TSA [57], MA [57], GA [57], CLPSO [61], FiADE [62], MVMO [67], DS [85] ve MFO [117] algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Chebyshev dizisinin sadece genlik ve sadece faz değerleri hesaplanarak tekli, çoklu ve geniş doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramları da sentezlenmiştir. DMOA kullanılarak elde edilen sonuçlar, MTACO [12], BA [15, 78], BFA [16, 38], PGSA [19], SOA [22], HSA [23], BSA [27] ve CLONALG [37] metotları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca arızalanan dizi elamanlarının diyagram üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla sağlam olan dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA ile yeniden hesaplanmıştır.

DSSA, eliptik anten dizilerinde sadece genlik ve sadece yer kontrolü yapılarak farklı FNBW değerlerine sahip yan demet seviyesi bastırılmış dizi diyagramları elde etmek için kullanılmıştır. DSSA ile elde edilen sonuçlar, ALO [119], SOS [119], FPA [123] ve APSO [123] algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

DKÇKA kullanılarak dairesel ve eş merkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dairesel anten dizilerinde dizi elemanlarının genlik ve yer değerleri birlikte kontrol edilerek optimum FNBW değerine sahip yan demet seviyesi bastırılmış dizi diyagramları elde edilmiştir. Optimizasyon işlemine anten dizisinin büyüklüğü de dahil edilmiştir. DKÇKA kullanılarak elde edilen sonuçlar, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], HA [118], ALO [118], MMVO [121], PSOd [122] ve GWO [122] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Eş merkezli dairesel anten dizi sentezinde dizi elemanlarının sadece genlik değerleri DKÇKA ile belirlenmiştir. Elde edilen diyagramlar EP [97], BFO [102], OGSA [110], CSO [111], BBO [112], SQP [112], SOS [115], MFO [116], ALO [120] ve ALO-SQP [124] ile bulunan diyagramlar ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar neticesinde genel olarak DMOA, DSSA ve DKÇKA ile elde edilen sonuçların literatürde yer alan mevcut algoritmalarla elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

3.2. DMOA'nın Doğrusal Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Doğrusal anten dizilerinde dizi elemanlarının sadece genlik, sadece yer ve sadece faz değerleri DMOA ile optimum bir şekilde hesaplanarak arzu edilen dizi diyagramları elde edilmiştir. İlk önce doğrusal anten dizilerinde, dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri kontrol edilerek düşük yan demetlere ve istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diziler tasarlanmıştır [68]. Daha sonra başlangıç dizi diyagramı olarak elemanları arası mesafe 0.5λ olan 20 elemanlı Chebyshev dizi diyagramı alınarak diyagram sıfırlama yapılmıştır. Dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece faz değerleri kontrol edilerek dizi diyagramında tekli ve çoklu sıfırlar elde edilmiştir. Ayrıca elemanlarından bir kısmı arızalanan doğrusal anten dizisinin ışıma diyagramında meydana gelen bozulmaların giderilmesi amacıyla sağlam kalan dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA ile yeniden hesaplanmıştır.

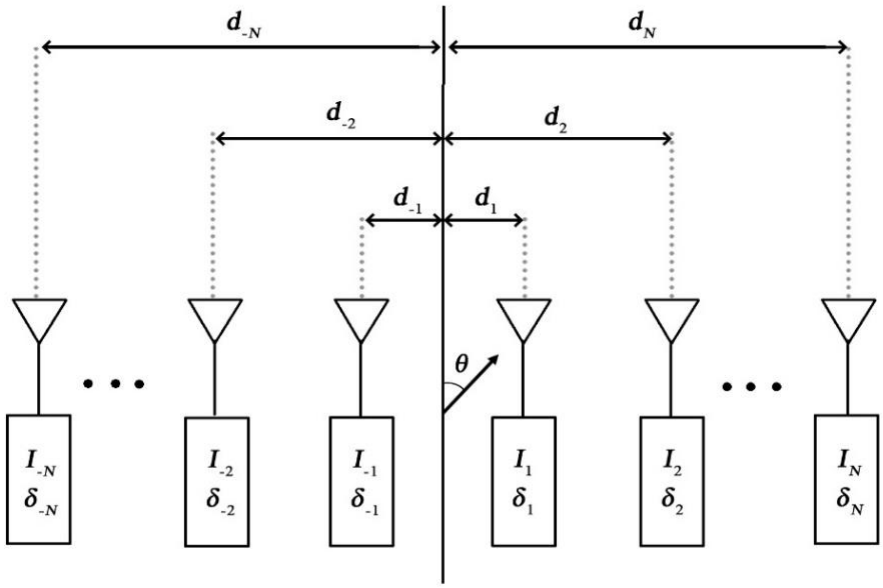
Eleman sayısı $2N$ olan x ekseni üzerine yerleştirilmiş doğrusal bir dizinin x-z düzlemindeki uzak alan dizi faktörü ifadesi

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^{2N} I_n e^{j(kd_n \sin\theta + \delta_n)} \tag{3.1}$$

şeklinde ifade edilebilir [2]. Burada θ tarama açısını, I_n, d_n ve δ_n sırasıyla n'inci dizi elemanının uyarım genliğini, dizi merkezi ile arasındaki mesafeyi ve uyarım fazını temsil etmektedir. Formülde geçen k ise dalga sayısıdır ($k = 2\pi/\lambda$). $2N$ adet yönsüz elemana sahip ve eşlenik simetrik olarak uyarılan ($I_n = I_{-n}$ ve $\delta_n = \delta_{-n}$) doğrusal anten dizisi elemanları Şekil 3.1'de gösterildiği gibi dizi merkezi etrafında simetrik olarak yerleştirildiğinde ($d_n = d_{-n}$) dizi faktörü ifadesi

$$AF(\theta) = 2\sum_{n=1}^{N} I_n \cos(kd_n \sin\theta + \delta_n) \tag{3.2}$$

olacak şekilde yeniden düzenlenebilir [2].



Şekil 3.1. Eşlenik simetrik uyarıma sahip dizi merkezi etrafında simetrik olarak yerleştirilmiş doğrusal anten dizisi geometrisi

3.2.1. DMOA Kullanılarak Doğrusal Anten Dizilerinde Yan Demet Bastırma ve Diyagram Sıfırlama

Bu bölümde gerçekleştirilen diyagram sentezi örneklerinde temel amaç dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerlerini DMOA ile optimize ederek arzu edilen dizi diyagramlarını elde etmektir. Bu doğrultuda, aşağıda verilen maliyet fonksiyonu DMOA kullanılarak minimize edilmiştir.

$$MF = w_{FNBW} f_{FNBW} + w_{MSL} f_{MSL} + w_{NULL} f_{NULL} \tag{3.3}$$

burada w_{FNBW}, w_{MSL} ve w_{NULL} ağırlık faktörleridir. f_{FNBW}, f_{MSL} ve f_{NULL} sırasıyla birinci sıfır demet genişliğinin sınırlandırılması, yan demet seviyesinin bastırılması ve istenen doğrultularda sıfırların oluşturulmasını amaçlayan fonksiyonlardır. f_{FNBW} fonksiyonu

$$f_{FNBW} = \begin{cases} (FNBW_o - f_{FNBWmaksimum})^2, & \text{eğer } FNBW_o > f_{FNBWmaksimum} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.4}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Formülde yer alan $FNBW_o$ ve $f_{FNBWmaksimum}$ sırasıyla kullanılan metot ile elde edilen FNBW ve istenilen maksimum FNBW değeridir. f_{MSL} fonksiyonu için

$$f_{MSL} = \int_{-\pi/2}^{\theta_{NULL1}} E_{MSL}(\theta) d\theta + \int_{\theta_{NULL2}}^{\pi/2} E_{MSL}(\theta) d\theta \tag{3.5}$$

denklemi kullanılmıştır. Burada θ_{NULL1} ve θ_{NULL2} birinci sıfır demetin sağında ve solunda yer alan ilk sıfır noktalarıdır. $E_{MSL}(\theta)$ yan demet seviyesini istenilen seviyeye çekilmesi için kullanılan bir fonksiyondur. Bu amaçla $E_{MSL}(\theta)$ için

$$E_{MSL}(\theta) = \begin{cases} (AF_{dB}(\theta) - MSL_d)^2, & \text{eğer } AF_{dB}(\theta) > MSL_d \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.6}$$

fonksiyonu belirlenmiştir. $AF_{dB}(\theta)$ desibel cinsinden dizi faktörüdür ve

$$AF_{dB}(\theta) = 20\log(AF(\theta)_{normalize}) \tag{3.7}$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Denklem (3.3)'de ifade edilen ve arzu edilen sıfır derinlik seviyesini elde edebilmek için kullanılan f_{NULL} fonksiyonu

$$f_{NULL}(\theta) = \begin{cases} (AF_{dB}(\theta) - NULL_d)^2, & \text{eğer } AF_{dB}(\theta) > NULL_d \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.8}$$

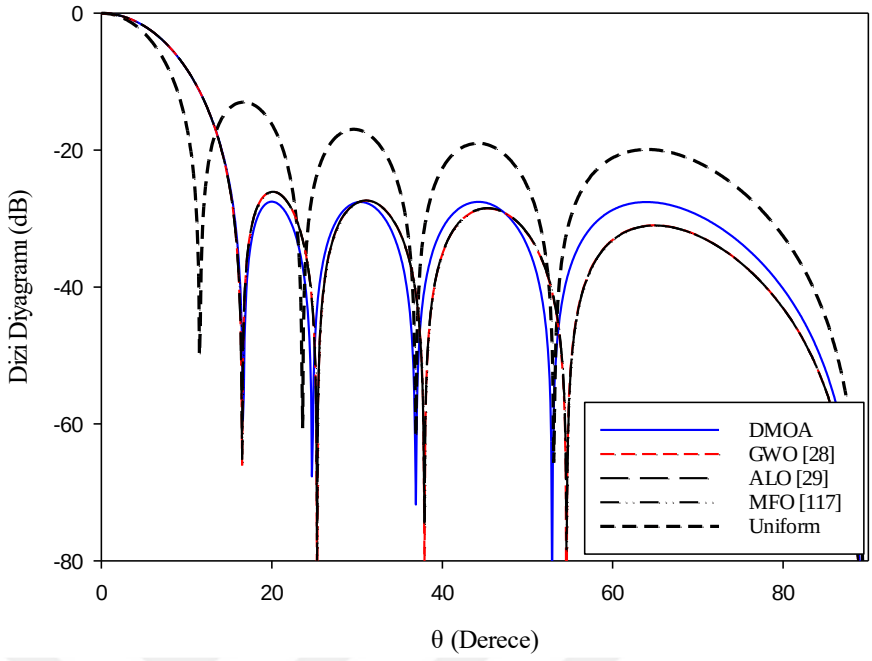
denklemi ile ifade edilmiştir. Burada $NULL_d$ arzu edilen sıfır derinlik seviyesidir.

Doğrusal anten dizi sentezinde düşük yan demet seviyesine, dar ana demet genişliğine ve istenilen doğrultularda sıfırlara sahip diyagramlar elde etmek için dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri DMOA kullanılarak belirlenmiştir [68]. Bu

bölümde verilen diyagram sentezi örneklerinin ilk altısında, sadece genlik kontrolü ile doğrusal dizilerde yan demet bastırma ve geniş sıfırlara sahip dizi diyagramı sentezi gerçekleştirilmiştir. Son dört diyagram sentezi örneğinde ise sadece yer kontrolü ile doğrusal dizilerde yan demet bastırma, tekli ve çoklu sıfırlara sahip dizi diyagramları elde edilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan DMOA, Intel Core i5 2.10 GHz işlemciye ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda Windows işletim sistemi ortamında MATLAB 2021b kullanılarak programlanmıştır. Bütün örneklerde maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak alınmıştır. DMOA'ya ait popülasyon sayısı 30 ve f_c kontrol frekansı 2 olarak belirlenmiştir. Her bir örnek aynı şartlar altında 20 kez çalıştırılmış en iyi sonuçlar kayıt edilmiştir.

İlk örnekte, 10 elemana sahip doğrusal bir anten dizisi ele alınmıştır. Düşük MSL değerine sahip dizi diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA kullanılarak belirlenmiştir. DMOA ile elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2'de ayrıca eşit aralıklı anten dizilimi kullanılarak elde edilmiş üniform dizi diyagramı, GWO [28], ALO [29] ve MFO [117] algoritmaları kullanılarak elde edilen dizi diyagramları da gösterilmiştir. DMOA, GWO [28], ALO [29] ve MFO [117] kullanılarak elde edilen diyagramlara ait MSL değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde DMOA ile elde edilen dizi diyagramına ait MSL değerinin GWO [28], ALO [29] ve MFO [117] kullanılarak elde edilen MSL değerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

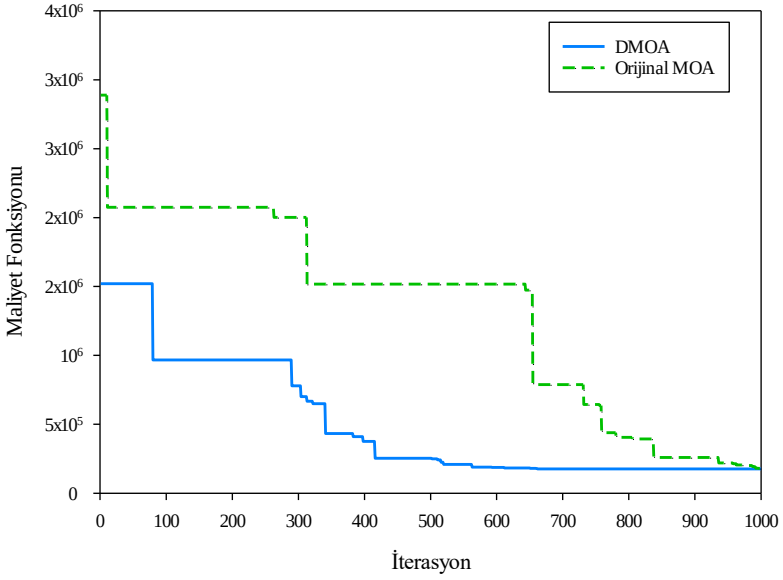
Bölüm 2.2'de detaylı olarak açıklanan ve MOA'nın performansında iyileştirme yapmak için değiştirilen hareket etme faktörünün (α) etkisi burada incelenmiştir. α parametresinin hesaplama şekli bu çalışmada değiştirilerek doğrusal olmayan bir azalma sağlayan Denklem (2.8) kullanılmıştır. MOA'da yapılan bu değişiklik algoritmaya daha hızlı yakınsama imkanı sağlamıştır. α parametresinde yapılan değişiklik, Xia ve ark. [135] tarafından yapılan çalışmada benchmark testlerine uygulanmış ve karşılaştırılan diğer metotlar ile rekabetçi sonuçlar ürettiği vurgulanmıştır. Birinci örnek için elde edilen orijinal MOA ve DMOA'ya ait yakınsama eğrileri Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Şekil 3.3'den açıkça görülmektedir ki, bu çalışmada sunulan DMOA, orijinal MOA'dan daha iyi bir yakınsama performansı göstermektedir.



Şekil 3.2. DMOA, GWO [28], ALO [29] ve MFO [117] ile elde edilen düşük yan demet seviyeli N=10 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

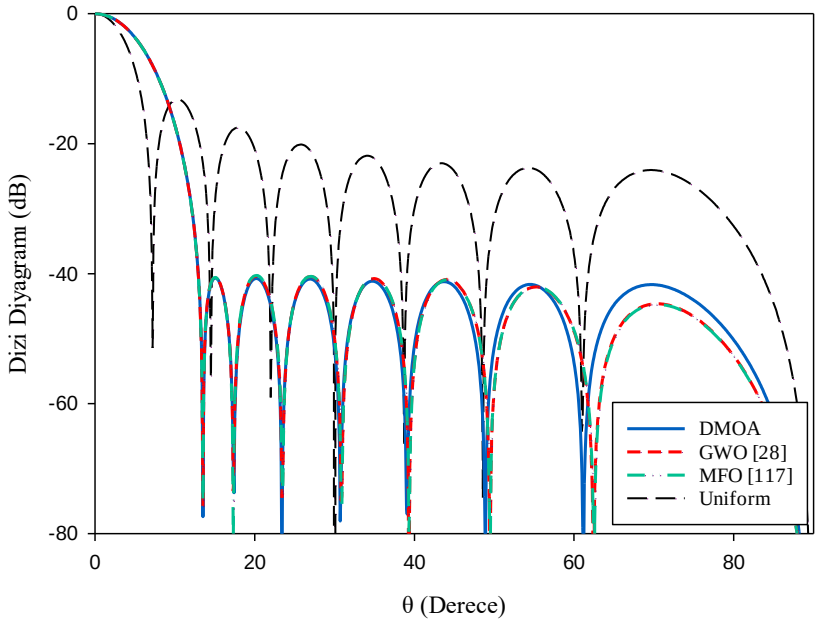
Tablo 3.1. Şekil 3.2'de gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri.

FNBW = 33.2º	DMOA	GWO [28]	ALO [29]	MFO [117]	Uniform
MSL (dB)	-27.52	-26.05	-26.08	-26.07	-12.97



Şekil 3.3. Şekil 3.2.'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri

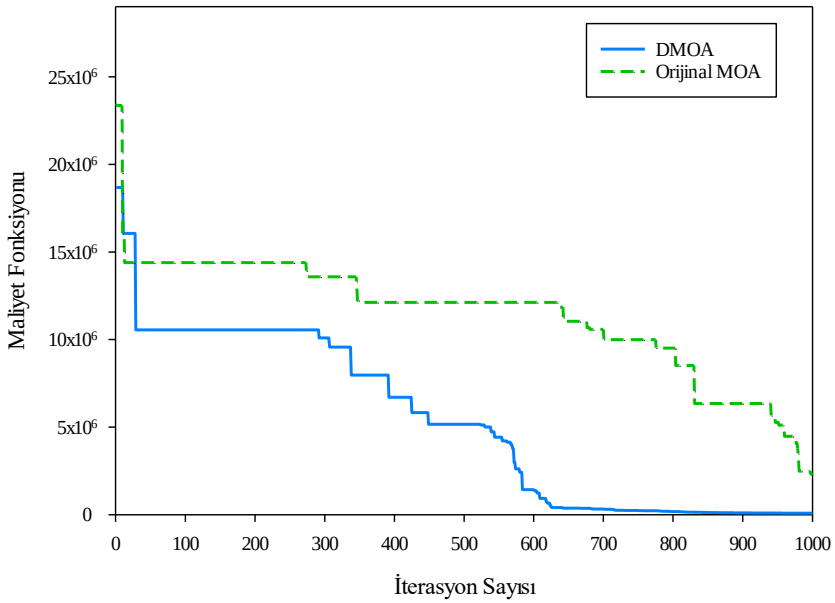
Doğrusal anten dizi sentezinin ikinci örneğinde, 16 elemana sahip dizide dizi elemanlarının genlikleri DMOA ile hesaplanarak yan demet seviyesi bastırılmış dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA, GWO [28] ve MFO [117] ile elde edilen dizi diyagramları ve üniform dizi diyagramı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. DMOA, GWO [28] ve MFO [117] ile elde edilen diyagramların MSL değerleri Tablo 3.2'de karşılaştırılmıştır. DMOA ile elde edilen diyagramın MSL değerinin GWO [28] ve MFO [117] ile edilen MSL değerlerinden daha iyi olduğu Tablo 3.2'den açıkça görülmektedir. MOA'da yapılan değişikliğin etkisini göstermek amacıyla orijinal MOA ile DMOA'nın yakınsama eğrileri ikinci örnek için Şekil 3.5'de sunulmuştur. Şekil 3.5'den görüldüğü gibi DMOA orijinal MOA'ya göre hem daha iyi yakınsama hızına hem de maksimum iterasyon sayısında daha iyi maliyet fonksiyonu değerine sahiptir.



Şekil 3.4. DMOA, GWO [28] ve MFO [117] ile elde edilen düşük yan demet seviyeli *N*=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

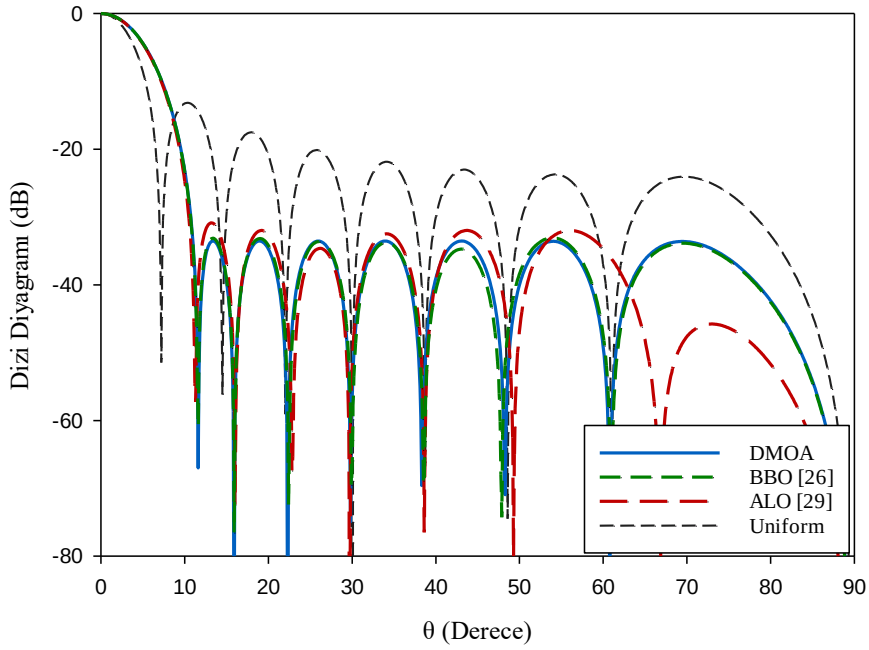
Tablo 3.2. Şekil 3.4'de gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri.

FNBW = 27º	DMOA	GWO [28]	MFO [117]	Uniform
MSL (dB)	-40.65	-40.50	-40.25	-13.15



Şekil 3.5. Şekil 3.4.'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri

Üçüncü örnekte, eleman sayısı 16'da sabit tutularak ikinci örneğin FNBW değerine göre daha dar FNBW değerine sahip doğrusal anten dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA, BBO [26] ve ALO [29] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.6'da verilmiştir. Tablo 3.3'de DMOA, BBO [26] ve ALO [29] ile elde edilen diyagramların MSL değerleri sunulmuştur. Tablo 3.3 incelendiğinde DMOA ile elde edilen MSL değerinin BBO [26] ve ALO [29] kullanılarak elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmektedir.

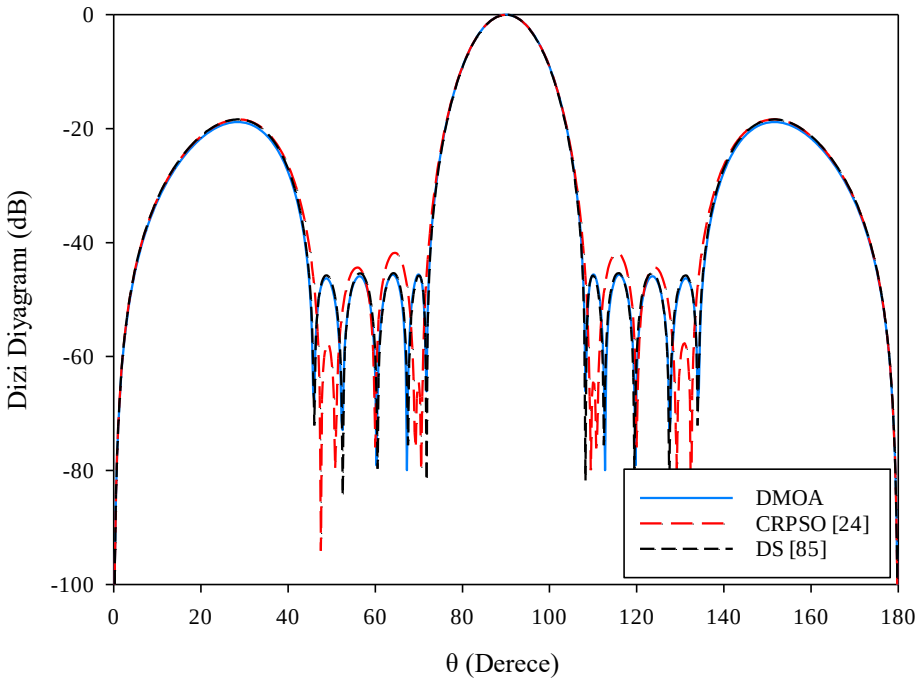


Şekil 3.6. DMOA, BBO [26] ve ALO [29] ile elde edilen dar ana demet genişliğine sahip *N*=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

Tablo 3.3. Şekil 3.6'da gösterilen dizi diyagramları için MSL değerleri.

FNBW = 23.2º	DMOA	BBO [26]	ALO [29]
MSL (dB)	-33.53	-33.06	-30.85

DMOA kullanılarak sadece genlik kontrolü ile gerçekleştirilen dördüncü örnekte 12 elemana sahip doğrusal anten dizisinde [46º, 71º] ve [108º, 134º] aralığında geniş sıfırlara sahip dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] kullanılarak elde edilen diyagramlar Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Tablo 3.4'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] kullanılarak elde edilen diyagramların FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri verilmiştir. DMOA kullanılarak elde edilen dizi diyagramının MSL, NDL ve DRR değerlerinin CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu Tablo 3.4'den açıkça görülmektedir. DMOA ile elde edilen FNBW değeri DS [85] ile elde edilen değerle aynı iken CRPSO [24] ile edilen değerden daha iyidir.



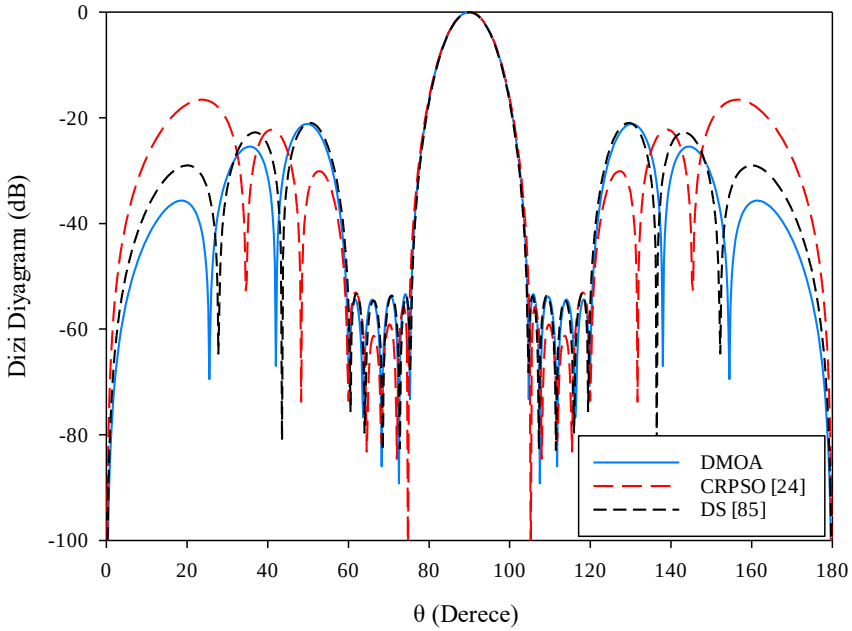
Şekil 3.7. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [46º, 71º] ve [108º, 134º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=12 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

Tablo 3.4. Şekil 3.7'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri.

	FNBW (derece)	MSL (dB)	NDL (dB)	DRR
DMOA	36.50	-18.83	-45.56	5.46
CRPSO [24]	38.84	-17.22	-41.78	5.52
DS [85]	36.50	-18.37	-45.33	5.50

Beşinci örnekte 16 elemana sahip arzu edilen geniş sıfır aralığı [60º, 75º] ve [104º, 120º] olarak belirlenen doğrusal anten dizisi ele alınmıştır. Şekil 3.8'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] kullanılarak elde edilen ışıma diyagramları sergilenmiştir. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] elde edilen diyagramlara ait FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri Tablo 3.5'de sunulmuştur. DMOA ile elde edilen MSL, NDL ve DRR değerlerinin CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu

Tablo 3.5'den görülmektedir. DMOA ile elde edilen diyagramın FNBW değeri ise DS [85] ile edilen ile aynı iken CRPSO [24] ile elde edilenden daha iyidir.



Şekil 3.8. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [60º, 75º] ve [104º, 120º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=16 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

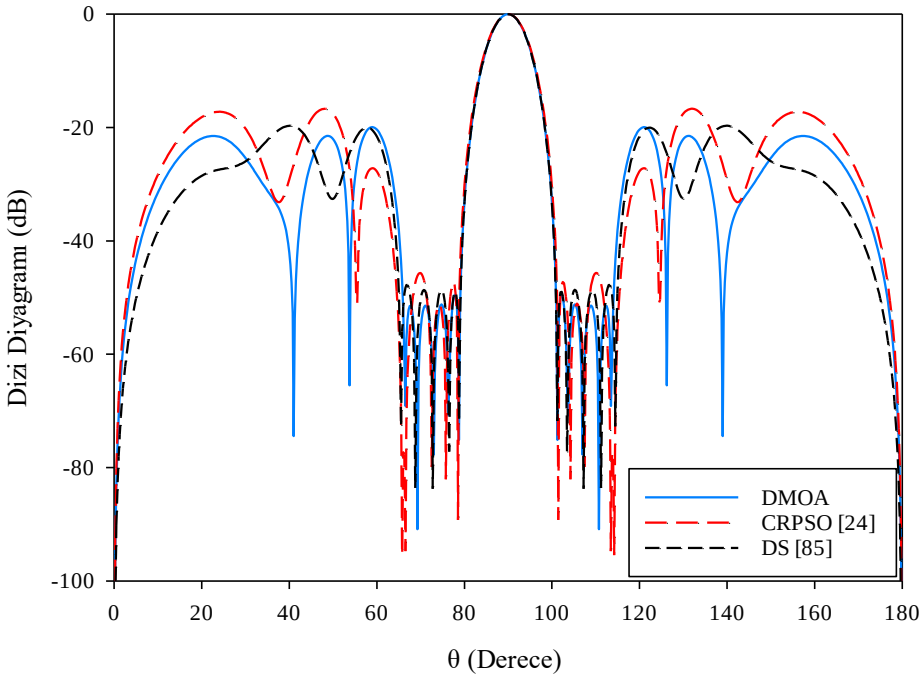
Tablo 3.5. Şekil 3.8'de DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri.

	FNBW (derece)	MSL (dB)	NDL (dB)	DRR
DMOA	29.50	-21.15	-53.41	10.35
CRPSO [24]	30.60	-17.49	-53.04	Sonsuz
DS [85]	29.50	-20.96	-53.30	15.17

Altıncı örnekte 20 elemanlı doğrusal anten dizisi ele alınmıştır. DMOA ile elde edilen [66º, 78º] ve [101º, 113º] aralığında geniş sıfıra sahip dizi diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Şekil 3.9'da ayrıca CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları da verilmiştir. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen diyagramların FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri Tablo 3.6'da listelenmiştir. Tablo 3.6'dan açıkça görüldüğü gibi DMOA ve DS [85] ile elde edilen FNBW değerleri

aynı olmasına rağmen DMOA ile elde edilen MSL, NDL ve DRR değerleri CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen değerlerden daha iyidir.

Şekil 3.2, 3.4 ve 3.6-3.9'da gösterilen DMOA ile elde edilen dizi diyagramları için dizi elemanlarının normalize edilmiş genlik değerleri Tablo 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.9. DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen [66º, 78º] ve [101º, 113º] aralığında geniş sıfırlara sahip N=20 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

Tablo 3.6. Şekil 3.9'da DMOA, CRPSO [24] ve DS [85] ile elde edilen dizi diyagramları için FNBW, MSL, NDL ve DRR değerleri.

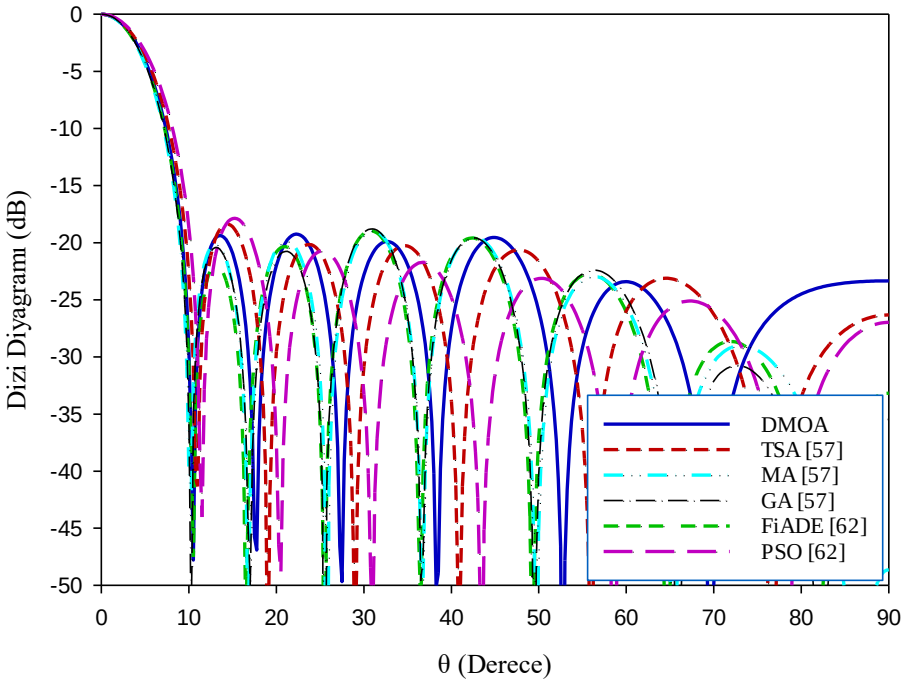
	FNBW (derece)	MSL (dB)	NDL (dB)	DRR
DMOA	22.50	-19.93	-49.51	8.20
CRPSO [24]	23.02	-17.61	-45.56	57.88
DS [85]	22.50	-19.65	-47.75	8.24

Tablo 3.7. Şekil 3.2, 3.4 ve 3.6-3.9'da DMOA ile elde edilen dizi diyagramları için dizi elemanlarının genlik değerleri.

N eleman sayısı	(I_1, I_2, I_3, …, I_N)
10 (Şekil 3.2)	[1.0000 0.8887 0.6944 0.4657 0.3154]
16 (Şekil 3.4)	[1.0000 0.9342 0.8121 0.6543 0.4835 0.3220 0.1888 0.1026]
16 (Şekil 3.6)	[1.0000 0.9466 0.8465 0.7125 0.5606 0.4071 0.2681 0.2055]
12 (Şekil 3.7)	1.0000 0.9921 0.6072 0.5953 0.1838 0.1830
16 (Şekil 3.8)	[0.9565 1.0000 0.8176 0.5389 0.5623 0.3139 0.0966 0.1677]
20 (Şekil 3.9)	[0.9331 1.0000 0.9065 0.8125 0.3925 0.6958 0.3922 0.1685 0.1219 0.1959]

Bu bölümdeki ikinci grup diyagram sentezi örneklerinde, eşit değerlerde uyarılmış (I_n = 1 ve δ_n = 0º) doğrusal anten dizilerinde dizi elemanlarının sadece yer değerleri DMOA ile hesaplanmıştır. Sunulan diyagram sentezi örneklerinde düşük MSL değerlerine ve arzu edilen doğrultu veya doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramları elde edilmiştir. Elde edilen dizi diyagramlarına ait sonuçlar literatürde yer alan HSA [23], BSA [27], PSO [51, 62], TSA [57], MA [57], GA [57], CLPSO [61], FiADE [62] ve MVMO [67] algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Yedinci örnekte, 12 elemana sahip doğrusal dizide dizi elemanlarının yerleri DMOA ile belirlenerek düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA, TSA [57], MA [57], GA [57], FiADE [62] ve PSO [62] kullanılarak elde edilen diyagramlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir. DMOA, TSA [57], MA [57], GA [57], FiADE [62] ve PSO [62] ile elde edilen diyagramların MSL değerleri Tablo 3.8'de sunulmuştur. DMOA ile elde edilen MSL değerinin TSA [57], MA [57], GA [57], FiADE [62] ve PSO [62] metotları kullanılarak bulunan MSL değerlerine göre daha iyi seviyede olduğu Tablo 3.8'den görülmektedir.

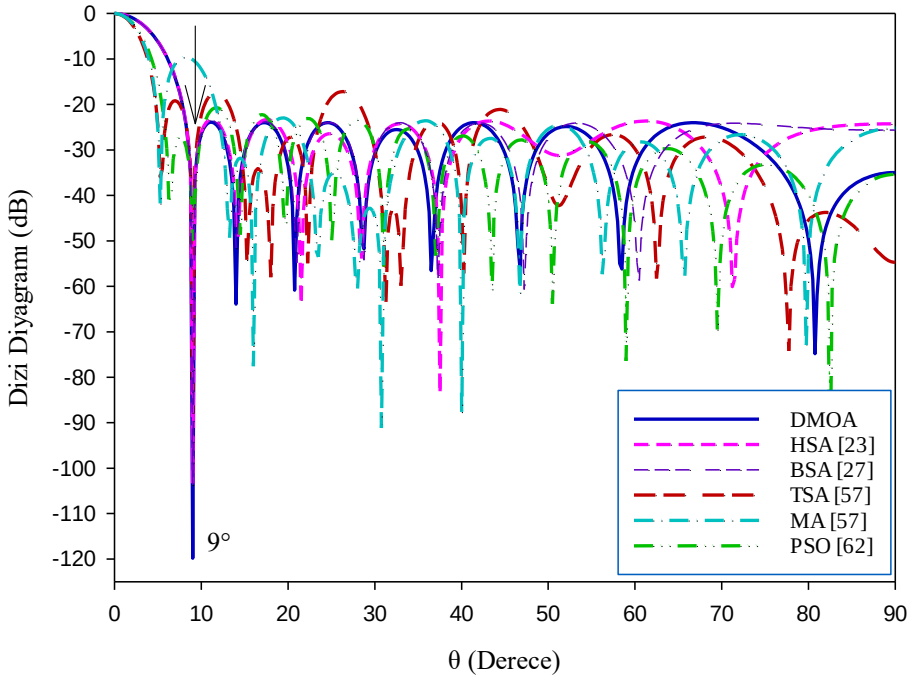


Şekil 3.10. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, TSA [57], MA [57], GA [57], FiADE [62] ve PSO [62] ile elde edilen N=12 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.8. Şekil 3.10'da gösterilen ışıma diyagramları için MSL değerleri.

	DMOA	TSA [57]	MA [57]	GA [57]	FiADE [62]	PSO [62]
MSL (dB)	-19.25	-18.40	-19.10	-18.77	-18.96	-17.90

Sekizinci örnekte, 22 elemanlı doğrusal anten dizisinde 9º'de tekli sıfıra sahip dizi diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının yer değerleri DMOA ile belirlenmiştir. DMOA, HSA [23], BSA [27], TSA [57], MA [57] ve PSO [62] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.11'de karşılaştırılmıştır. Tablo 3.9'da DMOA, HSA [23], BSA [27], TSA [57], MA [57] ve PSO [62] kullanılarak elde edilen diyagramlara ait MSL ve 9º'deki NDL değerleri verilmiştir. DMOA ile elde edilen diyagrama ait MSL ve 9º'deki NDL değerlerinin karşılaştırılan diğer algoritmalar ile elde edilen diyagramların MSL ve NDL değerlerine göre daha iyi olduğu Tablo 3.9'dan görülmektedir.

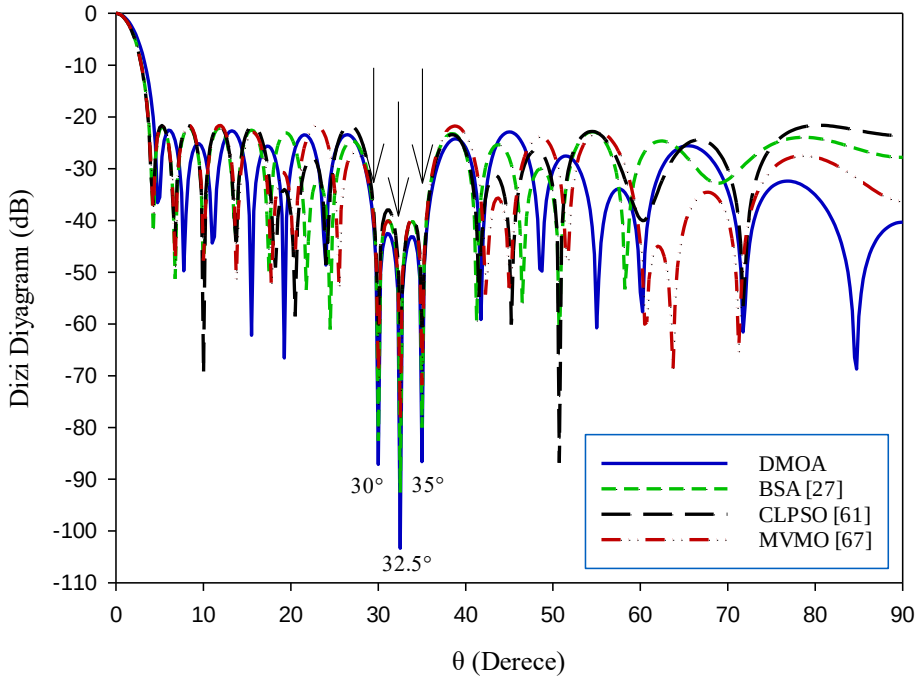


Şekil 3.11. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, HSA [23], BSA [27], TSA [57], MA [57] ve PSO [62] ile elde edilen 9º'de sıfıra sahip N=22 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.9. Şekil 3.11'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri.

	DMOA	HSA [23]	BSA [27]	TSA [57]	MA [57]	PSO [62]
MSL (dB)	-23.90	-23.28	-23.54	-17.17	-18.11	-20.68
NDL (dB) 9°'de	-119.80	-103.30	-104.61	-67.94	-73.92	-49.94

Dokuzuncu örnekte, 28 elemanlı doğrusal anten dizisinde 30º, 32.5º ve 35º'de sıfırları olan dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA, BSA [27], CLPSO [61] ve MVMO [67] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.12'de gösterilmiştir. DMOA, BSA [27], CLPSO [61] ve MVMO [67] algoritmalarıyla elde edilen dizi diyagramlarına ait MSL ve 30º, 32.5º ve 35º'deki NDL değerleri Tablo 3.10'da listelenmiştir. Şekil 3.12 ve Tablo 3.10'dan açıkça görüleceği üzere DMOA ile elde edilen diyagramın MSL ve 30º, 32.5º ve 35º'deki NDL değerleri BSA [27], CLPSO [61] ve MVMO [67] ile elde edilen değerlerden daha iyidir.



Şekil 3.12. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, BSA [27], CLPSO [61] ve MVMO [67] ile elde edilen 30º, 32.5º ve 35º'de sıfırlara sahip *N*=28 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları

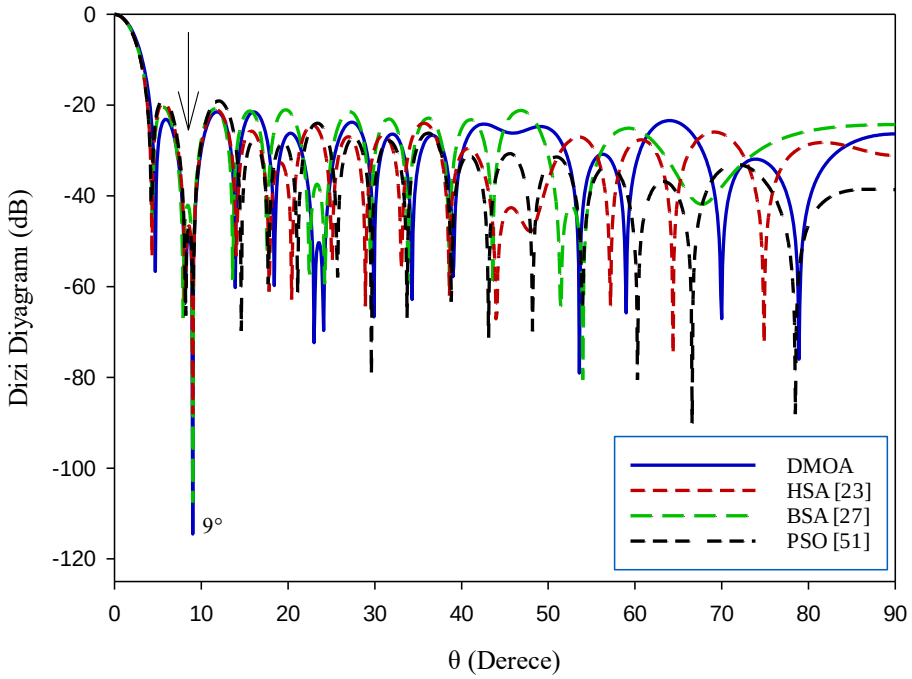
Tablo 3.10. Şekil 3.12'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri.

Algoritma	DMOA	BSA [27]	CLPSO [61]	MVMO [67]
MSL (dB)	-22.57	-21.90	-21.63	-21.63
NDL (dB) 30°'de	-87.10	-82.49	-60.04	-70.19
NDL (dB) 32.5°'de	-103.30	-93.59	-60.01	-78.79
NDL (dB) 35°'de	-86.56	-80.49	-60.00	-71.79

Bu bölümde gerçekleştirilen son örnekte düşük yan demet seviyesine sahip 32 elemanlı doğrusal anten dizisinde 9º'de sıfıra sahip dizi diyagramı sentezi gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapmak için DMOA, HSA [23], BSA [27] ve PSO [51] ile elde edilen ışıma diyagramları Şekil 3.13'de verilmiştir. Tablo 3.11'de DMOA, HSA [23], BSA [27] ve PSO [51] ile elde edilen diyagramlara ait MSL ve 9º'deki NDL değerleri sunulmuştur. Şekil 3.13 ve Tablo 3.11 incelendiğinde DMOA ile elde edilen MSL ve 9º'deki NDL

değerlerinin HSA [23], BSA [27] ve PSO [51] ile elde edilen MSL ve NDL değerlerinden oldukça iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 3.10-3.13'de DMOA ile elde edilen doğrusal anten dizi diyagramlarına ait dizi elemanlarının yer değerleri Tablo 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Sadece yer kontrolü yapılarak DMOA, HSA [23], BSA [27] ve PSO [51] ile elde edilen 9º'de sıfıra sahip *N*=32 elemanlı doğrusal dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.11. Şekil 3.13'de gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve NDL değerleri.

	DMOA	HSA [23]	BSA [27]	PSO [51]
MSL (dB)	-21.49	-19.51	-20.50	-18.80
NDL (dB) 9°'de	-114.50	-88.08	-107.50	-62.20

Tablo 3.12. Şekil 3.10-3.13'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramları için λ cinsinden eleman yer değerleri.

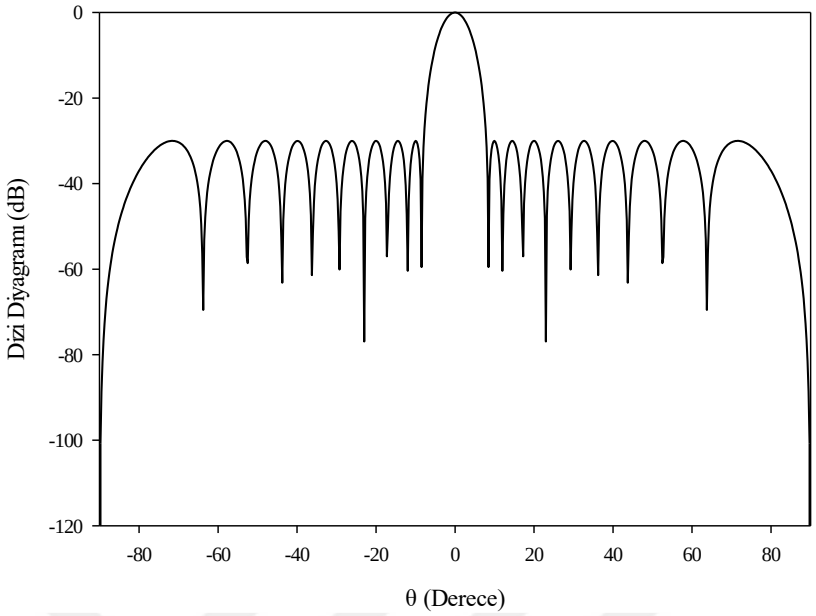
N	$[d_1, d_2, d_3, \ldots, d_N]$
12 (Şekil 3.10)	[0.4206 1.2580 2.2039 3.1671 4.4298 5.7448]
22 (Şekil 3.11)	[0.2804 0.8094 1.3807 1.9663 2.4326 3.2601 3.7161 4.6507 5.3881 6.5371 7.6742]
28 (Şekil 3.12)	[0.5756 1.0542 2.1406 2.7600 3.7187 4.4164 5.3123 6.1621 7.3610 8.2936 9.3923 11.0114 12.5343 14.0927]
32 (Şekil 3.13)	[0.2150 1.2795 1.9403 2.7564 3.2846 4.2449 5.0273 5.7899 6.4887 7.2680 8.1098 8.9617 10.4744 11.9414 13.7327 15.3084]

3.2.2. DMOA Kullanılarak Chebyshev Dizi Diyagramında İstenilen Doğrultularda Sıfırlara Sahip Dizi Sentezi

Bu bölümde gerçekleştirilen doğrusal anten dizi sentezi örneklerinde, arzu edilen doğrultu veya doğrultularda sıfırlara sahip ışıma diyagramı elde etmek için dizi elemanlarına ait sadece genlik ve sadece faz değerleri DMOA kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla,

$$CF = \sum_{\theta=-90^0}^{90^0} \left[W(\theta) \left| AF_0(\theta) - AF_d(\theta) \right| + ESL(\theta) \right] \tag{3.9}$$

denklemi ile tanımlanan maliyet fonksiyonu DMOA ile minimize edilmiştir. Burada $AF_0(\theta)$ ve $AF_d(\theta)$ sırasıyla DMOA ile elde edilen dizi diyagramı ve arzu edilen dizi diyagramıdır. $W(\theta)$ ve $ESL(\theta)$ ise sırasıyla sıfır derinlik ve yan demet seviyesini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu bölümde gerçekleştirilen diyagram sentezinde başlangıç dizi diyagramı olarak, Şekil 3.14'de gösterilen 20 elemanlı, dizi elemanları arası 0.5λ ve yan demet seviyesi -30 dB olan Chebyshev dizi diyagramı dikkate alınmıştır.



Şekil 3.14. Başlangıç Chebyshev diyagramı

İlk örnekte Chebyshev dizisinde ana demetin sağında ve solunda yer alan ikinci tepe noktası olan 14º'de sıfıra sahip diyagram elde etmek için dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA kullanılarak optimize edilmiştir. Dizi elemanlarının uyarım fazları $\delta_n = 0$ ve elemanlar arası mesafe $d = 0.5\ \lambda$ olarak alınmıştır. Denklem (3.9)'da verilen ve DMOA kullanılarak optimize edilecek maliyet fonksiyonunun parametre değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$AF_d(\theta) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } \theta = \theta_d \\ \textit{başlangıç diyagramı}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.10}$$

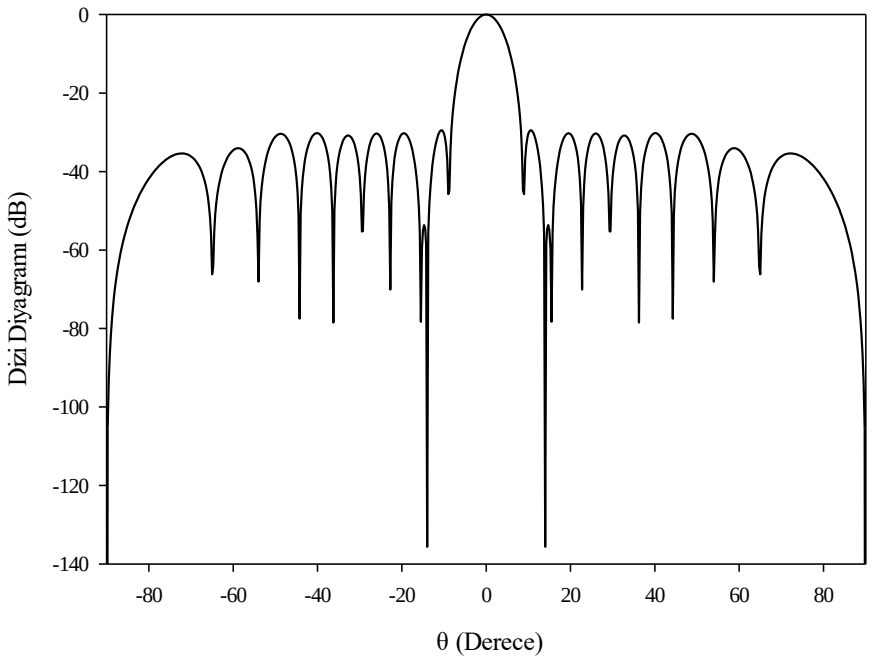
$$W(\theta) = \begin{cases} 120, & \text{eğer } \theta = \theta_d \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.11}$$

ve

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 30, & \text{eğer MSL > -28.30 dB} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.12}$$

Denklem (3.10) ve (3.11)'de yer alan θ_d girişim yönünü temsil etmektedir. Bu kısımdaki her bir örnek için birbirinden bağımsız aynı parametre değerlerinde DMOA'nın 30 defa koşturulması ile elde edilen en iyi çözüm sonuçları tablolarda verilmiştir.

DMOA kullanılarak elde edilen 14º'de sıfıra sahip dizi diyagramı Şekil 3.15'de verilmiştir. Tablo 3.13'de DMOA kullanılarak elde edilen dizi diyagramının 14º'deki NDL, MSL ve DRR değerleri sunulmuştur. Ayrıca tabloda ek olarak MTACO [12], BA [15], HSA [23] ve BSA [27] ile elde edilen dizi diyagramlarına ait MSL, DRR ve 14º'deki NDL değerleri de verilmiştir. DMOA ile elde edilen MSL, DRR ve 14º'deki NDL değerlerinin MTACO [12], BA [15], HSA [23] ve BSA [27] kullanılarak elde edilen MSL, DRR ve 14º'deki NDL değerlerinden daha iyi olduğu Tablo 3.13'den görülmektedir.

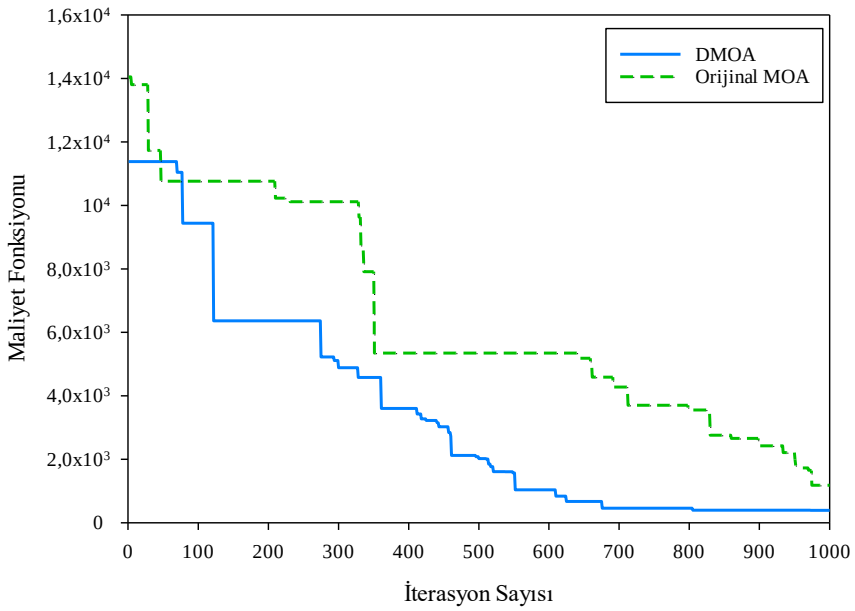


Şekil 3.15. 14º'de sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı

Tablo 3.13. Şekil 3.15'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının NDL, MSL ve DRR değerlerinin MTACO [12], BA [15], HSA [23] ve BSA [27] ile elde edilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleriyle karşılaştırılması.

	DMOA	MTACO [12]	BA [15]	HAS [23]	BSA [27]
NDL (dB) 14º'de	-135.63	-88.1	-100.4	-122.5	-134.2
MSL (dB)	-29.49	-29.10	-28.80	-29.14	-29.22
DRR	3.85	4.36	4.09	3.87	3.86

Bölüm 2.2'de detaylı bir şekilde anlatılan MOA üzerinde yapılan değişikliğin etkisini görmek amacıyla birinci örnek için DMOA'nın ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri Şekil 3.16'da verilmiştir. Şekil 3.16'dan açıkça görüldüğü gibi orijinal MOA üzerinde yapılan değişiklik algoritmanın yakınsama eğrisine olumlu etki göstermiştir. DMOA yaklaşık 800 iterasyon da optimum çözüme ulaşmıştır.



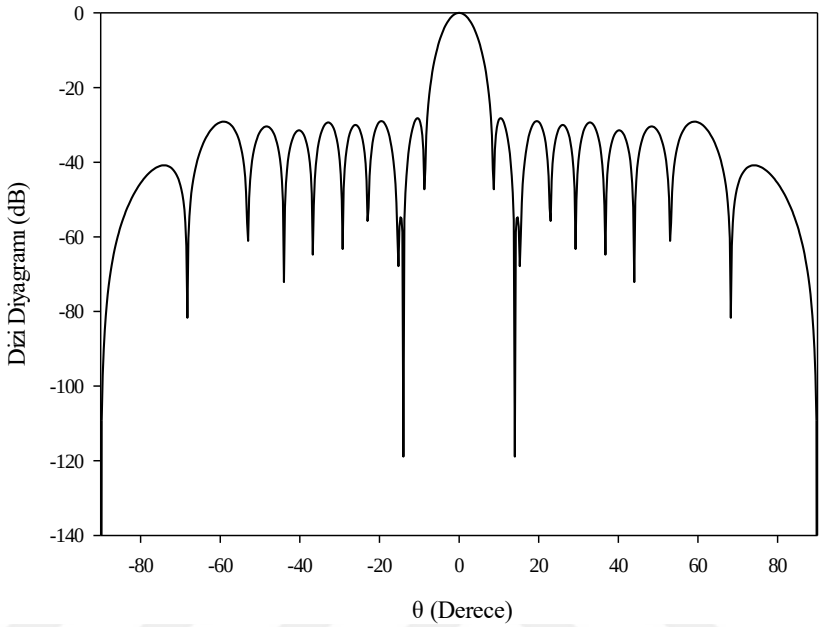
Şekil 3.16. Şekil 3.15'de verilen örnek için DMOA ve orijinal MOA'nın yakınsama eğrileri

İkinci örnekte DMOA'nın esnekliğini göstermek amacıyla daha düşük DRR değerine sahip dizi sentezi gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Diğer tasarım parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmamak şartıyla Denklem (3.11)'de verilen $W(\theta)$ ifadesi

$$W(\theta) = \begin{cases} 75, & \text{eğer } \theta = 14^{o} \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.13}$$

olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. DMOA ile elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.17'de verilmiştir. DMOA, BFA [16] ve PGSA [19] ile elde edilen diyagramlara ait NDL, MSL ve DRR değerleri Tablo 3.14'de listelenmiştir. Tablo 3.14'den açıkça görüldüğü üzere DMOA ile elde edilen diyagramın NDL, MSL ve DRR değerleri BFA [16] ve PGSA [19] ile elde edilen NDL, MSL ve DRR değerlerinden daha iyidir. Birinci ve ikinci örnek incelendiğinde DMOA'nın esnekliğini göstermek amacıyla ikinci

örnekte daha düşük DRR değeri elde edilmiştir. Ancak bu durum NDL ve MSL değerlerini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 3.17. DMOA kullanılarak 14º'de sıfıra ve düşük DRR değerine sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı

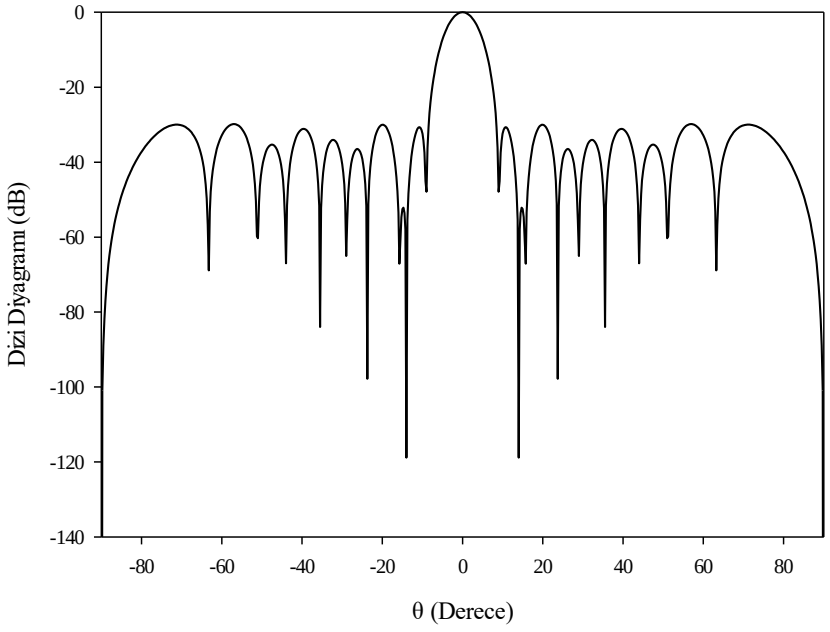
Tablo 3.14. Şekil 3.17'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının NDL, MSL ve DRR değerlerinin BFA [16] ve BGSA [19] ile elde edilen diyagramların NDL, MSL ve DRR değerleriyle karşılaştırılması.

	DMOA	BFA [16]	PGSA [19]
NDL (dB) 14º'de	-118.89	-113.56	-118.3
MSL (dB)	-28.18	-28.11	-28.03
DRR	3.54	3.89	3.89

Üçüncü örnekte ise DMOA kullanılarak 14º'de sıfıra ve daha düşük yan demet seviyesine sahip dizi sentezi örneği gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Denklem (3.9)'da yer alan *ESL(θ)* parametresi aşağıdaki gibi yeniden belirlenmiştir.

$$ESL(\theta) = \begin{cases} 30, & \text{eğer MSL} > \text{-30 dB} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.14}$$

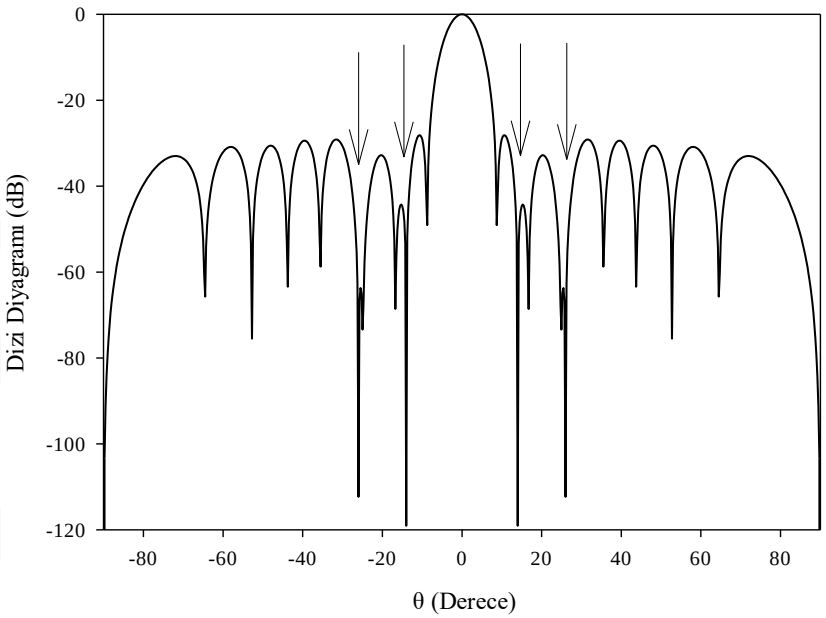
DMOA kullanılarak elde edilen anten dizisine ait ışıma diyagramı Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen ışıma diyagramının 14º'deki NDL değeri -118.84 dB, MSL değeri -29.83 dB ve DRR değeri 4.81 olarak bulunmuştur. Elde edilen dizi diyagramının MSL değeri başlangıç dizi diyagramı olan Chebyshev dizi diyagramına ait MSL değerine oldukça yakındır. MSL değerinin daha iyi yapılması DRR değerinin yükselmesine sebep olmuştur. DMOA'nın sıfırlara sahip diyagram sentezindeki esnekliğini göstermek amacıyla gerçekleştirilen örneklerde daha iyi NDL, MSL veya DRR değeri elde etmek için çeşitli sınırlandırmalara gidilmiştir. Bu parametrelerden birinin daha iyi bir değerde olması daha önce de bahsedildiği gibi diğer parametrelerin kötüleşmesine neden olmaktadır.



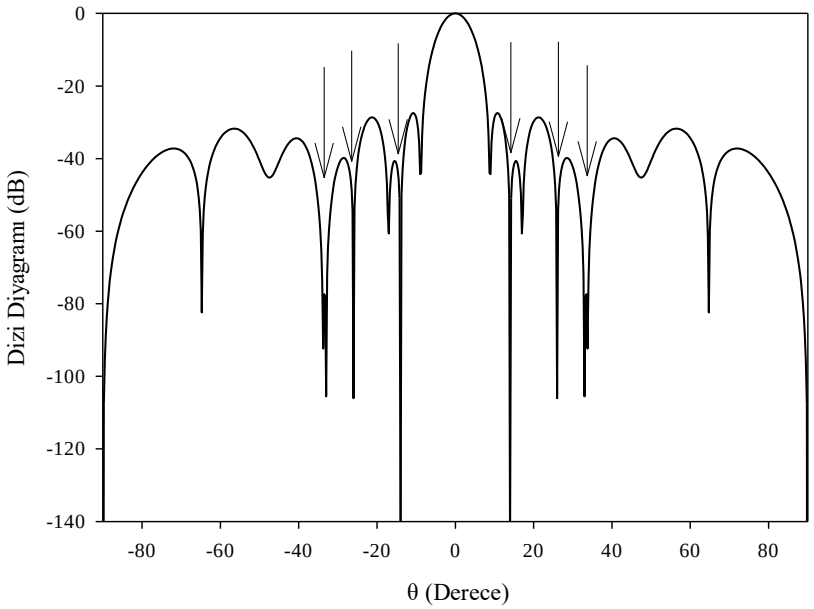
Şekil 3.18. DMOA kullanılarak 14º'de sıfıra ve düşük MSL değerine sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı

Dördüncü ve beşinci örneklerde çoklu sıfırlara sahip dizi diyagram sentezi örnekleri gerçekleştirilmiştir. Dördüncü örnekte Chebyshev dizi diyagramında ana demetin sağında ve solunda yer alan ikinci ve üçüncü tepe noktalarına denk gelen 14º ve 26º'de ikili sıfıra sahip ışıma diyagramı elde edilmiştir. DMOA kullanılarak elde edilen ışıma diyagramı Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Şekil 3.19'da gösterilen diyagrama ait MSL

değeri -28.14 dB olarak bulunurken, 14º ve 26º deki NDL değerleri ise sırasıyla -136 dB ve -113 dB'den daha derindir. Beşinci örnekte ise 14º, 26º ve 33º'de üçlü sıfıra sahip diyagram sentezi yapılmıştır. Gerçekleştirilen ışıma diyagramı Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekilde gösterilen diyagramın MSL değeri -27.46 dB ve 14º, 26º ve 33º'deki NDL değerleri ise sırasıyla -115.60 dB, -107.96 dB ve -106.89 dB olarak elde edilmiştir.



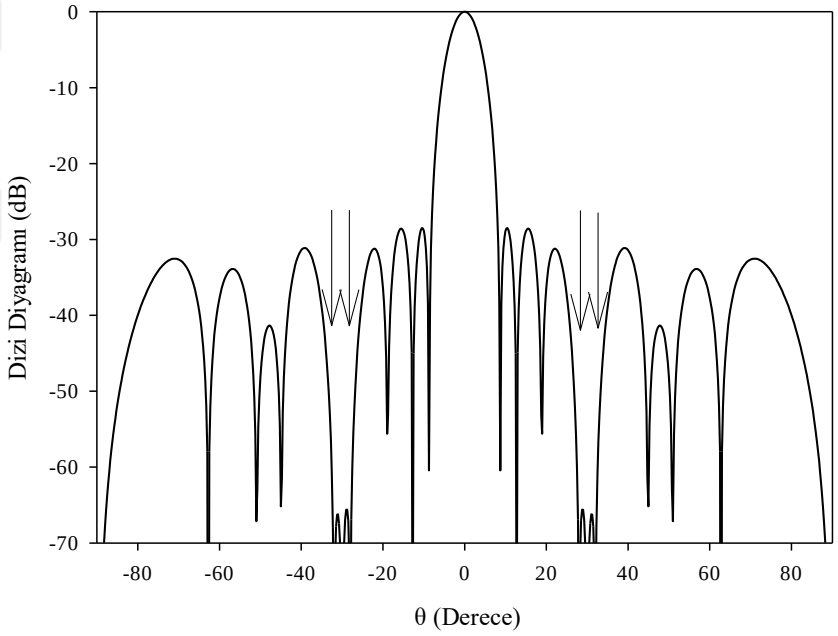
Şekil 3.19. DMOA kullanılarak 14º ve 26º'de ikili sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı



Şekil 3.20. DMOA kullanılarak 14º, 26º ve 33º'de üçlü sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı

Sadece genlik kontrolü ile gerçekleştirilen son örnekte ise merkezi 30º'de olan ve $\Delta\theta$ = 5º'lik geniş sıfıra sahip dizi diyagramı tasarlanmıştır. DMOA kullanılarak elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Elde edilen diyagramın MSL değerinin -28.50 dB ve istenilen doğrultudaki NDL değerinin ise -65 dB'den daha derin olduğu Şekil 3.21'den görülmektedir.

Şekil 3.15 ve 3.17-3.21'de verilen dizi diyagramlarına ait DMOA kullanılarak bulunan genlik değerleri Tablo 3.15'de listelenmiştir. Dizi elemanlarının simetrik olarak yerleştirilmesinden dolayı genlik değerleri de simetrik şekilde değer almaktadır. Böylelikle yan demet bölgesinde yer alan her bir sıfır için, birinci sıfır demete göre simetrik diğer yan demet bölgesinde de bir sıfır oluşmaktadır.



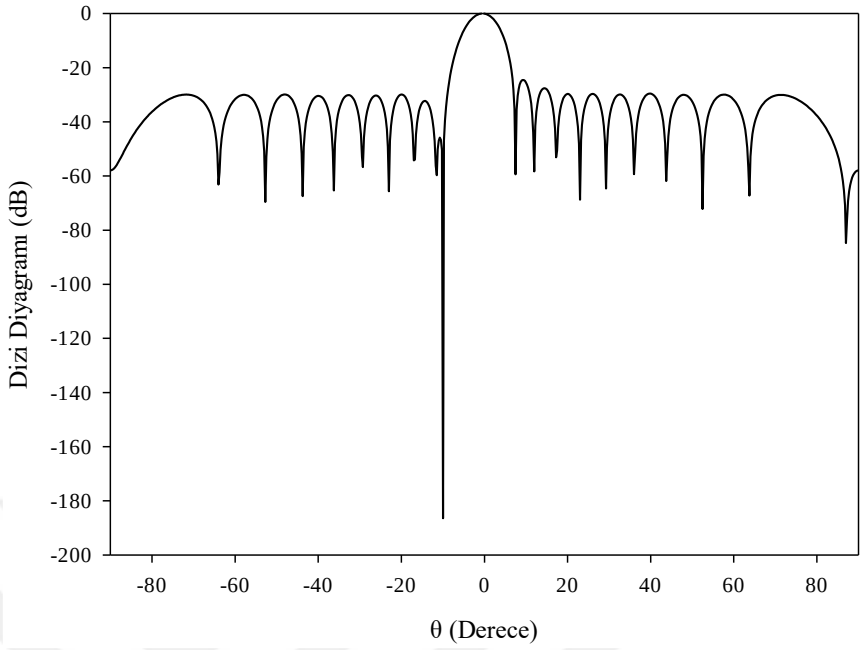
Şekil 3.21. DMOA kullanılarak 30º'de $\Delta\theta$ = 5º'lik geniş sıfıra sahip sadece genlik kontrolü ile üretilen dizi diyagramı

Tablo 3.15. Şekil 3.15, 3.17-3.21'de gösterilen ışıma diyagramları için DMOA ile hesaplanan dizi elemanlarının genlik (I_n) değerleri.

DMOA ile hesaplanan genlik (I_n) değerleri						
n	Şekil 3.15	Şekil 3.17	Şekil 3.18	Şekil 3.19	Şekil 3.20	Şekil 3.21
±1	1.00000	1.00000	1.00000	0.98155	1.00000	1.00000
±2	0.98610	0.99099	0.96716	1.00000	0.93309	0.92945
±3	0.93660	0.97805	0.96837	0.98023	0.99491	0.91971
±4	0.87869	0.86583	0.86456	0.85861	0.86582	0.82618
±5	0.76122	0.81265	0.72591	0.72709	0.72433	0.65885
±6	0.61672	0.62180	0.60372	0.62267	0.59512	0.58608
±7	0.49050	0.51423	0.45449	0.53461	0.46698	0.51237
±8	0.31576	0.33037	0.35705	0.34672	0.39317	0.41822
±9	0.25974	0.28182	0.20787	0.20733	0.24156	0.22923
±10	0.26349	0.28495	0.24631	0.25274	0.16509	0.18482

İkinci örnek grubunda arzu edilen doğrultu veya doğrultularda sıfırlara sahip dizi diyagramları tasarlamak amacıyla dizi elemanlarının sadece faz değerleri (δ_n) DMOA kullanılarak hesaplanmıştır. Dizi elemanlarının genlik değerleri (I_n) ve yer değerleri (d_n) başlangıç Chebyshev dizisinin genlik ve yer değerleri ile aynı alınmıştır.

Yedinci örnekte, sıfırlama yapmak için seçilen girişim yönü θ_d yaklaşık olarak -10º'de görülen ilk yan demetin tepe noktası olarak seçilmiştir. Elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.22'de verilmiştir. Tablo 3.16'da DMOA ile elde edilen dizi diyagramına ait MSL ve -10º'deki NDL değerleri HSA [23], BSA [27], CLONALG [37], BFA [38] ve BA [78] ile elde edilen diyagramların NDL ve MSL değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 3.16 incelendiğinde DMOA ile elde edilen MSL değerinin diğer algoritmalar ile elde edilen MSL değerlerinden daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. DMOA ile elde edilen -10º'deki NDL değeri CLONALG [37], BFA [38] ve BA [78] metotları ile elde edilen NDL değerlerinden iyi olmasına rağmen HSA [23] ve BSA [27] ile elde edilen NDL değerlerinden düşüktür.

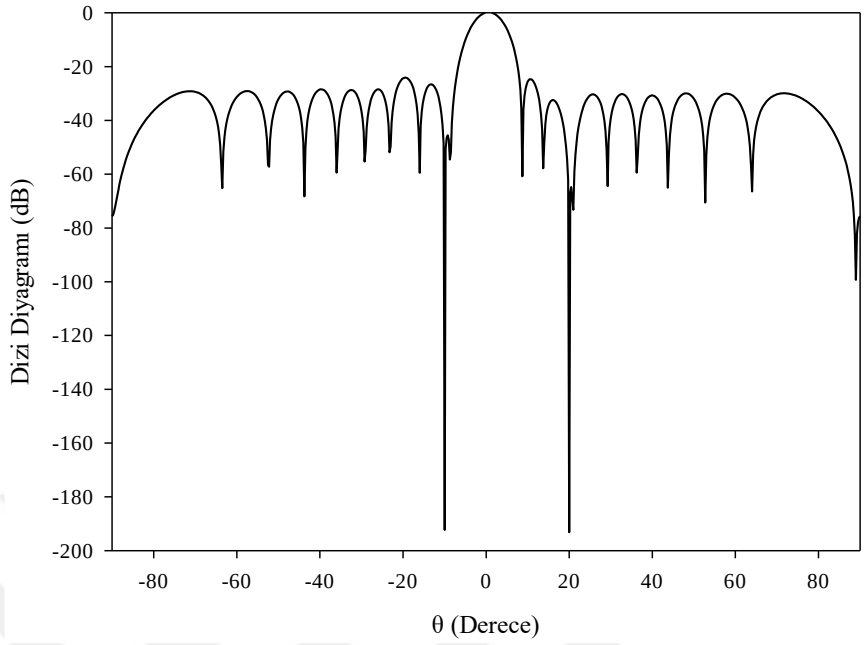


Şekil 3.22. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -10º'de sıfıra sahip dizi diyagramı

Tablo 3.16. Şekil 3.22'de DMOA ile elde edilen dizi diyagramının MSL ve NDL değerlerinin HSA [23], BSA [27], CLONALG [37], BFA [38] ve BA [78] ile elde edilen diyagramların NDL ve MSL değerleriyle karşılaştırılması.

	DMOA	HSA [23]	BSA [27]	CLONALG [37]	BFA [38]	BA [78]
MSL (dB)	-24.52	-24.23	-24.47	-24.00	-24.00	-24.22
NDL (dB) -10º'de	-186.45	-202	-212.30	-175	-161	-185

Sekizinci örnekte, ana demetin birinci ve üçüncü yan demet tepe noktaları olan -10º ve 20º'de ikili sıfıra sahip dizi diyagramı elde edilmiştir. DMOA ile elde edilen ışıma diyagramı Şekil 3.23'de verilmiştir. Tablo 3.17'de DMOA, SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BFA [38] ile elde edilen ışıma diyagramına ait MSL ve -10º ve 20º'deki NDL değerleri listelenmiştir. Tablo 3.17'de verilen değerler incelendiğinde DMOA ile elde edilen diyagramın MSL ve -10º ve 20º'deki NDL değerleri BSA [27] ile elde edilen MSL değeri hariç SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BFA [38] ile elde edilen değerlerin tamamından daha iyidir.



Şekil 3.23. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -10º ve 20º'de sıfıra sahip dizi diyagramı

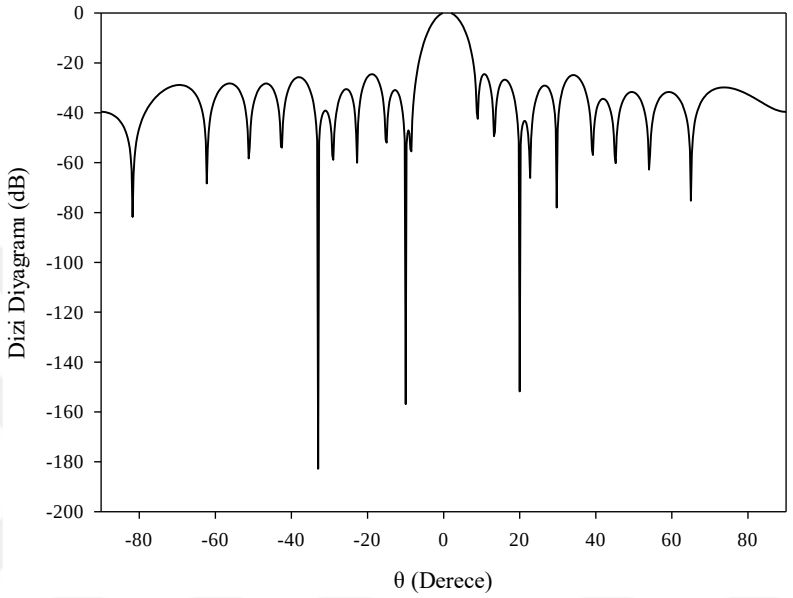
Tablo 3.17. Şekil 3.23'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının MSL ve NDL değerlerinin SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BFA [38] ile elde edilen diyagramların MSL ve NDL değerleriyle karşılaştırılması.

	DMOA	SOA [22]	BSA [27]	CLONALG [37]	BFA [38]
MSL (dB)	-24.29	-23.96	-24.47	-24.05	-24.28
NDL (dB) -10º'de	-192.50	-119.80	-177.50	-154.20	-156.30
NDL (dB) 20º'de	-193.34	-112.60	-188.50	-156.50	-187.60

Dokuzuncu örnekte, -33º, -10º ve 20º'de üçlü sıfıra sahip dizi diyagram sentezi gerçekleştirilmiştir. DMOA ile elde edilen ışıma diyagramı Şekil 3.24'de gösterilmiştir. DMOA, SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BA [78] ile elde edilen ışıma diyagramlarına ait MSL ve -33º, -10º ve 20º'deki NDL değerleri Tablo 3.18'de verilmiştir. Tablo 3.18'den görüleceği gibi DMOA ile elde edilen MSL ve -33º'deki NDL değerleri diğer algoritmalar ile elde edilen MSL ve -33º'deki NDL değerlerinden daha iyidir. DMOA ile elde edilen -10º'deki NDL değeri SOA [22] ve BA [78]'den iyi olmasına rağmen BSA [27] ve CLONALG [37]'den biraz düşüktür. Aynı şekilde DMOA

ile elde edilen 20º'deki NDL değeri SOA [22] ve CLONALG [37]'den iyi olmasına rağmen BSA [27] ve BA [78]'dan biraz düşüktür.

DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile gerçekleştirilen Şekil 3.22-3.24'de gösterilen ışıma diyagramlarına ait dizi elemanlarının faz değerleri Tablo 3.19'da listelenmiştir.



Şekil 3.24. DMOA kullanılarak sadece faz kontrolü ile üretilen -33º, -10º ve 20º'de sıfıra sahip dizi diyagramı

Tablo 3.18. Şekil 3.24'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramının MSL ve NDL değerlerinin SOA [22], BSA [27], CLONALG [37] ve BA [78] ile elde edilen diyagramların MSL ve NDL değerleriyle karşılaştırılması.

	DMOA	SOA [22]	BSA [27]	CLONALG [37]	BA [78]
MSL (dB)	-24.49	-23.72	-24.40	-23.46	-24.18
NDL (dB) -33º'de	-183.16	-117.10	-164.90	-151.00	-157.60
NDL (dB) -10º'de	-157.29	-111.10	-160.00	-178.80	-156.10
NDL (dB) 20º'de	-152.10	-133.40	-176.10	-135.30	-163.90

Tablo 3.19. Şekil 3.22-3.24'de gösterilen ışıma diyagramları için DMOA ile elde edilen faz (δ_n) değerleri.

DMOA ile hesaplanan faz değerleri			
n	Şekil 3.22 (δ_n) (derece)	Şekil 3.23 (δ_n) (derece)	Şekil 3.24 (δ_n) (derece)
±1	0.90653	-1.04785	0.07008
±2	3.23672	-2.76924	-4.10674
±3	5.60869	-3.25150	-8.62345
±4	7.66198	-2.46534	-5.66300
±5	9.63464	-4.13097	-4.06150
±6	11.06872	-8.63605	-12.58878
±7	11.10221	-15.70199	-22.28945
±8	10.35285	-21.47717	-20.66454
±9	8.43156	-4.24000	-30.00000
±10	3.49420	-10.00071	-30.00000

3.2.3. DMOA Kullanılarak Doğrusal Anten Dizilerinde Dizi Elemanı Arızası Giderme

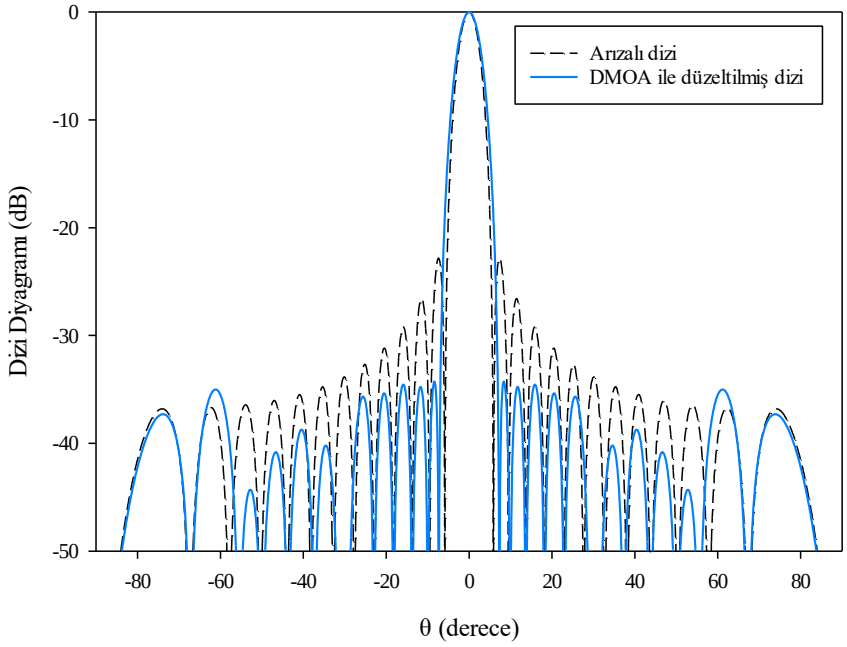
Anten dizilerinde dizi elemanlarından biri veya birkaçı herhangi bir sebepten dolayı arızalanabilir. Bu durum dizi diyagramında ciddi bozulmalara sebep olabilmektedir. Anten dizisinde sağlam olan elemanların ağırlıkları yeniden hesaplanarak, meydana gelen bozulmalar telafi edilebilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, arıza giderme örnekleri için 32 elemana sahip, aralarındaki mesafe λ/2 olan ve -35 dB yan demet seviyesine sahip Chebyshev doğrusal anten dizisi dikkate alınmıştır. Arızalı elemanlara sahip dizi faktörü için Denklem (3.1)'de verilen dizi faktörü ifadesi dikkate alınarak, sağlam olan elemanların genlik değerleri DMOA kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Elde edilen dizi diyagramının FNBW ve MSL değerlerinin başlangıç Chebyshev dizi diyagramına ait değerlere benzemesi hedeflenmiştir. Bu amaçla maliyet fonksiyonu olarak Denklem (3.3) kullanılmıştır. Yapılan örneklerde diyagram sıfırlama işlemi yapılmadığından dolayı bu denklemdeki f_{NULL} dikkate alınmamıştır.

Gerçekleştirilen ilk örnekte anten dizisinin 1., 2., 3., 30., 31. ve 32. dizi elemanlarının tamamen arızalandığı kabul edilerek geriye kalan 26 elemanın genlik değerleri DMOA kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Elde edilen diyagram Şekil 3.25'de gösterilmiştir. Karşılaştırma yapmak için Şekil 3.25'de arızalı Chebyshev dizi diyagramı da verilmiştir. DMOA kullanılarak elde edilen diyagrama ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.20'de sunulmuştur.

İkinci örnekte, anten dizisinde yer alan ilk dört ve son dört elemanın arızalandığı varsayılmıştır. Sağlam olan 24 elemanının genlikleri DMOA kullanılarak yeniden belirlenmiştir. Elde edilen dizi diyagramı ve arızalı dizi diyagramı Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Tablo 3.20'de elde edilen diyagrama ait MSL, FNBW ve DRR değerleri görülmektedir.

Üçüncü örnekte ise anten dizisinde 1.-5. ve 28.-32. arasındaki elemanların arızalandığı kabul edilmiştir. Geriye kalan 22 elemanın genlik değerleri DMOA kullanılarak değiştirilmiştir. Şekil 3.27'de bozulan ve DMOA ile düzeltilen dizi diyagramları gösterilmiştir. Düzeltilen diyagrama ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.20'de verilmiştir.

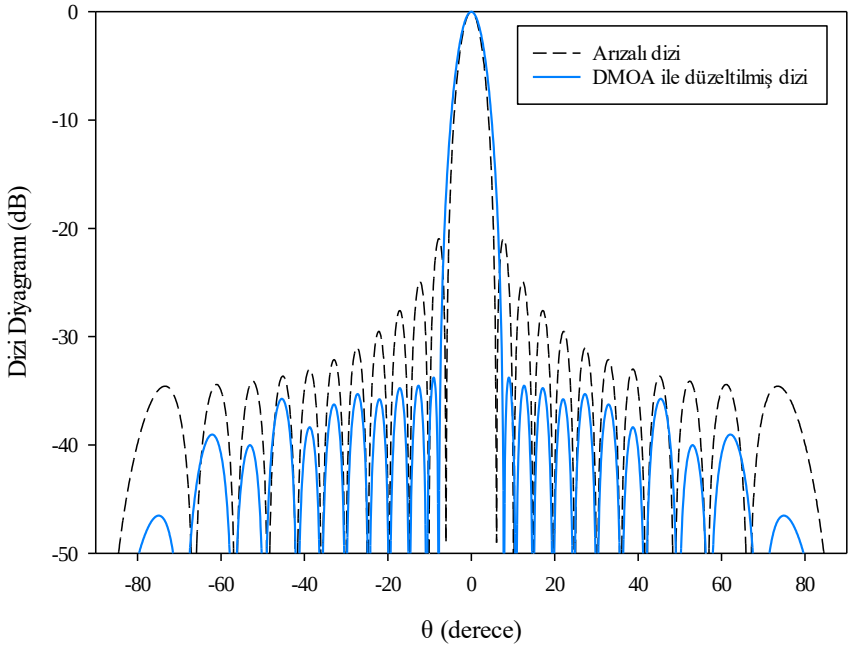
Şekil 3.25-3.27 ve Tablo 3.20 incelendiğinde dizi elemanlarının arızalanmasından kaynaklı diyagram üzerindeki bozulmaların DMOA kullanılarak nispeten başarılı bir şekilde telafi edildiği görülmektedir. Şekil 3.25-3.27'de gösterilen diyagramlara ait dizi elemanlarının genlik değerleri Tablo 3.21'de listelenmiştir.



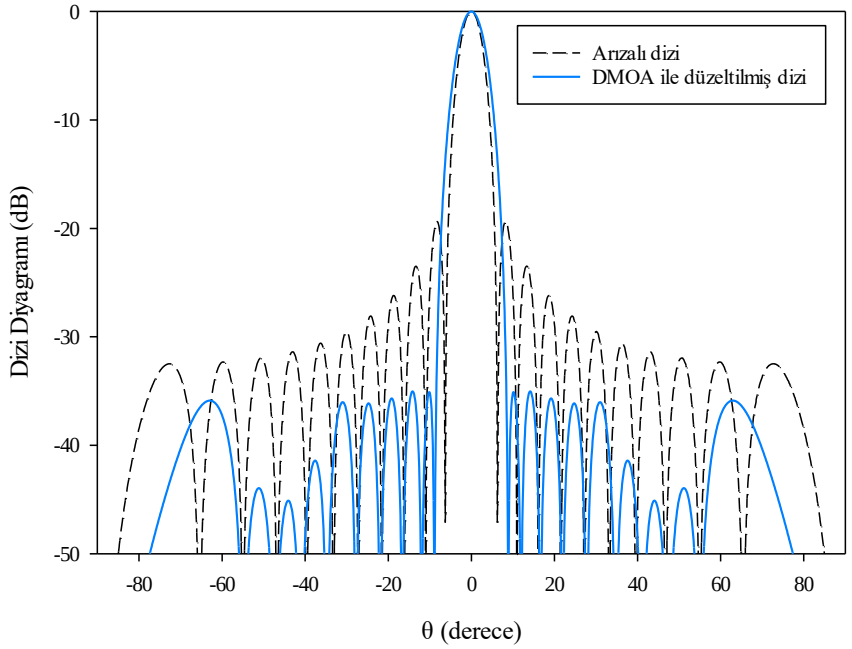
Şekil 3.25. 6 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları

Tablo 3.20. Şekil 3.25-3.27'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramları için MSL, FNBW ve DRR değerleri.

	MSL (dB)	FNBW (derece)	DRR
Şekil 3.25	-34.28	14.6	6.24
Şekil 3.26	-33.77	15.6	5.97
Şekil 3.27	-35.03	18.9	8.64



Şekil 3.26. 8 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları



Şekil 3.27. 10 elemanı arızalı Chebyshev ve DMOA kullanılarak düzeltilmiş dizi diyagramları

Tablo 3.21. Şekil 3.25-3.27'de DMOA ile elde edilen ışıma diyagramlarının genlik (I_n) değerleri.

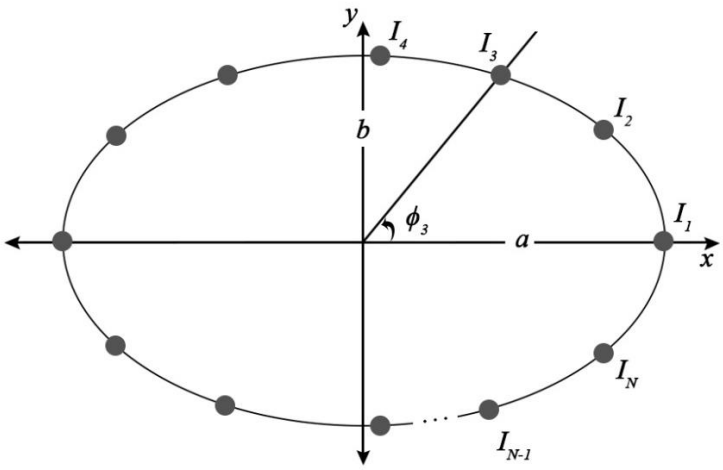
	$I_1, I_2, I_3, \ldots, I_N$
Şekil 3.25	0 0 0 0.1603 0.1862 0.2871 0.3368 0.4262 0.5127 0.7345 0.7874 0.8897 0.9452 1.0000 0.9965 0.9965 1.0000 0.9452 0.8897 0.7874 0.7345 0.6398 0.5127 0.4262 0.3368 0.2871 0.1862 0.1603 0 0 0
Şekil 3.26	0 0 0 0 0.1673 0.2230 0.2678 0.3768 0.4642 0.5787 0.6756 0.7704 0.8555 0.9359 0.9638 1.0000 1.0000 0.9638 0.9359 0.8555 0.7704 0.6756 0.5787 0.4642 0.3768 0.2678 0.2230 0.1673 0 0 0 0
Şekil 3.27	0 0 0 0 0 0.1158 0.2169 0.2738 0.3815 0.4761 0.6337 0.7042 0.8387 0.9027 0.9836 1.0000 1.0000 0.9836 0.9027 0.8387 0.7042 0.6337 0.4761 0.3815 0.2738 0.2169 0.1158 0 0 0 0 0

3.3. DSSA'nın Eliptik Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Bu bölümde yapılan çalışmada SSA'nın değiştirilmiş versiyonu olan DSSA algoritması kullanılarak eliptik anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dizi sentezi çalışmalarında FNBW sabit tutularak düşük MSL değerleri elde etmek hedeflenmiştir. Bu amaçla eliptik anten dizi sentezinde dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yer değerleri DSSA ile kontrol edilmiştir.

N adet yönsüz elemana sahip eliptik anten dizisi Şekil 3.28'deki gibi *x*-*y* düzlemine yerleştirilmiştir. Eliptik antenin merkezi orijine yerleştirildiği (θ = 90º) durumda dizi faktörü ifadesi

$$AF(\theta,\phi) = \sum_{n=1}^{N} I_n e^{j\alpha_n} e^{jk\rho_n \sin\theta\cos(\phi-\phi_n)} \tag{3.15}$$



Şekil 3.28. *N* elemana sahip eliptik dizinin geometrisi

ile verilir [2]. Burada I_n ve N sırasıyla n'inci elemanın uyarım genliği ve dizideki toplam eleman sayısıdır. n'inci elemanın uyarım fazı α_n ile ifade edilmektedir. Ana demet (θ_0, ϕ_0) yönünde olduğu durumda α_n aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\alpha_n = -k\rho_n \sin(\theta_0)\cos(\theta_0 - \phi_0) \tag{3.16}$$

burada n'inci elemanın orijine olan radyal mesafesi ρ_n

$$\rho_n = \frac{a.b}{\sqrt{(b\cos\phi_n)^2 + (a\sin\phi_n)^2}} \tag{3.17}$$

ile verilir. Burada a ve b parametreleri sırasıyla elipsin büyük ve küçük yarıçaplarıdır. n'inci elemanın açısal pozisyonunu ϕ_n aşağıdaki şekildedir.

$$\phi_n = \frac{2\pi(n-1)}{N} \tag{3.18}$$

Hesaplama kolaylığı açısından $\theta_0 = 90^o$ ve $\phi_0 = 0^o$ olarak alınmıştır. Son parametre ise aşağıdaki formül ile hesaplanan elips eksantrikliğidir ve 0.5 olarak sabit alınmıştır.

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \tag{3.19}$$

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen eliptik anten dizi sentezi örneklerinde büyük yarıçap a değeri 8, 12 ve 20 elemanlı diziler için sırasıyla 0.5λ, 1.15λ ve 1.6λ olarak alınmıştır.

DSSA kullanılarak eliptik anten dizi sentezinde dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece açısal konumları kontrol edilerek dar ana demet genişliğine sahip yan demet seviyesi bastırılmış dizi diyagramları elde etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla Denklem (3.3)'de verilen maliyet fonksiyonu DSSA tarafından minimize edilmiştir. Ancak, Denklem (3.8)'de verilen f_{NULL} fonksiyonu yapılan çalışmada sıfırlama olmadığı için maliyet fonksiyonundan çıkarılarak aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

$$MF = w_{FNBW} f_{FNBW} + w_{MSL} f_{MSL} \tag{3.20}$$

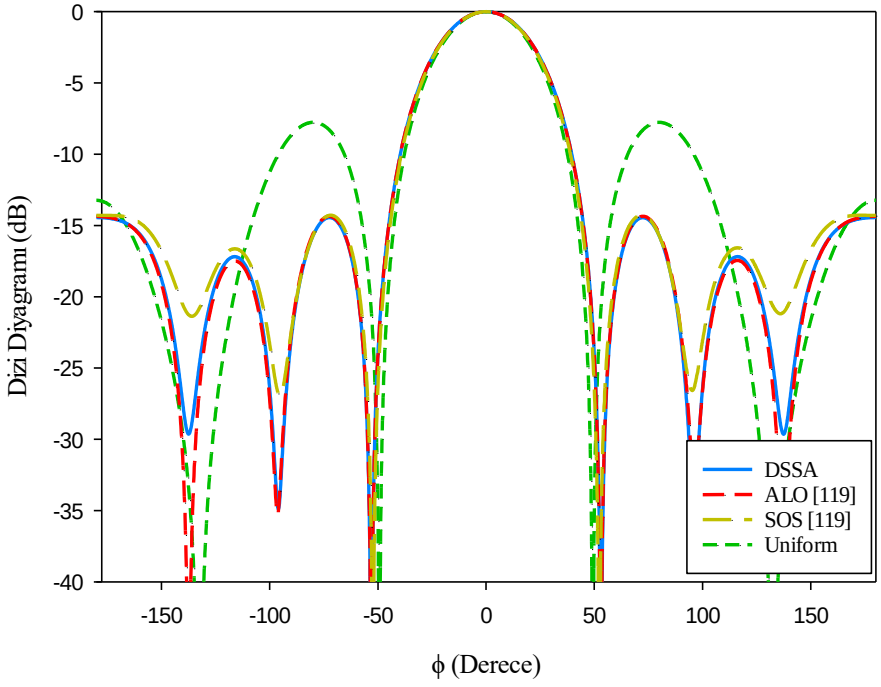
Ayrıca Denklem (3.5)-(3.7)'de ayrıntısı verilen f_{MSL} fonksiyonunda θ açısı yerine ϕ açısı ele alınmış ve [-180, 180] aralığında optimizasyon işlemi yapılmıştır.

DSSA kullanılarak gerçekleştirilen dizi diyagramı sentezinde 8, 12 ve 20 elemana sahip eliptik anten dizileri tasarlanmıştır [125]. DSSA, Windows işletim sistemi ortamında MATLAB 2021b kullanılarak programlanmıştır. Bütün simülasyonlar için Intel Core i5 2.10 GHz işlemciye ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Optimizasyon işlemlerinde DSSA'ya ait popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak alınmıştır. Yapılan her bir örnek aynı parametre değerleri altında 20'şer kez çalıştırılmıştır. DSSA kullanılarak eliptik anten dizilerinde sekiz adet dizi sentezi örneği gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen örneklerin ilk altısında dizi elemanlarının sadece genlik değerleri, son ikisinde ise sadece açısal konumları kontrol edilerek düşük yan demet seviyesine ve dar ana demet genişliğine sahip dizi diyagramlarının elde edilmesi hedeflenmiştir. DSSA kullanılarak elde edilen sonuçlar üniform dizi diyagramı ve literatürde yer alan ALO [119], SOS [119], FPA [123] ve APSO [123] algoritmaları ile elde edilen diyagramların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Üniform dizi diyagramına ait parametre değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.22. Üniform dizi diyagramına ait parametre değerleri.

N	FNBW	MSL (dB)	a (λ)	b (λ)	e (λ)
8	98.8°	-7.76	0.5	0.433	0.5
12	42.2°	-2.95	1.15	0.952	0.5
20	30.2°	-6.87	1.6	1.385	0.5

Birinci örnekte, 8 elemanlı eliptik anten dizisi ele alınmıştır. Düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının genlik değerleri DSSA kullanılarak belirlenmiştir. FNBW 102º olarak sabit alınmıştır. DSSA kullanılarak elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Karşılaştırma yapmak için üniform dizi diyagramı, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen diyagramlarda Şekil 3.29'da verilmiştir. DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen diyagramların MSL değerleri Tablo 3.23'de sunulmuştur. Ayrıca Tablo 3.23'de 20 defa çalıştırma sonucunda elde edilen ortalama MSL ve standart sapma değerleri ile birlikte ortalama optimizasyon süreleri de verilmiştir. Tablo 3.23'e göre DSSA ile elde edilen diyagramın ortalama süresi ALO [119] ve SOS [119]'dan biraz fazla olmasına rağmen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinden daha iyidir.

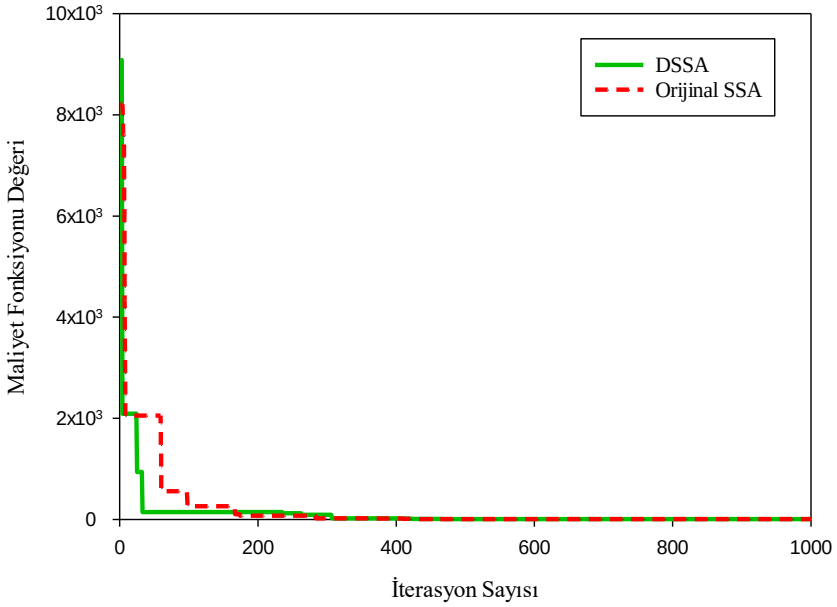


Şekil 3.29. 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

Tablo 3.23. Şekil 3.29'da verilen 8 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma değerleri ve ortalama optimizasyon süreleri.

$N = 8$ FNBW = 102°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)	Ortalama optimizasyon süresi (sn)
DSSA	-14.44	-14.4171	0.0114	65
ALO [119]	-14.35	-14.2333	0.0925	60
SOS [119]	-14.28	-14.2495	0.0115	17

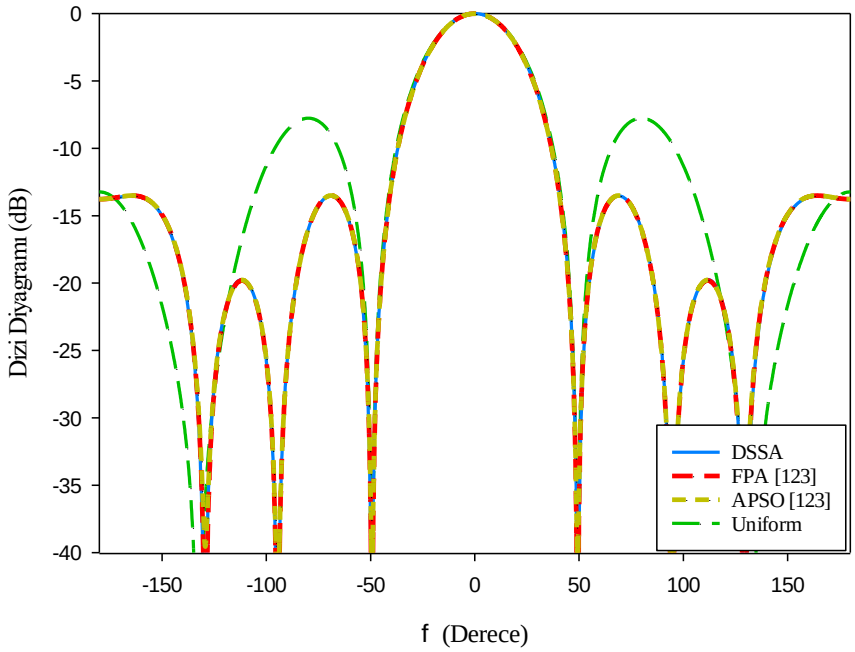
Bölüm 2.3'de detaylı olarak anlatılan SSA'da takipçi salplerin konumlarının hesaplanmasında yapılan değişikliğin algoritma üzerindeki etkisini göstermek amacıyla birinci örnek için orijinal SSA ve değiştirilmiş SSA'nın yakınsama eğrileri Şekil 3.30'da verilmiştir. Şekil 3.30'da verilen yakınsama eğrileri incelendiğinde SSA'da yapılan değişikliğin, eliptik anten dizi sentezi problemlerinde algoritmanın yakınsama eğrisine olumlu etki yaptığı ve orijinal SSA'ya göre daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 3.30. Birinci örnekte 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA ve orijinal SSA'nın yakınsama eğrileri

İkinci örnekte aynı eleman sayısında dar ana demete sahip dizi diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının genlik değerleri DSSA ile hesaplanmıştır. FNBW değeri üniform dizi diyagramının FNBW değeri olan 98.8° olarak alınmıştır. Şekil 3.31'de DSSA,

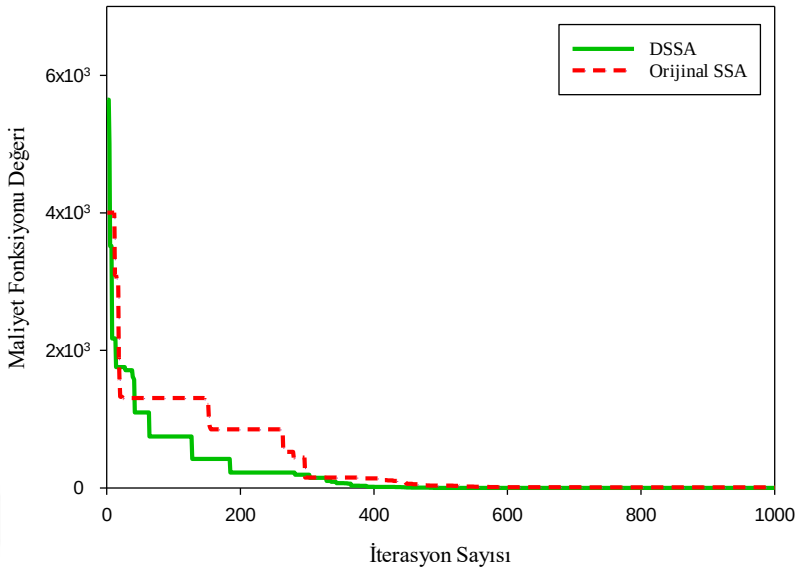
FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen dizi diyagramları verilmiştir. Şekil 3.31'de verilen diyagramlara ait MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri Tablo 3.24'de sunulmuştur. Tablo 3.24 incelendiğinde DSSA ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin, FPA [123] ile elde edilen standart sapma değeri hariç, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen optimizasyon işlemi için SSA ve DSSA'ya ait yakınsama eğrileri Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Yakınsama eğrilerinden DSSA'nın SSA'ya göre daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 3.31. 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

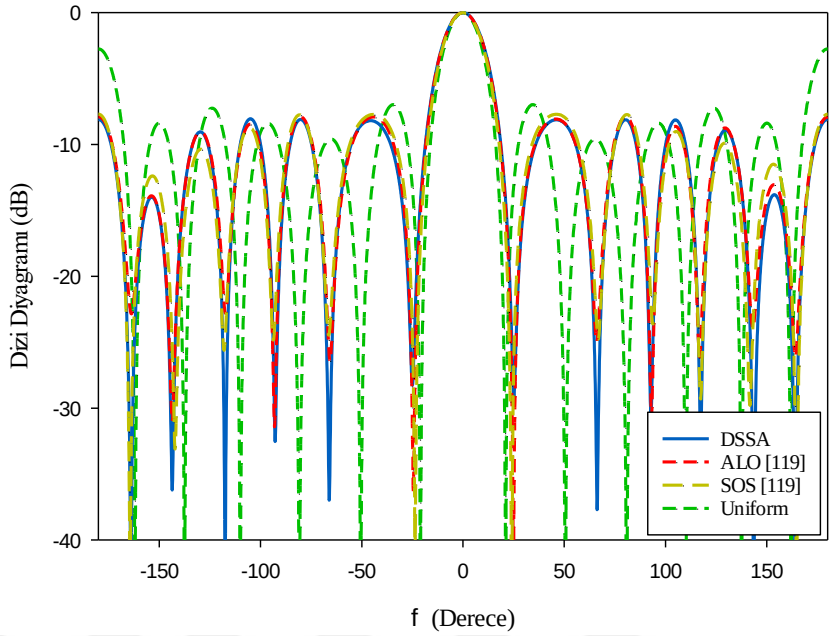
Tablo 3.24. Şekil 3.31'de verilen 8 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

$N = 8$ FNBW = 98.8°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)
DSSA	-13.53	-13,5144	0.0099
FPA [123]	-13.49	-13.4900	0.0050
APSO [123]	-13.49	-13.4800	0.0160



Şekil 3.32. İkinci örnekte 8 elemana sahip eliptik dizi için DSSA ve orijinal SSA'nın yakınsama eğrileri

Üçüncü örnekte sadece genlik kontrolü ile 12 elemana sahip eliptik anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Ana demet bölgesi olarak ϕ = [-22°, 22°] aralığı seçilmiştir. DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.33'de gösterilmiştir. DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen dizi diyagramlarına ait MSL, ortalama MSL, standart sapma değerleri ve ortalama optimizasyon süreleri Tablo 3.25'de listelenmiştir. DSSA ile elde edilen diyagramın ortalama optimizasyon süresi SOS [119]'a göre uzun olmasına rağmen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu Tablo 3.25'den açıkça görülmektedir.

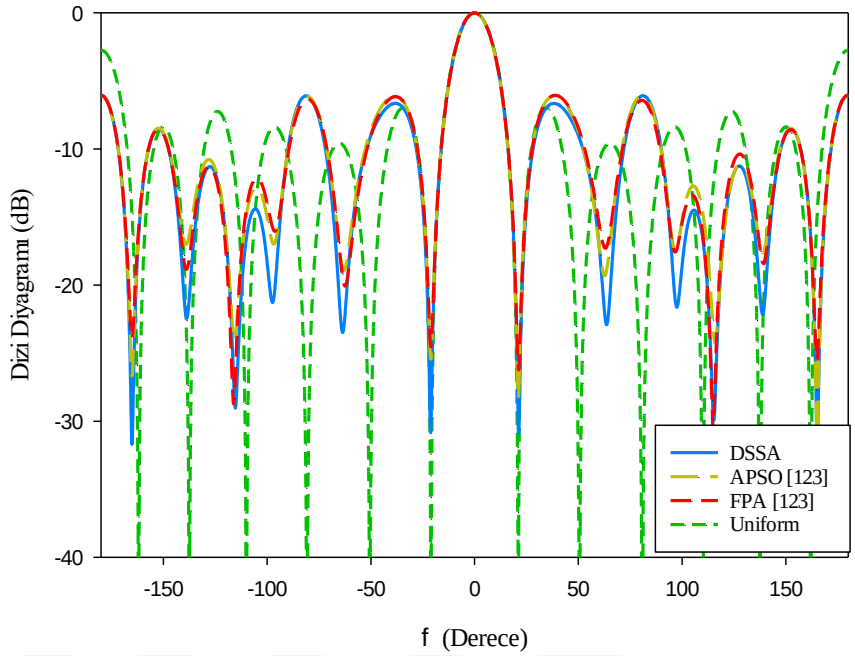


Şekil 3.33. 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

Tablo 3.25. Şekil 3.33'te verilen 12 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma ve ortalama optimizasyon süreleri.

N = 12 FNBW = 44°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)	Ortalama Optimizasyon Süresi (sn)
DSSA	-8.05	-8.0219	0.0158	90
ALO [119]	-7.90	-7.5564	0.1655	95
SOS [119]	-7.70	-7.6173	0.0312	26

Dördüncü örnekte 12 elemanlı eliptik anten dizisi için dar ana demet genişliğine sahip dizi diyagramı elde etmek için dizi elemanlarının genlik değerleri DSSA ile hesaplanmıştır. Bu amaçla ana demet ϕ = [-21.1°, 21.1°] olarak belirlenmiştir. DSSA, APSO [123] ve FPA [123] ile elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.34'te verilmiştir. Şekilde verilen diyagramlara ait MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri Tablo 3.26'da sunulmuştur. Tablo 3.26'dan tespit edilebileceği gibi DSSA ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinden daha iyidir.

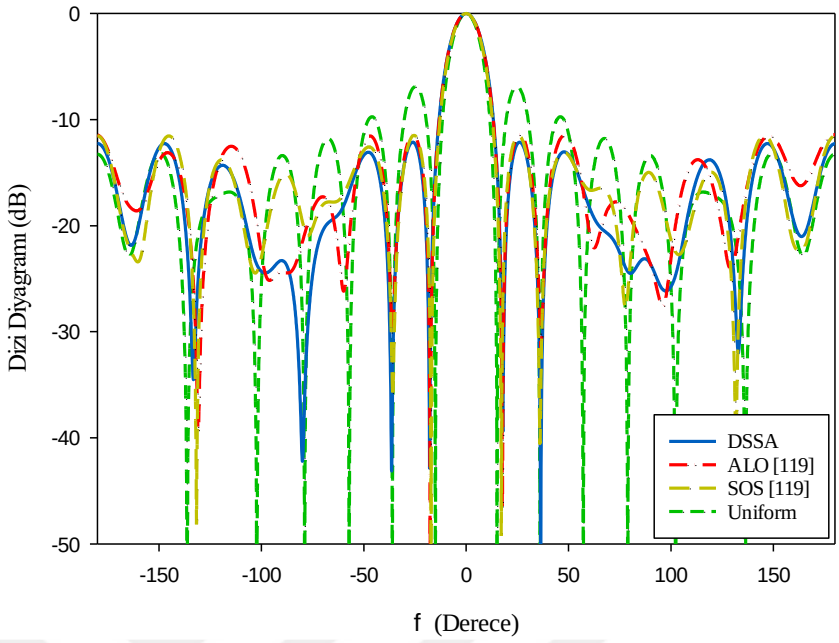


Şekil 3.34. 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

Tablo 3.26. Şekil 3.34'te verilen 12 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

N = 12 FNBW = 42.2°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)
DSSA	-6.09	-6.0609	0.0159
FPA [123]	-6.05	-5.9200	0.0480
APSO [123]	-6.06	-5.9700	0.0620

Beşinci ve altıncı örnekte 20 elemanlı eliptik anten dizisi ele alınmıştır. Beşinci örnekte FNBW değeri 32º olarak seçilmiştir. Şekil 3.35'de DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen dizi diyagramları gösterilmiştir. Şekil 3.25'deki diyagramlara ait MSL, ortalama MSL, standart sapma ve ortalama optimizasyon süreleri Tablo 3.27'de verilmiştir. DSSA ile elde edilen diyagrama ait MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen diyagramların MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinden daha iyi olduğu Tablo 3.27'den görülmektedir. Ortalama optimizasyon süresi SOS [119]'dan kısa iken ALO [119]'dan biraz uzundur.



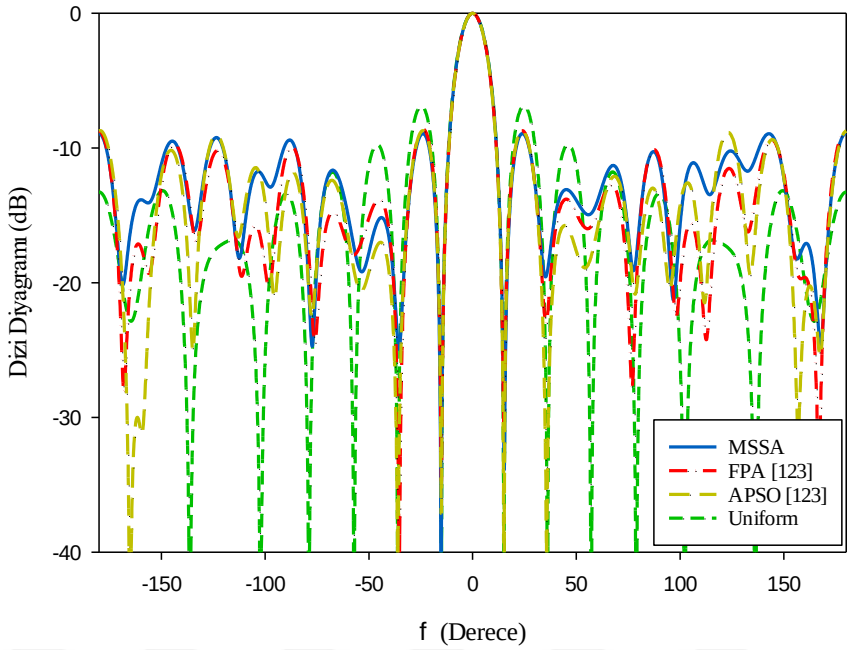
Şekil 3.35. 20 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

Tablo 3.27. Şekil 3.35'te verilen 20 elemanlı eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen MSL, ortalama MSL, standart sapma ve ortalama optimizasyon süreleri.

N = 20 FNBW = 32°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)	Ortalama optimizasyon süresi (sn)
DSSA	-12.13	-12.0665	0.0354	120
ALO [119]	-11.42	-11.3638	0.0584	55
SOS [119]	-11.48	-10.8292	0.2240	190

Altıncı örnekte ise FNBW 30.2º olacak şekilde 20 elemanlı eliptik anten diyagram sentezi gerçekleştirilmiştir. DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.36'da verilmiştir. Karşılaştırma yapmak için DSSA ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen değerler ile birlikte Tablo 3.29'da listelenmiştir. Tabloda verilen değerler incelendiğinde DSSA ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinden daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. DSSA ile gerçekleştirilen ilk altı

diyagram sentezi için elde edilen dizi elemanlarının genlik değerleri Tablo 3.29'de verilmiştir.



Şekil 3.36. 20 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

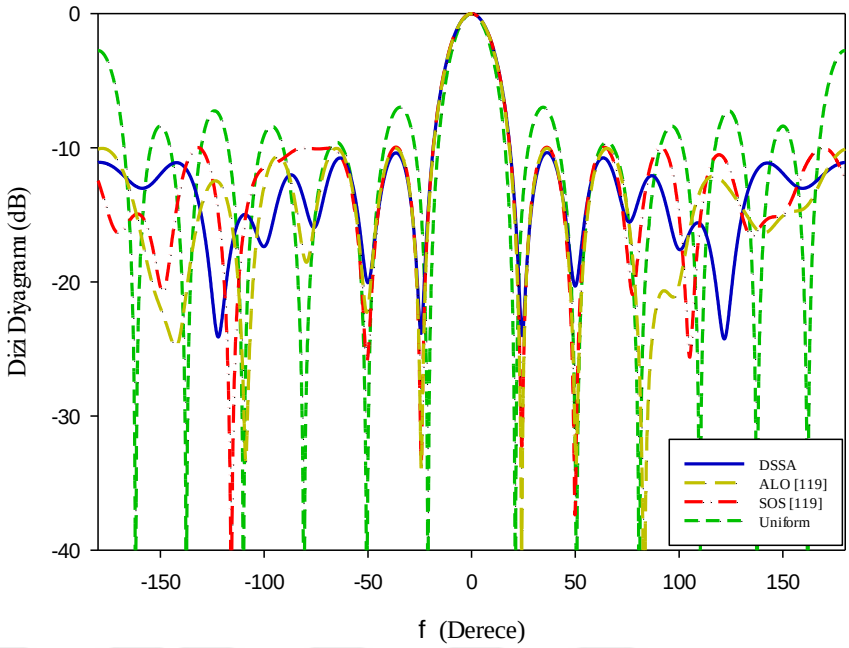
Tablo 3.28. Şekil 3.36'da verilen 20 elemanlı eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

N = 20 FNBW = 30.2°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)
DSSA	-8.92	-8.7947	0.0617
FPA [123]	-8.59	-8.2300	0.2060
APSO [123]	-8.70	-8.3100	0.2370

Tablo 3.29. DSSA kullanılarak sadece genlik kontrolü ile gerçekleştirilen diyagram sentezi örnekleri için elde edilen dizi elemanlarının genlik değerleri.

	$[I_1, I_2, I_3, \ldots, I_N]$
Şekil 3.29	[0.5071 0.9496 0.1465 0.9490 0.5073 0.9997 0.0652 1.0000]
Şekil 3.31	[0.2919 0.9962 0.3074 0.9958 0.2908 0.9996 0.3000 1.0000]
Şekil 3.33	[1.0000 0.1708 0.3243 0.3200 0.3031 0.1525 0.9801 0.0099 0.3335 0.4414 0.3376 0.0186]
Şekil 3.34	[0.8641 0.0000 0.5573 0.7882 0.1671 0.0000 1.0000 0.0000 0.1741 0.7746 0.5628 0.0000]
Şekil 3.35	[1.0000 0.2007 0.5663 0.0000 0.3540 0.5697 0.2968 0.0000 0.5326 0.3237 0.9685 0.4107 0.4581 0.0000 0.2591 0.6459 0.3035 0.0000 0.5127 0.2754]
Şekil 3.36	[0.6757 0.0059 0.2841 0.0172 0.0145 0.7891 0.4303 0.0035 0.2578 0.0003 1.0000 0.0034 0.1254 0.0522 0.6942 0.3790 0.2938 0.0722 0.1368 0.0109]

DSSA'nın esnekliğini göstermek amacıyla, yedinci ve sekizinci örnekte 12 elemana sahip eliptik anten dizisinde dizi elamanlarının sadece açısal konumları DSSA ile kontrol edilerek düşük yan demet seviyesine ve dar ana demet genişliğine sahip diyagramlar elde edilmiştir. Yedinci örnek için FNBW değeri 44º olarak seçilmiştir. DSSA kullanılarak elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.37'de gösterilmektedir. Şekil 3.37'de ayrıca ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen dizi diyagramları da verilmiştir. Tablo 3.30'da DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen diyagramlara ait MSL değerleri sunulmuştur. Şekil 3.37 ve Tablo 3.30'dan açıkça görüleceği üzere DSSA ile elde edilen diyagrama ait MSL değeri ALO [119] ve SOS [119] ile elde edilen diyagramların MSL değerlerinden daha iyidir.



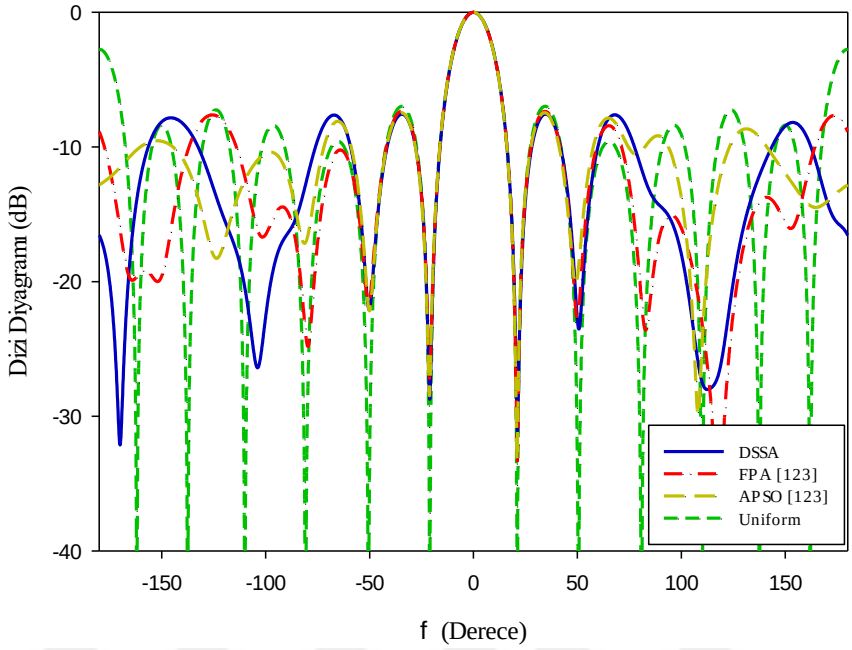
Şekil 3.37. Açısal konum kontrolü ile bulunan 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

Tablo 3.30. Şekil 3.37'de verilen açısal konum kontrolü ile elde edilen 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, ALO [119] ve SOS [119] ile bulunan MSL değerleri.

N = 12 FNBW = 44°	MSL (dB)
DSSA	-10.36
ALO [119]	-10.03
SOS [119]	-9.95

Sekizinci örnekte, FNBW değeri 42.2º olan düşük yan demet seviyesine sahip diyagram sentezi DSSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.38'de gösterilmektedir. Şekil 3.38'de gösterilen diyagramlara ait MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri Tablo 3.31'de verilmiştir. DSSA ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin FPA [123] ve APSO [123] ile elde edilen MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerlerinden daha iyi olduğu Tablo 3.31'den görülmektedir. Şekil 3.37 ve 3.38'de

gösterilen DSSA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait dizi elemanlarının yer değerleri Tablo 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Açısal konum kontrolü ile bulunan 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları

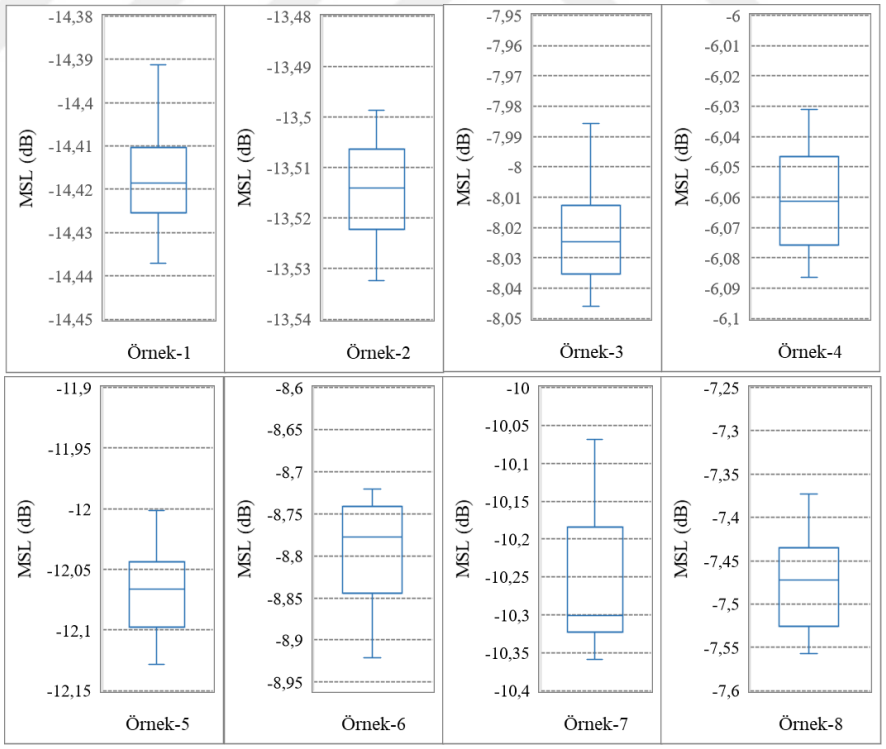
Tablo 3.31. Şekil 3.38'de verilen açısal konum kontrolü ile elde edilen 12 elemana sahip eliptik dizi için DSSA, FPA [123] ve APSO [123] ile bulunan MSL, ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

$N = 12$ FNBW = 42.2°	MSL (dB)	Ortalama MSL (dB)	Standart Sapma (dB)
DSSA	-7.56	-7.4757	0.0531
FPA [123]	-7.33	-7.1100	0.0870
APSO [123]	-7.45	-7.2300	0.1140

Tablo 3.32. Şekil 3.37 ve 3.38'de gösterilen ışıma diyagramları için DSSA ile elde edilen dizi elemanlarının açısal konum değerleri.

	$[\phi_1, \phi_2, \phi_3, \ldots, \phi_N]$ (derece)
Şekil 3.37	[16.3297 16.4144 40.1349 82.7314 120.6583 164.6778 194.7360 239.1545 277.3945 319.4379 343.1511 343.7615]
Şekil 3.38	[15.1952 72.7507 91.1921 105.0858 151.2956 171.1252 190.2981 210.9999 260.1419 264.0714 285.1491 344.8436]

DSSA ile gerçekleştirilen eliptik anten dizi sentezi örneklerinde DSSA'nın performansını istatistiksel olarak göstermek amacıyla Şekil 3.39'da kutu diyagramı verilmiştir. Her bir örnek için aynı şartlar altında 20 defa çalıştırılarak elde edilen en iyi MSL değeri, en kötü MSL değeri ve dağılım aralığı Şekil 3.39'da görülmektedir. Gösterilen şekilden DSSA ile elde edilen MSL değerlerinin az salınım yaptığı ve algoritmanın kararlı sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir.



Şekil 3.39. DSSA ile yapılan 20 bağımsız optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen MSL değerlerine ilişkin kutu diyagramı

3.4. DKÇKA'nın Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Tez çalışmasının bu bölümünde DKÇKA ile dairesel ve eşmerkezli dairesel geometriye sahip anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta 8, 10, 12 ve 20 elemana sahip dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. İkinci grup anten dizi sentezinde ise merkezleri ortak olan N_1=4, N_2 =6, N_3 = 8 ve N_1=8, N_2 =10, N_3 = 12 elemana sahip üç halka halinde eşmerkezli dairesel anten dizileri dikkate alınmıştır. Dairesel anten dizilerinde dizi elemanlarının hem genlik ve hem yer değerleri birlikte, eşmerkezli dairesel anten dizilerinde ise dizi elemanlarının sadece genlik değerleri DKÇKA kullanılarak belirlenmiştir.

DKÇKA Windows işletim sistemi ortamında MATLAB 2022a kullanılarak programlanmıştır. Bütün simülasyonlar için Intel Core i5 2.10 GHz işlemciye ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. DKÇKA'ya ait popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak alınmıştır. Dairesel anten dizi sentezinde her bir örnek için aynı şartlar altında algoritmanın 30 kez koşturulması ile elde edilen MSL değerlerinin tamamı kayıt edilerek ortalama MSL ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Eşmerkezli dairesel anten dizi sentezinde ise algoritma 30 defa koşturulmuş en iyi sonuç kaydedilmiştir.

3.4.1. DKÇKA Kullanılarak Dairesel Anten Dizi Sentezi

Elemanlar arasındaki mesafeleri eşit olmayan, yarıçapı a olan bir çember üzerinde Şekil 3.40'da gösterildiği gibi x-y düzlemine yerleştirilmiş N adet yönsüz elemana sahip anten dizisinin dizi faktörü ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilir [2].

$$AF(\theta,\phi)=\sum_{n=1}^{N} I_n e^{(j[ka\sin(\theta)\cos(\phi-\phi_n)+\alpha_n])} \tag{3.21}$$

Burada

$$ka=\frac{2\pi}{\lambda}a=\sum_{i=1}^{N} d_i \tag{3.22}$$

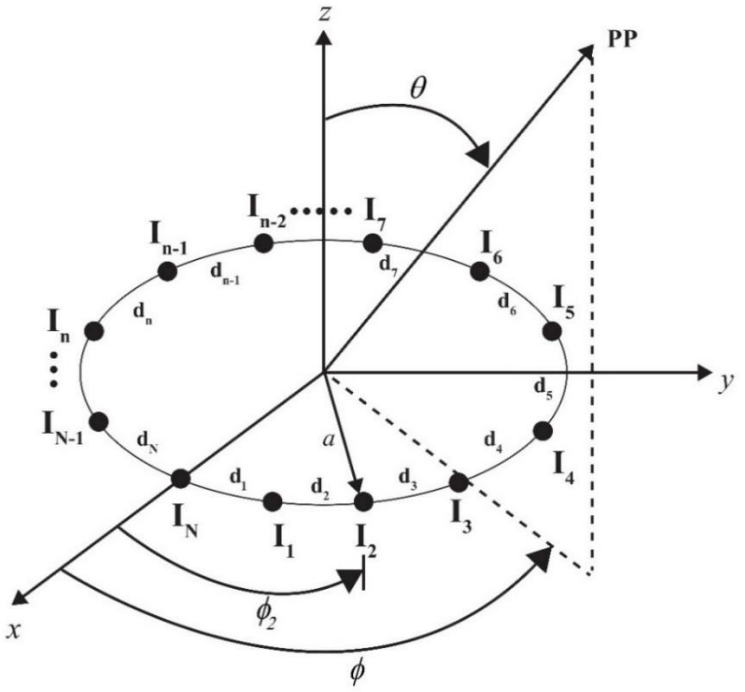
ve

$$\phi_n = \frac{2\pi \sum_{i=1}^{n} d_i}{ka} \tag{3.23}$$

ile verilir [2]. Denklem (3.21)'de I_n ve α_n sırasıyla n'inci elemanın uyarım genliği ve fazıdır. d_i elemanlar arasındaki yay uzunluğunun dalga boyu cinsinden ifadesidir. x-y düzleminde yer alan n'inci elemanın açısal konumu ϕ_n ile temsil edilmektedir. Ana demetin (θ_0, ϕ_0) yönünde yönlendirilmesi için n'inci elemanın uyarım fazı

$$\alpha_n = -ka\sin(\theta_o)\cos(\phi_o - \phi_n) \tag{3.24}$$

ile verilir. θ_0 ve ϕ_0 değerlerinin sırasıyla 90^o ve 0^o seçilmesi durumunda ana demet x yönünde olur.



Şekil 3.40. N adet yönsüz elemana sahip, elemanları arasındaki mesafe eşit olmayan dairesel anten dizi geometrisi

Bu bölümde gerçekleştirilen diyagram sentezi örneklerinde temel amaç dar ana demet genişliğine ve düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramları elde etmektir. Ayrıca dairesel anten dizisinin büyüklüğü de dikkate alınmıştır. Bu amaçla Denklem (3.20)'de verilen maliyet fonksiyonuna dizinin büyüklüğünü kontrol etmek için f_c fonksiyonu dahil

edilmiştir. Dairesel anten dizi sentezi için kullanılan maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$MF = w_{FNBW} f_{FNBW} + w_{MSL} f_{MSL} + w_C f_C \tag{3.25}$$

burada w_c ağırlık faktörüdür ve f_c fonksiyonu

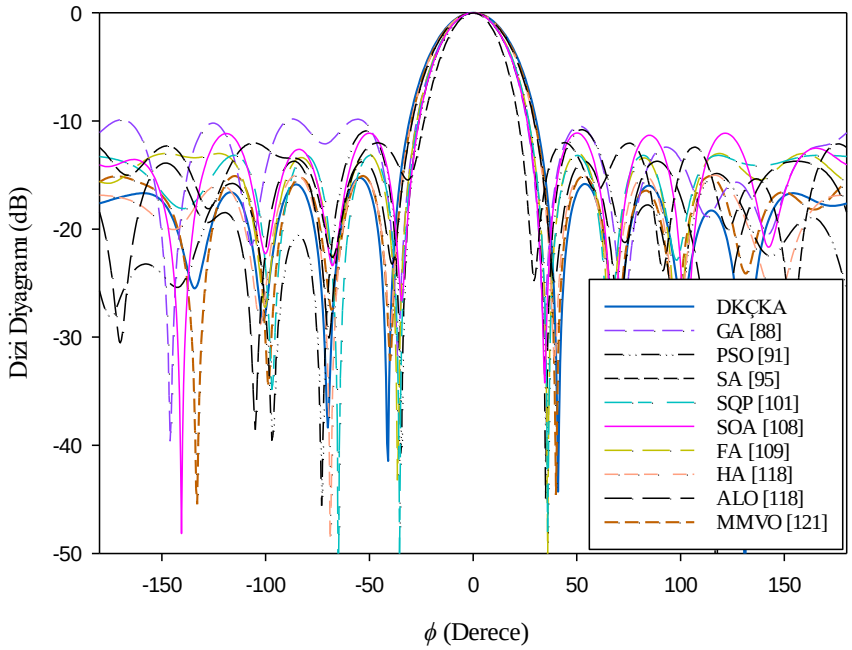
$$f_c = \begin{cases} (CV_o - CV_d)^2, & \text{eğer } CV_o > CV_d \\ 0, & \textit{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{3.26}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada CV_o ve CV_d sırasıyla DKÇKA ile elde edilen büyüklük ve istenilen büyüklük değerleridir. Böylece oluşturulan maliyet fonksiyonu dizi diyagramının MSL, FNBW ve dairesel dizinin büyüklüğünü kontrol edebilmektedir.

Dairesel anten dizilerinde DKÇKA kullanılarak beş farklı anten dizi sentezi örneği yapılmıştır. Gerçekleştirilen örneklerde, yan demet seviyesini ve anten dizisinin büyüklüğünü düşürmek için dairesel dizi elemanlarına ait hem genlik ve hem konum değerleri DKÇKA kullanılarak belirlenmiştir. Her bir diyagram sentezi için optimizasyon işleminin aynı şartlar altında 30'ar defa tekrarlanması ile elde edilen sonuçlar kayıt altına alınmıştır. DKÇKA ile gerçekleştirilen ilk üç örnekte MSL değeri ve dizinin büyüklüğü kısıtlamaları birlikte yapılarak 8, 10 ve 12 elemanlı dairesel anten dizi diyagramları elde edilmiştir. DKÇKA'nın esnekliğini göstermek amacıyla dördüncü örnekte dizinin büyüklüğü kısıtlaması yapılmamıştır. Beşinci örnekte ise 20 elemanlı dairesel dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. DKÇKA'nın performansını daha iyi gösterebilmek için elde edilen sonuçların ortalama MSL ve standart sapma değerleri de verilmiştir. DKÇKA kullanılarak elde edilen sonuçlar, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], HA [118], ALO [118], MVMO [121], PSOd [122] ve GWO [122] algoritmaları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

DKÇKA kullanılarak gerçekleştirilen ilk örnekte, 8 elemana sahip dairesel bir anten dizisi tasarlanmıştır. Ana demet genişliği ise ϕ_{null1} = -34^o ve ϕ_{null2} = 34^o arası belirlenmiştir. DKÇKA ile elde edilen dizi diyagramı, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen diyagramlarla birlikte Şekil 3.41'de gösterilmektedir. DKÇKA, GA [88], PSO [91],

SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen diyagramlara ait MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerleri Tablo 3.33'de verilmiştir. Tablo 3.33'den DKÇKA ile elde edilen diyagrama ait MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerlerinin GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu açıkça görülmektedir.



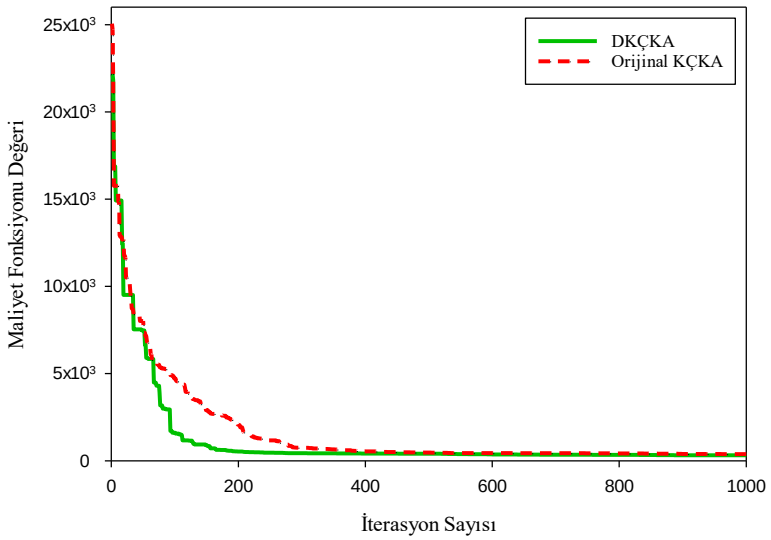
Şekil 3.41. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen *N*=8 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.33. Şekil 3.41, 3.43 ve 3.44'te verilen dairesel dizi diyagramlarına ait MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerleri.

N	Parametre	DKÇKA	GA [88]	PSO [91]	SA [95]	SQP [101]	SOA [108]	FA [109]	HA [118]	ALO [118]	MMVO [121]
8	MSL (dB)	-15.27	-9.81	-10.80	-12.00	-13.16	-11.11	-13.00	-15.00	-13.71	-15.08
	Σ(d) (λ)	4.3600	4.4094	4.4931	5.8750	4.6521	4.4070	4.6556	4.5384	4.5416	4.3810
10	MSL (dB)	-14.93	-11.03	-12.31	-13.00	-13.02	-12.50	-13.30	-14.20	-13.52	-14.71
	Σ(d) (λ)	5.8270	6.0886	5.9029	8.0214	6.0319	6.1042	6.0700	5.8821	5.9686	5.8600
12	MSL (dB)	-15.00	-11.80	-13.68	-13.91	-13.41	-14.11	-14.21	-14.12	-14.56	-14.70
	Σ(d) (λ)	7.2619	7.7724	7.1501	7.9523	7.0841	7.1499	7.2145	7.2153	7.2661	7.1474

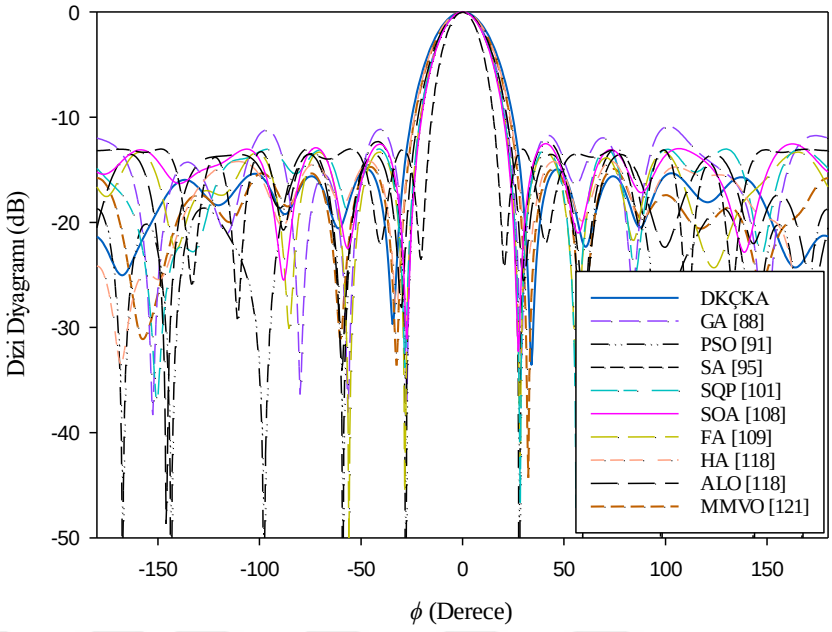
Bölüm 2.4 detaylı bir şekilde anlatılan orijinal KÇKA'yı ve DKÇKA'ya ait yakınsama eğrilerini değerlendirebilmek için her iki algoritmada 1000 iterasyonda 30'ar defa

çalıştırılarak ortalama maliyet değerleri birinci örnek için elde edilmiştir. Şekil 3.42'de DKÇKA ve orijinal KÇKA'nın yakınsama eğrileri gösterilmiştir. Şekil 3.42 incelendiğinde DKÇKA'nın orijinal KÇKA'ya göre daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.



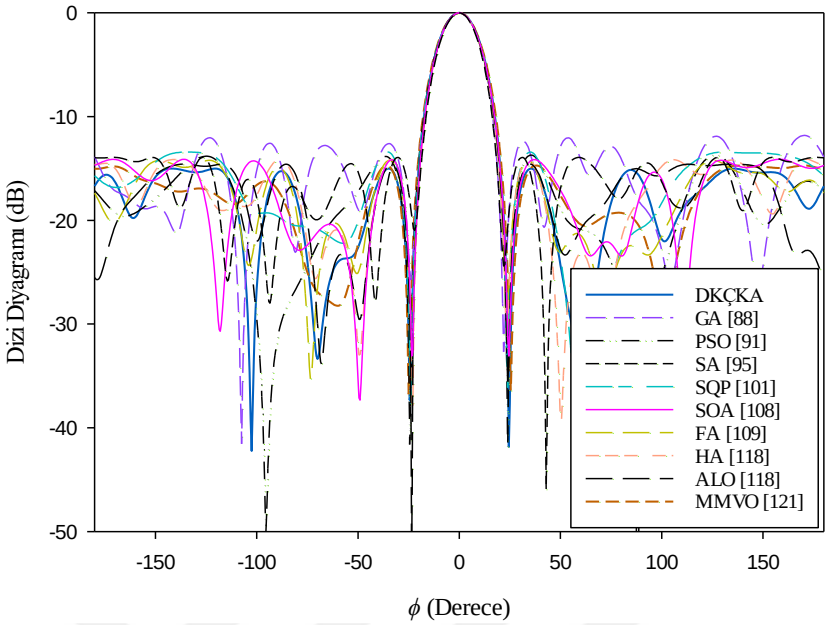
Şekil 3.42. DKÇKA ve orijinal KÇKA'nın yakınsama eğrileri

İkinci örnekte dairesel anten dizisinin eleman sayısı 10'a çıkarılmıştır. Ana demet genişliği ise [-27°, 27°] olarak alınmıştır. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.43'te sergilenmiştir. Sergilenen diyagramların MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerleri Tablo 3.33'de verilmiştir. Tablo 3.33'den görüleceği üzere DKÇKA ile elde edilen MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerlerinin GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen değerlerden daha iyidir.



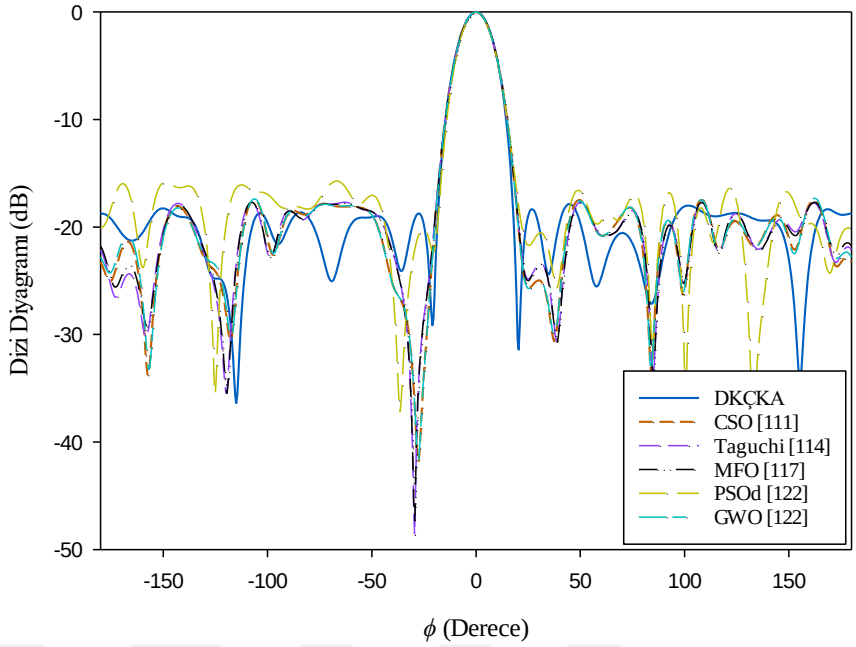
Şekil 3.43. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen N=10 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları

Üçüncü örnekte, yan demet bölgesi ϕ = [-180º, -23º] ve ϕ = [23º, 180º] olan 12 elemana sahip dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.44'te DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen diyagramlar verilmektedir. Şekilde verilen diyagramlara ait MSL ve dizinin çevresel büyüklük değerleri Tablo 3.33'de sunulmuştur. Tablo 3.33'den tespit edilebileceği gibi DKÇKA ile elde edilen MSL değeri, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen MSL değerlerinden daha iyidir. DKÇKA ile elde edilen dizinin çevresel büyüklük değeri GA [88], SA [95] ve ALO [118] ile elde edilen değerlerden iyi olmasına rağmen PSO [91], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118] ve MMVO [121] ile elde edilen dizinin çevresel büyüklük değerlerinden biraz büyüktür.



Şekil 3.44. DKÇKA, GA [88], PSO [91], SA [95], SQP [101], SOA [108], FA [109], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen N=12 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları

İlk üç örnek incelendiğinde anten elemanlarının sayısı arttırıldığında hem düşük yan demet seviyesine hem de daha dar ana demet genişliğine sahip dizi diyagramları elde edilebildiği görülmektedir. Benzer şekilde dizi diyagramı üzerindeki çevresel büyüklük kısıtlaması kaldırıldığı takdirde çözüm uzayı genişleyecek ve daha düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramı elde etmek mümkün olacaktır. Buradan yola çıkarak dördüncü örnekte verilen diyagram sentezi, 12 elemana sahip dairesel anten dizisinde çevresel büyüklük kısıtlaması olmadan gerçekleştirilmiştir. DKÇKA ile elde edilen dizi diyagramı Şekil 3.45'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.45, CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], PSOd [122] ve GWO [122] ile elde edilen dizi diyagramlarını da ihtiva etmektedir. DKÇKA, CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], PSOd [122] ve GWO [122] ile elde edilen diyagramlara ait MSL ve çevresel büyüklük değerleri Tablo 3.34'de sunulmuştur. Tablo 3.34'den açıkça görüldüğü gibi DKÇKA ile elde edilen sonuçlar CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], PSOd [122] ve GWO [122] ile elde edilen sonuçlardan daha iyidir.



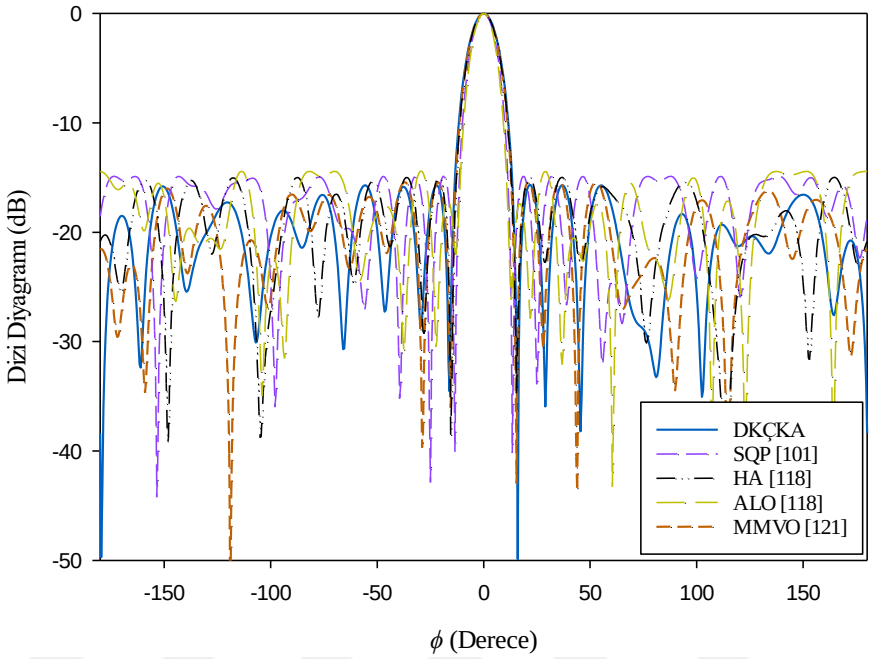
Şekil 3.45. DKÇKA, CSO [111], Taguchi [114], MFO [117], PSOd [122] ve GWO [122] ile çevre uzunluğu kısıtlaması olmadan elde edilen N=12 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.34. Şekil 3.45'te gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve çevresel büyüklük değerleri.

N		DKÇKA	CSO [111]	Taguchi [114]	MFO [117]	PSOd [122]	GWO [122]
12	MSL (dB)	-17.85	-17.44	-17.68	-17.79	-16.17	-17.37
	Σ(d) (λ)	9.1741	10.6290	10.6200	10.6258	10.6323	10.6351

Son örnekte ise 20 elemanlı dairesel anten dizi diyagramında yan demet bölgesi ϕ = [-180º, -14º] ve ϕ = [14º, 180º] olacak şekilde diyagram sentezi yapılmıştır. DKÇKA, SQP [101], HA [118] ALO [118] ve MMVO [121] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.46'da verilmiştir. DKÇKA, SQP [101], HA [118] ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen diyagramlara ait MSL ve çevresel büyüklük değerleri Tablo 3.35'de sunulmuştur. DKÇKA ile elde edilen MSL ve çevresel büyüklük değerlerinin SQP [101], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu Tablo 3.35'den görülmektedir.

Şekil 3.41, 3.43-3.46'da DKÇKA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait yer ve genlik değerleri Tablo 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.46. DKÇKA, SQP [101], HA [118], ALO [118] ve MMVO [121] ile elde edilen N=20 elemanlı dairesel dizi ışıma diyagramları

Tablo 3.35. Şekil 3.46'da gösterilen ışıma diyagramları için MSL ve çevresel büyüklük değerleri.

N		DKÇKA	SQP [101]	HA [118]	ALO [118]	MMVO [121]
20	MSL (dB)	-15.67	-14.87	-14.98	-14.39	-15.40
	Σ(d) (λ)	10.5798	12.3258	10.7420	13.8948	10.6024

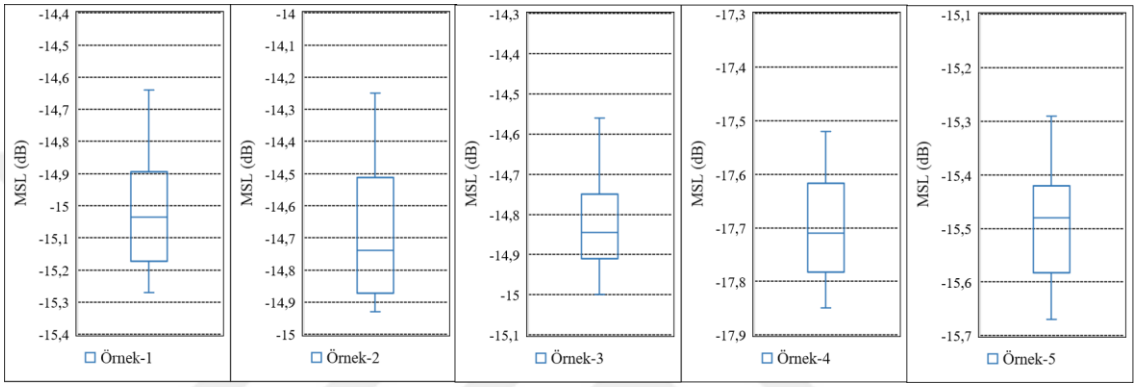
Tablo 3.36. Şekil 3.41 ve 3.43-3.46'daki ışıma diyagramlarına ait DKÇKA ile elde edilen eleman yer ve genlik değerleri.

λ cinsinden [d_1, d_2, d_3, ..., d_N] ve [I_1, I_2, I_3, ..., I_N] değerleri	
Şekil 3.41	[0.3249 0.7507 0.4688 0.3332 0.6103 0.8250 0.7051 0.3450] [0.7484 0.3800 0.0594 0.9566 1.0000 0.3326 0.7619 0.2713]
Şekil 3.43	[0.3552 0.5093 0.8648 0.7773 0.1628 0.5174 0.9079 0.8546 0.5272 0.3505] [0.8834 0.1862 0.5753 0.2127 0.8679 1.0000 0.5576 0.2196 0.8643 0.6188]
Şekil 3.44	[0.3058 0.8363 0.6781 0.7516 0.7656 0.5509 0.9777 0.3946 0.4068 0.3840 0.9095 0.3010] [0.8848 0.6385 0.5736 0.1873 0.9974 1.0000 0.4313 0.3102 0.4653 0.6274 0.7967 0.7792]
Şekil 3.45	[0.4349 1.1489 1.3438 0.9995 0.5437 0.4938 0.4378 0.8435 0.5889 0.7544 1.0590 0.5259] [0.4713 0.5441 0.7691 0.6410 1.0000 0.7263 0.5213 0.4201 0.3123 0.5677 0.6513 0.8874]
Şekil 3.46	[0.5321 0.6289 0.4428 0.6083 0.7552 0.2424 0.4214 0.5657 0.4692 0.4710 0.4215 0.4191 0.8989 0.7293 0.6016 0.6849 0.5339 0.5254 0.4610 0.1672] [0.8640 0.2678 0.4747 0.4456 0.4726 0.3953 0.5312 0.1536 0.5514 1.0000 0.5952 0.5863 0.6030 0.4650 0.4796 0.4409 0.4932 0.4559 0.7544 0.7281]

DKÇKA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerinde her bir örnek 30'ar defa çalıştırılarak elde edilen diyagramlara ait MSL değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3.37'de sunulmuştur. Tablo 3.37'den ortalama MSL değerleri açısından DKÇKA'nın performansının oldukça rekabetçi ve düşük standart sapma değerleri ile de DKÇKA'nın tutarlı bir performansa sahip olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca DKÇKA'nın birbirinden bağımsız 30'ar defa koşturulması sonucunda elde edilen MSL değerleri Şekil 3.47'de gösterilen kutu diyagramında sergilenmiştir. Şekil 3.47'den DKÇKA ile elde edilen MSL değerlerinin çok az salınım gösterdiği ve kararlı yapıda olduğu görülmektedir.

Tablo 3.37. DKÇKA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerine ilişkin 30 bağımsız çalışma sonucunda elde edilen ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Örnek-4	Örnek-5
Ortalama MSL (dB)	-15.015	-14.680	-14.817	-17.704	-15.491
Standart Sapma (dB)	0.172	0.220	0.123	0.094	0.103



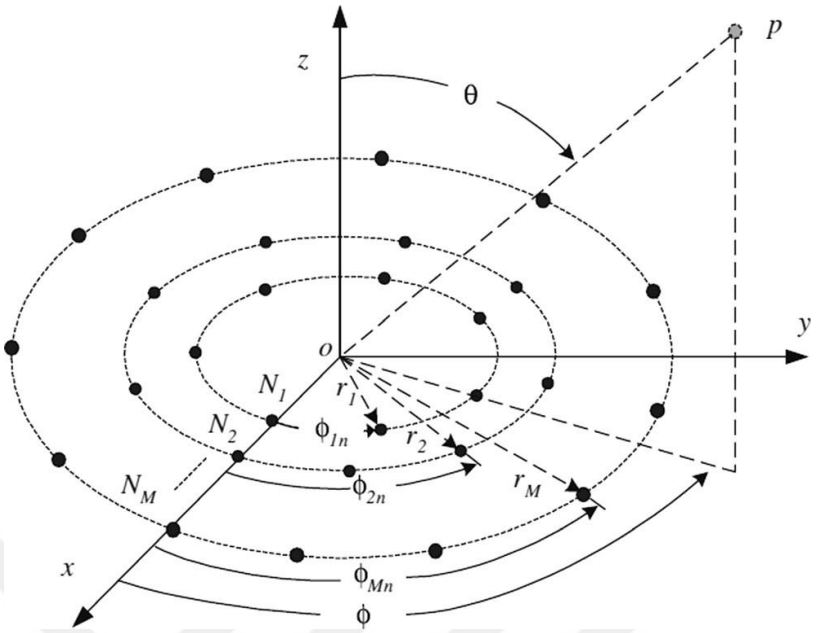
Şekil 3.47. DKÇKA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örnekleri için 30 bağımsız çalışma sonucunda elde edilen MSL değerlerine ait kutu diyagramı

3.4.2. DKÇKA Kullanılarak Eşmerkezli Dairesel Anten Dizi Sentezi

Bu bölümde eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi yapılmıştır. Anten dizisi, Şekil 3.48'de görüldüğü gibi farklı yarıçaplara sahip eş merkezli dairesel halkalar üzerine yerleştirilmiş dizi elemanlarından oluşmaktadır. Dizi elemanlarının her biri *x*-*y* düzleminde *M* adet eşmerkezli dairesel halka boyunca yerleştirilmiştir. Ayrıca N_m (m = 1, 2, 3, …, M) adet dizi elemanı m'inci elemanın yarıçapı r_m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Elemanlar arasındaki mesafe eşit olarak alınırsa, x ekseninden başlayarak mn'inci elemana ait azimut açısı

$$\phi_{mn} = \frac{2\pi n}{N_m}, \quad n = 1, 2, 3, ..., N_m \tag{3.27}$$

gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.48. Elemanları eşit mesafeli olarak yerleştirilmiş eşmerkezli dairesel anten dizisi

Bu durumda eş merkezli dairesel anten dizisine ait dizi faktörü ifadesi

$$AF(\theta,\phi) = I_c + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N_m} I_{mn} e^{j[kr_m \sin(\theta)\cos(\phi-\phi_{mn})+\alpha_{mn}}} \tag{3.28}$$

şeklinde yazılabilir [2]. Burada I_c dizi merkezinde yer alan anten elemanının uyarım genliğidir (eğer merkezde eleman yer almıyorsa $I_c = 0$ olarak alınır). I_{mn} ve α_{mn} sırasıyla m'inci halkada yer alan n'inci elemanın uyarım genliği ve fazıdır. α_{mn} aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\alpha_{mn} = -kr_m \sin(\theta_0)\cos(\phi_0 - \phi_{mn}) \tag{3.29}$$

Gerçekleştirilen dizi sentezlerinde ana demetin x yönünde olması amacıyla θ_0 ve ϕ_0 sırasıyla 90^o ve 0 olarak alınmıştır. Denklem (3.25)'de verilen maliyet fonksiyonu ifadesi bu bölümde gerçekleştirilen eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi içinde geçerlidir. Ancak, eş merkezli anten dizisinde dizi elemanlarının yerlerinin sabit olmasından dolayı Denklem (3.26)'da verilen f_c fonksiyonu çıkarılmış, dizi elemanların çalışma aralığı oranını kontrol etmek amacıyla f_{DRR} fonksiyonu eklenmiştir. Maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi yeniden düzenlemiştir.

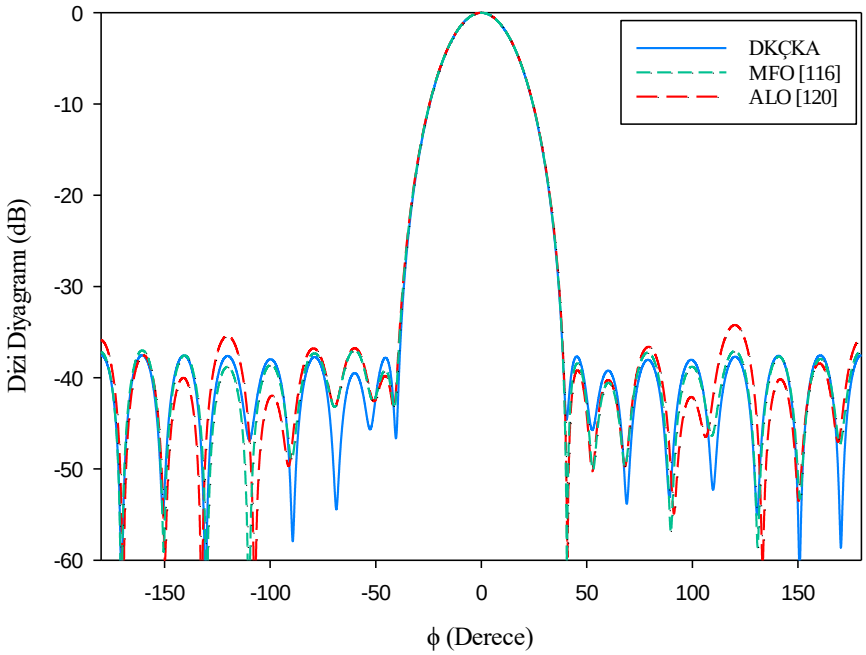
$$MF = w_{FNBW} f_{FNBW} + w_{MSL} f_{MSL} + w_{DRR} f_{DRR} \tag{3.30}$$

burada w_{DRR} ağırlık faktörüdür. DRR değerini istenilen bir değerin altında tutabilmek için tanımlanan f_{DRR} fonksiyonu

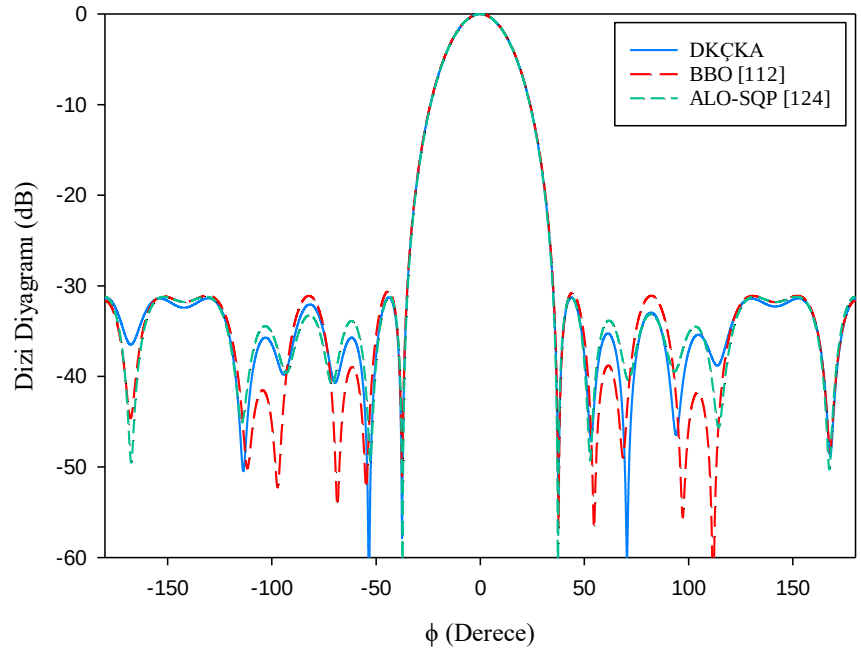
$$f_{DRR} = \begin{cases} \left|\frac{I_{mak}}{I_{\min}}\right| - f_{DRRmak}, & eğer \left|\frac{I_{mak}}{I_{\min}}\right| > f_{DRRmak} \\ 0, & diğer\ durumlarda \end{cases} \tag{3.31}$$

olacak şekilde belirlenmiştir. Burada I_{mak} ve I_{min} sırasıyla DKÇKA ile elde edilen dizi elemanlarının en büyük ve en küçük genlik değerleridir. f_{DRRmak} istenilen DRR değerini ifade etmektedir.

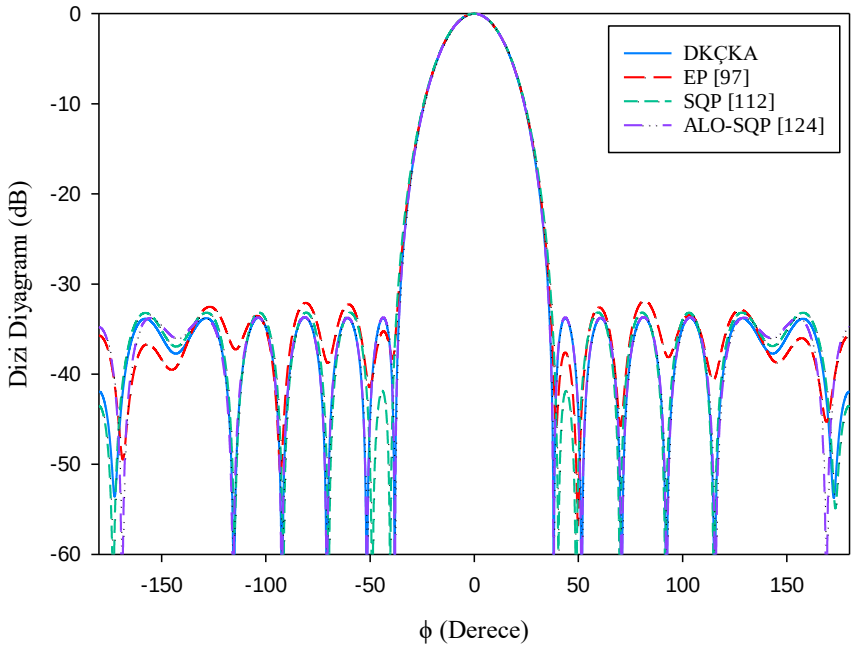
DKÇKA kullanılarak N_1=4, N_2=6, N_3=8 ve N_1=8, N_2=10, N_3=12 adet elemandan oluşan üç halkaya sahip eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yedi örnekte, düşük yan demet seviyesine, dar ana demet genişliğine ve düşük DRR değerine sahip dizi diyagramları elde etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla dizi elemanlarının sadece genlik değerleri DKÇKA ile hesaplanmıştır. İlk üç örnekte N_1=4, N_2=6, N_3=8, dördüncü ve beşinci örnekte N_1=8, N_2=10, N_3=12 elemana sahip merkez elemanı olmayan eşmerkezli dairesel diziler tasarlanmıştır. Son iki örnekte ise N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemanlı merkezi elemana sahip eş merkezli dairesel anten dizi sentezi yapılmıştır. Dizi elemanları arasındaki mesafe iç, orta ve dış halkada sırasıyla 0.55λ, 0.606λ ve 0.75λ olarak alınmıştır. DKÇKA ile elde edilen diyagramlar EP [97], BFO [102], OGSA [110], CSO [111], SQP [112], BBO [112], SOS [115], MFO [116], ALO [120] ve ALO-SQP [124] ile elde edilen diyagramlarla Şekil 3.49-3.55'te karşılaştırılmıştır. DKÇKA ile bulunan MSL, FNBW ve DRR değerleri ve karşılaştırma yapılan algoritmalar tarafından elde edilen MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.38'de listelenmiştir. Tablo 3.38 detaylı bir şekilde incelendiğinde, DKÇKA ile elde edilen MSL, FNBW ve DRR değerlerinin Şekil 3.50 ve 3.51'deki ALO-SQP [124] ile elde edilen FNBW ve DRR değerleri hariç diğer tüm yöntemler ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 3.49-3.55'te DKÇKA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait dizi elemanlarının genlik değerleri Tablo 3.39'da verilmiştir.



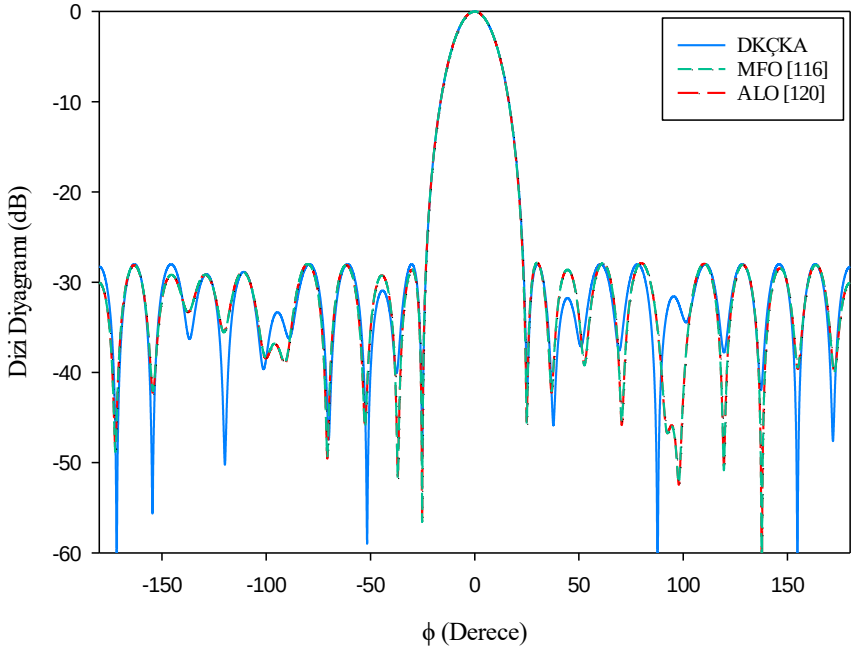
Şekil 3.49. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, MFO [116] ve ALO [120] ile elde edilen ışıma diyagramları



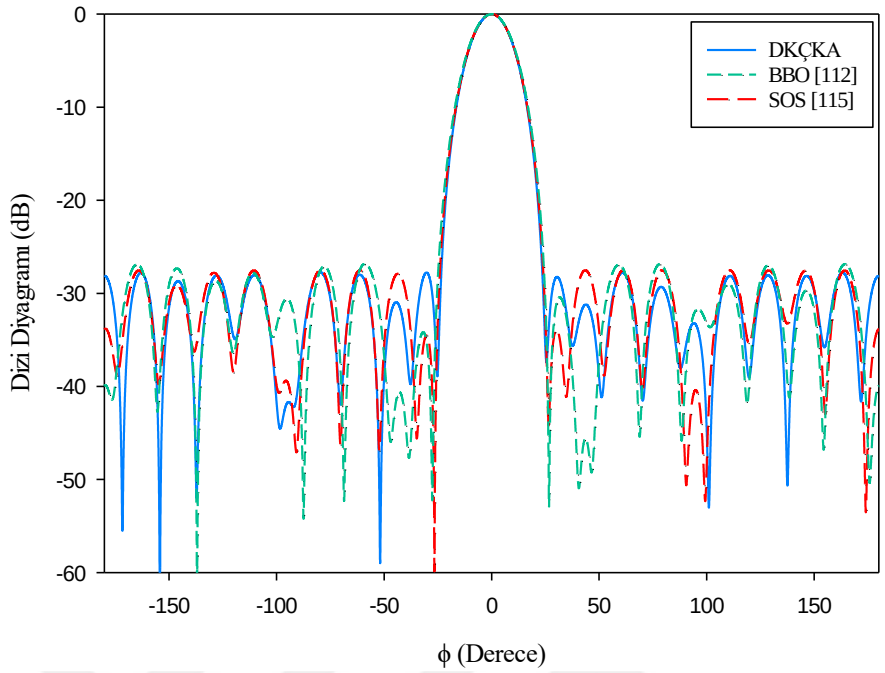
Şekil 3.50. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, BBO [112] ve ALO-SQP [124] ile elde edilen ışıma diyagramları



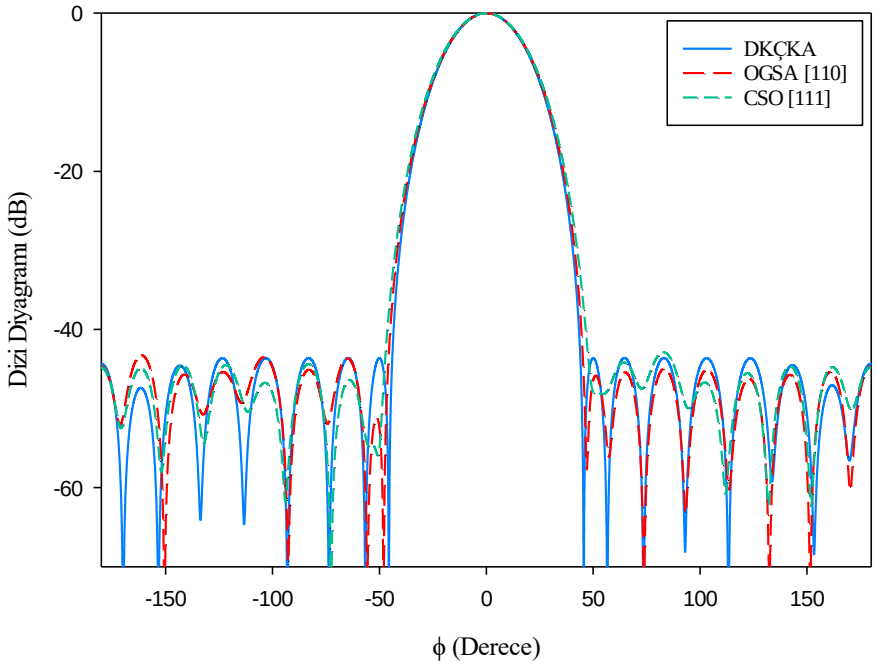
Şekil 3.51. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, EP [97], SQP [112] ve ALO-SQP [124] ile elde edilen ışıma diyagramları



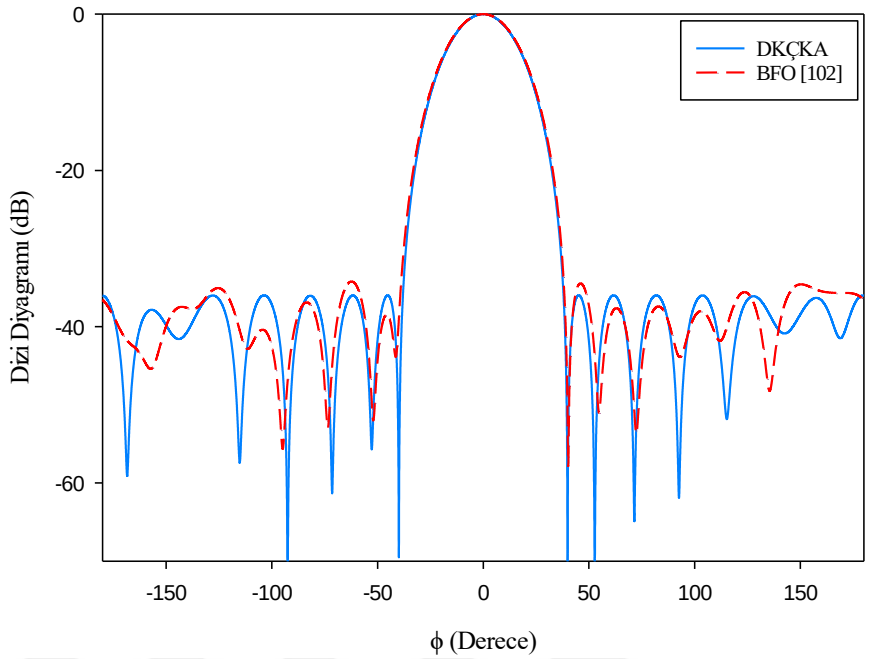
Şekil 3.52. N_1=8, N_2=10, N_3=12 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, MFO [116] ve ALO [120] ile elde edilen ışıma diyagramları



Şekil 3.53. N_1=8, N_2=10, N_3=12 elemana sahip eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, BBO [112] ve SOS [115] ile elde edilen ışıma diyagramları



Şekil 3.54. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip merkezi elemanı olan eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA, OGSA [110] ve CSO [111] ile elde edilen ışıma diyagramları



Şekil 3.55. N_1=4, N_2=6, N_3=8 elemana sahip merkezi elemanı olan eşmerkezli dairesel dizi için DKÇKA ve BFO [102] ile elde edilen ışıma diyagramları

Tablo 3.38. Şekil 3.49-3.55'de gösterilen dizi diyagramlarının MSL, FNBW ve DRR değerleri.

	Algoritma	MSL (dB)	FNBW (derece)	DRR ($\lvert I_{mak}/I_{min}\rvert$)
Şekil 3.49	DKÇKA	-37.53	80.88	3.1666
	MFO [116]	-36.84	81.18	3.2928
	ALO [120]	-36.95	81.54	3.2992
Şekil 3.50	DKÇKA	-31.27	75.02	4.4247
	BBO [112]	-30.60	75.11	4.4425
	ALO-SQP [124]	-31.18	74.62	4.3197
Şekil 3.51	DKÇKA	-33.70	76.38	10.0000
	EP [97]	-31.90	78.50	18.8021
	SQP [112]	-33.16	80.80	49.2611
	ALO-SQP [124]	-33.67	76.24	7.9936
Şekil 3.52	DKÇKA	-27.99	50.38	7.4516
	MFO [116]	-27.92	50.22	18.7394
	ALO [120]	-27.83	50.22	18.6449

Şekil 3.53	DKÇKA	-27.72	50.79	7.7399
	BBO [112]	-26.83	54.37	8.2372
	SOS [115]	-27.51	53.17	17.1529
Şekil 3.54	DKÇKA	-43.60	-91.20	9.199
	OGSA [110]	-43.25	-95.12	10.837
	CSO [111]	-42.88	101.76	11.628
Şekil 3.55	DKÇKA	-35.97	-79.87	4.796
	BFO [102]	-34.18	-81.50	4.887

Tablo 3.39. Şekil 3.49-3.55'de DKÇKA ile elde edilen dizi diyagramları için eleman genlik değerleri.

	$[I_{11}, I_{12}, I_{13}, ..., I_{MN} - I_c]$
Şekil 3.49	0.9971 0.8931 0.9791 0.9106; 0.8014 0.7812 0.9950 0.7775 0.8011 0.9809; 0.6097 1.0000 0.6005 0.3647 0.5858 0.9780 0.5959 0.3158
Şekil 3.50	0.2677 0.7711 0.2261 0.7130; 0.4335 0.4899 1.0000 0.5040 0.4417 1.0000; 0.5258 0.8097 0.5281 0.2260 0.4882 0.7535 0.4963 0.2369
Şekil 3.51	0.1000 0.6639 0.1000 0.6741; 0.4177 0.4129 1.0000 0.4128 0.4176 0.9956; 0.4873 0.7000 0.4889 0.2366 0.4891 0.7003 0.4875 0.2351
Şekil 3.52	0.6492 0.3230 0.7411 0.9107 0.7653 0.2505 0.6559 0.6034; 0.3927 0.1342 0.1415 0.6979 0.5493 0.6562 0.1841 0.1508 0.4344 0.4063; 0.4124 0.2310 1.0000 0.3912 0.3495 0.4437 0.3202 0.3560 0.9464 0.2256 0.3435 0.5025
Şekil 3.53	0.6239 0.3156 0.7093 0.8890 0.8278 0.3022 0.7316 0.6745; 0.4069 0.1648 0.1293 0.6314 0.4908 0.7107 0.1626 0.1292 0.4746 0.4609; 0.3593 0.1764 0.9502 0.2976 0.4196 0.4585 0.3890 0.4451 1.0000 0.2849 0.2823 0.4474
Şekil 3.54	0.9650 0.9968 0.9592 1.0000; 0.7410 0.7384 0.3594 0.7349 0.7375 0.3571; 0.3886 0.5407 0.3905 0.1107 0.3908 0.5300 0.3889 0.1087; 0.6246
Şekil 3.55	0.4408 0.9439 0.4628 0.8935; 0.6031 0.6298 0.9979 0.6291 0.6026 1.0000; 0.5652 0.8029 0.5747 0.2374 0.5668 0.8325 0.5585 0.2396; 0.2085

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, DMOA, DSSA ve DKÇKA doğrusal, eliptik, dairesel ve eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi için kullanılmıştır.

DMOA kullanılarak doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yerleri kontrol edilerek düşük yan demet seviyesine sahip anten dizi diyagramları elde edilmiştir. DMOA'nın performansını test etmek için sadece genlik, sadece yer ve sadece faz kontrolü yapılarak doğrusal anten dizilerinde tekli, çoklu ve geniş sıfırlara sahip diyagramlar da tasarlanmıştır. DMOA ile elde edilen diyagramların ana demet genişliğinin, yan demet ve sıfır derinlik seviyeleri ile birlikte çalışma aralığı oranının oldukça iyi olduğu görülmüştür. MOA da yapılan değişikliğin etkisini görmek amacıyla MOA ve DMOA'ya ait yakınsama eğrileri karşılaştırılmıştır. Sonuçta DMOA'nın orijinal MOA'ya göre daha hızlı optimum sonuçlar ürettiği görülmüştür. Ayrıca elemanlarından bir kısmı arızalanan doğrusal anten dizisinin ışıma diyagramında meydana gelen bozulmaların giderilmesi amacıyla sağlam kalan dizi elemanlarının genlik değerleri DMOA kullanılarak yeniden belirlenmiştir. Böylece bozulan elemanlardan kaynaklanan dizi diyagramı üzerindeki olumsuz etkiler büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. DMOA ile gerçekleştirilen arızalı elemanlı dizi sentezinde oldukça iyi yan demet seviyelerine ve ana demet genişliğine sahip diyagramlar elde edilmiştir.

SSA'nın değiştirilmesi ile elde edilen DSSA, eliptik anten dizi diyagramlarında dar ana demet genişliği ve düşük yan demet seviyeleri elde etmek için kullanılmıştır. DSSA ile yapılan sentez çalışmalarında dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece yerleri kontrol

edilmiştir. DSSA'nın esnekliğini ve performansını test etmek için farklı sayıda elemana sahip eliptik anten dizileri tasarlanmıştır. SSA'da yapılan değişikliğin algoritmaya etkisini göstermek amacıyla SSA ve DSSA'ya ait yakınsama eğrileri verilmiştir. DSSA'nın eliptik anten dizi sentezi problemi için daha hızlı yakınsama eğrisine sahip olduğu görülmüştür. Optimizasyon işlemlerine ortalama yan demet seviyesi, standart sapma değeri ve optimizasyon süresi de eklenmiştir. DSSA ile elde edilen yan demet seviyelerinin, ortalama yan demet seviyelerinin, standart sapma değerlerinin ve optimizasyon sürelerinin oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her bir örnek için elde edilen yan demet seviyeleri kutu grafiği ile gösterilmiştir. Yan demet seviyelerinin az salınım yaptığı ve kararlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

DKÇKA, dairesel ve eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagram sentezi için kullanılmıştır. Dairesel dizi elemanlarının hem genlikleri ve hem yerleri birlikte kontrol edilerek düşük yan demet seviyesine sahip diyagramlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon işlemlerinde dairesel dizinin büyüklüğü de dikkate alınmıştır. DKÇKA ile elde edilen sonuçlar literatürde yer alan algoritmalar ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan DKÇKA ile elde edilen diyagramlara ait yan demet seviyelerinin ve dizi büyüklüklerinin genel olarak daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca simülasyon sonuçlarının istatistiksel sonuçları da verilmiştir. Ortalama yan demet seviyeleri ve standart sapma değerleri DKÇKA ile elde edilen sonuçların kararlı olduğunu ortaya koymuştur. Dairesel anten dizi sentezi problemi için DKÇKA ve KÇKA'ya ait yakınsama eğrileri de verilmiştir. Algoritmada yapılan değişikliğin yakınsama eğrisine olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Eşmerkezli dairesel anten dizilerinde dar ana demet genişliğine ve düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramları elde edebilmek için DKÇKA kullanılarak dizi elemanlarının sadece genlik değerleri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen optimizasyon işlemlerinde maliyet fonksiyonuna çalışma aralığı oranı da dahil edilmiştir. DKÇKA ile dar ana demet genişliğine, düşük yan demet seviyesine ve düşük çalışma aralığı oranına sahip diyagramların başarılı bir şekilde elde edilebildiği gösterilmiştir.

DMOA, DSSA ve DKÇKA ile elde edilen diyagramlara ait sonuçlar literatürdeki mevcut metotların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak, DMOA, DSSA ve DKÇKA

kullanılarak elde edilen sonuçların diğer metotlarla elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında önerilen DMOA, DSSA ve DKÇKA kullanılarak farklı yapılarda anten dizi sentezi çalışmaları ve çeşitli mühendislik problemleri için çözümler üretilebilir. DMOA, DSSA ve DKÇKA üzerinde yapılacak olan farklı değişiklikler veya başka algoritmalar ile birleştirilmesiyle oluşturulan melez yapılar ile daha yüksek performansa sahip algoritmalar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Ma, M.T., 1974. Theory and Application of Antenna Arrays. John Wiley and Sons, New York
2. Balanis, C.A., 2016. Antenna Theory: Analysis and Design, Fourth Edition. John Wiley and Sons, New York
3. Mailloux, R.J., 2005. Phased Array Antenna Handbook, Second Edition. Artech House, Boston
4. Schelkunoff, S.A., 1943. A mathematical theory of linear arrays. Bell System **Technical Journal**, **22** (1): 80–107.
5. Dolph, C.L., 1946. A current distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beam width and side-lobe level. **Proceedings of the IRE and Waves and Electrons**, **34** (6): 335–348.
6. Taylor, T.T., 1955. Design of line-source antennas for narrow beamwidth and low side lobes. **Transactions of the IRE Professional Group on Antennas and Propagation**, **3** (1): 16–28.
7. Vu, T.B., 1986. Simultaneous nulling in sum and difference patterns by amplitude control. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **34** (2): 214–218.
8. Ibrahim, H.M., 1991. Null steering by real-weight control-a method of decoupling the weights. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **39** (11): 1648–1650.
9. Liao, W.P., Chu, F.L., 1997. Null steering in planar arrays by controlling only current amplitudes using genetic algorithms. **Microwave and Optical Technology Letters**, **16** (2): 97–103.
10. Liao, W.P., Chu, F.L., 1999. Array pattern synthesis with null steering using genetic algorithms by controlling only the current amplitudes. **International Journal of Electronics**, **86** (4): 445–457.
11. Guney, K., Akdagli, A., 2001. Null steering of linear antenna arrays using modified tabu search algorithm. **Progress in Electromagnetics Research**, **33**: 167–182.

12. Karaboga, N., Guney, K., Akdagli, A., 2002. Null steering of linear antenna arrays with use of modified touring ant colony optimization algorithm. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, **12** (4): 375–383.
13. Yang, S., Gan, Y.B., Qing, A., 2004. Antenna array pattern nulling using a differential evolution algorithm. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, **14** (1): 57–63.
14. Babayigit, B., Akdagli, A., Guney, K., 2006. A clonal selection algorithm for null synthesizing of linear antenna arrays by amplitude control. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, **20** (8): 1007–1020.
15. Guney, K., Onay, M., 2007. Amplitude-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of bees algorithm. **Progress in Electromagnetics Research**, **70**: 21–36.
16. Guney, K., 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.
17. Guney, K., Babayigit, B., 2008. Amplitude-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of an immune algorithm. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 18** (5): 397–409.
18. Başbuğ, S., 2008. Bakteriyel Besin Arama Algoritması ile Lineer Anten Dizilerinin Diyagram Sıfırlaması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
19. Guney, K., Durmus, A., Basbug, S., 2009. A plant growth simulation algorithm for pattern nulling of linear antenna arrays by amplitude control. **Progress In Electromagnetics Research B**, **17**: 69–84.
20. Singh, U., Kumar, H., Kamal, T.S., 2010. Linear array synthesis using biogeography based optimization. **Progress in Electromagnetics Research M**, **11**: 25–36.
21. Van, L., T., Giang, T. V. B. 2018. Null-steering beamformer using bat algorithm. **The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)**, 23-29.
22. Guney, K., Basbug, S., 2011. Seeker optimization algorithm for interference suppression of linear antenna arrays by controlling position-only, phase-only, and

amplitude-only. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, **21** (5): 505–518.

23. Guney, K., Onay, M., 2011. Optimal synthesis of linear antenna arrays using a harmony search algorithm. **Expert Systems with Applications**, **38** (12): 15455–15462.
24. Mandal, D., Kumar, R., Kar, R., Ghoshal, S.P., 2011. Wide nulls control of linear antenna array using craziness based particle swarm optimization, 189–193. *IEEE Student Conference on Research and Development*, 2011. Proceedings, Cyberjaya, Malaysia,
25. Kurt, E., 2014. Kuşlarda eş seçme algoritması ile lineer anten dizi diyagram sıfırlama. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
26. Sharaqa, A., Dib, N., 2014. Design of linear and elliptical antenna arrays using biogeography based optimization. **Arabian Journal for Science and Engineering**, **39**: 2929–2939.
27. Guney, K., Durmus, A., 2015. Pattern nulling of linear antenna arrays using backtracking search optimization algorithm. **International Journal of Antennas and Propagation**, **2015**: 1-10.
28. Saxena, P., Kothari, A., 2016. Optimal pattern synthesis of linear antenna array using grey wolf optimization algorithm. **International Journal of Antennas and Propagation**, **2016**: 1-12.
29. Saxena, P., Kothari, A., 2016. Ant lion optimization algorithm to control side lobe level and null depths in linear antenna arrays. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, **70**(9): 1339-1349.
30. Steyskal, H., 1983. Simple method for pattern nulling by phase perturbation. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **31**(1): 163–166.
31. Shore, R.A., 1984. Nulling a symmetric pattern location with phase-only weight control. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **32**(5): 530–533.
32. Haupt, R.L., 1997. Phase-only adaptive nulling with a genetic algorithm. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **45**(6): 1009–1015.
33. Vicente-Lozano, M., Ares-Pena, F., 1999. Phase-only null fixing in equispaced linear arrays using roots searching. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, **13**(11): 1569–1578.

34. Ismail, T.H., Mismar, M.J., 1999. Null steering with arbitrary phase perturbations using dual phase shifters. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, **13**(8): 1021–1029.
35. Vescovo, R., 2000. Null synthesis by phase control for antenna arrays. **Electronics Letters**, **36**(3): 198–199.
36. Akdagli, A., Guney, K., 2004. Null steering of linear antenna arrays by phase perturbations using modified tabu search algorithm. **Journal of Communications Technology and Electronics**, **49**: 37–42.
37. Guney, K., Babayigit, B., Akdagli, A., 2008. Interference suppression of linear antenna arrays by phase-only control using a clonal selection algorithm. **Journal of the Franklin Institute**, **345**(3): 254–266.
38. Guney, K., Basbug, S., 2008. Phase-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of a bacterial foraging algorithm. **Neural Network World**, **18**(4): 257–273.
39. Hsu, C.H., Shyr, W.J., 2008. Adaptive pattern nulling design of linear array antenna by phase-only perturbations using memetic algorithms. **Communications in Numerical Methods in Engineering**, **24**(11): 1121–1133.
40. Ghayoula, R., Fadlallah, N., Gharsallah, A., Rammal, M., 2009. Phase-only adaptive nulling with neural networks for antenna array synthesis. **IET Microwaves, Antennas & Propagation**, **3**(1): 154-163.
41. Ismail, T.H., Hamici, Z.M., 2010. Array pattern synthesis using digital phase control by quantized particle swarm optimization. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 58**(6): 2142–2145.
42. Kaur, K., Banga, V.K., 2013. Synthesis of linear antenna array using firefly algorithm. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, **4**: 601–606.
43. Ye, J.F., Wang, Y.F., 2013. Broad null steering by phase only perturbation using immune algorithm. **Applied Mechanics and Materials**, **321-324**: 2749–2753.
44. Liu, D., Feng, Q., Wang, W.B. 2013. Discrete optimization problems of linear array synthesis by using real number particle swarm optimization. **Progress in Electromagnetics Research**, **133**: 407–424.

45. Ismail, T.H., Dawoud, M.A., 1991. Null steering in phased arrays by controlling the element positions. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **39**(11): 1561–1566.
46. Tennant, A., Dawoud, M.M., Anderson, AP., 1994. Array pattern nulling by element position perturbations using a genetic algorithm. **Electronics Letters**, **30**(3): 174–176.
47. Dawoud, M.M., 1995. Null steering in scanned linear arrays by element position perturbations. **International Journal of Electronics**, **78**(4): 743–757.
48. Kumar, B.P., Branner, G.R., 1999. Design of unequally spaced arrays for performance improvement. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **47**: 511–523.
49. Akdagli, A., Guney, K., 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**(10): 1423–1441.
50. Kurup, D.G., Himdi, M., Rydberg, A., 2003. Synthesis of uniform amplitude unequally spaced antenna arrays using the differential evolution algorithm. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **51**(9): 2210–2217.
51. Khodier, M.M., 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.
52. Abu-Al-Nadi, D.I., Ismail, T.H., Mismar, M.J., 2006. Interference suppression by element position control of phased arrays using LM algorithm. **AEU - International Journal of Electronics and Communications**, **60**(2): 151–158.
53. Guney, K., Babayigit, B., Akdagli, A., 2007. Position only pattern nulling of linear antenna array by using a clonal selection algorithm (CLONALG). **Electrical Engineering**, **90**(2): 147–153.
54. Guney, K., Onay, M., 2007. Bees algorithm for null synthesizing of linear antenna arrays by controlling only the element positions. **Neural Network World**, **17**(2): 153–169.
55. Hejres, J.A., Peng, A., Hijres, J., 2007. Fast method for sidelobe nulling in a partially adaptive linear array using the elements positions. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **6**: 332–335.

56. Rajo-Iglesias, E., Quevedo-Teruel, O., 2007. Linear array synthesis using an ant colony optimization based algorithm. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, **49**(2): 70–79.
57. Cengiz, Y., Tokat, H., 2008. Linear antenna array design with use of genetic, memetic and tabu search optimization algorithms. **Progress in Electromagnetics Research C**, **1**:63-72.
58. Aksoy, E., Afacan, E., 2009. Planar antenna pattern nulling using differential evolution algorithm. AEU - International Journal of Electronics and Communications, 63 (2): 116–122.
59. Pal, S., Qu, B.Y., Das, S., Suganthan, P.N., 2010. Optimal synthesis of linear antenna arrays with multi-objective differential evolution. **Progress in Electromagnetics Research B**, **21**: 87–111.
60. Gunes, F., Tokan, F., 2010. Pareto optimal synthesis of the linear array geometry for minimum sidelobe level and null control during beam scanning. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, **20** (5): 557–566.
61. Goudos, S.K., Moysiadou, V., Samaras, T., Siakavara, K., Sahalos, J.N., 2010. Application of a comprehensive learning particle swarm optimizer to unequally spaced linear array synthesis with sidelobe level suppression and null control. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **9**: 125–129.
62. Chowdhury, A., Giri, R., Ghosh, A., Das, S., Abraham, A., Snasel, V., 2010. Linear antenna array synthesis using fitness-adaptive differential evolution algorithm. **In IEEE Congress on Evolutionary Computation** (pp. 1-8). IEEE.
63. Guney, K., Basbug, S., 2011. Bacterial foraging algorithm for null synthesizing of linear antenna arrays by controlling only the element positions. **Journal of Optimization Theory and Applications**, **150**(3): 635–656.
64. Rani, A.N.K., Malek, M.F.A., Neoh, S.I.E.W., 2012. Nature-inspired cuckoo search algorithm for side lobe suppression in a symmetric linear antenna array. **Radioengineering, 21**: 865–874.
65. Bhattacharya, R., Bhattacharyya, T.K., Garg, R., 2012. Position mutated hierarchical particle swarm optimization and its application in synthesis of unequally spaced antenna arrays. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **60**(7): 3174–3181.

66. Pappula, L., Ghosh, D., 2014. Linear antenna array synthesis using cat swarm optimization. **International Journal of Electronics and Communications**, **68**(6): 540–549.
67. Guney, K., Basbug, S., 2014. Linear antenna array synthesis using mean variance mapping method. **Electromagnetics**, **34**(2): 67–84.
68. Kurt, E., Basbug, S., Guney, K., 2021. Linear Antenna Array Synthesis by Modified Seagull Optimization Algorithm. **The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)**, **36**(12): 1552-1562.
69. Ng, T.S., Cheah, J.Y.C., Paoloni, F.J., 1985. Optimization with controlled null placement in antenna array pattern synthesis. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **33**(2): 215–217.
70. Steyskal, H., Shore, R.A., Haupt, R.L., 1986. Methods for null control and their effects on the radiation pattern. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **34**(3): 404–409.
71. Stuckman, B.E., Hill, J.C., 1990. Method of null steering in phased array antenna systems. **Electronics Letters**, **26**(15): 1216–1218.
72. Vescovo, R., 1996. Pattern synthesis with null constraints for circular arrays of equally spaced isotropic elements. **IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation**, **143**(2): 103–106.
73. Chung, Y.C., Haupt, R.L., 2000. Amplitude and phase adaptive nulling with a genetic algorithm. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, **14** (5): 631–649.
74. Guney, K., Akdagli, A., 2001. Null steering of linear antenna arrays using a modified tabu search algorithm. Book series of Progress in Electromagnetics Research, JA Kong (Editor), 33: 167–182.
75. Karaboga, D., Guney, K., Akdagli, A., 2004. Antenna array pattern nulling by controlling both amplitude and phase using modified touring ant colony optimization algorithm. **International Journal of Electronics**, **91**(4): 241–251.
76. Mouhamadou, M., Vaudon, P., 2007. Complex weight control of array pattern nulling. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering**, **17**(3): 304–310.

77. Wang, H., Fang, D.G., Chow, Y.L., 2008. Grating lobe reduction in a phased array of limited scanning. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **56**(6): 1581–1586.

78. Guney, K., Onay, M., 2010. Bees algorithm for interference suppression of linear antenna arrays by controlling the phase-only and both the amplitude and phase. **Expert Systems with Applications**, **37**(4): 3129–3135.

79. Abu-Al-Nadi, D.I., Ismail, T.H., Al-Tous, H., Mismar, M.J., 2012. Design of linear phased array for interference suppression using array polynomial method and particle swarm optimization. **Wireless Personal Communications**, **63**(2): 501–513.

80. Singh Grewal, N., Rattan, M., Singh Patterh, M., 2017. A linear antenna array failure correction using improved bat algorithm. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 27**(7), 1-16.

81. Bai, G., Feng, J., Liu, Y., Cheng, Y. F., Liao, C., 2022. Failure correction of antenna arrays using convex optimization. **Microwave and Optical Technology Letters, 64**(6): 1097-1103.

82. Yeo, B.K., Lu, Y., 1999. Array failure correction with a genetic algorithm. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **47**: 823–828.

83. Rodriguez, J.A., Ares, F., Moreno, E., Franceschetti, G., 2000. Genetic algorithm procedure for linear array failure correction. **Electronics Letters**, **36** (3): 196–198.

84. Grewal, N.S., Rattan, M., Patterh, M.S., 2012. A linear antenna array failure correction using firefly algorithm. **Progress In Electromagnetics Research M**, **27**: 241–254.

85. Guney, K., Durmus, A., Basbug, S., 2014. Antenna array synthesis and failure correction using differential search algorithm. **International Journal of Antennas and Propagation Progress**, **2014**: 1–8.

86. Akdağlı, A., 2002. Tabu Araştırma ve Karınca Koloni Optimizasyon Algoritmaları ile Anten Dizilerinde Demet Şekillendirme ve Diyagram Sıfırlama. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

87. Tian, Y.B., Qian, J., 2005. Improve the performance of a linear array by changing the spaces among array elements in terms of genetic algorithm. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **53** (7): 2226–2230.

88. Panduro, M.A., Mendez, A.L., Dominguez, R., Romero, G., 2006. Design of non-uniform circular antenna arrays for side lobe reduction using the method of genetic algorithms. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, **60**(10): 713–717.
89. Albagory, Y.A., Dessouky, M., Sharshar, H., 2007. An approach for low sidelobe beamforming in uniform concentric circular arrays. **Wireless Personal Communications**, **43**(4): 1363–1368.
90. Panduro, M.A., Brizuela, C.A., 2008. Evolutionary multi-objective design of non-uniform circular phased arrays. Compel: **The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering**, **27**(2): 551–566.
91. Shihab, M., Najjar, Y., Dib, N., Khodier, M., 2008. Design of non-uniform circular antenna arrays using particle swarm optimization. **Journal of Electrical Engineering-Elektrotechnicky Casopis**, **59**(4): 216–220.
92. Lotfi Neyestanak, A.A., Ghiamy, M., Naser-Moghaddasi, Saadeghzadeh, M.R.A., 2008. Investigation of hybrid elliptical antenna arrays. **IET Microwaves, Antennas & Propagation**, **2**: 28–34.
93. Saadeghzadeh, R., Neyestanak, A., Moghaddasi M., Ghiamy, M., 2008. A comparison of various hybrid elliptical antenna arrays. **Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering, 7**: 98–106.
94. Jhang, J.Y., Lee, K.C., 2009. Array pattern optimization using electromagnetism-like algorithm. **AEU - International Journal of Electronics and Communications, 63**(6): 491–496.
95. Rattan, M., Patterh, M.S., Sohi, B.S., 2009. Optimization of circular antenna arrays of isotropic radiators using simulated annealing. **International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 1**(05): 441–446.
96. Ren, X.F., Azevedo, J.A., Casimiro, A.M., 2009. Synthesis of non-uniformly spaced arrays using the fourier transform and window techniques. **IET Microwaves, Antennas & Propagation, 3**(8): 1245–1253.
97. Mandal, D., Ghoshal, S.P., Bhattacharjee, A.K., 2010. Design of concentric circular antenna array with central element feeding using particle swarm optimization with constriction factor and inertia weight approach and evolutionary programing

technique. **Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 31**(6): 667–680.

98. Singh, U., Kamal, T.S., 2011. Design of non-uniform circular antenna array using biogeography-based optimisation. **IET Microwaves, Antennas & Propagation, 5**(11): 1365–1370.
99. Mandal, D., Ghoshal, S.P., Bhattacharjee, A.K., 2011. Application of evolutionary optimization techniques for finding the optimal set of concentric circular antenna array. **Expert Systems with Applications, 38**(4): 2942–2950.
100. Onay, M., 2011. Arılar Algoritması, Armoni Arama Algoritması ve Yapay Balık Sürüsü Algoritması ile Lineer Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
101. Dib, N., Sharaqa, A., 2012. On the optimal design of non-uniform circular antenna Arrays. **Journal of Applied Electromagnetism, 14**(1). 42-59.
102. Mandal, D., Goswami, B., Kar, R., Ghoshal, S.P., Bhattacharjee, A.K., 2012. Application of Bio-Inspired Optimization Technique for Finding the Optimal set of Concentric Circular Antenna Array with Central Element Feeding. **ACEEE International Journal on Information Technology, 2**(2): 6–10.
103. Zhang, F., Jia, W., Yao, M., 2013. Linear aperiodic array synthesis using differential evolution algorithm. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 12**: 797–800.
104. Sharaqa, A., Dib, N., 2013. Position-only side lobe reduction of a uniformly excited elliptical antenna array using evolutionary algorithms. **IET Microwaves, Antennas & Propagation, 7**: 452–457
105. Zare, A., 2013. Elliptical antenna array pattern synthesis with fixed side lobe level and suitable main beam beamwidth by genetic algorithm. **Majlesi Journal of Telecommunication Devices, 1**: 113–120.
106. Guney, K., Durmus, A., Basbug, S., 2014. Backtracking search optimization algorithm for synthesis of concentric circular antenna arrays. **International Journal of Antennas and Propagation, 2014**: 1–11.
107. Başbuğ, S., 2014. Metasezgisel Algoritmalar ile Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

108. Guney, K., Basbug, S., 2014. A parallel implementation of seeker optimization algorithm for designing circular and concentric circular antenna arrays. **Applied Soft Computing, 22**: 287-296.

109. Sharaqa, A., Dib, N., 2014. Circular antenna array synthesis using firefly algorithm. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 24**(2): 139-146.

110. Ram, G., Mandal, D., Kar, R., Prasad Ghoshal, S., 2015. Opposition based gravitational search algorithm for synthesis circular and concentric circular antenna arrays. **Scientia Iranica, 22**(6): 2457-2471.

111. Ram, G., Mandal, D., Kar, R., Ghoshal, S. P., 2015. Circular and concentric circular antenna array synthesis using cat swarm optimization. **IETE Technical Review, 32**(3): 204-217.

112. Dib, N., Sharaqa, A., 2015. Design of non-uniform concentric circular antenna arrays with optimal sidelobe level reduction using biogeography-based optimization. **International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 7**(2), 161-166.

113. Durmuş, A., 2016. Bitki Gelişim Simülasyon, Diferansiyel Arama ve Geri-İzleme Arama Optimizasyon Algoritmaları ile Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

114. Babayigit, B., Senyigit, E., 2017. Design optimization of circular antenna arrays using Taguchi method. **Neural Computing and Applications, 28**(6): 1443-1452.

115. Dib, N., 2018. Design of planar concentric circular antenna arrays with reduced side lobe level using symbiotic organisms search. **Neural Computing and Applications, 30**(12): 3859-3868.

116. Das, A., Mandal, D., Ghoshal, S. P., Kar, R., 2018. Concentric circular antenna array synthesis for side lobe suppression using moth flame optimization. **AEU-international Journal of Electronics and Communications, 86**: 177-184.

117. Das, A., Mandal, D., Ghoshal, S. P., Kar, R., 2019. Moth flame optimization based design of linear and circular antenna array for side lobe reduction. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 32**(1): e2486.

118. Amaireh, A. A., Al-Zoubi, A. S., Dib, N. I., 2019. Sidelobe-level suppression for circular antenna array via new hybrid optimization algorithm based on antlion

and grasshopper optimization algorithms. **Progress in Electromagnetics Research C, 93**: 49-63.

119. Dib, N., Amaireh, A., Al-Zoubi, A., 2019. On the optimal synthesis of elliptical antenna arrays. **International Journal of Electronics, 106**(1): 121-133.
120. Das, A., Mandal, D., Ghoshal, S. P., Kar, R., 2019. An optimal mutually coupled concentric circular antenna array synthesis using ant lion optimization. **Annals of Telecommunications, 74**(11): 687-696.
121. Taser, A. E., Guney, K., Kurt, E., 2020. Circular antenna array synthesis using multiverse optimizer. **International Journal of Antennas and Propagation, 2020**: 1-10.
122. Das, A., Mandal, D., & Kar, R., 2020. An optimal circular antenna array design considering mutual coupling using heuristic approaches. **International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 30**(11): e22391.
123. Chakravarthy, V. V. S. S. S., Chowdary, P. S. R., Dib, N., Anguera, J., 2022. Elliptical antenna array synthesis using evolutionary computing tools. **Arabian Journal for Science and Engineering, 47**(3): 2807-2824.
124. Taser, A. E., Guney, K., Kurt, E., 2022. Synthesizing of concentric circular antenna arrays by using a combination of ant lion optimizer and sequential quadratic programming. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields**, **2022**(e3071): 1-18.
125. Kurt, E., Basbug, S., Guney, K., 2022. Sidelobe level suppression for elliptical antenna arrays using modified Salp swarm algorithm. **Journal of Electrical Engineering-Elektrotechnicky Casopis, 73**(5): 325-331.
126. Xiangtao, L., Minghao, Y., 2013. Linear antenna array synthesis using orthogonal artificial bee colony algorithm. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 10**(11): 2568-2575.
127. Zhang, X., Zhang, X., Wang, L, 2018. Antenna design by an adaptive variable differential artificial bee colony algorithm. **IEEE Transactions on Magnetics, 54**(3): 1-4.
128. Swathi, A. V. S., Chakravarthy, V. V. S. S. S., Krishna, M. V., 2021. Circular antenna array optimization using modified social group optimization algorithm. **Soft Computing, 25**(15): 10467-10475.

129. Kundu, K., Bera, R., Pathak, N. N., 2022. Synthesis of Concentric Circular Antenna Array Using Whale Optimization Algorithm. **IETE Journal of Research**, 1-20.

130. Das, A., Mandal, D., Kar, R., 2020. Side lobe suppression of concentric circular antenna array using social spider algorithm. **IETE Journal of Research**, **68**(6): 4198-4207.

131. Dhiman, G., Kumar, V., 2019. Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems. **Knowledge-based systems, 165**: 169-196.

132. Panagant, N., Pholdee, N., Bureerat, S., Kaen, K., Yıldız, A. R., Sait, S. M., 2020. Seagull optimization algorithm for solving real-world design optimization problems. **Materials Testing, 62**(6): 640-644.

133. Che, Y., He, D., 2022. An enhanced seagull optimization algorithm for solving engineering optimization problems. **Applied Intelligence**, **52**: 13043–13081.

134. Abdelhamid, M., Houssein, E. H., Mahdy, M. A., Selim, A., Kamel, S., 2022. An improved seagull optimization algorithm for optimal coordination of distance and directional over-current relays. **Expert Systems with Applications, 200**: 1-20.

135. Xia, Q., Ding, Y., Zhang, R., Zhang, H., Li, S., Li, X., 2022. Optimal Performance and Application for Seagull Optimization Algorithm Using a Hybrid Strategy. **Entropy, 24**(7): 1-21.

136. Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., Mirjalili, S. M., 2017. Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. **Advances in engineering software, 114**: 163-191.

137. Qais, M. H., Hasanien, H. M., Alghuwainem, S., 2019. Enhanced salp swarm algorithm: Application to variable speed wind generators. **Engineering Applications of Artificial Intelligence, 80**: 82-96.

138. Panda, N., Majhi, S. K., 2020. Improved salp swarm algorithm with space transformation search for training neural network. **Arabian Journal for Science and Engineering, 45**(4): 2743-2761.

139. Bouchekara, H. R., Smail, M. K., Javaid, M. S., Shamsah, S. I., 2020. Optimization Design of Electromagnetic Devices Using an Enhanced Salp Swarm Algorithm. **The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)**, **35**(12): 1471-1476.

140. Duan, Q., Wang, L., Kang, H., Shen, Y., Sun, X., Chen, Q., 2021. Improved Salp Swarm Algorithm with Simulated Annealing for Solving Engineering Optimization Problems. **Symmetry, 13**(6): 1-24.

141. Wolpert, D. H., Macready, W. G., 1997. No free lunch theorems for optimization. **IEEE transactions on evolutionary computation, 1**(1): 67-82.

142. Dehghani, M., Hubálovský, Š., Trojovský, P., 2021. Northern goshawk optimization: a new swarm-based algorithm for solving optimization problems. **IEEE Access**, **9**: 162059-162080.

143. Liang, Y., Hu, X., Hu, G., Dou, W., 2022. An Enhanced Northern Goshawk Optimization Algorithm and Its Application in Practical Optimization Problems. **Mathematics, 10**(22): 1-33.

144. El-Dabah, M. A., El-Sehiemy, R. A., Hasanien, H. M., Saad, B., 2023. Photovoltaic model parameters identification using Northern Goshawk Optimization algorithm. **Energy, 262**: 1-18.

145. Wikimedia Commons, northern goshawk. **https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_goshawk** (Erişim Tarihi: 28 Eylül 2022).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Erhan KURT

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2014
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2011
Lise	Hacı Fatma Erdemir Anadolu Lisesi, Kırşehir	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012-Halen	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2012	Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Guney, K., Kurt, E. Effective side length formula for resonant frequency of equilateral triangular microstrip antenna. **International Journal of Electronics**, **103**(2), 2016: 261-268.
2. Taser, A. E., Guney, K., Kurt, E., 2020. Circular antenna array synthesis using multiverse optimizer. **International Journal of Antennas and Propagation**, 2020: 1-10.

3. Kurt, E., Basbug, S., Guney, K., 2021. Linear Antenna Array Synthesis by Modified Seagull Optimization Algorithm. **The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)**, **36**(12): 1552-1562.
4. Taser, A. E., Guney, K., Kurt, E., 2022. Synthesizing of concentric circular antenna arrays by using a combination of ant lion optimizer and sequential quadratic programming. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields**, **2022**(e3071): 1-18.
5. Kurt, E., Basbug, S., Guney, K., 2022. Sidelobe level suppression for elliptical antenna arrays using modified Salp swarm algorithm. **Journal of Electrical Engineering-Elektrotechnicky Casopis**, **73**(5): 325-331.
6. Guney, K., Kurt, E., Durmus, A. E., Salp Swarm Algorithm for Synthesis of Concentric Circular Antenna Arrays, *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, November 2-4, 2017.
7. Durmus, A. E., Guney, K., Kurt, E., Elliptical Antenna Array Synthesis Using Grasshopper Optimization Algorithm, *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, November 2-4, 2017.
8. Guney, K., Kurt, E., Durmus, A. E., Pattern Nulling of Linear Antenna Arrays Using Salp Swarm Algorithm, *Ist International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, April 11-13, 2018.