DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE ANTEN DİZİLERİNDE ÖRÜNTÜ ŞEKİLLENDİRME

Ertuğrul AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2007
ANKARA

Ertuğrul AKSOY tarafından hazırlanan "DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE ANTEN DİZİLERİNDE ÖRÜNTÜ ŞEKİLLENDİRME" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

(Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN) …….
Tez Danışmanı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Atila YILMAZ …….
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN …….
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. K. Cem NAKİBOĞLU …….
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: ...../……/……

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ertuğrul AKSOY

DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE ANTEN DİZİLERİNDE ÖRÜNTÜ ŞEKİLLENDİRME

(Yüksek Lisans Tezi)

Ertuğrul AKSOY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2007

ÖZET

Haberleşme sistemlerinin hızla gelişmesi ve elektromanyetik kirliliğin artması ile beraber anten dizileri ve uzaysal filtreleme konuları daha çok popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmada düzlemsel anten dizilerinde uzaysal filtreleme işleminde kullanılabilecek diferansiyel evrim algoritması tabanlı bir yöntem ve diferansiyel evrim algoritması tabanlı bir dizi küçültme yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemlerin çeşitli senaryolar için benzetimi yapılmış ve her iki yöntemin de başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : **905.1.034**
Anahtar Kelimeler : **Düzlemsel anten dizileri, Örüntü sıfırlama, Uzaysal filtreleme, Diferansiyel evrim algoritması**
Sayfa Adedi : **104**
Danışman : **Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN**

PATTERN SHAPING IN ANTENNA ARRAYS USING DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

(M.Sc. Thesis)

Ertuğrul Aksoy

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2007

ABSTRACT

With rapid development of communication systems and increase in the electromagnetic pollution, antenna arrays and spatial filtering have gained a greater popularity. In this work, a differential evolution algorithm based method which can be used for spatial filtering in planar antenna arrays, and a differential evolution algorithm based array thinning method is presented. Several simulations are made for both methods and it is shown that both methods give successful results.

Science Code : 905.1.034
Key Words : Planar antenna arrays, Pattern nulling, Spatial filtering, Differential evolution algorithm
Page Number : 104
Adviser : Asst. Prof. Dr. Erkan AFACAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, gerek bu tezin hazırlanması gerekse de yazılması esnasında benden kendi bilgi birikimini ve her türlü desteği esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Erkan AFACAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezin yazımı esnasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Derya KALYON'a ve Arş. Gör. Eyyüp SALLABAŞ'a da sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. ANTEN DİZİLERİ 4

2.1. Doğrusal Anten Dizileri 5

2.1.1. 2-elemanlı anten dizisi 5

2.1.2. M-elemanlı doğrusal anten dizisi 8

2.2. Düzlemsel Anten Dizileri 12

3. DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI 16

3.1. Popülasyon Yapısı 18

3.2. Genel Notasyon 19

3.3. Başlangıç Popülasyonu 19

3.4. Mutasyon 20

3.5. Çaprazlama 24

3.5.1. Tek-nokta çaprazlama 25

3.5.2. N-nokta çaprazlama 26

3.5.3. Üstel çaprazlama 26

Sayfa

3.5.4. Düzgün dağılımlı (binom) çaprazlama 27
3.6. Seçim 28
4. DOĞRUSAL DİZİ OPTİMİZASYONU 32
4.1. Pencere Fonksiyonları 32
4.1.1. Dikdörtgen pencere 33
4.1.2. Bartlett penceresi 33
4.1.3. Üçgen pencere 35
4.1.4. Blackman penceresi 37
4.1.5. Hamming penceresi 38
4.1.6. Hanning penceresi 39
4.1.7. Kaiser penceresi 40
4.1.8. Dolph-Chebyshev penceresi 41
4.1.9. Binom penceresi 46
4.2. Hüzme Döndürme ve Uzaysal Filtreleme 47
4.3. Evrimsel Teknikler 52
4.4. Dizi Küçültme 56
5. DÜZLEMSEL DİZİ OPTİMİZASYONU 61
5.1. Sıfır Sentezi 61
5.1.1. Konvolüsyon işlemi 61
5.1.2. Sentez yöntemi 64
5.2. Yan Kulakçık Bastırımı 68
5.3. Elemanları Rastgele Yerleştirilmiş Düzlemsel Diziler 74
5.4. Dizi Küçültme 81

Sayfa

6. SONUÇ 85

KAYNAKLAR 86

ÖZGEÇMİŞ.....90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. z-ekseni üzerine yerleştirilmiş sonsuz küçük iki yatay dipol 5

Şekil 2.2. Sonsuz küçük iki yatay dipol için uzak alan yaklaşımı..... 7

Şekil 2.3. 2N elemanlı doğrusal dizi 9

Şekil 2.4. 2N+1 elemanlı doğrusal dizi 10

Şekil 2.5. x-y düzlemine yerleştirilmiş düzgün düzlemsel dizi 13

Şekil 2.6. x-y düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi 15

Şekil 3.1. Mutant vektörün oluşturulması 22

Şekil 3.2. Çaprazlama işlemi ile oluşabilecek olası vektörler 25

Şekil 3.3. Tek-nokta çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması 25

Şekil 3.4. 3-nokta çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması 26

Şekil 3.5. DE için üstel çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması ...27

Şekil 3.6. DE için binom çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması .28

Şekil 3.7. Klasik DE algoritmasının akış şeması 30

Şekil 3.8. Klasik DE algoritmasının C-tipi sözde kodu.....31

Şekil 4.1. 8 ve 10 elemanlı, dikdörtgen pencere uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 34

Şekil 4.2. 10 elemanlı, Bartlett penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 35

Şekil 4.3. 10 elemanlı, üçgen pencere uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 36

Şekil 4.4. 10 elemanlı, Blackman penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 37

Şekil 4.5. 10 elemanlı, hamming penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 38

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.6. 10 elemanlı, Hanning penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 39

Şekil 4.7. 10 elemanlı, Kaiser penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 40

Şekil 4.8. Dokuzuncu dereceden Chebyshev polinomu 44

Şekil 4.9. 10 elemanlı, Dolph-Chebyshev penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 44

Şekil 4.10. 10 elemanlı, binom açılımı uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$) 46

Şekil 4.11. Ana hüzmenin kaydırılması 49

Şekil 4.12. Örüntü sıfırlarının kaydırılması 52

Şekil 4.13. -30dB Dolph-Chebyshev örüntüsü ile DE ile optimize edilmiş dizi örüntüsü.....55

Şekil4.14. 20 Elemanlı Doğrusal bir dizi için ışıma örüntüsü.....58

Şekil 4.15. 20 Örnek 1 için ışıma örüntüsü 59

Şekil 4.16. 20 Örnek 2 için ışıma örüntüsü 59

Şekil 5.1. Örnek bir kanonik dizi.....62

Şekil 5.2. Kanonik bir diziden türetilmiş 9 elemanlı romboid bir dizi 62

Şekil 5.3. Baklava dilimi şeklindeki kanonik bir diziden türetilmiş 36 elemanlı dizi.....66

Şekil 5.4. Şekil 5.3'de verilen 36 elemanlı baklava dilimi şeklindeki dizi için (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü.....66

Şekil 5.5. İkinci senaryo için baklava dilimi şeklindeki kanonik bir diziden türetilmiş 36 elemanlı baklava dilimi şeklindeki dizi 67

Şekil 5.6. İkinci senaryodaki dizinin (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü ...67

Şekil 5.7. xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş dikdörtgen bir dizi 68

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.8. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için ışıma örüntüsü 70

Şekil 5.9. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için güç örüntüsü 71

Şekil 5.10. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için ışıma örüntüsü 71

Şekil 5.11. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için güç örüntüsü 72

Şekil 5.12. 20 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi ..76

Şekil 5.13. 20 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü 76

Şekil 5.14. 20 elemanlı *xy* düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü 77

Şekil 5.15. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi ..79

Şekil 5.16. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü 80

Şekil 5.17. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü 81

Şekil 5.18. 36 elemanlı xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizide kalan elemanların yerleri 82

Şekil 5.19. Küçültme işleminden geçmiş toplam 24 elemanlı xy düzlemine yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü 83

Şekil 5.20. Küçültme işleminden geçmiş toplam 24 elemanlı xy düzlemine yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü 84

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Kosinüs açılımları 44

Çizelge 4.2. Chebyshev polinomları 45

Çizelge 4.3. Çeşitli pencere fonksiyonları kullanılarak üretilmiş 10 elemanlı doğrusal bir dizi için genlik katsayıları 47

Çizelge 4.4. Şekil 4.11. için ağırlık katsayıları 48

Çizelge 4.5. Şekil 4.12. için ağırlık katsayıları 51

Çizelge 4.6. -30dB Dolph-Chebyshev ile DE ile optimize edilmiş genlik katsayıları 55

Çizelge 5.1. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için genlik katsayıları 73

Çizelge 5.2. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için genlik katsayıları 73

Çizelge 5.3. 20 elemanlı dizi için dalga boyu cinsinden eleman konumları ... 77

Çizelge 5.4. 36 elemanlı dizi için dalga boyu cinsinden eleman konumları ... 79

Çizelge 5.5. 36 elemanlı xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş düzlemsel dizi için akım genlikleri ve dalga boyu cinsinden eleman konumları .83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	**Açıklama**
DE	Diferansiyel Evrim
YKS	Yan Kulakçık Seviyesi
YGHG	Yarı Güç Hüzme Genişliği

1. GİRİŞ

Haberleşme sistemlerinde elektromanyetik dalgaları almak ya da göndermek için kullanılan elemanlara anten denilmektedir. Haberleşme sistemlerinde mesaj bilgisi bir hat üzerinden gönderilip alınabileceği gibi iletim ortamı olarak atmosfer ya da uzay boşluğu da kullanılabilmektedir. Bu bakımdan anten için "bir elektromanyetik dönüştürücü" de denilebilir [1].

Antenler yapıları gereği her yöne eşit ışıma yapmamaktadır. Antenin yapısına göre uzaya yaptığı ışımanın bir gösterimine ışıma örüntüsü denmektedir. Çoğu zaman uzak mesafe haberleşmesinde ya da daha genel bir ifadeyle antenin uzayın belirli bir bölgesine diğer bölgelere nazaran daha fazla ışıma yapması istenen durumlarda, antenin yönelticiliğinin artırılması gerekmektedir. Bu işlem için anten dizileri kullanılabilmektedir [1]. Anten dizileri ile ışımanın belirli bir yönde arttırılmasının yanı sıra sistemin toplam ışımasının önemli karakteristikleri kontrol edilebilmektedir.

Dizi antenler kullanılarak ışıma; elektronik olarak uzayın belirli bölgesine döndürülmekte, istenmeyen sinyaller herhangi bir sinyal işleme tekniğine tabi tutulmaksızın filtrelenebilmekte ya da yan kulakçık olarak tabir edilen antenin istenmeyen ışımaları bastırılabilmekte, böylece örüntünün kritik parametreleri ayarlanabilmektedir.

Anten dizileri belirli sayıda antenin belirli bir konfigürasyonda bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Eğer antenler doğrusal bir hat üzerinde sıraya sokulmuşsa bu tip bir diziye doğrusal dizi, bir düzlem üzerindeyse düzlemsel dizi denilmektedir. Bunların yanı sıra, diziyi oluşturacak antenlerin hacimsel olarak bir konfigürasyona sokulup bir dizi elde edilmesi de mümkündür.

Anten dizilerinde örüntü şekillendirmek için dizi faktörü denilen fonksiyonlardan faydalanılmaktadır. Her dizi için dizi faktörü farklı olmaktadır ve bu faktörün parametreleri vasıtasıyla örüntü şekillendirilebilmektedir [1].

Elektromanyetik kirliliğin artması ile istenmeyen yönlerden gelen sinyallerin bastırılması, önemli bir araştırma konusu olmuştur. Anten dizisinin ışıma örüntülerindeki sıfırların yerlerinin ayarlanması ile bu bastırım işlemi gerçekleştirilmektedir. Birçok kaynakta temel sıfır sentezi yöntemi olarak dizi faktörü teriminin sadeleştirilerek sıfıra eşitlenmesi verilmektedir [1-6]. Bunların dışında farklı analitik çözümler de mevcuttur [7].

Örüntü şekillendirmedeki yaklaşımlardan biri dizi faktörünün farklı matematiksel fonksiyonlara benzetilmesi ve bu sayede dizi faktörü ifadesinin basitleştirilmesi ile örüntü şekillendirilmesinin sağlanmasıdır [8-11].

Anten dizileri ile yapılan çalışmalarda genellikle doğrusal diziler tercih edilmektedir [9-35] fakat diğer geometriler için de çalışmalar mevcuttur [8, 36-44]. Matematiksel kolaylık, nümerik işlemlerde dizi faktörü ifadesinin kolay bir şekilde gerçel bir fonksiyona dönüştürülebilmesi ve bu bakımdan işlem hızının artması, doğrusal dizilerin sık kullanılmasının nedenleri arasındadır.

Genetik algoritmalar olarak ortaya çıkan evrimsel algoritmalar, mühendislik problemleri için etkili birer araç olarak kullanılmaktadır [45, 46]. Örüntü şekillendirme problemleri analitik yöntemlerle çözülebildiği gibi bir optimizasyon problemi şeklinde de düşünülebilmektedir. Bu bakımdan evrimsel algoritmalar örüntü şekillendirme problemleri için de kullanılabilmektedirler. Literatürde genetik algoritmalar, benzetimli tavlama, karınca kolonisi optimizasyonu ve diferansiyel evrim (DE) algoritması gibi algoritmalar, örüntü şekillendirme problemleri için kullanılmaktadır [12-18].

Literatürde çoğunlukla simetrik ve elemanları arası uzaklıkları eşit olan diziler kullanılmaktadır. Bu çalışmaların ortak noktası, dizi faktörü ifadesindeki konum değişkenini sabit tutup eleman uyarımları üzerinde durmalarıdır. Fakat elemanları arası uzaklık eşit olmayan diziler üzerine de araştırmalar mevcuttur. [9, 10, 12, 19-22] bu çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Örüntü şekillendirmede örüntünün kritik parametreleri olan yan kulakçık seviyesi (YKS) ve sıfır noktalarının yerleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır [8-13, 15, 21, 23-25, 28, 29, 35, 39, 40, 42, 44]. YKS bastırımı için doğrusal dizilerde çeşitli pencere fonksiyonlarının kullanılması [7] veya evrimsel tekniklerin bu amaçla kullanılması [13, 15], düzlemsel dizilerde ise Chebyshev polinomlarından faydalanılması suretiyle genliklerin ayarlanması [8] bu çalışmalara örnek olarak verilebilir. Sıfır sentezine, evrimsel tekniklerle beraber, doğrusal dizilerde döndürme vektörlerinin kullanılması [7] ve düzlemsel dizilerde kanonik dizilerin iki boyutlu konvolüsyonu ile sıfır üretilmesi [39] örnek olarak verilebilir.

Anten dizileri söz konusu olduğunda sorulabilecek sorulardan biri de dizinin aynı işi daha az elemanla yapıp yapamayacağıdır. Bu konuda literatürde çalışmalar mevcuttur [31-35, 44]. Bu çalışmalara; doğrusal bir dizinin elemanlarının yerinde olup olmadığının araştırılması [32], ve diziden çıkarılan elemanların etkilerinin akım genlikleri ile kompanze edilmeye çalışılması örnek olarak gösterilebilir [35, 44].

Bu tezin ikinci ve üçüncü bölümünde sırasıyla; doğrusal ve düzlemsel anten dizileri için uzak alan yaklaşımlarıyla dizi faktörünün nasıl hesaplandığı ve diferansiyel evrim algoritmasının genel yapısı konularına değinilmiştir.

Dördüncü bölümde; doğrusal diziler için genlik katsayıları olabilecek pencere fonksiyonlarına, dizi faktörü örüntüsünde ana hüzmenin ve sıfır noktalarının kaydırılmasına, evrimsel tekniklerin doğrusal dizilerdeki uygulamalarına ve doğrusal bir dizi için dizi küçültme işlemine değinilmiştir.

Beşinci bölümde ise düzlemsel diziler için sıfır sentezi, YKS bastırımı, rastgele yerleştirilmiş düzlemsel diziler ve düzlemsel diziler için dizi küçültme konularından bahsedilmiştir.

2. ANTEN DİZİLERİ

Genel olarak tek bir anten elemanın, ışıma örüntüsünde hüzme genişliği yüksek ve dolayısıyla anten yönelticiliği azdır. Radar uygulamaları, uzay araştırmaları gibi veya genel olarak uzak mesafelerle haberleşme gerektiren çoğu pratik uygulamada, antenin yaydığı gücün büyük oranda uzayın belirli bir bölgesinde yoğunlaşması istenir. Bu işlem de ancak antenin elektriksel alanının büyütülmesiyle gerçekleştirilebilir. Elektriksel alanı büyük tek bir antenin üretim, taşıma-montaj veya beslemesi pratik olmadığından, bu tip tek antenlerin yerine birden fazla antenin belirli bir şekilde bir araya getirilmesiyle antenin elektriksel alanı büyümektedir. Bu tip belirli bir geometrik şekilde bir araya getirilmiş antenlerin tümüne anten dizisi denir. Anten dizisindeki her eleman farklı yapıda olabilir fakat hesaplama kolaylığı bakımından elemanlar genel olarak özdeş alınmaktadır. Anten elemanı olarak herhangi bir anten tipi kullanılabilmektedir.

Anten dizilerinin çalışma prensibi antenin her bir elemanının uzayın belirli bir noktasına yaptığı ışımanın o noktada birbirini desteklemesi veya sönümlemesi ilkesine dayanır. Yani uzayın belirli bir noktasına yapılan toplam ışıma, uzayın o noktasına yapılan tüm ışımaların süper pozisyonudur. Teoride bu mümkündür çünkü ortam ideal alınmaktadır; anten elemanları etkileşiminin olmadığı ve anten dizisinden başka bir kaynak bulunmadığı varsayılmaktadır. Pratikte ise hem ortamın ideal olmaması ve ortamda tek bir kaynak olmaması hem de anten elemanları arası etkileşimlerin olması nedeniyle bu duruma ancak yaklaşılabilmektedir.

Anten elemanlarının özdeş olması koşuluyla, anten dizilerinin örüntülerini etkileyen beş faktörden söz edilebilir:

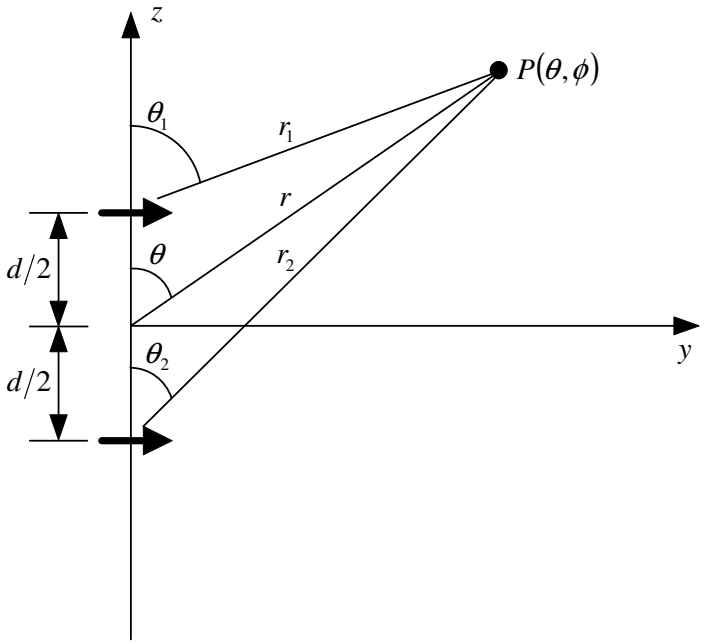
- Antenin genel geometrik şekli
- Elemanların akım genlikleri

- Elemanların akım fazları
- Elemanlar arasındaki uzaklık
- Her bir elemanın ışıma örüntüsü

En basit ve pratik anten dizisi, elemanların doğrusal bir hat üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulan anten dizileridir.

2.1. Doğrusal Anten Dizileri

2.1.1. 2-elemanlı anten dizisi



Şekil 2.1. z-ekseni üzerine yerleştirilmiş sonsuz küçük iki yatay dipol.

En basit ve temel dizi olarak Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, z ekseni üzerine simetrik yerleştirilmiş ve aralarındaki uzaklık d olan sonsuz küçük iki yatay dipol düşünülebilir. Referans noktasındaki sonsuz küçük bir yatay dipolün kendisinden r uzaklıktaki bir noktada oluşturduğu elektrik alan ifadesi:

$$E = \hat{a}_\theta \, j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi r} e^{-jkr} \cos(\theta), \quad kr >> 1 \tag{2.1}$$

olarak yazılabilir. Dipollerin akım genliklerinin eşit ve akım fazları arasında β kadar bir faz farkı bulunduğu düşünüldüğünde ve elemanlar arası etkileşim ihmal edildiğinde Eş. 2.1 iki eleman için:

$$E_T = E_1 + E_2 = \hat{a}_\theta \, j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\beta/2)]}}{r_1} \left|\cos\theta_1\right| + \frac{e^{-j[kr_2 + (\beta/2)]}}{r_2} \left|\cos\theta_2\right| \right\}, \quad kr >> 1 \tag{2.2}$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi gözlem noktasının dizinin uzak alan bölgesinde olduğu varsayılırsa $\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta$ olarak alınabilir. Bu yaklaşıma göre faz terimleri için;

$$r_1 \approx r - \frac{d}{2}\cos\theta \tag{2.3.a}$$

$$r_2 \approx r + \frac{d}{2}\cos\theta \tag{2.3.b}$$

ve genlik terimleri için ise;

$$r_1 \approx r_2 \approx r \tag{2.3.c}$$

alınabilir. Bu yaklaşımlar kullanılarak Eş. 2.2 yeniden düzenlenirse;

$$E_T = E_1 + E_2 = \hat{a}_\theta \, j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \left|\cos\theta\right| \left[e^{+j(kd\cos\theta + \beta)/2} + e^{-j(kd\cos\theta + \beta)/2} \right] \tag{2.4.a}$$

$$E_T = \hat{a}_\theta \, j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \left|\cos\theta\right| \underbrace{2\cos\left[\frac{1}{2}(kd\cos\theta + \beta) \right]}_{AF} \tag{2.4.b}$$

şeklinde olacaktır. Eş. 2.4.b ifadesinde açıkça görüleceği üzere referans noktasından r kadar uzaktaki bir nokta için toplam elektrik alan ifadesi,

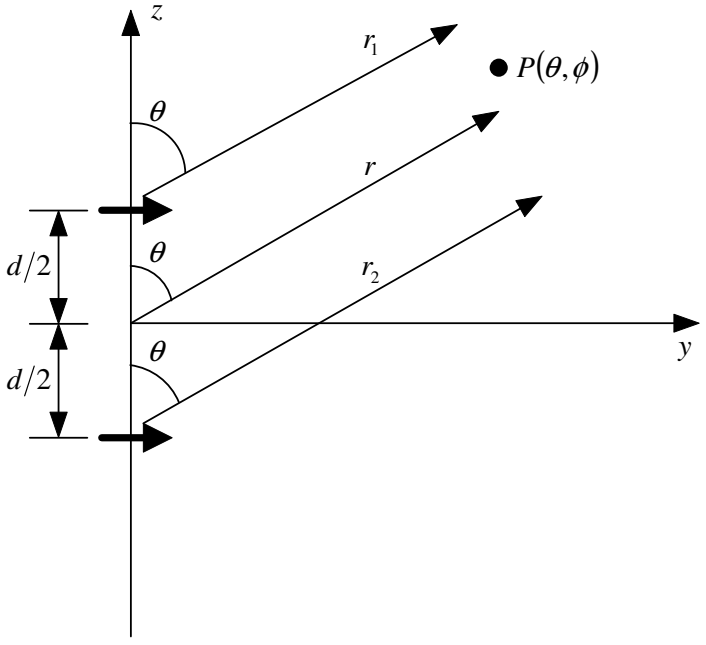
referans noktasındaki bir anten elemanının elektrik alan ifadesi ile bir faktörün çarpımına eşittir. Eş. 2.4.b de gösterilen bu faktör çoğu zaman dizi faktörü olarak adlandırılır. Normalize edilmiş dizi faktörü ifadesi;

$$(AF)_n = \cos\left[\frac{1}{2}(kd\cos\theta + \beta)\right] \tag{2.5}$$

şeklinde yazılabilir. Bu dizi faktörü sadece Şekil 2.1'de gösterilen dizinin dizi faktörüdür. Her dizi için dizi faktörü farklı olacaktır fakat en genel ifadeyle her dizi faktörü geometrik dizilim, akım genliği, akım fazı ve elemanlar arası uzaklığın bir fonksiyonu olacaktır. Dizinin uzak alan bölgesinde bir noktada oluşacak toplam elektrik alan ifadesi;

E_T=E(referans noktasındaki anten elemanı)x[Dizi faktörü] (2.6)

şeklinde formülize edilebilir. Bu ifadeye örüntü çarpımı denir.



Şekil 2.2. Sonsuz küçük iki yatay dipol için uzak alan yaklaşımı.

Genlikleri sabit düzgün dağılmış diziler için dizi faktörü, Eş. 2.5'de görüleceği üzere, dizinin geometrisinin, elemanlar arası uzaklığın ve akımlar arası faz farkının bir fonksiyonudur. Bu parametreler vasıtasıyla ışıma örüntüsü kontrol edilebilir. Anten dizileri için genliklerin sabit olması veya anten elemanları arasındaki uzaklıkların sabit olması gerekmemektedir. Bu ifadeler de ışıma örüntüsü için kontrol parametresi olarak kullanılabilir fakat belirli parametrelerin sabit tutulması matematiksel basitlik ve hesap kolaylığı sağlamaktadır.

Özdeş elemanlı diziler için dizi faktörleri, diziyi oluşturan elemanların karakteristiklerinden bağımsızdır. Yani özdeş elemanlardan oluşmuş herhangi bir dizi için dizi faktörü, referans noktasındaki bir elemanının elektrik alan ifadesinden hiçbir terim içermemektedir. Bu durum dizi oluşturulurken, herhangi bir anten kullanılmasıyla izotropik kaynak kullanılması arasında dizi faktörü açısından bir fark olmadığını göstermektedir ve anten dizileri oluşturulurken büyük kolaylık sağlamaktadır.

2.1.2. M-elemanlı doğrusal anten dizisi

Herhangi bir dizi için; dizi elemanlarının akımları eşit, iki komşu eleman arası uzaklık ve akımdaki faz değişimi sabit ise bu tür dizilere düzgün diziler denir.

M=2N elemanlı bir dizinin genel konfigürasyonu Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Eğer yükselme açısı için referans olarak x-y düzlemini alırsak ve dizinin genliklerinin z-eksenine göre simetrik olduğunu varsayarsak, bu dizinin $+z$-ekseni üzerindeki elemanları için toplam elektrik alan;

$$E_T = a_1 e^{j(1/2)kd\sin\theta} + a_2 e^{j(3/2)kd\sin\theta} + \cdots + a_N e^{j[(2N-1)/2]kd\sin\theta} \tag{2.7}$$

$$E_T = \sum_{n=1}^{N} a_n e^{j[(2n-1)/2]kd\sin\theta} \tag{2.8}$$

olur. Dizinin $-z$-ekseninde olan elemanlar için toplam elektrik alanı Eş. 2.8'de bulunan alanın Eş. 2.9'da gösterildiği gibi eşleniği olacaktır:

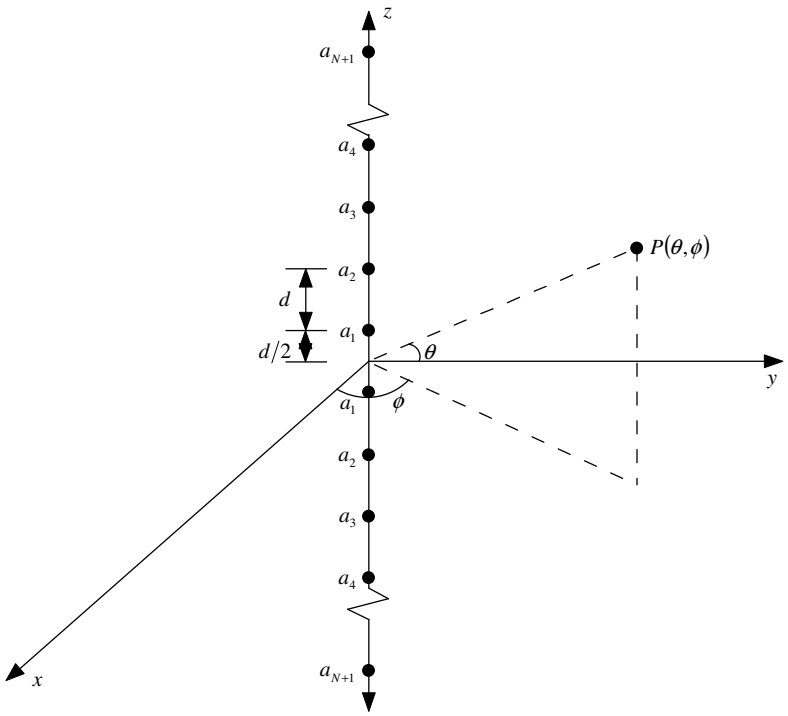
$$E_T = \sum_{n=1}^{N} a_n e^{-j[(2n-1)/2]kd\sin\theta} \tag{2.9}$$

$$e^{jx} + e^{-jx} = 2\cos(x) \text{ ve } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

olduğundan bu dizi için dizi faktörü ifadesi;

$$AF(\theta) = 2\sum_{n=1}^{N} a_n \cos\left[\frac{(2n-1)}{\lambda}\pi d\sin\theta\right] \tag{2.10}$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu dizi için yükselme açısının referansı olarak anten normali alınmıştır. Referans noktası olarak z-ekseni alınırsa ifadedeki $\sin\theta$ terimi yerine $\cos\theta$ terimi gelecektir.

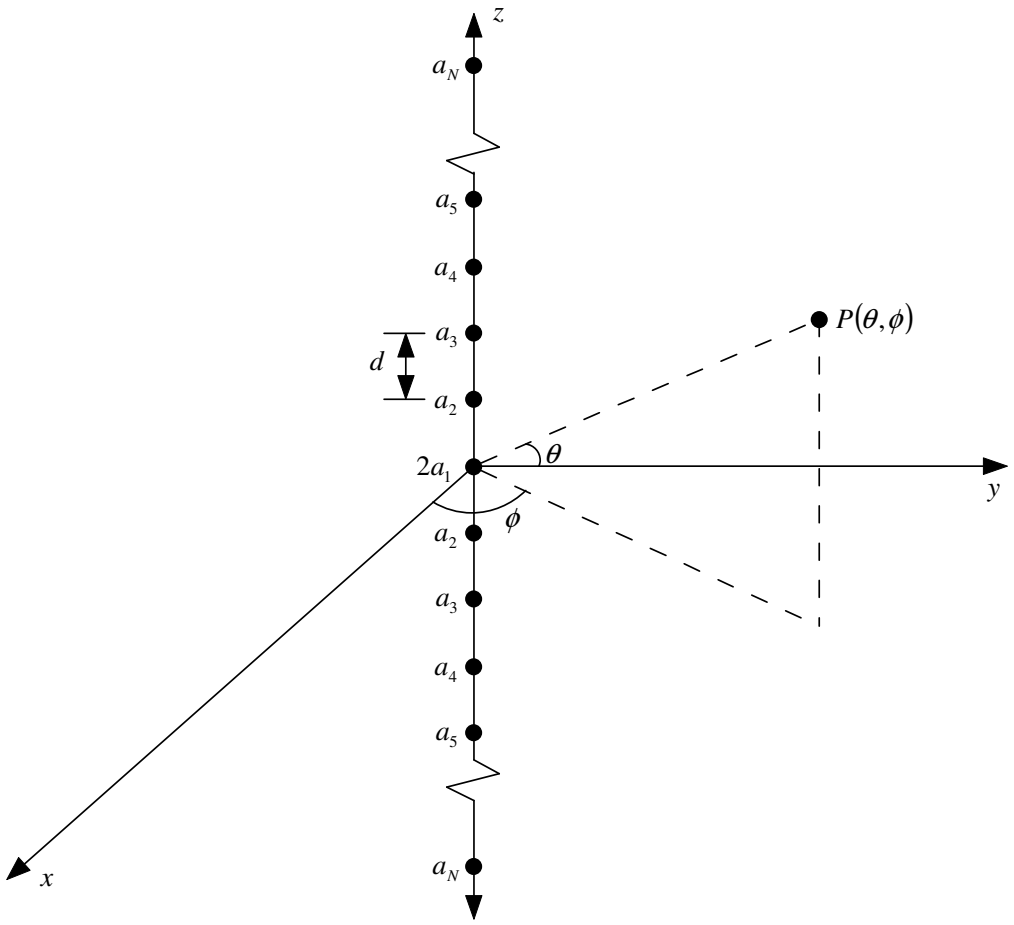


Şekil 2.3. 2N elemanlı doğrusal dizi.

Şekil 2.4'de gösterildiği gibi M=2N+1 elemanlı bir dizi için dizi faktörü ifadesi M=2N elemanlı dizidekine benzer şekilde;

$$AF(\theta) = 2\sum_{n=1}^{N+1} a_n \cos\left[\frac{2(n-1)}{\lambda}\pi d \sin\theta\right] \tag{2.11}$$

olarak yazılabilir.



Şekil 2.4. 2N+1 elemanlı doğrusal dizi.

Genel olarak hiçbir sınırlayıcı koşul olmaksızın, dizi faktörünü etkileyen parametrelerin değişken olduğu bir dizi düşünülürse en genel ifadeyle M elemanlı bir dizi için dizi faktörü;

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^{M} a_n e^{j\beta_n} e^{j\frac{2\pi d_n}{\lambda}\cos\theta} \qquad (2.12)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadede a_n n. elemanın akım genliği, β_n n. elemanın akım fazı ve d_n ise n. elemanın referans noktasına olan uzaklığıdır. Bu ifade için dizi elemanları arasındaki etkileşim ihmal edilmiştir. Uzak alan ifadeleri için dalga cephesinin düzlemsele yaklaştığı varsayılırsa, referans noktası koordinat sisteminin merkezi olduğu kabul edildiğinde, dalganın her eleman için $\frac{2\pi d_{zn}}{\lambda}\cos\theta$'lık bir faz farkı oluşturduğu kabul edilmiş olur. Yükselme açısı için referans olarak z-ekseni alınmıştır.

Dizilerin ekseriyetle z-ekseni üzerine yerleştirilmelerinin nedeni bu tip ifadeler için z-ekseninin azimuttan bağımsız olmasıdır. Anten dizisini bir yerden başka bir yere taşımanın dizinin karakteristiğini etkilemeyeceği açıktır. Bu bakımdan matematiksel kolaylık sağlaması açısından doğrusal diziler için işlemler z-ekseni üzerinde olduğu varsayılarak yapılmaktadır.

$$AF = \sum_{n=1}^{M} a_n e^{j\beta_n} e^{j\frac{2\pi d_n}{\lambda}\cos\gamma} \qquad (2.13)$$

formundaki bir dizi faktörü için γ açısı dizinin üzerinde bulunduğu eksen ile referans noktasından gözlem noktasına yönelmiş bir vektör arasında kalan açı olarak tanımlanır. Bu ifadede yükselme açısı için referans dizinin üzerinde bulunduğu eksen alınmaktadır. İki vektör arasındaki açı bu iki vektörü yönlendiren birim vektörlerin noktasal çarpımıyla bulunabilir.

$$\cos\gamma = \hat{a}_z.\hat{a}_r = \hat{a}_z.\left(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta\right) = \cos\theta \Rightarrow \gamma = \theta \qquad (2.14)$$

Eş. 2.14'den de anlaşılacağı üzere z-ekseni çevresinde bir simetri mevcuttur yani ϕ değişimlerinden etkilenmemektedir ve $\cos\gamma$ ifadesi yerine $\cos\theta$ yazılabilir. Bu durum diğer eksenler için mevcut değildir. x-ekseni ve y-ekseni için benzer ifadeler Eş. 2.15 ve Eş. 2.16'da sırasıyla verilmiştir.

$$\cos\gamma = \hat{a}_x.\hat{a}_r = \hat{a}_x.\left(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta\right) = \sin\theta\cos\phi \qquad (2.15)$$

$$\cos\gamma = \hat{a}_y.\hat{a}_r = \hat{a}_y.\left(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta\right) = \sin\theta\sin\phi \qquad (2.16)$$

Eş. 2.15 ve Eş. 2.16'dan da anlaşılacağı üzere x ve y-eksenlerinde bulunan doğrusal diziler için $\cos\gamma$ terimi yerine sırasıyla $\sin\theta\cos\phi$ ve $\sin\theta\sin\phi$ terimleri gelecektir. Yani bu eksenlerde herhangi bir azimut bağımsızlığından söz edilemez.

2.2. Düzlemsel Anten Dizileri

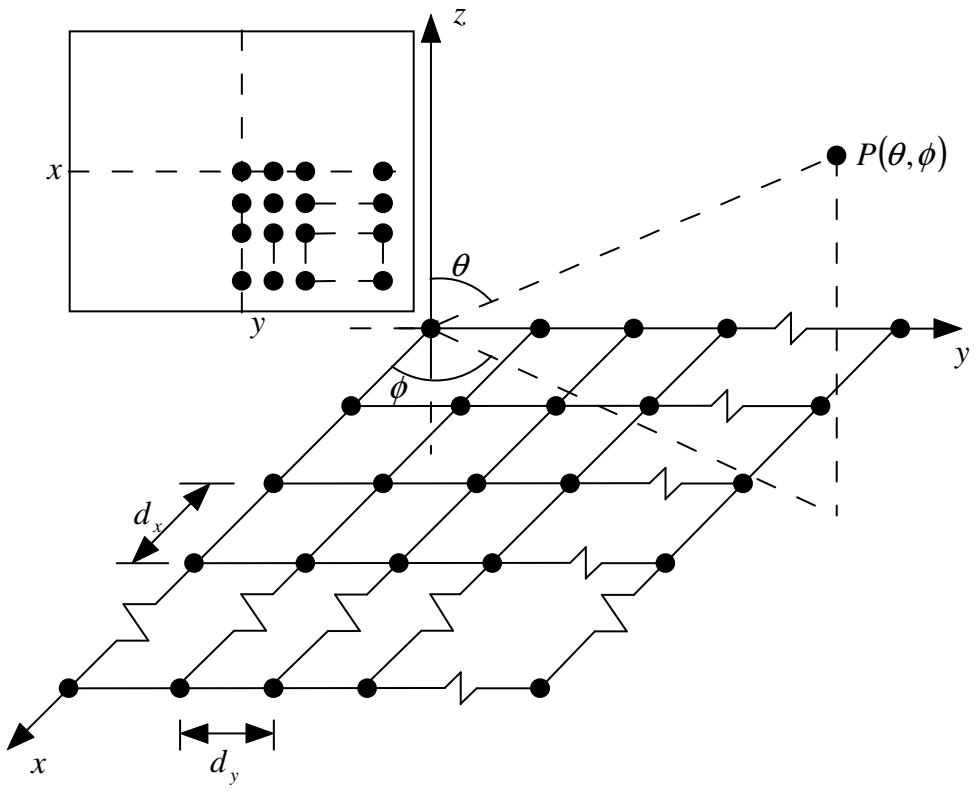
Anten elemanlarının bir doğru boyunca yerleştirilmesiyle doğrusal diziler oluşturulabileceği gibi bir düzlem üzerine yerleştirilmesiyle de düzlemsel diziler oluşturulabilir. Düzlemsel dizilerin en büyük avantajlarından birisi oluşacak örüntünün mutlaka azimut bağımlı olmasıdır; yani uzayın herhangi bir bölgesini tarama imkânı sağlamasıdır. Bir diğer avantajı ise doğrusal antene göre kullanılan eleman sayısına bağlı olarak kabul edilebilir boyutlarda daha yönlü bir karakteristik sunabilmesidir. Düzlemsel antenler için analitik çözümlemesini kolaylaştırmak bakımından belirli kanonik şekiller temel alınarak kare, dikdörtgen, çember veya altıgen gibi geometrik şekiller kullanılabilir. Fakat bu zorunlu değildir. Herhangi bir şekilde bir düzlem üzerinde bulunan anten elemanları düzlemsel bir dizi oluşturmaktadır.

Şekil 2.5'de görüldüğü gibi bir dizi düşünülürse, bu tip bir dizi için x-eksenine yerleştirilmiş bir doğrusal dizinin kendisini y-ekseni üzerinde d_y aralıklarla tekrarlamıştır denilebilir. x-ekseni üzerindeki böyle bir doğrusal dizi için dizi

faktörü d_x iki eleman arası uzaklığı, β_x komşu iki eleman arası faz farkını ve a_{m1} ilgili elemanın akım genliğini göstermek üzere;

$$AF = \sum_{m=1}^{M} a_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta\cos\phi + \beta_x)} \tag{2.17}$$

olarak yazılabilir.



Şekil 2.5. x-y düzlemine yerleştirilmiş düzgün düzlemsel dizi.

Eş. 2.17 için her elemanın yanına $+y$ yönünde d_y kadar uzağa a_{m2} akım genlikli ve β_y faz farklı yeni bir eleman konulduğu düşünülürse bu yeni dizi için dizi faktörü;

$$AF = \sum_{m=1}^{M} a_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta\cos\phi+\beta_x)} + \sum_{m=1}^{M} a_{m2} e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta\cos\phi+\beta_x)} e^{j\left(kd_y \sin\theta\sin\phi+\beta_y\right)} \quad (2.18)$$

şeklinde olacaktır. Eş. 2.18 açılırsa 2M terim içerir ve Eş. 2.19 gibi yeniden düzenlenebilir.

$$AF = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{2} a_{mn} e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta\cos\phi+\beta_x)} e^{j(n-1)\left(kd_y \sin\theta\sin\phi+\beta_y\right)} \quad (2.19)$$

Bitişik elemanlar arası faz farkı β_y sabit kalmak şartıyla $+y$ yönündeki tekrarları arttırarak ifade genelleştirilebilir. MxN elemanlı bir dizi için genel dizi örüntüsü ifadesi;

$$AF = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} a_{mn} e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta\cos\phi+\beta_x)} e^{j(n-1)\left(kd_y \sin\theta\sin\phi+\beta_y\right)} \quad (2.20)$$

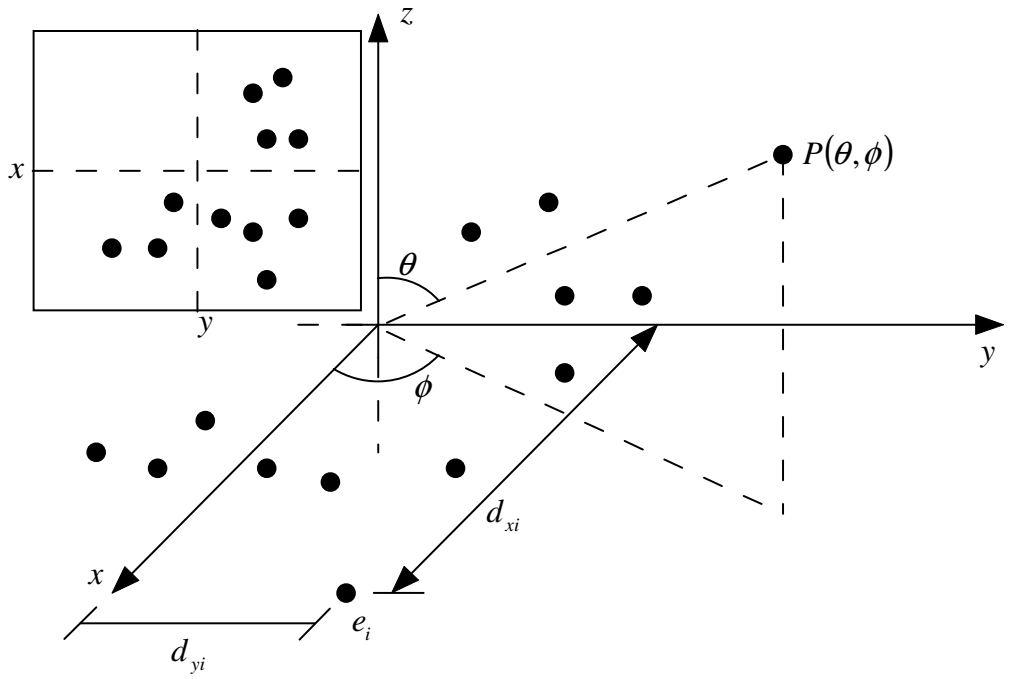
şeklinde olacaktır. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi ifade rastgele bir geometri için genelleştirilecek olursa oluşacak dizi faktörü Eş. 2.21'de verilmiştir. Bu ifadede düzgün bir dizide sabit tutulan bütün parametreler değişken olarak alınmış ve dizi elemanları arası etkileşimin olmadığı kabul edilmiştir.

$$AF = \sum_{n=1}^{N} a_n e^{j\beta_n} e^{jkd_{xn} \sin\theta\cos\phi} e^{jkd_{yn} \sin\theta\sin\phi} \quad (2.21)$$

Bu ifadede N dizi üzerindeki toplam eleman sayısı, a_n n. elemanın akım genliği, β_n n. elemanın akım fazı, k dalga numarası ($k = 2\pi/\lambda$) , d_{xn} n. elemanın y-ekseninden uzaklığı, d_{yn} ise n. elemanın x-ekseninden uzaklığı olarak alınmıştır.

Anten dizilerinde eleman faktörü hesaba katılmazsa dizi faktörü ifadesinin örüntüsünün maksimum olduğu yere ana kulak, sıfır olduğu yerlere ise örüntünün sıfırı denir. Örüntünün maksimum olduğu yer dizi faktörü ifadesinin

maksimum olduğu açıdır yani kompleks eksponansiyel terimlerin mutlak değerinin maksimum olduğu yerde oluşurlar. Örüntü sıfırları ise yine dizi faktörünün minimum olduğu açılarda oluşurlar.



Şekil 2.6. x-y düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi.

3. DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI

En basit tanımı ile optimizasyon; bir sistemin istenen özelliklerini artırırken istenmeyen özelliklerini azaltma işlemidir. Arama uzayında en iyi noktaya doğru olan her hareket optimizasyon sürecinin bir parçasıdır. En iyi çözümün ne olduğunun bilinmediği problemler için, var olan çözümlerden daha iyi olan bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Bu tezde ele alınan problemler için en iyi çözümün ne olduğu bilinmemektedir.

Optimizasyon türlerinden biri olan evrimsel algoritmalar 1960'larda çalışılmaya başlanmış ve Goldberg'in 1989 yılında genetik algoritmaları mühendislik alanına uygulamasıyla bu tip algoritmaların günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümünde uygun bir metot olduğu görülmüş ve popülerleşmiştir [45, 46].

Evrimsel algoritmalar Darwin'in evrim ve doğal seçim kuramına dayanarak çalışan ve doğadaki yaşam mücadelesini modelleyerek problemlerin çözümünde günümüzde sıkça kullanılan algoritmalardır. Bu algoritmaların büyük bir çoğunluğu, en iyinin hayatta kalması prensibine göre çalışır ve iteratif metotlardır. Her algoritmanın mutasyon veya çaprazlama gibi operatörleri vardır ve çözüme ulaşmak için bir hata fonksiyonu (diğer adıyla amaç fonksiyonu) kullanmaktadır. Bu algoritmalar, amaç fonksiyonunun minimum veya maksimumunu arayarak çözüme ulaşmaya çalışırlar. Algoritmalar genel olarak amaç fonksiyonu belirli bir değere ulaştığında veya maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlanırlar. Literatürde genellikle maksimizasyon problemleri için kullanılan amaç fonksiyonuna uygunluk fonksiyonu, minimizasyon problemleri için kullanılan amaç fonksiyonlarına ise maliyet fonksiyonları denilmektedir [46]. Tipik bir maliyet fonksiyonu Eş. 3.1'deki gibi olabilir.

$$f = \sqrt{k_1 |x-a|^2 + k_2 |y-b|^2} \tag{3.1}$$

Amaç fonksiyonları, çok farklı biçimlerde tanımlanabilir ve evrimsel algoritmaların kilit noktalarından biridir. Yanlış bir amaç fonksiyonu ile çözümü çok kolay olan problemler için bile algoritma yakınsama sağlamayabilir.

Çoğu evrimsel algoritma rastgele bir süreç ile işlem yapar. Bu bakımdan evrimsel algoritmaların temel özelliklerinden biri hiçbir zaman çözüm garantisi sunmamasıdır. Buldukları sonuçlar için "en iyi çözümdür" ifadesi bu algoritmalar için kullanılamaz çünkü buldukları olası çözümün en iyi çözüm olup olmadığının kesin olarak bilinebilmesi için tüm arama uzayının eksiksiz bilinmesi gerekmektedir ve bu algoritmalar arama uzayının tümünü aramazlar. Bu bakımdan buldukları sonuçlar için "isteğe uygun en iyi çözüme yakın bir sonuç" denilebilir.

İteratif metotlar oldukları için çoğu zaman gerçek zamanlı uygulamalarda kullanışlı değillerdir ancak tasarım problemlerinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadırlar.

Literatürde karşılaşılan evrimsel algoritmalara; genetik algoritmalar, karınca kolonisi algoritması, dinamik programlama, benzetimli tavlama, diferansiyel evrim algoritması örnek olarak verilebilir [12-17, 23, 27, 32, 34, 35, 42-44, 48].

Diferansiyel evrim algoritması ilk olarak 1994 yılında genetik tavlama algoritması olarak ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar diferansiyel evrim algoritması olarak 1996 yılında IEEE'nin düzenlediği Uluslararası Evrimsel Hesaplama Konferansında sunulmuş ve bu konferans bünyesindeki ilk Uluslararası Evrimsel Optimizasyon yarışmasında üçüncülük almıştır. 1997 yılında, günümüzde klasik metot olarak anılan şekli, makale olarak yayınlanmış ve popülerlik kazanmıştır [46].

Diferansiyel evrim algoritması da diğer çoğu evrimsel algoritmalar gibi bir popülasyon üzerinde işlem yapmaktadır ve bir paralel arama algoritmasıdır.

3.1. Popülasyon Yapısı

Diferansiyel evrim algoritması N_P bireyden oluşan bir popülasyon üzerinde işlem yapmaktadır. Popülasyon içerisindeki her bir birey ise D gerçek-değerli parametre içermektedir. Yani algoritma N_P tane D boyutlu vektörden oluşmaktadır. Popülasyon Eş. 3.2'deki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} &P_{x,g} = (x_{i,g}), \quad i = 0,1,\ldots,N_P - 1, \quad g = 0,1,\ldots,g_{\max}, \\ &x_{i,g} = (x_{j,i,g}), \quad j = 0,1,\ldots,D-1 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Eş. 3.2'de $g = 0,1,\ldots,g_{\max}$ indisi vektörün hangi nesle ait olduğunu belirtmek için kullanılmaktadır. Ayrıca $i = 0,1,\ldots,N_P - 1$ indisi popülasyon içerisindeki bireyi ve $j = 0,1,\ldots,D-1$ indisi de parametre indisi olup birey içerisindeki hangi parametre ile işlem yapıldığını belirtmektedir.

Diferansiyel evrim algoritması için ilk kurulduktan sonra algoritma rastgele seçilen vektörlerin mutasyonu sonucu oluşan ara bir popülasyondan söz edilebilir. Bu ara-popülasyon $P_{v,g}$, N_P tane mutant vektör $v_{i,g}$ içermektedir.

$$\begin{aligned} &P_{v,g} = (v_{i,g}), \quad i = 0,1,\ldots,N_P - 1, \quad g = 0,1,\ldots,g_{\max}, \\ &v_{i,g} = (v_{j,i,g}), \quad j = 0,1,\ldots,D-1 \end{aligned} \tag{3.3}$$

İşlem yapılan popülasyonun her vektörü bir mutant vektör ile birleştirilir ve bir deneme vektörü $u_{i,g}$ oluşturulur.

$$\begin{aligned} &P_{u,g} = (u_{i,g}), \quad i = 0,1,\ldots,N_P - 1, \quad g = 0,1,\ldots,g_{\max}, \\ &u_{i,g} = (u_{j,i,g}), \quad j = 0,1,\ldots,D-1 \end{aligned} \tag{3.4}$$

3.2. Genel Notasyon

DE algoritmasında g alt indisi nesli belirtmektedir. g indisi vektörün işlem yapılan nesil için kullanıldığını $g+1$ ise vektörün bir sonraki nesil için kullanılacağını belirtmektedir. i alt indisi işlem yapılan popülasyon bireyini, j indisi ise bu bireyin parametresini ifade etmektedir. D bireyin parametre boyutunu, N_P ise popülasyon büyüklüğünü göstermektedir. opt indisi popülasyondaki en iyi bireyi göstermektedir.

DE algoritmasının operatörleri farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Hangi operatörlerin, hangi kurallar çerçevesinde kullanılacağı:

- "algoritma\baz vektör seçimi\vektör farkının sayısı\çaprazlama tipi"

olarak gösterilmektedir. Örnek olarak DE algoritmasında baz vektörünün rastgele seçildiği, bir vektör farkının kullanıldığı ve çaprazlama tipi olarak binom dağılımının kullanıldığı bir DE tipi için "DE\rand\1\bin" notasyonu kullanılmaktadır. Veya baz vektör olarak popülasyon içerisindeki en iyi bireyin kullanıldığı, bir vektör farkının kullanıldığı ve çaprazlama binom dağılımı kullanılan bir DE tipi için "DE\best\1\bin" notasyonu kullanılmaktadır.

3.3. Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç popülasyonu oluşturulmadan önce her parametre için bir üst ve alt sınır belirlenmelidir. Bu değerler D boyutlu b_j^L ve b_j^U ile adlandırılabilecek iki vektör ile gösterilebilir. Buradaki L üst simgesi alt sınırı, U ise üst sınırı göstermektedir ve $j = 0,1,\ldots,D-1$ indisi ise parametre indisidir. Sınır koşulları belirlendikten sonra her vektörün her parametresine aksi belirtilmediği ve istenmediği sürece sınırlar içerisinde düzgün olarak dağılmış gerçel değerler atanır. Bu işlem Eş. 3.5 ile gerçekleştirilebilir.

$$x_{j,i,g} = \text{rand}_j(0,1).\left(b_j^U - b_j^L\right) + b_j^L \quad (3.5)$$

İfadedeki $\text{rand}_j(0,1)$ terimi bir rastgele sayı üretecini temsil etmektedir ve her $j = 0,1,\ldots,D-1$ parametresi için $[0,1)$ aralığında düzgün dağılımlı sonuçlar üreten bir fonksiyon olarak alınabilir.

Başlangıç popülasyonu oluşturulurken aynı zamanda parametrelerin alabileceği maksimum ve minimum değerler belirlenmelidir. Bu kriter algoritmanın başarılı sonuç vermesi için önemlidir. Çünkü eğer genel maksimumun yeri belirsizse yanlış seçilen sınır değerleri ile en iyi sonucun arama uzayı dışında bırakılması olasılığı mevcuttur. Bu bakımdan alt ve üst sınırların görece büyük seçilmesi ile iterasyon sayısı-başarılı sonuç arasında kurulacak denge ile başarılı sonuçlara ulaşılma olasılığı arttırılabilir.

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması sırasında çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılabilir ve hangi yoğunluk fonksiyonunun kullanılacağı, genel maksimumun yerinin bilinmesi ile doğrudan ilişkilidir. Eğer maksimumun yeri biliniyorsa bir gauss dağılımı çok daha çabuk yakınsama sağlayacaktır fakat eğer maksimumun yeri önceden kestirilemiyorsa parametreleri düzgün dağıtmak sonuca ulaşma olasılığını arttırmaktadır [46].

3.4. Mutasyon

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra DE, deneme vektörü oluşturmak için popülasyon bireylerini mutasyon ve birleştirme işlemlerine tabi tutmaktadır. Mutasyon işlemi klasik DE için Eş. 3.6'da gösterildiği gibi rastgele seçilen bir baz vektörü ile popülasyon içerisinden rastgele seçilmiş iki vektörün ağırlıklı farklarının toplamı olarak tanımlanır.

$$v_{i,g} = x_{r0,g} + F\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right) \quad (3.6)$$

Bu ifadede $r0$ indisi rastgele seçilmiş baz vektörünü, $r1$ ve $r2$ ise rastgele seçilmiş bireyleri göstermektedir. İşlem aynı nesil üzerinde olmaktadır ve klasik DE için bir kural olarak $i \neq r0 \neq r1 \neq r2$ durumu sağlanmak zorundadır [47]. Klasik DE için baz vektörü rastgele seçilmektedir fakat bu bir kural değildir ve baz vektörü seçiminde farklı yöntemler de mevcuttur.

Eş. 3.6'daki F terimi mutasyon faktörü olarak adlandırılmaktadır ve $[0,1+)$ aralığında gerçel bir değeri vardır. Algoritmanın önemli parametrelerinden biri olan mutasyon faktörünün doğru seçimi, yakınsamayı doğrudan etkilemektedir. Şekil 3.1'de iki boyutlu bir parametre uzayında mutasyon işleminin vektörler üzerinde yaptığı etki gösterilmiştir.

Mutasyon işlemi ağırlıklı farklar esasına dayandığı için baz vektörünün ve farkı oluşturan vektörlerin nasıl seçileceği önemli bir husustur. Bu vektörlerin mutasyon şemasında $r1 = r2$ gibi tekrarlanması algoritmanın yakınsamasını düşürebilmektedir [46]. Algoritmanın çalışma prensibinin temel unsuru çaprazlama ile beraber mutasyon şemasıdır ve baz vektörlerinin seçimi çaprazlama ile beraber algoritmanın stratejisini belirlemektedir. DE için çeşitli mutasyon şemaları aşağıda verilmiştir.

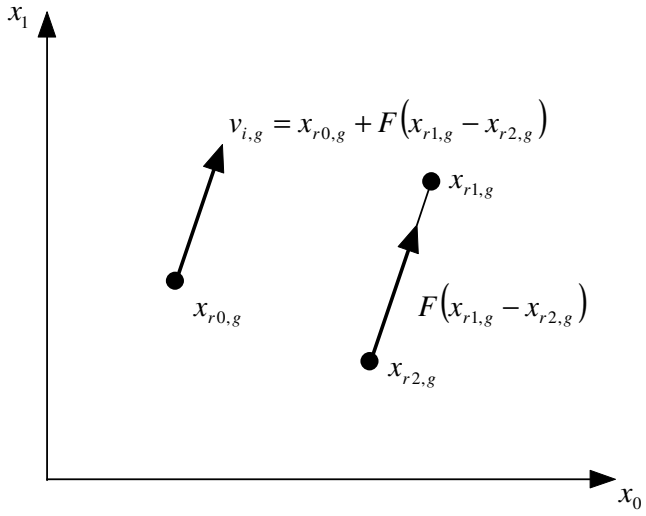
$$x_{i,g} = x_{r0,g} + F\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right) \tag{3.7}$$

Eş. 3.7 "DE\rand\1\bin" olarak gösterilmektedir ve klasik DE algoritması için kullanılan mutasyon şemasıdır. Bu şemanın çaprazlama işlemi için genel olarak binom dağılımı kullanılmaktadır.

$$x_{i,g} = x_{i,g} + F\left(x_{opt,g} - x_{i,g}\right) + F\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right) \tag{3.8}$$

Eş. 3.8 birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir [46] ve "DE\target-to-best\1\bin" notasyonu ile gösterilmektedir. Bu mutasyon şemasında baz vektörü optimum birey ile hedef vektör ($x_{i,g}$) arasında bir çizgi üzerinde

uzanan bir vektördür. Bu mutasyon şeması genel olarak binom dağılımlı çaprazlama işlemi ile kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Mutant vektörün oluşturulması.

$$x_{i,g} = x_{opt,g} + F\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right) \tag{3.9}$$

şeması "DE\best\1\bin" olarak gösterilmektedir ve binom dağılımlı çaprazlama ile birlikte kullanılmaktadır. Baz vektörü olarak doğru sonuca en yakın olan popülasyonun optimum bireyini almaktadır. Yakınsaması klasik DE şemasına göre daha hızlıdır fakat parametre sayısının büyük olduğu problemler için sonuç vermemektedir.

$$x_{i,g} = x_{opt,g} + F_j\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right), \quad F_j = k.\text{rand}(0,1) + F\,, k \in \Re^+,\ k << 1 \tag{3.10}$$

Eş. 3.10'da gösterilen şemanın "DE\best\1\bin" e göre yakınsaması daha hızlıdır ve "DE\best\1\bin, with uniform jitter" olarak gösterilir. Bu işlem "DE\best\1\bin" için yapılan işlem ile aynıdır fakat "DE\best\1\bin"de kullanılan statik mutasyon faktörü yerine dinamik bir mutasyon faktörü kullanılmaktadır. Dinamik bir mutasyon faktörünü üretme işlemi; statik mutasyon faktörü ile birden çok küçük pozitif bir gerçel sayının, $[0,1)$ aralığında rastgele üretilen

bir gerçel sayı ile çarpımının toplanması ile gerçekleştirilebilir. “DE\best\1\bin, with uniform jitter” için binom dağılımlı çaprazlama tercih edilmektedir ve “DE\best\1\bin” de olduğu gibi parametre sayısının büyük olduğu problemler için sonuç vermemektedir.

$$x_{i,g} = x_{r0,g} + F_d\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right), \quad F_d = F + \text{rand}(0,1)(1-F) \tag{3.11}$$

şeması “DE\rand\1\bin, with per-vector-dither” olarak gösterilmektedir. Burada mutasyon faktörü “DE\best\1\bin, with uniform jitter” de olduğu gibi dinamiktir.

$$x_{i,g} = x_{r0,g} + F_{d,g}\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right), \quad F_{d,g} = F + \text{rand}(0,1)(1-F) \tag{3.12}$$

Eş. 3.12 ise “DE\rand\1\bin, with per-generation-dither” olarak gösterilmektedir ve “DE\rand\1\bin, with per-vector-dither” den farkı dinamik mutasyon faktörünün her vektör için değil, her nesil için oluşturulmasıdır.

$$x_{i,g} = \begin{cases} x_{r0,g} + F\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right) & , \ \gamma < P_{mu} \\ x_{r0,g} + K\left(x_{r1,g} + x_{r2,g} - 2x_{r0,g}\right), & \gamma \geq P_{mu}, K = P_{mu}(F+1) \end{cases} \tag{3.13}$$

ifadesini mutasyon şeması olarak alan bir DE algoritması “DE\rand\1\bin: either-or-algorithm” olarak gösterilmektedir. Bu ifadede P_{mu} terimi mutasyon olasılığını ve γ $[0,1)$ aralığında rastgele bir sayıyı göstermektedir. Eğer üretilen sayı mutasyon olasılığından küçükse klasik DE mutasyonu yapılmaktadır. Rastgele üretilen sayı mutasyon olasılığından büyük veya mutasyon olasılığına eşitse klasik DE’de kullanılan mutasyon faktörü yerine $K = P_{mu}(F+1)$ ile tanımlanan mutasyon faktörü gelmektedir.

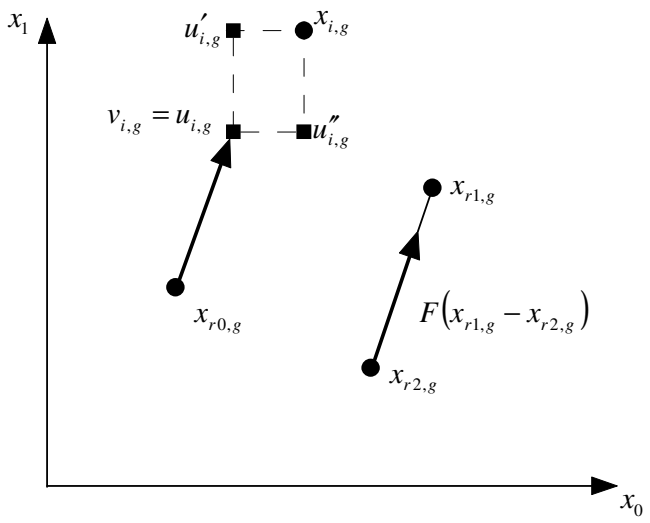
3.5. Çaprazlama

DE operatörlerinden biri olan çaprazlama işlemi deneme vektörünün parametrelerinin mutant vektör $v_{i,g}$ den veya $x_{i,g}$ den gelmesine karar veren bir işlemdir. Klasik DE algoritması her vektörü bir mutant vektörü ile Eş. 3.14'de gösterildiği gibi çaprazlamaktadır.

$$u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g} & , \text{rand}_j(0,1) \le Cr \vee j = j_{rand} \\ x_{j,i,g} & , \text{rand}_j(0,1) > Cr \wedge j \neq j_{rand} \end{cases} \tag{3.14}$$

Eş. 3.14'de geçen Cr terimi çaprazlama olasılığını göstermektedir ve çaprazlama faktörü olarak adlandırılmaktadır. Cr kullanıcı tanımlı $Cr \in [0,1]$ aralığında gerçel bir değer olup algoritma başında tanımlanmalıdır. Çaprazlama işlemi Eş. 3.7'den de anlaşılacağı üzere eğer üretilen rastgele sayı çaprazlama faktöründen küçük veya çaprazlama faktörüne eşitse, deneme vektörünün parametresi olarak mutant vektörün parametresi alınmaktadır; aksi takdirde parametre $x_{i,g}$ vektöründen alınmaktadır. Deneme vektörünün tüm parametrelerinin $x_{i,g}$ vektöründen gelmesini önlemeye yardımcı olmak için rastgele seçilen bir parametre indisi kullanılmaktadır. Rastgele seçilen bu indis işlem yapılan parametre indisi ile aynı olduğu zaman parametre mutant vektöründen alınmaktadır. Şekil 3.2'de iki boyutlu bir parametre uzayında çaprazlama işlemi ile oluşacak olası sonuçlar gösterilmiştir.

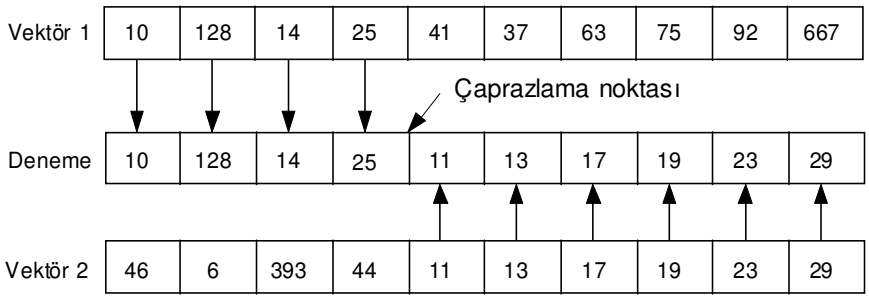
Çaprazlama işlemi çeşitli şekillerde yapılabilmektedir ve tek-nokta çaprazlama, N-nokta çaprazlama, üstel çaprazlama ve düzgün dağılımlı (binom) çaprazlama, çaprazlama çeşitlerine örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.2. Çaprazlama işlemi ile oluşabilecek olası vektörler.

3.5.1. Tek-nokta çaprazlama

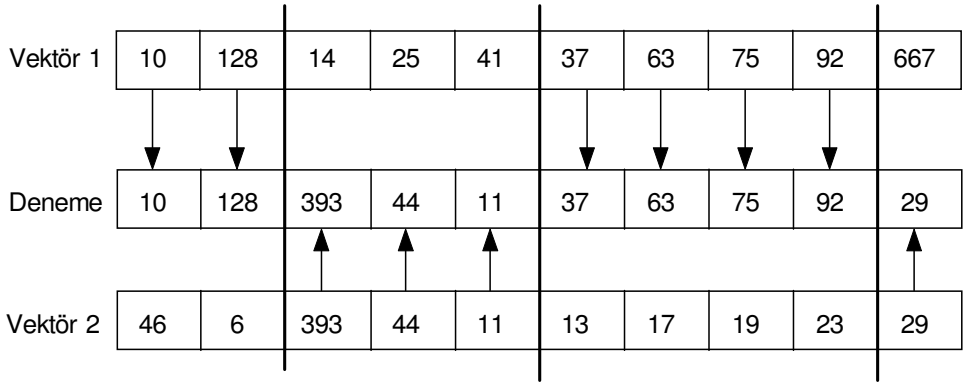
Tek-nokta çaprazlamada vektör üzerinden rastgele bir çaprazlama noktası alınmaktadır ve bu noktanın solunda kalan parametreler 1. vektörden, sağında kalan parametreler de 2. vektörden alınmaktadır. Şekil 3.3'de tek-nokta çaprazlama işleminin sonucunda oluşacak deneme vektörü gösterilmiştir. Genetik algoritmaların çoğunluğunda iki deneme vektörü oluşturulmaktadır. Çaprazlama noktasının solundaki parametreleri birinci deneme vektörü 1. vektörden, 2. deneme vektörü ise 2. vektörden almaktadır ve çaprazlama noktasının sağı için bu durum tam tersidir.



Şekil 3.3. Tek-nokta çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması.

3.5.2. N-nokta çaprazlama

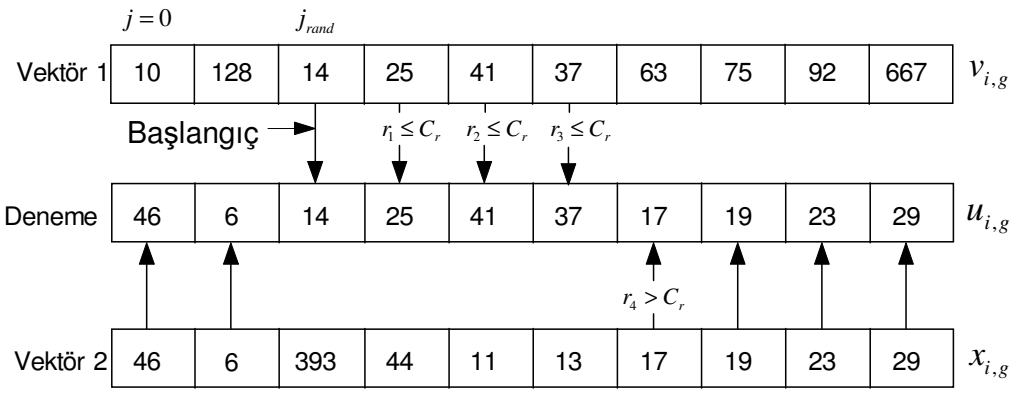
N-nokta çaprazlamada deneme vektörünü oluşturacak iki vektör $n+1$ parçaya bölünmektedir ve deneme vektörüne aktarılacak her parça sırasıyla farklı bir vektörden gelmektedir. Şekil 3.4'de 3-nokta çaprazlama için deneme vektörünün oluşturulması gösterilmektedir.



Şekil 3.4. 3-nokta çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması.

3.5.3. Üstel çaprazlama

Üstel çaprazlama işlemi tek-nokta ve 2-nokta çaprazlama işlemi ile benzerlik taşımaktadır. DE algoritması için üstel çaprazlama işlemi, bir parametrenin rastgele seçilerek 1. vektörden deneme vektörüne kopyalanması ile başlamaktadır. Bu işlemden sonra önceden belirlenmiş, çaprazlama olasılığı denilebilecek bir sayı ile 0 ile 1 arasında üretilen rastgele bir sayı karşılaştırılmaktadır. Çaprazlama olasılığı Cr olarak gösterilmektedir ve 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı bir sayıdır. Rastgele üretilen sayı çaprazlama olasılığından küçük olduğu sürece parametreler 1. vektörden gelmektedir. Rastgele üretilen sayı çaprazlama olasılığından büyük olduğu ilk andan itibaren bütün parametreler 2. vektörden kopyalanmaktadır. Şekil 3.5'de DE için üstel çaprazlama işlemiyle deneme vektörünün oluşturulması gösterilmiştir.



Şekil 3.5. DE için üstel çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması

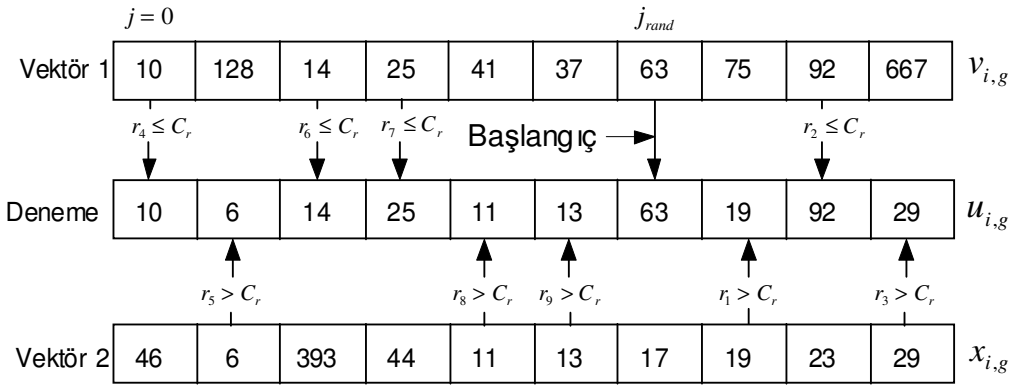
Şekil 3.5'de de görüldüğü gibi üstel çaprazlama her durumda 2-nokta çaprazlama ile aynı işlemdir fakat çaprazlama noktaları rastgele üretilen sayı ile çaprazlama faktörünün kıyaslanmasıyla belirlenir.

3.5.4. Düzgün dağılımlı (binom) çaprazlama

Düzgün dağılımlı çaprazlamada deneme vektörünün parametrelerinin kaynağı bağımsız rastgele denemelerdir. Deneme vektörünün bir parametresinin 1. veya 2. vektörden gelme olasılığına çaprazlama olasılığı denilmektedir ve P_{Cr} veya sadece Cr olarak gösterilmektedir. Çaprazlama olasılığı deneme vektörüne 1. vektörden ortalama ne kadar parametrenin geleceğinin bir göstergesidir. Parametre uzayı sonsuza yaklaştıkça 1. vektörden gelen parametrelerin sayısının tüm parametre sayısına oranı çaprazlama olasılığına yakınsayacaktır. Diğer durum için yani 2. vektörden gelen parametrelerin sayısının tüm parametre sayısına oranı ise $1 - Cr$ sayısına yakınsayacaktır.

DE algoritmasında düzgün dağılımlı çaprazlama işlemi üstel çaprazlamada olduğu gibi öncelikle rastgele bir başlangıç parametresi seçip bu parametreyi 1. vektörden deneme vektörüne kopyalamaktadır. Bu işlemden sonra her parametre için üretilen 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı ile çaprazlama

olasılığı karşılaştırılmaktadır. Eğer üretilen sayı çaprazlama olasılığından küçük veya eşit ise parametre 1. vektörden, büyük ise 2. vektörden alınmaktadır. Şekil 3.6'da DE için düzgün dağılımlı çaprazlama işlemi ile deneme vektörünün oluşturulması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. DE için binom çaprazlama ile deneme vektörünün oluşturulması.

Eş. 3.14'de verilen binom çaprazlama formülü için $j = j_{rand}$ ve $j \neq j_{rand}$ koşullarının olmaması durumunda her parametre için üretilen rastgele sayının çaprazlama olasılığından büyük gelmesi olasılığı mevcuttur. Bu durumda deneme vektörünün tüm parametrelerinin hedef vektörden ($x_{i,g}$) gelme olasılığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum popülasyondaki bireylerin tekrarlanması ve dolayısıyla yakınsamanın azalması ile sonuçlanır. DE algoritmasında bunun engellenmesi için başlangıç parametresinin doğrudan mutant vektörden deneme vektörüne kopyalanması ile iki-nokta çaprazlama işlemi yapılır ve deneme vektörünün hedef vektörle aynı olmaması sağlanır.

3.6. Seçim

Evrimsel algoritmaların büyük çoğunluğu, popülasyon tabanlı çalışırlar. En iyi sonuca yakınsama sağlanabilmesi için her nesilde popülasyonun güncellenmesi gerekmektedir. Bu işlem çoğu zaman iyinin hayatta kalması prensibine dayanır. μ ebeveyn vektör popülasyonunu ve λ çocuk vektör

popülasyonunu göstermek üzere, basit genetik algoritmalarda yeni popülasyon, ebeveyn popülasyonundaki bireylere bakılmaksızın λ popülasyonundan seçilir ve ebeveyn vektörlerin yerini alır. Bu tip bir seçim metodu yeni oluşan vektörlerin eskilerinin yerini alması sebebiyle yaş tabanlı bir seçim olarak adlandırılabilir. Yaş tabanlı seçimler ile oluşturulacak popülasyonlar için önceki popülasyondan bir adım öndedir denilemez çünkü ebeveyn vektörlerin arasında çocuk vektörlerden daha iyi vektörler bulunma olasılığı mevcuttur ve yaş tabanlı bir seçim metodu ile daha iyi olabilecek bu vektörler bir sonraki popülasyonda yer almamaktadır.

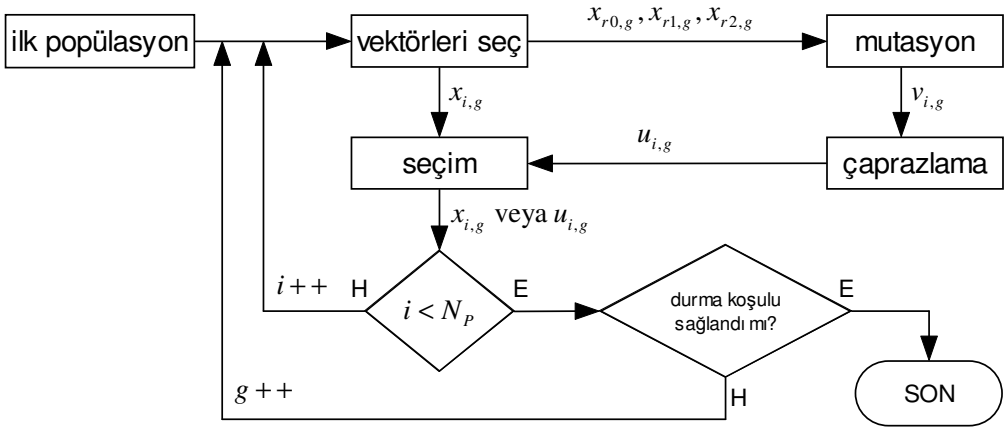
Bir başka seçim metodu yaş ve amaç fonksiyonu değeri tabanlı seçim metodudur. Bu metotta μ birey içeren bir popülasyon için λ deneme vektörü karşılaştırılmaktadır. Bir deneme vektörü ile ona karşılık gelecek bir popülasyon, bireyin amaç fonksiyon değeri iyi olan sonraki popülasyon için seçilmektedir. Klasik DE' de bu işlemi gerçekleştirmektedir. Deneme vektörü oluşturulduktan sonra $u_{i,g}$ ve $x_{i,g}$ vektörleri arasından amaç fonksiyonu değeri daha uygun olan vektör bir sonraki neslin bireyi olmaktadır. Eğer seçimi $u_{i,g}$ kazanmışsa kendisiyle kıyaslanan $x_{i,g}$ vektörünün yerini almaktadır; aksi durumda $x_{i,g}$ vektörü en az bir nesil daha popülasyonun bireyi olarak kalmaktadır. Bu işlem Eş. 3.15'de gösterilmiştir.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g}, & f\left(u_{i,g}\right) \leq f\left(x_{i,g}\right) \\ x_{i,g}, & f\left(u_{i,g}\right) > f\left(x_{i,g}\right) \end{cases} \tag{3.15}$$

Bir seçim kriteri için yeterli bir zamanda genel optimuma ulaşabiliyor denilebiliyorsa bu seçim kriteri için "elitisttir" denilmektedir. Bu bakımdan yaş-amaç fonksiyonu değeri seçimi için elitisttir denilebilir [46]. Çünkü her ne kadar kazanmış bir vektörün kaybetmiş başka bir vektörden daha kötü olma ihtimali olsa da popülasyon yerel en iyiyi bünyesinde bulundurmaktadır. Bu seçime birebir seçim de denilmektedir.

Bir başka seçim metodu sadece amaç fonksiyonu değerini esas alan bir seçim metodudur ve turnuva metodu da denilmektedir. Bu metot yaş-amaç fonksiyonu değeri seçiminin genelleştirilmiş bir şeklidir. Yaş-amaç fonksiyonu seçiminde bir bireye karşılık gelen bir deneme vektörü karşılaştırması yapılmaktayken turnuva metodunda her bireyin bütün deneme vektörleriyle karşılaştırılması ve amaç fonksiyonu değerleri en iyi olanların alınması işlemi gerçekleştirilmektedir. Turnuva metodu da elitist bir metottur. Çünkü yerel en iyinin popülasyon içerisinde tutulmasını garanti etmektedir. Bu işlem ikili karşılaştırmalar şeklinde yapılabileceği gibi pratikte çoğu zaman μ bireyden ve λ deneme vektöründen oluşmuş $\mu+\lambda$' lık bir havuz içerisinden amaç fonksiyonu değeri en iyi μ elemanı yeni popülasyona aktarmakla gerçekleştirilmektedir. Bu metodu kullanan DE algoritmaları da mevcuttur.

Yeni popülasyon oluşturulduktan sonra algoritma, sonucu bulana ya da önceden belirlenmiş bir sonlanma kriterine ulaşılıncaya kadar devam eder. Algoritmanın akış diyagramı ve klasik DE algoritmasının C-tipi sözde kodu sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Klasik DE algoritmasının akış şeması.

```
//Başlangıç popülasyonu ve ilk koşullar
do  //bir deneme popülasyonu oluştur
{
   for (i=0;i<Np;i++)
   {
    do r0=floor(rand(0,1)*N_p);while(r0==i);
    do r1=floor(rand(0,1)*N_p);while(r0==i || r1==r0);
    do r2=floor(rand(0,1)*N_p);while(r0==i || r1==r0  || r2==r1);
    jrand=floor(rand(0,1)*D);

     for (j=0;j<D;j++)  //bir deneme vektörü oluştur
     {
      if (rand(0,1)<=C_r || j==jrand)
      {
         u_j,i=x_j,r0+F*(x_j,r1-x_j,r2); //sınırlar dahilinde mi kontrol et
      }
      else
      {
          u_j,i=x_j,i;
      }
     }
   }
   // yeni nesli seç
   for (i=0;i<N_P;i++)
   {
       if (f(u_i)<=f(x_i)) x_i= u_i;
   }
} while (sonlandırma koşulu sağlanmamışsa)
```

Şekil 3.8. Klasik DE algoritmasının C-tipi sözde kodu.

4. DOĞRUSAL DİZİ OPTİMİZASYONU

Doğrusal diziler literatürde çalışılan dizi geometrileri arasında en çok karşılaşılan geometridir. Bu kullanım sıklığı doğrusal bir dizinin analitik olarak çözümlenmesinin diğer geometrilere kıyasla daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca doğrusal diziler diğer geometrilere kıyasla aynı hacim için daha az eleman barındırdığından ve ışıma karakteristikleri yükselme açısından bağımsız olduğundan nümerik hesaplarda da hesaplama zamanı bakımından diğer dizi geometrilerine kıyasla tercih edilmektedir.

Bu bölümde pencere fonksiyonlarının doğrusal bir dizinin ışıma karakteristiğine etkileri, ışıma örüntüsünde ana hüzmenin yönlendirilmesi, uzaysal filtreleme, evrimsel tekniklerin doğrusal dizilerdeki uygulamaları ve dizi küçültme konuları incelenmiştir.

4.1. Pencere Fonksiyonları

Dizi faktörü terimlerinden biri olan elemanların akım genlikleri, dizinin örüntüsünü şekillendirebilmek için kullanılabilmektedir. Pencere fonksiyonları örüntü şekillendirmenin yanı sıra birçok sinyal işleme uygulamasında da kullanılmaktadır ve örüntü şekillendirme işlemlerinde yarı güç hüzme genişliği-yan kulakçık seviyesi oranının ayarlanmasında kullanılır [7]. Genel olarak kullanılan pencere fonksiyonları:

- Dikdörtgen pencere
- Bartlett penceresi
- Üçgen pencere
- Blackman penceresi
- Hamming penceresi
- Hanning penceresi

- Kaiser penceresi
- Dolph-Chebyshev penceresi

şeklinde sıralanabilir [7]. Bu fonksiyonlarla beraber genlik değerleri olarak binom açılımı da kullanılabilmektedir [1].

4.1.1. Dikdörtgen pencere

Dikdörtgen pencere, anten dizisinin tüm elemanlarının genlik ağırlıklarını düzgün olarak dağıtmaktadır. Başka bir ifadeyle dizideki elemanların akım genlikleri aynı olmaktadır. Bu durum için normalizasyon işlemleri anten karakteristiğini etkilemediğinden örüntü hesapları için eleman genlikleri eşitliği Eş. 4.1 ile verilmektedir. Bu pencere için yarı güç hüzme genişliği (YGHG) en az olduğu zaman yan kulakçık seviyesi (YKS) en fazla olmaktadır [7] ve yarı güç hüzme genişliği eleman sayısıyla ayarlanmaktadır.

$$W(n)=1 \tag{4.1}$$

$W(n)$, AF dizi faktörü ifadesindeki a_n katsayılarını göstermektedir.

8 ve 10 elemanlı, elemanlar arası uzaklık $d=\lambda/2$ olan diziler için oluşacak örüntü Şekil 4.1'de verilmiştir.

4.1.2. Bartlett penceresi

Barttlet penceresi iki dikdörtgen pencerenin konvolüsyonu şeklinde oluşturulmaktadır. Karakteristik olarak üçgen pencereye benzemektedir fakat son elemanlar sıfır genlik almaktadır. Bu durum yarı güç hüzme genişliğinin artmasına neden olmaktadır. Barttlet penceresi için genlik katsayıları dizinin çift veya tek sayıda eleman içermesine göre değişmektedir. Katsayılar N toplam eleman sayısını göstermek üzere:

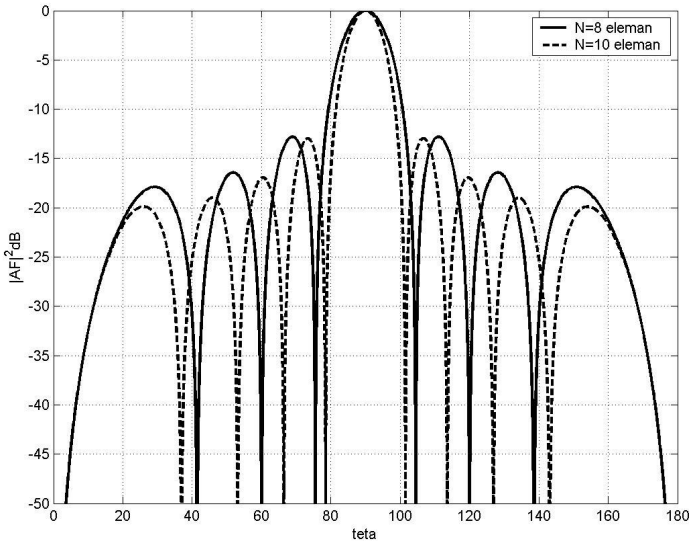
N tek ise;

$$W(n+1)=\begin{cases}\dfrac{2n}{N-1} & , \quad 0\le n\le \dfrac{N-1}{2}\\[2ex] 2-\dfrac{2n}{N-1} & , \quad \dfrac{N-1}{2}\le n\le N-1\end{cases} \tag{4.2a}$$

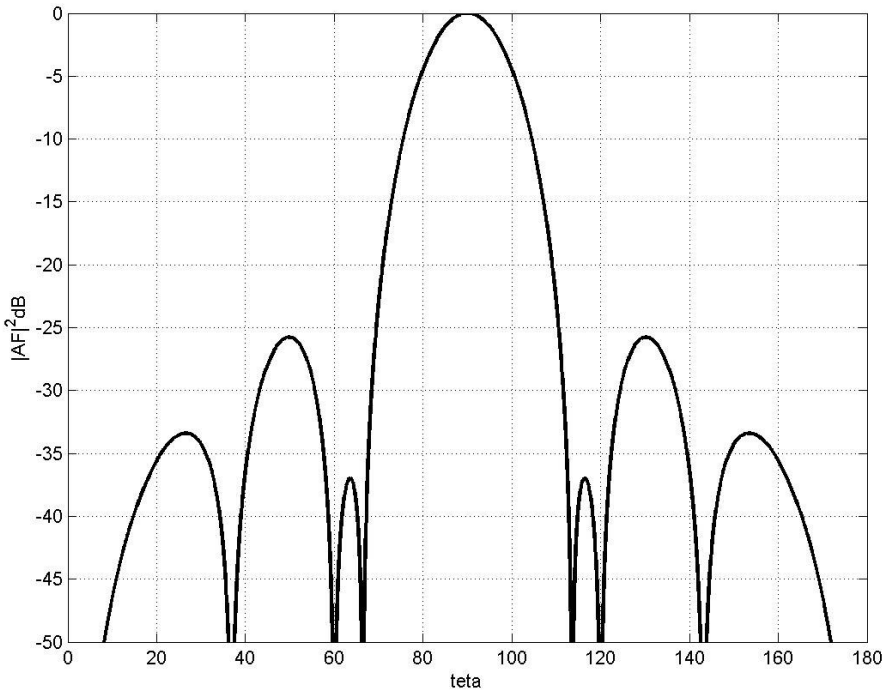
N çift ise;

$$W(n+1)=\begin{cases}\dfrac{2n}{N-1} & , \quad 0\le n\le \dfrac{N}{2}-1\\[2ex] \dfrac{2(N-n-1)}{N-1} & , \quad \dfrac{N}{2}\le n\le N-1\end{cases} \tag{4.2b}$$

olarak belirlenmektedir. Genlik katsayıları Barttlet penceresi ile belirlenmiş 10 elemanlı ve elemanlar arası uzaklık $d=\lambda/2$ olan bir dizi için oluşacak örüntü Şekil 4.2 ve katsayılar Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. 8 ve 10 elemanlı, dikdörtgen pencere uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d=\lambda/2$).



Şekil 4.2. 10 elemanlı, Bartlett penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

4.1.3. Üçgen pencere

Üçgen pencere için yarı güç hüzme genişliği-yan kulakçık seviyesi arasındaki denge Barttlet penceresine göre daha iyidir. Üçgen pencere uygulanmış bir dizi için genlik katsayıları:

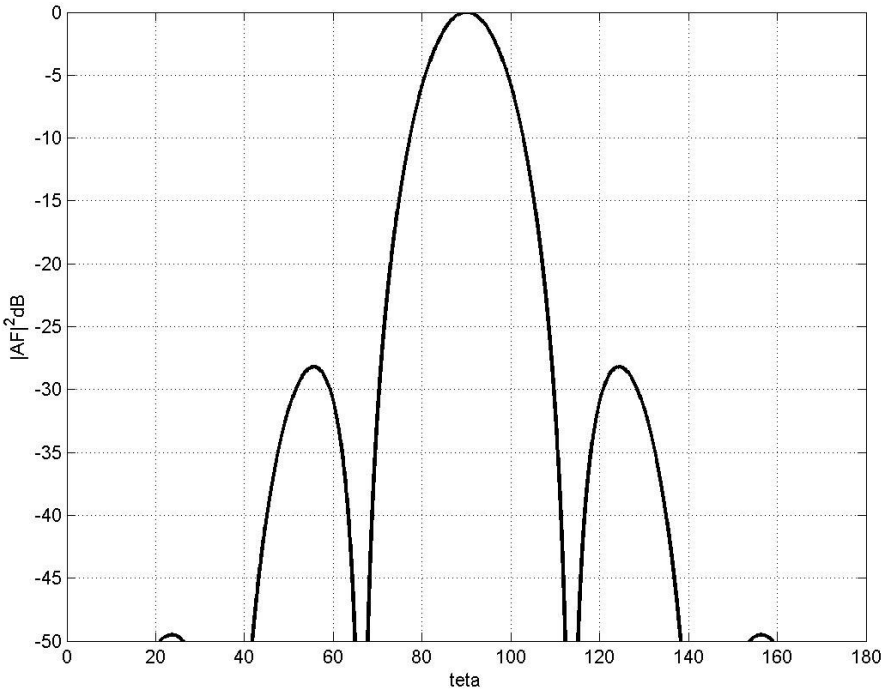
N tek ise;

$$W(n) = \begin{cases} \dfrac{2n}{N+1} & , \ 1 \le n \le \dfrac{N+1}{2} \\ \dfrac{2(N-n+1)}{N+1} & , \ \dfrac{N+1}{2} \le n \le N \end{cases} \qquad (4.3a)$$

N çift ise;

$$W(n)=\begin{cases}\dfrac{2n-1}{N} & , \quad 1\le n\le \dfrac{N}{2} \\ \dfrac{2(N-n)-1}{N} & , \quad \dfrac{N}{2}+1\le n\le N\end{cases} \tag{4.3b}$$

olarak verilmektedir. Genlik katsayıları üçgen pencere ile belirlenmiş 10 elemanlı ve elemanlar arası uzaklık $d=\lambda/2$ olan bir dizi için oluşacak örüntü Şekil 4.3'de verilmiştir. Katsayılar Çizelge 4.3'de verilmiştir.



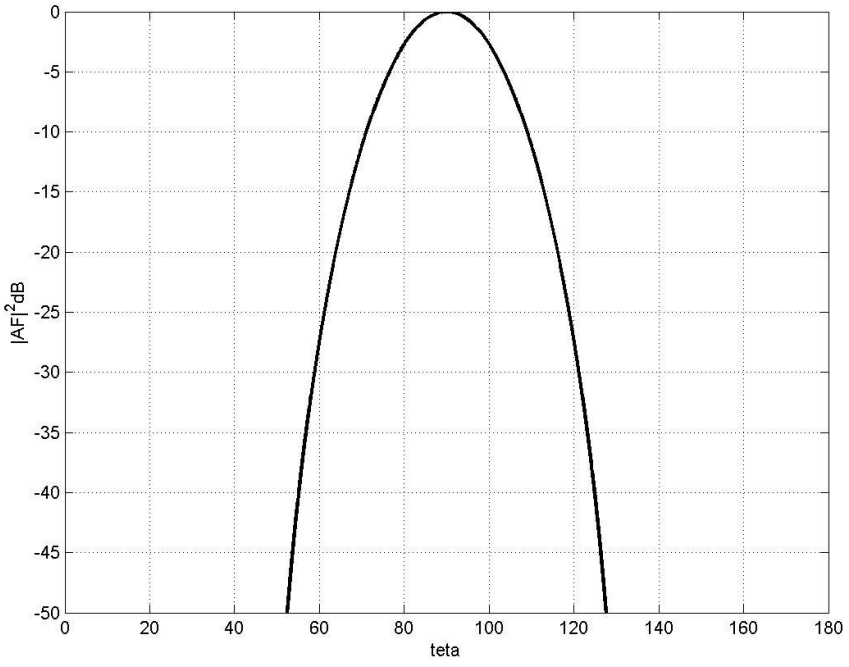
Şekil 4.3. 10 elemanlı, üçgen pencere uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d=\lambda/2$).

4.1.4. Blackman penceresi

Blackman penceresi, sinüzoitlerin toplamı olarak yazılan genelleştirilmiş kosinüs pencere fonksiyonunun özel bir durumudur. Bu pencerede katsayılar

$$W(n+1) = 0{,}42 - 0{,}5\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0{,}08\cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right), \qquad 0 \le n \le N-1 \tag{4.4}$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Blackman penceresi ile elde edilen örüntülerde yan kulakçık seviyesi çok düşük olmasına rağmen buna bağlı olarak yarı güç hüzme genişliği artmaktadır. Genlik katsayıları Blackman penceresi ile hesaplanmış 10 elemanlı ve elemanlar arası uzaklık $d = \lambda/2$ olan bir dizi için oluşacak örüntü Şekil 4.4'de verilmiştir. Genlik katsayıları Çizelge 4.3'de verilmiştir.



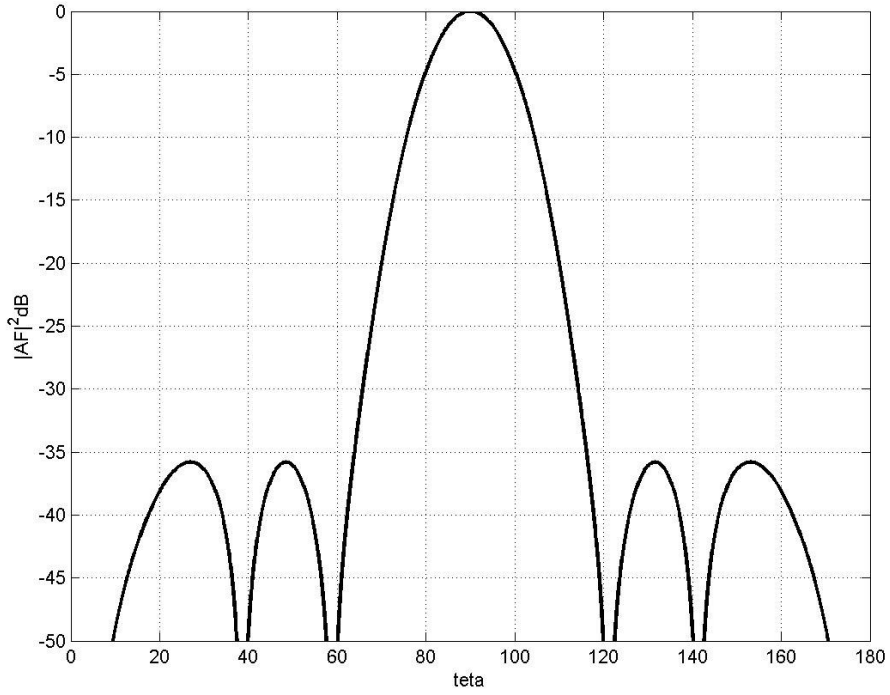
Şekil 4.4. 10 elemanlı, Blackman penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

4.1.5. Hamming penceresi

Hamming penceresi de Blackman penceresi gibi genelleştirilmiş kosinüs pencere fonksiyonunun özel bir durumudur ve

$$W(n+1) = 0{,}54 - 0{,}46\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \qquad 0 \le n \le N-1 \tag{4.5}$$

ifadesi ile tanımlanır. 10 elemanlı, Hamming penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için genlik katsayıları Çizelge 4.3'de, oluşacak örüntü Şekil 4.5'de verilmiştir.



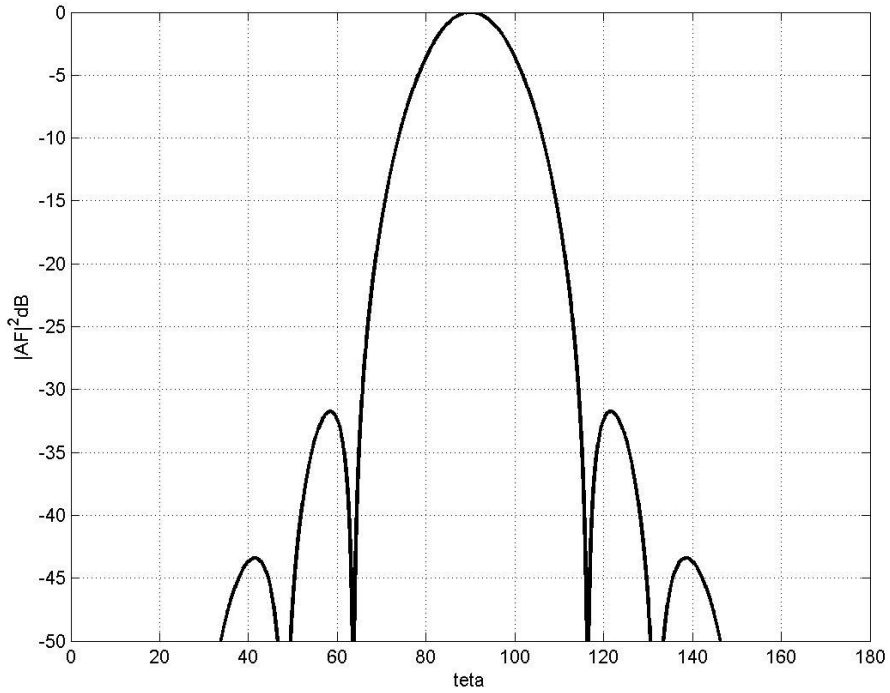
Şekil 4.5. 10 elemanlı, Hamming penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

4.1.6. Hanning penceresi

Hanning penceresi de Blackman ve Hamming pencereleri gibi kosinüs pencere fonksiyonunun özel bir durumudur. Bu pencereye “Hann penceresi” de denilmektedir. Hanning penceresi Hamming penceresine göre daha dar bir yarı güç hüzme genişliği sağlamaktadır. Hanning penceresi için katsayılar

$$W(n+1) = 0{,}5 - 0{,}5\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \qquad 0 \le n \le N-1 \tag{4.6}$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Aynı dizi için katsayılar Çizelge 4.3’de, dizi için oluşacak örüntü ise Şekil 4.6’da verilmiştir.



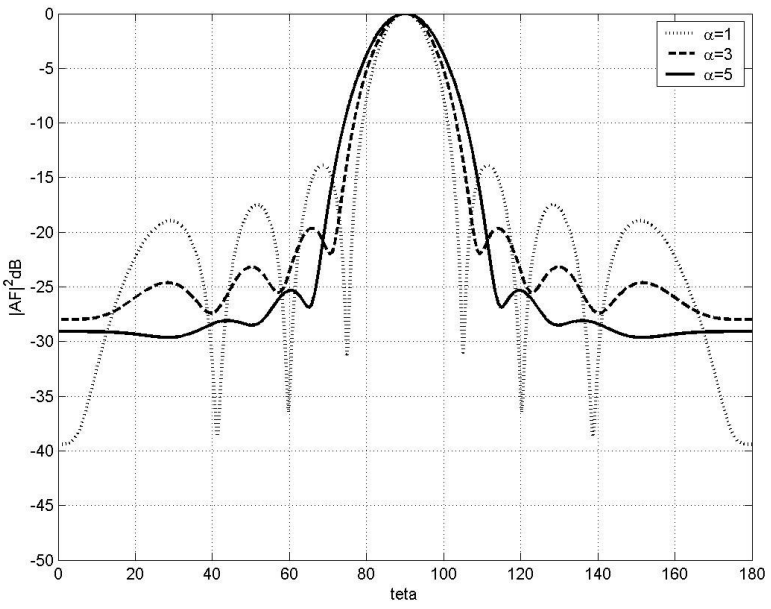
Şekil 4.6. 10 elemanlı, Hanning penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

4.1.7. Kaiser penceresi

Kaiser penceresi ana kulakçık enerjisi ile yan kulakçık enerjisi oranını maksimize etmektedir. Bu oran α kontrol parametresi ile sağlanmaktadır. I_0 0. dereceden modifiye edilmiş Bessel fonksiyonu olmak üzere N eleman için katsayılar:

$$W(n+1)=\frac{I_0\left(\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}-1\right)^2}\right)}{I_0(\alpha)} \tag{4.7}$$

olarak verilmektedir. α parametresi büyüdükçe yan kulakçık seviyesi azalmakta bununla beraber hüzme genişliği artmaktadır. $\alpha=1$, $\alpha=3$ ve $\alpha=5$ için 10 elemanlı bir dizi için katsayılar Çizelge 4.3'de ve bu katsayılar kullanılarak oluşturulmuş diziler için oluşacak örüntüler Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 10 elemanlı, Kaiser penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d=\lambda/2$).

4.1.8. Dolph-Chebyshev penceresi

Dolph-Chebyshev penceresi, belirli bir yan kulakçık seviyesi için ana kulakçık genişliğini minimize eden bir penceredir. Yan kulakçık seviyesinin kontrol edilebilmesi bu pencerenin popülerliğini arttırmıştır. Literatürde minmaks penceresi olarak da geçmektedir [7].

Katsayıları bir fonksiyonun değeri olan pencereleme metotlarının aksine bu pencereleme metodu, katsayıların hesaplanması bir süreç gerektirdiğinden, genel bir teknik niteliğindedir.

Doğrusal diziler için genel dizi faktörü ifadesi, dizi orijine göre simetrik alınırsa eleman sayısı çift olanlar için;

$$AF = \sum_{n=1}^{N} a_n \cos\left[(2n-1)\frac{\pi d}{\lambda}\cos\theta \right] \tag{4.8}$$

tek olanlar için ise;

$$AF = \sum_{n=1}^{N+1} a_n \cos\left[2(n-1)\frac{\pi d}{\lambda}\cos\theta \right] \tag{4.9}$$

şekline indirgenebilir. İfadelerden de anlaşılacağı üzere dizi faktörü ifadesi bir dizi kosinüs teriminin toplamı olarak ifade edilebilmektedir. Toplamın her kosinüs teriminin argümanı temel frekansın tamsayı katları şeklinde olacaktır. Temel trigonometrik özdeşlik olan $\sin^2 x = 1 - \cos^2 x$ ifadesi ve

$$\left[e^{jx}\right]^m = (\cos x + j\sin x)^m = e^{jmx} = \cos(mx) + j\sin(mx) \tag{4.10}$$

olarak tanımlanan Euler formülü kullanılarak dizi faktörü ifadesi Çizelge 4.1'de verilen harmonikler şeklinde yazılabilmektedir. Çizelge 4.1'deki

harmonikler için $z = \cos x$ dönüşümü yapılırsa, bu harmonikler Çizelge 4.2'de verilen şekle dönüşecektir. Çizelge 4.2'de verilen her polinom Chebyshev polinomu olarak adlandırılmaktadır ve $T_m(z)$ şeklinde gösterilmektedir. $|\cos(mx)| \le 1$ olduğundan dolayı ve tüm Chebyshev polinomları için $-1 \le z \le 1$ aralığında $|T_m(z)| \le 1$ olduğu için kosinüs fonksiyonları ve Chebyshev polinomları arasındaki bu bağıntılar $-1 \le z \le 1$ aralığı için yazılabilir. Chebyshev polinomları için özyineleme formülü

$$T_m(z) = 2zT_{m-1}(z) - T_{m-2}(z) \tag{4.11}$$

olarak verilmektedir. Her polinom tanım aralığında özyineleme fonksiyonu kullanılarak bulunabilir, bununla beraber her polinom

$$\begin{aligned} T_m(z) &= \cos\left[m\cos^{-1}(z)\right] \quad , \quad -1 \le z \le 1 \\ T_m(z) &= \cosh\left[m\cosh^{-1}(z)\right] \quad , \quad z < -1,\ z > 1 \end{aligned} \tag{4.12}$$

ifadeleri kullanılarak da bulunabilir. Chebyshev polinomlarının özelliğinden dolayı olarak $-1 \le z \le 1$ aralığında tüm Chebyshev polinomları için $|T_m(z)| \le 1$ olduğundan tüm yan kulakçıklar eşit seviyede olmaktadır.

Dizi faktörü kosinüs terimleri şeklinde yazılabildiği ve bu terimler Chebyshev polinomları şeklinde ifade edilebildiğinden dizi genlik katsayıları dizi faktörü ifadesine karşılık gelen Chebyshev polinomu kullanarak bulunabilmektedir.

R_0 ana kulak-yan kulakçık seviyesi oranını göstermek üzere tasarım prosedürü şu şekilde olmaktadır:

1) Eş. 4.8 ve 4.9'da verilen dizi faktörlerinden kullanılacak diziye uygun olanı seçilir.
2) Dizi faktörü Çizelge 4.1'de verilen ifadeler şekline dönüştürülür.

3) $T_m(z_0) = R_0$ oranını sağlayacak şekilde bir $z = z_0$ noktası alınır. z_1, $z = 1$ noktasına en yakın sıfır noktasını göstermek üzere $-1 \le z \le z_1$ bölgesi yan kulakçıkları gösterecektir. $z_1 \le z \le z_0$ bölgesi ana hüzmeyi oluşturacaktır. $-1 \le z \le z_1$ bölgesinde Chebyshev fonksiyonunun maksimum değeri 1 olmaktadır, bu sebeple $T_m(z_0)$ ifadesi R_0 değerine eşit olacaktır. Polinom derecesi olan m terimi her zaman dizinin eleman sayısının bir eksiği olmaktadır. 10 eleman için $|T_9(z)|$ Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

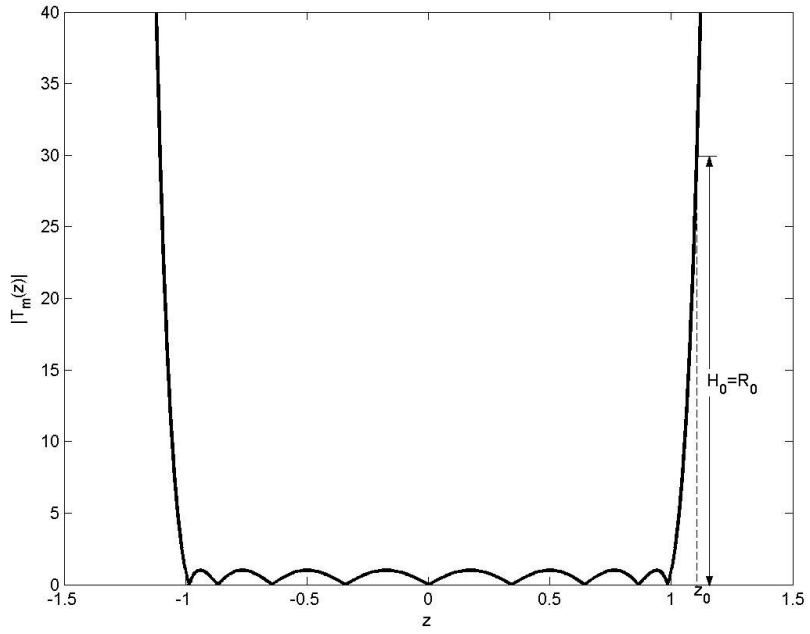
4) z_0 noktası bulunduktan sonra;

$$\cos(x) = \frac{z}{z_0} \tag{4.13}$$

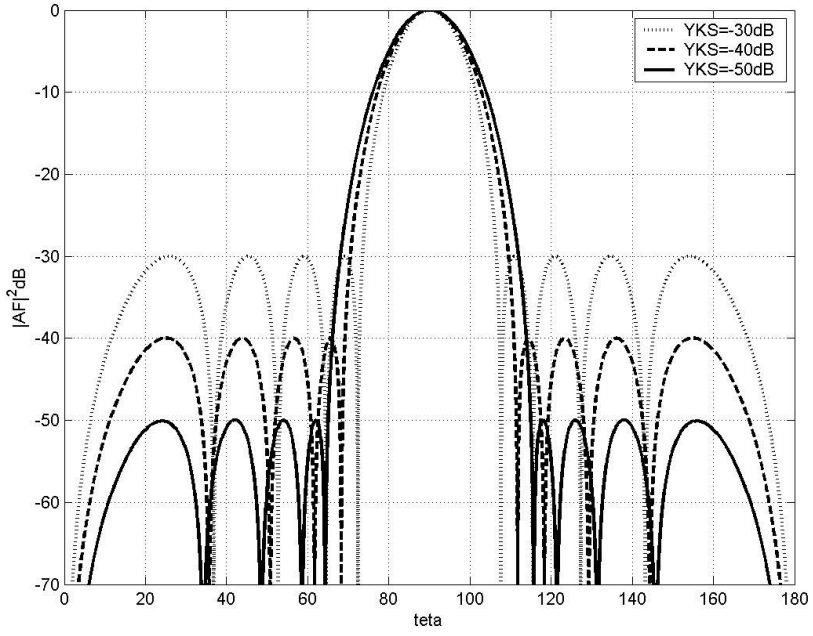
normalizasyon işlemiyle polinomun istenen maksimum değeri R_0 dan 1'e indirgenmektedir. Bu sebeple $|z| \le |z_0|$ bölgesi için de ifade geçerli olmaktadır.

5) Dizi faktörünün terimleri olarak Eş. 4.13 de tanımlanan normalize edilmiş değerler kullanılarak oluşacak ifade ilgili Chebyshev polinomunda yerine konularak genlik katsayıları bulunmaktadır.

N elemanlı bir dizi için $N/2$ genlik katsayısı bulunmaktadır. Bu durum dizinin merkezi etrafında simetrik olması anlamına gelmektedir. $N = 10$ elemanlı doğrusal bir dizi için yan kulakçık seviyeleri YKS=-30dB, YKS=-40dB ve YKS=-50dB için oluşacak normalize edilmiş genlik katsayıları Çizelge 4.3'de, oluşacak örüntüler ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Bu yöntem ile yan kulakçık seviyesi ayarlanabilmektedir ve tüm yan kulakçıkların seviyesi eşit olmaktadır. Yan kulakçığı olmayan yani yan kulakçık seviyesi $-\infty$ dB olan bir Dolph-Chebyshev dizisinin genlik katsayıları binom açılımına indirgenmiş olur. Yani bu durum için her iki metot ile hesaplanacak genlik katsayıları aynı olmaktadır.



Şekil 4.8. Dokuzuncu dereceden Chebyshev polinomu.



Şekil 4.9. 10 elemanlı, Dolph-Chebyshev penceresi uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

Çizelge 4.1. Kosinüs açılımları

N	Harmonik	$\cos(x)$	Eşdeğer gösterim
1	$m=0$	$\cos(0)$	1
2	$m=1$	$\cos(x)$	$\cos(x)$
3	$m=2$	$\cos(2x)$	$2\cos^2(x)-1$
4	$m=3$	$\cos(3x)$	$4\cos^3(x)-3\cos(x)$
5	$m=4$	$\cos(4x)$	$8\cos^4(x)-8\cos^2(x)-1$
6	$m=5$	$\cos(5x)$	$16\cos^5(x)-20\cos^3(x)+5\cos(x)$
7	$m=6$	$\cos(6x)$	$32\cos^6(x)-48\cos^4(x)+18\cos^2(x)-1$
8	$m=7$	$\cos(7x)$	$64\cos^7(x)-112\cos^5(x)+56\cos^3(x)-7\cos(x)$
9	$m=8$	$\cos(8x)$	$128\cos^8(x)-256\cos^6(x)+160\cos^4(x)-32\cos^2(x)+1$
10	$m=9$	$\cos(9x)$	$256\cos^9(x)-576\cos^7(x)+432\cos^5(x)-120\cos^3(x)+9\cos(x)$

Çizelge 4.2. Chebyshev polinomları

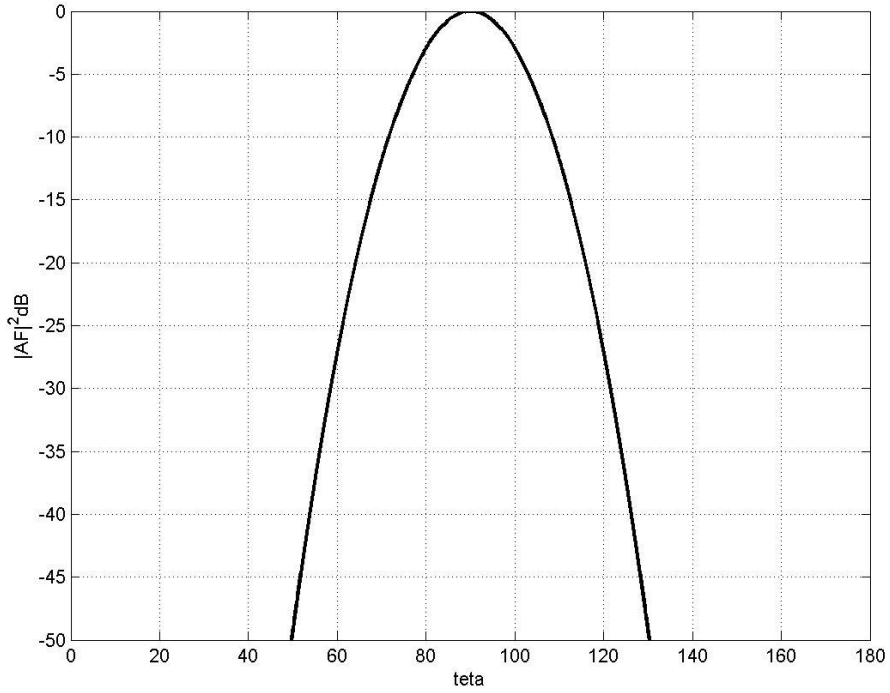
N	Polinom	$T_m(z)$
1	1	$T_0(z)$
2	z	$T_1(z)$
3	$2z^2-1$	$T_2(z)$
4	$4z^3-3z$	$T_3(z)$
5	$8z^4-8z^2+1$	$T_4(z)$
6	$16z^5-20z^3+5z$	$T_5(z)$
7	$32z^6-48z^4+18z^2-1$	$T_6(z)$
8	$64z^7-112z^5+56z^3-7z$	$T_7(z)$
9	$128z^8-256z^6+160z^4-32z^2+1$	$T_8(z)$
10	$256z^9-576z^7+432z^5-120z^3+9z$	$T_9(z)$

4.1.9. Binom penceresi

Doğrusal diziler için dizi faktörü ile binom açılımı arasındaki benzerlikten faydalanılarak genlik katsayıları ayarlanabilmektedir [1]. Binom açılımı:

$$(1+x)^{m-1} = 1 + (m-1)x + \frac{(m-1)(m-2)}{2!}x^2 + \frac{(m-1)(m-2)(m-3)}{3!}x^3 + \cdots \qquad (4.14)$$

olarak yazılabilmektedir. Bu ifadede $x = \cos(u)$ alınırsa Eş. 4.14 ile Eş. 4.8 ve Eş. 4.9 arasındaki benzerlik kullanılarak genlik katsayıları bulunmaktadır. Katsayıları binom açılımıyla hesaplanmış 10 elemanlı bir dizi için dizi faktörü örüntüsü Şekil 4.10'da, katsayılar ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.10. 10 elemanlı, binom açılımı uygulanmış doğrusal anten dizisi için ışıma örüntüsü ($d = \lambda/2$).

Çizelge 4.3. Çeşitli pencere fonksiyonları kullanılarak üretilmiş 10 elemanlı doğrusal bir dizi için genlik katsayıları

Eleman Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dikdörtgen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bartlett	0	0,2222	0,4444	0,6667	0,8889	0,8889	0,6667	0,4444	0,2222	0
Üçgen	0,1000	0,3000	0,5000	0,7000	0,9000	0,9000	0,7000	0,5000	0,3000	0,1000
Blackman	0	0,0509	0,2580	0,6300	0,9511	0,9511	0,6300	0,2580	0,0509	0
Hamming	0,0800	0,1876	0,4601	0,7700	0,9722	0,9722	0,7700	0,4601	0,1876	0,0800
Hanning	0	0,1170	0,4132	0,7500	0,9699	0,9699	0,7500	0,4132	0,1170	0
Kaiserα=1	0,7898	0,8698	0,9324	0,9754	0,9972	0,9972	0,9754	0,9324	0,8698	0,7898
Kaiserα=3	0,2049	0,4317	0,6712	0,8712	0,9851	0,9851	0,8712	0,6712	0,4317	0,2049
Kaiserα=5	0,0367	0,2013	0,4755	0,7753	0,9727	0,9727	0,7753	0,4755	0,2013	0,0367
Cheb.-30dB	0,2575	0,4300	0,6692	0,8781	1	1	0,8781	0,6692	0,4300	0,2575
Cheb.-40dB	0,1253	0,3154	0,5802	0,8390	1	1	0,8390	0,5802	0,3154	0,1253
Cheb.-50dB	0,0703	0,2393	0,5106	0,8055	1	1	0,8055	0,5106	0,2393	0,0703
Binom	0,0079	0,0714	0,2857	0,6667	1	1	0,6667	0,2857	0,0714	0,0079

4.2. Hüzme Döndürme ve Uzaysal Filtreleme

Anten dizilerinin ışıma örüntülerinin kullanılacağı alana göre şekillenmeleri istenmektedir. Bu bakımdan dizinin ana kulakçığının yönü, dizinin yan kulakçık seviyesi ve dizinin sıfırlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu işlem dizi elemanlarına karmaşık katsayılar atanması işlemi ile gerçekleştirilebilir [7]. Bu katsayılar aynı zamanda W olarak gösterilen bir ağırlık vektörü şeklinde yazılabilmektedir ve bu vektör sayesinde herhangi bir açı için dizinin tepkisi ayarlanabilmektedir. Dizinin maksimum ışımasını oluşturan ana hüzme belirli bir açıya yönlendirilebilmekte veya uzayın belirli bölgelerine dizinin ışıma yapmaması sağlanarak uzaysal filtreleme yapılabilmektedir. Karmaşık katsayıların genlikleri ile yan kulakçık seviyesi ve hüzme genişliği, fazları ile de ana kulakçığın açısı ve örüntü sıfırlarının yerleri ayarlanabilmektedir [7].

Hüzme döndürme işlemi anten dizisinin maksimum ışımasının uzayın belirli bir bölgesine döndürülmesi ve dolayısıyla o bölge için maksimum kazanca ulaşılması işlemidir. Bu işlem çeşitli uygulamalarda mekanik olarak antenin döndürülmesi ile yapılabiliyorsa da elektriksel olarak da bu işlemi yapmak mümkündür. Uzaysal filtreleme ise uzayın belirli bir bölgesine anten dizisinin ışımasını engelleyerek o bölge için anten kazancının azaltılması işlemidir.

Dizinin ışıma yapmadığı bölgelere örüntü sıfırı denilmektedir ve bu sıfırların istenilen açılara döndürülmesiyle uzayın o bölgesi fiziksel olarak filtrelenmektedir.

Bir sinyalin anten dizisinin her elemanına eşit genlikte geldiği fakat fazlarının değiştiği kabul edilirse (uzak alan yaklaşımı) anten dizisinin bu sinyale verdiği tepki bir vektör şeklinde gösterilebilmektedir ve çoğunlukla bu vektör alınan sinyal vektörü olarak adlandırılmaktadır. Eğer birden fazla alınan sinyal vektörü söz konusuysa K sinyal için K farklı alınan sinyal vektöründen söz edilmektedir. Bu vektörlerin her birine döndürme vektörü denilmektedir ve S_k şeklinde gösterilmektedir.

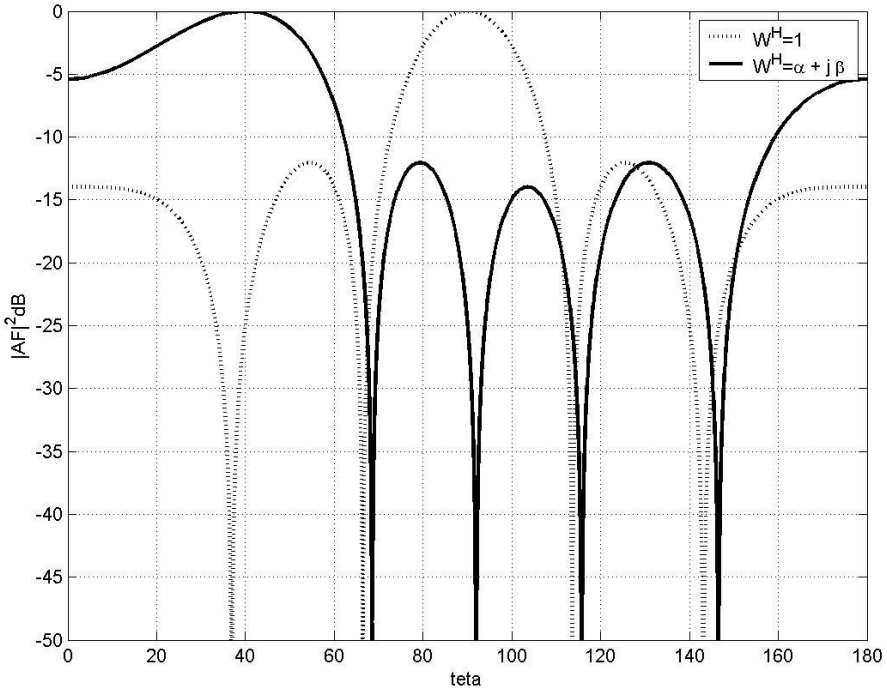
S_0 ana hüzme döndürme vektörünü göstermek üzere ve dizi tepkisi normalize edildiğinde antenin maksimum ışımasının nümerik değeri 1 olacağı için ana hüzmenin döndürme vektörü yönüne dönmesi için;

$$W^H = S_0^H \tag{4.15}$$

eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu ifadede H üst indisi hermit transpozunu göstermektedir. 5 elemanlı ve elemanları arası uzaklık $d = \lambda/2$ olan düzgün doğrusal bir dizinin $(W^H = 1)$ ana hüzmesi $\theta = 40°$ ye döndürülmek istenirse oluşacak genlik katsayıları Çizelge 4.4'de oluşacak örüntü ise Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Şekil 4.11. için ağırlık katsayıları

Eleman numarası	1	2	3	4	5
$W^H =$	1	1	1	1	1
$W^H =$	1	-0.7418 - j0.6706	0.1006 + j0.9949	0.5925 - j0.8056	-0.9797 + j0.2003



Şekil 4.11. Ana hüzmenin kaydırılması.

Uzayın belirli bir bölgesi bastırılmak istendiğinde S_1 döndürme vektörü bu bölge için dizi tepkisini göstermek üzere;

$$W^H S_1 = 0 \tag{4.16}$$

eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Uzayda K noktanın bastırılması için S_k bu K nokta için döndürme vektörleri olmak üzere Eş. 4.15 ile;

$$W^H S_k = 0 \tag{4.17}$$

eşitlikleri ile S_0 sıfır noktalarına karşılık gelmeyen uzayda herhangi bir noktayı göstermek üzere;

$$W^H S_0 = 1 \tag{4.18}$$

eşitliğinin eşzamanlı çözülmesi gerekmektedir. Eşitliklerin sağ tarafları bir C vektöründe toplanırsa C vektörü;

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^T \tag{4.19}$$

olarak yazılabilir. Dizi faktörünün;

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^{N} W^H e^{j(n-1)\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta} \tag{4.20}$$

olduğu düşünülürse, döndürme vektörleri;

$$\begin{aligned} S_0^T &= \begin{bmatrix} 1 & e^{j\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_0} & e^{j2\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_0} & \cdots & e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_0} \end{bmatrix} \\ S_1^T &= \begin{bmatrix} 1 & e^{j\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_1} & e^{j2\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_1} & \cdots & e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_1} \end{bmatrix} \\ &\vdots \\ S_k^T &= \begin{bmatrix} 1 & e^{j\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_k} & e^{j2\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_k} & \cdots & e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda} d\cos\theta_k} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{4.21}$$

olarak yazılabilmektedir. Bu ifadelerde birinci eleman referans olarak alınmakta ve dalga cephesinin düzlemsel olduğu varsayılmaktadır. İfadelerdeki θ_0 açısı uzayın sıfır olmayan herhangi bir bölgesini, $\theta_i,\ \ i = 1, \cdots, k$ açıları ise sıfır yapılmak istenen açıları göstermektedir.

Döndürme vektörlerinin tümü ayrı bir A matrisinde toplanacak olursa A matrisi;

$$A = \begin{bmatrix} S_0 & S_1 & \cdots & S_k \end{bmatrix} \tag{4.22}$$

$$A=\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_0} & e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_1} & \cdots & e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_k} \\ e^{j2\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_0} & e^{j2\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_1} & \cdots & e^{j2\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_0} & e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_1} & \cdots & e^{j(N-1)\frac{2\pi}{\lambda}d\cos\theta_k} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Eşzamanlı çözüm için eşitlik;

$$W^H A = C^T \quad (4.24)$$

şeklinde yeniden yazılabilmektedir. Bu denklem için çözüm;

$$W^H = C^T A^{-1} \quad (4.25)$$

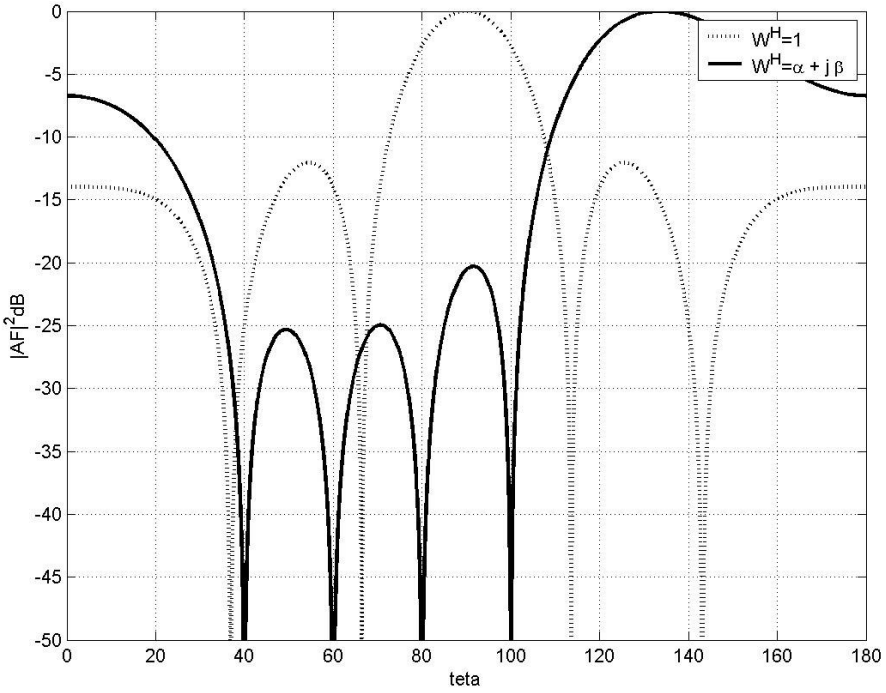
şeklinde olmaktadır. Bu çözüm N toplam eleman sayısını göstermek üzere $K = N-1$ örüntü sıfırı için doğru olmaktadır. $N-1$ sıfır için A matrisi bir kare matris olmaktadır. A matrisinin kare matris olmadığı durumlarda;

$$W^H = C^T A^H \left(AA^H\right)^{-1} \quad (4.26)$$

eşitliği problem için bir çözüm vermektedir [7]. 5 elemanlı düzgün doğrusal bir dizi için ($W^H = 1$) örüntü sıfırlarının $\theta = 40°,60°,80°,100°$'lerde olması durumu için gereken katsayılar Çizelge 4.5'de ve bu katsayılar için oluşacak örüntü Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Şekil 4.12. için ağırlık katsayıları

Eleman Numarası	1	2	3	4	5
$W^H =$	1	1	1	1	1
$W^H =$	-0.1695 + j0.2593	-0.2691 - j0.5341	0.7073 + j0.1149	-0.4243 + j0.4214	-0.0787 - j0.2996



Şekil 4.12. Örüntü sıfırlarının kaydırılması.

4.3. Evrimsel Teknikler

Örüntülerin şekillendirilmesinde çeşitli analitik yöntemler olduğu gibi [11, 19, 21, 41], örüntü şekillendirme problemi parametreleri dizi faktörü terimleri olan bir optimizasyon problemi olarak da düşünülebilmektedir. [12-17, 27, 40].

Analitik yöntemler arasında, çeşitli fonksiyonların dizi ağırlık katsayılarının bulunmasında kullanılması [1, 7, 11] veya dizinin elemanlarının yerlerinin doğrusal metotlarla düzenlenmesi [21, 41] gösterilebilir. Bu metotların temel ortak noktası olarak, dizi faktörü ifadesinin belirli parametrelerinin sabit tutulması vasıtasıyla ifadenin basitleştirilmesi gösterilebilir. Bu basitleştirme büyük işlem kolaylığı sağlamasının yanı sıra çözüm kümesini sınırlamaktadır.

Evrimsel teknikler kullanılarak bu sınırlama ortadan kaldırılabilir. Dizi faktörünün genel ifadesindeki değişken parametrelerin tümü bir optimizasyon parametresi olarak alınabilir. Bu bakımdan evrimsel teknikler için dizi faktörü parametrelerinin tümü ile fiziksel sınırlar içerisinde optimizasyon işlemi yapılabilir denilebilir.

Optimizasyon işlemleri için en çok karşılaşılan yöntemler arasında; dizi elemanlarının akım genliklerini ayarlanması [15], akım fazlarının ayarlanması [40] ve dizi elemanlarının dizi üzerindeki pozisyonlarının ayarlanması [12, 16, 17] sayılabilir. Bu yöntemler tek başlarına kullanılabilecekleri gibi birkaç parametrenin beraber kullanılması vasıtasıyla da optimizasyon işlemi yapılabilmektedir [13, 18].

Optimizasyon işlemleri için çeşitli evrimsel algoritmalar veya iteratif teknikler kullanılabilmektedir. Bu teknikler arasında genetik algoritma [17, 18, 34], karınca kolonisi optimizasyonu [13], benzetimli tavlama [12] ve diferansiyel evrim algoritması [15, 16] kullanılabileceği gibi nümerik optimizasyon işlemi yapabilen farklı algoritmalar da kullanılabilir. Fakat anten optimizasyonu için diferansiyel evrim algoritmasının genetik algoritmalar ve karınca kolonisi optimizasyonu algoritmalarından daha hızlı sonuç verdiği gösterilmiştir [15].

Evrimsel tekniklerin analitik çözümlere bir üstünlüğü olarak, analitik çözümlerin genel olarak sadece sıfır sentezleme veya yan kulakçık seviyesini düşürme gibi tek bir örüntü karakteristiğini ayarlamakta kullanılmasını, evrimsel tekniklerin ise bu karakteristiklerin istenilen kadarını hesaba katarak optimizasyon işlemini gerçekleştirmesi gösterilebilir. Örneğin sadece akım genliklerinin ayarlanabildiği 10 elemanlı doğrusal bir dizi için yan kulakçık seviyesinin -30dB olmasının istenmesi durumunda, bu işlem Dolph-Chebyshev metodu kullanılarak rahatlıkla sağlanabilmektedir. Fakat eğer yan kulakçık seviyesinin yanı sıra uzayın belirli bölgelerinin bastırılması istenirse bu işlem için Dolph-Chebyshev metodu yetersiz kalmaktadır. Bu bakımdan evrimsel metotlar, tasarım işlemi sırasında, analitik metotlara göre daha

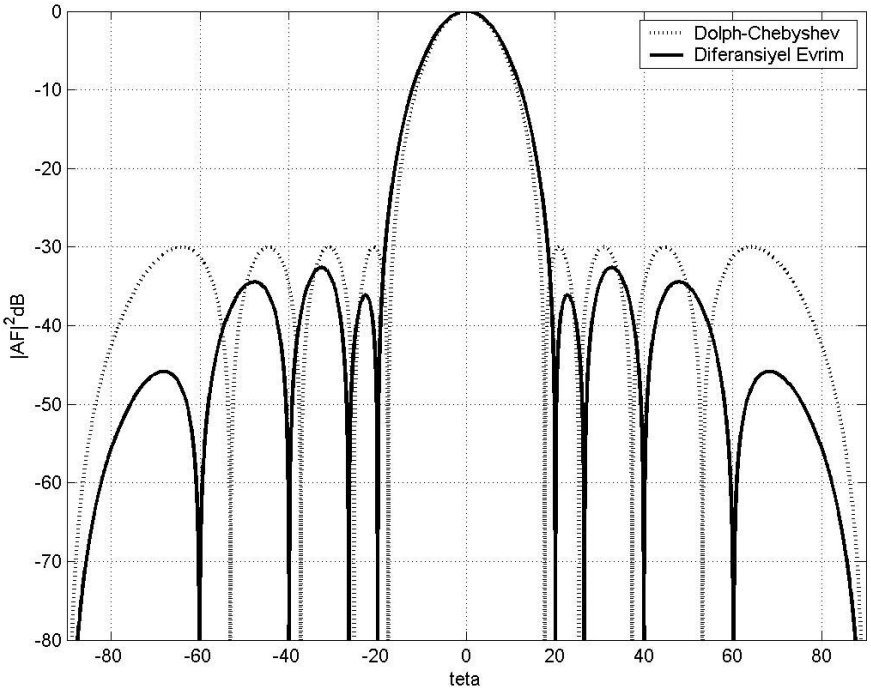
esnek bir yapı sunmaktadırlar. Sadece akım genliklerinin ayarlanabildiği 10 elemanlı, elemanları z ekseni üzerinde simetrik yerleştirilmiş ve aralarında $d = \lambda/2$ uzaklık bulunan bir doğrusal anten dizisi için -30dB yan kulakçık seviyesi ve $\theta = 20°,40°,60°$ açılarının bastırılması senaryosu için -30dB Dolph-Chebyshev dizisinin örüntüsü Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Bu iki örüntü için genlik katsayıları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.13 için yükselme açısının referansı olarak dizi normali alınmıştır.

Optimizasyon işleminde optimizasyon parametresi olarak dizi faktörünün genlik katsayıları alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak:

$$f(\theta) = \sqrt{\sum_{i=1}^{K} w_i \left| AF_i(\theta) - SDD_i \right|^2 + w_m \left| YKS_{maks} \right|^2} \qquad (4.27)$$

maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Bu ifadede K sentezlenmek istenen toplam sıfır sayısını, $AF_i(\theta)$ $i.$ nokta için normalize edilmiş dizi faktörü büyüklüğünü, SDD istenen sıfır derinlik düzeyini, YKS ise örüntünün yan kulakçık seviyesini göstermektedir. w_i ve w_m kontrol parametrelerine ilk koşul olarak 1 değeri verilmiştir. $AF_i(\theta) \le SDD$ koşulu sağlandığında $w_i = 0$ ve $YKS_{maks} \le YKS_d$ koşulu sağlandığında $w_m = 0$ alınmıştır. Bu ifadede YKS_d istenen yan kulakçık seviyesini göstermektedir. Amaç fonksiyonunda kullanılan tüm değerler nümerik değerlerdir.

Optimizasyon işlemi "DE\best\1\bin" kullanılarak yapılmıştır. DE algoritmasının kontrol parametreleri olarak parametre sayısı $N = 5$, popülasyon büyüklüğü $P = 5N = 25$, mutasyon faktörü $F = 0{,}6$ ve çaprazlama faktörü $Cr = 0{,}9$ alınmıştır.



Şekil 4.13. -30dB Dolph-Chebyshev örüntüsü ve DE ile optimize edilmiş dizi örüntüsü.

Çizelge 4.6. -30dB Dolph-Chebyshev ile DE ve optimize edilmiş genlik katsayıları

Eleman numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-30dB Cheb.	0,2575	0,4300	0,6692	0,8781	1	1	0,8781	0,6692	0,4300	0,2575
DE	0,1556	0,3748	0,5986	0,8539	1	1	0,8539	0,5986	0,3748	0,1556

Şekil 4.13'den de anlaşılacağı üzere DE algoritması istenen açıların bastırılması işlemi ile beraber yan kulakçık seviyesini de kontrol edebilmektedir. Amaç fonksiyonuna farklı parametreler eklenerek örüntü için farklı istekler de karşılanabilir.

Algoritma 42 iterasyonda sonuca ulaşmıştır. Evrimsel tekniklerin dezavantajlarından biri olarak sonuca ulaşma garantisi olmaması söylenebilir. Bu nedenle ve genel olarak iteratif metotlar olmalarından kaynaklanan zaman sorunundan dolayı gerçek zamanlı sistemlere bu tip

algoritmaların uyarlanması sakıncalı olabilir. Fakat tasarım aşamasında esnekliğinden dolayı tercih edilebilirler.

4.4. Dizi Küçültme

Anten dizileri üzerine çalışılan konulardan bir tanesi de dizi küçültme problemleridir [31-35]. Dizi küçültme işlemi, istenilen dizi karakteristiklerini bozmadan anten dizisindeki elemanların azaltılması olarak adlandırılabilir. Örneğin N elemanlı doğrusal bir dizi için, dizi sıfırlarının yerlerinin aynı olması ve yarı güç hüzme genişliğinin belirli bir değerin altında olması koşulları için diziden eleman eksiltme işlemi, dizi küçültme işlemi olarak adlandırılabilir.

Diziden çıkarılacak her eleman için dizi faktörüne etki eden parametrelerin sabit kaldığı düşünülürse dizi karakteristiğinin değişeceği açıktır. Bu sebeple dizi küçültme işlemi için çıkarılan her eleman için dizi faktörü parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Bu işlem diğer parametreler sabit tutularak tek bir parametrenin değiştirilmesiyle yapılabileceği gibi fiziksel sınırları aşmamak kaydıyla dizi faktöründeki tüm parametreler üzerinde de oynama yapılarak gerçekleştirilebilir. Analitik çözümlemeler önceki bölümlerde bahsedildiği gibi genelde tek bir parametre üzerinden yapılmaktadır [33] ve evrimsel teknikler dizi küçültme işleminde de sıkça kullanılmaktadır [31, 32, 34, 35].

Dizi küçültme işleminde dizinin genlik katsayıları, diziden çıkan elemanların dizi faktörü üzerindeki etkilerini dengelemek için kullanılabilir ve bu işlem için rassal tabanlı bir yöntem [35]'de önerilmiştir. Bu yöntem evrimsel bir teknik olan DE algoritmasının doğal yapısını kullanarak sürekli bir genlik optimizasyonu içerisinde diziden rastgele eleman çıkarmaktadır. Sonuç olarak başlangıç dizisinden daha az elemana sahip ve genlik katsayıları çıkarılan elemanları dengeleyecek şekilde ayarlanmış bir dizi elde edilmektedir.

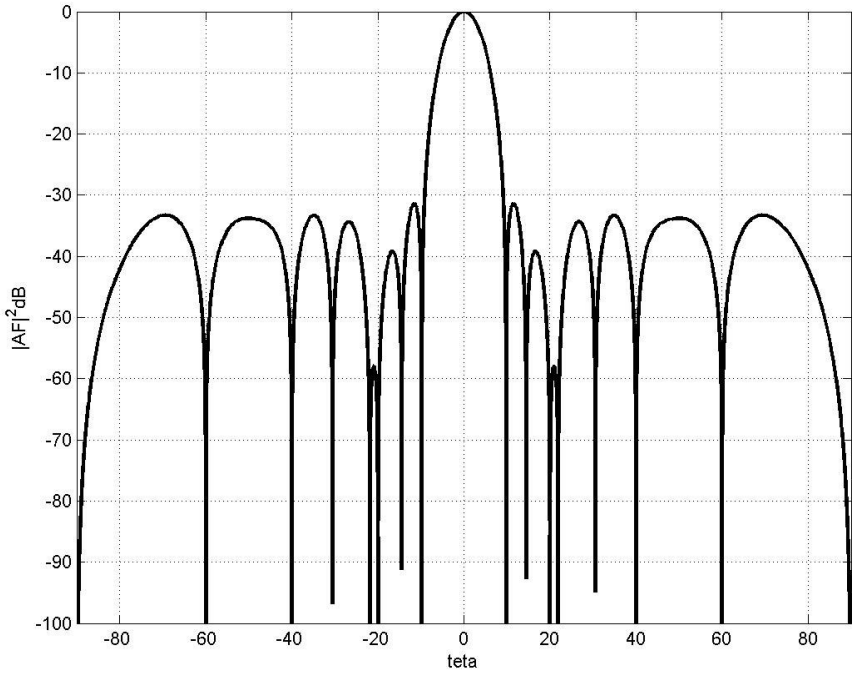
Bu yöntem klasik genlik optimizasyonu işleminin modifiye edilmiş başka bir türüdür. Klasik genlik optimizasyonundan farklı olarak algoritma sürekli olarak dizinin bazı elemanlarının genliklerini sıfır olmaya zorlamaktadır. Bu zorlama mutasyon işleminde bireyin negatif parametrelerini sıfıra eşitleme işlemiyle gerçekleştirilebilir ve bu işlem dizinin o konumdaki elemanını çıkarmaya zorlama işlemiyle eşdeğerdir. Bu şekilde algoritma arama uzayında N elemanlı bir dizi için istenilen kriterleri sağlayacak şekilde N farklı değer yerine $N-k$ farklı değer aramaktadır. k sayısı diziden çıkarılan eleman sayısıdır ve algoritma tarafından rastgele seçilmektedir ve bu seçim her nesil için farklı olmaktadır. Yöntem için ilk koşul olarak dizinin tüm elemanları eşit olasılıkla 0 ya da 1 değeri almaktadır ve mutasyon faktörünün $F=1$ alınmasıyla tüm nesiller için bireylerin tamsayı değeri alması sağlanmaktadır. Sonuca ulaşılmasının ardından en büyük parametre ile normalizasyon işlemi yapılmaktadır ve bu şekilde normalize edilmiş genlik değerleri bulunmaktadır.

Metot evrimsel bir teknik kullandığı için sonuç bulamama olasılığı ve k değeri rastgele seçildiği için bu değerin sıfır olma ihtimali yani dizinin tamamen dolu dönmesi olasılığı vardır. Bu iki faktör yöntemin dezavantajları arasında sayılabilir.

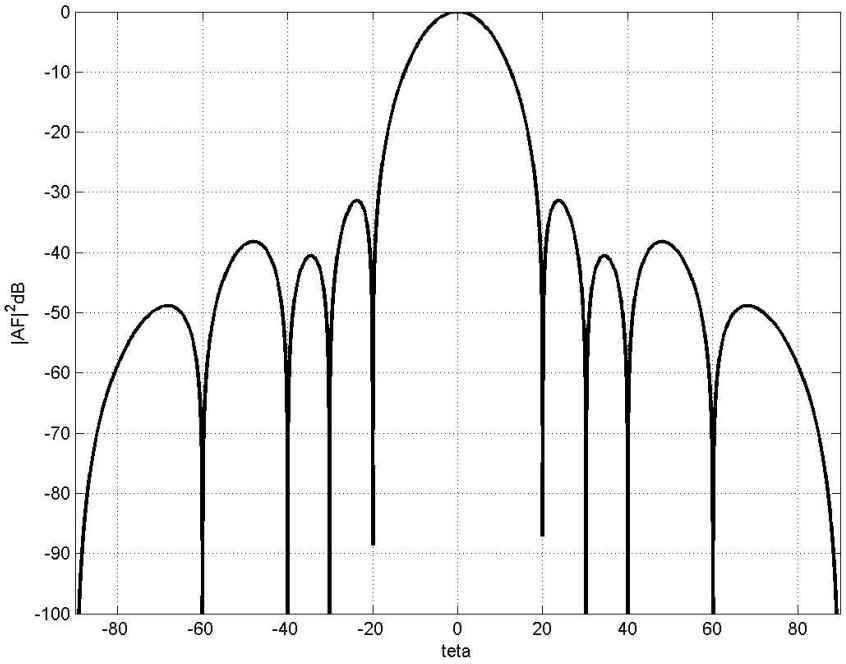
N elemanlı doğrusal bir dizi düşünüldüğünde, bu dizinin uzayın belirli bölgelerini bastırması ve belirli bir yan kulakçık seviyesine sahip olması istendiği varsayılırsa; 20 elemanlı z-ekseni üzerine simetrik yerleştirilmiş ve elemanları arasında $\lambda/2$ mesafe olan bir doğrusal dizinin $\theta = 20°,40°,60°$ 'lerdeki girişimleri bastırması ve yan kulakçık seviyesinin $YKS = -30dB$ olması istenen bir senaryo düşünüldüğünde klasik optimizasyon işlemiyle oluşacak genlik katsayıları Çizelge 4.7'de ve bu dizi için oluşacak örüntü Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekil 4.14'den de anlaşılacağı üzere yöntem istenen koşulları sağlamaktadır fakat dizinin tüm elemanları kullanılmaktadır.

Aynı dizi üzerinde [35]'de verilen yöntem uygulanırsa oluşabilecek iki sonuç Çizelge 4.7'de sırasıyla örnek 1 ve örnek 2 olarak verilmiştir. Çizelge 4.7'deki tüm değerler normalize edilmiş genlik değerleridir ve sıfır katsayıları dizinin o elemanının diziden çıkarıldığını göstermektedir. Örnek 1 ve örnek 2 için oluşacak örüntüler sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Örnek 1 için yöntem toplam 10 elaman geri döndürmüş ve klasik optimizasyonla 20 elaman ile yapılan iş 10 eleman ile yapılmıştır. Örnek 2'de ise toplam 14 eleman aktif dizi elemanı olurken 6 eleman diziden çıkarılmıştır.

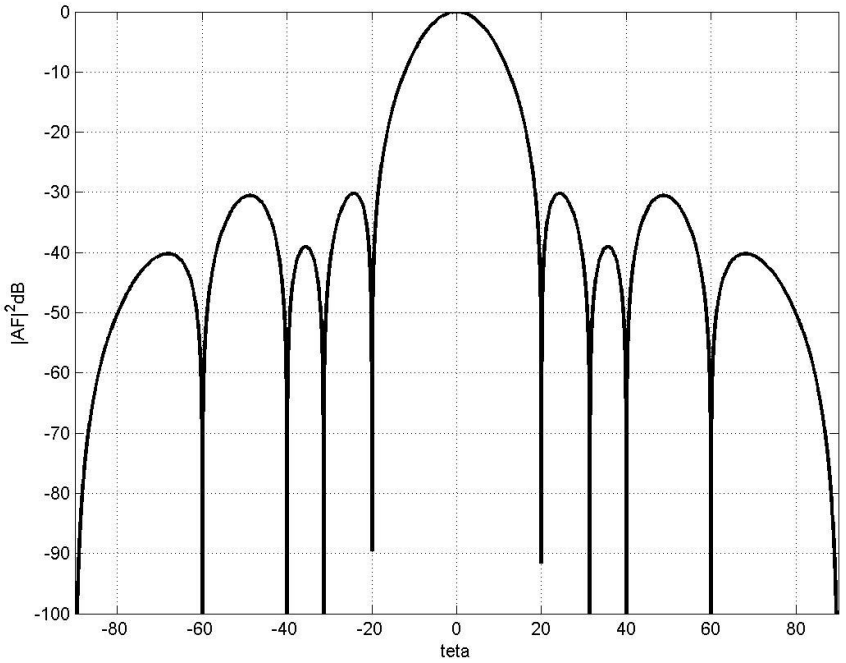
Optimizasyon parametreleri olarak klasik çözüm için $D = 10$, $N_P = 5D = 50$, $F = 0{,}6$ ve $Cr = 0{,}9$ olarak alınmıştır. DE mutasyon şemalarından "DE\best\1\bin" kullanılmıştır. İstenen sıfır derinlik düzeyi olarak $SDD = -80dB$ ve istenen yan kulakçık düzeyi olarak $YKS = -30dB$ alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak Eş. 4.27 kullanılmıştır.



Şekil 4.14. 20 Elemanlı Doğrusal bir dizi için ışıma örüntüsü.



Şekil 4.15. Örnek 1 için ışıma örüntüsü.



Şekil 4.16. Örnek 2 için ışıma örüntüsü.

Çizelge 4.7. Örnek senaryo için genlik katsayıları

Eleman numarası	Tipik Çözüm	Örnek-1	Örnek-2
±1	1	1	1
±2	0,9324	0,8693	0,8936
±3	0,8892	0,6147	0,6210
±4	0,7650	0,3526	0,3691
±5	0,6655	0,1277	0,1423
±6	0,5996	0	0
±7	0,3485	0	0,0255
±8	0,2928	0	0
±9	0,1828	0	0
±10	0,1002	0	0,0026

Küçültme işleminde kullanılan yöntem için $D=10$, $N_P=100$, $F=1$ ve $Cr=0{,}9$ optimizasyon parametreleri kullanılmıştır. DE mutasyon şemalarından "DE\best\1\bin" kullanılmıştır. İstenen sıfır derinlik düzeyi olarak $SDD=-80dB$ ve istenen yan kulakçık düzeyi olarak $YKS=-30dB$ alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak Eş. 4.27 kullanılmıştır.

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'dan da görüleceği üzere yöntem istenilen koşullar altında dizi küçültme işlemini başarıyla gerçekleştirmektedir.

5. DÜZLEMSEL DİZİ OPTİMİZASYONU

Düzlemsel diziler doğrusal dizilere nazaran üzerinde işlem yapılması daha zor dizi geometrileridir [1]. Düzlemsel diziler farklı olarak hem azimut hem de yükselme açılarında işlem yapılabilmesi ve aynı eleman sayısı ile daha küçük bir alana sığdırılabilmesi yönünden doğrusal geometriden daha esnek bir tasarım olanağı sağlamaktadır. Tanım olarak düzlemsel bir dizi, elemanları bir düzlem üzerine yerleştirilmiş olan bir dizi olarak tanımlanır.

Bu bölümde düzlemsel dizilerde örüntü sıfırı sentezi, yan kulakçık bastırımı evrimsel tekniklerin düzlemsel dizilere uygulanması, rastgele yerleştirilmiş düzlemsel diziler ve dizi küçültme konularına değinilmiştir.

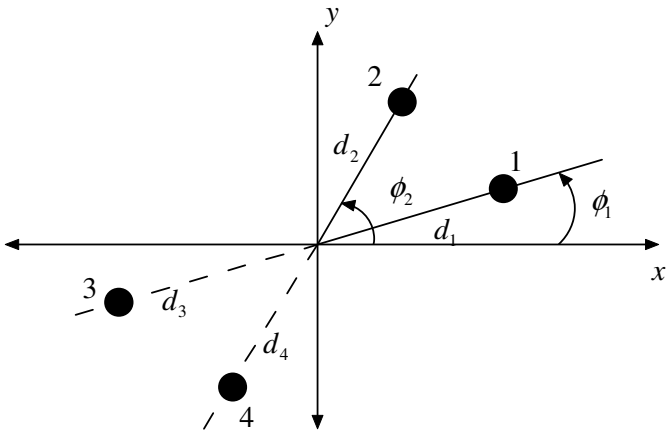
5.1. Sıfır Sentezi

Doğrusal dizilerden farklı olarak düzlemsel dizilerin örüntülerini oluşturmak için göz önünde bulundurulması gereken parametrelerden bir tanesi yükselme açısıdır. Sıfır sentezi problemlerinde de bu yükselme açısı göz önünde bulundurulmalıdır. Düzlemsel diziler için bir sıfır sentezi yöntemi [39] da verilmiştir.

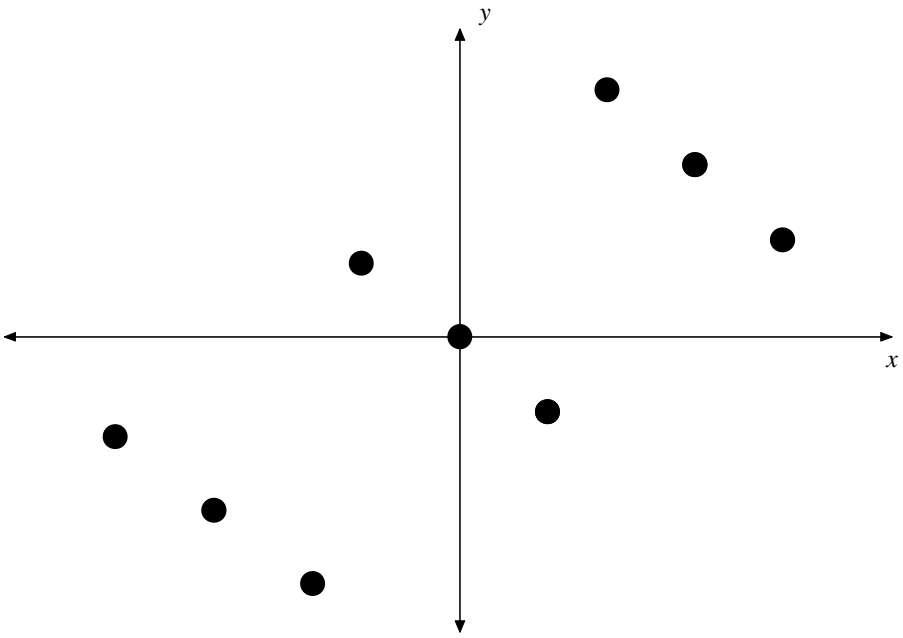
Bu yöntem basit temel dizilerin iki boyutlu konvolüsyon ile daha büyük diziler oluşturmaktadır. Yöntem sayesinde basit kanonik dizilerin sıfırları aynı zamanda büyük dizideki sıfır noktaları olmaktadır. Yöntem analitik bir yöntemdir ve hesap kolaylığı için kanonik dizi elemanları simetrik alınabilir.

5.1.1. Konvolüsyon işlemi

Büyük bir dizinin ağ yapısını oluşturan en küçük diziye kanonik dizi denilmektedir [39]. Örnek bir kanonik dizi Şekil 5.1'de ve bu kanonik dizi ile oluşturulabilecek bir dizi ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Örnek bir kanonik dizi.



Şekil 5.2. Kanonik bir diziden türetilmiş 9 elemanlı romboid bir dizi.

Şekil 5.1'de gösterildiği gibi bir kanonik dizi için; d_j konum vektörlerini, a_j ise akım genliklerini göstermek üzere tüm dizinin akım dağılımı;

$$A(x,y)=\sum_{j=1}^{4} a_j \delta(\rho - d_j) \tag{5.1}$$

olarak verilmektedir. Bu ifadede δ fonksiyonu, $\delta(\rho-\rho_0)$, ρ_0 noktasını göstermek üzere iki boyutlu bir delta fonksiyonunu temsil etmektedir. ρ ise iki boyutlu radyal vektörü simgelemektedir. Şekil 5.1 referans alınırsa $d_3=-d_1$ ve $d_4=-d_2$ olacağı açıktır.

Şekil 5.1'de gösterilen dizi gibi bir 4 elemanlı romboid bir R_1 dizisi (R terimi kanonik dizinin romboid olduğunu alt indis ise dizinin akım genliklerini $a_{1j}, j=1,2,3,4$ simgelemektedir.) ile başka bir R_2 dizisinin iki boyutlu konvolüsyon işlemi sonucu Şekil 5.2'de verilen RA_2 ile gösterilen (alt indis konvolüsyon sayısını göstermektedir.) 9 ayrık elemanlı romboid bir dizi olacaktır. RA_2 dizisinin elemanlarının akım dağılımı;

$$A(x,y)=A_1(x,y)*A_2(x,y)=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4}a_{1i}a_{2j}\delta(\rho-d_i-d_j) \tag{5.2}$$

olarak verilmektedir. Bu işlemin sonucu birbirinden farklı yerlerde 9 ayrık eleman olmaktadır. Genel olarak $(N+1)\times(N+1)$ romboid bir dizi dört elemanlı kanonik bir romboid dizinin N defa kendi üzerine konvolüsyonu ile elde edilebilir. Sembolik olarak bu ifade;

$$RA_N=R_1*R_2*R_3*\cdots*R_{N-1}*R_N=RA_{N-1}*R_N \tag{5.3}$$

şeklinde gösterilebilir.

Kanonik diziler farklı geometrilerde olabilir fakat tüm geometriler romboid geometriden türetilebilmektedir.

5.1.2. Sentez yöntemi

Büyük düzlemsel diziler kanonik dizilerin 2 boyutlu konvolüsyonu ile oluşturulabildiğinden büyük dizinin akım genlikleri de kanonik dizilerin akım genliklerinin konvolüsyonu olmaktadır.

Fourier dönüşümü için bir uzayda konvolüsyon işlemi, diğer uzayda cebirsel çarpım işlemine eş olduğu için ve dizinin genlik dağılımı Fourier dönüşümü ile orantılı olduğu için, $f_{ei}(\theta,\phi)$ 4 elemanlı R_i dizisinin dizi faktörünü temsil etmek üzere RA_N dizisinin dizi faktörü;

$$AF(\theta,\phi)=\prod_{i=1}^{N} f_{ei}(\theta,\phi) \tag{5.4}$$

olarak yazılabilmektedir. Bu işlem sayesinde kanonik bir dizi için oluşturulacak sıfır noktaları toplam örüntünün de sıfır noktaları olacaktır. Bu şekilde toplam örüntü için oluşturulması gereken örüntü sıfırları küçük dizilere bölünerek işlem kolaylığı sağlanmaktadır. Şekil 5.1'de verilen dört elemanlı bir dizi için dizi faktörü ifadesi;

$$\begin{aligned} f_e(\theta,\phi) = {} & a_1 e^{jkd_1 \sin\theta\cos(\phi-\phi_1)} + a_2 e^{jkd_2 \sin\theta\cos(\phi-\phi_2)} \\ & + a_3 e^{-jkd_1 \sin\theta\cos(\phi-\phi_1)} + a_4 e^{-jkd_2 \sin\theta\cos(\phi-\phi_2)} \end{aligned} \tag{5.5}$$

olarak yazılabilir ve bu ifade de $a_1 = a_3$ ve $a_2 = a_4$ koşulu altında;

$$f_e(\theta,\phi) = a_1 \cos[kd_1 \sin\theta\cos(\phi-\phi_1)] + a_2 \cos[kd_2 \sin\theta\cos(\phi-\phi_2)] \tag{5.6}$$

olarak sadeleştirilebilir. Eş. 5.6'nın $(\theta=\theta_0, \phi=\phi_0)$ koşulu altında sıfıra eşitlenmesiyle kanonik bir dizi için sıfır sentezlenmiş olmaktadır ve her dizi için bu işlem vasıtasıyla sentezlenen sıfırlar toplam örüntünün sıfırlarını oluşturmaktadırlar.

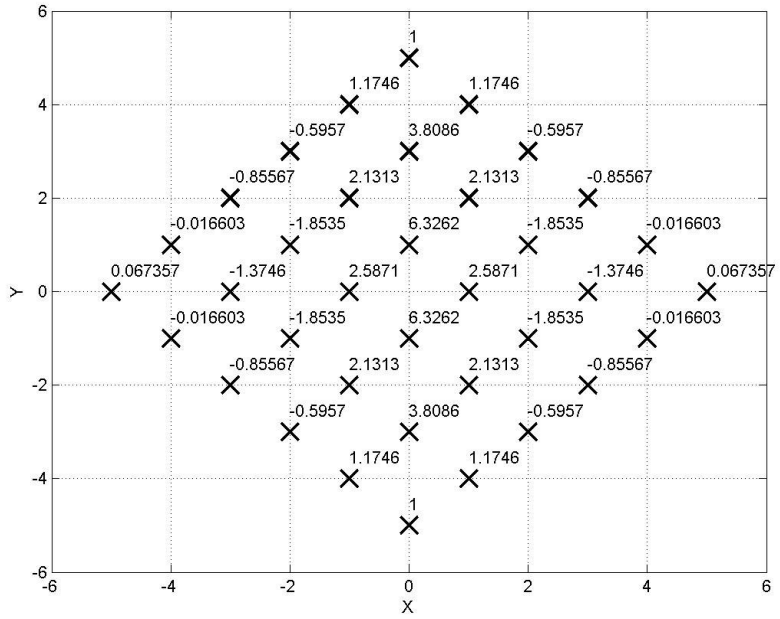
Dizi faktörü ifadelerinde θ ve ϕ kullanılması sadece örüntünün görünür bölgesinde işlem yapmayı olanaklı kılmaktadır. Literatürde çoğunlukla $\xi = \sin\theta$ ve $\eta = \cos\phi$ dönüşümüyle örüntünün görünmez bölgesi için işlem yapılması da mümkündür [39].

Sıfır sentezi prosedürü şu şekilde özetlenebilir:

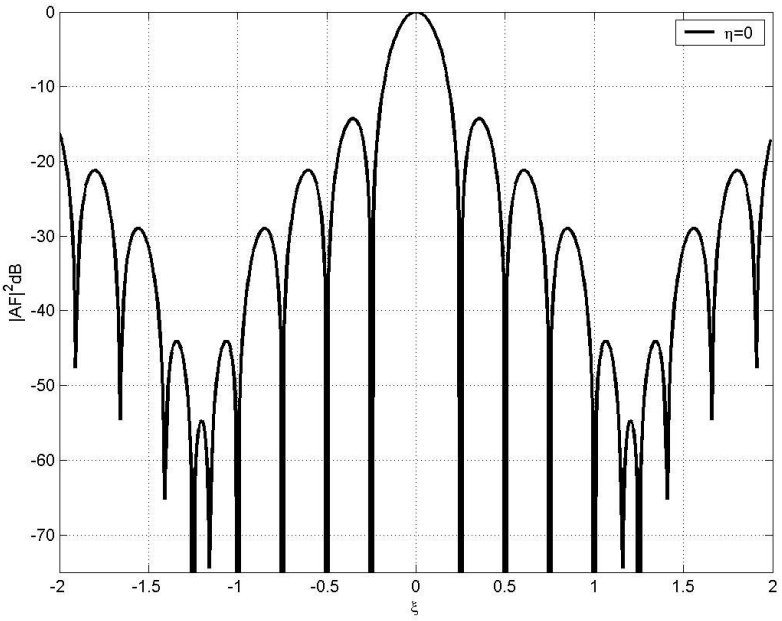
1. İstenen sıfırlar N kanonik diziye eşit olarak dağıtılır.
2. Her kanonik dizi için kendilerine düşen sıfırları sağlayan genlik katsayıları bulunur.
3. Eş. 5.2 kullanılarak bu diziler konvolüsyon işlemine tabi tutulur.

Baklava dilimi şeklinde yerleştirilmiş 36 elemanlı bir dizi için $kd_1 = 1{,}51$ ve $kd_2 = 2{,}61$ koşulları için (ξ,η) uzayında $(\xi_1 = 0{,}25, \eta_1 = 0{,}0)$, $(\xi_2 = 0{,}5, \eta_2 = 0{,}0)$, $(\xi_3 = 0{,}75, \eta_3 = 0{,}0)$, $(\xi_4 = 1, \eta_4 = 0{,}0)$ ve $(\xi_5 = 1{,}25, \eta_5 = 0{,}0)$ noktalarında sıfır sentezlenmek istendiğinde konvolüsyon işlemiyle oluşacak dizi ile bu dizinin (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.

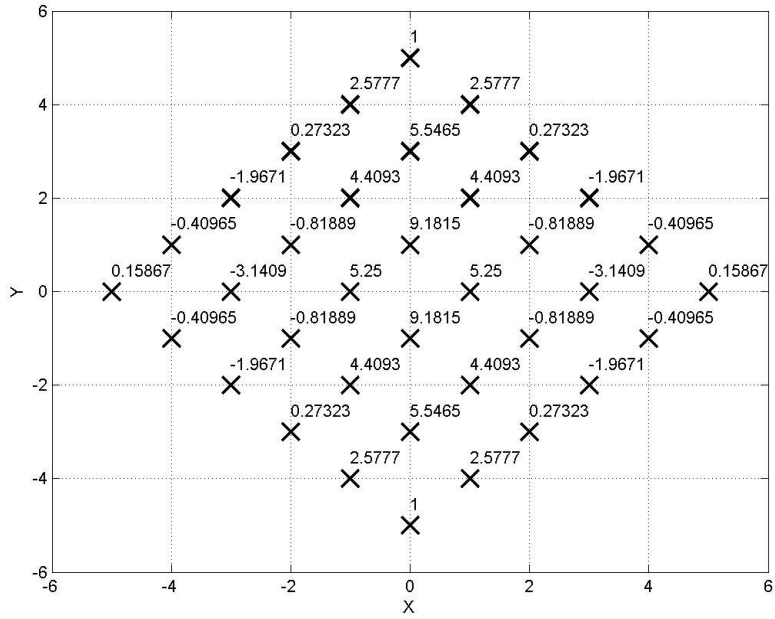
İkinci bir senaryo için baklava dilimi şeklinde yerleştirilmiş 36 elemanlı başka bir dizi ile $kd_1 = 1{,}7$ ve $kd_2 = 2{,}73$ koşulları altında (ξ,η) uzayında $(\xi_1 = 0{,}25, \eta_1 = 0{,}0)$, $(\xi_2 = 0{,}5, \eta_2 = 0{,}0)$, $(\xi_3 = 0{,}75, \eta_3 = 0{,}0)$, $(\xi_4 = 1, \eta_4 = 0{,}5)$ ve $(\xi_5 = 1{,}25, \eta_5 = 0{,}5)$ noktalarında sıfır sentezlenmek istendiğinde konvolüsyon işlemiyle oluşacak dizi ile bu dizinin (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



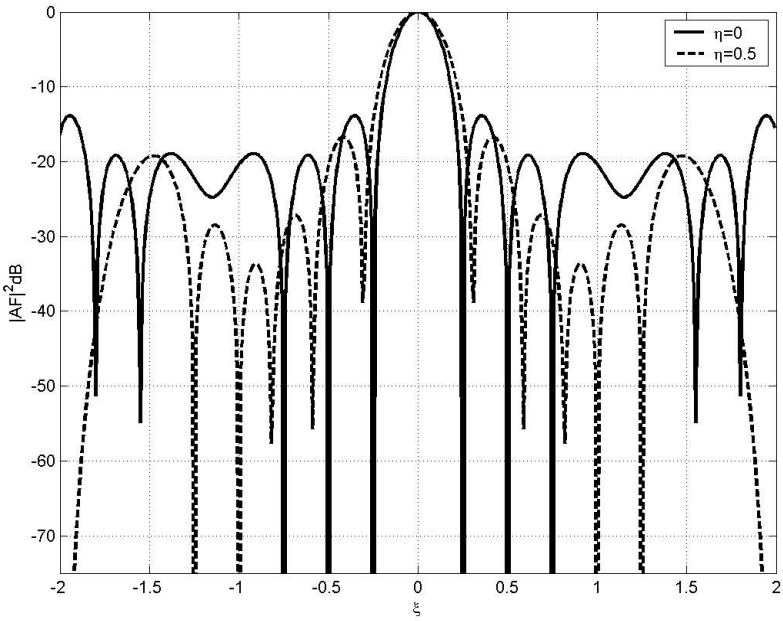
Şekil 5.3. Baklava dilimi şeklindeki kanonik bir diziden türetilmiş 36 elemanlı dizi.



Şekil 5.4. Şekil 5.3'de verilen 36 elemanlı baklava dilimi şeklindeki dizi için (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü.



Şekil 5.5. İkinci senaryo için baklava dilimi şeklindeki kanonik bir diziden türetilmiş 36 elemanlı baklava dilimi şeklindeki dizi.

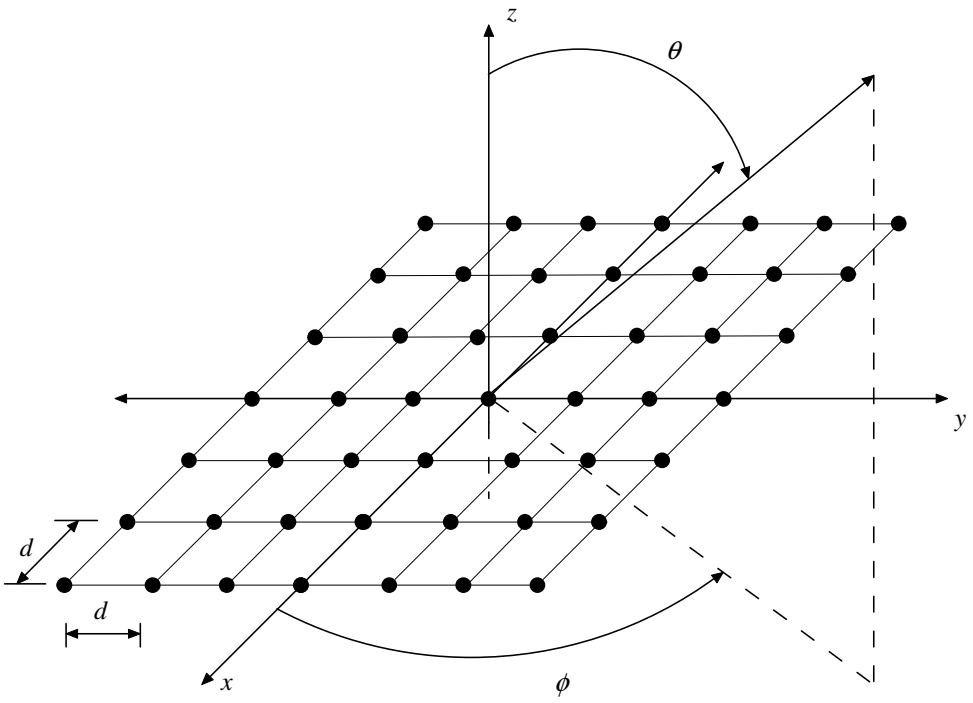


Şekil 5.6. İkinci senaryodaki dizinin (ξ,η) uzayındaki dizi faktörü örüntüsü.

Şekillerden de anlaşılacağı üzere yöntem sentez işlemini başarıyla gerçekleştirmektedir.

5.2. Yan Kulakçık Bastırımı

4. bölümde doğrusal bir dizi için Chebyshev fonksiyonlarının yan kulakçık bastırımı için kullanılabileceği anlatılmıştır. Bu durum düzlemsel diziler için de geçerlidir.



Şekil 5.7. xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş dikdörtgen bir dizi.

Şekil 5.7'de gösterilen xy düzlemine simetrik olarak yerleştirilmiş, elemanlar arası uzaklık sabit olan, akım genlikleri x ve y eksenlerine göre simetrik olan $M^2 = 4N^2$ elemanlı bir düzlemsel dizi için dizi faktörü ifadesi;

$$AF(\theta,\phi) = F(u,v) = 4\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} I_{mn}\cos(2m-1)u \cdot \cos(2n-1)v \qquad (5.7)$$

olarak verilmektedir [27]. Bu ifadede d elemanlar arası uzaklık ve λ çalışma frekansı olmak üzere;

$$u = \frac{\pi d}{\lambda} \sin\theta \cos\phi \tag{5.8}$$

ve

$$v = \frac{\pi d}{\lambda} \sin\theta \sin\phi \tag{5.9}$$

olarak verilmektedir. $M^2 = 4N^2$ elemanlı bir düzlemsel dizi $M = 2N$ elemanlı iki doğrusal dizi ile oluşturulabilmektedir [1]. Düzlemsel bir Chebyshev dizisi, birbirinden farklı iki doğrusal Chebyshev dizisinin doğrusal çarpımı olarak tanımlanabilir [8]. Düzlemsel dizi için dizi faktörü ifadesi $I_{mn} = I_m I_n$ olmak üzere;

$$F(u,v) = 4\sum_{m=1}^{N} I_m \cos(2m-1)u \cdot \sum_{n=1}^{N} I_n \cos(2n-1)v \tag{5.10}$$

olarak da yazılabilmektedir. Eş. 5.10'da verilen iki doğrusal dizinin doğrusal Chebyshev dizisi olduğu düşünülürse bu iki doğrusal dizi için:

$$T_{N-1}(z_0 \cos u) = \sum_{m=1}^{N} I_m \cos(2m-1)u \tag{5.11}$$

ve

$$T_{N-1}(z_0 \cos v) = \sum_{n=1}^{N} I_n \cos(2n-1)v \tag{5.12}$$

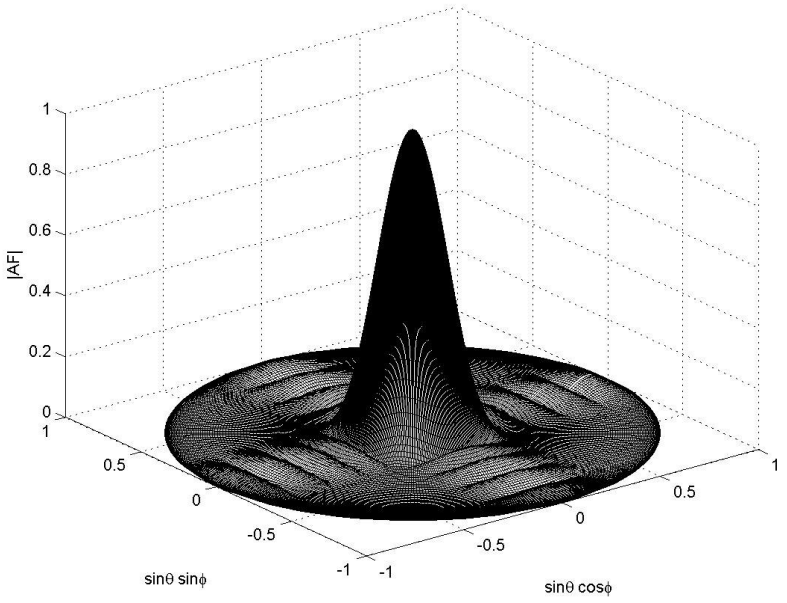
eşitlikleri yazılabilmektedir. Eş. 5.10 ile Eş. 5.11 ve Eş. 5.12 karşılaştırılırsa dizi faktörü ifadesi:

$$F(u,v) = 4T_{N-1}(z_0 \cos u)T_{N-1}(z_0 \cos v) \tag{5.13}$$

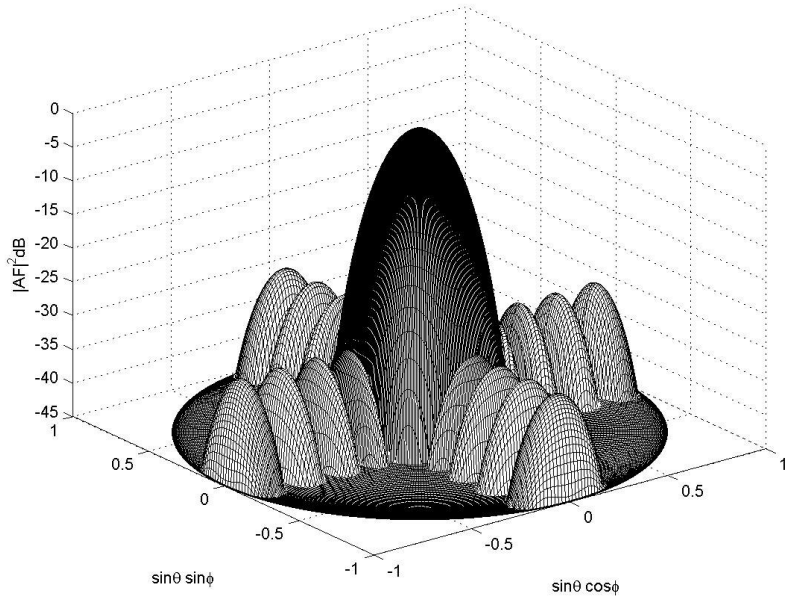
olarak yazılabilmektedir [8]. Bu ifadede z_0 yan kulakçık seviyesi için kontrol parametresidir.

$N^2 = 100$ elemanlı xy eksenine simetrik yerleştirilmiş, elemanlar arası uzaklık eşit ve sabit olan düzlemsel bir dizi için maksimum yan kulakçık seviyesi -30 dB olması durumu için $N = 10$ elemanlı iki doğrusal -30 dB Chebyshev dizisi kullanılabilir. Düzlemsel dizinin x ve y eksenlerine göre simetrik olduğu düşünülürse böyle bir dizi için dizinin normalize genlikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu genliklerle oluşacak toplam örüntü Şekil 5.8'de, güç örüntüsü ise Şekil 5.9'da verilmiştir.

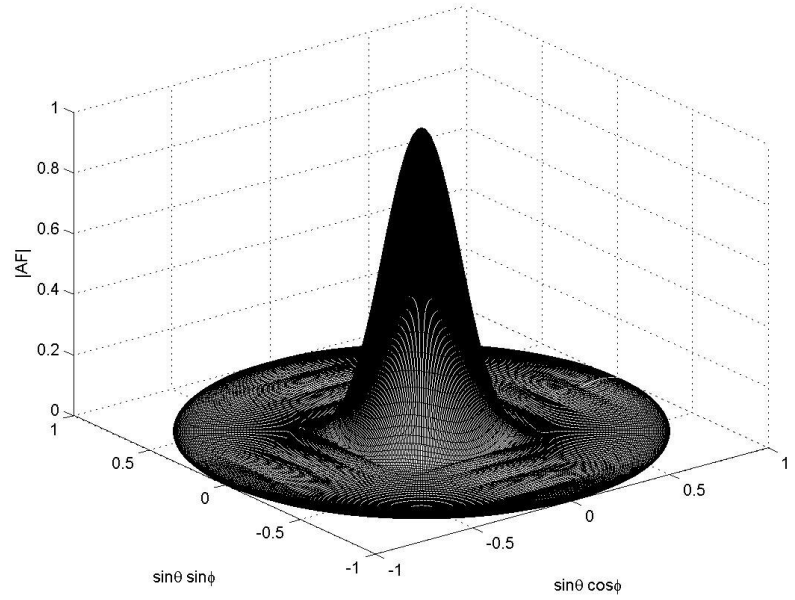
$N^2 = 100$ elemanlı -40dB düzlemsel Chebyshev dizisi için elemanların normalize edilmiş genlikleri Çizelge 5.2'de ve bu genlikler için oluşacak dizi faktörü örüntüsü ile güç örüntüsü sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir.



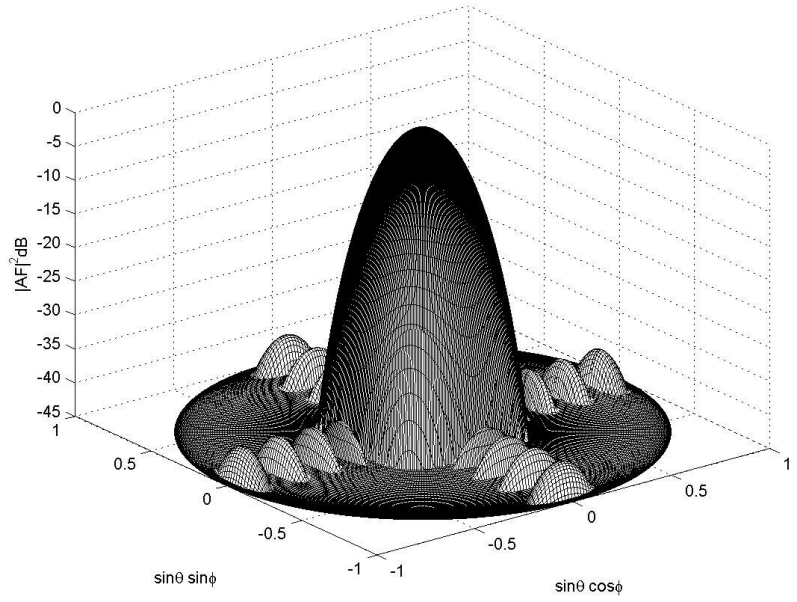
Şekil 5.8. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için ışıma örüntüsü.



Şekil 5.9. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için güç örüntüsü.



Şekil 5.10. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için ışıma örüntüsü.



Şekil 5.11. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için güç örüntüsü.

Düzlemsel Chebyshev dizisi için Eş. 5.13 yerine $M = 2N$ olmak üzere;

$$F(u,v) = 4T_{M-1}(z_0 \cos u \cos v) \tag{5.14}$$

alındığında yan kulakçık seviyesi tüm düzlemler için aynı seviyeye gelmektedir [8]. Eğer Chebyshev polinomları için Eş. 4.12 tanımı yerine;

$$T_{M-1}(z) = \sum_{n=1}^{N} (-1)^{N-n} \frac{2^{2n-2}(2N-1)}{N+n-1} \cdot \binom{N+n-1}{2n-1} z^{2n-1} \tag{5.15}$$

polinom formu kullanılırsa dizi faktörü ifadesi;

$$F(u,v) = 4\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} B_{mn} \cos(2m-1)u \cos(2n-1)v \tag{5.16}$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu ifadede z_0 yan kulakçık seviyesi kontrol parametresi ve

$$(m,n)=\begin{cases} m, & m \geq n \\ n, & m < n \end{cases} \tag{5.17}$$

olmak üzere

$$B_{mn}=\sum_{s=(m,n)}^{N}(-1)^{N-s}\cdot\frac{2(2N-1)}{N+s-1}\cdot\binom{N+s-1}{2s-1}\binom{2s-1}{s-m}\binom{2s-1}{s-n}\left(\frac{z_0}{2}\right)^{2s-1} \tag{5.18}$$

olarak verilmektedir. Bu katsayılar ile oluşturulacak L^2 elemanlı bir düzlem dizi için yan kulakçık seviyesi kontrol edilebilmektedir ve tüm düzlemler için sabit değerli olmaktadır [8].

Çizelge 5.1. 100 elemanlı düzlemsel -30dB Chebyshev dizisi için genlik katsayıları

Eleman Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0663	0,1107	0,1723	0,2261	0,2575	0,2575	0,2261	0,1723	0,1107	0,0663
2	0,1107	0,1849	0,2878	0,3776	0,4300	0,4300	0,3776	0,2878	0,1849	0,1107
3	0,1723	0,2878	0,4478	0,5876	0,6692	0,6692	0,5876	0,4478	0,2878	0,1723
4	0,2261	0,3776	0,5876	0,7711	0,8781	0,8781	0,7711	0,5876	0,3776	0,2261
5	0,2575	0,4300	0,6692	0,8781	1	1	0,8781	0,6692	0,4300	0,2575
6	0,2575	0,4300	0,6692	0,8781	1	1	0,8781	0,6692	0,4300	0,2575
7	0,2261	0,3776	0,5876	0,7711	0,8781	0,8781	0,7711	0,5876	0,3776	0,2261
8	0,1723	0,2878	0,4478	0,5876	0,6692	0,6692	0,5876	0,4478	0,2878	0,1723
9	0,1107	0,1849	0,2878	0,3776	0,4300	0,4300	0,3776	0,2878	0,1849	0,1107
10	0,0663	0,1107	0,1723	0,2261	0,2575	0,2575	0,2261	0,1723	0,1107	0,0663

Çizelge 5.2. 100 elemanlı düzlemsel -40dB Chebyshev dizisi için genlik katsayıları

Eleman Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0157	0,0395	0,0727	0,1051	0,1253	0,1253	0,1051	0,0727	0,0395	0,0157
2	0,0395	0,0995	0,1830	0,2646	0,3154	0,3154	0,2646	0,1830	0,0995	0,0395
3	0,0727	0,1830	0,3366	0,4868	0,5802	0,5802	0,4868	0,3366	0,1830	0,0727
4	0,1051	0,2646	0,4868	0,7039	0,8390	0,8390	0,7039	0,4868	0,2646	0,1051
5	0,1253	0,3154	0,5802	0,8390	1	1	0,8390	0,5802	0,3154	0,1253
6	0,1253	0,3154	0,5802	0,8390	1	1	0,8390	0,5802	0,3154	0,1253
7	0,1051	0,2646	0,4868	0,7039	0,8390	0,8390	0,7039	0,4868	0,2646	0,1051
8	0,0727	0,1830	0,3366	0,4868	0,5802	0,5802	0,4868	0,3366	0,1830	0,0727
9	0,0395	0,0995	0,1830	0,2646	0,3154	0,3154	0,2646	0,1830	0,0995	0,0395
10	0,0157	0,0395	0,0727	0,1051	0,1253	0,1253	0,1051	0,0727	0,0395	0,0157

5.3. Elemanları Rastgele Yerleştirilmiş Düzlemsel Diziler

Genelde literatürde düzlemsel diziler ile ilgili çalışmalar belirli bir temel geometriye sahip diziler ile olmaktadır [37-42]. Düzlemsel diziler için yapılan analitik yöntemler sunan çalışmalar olduğu gibi [8, 36, 39, 41], evrimsel teknikler düzlemsel diziler için de kullanılmaktadır [40, 42].

Literatürde anten dizilerinin elemanlarının yerleriyle oynanması vasıtasıyla örüntü şekillendirme çalışmaları mevcuttur [9, 10, 12, 16, 20, 22, 27, 32, 33, 41]. Doğrusal diziler için elemanların yerlerinin değişmesi dizi faktörünü değiştirmesine rağmen dizi geometrisini bozmamaktadır. Sonuç olarak yine bir doğrusal dizi elde edilmektedir fakat düzlemsel dizilerde dizinin geometrisini dizi elemanlarının koordinat sistemi merkezine göre konumları belirlemektedir. Bu konumlar her eleman için bir konum vektörüyle temsil edilebilir. Temel geometrik şekiller için bu vektörler belirli bir düzen dâhilinde olmaktadır. Bu düzen analitik hesap yapmayı mümkün kılmaktadır fakat tamamen düzensiz yani rastgele konumları olan elemanlardan oluşmuş diziler de oluşturulabilir. Bu tür diziler üzerindeki işlemler parametreleri konum vektörleri olan bir optimizasyon problemi şeklinde düşünülebilir [43].

[43]'de öne sürülen yöntem, dizi elemanlarının belirli koşulları sağlamak için düzlem üzerinde doğru yerleri araması prensibine dayanmaktadır. Bu işlem DE algoritmasını arama metodu olarak kullanmaktadır. Algoritmanın kurulumu için öncelikle sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Sınır koşullarının doğru seçimi önemlidir çünkü yanlış sınır değerleri ile optimum nokta arama uzayı dışında bırakılabilir; bu durum da yakınsamayı olumsuz etkilemektedir. Yöntem dizi elemanlarının konumlarını öncelikle $[-\lambda, \lambda]$ aralığında düzgün olarak dağıtmaktadır. Daha sonra istenilen örüntü özellikleri sağlanıncaya kadar bir optimizasyon işlemine tabi tutmaktadır. İstenilen kriterler sağlandığında algoritma durmakta ve sonuçta herhangi bir temel geometrik şekle benzetilemeyecek bir dizi ortaya çıkmaktadır.

Bu yöntemin olumsuz tarafları olarak evrimsel bir algoritma kullandığı için çözüm bulamama olasılığının olması ve dizi elemanları arasındaki etkileşimleri ihmal ederek işlem yapması gösterilebilir.

Yöntem sadece konum optimizasyonu yapmakta olup dizi elemanları olarak birim genlikli sıfır fazlı izotropik kaynak kullanmaktadır.

20 elemanlı düzlemsel bir anten dizisi ile (θ,ϕ) uzayında $(30^\circ,14^\circ)$, $(40^\circ,14^\circ)$, $(50^\circ,32^\circ)$, $(60^\circ,32^\circ)$ ve $(70^\circ,53^\circ)$ noktalarının bastırılması senaryosu için elemanların xy düzlemindeki olası konum kombinasyonlarından biri dalga boyu cinsinden Şekil 5.12'de gösterilmiştir ve sayısal olarak Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Bu dizi için sadece belirlenen noktaları bastırması istenmektedir. Bu durum için

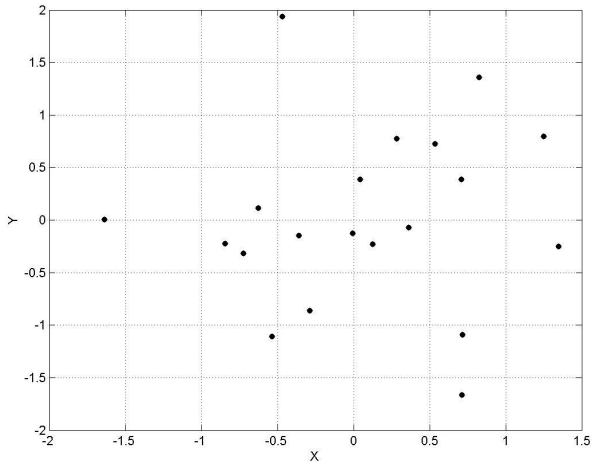
$$f = \sqrt{\sum_{i=1}^{5} w_i \left| \left| AF_i(\theta_i,\phi_i) \right| - SDD_i \right|^2} \tag{5.19}$$

amaç fonksiyonu kullanılmıştır. SDD_i i. sıfır noktası için istenen sıfır derinlik düzeyidir ve istenen tüm sıfır noktaları için -90dB alınmıştır. $AF_i(\theta_i,\phi_i)$ i. sıfır noktası için dizi faktörü değeridir. $w_i = 1$ katsayıları ilk koşul olarak atanmıştır ve $AF_i(\theta_i,\phi_i) \le SDD_i$ koşulu altında $w_i = 0$ olacak şekilde ayarlanmıştır.

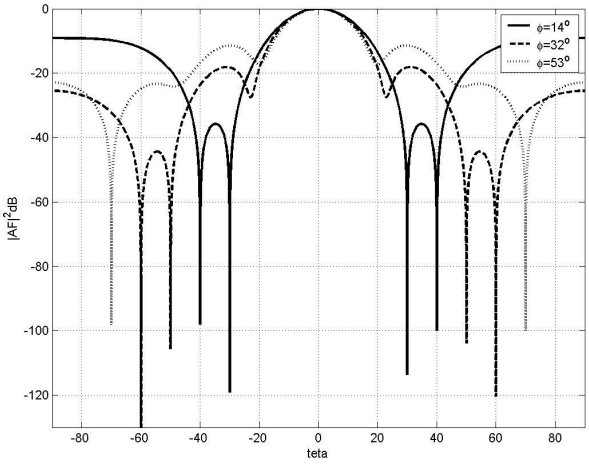
Optimizasyon işleminde mutasyon faktörü $F = 0{,}6$ alınmıştır. Popülasyon bireyleri konum vektörleri olduğundan x ve y bileşenlerine sahiptirler. Bu sebeple x ve y bileşenleri için eşzamanlı bir arama yapılmaktadır. Bu sebeple x bileşenleri için Cr_x ve y bileşenleri için de Cr_y olarak adlandırılan iki farklı

çaprazlama faktörü tanımlanmıştır. Bu işlemde $Cr_x = Cr_y = 0{,}9$ alınmıştır. Popülasyon büyüklüğü $N_P = 100$ ve $D = 20 \times 2$'lik bir matris olarak alınmıştır.

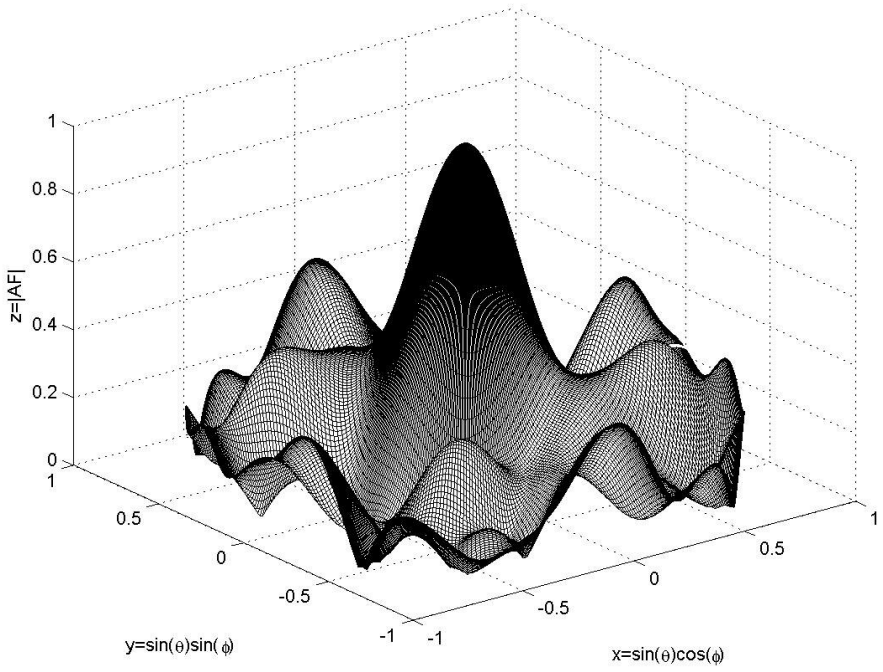
Çizelge 5.3'de verilen konumlardaki dizi elemanlarının oluşturacağı güç örüntüsü $\phi = 13^\circ$, $\phi = 32^\circ$ ve $\phi = 53^\circ$ kesitleri için Şekil 5.13'de toplam örüntü ise Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.12. 20 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi.



Şekil 5.13. 20 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü.



Şekil 5.14. 20 elemanlı *xy* düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü.

Çizelge 5.3. 20 elemanlı dizi için dalga boyu cinsinden eleman konumları

Eleman Numarası	*x*	*y*
1	0,0437	0,3854
2	0,7116	-1,6628
3	-0,8448	-0,2255
4	0,3639	-0,0704
5	-0,4692	1,9399
6	0,7154	-1,0940
7	1,3466	-0,2515
8	-0,5345	-1,1061
9	-0,3585	-0,1500
10	0,5342	0,7238
11	0,7078	0,3849
12	1,2495	0,7957
13	-0,7253	-0,3163
14	0,1250	-0,2313
15	-0,6241	0,1149
16	0,8242	1,3571
17	-0,0062	-0,1281
18	-1,6363	0,0048
19	0,2827	0,7773
20	-0,2878	-0,8637

Şekil 5.13'den anlaşılacağı gibi yöntem sıfır sentezi işini başarıyla gerçekleştirmektedir. Optimizasyon işleminde sadece sıfır noktaları ve sıfır derinlik düzeyi göz önüne alındığından diğer kritik örüntü parametreleri için bir şey söylenememektedir. Algoritma bu şekliyle fiziksel olarak yapılandırılması güç eleman konumları geri döndürebilmektedir. Örneğin iki eleman, fiziksel büyüklükler hesaba katılmadığı için birbirine çok yakın çıkabilmektedir. Algoritma yan kulakçık seviyesi hakkında da bir şey söylememektedir ve oluşacak örüntülerin yan kulakçık seviyeleri Şekil 5.14'de de görüleceği gibi pratik kullanım için uygun olmayabilmektedir. Bu durumlar algoritmada kullanılan amaç fonksiyonuna bu kritik faktörleri eklemekle aşılabilir. Eş. 5.19 yerine:

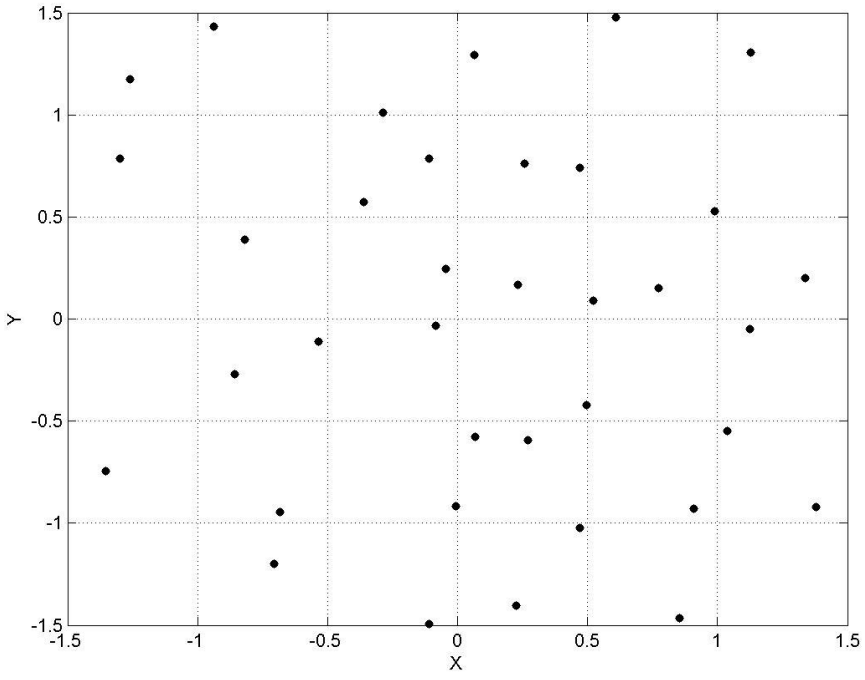
$$f = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{K} w_i \left| AF_i(\theta_i, \phi_i) \right| - SDD_i \right)^2 + w_d \left| d - d_{\min} \right|^2 + w_s \left| YKS - YKS_{maks} \right|^2} \qquad (5.20)$$

genelleştirilmiş ifadesinin kullanılması ile dizi faktörü örüntüsü için kabul edilen kritik parametreler de hesaba katılmaktadır [44]. Bu ifadede d terimi elemanlar arası istenen minimum uzaklığı, $d_{\min}$ ise dizinin elemanları arasındaki anlık minimum uzaklığı, YKS istenen yan kulakçık seviyesini ve YKS_{maks} anlık maksimum YKS değerini göstermektedir. w_d ve w_s ağırlıkları ilk koşul olarak 1 alınmaktadır ve $d \le d_{\min}$ ve $YKS \ge YKS_{maks}$ durumları için sırasıyla $w_d = 0$ ve $w_s = 0$ olacak şekilde ayarlanmaktadır.

36 eleman ile en fazla -13,5dB yan kulakçık seviyesine sahip olan ve elemanlar arası uzaklık, en az 0,25 dalga boyu olan, (θ, ϕ) uzayında $(40^\circ, 30^\circ)$, $(60^\circ, 30^\circ)$ ve $(80^\circ, 30^\circ)$ açılarını bastıran bir düzlemsel dizi oluşturulması senaryosu için algoritma sonucu oluşan dizi Şekil 5.15'de ve bu dizinin elamanlarının konumları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. 36 elemanlı dizi için dalga boyu cinsinden eleman konumları

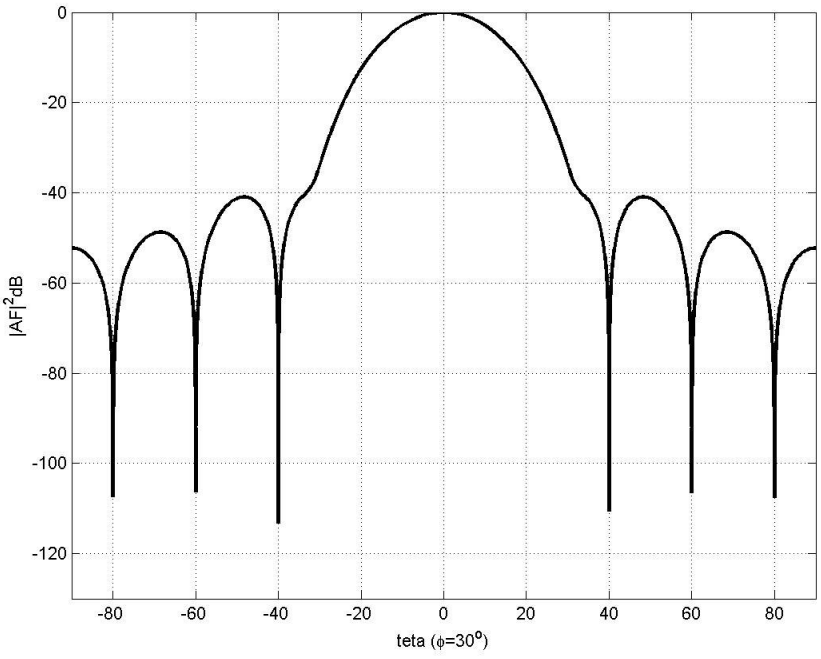
Eleman Numarası	x	y	Eleman Numarası	x	y
1	-0,3603	0,5719	19	0,0659	1,2940
2	-0,2876	1,0089	20	0,4958	-0,4234
3	-0,707	-1,1983	21	-0,6841	-0,9473
4	-0,0848	-0,0308	22	0,6078	1,4792
5	0,4705	0,7408	23	-0,0076	-0,9150
6	-0,1085	0,7838	24	1,1257	-0,0503
7	1,1290	1,3076	25	0,2244	-1,4037
8	0,9892	0,5297	26	0,8538	-1,4648
9	0,5207	0,0918	27	1,3370	0,2007
10	-0,9392	1,4309	28	-1,2991	0,7866
11	-0,8569	-0,2700	29	-1,3527	-0,7440
12	1,3779	-0,9201	30	0,2586	0,7608
13	0,7735	0,1529	31	0,2320	0,1686
14	-0,1102	-1,4952	32	1,0383	-0,5465
15	0,2701	-0,5932	33	0,0691	-0,57640
16	-0,8198	0,3887	34	-1,2612	1,1743
17	0,4715	-1,0234	35	-0,0448	0,2444
18	-0,5353	-0,1109	36	0,9072	-0,9295



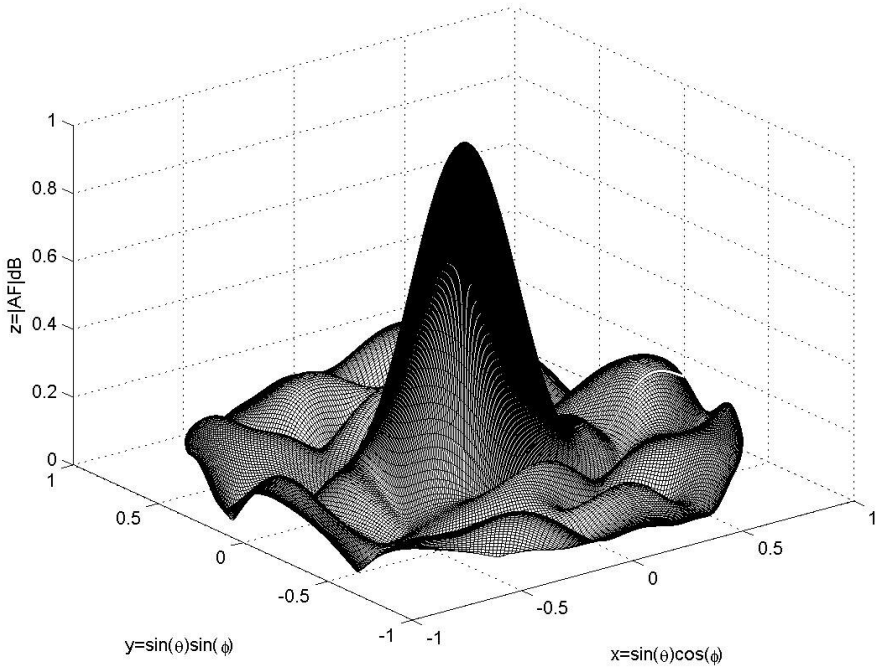
Şekil 5.15. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi.

Optimizasyon işleminde popülasyon büyüklüğü $N_P = 200$, $D = 36 \times 2$ olarak alınmıştır. Çaprazlama ağırlıkları $Cr_x = Cr_y = 0{,}95$ ve mutasyon faktörü $F = 0{,}2$ olarak alınmıştır. Mutasyon şeması olarak "DE/best/1/bin with jitter" kullanılmıştır. İstenilen örüntü parametreleri $SDD = -100dB$, $d = 0{,}25\lambda$ ve $YKS = -13dB$ olarak ayarlanmıştır. Sonuçta Şekil 5.15 ile verilen dizi için $(\theta, \phi = 30^\circ)$ güç örüntüsü Şekil 5.16'da, toplam örüntü ise Şekil 5.17'de verilmiştir. Algoritma sonuçta elemanlar arası minimum mesafe olarak $d_{\min} = 0{,}26\lambda$ ve maksimum yan kulakçık seviyesi olarak ta $YKS_{maks} = -14{,}42dB$ değerlerini geri döndürmüştür.

Şekil 5.16 istenen sıfır noktalarında istenen sıfır derinlik düzeyine ulaşıldığını göstermektedir.



Şekil 5.16. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü.



Şekil 5.17. 36 elemanlı xy düzlemine rastgele yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü.

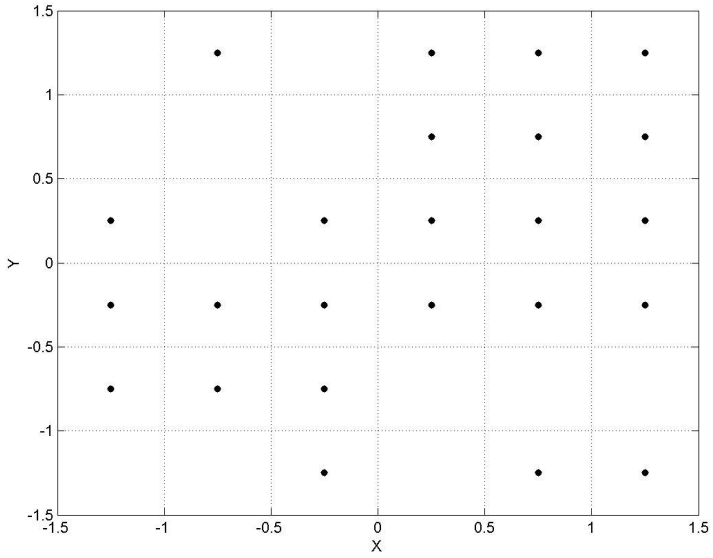
5.4. Dizi Küçültme

Dizi küçültme 4. bölümde bahsedildiği gibi dizinin belirli koşulları sağlayacak şekilde dizi elemanlarının diziden çıkarılması işlemidir. Küçültme işlemini sağlayabilen bir yöntem [44] de verilmiştir. Bu yöntemde dizi elemanlarının genlik değerleri $[0,\infty)$ aralığında tamsayılar olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar ortamında yapılan işlemler göz önüne alındığında bu değer eğer 32-bit işaretsiz tamsayı değerleri kullanılıyorsa $[0,2^{32}]$ aralığına indirgenmektedir. Bu problem, 10 elemanlı küçük bir dizi için bile düşünüldüğünde yaklaşık 2×10^{96} farklı sonuç arasından doğru olanı seçme işlemi ile eşdeğer bir problem hâlini almaktadır.

Genlikler için bulunan tamsayı değerleri algoritma sonucunda normalizasyon işleminden geçirilerek dizi elemanlarının akım genlikleri hesaplanmaktadır. Algoritmanın işlem süresince negatif değerli genlikler sıfır olmaya zorlanmakta ve algoritma çıktısı olarak bazı elemanları sıfır akım genlikli bir dizi elde edilmektedir. Sıfır genlikli elemanlar diziden çıkarılmış olmaktadır. Yöntem algoritma olarak "DE/target-to-best/1/bin" kullanmaktadır.

Yöntemin sonuçlarını incelemek için elemanları xy düzlemine simetrik olarak yerleştirilmiş ve elemanlar arası uzaklık sabit ve yarım dalga boyu olan 6×6 düzlemsel bir dizi düşünülebilir. Böyle bir dizi için belirli açıları bastırabilecek şekilde dizi elemanlarının genlikleri ayarlanabilmektedir fakat dizi aynı işi daha az elemanla da yapabilmektedir.

(θ,ϕ) uzayında $(40^\circ,30^\circ)$, $(60^\circ,30^\circ)$ ve $(80^\circ,30^\circ)$ açılarının bastırılması senaryosu için yöntemin verdiği sonuç dizisi Şekil 5.18'de ve bu dizi için akım genlikleri Çizelge 5.5'de verilmiştir.

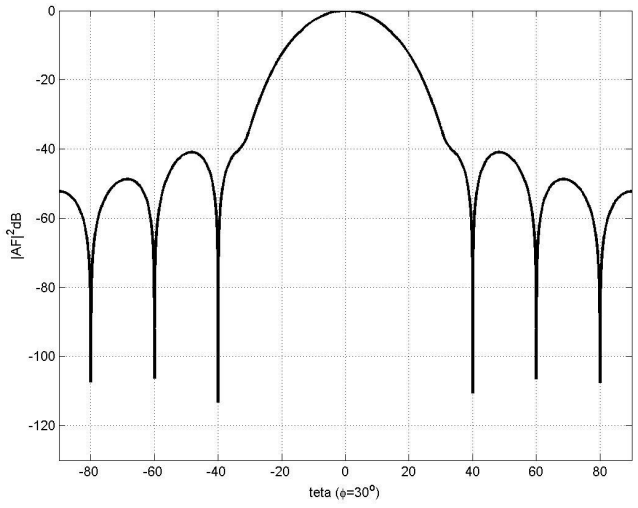


Şekil 5.18. 36 elemanlı xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizide kalan elemanların yerleri.

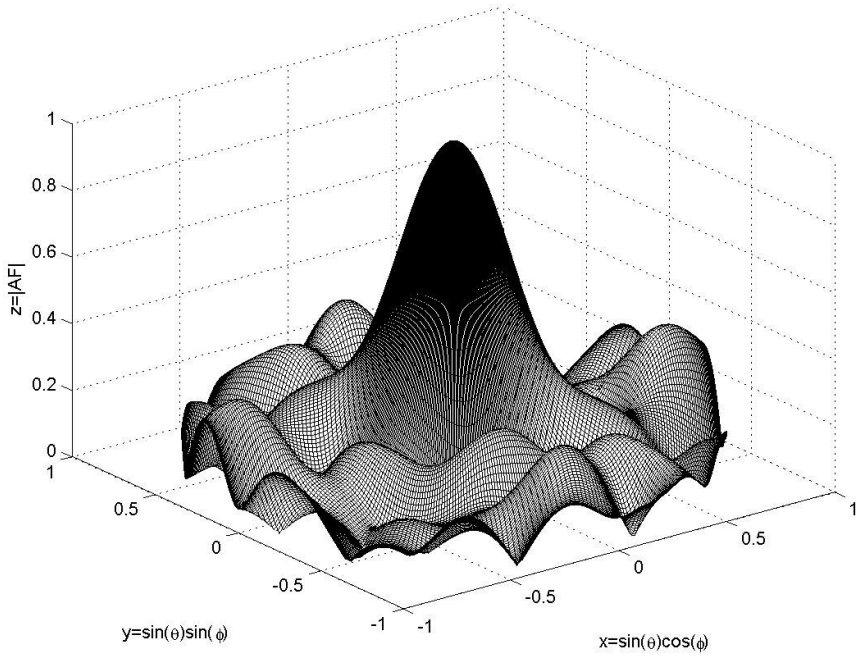
Çizelge 5.5. 36 elemanlı xy düzlemine simetrik yerleştirilmiş düzlemsel dizi için akım genlikleri ve dalga boyu cinsinden eleman konumları

Eleman numarası	x	y	Akım genliği	Eleman numarası	x	y	Akım genliği
1	-1,25	-1,25	0	19	0,25	-1,25	0
2	-1,25	-0,75	0,9645	20	0,25	-0,75	0
3	-1,25	-0,25	0,1509	21	0,25	-0,25	0,7738
4	-1,25	0,25	0,2126	22	0,25	0,25	0,6409
5	-1,25	0,75	0	23	0,25	0,75	0,7872
6	-1,25	1,25	0	24	0,25	1,25	0,7176
7	-0,75	-1,25	0	25	0,75	-1,25	0,5370
8	-0,75	-0,75	0,4041	26	0,75	-0,75	0
9	-0,75	-0,25	0,4045	27	0,75	-0,25	0,3396
10	-0,75	0,25	0	28	0,75	0,25	0,6304
11	-0,75	0,75	0	29	0,75	0,75	0,4593
12	-0,75	1,25	0,6180	30	0,75	1,25	0,7782
13	-0,25	-1,25	0,5455	31	1,25	-1,25	0,6440
14	-0,25	-0,75	1	32	1,25	-0,75	0
15	-0,25	-0,25	0,6449	33	1,25	-0,25	0,7517
16	-0,25	0,25	0,4704	34	1,25	0,25	0,5872
17	-0,25	0,75	0	35	1,25	0,75	0,4883
18	-0,25	1,25	0	36	1,25	1,25	0,9307

Yeni 24 elemanlı dizi için $(\theta, \phi = 30^\circ)$ düzlemindeki güç örüntüsü ve dizinin toplam ışıma örüntüsü sırasıyla Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de verilmiştir. Çizelge 5.5'den de anlaşılacağı gibi dizinin 12 elemanı çıkarılmış ve Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'den de anlaşılacağı üzere istenen kriterler toplam 24 eleman ile sağlanmıştır.



Şekil 5.19. Küçültme işleminden geçmiş toplam 24 elemanlı xy düzlemine yerleştirilmiş düzlemsel dizi için güç örüntüsü.



Şekil 5.20. Küçültme işleminden geçmiş toplam 24 elemanlı xy düzlemine yerleştirilmiş düzlemsel dizi için dizi faktörü örüntüsü.

Optimizasyon işleminde popülasyon büyüklüğü $N_P = 200$, $D = 36$ olarak alınmıştır. Çaprazlama faktörü $Cr = 0{,}95$ ve mutasyon faktörü $F = 0{,}2$ olarak alınmıştır. İstenilen sıfır derinlik düzeyi olarak $SDD = -90dB$ alınmıştır.

Aktif elemanların sayısı hüzme genişliğiyle doğrudan ilişkilidir dolayısıyla hüzme genişliğinin amaç fonksiyonuna eklenip kontrol edilmeye çalışılmasından yakınsama kötü etkilenebilir. Aktif eleman sayısının azalmasıyla dizinin elektriksel boyutu azalmakta dolayısıyla yönelticiliği ve hüzme genişliği azalmaktadır.

Şekil 5.20'den anlaşılacağı gibi yöntem uygulanırken YKS hesaba katılmamıştır. Amaç fonksiyonu olarak Eş. 5.19 kullanılmıştır fakat $w_d = 0$ olmak kaydıyla Eş. 5.20'nin kullanılması YKS için kontrol imkânı sunmaktadır.

6. SONUÇ

Bu tezde doğrusal dizilerde evrimsel tekniklerden diferansiyel evrim algoritmasının sıfır kaydırmak için kullanılması ve belirlenen sıfır koşullarının daha az elemanla sağlanması, düzlemsel dizilerde ise rastgele yerleştirilmiş düzlemsel diziler ile dizi küçültme konuları üzerinde çalışılmıştır .

Düzlemsel anten dizilerinde konum optimizasyonu ile örüntü sıfırlarının oluşturulabileceği gösterilmiştir. Literatürde var olan yöntemlerden farklı olarak var olan düzgün bir düzlemsel dizinin elemanlarının yerlerinin oynatılması vasıtasıyla örüntünün sıfırlanması yerine tamamen rastgele dağıtılmış elemanlar vasıtasıyla önceden kestirilemeyecek dizi geometrileri ile örüntü sıfırlanmaktadır. Yöntem evrimsel tabanlı bir yöntemdir ve DE algoritması kullanmaktadır.

Dizi küçültme problemlerinde kullanılabilecek DE algoritması ile çalışan bir yöntem de sunulmuştur. Bu yöntemin sonuçları hem doğrusal hem de düzlemsel anten dizileri için incelenmiş ve küçültme işlemini başarıyla gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Literatürde yer alan yöntemlerden farklı olarak yöntem diziden çıkan elemanların dizi faktörüne etkilerini genlik optimizasyonu vasıtasıyla dengelenmektedir ve diziden çıkarılacak elemanlar algoritma tarafından seçilmektedir.

Yöntemler C++ programlama dili ve arayüz için C++ Builder 6.0 yazılımı kullanılarak programlanmıştır. İki ve üç boyutlu şekillerin çiziminde MATLAB paket programı kullanılmıştır.

Çalışmalarda dizi elemanları arasındaki etkileşimler ihmal edilmiştir. Bu etkileşimlerin de hesaba katılmasıyla çalışmalar derinleştirilebilir. Dizi küçültme probleminde örnek olarak verilen kare yapı yerine daha karmaşık geometriler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Balanis C. A., "Antenna theory analysis and design 1st ed.", ***John Wiley & Sons***, New York, 204-282, (1982).

2. Kraus J. D., Marhefka R. J., "Antennas: for all Applications 3rd ed.", ***McGraw-Hill***, Boston, 90-126, (2002).

3. Milligan T. A., "Modern antenna design 1st ed.", ***McGraw-Hill***, New York, 48-65, (1985).

4. Fusco V. F., "Foundations of antenna theory and techniques 1st ed.", ***Pearson***, Harlow, 56-92, (2005).

5. Griffiths J., "Radio wave propagation and antennas : An introduction 1st ed.", ***Prentice-Hall International***, Englewood Cliffs, 142-179, (1987).

6. Silver S., "Microwave antenna theory and design (reprint)", ***IEE***, London, 257-279, (1984).

7. B. Allen, M. Ghavami, "Adaptive array systems fundamentals and applications 1st ed.", ***John Wiley & Sons***, Chichester, 32-53, (2005).

8. Tseng F. I., Cheng D. K., "Optimum scannable planar arrays with an invariant sidelobe level", ***Proceedings of the IEEE.***, 56:1771-1778 (1968).

9. Kumar B. P., Branner G. R., "Synthesis of unequally spaced linear arrays by legendre series expansion", ***Proc. Antennas and Propagation Society International Symposium***, 4: 2236-2239 (1997).

10. Spellman M. I., Strait B. J., "The Z-transform and unequally spaced arrays", ***Proceedings of the IEEE.***, 55(8): 1505-1506 (1967).

11. Goto N., "A synthesis of array antennas for high directivity and low sidelobes", ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 20:427-431 (1972).

12. Murino V., Trucco A., Regazzoni C. S., "Synthesis of unequally spaced arrays by simulated annealing", ***IEEE Trans. on Signal Processing***, 44:119-123 (1996).

13. Karaboga D., Guney K., Akdagli A., "Antenna array pattern nulling by controlling both amplitude and phase using modified touring ant colony optimization algorithm", ***Int. J. Electronics***, 91:241-251 (2004).

14. Yang S., Gan Y. B., Qing A., “Moving phase center antenna arrays with optimized static excitations”, ***Microwave Opt. Technology Lett.***, 38:83-85 (2003).

15. Yang S., Gan Y. B., Qing A., “Antenna-array pattern nulling using a differential evolution algorithm”, ***Int. J RF and Microwave CAE***, 14:57-63 (2004).

16. Kurup D. G., Himdi M., Rydberg A., “Synthesis of uniform amplitude unequally spaced antenna arrays using the differential evolution algorithm”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 51:2210-2217 (2003).

17. Tennant A., Dawoud M. M., Anderson A. P., “Array pattern nulling by element position perturbations using a genetic algorithm”, ***Electronics Letters***, 30:174-176 (1994).

18. Liao W. P., Chu F. L., “Array pattern nulling by phase and position perturbations with the use of the genetic algorithm”, ***Microwave Opt. Technology Lett.***, 15:251-256 (1997).

19. Unz H., “Linear arrays with arbitrarily distributed elements”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 8:222-223 (1960).

20. Kumar B. P., Branner G. R., “Design of unequally spaced arrays for performance improvement”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*** 47:511-523 (1999).

21. Harrington R. F., “Sidelobe reduction by nonuniform element spacing”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 9:187-192 (1961).

22. Ishimaru A., “Theory of unequally-spaced arrays”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 11:691-702 (1962).

23. Alphones A., Passoupathi V., “Null steering in phased arrays by positional perturbations: A genetic algorithm approach”, ***Proc. IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology***, 303-307 (1996).

24. Hejres J. A., “Null steering in phased arrays by controlling the positions of selected elements”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 52(11): 2891-2895 (2004)

25. Stuckman B. E., Hill J. C., “Method of null steering in phased array antenna systems”, ***Electronics Letters***, 26(15):1216-1218 (1990).

26. Mitchell. R. J., Chambers B., Anderson A. P., “Array pattern synthesis in the complex plane optimised by a genetic algorithm”, ***Electronics Letters***, 32(20):1843-1845 (1996).

27. Skolnik M. I., Nemhauser G., Sherman J. W. III., “Dynamic programming applied to unequally spaced arrays”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 12:35-43 (1964).

28. Ismail T. H., Dawoud M. M., “Null steering in phased arrays by controlling the element positions”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 39(11): 1561-1566, (1991).

29. Dawoud M. M., Ismail T. H., “Experimental verification of null steering by element position perturbations”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 40(11): 1431-1434 (1992)

30. Al-Mushcab R. T., Dawoud M. M., Ragheb H. A., “Null steering in adaptive arrays by controlling the elevations of the antenna array elements”, ***Proc. Antennas and Propagation Society International Symposium***, 2: 1244-1247, (1994).

31. O'Neill D. J., “Element placement in thinned arrays using genetic algorithms”, ***Proc. OCEANS’94***, 2: 301-306 (1994).

32. Skolnik M. I., Nemhauser G., Kefauver L. C., Sherman J. W., “Thinned, unequally spaced arrays designed by dynamic programming”, ***Proc. Antennas and Propagation Society International Symposium***, 1: 224-227 (1963).

33. Ishimaru A., Chen Y-S., “Thinning and broadbanding antenna arrays by unequal spacings”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 13(1): 34-42 (1965).

34. Haupt R. L., “Thinned arrays using genetic algorithms”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 42:993-999 (1994).

35. Aksoy E., Afacan E., “Pattern nulling in linear arrays with fewer elements by using differential evolution algorithm”, ***Proc. ELECO’2007 (Electronics)***, 260-264, (2007).

36. Goto N., “Pattern synthesis of hexagonal planar arrays”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 20:479-481 (1972).

37. Hsiao J. K., “Properties of a nonisosceles triangular grid planar phased array”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 20:415-421 (1972).

38. Einarsson O., “Optimization of planar arrays”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 27:86-92 (1979).

39. Laxpati S. R., “Planar array synthesis with prescribed pattern nulls” ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 30:1176-1183 (1982).

40. DeFord J. F., Gandhi O. P., “Phase-only synthesis for minimum peak sidelobe patterns for linear and planar arrays”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 36:191-201 (1988).

41. Kumar B. P., Branner G. R., “Generalized analytical technique for the synthesis of unequally spaced arrays with linear, planar, cylindrical or spherical geometry”, ***IEEE Trans. on Antennas and Propagat.***, 53:621-634 (2005).

42. Yang S., Nie Z., “Time modulated planar arrays with square lattices and circular boundaries”, ***Int. J. Numer. Model.***, 18:469-480 (2005).

43. Aksoy E., Afacan E., “Düzlemsel anten dizilerinde diferansiyel evrim algoritması ile örüntü sıfırlama”, ***ELECO’2006 Bildiriler kitabı(Elektronik)***, 77-79 (2006).

44. Aksoy E., Afacan E., “Planar antenna pattern nulling using differential evolution algorithm”, ***International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)***, (Article In Press, 2008).

45. Goldberg D. E., “Genetic algorithms in search, optimization and machine learning”, ***Addison-Wesley***, Massachusetts, (1989).

46. Price KV, Storn RM, Lampinen JA., “Differential evolution: a practical approach to global optimization 1st ed.”, ***Springer***, Berlin, 20-182 (2005).

47. Storn R., Price K., “Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces”, ***Journal of Global Optimization***,11: 341-359 (1997).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: Aksoy, Ertuğrul
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 17.08.1982, Malatya
Medeni hali	: Bekâr
Telefon	: +90 (0) 312 2317400/2307
Web adresi	: http://w3.gazi.edu.tr/~ertugrulaksoy
e-posta	: ertugrulaksoy@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece		Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	:	Gazi Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik. Müh. Bölümü	2005
Lise	:	Malatya Fen Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Aksoy E., Afacan E., “Düzlemsel Anten Dizilerinde Diferansiyel Evrim Algoritması ile Örüntü Sıfırlama”, ELECO’2006 Bildiriler kitabı (Elektronik), 77-79, (2006).

2. Aksoy E., Afacan E., “Pattern Nulling in Linear Arrays with Fewer Elements by Using Differential Evolution Algorithm”, Proc. ELECO’2007 (Electronics), 260-264, (2007).

3. Aksoy E., Afacan E., “Planar Antenna Pattern Nulling Using Differential Evolution Algorithm”, International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), (Article In Press, 2008)
   DOI: 10.1016/ j.aeue.2007.11.006.

Hobiler

Temel bilimler, Edebiyat, Fotoğrafçılık, Basketbol