

DİZİ ANTENLERDE GENETİK ALGORİTMA İLE SIFIR KAYDIRILMASI

NULL STEERING WITH GENETIC ALGORITHM IN ARRAY ANTENNA

NURİ GÖKMEN KARAKİRAZ

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2010

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adnan KÖKSAL

Üye : Prof. Dr. Erdem YAZGAN

Üye : Prof. Dr. Birsen SAKA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur BAYSAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

ONAY

Bu tez/...../2010 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

...../...../2010

Prof.Dr. Adil DENİZLİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

DİZİ ANTENLERDE GENETİK ALGORİTMA İLE SIFIRLARIN KAYDIRILMASI

Nuri Gökmen KARAKİRAZ

ÖZ

Bu tez çalışmasında düzlemsel antenlerde sıfır kaydırma üzerine araştırma yapıldı. Problemin çözümünde sıfır kaydırma tekniği olarak genetik algoritma kullanıldı. Farklı sıfır kaydırma teknikleri ve onların avantajlarına değinildi. Ayrıca sıfırların gerektiği gibi kaydırılabilmesi için önem arz eden faz kaydırıcılar konusundan bahsedildi. Hem genlik hem faz, yalnız genlik, yalnız faz kontrollü yapılar ile sıfırların kaydırılması sağlandı. Popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı ve jenerasyon oranı gibi genetik algoritma sonuçları üzerinde etkisi olan parametreler konusunda çalışıldı. Simülasyon sonuçları düzlemsel dizi yapılarda her yönde başarıyla sıfır kaydırma yapılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Sıfırların Kaydırılması, Dizi Antenler, Genetik Algoritma

Danışman : Prof. Dr. Erdem YAZGAN, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

NULL STEERING WITH GENETIC ALGORITHM IN ARRAY ANTENNA

Nuri Gökmen KARAKİRAZ

ABSTRACT

Null Steering in planar antenna arrays is investigated in this thesis. Genetic algorithms were employed to solve the problem of null steering in planar arrays. Different null steering techniques and their advantages were described. Also the information about phase shifters were given due to the importance of steering nulls efficiently. Null steering was achieved by amplitude only, phase only, and amplitude and phase (complex weight) control in this thesis. Patterns were observed before and after steering nulls. The effect of genetic algorithm parameter such as population size, mutation rate and generation rate were determined. Results of the simulation show that single null can be steered in any directions of planar arrays using genetic algorithm.

Keywords : Null Steering, Array Antenna, Genetic Algorithm

Advisor : Dr. Erdem YAZGAN, Professor, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşmasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve bana güvenini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erdem YAZGAN'a titiz değerlendirmeleri, sabırlı yol göstericiliği ve her şey için teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında yardımlarını ve desteğini eksik etmeyen eski şube müdürüm Hv.Kont.Alb. Erdoğan Erdem'e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim ailem annem İlkin Karakiraz, babam Muhsin Karakiraz, kardeşim Görkem Toprak ve abim Taner Karakiraz'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımı yazmam ve tasnif etmem de emeği geçen Elif Oğuz ve Yeliz Debbağ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı destekleyen Mustafa Çoşkun, Mustafa Akbaş ve Nilgün Altın olmak üzere bu çalışmada katkısı olan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. DİZİ ANTENLER.....	3
2.1. GİRİŞ	3
2.2. DÜZLEMSEL DİZİ ANTENLER.....	3
2.3. DİZİ ANTENLERDE TARAMA PERFORMANSI	9
2.4. DİZİ ANTENLERDE ÖRÜNTÜ OLUŞTURMA TEKNİKLERİ	11
2.4.1. FOURIER DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ	12
2.4.2. SCHELKUNOV'S YÖNTEMİ	13
2.4.3. DOLPH-CHEBYSHEV YÖNTEMİ	14
2.4.4. TAYLOR DOĞRUSAL KAYNAK YÖNTEMİ	16
2.5. DİZİ YAPILARDA KARŞILIKLI ETKİLEŞİM	18
3. FAZ KAYDIRICILAR	20
3.1. GİRİŞ	20
3.2. FAZ KAYDIRICI TİPLERİ.....	20
3.3. DEĞERLENDİRME.....	24

4. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI	26
4.1. GİRİŞ	26
4.2. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI TEKNİKLERİ.....	28
4.2.1. GENLİK VE FAZ KONTROLLÜ YAPILAR.....	28
4.2.2. YALNIZ FAZ KONTROLLÜ YAPILAR.....	30
4.2.2.1.KÜÇÜK FAZ SAPMALARI.....	32
4.2.2.2.BÜYÜK FAZ SAPMALARI.....	34
4.2.3. YALNIZ GENLİK KONTROLLÜ YAPILAR.....	35
4.2.4. DİZİ ELEMANLARININ KONTROLÜ.....	39
4.2.5. DİZİ ELEMANLARININ YERLERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ İLE KONTROL	43
4.3. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER.....	45
4.4. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI UYGULAMALARI	48
4.4.1. GENETİK ALGORİTMA	48
4.4.2. TABU ARAMA YÖNTEMİ.....	49
4.4.3. CLEAN TEKNİK ALGORİTMASI.....	51
5. GENETİK ALGORİTMA	55
5.1. GİRİŞ	55
5.2. GENETİK ALGORİTMAYA GENEL BAKIŞ.....	56
5.2.1. GENETİK İŞLEMLER.....	57
5.2.1.1.ÇARPRAZLAMA.....	57
5.2.1.2.MUTASYON	58
5.3. GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK SIFIRLARIN KAYDIRILMASI	59

5.4. DÜZLEMSEL ANTENLERDE İKİ BOYUTLU TARAMA	65
5.5. GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SIFIR KAYDIRMA ÖRÜNTÜLERİ	68
5.6. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE MUTASYON DEĞİŞKENİ	76
5.7. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE JENERASYON DEĞİŞKENİ	78
5.8. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE POPÜLASYON SAYISININ DEĞİŞİMİ	79
5.9. GENLİK VE FAZ DEĞERLERİ ÜZERİNE GENETİK ALGORİTMA	
UYGULAMALARI İLE SIFIRLARIN KAYDIRILMASI	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	94

Şekil 2.1	N elemanlı doğrusal dizi geometrisi	5
Şekil 2.2	N elemanlı faz kaymalı dizi konfigürasyonu	7
Şekil 2.3	10 elemanlı doğrusal dizi örüntüsü (-) Ana huzmenin 50° kaydırıldığı örüntü (---).....	10
Şekil 2.4	16 elemanlı doğrusal dizi için Fourier dönüşüm yöntemi kullanılarak elde edilen örüntü (-) Arzu edilen örüntü (---)	12
Şekil 2.5	16 elemanlı doğrusal dizi için Schelkunov yöntemi kullanılarak elde edilen örüntü (-) Eş beslemeli örüntü (---).....	14
Şekil 2.6	(a) 20 elemanlı doğrusal dizi için -20 dB yan huzme seviyeli Dolph-Chebyshev yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü (b) 20 elemanlı doğrusal dizi için -40 dB yan huzme seviyeli Dolph-Chebyshev yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü	15
Şekil 2.7	(a) 32 elemanlı doğrusal dizinin -40 dB yan huzme seviyeli ve $\bar{n} = 3$ için Taylor doğrusal kaynak yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü (b) 32 elemanlı doğrusal dizinin -40 dB yan huzme seviyeli ve $\bar{n} = 10$ için Taylor doğrusal kaynak yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü.....	17
Şekil 4.1	Her bir elemanı genlik ve faz kontrollü dizinin konfigürasyonu	28
Şekil 4.2	Sadece faz kontrollü dizi yapısına ait konfigürasyon.....	31
Şekil 4.3	(a) 41 elemanlı 30 dB Chebyshev örüntüsü (b) $\theta=7.07^\circ$, $u=0.123'$ e sıfır kaydırıldığında oluşan örüntü	33

Şekil 4.4	(a) Sıfır ağırlıklarının eşlenik seçildiği diziye ait basit yapı	
	(b) Sunulan yöntemle ait 5 elemanlı dizi yapısı	36
Şekil 4.5	7 elemanlı doğrusal diziye 25° ve 35° de sıfır eklendiğinde, kalan bir sıfırın ise 65° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü (-)	
	7 elemanlı doğrusal diziye 25° ve 35° de sıfır eklendiğinde, kalan bir sıfırın ise 70° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü (---).....	38
Şekil 4.6	(a) Seçilmiş elemanların kontrollü dizi konfigürasyon	
	(b) Alt dizi kontrollü konfigürasyon	40
Şekil 4.7	11 elemanlı eş beslemeli doğrusal bir dizinin örüntüsü (-)	
	11 elemanlı eş beslemeli doğrusal dizinin son elemanına ait örüntü (---)	41
Şekil 4.8	Dizi elemanlarının pozisyonlarının değiştirilmesi ile kontrol edilebilen konfigürasyon.....	43
Şekil 4.9	(a) 20 elemanlı 30dB Chebyshev örüntüsü 70° ye sıfır kaydırıldığında	
	(b) Aynı örüntüde orijinal örüntünün ilk üç yan huzmesine sıfır kaydırıldığında	48
Şekil 4.10	(a) 20 elemanlı eş beslemeli dizinin orijinal örüntüsü (düz çizgi) 20° , 40° , 50° ve 80° yönlerinde Tabu arama yöntemi ile sıfırların eklenmesi sonucu oluşan örüntü	
	(b) 20 elemanlı eş beslemeli dizinin orijinal örüntüsü (düz çizgi) 20° , 40° , 50° ve 80° yönlerinde Analitik yöntem ile sıfırların eklenmesi sonucu oluşan örüntü	51
Şekil 4.11	8 elemanlı dizinin sıfır kaydırma yapılmayan orijinal örüntüsü (-)	
	8 elemanlı dizinin Clean Teknik kullanılarak sıfır kaydırma yapılan örüntüsü (---).....	54
Şekil 5.1	Diziyi oluşturan elemanların meydana getirdiği gen matrisi	60

Şekil 5.2	Kromozom seçiminin şematik diyagramı	61
Şekil 5.3	Temel bir genetik algoritma akış diyagramı	64
Şekil 5.4	x ve y eksenleri boyunca dx ve dy aralıklarıyla yerleştirilmiş elemanlara sahip MxN boyutlu düzlemsel antene ait geometri	65
Şekil 5.5	(a) Bakış Açısı Az:0 El:90 olduğunda 11x11' lik Eş beslemeli diziye ait orijinal örüntü	
	(b) Bakış Açısı Az:73 El:62 olduğunda 11x11' lik Eş beslemelidiziye ait orijinal örüntü	68
Şekil 5.6	11x11'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi=0^0$, $\theta=40^0$ örüntü diyagramı	69
Şekil 5.7	11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=0^0$ 'a göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta=40^0$ ' ye kaydırılmış	69
Şekil 5.8	11x11'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi=26^0$, $\theta=32^0$ örüntü diyagramı	70
Şekil 5.9	11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=26^0$ 'a göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta=32^0$ ' ye kaydırılmış	70
Şekil 5.10	11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=26^0$ 'a göre kesit alındığında elde edilen yakınlaştırılmış örüntü diyagramı, sıfır $\theta=32^0$ ' ye kaydırılmış	71
Şekil 5.11	11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=-90^0$, $\theta=40^0$ örüntü diyagramı	71
Şekil 5.12	11x11'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi=-90^0$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı,sıfır $\theta=40^0$ ' ye kaydırılmış	72
Şekil 5.13	15x15'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=-90^0$, $\theta=40^0$ örüntü diyagramı	72
Şekil 5.14	15x15'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi=-90^0$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta=40^0$ 'ye kaydırılmış	73
Şekil 5.15	20x20'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi=0^0$, $\theta=19^0$ örüntü diyagramı	74
Şekil 5.16	20x20'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi=0^0$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta=19^0$ ' ye kaydırılmış	74

Şekil 5.17	25x25'lik Eş Beslemeli diziye ait $\varphi = 0^\circ$, $\theta = 9^\circ$ örüntü diyagramı	75
Şekil 5.18	25x25'lik Eş beslemeli diziye ait $\varphi = 0^\circ$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 9^\circ$ ye kaydırılmış	75
Şekil 5.19	Eş beslemeli dizi orijinal örüntüsü	82
Şekil 5.20	Hem genlik hem faz kontrollü sıfır kaydırma uygulaması	83
Şekil 5.21	Sadece genlik kontrollü sıfır kaydırma uygulaması	86
Şekil 5.22	Sadece faz kontrollü sıfır kaydırma uygulaması	88

Çizelge 3.1	Diyod faz kaydırıcılar için performans karakteristikleri	21
Çizelge 3.2	Ferit faz kaydırıcılar için performans karakteristikleri	22
Çizelge 3.3	Faz kaydırıcının bit sayılarına göre tarama açısının sapması, yarı güç huzme genişliği, yan huzme seviyesi ve yönlülük değerleri değişimi	25
Çizelge 4.1	20 elemanlı anten dizisine 4 sıfır eklendiğinde sıfırların pozisyonları ve derinlikleri	50
Çizelge 5.1	Genetik algoritma çaprazlama işlemi.....	63
Çizelge 5.2	11x11 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.	76
Çizelge 5.3	15x15 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.	77
Çizelge 5.4	20x20 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.	77
Çizelge 5.5	11x11 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.	78
Çizelge 5.6	15x15 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.	78
Çizelge 5.7	20x20 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.	79
Çizelge 5.8	11x11 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.	80
Çizelge 5.9	15x15 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.	80
Çizelge 5.10	20x20 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.	80
Çizelge 5.11	11x11'lik uniform dizinin genlik ve faz değerleri.....	83
Çizelge 5.12	11x11'lik dizi antenin hem faz hem genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen faz değerleri	84
Çizelge 5.13	11x11'lik dizi antenin hem faz hem genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen genlik değerleri.....	85

Çizelge 5.14 11x11'lik dizi antenin sadece genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen genlik değerleri	87
Çizelge 5.15 11x11'lik dizi antenin sadece faz değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen faz değerleri.....	89
Çizelge 5.16 Farklı sıfır kaydırma metotları sonrası elde edilen sıfır derinlikleri	90

1. GİRİŞ

Anten sistemleri tasarlanırken yayım karakteristikleri; huzme genişliği, yönlendirilebilirlik, polarizasyon, bant genişliği ve empedans tasarımcının göz önünde bulundurması gereken önemli parametrelerdir. Bu parametreler kullanılarak elde edilen örüntüde ise sıfırların arzu edilen yönlerde bulunması, görünür bölgede arzu edilen dağılımın sağlanması yani örüntü şekillendirmesi ve ana huzmenin sağlanabilecek en dar ve aynı zamanda yan huzmelerin en düşük seviyelerde olması istenir [1-7].

Anten dizilerinde arzu edilen yönlere sıfırların kaydırılması bize istenmeyen karıştırıcı sinyallerden kaçınma şansı tanıyacaktır. Bunun yanı sıra günümüz elektromanyetik ortam kirliliğinin artması ve bu artışın devam edeceğine dair beklentiler istenilen yönlerde sıfırlara sahip antenler tasarlanmasına olan ihtiyacın da artmasına sebep olmaktadır [8,14-30].

Sıfırların kaydırılması metoduyla ilgili olarak uygulanan genel yaklaşım arzu edilen sıfırlar için dizi faktörünün köklerini sıfıra eşitlemek ve ortaya çıkan doğrusal eşitliklerin çözümüyle istenilen kompleks sabitleri elde etmektir [3-6,]. Arzu edilen doğrultularda örüntü şeklinde sıfırlar üreten tekniklerin çoğu sadece genlik, sadece faz, hem genlik hem faz ve anten elemanlarının yerlerinin değiştirilmesi mantığına dayanır [16,18,20-24,26,29,33].

Dizi elemanlarının sadece genliklerinin kontrol edilmesiyle yapılan tasarımlar uygulama açısından daha kolaydır ve nicemleme hatasına karşı hassasiyetleri azdır [20,29]. Ancak dizi elemanlarının genliklerini değiştirmek için, dizi elemanı sayısı kadar zayıflatıcı gerekir.

Faz kontrollü yapılar ile istenilen yönlere sıfırların kaydırılması problemi ise doğrusal olmayan bir problemdir ve analitik yöntemlerle çözülmesi mümkün değildir. Dizi elemanlarının fazlarındaki değişimin çok küçük olduğu kabul edilerek, doğrusal çözüm benzetmeleri yapılabilir. Bu durumda da ana huzmeye göre simetrik açılarda sıfırların üretilmemesi sorunu ortaya çıkar [17-18,21-24].

En kullanışlı, ancak donanımsal olarak getirdiği yüklerden dolayı pahalı bir yöntem hem faz hem genlik kontrollü sıfır kaydırma tekniğidir [14,18,23,24]. Dizi elemanlarının yerlerinde küçük değişiklikler yaparak ana huzmeye göre simetrik sıfırlara sahip örüntü elde edilebilir, ancak bu durumda dizi elemanlarının yerlerinin değiştirilmesi için hassas motorlar kullanılmalıdır [15,16,33].

Şimdiye kadar bahsettiğimiz analitik çözüm tekniklerinin yanı sıra adaptif metotlar da mevcuttur. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki; analitik yöntemler karışık bir yapıya sahip olan düzlemsel anten dizileri için uygun sonuçlara ulaşmada yeterince başarılı olamamaktadır. Bu durumda araştırmacılar daha optimal olan adaptif yaklaşımları kullanmayı seçmektedirler.

Bu metotlara örnek olarak, Genetik Algoritma, Tabu Search, Clean Technique gösterilebilir [26,30,42-46].

Genetik biliminden esinlenerek ortaya çıkan genetik algoritma, basit yapısına rağmen karmaşık problemlerin çözümünde etkilidir. Genetik algoritmanın temel avantajı, optimize etmeye çalıştığı problemin tabiatıyla ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamasıdır. Bu algoritma, karmaşık araştırma uzayında global bir çözümü çok rahat bulabilmektedir. Daha önce ki çalışmalarda [26,30,42,45-46] sıfırların kaydırılması amacıyla başarılı bir biçimde kullanılmıştır. Bu çalışmada da arzu edilen yönde sıfıra sahip örüntü elde edebilmek amacıyla genlik, faz, hem genlik hem faz değerlerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır. Genetik algoritma içinde kullanılan genetik işlemler, bu işlemlerin sonuç üzerine olan etkileri elde edilen örüntü diyagramları üzerinden açıklanmıştır. Genetik algoritma kullanılarak arzu edilen bölgelere sıfırların kaydırılabileceği gösterilmiştir.

2. DİZİ ANTENLER

2.1. GİRİŞ

Antenler istenilen bir sinyali belirli bir doğrultuya yaymak veya belirli doğrultudan istenilen bir sinyali almak için kullanılmaktadır.

Günümüzde mikrodalga, sayısal sinyal işleme ve bütünleşmiş devre teknolojisindeki yeniliklerinde getirdiği katkılarla birlikte dizi antenler ve onların uygulama alanlarında da yeni çalışmalar öne çıkmaya başladı.

Özellikle haberleşme ve askeri teknoloji alanlarında önemli bir kullanım alanı bulan dizi antenlerin ana huzmelerini uzayda elektronik olarak istenilen bir noktaya yönlendirebilme kabiliyetinin bulunması, ayırt edici bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kabiliyet bize önemli ölçüde esneklik ve daha iyi enerji yönetimi sunmaktadır.

Anten dizileri yüksek kazançlı anten örüntüsü elde etmek için kullanılmaktadır. Bu sayede antenin ana huzmesi dar ve güçlü olacaktır. Ana huzme istenilen doğrultuya yönlendirilerek istenen sinyal güçlü olarak alınıp yayınlanabilecektir.

Dizi antenler, anten teknolojisi ve kontrol teknolojisini, ana huzmeyi elektronik olarak kontrol etmek, yan huzme seviyelerini optimum seviyede düşük tutmak ve sıfırları arzu edilen yönler kaydırarak istenmeyen sinyallerin etkisinden kurtulmak amacıyla, bir arada kullanılmaktadır [1,2].

2.2. DÜZLEMSEL DİZİ ANTENLER

Düzlemsel diziler ana huzmelerini uzayda herhangi bir yöne diziyi oluşturan antenlerin fazlarını aşamalı olarak değiştirmek suretiyle yönlendirebilirler. Düzlemsel dizi antenlerin performans limitleri, dizi antenin karakteristiklerine ve huzme tarama etkilerine bağlıdır.

Uygulamalarda dizi anten yapılarının kullanılmasının nedeni yüksek yönlülüğe sahip olmayı sağlayan karakteristiklerinin olmasıdır. Bunlar yüksek kazanç, dar huzme ve huzmenin mekanik ve elektronik olarak istenilen yöne yönlendirilebilmesidir [1-6].

Anteni oluşturan eleman sayıları arttıkça yönlülük ve kazançta artmaktadır. Ancak kayıplar göz önünde bulundurulduğunda bu artış eleman sayısının artışına aynı doğrultuda kazançta artışla yanıt vermez. Belli bir değerden sonra azalarak artar ve sonrasında doyuma ulaşır azalmaya başlar [1].

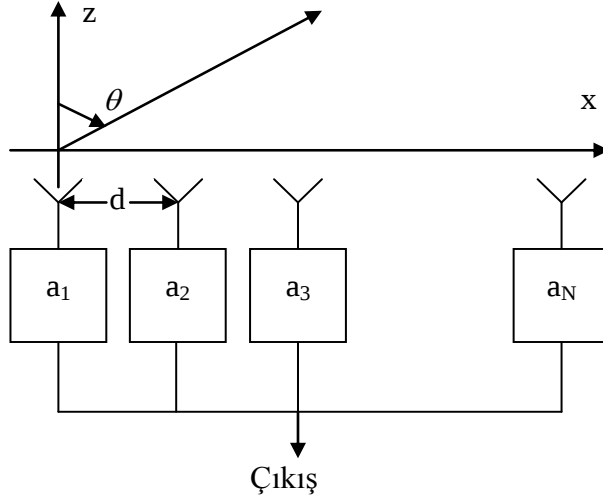
Anten dizileri birbirinden bağımsız enerji yayan antenlerin oluşturduğu yapılardır. Bunlar monopoller, dipoller, açık-kapalı dalga kılavuzları, mikro şerit yapılar olabilirler. Tercih; kullanım alanı, çalışma frekansı, güç karakteristikleri, polarizasyon gibi tasarıma etki eden faktörlerin belirlenmesi baz alınarak yapılır.

Dizi yapılar tek boyutlu doğrusal olabilecekleri gibi, iki boyutlu dikdörtgensel, dairesel ve konformal yapılarda olabilirler.

Çoğu uygulamada elemanlar arası uzaklık eşit tutulmakla birlikte, farklı dizi yapıları da mevcuttur.

Genel olarak tasarımcı dizinin geometrik şekline, elemanlar arası mesafeye, besleme genlik ve faz değerlerine, kullanacağı anten sayısına karar vermek durumundadır. Bunu yaparken de anten dizisinin hangi amaçla kullanılacağı ve performansın optimum seviyede tutulması önemlidir.

Anten örüntüsü, dizinin geometrik şekli, elemanlar arası uzaklık, besleme genlik ve faz değerleri ve kullanılan anten tipiyle doğrudan ilişkilidir [2,3].



Şekil 2.1 N elemanlı doğrusal dizi geometrisi.

Şekil 2.1’ de N elemanlı doğrusal dizi yapısının geometrisi verilmiştir. θ yayım yapılan yönün z eksenine ile yaptığı açı, d elemanlar arası uzaklık, a_i değerleri ise besleme değişkenlerini temsil etmektedir.

Bu durumda N elemanlı, elemanları eşit aralıklarla yerleştirilmiş, birbirinin aynı izotropik elemanların oluşturduğu doğrusal dizi faktörünü aşağıdaki eşitlikle tanımlayabiliriz.

$$\begin{aligned}
 AF(u) &= a_0 + a_1 e^{jkd \sin \theta} + a_2 e^{jk2d \sin \theta} + \dots a_{N-1} e^{jk(N-1)d \sin \theta} \\
 &= \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkdnu}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada a_n ilgili anten elemanlarının ağırlık faktörü, k dalga sabiti ve $u = \sin(\theta)$ yön parametresidir.

Üstel terimler dizideki yerlerine bağlı olarak faz kaymasına neden olmaktadır. Üstel terimler arasında oluşan farklılıklar dizi anten elemanlarının gelen enerjiyi alışları arasındaki zaman farkından ileri gelir. Dizi faktörünün, arzu edilen yönde maksimum olması bir tasarımcının öncelikli hedefidir. Ancak bunu sağlarken diğer yönlerdeki ikincil maksimumlardan bir diğer deyişle yan huzmelerden de sakınmak gerekir.

Anten dizisi için elektromanyetik ışıma bölgesi $-kd \leq u \leq kd$ arasında $kd > \pi$ değeri için tanımlıdır. Buradan da anten dizileri için çalışma bölgelerinin elemanlar arası uzaklık d ile ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır [1-4].

Ancak verilen aralık birim çemberde bazı bölgelerde büyük yan huzmelerin oluşmasına neden olacaktır.

$$2\pi \frac{d}{\lambda} (\sin \theta - \sin \theta_0) = 2\pi m \quad (2.2)$$

Burada n değerleri tamsayıdır. Büyük huzmelerin $2\pi'$ nin katlarıyla oluştuğu Eş 2.2'de görülmektedir.

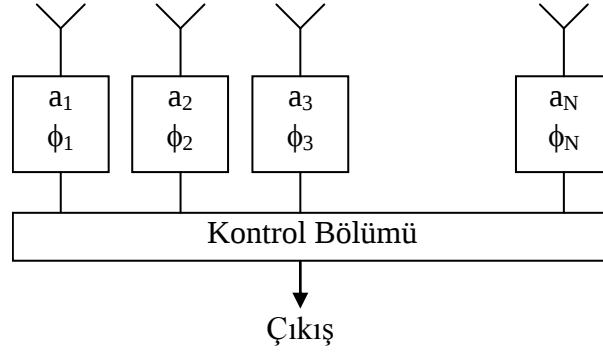
Büyük huzmeler ana huzme ile aynı genliğe sahip olup, uygulamalarda algılamada belirsizliklere neden olur. Bundan kaçınmak için elemanlar arası uzaklığı, d dalga boyunun yarısından, $\lambda / 2$, küçük seçmemiz yeterli olacaktır.

$$AF(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkd_x nu} \sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jkd_y mv} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jk(d_x nu + d_y mv)} \quad (2.3)$$

Eş.2.3' de a_{nm} ilgili anten elemanlarının ağırlıkları, $u = \sin(\theta) \cos(\phi)$, $v = \sin(\theta) \sin(\phi)$ parametreleri ise düzlemsel dizinin yön parametreleridir.

Antenin ışıma örüntüsü; eleman faktörü ile dizi faktörünün çarpımı ile elde edilir. Eleman faktörü, yalnızca bir elemanın oluşturduğu alandır. Faz ve genlik üzerinde yapılan değişiklikler sadece dizi faktörünü değiştirir. Eleman faktörünü etkilemez.

Faz kaymalı dizi antenlerde yaygın olarak kullanılan geometrik yapılar; düzlemsel ve doğrusal dizi yapılarıdır. Doğrusal diziler düz bir hat üstünde bulunan antenlerden oluşurken, düzlemsel diziler ise bir düzlem üzerine yerleştirilmiş iki boyutlu yapılardan meydana gelir.



Şekil 2.2 N elemanlı doğrusal faz kaymalı dizi konfigürasyonu.

Düzlemsel diziler daha kullanışlı olmalarından, daha düşük yan huzme seviyelerine sahip simetrik örüntüleri vardır ve uzayda istenilen bir noktaya yönlendirilebilirler, dolayı askeri alanlarda özellikle radar uygulamalarında sıklıkla kullanılan anten yapılarıdır [3].

Düzlemsel diziler için dizi faktörü birbirine dik yönde her bir doğrusal dizi elemanının çarpımıyla elde edilir. x-y düzleminde d_x ve d_y aralıklarla yerleştirilmiş $n \times m$ elemanlı bir düzlemsel dizi için dizi faktörü aşağıdaki biçimde yazılır.

$$AF(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkd_x nu} \sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jkd_y mv} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jk(d_x nu + d_y mv)} \quad (2.4)$$

Eş.2.4' de a_{nm} anten elemanlarının besleme ağırlığına ve $u = \sin(\theta) \cos(\phi)$, $v = \sin(\theta) \sin(\phi)$ terimleri yön parametrelerine karşılık gelir.

Düzlemsel dizi antenler için dizi faktörü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$AF(u) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkd_n u + j\beta n} \quad (2.5)$$

Eş.2.5' de β ardışık faz kaymasıdır ve bu eşitliğe göre ana huzme istenilen yönde Q_d açısı kadar kaydırılabilir.

$$kd \sin Q_d + \beta = 0 \quad (2.6)$$

Düzlemsel diziler için her iki ekseninde de bir faz kayması verildiği durumda ise, dizi faktörü Eş.2.7' deki gibi olacaktır.

$$AF(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jk(d_x nu + d_y mv) + j(\beta_x n + \beta_y m)} \quad (2.7)$$

Eş.2.8.a ve Eş.2.8.b' de görüldüğü gibi, β_x ve β_y sırasıyla x ve y düzlemleri için ardışık faz kaymasıdır. Huzme Q_d, ϕ_d açılarına kaydırılabilir. Yani tarama açımıdır.

$$kd_x \sin Q_d \cos \phi_d + \beta_x = 0 \quad (2.8a)$$

$$kd_y \sin Q_d \sin \phi_d + \beta_y = 0 \quad (2.8b)$$

Ana huzme her bir elemana verilen ardışık faz kayması değerleri ile istenilen yöne baktırılabilir. Eski tip anten uygulamalarında ise açısız olarak büyük bir huzme sayesinde mekanik olarak tarama yapılırken, herhangi bir tespit sonrasında irtifaların belirlenmesi amacıyla da belli bir açıda dikey tarama yapılabilirdi. Radar uygulamalarında üç boyutlu bilgilerin tek bir anten ile elde edilebilmesi faz kaymalı antenler ile mümkün olabilmektedir.

Faz kaymalı antenler ile eş zamanlı olarak birbirinde bağımsız birden çok huzme oluşturulabilir. N elemanlı bir dizi sayesinde N adet bağımsız huzme oluşturulup her biri farklı yönlerde kaydırılabilir. Bu sayede paralel işlemler yapılabilir ve çok yüksek oranlarda bilgi elde edilebilir [2,9].

Anlatılan avantajlarının yanında dizi antenlerin tasarımında karşılaşılan olumsuzluklar da yok değildir. Oldukça karmaşık bir anten diziliş yapısına sahip dizi antenlerin elemanları arasında karşılıklı etkileşim çözülmesi gereken en büyük sorunlardan biridir, bunun yanı sıra kullanılan bant genişliği, tarama sınırlamaları da önemli problemler arasında yerini almaktadır [2].

2.3. DİZİ ANTENLERDE TARAMA PERFORMANSI

Dizi antenlerin her bir elemanına uygun faz değerlerine sahip besleme verilerek antenin uzayda mekanik kısıtlamalara maruz kalmadan çok yüksek hızlarda tarama yapması sağlanır. Dizide bulunan bütün elemanların özdeş, elemanlar arası uzaklıkların eşit ve dalga boyunun yarısı kadar ve her bir dizi elemanına ait besleme değerinin aynı olduğunu varsayalım. Bu şartlar altında dizinin bütün elemanlarına aynı değerde bir faz kayması verildiğinde, birbirini takip eden elemanlar arasında ardışık faz farkının sıfır olmasından dolayı antenin ana huzmesi anten yüzeyine dik olacaktır. Eğer elemanlar arası ardışık faz farkı uygulanırsa bu durumda ana huzme antenin normali ile bir açı yapacaktır. Antenin ana huzmesi θ_0 kadar kaydırılmış ise faz farkı $\phi = 2\pi(d/\lambda)\sin\theta_0$ olur. Bu durumda her bir dizi elemanına ait faz değerleri, $\phi_c + m\phi$ ile ifade edilir. Burada $m=0,1,2,\dots,(n-1)$ değerlerinden meydana gelir. ϕ_c bütün elemanlara uygulanan sabit bir faz değerini gösterir. Sonuçta elemanlar arası faz farkı ϕ_c kullanılarak dizi faktörü örüntüsü aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$G(\theta) = \frac{\sin^2 \left[N\pi \frac{d}{\lambda(\sin\theta - \sin\theta_0)} \right]}{N^2 \sin^2 \left[\pi \frac{d}{\lambda(\sin\theta - \sin\theta_0)} \right]} \quad (2.9)$$

$\sin\theta = \sin\theta_0$ olduğu durumlarda örüntü maksimum seviyede kazanca sahip olur. Eş.2.9'da görüldüğü gibi her bir dizi elemanına verilen uygun ϕ faz değişim değerleriyle ana huzme θ_0 değerine kaydırılabilir.

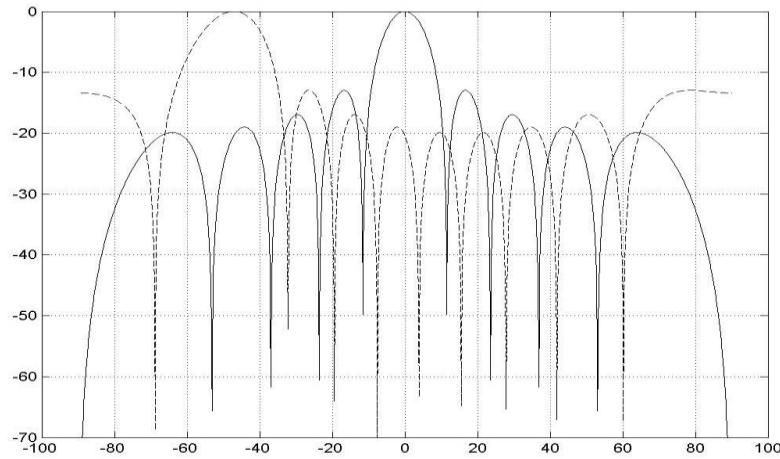
Eş.2.9'da $\pi \frac{d}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_0) = \pm n\pi$ veya biraz düzenleyecek olursak $[\sin\theta - \sin\theta_0] = \pm n\lambda/d$ olduğunda payda sıfır olacağından büyük huzme oluşacaktır.

Dizi antenlerin yönlülüğü, huzme genişliği, yan huzme seviyesi ve bant genişliği gibi önemli anten parametreleri, tarama açısıyla birlikte değişir. Bunun sonucu olarak dizi antenler oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir [1,2].

Dizi antenlerde ana huzme kaydırılırken ana huzmenin genişliği $1/\cos \theta$ ile orantılı olarak değişir. Ana huzme ne kadar yönlü ise antenin kazancı da o kadar yüksek olacağından en yüksek kazanç $\theta = 0^\circ$ 'de elde edilir. Kazanç tarama ile birlikte azalır. Bunun nedeni huzmenin genişlemesidir. Yönlülük, tarama açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D = 32400 \cdot \cos \theta_0 / (\theta_{x3} \theta_{y3}) \quad (2.10)$$

Eş. 2.10' da θ_{x3} ve θ_{y3} sırasıyla x ve y eksenleri için derece olarak 3 dB açılarıdır.



Şekil 2.3 10 elemanlı doğrusal dizi örüntüsü (-).

Ana huzmenin 50° kaydırıldığı örüntü (---).

Şekil 2.3'te verilen 10 elemanlı dizinin örüntüsünde sürekli çizgiler elemanlar arası faz farkının sıfır olduğu durumu, kesikli çizgiler ise ana huzmenin 50° dereceye kaydırılmış olduğu durumu gösteren anten ışınma örüntüleridir. Ana huzmenin kaydırılması sonucunda genişlediği açıkça görülmektedir. Huzmenin genişlemesi ile birlikte örüntü üzerinde yan huzmelerin seviyelerinde azalmalar gözlemlenmektedir.

Geniş açılarda tarama yaparken dizi kazancının yönlülüğe göre daha küçük olmasının nedeni elemanlar arası karşılıklı etkileşimden kaynaklanan uyumsuzluk problemleridir [1,2]. Sonuçta tarama yapılan açı değerleri büyüdükçe antenin yönlülüğünde azalma meydana gelecektir. Buna tarama kaybı denir. Tarama kaybı bant genişliği ile de

alakalıdır. Normalde bir dizinin bant genişliği onu meydana getiren elemanların bant genişliği ile sınırlanabilmekteyken, dizi antenlerde faz kaydırıcılar bant genişliği üzerinde önemli bir sınırlandırıcı etken olmaktadır. Çünkü faz kaydırıcıların ana huzmenin belli açıları taraması esnasında kullanılması durumunda, istenilen açıda tepe değerine ulaşılması yalnızca merkez frekansta mümkündür. Bu da tarama açısının artmasıyla bant genişliğinin azalması anlamına gelmektedir.

Dizi antenlerde geniş açılarda tarama yapılırken yansıma katsayısı ve elemanlar arası karşılıklı etkileşim artar. Bu nedenle bazı açılarda önemli ölçüde kayıplar oluşur. Bundan dolayı geniş açılı taramanın istenmeyen etkilerinden kurtulmak için faz kaymalı dizilerde genellikle tarama yapılan alanda kısıtlamaya gidilir [1,2].

2.4. DİZİ ANTENLERDE ÖRÜNTÜ OLUŞTURMA TEKNİKLERİ

Tasarımcılar her bir elemana ait olan anten besleme genliklerini ve fazlarını değiştirmek suretiyle huzme şeklini, ana huzmenin genişliğini, yan huzme seviyelerini, örüntüye ait sıfırların yerlerini kontrol etme olanağına sahiptir. Kısacası öngördükleri bir örüntü şekline kavuşmak tasarımcının elindedir [1-5].

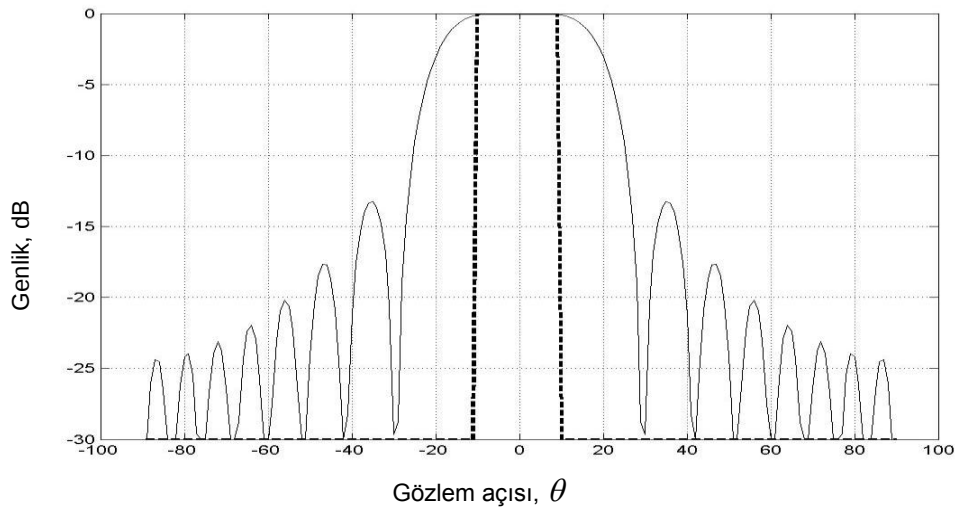
Örüntü oluşturma teknikleri ana huzmenin dizi yüzeyinden dik olduğu yayımlar ve üstel terimler sayesinde her bir dizi elemanına eklenen ardışık faz kaymaları sayesinde faz kaymalı dizilere uygulanabilir. Örüntü oluşturma için farklı teknikler kullanılabilmektedir. Bunları amaçlarına göre üç ana grupta toplayabiliriz. Huzme şekillendirme bunlardan birisidir, bu amaç için Fourier dönüşüm ve Woodward-Lawson teknikleri uygun yöntemler olarak bilinmektedir. Bir diğeri düşük yan huzme seviyesi ve dar huzme elde etmemizi sağlayan Dolph-Chebyshev ve Taylor Doğrusal Kaynak teknikleridir [2,3]. Son olarak sıfırların yerlerini değiştirmeyi amaçladığımız, Schelkunov ve ilerleyen bölümlerde bahsedeceğimiz birkaç farklı bilim adamının uyguladığı tekniklerdir. Elde edilen dizi faktörü örüntüleri için elemanlar arası uzaklık $d=0.5\lambda$ olarak kullanılmıştır.

2.4.1. FOURIER DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ

Oluşturmak istediğimiz dizi faktörü fonksiyonu daha önce Eş.(2.1)'de tanımladığımız $AF(u)$ 'dur ve bu fonksiyon bir Fourier serisidir. İstediğimiz örüntü şekline sahip $AF(u)$ 'yu elde etmek için bu fonksiyona ait besleme katsayılarını Fourier serileri yöntemini kullanarak bulabiliriz. Besleme katsayıları olan a_n değerleri en küçük kareler hata yöntemi kullanılarak hesaplanabilir [1-4] .

$$a_n = \frac{d}{\lambda} \int_{-\lambda/2d}^{\lambda/2d} AF(u) e^{-jkdun} du \quad (2.11)$$

Fourier dönüşüm yöntemi bir huzme şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemi minimum dizi huzme genişliğinden (λ/L) daha geniş huzme genişliği olan örüntü şekillerinde kullanabiliriz [1]. Çok elemanlı dizilerde ışıma örüntüsü elde etmek için Fourier dönüşüm yöntemi iyi bir yöntem olmakla birlikte az elemanlı dizilerde Fourier açılımları da az terim içereceğinden doğru sonuçlara ulaşmak için iyi bir yaklaşım değildir [4].



Şekil 2.4 16 Elemanlı doğrusal dizi için Fourier dönüşüm yöntemi kullanılarak elde edilen örüntü (-) Arzu edilen örüntü (---).

Şekil 2.4 ' te Fourier dönüşüm yöntemi tekniği kullanılarak 16 elemanlı doğrusal bir dizinin elde edilmek istenilen örüntüsü ve elde edilen örüntüsü birlikte gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen örüntünün geniş bir ana huzmesi olduğu görülmektedir.

2.4.2. SCHELKUNOV'S YÖNTEMİ

Schelkunov örüntü oluşturma yöntemi, dizi faktörünün polinom formundan faydalanmak suretiyle geliştirilmiş bir yöntemdir. Daha önce tanımladığımız dizi faktörünün açılımı olarak verilen Eş.2.1'de, e^{jkdu} terimlerine $z(u)$ denilsin,

$$AF = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_{(N-1)} z^{(N-1)} \quad (2.12)$$

$$AF = (z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) \dots (z - z_{N-1}) \quad (2.13)$$

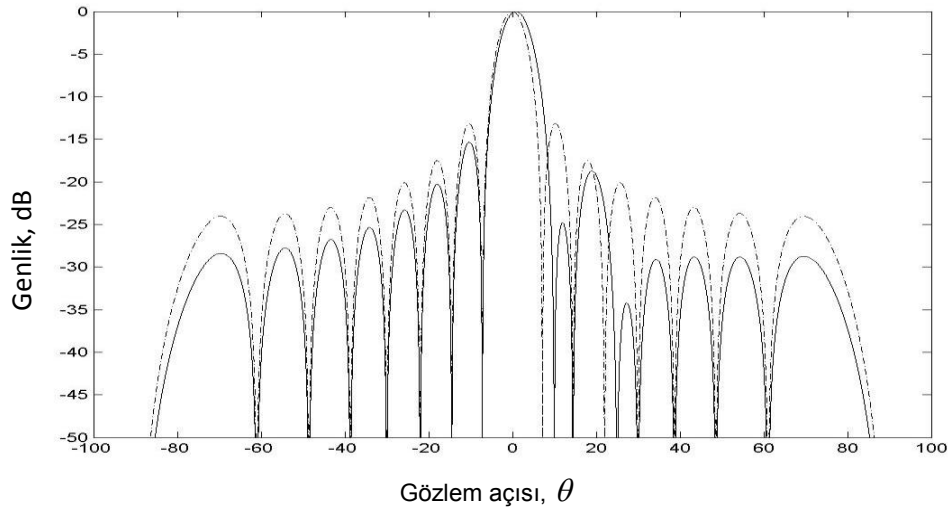
biçiminde antenin dizi faktörü düzenlenmiş olur [1-6]. Eş.(2.12) ve Eş.(2.13) için polinomun derecesi N-1 olur. Burada N anten elemanlarının sayısını ifade eder. Bu teknik sıfırların pozisyonlarının arzu edilen bir yöne kaydırılması amacıyla kullanıma uygundur [3,6].

Eğer sıfırlardan herhangi biri istenilen yöne kaydırılırsa yeni dizi faktörü;

$$AF'(u) = AF(u) \frac{(z - z'_i)}{(z - z_i)} \quad (2.14)$$

Eşitliği ile ifade edilebilir. Eş.2.14' de $AF'(u)$ sıfırların kaydırılması sonucu elde edilen yeni dizi faktörünü, z'_i istenilen sıfır pozisyonunu, z_i ise elde edilmek istenilen sıfır pozisyonuna en yakın olan sıfır noktasını ifade eder.

Bu yöntemle sıfır noktası istenilen yöne döndürüldükten sonra, sonuç dizi faktörünün bileşenleri yeniden düzenlenir ve besleme sabitleri bulunur.



Şekil 2.5 16 elemanlı doğrusal dizi için Schelkunov yöntemi kullanılarak elde edilen örüntü (-) Eş beslemeli örüntü (---).

Şekil 2.5 Schelkunov örüntü oluşturma yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Kesikli çizgiler ile temsil edilen eş beslemeli 16 elemandan oluşan doğrusal diziye ait örüntü iken, yine aynı diziye ait Schelkunov yöntemi kullanılarak elde edilmiş örüntü şekli ise devamlı çizgiler kullanılarak verilmiştir, ayrıca 10 ve 25 derecelere kaydırılmış iki adet sıfıra sahiptir.

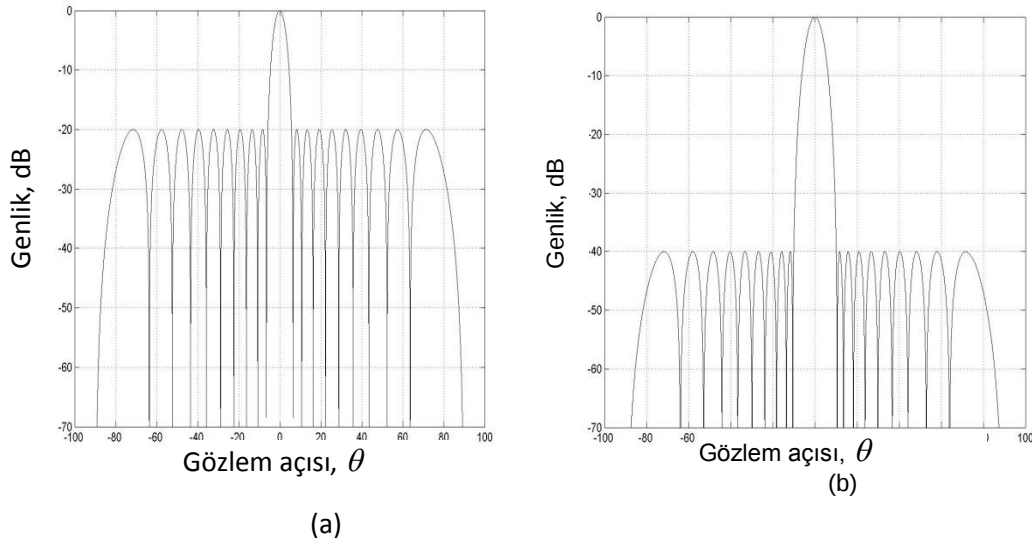
Sonuç olarak, örüntü şekli üstünde sıfırların arzu edilen açılara, Schelkunov yöntemi kullanılarak yönlendirilebileceği görülmektedir. Verilen örnekte örüntü şeklinde bozulmalar oluşmasının nedeni kaydırılan sıfırların ana huzmeye yakın olmasıdır. Eğer sıfırlar ana huzmeden daha uzak açılara kaydırılırdı örüntü şeklinde büyük bozulmalar yaşanmazdı. Sıfırların kaydırılması istenmeyen sinyallerin olumsuz etkilerinden kaçınmak maksadıyla kullanabileceğimiz etkili bir yöntemdir.

2.4.3. DOLPH-CHEBYSHEV YÖNTEMİ

Dolph-Chebyshev yöntemi ile dizi faktörünün sabitleri Chebyshev polinomuna eşitlenecek şekilde düzenlenir, bu sayede de daha önce belirlenen yan huzme seviyesine ait en dar huzme genişliği elde edilir [1-6].

Bu yöntemin kullanılması yan huzme seviyelerini istenilen değerlere düşürür. Ancak bunu gerçekleştirirken de ana huzmede genişlemeye neden olur. Bu nedenle yönlülükte bir azalma hedef ayırt etmede etkili olan çözünürlükte kayıplar yaşanır [4].

Dolph-Chebyshev örüntü oluşturma yöntemi literatürde oldukça geniş yer almaktadır. Ancak bu yöntem geniş dizi yapıları için, aşırı güç kaybının neden olduğu kazanç kısıtlamalarından dolayı, uygun bir yöntem değildir. Dizinin uzunluğunun artması, kazancın artmasına neden olmamaktadır. Bunun sebebi de sabit bir yan huzme seviyesine sahip olmak amacıyla büyük miktarlarda enerjinin yan huzmede harcanmasıdır [1].



Şekil 2.6 (a) 20 elemanlı doğrusal dizi için -20 dB yan huzme seviyeli Dolph-Chebyshev yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü.

(b) 20 elemanlı doğrusal dizi için -40 dB yan huzme seviyeli Dolph-Chebyshev yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü.

Şekil 2.6.a ve Şekil 2.6.b' de sırasıyla 20 elemanlı doğrusal dizi kullanılarak -20 dB ve -40 dB sabit yan huzme seviyelerine sahip ışırma örüntüleri verilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, daha düşük yan huzme seviyesine sahip ışırma örüntüsü için ana huzmenin genişlediği anlaşılmaktadır.

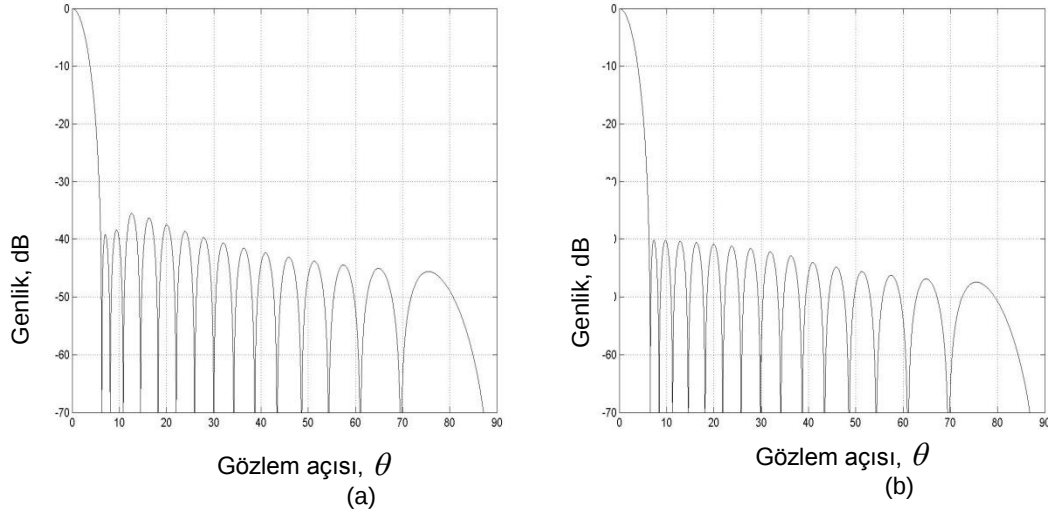
2.4.4. TAYLOR KAYNAK YÖNTEMİ

Taylor doğrusal Kaynak yöntemi T.T.Taylor tarafından bulundu. T.T.Taylor çalışmalarında Dolph-Chebyshev yönteminin eksikliğini ortaya koydu ve kendi yöntemini bu eksiklikleri gidermek üzere ortaya sundu. Onun yöntemi geniş dizi yapıları için daha iyi sonuçlar veriyordu [1-5].

Dolph-Chebyshev örüntü oluşturma yönteminin sorun yaşamasının nedeni sabit yan huzme seviyesine sahip olmaya çalışmasıydı. Bu durum geniş dizilerde yan huzme bölgesinde büyük miktarlarda enerji harcamasına sebep oluyordu.

Taylor, örüntüyü oluşturan uzak sıfırların yerlerini, dizinin kenar elemanlarının belirlediğinin farkına vardı. Taylor eş beslemenin yan huzmede sabit azalmaya sebep olma özelliğini kullanmaya karar verdi.

Taylor ana huzmeden uzaktaki sıfırlar için eş besleme sıfırları (uniform excitation) seçerken, ana huzmenin yakınında ki sıfırlar için Dolph-Chebyshev örüntüsüne ait sıfırları kullandı. Tasarımcının belirlediği bir değer olan $\bar{n}$ değeri sıfırların seçimini belirleyen faktör olarak kullanıldı. $\bar{n}$ değerinden küçük olan örüntünün ana huzmeye yakın sıfırları, Dolph-Chebyshev örüntüsünün sıfırları ile aynı seçilirken, $\bar{n}$ değerinden büyük olan sıfırlar eş besleme örüntüsünün sıfırlarından seçildi [1,3].



Şekil 2.7 (a) 32 elemanlı doğrusal dizinin -40 dB yan huzme seviyeli ve $\bar{n} = 3$ için Taylor doğrusal kaynak yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü.

(b) 32 elemanlı doğrusal dizinin -40 dB yan huzme seviyeli ve $\bar{n} = 10$ için Taylor doğrusal kaynak yöntemi kullanılarak elde edilen dizi örüntüsü.

Şekil 2.7.a' da 32 elemanlı doğrusal dizini Taylor doğrusal kaynak yöntemi kullanılarak elde edilmiş örüntüsü görülmektedir. Yan huzme seviyesi -40 dB ve $\bar{n} = 3$ olarak seçilmiştir. Yine aynı doğrusal dizi için -40 dB yan huzme seviyesi ve $\bar{n} = 10$ olan ışıma örüntüsü Şekil 2.7.b' de verilmiştir.

Elde edilen ışıma örüntülerini inceleyecek olursak seçilen $\bar{n}$ değerinin çok küçük olduğu durumda ışıma örüntüsünde bir takım bozulmalar düzensizlikler göze çarpmaktadır. $\bar{n} = 3$ için elde edilen ışıma örüntüsü şekil 2.7.a' da yalnızca iki adet yan huzmenin kontrol edilebildiği, örüntünün geri kalanında eş besleme örüntüsüne doğru kayıldığı görülmektedir. Yan huzme seviyesi -40 dB seçilmiş olmasına rağmen, istenilen seviyenin yakalanamadığı daha büyük yan huzme seviyelerinin elde edildiği görülmektedir. $\bar{n} = 10$ için hesap edilen ışıma örüntüsü incelendiğinde yan huzme seviyelerinin Dolph-Chebyshev örüntü sentez yöntemiyle büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Ana huzmeden uzaktaki yan huzmelerde seviyelerde düşüş gözlemlenmekte bu da yan huzmelerdeki enerjinin azaltıldığı, kontrol altına alındığını göstermektedir.

Sonuç olarak $\bar{n}$ değerlerinin çok küçük değerler seçilmesinden kaçınılması gerektiği açıktır [3].

2.5. DİZİ YAPILARDA KARŞILIKLI ETKİLEŞİM

İdeal durumlarda diziyi oluşturan her bir anten aynı akımla beslendiğinde, antenlere ait örüntü şekilleri de aynıdır.

Antenlerin örüntü şekilleri yalnızca besleme değerleriyle ilişkilidir, tarama açısı ve pozisyonuyla değişmez. Her bir eleman için besleme akımları ve onların oluşturduğu alanlar farklılık gösterir. Buna ek olarak, tarama açısı ve çalışma frekansı da elemandan elemana besleme akımları üstünde farklı etkilere neden olur. Bir başka deyişle her bir anten elemanı birbirinden farklı davranır.

Bu arzu edilmeyen etkiler, dizi elemanlarının birbiriyle olan karşılıklı etkileşiminden kaynaklanır. Karşılıklı etkileşim kazancı, tarama sınırını ve huzme genişliğini doğrudan etkiler [1,2].

Karşılıklı etkileşimin etkisi hesaba katıldığı zaman, geri yansıyan ve indüklenen alanların oluşturduğu akımların toplamı ile meydana gelen besleme akımı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [1].

$$a_n = (a_{0n} + \sum_m S_{nm} a_m) \quad (2.15)$$

Eş.(2.15)'de a_{0n} sistem tarafından uygulanan besleme akımı, a_n karşılıklı etkileşiminde hesaba katılmasıyla elde edeceğimiz besleme akımı, S ise N elemanlı bir dizi için $N \times N$ boyutlarındaki saçılım matrisini temsil eder. S matrisi içerisinde her bir elemana ait yansıma katsayılarını barındırır.

Anten dizisinin yayım örüntüsü dizi faktörü ile eleman faktörünün çarpımından elde edilir. Karşılıklı etkileşim, eleman faktörü üzerinde olumsuz etkiye sahiptir ve teorik olan değerini gerçek uygulamalarda değiştirir.

Çok sayıda elemana sahip dizilerde, diziyi oluşturan elemanların yaklaşık olarak benzer bir elektromanyetik ortamda çalıştıkları kabul edilir. Sonuç olarak, her bir elemanın yaklaşık olarak aynı karşılıklı etkileşim etkisine maruz kaldığı ve eleman faktörü kullanılarak elde edilen örüntülerinde diziyi oluşturan elemanlardaki bozulmalardan aynı şekilde etkileneceği düşünülür.

Buna karşılık daha küçük dizi yapıları için anten elemanlarının üzerindeki karşılıklı etkileşim birbirinden farklı kabul edilir. Bunun sonucunda da yayım örüntüleri birbirinden farklı olacaktır. Bu da küçük dizi yapıları için yayım örüntüsünün arzu edilen bir yayım örüntüsü olmayacağı anlamına gelir. Küçük dizi yapılar için karşılıklı etkileşim etkisini dengelemek için bir takım uygulamalar yapmak arzu edilen örüntüyü elde etmek adına gerekmektedir. Bunu yapmak için dizi elemanlarının besleme sabitleri üzerinde ayarlamalar yapılması gerekir. Ancak bu şekilde karşılıklı etkileşimin olumsuz etkileri dengelenebilir [10,11].

3. FAZ KAYDIRICILAR

3.1. GİRİŞ

Anten dizi sentezinde, arzu edilen diyagramı en iyi yaklaşıklık ile üretmek için dizi elemanlarının besleme genlikleri, besleme fazları ve pozisyonları en uygun şekilde belirlenmelidir. Literatürde, dizi elemanlarının bu parametrelerini belirlemek için hem analitik ve nümerik metotlar hem de klasik ve sezgisel optimizasyon algoritmalarına dayanan metotlar mevcuttur.

Çoğu uygulamada, dizi elemanlarının genlik besleme değerleri için sayısal zayıflatıcılar ve faz kaydırıcılar ikili sayı sistemine göre çalıştıklarından ve sonlu bit uzunluğuna sahip olduklarından, kullanılan sentez metodu ile belirlenen genlik ve faz değerleri, zayıflatıcı ve faz kaydırıcıların bit uzunluklarına bağlı olarak yuvarlatılmaktadır.

Bu sebepten dolayı da elde edilen dizi örüntülerinde de değişimler meydana gelmektedir. Yüksek uzunlukta bit değerlerine sahip sayısal zayıflatıcı ve faz kaydırıcılar kullanarak yuvarlatma hatalarının üretilen dizi örüntülerine olan etkileri azaltılabilir, ancak bu durumda da donanım maliyeti yükselmektedir.

3.2. FAZ KAYDIRICI TİPLERİ

Faz kaymalı antenlerde huzme, ferit veya diyod faz kaydırıcılar kullanılarak kontrol edilebilir. Anten dizilerinde kullanılan ferit faz kaydırıcılar, analog veya sayısal olabilirken diyod faz kaydırıcılar sadece sayısal olarak tasarlanırlar. Ferit faz kaydırıcılar faz kontrolünü daha yüksek doğruluk ve bant genişliğinin yanı sıra düşük düzeyde kayıplar ile sağlarken, diyod faz kaydırıcılar küçük boyutları ve ağırlıklarının düşüklüğüne ek olarak çok daha hızlı huzme anahtarlama yani farklı bir yöne kaydırmasında daha hızlı olması gibi avantajlara sahiptir [7,8].

Karşılaştırmalı performans karakteristikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' de verilmiştir [7].

Diyod Faz Kaydırıcılar

Frekans	S band	C band	X band
İlerleme			
Kayıpları	1-1.2 dB	2 dB max	3 dB max
VSWR	1.4:1 max	1.3:1 max	1.5:1 max
RF Güç	50 W CW	50 W peak	50 W peak
Bit Sayısı	6	6	6
Anahtarlama			
Zamanı	0.5 μ s	0.5 μ s	0.5 μ s

Çizelge 3.1 Diyod faz kaydırıcılar için performans karakteristikleri.

Sayısal diyod faz kaydırıcılar, düşük sayıda bit değerine sahip olduklarında daha yüksek nicemleme kayıplarına (örnek olarak 2 bit faz kaydırıcı için 1 dB) ve her bit için 1 dB'lik (1 dB/ bit) ohmik kayıplara sahiptirler. Bundan da anlaşılacağı gibi diyod faz kaydırıcılar için en düşük kayıp seviyesi en az 3 dB civarında olmaktadır.

Bu durum diyod faz kaydırıcıları aktif faz kaymalı diziler için kabul edilebilir kılmaktadır. Çünkü bu diziler faz kaydırıcıların kayıplarını yarı iletken yükselteçlerin kazançlarıyla tolere edilebilir.

Ferit faz kaydırıcılar ise daha düşük omik kayıplara sahiptir (0.25 dB/ bit) bu sayede pasif ve yarı aktif faz dizili yapılarda kullanım olanağı bulurlar.

Ferit Faz Kaydırıcılar

Frekans	S band	C band	X band
Faz Kaydırma	360 derece 5-8 bit	360 derece 5-8 bit	360 derece 5-8 bit
İlerleme			
Kayıpları	1 dB	0.8 dB	0.6 dB
VSWR	1.2:1	1.2:1	1.2:1
RF Güç			
peak/ave	40 kW/800W	10 kW/400 W	800 W/100W
Faz Kaydırma			
Doğruluğu	2-5 derece	2-5 derece	2-5 derece
Anahtarlama			
Zamanı	20 μ s	8 μ	3 μ s

Çizelge 3.2 Ferit faz kaydırıcılar için performans karakteristikleri.

Dizi yapılarında kullanılan faz kaydırıcıların bit sayısı yan huzme seviyeleri üzerinde büyük oranda etkiye sahiptir [12,13]. Bu da arzu edilen sıfır derinliğine ulaşmada tasarımcının göz önünde bulundurması gereken değişkenlerdendir. Aynı zamanda ana huzme ve sıfırların istenilen yöne tam anlamıyla kaydırılabilmesi için nicemleme hatalarının en düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Kullanılan faz kaydırıcıların ideal olmamaları yüksek seviyeli yan huzmeler ya da başka bir deyişle nicemleme huzmelerinin oluşmasına neden olur.

Nicemleme huzmelerinin seviyeleri kullanılan faz kaydırıcının bit sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Faz kaydırıcının bit sayısının artmasıyla birlikte nicemleme huzmelerinin seviyelerinde azalma gözlenir.

Birçok uygulamada üç veya dört bitlik faz kaydırıcıların kullanılması yeterli dizi faktörü karakteristiklerinin elde edilmesini sağlar. Ancak küçük diziler için dört veya beş bitlik faz kaydırıcılar tercih sebebidir. Bunun nedeni az sayıda anten elemanına sahip dizilerin faz

aralıklarını azaltmak ve bu sayede ideal duruma en yakın dizi faktörü örüntülerinin elde edilmesini sağlamaktır. 32 ve daha fazla elemanlı diziler içinse üç bit faz kaydırıcıların kullanılması iyi sonuçlar alınması için yeterli olacaktır. Çünkü, diziye ait eleman sayısının artması, kullandığımız faz kaydırıcının bit sayısı az olsa dahi tarama açısındaki sapma miktarında küçülmeye sebep olacaktır [13]. Tarama açısından sapma miktarını azaltan bir diğer etkende kullanılan faz kaydırıcıların bit sayısının artmasıdır.

Bir bitlik faz kaydırıcı kullanılması durumunda örüntü içinde sadece 0° ve 180° olmak üzere iki faz olasılığı mevcuttur. Bu durumda orijinal faz değerinden 90° 'lik bir sapma söz konusu olacaktır. Bu da orijinal tarama açılarıyla önemli oranda fark oluşması anlamına gelecektir. Sadece iki faz kullanımı aynı anda iki adet ana huzme oluşumuna da sebep olacaktır ki bu huzmeye de nicemleme huzmesi denildiğinden daha önce bahsetmiştik.

İki bitlik faz kaydırıcılar ise, 0° , 90° , 180° ve 270° olmak üzere dört farklı faz olasılığı sunarlar. Bu durumda orijinal faz değerinden en fazla 45° 'lik bir sapma söz konusu olmaktadır. Bir bitlik faz kaydırıcılara oranla iyileşme sağlansa da sınırlı sayıda faz olasılığından ötürü arzu edilen örüntünün elde edilmesinin mümkün olmadığı, yan huzmelerin gerçek yerlerinde ve güç seviyelerinde elde edilemeyeceği görülmektedir [13]. Ancak nicemleme huzmesi etkisi ortadan kalkacaktır. Bir bitlik faz kaydırıcıya göre en yüksek yan huzme seviyesinde azalma, yarı güç huzme genişliğinde (HPBW) daralma gibi olumlu gelişmeler gözlenebilir. Bu iyileşmeler faz kaydırıcının hassaslaşmasının sonucudur.

Üç bitlik faz kaydırıcı kullanımı, 45° 'lik artışlara sahip sekiz farklı faz olasılığını tasarımcıya sunabilmektedir. Bu durumda gerçek faz değerlerinden en fazla 22.5° 'lik bir sapma görülebilecektir. Bu iyileşmelerin sonucu olarak da, en yüksek yan huzme seviyesinde azalma, yarı güç huzme genişliğinde (HPBW) daralma gibi parametrelerdeki olumlu gelişmeler artmaya devam edecektir.

Dört bitlik faz kaydırıcı ise, 22.5° 'lik artışlara sahip on altı farklı faz olasılığına sahiptir. Bu durumda gerçek faz değerinden en fazla 11.25° 'lik sapma söz konusu olacaktır. İdeal örüntü şekli ile dört bitlik faz kaydırıcı kullanılarak elde edilen örüntü arasındaki fark azalacak yan huzme seviyeleri ideal değerlere yaklaşacak hatta bazı açılarda aynı değerleri alacaktır. Ana huzmenin genişliği ideal huzmeye son derece yaklaşacaktır. Bu durumda tarama açılarında sapma ve yönlendirme kayıpları azalacaktır [13].

Şimdiye kadar bahsettiklerimize ek olarak, dizi elemanlarının arasındaki uzaklık ve elemanlar arasındaki uzaklıkların değişiminin faz kaydırıcıların bit sayısındaki değişim ile ilişkisini de inceleyelim. Bunu yaparken konuya iki farklı açıdan yaklaşılabilir. Bunlardan birincisi, dizi eleman sayısını sabit tutup sadece elemanlar arası uzaklığı değiştirmektir. Bu durumda huzme genişliği, yönlülük kaybı gibi diziye ait önemli parametrelerde çok büyük değişimler olmamaktadır.

İkincisi ise dizinin uzunluğunu sabit tutup elemanlar arası mesafeyi değiştirmek için dizinin eleman sayısını azaltmaktır. Bu durumdaysa elemanlar arası mesafenin artmasından dolayı tarama açısındaki sapma oranlarında artışlar yaşanacaktır. Bunun nedeni faz kaydırıcımızın bit sayısı aynı kalırken dizinin eleman sayısının azalmasıdır. Yan huzme seviyesi, yönlülük kaybı gibi karakteristiklerde ise büyük ölçüde değişimler gözlenmez. Eğer kullandığımız faz kaydırıcının bit sayısı dört bit veya daha fazla ise tarama açısının sapma oranında çok düşük olacaktır.

3.3. DEĞERLENDİRME

Limitli sayıda faz olasılığına sahip olduğumuz durumlarda tarama açımızda bozulmalar, yan huzme seviyelerinde artışlar ve son olarak yönlülüğümüzde azalma olduğu anlaşılmıştır. Ancak bit sayısındaki artışla beraber ideal duruma yaklaşılmaya başlandığı yukarda saydığımız olumsuz etkenlerin kabul edilebilir düzeylere geldiği görülmüştür. Çizelge 3.3' de farklı bit sayıları olan faz kaydırıcıların kullanıldığı 8 elemanlı doğrusal dizi karakteristikleri verilmiştir.

Faz Kaydırıcı Bit Sayıları	1 Bitlik	2 Bitlik	3 Bitlik	4 Bitlik
Tarama Açısı Sapması (derece)	2.95	1.76	0.98	0.46
HPBW (%)	18.89	11.34	5.98	2.87
Max SLL (dB)	-6.89	-6.97	-10.19	-11.62
Yönlülük Kaybı (dB)	3.15	0.82	0.20	0.047

Çizelge 3.3 Faz kaydırıcının bit sayılarına göre tarama açısının sapması, yarı güç huzme genişliği, yan huzme seviyesi ve yönlülük değerleri değişimi.

Çizelge 3.3' den dört bitlik bir faz kaydırıcının kullanıldığı örüntünün, ideal örüntüye göre kabul edilebilir sapma değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır [12,13].

Faz kaydırıcılardaki bit sayılarının, örüntüde kaydırılmak istenilen sıfırların yeni pozisyonları ve sıfır derinlikleri üzerine olan etkileri de mevcuttur. Faz üzerindeki hata oranının artması ya da başka deyişle düşük bit sayılarına sahip faz kaydırıcılar kullanılması dizi örüntümüzde de daha büyük oranlarda bozulmalara neden olacaktır. Bu nedenle yapılan çalışmalar boyunca faz taramalarının ideal olduğu varsayılacaktır.

4. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI

4.1. GİRİŞ

Dizi antenlerde örüntü oluştururken sıfırların kaydırılmasının ana amacı günümüzün yoğun karıştırma ortamında farklı kaynakların neden olduğu olumsuz etkilerden kurtulmaktır [14,15].

Faz kaymalı antenlerin kullanıldığı radar ve haberleşme sistemlerinin performansını düşüren gürültünün ve kasıtlı olarak yapılan karışırmaların etkisini azaltmak amacıyla, antenin ışıma örüntüsüne ait sıfırların karıştırıcıların olduğu noktalara veya istenmeyen sinyallerin bulunduğu yönlerle kaydırılarak bu sinyallerin bastırılması sağlanır.

Antenin ışıma örüntüsünü oluşturan sıfır noktaları istenmeyen sinyallerin alındığı açılara doğru döndürülerek sistem üzerindeki istenmeyen etkiler azaltılırken aynı zamanda ana huzmenin de alınması amaçlanan veya hedefin bulunduğu yöne doğru kaydırılması mümkündür [16,17].

Sıfırların kaydırılması metoduyla ilgili olarak uygulanan genel yaklaşım arzu edilen sıfırlar için dizi faktörünün köklerini sıfıra eşitlemek ve ortaya çıkan doğrusal eşitliklerin çözümüyle istenilen kompleks sabitleri elde etmektir.

Kompleks sabitleri kontrol ederek, anten dizilerinin sıfırlarının kaydırılmasını diziye ait elemanların genlik ve faz, yalnız genlik, yalnız faz veya eleman pozisyon kontrolü gibi analitik metotların yanı sıra, Genetik Algoritma, Tabu Arama, Clean Teknik gibi adaptif yöntemler kullanarak da başarabiliriz [30,43,44].

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki; analitik yöntemler karışık bir yapıya sahip olan düzlemsel anten dizileri için uygun sonuçlara ulaşmada yeterince başarılı olamamaktadır. Bu durumda araştırmacılar daha optimal olan adaptif yaklaşımları kullanmayı seçmektedirler.

Dizi antenlerde sıfırların kaydırılması üzerine yapılan çalışmaları incelerken, N adet eşit aralıklarla yerleştirilmiş eş elemanlara sahip doğrusal bir dizi olduğu varsayımı yapılacaktır. Doğrusal dizi için elemanlar arası uzaklık d , ardışık faz kayması β ve besleme akım katsayılarının w_n olduğu durumda dizi faktörü aşağıdaki gibidir.

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} w_n e^{jn\Psi} \quad (4.1)$$

Eş.4.1' de $\Psi = kdu + \beta = kd \sin(\theta) + \beta$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (k dalga numarası ve λ dalgaboyu), $w_n = 1$ olarak alınması durumunda, dizi faktörünü aşağıda olduğu gibi yazabiliriz.

$$AF = 1 + e^{j\Psi} + e^{j2\Psi} + \dots + e^{j(N-1)\Psi} \quad (4.2)$$

$z = e^{j\Psi}$ dersek, Eş.4.2 yerine,

$$AF = 1 + z + z^2 + \dots + z^{(N-1)} \quad (4.3)$$

yazılabilir. Matematikte kompleks teoriden yola çıkarak Eş.4.3,

$$AF = (z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) \dots (z - z_{N-1}) \quad (4.4)$$

halini alacaktır.

Eş.4.4' ten anlaşılacağı gibi örüntü N-1 adet sifıra sahiptir. Bu durumda teoride söz konusu sıfırlara ait besleme sabitleri değiştirilerek N-1 kadar sıfırın pozisyonlarıyla oynanabilir [18]. Eş.4.4' ün besleme ağırlıkları değiştirildiğinde dizi faktörü,

$$AF = w_0 + w_1 z + w_2 z^2 + \dots + w_{(N-1)} z^{(N-1)} \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir. Böyle bir durumda dizi faktörünün ağırlıkları genellikle kompleks sayılardan oluşur.

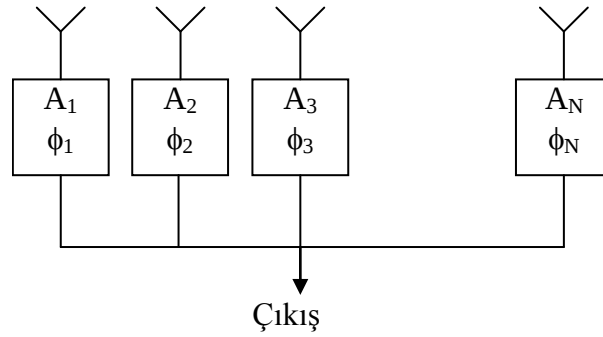
4.2. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI TEKNİKLERİ

4.2.1. GENLİK VE FAZ KONTROLLÜ YAPILAR

Bu yöntem analitik yöntemler içinde en verimli olanıdır. Ancak getirdiği donanımsal maliyetler açısından oldukça masraflıdır. Tasarımcı faz ve genlikten kaynaklanabilecek en küçük değişimleri uygulayarak istenilen ışıma örüntüsünü elde etme amacıyla parametreler üzerinde gerekli değişiklikleri yapma konusunda oldukça özgürdür [14].

Bu özgürlüğün, diğer yapılar olan yalnız faz ve yalnız genlik kontrollü yapılarla karşılaştırılınca daha iyi sonuçlar alınmasına olanak sağladığı bilinmektedir.

Aşağıda daha sonra matematiksel analizlerinin yapılacağı N elemanlı doğrusal dizinin basit bir çizimi verilmektedir.



Şekil 4.1 Her bir elemanı genlik ve faz kontrollü dizinin yapısı.

N elemanlı bir dizi için M adet sıfırın yerini karıştırıcı sinyallerin olumsuz etkilerinden kaçınmak amacıyla değiştirmek için faz ve genlik kontrollü dizi yapısı kullanılan sistemin analizi yapılmıştır. Yeri değiştirilen sıfırların sayısının dizinin eleman sayısından küçük olduğunu farz edilsin ($M < N$). Ayrıca dizinin ışıma örüntüsünün geliş düzlemine dik olduğu durumda maksimum olduğu kabul edilsin. Yani $u = 0$ olacaktır. Bu durumda faz ve genlik kontrollü yapıda dizi elemanlarının ağırlığının orijinal değeri üzerinde olan değişim sonrası elde edilen dizi eleman ağırlığı, aşağıdaki gibi olacaktır [18,23].

$$w_n = a_n + \Delta w_n \quad (4.6)$$

$$\Delta w_n = a_n(\delta_n + j\varphi_n) \quad (4.7)$$

Eş.4.6' da verilen a_n başlangıç eleman dizi ağırlığının, Δw_n ise dizi eleman ağırlığındaki değişimin ifadesidir. Bu durumda dizi faktörü de değişmiş olacaktır.

$$AF = \sum_{n=1}^N w_n e^{jn\psi} \quad (4.8)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{jn\psi} + \sum_{n=1}^N \Delta w_n e^{jn\psi} \quad (4.9)$$

$$AF = AF_o + AF_{per} \quad (4.10)$$

Eş.4.10' da AF_o orijinal dizi faktörünü, AF_{per} ise orijinal dizi faktöründen olan sapmayı ifade eder.

$$AF_{per} = \sum_{n=1}^N \Delta w_n e^{jn\psi} \quad (4.11)$$

$$AF_{per} = \sum_{n=1}^N a_n (\delta_n + j\varphi_n) e^{jn\psi} \quad (4.12)$$

u_m açılarında M adet karıştırıcının olduğu bir ortamda $N > M$ olmak şartıyla M adette sifıra sahip olunması gerekir. Sonuç olarak dizi faktörümüz $u = u_m$ olduğunda sifıra eşit olacağından

$$AF(u_m) = AF_o(u_m) + AF_{per}(u_m) = 0 \quad (4.13)$$

$$AF_o(u_m) = -AF_{per}(u_m) \quad (4.14)$$

elde edilecektir.

Eş.4.14' ün gerçek ve sanal iki kısma sahip olduğu düşünüldüğünde $2N$ bilinmeyenli $2M$ denkleme sahip olduğu ortadadır. Ancak bu durumun denklemin bir çözümünün olması için yeterli olmadığı, çözüme yönelik yeni tanımlamaların yapılmasının gerektiği de ortadadır [14]. Bu yeni tanımlama da eleman ağırlıklarından gelmektedir.

Tasarım yapılırken bir amaç daha vardır. O da değişimi en azda tutabilmektir. Bunun için orijinal eleman ağırlıklarının, a_n , değişim ağırlık oranlarına, Δw_n , göre karşılaştırmalı değerlerinin karelerinin toplamının en küçük seviyede tutulması gerekmektedir [9,24]. Bu matematiksel olarak ifade edilecek olursa;

$$\sum_{n=1}^N (\delta_n + j\phi_n)^2 = \min \quad (4.15)$$

bu durumda orijinalden saptırılmış eleman ağırlıklarını aşağıdaki gibi ifade edilebilir [9].

$$\Delta w_n = a_n^2 \sum_{m=1}^M \gamma_m e^{j\psi_m} \quad (4.16)$$

Eş.4.16' da γ_m Eş.4.14'deki doğrusal eşitliğin M' inci dereceden çözümündeki orijinalinden saptırılmış her bir anten elemanı huzmesi için genlik sabitidir [14]. Eş.4.13, Eş.4.16' da yerine konunca;

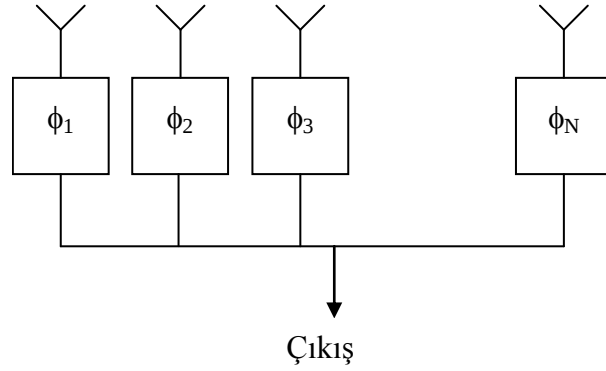
$$AF_{per}(u) = \sum_{m=1}^M \gamma_m \sum_{n=1}^N a_n^2 e^{jd(u-u_m)} \quad (4.17)$$

elde edilir.

Faz ve Genlik kontrollü dizi yapısı anten konfigürasyonunu oluşturan elemanlara ait kompleks genliklerin kontrol edilmesi olarak özetlenebilir. Ancak bu yöntemle büyük dizi yapılarının genliklerini değiştirerek sıfırları kaydırma hem ihtiyaç duyduğu donanımlar açısından masraflı hem de verimsiz ve yavaş bir yöntemdir [20]. İşte bu olumsuzlukların üstesinden gelmek maksadıyla yalnız faz veya yalnız genlik kontrollü yapılar kullanmak mümkündür.

4.2.2. YALNIZ FAZ KONTROLLÜ YAPILAR

Sıfırları kaydırma yöntemi olarak tasarımcılar için oldukça verimli bir yöntem olarak bilinir. Bunun nedeni elemanları kontrol amacıyla ihtiyaç duyulan tüm donanımın zaten dizi yapısı içinde mevcut olmasıdır. Bu durum sadece faz kontrollü yapı üzerinde birçok araştırma yapılmasına neden olmuştur [14,17,20-24]. Sadece faz kontrollü dizi yapısına ait basit bir konfigürasyon Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2 Sadece faz kontrollü dizi yapısına ait blok şema.

$$f(u_m) = 0, \quad m = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4.18a)$$

$$\sum_{n=0}^N (e^{j\varphi_n} - 1)^2 = \min \quad (4.18b)$$

Yukarıdaki eşitliklerde m kaydırılabilecek sıfırların sayısını, φ_n ise fazdaki değişimi ifade eder.

Tasarımda çözüme kavuşturulması gereken, sıfırların u_m açısına yönlendirilmesi ile elde edilen yayım örüntüsünde N elemana ait yine aynı sayıdaki φ_n değerlerini elde etmektir.

Eğer gerçek yayım örüntüsü, yani sıfırlar kaydırılmadan önceki örüntü, eş aralıklarla yerleştirilmiş doğrusal dizi tarafından oluşturuluyorsa, eleman ağırlıkları dizi merkezine göre simetrik eşlenik $w_n = w_{N-n+1}$ olacaktır. Aynı şekilde faz değişimi de $\phi_n = -\phi_{N-n+1}$ çift simetrik olacaktır. Bu durumda bilinmeyen faz sayısı yarı yarıya azalacaktır [21].

Normalde tasarımda orijinal fazdan olan sapma miktarı en düşük seviyede tutulmaya çalışılır. Ancak bazı durumlarda farklı uygulamalarda vardır.

4.2.2.1.KÜÇÜK FAZ SAPMALARARI

Düşük yan huzmelerin oluşturduğu nispeten optimum ölçüde orijinalinden saptırılmış olan örüntü bölgesi içinde dizi eleman sayısından daha az miktarda sıfırın ($M < N$) yerlerinin orijinal besleme sabitindeki yalnız faz değerlerinin belirli ölçüde değiştirilmesi ile sıfırların arzu edilen açılara kaydırıldığı yayım örüntüsü elde edilebilir. Bu şartlarda orijinalinden saptırdığımız besleme sabitlerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [14,23].

$$w_n = a_n e^{j\phi_n} \quad (4.19)$$

Sonuçta fazdaki değişimin küçük bir değişim olması, $|\phi_n| \ll 1$, istenen bir durumdur. Eş. 4.19' deki faz terimini Taylor seri açılımının ilk iki terimine göre açılacak olursa,

$$w_n \approx a_n (1 + j\phi_n) \quad (4.20)$$

eşitliği elde edilir. Küçük faz sapmasının olması böyle bir yaklaşımda bulunma imkanı sağlamaktadır [22].

Eş.4.20, Eş.4.10' da yerine konduğunda orijinalinden sapmış olan örüntü aşağıdaki gibi verilir.

$$F(u) = F_o(u) + j \sum_{n=1}^N a_n \phi_n e^{jd \sin \theta} \quad (4.21)$$

$$F(u) = F_o(u) + F_{per}(u) \quad (4.22)$$

Eş.4.21' de $F_o(u)$, Eş.4.1 elde ettiğimiz başlangıç örüntümüzü, $F_{per}(u)$ orijinalinde sapmaya sebep olan örüntü terimini ifade eder. $u = \sin \theta$ olarak sadeleştirildiğinde;

$$F_{per}(u) = j \sum_{n=1}^N a_n \phi_n e^{jdu} \quad (4.23)$$

elde edilir.

Örüntüsü içinde M adet sıfır bulunan dizi yapısı için, sanal ve gerçel kısımları da hesaba katılırsa N bilinmeyenli 2M adet denkleme sahip olunur.

Elde etmek istediğimiz örüntünün sıfırlarının u_m yönünde olduğu farz edilecek olursa;

$$F(u_m) \approx F_o(u_m) + j \sum_{n=1}^N a_n \phi_n e^{jdu_m} = 0 \quad (4.24a)$$

$$\sum_{n=1}^N |\phi_n|^2 = \min \quad (4.24b)$$

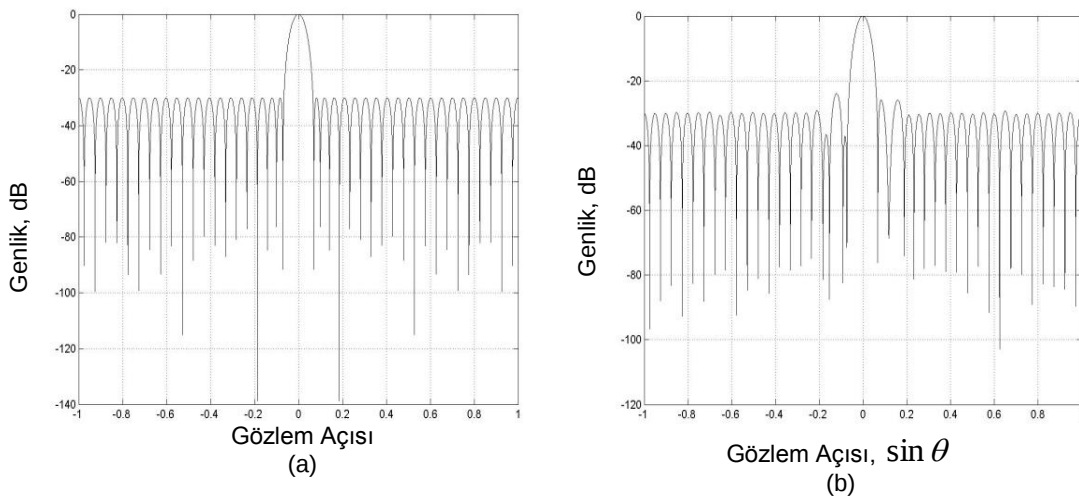
eşitlikleri elde edilir. Çözümüne giden yolda fazdaki sapmanın karelerinin toplamının minimum olacak şekilde elde edilmeye çalışıldığı açıktır. Dizi elemanlarına ait fazdaki sapma aşağıdaki gibi yazılabilir [27].

$$\phi_n = a_n \sum_{m=1}^M \alpha_m \sin[dn u_m] \quad (4.25)$$

Eş.4.25' de α_m huzme sabitidir. Örüntüdeki sapma da aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_{per}(u) = \sum_{m=1}^M \alpha_m \sum_{n=1}^N \frac{a_n^2}{2} [e^{jd(u+u_m)} - e^{jd(u-u_m)}] \quad (4.26)$$

$F_o(u)$ çift özellikli bir fonksiyonken, $F_{per}(u)$ tek özellikli fonksiyondur. Bu durum tersi içinde geçerlidir. Yani ideal doğrusal bir dizi yapısında arzu edilen bir açıya sıfır koyulduğunda ana huzmeye göre simetrik açıda yan huzmede artış meydana gelir [22,23].



Şekil 4.3 (a) 41 elemanlı 30 dB Chebyshev örüntüsü.
(b) $\theta = 7.07^\circ$, $u = 0.123$ e sıfır kaydırıldığında oluşan örüntü.

Şekil 4.3.a' da 41 elemanlı 30 dB Chebyshev örüntüsü görülmektedir. Aynı konfigürasyona $\theta=7.07^\circ$, $u=0.123$ ' e sıfır kaydırıldığında oluşan örüntü ise Şekil 4.3.b' de görülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde bu konfigürasyonla simetrik yapıda bir sıfır kaydırmanın mümkün olmadığı görülür. Yani fazda küçük sapmaları kabul ederek yapılan sıfır kaydırma tekniğinde, ancak yan huzmenin düşük olduğu bölgelerde simetrik olmayan ve sayıca dizi yapısından daha az ($M \ll N$) sıfır kaydırma başarılabilir [14,22]. Ancak yine yapılan çalışma gösteriyor ki, fazda ki sapma miktarının sınırlandırılmaması durumunda da doğrusal olmayan programlama teknikleri kullanılarak simetrik sıfırlar elde edilebilmesi nümerik çözümlerle mümkündür [22].

4.2.2.2.BÜYÜK FAZ SAPMALARI

Fazda büyük sapmaların öngörüldüğü çözümler, fazda küçük sapmalarla çözüme ulaşamadığımız türden problemlerin çözümünde uygulanan bir yöntemdir.

Fazda büyük sapma ile, sıfırların ana huzmeye yakın olduğu durumlarda, iki sıfırın ana huzmeye göre simetrik olarak yerleştirmek istendiği zamanlarda, açısal olarak dar bir bölge içine nispeten çok sayıda sıfır yerleştirilmek istendiği şartlarda veya yerleştirilmek istenen sıfır sayısı $M \ll N$ şartını sağlayacak koşulların ötesine geçecek kadar fazla olduğunda tasarımcının uygun çözümler elde etmesi mümkündür. Bu koşullar altında yalnızca fazda değişime gidilerek sıfırların kontrol edilmesi nümerik metotlar kullanılan çözümler ile başarılı [14].

Referans [14] içinde yapılan çalışmalar sonucunda örnek olarak Chebyshev örüntüsüne $\pm 14.70^\circ$ 'lerde iki adet simetrik sıfır kaydırıldığında, orijinal örüntünün simetrisinin saptırılmış örüntüde ortadan kalktığı görülmektedir. Yan huzme seviyelerinde göz önüne alınacak miktarlarda bir artış meydana gelmekle beraber, ana huzmede yaklaşık 1 dB'lik bir kaybın olduğu anlaşılmıştır.

Yalnız faz kontrollü dizi yapısı içinde üzerinde durduğumuz her iki yöntemde adaptif yöntemlerdir. Faz kontrollü dizilerde sıfır kaydırma konusunda farklı çalışmalarda literatürlerde kullanılmaktadır. Bunlardan biriside deterministik yöntemdir [17]. Bu teknik adaptif sıfır kaydırma teorisinden türetilmiştir. Özellikle yönü değişmeyen yada zamanla değişmeyi istemeyen sinyaller olarak bilinen yer karmaşası (ground clutter) ve karıştırma uygulamalarında, herhangi bir donanımsal değişime gitmeden maliyetleri azaltmak amacıyla kullanılır.

4.2.3. YALNIZ GENLİK KONTROLLÜ YAPILAR

Elemanları üzerinde yalnızca genlik kontrolü olan dizi yapısı Şekil 4.1’de verildiği gibidir. Bu yapıda sıfırların kontrolü sadece genlik üzerinde yapılan değişikliklerle sağlanır. Faz kaydırıcılar, ana huzmenin arzu edilen yöne kaydırılması amacı dışında kullanılmazlar. Referans [18] içinde eleman ağırlıklarının, dizi örüntüsüne ait sıfırların eşlenik çiftler halinde seçilmesi durumunda gerçel ağırlıklar olacağı gösterilmiştir.

$$AF = (z - z_1)(z - z_1^*)(z - z_2)(z - z_2^*)...(z - z_k)(z - z_k^*) \quad (4.27)$$

burada $k = \frac{N-1}{2}$.

Eş.4.27’ den anlaşılacağı üzere her bir çift gerçel sabitlerden oluşmaktadır. Sonuç olarak dizi faktörünü meydana getiren tüm sabitler gerçel ve dizi merkezine göre simetrik bir yapıya sahiptir. Bu simetriden dolayı da işlem zamanı yarıya inecek, besleme genlik değerlerini değiştirmek için gerekli olan zayıflatıcı sayısı da azalacaktır [18,26].

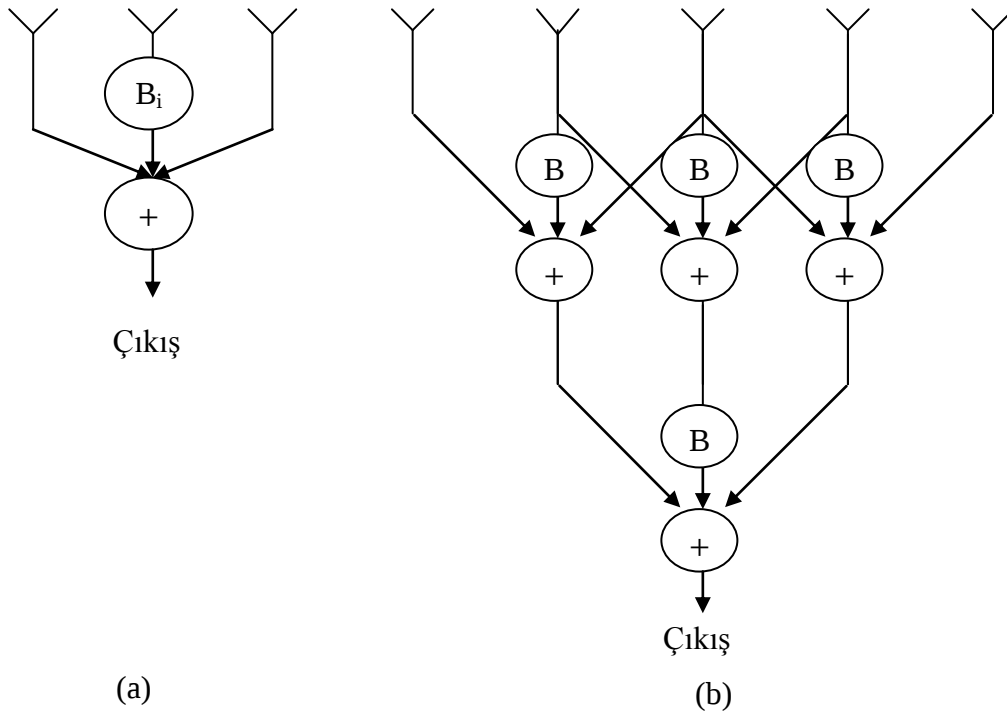
Eş.(4.1) kullanılarak,

$$\theta_n = \sin^{-1}\left(\frac{\Psi_n - \beta}{kd}\right) \quad (4.28)$$

elde edilir, burada Ψ_n birim çemberdeki sıfır pozisyonları (kökler) ve θ_n dizinin sıfır pozisyonlarıdır.

Eş.4.28' den de görüldüğü üzere, sıfırların kaydırılması huzme tarama açısına, θ , bağımlıdır. $z = e^{j\psi}$ olduğundan, huzmenin tarama açısının her değişiminde sıfırların pozisyonları değişecektir, bunun sonucu olarak diziye ait ağırlıklar yeniden belirlenecektir. Her bir sıfır pozisyonunun değişimi beraberinde ağırlıkların yeniden hesap edilmesini getirecektir [18,20].

Referans [20] içinde, her bir sıfırın ağırlıklarının eşlenik seçildiği yeni yaklaşıma ait yapı verilmiştir. İlgili besleme ağırlıklarının değişimiyle sıfırlar kaydırılabilmektedir. Söz konusu yaklaşıma ait yapı Şekil 4.3' te gösterildiği gibidir.



Şekil4.4 (a) Sıfır ağırlıklarının eşlenik seçildiği diziye ait basit yapı.
(b) Sunulan yönteme ait 5 elemanlı dizi yapısı.

Şekil 4.4.a' da verilen konfigürasyona ait dizi faktörü,

$$AF_i = (z - z_i)(z - z_i^*) = 1 + B_i z + z^2 \quad (4.29)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş.(4.2) kullanılarak,

$$B_i = -(z_i + z_i^*) = -2 \cos(kd \sin \theta + \beta) \quad (4.30)$$

olarak elde edilir [20].

Şekil 4.4.a ile verilen yapıda bir adet sıfır noktası istenilen pozisyona kaydırılabilir. Bu yapıya ait dizi faktörü referans [20] içinde aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$AF_i(\theta) = (\cos(kd \sin \theta + \beta) - \frac{B_i}{2}) \quad (4.31)$$

Şekil 4.4.b' de verilen yapıya ait dizi faktörü ise,

$$AF(\theta) = \prod_{i=1}^{(N-1)/2} (\cos(kd \sin \theta + \beta) - \frac{B_i}{2}) \quad (4.32)$$

olacaktır.

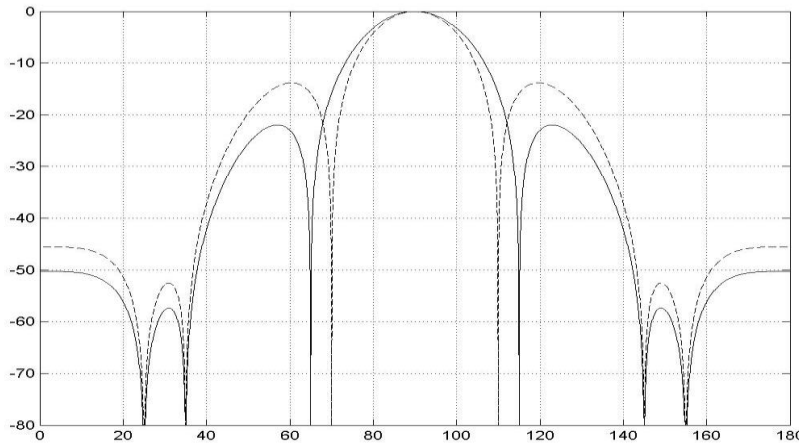
Şekil 4.4.b' de verilen yapıda iki adet sıfır noktası bağımsız olarak eleman besleme ağırlıklarının değiştirilmesi ile istenilen yöne kaydırılabilir. Aynı satıra ait ağırlıklar birbirine eşitse, bu elemanlarla ancak bir tek sıfır başka bir pozisyona kaydırılabilir. Büyük dizi yapıları için bu metodun kullanımı karmaşıktır. Gerçek ağırlıklara sahip bu dizilerde ana huzme aynı pozisyonda kalırken tüm sıfırlar kaydırılabilir. Sıfırların yarısı yerine N-1 adedi bağımsız olarak kaydırılabilir [27].

Bastırılmak istenen gürültü kaynağının veya karıştırıcı sayısının kaydırılabilen sıfır pozisyonu sayısından az olması durumunda, geriye kalan sıfır noktaları yan huzme seviyesini kontrol etmek veya dizi örüntüsünü optimize etmek için (ana huzme genişliği, yan huzme seviyesi gibi) kullanılabilir [18,20,26,28-30]. Referans [18] içinde, bu optimizasyonun sıfırların pozisyonundan yararlanılarak yapılabileceği de belirtilmektedir.

Sıfırların pozisyonlarının ana huzmeye yaklaştırılması durumunda ana huzmede daralma olacağı ancak aynı zamanda yan huzme seviyesinin artacağı, ana huzmeden daha uzak noktalara kaydırığımız da ise, ana huzmenin genişleyeceği ancak yan huzme seviyelerinin seviyesinde azalma meydana geleceği açıklanmıştır.

Şekil 4.5' de 7 elemanlı doğrusal diziye 25° ve 35° 'lerde iki adet sıfır kaydırıldığında ve ana huzme enerjinin geliş yönüne baktırıldığında oluşan örüntü gösterilmiştir. Kalan bir sıfırın ise 65° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü devamlı çizgilerle, 70° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü ise kesikli çizgiler ile verilmiştir.

Şekil 4.5' ten kalan sıfırın ana huzmeye yakın bir pozisyona kaydırılması durumunda, yan huzme seviyelerinde artış meydana geldiği ancak ana huzmenin daraldığı, bunun tersi yapıldığında ise ana huzmenin genişlediği fakat yan huzme seviyesinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Referans [18] içinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca yine Şekil 4.5' ten eklenen sıfırların ana huzmeye göre simetrik bir örüntü meydana getirdikleri de görülmektedir. Bu yalnız genlik kontrollü yapı kullanılmış olmasının bir sonucudur.



Şekil 4.5 7 elemanlı doğrusal diziye 25° ve 35° de sıfır eklendiğinde, kalan bir sıfırın ise 65° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü (-).
7 elemanlı doğrusal diziye 25° ve 35° de sıfır eklendiğinde, kalan bir sıfırın ise 70° 'ye kaydırılması durumunda oluşan örüntü (---).

Sıfır derinliği yan huzme seviyesi ile doğrudan ilişkilidir. Azalan sıfır derinliği yan huzme seviyesinde artışla sonuçlanırken, artması durumunda yan huzme seviyesi azalacaktır. [26].

Ayrıca, istenilen besleme genliklerini elde etmek için kullanılan zayıflatıcıların basamak değerlerinden kaynaklanan nicemleme hataları oluşmaktadır [18,20].

Bunların dizi örüntüsüne olan etkileri aşağıda matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$AF = (w_0 + \Delta_0) + (w_1 + \Delta_1)z + \dots + (w_{N-1} + \Delta_{N-1})z^{N-1} \quad (4.33a)$$

$$AF = (w_0 + w_1z + \dots + w_{N-1}z^{N-1}) + (\Delta_0 + \Delta_1z + \dots + \Delta_{N-1}z^{N-1}) \quad (4.33b)$$

$$AF = AF_0 + AF_{\Delta} \quad (4.33c)$$

Burada AF_0 istenilen örüntü, AF_{Δ} nicemleme hatasının örüntüye etkisi ve AF elde ettiğimiz sonuç örüntüsüdür. Ancak nicemleme hatalarının etkisi oldukça küçüktür [18].

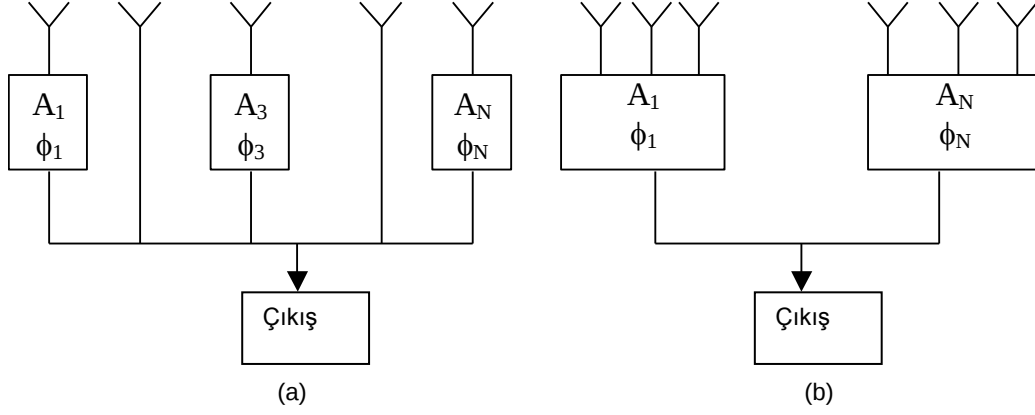
4.2.4 DİZİ ELEMANLARININ KONTROLÜ

Anten örüntüsü oluşturulmasında sıfırların kontrolünü sağlayan örüntü oluşturma tekniklerinin iki farklı amaca yönelik olarak kullanıldığı söylenebilir. Bunlardan birincisi ana huzme şekli üzerine yoğunlaşan ancak yan huzme üzerinde çok yoğunlaşmayan klasik örüntü oluşturma teknikleridir. Bu tekniklerde amaç artan elektromanyetik kirlilik ortamında birkaç sıfırın yönünü arzu edilen yöne kaydırmayı sağlamaktır.

İkincisi ise daha çok adaptif anten sistemleri üzerine yoğunlaşan tekniklerdir. Bu noktada tasarıma ait temel nokta, anten için en uygun kontrol yapısı belirlemek, örüntüdeki bozulmanın ne kadar olması durumunda amaca yönelik çalışmaya devam edilebileceği, uygulanması yeterli olacak sıfır derinliği gibi sorulara yanıt bulmaktır [14].

Önceki bölümlerde sıfırların kaydırılması konusunda uygulama alanı olan bir takım tekniklerden bahsedildi. Bunlara ek olarak sıfır kaydırma konfigürasyonu olarak dizi

yapısını oluşturan elemanlardan seçilmiş olanların kontrolü ve alt dizi seviyesinde kontrol tipleri de mevcuttur. Şekil 4.6.a ve Şekil 4.6.b' de bu blok şemalar verilmiştir.



Şekil 4.6 (a) Seçilmiş elemanlar kontrollü dizi blok şeması.

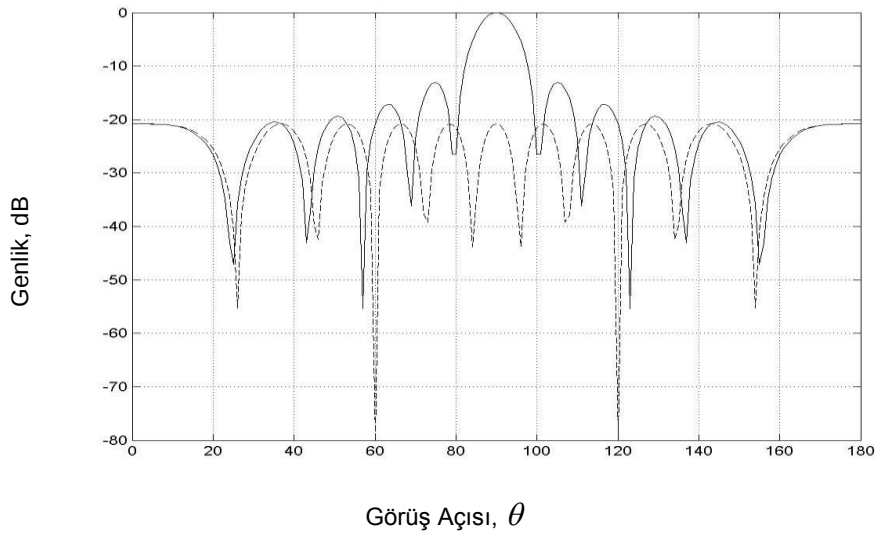
(b) Alt dizi kontrollü blok şeması.

Sıfırların kaydırılması için seçilmiş dizi elemanlarının kontrol edilmesi üzerine yapılan çalışmaların nedeni, her bir elemanın kontrolü için gerekli olan donanımsal yapıların karışıklığı ve yüksek maliyeti olmasıdır [14,31,32]. Her bir elemanın kontrol edildiği dizi yapıları maliyetleri yüzünden ancak küçük anten dizileri olabilirler [14].

Seçilmiş elemanların kontrol edildiği yapılar, yan huzme bölgesine sıfırların kaydırıldığı uygulamalarda kullanılır [14]. Ayrıca dizinin son elemanlarının derin sıfırlar üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Bu durum da tasarımcı tarafından derin sıfırlar oluşturmak amacıyla bu elemanların düzenlenmesi etkili bir yöntemdir [31].

Şekil 4.6.b' de verilen alt dizi kontrol konfigürasyonu, ana huzme bölgesindeki sıfırların kaydırılması uygulamalarında etkilidir. Bunun sebebi alt dizinin ana huzme üzerindeki etkisinin yüksek olmasıdır. Örnek verecek olursak monopulse dizi antenlere ait fark örüntüsü iki adet alt dizi yapısı kullanılarak elde edilmektedir. Bu sayede ana huzmede fark örüntüsü sıfır olarak elde edilebilmektedir [21].

Diziye oluşturan elemanların kontrolleriyle ilgili bir diğer yaklaşımda, son elemanların kullanılarak yan huzme seviyesinin kontrol edilmesidir. Bu fikrin temelinde eş beslemeli doğrusal bir dizinin son elemanlarının örüntüsü ile dizinin yan huzme örüntüsünün benzer olması yatmaktadır [31, 32].



Şekil 4.7 11 elemanlı eş beslemeli doğrusal bir dizinin örüntüsü (-).
11 elemanlı eş beslemeli doğrusal dizinin son elemanlarına
ait örüntü (---).

Şekil 4.7' de kesikli çizgiler ile gösterilen örüntü, 11 elemanlı eş beslemeli doğrusal bir dizinin son elemanına ait örüntü şeklindedir. Yine aynı şekilde devamlı çizgiler ise dizinin örüntüsünü temsil etmektedir. Şekil 4.7'de de görüldüğü üzere dizinin son elemanlarının örüntüsü dizinin yan huzme örüntüsünü takip etmektedir. Son eleman örüntüsü diziye ait elemanların ağırlıkları değiştirilmek suretiyle ayarlanabilir. Dizinin son elemanları kullanılarak elde edilen örüntüye bastırma örüntüsü denilmektedir.

Burada amaç, karıştırıcının veya istenmeyen sinyalin olduğu durumlarda iptal örüntüsünü kullanarak olumsuz etkilerden sakınmaktır. Askeri radar tasarımlarında Ω kanalının kullanım amacına benzer bir uygulamadır.

Oldukça basit bir mantığı vardır iptal örüntüsü bastırılması istenen yan huzmenin maksimumuna olabilecek en yakın açıda maksimumları birbiriyle örtüşecek şekilde kaydırılır ve bu sayede yan huzme deki karıştırıcının etkisi yok edilir [31,32].

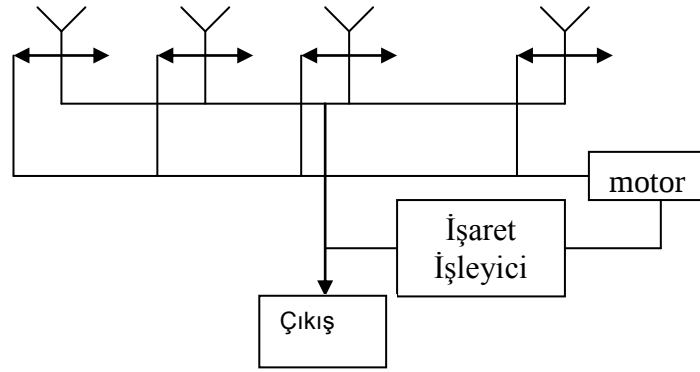
Referans [31] içinde son elemanlar kullanılarak geniş ve derin sıfırlar elde edilebildiği gösterilmiştir. Ayrıca ana huzmenin kazancında ve şeklinde önemli bir bozulma, yalnızca iki adet son eleman ağırlığı değiştirildiği için gözlenmemiştir.

Referans [32] içinde ise son elemanları kullanmak yerine iki adet harici eleman kullanılmıştır. Bunun nedeni harici elemanların örüntülerinin, orijinal örüntüye son eleman örüntüsüne göre daha iyi uyum sağlamasıdır. Ayrıca yine aynı referans içinde bir harici birde son eleman yan huzme bastırma amaçlı kullanılmıştır. Aynı zamanda harici elemanlar yalnızca genlikleri ayarlamak amacıyla da kontrol edilebilir. Fakat referans yayın [31] içerisinde genlik ve faz kontrolü ile sağlanmıştır.

Referans [31,32] içinde çalışılan yan huzme bastırma yöntemi gerçek zaman uygulamalarında kolayca ayarlanabilir görülmektedir. Çünkü yalnızca iki adet elemana ait besleme değerlerinin değiştirilmesi, dizi yapısını oluşturan tüm elemanların besleme değerlerinin yeniden oluşturulmasından çok daha az zaman alacak bu da hesaplama zamanının gerçek zamanlı olmasını mümkün kılacaktır. Ayrıca her bir yan huzme bastırma açısı değeri için gerekli olacak besleme değerleri, önceden hesaplanarak oluşturulacak veri tabanında, kolayca saklanabilir ve gerçek zamanlı uygulamaları yeni hesaplamalar yapılmasına gerek kalmayacak bir şekilde hayata geçirebilir.

4.2.5 DİZİ ELEMANLARININ YERLERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ İLE KONTROL

Sıfırların kaydırılmasını mümkün kılan farklı metotlardan biriside dizi elemanlarının yerlerinin kontrol edilmesi yöntemidir [15,16,33]. Bu yöntemde dizi elemanlarının yerlerinin değiştirilmesi suretiyle faz kontrollü yapılarda olduğu gibi faz değerinde bir değişime gidilmesi temel prensiptir. Bu yapıya ait örnek yapı Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.8 Dizi elemanlarının pozisyonlarının değiştirilmesi ile kontrol edilebilen konfigürasyon.

Dizi elemanlarının pozisyonu Δ_n kadar değiştirildiğinde, yeni dizi faktörü;

$$f(u) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n e^{jnk d_n u} e^{jnk \Delta_n u} \quad (4.34)$$

şeklinde ifade edilir.

Dizi elemanlarının yer değiştirme değeri Δ_n 'nin elemanlar arası uzaklık olan d 'ye kıyasla küçük bir değer olduğu varsayılarak, Taylor açılımının ilk iki terimini kullanılması mümkün olacaktır ve bu durumda Eş.4.16 ile ifade edilen denklem,

$$f(u) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n e^{jnk_d u} (1 + j\Delta_n u) \quad (4.35a)$$

$$f(u) = f_0(u) + f_c(u) \quad (4.35b)$$

Eş.4.35b ' de f_c bastırma örüntüsü olarak adlandırılır.

$$\sum_{n=0}^{N-1} (\Delta_n)^2 = \min \quad (4.36a)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} (w_n \Delta_n)^2 = \min \quad (4.36b)$$

Eş.4.35a' nın çözümü esnasında iki farklı yaklaşım Eş.4.36a ve Eş.4.36b kullanılabilir. Eş.4.36a' da tüm elemanların pozisyon değişiminin karelerinin toplamı en küçük olacak şekilde ayarlanırken, ikinci yaklaşım olan Eş.4.36b ile görece pozisyon değişiminin karelerinin toplamını en küçük tutmaya çalışılmaktadır [16].

Şimdiye kadar anlatılanlar sadece faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğine benzemektedir. Ancak fark örüntüsünün çift simetrik olması durumunda, elde edilen sonuç örüntüsü de simetrik sıfırlara sahip olacaktır. Sonuç eleman pozisyonlarında dizi merkezine göre simetrik. Çünkü dizi merkezine göre eleman pozisyon değişimleri tek simetrik; sonuç olarak eleman pozisyonlarının son hallerini hesaplanması için gereken zamanda yarı yarıya olacaktır [16,33].

Eleman pozisyon değişim metoduyla birlikte bir takım avantajlarda elde edilmektedir. Bu teknik sayesinde faz kaydırıcılar, yalnızca ana huzmeyi istenilen yöne kaydırmak için kullanılabilecek iken, sıfırların da ana huzmeden bağımsız bir biçimde kaydırılmaları mümkün olacaktır. Ana huzme etrafında, simetrik pozisyonlarda sıfırların oluşturulması sağlanabilecektir. Eleman pozisyon değişiminin dizi merkezi etrafında simetrik olmasının, hesaplama zamanının yarı yarıya azalmasında katkısı olacaktır. Bu yöntem

karıştırıcıların sayılarının dizi eleman sayısına göre çok daha küçük olduğu durumlarda kullanıldığında elde edilecek sonuç örüntüsünün formunun, elemanların pozisyonlarının değişimine daha az duyarlı olduğu beklenmektedir [16].

Eleman pozisyon değiştirme metoduyla sıfır kaydırmanın, az sayıda sıfırların yerinin değiştirilmesinde ve bu sıfırların yan huzme bölgesinde olması durumunda etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir. Bu teknik aynı zamanda, yan huzme bastırma ve geniş bant sinyal bastırmada da etkilidir [16].

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde, yan ve arka huzme seviyelerinin yeni metotla diğerlerine oranla daha düşük elde edildiği ve sıfırların kontrolü için elemanların yerlerinin daha az değiştirilmesinin gerektiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yönlülük, yarı güç huzme genişliği gibi önemli parametrelerinde sıfırları kaydırılan huzme ile başlangıç huzme formunda birbirine oldukça yakın çıktığı görülmüştür [22].

4.3 SIFIRLARIN KAYDIRILMASI ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER

Çeşitli sıfır kaydırma ve örüntü oluşturma tekniklerine ait genel bilgiler ve bu yöntemlerin birbirine karşı olan avantaj, dezavantaj ve sınırlamaları ortaya konuldu. Bu sayede arzu edilen örüntüye en yakın örüntüyü elde etmek ve bunu sağlayan elektronik kontrol donanımlarının karmaşıklığı arasında bir orta yol bulma konusunda fikir sahibi olunması amaçlandı.

Farklı yöntemler, karşılaşılan sorunun çözümüne ilişkin en doğru yapıyı bulma konusunda yardımcı olacak fikirler sundu.

Genlik ve faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin analitik teknikler içinde en uygun çözüm tekniği olduğu, ancak donanım gereksinimlerinden dolayı oldukça yüksek maliyetlerinin olduğu, yalnız faz kontrollü sıfır kaydırma yönteminin nispeten daha az karmaşık problemlerin çözümünde yeterli olduğu ve bu yöntemde sıfırların yan huzmede mi yoksa ana huzme bölgesinde mi kontrol edilip edilemeyeceğinin önem arz ettiği, bunların dizi konfigürasyonu ile aralarındaki bağlantıları irdelenmiştir. Genlik kontrollü yapılarda nicemleme hatalarının örüntü üzerindeki etkilerine değinilmiş, genlik kontrollü sıfır

kaydırma metodunun faz kontrollü metoda göre daha duyarlı olmasının avantajından bahsedilmiştir [14,18].

Faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin, küçük faz değişimleri için yapılan çözümlerinde Taylor açılımının ilk iki terim kullanılarak doğrusal bir denklem haline geldiği ve analitik yöntemler kullanılarak çözümünün mümkün olduğu, ancak bu yöntemin ana huzme bölgesine simetrik olarak iki sıfırın kaydırılması gibi problemlerin çözümünde başarısız olduğu, bu tip sorunların çözümü için eleman konum kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin etkili bir metot olduğu gösterilmiştir [16].

Faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğinde fazdaki değişimin küçük olduğu durumda ana huzme çevresinde simetrik sıfırların kaydırılmasının mümkün olmadığından daha önce bahsetmiş, bunun üstesinden gelmek için eleman pozisyon kontrolü önerilmişti. Ancak Taylor açılımını kullanmak için küçük faz değişiminin temel alındığı belirtilen bu yöntemde faz değişimi büyük tutulursa ve doğrusal olmayan denklemin çözümünde bazı özel programlar kullanılırsa simetrik sıfırlara sahip örüntüler elde edilebileceği de görüldü [22].

Hesaplamalarda en küçük kareler hata yaklaşımı, gradient metot, rastgele arama ve simplex metot gibi tekniklerin kullanılabileceği bilinmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde çözümüne çalışılan problemlerin bilinmeyen sayıları azaltılabilir [14,22,23,34].

Şimdiye kadar istenmeyen işaretlerin olumsuz etkisinden kaçınmak için anten örüntüsü içindeki sıfırların yerleri değiştirildi. Ancak bu yöntem sadece dar bant işaretlerin karıştırma etkisini bastırmaya yetebilir. Bunun sebebi dizi örüntüsünün frekansı bağımlı olmasıdır [14,18,35]. Eş.4.28' den görülebileceği üzere sıfırların pozisyonlarının yönleri (n 'inci sıfır θ_n açısında) frekansa bağımlıdır.

Geniş bant karıştırma işaretlerinin etkisinin bastırılması için örüntü üzerinde geniş bir sektörde sıfırların oluşturulması gerekmektedir [14,17-19,35-36]. Bu tip bir problemin çözümünde ise iki farklı metot kullanılabilir. Bunlardan ilkinde göre, arzu edilen bölge ve onun yakın çevresinde sıfırların oluşturulması yani çoklu sıfırlamadır. İkincisi ise, yüksek derecede sıfırlama olarak adlandırılan, arzu edilen bölgenin merkezinin yüksek dereceli

sıfırlar ile örtüşmesidir. Referans [35] içinde her iki teknikte uygulanmış ve sonuçları karşılaştırıldığında, çoklu sıfırlama olarak adlandırılan ilk teknik ile geniş bant karıştırma sinyallerinin olumsuz etkilerine karşı daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Yine bölgesel sıfırlama çalışmaları içinde de [17,19,36,37] geniş sıfırlar elde etmenin mümkün olduğu görülmektedir. Geniş sıfır bölgelerine, karıştırma sinyallerinin yönünün tam olarak bilinmediği ya da zamana göre değişimlerinin çok yavaş olduğu durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır [37]. Belirli bir sektörde, ki bu bölge bizim sıfırları koymayı arzu ettiğimiz yer, alınan gücün yeter seviyede minimum olacak şekilde azaltılmasını sağlayacak; en düşük seviyede besleme ağırlıklarını elde etmeye çalışarak geniş sıfır bölgeleri elde edilebilir [17,19,37]. Ancak bu teknik hesaplamalardaki zorluklardan dolayı her durumda kullanılabilir değildir.

Örüntü üzerinde sıfırların kaydırılmasının bir takım olumsuz etkilerin de olduğu bilinmektedir. Bunlar arasında anten örüntüsünün ana huzme kazancında azalma ve yan huzme seviyelerinde istenmeyen seviye artışları sayılabilir [38,39]. Doğrusal dizilerde özellikle ana huzme bölgesinde yapılan sıfır kaydırma uygulamalarında yüksek seviyelerde yan huzmeler elde edilmektedir. Bunun temelinde enerjinin korunumu prensibi yatmaktadır. Herhangi bir yönden alınan gücün azaltılması diğer yönlerde daha yüksek seviyelerde güç alınmasına neden olmaktadır. Yan huzmelerden alınan enerjinin seviyesinin ana huzmedekine oranla çok daha küçük olduğu düşünüldüğünde, eğer kaydığımız sıfır yan huzme bölgesindeyse, anten örüntüsündeki bozulmanın çok da fazla olmayacağı açıktır. Ancak bunun tersi olarak kaydığımız sıfır ana huzme bölgesindeyse bu durumda anten örüntümüzdeki bozulmanın seviyesi giderek kötüleşecektir [38]. Bazı durumlarda, sapma durumunun minimum seviyede kalması bile ana huzmedeki bozulmanın ve azalmanın önüne geçilmesi için gerekli korumayı sağlayabilir. Böyle bir sonuçtan kaçınmanın bir takım ek algoritmalar geliştirerek mümkün olduğu bilinmektedir [19,40].

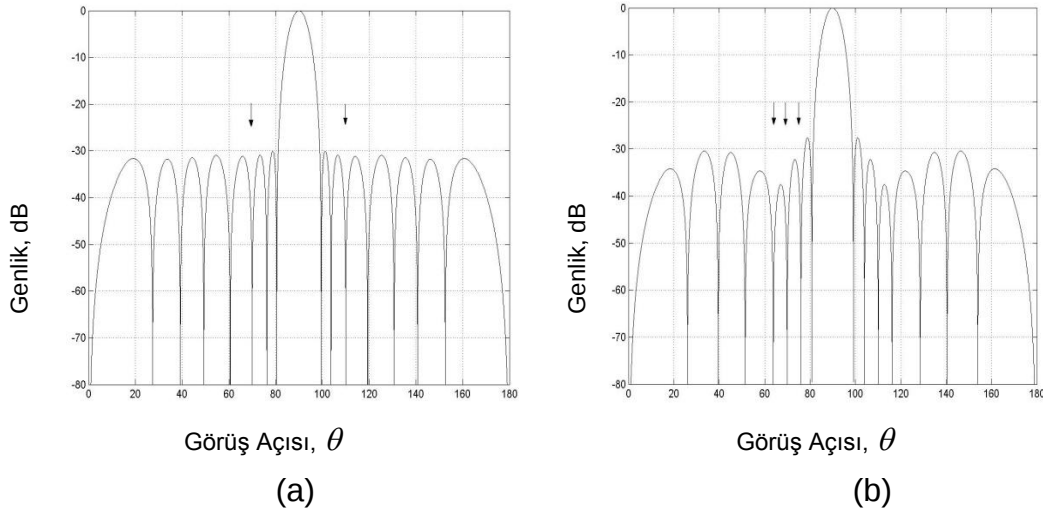
Askeri uygulamalarda hedef takip, algılama ve yön bulma sistemlerinde en çok kullanılan faz taramalı anten tipi monopulse antenlerdir. Monopulse antenlerde ortamdaki güçlü karıştırıcı sinyaller, performans üzerinde oldukça büyük olumsuz

etkilere sahiptir. Toplam ve Fark sinyallerinin hassas ölçümler yapması, monopulse anten mantığının işlerliği üzerinde büyük öneme sahiptir. Bu durumlarda istenmeyen sinyallerin etkisinden kurtulmak amacıyla sıfırlar karıştırıcıların yönüne kaydırılmalıdır [29].

4.4. SIFIRLARIN KAYDIRILMASI UYGULAMALARI

4.4.1. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma (GA), oldukça etkili ve uygulamada kolay iteratif bir arama tekniğidir [26]. Genetik algoritmanın en büyük özelliklerinden biri optimizasyon parametrelerini kolayca değiştirebilme yeteneğinin olmasıdır [30]. Literatürde GA sıfırların kaydırılması problemlerinde başarıyla uygulanan bir metot olarak sıkça görülmektedir. Referans [26,30] içerisinde yalnız genlik kontrollü yapılar, referans [42] içindeyse anten eleman pozisyonunun değiştirilmesi tekniği ile genetik algoritma metodunun birlikte kullanılması söz konusudur. Sıfırlar istenilen pozisyonlara kaydırılırken, GA ile yan huzme seviyelerinin ve derinliklerinin de optimum seviyelerde tutulabildiği gösterilmiştir.



Şekil 4.9

(a) 20 elemanlı 30dB Chebyshev örüntüsü 70° ye sıfır kaydırıldığında.

(b) Aynı örüntüde orijinal örüntünün ilk üç yan huzmesine sıfır kaydırıldığında.

Şekil 4.9' da GA kullanılarak örüntü üzerinde istenilen pozisyonlarda sıfır oluşturulmasına dair örnek verilmiştir. Bu örnekte referans [26] içindeki yalnız genlik kontrollü yapılandırma kullanılmıştır.

Sonuçta elde edilen örüntü, bize GA' nın istenilen pozisyona sıfır kaydırırken derinliğinin kontrolü ve yan huzme seviyelerinin arzu edilen düzeyde tutabilmesi konusunda verimli bir yöntem olduğunu göstermektedir. Şekil 4.9 a-b 'den görüldüğü gibi, istenilen pozisyonlara konan sıfırlar ana huzmeye göre simetriktr [26]. Bu durum genlik kontrollü uygulamanın bir sonucudur.

Diğer tekniklerle karşılaştırdığımız zaman, GA algoritma tabanlı sıfır kaydırma teknikleri ile sıfır derinliği ve yan huzme seviyelerinin kontrolü konusunda daha iyi sonuçlar elde edilebildiği görülmektedir.

4.4.2. TABU ARAMA YÖNTEMİ

Faz kaymalı ve adaptif anten sistemlerinde sıfırların kaydırılması, anten dizisine ait parametrelerin analitik çözüm metotları kullanılarak değiştirilmesiyle başarılabılır. Bunlar daha önce bahsedilen, karmaşık ağırlıkların, yalnız genlik, yalnız faz ve anten elemanlarının pozisyonlarının değiştirilmesi gibi tekniklerdir. Analitik çözümler, anten dizi parametrelerinin küçük değişimlere maruz bırakıldığı kabul edilerek yapılan yaklaşımların temel alınmasıyla elde edilir. Doğal olarak bu tip çözümlerin sonuçlarda yaklaşık sonuçlardır ki bunlarda istenmeyen sinyallerin olduğu bölgelere yerleştirilmek istenen sıfırların yerlerinin tam olarak doğru elde edilememesine neden olur. Ayrıca analitik tekniklerle elde edilen sıfırların derinlikleri de istenilen seviyelerde olmayabilir.

Tabu Arama Metodu önceden tanımlanmış herhangi bir yöne sıfırların etkili bir biçimde kaydırılması amacıyla etkili olarak kullanılabilir.

Tabu Arama Metodu tekrarlı bir işlem mantığına sahip olup yerel en büyük probleminden sakınmak konusunda avantajları olan bir yöntemdir. Bu metot üzerinde hesaplama yapılan ana fonksiyonların karmaşık ya da basit olmasından bağımsızdır.

Tabu arama yönteminin en büyük getirisi, bir dizi eksen boyunca kaydırılmış veya saptırılmış anten elemanlarını kullanarak, adaptif dizilerde sıfırların kaydırılması gerçekleştirilebilir.

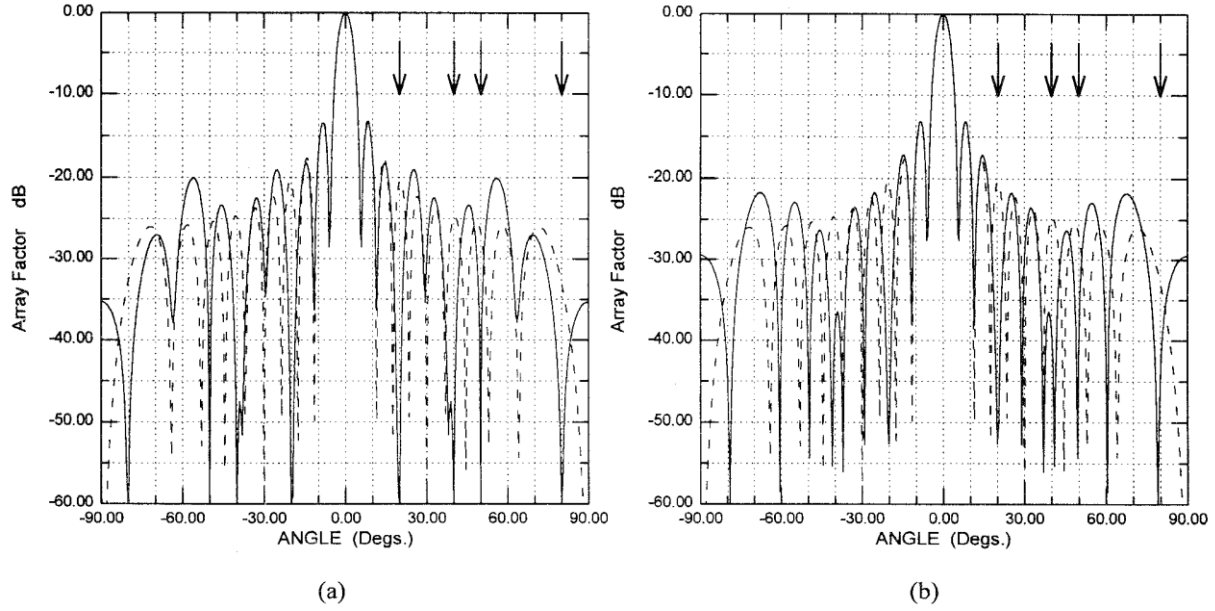
Analitik çözüm teknikleri kullanılarak eleman pozisyonunun yerinin kaydırılması veya saptırılması metodu ile sıfır kaydırma çalışmalarında elemanların ilk bulundukları pozisyonlara göre yer değiştirmiş oldukları pozisyonlar arasındaki farkların daima küçük kabul edilmesi prensibine dayanırdı. Ancak tabu arama metodu ile dizi elemanlarının yer değiştirme oranındaki bu sınırlama ortadan kaldırılmış oldu.

Bu çalışmaların sonucunda referans [43] içinde Çizelge 4.1' de gösterildiği üzere sıfırlar arzu edilen yönlere yüksek doğruluk oranı ile kaydırılabilirken istenilen sıfır derinliklerinde yakalanabildiği görülmektedir.

Sıfır No.	Sıfır Konumları (derece)			Sıfır Derinlikleri (dB)		
	Amaçlanan	Analitik	TABU	Amaçlanan	Analitik	TABU
1	20	20	20	-60	-52.607	-60
2	40	41	40	-60	-38.644	-60
3	50	49.5	50	-60	-41.658	-60
4	80	79	80	-60	-44.521	-60

Çizelge 4.1 20 elemanlı anten dizisine 4 sıfır eklendiğinde sıfırların pozisyonları ve derinlikleri.

Referans [43] içinde 20 elemanlı eş dağılımlı dizi anten örüntüsünde 20°, 40°, 50° ve 80° yönlerine sıfırların kaydırılması istenildiği durumlarda analitik çözüm ve Tabu Arama metotlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Analitik yöntem kullanıldığında 20°, 41°, 49.5° ve 79° yönlerine sıfırların kaydırılması başarılırken, Tabu Arama metodu kullanılarak istenilen açı değerlerinin yakalanabildiği Şekil 4.10.a ve Şekil 4.10.b' de görülmüştür [43].



Şekil 4.10 (a) 20 elemanlı eş beslemeli dizinin orijinal örüntüsü (—) 20°, 40°, 50° ve 80° yönlerinde Tabu Arama Metodu ile sıfırların eklenmesi sonucu oluşan örüntü (---).

(b) 20 elemanlı eş beslemeli dizinin orijinal örüntüsü (—) 20°, 40°, 50° ve 80° yönlerinde Analitik metod kullanılarak sıfır eklenmesi sonucu oluşan örüntü (---).

Analitik yöntemlerle elde edilen sıfır derinlikleri de sırasıyla -52.607, -38.644, -41.638 ve -44.5213 dB olarak elde edilebilmiştir. Tabu Arama metoduyla hedeflenen -60 dB seviyesi yakalanabilmiştir.

4.4.3. CLEAN TEKNİK ALGORİTMASI

Temel olarak Clean Algoritması ile sıfırların kaydırılması aşağıdaki adımların takip edilmesiyle başlar. İlk önce alınan işaretlerden en güçlü olanın genliğini ve onun geliş yönünü tahmin ederiz. Sonra alınan tüm işaretlerin içinden en güçlü olan işaretin katkısını çıkartırız. Bu işlem kalan işaretlerin en güçlüsü için aynı şekilde tekrar edilmeye devam eder. Kaynaktan gelen tüm işaretler ayrıştırıldığında arzu edilen işareti Clean algoritması sonucu ayrıştırılmış işaretin kalanına yani gürültüye ekleriz. Bu durumda sadece almayı arzu ettiğimiz işaret baskın kılınmış diğerlerinin etkisi ise indirgenmiş olur.

Clean algoritması uygulamada küçük DSP tabanlı faz kaymalı dizi sistemlerde kullanılır. Bu sayede karmaşık hesaplamalar gerektirmez. Clean teknik kullanılarak gerçek zamanlı sıfır kaydırma uygulamaları yapmak mümkündür.

Clean algoritmasının matematiksel açıklamasını yapmak için elimizde N elemanlı eş beslemeli ve birbirini takip eden (ardışık) faz kaymasının olmadığı doğrusal bir dizinin olduğunu varsayalım. Dizinin her bir anteninin aldığı işaretleri ise aşağıdaki gibi kabul edelim. Bunun içinde arzu edilen ve karıştırma işaretleri mevcuttur.

$$x = [x_1, \dots, x_n] \quad (4.37)$$

Burada x giriş işaret vektörü, x_i 'inci dizi elemanı tarafından alınan M ardışık ayrık işareti temsil eden satır vektörünü temsil etsin.

$$x = x_s + x_{in} + n \quad (4.38)$$

Eş.4.38 'de x tüm işaretlerin toplamını, x_s arzu edilen sinyali, x_{in} istenmeyen işaretleri ve n 'de gürültü işaretini temsil etmektedir.

Clean Teknik algoritması ilk olarak yönlenmek istediğimiz yerdeki işareti hesap edecektir.

$$x_s = x \cdot w_s \quad (4.39)$$

Burada w_s ardışık faz kayması vektörüdür. Açacak olursak $\phi = -kd \sin \theta_s, \theta_s$ bakılmak istenilen yönü temsil eder.

Sonrasında tüm işaretlerden arzu edilen işareti çıkartırız ve x_d işareti elde edilir.

$$x_d = x - x_s \quad (4.40)$$

İkinci adımda en güçlü karıştırıcı işaret bulunur. Buna da x_i diyelim.

$$x_i = x_d \cdot w_s \quad (4.41)$$

Eş.4.41' de $w_s, \phi = -kd \sin \theta_i$ 'nin ardışık faz kayması vektörüdür. θ_i -90° ile $+90^\circ$ arasındadır. Karıştırmanın yönünü verir. Arta kalan işaretlerden, en güçlü karıştırmaya sebep olan işareti çıkartılır ve yenilenmiş arta kalan işaret x_{d1} olarak elde edilir.

$$x_{d1} = x_d - x_i \quad (4.42)$$

Ancak arzu edilen işaretin böyle tek seferde doğru olarak hesap edilmesi mümkün değildir. Henüz istenilen işaretin üzerinde birçok istenmeyen işaretin etkisi bulunmaya devam etmektedir. Yani arzu edilen işaret hala istenilen ölçüde saf değildir. Bunun için işleme devam edilmesi gerekmektedir.

Sonraki adımımız, bir sonraki en güçlü karıştırıcı işareti bulmak, onu x_{d1} 'den çıkartmak ve yeni arta kalan işaretimiz x_{d2} 'yi elde etmek olacaktır.

$$x_{d2} = x_{d1} - x_{i+1} \quad (4.43)$$

Şimdi arta kalan işaretimiz x_{d2} 'ye, ilk bulunan yani en güçlü karıştırıcıya ait işareti tekrar ekleyelim ve daha az bozulmuş olan arta kalan x_d işaretini yeniden elde edelim.

$$x_d = x_{d2} + x_i \quad (4.44)$$

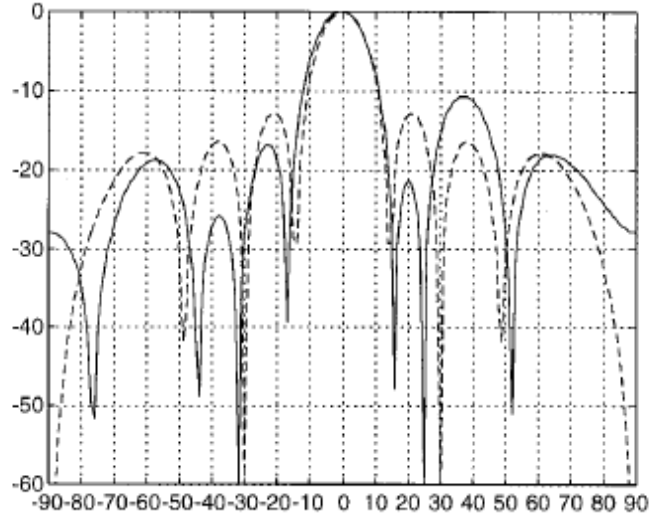
Amaç x_d işaretini kullanarak yapılacak yeni tarama ile en güçlü olan x_i işaretini tekrar elde etmek ve onu arta kalan işarettten çıkartarak daha önce hesaplanılandan daha doğru bir yenilenmiş arta kalan işaretini, x_{d1} , tekrar elde edebilmektir.

$$x_{d1} = x_d - x_i \quad (4.45)$$

Sonuçta elde edilen x_{d1} değeri, arta kalan kabul edilebilir eşik değerimizin altındaysa, x_d , x_{d1} olarak saklanabilir. Yeni hesaplamalarda kullanılacak x_{d1} değişkenini bu durumda boşa çıkarmış oluruz. Benzer işlemler tüm istenmeyen işaretlerin etkisi yok edilene ve x_d elde edilene kadar devam eder. Arzu edilen işaret x_s ile son arta kalan işaret x_d toplandığında sonuca ulaşılmış olur.

$$x = x_d + x_s \quad (4.46)$$

Referans [44] içinde Clean teknik algoritması kullanılarak 8 ve 16 elemanlı diziler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. İstenilen pozisyonlarda sıfırların arzu edilen seviyelerde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.11 8 elemanlı dizinin sıfır kaydırma yapılmayan orijinal örüntüsü (---).

8 elemanlı dizinin Clean Teknik kullanılarak sıfır kaydırma yapılan örüntüsü (-).

Şekil 4.11' de Clean Teknik algoritması kullanılarak ve kullanılmayan durumlarda elde edilen örüntüler verilmiştir. İstenmeyen sinyallerin $\theta_1=25^\circ$ ve $\theta_2=-32^\circ$ de olması durumunda Clean Teknik Algoritması kullanılarak elde edilen örüntülerde istenmeyen işaretlerin geldiği açılarda -50dB seviyesinde sıfır derinliğinin sağlanabildiği görülmektedir [44].

5. GENETİK ALGORİTMA

5.1. GİRİŞ

Dizi antenlerde örüntü oluştururken sıfırların kaydırılmasının ana amacı günümüzün karıştırma ortamında farklı kaynakların neden olduğu olumsuz etkilerden kurtulmaktır. Özellikle mobil iletişim, radar ve uydu teknolojileri alanında büyük önem taşımaktadır. Askeri alanda radar uygulamalarında karıştırmanın olumsuz etkilerinden sakınmak amacıyla kullanılmaktadır.

Dizi yapılı antenlerde sıfırların kaydırılması kompleks ağırlıkların yani dizi elemanlarının besleme faz ve genliklerinin aynı zamanda değiştirilmesi, yalnız genlik, yalnız faz veya eleman pozisyonlarının kontrol edilmesiyle başarılabilir.

Parametreler üzerinde gerekli değiştirmeleri yapmak için bir takım analitik çözüm yolları geliştirilmiştir. Bu sayede karıştırmaya sebep olan yönde sıfırların kaydırılması ve gerekli sıfır derinliğine ulaşılması sağlanabilmiştir [2].

Kompleks ağırlıkların kontrolü bunların içinde en etkili görünen yöntemdir [3]. Anteni oluşturan her bir eleman için bu yöntemle hem faz hem de genlikler değiştirilerek sıfırların kaydırılması mümkündür. Her iki parametre üstünde değişime gidilebilme özgürlüğü sıfırların kontrolü üzerinde daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlar. Ancak bunun bir takım dezavantajları da vardır. Dizinin dizaynı daha karmaşık hale geldiği gibi ayrıca işlem zamanında artışlara neden olur. Bu durum fazla sayıda anten elemanına sahip olan sistemler üzerinde büyük sorun anlamına gelmektedir [3].

Sıfırların kaydırılması sadece faz veya eleman pozisyonunun değiştirilmesi ile de yapılabilir. Bu durumda kaydırılan sıfırların sayısı diziyi oluşturan elemanların toplam sayısının yarısından az olmalıdır. Birçok analitik çözüm sıfırların kaydırılması amacıyla kullanılabilir. Bunlara örnek olarak En Küçük Kareler (Least Squares), Downhill simplex metodları gösterilebilir. Ancak adaptif bir çözüm tekniği olan genetik algoritma, analitik algoritmalarda yaşanması muhtemel yerel minimum probleminin üstesinden gelebilme ve global minimuma ulaşabilme yeteneğinden ötürü en uygun metot olarak görülmektedir.

5.2. GENETİK ALGORİTMAYA GENEL BAKIŞ

Genetik algoritma, biyolojik evrim ve doğal seçim temeline dayalı oldukça iyi bir arama metodu algoritmasıdır. Genetik algoritma ilk olarak 1973 yılında Holland tarafından uygulandı [4]. Daha sonra araştırmacıların ilgisini çekmeye başladı ve optimizasyon problemlerinin çözümüne dayalı yaklaşımlarda kullanılmaya başlandı.

Aday çözümler, yani araştırmacıların elde etmek istediği optimum çözümlerin temsili verisi kromozom olarak adlandırıldı. Anten sistemleri için örnek verecek olursak bir diziyi oluşturan elemanların genlik ve faz değerleriyle birlikte kromozom yapısını oluşturduğunu söyleyebiliriz.

Kromozomu oluşturan her bir alt birime gen denilir, genler kendine özgü değişkenleri temsil ederler. Bir anten dizisindeki her bir antene ait genlik ve faz değerleri birlikte bir geni temsil etmektedir.

Kromozomların oluşturduğu gruplara ise popülasyon adı verilir. Popülasyonun geçirdiği her bir aşamaya jenerasyon adı verilir. Kromozomların devamlılığını sağlamaları için geçmeleri gereken eşik değerleri ise uygunluk değeri (fitness value) olarak adlandırılır. Anten sistemlerini kullanarak bunu biraz daha açıklığa kavuşturmak istersek, anten dizisini oluşturan elemanlara gen denildiğini söylemiştik, genlerin bir araya gelmesiyle doğrusal bir dizi yani kromozom yapısı elde edilmiş olur. Elimizde N adet gen olduğunu varsayarsak, N elemanlı doğrusal bir dizimiz yani kromozomumuz var demektir. Dizimiz doğrusal bir dizi değil de, faz kaymalı bir dizi yapısı olsun istersek. N elemanlı M adet kromozomdan oluşması gerekeceği çok açıktır.

Popülasyon ise daha sonra genetik operasyona sokulacak olan ve en iyi kromozomları aralarından seçeceğimiz bütün bir kümeyi temsil ediyor. Bu kümenin eleman sayısının çokluğu algoritmamızın en iyi sonucu vermesi açısından bir avantaj olarak görünüyor. Ancak sayının çokluğu algoritmanın çalışma süresini arttırıyor. Çalışmada uygunluk değerleri olarak, tasarımcının istediği bir kıstas belirlenebilir. Daha sonra her bir dizi için eleman genlik ve faz değerleri kullanılarak dizi faktörü hesaplanır. Elde edilen sonuç, uygunluk değeri ile kıyaslanarak o dizinin ya da kromozomun, tasarımı için yeterliliğine karar vermiş oluruz. Bu yöntem popülasyonu oluşturan tüm kromozomlara uygulanır ve kriteri geçenler seçilmiş olur. Seçilen bu kromozomlar ebeveyn olarak

isimlendirilir. Ebeveynler yeni kuşaklar yani çocuklar için çiftler haline getirilir. Bir takım genetik operasyonlara tabi tutularak yeni kromozomlar elde edilir. Bu işlem arzu edilen seviyeye ulaşıncaya kadar devam ettirilir.

5.2.1. GENETİK İŞLEMLER

Kromozomları meydana getiren genler üzerinde bir takım işlemler gerçekleştirilerek bu genlerin dolayısıyla da kromozomların tekrar üretilmesi mümkündür. Çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik işlemler, seçilmiş kromozomlar üzerinde bir takım değişikliklere sebep olarak yeni kromozomlar üretilmesini sağlarlar.

5.2.1.1. ÇAPRAZLAMA

Çaprazlama işlemi iki adet ebeveyni oluşturan kromozomlara ait genlerin, kendi içlerinde belli bir kurala göre değiştirilmeleriyle iki adet yeni nesil kromozomun üretilmesidir. Bu sayede optimum çözüme ulaşma yolunda değerlendirmeye girecek yeni veriler elde edilmiş olur. Genleri değiştirilen kromozomların uygunluk değerleri de değişmiş olacaktır. Uygunluk değerleri yeniden hesap edilir ve sonrasında bu değerler büyükten küçüğe tekrar sıralanır. Elde edilen yeni kromozom düzeni içinde rastgele iki ebeveyn seçilir. Sonrasında bu iki ebeveyn kullanılarak iki adet yeni nesil kromozom üretilir. Üretilen yeni nesil kromozomlar her iki ebeveynden de genler içerecektir.

Uygulamayı biraz daha açacak olursak, belirlediğimiz kromozomlara ebeveyn A ve ebeveyn B diyelim. Bu ebeveynler dizi antenlerdeki yatay bileşenlerden herhangi biri olabilir ve her bir yatay bileşende genlerden yani antenlerden (monopol,dipol v.b.) meydana gelmektedir. Antenlerin katsayılarının kompleks olduğunu düşünürsek ayrı ayrı faz ve genlik değerlerine sahip olduğumuzu söyleyebiliriz. Bahsettiğimiz genetik işlemleri hem genlik hem de faz olarak ayrı ayrı ele alabileceğimiz, kompleks değişkenler olarak birliktede düşünebiliriz.

Rastgele seçtiğimiz ebeveyn A ve ebeveyn B kromozomlarının hangi genlerine çaprazlama uygulayacağımızı da yine rastgele belirleyebiliriz. Ayrıca ebeveyn kromozomlar A ve B' nin kaç adet geni üzerinde çaprazlama yapacağımız çaprazlama sayısı olarak tasarımımıza dahil edilebilir.

Çaprazlama işleminin amacı kromozom çeşitliliğini arttırarak optimum çözüme ulaşmaktır. Günümüzde optimizasyon problemlerinin çözümünde birçok farklı çaprazlama algoritması kullanılmaktadır.

5.2.1.2. MUTASYON

Genetik algoritmanın arama algoritması olduğundan bahsetmiştik. Mutasyon işlemi de arama algoritması içinde popülasyonun değişkenliğini arttıran bir uygulamadır. Bu sayede genetik çeşitlilik yeniden sağlanmış olur. Çünkü doğal seçim esnasında popülasyonunun sahip olduğu genetik özellikler kaybedilmiş olabilir.

Mutasyon işlemleri genel olarak genetik algoritma yöntemleri içinde kullanıma sahip bir uygulamadır. Mutasyon işleminin uygulanması esnasında rastgele seçilen bir kromozomun yine rastgele seçilen bir geni değiştirilir. Mutasyon işleminin kaç farklı kromozom üstünde uygulanacağı kullanıcı tarafından belirlenebilir.

Mutasyon ve çaprazlama işlemlerinin yanı sıra ebeveyn seçimi de algoritmamızda ki önemli noktalardan birini teşkil ediyor. Ebeveyn seçiminde uygunluk değeri hesaplamaları ve daha sonra bunların karşılaştırılmaları ve en yüksek uygunluğa sahip olacak şekilde sıralanmaları elimizdeki popülasyon içinde amacımıza en uygun üyelerin seçiminde ve optimum sonuca ulaşmada önemli bir rol oynuyor. Seçilmiş ebeveynler kullanılarak elde edilen yeni nesiller daha iyi uygunluk değerlerine sahip oluyor. Ebeveyn seçimi sırasında Roulette-wheel en sık kullanılan algoritma olmakla birlikte farklı algoritmalarda kullanılabilmektedir [30].

Karşılaştırma sırasında kullanılan uygunluk değeri, uygunluk fonksiyonunun aldığı değerler sonucunda hesap ediliyor. Anten uygulamalarında uygunluk fonksiyonu dizi faktörü olacaktır. Dizi faktörünün aldığı besleme değerleri çerçevesinde elde edilen değerler uygunluk değerleri oldu ve kromozom seçimleri, dizi faktörlerinin aldığı değerler kullanılarak yapılan sıralamanın sonucunda elde edilen ebeveyn kromozomlardan, yani dizilerden, en uygun yeni nesil kromozomlar üretildi.

Özetle genetik algoritma tekrarlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Rastgele seçilmiş çözüme gidilebilecek olası bir popülasyondan yola çıkarak, en iyi sonuca ulaşılabilecek bir uygulamadır.

5.3. GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK SIFIRLARIN KAYDIRILMASI

Genetik algoritma kullanılarak sıfırların kaydırılması popülasyonun büyüklüğünün belirlenmesi ile başlayacaktır. Popülasyon büyüklüğüne Npop diyelim, burada açıklanması gereken aslında başlangıçta popülasyonun büyüklüğünün bu boyutta olmadığıdır. Npop içeriğinde rastgele seçilecek olan ve optimum çözüme giden yolda genetik operatörler tarafından işleme tabi tutulacak olan satırları yani yeni üretilen kromozomları da içerir. Aslında var olan kromozomların dışında kalan kromozomlar rastgele üretilmektedir. Ancak tüm işlemlerin sonunda başlangıçta anten dizisinin sahip olduğu kromozomların yerini alabileceklerdir. Elde ettiğimiz her bir kromozom setinin kendi uygunluk değeri olduğunu ve bunların sıfır kaydırılması düşünülen açığa ait dizi faktörünün genliğinden hesap edildiği biliniyor. Genetik algoritmanın temelinde, genetik operatörler ile işleme tutulmuş optimum çözüme bizi götürecek yeni popülasyonu birbirini takip eden işlemler ile elde etme yatmaktadır.

İki boyutlu yani düzlemsel dizi yapısına sahip bir anten üzerinde çalışılacaktır. Düzlemsel diziler için dizi faktörü birbirine dik yönde her bir doğrusal dizi elemanının çarpımıyla elde edilir. x-y düzleminde d_x ve d_y aralıkla yerleştirilmiş N x M elemanlı bir düzlemsel dizi için dizi faktörü aşağıdaki biçimde yazılır.

$$AF(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkd_x nu} \sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jkd_y mv} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jk(d_x nu + d_y mv)} \quad (5.1)$$

Eş.5.1' de a_{nm} anten elemanlarının besleme ağırlığına ve $u = \sin(\theta) \cos(\phi)$, $v = \sin(\theta) \sin(\phi)$ terimleri yön parametrelerine karşılık gelir. Bu konular önceki bölümlerde kapsamlı bir şekilde ele alınmıştı. Diziyi oluşturan elemanlara ait besleme sabitleri a_{nm} değerlerini Şekil 5.1' de olduğu gibi, iki boyutlu bir matris yapısı içinde tanımlanabilir [30]. Böylece kromozom yapısı üzerine görsel bir açıklama da yapılmış olur.

$$\begin{pmatrix}
 a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\
 a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\
 a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{N_{pop}1} & a_{N_{pop}2} & a_{N_{pop}3} & \dots & a_{N_{pop}m}
 \end{pmatrix}
 \begin{matrix}
 \text{kromozom 1} \\
 \text{kromozom 2} \\
 \text{kromozom 3} \\
 \vdots \\
 \text{kromozom } N_{pop}
 \end{matrix}$$

Şekil 5.1 Diziyi oluşturan elemanların meydana getirdiği gen matrisi.

Kromozomları oluşturan genlerin (a_{nm}) eş biçimde dağıtılmış rastgele değerlere sahip olduğu, bu değerlerin orijinal gen değerleriyle karşılaştırıldığında $\pm 1\%$ 'lik bir toleransa sahip olarak seçildiği belirtilebilir. Anten düzleminde N_{pop} sayıda kromozom olduğu yani popülasyonun sayısının N_{pop} olduğunu her bir kromozomunda m adet genden meydana geldiğini bunların tasarım ihtiyacına göre farklı değerler alabileceği söylenebilir.

Popülasyon matrisi oluşturulduktan sonra her bir kromozoma ait uygunluk değerleri hesap edilebilir. Sonra ki adım kromozomların uygunluk değerlerine göre sıralanmasıdır. Uygunluk değerine göre sıralanan kromozomlardan popülasyonun 5-10%' luk kısmına denk gelen miktarı zayıf olarak kabul edilip dizinin dışına alınabilir, bu oranlar tasarımcı tarafından belirlenebilir [30].

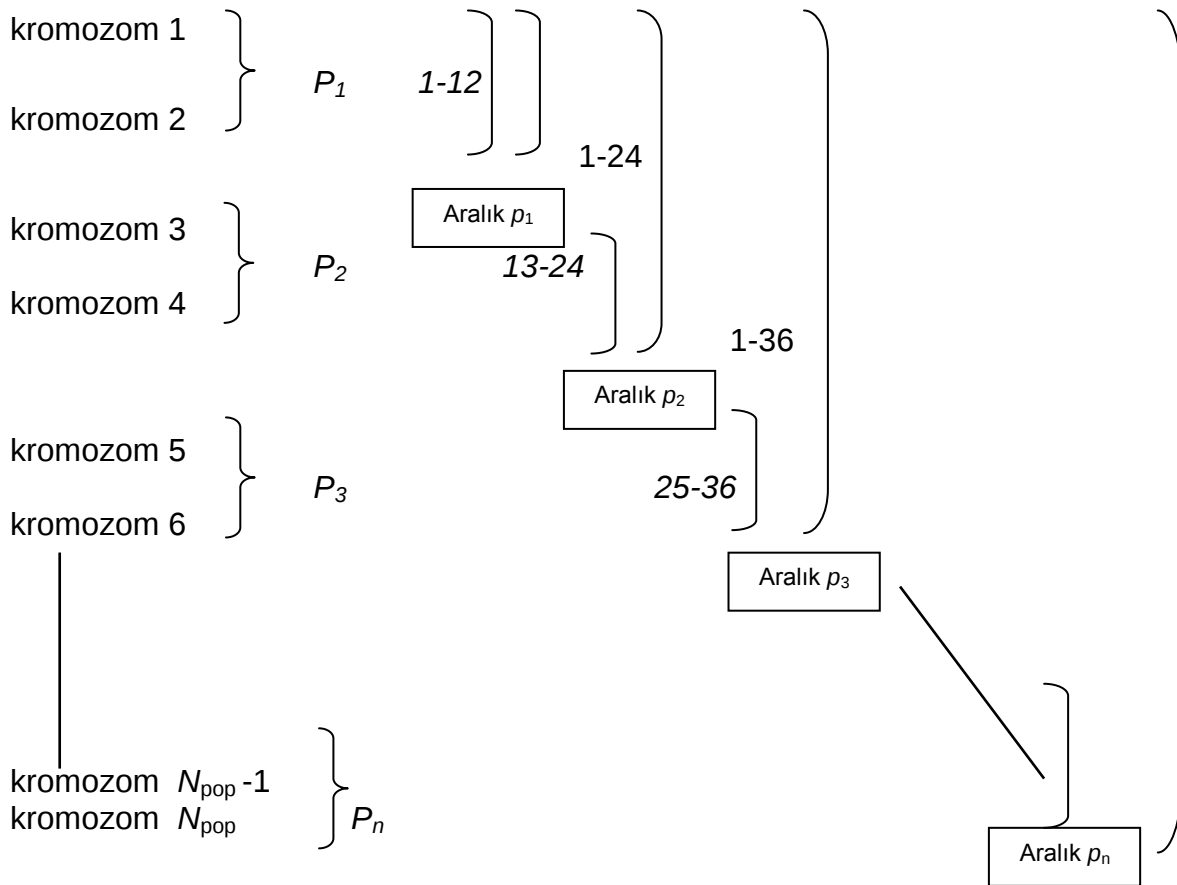
Zayıf olduğu için dizi dışına alınan kromozomların yerine önceki kuşağa ait daha iyi uygunluk değerlerine sahip kromozomlar konulur. Yeni popülasyonu oluşturacak çiftlerin seçimi için verilen olasılık sıralamasına uygun olarak rastgele herhangi iki kromozom seçilir. Kromozomların seçilmesi aşamasında seçilme olasılığı değişkeni, pseçilme, arzu edilen şekilde belirlenir. Seçilme olasılığı matrisi oluşturulurken toplam popülasyon matrisi satırları N_{pop} , tasarımcının belirlediği aralıklara bölünür. Popülasyonu aralıklara bölmekle yapılan aslında onları seçilme olasılıkları farklı olan gruplara ayırmaktır. Tasarımcı olarak öncelikli amaç, doğal olarak uygunluk değeri yüksek olan

kromozomların seçilme olasılığını yüksek tutmak olacaktır. Bunun içinde, tüm bir popülasyona eşit şans tanımak yerine, uygunluk değeri yüksek olanların oluşturacağı aralıklara daha fazla seçilme şansı tanınır. Popülasyonun bölündüğü aralık sayısına n denilsin. Kromozomların seçilme olasılığı n aralığa bölündüğünde her biri için seçilme olasılıkları ayrı ayrı $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ olarak belirlenebilir. Ayrı ayrı belirtilen n adet seçilme olasılığı toplamda $p_1+p_2+p_3+ \dots +p_n=1$ olacak şekilde ayarlanmalıdır [30].

Aralık p_i içinde olan bir kromozomun seçilme olasılığı bir sonra ki aralıkta yani aralık p_{i+1} de olana göre daha yüksektir. Yine aynı mantıkla aralık p_{i-1} deki kromozomunda seçilme olasılığı p_i deki kromozomlardan daha yüksek olacaktır. Kromozomların seçimine ait şematik diyagram Şekil 5.2' de verilmiştir [30].

Seçilen

Kromozomlar



Şekil 5.2 Kromozom seçiminin şematik diyagramı.

Şekil 5.2' de şematik olarak açıklanan işlemleri, uygulamaya yönelik olarak açıklayalım. Seçilme olasılık dağılım matrisinin, pseçilme, [0.2 0.2 0.2 0.1 0.1 0.1 0.1] şeklinde belirlendiği, n=7 olacak biçimde aralıklara ayrılan bir tasarım yapıldığında. Toplam olasılığın bire tamamladığı, yedi ayrı kromozom seçilme olasılığına sahip olduğu görülmektedir.

Toplam popülasyonun, Npop=60 olduğu durumda popülasyon derecelendirme matrisi, ki bu matris yeni kuşakları belirleme sırasında ebeveyn seçiminde öncelik sıralamasını başka deyişle derece önceliğini gösterecektir, belirlenebilir. Popülasyonun derecelendirildiği matris Npop ile pseçilme çarpımından elde ediliyor. Eldeki değişkenler kullanıldığında popülasyon derecelendirme matrisimiz [12 12 12 6 6 6 6] olarak hesap edilecektir. Bu matrisin olduğu yedi sütunun her biri derece1, derece2,....., derece7 olarak adlandırılabilir. Buna göre derece1 1'den 12'ye kadar olan en iyi uygunluk değerlerine sahip ilk 12 kromozomu temsil ederken, derece2 13'ten 24'e kadar olanları içerecektir. Aynı mantıkla popülasyonun en kötü uygunluk değerine sahip kromozomları derece7 içinde kalacaktır, uygulamada bunlar 55'ten 60'a kadar olan kromozomlardır.

Şimdi yeni popülasyonun oluşturulmasına başlansın. Bunun için ilk ebeveynin seçilmesi gerekmektedir. İlk ebeveyn derece1 içindeki 12 kromozom arasından rastgele seçilir. Aynı şekilde ikinci ebeveynde derece1 içindeki 12 kromozomdan seçilir. Bu durumda yeni popülasyona ait iki yeni kromozom derece1 içinden seçilmiş oldu. Bu iki yeni kromozomun çaprazlama ve mutasyon sonrasında oluştuğunu belirtelim. Sonra ki aşamada seçilen ilk ebeveyn derece2 sıralaması içinden yani 13 ile 24 arasında olan kromozomlardan olacaktır. İkinci ebeveyn ise derece1 ve derece2'den herhangi birinden yani 1 ile 24 arasındaki kromozomlardan olabilir. Yeni popülasyona ait 2 yeni kromozomda bu aşamada belirlenmiş oldu. Uygulamanın mantığının daha da netleşmesi için bir sonraki aşamayı da açıklayacak olursak; seçeceğimiz ilk ebeveyn için derece3 sıralamasından yani 25 ile 36 arasındaki kromozomlardan faydalanacağız, ikinci ebeveyn ise derece1, derece2 ve derece3 arasından yani 1 ile 36 arasındaki kromozomlardan seçilebilecektir. Bu mantıkla (aralık sayısının sonuna kadar) popülasyon tamamlanıncaya kadar devam edilir ve yeni popülasyonun oluşturulması tamamlanır.

Bu işlemlerin sonucunda her bir aralık için kromozomlar seçildi. Yapılan seçimin ardından seçilen kromozomlar çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulduktan sonra her bir aralık için yeni nesil kromozomlar oluşturulmuş oldu. Bu işlemler bir döngü içinde uygulanmaya devam edildi.

Eski popülasyona ait kromozomlar ile yeni nesil kromozomların birlikte oluşturduğu yeni popülasyon (P_{yeni}) elde edilmiş oldu, bundan sonra ki işlemler daha önce bahsedilen aşamaların tekrarlanması olarak gerçekleşecek. Yeni popülasyona ait uygunluk değerleri hesaplanacak kromozomlar arasında yeniden sıralama gerçekleştirildikten sonra belli orandaki zayıf kromozom popülasyondan çıkartılacak ve işlemler tekrar edilecek.

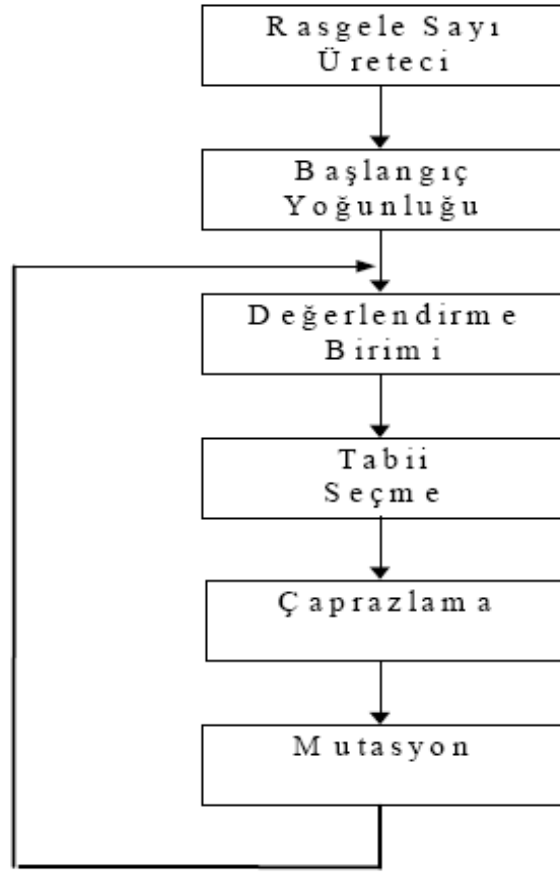
Bu işlemler dizi faktörünün arzu edilen sıfır pozisyonu için belirlenen eşik değerine eşit veya daha küçük olduğu duruma kadar devam edecek. Sonuçta elde ettiğimiz besleme genlik ve faz değerleri için dizi faktörünü hesap edildiğinde istenilen pozisyon için sıfırın kaydırıldığını göreceğiz.

Çaprazlama işlemi esnasında verilen çaprazlama olasılığı çerçevesinde ebeveyn kromozomların rastgele genleri arasında pozisyon değişimi uygulanır.

Ebeveyn 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}		a_{1m}
Ebeveyn 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{2m}
Yeni Nesil 1	a_{11}	a_{12}	a_{23}		a_{1m}
Yeni Nesil 2	a_{21}	a_{22}	a_{13}		a_{2m}

Çizelge 5.1 Genetik algoritma çaprazlama işlemi.

Burada toplam $2m$ gen arasından iki tanesinin pozisyonu değiştirilmiştir. Mutasyon işlemi sırasında da rastgele seçilen kromozoma ait yine rastgele seçilen bir gen belirli toleranslar içinde kalmak şartıyla rastgele bir besleme genlik veya faz değeriyle değiştirilir [30].

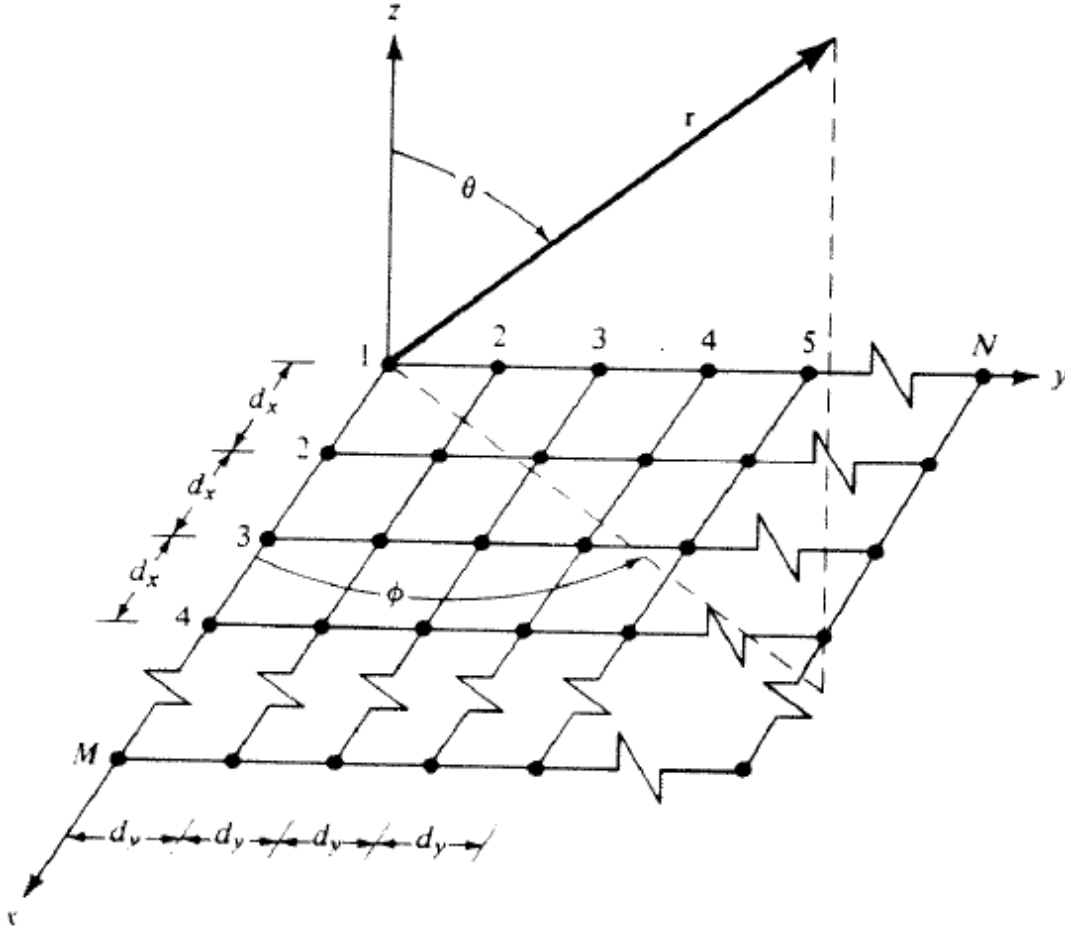


Şekil 5.3 Temel bir genetik algoritma akış diyagramı.

Basit bir genetik algoritma akış diyagramı Şekil 5.3’ de verilmiştir. Rastgele sayı üreticinden üretilen sayılarla başlangıç yoğunluğu oluşturulur ve daha sonra genetik operatörler (çaprazlama ve mutasyon) bir sonraki kuşaktaki çözümleri üretmek için kullanılır. Uygunluk değerlendirme işlemi, tekrar üreme olayı boyunca uygulanan seçme işlemini gerçekleştirebilmek için her bireye uygulanır. Birbirini takip eden kuşakların gelişmesi ve değerlendirilmesi çevrimi, optimal bir çözüm bulununcaya kadar devam eder [45,46].

Çalışmanın devamında bir optimizasyon metodu olan genetik algoritmayı kullanarak, düzlemsel anten örüntülerinde sıfırların arzu edilen yönlere kaydırılması, genetik algortmada kullanılan genetik operatörlerin ve değişkenlerin sonuçlar üzerindeki etkileri ve genetik algoritmanın hem faz hem genlik, yalnız faz ve yalnız genlik üzerine uygulanması durumunda elde edilecek sonuçlar karşılaştırmalı olarak açıklanacaktır.

5.4. DÜZLEMSEL ANTENLERDE İKİ BOYUTLU TARAMA



Şekil 5.4 x ve y eksenleri boyunca d_x ve d_y aralıklarıyla yerleştirilmiş elemanlara sahip $M \times N$ boyutlu düzlemsel antene ait geometri.

Yukarıdaki şekilde x ve y eksenleri boyunca d_x ve d_y aralıklarıyla yerleştirilmiş x eksenini boyunca M adet elemana sahip, y eksenini boyunca N elemana sahip düzlemsel anten görülmektedir.

x eksenini boyunca yerleştirilmiş M elemanlı doğrusal diziye ait dizi faktörü aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir.

$$AF_{x1} = \sum_{m=1}^M a_{m1} e^{j(m-1)(k d_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (5.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte, $\sin\theta\cos\phi = \cos\gamma_x$ x eksenine göre yön vektörüdür. Tüm elemanların eşit aralıklarla yerleştirildiği ve ardışık faz kaymasının β_x olduğu kabul edilmiştir. a_{m1} , $y=0$ olduğunda $x=(m-1)d_x$ koordinatlarındaki elemana ait besleme genliğini temsil eder.

M adet elemana sahip doğrusal diziden N adedinin y eksenini boyunca arka arkaya yerleştirilim ve dikdörtgensel bir dizi yapısı oluşturulur, yani iki boyutlu düzlemsel yapıyı meydana getirelim, y eksenini boyunca eşit uzaklıklar ile elemanların yerleştirildiğini ve β_y ardışık faz kaymasına sahip olduklarını varsaydığımızda, MxN iki boyutlu düzlemsel dizi yapısına ait dizi faktörü, aşağıdaki biçimde ifade edilir.

$$AF = \sum_{n=1}^N a_{1n} \left[\sum_{m=1}^M a_{m1} e^{j(m-1)(kdx\sin\theta\cos\phi+\beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kdy\sin\theta\sin\phi+\beta_y)} \quad (5.3)$$

veya düzenlendiğinde,

$$AF = S_{xm} S_{yn} \quad (5.4)$$

$$S_{xm} = AF_{x1} = \sum_{m=1}^M a_{m1} e^{j(m-1)(kdx\sin\theta\cos\phi+\beta_x)} \quad (5.5)$$

$$S_{yn} = AF_{1y} = \sum_{n=1}^N a_{1n} e^{j(n-1)(kdy\sin\theta\sin\phi+\beta_y)} \quad (5.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Eş.[5.3]' de elde edilen dizi faktöründe,

$$\sin\theta\cos\phi = \hat{x}.\hat{r} = \cos\gamma_x \quad (5.7)$$

$$\sin\theta\sin\phi = \hat{y}.\hat{r} = \cos\gamma_y \quad (5.8)$$

x ve y eksenlerine göre yön vektörleridir.

Dikdörtgensel diziye ait örüntü diyagramı x ve y eksenlerindeki doğrusal dizinin dizi faktörlerinin çarpımlarından elde edilir.

Düzlemsel dizinin eş beslemeli dizi olması durumunda $a_{m1} = a_{1n} = A_0$ biçiminde düzenlenebilir. Bu dizinin tüm elemanlarının besleme genliklerinin aynı olması anlamına gelir. Dizi faktörü aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$AF = A_0 \sum_{m=1}^M e^{j(m-1)(kdx \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kdy \sin \theta \sin \phi + \beta_y)} \quad (5.9)$$

Dizi faktörü normalize edildiğinde; (5.10)

Yukarıdaki eşitlikte,

$$\Psi_x = k d_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x \quad (5.11)$$

$$\Psi_y = k d_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y \quad (5.12)$$

Düzlemsel antene ait tarama uzayını ifade eder.

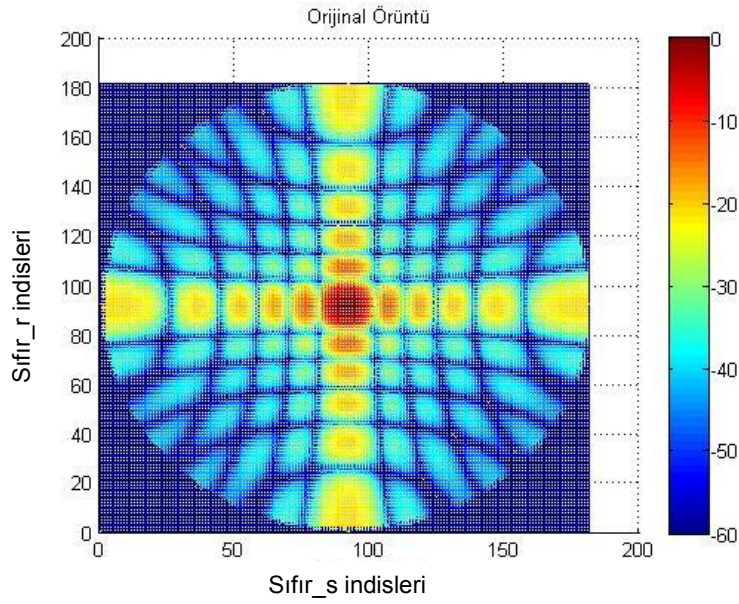
Yapılan çalışmalar boyunca, θ açısı 0 ile $\pi/2$ arasında değerler alırken, ϕ açısı 0 ile 2π arasında değerler aldı. θ açısının 0.5 derecelik artışlarla, ϕ açısının ise 2 derecelik artışlarla değiştiği kabul edildi. Bu durumda, θ ve ϕ açılarına bağlı olarak elde edilen dizi faktörü değerleri 180x180 'lik bir matriste tutuldu. Sıfırların konulması arzu edilen yerler bu matrise ait indislere göre oluşturuldu. Elde edilen örüntü diyagramları üzerinde bu indisler görünmekte olup açı karşılıkları da tutulduğu dizi faktörü matrisinden alınmıştır. (sıfır_r,sıfır_s)=(r,s) indislerinin açı karşılıkları, Eş.[5.13] ve Eş.[5.14]'de yerine konarak hesap edilebilir.

$$\theta = \sqrt{(91-r)^2 + (91-s)^2} \quad (5.13)$$

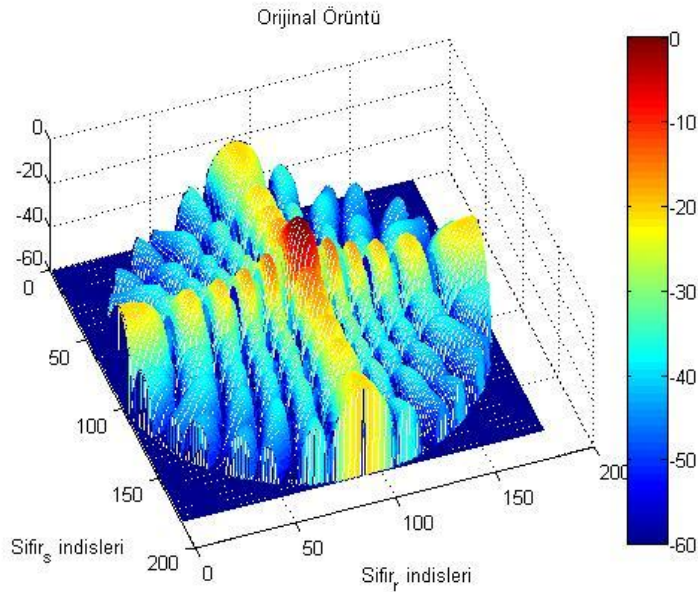
$$\phi = a \tan\left(\frac{91-r}{91-s}\right) \quad (5.14)$$

Ayrıca ϕ ' ye göre alınan 2 boyutlu kesit örüntülerde, sonucun karşılaştırılabilmesi maksadıyla sıfırın kaydırılması gereken θ açısında olduğu da gösterilmiştir.

5.5. GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ELDE EDİLEN SIFIR KAYDIRMA ÖRÜNTÜLERİ



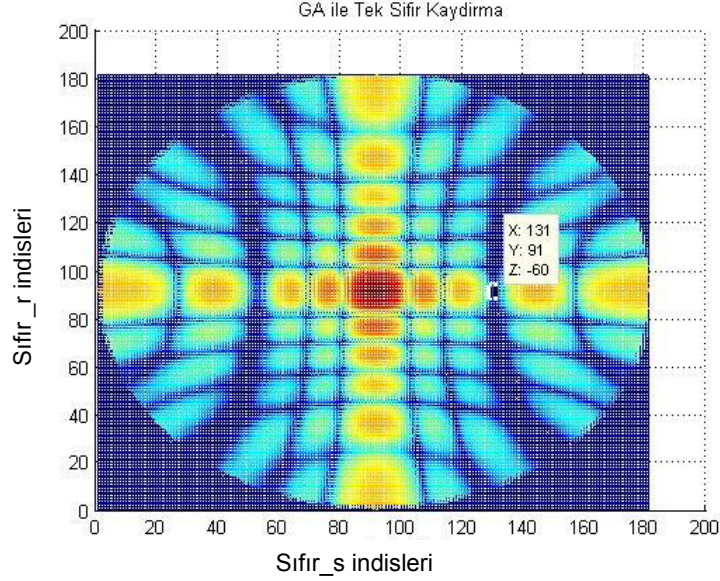
Şekil 5.5 a. Bakış Açısı Az:0 El:90 olduğunda 11x11' lik Eş beslemeli diziye ait orijinal örüntü.



b. Bakış Açısı Az:73 El:62 olduğunda 11x11' lik Eş beslemeli diziye ait orijinal örüntü.

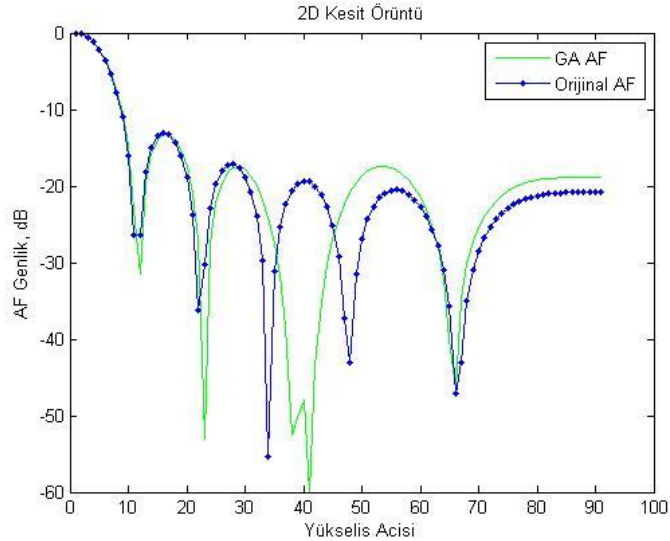
Şekil 5.5.a ve b' de genlik ve faz besleme değerleri eşit olan diziye ait, henüz genetik algoritma uygulanmamış örüntü verilmiştir. Bundan sonra farklı indis değerlerine sıfır

kaydırma durumunda oluşacak örüntü diyagramlarını 3 boyutlu ve aynı zamanda sabit bir ϕ açısına göre alınmış θ ve dizi faktörü genliğine göre 2 boyutlu kesit alınmış örüntü diyagramını verelim.



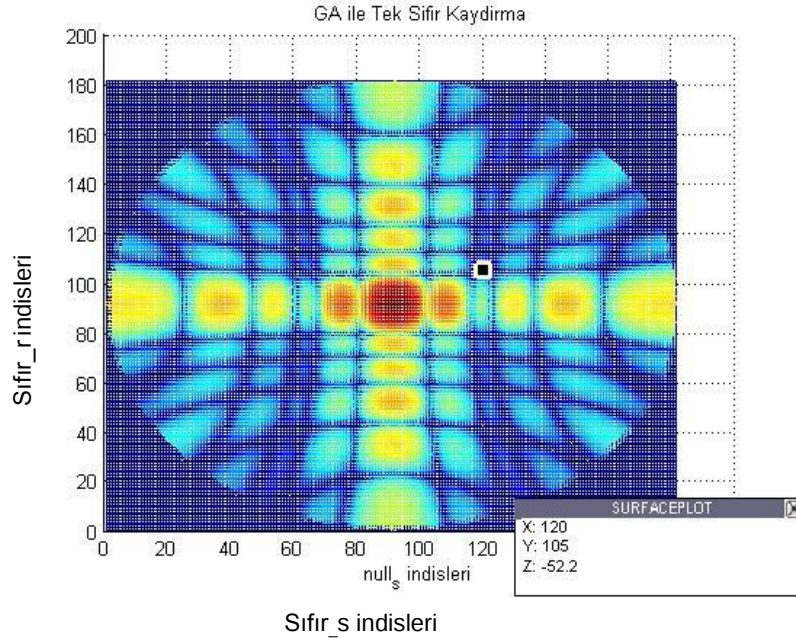
Şekil 5.6 11x11'lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$, $\theta = 40^\circ$ örüntü diyagramı.

Şekil 5.6' de 11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$, $\theta = 40^\circ$ ye sıfır kaydırılması sonucu oluşan örüntü diyagramı verilmiştir. $\phi = 0^\circ$, $\theta = 40^\circ$ e sıfır_s ve sıfır_r indislerinin açılı karşılığıdır.



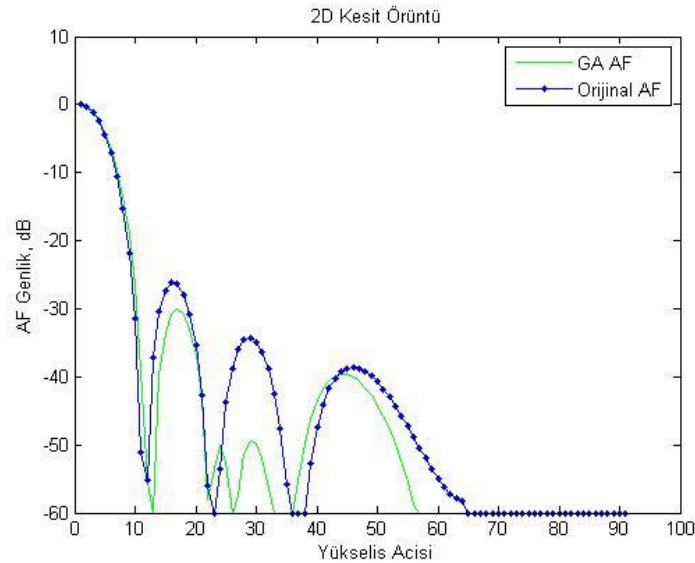
Şekil 5.7 11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$ ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 40^\circ$ ye kaydırılmış.

Şekil 5.7' de ise $\phi = 0^\circ$ ye göre kesit alındığında, sıfır kaydırılması istenilen $\theta = 40^\circ$ de oluşan -60 dB' lik sıfır derinliğinin sağlandığı görülmektedir.



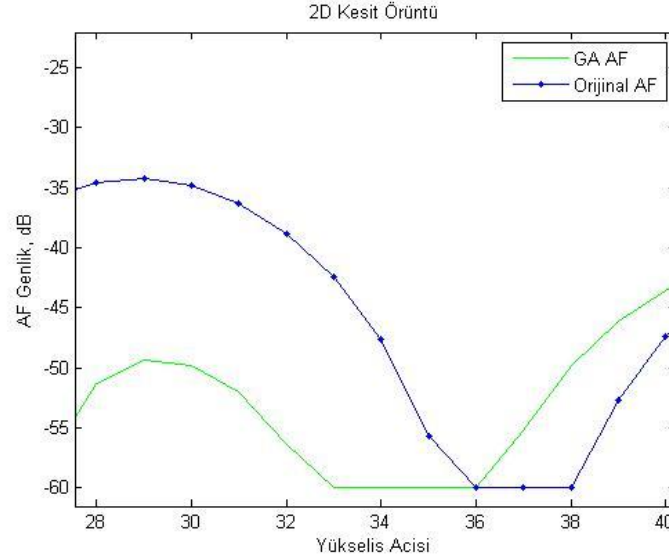
Şekil 5.8 11x11'lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = 26^\circ$, $\theta = 32^\circ$ örüntü diyagramı.

Şekil 5.8' de $\phi = 26^\circ$, $\theta = 32^\circ$ ye sıfır kaydırılması sonucunda oluşan örüntü diyagramı verilmiştir. Sıfır kaydırılmak istenilen açılarda -52.2 dB'lik sıfır derinliği elde edildiği gösterilmiştir.



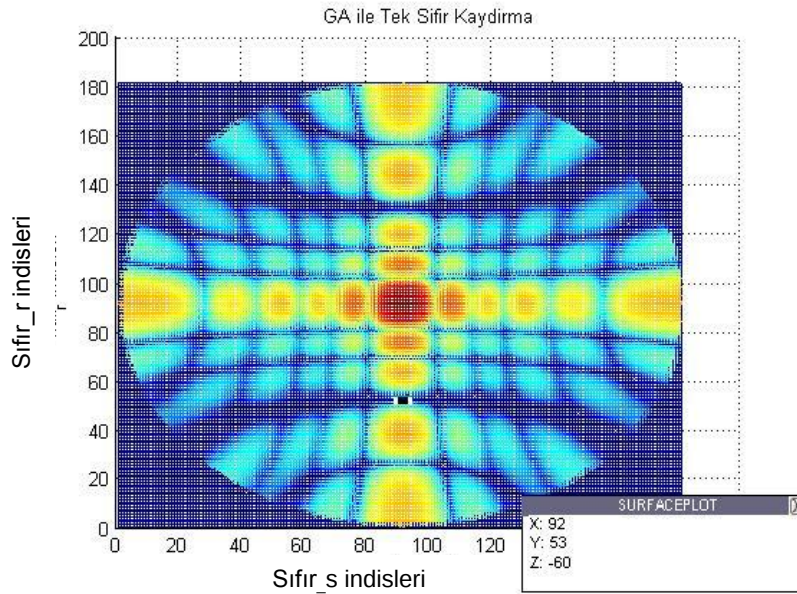
Şekil 5.9 11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 26^\circ$ ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 32^\circ$ ye kaydırılmış.

Şekil 5.9' de ise $\phi = 26^\circ$ ye göre kesit alındığında, sıfır kaydırılması istenilen $\theta = 32^\circ$ de oluşan -52.2 dB' lik sıfır derinliğinin sağlandığı iki boyutlu kesit örüntü diyagramından kolayca seçilebilmektedir.



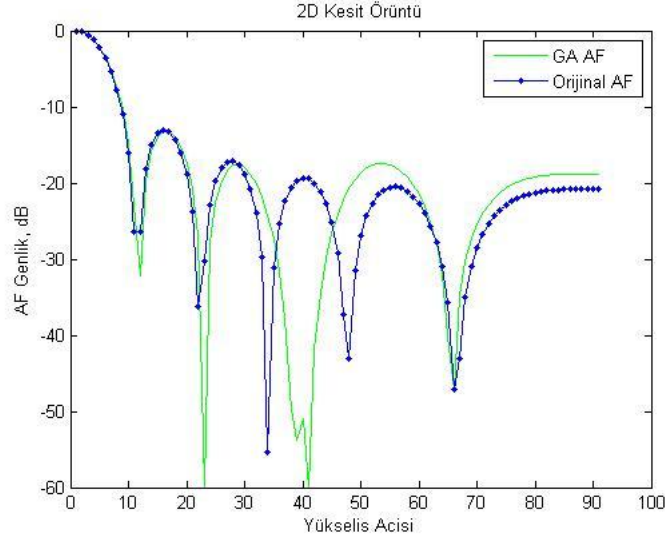
Şekil 5.10 11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 26^\circ$ 'a göre kesit alındığında elde edilen yakınlaştırılmış örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 32^\circ$ ye kaydırılmış.

Şekil 5.10 ise Şekil 5.9' daki örüntü diyagramının yakınlaştırılması sonucu elde edilmiştir.



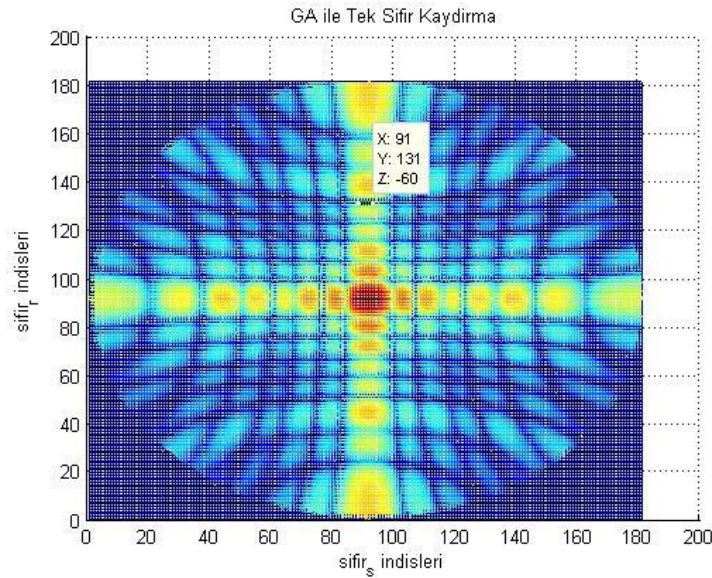
Şekil 5.11 11x11'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = -90^\circ$, $\theta = 40^\circ$ örüntü diyagramı.

Şekil 5.11’ de $\phi = -90^\circ$, $\theta = 40^\circ$ ye sıfır kaydırılması sonucunda oluşan örüntü diyagramı verilmiştir. Sıfır kaydırılmak istenilen açılarda -60 dB’lik sıfır derinliği elde edildiği gösterilmiştir.



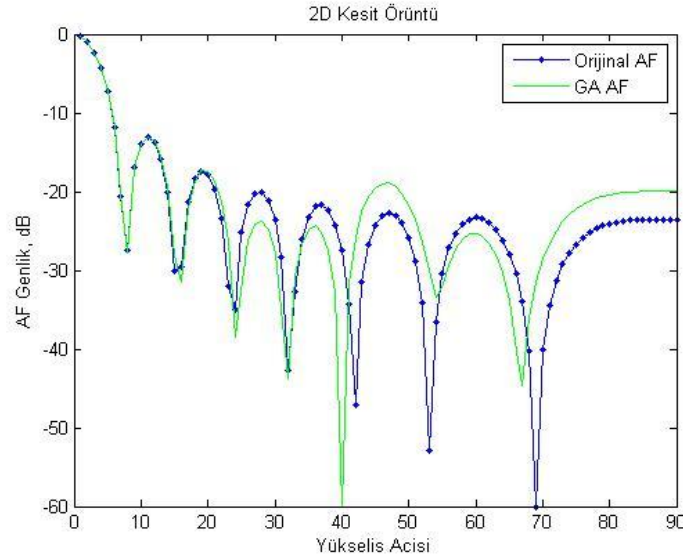
Şekil 5.12 11x11’lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = -90^\circ$ ’ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 40^\circ$ ye kaydırılmış.

Şekil 5.12’ de ise $\phi = -90^\circ$ ye göre kesit alındığında, sıfır kaydırılması istenilen $\theta = 40^\circ$ de oluşan -60 dB’ lik sıfır derinliğinin sağlandığı iki boyutlu kesit örüntü diyagramından kolayca seçilebilmektedir.



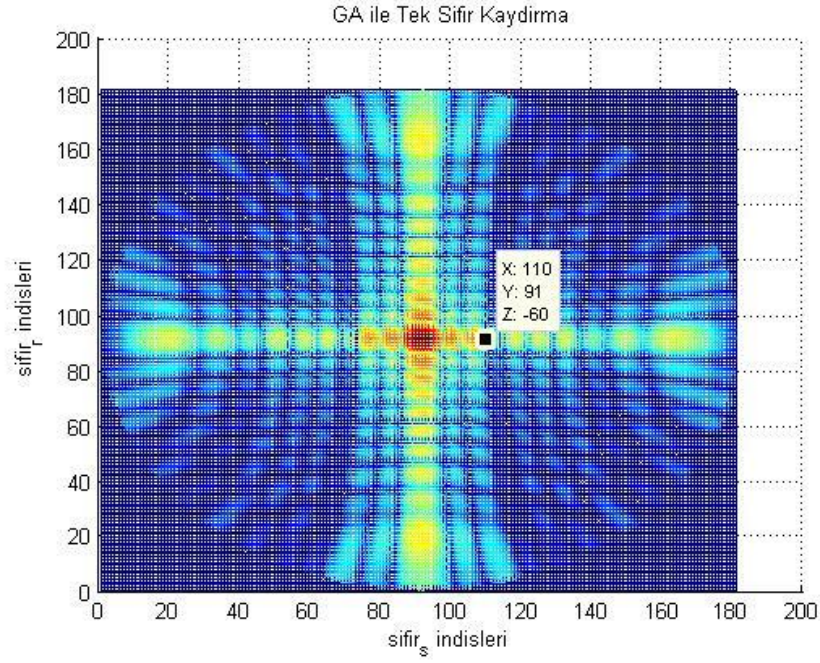
Şekil 5.13 15x15’lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 90^\circ$, $\theta = 40^\circ$ örüntü diyagramı.

Şekil 5.13’ te 15x15 elemanlı eş beslemeli dizide $\phi = 90^\circ$, $\theta = 40^\circ$ ye sıfır kaydırılması sonucunda oluşan örüntü diyagramı verilmiştir. Sıfır kaydırılmak istenilen açılarda -60 dB’lik sıfır derinliği elde edildiği gösterilmiştir. Aynı diziye ait $\phi = 90^\circ$ göre kesit alınmış iki boyutlu örüntü Şekil 5.14’te verilmiştir. Sıfır kaydırılması istenilen $\theta = 40^\circ$ de oluşan -60 dB’ lik sıfır derinliğinin sağlandığı görülmektedir.

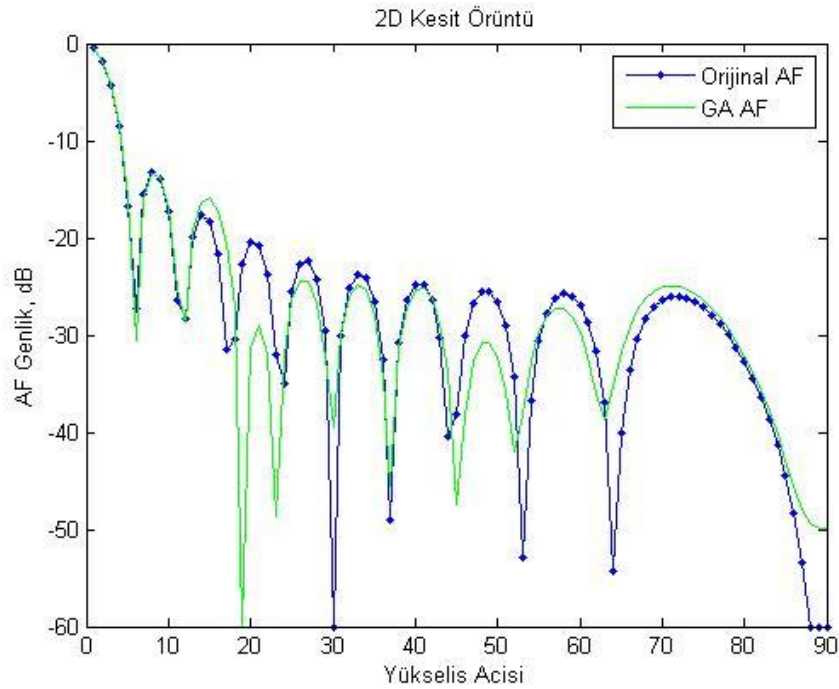


Şekil 5.14 15x15’lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = 90^\circ$ ’ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 40^\circ$ ye kaydırılmış.

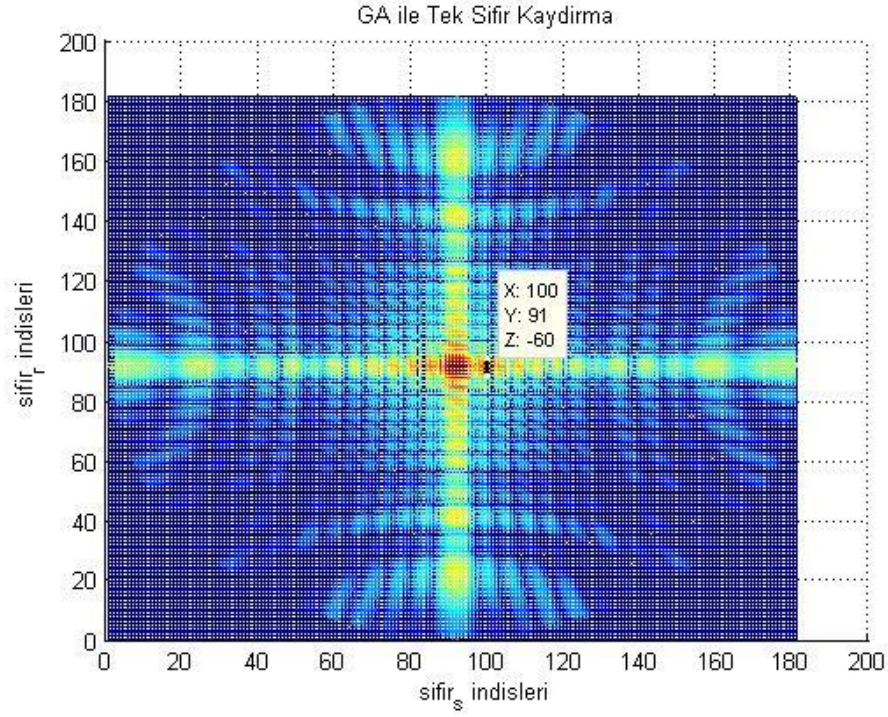
Farklı dizi boyutları içinde elde edilmiş örüntü diyagramlarını ve arzu edilen açılarda sıfır kaydırılabildiğini aşağıdaki şekillerde görebiliriz. Şekil 5.16 ve Şekil 5.18’ de görüldüğü gibi dizi boyutları büyüdükçe ana huzmeye yakın sıfırların kaydırılmasında -60 dB sıfır derinliğine ulaşmak mümkün olabilmektedir.



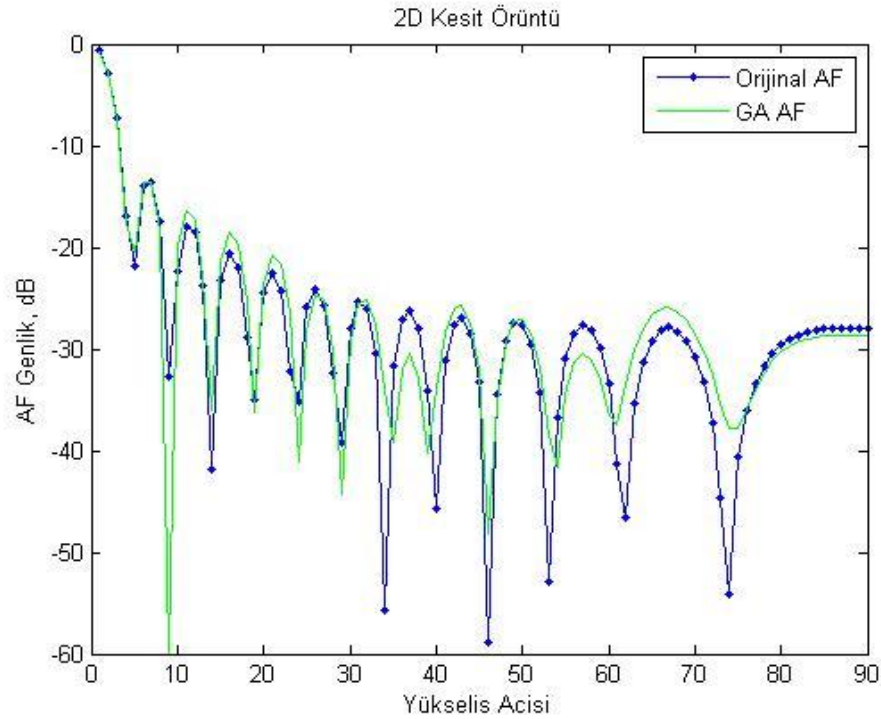
Şekil 5.15 20x20'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$, $\theta = 19^\circ$ örüntü diyagramı.



Şekil 5.16 20x20'lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 19^\circ$ ye kaydırılmış.



Şekil 5.17 25x25'lik Eş Beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$, $\theta = 9^\circ$ örüntü diyagramı.



Şekil 5.18 25x25'lik Eş beslemeli diziye ait $\phi = 0^\circ$ 'ye göre kesit alındığında elde edilen örüntü diyagramı, sıfır $\theta = 9^\circ$ ye kaydırılmış.

5.6. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE MUTASYON DEĞİŞKENİ

Genetik algoritma içinde kullanılan değişkenlerden biri olan mutasyon değişkeninin sonuç üzerindeki etkinliği, işlem süresinin mümkün olan en düşük seviyelerde tutulması amacıyla seçilmesi uygun olan değer ne olduğunu bu bölümde sonuçlar üzerinden inceleyelim. Bunu yaparken diğer değişkenlerden jenerasyon sayısının sonuçlar üzerinde baskın olmayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Eğer bu yapılmazsa mutasyon değişkeninin doğrudan etkisi, jenerasyon sayısının etkisi tarafından bastırılabilir. Ayrıca jenerasyonda en kötü uygunluk değerine sahip olduğu için bir önceki jenerasyonun en iyi kromozomları ile değiştirilen kromozomların sayısı kr değişkeninin de etkisi de gözlenecektir. 11×11 elemanlı eş beslemeli diziyeye ait $sıfır_r=121$, $sıfır_s=105$ indislerinin popülasyon değişkeni $pop=100$ ve jenerasyon değişkeni $gen=50$ olduğunda sırasıyla kr 5, 20 ve 50 için elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.2’ de, aynı değişkenler için 15×15 elemanlı eş beslemeli diziyeye ait $sıfır_r=91$, $sıfır_s=110$ indisleri için elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.3’te ve 20×20 elemanlı eş beslemeli dizinin $sıfır_r=91$, $sıfır_s=105$ indisleri için elde edilen sıfır derinlikleriyse Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Mutasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, $kr=5$	-51,06	-50,50	-53,18	-51,53	-50,45
Sıfır derinliği dB, $kr=20$	-51,44	-52,13	-52,02	-51,69	-51,33
Sıfır derinliği dB, $kr=50$	-50,93	-50,78	-51,41	-50,71	-50,69

Çizelge 5.2 11×11 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.

Mutasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, kr=5	-31,77	-32,77	-33,71	-33,40	-32,40
Sıfır derinliği dB, kr=20	-29,91	-32,51	-32,88	-32,70	-32,24
Sıfır derinliği dB, kr=50	-31,12	-32,37	-32,93	-32,44	-31,50

Çizelge 5.3 15x15 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.

Mutasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, kr=5	-30,86	-31,91	-33,56	-33,30	-29,51
Sıfır derinliği dB, kr=20	-31,96	-31,87	-32,85	-33,23	-28,42
Sıfır derinliği dB, kr=50	-30,71	-32,14	-32,84	-33,04	-27,62

Çizelge 5.4 20x20 elemanlı eş beslemeli dizide mutasyon sayısı etkisi.

Mutasyon değişkeni sayısının artması ile sıfır derinliği üzerinde de iyileşme olduğunu görüyoruz. Farklı kr değişkenleri içinde sıfır derinlikleri üzerinde aynı olumlu değişim görülüyor, ancak belli bir değerden sonra mutasyon değişkeninde ki artışla beraber sıfır derinliğinin azalmaya başladığı görülüyor. Bunun sebebi, kromozomu oluşturan genlerin rastgele seçilenlerine yine tamamen rastgele değerler verilerek yeni genlik ve faz değerlerinin üretilmesi sonucunda optimum faz ve genlik değerlerinden uzaklaşılması ve bunun da örüntünün bozulmasına neden olmasıdır.

Mutasyon değişkeninin 100 olarak kullanılmasının en uygun çözümü sağlayacağı görülmektedir.

5.7. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE JENERASYON DEĞİŞKENİ

Genetik algoritma içinde kullanılan değişkenlerden biri olan mutasyon değişkeninin yanı sıra jenerasyon değişkeni de sonuç üzerinde oldukça etkilidir. Aslında kısaca genetik algoritmanın kromozomlar üzerinde uygulanma sayısını temsil eder. 11x11 elemanlı eş beslemeli diziye ait $s_{fır_r}=121$, $s_{fır_s}=105$ indislerinin popülasyon değişkeni $pop=100$ ve mutasyon değişkeni $p_muta=100$ olduğunda sırasıyla kr 5, 20 ve 50 için elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.5’ de, aynı değişkenler için 15x15 elemanlı eş beslemeli diziye ait $s_{fır_r}=91$, $s_{fır_s}=110$ indisleri için elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.6’da ve 20x20 elemanlı eş beslemeli dizinin $s_{fır_r}=91$, $s_{fır_s}=105$ indisleri için elde edilen sıfır derinlikleriyse Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Jenerasyon Sayısı	200	300	500	1000	1500
Sıfır derinliği dB, kr=5	-55,82	-56,46	-57,23	-57,52	-57,55
Sıfır derinliği dB, kr=20	-55,98	-56,59	-57,08	-57,51	-57,58
Sıfır derinliği dB, kr=50	-55,32	-56,01	-56,99	-57,35	-57,50

Çizelge 5.5 11x11 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.

Jenerasyon Sayısı	200	300	500	1000	1500
Sıfır derinliği dB, kr=5	-33,12	-33,93	-34,09	-34,47	-34,65
Sıfır derinliği dB, kr=20	-33,17	-34,05	-34,44	-34,55	-34,57
Sıfır derinliği dB, kr=50	-33,39	-34,08	-34,38	-34,53	-34,56

Çizelge 5.6 15x15 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.

Jenerasyon Sayısı	200	300	500	1000	1500
Sıfır derinliği dB, kr=5	-33,04	-34,38	-34,78	-35,29	-35,83
Sıfır derinliği dB, kr=20	-33,40	-34,21	-34,81	-35,18	-35,33
Sıfır derinliği dB, kr=50	-33,21	-34,03	-34,81	-35,23	-35,31

Çizelge 5.7 20x20 elemanlı eş beslemeli dizide jenerasyon sayısı etkisi.

Değiştirilen kromozomların sayısı kr değişkeninin artırılması ile jenerasyon sayısındaki değişimlerin birbirini etkilemediği sonuçlarda görülüyor. Jenerasyon değişkeni sabit tutulduğunda kr değişkeni değiştirilse de sıfır derinliğinin birbirine yakın değerlerde olduğu her bir farklı jenerasyon sayısı sütununda görülüyor. Aradaki küçük değişimlerin ise daha çok rastgele seçilen genlik ve faz değerlerinden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Jenerasyon değişkeninin arttırılmasının sıfır derinliği üzerinde olumlu etkisinin olduğunu görülmektedir. Özellikle ana huzmeye yakın bölgelerde çalışıldığında jenerasyon sayısının yüksek seçilmesi sonuca ulaşma da katkı sağlayacaktır. Ancak gerekli işlem süresinin artmasına neden olduğu da bilinmelidir.

5.8. GENETİK ALGORİTMA İÇİNDE POPÜLASYON SAYISININ DEĞİŞİMİ

Popülasyon, genetik operasyona sokulacak olan ve en iyi kromozomların aralarından seçileceği bütün bir kümeyi temsil ediyor. Genetik algoritma içinde önemli bir değişken olan popülasyonun değişiminin etkilerinin incelenmesi amacıyla popülasyon hariç diğer değişkenler olan jenerasyon sayısı, mutasyon sayısı anten parametreleri ve toleransları sabit tutup sadece popülasyon değişkenimizi değiştirelim.

Bu kümenin eleman sayısının çokluğu algoritmanın en iyi sonucu vermesi açısından avantaj olmakla birlikte, algoritmanın çalışma süresinin artmasına neden olacağı da hesap edilmelidir. 11x11 elemanlı eş beslemeli diziye ait $sıfır_r=121$, $sıfır_s=105$ indislerinin jenerasyon değişkeni $gen=200$ ve mutasyon değişkeni $p_mut=100$ olduğunda sırasıyla kr 5, 20 ve 50 için elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.8' de, aynı değişkenler için 15x15 elemanlı eş beslemeli diziye ait $sıfır_r=91$, $sıfır_s=110$ indisleri için

elde edilen sıfır derinlikleri Çizelge 5.9'da ve 20x20 elemanlı eş beslemeli dizinin $s_{fır}=91$, $s_{fır_s}=105$ indisleri için elde edilen sıfır derinlikleriyse Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Popülasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, $kr=5$	-55,13	-55,42	-55,90	-55,47	-56,03
Sıfır derinliği dB, $kr=20$	-55,10	-55,44	-55,92	-55,36	-56,36
Sıfır derinliği dB, $kr=50$	-52,67	-56,38	-55,69	-55,82	-55,37

Çizelge 5.8 11x11 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.

Popülasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, $kr=5$	-33,19	-33,49	-33,53	-33,44	-33,77
Sıfır derinliği dB, $kr=20$	-33,38	-33,01	-33,65	-33,65	-33,84
Sıfır derinliği dB, $kr=50$	-30,12	-33,40	-33,61	-33,37	-34,23

Çizelge 5.9 15x15 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.

Popülasyon Sayısı	20	50	100	200	300
Sıfır derinliği dB, $kr=5$	-30,91	-33,06	-33,98	-34,08	-34,57
Sıfır derinliği dB, $kr=20$	-27,80	-32,78	-33,73	-34,23	-34,23
Sıfır derinliği dB, $kr=50$	-27,38	-30,51	-33,55	-34,17	-34,52

Çizelge 5.10 20x20 elemanlı eş beslemeli dizide popülasyon sayısı etkisi.

Popülasyon değişkeninin artmasıyla birlikte sıfır derinliğinin de genellikle arttığı görülüyor, ancak bazen popülasyondaki artışa rağmen sıfır derinliğinin azaldığı da gözlemleniyor. Bunun nedeni olarak, hesaplamalardaki rastgele değerlerin ve belli toleranslar dahilindeki değişimlerin sonuç üzerinde etkili olması gösterilebilir.

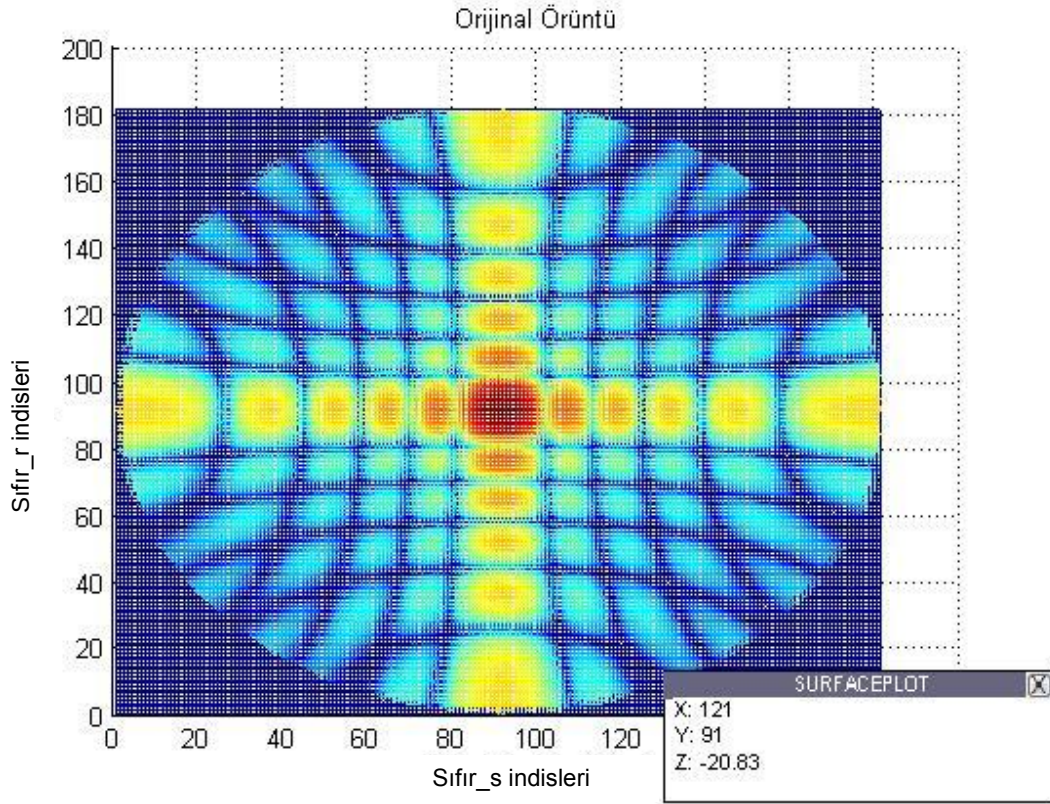
Ayrıca jenerasyonda en kötü uygunluk değerine sahip olduğu için bir önceki jenerasyonun en iyi kromozomları ile değiştirilen kromozomların sayısı kr değişkeninin de popülasyon sayısındaki değişimle beraber farklı sonuçlar elde edilmesine neden olduğu çizelgelerde görülüyor. Değiştirilen kromozomların sayısı kr değişkeninin küçük değerleri için popülasyon sayısının da küçük değerler alması durumunda daha iyi sıfır derinliği elde edilmektedir. Popülasyon sayısı arttıkça değiştirilen kromozom sayısı kr değişkeninin de artması ile daha iyi sonuçlar alınabilmektedir.

Popülasyon sayısındaki en küçük artışların dahi genetik algoritmanın işlem süresinin oldukça uzamasına neden olduğu buna karşılık sıfır derinliğinde çok büyük değişimler elde edilemediği de görülmektedir.

5.9. GENLİK VE FAZ DEĞERLERİ ÜZERİNE GENETİK ALGORİTMA UYGULAMALARI İLE SIFIRLARIN KAYDIRILMASI

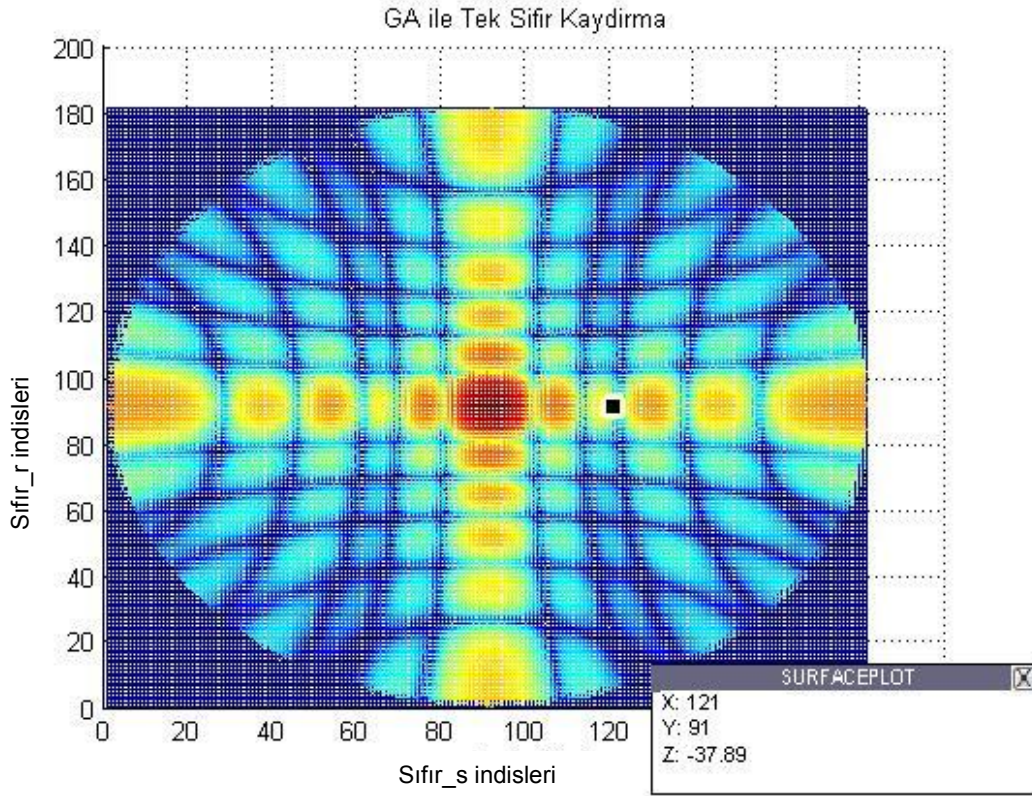
Genetik Algoritma bir arama algoritmasıdır ve optimizasyon problemlerinin çözümüne dayalı yaklaşımlarda kullanılır. Bu bölümde genetik algoritmanın genlik ve faz değerlerinin, sadece faz ve sadece genlik değerlerinin değiştirilmesi durumunda, sıfır kaydırma problemi içinde kullanılması ve sonuçların birbiri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Popülasyonu oluşturan kromozomların genlikleri ve fazları ayrı ayrı belirlenebilir ve bu değişkenler üzerinde genetik işlemler uygulanabilir.



Şekil 5.19 Eş beslemeli dizi orijinal görüntüsü.

Şekil 5.19’ da uniform diziye ait genetik algoritma ile sıfır kaydırma tekniği uygulanmamış görüntü verilmektedir. Sıfır kaydırma uygulamasında ise x ekseninde sıfır_s indisi 121, y ekseninde sıfır_r indisinin 91 olduğu bölgeye sıfır kaydırılmıştır. Bu bölge ana huzmeye yakın olduğundan sıfır derinliğinin çok düşük seviyelere çekilebilmesi beklenmemektedir. Popülasyon sayısı 150, mutasyon sayısı 100, jenerasyon sayısı 200 olarak seçilmiştir.



Şekil 5.20 Hem genlik hem faz kontrollü sıfır kaydırma uygulaması.

Şekil 5.20' de hem genlik hem faz kontrollü sıfır kaydırma metodu kullanıldığında istenilen indislerde sıfır derinliğinin -37.89 dB olarak elde edilebildiği görülmektedir.

Dizi Elemanı No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Eleman Faz Değerleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eleman Genlik Değerleri	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge 5.11 11x11'lik uniform dizinin genlik ve faz değerleri.

Bu uygulama sırasında 11x11'lik diziye ait orijinal faz ve genlik besleme değerleri Çizelge 5.11' de verilmiştir.

a_n İçin Faz Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Faz Değeri (°)
1	-0.0010
2	-0.0017
3	0.0014
4	0.0017
5	0.0010
6	-0.0017
7	0.0015
8	0.0017
9	-0.0013
10	-0.0017
11	5.9807×10^{-4}

b_n İçin Faz Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Faz Değeri (°)
1	0.0011
2	8.0267×10^{-4}
3	3.9796×10^{-4}
4	-0.0015
5	-7.1904×10^{-4}
6	9.1425×10^{-4}
7	-9.4245×10^{-4}
8	-2.9263×10^{-4}
9	0.0011
10	0.0014
11	-0.0015

Çizelge 5.12 11x11'lik dizi antenin hem faz hem genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen faz değerleri.

a_n İçin Genlik Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Genlik
1	1.1044
2	0.8300
3	1.0462
4	1.1673
5	1.0699
6	0.8304
7	1.1467
8	1.1696
9	1.1153
10	0.8301
11	1.0897

 b_n İçin Genlik Değerleri

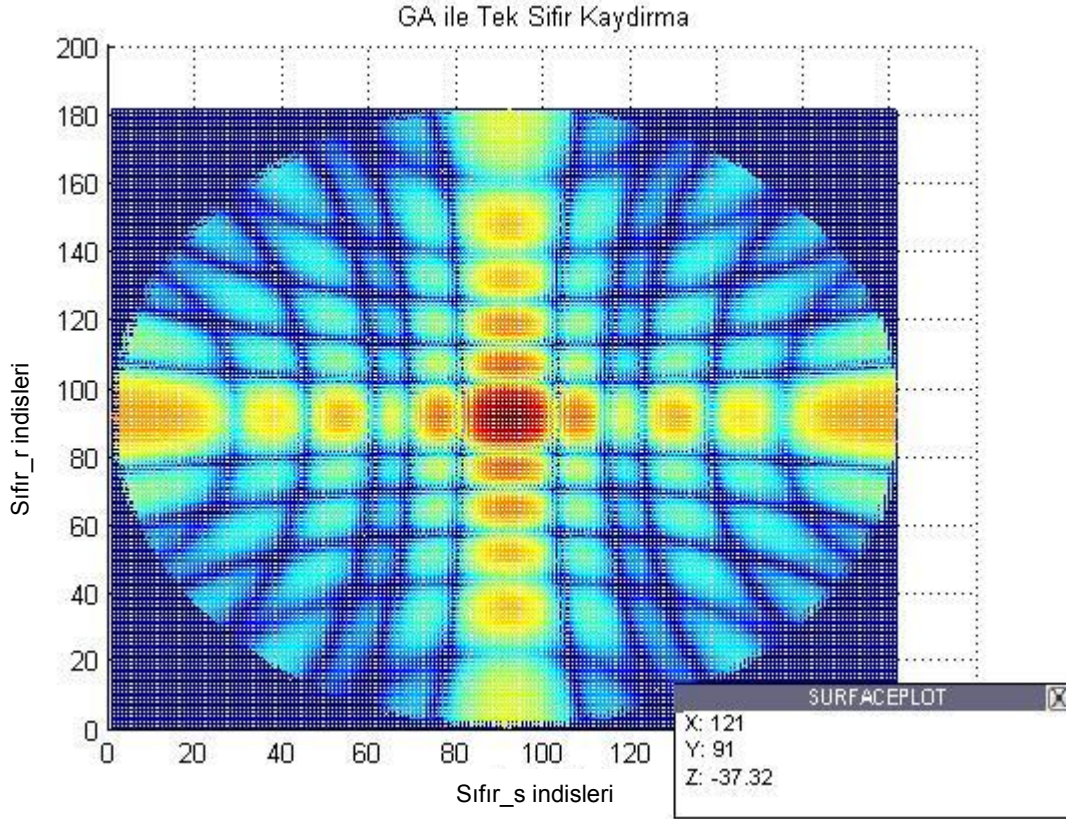
Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Genlik
1	1.0006
2	1.1167
3	1.0889
4	1.0179
5	1.1074
6	0.9263
7	0.9211
8	0.9340
9	0.8805
10	0.8906
11	0.9466

Çizelge 5.13 11x11'lik dizi antenin hem faz hem genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen genlik değerleri.

Genetik algoritmanın genlik ve faz değerleri üzerine sıfırın arzu edilen pozisyona kaydırılması amacıyla uygulanması sonrasında elde edilen faz değerleri Çizelge 5.12 ve genlik değerleri Çizelge 5.13' te verilmiştir.

Hem faz hem genlik kontrollü sıfır kaydırma metodunda kullanılan parametreleri sabit tutarak, aynı çalışmayı sadece genlik değerlerini değiştirerek tekrar edelim ve elde edilen sonuçları inceleyelim.

Sadece genlik kontrollü uygulama yapıldığından, faz değerleri orijinal örüntünün faz değeri olan sıfır değerini koruyacaktır. Sadece genlik değişkenleri genetik işlemlere tabi tutulacaktır.



Şekil 5.21 Sadece genlik kontrollü sıfır kaydırma uygulaması.

Şekil 5.21’ de sadece genlik kontrollü sıfır kaydırma metodu kullanıldığında istenilen indislerde sıfır derinliğinin -37.32 dB olarak elde edilebildiği görülmektedir.

a_n İçin Genlik Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Genlik
1	0.9217
2	0.8307
3	1.0776
4	1.1699
5	1.1483
6	0.8301
7	1.1282
8	1.1679
9	1.1467
10	0.8303
11	1.0164

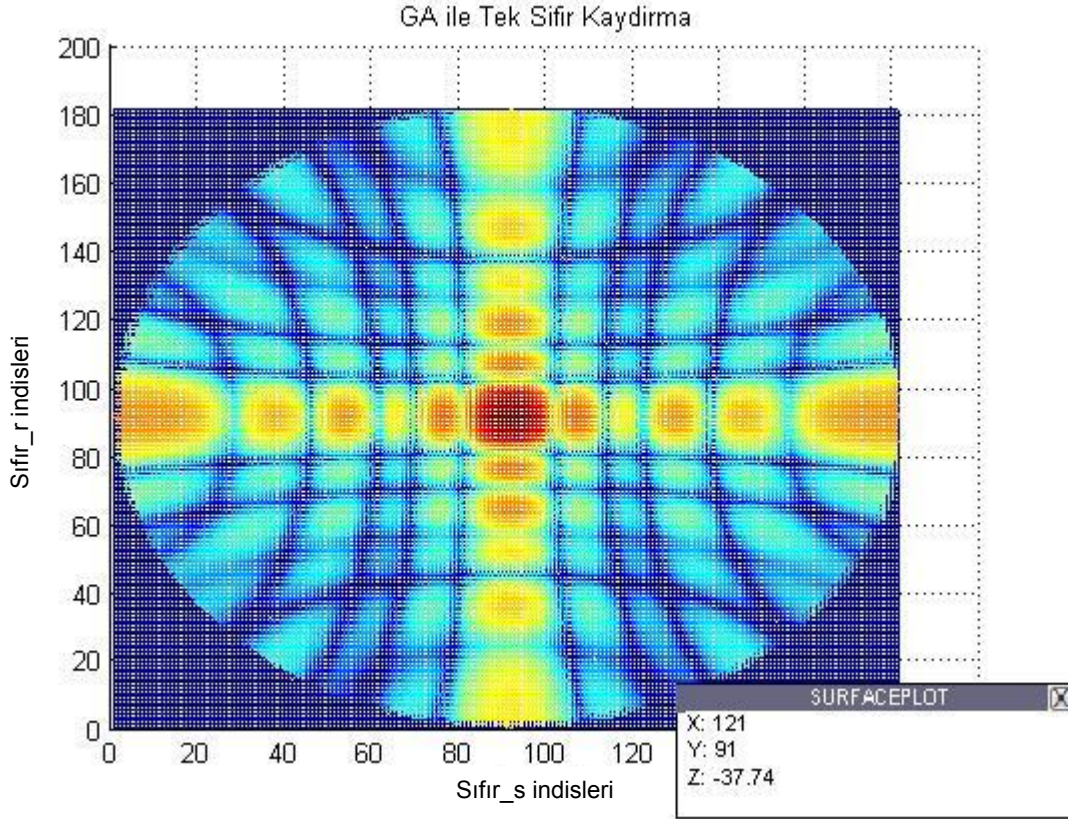
 b_n İçin Genlik Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Genlik
1	1.1044
2	1.1565
3	0.8509
4	1.0344
5	0.9101
6	1.0647
7	0.9762
8	0.9275
9	0.9906
10	1.0719
11	1.0481

Çizelge 5.14 11x11'lik dizi antenin sadece genlik değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen genlik değerleri.

Genetik algoritmanın sadece genlik değerleri üzerine, sıfırın arzu edilen pozisyona kaydırılması amacıyla uygulanması sonrasında elde edilen genlik değerleri Çizelge 5.14' te verilmiştir.

Son olarak sadece faz kontrollü uygulama yapılacağından, genlik değerleri orijinal örüntünün genlik değeri olan bir değerini koruyacaktır. Sadece faz değişkenlerimiz genetik işlemlere tabi tutulacaktır.



Şekil 5.22 Sadece faz kontrollü sıfır kaydırma uygulaması.

Şekil 5.22' de sadece faz değerlerini değiştirildiğinde istenilen indislerde sıfır derinliğinin -37.74 dB olarak elde edilebildiği görülmektedir.

a_n İçin Faz Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Faz Değeri (°)
1	-5.2574x10 ⁻⁴
2	-0.0017
3	-4.0676x10 ⁻⁴
4	0.0017
5	4.3257x10 ⁻⁴
6	-0.0017
7	-5.2882x10 ⁻⁴
8	0.0017
9	-4.192 x10 ⁻⁴
10	-0.0017
11	-1.7041x10 ⁻⁵

b_n İçin Faz Değerleri

Dizi Elemanı No	Dizi Elemanı Faz Değeri (°)
1	-3.1453x10 ⁻⁴
2	7.7583x10 ⁻⁴
3	-2.4682x10 ⁻⁴
4	-0.0017
5	0.0017
6	0.0013
7	-7.7743x10 ⁻⁴
8	0.0013
9	-5.8763x10 ⁻⁴
10	-9.0631x10 ⁻⁴
11	5.9242x10 ⁻⁴

Çizelge 5.15 11x11'lik dizi antenin sadece faz değerlerine genetik algoritma uygulanması sonrası elde edilen faz değerleri.

Genetik algoritmanın sadece faz değerleri üzerine, sıfırın arzu edilen pozisyona kaydırılması amacıyla uygulanması sonrasında elde edilen faz değerleri ise Çizelge 5.15' de verilmiştir.

Sıfır Kaydırma Metodu	Sıfır Derinliği
Hem Faz Hem Genlik	-37.8945dB
Sadece Genlik	-37.3175dB
Sadece Faz	-37.74dB
Orijinal Eş Beslemeli Örüntü	-20.8dB

Çizelge 5.16 Farklı sıfır kaydırma metotları sonrası elde edilen sıfır derinlikleri.

Çizelge 5.16’ da ise farklı sıfır kaydırma metodu uygulayarak elde edilen sıfır derinlikleri verilmiştir. Hem faz hem de genlik kontrollü uygulamaların en iyi sonucun elde edilmesini sağlayan yöntem olduğu görülmektedir. Ancak sadece genlik kontrollü metodu ve sadece faz kontrollü metot sonuçlarının da hem faz hem genlik kontrollü metoda oldukça yakın sonuç verdiği de ortadadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sıfır kaydırma ve örüntü oluşturma tekniklerine ait genel bilgiler ve bu yöntemlerin birbirine karşı olan avantaj, dezavantaj ve sınırlamalarını ortaya koyduk. Bu sayede arzu ettiğimiz örüntüye en yakın örüntüyü elde etmek ve bunu bize sağlayan elektronik kontrol donanımlarının karmaşıklığı arasında bir orta yol bulma konusunda fikir sahibi olmayı amaçladık.

Genlik ve faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin analitik teknikler içinde en uygun çözüm tekniği olduğu, ancak donanım gereksinimlerinden dolayı oldukça yüksek maliyetlerinin olduğu, yalnız faz kontrollü sıfır kaydırma yönteminin nispeten daha az karmaşık problemlerin çözümünde yeterli olduğu ve bu yöntemde sıfırların yan huzmede mi yoksa ana huzme bölgesinde mi kontrol edilip edilemeyeceğinin önem arz ettiği bunların dizi konfigürasyonu ile aralarındaki bağlantıları incelenmiştir.

Faz kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin küçük faz değişimleri için yapılan çözümlerinde Taylor açılımının ilk iki terim kullanılarak doğrusal bir denklem haline geldiği ve analitik yöntemler kullanılarak çözümünün mümkün olduğu, ancak bu yöntemin ana huzme bölgesine simetrik olarak iki sıfırın kaydırılması gibi problemlerin çözümünde başarısız olduğu, bu tip sorunların çözümü için eleman pozisyon kontrollü sıfır kaydırma tekniğinin etkili bir metot olduğu gösterilmiştir.

Örüntü üzerinde sıfırların kaydırılmasının bir takım olumsuz etkilerin de olduğu, bunlar arasında anten örüntüsünün ana huzme kazancında azalma ve yan huzme seviyelerinde istenmeyen seviye artışları gibi önemli anten parametrelerinin olduğu belirtilmiştir.

Genetik algoritmanın, biyolojik evrim ve doğal seçim temeline dayalı oldukça iyi bir arama metodu algoritması olduğu belirtilmiş ve genel tanımı yapıldıktan sonra faz dizili anten üzerinde sıfır kaydırma metodu içinde nasıl kullanılacağına açıklamaları yapılmıştır.

Genetik algoritmanın optimize etmeye çalıştığı problemin tabiatıyla ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymadığı ve karmaşık araştırma uzayında global bir çözümü çok rahat bulabilme avantajının olduğu anlaşılmıştır.

Genetik işlemler başlığı altında genetik algoritmanın önemli değişkenleri ve bunların sıfır kaydırma üzerindeki etkilerinden bahsedilmiş. Elde edilen örüntü diyagramlarıyla konu görsel olarak desteklenmiştir.

Genetik algoritma kullanılarak elde edilen sıfır kaydırma örüntülerinin 3 boyutlu örüntü diyagramlarının yanı sıra bunların doğruluğunu destekleyecek şekilde ϕ açısına göre kesit alınmış 2 boyutlu örüntü diyagramlarıyla istenilen tarama açılarında belirlenen sıfır derinliklerine ulaşıldığı gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda anten elemanları arasında karşılıklı etkileşim hesaba katılmamıştır. Ancak gerçek ortamda anten elemanları idealden farklı davranır. Yapılacak olan yeni çalışmalarda anten elemanlarının karşılıklı etkileşiminin de hesaba katılması sağlanabilir.

Faz kaymalı dizi antenimizin tüm elemanları kontrol edilebilen tamamen adaptif bir dizi olmadığını kısmi adaptif bir dizi ile çalıştığımızı düşünerek genetik algoritma çalışmalarımızı yapabiliriz.

Ayrıca tek bir sıfır kaydırma yerine daha fazla sıfır kaydırma, farklı anten şekilleri üzerinde çalışma, eş beslemeli dizi yerine farklı örüntülere sahip olduğumuz varsayımları üzerine de yeni çalışmalar yapabiliriz.

Anten elemanları arası uzaklığı arttırdığımızda belli bir değerden sonra istenmeyen büyük huzmelerin oluştuğunu biliyoruz, ancak bu durumda huzmenin yönlülüğünün de arttığını biliyoruz, istenmeyen büyük huzmelerin oluşmasına neden olacak şekilde elemanlar arası uzaklığı seçtiğimiz varsayalım ve istenmeyen huzmeleri genetik algoritma ile sıfır kaydırma metodu kullanarak uygun bir sıfır derinliği kazandırabileceğimiz bir çalışmada yapabiliriz.

Ayrıca genetik algoritmanın bir arama algoritması olduğundan bahsetmiştik, yine benzer biçimde farklı arama algoritmaları kullanarak da optimum çözümlere ulaşmaya yönelik çalışmalarda yapılabilir, bu şekilde farklı arama algoritmalarının karşılaştırmasını da yapabiliriz.

KAYNAKLAR

- [1] R.J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, 1993
- [2] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1998
- [3] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Harper & Row, Publisher, New York, 1982
- [4] R.E. Collin, *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill Book Company, 1985
- [5] R.S. Elliott, *Antenna Theory and Design*, Prentice-Hall, Inc. 1981
- [6] A.W. Rudge, K. Milne, A.D. Olver, and P. Knight, *The Handbook of Antenna Design*, IEE Electromagnetics Wave series 16, 1982
- [7] M.Skolnik, *Radar Handbook*, Mc Graw Hill, 2nd ed., 1990
- [8] D.Curtis Scheleher, *Introduction to Electronic Warfare*, Artech House, 1993
- [9] S.S. Ahmeda, I. Harrison, and M.S. Wolfson, "Tracking Multiple Targets With a Phased array Radar," *IEE Radar*, pp.601-605, 1997
- [10] P. Darwood, P.N. Fletcher, and G.S. Hilton, "Pattern Synthesis in Small Planar Phased Arrays," *Tenth International Conference on Antennas and Propagation*, pp.212-215, 1997
- [11] H. Steyskal and J.S Herd, "Mutual Coupling Compensation in Small Array Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 38, no.12, pp.1971-1975, 1990
- [12] M.Caillet, M.Clenet,Y.M.M.Antar, "Study of Phase Quantization Effects on Synthesized Array Factor Having a Main Beam and Prescribed Null" *Defense Research and Development*, Canada, December 2008
- [13] M.Clenet,G.Morin, "Graphical Investigations of Quantization Effects of Phase Shifters on Array Patterns" *Defense Research and Development* Canada, November 2000
- [14] H. Steyskal, R.A. Shore, and R.L. Haupt, "Methods for Null Control and Their Effects on the Radiation Pattern," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 34, no.3, pp.404-409, 1986
- [15] R.T. Al-Mushcab, M.M. Dawoud, and H.A. Ragheb, "Null Steering in Adaptive Arrays by Controlling the Elevations of the Antenna Array Elements," *Antennas and Propagation Society International Symposium, AP-S. Digest*, pp.1244-1247, 1994

- [16] T.H. Ismail and M.M. Dawoud, "Null Steering in Phased Arrays by Controlling the Element Positions," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 39, no. 11, pp.1561-1566, 1991
- [17] R. Giusto and P. De Vincenti, "Phase-Only Optimization for the Generation of Wide Deterministic Nulls in the Radiation Pattern of Phased Arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 31, no.5, pp.814-817, 1983
- [18] T.B. Vu, "Method of Null Steering Without Using Phase Shifters," *IEE Proceedings*, Vol.131 Pt.H no.4, pp.242-246, 1984
- [19] R.A. Shore, "A Sector Nulling Technique Revisited," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 49, no. 5, pp.843-844, 2001
- [20] H.M. Ibrahim, "Null Steering by Real-Weight Control-a Method of Decoupling the Weights," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 39, no.11, pp.1648-1650, 1991
- [21] R.A. Shore, "A Proof of the Odd Symmetry of the Phases for Minimum Weight Perturbation Phase Only Null Synthesis," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 32, no. 5, pp.528-530, 1984
- [22] R.A. Shore, "Nulling at Symmetric pattern Location with Phase-Only Weight Control," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 32, no. 5, pp. 530-533, 1984
- [23] H. Steyskal, "Simple Method for Pattern Nulling by Phase Perturbation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 31, no.1, pp.163-166, 1983
- [24] Jin-Lin Hu, Yan. Ma, and Shi-Ming. Lin, "Deep Null Steering by Controlling Excitation Phases of Part Elements," *Int. Journal of Electronics*, Vol. 83, no.5, pp. 661-665, 1997
- [25] J.F. Deford and O.P. Gandhi, "Phase-only synthesis of minimum peak sidelobe patterns for linear and planar arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 36, no.2, pp.191-201, 1998
- [26] W. Liao and F. Chu, "Array Pattern Synthesis with Null Steering Using Genetic Algorithms by Controlling Only the Current Amplitudes," *Int. Journal of Electronics*, Vol. 86, no.4, pp.445-457, 1999
- [27] C.C. Ko, "A Fast Null Steering Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.39, no.8, pp.1098-1104, 1991
- [28] H.M. Ibrahim, "Independent Null Steering in the Sum and Difference Patterns of Antennas Arrays Using Real Weights," *Int. Journal of Electronics*, Vol. 74, no.6, pp.971-978, 1993

- [29] K.W. Lo, "Null Steering in Monopulse Planar Array Using Amplitude Only Control," *Electronics Letters*, Vol. 26, no.20, pp.1700-1701, 1990
- [30] M.M. Dawoud and M. Nuruzzaman, "Null Steering in Rectangular Planar Arrays by Amplitude Control Using Genetic Algorithms," *Int. Journal of Electronics*, Vol. 87, no.12, pp.1473-1484, 2000
- [31] I. El-Azhary, M.S. Afifi; and P.S. Excell, "A Simple Algorithm for Sidelobe Cancellation in a Partially Adaptive Linear Arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 36, no.10, pp.1484-1486, 1988
- [32] I. El-Azhary, M.S. Afifi; and P.S. Excell, "Fast Cancellation of Sidelobes in the Pattern of a Uniformly Excited Array Using External Elements," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 38, no.12, pp.1962-1965, 1990
- [33] M.M. Dawoud and T.H. Ismail, "Experimental Verification of Null Steering by Element Position Perturbations," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 40, no.11, pp.1431-1434, 1992
- [34] B.E. Stuckman and J.C. Hill, "Method of Null Steering in Phased Array Antennas Systems," *Electronics Letters*, Vol. 26, no.15, pp.1216-1218, 1990
- [35] H. Steyskal, "Wide-Band Nulling Performance Versus Number of Pattern Constraints for an Array Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 31, no.1, pp.159-163, 1983
- [36] C.C. Ko, "A Simple, Fast Algorithm for Broad-Band Null Steering Arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 39, no.1, pp.122-125, 1991
- [37] M.H. Er, "Linear Antennas Array Pattern Synthesis with Prescribed Broad Nulls," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 38, no.9, pp.1496-1498, 1990
- [38] T.B Vu, "On Null Steering in Rectangular Planar Array," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 40, no.8, pp.995-997, 1992
- [39] W.K. Kahn, "Degradation in Performance of Adaptive Null-Steering Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 35, no.12, pp.1469-1473, 1987
- [40] J.S. Byrnes and D.J. Newman, "Null Steering Employing Polynomials with Restricted Coefficients," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 36, no.2, pp.301-303, 1988

- [41] M.D. Zoltowski, "Synthesis of Sum and Difference Patterns Possessing Common Nulls for Monopulse Bearing Estimation with Line Arrays" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 40, no.1, pp.25-37, 1992
- [42] A. Tennant, M.M. Dawoud, A.P. Anderson, "Array Pattern Nulling by Element Position Perturbations Using a Genetic Algorithm," *Electronics Letter*, Vol.30, pp. 174-176, 1994
- [43] Y.L. Abdel-Magid and M.M. Dawoud, "Accurate Null Steering In Linear Arrays Using Tabu Search," *Tenth International Conference on Antennas and Propagation*, pp.365-369, 1997
- [44] T.B. Vu and H. Chen, "Real-time Null Steering by the CLEAN Technique," *Int. Journal of Electronics*, Vol. 83, no.4, pp.541-553, 1997
- [45] Akdağlı A., Güney K. ve Karaboğa N., "Temel Genetik Algoritma Kullanarak Lineer Anten Dizi Sentezi", Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 10. Yıl Sempozyumu, Şubat 1998.
- [46] Y. Cengiz and H. Tokat, "Linear Antenna Array Design with Use of Genetic, Memetic and Tabu Search Optimization Algorithms" *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. I, pp.69-72, 2008