

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

**ÇOKLU EVREN, KARINCA ASLANI VE CIVIK MANTAR  
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ANTEN DİZİ  
SENTEZİ**

**Hazırlayan  
Ahmet Emre TAŞER**

**Danışman  
Prof. Dr. Kerim GÜNEY**

**Doktora Tezi**

**Haziran 2023  
KAYSERİ**



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

**ÇOKLU EVREN, KARINCA ASLANI VE CIVIK MANTAR  
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ANTEN DİZİ  
SENTEZİ  
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan  
Ahmet Emre TAŞER**

**Danışman  
Prof. Dr. Kerim GÜNEY**

**Haziran 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.

Ahmet Emre TAŞER

**“Çoklu Evren, Karınca Aslanı ve Cıvık Mantar Optimizasyon Algoritmaları ile Anten Dizi Sentezi”** adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Ahmet Emre TAŞER

**Danışman**

Prof. Dr. Kerim GÜNEY

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. Ferhat DALDABAN

## TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve desteği sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Kerim GÜNEY'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde bulunarak çalışmalarım sürecinde karşılaştığım zorlukları aşmamda kıymetli fikirleri ile yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR ve Prof. Dr. Celal YILDIZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca; bu zorlu yolculukta desteğini esirgemeyen, sabır ve emeklerinin karşılığını ödeyemeyeceğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet Emre TAŞER

Haziran 2023, KAYSERİ

# ÇOKLU EVREN, KARINCA ASLANI VE CIVIK MANTAR OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ANTEN DİZİ SENTEZİ

**Ahmet Emre TAŞER**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi, Haziran 2023**

**Danışman: Prof. Dr. Kerim GÜNEY**

## ÖZET

Anten dizileri sivil ve askeri haberleşme sistemlerinde aktif olarak kullanılmaktadır. Dizi tasarımı bu sistemlerin performansını direkt olarak etkilemekte olup, tasarımın doğru yapılması oldukça önemlidir. Anten dizi sentezi ile dizi elemanlarının genlik, konum ve faz değerleri belirlenerek istenen ışıma diyagramlarına sahip anten dizileri tasarlanabilmektedir.

Bu tezde Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması (DCEA), Çoklu Evren Algoritması (ÇEA), Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması (DKAA) ve Değiştirilmiş Cıvık Mantar Algoritması (DCMA) kullanılarak anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. DCEA ve ÇEA ile dairesel anten dizi elemanlarının konum ve genlik değerleri birlikte hesaplanarak yan demet bastırma yapılmıştır. Ayrıca, anten boyutunun sabit tutularak dizi elemanlarının konum ve genlik değerlerinin birlikte optimize edilmesiyle dizi diyagramında yan demet bastırma da gerçekleştirilmiştir. DKAA, eşmerkezli dairesel anten dizi elemanlarının sadece genlik değerlerini optimize ederek düşük yan demet seviyesine sahip dizi diyagramları elde etmek için kullanılmıştır. Son olarak DCMA ile hem eliptik hem de doğrusal anten dizi sentezi yapılmıştır. Eliptik anten dizisinde dizi elemanlarının sadece genlik değerleri optimize edilerek yan demet bastırma yapılmıştır. Doğrusal anten dizisinde ise sadece genlik ve sadece konum değerleri hesaplanarak yan demet bastırma ve diyagram sıfırlama gerçekleştirilmiştir.

DCEA, ÇEA, DKAA ve DCMA kullanılarak elde edilen bulgular literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kullanılan bu algoritmalar ile diğer metotlara göre anten dizi sentezinde genel olarak daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Anten dizileri, Anten dizi sentezi, Çoklu evren algoritması, Karınca aslanı algoritması, Cıvık mantar algoritması

# **ANTENNA ARRAY SYNTHESIS USING MULTIVERSE OPTIMIZER, ANT LION OPTIMIZER AND SLIME MOLD OPTIMIZATION ALGORITHM**

**Ahmet Emre TAŞER**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**PhD Thesis, June 2023**

**Supervisor: Prof. Dr Kerim GÜNEY**

## **ABSTRACT**

Antenna arrays are actively used in civil and military communication systems. Array design directly affects the performance of these systems, and so it is very important to make the antenna design correctly. With antenna array synthesis, antenna arrays with desired radiation patterns can be designed by determining the amplitude, position and phase values of the array elements.

In this thesis, antenna array synthesis is performed by using Modified Multiverse Optimizer (MMVO), Multiverse Optimizer (MVO), Modified Ant Lion Optimizer (MALO) and Modified Slime Mold Algorithm (MSMA). MMVO and MVO are used to perform side lobe suppression in the circular antenna array by calculating the position and amplitude values of the array elements. In addition, while the antenna circumference is kept constant, the position and amplitude values of the array elements are optimized together and side lobe suppression is performed. MALO is used for side lobe suppression by optimizing amplitude-only values of the array elements in the concentric circular antenna array. Finally, array synthesis is performed with MSMA for both elliptical and linear antenna arrays. In the elliptical antenna array synthesis, side lobe suppression is performed by optimizing amplitude-only values. In the linear antenna array synthesis, side lobe suppression and pattern nulling are performed by controlling only the amplitude and only the position values of array elements.

The results obtained using MMVO, MVO, MALO and MSMA are compared with the results in the literature. It has been shown that with these algorithms, generally more successful results can be obtained in antenna array synthesis compared to other methods.

**Keywords:** Antenna arrays, Antenna array synthesis, Multiverse optimizer, Ant lion optimizer, Slime mold algorithm

## İÇİNDEKİLER

### ÇOKLU EVREN, KARINCA ASLANI VE CIVIK MANTAR OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE 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.....  | xi   |
| TABLolar LİSTESİ.....         | xv   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....        | xvii |
| GİRİŞ .....                   | 1    |

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1.1. Anten Dizileri.....       | 2 |
| 1.2. Literatür Taraması .....  | 3 |
| 1.3. Tezin Amacı ve Önemi..... | 5 |

## 2. BÖLÜM

### ÇOKLU EVREN ALGORİTMASI, KARINCA ASLANI ALGORİTMASI VE CIVIK MANTAR ALGORİTMASI

|                                          |   |
|------------------------------------------|---|
| 2.1. Giriş .....                         | 8 |
| 2.2. Çoklu Evren Algoritması (ÇEA) ..... | 8 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2.3. Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması (DÇEA).....        | 12 |
| 2.4. Karınca Aslanı Algoritması (KAA).....                    | 13 |
| 2.4.1. Karıncaların Rastgele Yürüyüşleri .....                | 14 |
| 2.4.2. Tuzağın İnşa Edilmesi .....                            | 16 |
| 2.4.3. Avın Tuzak İçinde Karınca Aslanına Doğru Kayması.....  | 16 |
| 2.4.4. Avın Yakalanması ve Tuzağın Yeniden İnşa Edilmesi..... | 16 |
| 2.4.5. Elitizm .....                                          | 17 |
| 2.5. Ardışık Kuadratik Programlama (AKP).....                 | 18 |
| 2.6. Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması (DKAA) .....    | 19 |
| 2.7. Cıvık Mantar Algoritması (CMA).....                      | 20 |
| 2.7.1. Besine Yaklaşma .....                                  | 21 |
| 2.7.2. Besini Çevreleme .....                                 | 22 |
| 2.8. Değiştirilmiş Cıvık Mantar Algoritması (DCMA) .....      | 23 |

### 3. BÖLÜM

#### ÇOKLU EVREN ALGORİTMASI, KARINCA ASLANI ALGORİTMASI VE CIVIK MANTAR ALGORİTMASI İLE ANTEN DİZİ SENTEZİ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Giriş .....                                                                                   | 25 |
| 3.2. DÇEA ve ÇEA'nın Dairesel Anten Dizi Sentezine Uygulanması .....                               | 26 |
| 3.2.1. Dairesel Anten Dizisi.....                                                                  | 27 |
| 3.2.2. DÇEA ve ÇEA Kullanılarak Dairesel Anten Dizilerinde<br>Yan Demet Bastırma.....              | 28 |
| 3.3. DKAA'nın Eşmerkezli Dairesel Anten Dizi Sentezine Uygulanması.....                            | 36 |
| 3.3.1. Eşmerkezli Dairesel Anten Dizisi.....                                                       | 37 |
| 3.3.2. DKAA Kullanarak Eşmerkezli Dairesel Anten Dizilerinde<br>Yan Demet Bastırma.....            | 38 |
| 3.4. DCMA'nın Eliptik Anten Dizi Sentezine Uygulanması.....                                        | 51 |
| 3.4.1. Eliptik Anten Dizisi .....                                                                  | 52 |
| 3.4.2. DCMA Kullanarak Eliptik Anten Dizilerinde<br>Yan Demet Bastırma.....                        | 53 |
| 3.5. DCMA'nın Doğrusal Anten Dizi Sentezine Uygulanması.....                                       | 60 |
| 3.5.1. Doğrusal Anten Dizisi .....                                                                 | 61 |
| 3.5.2. DCMA Kullanarak Doğrusal Anten Dizilerinde<br>Yan Demet Bastırma ve Diyagram Sıfırlama..... | 61 |

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler .....75

KAYNAKÇA .....77

ÖZGEÇMİŞ.....87



## KISALTMALAR VE SİMGELER

### KISALTMALAR

|      |                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSL  | : Maksimum Yan Demet Seviyesi (Maximum Sidelobe Level)                                             |
| NDL  | : Sıfır Derinlik Seviyesi (Null Depth Level)                                                       |
| FNBW | : Birinci Sıfır Demet Genişliği (First Null Beam Width)                                            |
| DRR  | : Çalışma Aralığı Oranı (Dynamic Range Ratio)                                                      |
| ÇEA  | : Çoklu Evren Algoritması                                                                          |
| DÇEA | : Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması                                                            |
| KAA  | : Karınca Aslanı Algoritması                                                                       |
| AKP  | : Ardışık Kuadratik Programlama                                                                    |
| DKAA | : Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması                                                         |
| CMA  | : Cıvık Mantar Algoritması                                                                         |
| DCMA | : Değiştirilmiş Cıvık Mantar Algoritması                                                           |
| GA   | : Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)                                                            |
| PSO  | : Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyon)                                         |
| FA   | : Firefly Algorithm (Ateşböceği Algoritması)                                                       |
| SQP  | : Sequential Quadratic Programming (Ardışık Kuadratik Programlama)                                 |
| DE   | : Differential Evolution (Diferansiyel Gelişim)                                                    |
| SADE | : Self Adaptive Differential Evolution (Kendinden Uyarımlı DE)                                     |
| ALO  | : Ant Lion Optimizer (Karınca Aslanı Optimizasyon Algoritması)                                     |
| HA   | : Hybrid Algorithm (Hibrit Algoritma)                                                              |
| BBO  | : Biogeography-based Optimization (Biyocoğrafya-tabanlı optimizasyon)                              |
| SOA  | : Seeker Optimization Algorithm (Arayıcı Optimizasyon Algoritması)                                 |
| SA   | : Simulated Annealing (Benzetilmiş Tavlama)                                                        |
| MFO  | : Moth-Flame Optimization (Güve-Alev Optimizasyon)                                                 |
| BSA  | : Backtracking Search Algorithm (Geri-İzleme Arama Algoritması)                                    |
| SOS  | : Symbiotic Organisms Search (Simbiyotik Organizma Arama)                                          |
| OGSA | : Opposition-based Gravitational Search Algorithm (Karşıtlık-tabanlı Yer Çekimi Arama Algoritması) |
| GOA  | : Grasshopper Optimization Algorithm (Çekirge Optimizasyon Algoritması)                            |

|        |                                                                                          |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| CSO    | : Cat Swarm Optimization (Kedi Sürüşü Optimizasyon)                                      |
| EP     | : Evolutionary Programming (Evrimsel Programlama)                                        |
| MSSA   | : Modified Salp Swarm Algorithm (Değiştirilmiş Salp Sürüşü Algoritması)                  |
| FPA    | : Flower Pollination Algorithm (Çiçek Tozlaşması Algoritması)                            |
| APSO   | : Accelerated PSO (Hızlandırılmış PSO)                                                   |
| MSOA   | : Modified Seagull Optimization Algorithm (Değiştirilmiş Martı Optimizasyon Algoritması) |
| TSA    | : Tabu Search Algorithm (Tabu Araştırma Algoritması)                                     |
| FIADDE | : Fitness Adaptive Differential Evolution (Uygunluk Uyarlamalı DE)                       |
| MA     | : Memetic Algorithm (Memetik Algoritma)                                                  |
| HSA    | : Harmony Search Algorithm (Harmoni Arama Algoritması)                                   |
| DS     | : Differential Search (Diferansiyel Arama)                                               |
| CRPSO  | : Crazyness-based PSO (Çılgınlık-tabanlı PSO)                                            |
| GWO    | : Greywolf Optimizer (Gri kurt Optimizasyon Algoritması)                                 |
| ACO    | : Ant Colony Optimization (Karıncalar Koloni Optimizasyon)                               |
| BA     | : Bees Algorithm (Arılar Algoritması)                                                    |

## SİMGELER

|              |                                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------|
| $AF$         | : Dizi faktörü (Array factor)                            |
| $\theta$     | : Kutupsal açı                                           |
| $\phi$       | : Azimut açı                                             |
| $\lambda$    | : 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                      |
| $\alpha_n$   | : n'inci dizi elemanının uyarım fazı                     |
| $\rho_n$     | : n'inci elemanın orijine olan radyal mesafesi           |
| $\phi_n$     | : n'inci elemanın açısal pozisyonunu                     |
| $C$          | : Arzu edilen dizi çevre uzunluğu                        |
| $\phi_{MSL}$ | : Yan demet bastırma açısı aralığı                       |
| $AF_{max}$   | : Ana demetin tepe noktası                               |

|                |                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|
| $I_c$          | : Merkez dizi elemanının genliği                         |
| $M$            | : Eşmerkezli daire sayısı                                |
| $N_m$          | : m'inci halkadaki dizi eleman sayısı                    |
| $r_m$          | : m'inci halkanın yarıçapı                               |
| $\alpha_{mn}$  | : m'inci halkadaki n'inci dizi elemanının uyarım fazı    |
| $\phi_{mn}$    | : m'inci halkadaki n'inci elemanın açısal pozisyonunu    |
| $\sigma_{MSL}$ | : Yan demet seviyesini kontrol etmek için fonksiyon      |
| $f_{DRR}$      | : Çalışma aralığı oranını kontrol etmek için fonksiyon   |
| $MSL_d$        | : İstenilen yan demet seviyesi                           |
| $NDL_d$        | : İstenilen geniş sıfır derinlik seviyesi                |
| $f_{NDL}$      | : Sıfır derinlik seviyesini kontrol etmek için fonksiyon |
| $\sigma_{NDL}$ | : Geniş sıfır seviyesini kontrol etmek için fonksiyon    |
| $U_i$          | : Evren                                                  |
| $NI(U_i)$      | : Evrenin normalize edilmiş şişme oranı                  |
| WEP            | : Solucan deliği oluşma olasılığı                        |
| TDR            | : Seyahat uzaklık oranı                                  |
| $X$            | : En uygun evren                                         |
| $x_i^j$        | : Evrenin değişkeni                                      |
| $ub$           | : Popülasyonun üst sınırı                                |
| $lb$           | : Popülasyonun alt sınırı                                |
| $cumsum$       | : Kümülatif toplam                                       |
| $r(t)$         | : Stokastik fonksiyon                                    |
| $Antlion$      | : Karınca aslanının konumu                               |
| $Ant$          | : Karıncanın konumu                                      |
| $A_{ij}$       | : Karıncaya ait konum bilgisinin değişkeni               |
| $AL_{ij}$      | : Karınca aslanına ait konum bilgisinin değişkeni        |
| $M_{ant}$      | : Karıncaların konum matrisi                             |
| $M_{antlion}$  | : Karınca aslanlarının konum matrisi                     |
| $M_{fant}$     | : Karınca konumlarının uygunluk matrisi                  |
| $M_{fantlion}$ | : Karınca aslanı konumlarının uygunluk matrisi           |
| $t$            | : Mevcut iterasyon                                       |
| $T$            | : Maksimum iterasyon                                     |

|              |                                                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_A^t$      | : Rulet çarkı ile seçilmiş karınca aslanı etrafında gerçekleştirilen rastgele Yürüyüş |
| $R_E^t$      | : Elit karınca aslanı etrafında gerçekleştirilen rastgele yürüyüş                     |
| $L$          | : Lagrange fonksiyonu                                                                 |
| $W$          | : Lagrange fonksiyonunun Hessian'ı                                                    |
| $c$          | : Optimizasyon probleminin kısıtı                                                     |
| $\vec{X}$    | : Cıvık mantarın konumu                                                               |
| $\vec{X}_b$  | : En yoğun kokuyu bulan cıvık mantarın konumu                                         |
| $\vec{X}_A$  | : Rastgele seçilen cıvık mantarın konumu                                              |
| $\vec{X}_B$  | : Rastgele seçilen cıvık mantarın konumu                                              |
| $DF$         | : En iyi maliyet                                                                      |
| $S$          | : Cıvık mantarın konumunun uygunluğu                                                  |
| $condition$  | : Cıvık mantar popülasyonunun ilk yarısının uygunluk derecesi                         |
| $SmellIndex$ | : Sıralanmış uygunluk değerleri                                                       |
| $LB$         | : Çözüm uzayının alt sınırı                                                           |
| $UB$         | : Çözüm uzayının üst sınırı                                                           |
| $max_t$      | : Maksimum iterasyon                                                                  |
| $bF$         | : İterasyondaki en iyi uygunluk değeri                                                |
| $wF$         | : İterasyondaki en kötü uygunluk değeri                                               |
| $X_o$        | : Karşıt popülasyondaki cıvık mantar veya karınca                                     |
| $X_n$        | : Mevcut popülasyondaki cıvık mantar veya karınca                                     |

## TABLOLAR LİSTESİ

|             |                                                                                                                                                           |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1.  | Şekil 3.2’de gösterilen 8 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.....                                       | 30 |
| Tablo 3.2.  | Şekil 3.4’te gösterilen 10 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.....                                      | 31 |
| Tablo 3.3.  | Şekil 3.5’te gösterilen 12 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.....                                      | 32 |
| Tablo 3.4.  | Şekil 3.6’da gösterilen 20 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.....                                      | 33 |
| Tablo 3.5.  | Şekil 3.7’de gösterilen 20 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.....                                      | 34 |
| Tablo 3.6.  | DÇEA ve ÇEA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerine dair 20 çalışma sonucu elde edilen ortalama MSL ve standart sapma değerleri..... | 35 |
| Tablo 3.7.  | DÇEA ve ÇEA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman konum ve genlik değerleri.....                                                                 | 36 |
| Tablo 3.8.  | Şekil 3.10’da gösterilen eşmerkezli dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri... ..                                               | 40 |
| Tablo 3.9.  | Şekil 3.12’de gösterilen eşmerkezli dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri. ....                                               | 43 |
| Tablo 3.10. | Şekil 3.10 ve 3.12’de gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri. ....                                               | 43 |
| Tablo 3.11. | Şekil 3.13 ve 3.14’te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                                                                  | 46 |
| Tablo 3.12. | Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                                                            | 50 |
| Tablo 3.13. | Şekil 3.13’te gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri. ....                                                       | 50 |
| Tablo 3.14. | Şekil 3.14 – Şekil 3.17’de gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri. ....                                          | 51 |
| Tablo 3.15. | Şekil 3.19’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                                                                          | 55 |

|             |                                                                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.16. | Şekil 3.21 ve 3.22’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                               | 57 |
| Tablo 3.17. | Şekil 3.23 ve 3.24’te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                               | 59 |
| Tablo 3.18. | Şekil 3.19 - 3.24’te gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri. ....             | 60 |
| Tablo 3.19. | Şekil 3.26’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                                       | 64 |
| Tablo 3.20. | Şekil 3.26’da gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait genlik değerleri.....                            | 64 |
| Tablo 3.21. | Şekil 3.28’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.....                                       | 65 |
| Tablo 3.22. | Şekil 3.28’de gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramına ait genlik değerleri.....                               | 65 |
| Tablo 3.23. | Şekil 3.29 ve 3.30’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, NDL, FNBW ve DRR değerleri. ....                         | 68 |
| Tablo 3.24. | Şekil 3.29 ve 3.30’da gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait genlik değerleri.....                    | 68 |
| Tablo 3.25. | Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve dizi uzunluk değerleri. ....                     | 71 |
| Tablo 3.26. | Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait $\lambda$ cinsinden konum değerleri..... | 71 |
| Tablo 3.27. | Şekil 3.33’te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, NDL ve uzunluk değerleri.....                                    | 72 |
| Tablo 3.28. | Şekil 3.33’te gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramına ait $\lambda$ cinsinden konum değerleri. ....           | 72 |
| Tablo 3.29. | Şekil 3.34’te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve uzunluk değerleri.....                                   | 73 |
| Tablo 3.30. | Şekil 3.34’te gösterilen dizi diyagramlarına ait $\lambda$ cinsinden konum değerleri.....                              | 74 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|            |                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. | (a) Beyaz delik, (b) kara delik ve (c) solucan deliğinin temsili görseli.....                                                                                                                                                | 9  |
| Şekil 2.2. | Rulet çarkı modelinin sözde kodu .....                                                                                                                                                                                       | 11 |
| Şekil 2.3. | ÇEA'nın sözde kodu.....                                                                                                                                                                                                      | 12 |
| Şekil 2.4. | (a) Karınca aslanına ait koni biçimli tuzaklar ve (b) avlanma ritüeli .....                                                                                                                                                  | 14 |
| Şekil 2.5. | KAA'nın sözde kodu.....                                                                                                                                                                                                      | 17 |
| Şekil 2.6. | DKAA'nın sözde kodu .....                                                                                                                                                                                                    | 20 |
| Şekil 2.7. | CMA'nın sözde kodu .....                                                                                                                                                                                                     | 23 |
| Şekil 2.8. | DCMA'nın sözde kodu.....                                                                                                                                                                                                     | 24 |
| Şekil 3.1. | $x$ - $y$ düzlemi üzerine yerleştirilmiş dairesel anten dizisi geometrisi.....                                                                                                                                               | 28 |
| Şekil 3.2. | Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 8 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları.....  | 29 |
| Şekil 3.3. | Şekil 3.2'de verilen örnek için DÇEA ve ÇEA ait yakınsama eğrileri ...                                                                                                                                                       | 30 |
| Şekil 3.4. | Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 10 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları..... | 31 |
| Şekil 3.5. | Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 12 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları..... | 32 |
| Şekil 3.6. | Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen 20 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları.....                                                | 33 |
| Şekil 3.7. | Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen $10\lambda$ anten çevre uzunluğuna sahip 20 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları .          | 34 |
| Şekil 3.8. | DÇEA ve ÇEA'nın 20 kere çalıştırılması sonrası elde edilen MSL değerlerine ait kutu grafiği .....                                                                                                                            | 35 |
| Şekil 3.9. | $x$ - $y$ düzlemi üzerine yerleştirilmiş eşmerkezli dairesel anten dizisi geometrisi .....                                                                                                                                   | 38 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.10. | Genlik kontrolü yapılarak DKAA, ALO [44] ve MFO [45] ile elde edilen (a) $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ ve (b) $N_1=8$ , $N_2=10$ , $N_3=12$ elemanlı, merkez elemana sahip olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 40                                               |
| Şekil 3.11. | $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ elemanlı merkez eleman bulundurmeyan eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi için DKAA ve KAA yakınsama eğrileri ..... 41                                                                                                                                       |
| Şekil 3.12. | Genlik kontrolü yapılarak DKAA, ALO [44] ve MFO [45] ile elde edilen (a) $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ ve (b) $N_1=8$ , $N_2=10$ , $N_3=12$ elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 42                                                       |
| Şekil 3.13. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, SOA [42], BSA [46], (b) DKAA, FA [39], SOS [47], SQP [48], OGSA [49], CSO [50], EP [51] ve (c) DKAA, BBO [48] ile elde edilen $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ elemanlı, merkez elemanı olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 44 |
| Şekil 3.14. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, FA [39], EP [51] ve (b) DKAA, SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ile elde edilen $N_1=8$ , $N_2=10$ , $N_3=12$ elemanlı, merkez elemanı olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 45                             |
| Şekil 3.15. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, FA [39], (b) DKAA, BSA [46] ve (c) DKAA, SOS [47] ile elde edilen $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 47                                                               |
| Şekil 3.16. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, BBO [48], (b) DKAA, SQP [48] ve (c) DKAA, OGSA [49], CSO [50], EP [51] ile elde edilen $N_1=4$ , $N_2=6$ , $N_3=8$ elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 48                                          |
| Şekil 3.17. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, SOS [47], OGSA [49], CSO [50], (b) DKAA, SQP [48] ve (c) DKAA, FA [39], BBO [48], EP [51] ile elde edilen 8-10-12 elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları ..... 49                                           |
| Şekil 3.18. | $x$ - $y$ düzlemi üzerine yerleştirilmiş eliptik anten dizisi geometrisi ..... 53                                                                                                                                                                                                          |
| Şekil 3.19. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], (b) DCMA, ALO [52], GOA [53], MSSA [54] ve (c) DCMA, MSSA [54], FPA [55], APSO [55] ile elde edilen 8 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları ..... 54                                                                               |
| Şekil 3.20. | DCMA ve CMA ile 8 elemanlı eliptik anten dizi sentezine ait yakınsama eğrisi ..... 55                                                                                                                                                                                                      |
| Şekil 3.21. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], ALO [52] ve (b) DCMA, GOA [53] ile elde edilen 12 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları ..... 56                                                                                                                                   |
| Şekil 3.22. | Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen 12 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları ..... 57                                                                                                                                               |

|             |                                                                                                                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.23. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], ALO [52] ve (b) DCMA, GOA [53] ile elde edilen 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları .....                  | 58 |
| Şekil 3.24. | Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları .....                              | 59 |
| Şekil 3.25. | $x$ eksenine üzerine simetrik olarak yerleştirilmiş, eşlenik simetrik uyarımlı doğrusal anten dizi geometrisi.....                                                     | 61 |
| Şekil 3.26. | Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, MSOA [88], ve (b) DCMA, GWO [94], MFO [95], ALO [96] ile elde edilen 10 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları .....     | 63 |
| Şekil 3.27. | DCMA ve CMA ile 10 elemanlı doğrusal anten dizisi üzerinde yapılan optimizasyona ait yakınsama eğrisi.....                                                             | 64 |
| Şekil 3.28. | Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSOA [88], GWO [94] ve MFO [95] ile elde edilen 16 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları.....                               | 65 |
| Şekil 3.29. | Genlik kontrolü yapılarak DCMA, DS [92] ve CRPSO [93] ile elde edilen geniş sıfırlara sahip 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları .....                  | 66 |
| Şekil 3.30. | Genlik kontrolü yapılarak DCMA, DS [92] ve CRPSO [93] ile elde edilen geniş sıfırlara sahip (a) 16 ve (b) 20 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları.....     | 67 |
| Şekil 3.31. | Konum kontrolü yapılarak (a) DCMA, MSOA [88] ve (b) DCMA, TSA [89] ile elde edilen 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları .....                           | 69 |
| Şekil 3.32. | Konum kontrolü yapılarak (a) DCMA, PSO [91] ve (b) DCMA, MA [89], GA [89], FIADDE [91] ile elde edilen 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları.....        | 70 |
| Şekil 3.33. | Konum kontrolü yapılarak DCMA, MA [89], TSA [89], HSA [90], PSO [91] ve BSA [97] ile elde edilen 9o'de sıfıra sahip 22 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları ..... | 72 |
| Şekil 3.34. | Konum kontrolü yapılarak DÇEA, DKAA ve DCMA ile elde edilen 28 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları .....                                                         | 73 |
| Şekil 3.35. | DÇEA, DKAA ve DCMA ile 28 elemanlı doğrusal anten dizisi için elde edilen yakınsama eğrileri.....                                                                      | 74 |

## GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte kablosuz haberleşme sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Radar, mobil ve uydu haberleşmesi gibi pek çok farklı sivil ve askeri kablosuz haberleşme sistemlerinden aktif biçimde faydalanılmaktadır. Anten dizileri ise bu sistemlerin performansını doğrudan etkileyen bir ekipman olarak öne çıkmakta olup, istenilen ışıma diyagramına sahip bir anten dizisi tasarlamak günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında, Çoklu Evren Algoritması (ÇEA), Karınca Aslanı Algoritması (KAA) ve Cıvık Mantar Algoritması (CMA) üzerinde değişiklikler yapılarak türetilen algoritmalar ile farklı geometrilerdeki anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir.

Tezin ilk bölümünde anten dizileri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Anten dizi sentezine dair literatürdeki çalışmalara değinilmiş ve tezin amacı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, bu tez çalışmasında kullanılan ÇEA, KAA, CMA hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Algoritmalar üzerinde yapılan değişiklikler de yine bu bölümde açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması (DÇEA), ÇEA, Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması (DKAA) ve Değiştirilmiş Cıvık Mantar (DCMA) ile farklı geometrilere sahip anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise çalışmalara dair nihai değerlendirme yapılmıştır.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER

### 1.1. Anten Dizileri

Kablosuz haberleşme sistemlerinde farklı ihtiyaçları karşılamak için farklı antenler kullanılmaktadır. Ancak, özellikle günümüzün değişen ihtiyaçları sebebiyle, tek bir elemandan oluşan anten sistemleri istenen ışıma diyagramını sunmada genel olarak yetersiz kalabilmektedir. Anten dizileri ise bu ihtiyaçlara cevap verebilecek tasarım esnekliğini sağladığından dolayı alternatif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Anten dizileri, istenilen ışıma diyagramını elde etmek için birden fazla anten elemanının belirli geometrilerde bir araya getirilmesiyle oluşan kablosuz haberleşme ekipmanlarından ve haberleşme sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır [1-6, 37-55, 88-106]. Işıma diyagramının kolayca şekillendirilebilmesine imkan tanıdığı için yüksek yönelticilik ve kazanç gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir.

Anten dizisindeki elemanlar bir doğru, bir düzlem veya üç boyutlu bir yapı üzerine konumlandırılır. Bunun sonucunda ortaya çıkan genel geometrik yapıya göre anten dizileri doğrusal, düzlemsel, dairesel, eliptik, eşmerkezli dairesel, vb. olarak isimlendirilir. Anten dizilerinde, her bir dizi elemanına ait ışıma diyagramı bir diğer dizi elemanının ışıma diyagramıyla etkileşime girer ve dizi tek bir anten gibi ışıma yapar. Bu durum, dizideki elemanların genlik, konum ve faz parametreleri değiştirilerek ışıma diyagramının şekillendirilmesini mümkün kılar. Doğru parametre değerleri ile yüksek yönelticiliğe, düşük yan demet seviyesine sahip anten dizileri tasarlanabilmektedir. Tasarım esnasında birinci sıfır demet genişliği (FNBW: First null beam width), maksimum yan demet seviyesi (MSL: Maximum sidelobe level), sıfır derinlik seviyesi (NDL: null depth level), genliklerinin çalışma aralığı oranı (DRR: dynamic range ratio) ve dizi boyutu gibi parametreler önem arz etmektedir. Anten dizi sentezi, içinde çok sayıda mühendislik takası barındıran doğrusal olmayan bir problem olup,

parametrelerden birinin iyileştirilmesi diğerinden taviz verilmesine sebep olmaktadır. Örneğin, FNBW azaltılırken MSL artma, MSL azaltılırken FNBW artma eğilimi göstermektedir. Benzer şekilde DRR'nin düşük olması diğer parametreleri olumsuz yönde etkilemektedir.

Dizi sentezi ile mevcut ihtiyaca göre yan demet bastırma, diyagram sıfırlama, demet şekillendirme, dizi arızası giderme yapılabilmektedir.

Genel olarak anten dizileri, kullanıcılara dizi diyagramı üzerinde sağladığı hakimiyet ve tasarım esnekliği nedeniyle, radar, sonar, mobil haberleşme uygulamaları, uydu haberleşmesi ve derin uzay araştırması gibi farklı alanlarda kullanılan en yaygın anten çeşitlerinden biridir.

## 1.2. Literatür Taraması

Frekans spektrumu sınırlı bir kaynaktır. Kablosuz haberleşmenin yaygınlaşması ile birlikte bu kaynak daha yoğun kullanılmakta, elektromanyetik kirlilik artmakta ve dolayısıyla kablosuz haberleşmede girişim etkilerine daha sık maruz kalınmaktadır. Bu yüzden, istenilen ışıma diyagramına sahip anten dizisi tasarlamak literatürdeki yaygın çalışmalarındandır [37-55, 88-106]. Girişimden etkilenilen doğrultularda sıfırlara sahip bir anten dizisi tasarlamak da bu çalışmalar arasındadır [91-93].

Anten dizilerinde ana demetin yanındaki bölgelerde bulunan demetlere yan demet denilmektedir. Yüksek yan demet seviyesine sahip bir anten istenmeyen bir girişimden etkilenebilir veya bir girişime sebep olabilir. Dolayısıyla bu demetler istenmeyen ışımalardır ve yan demet bastırma anten dizi sentezinde sıkça yapılan bir uygulamadır. Anten dizi sentezinde yan demet seviyesini düşürüp ana demet genişliğini daraltarak yüksek kazanç sağlamak mümkündür. Ancak, yan demet seviyesi düşürülürken ana demet genişliği artma eğilimi göstermekte ve bu da anten dizisinin yönelticiliğine olumsuz etki etmektedir. Literatüde yan demet bastırmaya dair çok sayıda örnek bulunmaktadır [37-55, 88-106].

Anten dizi sentezi için literatürde Fourier dönüşüm metodu [2], Woodward Lawson metodu [5], Orchard-Elliott metodu [6] gibi metotlar sunulmuştur. Ancak, dizi elemanları üzerindeki sınırlı kabiliyetleri nedeniyle günümüz anten dizi problemlerinin çözümünde istenen performansı sağlayamamaktadırlar. Metasezgisel optimizasyon algoritmalarının

anten dizi sentezine uygulanması popüler bir konu olup, probleme özgü olmama, başlangıç noktası olarak bir ön bilgiye ihtiyaç duymama, yerel optimum noktalarından kaçınma, çok parametrelili problemler için global çözümler üretebilme gibi avantajlara sahip olduklarından dolayı [36] söz konusu metotlara kıyasla tercih edilmektedirler. Literatürde anten dizi sentezi için kullanılan metasezgisel algoritmalarla örnek olarak genetik algoritma (GA: Genetic algorithm) [37, 89], parçacık sürü optimizasyonu (PSO: Particle swarm optimization) [38] algoritması, ateşböceği algoritması (FA: Firefly algorithm) [39], ardışık kuadratik programlama (SQP: Sequential quadratic programming) [40], kendinden uyarımlı diferansiyel gelişim algoritması (SADE: Self adaptive differential evolution) [40], karınca aslanı algoritması (ALO: Ant lion optimizer) [41, 44, 52, 96], karınca aslanı algoritması ve çekirge optimizasyon algoritmasından oluşturulmuş hibrit algoritma (HA: Hybrid algorithm) [41], biyocoğrafya-tabanlı optimizasyon (BBO: Biogeography-based optimization) [40, 48], arayıcı optimizasyon algoritması (SOA: Seeker optimization algorithm) [42], benzetilmiş tavlama (SA: Simulated annealing) algoritması [43], güve-alev optimizasyon (MFO: Moth-flame optimization) algoritması [48, 95], geri-izleme arama algoritması (BSA: Backtracking search algorithm) [46, 97], simbiyotik organizma arama (SOS: Symbiotic organisms search) algoritması [47], karşıtlık-tabanlı yer çekimi arama algoritması (OGSA: Opposition-based gravitational search algorithm) [49], kedi sürüsü optimizasyon (CSO: Cat swarm optimization) algoritması [50], evrimsel programlama (EP: Evolutionary programming) algoritması [51], çekirge optimizasyon algoritması (GOA: Grasshopper optimization algorithm) [53], değiştirilmiş salp sürüsü algoritması (MSSA: Modified salp swarm algorithm) [54], çiçek tozlaşması algoritması (FPA: Flower pollination algorithm) [55], hızlandırılmış PSO (APSO: Accelerated PSO) algoritması [55], değiştirilmiş martı optimizasyon algoritması (MSOA: Modified seagull optimization algorithm) [88], tabu araştırma algoritması (TSA: Tabu search algorithm) [89], uygunluk uyarlamalı diferansiyel evrim (FIAD: Fitness adaptive differential evolution) algoritması [91], memetik algoritma (MA: Memetic algorithm) [89], harmoni arama algoritması (HSA: Harmony search algorithm) [90], diferansiyel arama algoritması (DS: Differential search) [92], çılgınlık tabanlı PSO (CRPSO: Crazy-based particle swarm optimizer) [93], gri kurt optimizasyon algoritması (GWO: Greywolf optimizer) [94], diferansiyel evrim algoritması (DE: Differential evolution) [98, 99], karınca koloni optimizasyon algoritması (ACO: Ant colony optimization) [100], arılar algoritması (BA: Bees

algorithm) [101, 104] verilebilir. Bu algoritmaların anten dizi sentezine uygulandığı çok sayıda çalışma literatürde mevcut olup, bunlardan bazıları bu çalışmada verilmiştir. Farklı algoritmalar kullanılarak çeşitli tipteki anten dizilerinin sentezi doktora tez çalışmalarında da yapılmıştır [92, 104-106].

### 1.3. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması (DÇEA), Çoklu Evren Algoritması (ÇEA) [7], Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması (DKAA) ve Değiştirilmiş Cıvık Mantar Algoritması (DCMA) kullanılarak farklı geometrideki anten dizilerinin üstünde dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. ÇEA, kara delik, beyaz delik ve solucan deliği gibi kavramlarla birden fazla evrenin birbirleriyle etkileşime girmesi ve bu evrenlerin birbirlerinden nesne alıp vermesi üzerine tasarlanmış bir algoritmadır [7]. Beyaz delik bulunduran evrenlerin nesne almaya, kara delik bulunduran evrenlerin ise nesne vermeye eğilimli olduğu belirtilmektedir. Solucan deliği ile de nesnelerin evrenler arasında yer değiştirebildiği ifade edilmektedir. ÇEA'daki her bir iterasyon adımında nesne transferleri ile evrenlerin popülasyonu güncellenerek optimizasyon süreci gerçekleşmekte olup, literatürdeki farklı optimizasyon problemlerinde bu algoritmanın kullanıldığı görülmektedir [10-18]. Bu tez çalışmasında ÇEA'nın evrenler arası nesne transferi denklemi üzerinde değişiklik yapılarak, yerel arama adımlarının kısaltılması hedeflenmiş ve değişiklik yapılan algoritma anten dizi sentezine uygulanmıştır.

KAA, karınca aslanlarının avlanma ritüellerinden ilham alan bir algoritmadır [8]. Algoritma, optimizasyon esnasında karınca aslanlarından ve karıncalardan bir çözüm uzayı oluşturur. Her birinin mevcut uygunluk durumu hesaplanır ve karıncaların konik biçimli karınca aslanı tuzaklarının olduğu bir ortamda rastgele yürüdükleri varsayılır. Uygunluk değeri en iyi olan karınca aslanının daha büyük tuzak kurduğu ve avı yakalama olasılığının daha yüksek olduğu ifade edilir ve bu durum rulet çarkı tekniği ile tanımlanır. Tuzağa düşen karıncanın rastgele yürüyüşüne ait yarıçap giderek küçülür ve böylece karınca tuzağın tabanına ulaşır. Karıncanın uygunluk değerinin karınca aslanıkinden daha iyi olması durumunda karıncanın yakalanarak karınca aslanına yem olduğu ve dolayısıyla algoritmanın optimum sonuca ulaştığı varsayılır. Literatürde KAA'nın farklı optimizasyon problemlerine uygulandığı çok sayıda örnek bulunmaktadır [19-28]. Bu çalışmada ise optimizasyon esnasında daha etkili bir yakınsama için KAA Ardışık

Kuadratik Programlama (AKP) metodu ile birleştirilmiş ve DKAA elde edilmiştir. Optimizasyon sürecinde KAA ve AKP arasında sürekli metot değiştirilerek algoritma yakınsamaya teşvik edilmiştir.

CMA, cıvık mantarların besin arama döngüsünden esinlenerek modellenmiş bir algoritmadır [9]. Cıvık mantar bu döngü esnasında besinin yaydığı kokunun yoğunluğuna göre besine doğru amipsi hareketler ile yaklaşırken aynı zamanda diğer yönlerde de besin arayışına devam eder. Besini çevreledikten sonra besinin kalitesine bağlı olarak besini çevreleme, sindirme ve başka konumlarda besin arama aşamalarına dair hesaplamalar, algoritmanın her bir iterasyon adımında yapılarak optimum sonuca yakınsanır. Literatürde CMA ile farklı optimizasyon problemlerinin çözüldüğü örnekler bulunmaktadır [29-35]. CMA'nın anten dizi sentezinde kullanımı esnasında performansını iyileştirmek için karşıt popülasyon uygulaması ve KAA optimizasyon sürecine dahil edilerek DCMA türetilmiştir. Optimizasyon esnasında KAA ve CMA ile hesaplamalar yapılmış, bir algoritmadan elde edilen sonuç değerine tekrar girdi olarak verilerek yakınsama sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, dairesel, eşmerkezli dairesel, eliptik ve doğrusal anten dizi sentezi yapılmıştır. Dairesel anten dizi sentezinde DÇEA ve ÇEA ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının konum ve genlik parametreleri birlikte hesaplanarak yan demet bastırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, anten çevre uzunluğu kısıtlanarak konum ve genlik parametrelerinin birlikte optimizasyonu ile yan demet bastırmaya dair uygulama da yapılmıştır. Elde edilen MSL ve anten çevre uzunluğu değerleri literatürdeki GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], HA [41], ALO [41], BBO [40], SOA [42], SA [43] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Eşmerkezli dairesel anten dizi sentezinde ise DKAA kullanılmıştır. Farklı halka aralıklarına ve farklı eleman sayılarına sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin sadece genlik değerleri hesaplanarak düşük MSL, dar FNBW ve düşük DRR değerine sahip dizi diyagramları elde etmek için çalışılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen MSL, FNBW ve DRR değerleri literatürdeki FA [39], SOA [42], ALO [44], MFO [48], BSA [46], SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Eliptik ve doğrusal anten dizi sentezleri için DCMA kullanılmıştır. Farklı sayıda elemanlardan oluşan eliptik anten dizilerinde FNBW ve DRR, doğrusal anten dizilerinde ise NDL, FNBW, anten uzunluğu ve DRR gibi kriterler göz önünde bulundurularak yandemet bastırma yapılmıştır. Çalışmalarda eliptik anten dizisi için sadece genlik, doğrusal anten dizisi için sadece genlik ve sadece konum değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, doğrusal anten dizi sentezinde diyagram sıfırlama da yapılmıştır. Eliptik anten dizi sentezinden elde edilen sonuçlar SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55], APSO [55] ile elde edilen sonuçlarla, doğrusal anten dizi sentezinden elde edilen sonuçlar MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], HSA [90], PSO [91], FIADDE [91], DS [92], CRPSO [93], GWO [94], MFO [95], ALO [96] ve BSA [97] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Son olarak DCEA, DKAA ve DCMA ile doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiş, dizi elemanlarının sadece konum değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak algoritmaların performansları incelenmiştir.

## 2. BÖLÜM

### ÇOKLU EVREN ALGORİTMASI, KARINCA ASLANI ALGORİTMASI VE CIVIK MANTAR ALGORİTMASI

#### 2.1. Giriş

Optimizasyon algoritmaları matematiksel problemlerin çözülmesi esnasında yerel minimum veya maksimum noktalarından kaçınılarak en uygun sonuca erişebilmek için kullanılmaktadır. Bu algoritmalar farklı problemler üzerinde farklı performanslar sunduğundan dolayı sürekli yeni algoritmalar geliştirilmekte olup, son yıllarda türetilen modern algoritmaların ekosistemden, evrenin işleyiş sürecine kadar farklı modellerden esinlendiği görülmektedir.

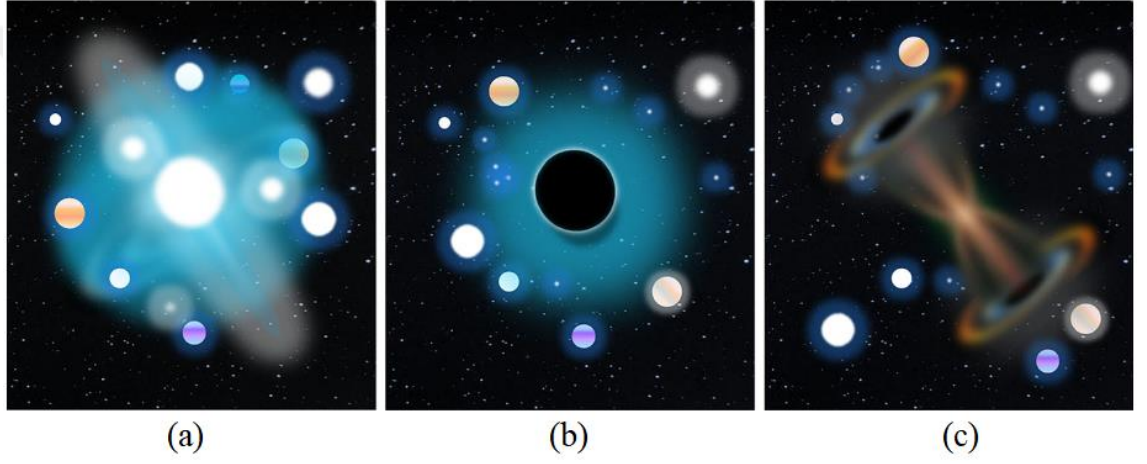
Bu bölümde modern optimizasyon algoritmalarından olan Çoklu Evren Algoritması (ÇEA), Karınca Aslanı Algoritması (KAA) ve Cıvık Mantar Algoritması (CMA) hakkında temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, ÇEA, KAA ve CMA üzerinde yapılan değişiklikler de sunulmuştur.

#### 2.2. Çoklu Evren Algoritması (ÇEA)

Bilim insanları yıllardır evrenin oluşumu hakkında farklı çalışmalar gerçekleştirmiş ve farklı teoriler öne sürmüşlerdir [56, 57]. Büyük Patlama Teorisi bunlardan biri olup, bu teori ile yaşadığımız evrenin tek bir büyük patlamanın akabinde meydana geldiği, mevcut evrendeki her şeyin kökeninin büyük patlamaya dayandığı, bu patlamadan önce herhangi bir yaşamın olmadığı ve patlama nedeniyle de evrenin şişmeye, genişlemeye devam ettiği belirtilmektedir [56]. Bu teoriye bir alternatif yaklaşım ise Çoklu Evren Teorisi'dir [57]. Bu teoride, birden fazla büyük patlamanın gerçekleştiği, her bir patlamanın bir evren oluşturduğu, bu evrenlerin şişmeye devam ettiği ve dolayısıyla birden fazla evrenin

bulunduğu belirtilmektedir. Çoklu Evren Teorisi'ne göre bu evrenler beyaz delikler, kara delikler ve solucan delikleri vasıtasıyla birbirleriyle etkileşim içindedir.

EA, Çoklu Evren Teorisi'nin üç ana ögesi olan beyaz delikler, kara delikler ve solucan deliklerini temel almaktadır [7] ve literatürde farklı optimizasyon problemlerine uygulanmıştır [10-18]. Temsili görselleri şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu ögelerden olan beyaz delikler, evrenimizde henüz hiç gözlemlenmemiş gök cisimlerindendir. Bilim insanları tarafından bir evrenin oluşmasındaki ana unsur olduğu varsayılmakta ve hatta iki evrenin çarpışmasıyla türedikleri iddia edilmektedir [58].



şekil 2.1. (a) Beyaz delik, (b) kara delik ve (c) solucan deliğinin temsili görseli

İkinci ge olan kara delikler evrenimizde gözlemlenebilen büyük kütleli gök cisimleridir. Işık yaymadıkları için kara olarak isimlendirilmişlerdir ve yüksek çekim kuvvetleri sayesinde ışık huzmeleri dahil her şeyi kendi ilerine çekmektedirler [59].

Bir diğeri ge olan solucan delikleri uzayı bükerek farklı evrenleri ve evrenin farklı noktalarını birbirine bağlayan kurgusal gök cisimleri olarak belirtilmektedir. Çoklu Evren Teorisine göre bu yapılar nesnelerin evrende bir noktadan diğeriye anında gidebildikleri bir uzay/zaman tüneli olarak tanımlanmaktadır [60].

EA, evrenlerin şişme hızı ve yukarıda bahsi geçen ögeler kapsamında matematiksel olarak modellenerek optimizasyon problemlerine uygulanmaktadır. Bu noktada algoritma;

- Her bir evrenin bir çözüm adayını belirttiğini ve bunların çözüm uzayını oluşturduğunu,
- Çözüm uzayındaki her bir değişkenin evrendeki bir nesne olduğunu,
- Çözüm adaylarına ait maliyet değerlerinin ilgili evrenin şişme oranı ile ifade edildiğini,
- Evrenin şişme oranı ne kadar yüksek olursa o evrende beyaz delik olma olasılığının ve dolayısıyla kara delik bulunan diğer evrenlerden nesne alma eğiliminin yüksek olduğunu,
- Evrenin şişme oranı ne kadar düşük olursa o evrende kara delik olma olasılığının ve dolayısıyla beyaz delik bulunan diğer evrenlere nesne gönderme eğiliminin yüksek olduğunu,
- Tüm evrenlerdeki nesnelerin, şişme oranından bağımsız olarak solucan delikleri aracılığıyla en uygun evrene doğru hareket etme ihtimali olduğunu,

varsaymaktadır. Evrenlerdeki kara/beyaz deliklerin nesne değişimi matematiksel olarak rulet çarkı tekniği ile modellenmiştir ve evrenler her bir iterasyonda şişme oranlarına göre sıralanarak rulet çarkı tekniği ile beyaz delik barındırması için seçilir. Bu durum

$$U = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \cdots & x_1^d \\ x_2^1 & x_2^2 & \cdots & x_2^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^1 & x_n^2 & \cdots & x_n^d \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$x_i^j = \begin{cases} x_k^j & r1 < NI(U_i) \\ x_i^j & r1 \geq NI(U_i) \end{cases} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada  $U_i$   $i$ 'inci evreni,  $d$  değişken sayısını,  $n$  evren sayısını,  $x_i^j$   $i$ 'inci evrenin  $j$ 'inci değişkenini,  $r1$  0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı,  $NI(U_i)$   $i$ 'inci evrenin normalize edilmiş şişme oranını ve  $x_k^j$   $k$ 'ıncı evrenin  $j$ 'inci değişkenini belirtmektedir. Bu modelin sözde kodu Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Ayrıca, genel çeşitliliği ve farklılığı arttırmak adına, çözüm uzayındaki nesneler solucan deliği modeli

sayesinde mevcut iterasyon anına kadar elde edilen en uygun evren göz önünde bulundurularak evrenler arasında yer değiştirebilmektedir. Bu model

---

```

1.  SU = Sıralanmış evrenler
2.  NI = Evrenlerin normalize edilmiş şişme oranları
3.  for Her i indisli evren
4.    Black_hole_index = i;
5.    for Her j indisli nesne
6.      r1 = random([0,1]);
7.      if r1 < NI(Ui)
8.        White_hole_index = RouletteWheelSelection(-NI);
9.        U(Black_hole_index, j) = SU(White_hole_index, j);
10.     end if
11.   end for
12. end for

```

---

Şekil 2.2. Rulet çarkı modelinin sözde kodu

$$x_i^j = \begin{cases} X_j + TDR \times ((ub_j - lb_j) \times r4 + lb_j), & r3 < 0.5 \\ X_j - TDR \times ((ub_j - lb_j) \times r4 + lb_j), & r3 \geq 0.5 \\ x_i^j & r2 \geq WEP \end{cases} \quad \begin{matrix} r2 < WEP \\ r2 \geq WEP \end{matrix} \quad (2.3)$$

$$WEP = \min + l \times \left( \frac{\max - \min}{L} \right) \quad (2.4)$$

$$TDR = 1 - \frac{l^{1/p}}{L^{1/p}} \quad (2.5)$$

biçiminde tanımlanmıştır [7]. Burada  $X_j$  elde edilen en uygun evrenin  $j$ 'inci değişkenini,  $ub_j$  ve  $lb_j$  sırasıyla  $j$ 'inci değişkenin üst ve alt sınırlarını,  $r2$ ,  $r3$  ve  $r4$  0 ile 1 arasında rastgele sayıları,  $l$  ilgili iterasyon adımını,  $L$  maksimum iterasyon adımını ve  $p$  çözüm uzayında yerel arama ivmesini belirtmektedir. Varsayılan olarak  $p$ ,  $\min$  ve  $\max$  sabitleri sırasıyla 6, 0.2 ve 1 alınmıştır. Solucan deliğinin oluşma olasılığı WEP ile ifade edilmiştir ve iterasyon boyunca lineer olarak artmaktadır. TDR ise seyahat uzaklık oranı olarak tanımlanmıştır ve WEP'in aksine iterasyon boyunca azalmaktadır.

ÇEA'da optimizasyon süreci evrenleri rastgele biçimde oluşturarak başlar. Her bir iterasyonda yüksek şişme oranına sahip evrenlerdeki nesneler beyaz/kara delikler vasıtasıyla şişme oranı düşük evrenlere doğru hareket etme eğilimi gösterirler. Ayrıca, her bir evrendeki nesneler rastgele biçimde solucan delikleri aracılığıyla en uygun evrene

doğru hareket eder ve tüm bu süreç optimizasyon şartları sağlanıncaya kadar sürer. Algoritmanın sözde kodu Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

---

```

1.  U Evren popülasyonunun belirlenmesi
2.  l, WEP ve TDR'nin belirlenmesi
3.  Evren popülasyonunun sıralanarak SU'nun oluşturulması
4.  NI = Evrenlerin normalize edilmiş uygunluk değerleri
5.  while l < L
6.      Tüm evrenlerin uygunluğunun hesaplanması
7.      for i indisli her bir evren
8.          WEP and TDR'nin güncellenmesi
9.          Black_hole_index = i;
10.     for j indisli her bir nesne
11.         r1 = rand ([0,1])
12.         if r1 < NI(Ui)
13.             White_hole_index = RouletteWheelSelection(-NI)
14.             U(Black_hole_index, j) = SU(White_hole_index, j)
15.         end if
16.         r2 = rand ([0,1])
17.         if r2 < WEP
18.             r3 = rand ([0,1])
19.             r4 = rand ([0,1])
20.             if r3 < 0.5
21.                 U(i, j) = X(j) + TDR * ((ub(j)-lb(j)) * r4 + lb(j))
22.             else
23.                 U(i, j) = X(j) - TDR * ((ub(j)-lb(j)) * r4 + lb(j))
24.             end if
25.         end if
26.     end for
27. end for
28.     l+1
29. end while

```

---

Şekil 2.3. ÇEA'nın sözde kodu

### 2.3. Değiştirilmiş Çoklu Evren Algoritması (DCEA)

Optimizasyon gerektiren problemler göz önünde bulundurulduğunda, tek bir çeşit algoritmanın tüm problemleri çözemeyeceği literatürde No Free Lunch teoremi [61] ile belirtilmiştir. Bu noktadan yola çıkarak, optimizasyondan elde edilen sonuçları iyileştirmeye dair çeşitli değişikliklerin algoritmalar üzerinde yapıldığı da literatürde görülmektedir [62-65].

ÇEA, yapı itibariyle geliştirmelere açık ve uygun bir algoritmadır. Arama kabiliyetini arttırmak adına Denklem 2.3

$$x_i^j = \begin{cases} X_j + TDR \times ((X_j - x_i^j) \times r4 + x_i^j), & r3 < 0.5 \\ X_j - TDR \times ((X_j - x_i^j) \times r4 + x_i^j), & r3 \geq 0.5 \\ x_i^j & \end{cases} \quad \begin{matrix} r2 < WEP \\ r2 \geq WEP \end{matrix} \quad (2.6)$$

şeklinde yeniden düzenlenmiştir. Burada algoritmanın alt ve üst sınırları yerine, ilgili iterasyon adımına kadar elde edilen optimum çözüm ile mevcut çözüm sınır olarak temel alınmıştır. Böylece, yerel arama adımları kısaltılarak algoritmanın daha iyi sonuçlar elde etmesi hedeflenmiştir.

#### 2.4. Karınca Aslanı Algoritması (KAA)

Karınca aslanları Myrmeleontidae ailesine ait kanatlı böceklerdir. Üç yıl kadar ömürleri olmakla beraber bunun çoğunu larva halinde avlanarak geçirirler. Üremek için larvadan yetişkin hale geçerler ve yetişkinlik süreleri 3-5 hafta kadardır [66, 67].

Karınca aslanları isimlerini avlanma tekniklerinden almışlardır. Larva formundayken büyük çeneleri vasıtasıyla toprağı koni biçiminde kazarak kurbanlarını yakalamak için tuzak kurarlar. Kazdıkları çukurun tabanında kendilerini toprak altına gömerek saklanır ve avlarının çukura girmesini beklerler. Av çukura girdiği zaman çukurdan çıkmaya çalıştıkça tuzağın merkezine doğru kaymaya başlar. Diğer taraftan karınca aslanı büyük çenesiyle avın kaçmaya çalıştığı yöne doğru kum fırlatarak bu kaçıışı engeller ve avın çukurun merkezine doğru yaklaşmasını sağlar. Karınca aslanı çukurun tabanına ulaşan avı çenesiyle yakalar, toprağın altına çekerek tüketir ve akabinde çukuru bir sonraki avlanma için hazırlar. Karınca aslanlarının diyetleri diğer böcekler ve çoğunlukla karıncalardan oluşmaktadır [66, 67]. Karınca aslanlarına ait koni biçimli çukurlar ve avlanma ritüelleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

KAA'da bahse konu avlanma döngüsünden esinlenilmiştir. Bu modelde karıncaların çözüm uzayında rastgele biçimde dolaştığı ve karınca aslanlarının bu karıncaları yakalayarak algoritmanın en uygun çözüme yakınsadığı varsayılmaktadır [8].

Algoritma, birden fazla adımdan oluşmaktadır ve bu adımların matematiksel içeriğinden alt başlıklarda bahsedilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 2.4. (a) Karınca aslanına ait koni biçimli tuzaklar ve (b) avlanma ritüeli

#### 2.4.1. Karıncaların Rastgele Yürüyüşleri

Karıncalar doğada yiyecek ararken stokastik olarak hareket etmektedirler. Algoritmada bu durum rastgele yürüyüş olarak tanımlanmış olup,

$$X(t) = [0, \text{cumsum}(2r(t_1) - 1), \text{cumsum}(2r(t_2) - 1), \dots, \text{cumsum}(2r(t_n) - 1)] \quad (2.7)$$

$$r(t) = \begin{cases} 1, & \text{rand} > 0.5 \\ 0, & \text{rand} \leq 0.5 \end{cases} \quad (2.8)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada *cumsum* kümülatif toplam, *n* maksimum iterasyon sayısı, *t* rastgele yürüyüşün o anki adım sayısı yani anlık iterasyon adımı, *r(t)* stokastik fonksiyon ve *rand* 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır.

Karıncalar pozisyonlarını Denklem 2.7'ye göre güncellemektedir. Ancak, optimizasyon problemlerindeki çözüm uzaylarının bir sınırı olduğundan, söz konusu denklem doğrudan kullanılamaz. Bu durumda, mevcut çözüm uzayının alt ve üst sınırları göz önüne alınarak karıncaların pozisyonları

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i - c_i^t)}{(d_i^t - a_i)} + c_i^t \quad (2.9)$$

ile güncellenmektedir. Burada *a<sub>i</sub>* ve *d<sub>i</sub>* sırasıyla *i*'inci değişkenin minimum ve maksimum rastgele yürüyüşüdür. *c<sub>i</sub><sup>t</sup>* ve *d<sub>i</sub><sup>t</sup>* sırasıyla *i*'inci değişkenin *t* iterasyon adımı anındaki minimum ve maksimum değerleridir. Karıncaların rastgele yürüyüşleri karınca aslanlarının tuzaklarından etkileneceği için *c<sub>i</sub><sup>t</sup>* ve *d<sub>i</sub><sup>t</sup>*

$$c_i^t = Antlion_j^t + c^t \quad (2.10)$$

$$d_i^t = Antlion_j^t + d^t \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $Antlion_j^t$  j'inci karınca aslanının  $t$  iterasyon adımındaki konumu,  $c^t$  ve  $d^t$  sırasıyla  $t$  iterasyon adımındaki değişkenlerin minimum ve maksimum değerleridir.

Optimizasyon işlemi esnasında, karıncaların ve karınca aslanlarının çözüm uzayındaki pozisyon bilgileri Denklem 2.12 ve 2.13'te, ilgili pozisyonların uygunluk bilgileri ise Denklem 2.14 ve 2.15'te gösterilmiştir.

$$M_{ant} = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \cdots & A_{1,d} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \cdots & A_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \cdots & A_{n,d} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$M_{antlion} = \begin{bmatrix} AL_{1,1} & AL_{1,2} & \cdots & AL_{1,d} \\ AL_{2,1} & AL_{2,2} & \cdots & AL_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ AL_{n,1} & AL_{n,2} & \cdots & AL_{n,d} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$M_{fant} = \begin{bmatrix} f([A_{1,1}, A_{1,2}, \cdots, A_{1,d}]) \\ f([A_{2,1}, A_{2,2}, \cdots, A_{2,d}]) \\ \vdots \\ f([A_{n,1}, A_{n,2}, \cdots, A_{n,d}]) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$M_{fantlion} = \begin{bmatrix} f([AL_{1,1}, AL_{1,2}, \cdots, AL_{1,d}]) \\ f([AL_{2,1}, AL_{2,2}, \cdots, AL_{2,d}]) \\ \vdots \\ f([AL_{n,1}, AL_{n,2}, \cdots, AL_{n,d}]) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

burada  $n$  karıncaların ve karınca aslanlarının sayısını,  $d$  ise değişken sayısını belirtmektedir.  $A_{i,j}$ 'i'inci karıncaya ait konum bilgisinin j'inci değişkeninin değerini,  $AL_{i,j}$  i'inci karınca aslanına ait konum bilgisinin j'inci değişkeninin değerini,  $f$  maliyet fonksiyonunu ifade eder.

### 2.4.2. Tuzağın İnşa Edilmesi

Algoritmada karıncaların yalnızca tek bir seçilmiş karınca aslanı tarafından avlandığı varsayılmaktadır [8]. Bu aşamada uygun olan karınca aslanını seçmek için rulet çarkı seçim tekniği uygulanmıştır. Böylece uygunluk değeri en yüksek olan karınca aslanının av yakalama olasılığı da daha yüksek olacaktır.

### 2.4.3. Avın Tuzak İçinde Karınca Aslanına Doğru Kayması

Tuzak büyüklüğü karınca aslanının uygunluğu ile doğru orantılı olup, karıncalar inşa edilmiş bu tuzakların etrafında rastgele biçimde dolanmaktadır. Karınca aslanları tuzağa düşen bu karıncalara kum fırlatmakta ve karıncalar tuzağın merkezine doğru kaymaktadır. Bu durum matematiksel olarak, karıncaların rastgele yürüyüşlerine ait yarıçapın adaptif biçimde küçültülmesi ile

$$c^t = \frac{c^t}{I} \quad (2.16)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (2.17)$$

$$I = 10^w \frac{t}{T} \quad (2.18)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada  $T$  maksimum iterasyon sayısıdır. Algoritmanın arama hassasiyet seviyesi mevcut iterasyon adımına bağlı olan  $w$  katsayısı ile ayarlanabilir. Örneğin  $t > 0.1T$  için  $w = 2$ ,  $t > 0.5T$  için  $w = 3$ ,  $t > 0.75T$  için  $w = 4$ ,  $t > 0.9T$  için  $w = 5$  ve  $t > 0.95T$  için  $w = 6$  olarak verilmiştir.

### 2.4.4. Avın Yakalanması ve Tuzağın Yeniden İnşa Edilmesi

Algoritmanın son aşamasında av çukurun tabanına ulaşır ve karınca aslanı tarafından yakalanır. Bu durum matematiksel olarak bir avın uygunluk değerinin karınca aslanının uygunluk değerinden daha iyi olması hali ile ifade edilmiştir [8]. Avlanma sonrasında karınca aslanı yeni av yakalama olasılığını arttırmak için konumunu avlanan karıncanın son konumuna göre günceller. Tüm bu süreç matematiksel olarak

$$Antlion_j^t = Ant_i^t \quad \text{eğer } f(Ant_i^t) > f(Antlion_j^t) \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada  $Ant_i^t$   $t$  iterasyon adımıdaki  $i$ 'inci karıncanın konumudur.

#### 2.4.5. Elitizim

Elitizim adımı, her bir iterasyonda o ana kadar elde edilen en uygun karınca aslanı kaydedilir ve elit olarak kabul edilir [8]. Karınca aslanlarının uygunluk değerleri avı yakalama olasılıkları ile ilişkili olduğundan bu durumun karıncaların hareketleri üzerine de etkisi vardır. Dolayısıyla karıncalar elit karınca aslanının oluşturduğu tuzağın etrafında dolaşma eğilimi gösterir. Matematiksel olarak bu durum

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (2.20)$$

ile tanımlanmıştır. Burada her bir  $t$  iterasyon adımı için  $R_A^t$  rulet çarkı tekniği ile seçilmiş karınca aslanı etrafında gerçekleştirilen rastgele yürüyüşü,  $R_E^t$  ise elit karınca aslanı etrafında gerçekleştirilen rastgele yürüyüşü ifade etmektedir.

KAA'ya ait tüm bu adımların kapsamında algoritmayı ifade eden sözde kod dizisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

- 
1. *Başlangıç hazırlığı*
  2. *Karınca ve karınca aslanlarının uygunluklarının hesaplanması*
  3. *En uygun karınca aslanının tespit edilip elit olarak tanımlanması*
  4. **while**  $t < T$
  5.     **for** *her bir karınca*
  6.         *Rulet çarkıyla bir karınca aslanı seçilmesi*
  7.         *Denklem (2.16) ve (2.17) ile  $c$  ve  $d$  hesaplanır*
  8.         *Denklem (2.7) ve (2.9) ile rastgele yürüyüş modellenerek normalize edilir*
  9.         *Denklem (2.20) kullanılarak karıncanın konumu güncellenir*
  10.     **end for**
  11.     *Tüm karıncaların uygunluğu hesaplanır*
  12.     *Karınca, karınca aslanından daha uygun olursa denklem (2.19) kullanılarak ilgili karınca aslanıyla yer değiştirir*
  13.     *Karınca aslanı mevcut elitten daha uygun olursa elit ile yer değiştirilir*
  14.     **end while**
  15. **Return** *elite*
- 

Şekil 2.5. KAA'nın sözde kodu

## 2.5. Ardışık Kuadratik Programlama (AKP)

AKP, optimizasyon problemlerinde kullanılan oldukça popüler bir metottur. Doğrusal olmayan kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır [68-70]. Her bir iterasyon adımında optimizasyon probleminin Lagrange fonksiyonunun Hessian matrisinin kestirimi yapılır. Buradan elde edilen sonuç bir kuadratik programlama alt problemi oluşturmak için, bu alt problemin sonucu da çözüm uzayında bir sonraki iterasyon adımında optimum noktayı ararken kullanılır. Matematiksel olarak AKP

$$\min f(x) \quad (2.21)$$

$$c_i(x) = 0, \quad i \in \varepsilon \quad (2.22)$$

$$c_i(x) \geq 0, \quad i \in \varsigma \quad (2.23)$$

tanımlamaları ile başlar [69]. Burada  $x$   $f$  fonksiyonunu minimize eden değişken matrisi,  $c$  kısıtlamayı,  $\varepsilon$  ve  $\varsigma$  sonlu indis dizilerini belirtmektedir.

Lagrange çarpanı metodu bir fonksiyonun optimum noktasını bulmak için kullanılan bir yöntem olup, bu problemin Lagrange fonksiyonu

$$L(x, \lambda) = f(x) - \sum_{i=1}^m \lambda_i c_i(x) \quad (2.24)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada  $m=|\varepsilon|+|\varsigma|$  olarak tanımlanmakta,  $\lambda$  ise kısıtlar için Lagrange çarpanları olarak isimlendirilmektedir.

Doğrusal olmayan bir problemin çözümünden elde edilen sonucun optimal olup olmadığı Kuhn-Tucker koşulu ile kontrol edilir. Bu koşullar

$$\nabla_x L(x_*, \lambda_*) = 0 \quad (2.25)$$

$$c_i(x_*) = 0, \quad i \in \varepsilon \quad (2.26)$$

$$c_i(x_*) \geq 0, \quad i \in \varsigma \quad (2.27)$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i \in \varsigma \quad (2.28)$$

$$\lambda_i c_i(x_*) = 0, \quad i \in \varepsilon \cup \zeta \quad (2.29)$$

biçimde tanımlanır. Burada  $x_*$  doğrusal olmayan problemin herhangi bir yerel çözümüdür. Denklem 2.21'in Lagrange'ı tekrar düzenlendiğinde

$$L(x, \lambda) = f(x) - \lambda^T c(x) \quad (2.30)$$

olarak, bu Lagrange fonksiyonunun Hessian'ı

$$W(x, \lambda) = \nabla_{xx}^2 L(x, \lambda) \quad (2.31)$$

şeklinde ve kısıtların Jacobian matrisi ise

$$A(x) = \begin{bmatrix} \nabla c_1(x)^T \\ \vdots \\ \nabla c_m(x)^T \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

olarak yazılır. Bu denklemler doğrultusunda kuadratik alt program

$$A(x_k)s + c(x_k) = 0 \quad (2.33)$$

kısıtı ile

$$\nabla f(x_k)^T s + \frac{1}{2} s^T W(x_k, \lambda_k) s \quad (2.34)$$

biçiminde tanımlanır. Burada  $x_k$  ve  $\lambda_k$  sırasıyla ilgili iterasyon adımıdaki değişken ve çarpan,  $s$  ise  $x_k$ 'yi güncellemede kullanılan adım aralığıdır.

## 2.6. Değiştirilmiş Karınca Aslanı Algoritması (DKAA)

Literatüre bakıldığında AKP algoritması, matematiksel problemlerin çeşitli algoritmalar kullanılarak optimize edilmesi sonrası küçük iyileştirmeler yapmak amacı ile de kullanılmaktadır [71-76]. Bu çalışmada ise AKP, KAA ile yapılan optimizasyon sürecine doğrudan dahil edilmiştir. Optimizasyon esnasında her bir iterasyon adımıda elde edilen elitin uygunluğu bir önceki iterasyon adımıdakinin uygunluğu ile kıyaslanmıştır. Elitin uygunluk değerinde iyileşme görülmemesi halinde bir sonraki iterasyon adımıda bir

önceki adımdan farklı algoritma kullanılmıştır. Dolayısıyla optimizasyon sürecinde KAA ve AKP arasında sürekli metot değiştirilerek algoritma yakınsamaya teşvik edilmiştir. AKP için Matlab'ın dahili *fmincon* fonksiyonu kullanılmış olup, algoritmanın sözde kodu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

---

```

1.  Başlangıç hazırlığı
2.  Karınca ve karınca aslanlarının uygunluklarının hesaplanması
3.  En uygun karınca aslanının tespit edilip elit olarak tanımlanması
4.  switch = 0
5.  while t < T
6.    for her bir karınca
7.      if switch = 0
8.        Rulet çarkıyla bir karınca aslanı seçilmesi
9.        Denklem (2.16) ve (2.17) ile c ve d hesaplanır
10.       Denklem (2.7) ve (2.9) ile rastgele yürüyüş modellenerek normalize edilir
11.       Denklem (2.20) kullanılarak karıncanın konumu güncellenir
12.       Karıncanın uygunluğu hesaplanır
13.     else if switch = 1
14.       Karıncanın konumu AKP için girdi olarak kullanılarak hesaplanır
15.     end if
16.   end for
17.   Tüm karıncaların uygunluğu hesaplanır
18.   Karınca, karınca aslanından daha uygun olursa denklem (2.19) kullanılarak ilgili karınca aslanıyla yer değiştirir
19.   Karınca aslanı mevcut elitten daha uygun olursa elit ile yer değiştirilir
20.   Yeni elit önceki elit ile kıyaslanarak switch değeri değiştirilir
21. end while
22. Return elite

```

---

Şekil 2.6. DKAA'nın sözde kodu

## 2.7. Cıvık Mantar Algoritması (CMA)

Cıvık mantar, çürümekte olan organik maddelerin bol olduğu nemli ortamlarda yaşayan, hücre duvarı olmayan bir ökaryottur [77]. Genellikle çürümeye yüz tutmuş yapraklar, ağaç dalları veya kütükler üzerinde gözlemlenebilirler. Amipsi hareket eden bu canlılar çürükçül olduklarından organik maddeleri ayrıştırarak diğer canlıların tüketebileceği forma dönüştürürler ve madde döngüsüne katkı sağlarlar. Besin ararken birbirine zehirli damarlarla bağlı ağsal yapılar halinde farklı yönlere doğru yayılarak büyürler. Uygun

koşullarda büyüklükleri 900 cm<sup>2</sup>'ye kadar ulaşabilmektedir. Besin bulduklarında ise besini sararak sindirim enzimleri salgılarlar [77].

Cıvık mantarın damarlarının genişliği besinin miktarı ve kalitesine bağlıdır. Ayrıca, yapılan çalışmalar cıvık mantarların yiyecek ararken zarar görme riskini ve yapılarının genişleme hızını göz önünde bulundurarak en optimum besini bulmaya odaklandığını göstermiştir [78]. Bununla beraber, cıvık mantarın bu süreç esnasında çabuk karar vermesi, onun optimum besine ulaşmasındaki başarı oranını etkilemektedir [79].

Cıvık mantarlar bir bölgeyi ne zaman terk edeceğine karar vermek zorunda olup, doğru zamana dair bilgi eksikliği halinde ise sezgisel veya eldeki mevcut bilgiler doğrultusunda bunu gerçekleştirmektedirler. Çalışmalar göstermiştir ki, yüksek kaliteli besine denk gelmeleri halinde bulundukları ortamı terk etme olasılıkları azalmaktadır [80]. Ancak, biyolojik yapılarından dolayı büyüyerek besin arama faaliyetlerine devam etmektedirler. Besin arama düzenlerini bulunan besinlerin kalitesine bağlı olarak değiştirmektedirler. Eriştikleri ilk besin yüksek kaliteli ise arayışlarına aynı bölgede devam ederken, düşük kaliteliyse daha geniş bölgede besin aramaya devam ederler. Cıvık mantarların besin arama düzenleri matematiksel olarak aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir [9].

### 2.7.1. Besine Yaklaşma

Cıvık mantar besinin yaydığı koku sayesinde besine yaklaşır. Bu durum matematiksel olarak

$$\overrightarrow{X(t+1)} = \begin{cases} \overrightarrow{X_b(t)} + \overrightarrow{vb} \cdot (\overrightarrow{W} \cdot \overrightarrow{X_A(t)} - \overrightarrow{X_B(t)}), & r < p \\ \overrightarrow{vc} \cdot \overrightarrow{X(t)}, & r \geq p \end{cases} \quad (2.35)$$

şeklinde ifade edilmiştir [9]. Burada  $\overrightarrow{vc}$  1'den 0'a lineer olarak azalmakta olup,  $\overrightarrow{vb}$  ve  $\overrightarrow{vc}$  cıvık mantarın besin bulmuş olmasına rağmen besin arayışını sürdürmesine olanak sağlar.  $t$  o anki iterasyon adımını,  $\overrightarrow{X_b}$  en yoğun kokuyu bulan cıvık mantarın konumunu,  $\overrightarrow{X}$  cıvık mantarın konumunu,  $\overrightarrow{X_A}$  ve  $\overrightarrow{X_B}$  rastgele seçilen iki adet cıvık mantarın konumunu tanımlar.  $\overrightarrow{W}$  besinin kalitesine bağlı olarak cıvık mantarın besine hızlı veya yavaş yaklaşmasını sağlayan katsayıdır.  $p$  ise

$$p = \tanh |S(i) - DF| \quad (2.36)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada  $i \in 1, 2, \dots, n$ ,  $S(i)$   $\vec{X}$ 'in uygunluk değerini,  $DF$  tüm iterasyonlar neticesinde elde edilen en iyi maliyeti ifade etmektedir.  $\vec{vb}$ 'nin denklemi

$$\vec{vb} = [-a, a] \quad (2.37)$$

$$a = \arctan h \left( - \left( \frac{t}{\max_t} \right) + 1 \right) \quad (2.38)$$

olarak,  $\vec{W}$ 'nin denklemi

$$\overline{W(SmellIndex(i))} = \begin{cases} 1 + r \cdot \log \left( \frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{condition} \\ 1 - r \cdot \log \left( \frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{others} \end{cases} \quad (2.39)$$

$$SmellIndex = \text{sort}(S) \quad (2.40)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada *condition* popülasyonun ilk yarısının  $S(i)$  derecesini,  $r$  0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı,  $\max_t$  maksimum iterasyon sayısını,  $bF$  ve  $wF$  sırasıyla mevcut iteratif süreçte elde edilen en iyi ve en kötü uygunluk değerini, *SmellIndex* sıralanmış uygunluk değerlerinin dizisini ifade etmektedir.

Cıvık mantarın konumu olan  $\vec{X}$  mevcut duruma kadar elde edilen en iyi konum  $\vec{X}_b$ 'ye göre güncellenirken, ince ayar parametreleri olan  $\vec{vb}$ ,  $\vec{vc}$  ve  $\vec{W}$  da konumu değiştirebilir. Denklemlerdeki  $r$  parametresi sayesinde ise çözüm uzayındaki her bölge rastgele taranmaktadır.

### 2.7.2. Besini Çevreleme

Bu aşama, cıvık mantarın zehirli dokusunun besin ararken yaptığı büzülmeyi canlandırmaktadır. Yüksek oranda besine temas halinde cıvık mantarın zehirli dokusunu besleyen damarlar daha da kalınlaşır. Denklem 2.39'da bu durum gösterilmiştir. Buradaki  $r$  zehirli dokunun büzülmesindeki rastgeleliği modellemek, *log* büzülme sıklığındaki değişim oranını hafifletmek için kullanılır. *condition* ise cıvık mantarın besin kalitesine göre arama düzenini değiştirmesini simüle etmektedir. Tüm bu adımlar ve denklemler doğrultusunda cıvık mantarın konumunu güncellemesi matematiksel olarak

$$\vec{X}^* = \begin{cases} rand.(UB-LB) + LB, & rand < z \\ \vec{X}_b(t) + \vec{vb}.(W.\vec{X}_A(t) - \vec{X}_B(t)), & r < p \\ \vec{vc}.\vec{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (2.41)$$

şeklinde ifade edilmiştir [9]. Burada  $LB$  ve  $UB$  sırasıyla çözüm uzayının alt ve üst sınırlarını,  $rand$  ve  $r$  0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı,  $z$  ise 0.03 olarak sabit bir sayıyı ifade etmektedir. Sabit sayı problemin karakteristiğine göre değiştirilebilmektedir.

Algoritmaya ait sözde kod dizisi Şekil 2.7’de verilmiştir.

---

```

1.  Başlangıç hazırlığı
2.  while  $t < \text{Maksimum İterasyon Adımı}$ 
3.      Tüm cıvık mantarların uygunluğunun hesaplanması
4.      En uygun cıvık mantar değeri  $\vec{X}_b$ ’nin güncellenmesi
5.       $\vec{W}$  değişkeninin hesaplanması
6.      for Her bir cıvık mantar
7.           $p, \vec{vb}, \vec{vc}$  değişkenlerinin güncellenmesi
8.      Cıvık mantarların konumlarının hesaplanması
9.      end for
10.      $t=t+1$ 
11. end while
12. Return En uygun cıvık mantarın konumu ve uygunluk değeri

```

---

Şekil 2.7. CMA’nın sözde kodu

## 2.8. Değiştirilmiş Cıvık Mantar Algoritması (DCMA)

CMA literatürde farklı optimizasyon problemlerine uygulanmış esnek bir algoritmadır [29-35]. Geliştirmeye açık yapısı sayesinde üzerinde farklı iyileştirmeler yapılmasına imkan tanımaktadır. Bunun dışında, literatür incelendiğinde farklı algoritmaların bir araya getirilerek optimizasyon problemlerine uygulandığı da görülmektedir [81-86]. Bu noktadan yola çıkarak, CMA, KAA ile birleştirilmiştir. Çözüm uzayı popülasyonu iki gruba ayrılmış, iterasyon sürecinde her grup CMA ve KAA tarafından ayrı ayrı değerlendirilmiş, değerlendirme sonucunda gruplar karıştırılarak tekrar algoritmalara girdi olarak verilmiştir. Buna ek olarak, karşıt popülasyonlar da optimizasyon sürecine dahil edilmiştir. Çözüm uzayında  $X$  konumundaki bir arama ajanının tam zıttı konumunda bir arama ajanı konumlandırılarak optimizasyon sürecine katkı sağlanmıştır. Zıt popülasyon

$$Xo_i^j = \min(Xn_i(t)) + \max(Xn_i(t)) - Xn_i^j(t) \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, N \\ j &= 1, 2, \dots, d \end{aligned} \quad (2.43)$$

denklemiyle oluşturulmuştur [87]. Burada  $Xo$  zıt popülasyondaki cıvık mantarı veya karıncayı,  $Xn$  mevcut popülasyondaki cıvık mantarı veya karıncayı,  $N$  arama ajanı sayısını,  $d$  problem boyutunu ifade etmektedir. Zıt popülasyondaki her bir cıvık mantarın veya karıncanın uygunluk değeri mevcut popülasyondakiler ile kıyaslanmış ve en uygun olan tutulmuştur. Tüm bu sürece ait sözde kod dizisi Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

- 
1. *Başlangıç hazırlığı*
  2. *Cıvık mantarlar, karıncalar ve karınca aslanları rastgele konumlandırılır ve iki ana gruba ayrılır*
  3. *Her birinin uygunluğu hesaplanır*
  4. **while**  $t < \text{Maksimum İterasyon Adımı}$
  5.     *KAA çalıştırılır*
  6.     *Zıt karınca popülasyonu oluşturulur ve mevcut ile uygunluğu kıyaslanarak karınca popülasyonu güncellenir*
  7.     *CMA çalıştırılır*
  8.     *Zıt cıvık mantar popülasyonu oluşturulur ve mevcut ile uygunluğu kıyaslanarak cıvık mantar popülasyonu güncellenir*
  9.     *Tüm popülasyonlar rastgele karıştırılır ve tekrar iki ana gruba ayrılır*
  10.    *En uygun sonuç tutulur.*
  11. **end while**
  12. **Return** *En uygun konum ve ilgili sonuç*
- 

Şekil 2.8. DCMA’nın sözde kodu

### 3. BÖLÜM

## ÇOKLU EVREN ALGORİTMASI, KARINCA ASLANI ALGORİTMASI VE CIVİK MANTAR ALGORİTMASI İLE ANTEN DİZİ SENTEZİ

### 3.1. Giriş

Bu tezde ilk olarak DÇEA ve ÇEA kullanılarak dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının konum ve genlik değerleri birlikte optimize edilerek dizi diyagramlarında yan demet bastırma yapılmıştır. Bu işlem 8, 10, 12 ve 20 elemanlı dairesel anten dizisine uygulanmış olup, optimizasyon sürecinde anten çevre uzunluğu da hesaplamalara dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 8, 10, 12 elemanlı dairesel anten dizisi için GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile bulunan sonuçlarla, 20 elemanlı dairesel anten dizisi için ise SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Dairesel anten dizisine ait son örnekte ise anten çevre uzunluğu  $10\lambda$  olacak şekilde dizi elemanlarının konum ve genlik değerleri birlikte optimize edilmiş ve dizi diyagramlarında yan demet bastırma yapılmıştır. 20 elemanlı dairesel anten dizisi için yapılan bu örnekten elde edilen sonuçlar, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İkinci çalışmada DKAA kullanılarak eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi diyagramının MSL, FNBW ve DRR parametrelerini optimize etmek için dizi elemanlarının sadece genlik değerleri hesaplanmıştır. Birinci grup örnekte, 4-6-8 ve 8-10-12 elemanlı, merkez elemana sahip ve merkez eleman bulundurmeyen eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ALO [44] ve MFO [45] algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İkinci grup örnekte yine aynı anten dizi yapıları için farklı tasarım kriterleri kullanılarak dizi sentezi gerçekleştirilmiş olup, buradan elde edilen sonuçlar FA [39], SOA [42], BSA [46],

SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Üçüncü çalışmada DCMA kullanılarak eliptik anten dizi sentezi ve doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Eliptik anten dizi sentezinde dizi elemanlarının sadece genlik değerleri optimize edilmiştir. Optimizasyon sürecine FNBW ve DRR parametreleri de dahil edilerek yan demet bastırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Doğrusal anten dizi sentezi çalışmasında ise dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece konum parametreleri hesaplanmıştır. Genlik optimizasyonu ile yan demet bastırma ve geniş aralıkta sıfır oluşturma, konum optimizasyonu ile yan demet bastırma ve arzulanan doğrultuda sıfır oluşturmaya dair dizi sentezleri gerçekleştirilmiştir. Sentez esnasında FNBW, anten uzunluğu ve DRR gibi kriterler de hesaplamalara dahil edilmiştir. Optimizasyon sonrasında elde edilen sonuçlar, MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], HSA [90], PSO [91], FIADDE [91], DS [92], CRPSO [93], GWO [94], MFO [95], ALO [96] ve BSA [97] kullanılarak bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Son olarak DÇEA, DKAA ve DCMA ile doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilerek bu algoritmaların sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Dizi elemanlarının sadece konum değerleri hesaplanarak algoritmaların hedeflenen MSL değerine yakınsama performansları incelenmiştir. Hesaplamalar esnasında FNBW ve anten uzunluk değerleri de dikkate alınmıştır.

Tüm optimizasyonlar Matlab R2016b üzerinde, 8GB RAM ve 2.4 GHz i7 işlemcili bir bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

### **3.2. DÇEA ve ÇEA'nın Dairesel Anten Dizi Sentezine Uygulanması**

Bu bölümde DÇEA ve ÇEA ile dairesele anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının konum ve genlik değerleri birlikte optimize edilmiştir. Algoritmalar ile yapılan ilk dört çalışmada anten çevre uzunluğu hesaplamalara dahil edilerek 8, 10, 12 ve 20 elemanlı dairesele anten dizilerinde yan demet bastırma yapılmıştır [102]. Son çalışmada ise 20 elemanlı dairesele dizisinin çevre uzunluğu  $10\lambda$  olacak şekilde konum ve genlik değerleri birlikte hesaplanarak yan demet bastırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1. Dairesel Anten Dizisi

Şekil 3.1’de gösterilen  $x$ - $y$  düzleminde  $N$  adet dizi elemanının dairesel olarak yerleştirilmesiyle elde edilen ve yarıçapı  $a$  olan dairesel anten dizisinin dizi faktörü ifadesi

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n \exp(j[ka \sin(\theta) \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]) \quad (3.1)$$

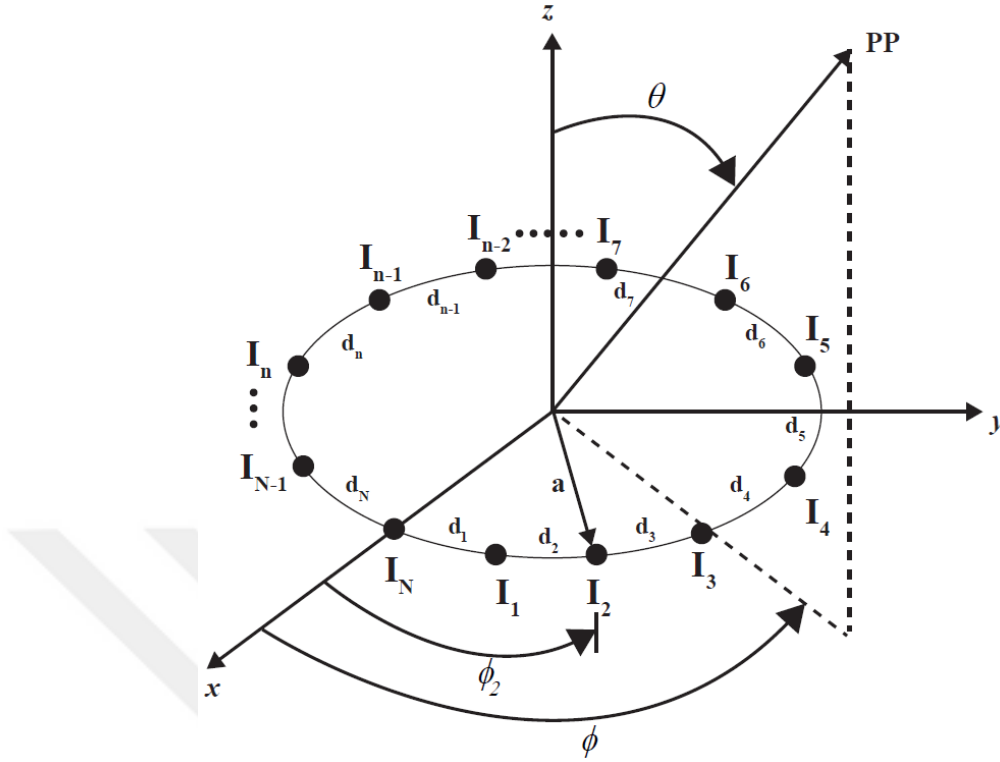
şeklinde verilir [2]. Burada

$$ka = \frac{2\pi}{\lambda} a = \sum_{i=1}^N d_i \quad (3.2)$$

$$\phi_n = \frac{2\pi \sum_{i=1}^n d_i}{ka} \quad (3.3)$$

$$\alpha_n = -ka \sin(\theta_o) \cos(\phi_o - \phi_n) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır. Denklemlerde geçen  $I_n$  ve  $\alpha_n$  sırasıyla  $n$ ’inci dizi elemanının uyarım genliğini ve fazını belirtmektedir. Dalga boyu cinsinden dizi elemanları arasındaki mesafe  $d_i$  ile ifade edilmektedir.  $x$ - $y$  düzlemi üzerindeki  $n$ ’inci dizi elemanının açısall pozisyonu  $\phi_n$  ile gösterilmiştir.  $\lambda$  dalga boyunu,  $\theta$  ve  $\phi$  sırasıyla pozitif  $z$ -ekseni ve pozitif  $x$ -ekseni üzerinden ölçülen açığı belirtmektedir. Anten dizisi  $x$ - $y$  düzlemi üzerine yerleştirildiğinden dolayı  $\theta = 90^\circ$  olarak alınmıştır. Antenin pozitif  $x$  eksenine doğru ışıma yapması için  $\theta_o$  ve  $\phi_o$  değerleri sırasıyla  $90^\circ$  ve  $0^\circ$  olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1. x-y düzlemi üzerine yerleştirilmiş dairesel anten dizisi geometrisi

### 3.2.2. DÇEA ve ÇEA Kullanılarak Dairesel Anten Dizilerinde Yan Demet Bastırma

Optimizasyon algoritmaları uygulandıkları probleme ait maliyet fonksiyonu doğrultusunda minimizasyon veya maksimizasyon işlemlerini gerçekleştirmektedirler. Bu çalışmada, DÇEA ve ÇEA kullanılarak dairesel anten dizisindeki elemanların konum ve genlik değerleri istenen dizi diyagramını elde etmek için birlikte hesaplanmıştır. Dizi elemanlarına ait konum ve genlik parametrelerinin optimize edilebilmesi için aşağıdaki maliyet fonksiyonu kullanılmıştır.

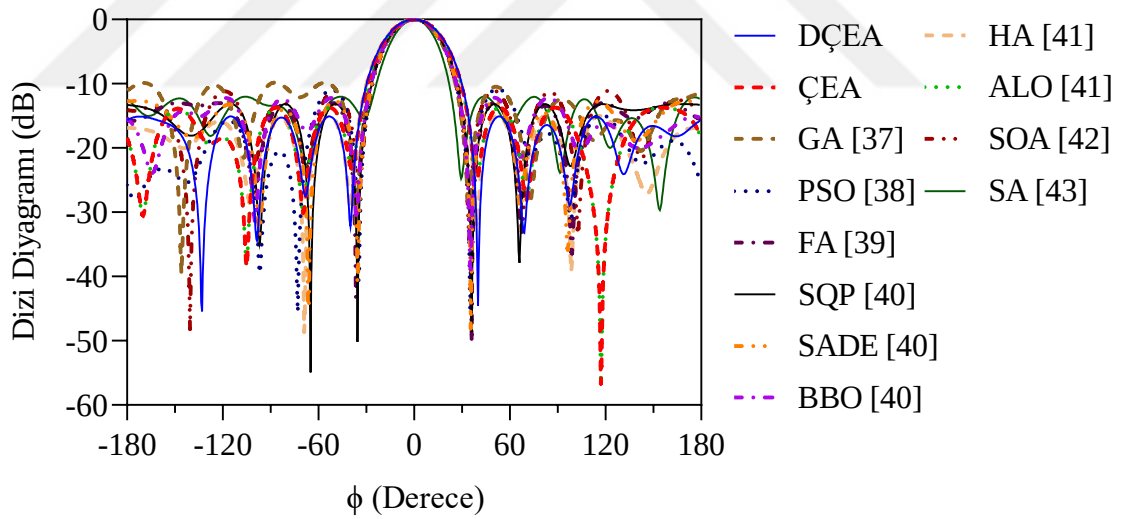
$$Maliyet = \max \left( 20 \log \left| \frac{AF(\phi_{MSL})}{AF_{max}} \right| \right) + \left| \left( \sum_{i=1}^N d_i \right) - (C) \right| \quad (3.5)$$

burada  $\phi_{MSL}$  yan demet bastırma işleminin gerçekleştirileceği açı aralığını,  $AF_{max}$  ana demetin tepe noktasını ve  $C$  anten dizisinde arzulanan çevre uzunluğunu ifade etmektedir.

Bu bölümde yapılan dairesel anten dizi sentezi örneklerinde, anten çevre uzunluğu da dikkate alınarak düşük yan demet seviyesine sahip ışıma diyagramlarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

DÇEA ve ÇEA, maksimum iterasyon sayısı 300, popülasyon sayısı 50 olarak ayarlanarak toplamda 5 farklı örnek üzerinde uygulanmıştır. Bu algoritmalar 20 kere çalıştırılarak yan demet seviyeleri ve anten çevre uzunluklarına dair elde edilen en iyi sonuçlar literatürdeki GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İlk örnekte 8 elemanlı dairesel anten dizisinin eleman konumları ve genlikleri birlikte optimize edilmiştir. Yan demet bölgesi olarak  $\phi = [-180^\circ, -34^\circ]$  ve  $\phi = [34^\circ, 180^\circ]$  arası alınmıştır. Optimizasyon sonrası elde edilen dizi diyagramları, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen dizi diyagramları ile Şekil 3.2’de karşılaştırılmıştır. Bu dizi diyagramlarının MSL ve anten çevre uzunluk değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1’den DÇEA ve ÇEA ile elde edilen MSL ve anten çevre uzunluk değerlerinin diğer algoritmaların sonuçlarına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

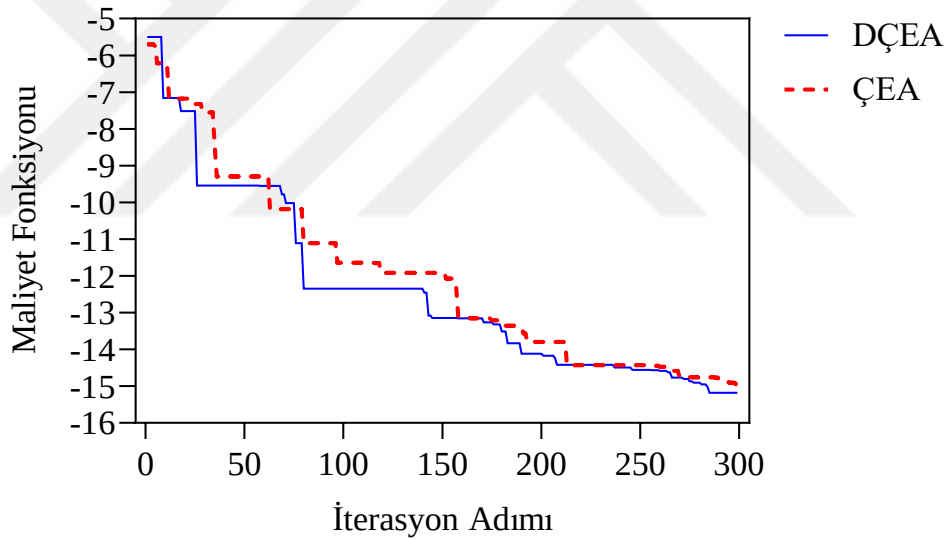


Şekil 3.2. Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 8 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları

Tablo 3.1. Şekil 3.2’de gösterilen 8 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.

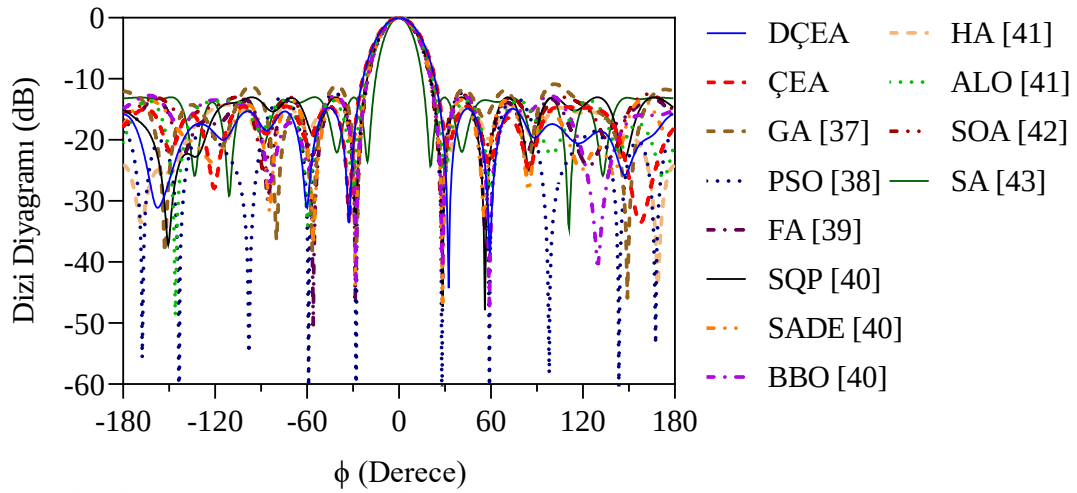
|                     |                              | DÇEA   | ÇEA    | GA<br>[37] | PSO<br>[38] | FA<br>[39] | SQP<br>[40] | SADE<br>[40] | BBO<br>[40] | HA<br>[41] | ALO<br>[41] | SOA<br>[42] | SA<br>[43] |
|---------------------|------------------------------|--------|--------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| N=8<br>Şekil<br>3.2 | MSL<br>(dB)                  | -15.08 | -15.04 | -9.81      | -10.8       | -13.00     | -13.16      | -12.70       | -12.18      | -15.00     | -13.71      | -11.11      | -11.99     |
|                     | $\Sigma(d)$<br>( $\lambda$ ) | 4.3810 | 4.3936 | 4.4094     | 4.4931      | 4.6556     | 4.6521      | 4.6505       | 4.5814      | 4.5384     | 4.5416      | 4.4070      | 5.8750     |

Bölüm 2.3’te anlatılan ve ÇEA üzerinde yapılan değişikliğin optimizasyon süreci üzerindeki etkisini görmek için birinci örneğe ait yakınsama eğrisi Şekil 3.3’te verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere DÇEA, küçük bir iyileşme ile yakınsamada ÇEA’ya göre daha iyi performans sergilemektedir.



Şekil 3.3. Şekil 3.2’de verilen örnek için DÇEA ve ÇEA ait yakınsama eğrileri

İkinci örnekte eleman sayısı 10, yan demet bölgesi olarak ise  $\phi = [-180^\circ, -27^\circ]$  ve  $\phi = [27^\circ, 180^\circ]$  arası alınarak dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Birinci örnekte olduğu gibi DÇEA ve ÇEA kullanılarak dizi elemanlarının konum ve genlik değerlerinin beraber optimizasyonu sonrası elde edilen dizi diyagramları, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen dizi diyagramları ile Şekil 3.4’te karşılaştırılmıştır. Bu diyagramların MSL ve çevre uzunluğu değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. DÇEA ve ÇEA ile diğer algoritmalarla göre daha iyi sonuçlar elde edildiği Tablo 3.2’den görülmektedir.

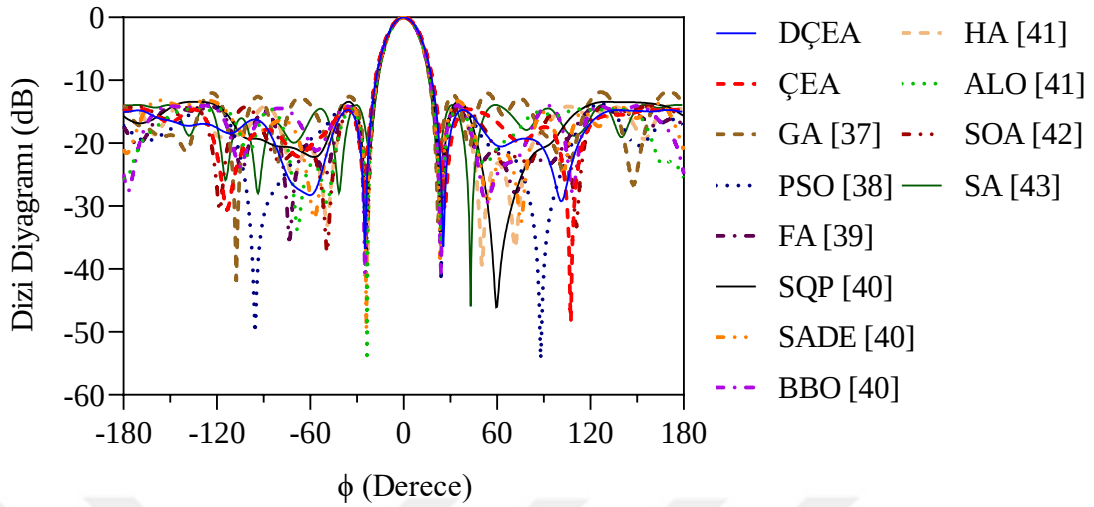


Şekil 3.4. Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DCEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 10 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları

Tablo 3.2. Şekil 3.4'te gösterilen 10 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.

|                   |                           | DCEA   | ÇEA    | GA [37] | PSO [38] | FA [39] | SQP [40] | SADE [40] | BBO [40] | HA [41] | ALO [41] | SOA [42] | SA [43] |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|---------|----------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| N=10<br>Şekil 3.4 | MSL (dB)                  | -14.71 | -14.49 | -11.03  | -12.31   | -13.30  | -13.02   | -13.43    | -12.72   | -14.20  | -13.52   | -12.50   | -13.00  |
|                   | $\Sigma(d)$ ( $\lambda$ ) | 5.8600 | 5.8653 | 6.0886  | 5.9029   | 6.0700  | 6.0319   | 6.0532    | 6.0565   | 5.8821  | 5.9686   | 6.1042   | 8.0214  |

Dairesel anten dizi sentezine dair üçüncü örnekte eleman sayısı 12, yan demet bölgesi  $\phi = [-180^\circ, -23^\circ]$  ve  $\phi = [23^\circ, 180^\circ]$  olarak alınmıştır. DCEA ve ÇEA kullanılarak yapılan optimizasyonlar sonrası elde edilen dizi diyagramları, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen dizi diyagramları ile Şekil 3.5'te karşılaştırılmıştır. Tablo 3.3'te bu dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri verilmiş olup, tablodan görüleceği üzere DCEA ile elde edilen MSL ve anten çevre uzunluğu değerleri ÇEA ile elde edilenlere göre daha iyidir. Yine aynı tabloda DCEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen MSL ve anten çevre uzunlukları karşılaştırıldığında en iyi MSL değerinin DCEA ile, en iyi anten çevre uzunluk değerinin ise SQP [40] algoritması ile elde edildiği görülmektedir.

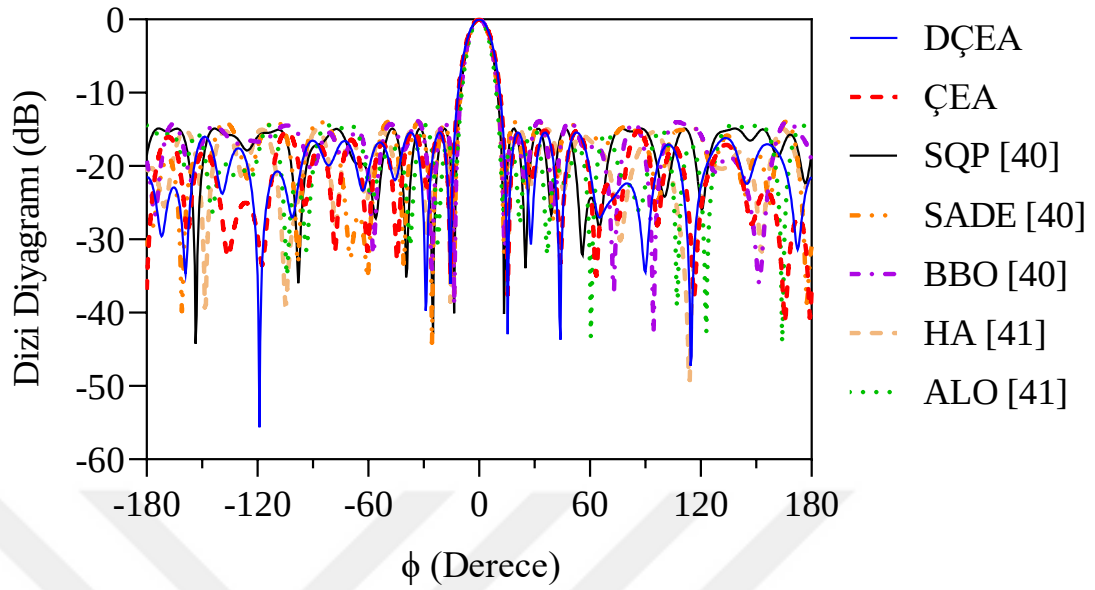


Şekil 3.5. Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DCEA, ÇEA, GA [37], PSO [38], FA [39], SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41], ALO [41], SOA [42] ve SA [43] ile elde edilen 12 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları

Tablo 3.3. Şekil 3.5'te gösterilen 12 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.

|           |                              | DCEA   | ÇEA    | GA [37] | PSO [38] | FA [39] | SQP [40] | SADE [40] | BBO [40] | HA [41] | ALO [41] | SOA [42] | SA [43] |
|-----------|------------------------------|--------|--------|---------|----------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| N=12      | MSL (dB)                     | -14.70 | -14.60 | -11.80  | -13.68   | -14.21  | -13.41   | -13.19    | -14.01   | -14.12  | -14.56   | -14.11   | -13.91  |
| Şekil 3.5 | $\Sigma(d)$<br>( $\lambda$ ) | 7.1474 | 7.1479 | 7.7724  | 7.1501   | 7.2145  | 7.0841   | 7.1793    | 7.2196   | 7.2153  | 7.2661   | 7.1499   | 7.9523  |

Dördüncü örnekte dairesel anten dizisinin eleman sayısı 20 olarak ayarlanmıştır. Yan demet bölgesi de  $\phi = [-180^\circ, -14^\circ]$  ve  $\phi = [14^\circ, 180^\circ]$  olacak şekilde belirlenmiştir. DCEA ve ÇEA ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.6'da SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen dizi diyagramları ile karşılaştırılmıştır. Bu dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu tabloya göre DCEA ile gerçekleştirilen optimizasyon sonrasında elde edilen MSL ve anten çevre uzunluğu değerleri diğer algoritmaların sonuçlarına göre daha iyidir.

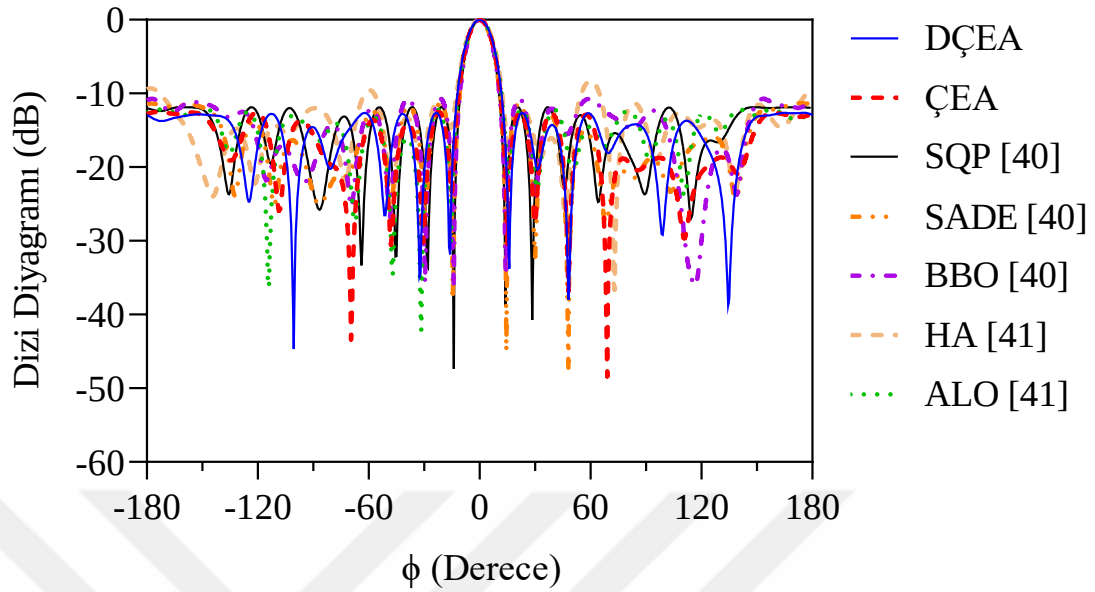


Şekil 3.6. Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen 20 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları

Tablo 3.4. Şekil 3.6’da gösterilen 20 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.

|                   |                           | DÇEA    | ÇEA     | SQP [40] | SADE [40] | BBO [40] | HA [41] | ALO [41] |
|-------------------|---------------------------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|
| N=20<br>Şekil 3.6 | MSL (dB)                  | -15.40  | -15.11  | -14.87   | -13.95    | -13.84   | -14.98  | -14.39   |
|                   | $\Sigma(d)$ ( $\lambda$ ) | 10.6024 | 10.6571 | 12.3258  | 12.1851   | 12.3979  | 10.7420 | 13.8948  |

Dairesel anten dizisine ait son örnekte 20 elemanlı anten dizisinin anten çevre uzunluğu  $10\lambda$  olacak şekilde yan demet bastırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yan demet bölgesi olarak dördüncü örnekle aynı açı aralıkları alınmış olup, DÇEA, ÇEA, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu dizi diyagramlarının MSL değerleri Tablo 3.5’te karşılaştırılmıştır. Tablodan görüleceği üzere DÇEA,  $10\lambda$ ’lık anten çevre uzunluğunda diğer algoritmalara göre daha düşük MSL değeri elde ederek daha başarılı performans sergilemiştir.



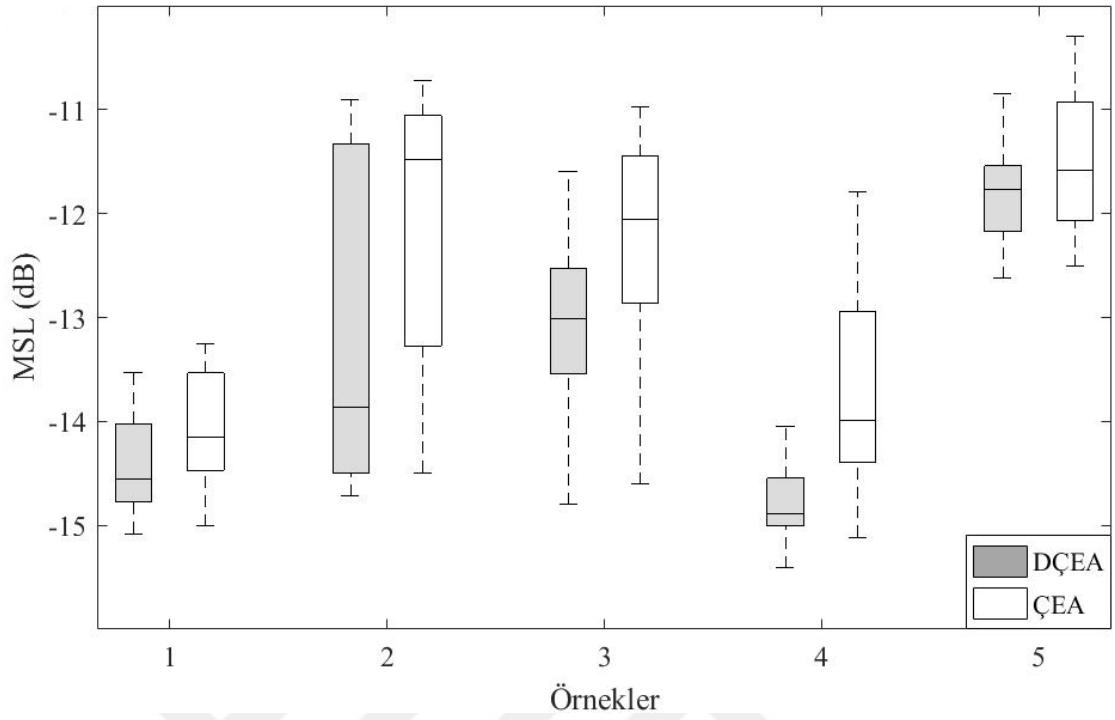
Şekil 3.7. Konum ve genlik kontrolü birlikte yapılarak DÇEA, ÇEA, SQP [40], SADE [40], BBO [40], HA [41] ve ALO [41] ile elde edilen  $10\lambda$  anten çevre uzunluğuna sahip 20 elemanlı dairesel anten dizisi diyagramları

Tablo 3.5. Şekil 3.7’de gösterilen 20 elemanlı dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL ve anten çevre uzunluk değerleri.

|                   |                              | DÇEA   | ÇEA    | SQP<br>[40] | SADE<br>[40] | BBO<br>[40] | HA<br>[41] | ALO<br>[41] |
|-------------------|------------------------------|--------|--------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|
| N=20<br>Şekil 3.7 | MSL<br>(dB)                  | -12.62 | -12.51 | -11.81      | -11.30       | -10.70      | -12.35     | -12.15      |
|                   | $\Sigma(d)$<br>( $\lambda$ ) | 10     | 10     | 10          | 10           | 10          | 10         | 10          |

8, 10, 12 ve 20 elemanlı dairesel anten dizi sentezi örneklerinde DÇEA ve ÇEA’nın 20 kere çalıştırılması sonrası elde edilen MSL değerlerinin kutu grafiği Şekil 3.8’de, bu kutu grafiğine ait MSL değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3.6’da verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bağımsız olarak gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde DÇEA, ÇEA ile kıyaslandığında daha düşük MSL değerleri elde etmiştir. Standart sapma oranları incelendiğinde ise ikinci örnek hariç genel olarak DÇEA daha kararlı bir performans göstermiştir.

DÇEA ve ÇEA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerindeki dizi diyagramlarına ait konum ve genlik değerleri Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.8. DÇEA ve ÇEA'nın 20 kere çalıştırılması sonrası elde edilen MSL değerlerine ait kutu grafiği

Tablo 3.6. DÇEA ve ÇEA ile gerçekleştirilen dairesel anten dizi sentezi örneklerine dair 20 çalışma sonucu elde edilen ortalama MSL ve standart sapma değerleri.

|                     | Örnek 1 |        | Örnek 2 |        | Örnek 3 |        | Örnek 4 |        | Örnek 5 |        |
|---------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                     | DÇEA    | ÇEA    | DÇEA    | ÇEA    | DÇEA    | ÇEA    | DÇEA    | ÇEA    | DÇEA    | ÇEA    |
| Ortalama MSL (dB)   | -14.39  | -14.05 | -13.09  | -12.02 | -13.06  | -12.34 | -14.77  | -13.74 | -11.84  | -11.51 |
| Standart Sapma (dB) | 0.49    | 0.56   | 1.52    | 1.26   | 0.81    | 1.07   | 0.35    | 0.98   | 0.46    | 0.65   |

Tablo 3.7. DÇEA ve ÇEA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman konum ve genlik değerleri.

|           |      | $\lambda$ cinsinden $[d_1, d_2, d_3, ..., d_N]$ ve $[I_1, I_2, I_3, ..., I_N]$ değerleri                                                      |
|-----------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 3.2 | DÇEA | [0.3233 0.7422 0.8153 0.6103 0.6470 0.2177 0.7008 0.3244]                                                                                     |
|           |      | [1 0.3581 0.8332 0.7690 0.1326 0.3330 0.9277 0.1107]                                                                                          |
|           | ÇEA  | [0.3285 0.6531 0.2366 0.6674 0.6277 0.7766 0.7634 0.3403]                                                                                     |
|           |      | [0.6649 0.2609 0.2650 0.8362 1 0.2546 0.8236 0.2229]                                                                                          |
| Şekil 3.4 | DÇEA | [0.1903 0.1571 0.9053 0.4085 0.9862 0.5522 0.9654 0.4765 0.8877 0.3308]                                                                       |
|           |      | [0.3621 0.7931 0.4929 0.2722 0.9545 0.8882 0.3011 0.5697 1 0.2856]                                                                            |
|           | ÇEA  | [0.3012 0.2732 0.6967 0.4202 0.9751 0.5266 0.9490 0.8571 0.5480 0.3182]                                                                       |
|           |      | [0.8811 0.1196 0.2380 0.4808 0.6397 0.7434 0.4745 0.2438 1 0.1999]                                                                            |
| Şekil 3.5 | DÇEA | [0.3159 0.7274 0.7454 0.6109 0.1259 0.7763 0.4936 0.9420 0.8175 0.4464 0.8833 0.2628]                                                         |
|           |      | [0.6145 0.3664 0.6626 0.1591 0.1449 0.9212 1 0.7296 0.2799 0.4902 0.6086 0.6184]                                                              |
|           | ÇEA  | [0.3204 0.7554 0.7360 0.6310 0.9008 0.4192 0.9589 0.1723 0.7213 0.3601 0.9386 0.2339]                                                         |
|           |      | [0.9903 0.4331 0.6986 0.4033 1 0.9938 0.7948 0.1214 0.2272 0.5110 0.9336 0.5467]                                                              |
| Şekil 3.6 | DÇEA | [0.3013 0.4719 0.8251 0.1155 0.6402 0.8880 0.3553 0.9541 0.5113 0.1000 0.2801 0.4103 0.8738 0.2270 0.6347 0.7450 0.6127 0.9866 0.4472 0.2223] |
|           |      | [0.7599 0.2832 0.1555 0.6541 0.3102 0.5869 0.9399 0.3185 1 0.1036 0.5827 0.7808 0.1381 0.4406 0.6412 0.7885 0.5329 0.5145 0.9146 0.4414]      |
|           | ÇEA  | [0.2479 0.4334 0.9496 0.7325 0.6853 0.5666 0.9143 0.5344 0.1350 0.3199 0.1926 0.4758 0.7640 0.2852 0.4629 0.7318 0.5492 0.9961 0.5618 0.1188] |
|           |      | [0.5082 0.7995 0.7677 0.6978 0.5223 0.7467 0.6694 0.7362 0.7616 0.8147 0.6043 0.3239 0.7624 0.2968 1 0.8843 0.9138 0.6642 0.9445 0.8043]      |
| Şekil 3.7 | DÇEA | [0.6364 0.3793 0.9334 0.5274 0.3513 0.9207 0.4730 0.1859 0.5125 0.3305 0.5517 0.3355 0.8594 0.5929 0.3201 0.6699 0.2335 0.5339 0.3883 0.2644] |
|           |      | [0.7025 0.7391 0.2558 0.3866 0.8487 0.5303 0.2365 0.7463 1 0.8262 0.1349 0.9108 0.1730 0.7486 0.6675 0.2566 0.7451 0.2617 0.6425 0.6143]      |
|           | ÇEA  | [0.1008 0.1130 0.4527 0.4436 0.9314 0.2575 0.2372 0.3995 0.8275 0.9908 0.3814 1.0813 0.9903 0.3910 0.3395 0.8914 0.4817 0.4714 0.1111 0.1069] |
|           |      | [0.5859 0.5800 0.9237 0.6956 0.7435 0.8154 0.3572 0.7263 0.9135 0.7137 0.9515 0.7478 0.7961 0.7528 1 0.6600 0.9821 0.3981 0.7731 0.5785]      |

### 3.3. DKAA'nın Eşmerkezli Dairesel Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Bu bölümde DKAA kullanılarak eşmerkezli dairesel anten dizisindeki dizi elemanlarının sadece genlik değerleri optimize edilerek yan demet bastırma yapılmıştır [103]. Algoritmanın performansını incelemek için farklı eşmerkezli dairesel anten dizisi yapıları üzerinde çalışılmıştır. Bu dizi yapılarında sadece genlik değerleri hesaplanarak düşük MSL, dar FNBW ve düşük DRR değerlerine sahip bir dizi diyagramı elde edilmesi hedeflenmiştir.

### 3.3.1. Eşmerkezli Dairesel Anten Dizisi

Eşmerkezli dairesel anten dizisi, farklı çaplardaki dairesel anten dizilerinin bir eşmerkez etrafına yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Şekil 3.9’da gösterildiği gibi  $x$ - $y$  düzlemi üzerinde  $M$  adet eşmerkezli daire boyunca  $N_m$  ( $m = 1, 2, 3, \dots, M$ ) adet dizi elemanı yerleştirilmiştir. Bu yapının dizi faktörü

$$AF(\theta, \phi) = I_c + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} I_{mn} \exp\{j[kr_m \sin(\theta) \cos(\phi - \phi_{mn}) + \alpha_{mn}]\} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir [2]. Burada

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.7)$$

$$\phi_{mn} = \frac{2\pi n}{N_m} \quad (3.8)$$

$$\alpha_{mn} = -kr_m \sin(\theta_0) \cos(\phi_0 - \phi_{mn}) \quad (3.9)$$

olarak tanımlanır. Denklemlerde geçen  $I_c$  merkez elemanın uyarım genliğini (eğer dizi merkez eleman barındırmıyorsa  $I_c = 0$  olarak alınır),  $I_{mn}$  ve  $\alpha_{mn}$  ise sırasıyla  $m$ ’inci halkadaki  $n$ ’inci elemanın uyarım genliği ve fazını belirtmektedir. Dalga sayısı  $k$ , dalga boyu  $\lambda$  ile gösterilmiştir.  $m$ ’inci halkanın yarıçapı  $r_m$ ,  $m$ ’inci halkanın  $n$ ’inci elemanının açısal konumu  $\phi_{mn}$ ,  $m$ ’inci halkadaki eleman sayısı  $N_m$  ve toplam halka sayısı  $M$  ile ifade edilmiştir.  $\theta_0$  ve  $\phi_0$  sırasıyla  $90^\circ$  ve  $0^\circ$  olarak alınmıştır. Bu durumda ana demet pozitif  $x$ -eksenine doğru ışınım yapmaktadır.  $\theta$  ise  $90^\circ$  alınmıştır.



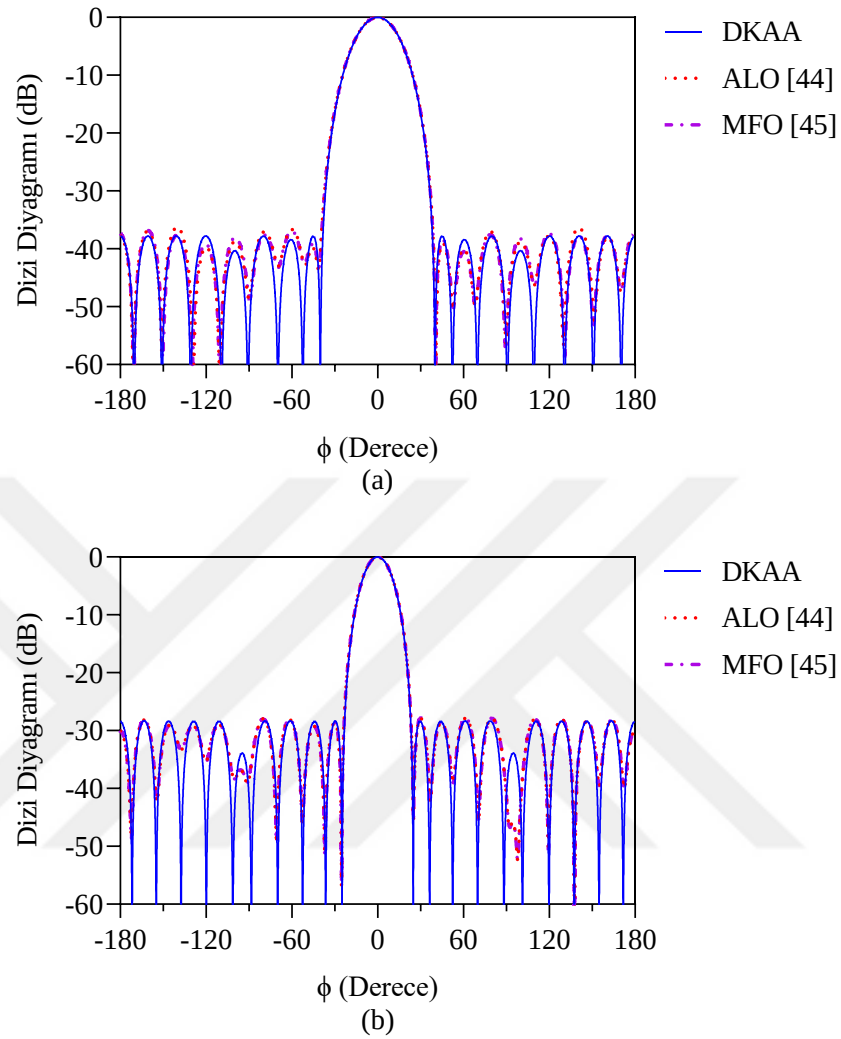
$$f_{DRR} = w_2 \left| \frac{I_{max}}{I_{min}} \right| \quad (3.12)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada  $AF(\phi)$  dB cinsinden dizi faktörünü,  $MSL_d$  istenen maksimum yan demet seviyesini,  $I_{max}$  maksimum genlik değerini,  $I_{min}$  minimum genlik değerini belirtmektedir.  $w_1$  ve  $w_2$  ise birer katsayıdır.

DKAA ile eşmerkezli dairesel anten dizi sentezinde algoritmanın maksimum iterasyon sayısı 500, popülasyon sayısı 100 olarak ayarlanmıştır. Algoritma 18 örnek üzerinde uygulanmış olup, optimizasyon sonucunda elde edilen MSL, FNBW ve DRR değerleri ilk gruptaki çalışmada ALO [44] ve MFO [45] algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile, ikinci gruptaki çalışmada ise FA [39], SOA [42], BSA [46], SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

ALO [44] ve MFO [45] algoritmaları ile karşılaştırılan çalışmada ilk olarak merkez eleman bulundurmeyan eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu anten dizilerinde iç, orta ve dış halkadaki dizi elemanları arasındaki mesafe sırasıyla  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı dizi için  $0.5\lambda$ ,  $0.58\lambda$ ,  $0.77\lambda$  ve  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı dizi için  $0.52\lambda$ ,  $0.53\lambda$ ,  $0.68\lambda$  olarak alınmıştır. Anten dizilerinin sadece eleman genlikleri optimize edilmiştir. MSL, FNBW ve DRR parametreleri de dikkate alınmıştır. Sentez sonucu elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.10'da, bu dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.8'de gösterilmiştir. DKAA'nın ALO [44] ve MFO [45] algoritmalarına ait MSL, FNBW ve DRR değerlerinden daha iyi sonuçlar elde ettiği Tablo 3.8'den açıkça görülmektedir.

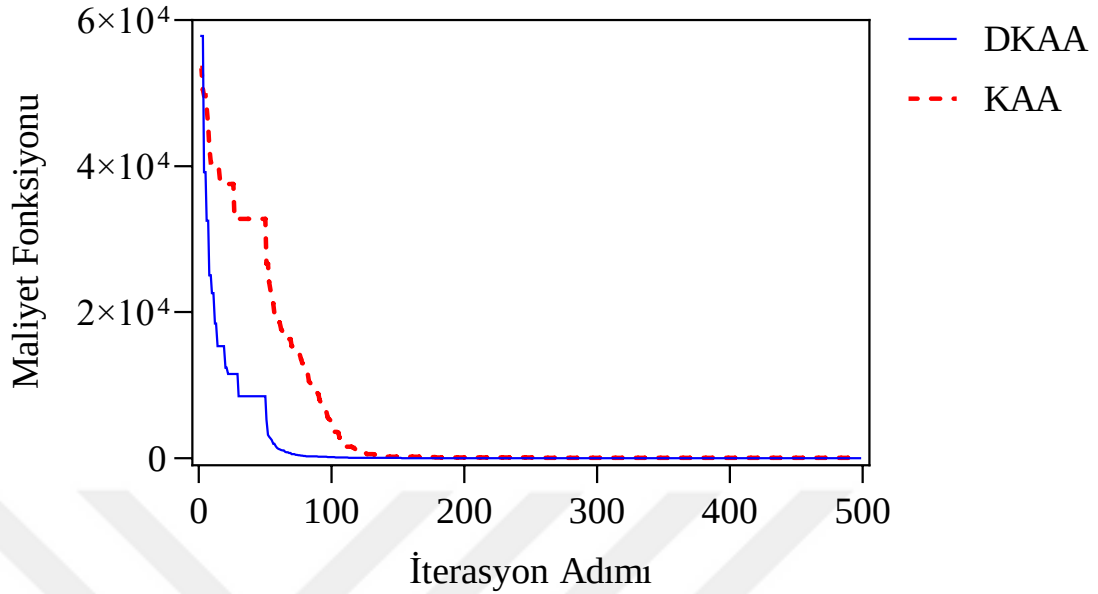
KAA üzerinde yapılan değişikliğin optimizasyon sürecine olan etkisini görmek için ilk örnekteki merkez eleman bulundurmeyan  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı eşmerkezli dairesel anten dizi sentezine ait yakınsama eğrisi Şekil 3.11'de sunulmuştur. Şekil 3.11'den de görüleceği üzere AKP kullanılarak üzerinde değişiklik yapılan KAA, maliyet fonksiyonunu minimize etme ve yakınsamada standart KAA'ya göre daha iyi performans sergilemektedir.



Şekil 3.10. Genlik kontrolü yapılarak DKAA, ALO [44] ve MFO [45] ile elde edilen (a)  $N_1=4, N_2=6, N_3=8$  ve (b)  $N_1=8, N_2=10, N_3=12$  elemanlı, merkez elemana sahip olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları

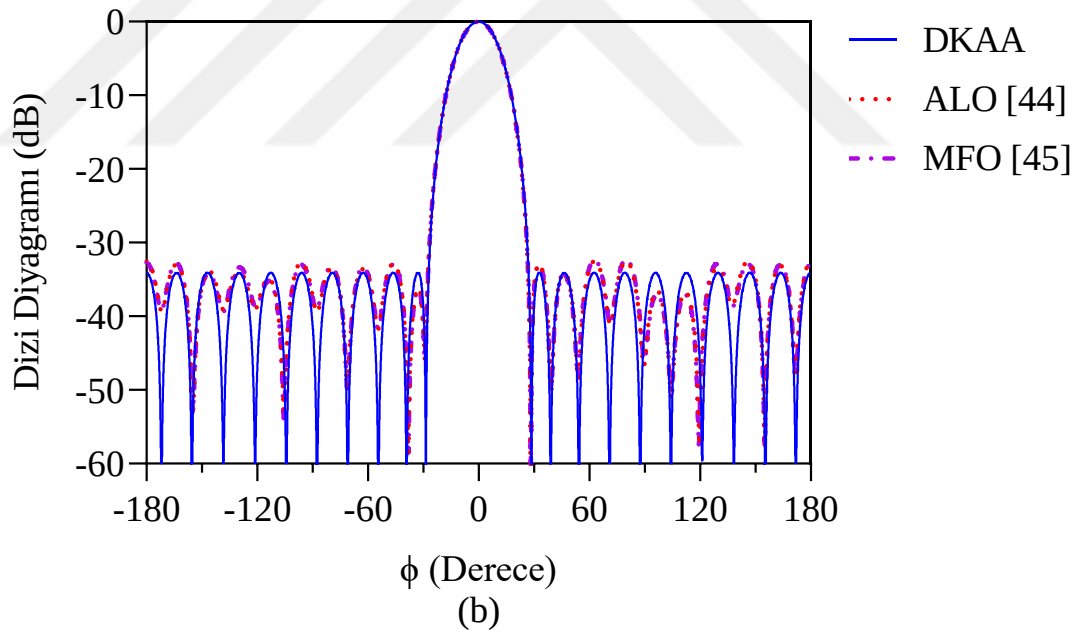
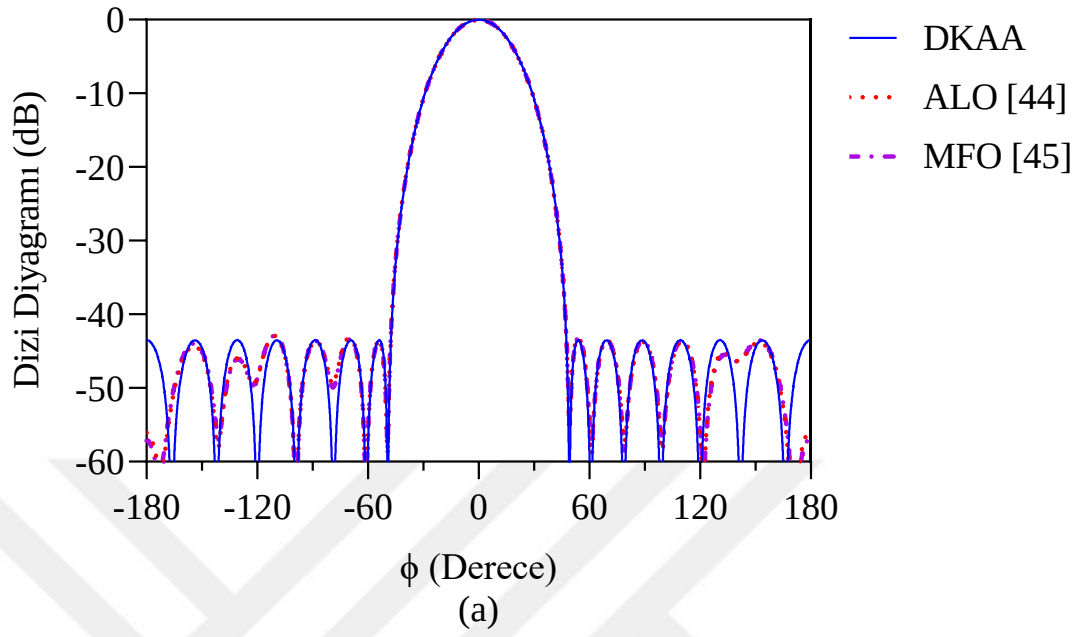
Tablo 3.8. Şekil 3.10’da gösterilen eşmerkezli dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| Şekil    | Algoritma | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR     |
|----------|-----------|----------|---------------|---------|
| 3.10 (a) | DKAA      | -37.76   | 80.2          | 3.2830  |
|          | ALO [44]  | -36.95   | 81.54         | 3.2992  |
|          | MFO [45]  | -36.84   | 81.18         | 3.2928  |
| 3.10 (b) | DKAA      | -28.28   | 49.76         | 8.0321  |
|          | ALO [44]  | -27.83   | 50.22         | 18.6449 |
|          | MFO [45]  | -27.92   | 50.22         | 18.7349 |



Şekil 3.11.  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı merkez eleman bulundurmeyen eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi için DKAA ve KAA yakınsama eğrileri

ALO [44] ve MFO [45] ile karşılaştırmanın yapıldığı çalışmanın ikinci adımında merkez eleman bulunduran  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı ve  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi yapılmıştır. Dizi elemanları arasındaki mesafe  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı anten dizisi için iç, orta ve dış halkada  $0.52\lambda$ ,  $0.53\lambda$ ,  $0.68\lambda$ ,  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı anten dizisi için iç, orta ve dış halkada  $0.55\lambda$ ,  $0.606\lambda$ ,  $0.75\lambda$  olarak ayarlanmıştır. Düşük MSL, dar FNBW ve düşük DRR değerlerine sahip dizi diyagramları elde etmek için dizi elemanlarının sadece genlik değerleri DKAA ile optimize edilerek anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonrasında elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.12’de ALO [44] ve MFO [45] algoritmaları ile elde edilen dizi diyagramları ile karşılaştırılmıştır. Bu dizi diyagramlarının MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.9’da verilmiştir. DKAA’nın diğer algoritmalara göre daha iyi MSL, FNBW ve DRR değerleri elde ettiği Tablo 3.9’dan açıkça görülmektedir. Şekil 3.10 ve 3.12’deki dizi diyagramlarının genlik değerleri Tablo 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.12. Genlik kontrolü yapılarak DKAA, ALO [44] ve MFO [45] ile elde edilen (a)  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  ve (b)  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları

Tablo 3.9. Şekil 3.12’de gösterilen eşmerkezli dairesel anten dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| Şekil    | Algoritma | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR      |
|----------|-----------|----------|---------------|----------|
| 3.12 (a) | DKAA      | -43.47   | 98.38         | 39.2157  |
|          | ALO [44]  | -42.93   | 98.46         | 342.2917 |
|          | MFO [45]  | -42.93   | 98.46         | 432.3158 |
| 3.12 (b) | DKAA      | -34.02   | 57.18         | 27.8552  |
|          | ALO [44]  | -33.08   | 57.28         | 71.0370  |
|          | MFO [45]  | -32.88   | 57.24         | 73.0381  |

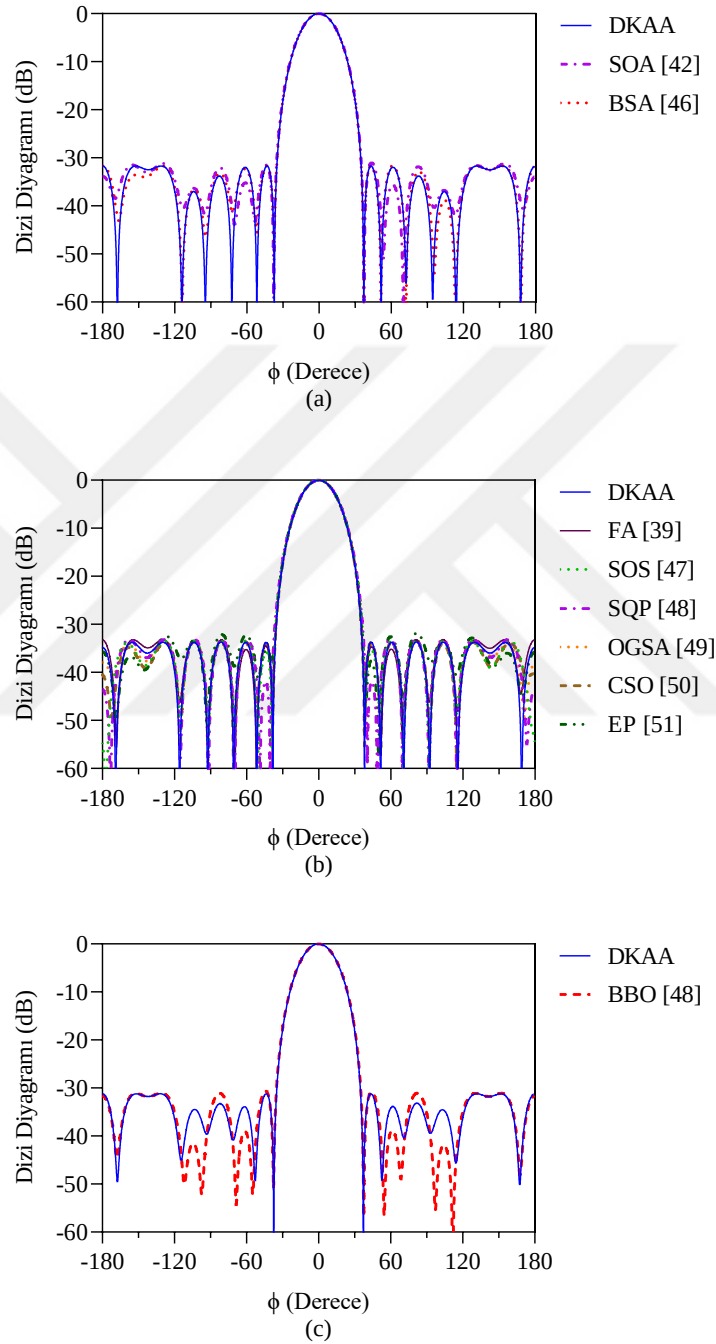
Tablo 3.10. Şekil 3.10 ve 3.12’de gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri.

| Şekil    | $[I_{1,1}, \dots, I_{1,n}; I_{2,1}, \dots, I_{2,n}; I_{3,1}, \dots, I_{3,n}; I_c]$                                                                                                                                  |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.10 (a) | [1 0.8579 1 0.8596; 0.7592 0.7609 0.9172 0.7610 0.7593 0.9191; 0.5761 0.9422 0.5766 0.3046 0.5762 0.9423 0.5757 0.3046]                                                                                             |
| 3.10 (b) | [0.6901 0.2598 0.6898 0.7165 0.6897 0.2598 0.6900 0.7175; 0.5532 0.1245 0.1245 0.5524 0.5002 0.5524 0.1245 0.1245 0.5532 0.5005; 0.3694 0.3260 1 0.3255 0.3694 0.4857 0.3694 0.3255 1 0.3260 0.3694 0.4856]         |
| 3.12 (a) | [0.0576 0.4992 0.0585 0.5009; 0.8737 0.8727 1 0.8733 0.8743 0.9983; 0.4797 0.4080 0.4802 0.0256 0.4802 0.4082 0.4797 0.0255; 0.7226]                                                                                |
| 3.12 (b) | [0.4426 1 0.4484 0.9327 0.4484 1 0.4426 0.9186; 0.6713 0.0359 0.0359 0.6792 0.2751 0.6787 0.0359 0.0359 0.6708 0.2769; 0.3218 0.3049 0.6606 0.3119 0.3245 0.2376 0.3248 0.3117 0.6604 0.3046 0.3222 0.2336; 0.9072] |

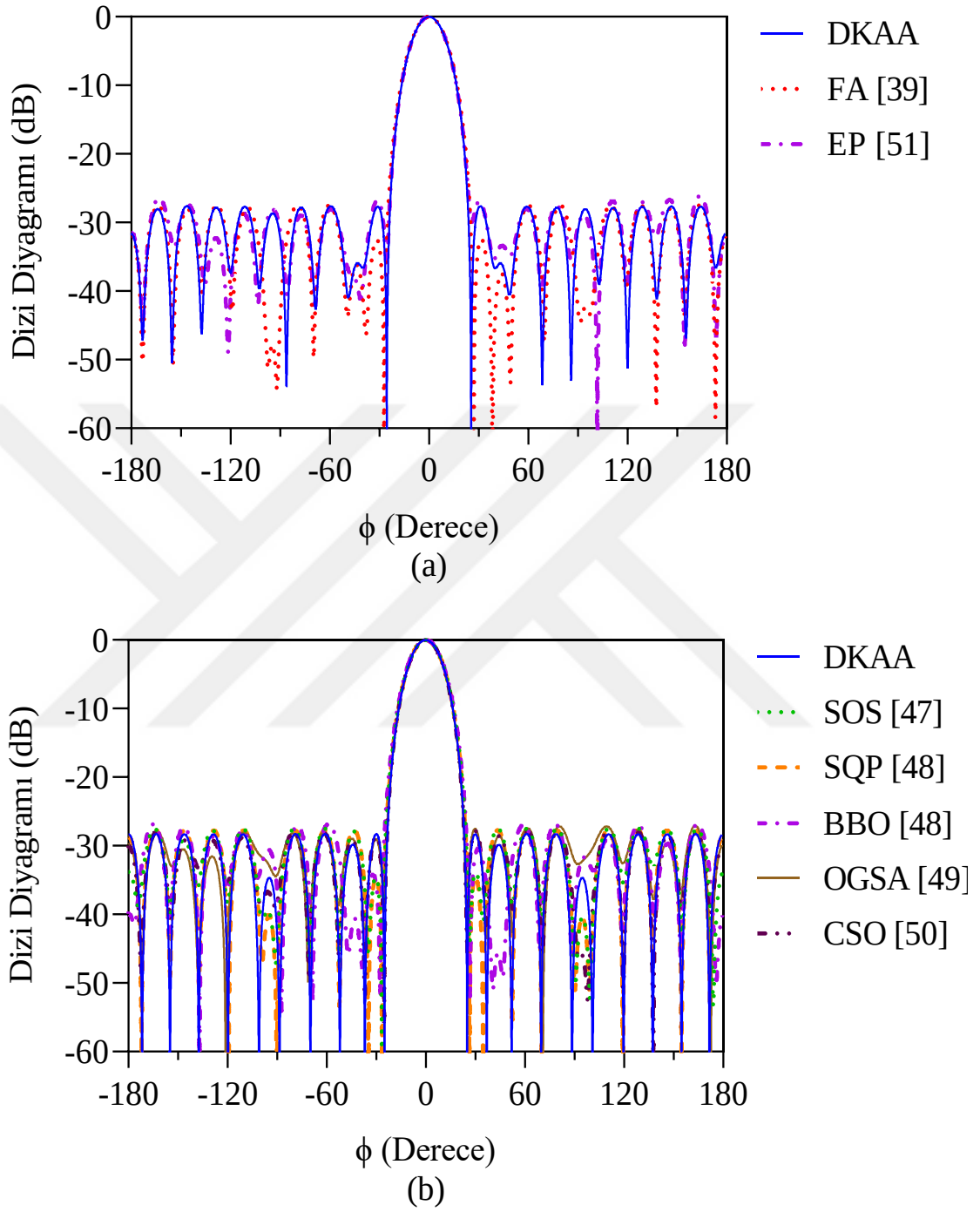
FA [39], SOA [42], BSA [46], SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] metotlarının sentez sonuçları ile karşılaştırmaların yapıldığı ikinci grup çalışmada merkez eleman bulunduran ve bulundurmeyan eşmerkezli dairesel anten dizilerinde dizi elemanları arasındaki mesafe iç, orta ve dış halka için  $0.55\lambda$ ,  $0.606\lambda$ ,  $0.75\lambda$  olarak alınmıştır.

Bu grupta ilk örnek olarak merkez eleman bulundurmeyan  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  ve  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı eşmerkezli dairesel anten dizilerinin eleman genlikleri DKAA ile optimize edilerek dizi diyagramlarının yan demetleri bastırılmıştır. Optimizasyon sonucu elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.13 ve 3.14’te FA [39], SOA [42], BSA [46], SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] ile elde edilen dizi diyagramları ile karşılaştırılmıştır. Bu dizi diyagramlarının MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir. Tablodaki değerler karşılaştırıldığında her üç dizi

parametresinde de DKAA'nın diğer algoritmaların elde ettiği sonuçlara göre daha iyi performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 3.13. Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, SOA [42], BSA [46], (b) DKAA, FA [39], SOS [47], SQP [48], OGSA [49], CSO [50], EP [51] ve (c) DKAA, BBO [48] ile elde edilen  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı, merkez elemanı olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları

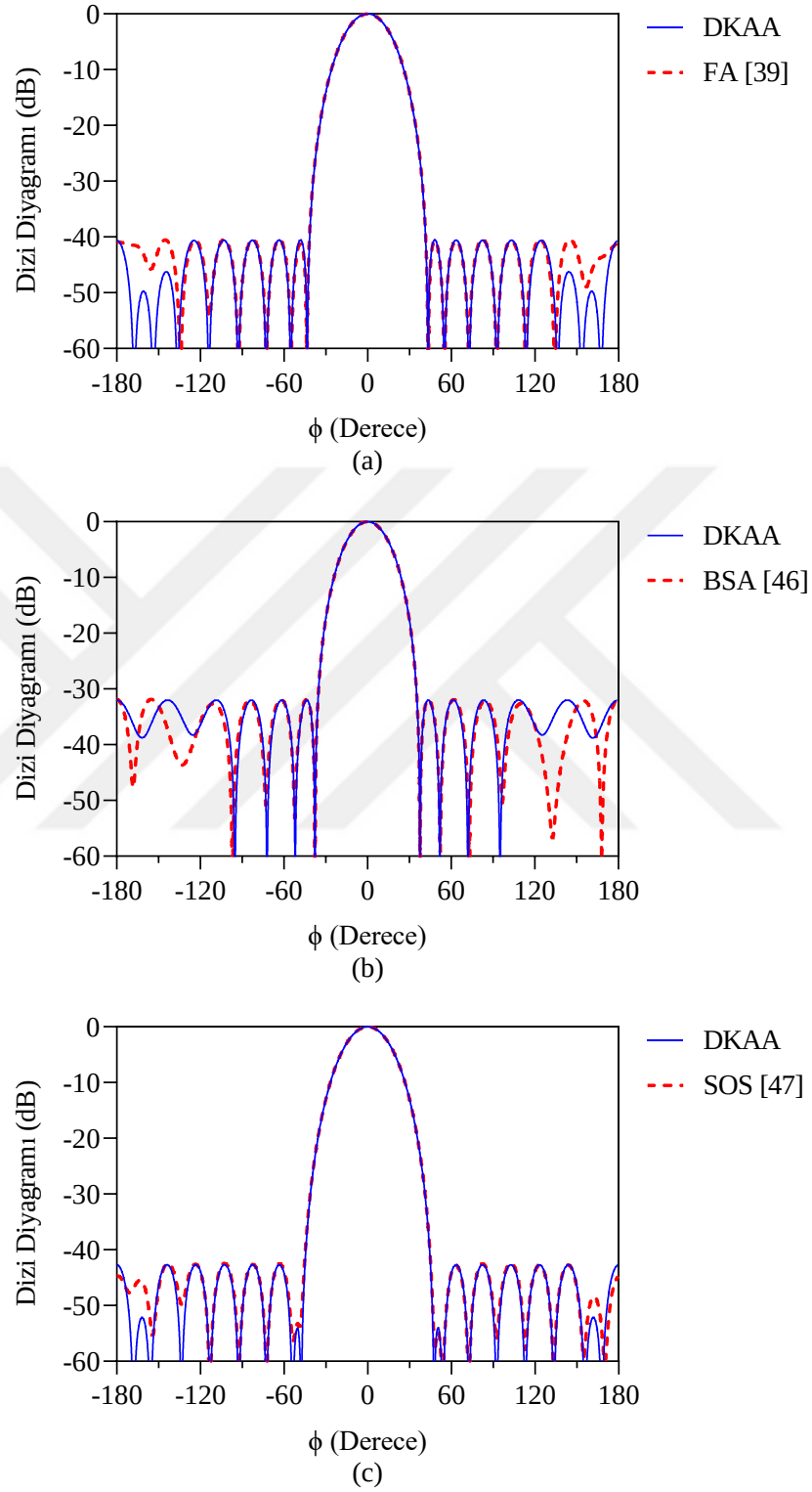


Şekil 3.14. Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, FA [39], EP [51] ve (b) DKAA, SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ile elde edilen  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı, merkez elemanı olmayan eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları

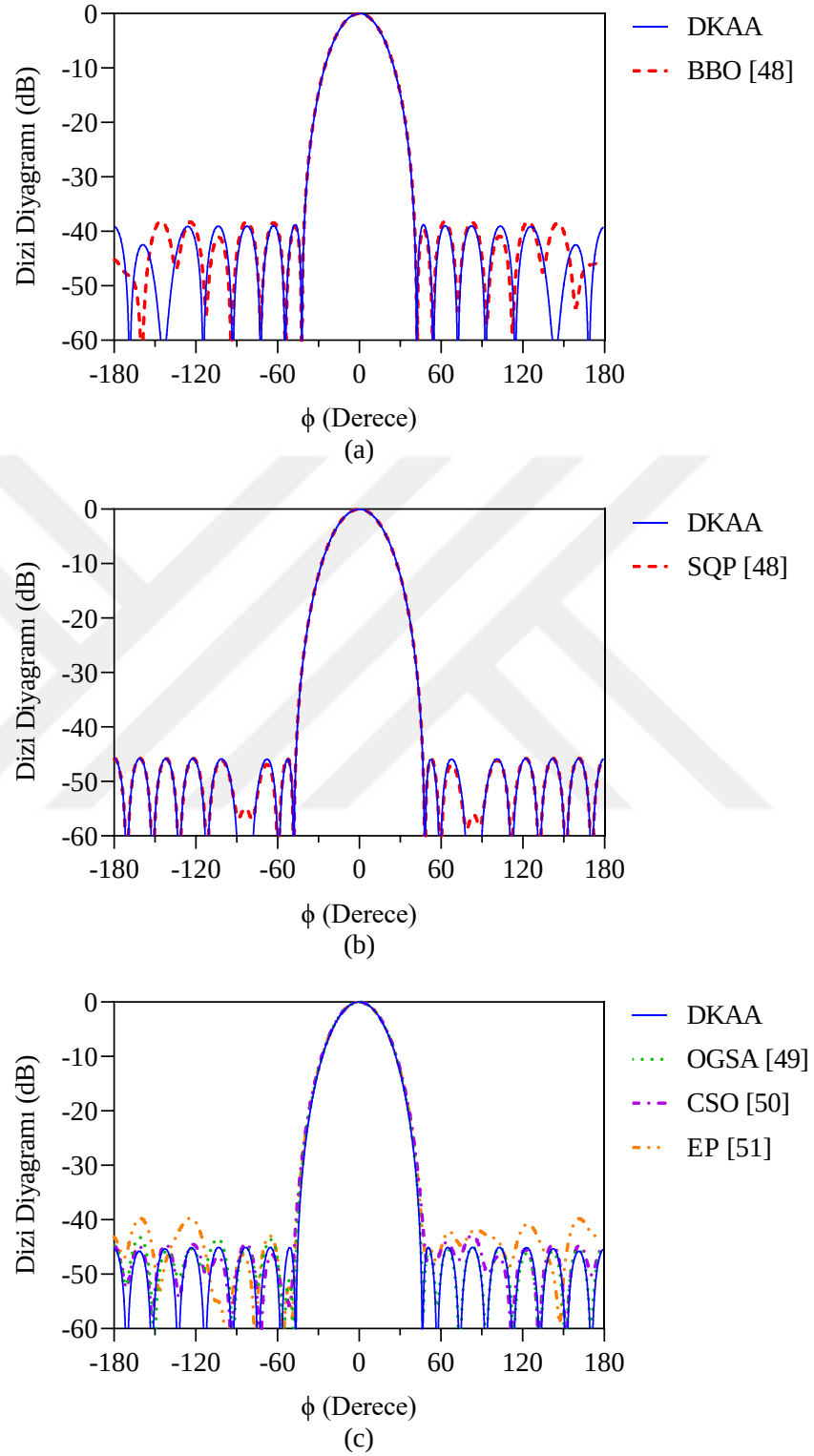
Tablo 3.11. Şekil 3.13 ve 3.14'te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| Şekil    | Algoritma | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR      |
|----------|-----------|----------|---------------|----------|
| 3.13 (a) | DCAA      | -31.67   | 74.49         | 4.6555   |
|          | SOA [42]  | -31.03   | 75.10         | 4.6642   |
|          | BSA [46]  | -31.65   | 74.56         | 4.6577   |
| 3.13 (b) | DCAA      | -33.67   | 76.24         | 7.9936   |
|          | FA [39]   | -33.20   | 77.14         | 8.2296   |
|          | SOS [47]  | -33.47   | 77.57         | 23.0947  |
|          | SQP [48]  | -33.16   | 80.80         | 49.2611  |
|          | OGSA [49] | -33.44   | 76.73         | 12.6283  |
|          | CSO [50]  | -33.39   | 76.50         | 12.2276  |
|          | EP [51]   | -31.9    | 78.5          | 18.8021  |
| 3.13 (c) | DCAA      | -31.18   | 74.62         | 4.3197   |
|          | BBO [48]  | -30.60   | 75.11         | 4.4425   |
| 3.14 (a) | DCAA      | -27.58   | 51            | 4.9164   |
|          | FA [39]   | -27.49   | 54.21         | 6.4980   |
|          | EP [51]   | -26.84   | 51.44         | 5.4580   |
| 3.14 (b) | DCAA      | -28.26   | 50.08         | 7.2098   |
|          | SOS [47]  | -27.51   | 53.17         | 17.1529  |
|          | SQP [48]  | -27.74   | 52.97         | 8.8967   |
|          | BBO [48]  | -26.83   | 54.27         | 8.2372   |
|          | OGSA [49] | -27.76   | 50.37         | 201.9737 |
|          | CSO [50]  | -27.86   | 50.26         | 19.0216  |

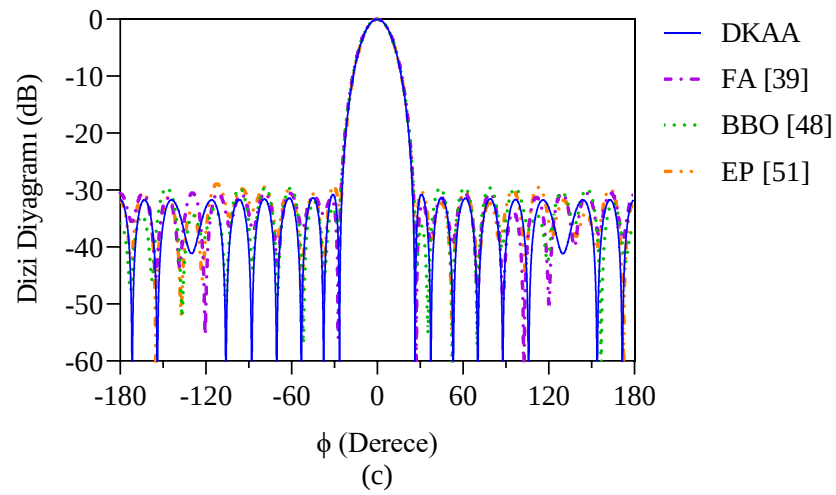
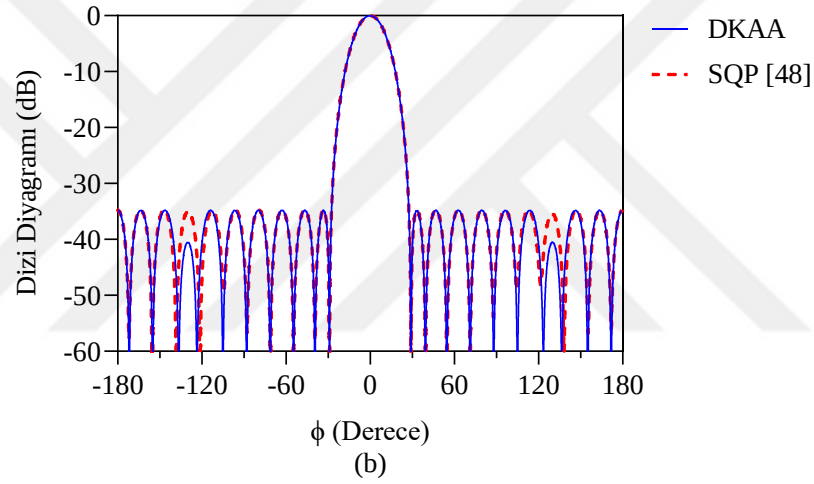
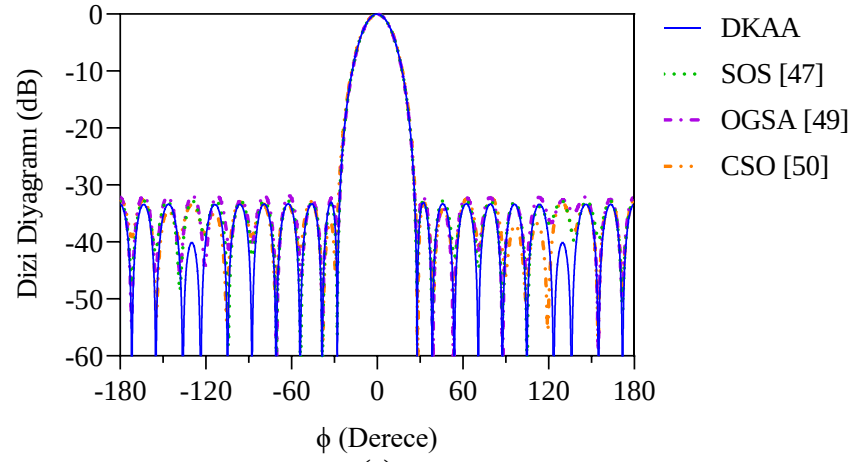
İkinci grubun son örneği olarak merkez eleman bulunduran  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  ve  $N_1=8$ ,  $N_2=10$ ,  $N_3=12$  elemanlı eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Önceki örnekte olduğu gibi dizi elemanlarının genlikleri yine DCAA ile optimize edilerek dizi diyagramlarının yan demetleri bastırılmıştır. Elde edilen diyagramlar FA [39], BSA [46], SOS [47], SQP [48], BBO [48], OGSA [49], CSO [50] ve EP [51] ile elde edilen dizi diyagramları ile birlikte Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17'de gösterilmiştir. Bu diyagramlara ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.12'de diğer metotların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. DCAA ile elde edilen sonuçların, literatürdeki sonuçlardan daha iyi olduğu Tablo 3.12'den açıkça görülmektedir. İkinci grup çalışmasında DCAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait genlik değerleri Tablo 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, FA [39], (b) DKAA, BSA [46] ve (c) DKAA, SOS [47] ile elde edilen  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.16. Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, BBO [48], (b) DKAA, SQP [48] ve (c) DKAA, OGSA [49], CSO [50], EP [51] ile elde edilen  $N_1=4$ ,  $N_2=6$ ,  $N_3=8$  elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.17. Genlik kontrolü yapılarak (a) DKAA, SOS [47], OGSA [49], CSO [50], (b) DKAA, SQP [48] ve (c) DKAA, FA [39], BBO [48], EP [51] ile elde edilen 8-10-12 elemanlı, merkez elemana sahip eşmerkezli dairesel anten dizilerinin diyagramları

Tablo 3.12. Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| Şekil    | Algoritma | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR      |
|----------|-----------|----------|---------------|----------|
| 3.15 (a) | DKAA      | -40.48   | 86.72         | 6.4185   |
|          | FA [39]   | -40.43   | 87.08         | 6.5587   |
| 3.15 (b) | DKAA      | -31.98   | 75.42         | 6.9109   |
|          | BSA [46]  | -31.86   | 75.45         | 6.9589   |
| 3.15 (c) | DKAA      | -42.68   | 95.42         | 7.7399   |
|          | SOS [47]  | -42.40   | 96.69         | 7.7700   |
| 3.16 (a) | DKAA      | -38.76   | 84.30         | 5.5279   |
|          | BBO [48]  | -38.20   | 84.72         | 5.5525   |
| 3.16 (b) | DKAA      | -45.79   | 96.20         | 15.7480  |
|          | SQP [48]  | -45.72   | 96.37         | 15.8309  |
| 3.16 (c) | DKAA      | -45.04   | 93.16         | 10.6045  |
|          | OGSA [49] | -43.25   | 95.12         | 10.8373  |
|          | CSO [50]  | -42.87   | 101.77        | 11.6318  |
|          | EP [51]   | -39.66   | 97.70         | 14.6883  |
|          | DKAA      | -32.97   | 55.52         | 35.7143  |
| 3.17 (a) | SOS [47]  | -32.77   | 55.87         | 1249.875 |
|          | OGSA [49] | -31.85   | 55.57         | 38.1167  |
|          | CSO [50]  | -32.37   | 57.49         | 81.4681  |
|          | DKAA      | -34.76   | 58.10         | 50.2513  |
| 3.17 (b) | SQP [48]  | -34.70   | 58.15         | 58.8235  |
|          | DKAA      | -30.76   | 52.86         | 26.5252  |
| 3.17 (c) | BBO [48]  | -29.61   | 55.11         | Sonsuz   |
|          | FA [39]   | -30.54   | 54.57         | 31.0498  |
|          | EP [51]   | -29.08   | 52.90         | 44.1265  |
|          | DKAA      | -30.76   | 52.86         | 26.5252  |

Tablo 3.13. Şekil 3.13’te gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri.

| Şekil    | $[I_{1,1}, \dots, I_{1,n}; I_{2,1}, \dots, I_{2,n}; I_{3,1}, \dots, I_{3,n}; I_c]$                                                                           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.13 (a) | $[0.2148 \ 0.7152 \ 0.2148 \ 0.7187; 0.4398 \ 0.4437 \ 1 \ 0.4431 \ 0.4392 \ 1; 0.5057 \ 0.7762 \ 0.5061 \ 0.2148 \ 0.5085 \ 0.7754 \ 0.5080 \ 0.2148]$      |
| 3.13 (b) | $[0.1251 \ 0.6755 \ 0.1251 \ 0.6755; 0.4157 \ 0.4157 \ 1 \ 0.4157 \ 0.4157 \ 1; 0.4849 \ 0.7217 \ 0.4849 \ 0.2350 \ 0.4849 \ 0.7217 \ 0.4849 \ 0.2350]$      |
| 3.13 (c) | $[0.2315 \ 0.7395 \ 0.2315 \ 0.7278; 0.4803 \ 0.4355 \ 0.9997 \ 0.4360 \ 0.4807 \ 1; 0.5025 \ 0.7875 \ 0.5142 \ 0.2315 \ 0.5125 \ 0.7880 \ 0.5008 \ 0.2315]$ |

Tablo 3.14. Şekil 3.14 – Şekil 3.17’de gösterilen DKAA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri.

| Şekil    | $[I_{1,1}, \dots, I_{1,n}; I_{2,1}, \dots, I_{2,n}; I_{3,1}, \dots, I_{3,n}; I_c]$                                                                                                                                       |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.14 (a) | [0.6076 0.3176 0.7760 0.9959 0.8047 0.2806 0.6329 0.6381; 0.4007 0.2071 0.2038 0.7022 0.5484 0.7380 0.2059 0.2034 0.4644 0.4908; 0.3606 0.2034 0.9980 0.3472 0.4381 0.5486 0.3930 0.4107 1 0.2712 0.3050 0.6213]         |
| 3.14 (b) | [0.7061 0.2741 0.7066 0.7445 0.7066 0.2742 0.7061 0.7430; 0.5554 0.1387 0.1387 0.5572 0.4986 0.5572 0.1387 0.1387 0.5554 0.4979; 0.3701 0.3179 1 0.3188 0.3703 0.4867 0.3703 0.3188 1 0.3179 0.3701 0.4872]              |
| 3.15 (a) | [0.8469 1 0.8468 1; 0.7294 0.7294 0.5865 0.7294 0.7294 0.5865; 0.4742 0.6454 0.4742 0.1558 0.4742 0.6454 0.4742 0.1558; 0.5199]                                                                                          |
| 3.15 (b) | [0.3105 0.6335 0.3105 0.6338; 0.4733 0.4733 1 0.4733 0.4733 1; 0.5317 0.7033 0.5316 0.1692 0.5316 0.7033 0.5317 0.1692; 0.1447]                                                                                          |
| 3.15 (c) | [0.9000 0.9990 0.8985 1; 0.7213 0.7209 0.4125 0.7194 0.7198 0.4115; 0.3953 0.5422 0.3953 0.1292 0.3957 0.5407 0.3957 0.1292; 0.6130]                                                                                     |
| 3.16 (a) | [0.7514 1 0.7514 1; 0.7130 0.7130 0.7189 0.7130 0.7130 0.7189; 0.5108 0.7171 0.5107 0.1809 0.5108 0.7170 0.5108 0.1809; 0.4311]                                                                                          |
| 3.16 (b) | [1 0.9272 1 0.9271; 0.6898 0.6896 0.1090 0.6896 0.6898 0.1089; 0.2779 0.3959 0.2778 0.0635 0.2778 0.3959 0.2779 0.0635; 0.6848]                                                                                          |
| 3.16 (c) | [0.9988 0.9996 0.9985 1.0000; 0.7390 0.7388 0.2783 0.7393 0.7395 0.2786; 0.3570 0.4985 0.3570 0.0943 0.3574 0.4987 0.3574 0.0943; 0.6589]                                                                                |
| 3.17 (a) | [0.4871 1 0.4871 0.9479 0.4872 1 0.4872 0.9472; 0.7078 0.0280 0.0280 0.7082 0.2576 0.7081 0.0280 0.0280 0.7076 0.2575; 0.2956 0.3497 0.7196 0.3499 0.2959 0.2191 0.2957 0.3499 0.7196 0.3496 0.2955 0.2190; 0.8919]      |
| 3.17 (b) | [0.3885 0.9999 0.3834 0.8736 0.3844 1 0.3894 0.8866; 0.6411 0.0199 0.0199 0.6325 0.2164 0.6320 0.0199 0.0199 0.6407 0.2172; 0.2783 0.2880 0.5674 0.2816 0.2758 0.1695 0.2751 0.2816 0.5678 0.2880 0.2776 0.1721; 0.9372] |
| 3.17 (c) | [0.6055 0.9565 0.6055 1 0.6055 0.9565 0.6054 1; 0.7780 0.0377 0.0377 0.7781 0.3160 0.7781 0.0377 0.0377 0.7781 0.3160; 0.3187 0.4230 0.9015 0.4231 0.3187 0.2875 0.3187 0.4231 0.9015 0.4231 0.3187 0.2875; 0.7870]      |

### 3.4. DCMA’nın Eliptik Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Bu bölümde, DCMA kullanarak eliptik anten dizisindeki dizi elemanlarının sadece genlik değerleri optimize edilmiş, düşük yan demet seviyesine sahip ışıma diyagramlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Birinci sıfır demet genişliği ve dinamik çalışma aralığı optimizasyon sürecine dahil edilmiştir. DCMA’nın eliptik anten dizi sentezi üzerindeki performansını görmek için 8, 12 ve 20 elemanlı diziler üzerinde çalışılmış olup, optimizasyon akabinde elde edilen sonuçlar, literatürdeki SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] kullanılarak elde edilen dizi diyagramları ve bu diyagramlara ait MSL, FNBW ve DRR değerleri ile karşılaştırılmıştır.

### 3.4.1 Eliptik Anten Dizisi

DCMA'nın uygulandığı eliptik anten dizisi, dairesel anten dizisindeki benzer yapıdan da yola çıkılarak,  $N$  adet dizi elemanının  $x$ - $y$  düzlemi üzerinde elips oluşturacak biçimde yerleştirilmesi ile elde edilmektedir. Şekil 3.18'de gösterilen, büyük ve küçük yarıçapları sırasıyla  $a$  ve  $b$  olan  $N$  elemanlı eliptik anten dizisinin dizi faktörü

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n \exp\{jk\rho_n \sin(\theta) \cos(\phi - \phi_n) + j\alpha_n\} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir [52]. Burada

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.14)$$

$$\phi_n = \frac{2\pi(n-1)}{N} \quad (3.15)$$

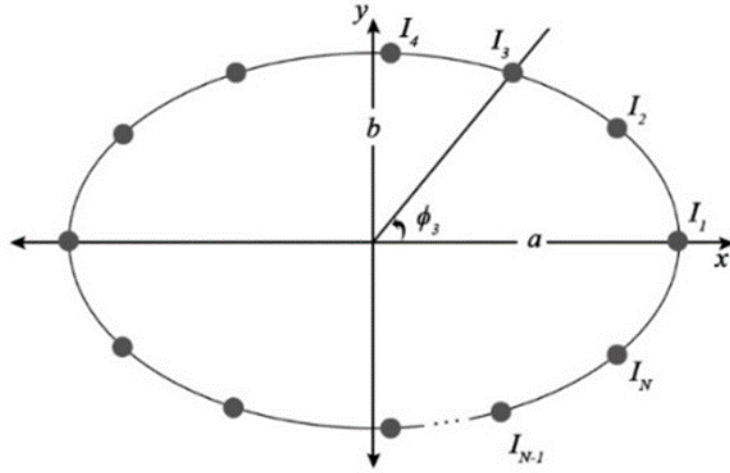
$$\alpha_n = -k\rho_n \sin(\theta_0) \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (3.16)$$

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

olarak tanımlanır.  $I_n$  ve  $\alpha_n$  sırasıyla  $n$ 'inci elemanın genliğini ve fazını,  $k$  dalga sayısını,  $\phi_n$   $n$ 'inci elemanın açısal konumunu ve  $\rho_n$   $n$ 'inci elemanın orijinden radyal uzaklığını belirtmektedir.  $\theta_0$ ,  $\phi_0$  ve  $\theta$  sırasıyla  $90^\circ$ ,  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  olarak alınmıştır. Eliptik dizi yapısının eksantrikliği

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmekte olup, işlemler esnasında sabit 0.5 olarak alınmıştır.



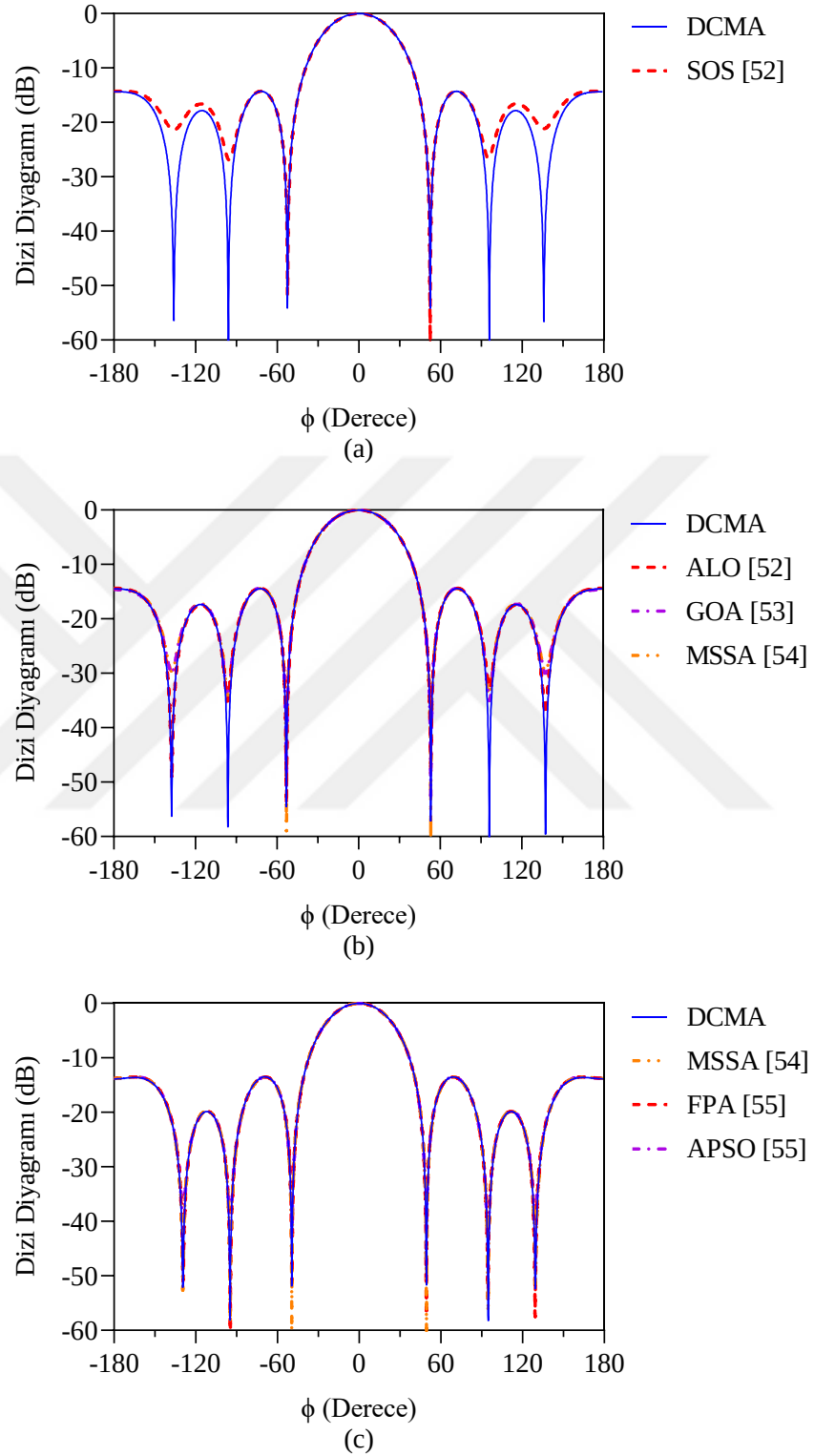
Şekil 3.18.  $x$ - $y$  düzlemi üzerine yerleştirilmiş eliptik anten dizisi geometrisi

### 3.4.2. DCMA Kullanarak Eliptik Anten Dizilerinde Yan Demet Bastırma

Eşmerkezli dairesel anten dizi sentezindeki süreçte olduğu gibi, eliptik anten dizi sentezinde de MSL değerini, FNBW ve DRR ile beraber minimize etmek hedeflendiğinden dolayı, maliyet fonksiyonu olarak Denklem 3.10 kullanılmıştır. Optimizasyon esnasında dizi elemanlarının genlikleri hesaplanarak eliptik anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir.

Eliptik anten dizi sentezinde DCMA'nın popülasyon sayısı 40, iterasyon sayısı 500 olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen MSL, FNBW ve DRR sonuçları, literatürdeki SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İlk olarak 8 elemanlı eliptik anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Büyük yarıçapı  $0.5\lambda$  olan dizinin eleman genlikleri DCMA ile hesaplanarak MSL, FNBW ve DRR değerleri optimize edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.19'da SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen dizi diyagramları ile karşılaştırılmıştır. Diyagramlara ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.15'te verilmiştir. Tablo 3.15'ten DCMA ile elde edilen DRR değerlerinin diğer algoritmalarla elde edilen değerlerden daha iyi olduğu, MSL ve FNBW değerlerinin ise birbirleriyle aynı veya yakın olduğu görülmektedir.

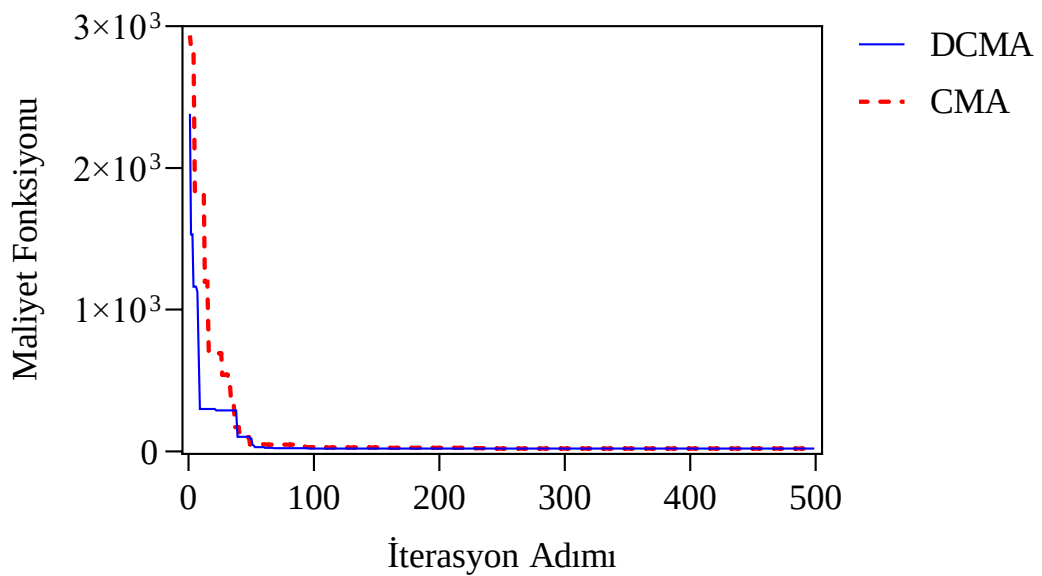


Şekil 3.19. Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], (b) DCMA, ALO [52], GOA [53], MSSA [54] ve (c) DCMA, MSSA [54], FPA [55], APSO [55] ile elde edilen 8 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları

Tablo 3.15. Şekil 3.19’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

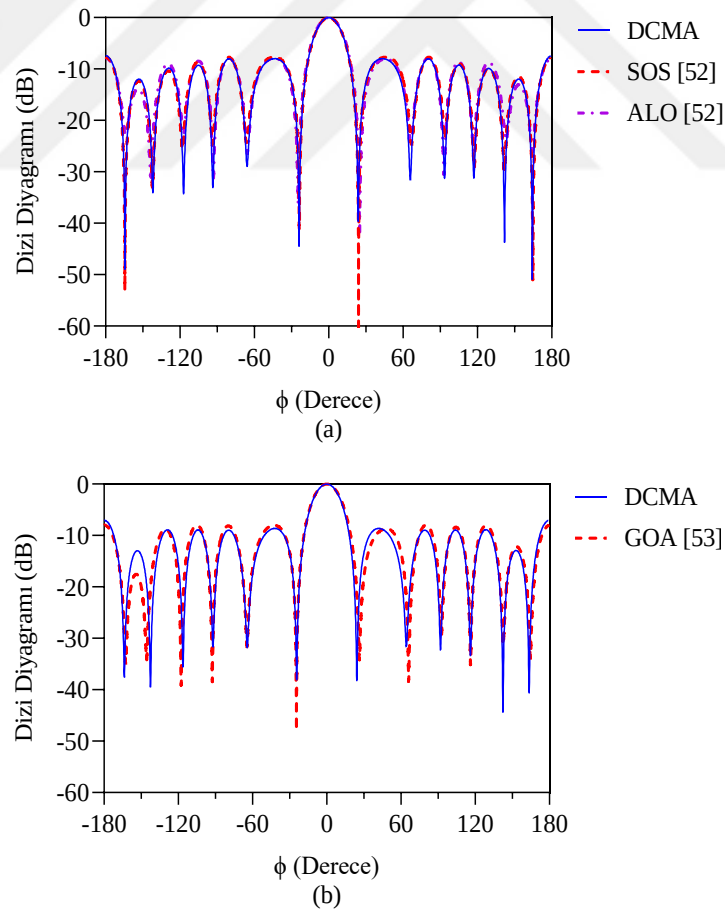
| N | Şekil    | Algoritmalar | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR     |
|---|----------|--------------|----------|---------------|---------|
| 8 | 3.19 (a) | DCMA         | -14.3    | 104.8         | 6.9444  |
|   |          | SOS [52]     | -14.27   | 104.8         | 32.0513 |
|   | 3.19 (b) | DCMA         | -14.44   | 106.2         | 9.4787  |
|   |          | ALO [52]     | -14.35   | 106.2         | 9.9305  |
|   |          | GOA [53]     | -14.36   | 106.2         | 13.587  |
|   |          | MSSA [54]    | -14.44   | 106.2         | 15.3374 |
|   | 3.19 (c) | DCMA         | -13.5    | 98.8          | 3.4165  |
|   |          | MSSA [54]    | -13.53   | 98.9          | 3.4364  |
|   |          | FPA [55]     | -13.5    | 98.8          | 3.5436  |
|   |          | APSO [55]    | -13.5    | 98.8          | 3.5651  |

CMA üzerine yapılan KAA ve karşıt popülasyon eklemelerinin optimizasyon sürecine dair etkisi, 8 elemanlı eliptik anten dizi sentezinin yakınsama eğrisi olan Şekil 3.20’de gösterilmiştir. DCMA’nın literatürdeki CMA’ya göre yakınsama performansı açısından daha başarılı olduğu Şekil 3.20’den görülmektedir.

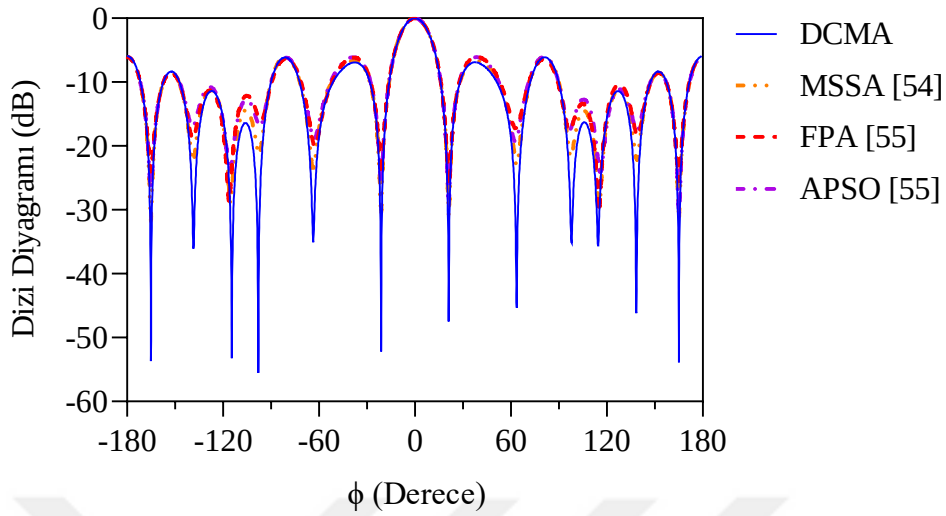


Şekil 3.20. DCMA ve CMA ile 8 elemanlı eliptik anten dizi sentezine ait yakınsama eğrisi

İkinci çalışma olarak eleman sayısı 8’den 12’ye çıkarılmış ve elipsin büyük yarıçapı  $1.15\lambda$  olarak ayarlanmıştır. DCMA ile anten dizi sentezi gerçekleştirilmiş ve düşük MSL, FNBW ve DRR değeri elde etmek üzere 12 adet dizi elemanının genlik değerleri hesaplanmıştır. DCMA ile elde edilen dizi diyagramları, SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen dizi diyagramlarıyla Şekil 3.21 ve 3.22’de karşılaştırılmıştır. Bu diyagramlara ait MSL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.16’da verilmiştir. DCMA ile elde edilen DRR ve MSL değerlerinin SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen DRR ve MSL değerlerinden daha iyi olduğu, DCMA ile elde edilen FNBW değerlerinin SOS [52], ALO [52], GOA [53], MSSA [54] ve FPA [55] ile elde edilen FNBW değerlerinden biraz daha iyi olduğu APSO [55] ile elde edilen FNBW değeri ile ise aynı olduğu Tablo 3.16’dan görülmektedir.



Şekil 3.21. Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], ALO [52] ve (b) DCMA, GOA [53] ile elde edilen 12 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.22. Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen 12 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları

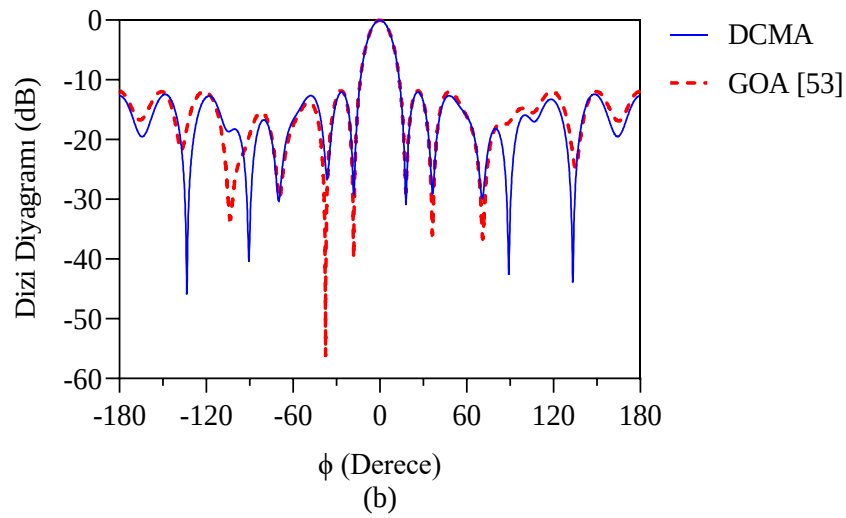
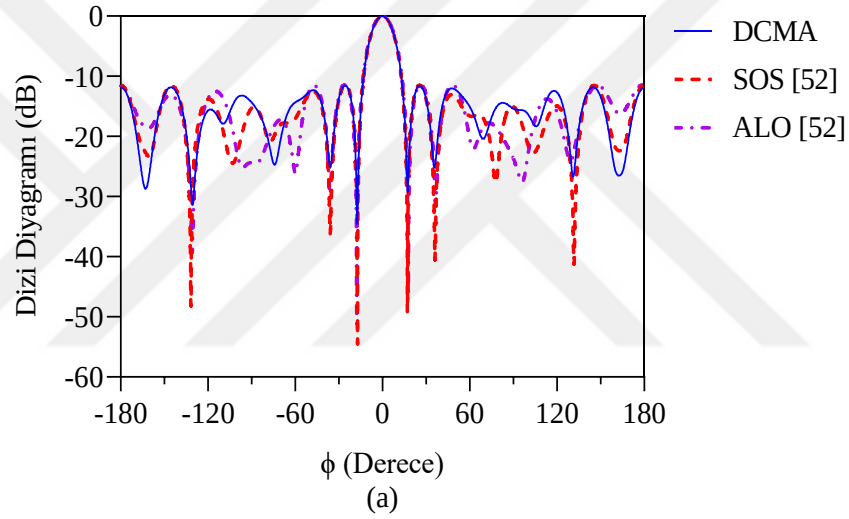
Tablo 3.16. Şekil 3.21 ve 3.22’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| N  | Şekil    | Algoritmalar | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR      |
|----|----------|--------------|----------|---------------|----------|
| 12 | 3.21 (a) | DCMA         | -7.99    | 47.7          | 15.1057  |
|    |          | SOS [52]     | -7.7     | 47.8          | 344.8276 |
|    |          | ALO [52]     | -7.9     | 49.6          | Sonsuz   |
|    | 3.21 (b) | DCMA         | -8.63    | 48.6          | 6.9348   |
|    |          | GOA [53]     | -8.01    | 50.9          | 27.7008  |
|    | 3.22     | DCMA         | -6.12    | 42.2          | 135.1351 |
|    |          | MSSA [54]    | -6.09    | 42.4          | Sonsuz   |
|    |          | FPA [55]     | -6.05    | 42.3          | 588.2353 |
|    |          | APSO [55]    | -6.06    | 42.2          | Sonsuz   |

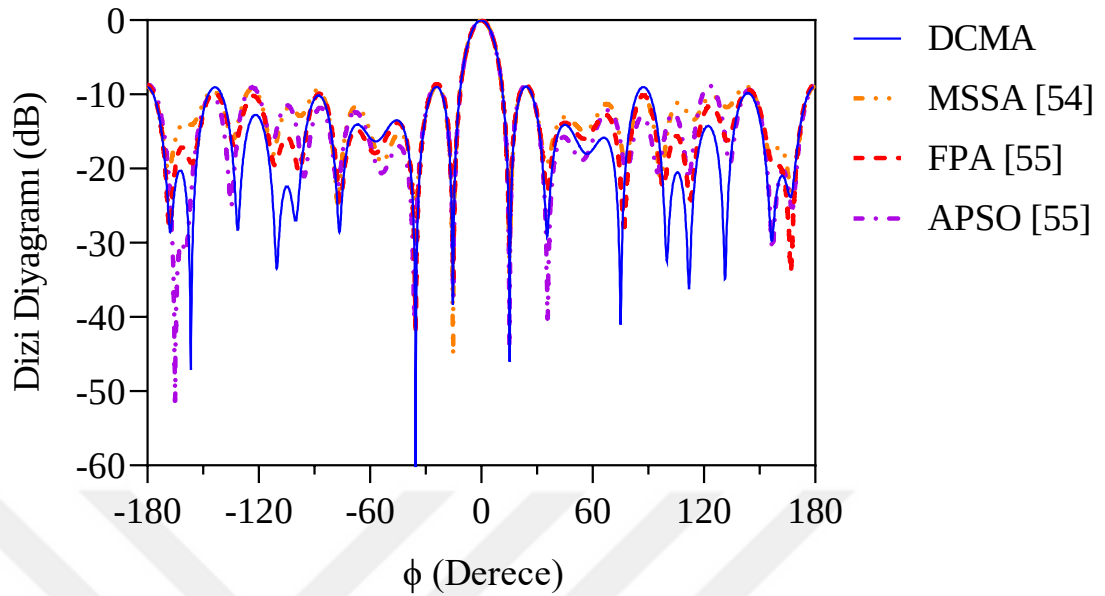
Son olarak büyük yarıçapı  $1.6\lambda$  olan 20 elemanlı eliptik anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Düşük MSL, dar FNBW ve düşük DRR değerlerine sahip bir dizi diyagramına ait genlik değerlerini bulmak için DCMA kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonrasında elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.23’te SOS [52], ALO [52], ve GOA [53], Şekil 3.24’te MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen diyagramlar ile karşılaştırılmıştır. Tablo 3.17’de bu dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri verilmiştir. DCMA ile elde edilen MSL değerlerinin

diğer algoritmalarından elde edilen MSL değerlerinden daha iyi olduğu, DRR değerlerinin ise ALO [52] haricinde diğer algoritmalarından daha iyi olduğu Tablo 3.17’den görülmektedir. SOS [52], MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen FNBW değerleri DCMA ile elde edilen FNBW değerlerinden daha iyidir. Bu sonuçlar, MSL, FNBW ve DRR parametrelerinden biri veya ikisi iyileştirilirken diğerlerinden taviz verildiğini açıkça göstermektedir.

Eliptik anten dizi sentezindeki 8, 12 ve 20 elemanlı dizi yapılarına ait DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarının genlik değerleri Tablo 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.23. Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, SOS [52], ALO [52] ve (b) DCMA, GOA [53] ile elde edilen 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.24. Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSSA [54], FPA [55] ve APSO [55] ile elde edilen 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin diyagramları

Tablo 3.17. Şekil 3.23 ve 3.24'te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| N  | Şekil    | Algoritmalar | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR      |
|----|----------|--------------|----------|---------------|----------|
| 20 | 3.23 (a) | DCMA         | -11.53   | 34.6          | 666.6667 |
|    |          | SOS [52]     | -11.48   | 34.4          | Sonsuz   |
|    |          | ALO [52]     | -11.41   | 35.5          | 217.3913 |
|    | 3.23 (b) | DCMA         | -12.02   | 36            | 21.5517  |
|    |          | GOA [53]     | -11.83   | 36.1          | 217.3913 |
|    | 3.24     | DCMA         | -8.94    | 30.6          | 31.6456  |
|    |          | MSSA [54]    | -8.92    | 30.4          | 3333.333 |
|    |          | FPA [55]     | -8.6     | 30.2          | Sonsuz   |
|    |          | APSO [55]    | -8.71    | 30.3          | Sonsuz   |

Tablo 3.18. Şekil 3.19 - 3.24'te gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait eleman genlik değerleri.

| Şekil    | $[I_1, I_2, I_3, \dots, I_N]$                                                                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.19 (a) | [0.4861 1 0.1440 1 0.4761 1 0.1440 0.9999]                                                                                               |
| 3.19 (b) | [0.5195 0.9951 0.1055 0.9991 0.5278 1 0.1059 0.9960]                                                                                     |
| 3.19 (c) | [0.2927 1 0.3151 1 0.2929 0.9999 0.3002 1]                                                                                               |
| 3.21 (a) | [1 0.0662 0.4239 0.3909 0.3921 0.0668 0.9987 0.0665 0.3019 0.5557 0.3370 0.0662]                                                         |
| 3.21 (b) | [1 0.1448 0.4091 0.3772 0.3965 0.1445 0.9917 0.1475 0.3037 0.5118 0.3130 0.1442]                                                         |
| 3.22     | [0.9981 0.0074 0.4389 0.8389 0.3855 0.0075 1 0.0075 0.3474 0.9120 0.4032 0.0075]                                                         |
| 3.23 (a) | [1 0.0040 0.4796 0.0015 0.2114 0.8152 0.2798 0.0015 0.6168 0.4558 0.9715 0.5307 0.5331 0.0018 0.1908 1 0.0752 0.0015 0.4599 0.0318]      |
| 3.23 (b) | [1 0.6794 0.5951 0.0475 0.3717 0.5750 0.2979 0.0465 0.5433 0.1191 0.9999 0.1125 0.5563 0.0466 0.2435 0.6368 0.3077 0.0464 0.6081 0.6682] |
| 3.24     | [0.9503 0.0434 0.2118 0.0530 0.2350 0.9849 0.3947 0.0523 0.2626 0.1002 1 0.0346 0.3751 0.1084 0.2546 0.9355 0.2715 0.0610 0.2769 0.0316] |

### 3.5. DCMA'nın Doğrusal Anten Dizi Sentezine Uygulanması

Bu bölümde doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Önceki bölümde eliptik anten dizi sentezinde de kullanılan DCMA, doğrusal anten dizilerinde dizi elemanlarının sadece genlik ve sadece konum değerlerinin optimize edilmesinde kullanılarak, düşük yan demet seviyesine, derin sıfır noktasına ve geniş sıfırlara sahip anten dizi diyagramları elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu işlemler esnasında elemanların genlik değerleri belirlenirken FNBW ve DRR, konum değerleri belirlenirken FNBW ve dizi uzunluk değerleri dikkate alınmıştır. DCMA ile 10, 12, 16, 20 ve 22 elemanlı doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], HSA [90], PSO [91], FIAD [91], DS [92], CRPSO [93], GWO [94], MFO [95], ALO [96] ve BSA [97] ile yapılan doğrusal anten dizi sentezi çalışmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### 3.5.1. Doğrusal Anten Dizisi

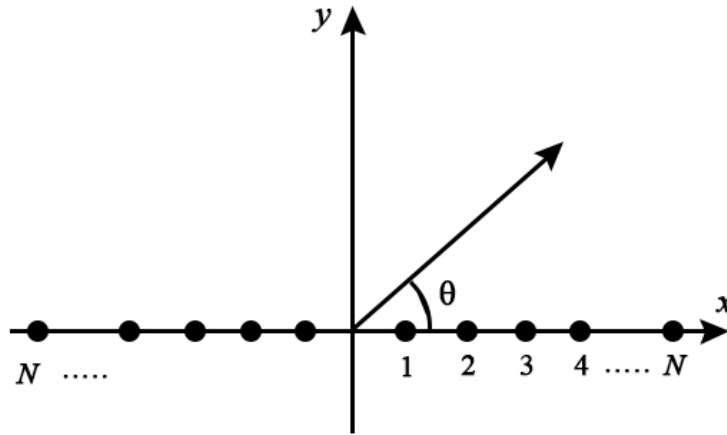
Doğrusal anten dizisi  $2N$  adet dizi elemanının  $x$  ekseninde doğrusal olarak yerleştirilmesiyle elde edilir. Bu dizi yapısına ait uzak alan dizi faktörü

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^{2N} I_n e^{j(kd_n \sin \theta + \alpha_n)} \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilir [2]. Burada  $\theta$  tarama açısı ve  $k$  ( $k = 2\pi/\lambda$ ) dalga sayısıdır.  $I_n$ ,  $d_n$  ve  $\alpha_n$  sırasıyla  $n$ 'inci elemanın genliğini, dizi merkezine olan uzaklığını ve fazını belirtmektedir.  $2N$  adet yönsüz anten elemanı doğrusal olarak Şekil 3.25'teki gibi simetrik biçimde ( $d_n = d_{-n}$ ) yerleştirildiğinde ve eşlenik simetrik olarak uyarıldığında ( $\alpha_n = \alpha_{-n}$  ve  $I_n = I_{-n}$ ) dizi faktörü

$$AF(\theta) = 2 \sum_{n=1}^N I_n \cos(kd_n \sin \theta + \alpha_n) \quad (3.20)$$

şeklinde yeniden yazılabilir [2].



Şekil 3.25.  $x$  eksenine üzerine simetrik olarak yerleştirilmiş, eşlenik simetrik uyarımlı doğrusal anten dizi geometrisi

### 3.5.2. DCMA Kullanarak Doğrusal Anten Dizilerinde Yan Demet Bastırma ve Diyagram Sıfırlama

Doğrusal anten dizi sentezinde sadece genlik ve sadece konum hesaplanması ile yapılan yan demet bastırma işlemi için Denklem 3.10'da verilen maliyet fonksiyonu doğrusal anten dizisinin simetrik yapısı dikkate alınarak

$$Maliyet = \left( \sum_{\phi_1}^{\pi/2} \sigma_{MSL}(\phi) \right) + f_{DRR} + \left( \sum_{NDL\phi_1}^{NDL\phi_2} \sigma_{NDL}(\phi) \right) + f_{NDL}(\phi) \quad (3.21)$$

şeklinde yeniden düzenlenmiş ve kullanılmıştır. Burada  $NDL\phi_1$  ve  $NDL\phi_2$  sırasıyla geniş sıfır oluşturulacak bölgenin alt ve üst açısı sınırlarını belirtmektedir. FNBW değerinin optimizasyonu  $\phi_1$  değeri ile ilişkili olarak gerçekleşmektedir.  $\sigma_{NDL}(\phi)$  ve  $f_{NDL}(\phi)$  değerleri

$$\sigma_{NDL}(\phi) = \begin{cases} w_3(AF(\phi) - NDL_{d1})^2, & AF(\phi) > NDL_{d1} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.22)$$

$$f_{NDL}(\phi) = \begin{cases} w_4(AF(\phi) - NDL_{d2})^2, & AF(\phi) > NDL_{d2} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.23)$$

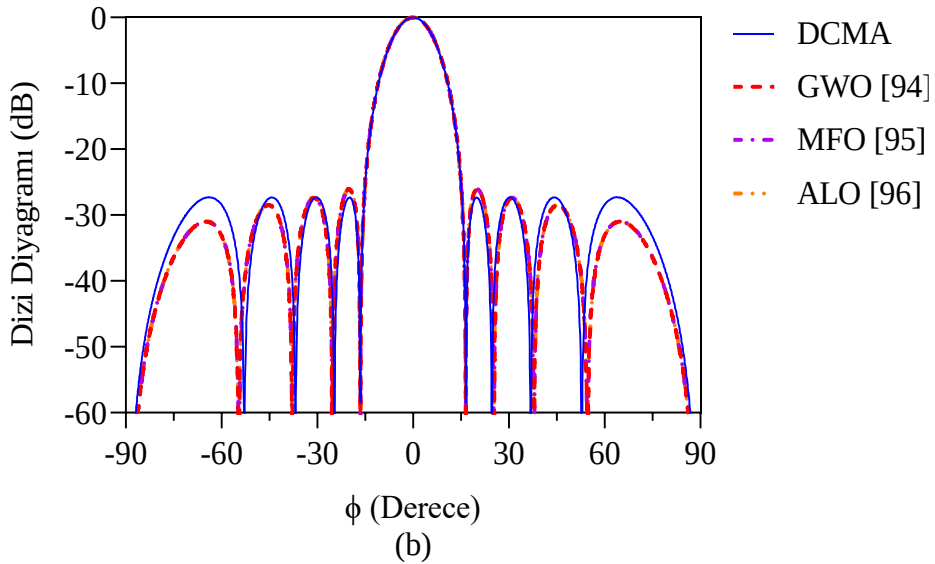
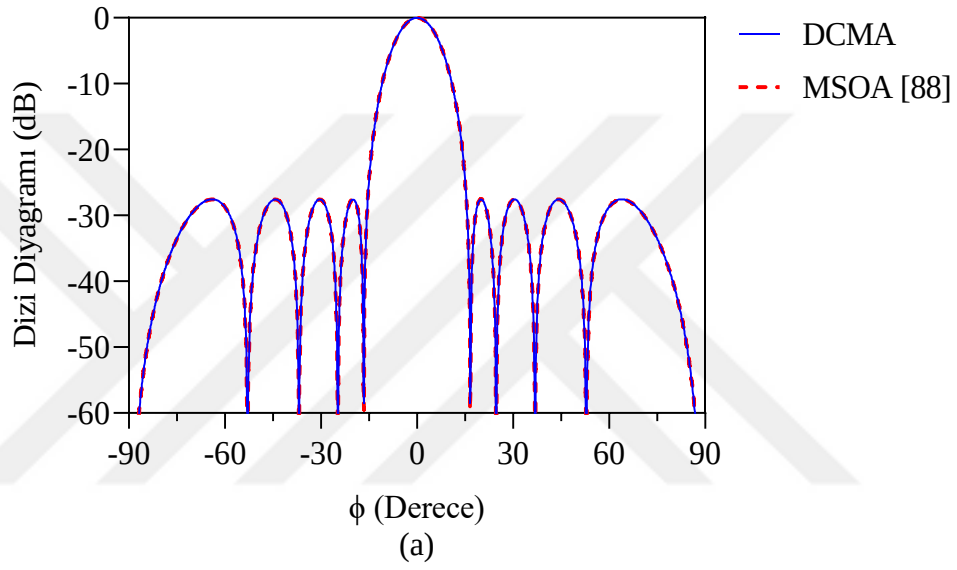
şeklinde ifade edilmiştir. Burada  $w_3$  ve  $w_4$  birer katsayıyı,  $NDL_{d1}$  sıfır noktasının derinliğini ve  $NDL_{d2}$  geniş sıfırların derinliğini belirtmektedir. Optimizasyon sırasında dizi uzunluğunun kontrol altında tutulması ise maliyet fonksiyonundan bağımsız olarak popülasyondaki arama ajanı değerlerinin üst sınırı ile gerçekleştirilmiştir.

Dizi sentezi esnasında doğrusal anten dizisine ait dizi elemanlarının sadece genlik değerleri belirlenerek yan demet bastırma ve geniş sıfırlar oluşturma, sadece konum değerleri belirlenerek ise yan demet bastırma ve derin sıfır oluşturma gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sırasında elemanların genlik değerleri belirlenirken elemanlar arası mesafe  $0.5\lambda$  olarak alınmış, FNBW ve DRR değerleri hesaba dahil edilmiştir. Konum değerleri belirlenirken genlik değerleri 1 olarak alınmış, dizi uzunluğu ve FNBW değerleri dikkate alınmıştır.

Doğrusal anten dizi sentezinde DCMA'nın popülasyon sayısı 40, iterasyon sayısı 500 olarak ayarlanmıştır. Optimizasyondan elde edilen sonuçlar, MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], HSA [90], PSO [91], FIAD [91], DS [92], CRPSO [93], GWO [94], MFO [95], ALO [96] ve BSA [97] ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Doğrusal anten dizi sentezinde ilk olarak 10 elemanlı anten dizisi için yan demet bastırma yapılmıştır. Dizi elemanlarının genlik değerleri DCMA ile optimize edilmiş ve bu genlik değerleri kullanılarak elde edilen dizi diyagramları MSOA [88], GWO [94], MFO [95] ve ALO [96] ile elde edilen dizi diyagramlarıyla birlikte Şekil 3.26'da verilmiştir. Bu

diyagramların MSL, FNBW ve DRR değerleri MSOA [88], GWO [94], MFO [95] ve ALO [96] ile elde edilen MSL, FNBW ve DRR değerleriyle Tablo 3.19’da karşılaştırılmıştır. Aynı FNBW değerlerinde DCMA ile elde edilen MSL ve DRR değerlerinin, diğer algoritmalarından elde edilen değerlerden daha iyi olduğu Tablo 3.19’dan görülmektedir. Şekil 3.26’daki dizi diyagramlarına ait genlik değerleri Tablo 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.26. Genlik kontrolü yapılarak (a) DCMA, MSOA [88], ve (b) DCMA, GWO [94], MFO [95], ALO [96] ile elde edilen 10 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları

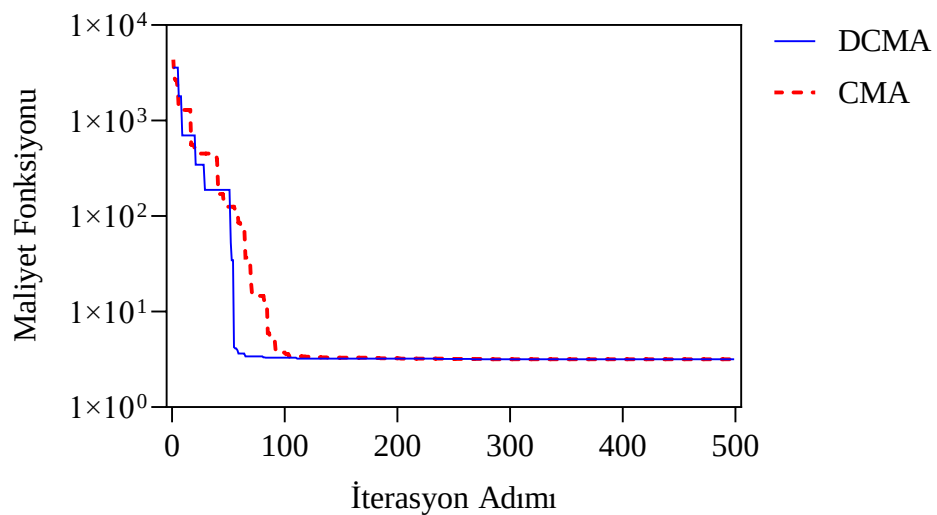
Tablo 3.19. Şekil 3.26’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| N  | Şekil    | Algoritmalar | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR    |
|----|----------|--------------|----------|---------------|--------|
| 10 | 3.26 (a) | DCMA         | -27.55   | 33.2          | 3.1696 |
|    |          | MSOA [88]    | -27.52   | 33.2          | 3.1706 |
|    | 3.26 (b) | DCMA         | -27.3    | 33            | 3.1037 |
|    |          | GWO [94]     | -26.05   | 33            | 3.3738 |
|    |          | MFO [95]     | -26.07   | 33            | 3.375  |
|    |          | ALO [96]     | -26.08   | 33            | 3.3715 |

Tablo 3.20. Şekil 3.26’da gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait genlik değerleri.

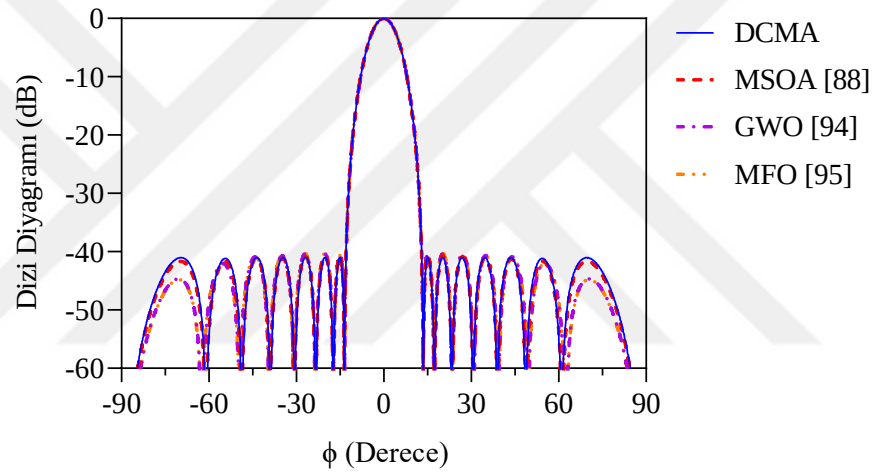
| Şekil    | $[I_1, I_2, I_3, \dots, I_N]$   |
|----------|---------------------------------|
| 3.26 (a) | [1 0.8884 0.6942 0.4654 0.3155] |
| 3.26 (b) | [1 0.8892 0.6967 0.4690 0.3222] |

CMA üzerinde yapılan değişikliklerin algoritmaya olan etkisi, 10 elemanlı doğrusal anten dizi sentezinin optimizasyon sürecine ait yakınsama eğrisi ile Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Eliptik anten dizi sentezinde olduğu gibi, doğrusal anten dizi sentezinde de DCMA’nın yakınsamada genel olarak CMA’ya kıyasla daha iyi olduğu Şekil 3.27’den görülmektedir.



Şekil 3.27. DCMA ve CMA ile 10 elemanlı doğrusal anten dizisi üzerinde yapılan optimizasyona ait yakınsama eğrisi

İkinci çalışmada anten dizisinin eleman sayısı arttırılarak 16'ya çıkarılmıştır. DCMA kullanarak doğrusal anten dizisinin eleman genlikleri optimize edilmiş ve dizi diyagramında yan demet bastırma yapılmıştır. DCMA kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen dizi diyagramı, MSOA [88], GWO [94] ve MFO [95] ile elde edilen dizi diyagramları ile Şekil 3.28'de karşılaştırılmıştır. Tablo 3.21'de bu dizi diyagramlarının MSL, FNBW ve DRR değerleri verilmiştir. Tablo 3.21'den aynı FNBW değerinde DCMA'nın MSL ve DRR sonuçlarının MSOA [88], GWO [94] ve MFO [95] ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Bu dizi sentezine ait genlik değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.28. Genlik kontrolü yapılarak DCMA, MSOA [88], GWO [94] ve MFO [95] ile elde edilen 16 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları

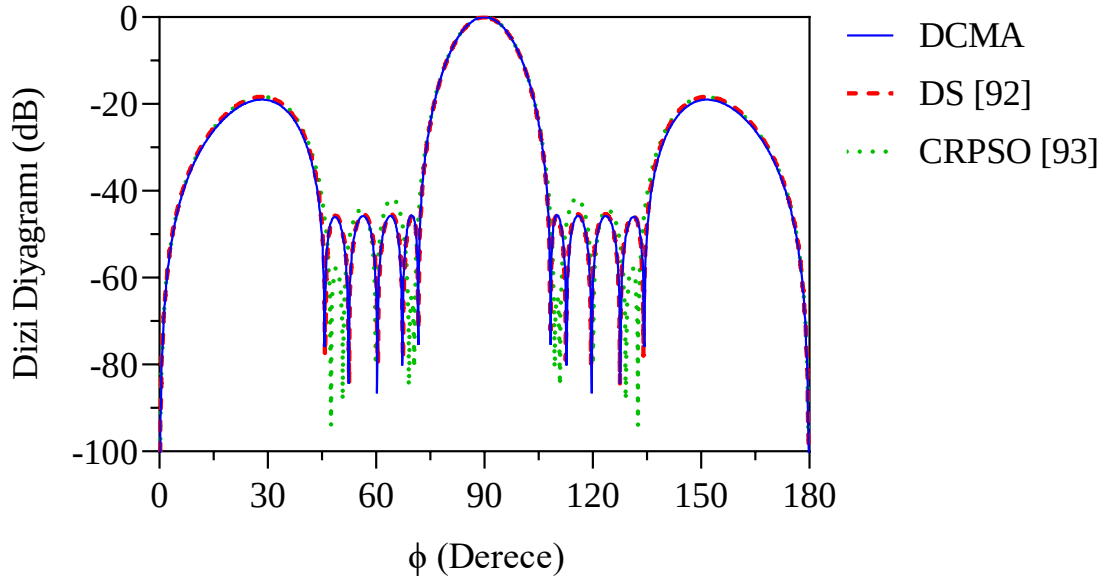
Tablo 3.21. Şekil 3.28'de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve DRR değerleri.

| N  | Şekil | Algoritmalar | MSL (dB) | FNBW (Derece) | DRR    |
|----|-------|--------------|----------|---------------|--------|
| 16 | 3.28  | DCMA         | -40.98   | 27            | 9.6154 |
|    |       | MSOA [88]    | -40.65   | 27            | 9.7466 |
|    |       | GWO [94]     | -40.5    | 27            | 9.98   |
|    |       | MFO [95]     | -40.25   | 27            | 9.984  |

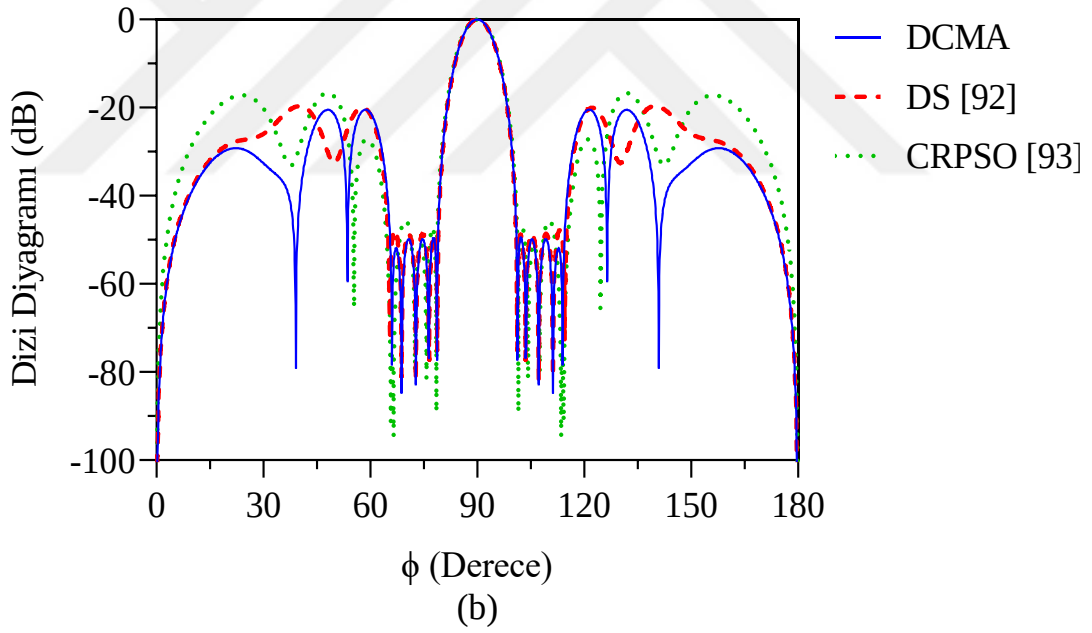
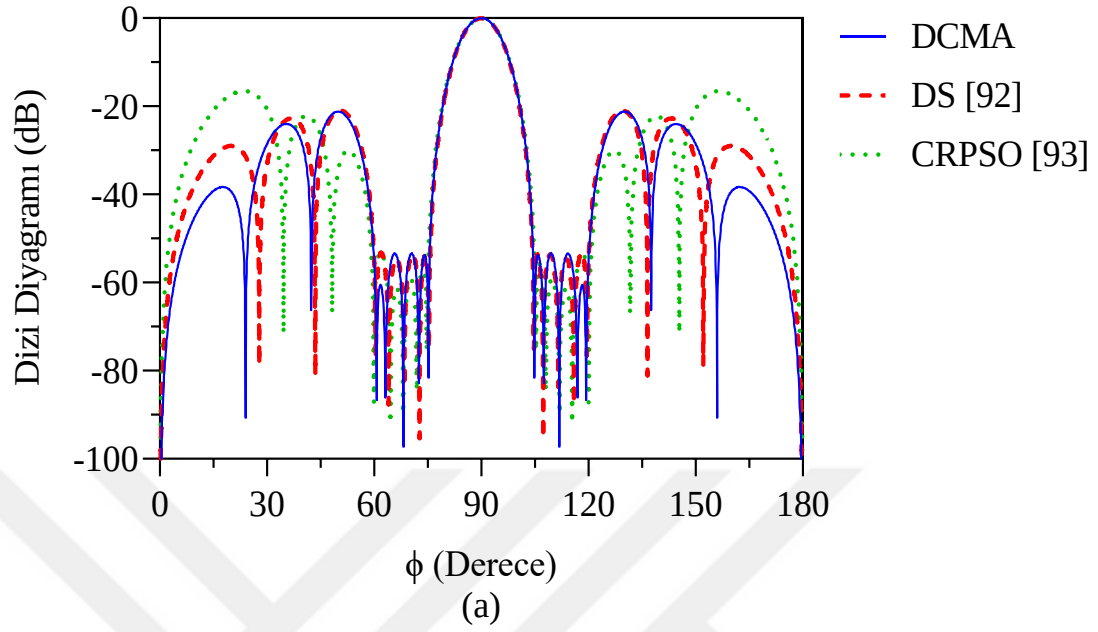
Tablo 3.22. Şekil 3.28'de gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramına ait genlik değerleri.

| Şekil | $[I_1, I_2, I_3, \dots, I_N]$                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------|
| 3.28  | $[1 \ 0.9338 \ 0.8117 \ 0.6539 \ 0.4828 \ 0.3216 \ 0.1873 \ 0.1040]$ |

Genlik kontrolü ile ilgili yapılan son çalışmada anten dizi diyagramı üzerinde geniş sıfırlar oluşturulmuştur. Dizi diyagramının girişim olduğu varsayılan açı aralıklarında geniş sıfırlar oluşturacak şekilde dizi elemanlarının genlikleri optimize edilerek anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. 12 elemanlı dizi için  $[46^\circ, 71^\circ]$  ve  $[108^\circ, 134^\circ]$  aralığında, 16 elemanlı dizi için  $[60^\circ, 75^\circ]$  ve  $[104^\circ, 120^\circ]$  aralığında, 20 elemanlı dizi için  $[66^\circ, 78^\circ]$  ve  $[101^\circ, 113^\circ]$  aralığında geniş sıfırlar oluşturulmuştur. Optimizasyon sırasında MSL, FNBW ve DRR parametreleri de dikkate alınmıştır. DCMA kullanılarak elde edilen dizi diyagramları DS [92] ve CRPSO [93] ile edilen dizi diyagramları ile birlikte Şekil 3.29 ve 3.30'da gösterilmiştir. Bu dizi diyagramlarına ait MSL, NDL, FNBW ve DRR değerleri Tablo 3.23'te karşılaştırılmıştır. Tablo 3.23'ten görüleceği üzere DCMA ile CRPSO'ya [93] göre daha iyi MSL, NDL, FNBW ve DRR değerleri elde edilmiştir. DCMA ile elde edilen MSL ve DRR sonuçlarının DS [92] ile elde edilen MSL ve DRR sonuçlarından daha iyi olduğu Tablo 3.23'ten görülmektedir. Ancak 16 elemanlı dizi için DS [92] ile bulunan NDL sonucu, 12 ve 20 elemanlı diziler için DS [92] ile bulunan FNBW sonuçları, DCMA ile bulunan sonuçlardan biraz daha iyidir. DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarının eleman genlik değerleri Tablo 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.29. Genlik kontrolü yapılarak DCMA, DS [92] ve CRPSO [93] ile elde edilen geniş sıfırlara sahip 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.30. Genlik kontrolü yapılarak DCMA, DS [92] ve CRPSO [93] ile elde edilen geniş sıfırlara sahip (a) 16 ve (b) 20 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları

Tablo 3.23. Şekil 3.29 ve 3.30’da gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, NDL, FNBW ve DRR değerleri.

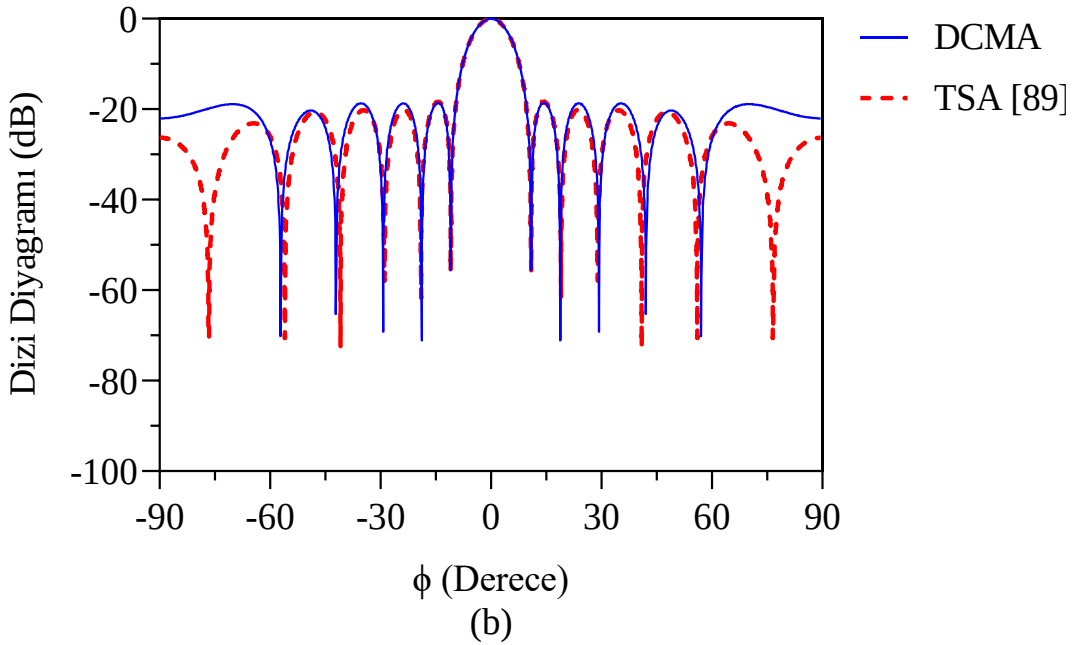
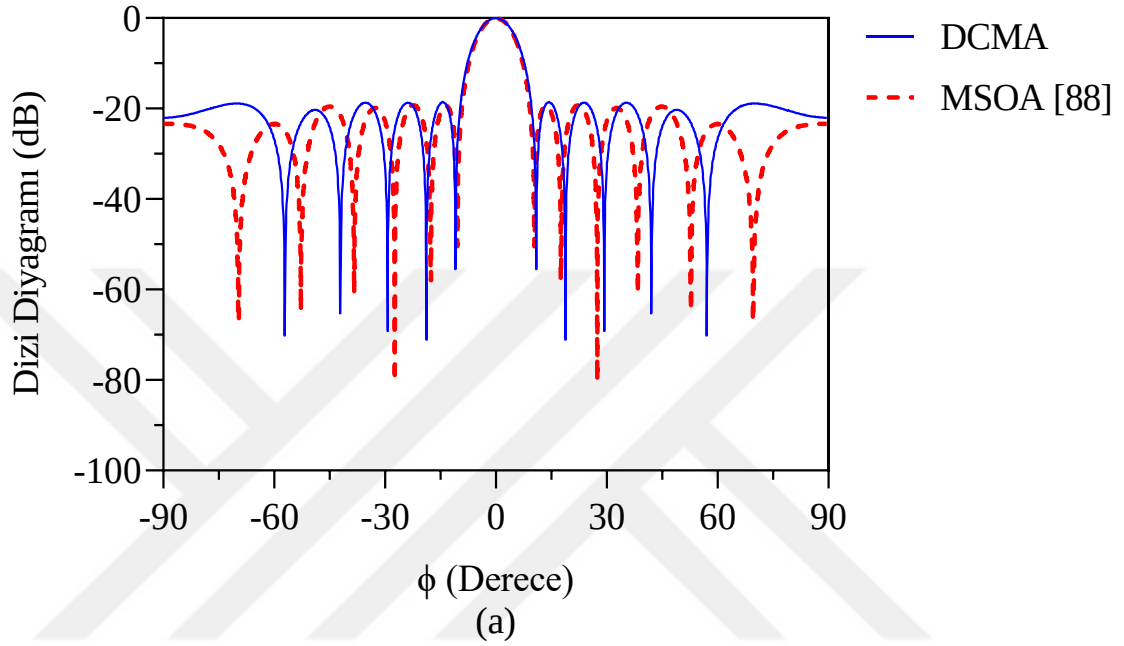
| N  | Şekil    | Algoritmalar | MSL (dB) | NDL (dB) | NDL Aralığı (Derece) | FNBW (Derece) | DRR     |
|----|----------|--------------|----------|----------|----------------------|---------------|---------|
| 12 | 3.29     | DCMA         | -18.99   | -45.50   | [46°, 71°]           | 36.6          | 5.4945  |
|    |          | DS [92]      | -18.37   | -45.33   | ve                   | 36.5          | 5.5066  |
|    |          | CRPSO [93]   | -17.22   | -41.78   | [108°, 134°]         | 38.84         | 5.5249  |
| 16 | 3.30 (a) | DCMA         | -22      | -53.13   | [60°, 75°]           | 29.2          | 14.2857 |
|    |          | DS [92]      | -20.96   | -53.30   | ve                   | 29.5          | 15.1745 |
|    |          | CRPSO [93]   | -17.49   | -53.04   | [104°, 120°]         | 30.6          | Sonsuz  |
| 20 | 3.30 (b) | DCMA         | -20.47   | -49.46   | [66°, 78°]           | 22.6          | 7.4019  |
|    |          | DS [92]      | -19.65   | -47.75   | ve                   | 22.5          | 8.24    |
|    |          | CRPSO [93]   | -17.61   | -45.56   | [101°, 113°]         | 23.02         | 57.88   |

Tablo 3.24. Şekil 3.29 ve 3.30’da gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait genlik değerleri.

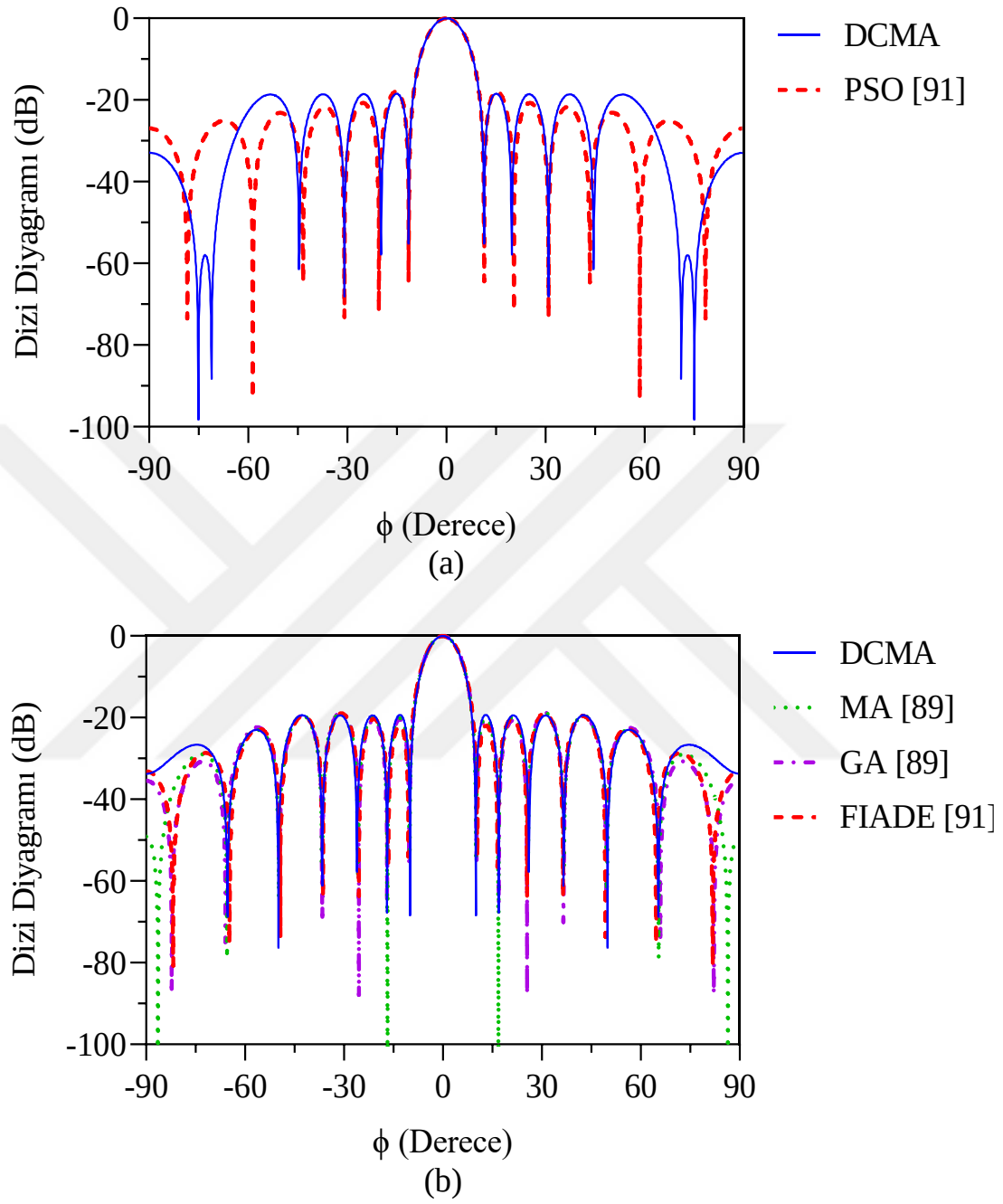
| Şekil    | $[I_1, I_2, I_3, \dots, I_N]$                                      |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| 3.29     | [1 0.9894 0.6092 0.5924 0.1848 0.1820]                             |
| 3.30 (a) | [1 1 0.8722 0.5625 0.5555 0.3764 0.0700 0.1959]                    |
| 3.30 (b) | [0.9997 0.9819 1 0.7896 0.4555 0.6890 0.4232 0.1351 0.1712 0.1723] |

Doğrusal anten dizilerinde dizi elemanlarının sadece genlik değerleri belirlenerek dizi sentezi yapılmasına ek olarak bu çalışmada dizi elemanlarının sadece konum değerleri belirlenerek anten dizi sentezi de yapılmıştır. Öncelikle 12 elemanlı doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının konum değerleri DCMA ile optimize edilerek yan demet bastırma yapılmıştır. Eleman genliklerinin 1 olarak alındığı bu çalışmada FNBW ve dizinin uzunluk değeri de hesaplamalara dahil edilmiştir. DCMA ile gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde edilen dizi diyagramları MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], PSO [91] ve FIADÉ [91] ile elde edilen dizi diyagramlarıyla birlikte Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilmiştir. Bu diyagramlara ait MSL, FNBW ve dizi uzunluk değerleri Tablo 3.25’te karşılaştırılmıştır. Tablo 3.25 incelendiğinde DCMA ile MSOA [88], TSA [89], MA [89], GA [89], PSO [91] ve FIADÉ’ye [91] göre daha iyi MSL ve dizi uzunluk değerleri elde edildiği görülmektedir. DCMA’nın MSOA [88], TSA [89] ve PSO [91] ile aynı, MA [89], GA [89] ve

FIADE'den [91] ise daha iyi FNBW değerleri elde ettiği yine Tablo 3.25'te açıkça görülmektedir. DCMA ile elde edilen Şekil 3.31 ve 3.32'deki dizi diyagramlarının konum değerleri Tablo 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.31. Konum kontrolü yapılarak (a) DCMA, MSOA [88] ve (b) DCMA, TSA [89] ile elde edilen 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları



Şekil 3.32. Konum kontrolü yapılarak (a) DCMA, PSO [91] ve (b) DCMA, MA [89], GA [89], FIADDE [91] ile elde edilen 12 elemanlı doğrusal anten dizilerinin diyagramları

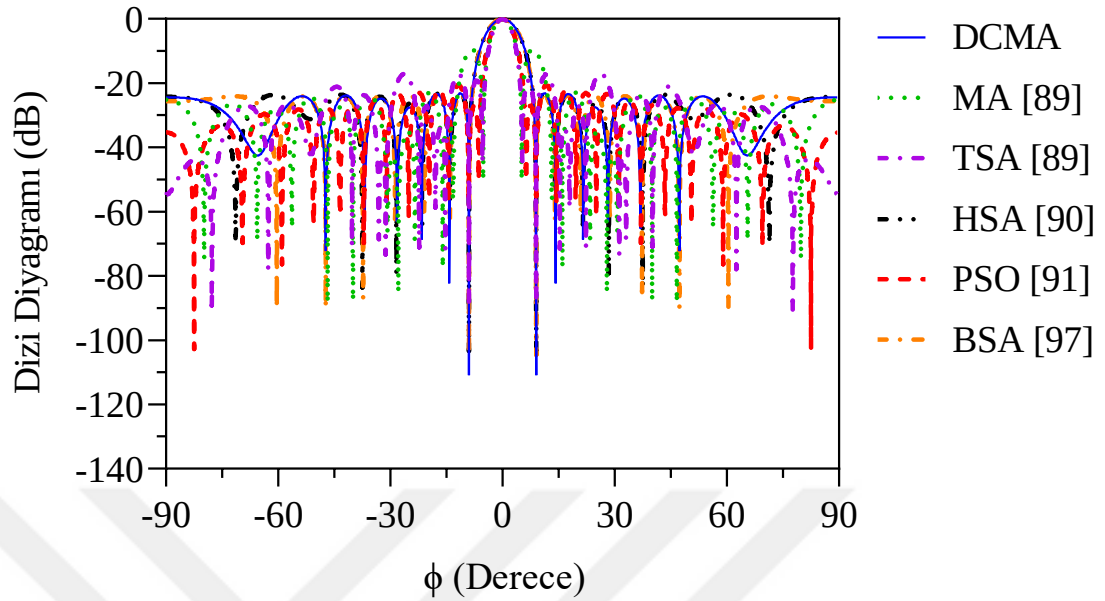
Tablo 3.25. Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve dizi uzunluk değerleri.

| Şekil    | Algoritma   | MSL (dB) | FNBW (Derece) | Uzunluk ( $\lambda$ ) |
|----------|-------------|----------|---------------|-----------------------|
| 3.31 (a) | DCMA        | -19.32   | 20.8          | 11.48                 |
|          | MSOA [88]   | -19.25   | 20.8          | 11.4896               |
| 3.31 (b) | DCMA        | -18.57   | 21.8          | 10.8                  |
|          | TSA [89]    | -18.4    | 21.8          | 10.902                |
| 3.32 (a) | DCMA        | -18.42   | 22.8          | 10.3                  |
|          | PSO [91]    | -17.9    | 22.8          | 10.3616               |
| 3.32 (b) | DCMA        | -19.33   | 20            | 11.9796               |
|          | MA [89]     | -19.1    | 20.2          | 11.998                |
|          | GA [89]     | -18.77   | 20.4          | 11.98                 |
|          | FIADDE [91] | -18.96   | 20.8          | 11.998                |

Tablo 3.26. Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramlarına ait  $\lambda$  cinsinden konum değerleri.

| Şekil    | $[d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]$               |
|----------|---------------------------------------------|
| 3.31 (a) | [0.4346 1.2587 2.2078 3.1573 4.4338 5.7400] |
| 3.31 (b) | [0.4887 1.1568 2.1196 3.0186 4.2312 5.4000] |
| 3.32 (a) | [0.2500 1.2532 1.9535 2.9117 4.0402 5.1500] |
| 3.32 (b) | [0.4606 1.3060 2.3084 3.2910 4.6252 5.9898] |

Doğrusal anten dizi sentezine ait diğer bir çalışmada 22 elemanlı doğrusal anten dizisindeki dizi elemanlarının konum değerleri optimize edilerek yan demet bastırma ve derin sıfır oluşturma yapılmıştır. Sıfır noktası olarak  $9^\circ$  seçilmiştir. DCMA kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyondan elde edilen dizi diyagramı, MA [89], TSA [89], HSA [90], PSO [91] ve BSA [97] ile elde edilen dizi diyagramları ile Şekil 3.33’te karşılaştırılmıştır. Bu dizi diyagramlarına ait MSL, NDL ve dizi uzunluk değerleri Tablo 3.27’de verilmiştir. Tablo 3.27’den görüleceği üzere DCMA ile TSA [89], MA [89] ve PSO’ya [91] göre daha iyi MSL, NDL ve dizi uzunluk değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.27 incelendiğinde HSA [90] ve BSA [97] DCMA’ya göre daha iyi MSL değerleri elde etmiş olsalar da dizi boyutu ve NDL değerleri DCMA’nın elde ettiği dizi boyutu ve NDL değerlerine göre daha kötüdür. Şekil 3.33’te gösterilen DCMA’ya ait dizi diyagramının konum değerleri Tablo 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.33. Konum kontrolü yapılarak DCMA, MA [89], TSA [89], HSA [90], PSO [91] ve BSA [97] ile elde edilen 90°’de sifıra sahip 22 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

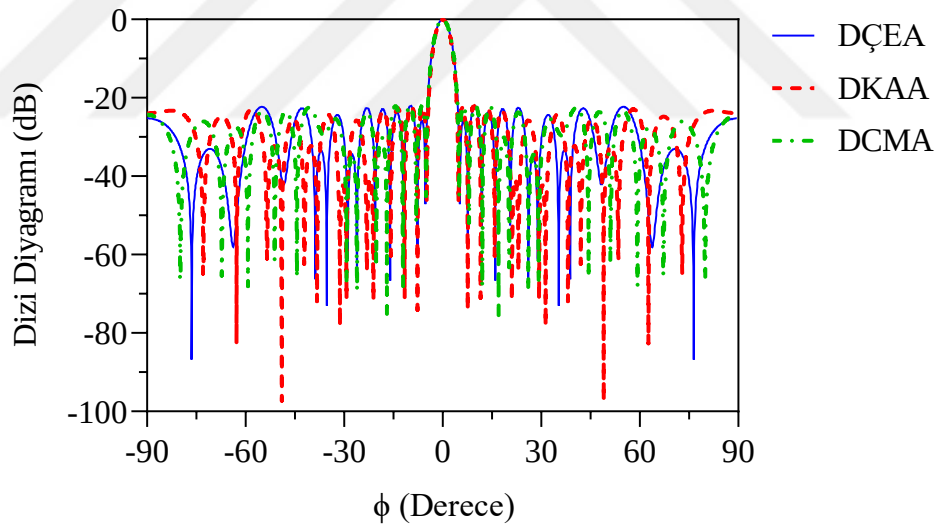
Tablo 3.27. Şekil 3.33’te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, NDL ve uzunluk değerleri.

| Algoritma | MSL (dB) | NDL (dB) | Uzunluk ( $\lambda$ ) |
|-----------|----------|----------|-----------------------|
| DCMA      | -23.15   | -110.94  | 15.2376               |
| MA [89]   | -18.11   | -73.92   | 20.2486               |
| TSA [89]  | -17.17   | -67.94   | 23.282                |
| HSA [90]  | -23.28   | -103.30  | 15.2633               |
| PSO [91]  | -20.68   | -49.94   | 22                    |
| BSA [97]  | -23.54   | -104.61  | 15.24                 |

Tablo 3.28. Şekil 3.33’te gösterilen DCMA ile elde edilen dizi diyagramına ait  $\lambda$  cinsinden konum değerleri.

| Şekil | $[d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]$                                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.33  | $[0.2500 \ 0.7799 \ 1.3524 \ 1.9171 \ 2.5396 \ 3.0811 \ 3.9631 \ 4.4877 \ 5.4037 \ 6.4356 \ 7.6188]$ |

Son olarak DÇEA, DKAA ve DCMA ile 28 elemanlı doğrusal anten dizisinde yan demet bastırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada algoritmaların popülasyon değeri 40, iterasyon adımı 500 olarak seçilmiştir. Yakınsama performanslarını incelemek için hedeflenen MSL değeri -22 dB, FNBW değeri  $9^\circ$ , maksimum dizi uzunluğu  $28\lambda$  olarak ayarlanmıştır. DÇEA, DKAA ve DCMA kullanılarak dizi elemanlarının konum değerlerinin hesaplanması ile elde edilen dizi diyagramları Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Bu dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve dizi uzunluk değerleri Tablo 3.29'da birbiriyle karşılaştırılmıştır. Tablo 3.29'dan görüleceği üzere tüm algoritmalar hedeflenen MSL değerine yakın sonuçlar elde etmiş olup, DKAA diğer algoritmalarla göre daha düşük FNBW değerini daha uzun dizi yapısıyla elde etmiştir. Dizi elemanlarının konum değerleri Tablo 3.30'da, optimizasyona ait yakınsama eğrileri Şekil 3.35'te verilmiştir. Yakınsama eğrileri incelendiğinde ise bu çalışma için DKAA'nın diğer algoritmalarla göre daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.



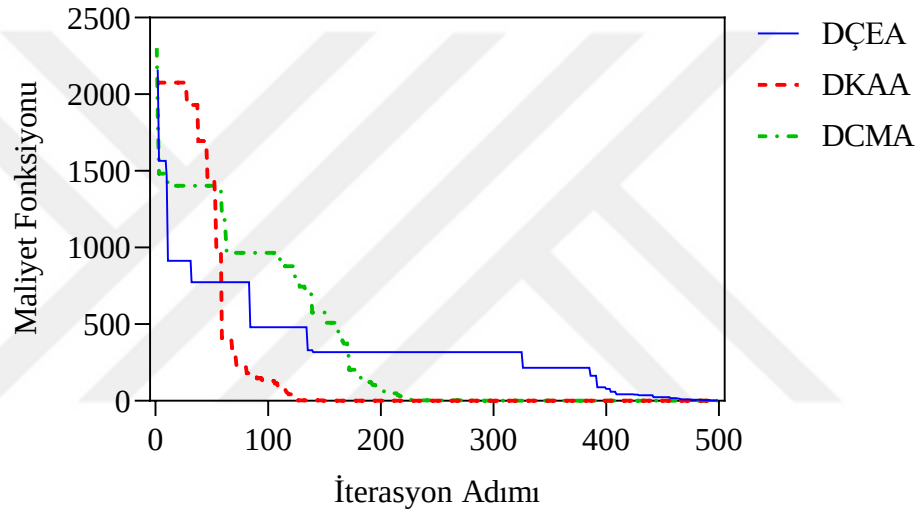
Şekil 3.34. Konum kontrolü yapılarak DÇEA, DKAA ve DCMA ile elde edilen 28 elemanlı doğrusal anten dizi diyagramları

Tablo 3.29. Şekil 3.34'te gösterilen dizi diyagramlarına ait MSL, FNBW ve uzunluk değerleri.

| Şekil | Algoritma | MSL (dB) | FNBW (Derece) | Uzunluk ( $\lambda$ ) |
|-------|-----------|----------|---------------|-----------------------|
| 3.34  | DÇEA      | -21.99   | 10.6          | 26.81                 |
|       | DKAA      | -22.06   | 9.8           | 27.84                 |
|       | DCMA      | -22.1    | 10.2          | 26.7                  |

Tablo 3.30. Şekil 3.34’te gösterilen dizi diyagramlarına ait  $\lambda$  cinsinden konum değerleri.

| Şekil | Algoritmalar | $[d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]$                                                                             |
|-------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.34  | DÇEA         | [0.4812 1.1130 1.8451 2.3512 3.4122 3.9787 5.0246 5.8661<br>6.8188 7.7929 9.0440 10.5007 12.0282 13.4073] |
|       | DKAA         | [0.3883 0.9755 1.9701 2.7783 3.6284 4.4513 5.2710 6.2088<br>7.1886 8.3220 9.6543 10.9801 12.3346 13.9200] |
|       | DCMA         | [0.4176 1.3246 1.9247 2.5261 3.5001 4.1400 5.1657 5.8404<br>7.0702 8.0400 9.1588 10.5689 11.8159 13.3530] |



Şekil 3.35. DÇEA, DKAA ve DCMA ile 28 elemanlı doğrusal anten dizisi için elde edilen yakınsama eğrileri

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1.Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında DÇEA, ÇEA, DKAA ve DCMA kullanılarak anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir.

DÇEA, ÇEA'nın evrenler arası nesne transfer denkleminin değiştirilmesi ile türetilmiştir. DÇEA ile farklı eleman sayılarına sahip dairesel anten dizilerinde dizi elemanlarının hem genlik hem de konum değerleri birlikte optimize edilerek ışıma diyagramlarında yan demet bastırma yapılmıştır. Yan demet bastırma esnasında anten çevre uzunluğu da dikkate alınmıştır. Algoritma 20 kere çalıştırılarak elde edilen en iyi sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, anten çevre uzunluğunun  $10\lambda$  olması hedeflenerek yan demet bastırma yapılmış ve algoritmaların performansı incelenmiştir. Her bir sentez örneği için ÇEA ile de optimizasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar hem DÇEA ile elde edilen sonuçlarla hem de literatürdeki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda DÇEA ile elde edilen sonuçların literatürdeki diğer algoritmaların elde ettiği sonuçlara göre daha iyi olduğu, DÇEA'nın ÇEA'ya göre ortalama MSL ve standart sapma değerlerinin de daha düşük olduğu görülmüştür.

Eşmerkezli dairesel anten dizi sentezinde KAA'nın AKP ile birleştirilmesiyle elde edilen DKAA kullanılmıştır. Farklı eleman sayılarına ve farklı halka aralıklarına sahip, merkez eleman bulunduran ve bulundurmayan eşmerkezli dairesel anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının sadece genlik değerleri hesaplanarak yan demet bastırma yapılmıştır. Birinci sıfır demet genişliği ve dizi eleman genliklerinin çalışma aralığı oranı da optimizasyon sürecine dahil edilmiştir. DKAA ile elde edilen sonuçların literatürdeki onbir farklı algoritmanın elde ettiği sonuçlardan daha iyi olduğu tespit

edilmiştir. Ayrıca eşmerkezli dairesel anten dizi sentezinde DKAA'nın KAA'ya göre daha hızlı yakınsadığı görülmüştür.

DCMA ile hem eliptik hem doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma, CMA'nın KAA ile birleştirilip karşıt popülasyon yönteminin algoritmaya dahil edilmesiyle türetilmiştir. Farklı sayılarda elemana sahip eliptik anten dizilerinin eleman genlikleri düşük yan demet seviyesine sahip ışıma diyagramları elde etmek için DCMA kullanılarak optimize edilmiştir. Sentez sırasında birinci sıfır demet genişliği ve genliklerin çalışma aralığı oranı da göz önünde bulundurulmuştur. DCMA ile elde edilen sonuçların literatürdeki diğer algoritmalar ile kıyaslandığında benzer veya daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Doğrusal anten dizi sentezinde DCMA ile dizi elemanların sadece genlik ve sadece konum parametreleri optimize edilerek yan demet bastırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, belirli açılardaki girişim etkilerini azaltmak amacıyla geniş sıfır ve derin sıfır noktalarına sahip ışıma diyagramları elde etmek için dizi sentezi de yapılmıştır. Dizi elemanlarının genlikleri belirlenirken birinci sıfır demet genişliği ve genliklerin çalışma aralığı oranı, konumları belirlenirken ise birinci sıfır demet genişliği ve dizi uzunluğu dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Eliptik anten dizi sentezinde olduğu gibi doğrusal anten dizi sentezi esnasında da bazı örneklerde algoritmaların birbirlerine yakın değerler sunduğu gözlemlenmiştir. DCMA'nın doğrusal anten dizi sentezinde de literatürdeki diğer algoritmalarından daha iyi veya benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

DÇEA, DKAA ve DCMA'yı karşılaştırmak için 28 elemanlı doğrusal anten dizi sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının sadece konum değerleri hesaplanarak algoritmaların performansı incelenmiştir. Algoritmalar hedeflenen MSL değerine yakın sonuçlar sunmuştur. DKAA'nın diğer algoritmalarla göre daha hızlı yakınsadığı görülmüş olup, daha düşük FNBW değerini daha uzun dizi yapısıyla elde etmiştir.

Bu tez çalışmasında sunulan DÇEA, DKAA ve DCMA, farklı mühendislik problemlerinin veya farklı anten dizilerinin optimizasyon işlemlerinde kullanılabilir. Bu algoritmaların geliştirilmeye açık yapıları sayesinde üzerlerinde yapılacak değişiklikler veya başka algoritmalar ile birleştirilerek ortaya çıkarılacak melez algoritmalar ile mevcut performansları iyileştirilebilir.

## KAYNAKÇA

1. Ma, M.T., 1974. Theory and Application of Antenna Arrays. John Wiley and Sons, New York.
2. Balanis, C.A., 1982. Antenna Theory: Analysis and Design. 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**: 80–107.
5. Woodward, P.M., 1946. A method for calculating the field over a plane aperture required to produce a given polar diagram. **Proc. IEE**, **93**: 1554–1558.
6. Orchard, H.J., Elliot, R.S., Stern, J.G., 1985. Optimizing the synthesis of shaped beam antenna patterns. **IEE Proc. Microwave Antennas Propagation**, **132**: 63–68.
7. Mirjalili S., Mirjalili S. M., Hatamlou A., 2016. Multi-verse optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. **Neural Computing and Applications**, **27** (2): 495-513.
8. Mirjalili S., 2015. The Ant Lion Optimizer. **Advances in Engineering Software**, **83** (1): 80-98.
9. Li S., Chen H., Wang M., Heidari A. A., Mirjalili S., 2020. Slime mould algorithm: a new method for stochastic optimization. **Future Generation Computer Systems**, **111** (2020): 300-323.
10. Rosales-Munoz A. A., Grisales-Norena L. F., Montano J., Montoya O. D., Perea-Moreno A. J., 2021. Application of the multiverse optimization method to solve the optimal power flow problem in direct current electrical networks. **Sustainability**, **13** (16): 1-28.
11. Rosales-Munoz A. A., Grisales-Norena L. F., Montano J., Montoya O. D., Perea-Moreno A. J., 2021. Application of the multiverse optimization method to solve the optimal power flow problem in alternating current networks. **Electronics**, **11** (8): 1-33.

12. Suhaimi M. H., Musirin I., Hidayab M., Jenali S., Mansor M. H., 2020. Multiverse optimisation based technique for solving economic dispatch in power system. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, **20** (1): 485-491.
13. Hemanth Kumar M. B., Balasubramanian V., Padmanaban S., Holm-Nielsen J. B., 2019. Wind energy potential assessment by weibull parameter estimation using multiverse optimization method: a case study of tirumala region in india. **Energies**, **12** (11): 1-21.
14. Kumar K. A., Boda R., Kumar P., Amgothu V., 2021. Feature Selection using Multi-Verse Optimization for Brain Tumour Classification. **Annals of The Romanian Society for Cell Biology**, **25** (6): 3970-3982.
15. Kumar A., Suhag S., 2017. Multiverse optimized fuzzy-PID controller with a derivative filter for load frequency control of multisource hydrothermal power system. **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, **25**: 4187-4199.
16. Faris H., Hassonah M. A., Al-Zoubi A. M., Mirjalili S., Aljarah I., 2017. A multi-verse optimizer approach for feature selection and optimizing SVM parameters based on a robust system architecture. **Neural Computing and Applications**, **30**: 2355-2369.
17. Fathy A., Rezk H., 2018. Multi-verse optimizer for identifying the optimal parameters of PEMFC model. **Energy**, **15**: 634-644.
18. Rezk H., Mohamed M. A., Diab A. A. Z., Kanagaraj N., 2021. Load frequency control of multi-interconnected renewable energy plants using multi-verse optimizer. **Computer Systems Science and Engineering**, **37** (2): 219-231.
19. Kouadri R., Musirin I., Slimani L., Bouktir T., 2020. OPF for large scale power system using ant lion optimization: a case study of the algerian electrical network. **IAES International Journal of Artificial Intelligence**, **9** (2): 252-260.
20. Hamouda E., El-Metwally S., Tarek M., 2018. Ant lion optimization algorithm for kidney exchanges. **Plos One**, **13** (5): 1-23.
21. Hii K. H., Narayanamurthy V., Samsuri F., 2019. ECG noise reduction with the use of the ant lion optimizer algorithm. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, **9** (4): 4525-4529.

22. Ali E. S., Abd Elazim S. M., Abdelaziz A. Y., 2017. Ant lion optimization algorithm for optimal location and sizing of renewable distributed generations. **Renewable Energy**, **101**: 1311-1324.
23. Ali E. S., Abd Elazim S. M., Abdelaziz A. Y., 2017. Ant lion optimization algorithm for renewable distributed generations. **Energy**, **116**: 445-458.
24. Alazemi F. Z., Hatata A. Y., 2019. Ant lion optimizer for optimum economic dispatch considering demand response as a virtual power plant. **Electric Power Components and Systems**, **47** (6-7): 629-643.
25. Petrovic M., Petronijevic J., Mitic M., Vukovic N., Miljkovic Z., Babic B., 2016. The ant lion optimization algorithm for integrated process planning and scheduling. **Applied Mechanics and Materials**, **834**: 187-192.
26. Mouassa S., Bouktir T., Salhi A., 2017. Ant lion optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem in power systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, **20** (3): 885-895.
27. Srinivas B. S., Govardhan A., 2019. Feature selection using ant lion optimization algorithm in text categorization. **International Journal of Engineering & Technology**, **8** (4): 582-589.
28. Samala R.K., Kotaputi M.R., 2017. Multi distributed generation placement using ant-lion optimization. **European Journal of Electrical Engineering**, **19** (5-6): 253-267.
29. Elsayed S. K., Agwa A. M., El-Dabbah M. A. Elattar E. E., 2021. Slime mold optimizer for transformer parameters identification with experimental validation. **Intelligent Automation & Soft Computing**, **28** (3): 639-651.
30. Jassbi S. J., Teymori S., 2022. The optimization of consumption uwsn energy using slime mold algorithm: a metaheuristic algorithm. **Journal of Network Security Computer Networks**, **8** (2): 9-31.
31. Ariwobo W., 2022. Slime mould algorithm training neural network in automatic voltage regulator. **Trends In Science**, **19** (3): 2-11.
32. Zhu Z., 2022. An improved solution to generation scheduling problem using slime mold algorithm. **Frontiers In Energy Research**, **10**: 1-7.
33. Yıldız B. S., 2021. Slime mould algorithm and kriging surrogate model-based approach for enhanced crashworthiness of electric vehicles. **International Journal of Vehicle Design**, **83** (1): 54-68.

34. Draz A., Elkholy M. M., El-Fergany A. A., 2021. Slime mould algorithm constrained by the relay operating time for optimal coordination of directional overcurrent relays using multiple standardized tripping curves. **Neural Computing and Applications**, **33**: 11875-11887.
35. Precup R., David. R., Roman R., Petriu E. M., Szedlak-Stinean A., 2021. Slime mould algorithm-based tuning of cost-effective fuzzy controllers for servo systems. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, **14** (1): 1042-1052.
36. Pham, D.T., Karaboğa, D., 2000. Intelligent Optimisation Techniques. Springer-Verlag, London, UK.
37. 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.
38. Shibab M., Najjar Y., Dib N., Khodier M., 2008. Design of nonuniform circular antenna arrays using particle swarm optimization. **Journal of Electrical Engineering**, **59** (4): 216–220.
39. 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.
40. Sharaqa A., Dib N. I., 2012. On the optimal design of nonuniform circular antenna arrays. **Journal of Applied Electromagnetism**, **14** (1): 42–59.
41. 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.
42. 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.
43. 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** (5): 441–446.

44. Das A, Mandal D, Ghoshal SP, Kar R, 2019. An optimal mutually coupled concentric circular antenna array synthesis using ant lion optimization. **Annals of Telecommunications**, **74**: 687-696.
45. Das A, Mandal D, Ghoshal SP, 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.
46. 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.
47. Dib N., 2018. Design of planar concentric circular antenna arrays with reduced side lobe level using symbiotic organisms search. **Neural Computing and Applications**, **30**: 3859-3868.
48. 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.
49. Ram G, Mandal D, Kar R, Ghoshal S. P., 2015. Opposition-based gravitational search algorithm for synthesis circular and concentric circular antenna arrays. **Scientia Iranica**, **22** (6): 2457-2471.
50. 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.
51. 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 programming technique. **Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves**, **31**: 667-680.
52. Dib N., Amaireh A., Al-Zoubi A., 2018. On the optimal synthesis of elliptical antenna arrays. **International Journal of Electronics**, **106** (1): 121-133.
53. Durmuş A., 2020. Optimum Design of Elliptical Antenna Array Using Grasshopper Optimization Algorithm. **International Journal of Engineering Research and Development**, **12** (2): 492-499.

54. Kurt E., Basbug S., Guney K., 2022. Sidelobe level suppression for elliptical antenna arrays using modified salp swarm algorithm. **Journal of Electrical Engineering**, **73** (5): 325-331.
55. Chakravarthy V. V. S. S. S., Chowdary P. S. R., Dib N., Anguera J., 2021. Elliptical antenna array synthesis using evolutionary computing tools. **Arabian Journal for Science and Engineering**, **47**: 2807-2824.
56. Khoury J., Ovrut B. A., Seiberg N., Steinhardt P. J., Turok N., 2002. From big crunch to big bang. **Physical Review D**, **65** (8): 1-16.
57. Barrow J. D., Davies P. C. W., Harper C. L. Jr., 2004. Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology, and Complexity. Cambridge University Press, Cambridge.
58. Eardley D. M., 1974. Death of white holes in the early universe. **Physical Review Letters**, **33** (7): 442-444.
59. Davies P. C., 1978. Thermodynamics of black holes. **Reports on Progress in Physics**, **41** (8): 1313-1355.
60. Morris M. S., Thorne K. S., 1988. Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: a tool for teaching general relativity. **American Journal of Physics**, **56** (5):395–412.
61. Wolpert D. H., Macready W. G., 1997. No free lunch theorems for optimization. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, **1** (1): 67–82.
62. Wu Z., Xue R., 2019. A cyclical non-linear inertia-weighted teaching–learning-based optimization algorithm. **Algorithms**, **12** (5): 1-15.
63. Gupta, M., Gupta, D., 2016. A new modified firefly algorithm. **International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT**, **4** (2): 18–23.
64. Naik M. K., Panda R., 2016. A novel adaptive cuckoo search algorithm for intrinsic discriminant analysis based face recognition. **Applied Soft Computing**, **38**: 661-675.
65. Sayed G. I., Khoriba G., Haggag M. H., 2018. A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection. **Applied Intelligence**, **48**: 3462-3481.

66. Scharf I., Subach A., Ovadia O., 2008. Foraging behaviour and habitat selection in pitbuilding antlion larvae in constant light or dark conditions. **Animal Behaviour**, **76** (6): 2049–2057.
67. Griffiths D., 1986. Pit construction by ant-lion larvae: a cost-benefit analysis. **Journal of Animal Ecology**, **55** (1): 39–57.
68. Wilson R. B., 1963. A Simplicial Algorithm for Concave Programming. Harvard University, PhD Dissertation, Cambridge MA, 194.
69. Boggs P. T., Tolle J. W., 1995. Sequential Quadratic Programming. **Acta Numerica**, **4**: 1-51.
70. Bader B. W., 2009. Constrained and unconstrained optimization. **Comprehensive Chemometrics**, **1**: 507-545.
71. Sivasubramani S, Swarup K. S., 2011. Hybrid DE–SQP algorithm for non-convex short term hydrothermal scheduling problem. **Energy Conversion and Management**, **52** (1): 757-761.
72. Radosavljevic J., Jevtic M., 2016. Hybrid GSA-SQP algorithm for optimal coordination of directional overcurrent relays. **IET Generation, Transmission & Distribution**, **10** (8):1928-1937.
73. Sivasubramani S., Swarup K. S., 2010. Hybrid SOA-SQP algorithm for dynamic economic dispatch with valve-point effects. **Energy**, **35** (12): 5031-5036.
74. Basu M., 2009. Hybridization of artificial immune systems and sequential quadratic programming for dynamic economic dispatch. **Electric Power Components and Systems**, **37** (9): 1036-1045.
75. Victoire T. A. A., Jeyakumar A. E., 2004. Hybrid PSO–SQP for economic dispatch with valve-point effect. **Electric Power Systems Research**, **71** (1): 51-59.
76. Attaviriyapap P., Kita H., Tanaka E., Hasegawa J., 2002. A hybrid EP and SQP for dynamic economic dispatch with nonsmooth fuel cost function. **IEEE Transactions on Power Systems**, **17** (2): 411-416.
77. Kessler D., 1982. Plasmodial structure and motility. **Cell Biology of Physarum and Didymium**, **1**: 145-208.
78. Latty T., Beekman M., 2010. Food quality and the risk of light exposure affect patch-choice decisions in the slime mold *Physarum polycephalum*. **Ecology**, **91** (1): 22–27.

79. Latty T., Beekman M., 2011. Speed-accuracy trade-offs during foraging decisions in the acellular slime mould *Physarum polycephalum*. **Proceedings of the Royal Society B**, **278** (1705): 539–545.
80. Latty T., Beekman M., 2015. Slime moulds use heuristics based on within-patch experience to decide when to leave. **Journal of Experimental Biology**, **218** (8): 1175–1179.
81. Fister Jr. I., Fister D., Yang X., 2013. A hybrid bat algorithm. **Elektrotehniski Vestnik**, **80** (1-2): 1-7.
82. Luo J., Shi B., 2018. A hybrid whale optimization algorithm based on modified differential evolution for global optimization problems. **Applied Intelligence**, **49**: 1982–2000.
83. Kaveh A., Moghaddam M. R., 2018. A hybrid WOA-CBO algorithm for construction site layout planning problem. **Scientia Iranica**, **25** (3): 1094–1104.
84. Wang G. G., Gandomi A. H., Alavi A. H., Hao G. S., 2014. Hybrid krill herd algorithm with differential evolution for global numerical optimization. **Neural Computing and Applications**, **25**: 297–308.
85. Khalilpourazari S., Khalilpourazary S., 2018. SCWOA: an efficient hybrid algorithm for parameter optimization of multi-pass milling process. **Journal of Industrial and Production Engineering**, **35** (3): 135–147.
86. Kamboj V. K., Bhadoria A., Gupta N., 2018. A novel hybrid GWO-PS algorithm for standard benchmark optimization problems. **INAE Letters**, **3**: 217–241.
87. Naik M. K., Panda R., Abraham A., 2021. Adaptive opposition slime mould algorithm. **Soft Computing**, **25**: 14297–14313.
88. Kurt E., Basbug S., Guney K., 2021. Linear antenna array synthesis by modified seagull optimization algorithm. **ACES Journal**, **36** (12): 1552–1561.
89. 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.
90. Guney K., Onay M., 2011. Optimal synthesis of linear antenna arrays using a harmony search algorithm. **Expert Systems with Applications**, **38** (12): 15455–15462.
91. Chowdhury A., Giri R., Ghosh A., Das S., Abraham A., Snasel V., 2010. Linear antenna array synthesis using fitness-adaptive differential evolution algorithm, 1–8. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 18–23 July, Spain.

92. 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, 142.
93. Mandal D., Kumar R., Kar R., Ghoshal S. P., 2011. Wide nulls control of linear antenna arrays using craziness based particle swarm optimization, 1-8. *IEEE Student Conference on Research and Development*, 19-20 December, Malaysia.
94. Saxena P., Kothari A., 2016. Optimal pattern synthesis of linear antenna array using grey wolf optimization algorithm. **International Journal of Antennas and Propagation**, **1**: 1-11.
95. 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): 1-15.
96. 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.
97. Guney K., Durmus A., 2015. Pattern nulling of linear antenna arrays using backtracking search optimization algorithm. **International Journal of Antennas and Propagation**, **1**: 1-10.
98. Zhang, F., Jia, W., Yao, M., 2013. Linear aperiodic array synthesis using differential evolution algorithm. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **12**: 797–800.
99. Aksoy, E., Afacan, E., 2009. Planar antenna pattern nulling using differential evolution algorithm. **AEU - International Journal of Electronics and Communications**, **63** (2): 116–122.
100. Quevedo-Teruel, O., Rajo-Iglesias, E., 2006. Ant colony optimization in thinned array synthesis with minimum sidelobe level. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **5**: 349–352.
101. 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.

102. Taser, A.E., Guney, K., Kurt, E., 2020. Circular antenna array synthesis using multiverse optimizer. **International Journal of Antennas and Propagation**, 2020: 1-10.
103. Taser, A.E., Guney, K., Kurt, E., 2023. Synthesizing of concentric circular antenna arrays by using a combination of ant lion optimizer and sequential quadratic programming. **International Journal of Numerical Modelling**, 36(4): 1-18.
104. Onay, M., 2011. Arılar Algoritması, Armoni Arama Algoritması ve Yapay Balık Sürüşü Algoritması ile Lineer Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
105. Başbuğ, S., 2014. Metasezgisel Algoritmalar ile Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
106. Kurt, E., 2023. Martı Optimizasyon, Salp Sürü ve Kuzey Çakır Kuşu Algoritmaları ile Doğrusal ve Düzlemsel Anten Dizi Sentezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Ahmet Emre TAŞER  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)

### EĞİTİM

| Derece        | Kurum                                         | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|-----------------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | Kiel Üniversitesi, Sayısal Haberleşme         | 2014             |
| Lisans        | Atılım Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. | 2012             |
| Lise          | Tokat Anadolu Lisesi, Tokat                   | 2007             |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl        | Kurum        | Görev |
|------------|--------------|-------|
| 2015-Halen | Türksat A.Ş. | 2015  |

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1. Muthalib, M., Taser, A.E., Raethjen, J., Perrey, S., Schmidt, G., Deuschl, G., Muthuraman, M., 2015. Effects of ON and OFF subthalamic nucleus deep brain stimulation on cortical activation during finger movements tasks: a simultaneous fNIRS and EEG study. **Brain Stimulation**, 8(2): 393.

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. Taser, A.E., Guney, K., Kurt, E., 2023. Synthesizing of concentric circular antenna arrays by using a combination of ant lion optimizer and sequential quadratic programming. **International Journal of Numerical Modelling**, 36(4): 1-18.

