

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ  
TEK-DARBE TAKİP RADARLARINDAN  
ŞAŞI-GÖZ VE ÇAPRAZ KUTUPLANMA İLE  
KARIŞTIRILMASININ İNCELENMESİ**

**İmren KALINBACAK**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Korkut YEĞİN**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Sunuş Tarihi: 15.05.2017**

**Bornova-İZMİR**

**2017**



İmren KALINBACAK tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “İnsansız Hava Araçlarının Tek-Darbe Takip Radarlarından Şaşı-Göz ve Çapraz Kutuplanma ile Karıştırılmasının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 15/05/2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

**Jüri Başkanı : Prof. Dr. Korkut Yeğin**



**Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz Öztürk**



**Üye : Doç. Dr. Mustafa Seçmen**





## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnsansız Hava Araçlarının Tek-Darbe Takip Radarlarından Şaşı-Göz ve Çapraz Kutuplanma ile Karıştırılmasının İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

15.05/2017

İ Kalınbacak

İmren Kalınbacak



**ÖZET****İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TEK-DARBE TAKİP  
RADARLARINDAN ŞAŞI-GÖZ VE ÇAPRAZ KUTUPLANMA İLE  
KARIŞTIRILMASININ İNCELENMESİ**

KALINBACAK, İmren

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Korkut YEĞİN

Mayıs 2017, 153 sayfa

Tek darbe radarlar, bir ya da iki hüzmeye aynı anda alınan sinyalleri karşılaştırarak hedefin açısal durumu hakkında bilgi sağlar. Açı algılamada tek pulse kullandığı için tek darbe olarak adlandırılır. Diğer klasik radar sistemleri ile karşılaştırıldığında tek pulse tan açı hata voltajı elde edildiği için tek darbe radarlar genlik dalgalanmalarından etkilenmezler. Bu nedenle geleneksel karıştırma tekniklerine karşı çok büyük dirençleri ve karşı tedbirleri vardır. Bu sebeple tek darbe radar yapılarına karşı, elektromanyetik spektrumun karıştırma ve aldatma yoluyla kullanılmasını engellemeyi veya bozmayı hedefleyen özel Elektronik Karşı Tedbirlerin (EKT) kullanılması gerekmektedir. Şaşı göz ve çapraz kutuplanma açı aldatma teknikleri tek darbe radarlara karşı kullanılan en yaygın aldatma teknikleridir.

Hava platformlarında şaşı göz ve çapraz kutuplanma uygulamaları yeni olmasa da, insansız hava aracı (İHA) platformuna uygulandığında, cilt geri dönüşleri normal bir savaş uçağınınkinden farklı olması nedeniyle uygulamada farklı zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, bir İHA modeli tasarlanarak, bu model üzerine konuşlandırılan antenler vasıtasıyla şaşı göz ve çapraz kutuplanma karıştırma teknikleri kullanılarak tek darbe radarların karıştırılması senaryoları hesaplanarak simülasyonlar yoluyla doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *tek darbe radar, şaşı göz, çapraz kutuplanma*



**ABSTRACT****INVESTIGATION OF CROSS-EYE AND CROSS-POL JAMMING  
FOR MONOPULSE RADAR TRACKING  
BY USING UNMANNED AERIAL VEHICLES**

KALINBACAK, İmren

BSc in Electrical-Electronics Eng.

Supervisor: Prof. Dr.Korkut YEĞİN

May 2017, 153 pages

Monopulse radar provides information about the angular position of the target by comparing signals received from simultaneous beams. It is called monopulse because it uses one pulse when detecting angle. Compared to conventional radar systems, monopulse radars are not affected by amplitude fluctuations to obtain angle error voltage due to single pulse used. For this reason, there are great resistance and countermeasures against traditional jamming techniques. Monopulse radars are an important threat especially for UAV's. It is necessary to use special ECM techniques against monopulse radars to jamming. Cross-eye and cross polarization angle deception techniques are the most common deception techniques against monopulse radar.

However, jamming is difficult in aerodynamic applications, as the dynamics of the jamming platform change rapidly. UAV's are no exception but have the advantage of more stable platform. Although cross-eye and cross polarization are not new to air platforms, different difficulties arise in practice when applied to the UAV platform, since the skin return is different from that of a typical fighter plane.

In this study, a UAV model was designed, simulated by simulating the jamming scenarios of monopulse radars using cross-eye and cross polarization jamming techniques through antennas deployed on this model.

**Keywords:** *monopulse radar, cross-eye jamming, cross polarization jamming*

**TEŞEKKÜR**

Proje süresince desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli zamanını bana ayıran saygıdeğer hocam Prof. Dr. Korkut Yeğin'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan çok sevgili anne ve babama, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan kıymetli eőime çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmamda bana her türlü destek ve katkı sağlayan kıymetli arkadaşlarım Olcay Yiğit'e, Mustafa Pehlivan'a ve Yavuz Aőçı'ya çok teşekkür ederim.



**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxxı
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxxv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. Tek Darbe Radarlar.....	4
2.2. Genel Matematiksel Model.....	9
2.3. Faz Ön Analizi.....	12
2.4. Genişletilmiş Analiz.....	16
2.5. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği.....	23
2.6. Çapraz Kutuplanma Karıştırma Tekniği.....	25
3. İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) MODELİ.....	28
4. SİMÜLASYONLAR.....	31

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.1. İHA Radar Kesit Alanı Simülasyonu.....	31
4.2. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği Simülasyonları.....	34
4.2.1. Senaryo 1.....	36
4.2.2. Senaryo 2.....	38
4.2.3. Senaryo 3.....	40
4.2.4. Senaryo 4.....	42
4.2.5. Senaryo 5.....	43
4.2.6. Senaryo 6.....	45
4.2.7. Senaryo 7.....	47
4.2.8. Senaryo 8.....	49
4.2.9. Senaryo 9.....	51
4.2.10. Senaryo 10.....	53
4.2.11. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği Duyarlılık Analizi.....	55
4.3. Çapraz Kutuplanma Karıştırma Tekniği Simülasyonları.....	58
4.3.1. Senaryo 1.....	61
4.3.2. Senaryo 2.....	65

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.3.3. Senaryo 3 .....	69
4.3.4. Senaryo 4 .....	73
4.3.5. Senaryo 5 .....	77
4.3.6. Senaryo 6 .....	80
4.3.7. Senaryo 7 .....	84
4.3.8. Senaryo 8 .....	88
4.3.9. Senaryo 9 .....	92
4.3.10. Senaryo 10 .....	96
4.3.11. Senaryo 11 .....	100
4.3.12. Senaryo 12 .....	104
4.3.13. Senaryo 13 .....	108
4.3.14. Senaryo 14 .....	112
4.3.15. Senaryo 15 .....	116
4.3.16. Senaryo 16 .....	120
4.3.17. Senaryo 17 .....	124
4.3.18. Senaryo 18 .....	128

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
4.3.19. Senaryo 19.....	132
4.3.20. Senaryo 20.....	136
5. ÖLÇÜMLER.....	143
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....	151
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	158



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Genlik ile açı algılayan TDR model anten örüntü pozisyonları .....	5
2.2 Faz ile açı algılayan tdr model anten örüntü pozisyonları.....	6
2.3 Faz karşılaştırmalı yöntem.....	6
2.4 Genlik ve faz ile açı algılayan tdr model anten örüntü pozisyonları .....	8
2.5 TDR toplam ve fark kanalları (sum and difference pattern).....	8
2.6 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 3.42)...	15
2.7 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 14.91).	15
2.8 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 25.41).	16
2.9 TDR karıştırma senaryosu .....	17
2.10 Şaşı göz karıştırma senaryosu [Hoon 1989] .....	24
2.11 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği blok diyagramı .....	26
2.12 Polarize bileşenleri.....	27
2.13 Çapraz Kutuplanma Karıştırma Senaryosu .....	27
3.1 İHA modeli .....	29
3.2 İHA modeli tasarım değerleri .....	30
4.1 İHA modelinin CST MWS'daki RCS grafiği [-180,180], ( $\theta = 90^\circ$ , yatay eş polarize sinyal).....	32
4.2 İHA modelinin RCS grafiği [0, 360], ( $\theta = 90^\circ$ , yatay eş polarize sinyal) .....	33
4.3 İHA modelinin RCS grafiği [90,270], ( $\theta = 90^\circ$ , dikey eş polarize sinyal) .....	34

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 İHA modelinin RCS grafiği [0,360], ( $\varphi$ yönünde, $\theta = 90^\circ$ , dikey eş polarize sinyal).....	34
4.5 Şaşı göz karıştırma tekniği senaryosu 1.adım.....	35
4.6 Şaşı göz karıştırma tekniği senaryosu 2.adım.....	36
4.7 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )...37	37
4.8 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	38
4.9 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )..39	39
4.10 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	40
4.11 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )41	41
4.12 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	42
4.13 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	42
4.14 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	43
4.15 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )44	44
4.16 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.18 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	47
4.19 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )	48
4.20 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	49
4.21 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )	50
4.22 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	51
4.24 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	53
4.25 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ )	54
4.26 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	55
4.27 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği senaryosu 1.adım.....	58
4.28 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği senaryosu 2.adım.....	59
4.29 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal) .....	61
4.30 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.31 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	63
4.32 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	64
4.33 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	64
4.34 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal) .....	66
4.35 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	67
4.36 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	67
4.37 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	68
4.38 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	69
4.39 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal) .....	69
4.40 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	71

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.41 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	71
4.42 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	72
4.43 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	73
4.44 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal).....	73
4.45 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	75
4.46 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	75
4.47 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	76
4.48 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	77
4.49 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal).....	77
4.50 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	78

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.51 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	79
4.52 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	79
4.53 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	80
4.54 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal) .....	81
4.55 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	82
4.56 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	83
4.57 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	83
4.58 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	84
4.59 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal) .....	85
4.60 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	86

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.61 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	87
4.62 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	87
4.63 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	88
4.64 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal).....	89
4.65 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	90
4.66 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	91
4.67 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	91
4.68 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	92
4.69 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal).....	93
4.70 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	94

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.71 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	95
4.72 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	95
4.73 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	96
4.74 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal).....	97
4.75 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	98
4.76 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	99
4.77 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	99
4.78 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	100
4.79 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	101
4.80 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	102



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.81 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	103
4.82 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	103
4.83 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 5^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	104
4.84 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	105
4.85 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	106
4.86 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	107
4.87 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	107
4.88 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 10^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	108
4.89 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	109
4.90 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	110

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.91 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	111
4.92 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	111
4.93 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 15^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	112
4.94 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	113
4.95 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	114
4.96 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	115
4.97 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	115
4.98 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 20^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	116
4.99 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	117
4.100 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	118

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.101 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	119
4.102 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	119
4.103 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 25^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	120
4.104 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal) .....	121
4.105 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	122
4.106 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	123
4.107 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	123
4.108 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 30^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	124
4.109 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal) .....	125
4.110 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	126

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.111 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	127
4.112 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	127
4.113 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 35^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	128
4.114 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	129
4.115 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	130
4.116 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	131
4.117 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	131
4.118 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 40^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	132
4.119 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal).....	133
4.120 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ) .....	134

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.121 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	135
4.122 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	135
4.123 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 45^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	136
4.124 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal) .....	137
4.125 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	138
4.126 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	139
4.127 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	139
4.128 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü $\phi = 50^\circ$ , $\theta = 90^\circ$ ).....	140
5.1 Tasarlanan Yagi Uda Antenlerinin Yarım Güç Hüzme Genişliği .....	144
5.2 Tasarlanan Yagi Uda Antenlerinin Yayın Paterni .....	144
5.3 Tasarlanan Yagi Uda Anten Modeli (Ön ve arka görünüm) .....	145
5.4 Tasarlanan Yagi Uda Anten Modeli $S_{11}$ Grafiği .....	145
5.5 İHA Modeli Boyutları (Üst) .....	146

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6 İHA Modeli Boyutları (Ön, Yan).....	147
5.7 İHA Modeli .....	147
5.8 Ölçüm Modeli .....	148
5.9 Laboratuvar Ölçümü $S_{11}$ Grafiği.....	149
5.10 Laboratuvar Ölçümü $S_{12}$ Grafiği.....	149
5.11 Laboratuvar Ölçümü $S_{21}$ Grafiği.....	150
5.12 Laboratuvar Ölçümü $S_{22}$ Grafiği.....	150

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 5^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	37
4.2 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	39
4.3 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 15^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	41
4.4 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 20^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	42
4.5 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	44
4.6 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 30^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	46
4.7 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 35^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	48
4.8 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 40^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	50
4.9 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 45^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	52
4.10 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 50^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	54
4.11 Gönderilen farklı düzlemsel dalga açılarına göre simülasyon sonuçları ( $f = 9 \text{ GHz}, \theta = 90^\circ$ ).....	56
4.12 Duyarlılık Analizi Simülasyon Sonuçları (düzlemsel yatay polarize dalga yönü $\phi = 5^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	56
4.13 Duyarlılık Analizi Simülasyon Sonuçları (düzlemsel yatay polarize dalga yönü $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	57
4.14 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 5^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.15 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	66
4.16 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 15^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	70
4.17 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 20^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	74
4.18 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	78
4.19 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 30^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	81
4.20 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 35^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	85
4.21 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 40^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	89
4.22 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 45^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	93
4.23 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 50^\circ, \theta = 90^\circ$ ).....	97
4.24 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 5^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.).....	101



## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.25 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	105
4.26 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 15^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	109
4.27 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 20^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	113
4.28 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	117
4.29 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 30^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	121
4.30 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 35^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	125
4.31 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 40^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	129
4.32 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 45^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	133
4.33 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 50^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.) .....	137
4.34 Çapraz Kutuplanma Karıştırması Senaryoları Sonuçlar Tablosu (Yatay Polarize Düzlemsel Dalga) .....	141
4.35 Çapraz Kutuplanma Karıştırması Senaryoları Sonuçlar Tablosu (Dikey Polarize Düzlemsel Dalga) .....	142

**ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**ÇizelgeSayfa

5.1 Yagi Uda Anten Tasarım Değerleri .....	143
5.2 Yagi Uda Antenlerin Farklı Frekanslarda Ölçülen Kazanç ve Çapraz Kutuplanma Değerleri.....	146

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$c$	Işık Hızı
$f$	Frekans
$\lambda$	Dalga Boyu
<u>Kısaltmalar</u>	
$dB$	Desibel
$EKK$	Elektronik Karşı Koyma
$\dot{I}HA$	İnsansız Hava Aracı
$MWS$	Microwave Solver
$RCS$	Radar Cross Section
$TDR$	Tek Darbe Radar



## 1. GİRİŞ

Radar, insanoğlunun çevreyi gözlemlene yeteneğini, özellikle de görme duyusunu genişletmek için kullanılır. Radarın değeri, gözün yerini alması değil gözün yapamayacağı şeyleri yapmasında yatar. Radar gözlerin sahip olduğu kabiliyet gibi ne ayrıntıları çözebilir ne de nesnelere "rengini" tanıma yeteneğine sahiptir. Ama yine de radar karanlık, bulanıklık, sis, yağmur ve kar gibi normal insan görüşüne dokunmayan koşullarda da görebilecek şekilde tasarlanabilir. Buna ek olarak, radar nesneye olan mesafeyi ölçebilmek avantajına sahiptir. Bu da muhtemelen en önemli özelliğidir. Radar, durağan ya da hareketli bir nesnenin elektromanyetik dalgalarla faydalanılarak menzile, yükseklik, yön ya da hız bilgilerini elde etmek için kullanılan bir sistemdir.

Bugün, sivil ve askeri uygulamalarda çok çeşitli radar sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler birçok polis teşkilatı tarafından kullanılan doppler radarı kadar basit olabilirler veya aynı anda birçok nesneyi algılayan ve tam olarak izleyen modüller askeri radarlar kadar kompleks olabilirler.

Radar teknolojilerinde sıklıkla kullanılan yapılardan bir tanesi de tehdidi hassas olarak takip etmeye imkân tanıyan izleme (tracking) radarlarıdır. Tipik bir izleme radarı bir kalem-hüzme (pencil beam) ile nesneden dönen eko sinyalinin alarak izlediği tehdidin açısal konumunu, hızını ve menzilini tayin etmektedir.

Tek darbe (monopulse) tekniği, izleme radarlarında kullanılan bir radar tekniğidir ve özellikle konik taramalı radar antenlerinin karıştırmaya karşı zafiyetlerinden dolayı bir elektronik koruma yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. Modern izleme radarlarının çoğunda tek darbe anten yapısından yararlanılmaktadır.

Tek darbe tekniği modern radarlarda kullanılan, karıştırmaya karşı direnci çok yüksek olan, özel karıştırma teknikleri gerektiren bir anten tekniğidir. Konik taramalı veya ardışık loblu radar antenleri açısal hatayı tek bir darbe de algılayamazlar. Özellikle hedef bir hava aracı ise, bu hava aracının ani yavaş, dönüş hareketlerinden dolayı sürekli değişen genlik dalgalanmaları mevcutsa bu hedefin radarda oluşturduğu açısal hatayı mümkün olan en kısa sürede ve tek darbeye algılamak en doğru yaklaşımdır bunu da tek darbe radarlar sağlarlar. Hedefin genlik dalgalanmalarından etkilenmediği ve tek darbeye hedefi

algılayabildiği için geleneksel karıştırma tekniklerine karşı çok büyük dirençleri vardır. Tek darbe takip radarlarına karşı özel Elektronik Karşı Koyma (EKK) yöntemleri kullanmak gereklidir.

Tek darbe takip radarları, özellikle İHA'lar için önemli bir tehdittir. Karıştırma ve aldatmayla elektromanyetik spektrumu önlemek veya bozmak için tek darbe takip radarlarına karşı özel EKK teknikleri kullanmak gereklidir. Şaşı göz ve çapraz kutuplanma açısı aldatma teknikleri, tek darbe takip radarlarına karşı kullanılan en yaygın aldatma teknikleridir.

Şaşı göz açısı aldatma tekniğinde platform üzerinde iki anten kullanılarak aralarında 180 derece faz farkı oluşturulur. Böylece tek darbe takip radarının toplam kanalında null oluşturur ve bu toplam, fark kanalı ile oranlandığında alınan açısı hata voltajı çok büyük olur.

Çapraz kutuplanma açısı aldatma tekniğinde ise platform üzerindeki antenlerden biri kendisine yatay kutuplanmada gelen sinyali kazanç devresinden geçirip dikey kutuplanmada, dikey kutuplanmada gelen sinyali kazanç devresinden geçirip yatay kutuplanmada radara geri gönderir. Yatay polarize gönderilen sinyalin radara geri gönderilen yatay polarize bileşeninin büyük olması beklenirken radara geri dönen sinyalin yatay polarize bileşeni çok küçük, dikey polarize bileşeni ise çok büyük olur. Bu durumda toplam değer görülmesi gerekirken çapraz polarize alınan sinyallerden dolayı toplam kanalda sifıra yakın değerler görülür. Bu toplam, fark kanalı ile oranlandığında alınan açısı hata voltajı çok büyük olur.

Hava araçlarında, karıştırma platformunun dinamikleri hızla değiştiği için karıştırma oldukça zordur. İnsansız Hava Araçları bir istisna değildir ancak daha istikrarlı bir platform avantajına sahiptir. Bununla birlikte, antenin platform ile yakın olmasından dolayı platform da yayın yapısının bir parçası haline gelir ve platformun radar kesit alanından (Radar Cross Section-RCS) kaynaklı cilt geri dönüş sinyalinin değeri karıştırmanın başarılı olup olmamasında önemli rol oynar.

Bu tezde, tek darbe radar sistemlerinin çalışma prensipleri incelenmiş, sistemin matematiksel çıkarımları yapılmıştır. Şaşı göz ve çapraz kutuplanma

karıştırma tekniklerinin monopulse radarlara karşı kullanımı araştırılmış ve İHA üzerine konuşlu şaşı göz ve çapraz kutuplanma karıştırma teknikleri kullanarak yerdeki tek darbe radar radarı karıştırabilme yeteneğine sahip anten tasarımları yapılmıştır. İHA platformundaki mevcut alan ve ağırlık kısıtlamaları nedeniyle platforma en uygun olabilecek anten tasarımı gerçekleştirilmeye çalışılarak şaşı göz ve çapraz kutuplanma karıştırma teknikleri senaryolarla doğrulanmıştır.

Bu çalışmada, İHA'nın aslına uygun şekilde tasarlanmasında ve radar kesit alanının hesaplanmasında CST MWS programı kullanılmıştır. Fakat sınırlı benzetim olanaklarından dolayı senaryolar basit (kalınlıksız) insansız hava aracı modeli üzerinde FEKO programı kullanılarak simüle edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. Tek Darbe Radarlar

Radar teknolojilerinde sıklıkla kullanılan yapılardan bir tanesi de tehdidi hassas olarak takip etmeye imkan tanıyan izleme radarlarıdır. Tipik bir izleme radarı bir kalem-hüzme ile nesneden dönen eko sinyalinin alarak izlediği tehdidin açısal konumunu, hızını ve menzilinini tayin etmektedir.

İzleme radarlarının çözünürlük hücresi, arama radarlarınkine göre oldukça küçüktür. İzleme radarları genelde üçe ayrılır. İlk izleme radarları, hüzmelerini zaman bölmeli kullanarak açı algılıyordu. Bu izleme radarları, konik taramalı ve ardışık hüzmeli radarlar olarak adlandırılır. Fakat modern yüksek tahmin izleme radarları, eşit simültene hüzmeler kullanarak izleme sağlamaktadırlar. Bu radarlar tek darbe radarlar olarak adlandırılır.

Konik taramalı ve ardışık loblu izleme radarlarında, radar alıcısı farklı zamanlardaki hüzmelerden gelen sinyali kullandığı için hedef ekosunun sinyalinin zamandaki genlik değişimlerinden etkilenir. Özellikle karmaşık yapıdaki hedeflerin yüzeyinde birçok saçılma gerçekleşir ve bu saçılmalar hedefin radardaki ekosunun genliği değiştirir. Ya da düz bir hat üzerinde giden ve ani hareketler yapan bir uçak da radarda aynı etkiyi yaratır. Bu tip hedeflerin ekosunu zaman içerisinde, konik tarama veya ardışık hüzmeli radarlarda izlenirse ölçüm doğruluğu azalır. Her darbeden açı hata voltajı elde edilebildiği için monopulse radarlar, hedefin genlik dalgalanmalarından etkilenmezler.

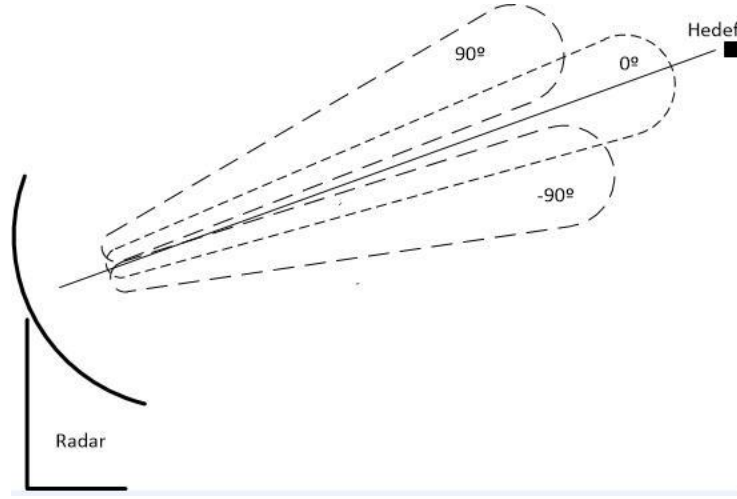
TDR'ların işlevini yerine getirebilmesi için radar sistemi içerisinde yer alan temel birimler şu şekilde sıralanabilir: Açı algılama birimi (alıcı anten), karşılaştırıcı ya da çevirici devre ve açı ayırıştırıcı. Açı algılama birimi, radar sistemi ile dış dünyayı birbirine bağlayan anten birimidir. Üç tip açı algılama modeli mevcuttur. Bunlar:

- Genlik İle Açı Algılama
- Faz İle Açı Algılama
- Genlik ve Faz İle Açı Algılama

Genlik ile açı algılama TDR modelinde, birbirleri üzerinde kesişimleri bulunan (overlap eden) hüzmeler, anten merkez hattından (boresight direction)  $\pm\theta_0$  açısal uzaklıkta konumlanmaktadır. Hedef, bu merkez hattından  $\theta$

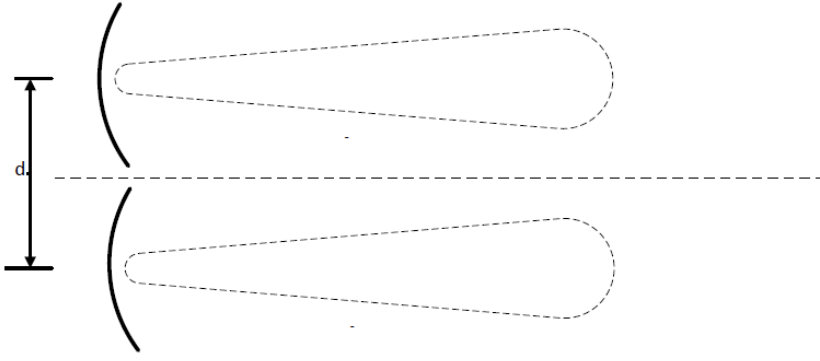


kadarlık bir sapma ile konumlandığında huzmelerden bir tanesinde ağırlıklı sinyal seviyesi daha fazla olacak ve bu huzmenin bulunduğu antene daha büyük bir genliğe sahip bir eko sinyali düşecektir. Anten huzmeleri arasındaki bu genlik farkı tehdidin açısal konumunun bulunması için gerekli bilgiyi sağlar. Şekil 2.1’de genlik ile açı algılayan TDR sistemlerinde kullanılan anten örüntülerinin pozisyonları gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Genlik ile açı algılayan TDR model anten örüntü pozisyonları

Faz ile açı algılama TDR modeli interferometer radar olarak da bilinir, tehdidin açısal konumu, antenlere ulaşan sinyallerin faz bilgilerinin karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Anten uzak alanında, hüzme örüntülerinin birbirleri ile uyumlu olduğu kabul edilir ve bunun sonucu olarak da hedeften yansıyan sinyal, antenlere eş genlikte ancak farklı fazlarda ulaşmaktadır. Şekil 2.2’de faz ile açı algılayan TDR sistemlerinde kullanılan anten örüntülerinin pozisyonları gösterilmektedir. Burada  $d$  uzaklığı iki antenin faz merkezleri arasındaki uzaklıktır.

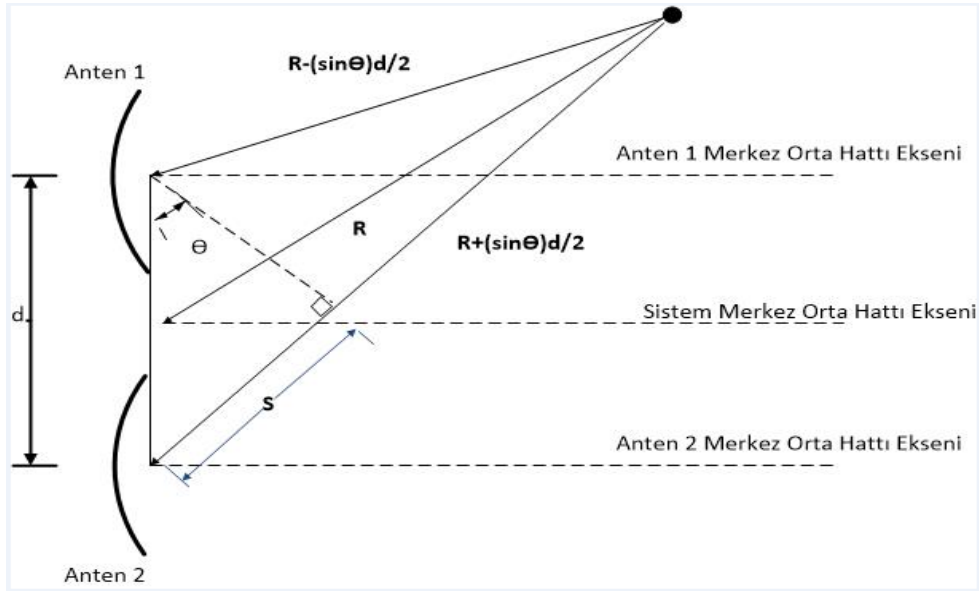


Şekil 2.2 Faz ile açı algılayan tdr model anten örüntü pozisyonları

Antenlerin arasında bulunan alanın orta noktasından tehdide doğru yönlendirilmiş hayali bir asal eksen oluşturulduğunda (Şekil 2.3), hedeften anten-1'e ve anten-2'ye olan uzaklıklar;

$$R_1 = R - \sin \theta \frac{d}{2} \quad (2.1)$$

$$(2.2)$$



Şekil 2.3 Faz karşılaştırmalı yöntem

Hedefte yansıyan eko sinyali ilk olarak kendisine yakın olan antene, antenler arası mesafe ( $d$ ) ile orantılı bir süre sonra da ikinci antene varacaktır. Eko sinyali farklı zamanlarda antenlere ulaştığı için antenlerden alınan sinyaller arasında bir zaman gecikmesi ve bunun sonucunda da bir faz farkı oluşacaktır. Şekil 2.3'de bu mesafe farkı görülmektedir. Şekilde de gösterilen  $S$  değerinin (tehdidin anten-1 ve anten-2'ye olan uzaklıklarının farkı) değeri;

$$S = R_2 - R_1 = d \sin \theta \quad (2.3)$$

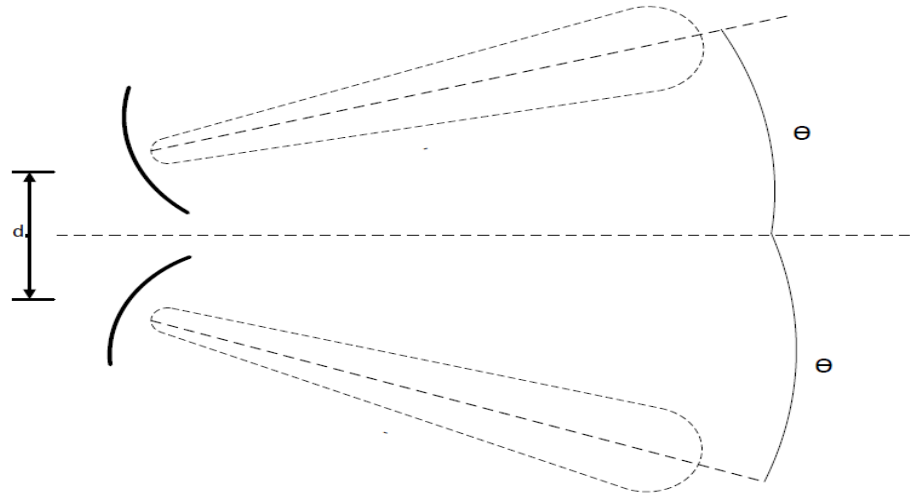
Bu mesafe farkından kaynaklanan faz farkı ise;

$$\Delta\theta = \frac{2\pi S}{\lambda} = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad (2.4)$$

( $\lambda = c/f$ ,  $c$ : Işık Hızı,  $f$ : frekans)

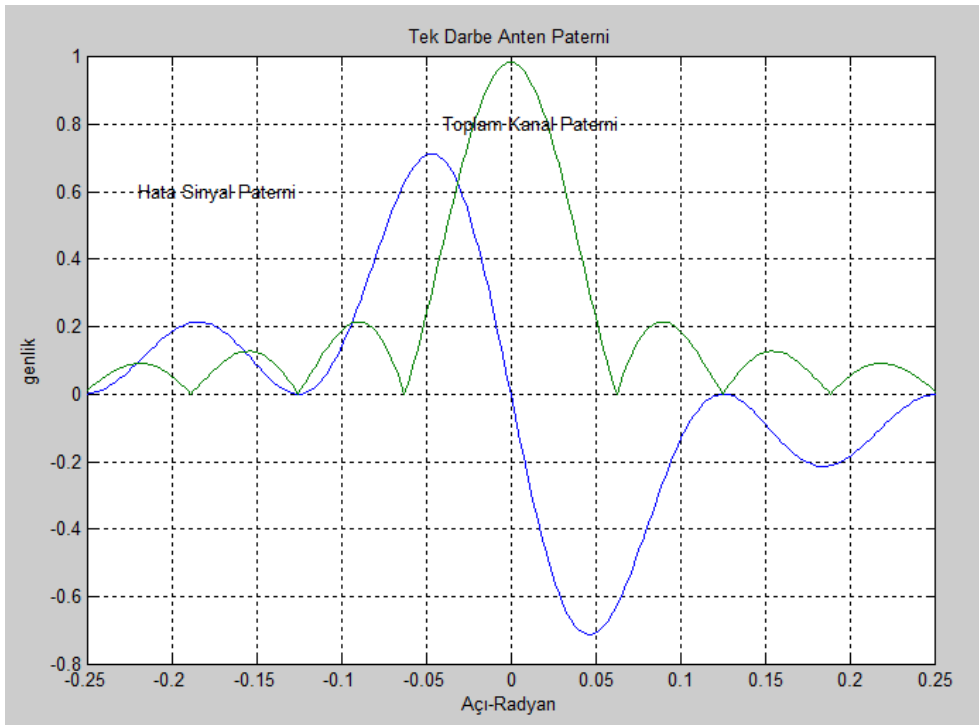
Bu eşitlikte  $\theta = 0$  durumunda faz farkının sıfır olduğu görülmektedir.

Genlik ve faz ile açı algılama yöntemlerinin birleşimini kullanan TDR modelinde ise tehdidin açısal konumu antenlere ulaşan sinyallerin hem genlik bilgisi hem de faz bilgisi kullanılarak elde edilmektedir.



Şekil 2.4 Genlik ve faz ile açı algılayan tdr model anten örüntü pozisyonları

Tek darbe radarları iki anten huzmesi kullanır, toplam ve fark kanallarını oluşturur. Toplam kanal radarın merkez hattında bir tepe noktasına sahiptir ve gönderme, hedefi algılama ve açı hatasının normalizasyonu için kullanılır. Fark kanal radarın merkez hattında sıfır noktasına sahiptir ve açısal izleme hatası ile bir hata sinyali oluşturmak için kullanılır. Faz karşılaştırmalı TDR en yaygın kullanılanlarıdır. Tüm TDR sistemlerindeki toplam kanalı (merkez hattaki tepe noktası) ve fark kanalı (merkez hattaki sıfır noktası) aynı şekilde çalışır. En önemli farkları dizaynları ve pratikteki uygulamalarıdır.



Şekil 2.5 TDR toplam ve fark kanalları (sum and difference pattern)

TDR açı hata voltajı hesaplanırken toplam ve fark kanalları kullanılır. Eğer hedef izleme ekseninde değilse loblarda farklı enerji dalgalanmalarına sebep olur. Bu dalgalanmalar hata sinyali üretmede kullanılır. Toplam kanalın voltajını; fark kanalının voltajına böldüğümüzde sinyalin açısına karar verebiliriz.

$$E = \frac{|\Delta|}{|\Sigma|} \cos \theta \quad (2.5)$$

E açı hata voltajı,  $|\Delta|$  fark kanalının mutlak değeri,  $|\Sigma|$  toplam kanalının mutlak değeri, ve  $\theta$  toplam ve fark kanalları arasındaki faz farkıdır.

## 2.2. Genel Matematiksel Model

Dizi anten modeli bu analizin temelini oluşturmaktadır. Dizi anten modelinin dizi faktörü (array factor) aşağıdaki gibi (tek sayılı bir dizi için) tanımlanabilir.

$$AF = \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} a_n e^{j\beta d n \sin \theta} \quad (2.6)$$

$$= \sum_{n=1}^{\frac{N-1}{2}} a_n e^{j\beta d n \sin \theta} + a_0 + \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{-1} a_n e^{j\beta d n \sin \theta} \quad (2.7)$$

$$= \sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} \left[ \alpha_n e^{j\beta d n \sin \theta} + \alpha_{-n} e^{-j\beta d n \sin \theta} \right] \quad (2.8)$$

AF anten dizi faktörü,  $a_n$  her anten elemanının uyarım değeri,  $\alpha_n = a_n$ ,  $\alpha_0 = a_0$  2, N anten elemanlarının sayısı,  $\beta$  serbest uzay faz sabiti, d anten elemanları arasındaki uzaklık,  $\theta$  uzak alanda ölçülen ışınma açısıdır. Anten uyarım değeri  $\alpha_n$ , elemanlar arası uzaklık d ve eleman sayısı N olan tek sayılı anten paterninin modellenmesi denklem 2.8'de gösterilmiştir.

Toplam ve fark kanallarının anten huzmelerinin paternleri ve uyarımları simetrik ve antisimetrik olarak değerlendirilebilir. Bu makul bir varsayımdır, çünkü bu durum radar izleme performansının hedefin merkez hattının hangi tarafında olduğuna bağlı olarak değişeceği anlamına gelmektedir. Fakat toplam ve fark kanallarının anten paternleri arasında bir böyle bir ilişki varsayımı yapılamaz. Toplam kanalı anten huzmesi denklem 2.8'den simetri nedeniyle  $\alpha_{-n} = \alpha_n$  olmasını gerektirir.

$$S = 2 \sum_{n=0}^{\frac{N_s-1}{2}} b_n \cos[\beta d_1 n \sin \theta] \quad (2.9)$$

$S$  toplam kanalı anten paternidir.

Fark kanalı anten huzmesi de denklem 2.8'den antisimetri nedeniyle  $\alpha_{-n} = -\alpha_n$  olmasını gerektirir.

$$D = 2j \sum_{n=0}^{\frac{N_D-1}{2}} c_n \sin[\beta d_2 n \sin \theta] \quad (2.10)$$

$D$  fark kanalı anten paternidir. Denklem 2.8'de ifade edilen  $N$ ,  $\alpha_n$  ve  $d$  değerleri denklem 2.9'da  $N_s$ ,  $b_n$  ve  $d_1$ , denklem 2.10'nda  $N_D$ ,  $c_n$  ve  $d_2$ 'ye dönüşmüştür. Bu formülasyonlar toplam ve fark kanalları anten paternleri arasındaki ilişki hakkında bir varsayım içermemektedir.

Tek darbe hatası denklem 2.10'un denklem 2.9'a bölümünün reel kısmı olarak ifade edilir.

$$E = \Re \left\{ \frac{D}{S} \right\} \quad (2.11)$$

$$= \frac{\sum_{n=0}^{\frac{N_s-1}{2}} c_n \sin[\beta d_2 n \sin \theta]}{\sum_{n=0}^{\frac{N_s-1}{2}} b_n \cos[\beta d_1 n \sin \theta]} \quad (2.12)$$

Denklem 2.9 ve 2.10'da toplam ve fark kanallarının anten paternleri denklem 2.12'de tek darbe hatasının matematiksel ifadesi görülmektedir.  $d_1$  ve  $d_2$  sifıra eşit ise hatanın değeri lineer olur. Lineer analiz yapılabilmesi için anten açıklığının sonsuz küçük olması gerekir.

Faz ile açı algılayan TDR modeli faz merkezleri arasında mesafe olan iki anten kullanılarak oluşturulan bir yapıdır. Aşağıdaki analizde faz ile açı algılayan modelin farklı alanlardaki toplam ve fark kanallarının genel ifadeleri çıkarılmıştır. Anten paternlerinin simetrisinden dolayı toplam kanalı anten paterni 2.9'daki

denklem ile aynıdır. Faz karşılaştırmalı TDR toplam kanal genel anten paterninin ifadesi;

$$S_p = \left[ e^{j\beta \frac{d_s}{2} \sin \theta} + e^{-j\beta \frac{d_s}{2} \sin \theta} \right] 2 \sum_{n=0}^{\frac{N_p-1}{2}} e_n \cos[\beta d_3 n \sin \theta] \quad (2.13)$$

$$= 4 \cos \left[ \beta \frac{d_s}{2} \right] \sum_{n=0}^{\frac{N_p-1}{2}} e_n \cos[\beta d_3 n \sin \theta] \quad (2.14)$$

$d_s$  toplam kanal anten elemanları arasındaki mesafedir. Faz karşılaştırmalı TDR fark kanalı genel anten paterninin ifadesi;

$$D_p = \left[ e^{j\beta \frac{d_s}{2} \sin \theta} - e^{-j\beta \frac{d_s}{2} \sin \theta} \right] 2 \sum_{n=0}^{\frac{N_p-1}{2}} e_n \cos[\beta d_3 n \sin \theta] \quad (2.15)$$

$$= 4j \sin \left[ \beta \frac{d_d}{2} \right] \sum_{n=0}^{\frac{N_p-1}{2}} e_n \cos[\beta d_3 n \sin \theta] \quad (2.16)$$

$d_d$  fark kanal anten elemanları arasındaki mesafedir. Denklem 2.9'daki  $N_s$ ,  $b_n$  ve  $d_1$  ifadeleri, faz karşılaştırmalı anten elemanlarının değerlerinin benzer olduğunu vurgulamak için yukarıdaki formüllerde  $N_p$ ,  $e_n$  ve  $d_3$  olarak ifade edilmiştir.

Tek darbe hatası ise denklem 2.16'nın denklem 2.14'e bölümü ile hesaplanır.

$$M_p = \frac{\sin \left[ \beta \frac{d_d}{2} \sin \theta \right]}{\cos \left[ \beta \frac{d_s}{2} \sin \theta \right]} \quad (2.17)$$

Pratikteki uygulamalarda faz ile açı algılayan TDR modellerinde anten elemanları arasındaki uzaklıklar toplam ve fark kanalları için eşittir ( $d_p = d_s = d_d$ ). Denklem 2.17'den TDR hatası aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$M_p = \tan \left[ \beta \frac{d_d}{2} \sin \theta \right] \quad (2.18)$$

### 2.3. Faz Ön Analizi

Faz Ön Analizi, pırlıltı analizi (glint analysis) olarak da bilinir. Bu analiz kapsamlı ölçümler doğrultusunda yıllar boyunca doğruluğu kabul edilmiş bir yöntemdir.

Faz Ön Analizi özellikle ideal noktasal hedefler haricinde büyük boyutlu hedefler için TDR'larda açı gürültüsü yaratır, buna radar uygulamalarında pırlıltı adı verilir. İki noktasal hedef içeren ideal bir interferometer, TDR'a aralarında 180 derece faz farkı olan iki özdeş eko sinyali gönderdiğinde, TDR'da aşırı değerler gözlenir. Bu şartlar altında açı algılama prensibi hata verir ve büyük açı ölçüm hatası gözlemlenir.

Pratik uygulamalarda hedeften yansıyan sinyallerin önemli bir gecikmesi oluşmazsa, interferometer verici sinyali,verici sistemini taşıyan bir hedefin doğal cilt geri dönüşü (skin return) ile neredeyse aynı zamanda TDR'a geri gelir. Üç sinyalin (interferometer vericisinden gönderilen benzer iki sinyal ve cilt geri dönüş sinyali) varlığının tahmini, TDR'ın açı ölçüm hassasiyeti için oldukça ilginç bir sorundur.

Tek darbe hatası (fark kanal dönüş sinyalinin toplam kanal dönüş sinyaline oranı) ile tek darbe radarın gösterdiği açı (indicated angle) arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$\theta_i = k \frac{d}{s} \quad (2.19)$$

$\theta_i$  TDR'ın gösterdiği açı,  $k$  bir sabit,  $s$  ve  $d$  toplam ve fark kanallarından alınan sinyalleri ifade eder. Denklem 2.19 kullanılarak fark kanalı dönüşünün ifadesi;

$$d = \frac{s\theta_i}{k} \quad (2.20)$$



Radarin merkez hattı ile  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  açıları yapan 2 tane kaynak olduğu ve ikisinin de genlikleri  $a$ , fazları  $\phi$  olduğu farzedildiğinde toplam kanalı dönüşü;

$$s_t = 1 + ae^{j\phi} \quad (2.21)$$

Fark kanalı dönüşü;

$$d_t = \frac{\theta_1}{k} + ae^{j\phi} \frac{\theta_2}{k} \quad (2.22)$$

$d_t$ 'nin ifadesi denklem 2.19'da yerine koyulduğunda aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\theta_i = \frac{\theta_1 + e^{j\phi} \theta_2}{1 + ae^{j\phi}} \quad (2.23)$$

Basitleştirme için kullanılan eşitlik;

$$\theta_{1,2} = \theta_r \pm \theta_e \quad (2.24)$$

Burada,  $\theta_r$  karıştırıcı antenlerin merkezinin radar merkez hattından ölçülen açı değeri,  $\theta_e$  karıştırıcı anten elemanlarının radardan görülen açısal ayırımının yarısıdır.

$$\theta_i = \theta_r + \theta_e \frac{1 - ae^{j\phi}}{1 + ae^{j\phi}} \quad (2.25)$$

Kompleks  $\theta_i$ 'nin sadece reel kısmı TDR işleme kısmında kullanılır. Bunun amacı da TDR sistemini lineerleştirmek içindir.

$$\Re\{\theta_i\} = \theta_r + \theta_e \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cos(\phi)} \quad (2.26)$$

$$\Re\{\theta_i\} = \theta_r + \theta_e G \quad (2.27)$$

G şaşı göz karıştırma kazancı olarak ifade edilir.

$$G = \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cos(\phi)} \quad (2.28)$$

$a \rightarrow 1$  ve  $\phi \rightarrow 180$  olduğunda  $\theta_i$ 'nin en büyük olduğu değer elde edilir, bu da şaşı göz kazancınının büyük olmasını gerektirir.

Faz Ön Analizi özellikle noktasal hedefler haricinde büyük boyutlu hedefler için TDR'larda açılı gürültüsü yaratır.

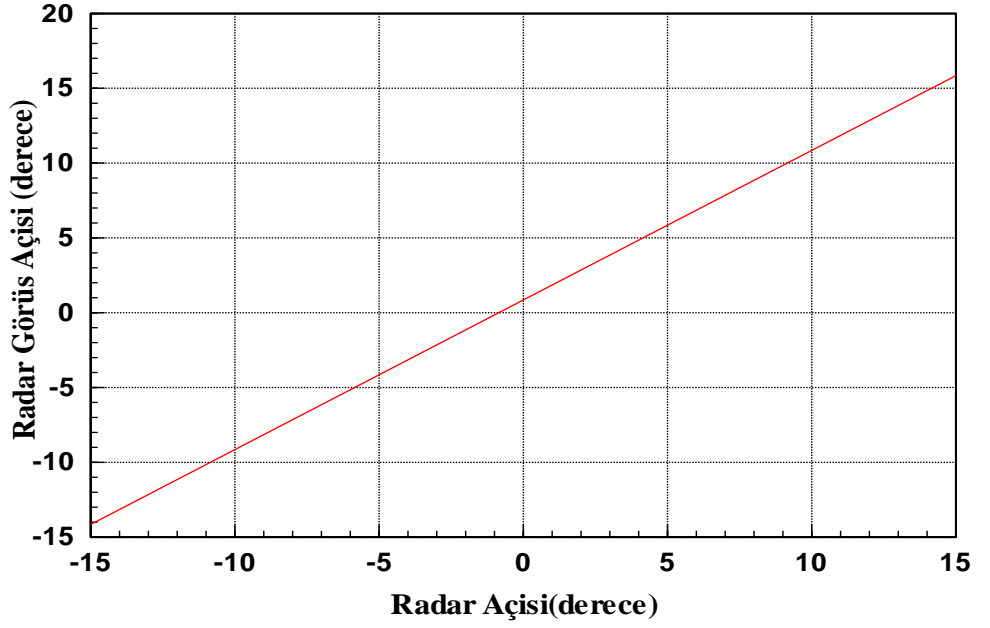
Aşağıdaki parametreler bir hava veya deniz platformunun füze tehdidi ile karşı karşıya olduğu durumun bir örneğidir:

- Radar anteninin huzme genişliği  $12^\circ$  ( $d_r = 3.5\lambda$ ),
- Karıştırıcı anten elemanlarının faz merkezleri arasındaki uzaklık  $3.5\lambda$ ,
- Karıştırıcı antenler ve radar antenleri arasındaki mesafe 1.5 km. ( $r = 1.5\text{km.}$ ),
- Karıştırıcı anten elemanları arasındaki mesafe 15 m. ( $d_c = 15\text{m.}$ ),
- Karıştırıcı antenlerin dönüş açısı  $30^\circ$  ( $\theta_c = 30^\circ$ ),
- Karıştırıcı antenlerin genlikleri 0.5 dB ( $a = 0.9441$ ).

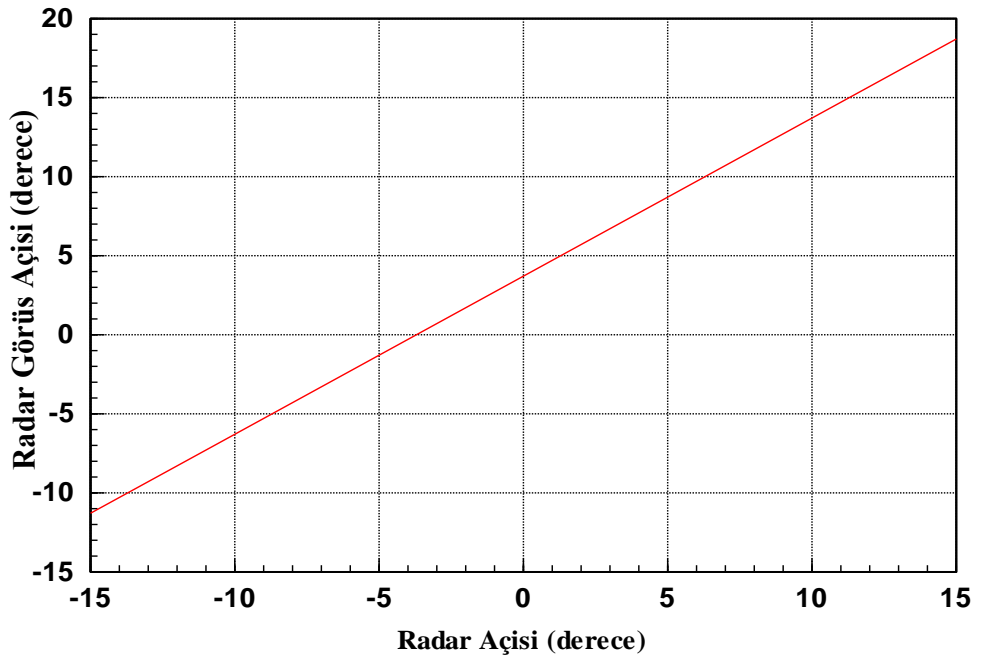
Karıştırıcı anten elemanlarının radardan görülen açılı değeri  $0.4962^\circ$  ( $\theta_e = 0.2481^\circ$ ). Faz farkı  $\phi = 170^\circ$  iken denklem 2.28'den karıştırıcı antenlerin kazancı  $G = 3.42$  olarak bulunur.

Şekil 2.6'da,  $\phi = 170^\circ$  için denklem 2.27 ve 2.28 kullanılarak yapılan Faz Ön Analizinde hedefin radardan ölçülen gerçek açısı ( $\theta_r$ ) ile radarın karıştırılması ile ölçülen açısının ( $\theta_i$ ) grafiği gösterilmektedir. Denklemdaki  $\theta_e G$  değeri tek

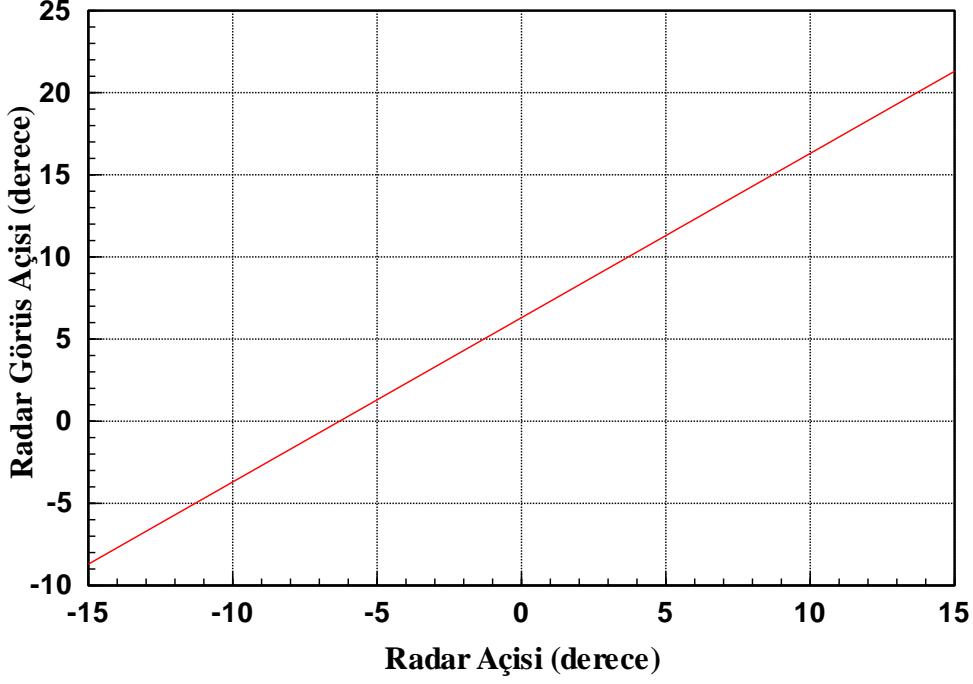
darbe hatasınının değerini veren kısımdır ve G değeri (yani  $\phi$ ) ne kadar büyürse hata da o kadar büyük olur. Şekil 2.7'de  $\phi = 176.2^\circ$ , şekil 2.8'de  $\phi = 178^\circ$  'dir.



Şekil 2.6 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 3.42)



Şekil 2.7 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 14.91)

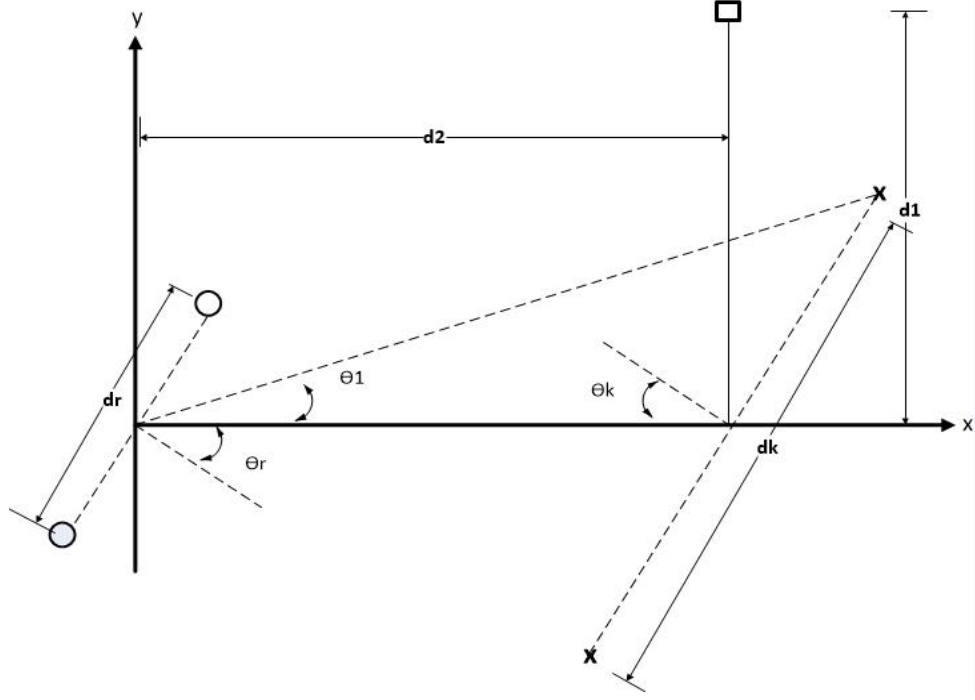


Şekil 2.8 Hareketli platform radar görüş açısı grafiği (karıştırıcı anten kazancı 25.41)

Faz Ön Analizi diğer analiz yöntemleri ile uyumludur. Diğer analizlerde toplam kanal dönüşü sıfır olduğunda radarın algıladığı açı hatası da büyük olur fakat bu durum Faz Ön Analizinde görülmez. Çünkü bu analiz sadece hedefin radarın merkez hattı civarında olması ile ilgilenir.

#### 2.4. Genişletilmiş Analiz

Faz ile açı algılayan TDR modeline karşı şaşı göz karıştırma tekniği uygulayan antenlerin geometrisi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. TDR antenlerinin ve karıştırıcı anten elemanlarının faz merkezleri sırasıyla daire ve çarpı işaretleri ile, hedefin bulunduğu pozisyon ise kare ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.9 TDR karıştırma senaryosu [Du Plesis, W.P., 2010]

Şekil 2.9'daki diğer parametreler;

$d_r$  : Faz ile açı algılayan TDR anten elemanlarının faz merkezleri arasındaki mesafedir.

$d_k$  : Şaşı göz karıştırma tekniği kullanan anten elemanlarının faz merkezleri arasındaki mesafedir.

$d_1$  : Karıştırıcı antenler tarafından yaratılan sanal hedef ile karıştırıcı antenlerin merkezi arasındaki doğrusal mesafedir.

$d_2$  : TDR antenlerinin merkezinin karıştırıcı antenlerin merkezine olan uzaklığıdır.

$\theta_r$  : Karıştırıcı antenlerin merkezinin radar merkez hattından ölçülen açı değeridir.

$\theta_k$  : Karıştırıcı antenlerin uzak alan yönünden radar merkezine ölçülen dönüş açısıdır. Eğer karıştırıcı antenler hareketliyse, karıştırıcı antenlerin uzak

alan yönünde radar karıştırılabilir ama yine de şaşı göz karıştırma tekniğini kullanan anten elemanlarının arasındaki mesafe büyük olmalıdır. Bu konuda [Falk 2007] “tipik olarak 10-20 metre” olması gerektiğini belirtmektedir. Bu döner bir kaide üzerine monte edilecek yeterince büyük bir sistemdir.

$\theta_1$  : Karıştırıcı anten elemanlarının radardan görülen açısal ayrımının yarısını ifade eder.

Denklem (2.14) kullanılarak radarın toplam kanalının, alt ve üst karıştırıcı anten elemanı yönündeki kazancı aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$T_{alt} = \cos \left[ \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r - \theta_1) \right] P_r(\theta_r - \theta_1) \quad (2.29)$$

$$T_{üst} = \cos \left[ \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r + \theta_1) \right] P_r(\theta_r + \theta_1) \quad (2.30)$$

$P_r$  radar anten elemanlarının paternidir ve denklem (2.14)'deki sabit 4 sayısını içermektedir. Denklem (2.16) kullanılarak radarın fark kanalının, alt ve üst karıştırıcı anten elemanı yönündeki kazancı da aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$F_{alt} = j \sin \left[ \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r - \theta_1) \right] P_r(\theta_r - \theta_1) \quad (2.31)$$

$$F_{üst} = j \sin \left[ \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r + \theta_1) \right] P_r(\theta_r + \theta_1) \quad (2.32)$$

Bu eşitlikler denklem (2.33) ile sadeleştirilebilir.

$$\sin(x \pm y) = \sin(x)\cos(y) \pm \cos(x)\sin(y) \quad (2.33)$$

Sonuç olarak;

$$\beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r \pm \theta_1) = \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r)\cos(\theta_1) \pm \beta \frac{d_r}{2} \cos(\theta_r)\sin(\theta_1) \quad (2.34)$$

$$= m_o \pm m_1 \quad (2.35)$$

$$m_o = \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r) \cos(\theta_1) \quad (2.36)$$

$$m_1 = \beta \frac{d_r}{2} \cos(\theta_r) \sin(\theta_1) \quad (2.37)$$

$\theta_1$  çok küçük veya  $d_2 \ll d_k$  ise  $\cos(\theta_1) \approx 1$ ,  $\sin(\theta_1) \approx \theta_1$  olacaktır. Bu durumda;

$$m_o \approx \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r) \quad (2.38)$$

$$m_1 \approx \beta \frac{d_r}{2} \cos(\theta_r) \theta_1 \quad (2.39)$$

Denklem (2.29)'dan (2.32)'ye kadar olan eşitlikler ise aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$T_{alt} = \cos(m_o - m_1) P_r(\theta_r - \theta_1) \quad (2.40)$$

$$T_{üst} = \cos(m_o + m_1) P_r(\theta_r + \theta_1) \quad (2.41)$$

$$F_{alt} = j \sin(m_o - m_1) P_r(\theta_r - \theta_1) \quad (2.42)$$

$$F_{üst} = j \sin(m_o + m_1) P_r(\theta_r + \theta_1) \quad (2.43)$$

Mesafe ve benzer elemanların varlığından dolayı oluşan zayıflama ve faz kayması reciprocityden (karşılıklık) dolayı karıştırmadan geçen iki yol için de aynı olur. Tek darbe gönderimi boyunca fark kanal dönüşü toplam kanal dönüşü ile normalize edilir. Böylece mesafeden ve benzer elemanlardan kaynaklanan etki ortadan kaldırılmış olur.

Aşağıdaki denklemlerde görüldüğü üzere, şaşı göz karıştırıcının üst anten elemanından alt anten elemanına geçen sinyal, alt anten elemanından üst anten elemanına geçen sinyale göre genlik kazancı  $a$  ve faz kayması  $\phi$  oranına sahiptir.

Radarın aldığı toplam kanal sinyalinin ifadesi;

$$T_R = T_{alt} P_c(\theta_k - \theta_1) T_{üst} P_c(\theta_k + \theta_1) + ae^{j\phi} T_{üst} P_c(\theta_k + \theta_1) T_{alt} P_c(\theta_k - \theta_1) \quad (2.44)$$

$$= 1 + ae^{j\phi} T_{alt} P_c(\theta_k - \theta_1) T_{üst} P_c(\theta_k + \theta_1) \quad (2.45)$$

$$= P_r(\theta_r - \theta_1) P_c(\theta_k - \theta_1) P_r(\theta_r + \theta_1) P_c(\theta_k + \theta_1) \times \\ (1 + ae^{j\phi}) \cos(m_o - m_1) \cos(m_o + m_1) \quad (2.46)$$

$P_c$  şaşı göz karıştırma tekniğini kullanan anten elemanlarının paternidir.

Denklem (2.46) aşağıdaki trigonometrik ifadeler kullanılarak sadeleştirilebilir.

$$\cos(x \pm y) = \cos(x)\cos(y) \mp \sin(x)\sin(y) \quad (2.47)$$

$$\cos(2x) = 2\cos^2(x) - 1 \quad (2.48)$$

$$= 1 - 2\sin^2(x) \quad (2.49)$$

Yarım açı formülünden;

$$= \frac{1}{2} [\cos(2m_o) + \cos(2m_1)] \quad (2.50)$$

Denklem (2.46)'nin yerine aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$T_R = P_r(\theta_r - \theta_1) P_c(\theta_k - \theta_1) P_r(\theta_r + \theta_1) P_c(\theta_k + \theta_1) \times \\ \frac{1}{2} (1 + ae^{j\phi}) [\cos(2m_o) + \cos(2m_1)] \quad (2.51)$$

Toplam kanal sinyali aynı zamanda fark kanal sinyalinin referansı olduğundan fark kanal sinyalinin ifadesi;

$$F_R = T_{alt} P_c(\theta_k - \theta_1) F_{üst} P_c(\theta_k + \theta_1) + ae^{j\phi} T_{üst} P_c(\theta_k + \theta_1) F_{alt} P_c(\theta_k - \theta_1) \quad (2.52)$$



$$= P_r(\theta_r - \theta_1) P_c(\theta_k - \theta_1) P_r(\theta_r + \theta_1) P_c(\theta_k + \theta_1) \times \\ j \left[ \cos(m_o - m_1) \sin(m_o + m_1) + a e^{j\phi} \cos(m_o + m_1) \sin(m_o - m_1) \right] \quad (2.53)$$

Aşağıdaki trigonometrik eşitlikler ile denklem daha da basitleştirilebilir.

$$\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1 \quad (2.54)$$

$$\sin(2x) = 2 \sin(x) \cos(x) \quad (2.55)$$

Denklemleri düzenlediğimizde;

$$= \sin(m_o) \cos(m_o) \pm \sin(m_1) \cos(m_1)$$

$$\frac{1}{2} \left[ \sin(2m_o) \pm \sin(2m_1) \right] \quad (2.56)$$

Yukarıdaki eşitlikler denklem (2.53)'de yerine koyulduğunda fark kanalının ifadesi;

$$F_R = P_r(\theta_r - \theta_1) P_c(\theta_k - \theta_1) P_r(\theta_r + \theta_1) P_c(\theta_k + \theta_1) \times \\ j \frac{1}{2} \left[ (1 + a e^{j\phi}) \sin(2m_o) + (1 - a e^{j\phi}) \sin(2m_1) \right] \quad (2.57)$$

TDR hatası denklem (2.57)'deki normalize edilmiş fark kanalı sinyalinin, denklem (2.51)'deki toplam kanalı sinyal değerine bölümünün reel kısmı ile ifade edilir.

$$E_R = \Im \left\{ \frac{F_R}{T_R} \right\} \quad (2.58)$$

$$= \Im \left\{ \frac{j \left[ (1 + a e^{j\phi}) \sin(2m_o) + (1 - a e^{j\phi}) \sin(2m_1) \right]}{(1 + a e^{j\phi}) \left[ \cos(2m_o) + \cos(2m_1) \right]} \right\} \quad (2.59)$$

$$= \frac{1}{\cos(2m_o) + \cos(2m_1)} \left[ \sin(2m_o) + \sin(2m_1) \Re \left\{ \frac{1 - ae^{j\phi}}{1 + ae^{j\phi}} \right\} \right] \quad (2.60)$$

$E_R$  tek darbe hatasıdır. Toplam ve fark kanallarının her ikisi için de anten paternleri ortaktır bu nedenle denklem (2.51) ve (2.57)'deki anten paternlerini ifade eden bölüm hata formülünde sadeleştirilmiştir. Denklem (2.25) ve (2.26) daki eşitlikler kullanılarak denklem (2.60) düzenlenebilir.

$$M_R = \frac{1}{\cos(2m_o) + \cos(2m_1)} \left[ \sin(2m_o) + \sin(2m_1) \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cos(\phi)} \right] \quad (2.61)$$

Şaşı göz kazancı  $G$  ile gösterilmiştir.

$$G = \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cos(\phi)} \quad (2.62)$$

$$M_R = \frac{\sin(2m_o) + \sin(2m_1)G}{\cos(2m_o) + \cos(2m_1)} \quad (2.63)$$

Denklem (2.63) genişletilmiş analiz sonucunda elde edilen TDR radarının görüş açısını ifade eder. Sonuç olarak hem genişletilmiş analiz hem de faz ön analizi halen geçerli iki analiz yöntemidir. Denklem (2.26) ve (2.27)'deki faz ön analizi hata değerinin formülü tekrarlanırsa;

$$\Re\{\theta_i\} = \theta_r + \theta_e \frac{1 - a^2}{1 + a^2 + 2a \cos(\phi)} \quad (2.64)$$

$$\Re\{\theta_i\} = \theta_r + \theta_e G \quad (2.65)$$

Denklem (2.18)'deki TDR hatası da denklem (2.63)'deki TDR görüş açısının ifadesi ne eşitlenebilir ve formüldeki  $\theta$ ,  $\theta_i$ 'ye dönüşür.

$$\tan \left[ \beta \frac{d_r}{2} \sin \theta_i \right] = \frac{\sin(2m_o) + \sin(2m_1)G}{\cos(2m_o) + \cos(2m_1)} \quad (2.66)$$

Denklem (2.65) ve (2.66) arasındaki temel fark, denklem (2.66)'daki trigonometrik fonksiyondur. Bu fonksiyonun çok küçük olduğu farz edilirse denklem aşağıdaki gibi sadeleşebilir.

$$\beta \frac{d_r}{2} \sin \theta_i \approx \frac{2m_o + 2m_1G}{1+1} \quad (2.67)$$

$$\beta \frac{d_r}{2} \sin \theta_i \approx m_o + m_1G \quad (2.68)$$

$$\beta \frac{d_r}{2} \sin \theta_i \approx \beta \frac{d_r}{2} \sin(\theta_r) \cos(\theta_1) + \beta \frac{d_r}{2} \cos(\theta_r) \sin(\theta_1)G \quad (2.69)$$

$$\sin \theta_i \approx \sin(\theta_r) \cos(\theta_1) + \cos(\theta_r) \sin(\theta_1)G \quad (2.70)$$

$$\sin \theta_i \approx \sin(\theta_r) + \theta_1G \quad (2.71)$$

$$\theta_i \approx \theta_r + \theta_1G \quad (2.72)$$

( $r \square d_k \rightarrow \theta_1$  çok küçük değer alacaktır.)

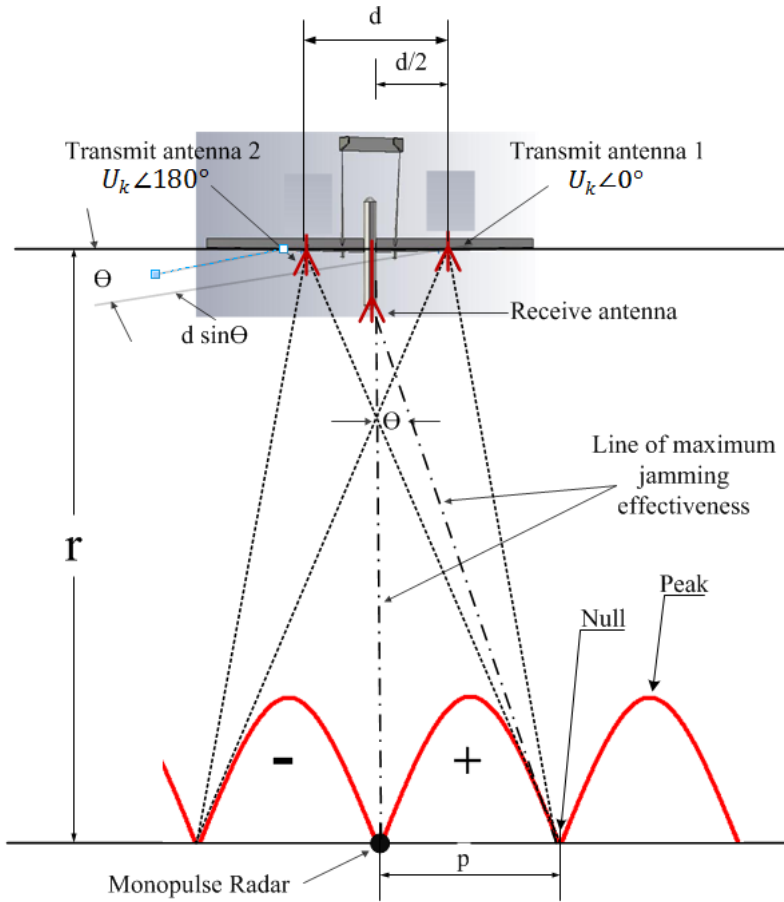
Hedef TDR'ın merkez hattı yakınlarında iken karıştırıcı anten elemanlarının arasındaki mesafe ve/veya karıştırıcı antenlerin kazancı küçük ise genişletilmiş analiz ve faz ön analizi arasındaki eşitliğin doğru olduğundan söz edilebilir. Bu durumun gereklilikleri Vakin ve Shustov'un araştırmalarında  $a \geq 0.9$  veya  $a \leq 1.1$  ve  $2\theta_1 \leq \%10$  (radarın 3 dB huzme genişliğinden) olarak ifade edilmektedir. Diğer yol ise trigonometrik fonksiyonun değerinin çok küçük olmasıdır ki bu da radar antenleri arasındaki mesafenin ( $d_r$ ) sonsuz küçük olmasını gerektirir.

## 2.5. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği

Şaşı göz karıştırma tekniği TDR'larında açılal bir hata oluşturmak için kullanılan bir elektronik karşı tedbirdir. Bu karıştırma tekniğinin amacı, aralarında

faz farkı olan iki karıştırma sinyalini ortama yayarak radar sistemini kitlendiği hedeften başka bir noktaya doğru saptırmaya çalışmaktır. Bu teknikte iki verici anten gereklidir. Verici antenler radardan aldıkları sinyali farklı fazda iki adet sinyal olarak radara geri gönderir. Sonuç olarak; radarın direkt aldığı ve 180 derece faz farkı olan diğer sinyal olmak üzere monopulse radar iki sinyali alır ve açı hata voltajını hesaplar. 180 derece faz farkı açı hata voltajının çok büyük olmasını sağlar.

Şaşı göz karıştırmasının tipik bir senaryosu Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Hava platformunda her kanada bir adet olmak üzere toplam iki verici anten birbirlerine  $d$  kadar uzaklığa konulmuştur. Böylece iki ayrı antenden gönderilen sinyaller TDR'a  $d \sin \theta$  faz farkı oluşturarak ulaşır. Bu mesafe aynı zamanda radarda ardışık nullar arasındaki mesafeye tekabül etmektedir. Bu basit model aynı zamanda nokta saçıcılar olduğunu varsayarak TDR düzlemindeki cilt geri dönüş etkisini göz ardı eder.



Şekil 2.10 Şaşı göz karıştırma senaryosu [Hoon 1989]

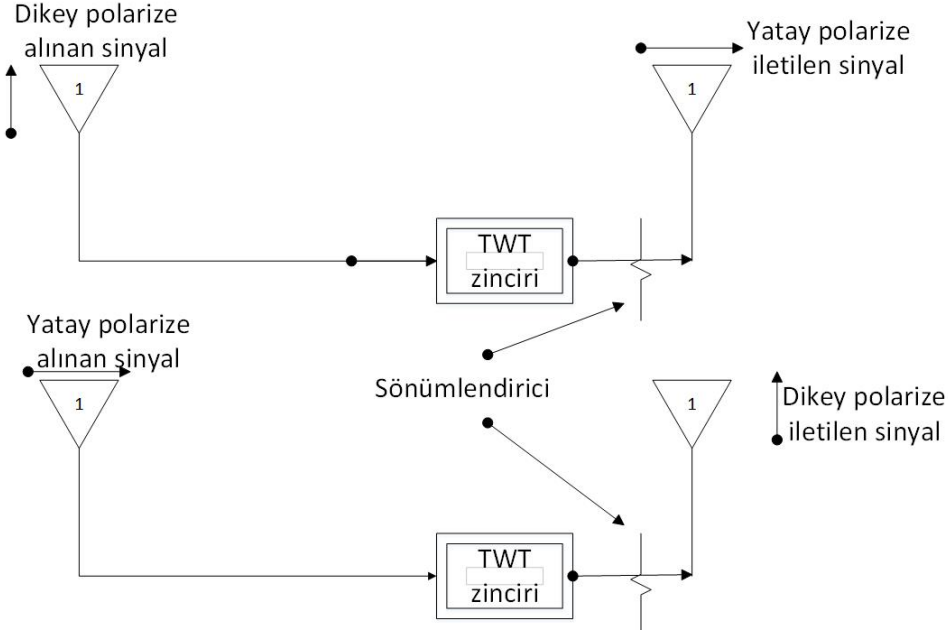
Şekildeki gibi, monopulse radarın toplam kanalından aldığı sinyal değeri sifira çok yakın olduğundan monopulse radarda büyük bir açısız hataya neden olur.

Şaşı göz karıştırma tekniğinin teorik olarak başarılı olabilmesi için verici kanallardan yayılan sinyallerin genlikleri birbirlerine göre eşit olmalı ve kanallar arasında  $180^\circ$  faz farkı olmalıdır.

## **2.6. Çapraz Kutuplanma Karıştırma Tekniği**

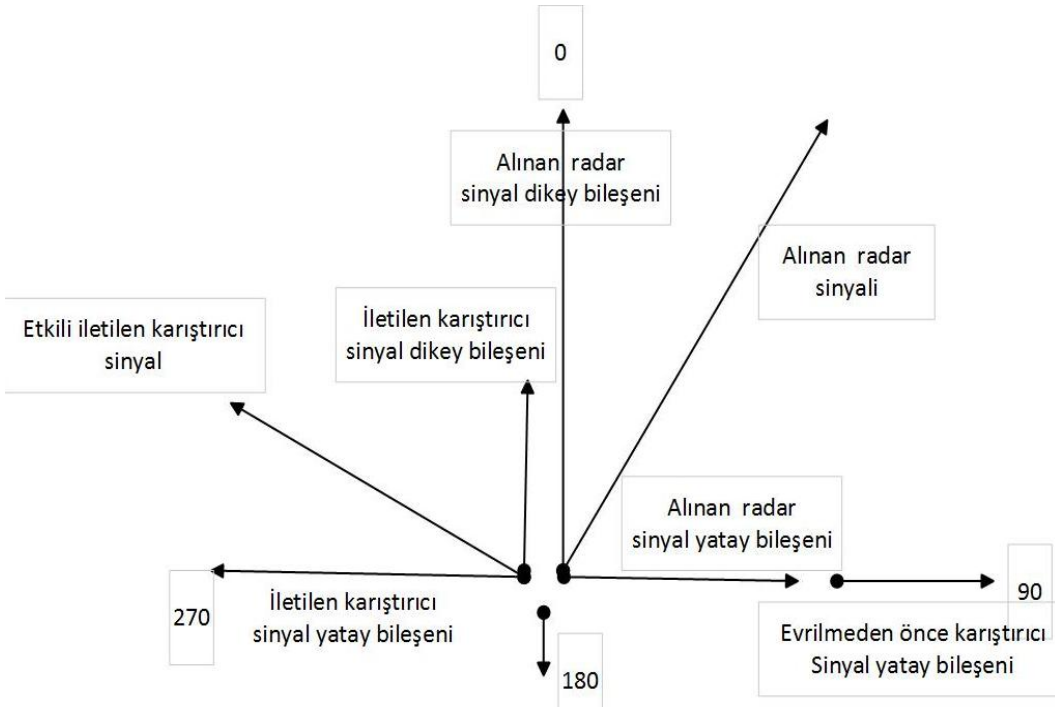
Çapraz kutuplanma karıştırması, radar sisteminde kullanılan antenlerin eş kutuplanmada ve çapraz kutuplanmada anten örüntülerinin farklı olmasını avantaja çeviren bir karıştırma tekniğidir [Neri, 2006].

Radar sistemi içerisinde bulunan açısı ayırıştırma biriminin çapraz polarize sinyallere verdiği tepki eş polarize sinyallere verdiği tepki ile aynı olmayabilir. Yani radar sisteminin çapraz polarize sinyallere cevabı farklıdır. Radar sisteminin bu özelliğini kullanan karıştırma tekniklerinden bir tanesi de çapraz kutuplanma karıştırma tekniğidir. Çapraz kutuplanma karıştırma tekniğini kullanan tehdit; kendisine yatay polarize gelen sinyali dikey kutuplanmada, dikey polarize gelen sinyali yatay kutuplanmada radara geri göndermektedir. Bu sayede sinyal üzerinde yer alan anlamlı bilgiler tahrip edilmiş olur.



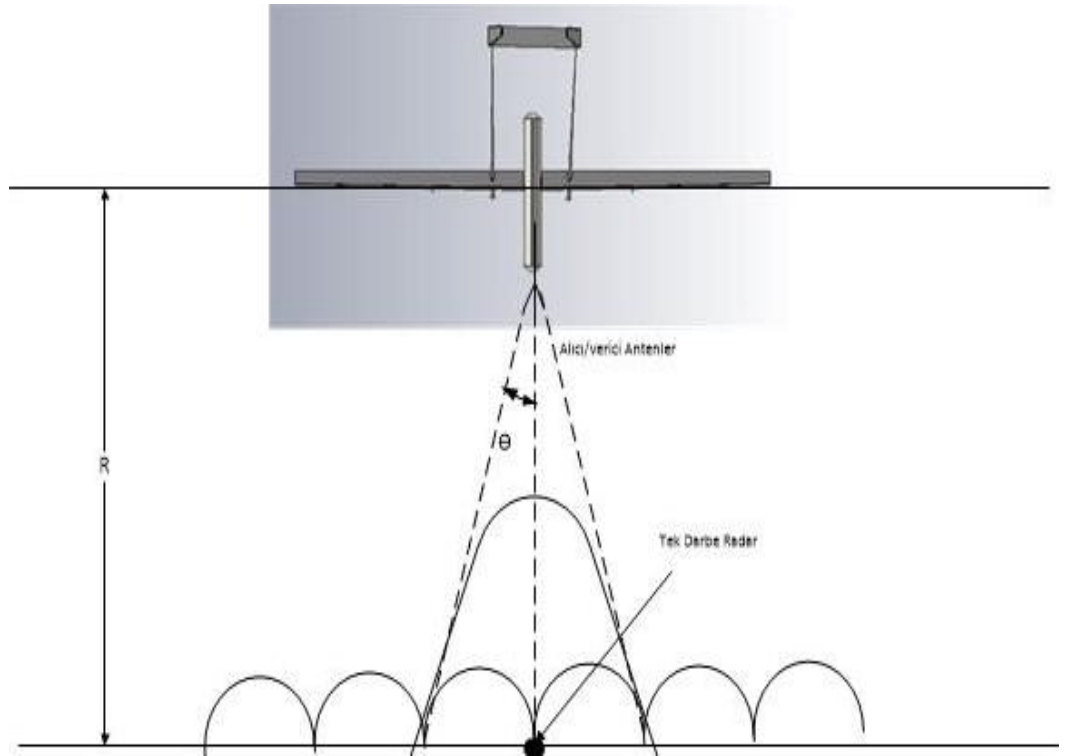
Şekil 2.11 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği blok diyagramı

Şekil 2.11’de sinyalleri alan ve çapraz kutuplanmada gönderen iki ayrı anten sistemi görülmektedir. Çapraz kutuplanma tekniğini kullanan karıştırıcı anten sistemine yatay polarize gelen sinyal dikey kutuplanmada, dikey polarize gelen sinyal de yatay kutuplanmada gönderilir. Bu karıştırma tekniğinde birbirine dik durumda iki anten gereklidir.



Şekil 2.12 Polarize bileşenleri

Şekil 2.12’de çapraz kutuplanma tekniğini kullanan karıştırıcı platformdan radara gönderilen, radarın aldığı sinyaller koyu renk oklar ile gösterilmiştir. Bu polarize edilmiş sinyal bileşenleri radara geri gönderildiğinde radarda hedef ekosu olarak polarize sinyaller algılanır.



Şekil 2.13 Çapraz Kutuplanma Karıştırma Senaryosu

Karıştırıcı antenden radara gönderilen çapraz kutuplanma sinyalleri aynı frekansta, yüksek güçlü fakat birbirlerine diktir. Radarda hata oluşturabilmesi için karıştırıcı sinyalleri hedefin cilt geri dönüşünden kural olarak 25-30 *dB* daha büyük olmalıdır [Electronic Warfare Fundamentals, 2000].

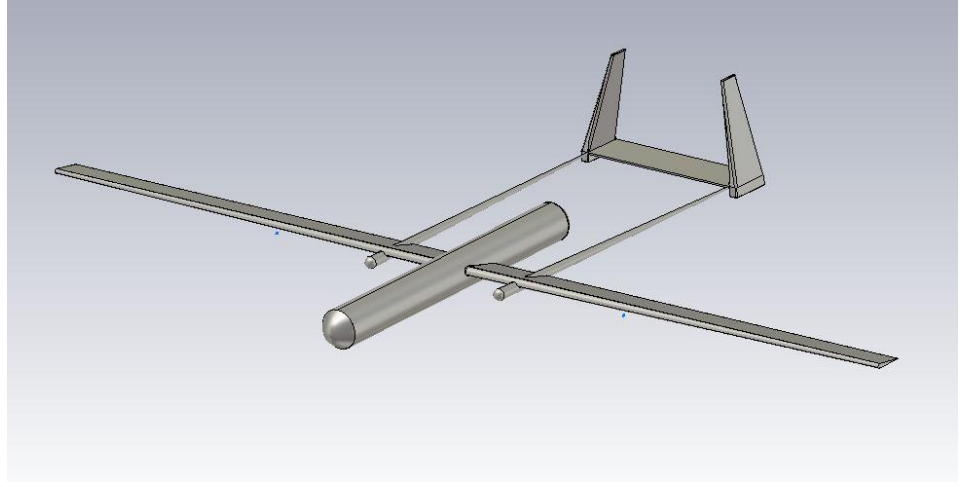
### 3. İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) MODELİ

Bu çalışmada İHA modelini oluşturmak için 3D elektromanyetik alan hesaplayıcı program CST MWS kullanılmıştır. Model üzerinde belirli yönlerde düzlemsel dalga uyarımı yapılmıştır. Şaşı göz karıştırıcı olarak modelin kanatlarına iki alıcı anten konuşturulmuştur. Çapraz kutuplanma karıştırıcı olarak ise modelin gövde ön kısmına iki alıcı anten konuşturulmuştur. 9 Ghz'de X bantta çalışılmıştır.

İHA modeli çizimi için hem FEKO hem de CST MWS programı kullanılmıştır. FEKO 3D yapıların elektromanyetik alan analizleri için kullanılan kapsamlı bir elektromanyetik simülasyon programıdır. Method of Moments (MoM), Multilevel Fast Multipole Method (MLFMM), Finite Element Method (FEM), Physical Optics (PO) vb. çözüm teknikleri kullanır. Fakat çizilen modelin FEKO'da çözülebilmesi için mesh değerlerinin optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu durumda İHA modelinin çözümü için çok yüksek mesh değeri ortaya çıkmaktadır. Bu kadar fazla mesh değerine sahip modelin çözümü çok uzun zaman almakta ve işlemcisi çok yüksek bilgisayarlar gerektirmektedir. Tezde her simülasyon senaryosu için ayrı ayrı çözüm yapılması gerektiğinden; zaman kısıtı ve olanakların kısıtından dolayı bu program İHA modelinin kalınlıksız durumdaki çözümleri için kullanılabilmiştir.

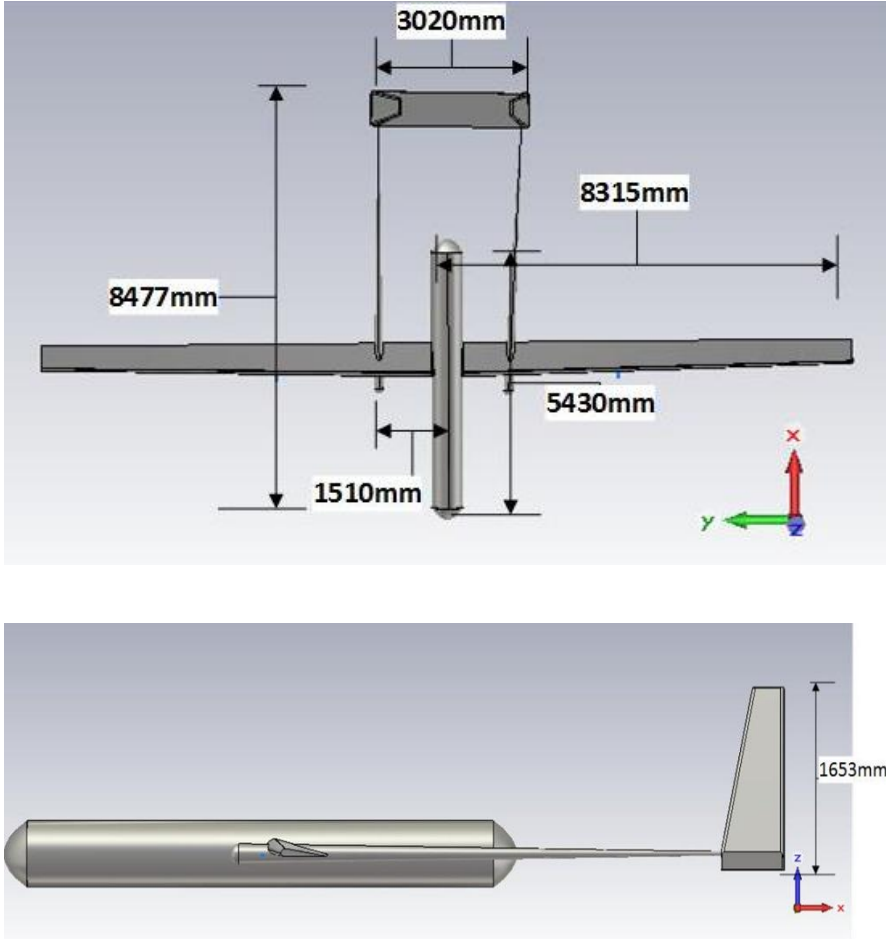
CST Microwave Studio, yüksek frekans bileşenlerinin 3 boyutlu elektro manyetik simülasyonu için hazırlanmış özel bir yazılım programdır ve mevcut çözüm tekniklerinin çeşitliliği ile büyük esneklik sağlar. Finite integration technique (FIT), finite element method (FEM), method of moments (MoM), multilevel fast multipole method (MLFMM) and shooting boundary ray (SBR) vb. çözüm teknikleri kullanır. Finite integration technique genel amaçlı bir time domain çözücüdür ve duyarlılığın geniş bant simülasyonları için en uygundur. CST'de çizilen İHA modeli 2.448.150 mesh hücresi ile; FEKO'da çizilenden daha hızlı ve daha az bellek gerektiren bir çözüm sunmuştur. Bu nedenle, CST programı finite integration technique ile Şekil 3.1'deki İHA modeli çizilerek İHA radar kesit alanının simülasyonunda kullanılmıştır.





Şekil 3.1 İHA modeli

Günümüzde çok çeşitli İHA modelleri kullanılmaktadır. Bir çok model araştırılmış ve sonuç olarak Silahlı Kuvvetler envanterine ilk giren İHA modeli olan HERON'un tasarım modeli baz alınarak ona benzer bir model tasarlanmıştır. Şekil 3.2'de İHA modeli tasarım uzunlukları görülmektedir. Bu model tasarlanırken mümkün olduğu kadar aslına bağlı kalınmış olup sadece modelin gövde kısmı daha hızlı ve kolay çözüm için aslına göre daha basit şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 İHA modeli tasarım değerleri

Radar Kesit Alanı (Radar Cross Section-RCS) özellikle askeri platformlar için çok önemlidir. Bu nedenle İHA modelinin aslına uygun tasarımı dolayısıyla pratikte de uygulanabilen bir model olması önemlidir. Hedefin herhangi bir zamandaki cilt geri dönüşünün doğru olarak tahmin edilmesi çok zordur çünkü hedefin ani manevralarından dolayı yön değişimleri hızlı olabilir, doğru tahmin için hedefin konumu hakkındaki tüm bilgilerin bilinmesi gerekir. Radardan görülen açı tek bir değer yerine bir dağılımdır çünkü cilt geri dönüşünün fazı eşit olasılıkla herhangi bir değere sahip olabilir.

## 4. SİMÜLASYONLAR

### 4.1. İHA Radar Kesit Alanı Simülasyonu

Radar kesit alanı (RCS), bir nesne tarafından karşılanan ve geri yayılan elektromanyetik enerjinin bir ölçüsüdür. Radar alıcısı açısından ele alındığında, bir nesnenin elektromanyetik enerjiyi radar alıcısı yönündeki yansıtabilirliğinin bir ölçüsü olarak da düşünülebilir. RCS'in birimi metrekaaredir. Bir nesnenin RCS'i nesnenin gerçek büyüklüğüyle orantılıdır.

RCS değeri, genel olarak hedefin, radarın uzak alan bölgesinde olduğu düşünülerek ele alınır, gelen ve saçılan elektrik alan şiddetleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} \left( 4\pi R^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} \right) \quad (4.1)$$

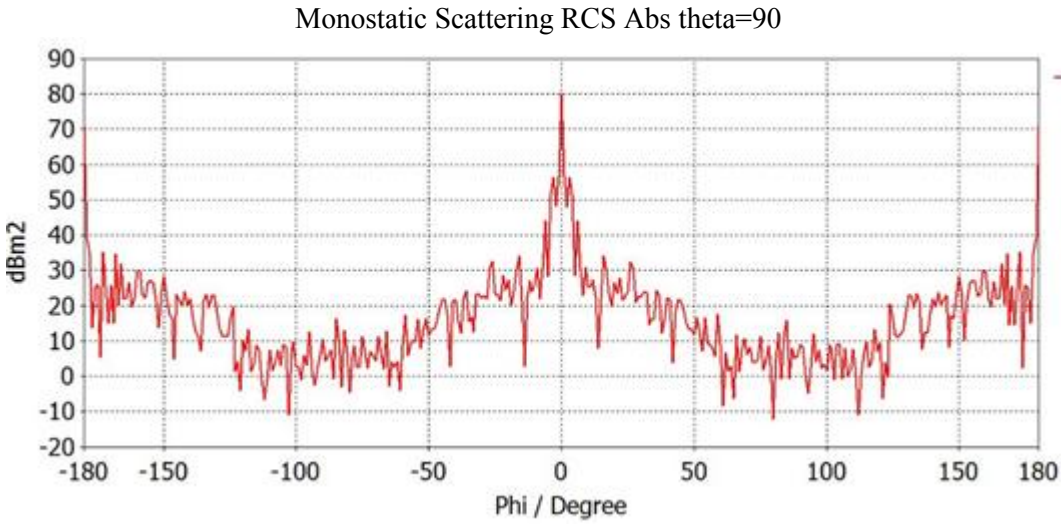
$\sigma$ : Radar Kesit Alanı,  $E^s$ : Yansıyan elektrik alan şiddeti,  $E^i$ : Gelen elektrik alan şiddeti.

Hedefin RCS'i hem hedefe doğru bakış açısına hem de gönderilen elektromanyetik dalganın frekansına göre değişir. Bu değişim, çok küçük açı değişimlerinde bile çok fazla olabilmektedir. Aynı durum, frekans için de geçerlidir. Bir hedefe hangi yönden baktığımıza göre, o nesnenin bakış yönünüze dik olan iz düşümü kesiti de değişir. Bu durum, geri yansıyan elektromanyetik enerjinin de değişmesine neden olur ve RCS değeri de değişir.

RCS, askeri platformların (uçaklar, gemiler, tanklar, vb.) tespitindeki ana parametredir. Hayalet uçak (stealth) olarak tabir edilen ve radar tarafından yakalanmamak üzere tasarlanmış olan platformlar; tehdit frekanslarında düşman radarı tarafından tespit edilemeyecek kadar oldukça düşük RCS değerlerine sahip

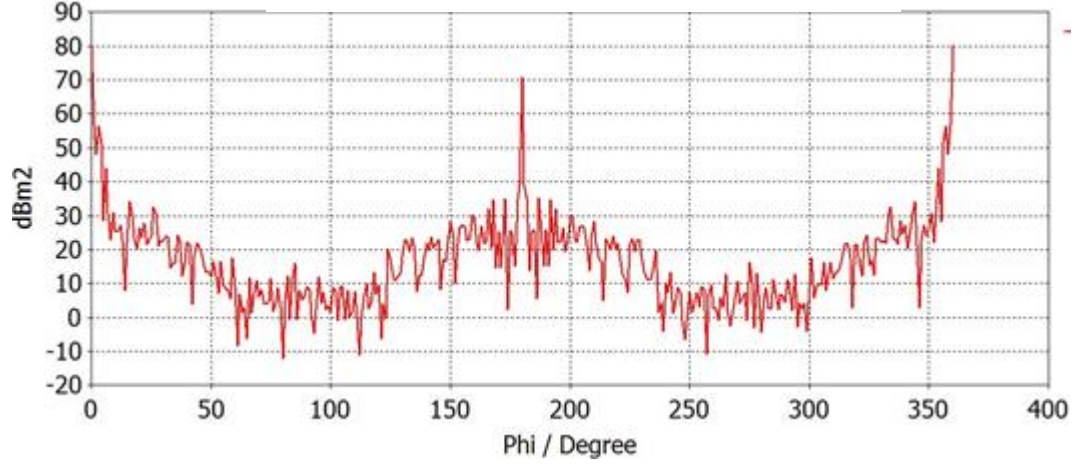
olacak şekilde tasarlanmaktadır. Çoğu karıştırma senaryosu çıkarımları, RCS'i göz ardı ederek, noktasal hedefleri sistem performansı olarak kabul etse de gerçekteki pratik uygulamalarda karıştırıcı sistemin konuşlandırıldığı platform performansın üzerinde hayati bir rol oynar. Bu nedenle ilk olarak, tasarlanan İHA modelinin RCS'i incelenmiştir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de İHA platformuna yatay polarizasyonda ( $\theta = 90^\circ$ ) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA'ya çarpıp geri dönen sinyalin uzak alandaki RCS değerinin değişimi gözlemlenmiştir. İHA'nın RCS'inin en büyük değeri  $80.1 \text{ dBm}^2$  ile ön kısmı yani  $\phi = 0^\circ$  olduğu kısımdır. İHA modeli düşeyde simetrik olduğundan  $\phi = 0^\circ$  sağ ve sol kısımlarının RCS değerleri grafikte de görüldüğü üzere simetriktir. Grafiklerden, radara en fazla geri dönüş sinyali yansıtan kısmın İHA modelinin ön kısmı olduğu çıkarımını yapabiliriz.



Şekil 4.1 İHA modelinin CST MWS'daki RCS grafiği [-180,180], ( $\theta = 90^\circ$ , yatay eş polarize sinyal)

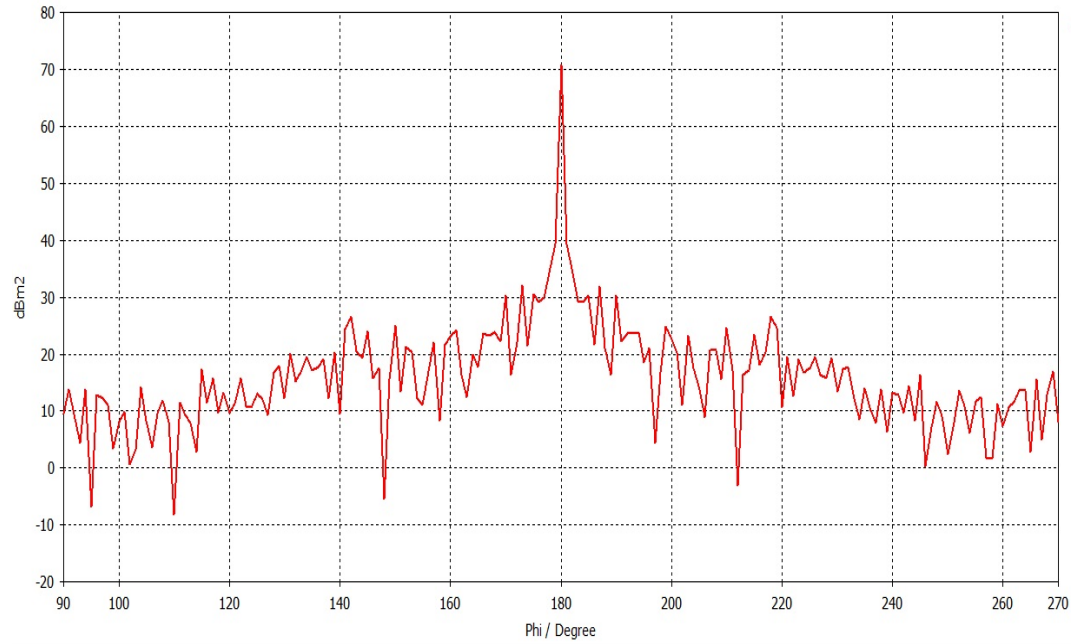
## Monostatic Scattering RCS Abs theta=90



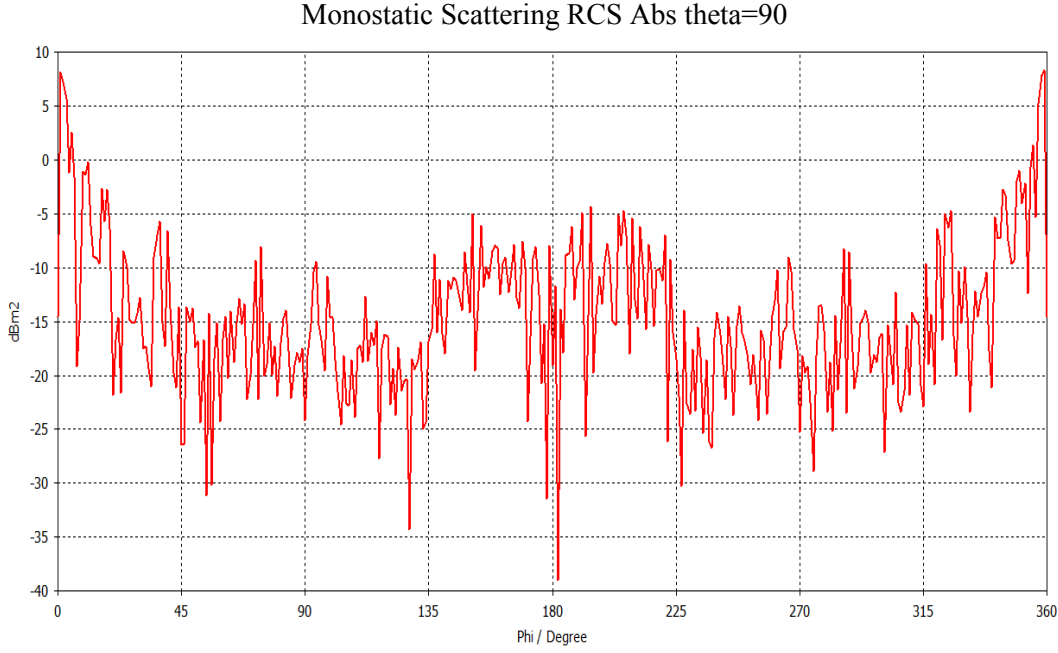
Şekil 4.2 İHA modelinin RCS grafiği [0, 360], ( $\theta = 90^\circ$ , yatay eş polarize sinyal)

Şekil 4.3’de İHA platformuna dikey polarizasyonda ( $\theta = 90^\circ$ ) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA’ya çarpıp geri dönen sinyalin uzak alandaki RCS değerinin değişimi gözlemlenmiştir. İHA’nın RSC’inin en büyük değeri  $75.6 \text{ dBm}^2$  ile ön kısmı yani  $\phi = 0^\circ$  olduğu kısımdır.

## Monostatic Scattering RCS Abs theta=90



Şekil 4.3 İHA modelinin RCS grafiği [90,270], ( $\theta = 90^\circ$ , dikey eş polarize sinyal)



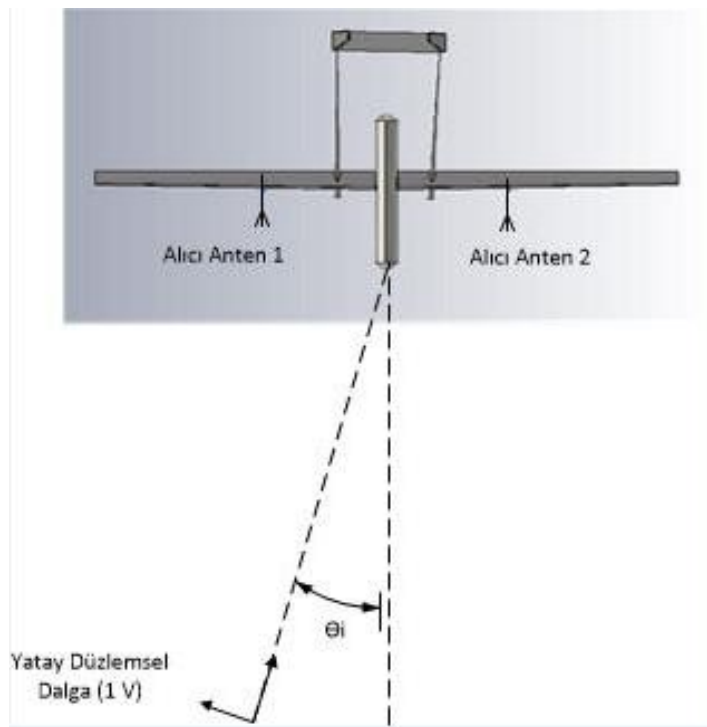
Şekil 4.4 İHA modelinin RCS grafiği [0,360], ( $\varphi$  yönünde,  $\theta = 90^\circ$ , dikey eş polarize sinyal)

Şekil 2.10’da şaşı göz karıştırma senaryosunda ayrıca bir alıcı anten simüle edilirken, çapraz kutuplanma karıştırma tekniği senaryosunda antenler hem alıcı ve hemde verici olarak çalışmaktadır, böylece aynı anda alıcı ve verici olarak çalışan antenler simüle edilmiştir. İHA’daki alan ve ağırlık kısıtlamaları nedeniyle antenler kanatlara veya gövde platformunun ön kısmına konuşturulmuştur. Şaşı göz ve çapraz kutuplanma karıştırma teknikleri bir sonraki bölümde anlatıldığı gibi sayısal simülasyonlar ile incelenmiştir.

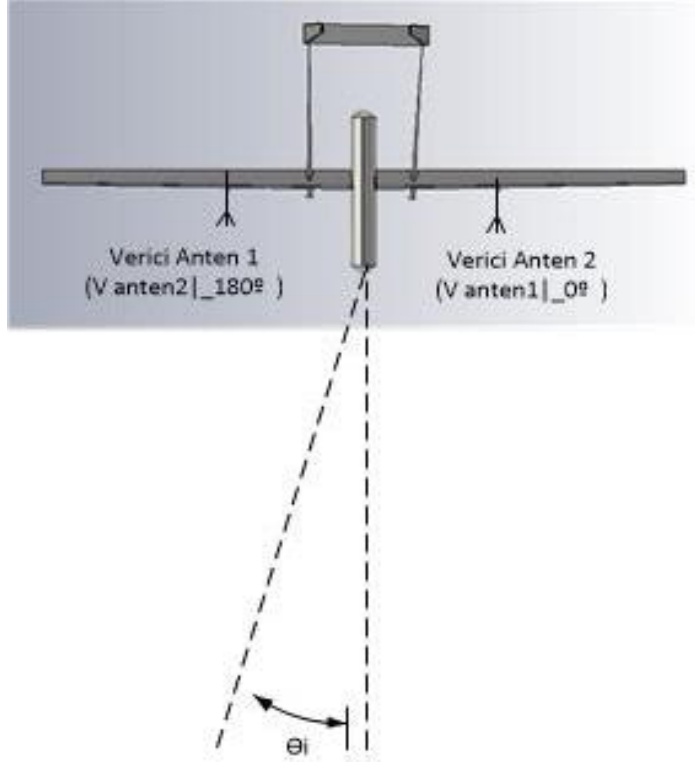
#### 4.2. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği Simülasyonları

Şaşı göz karıştırma tekniği simülasyonlarında hızlı çözüm için FEKO programı kullanılmıştır. UAV modelin kanatlarına aralarında 4m mesafe olacak şekilde iki ayrı 9 GHz de çalışan Yagi Uda anten yerleştirilmiştir. Bu antenlerin aldıkları sinyaller iki sinyalin arasında 180 derece faz farkı oluşturularak tekrar TDR’a gönderilmiş ve simülasyon sonuçları incelenmiştir. Pratik uygulamalarda karıştırıcı sinyal cilt geri dönüşünden daha büyük olmalıdır, aksi takdirde cilt geri dönüş sinyali baskın hale gelir ve karıştırma başarısız olur.

Yagi Uda antenler hem alıcı hem verici olarak kullanılmıştır. 1.adımda İHA'ya belirli bir  $\theta_i$  açısında yatay polarize düzlemsel dalga (1 V) gönderilmiş ve İHA'nın üzerindeki antenlerin alıcı olarak görev yapması sağlanmıştır. Bu durumda antenlerdeki voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür. 2.adımda ise düzlemsel dalga gönderilmesi durdurularak, 1.adımda ölçülen Anten 1'in voltaj ve faz değeri Anten 2'ye, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri Anten 1'e faz değeri ise 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilmiştir. Bu durumda yine belirli bir  $\theta_i$  açısında uzak alandaki elektrik alan değerinin sıfıra eşit olup olmadığı (null) kontrol edilmiştir. Farklı  $\theta_i$  açılarında senaryolar incelenmiştir.



Şekil 4.5 Şaşı göz karıştırma tekniği senaryosu 1.adım



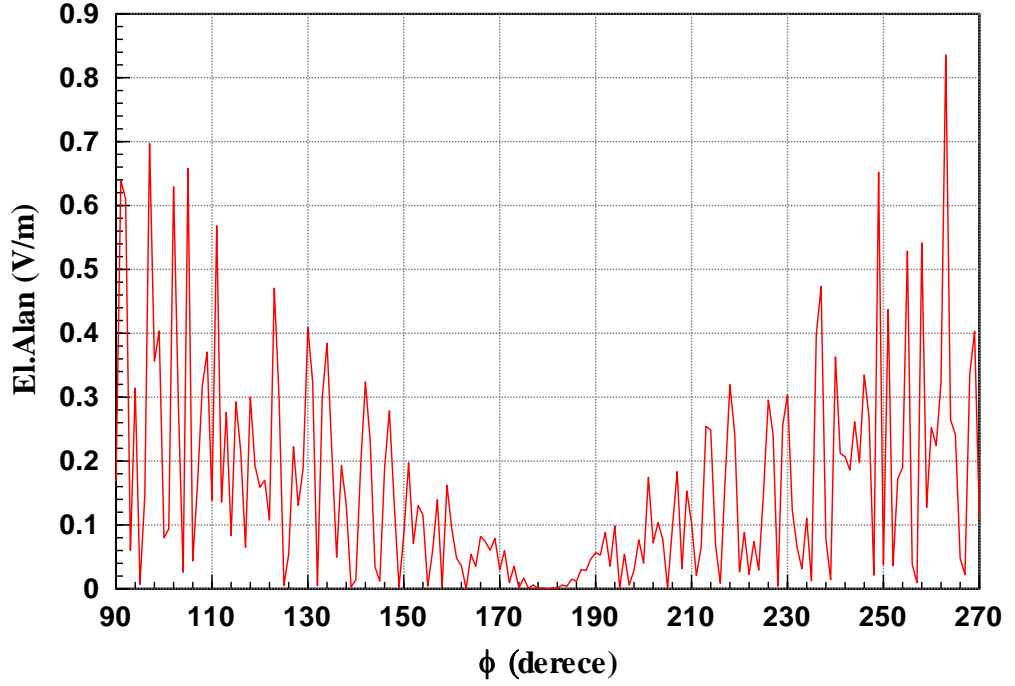
Şekil 4.6 Şaşı göz karıştırma tekniği senaryosu 2.adım

Şaşı göz karıştırıcı sinyalin uzak alanda ölçülen elektrik alan değeri, monopulse radar tarafından algılanan sinyal değeridir. Bu sinyal değeri, TDR'ın toplam kanal voltajını temsil eder ve sıfıra yakın olması istenir. Bu durumda, TDR fark kanalının toplam kanalına oranı çok büyük olacaktır. Dolayısıyla, TDR hata değeri çok büyük olacaktır. Böylece, TDR , İHA platformunun kanatlarına konuşlandırılan farklı açılarda şaşı göz karıştırma tekniğini kullanan antenler tarafından başarıyla karıştırılmış olur. Aşağıdaki senaryolarda da şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltajının (toplam kanal voltajı) sıfıra yakın değerler alıp almadığı incelenmiştir.

#### 4.2.1. Senaryo 1

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 185^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $15 \text{ mV}$ 'dur.





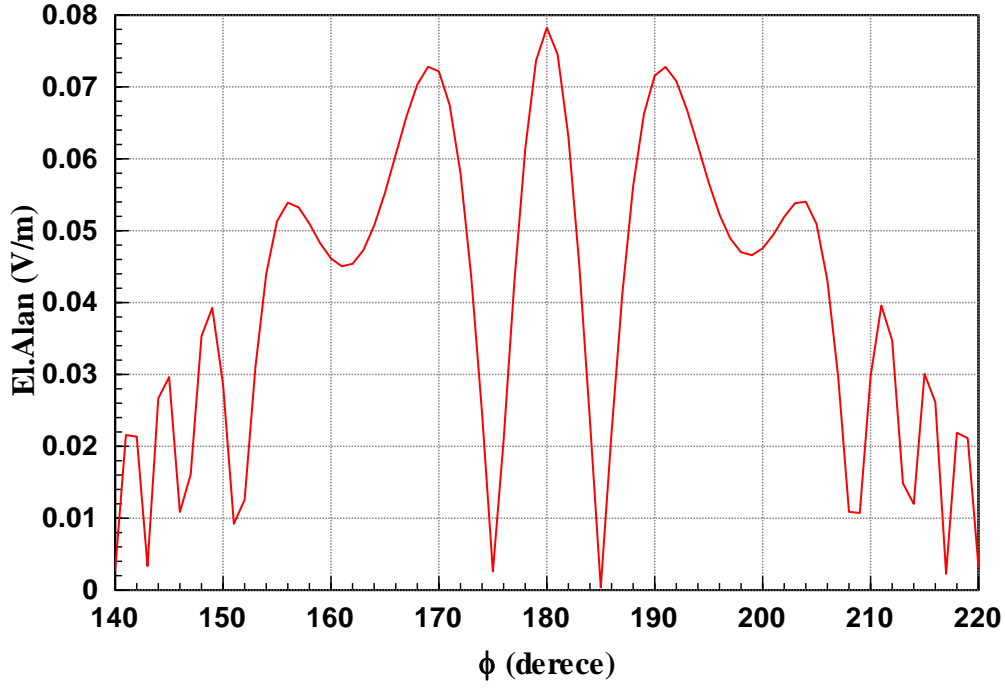
Şekil 4.7 İHA cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.1 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
11.7566	116.1	11.8294	114.6

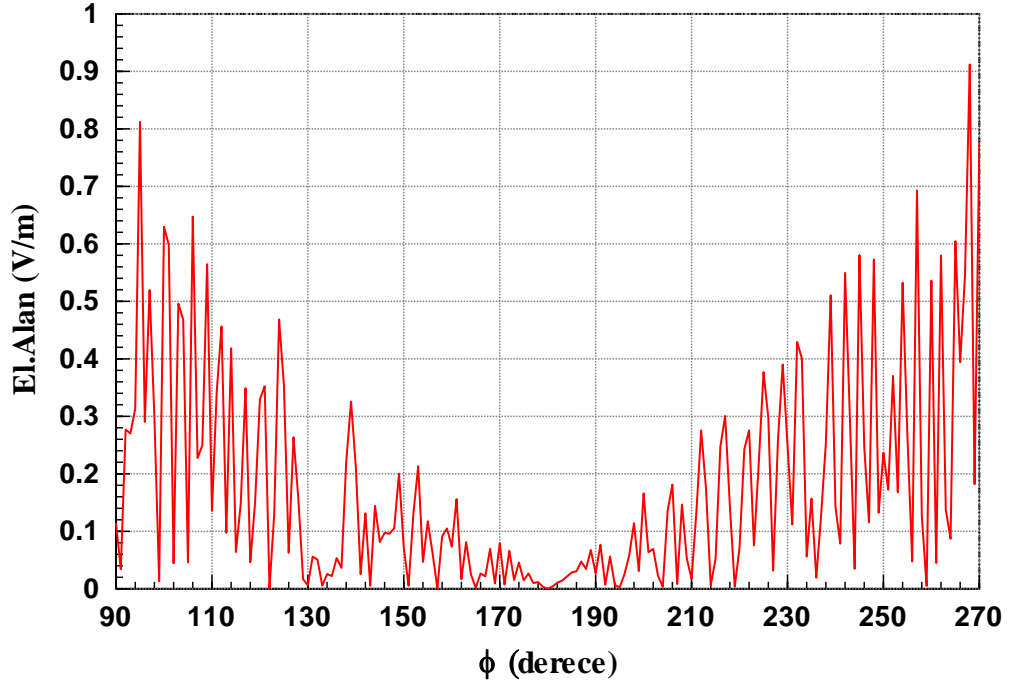
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 185^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.877 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.8 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

#### 4.2.2. Senaryo 2

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 10^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 190^\circ$  'de cilt geri dönüşü  $29 \text{ mV}$  'dur.



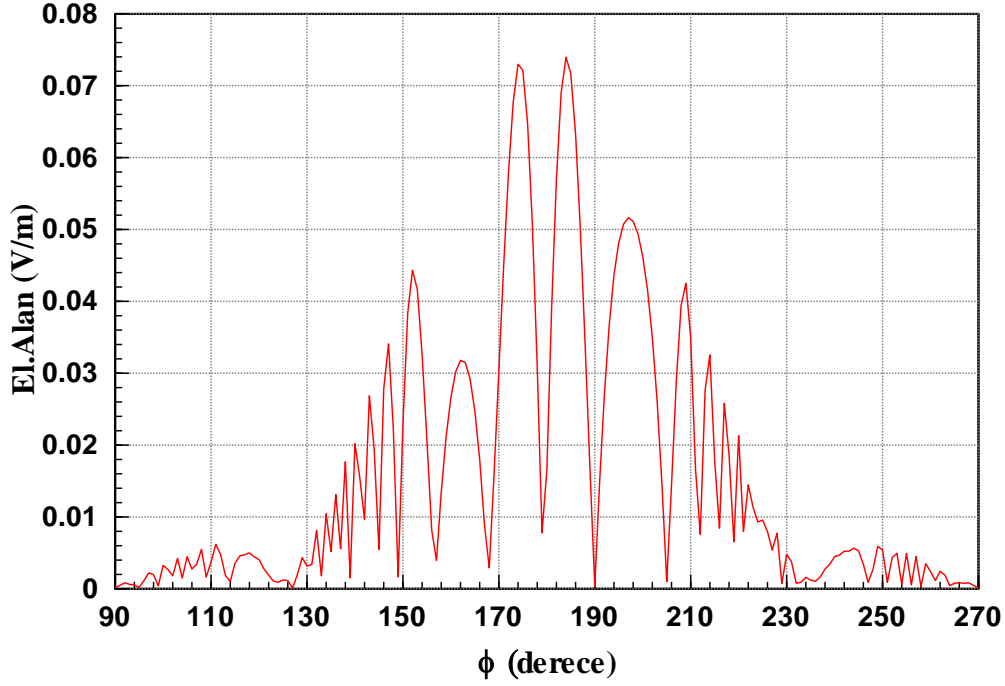
Şekil 4.9 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.2 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
11.1918	-60.132	11.3693	145.8

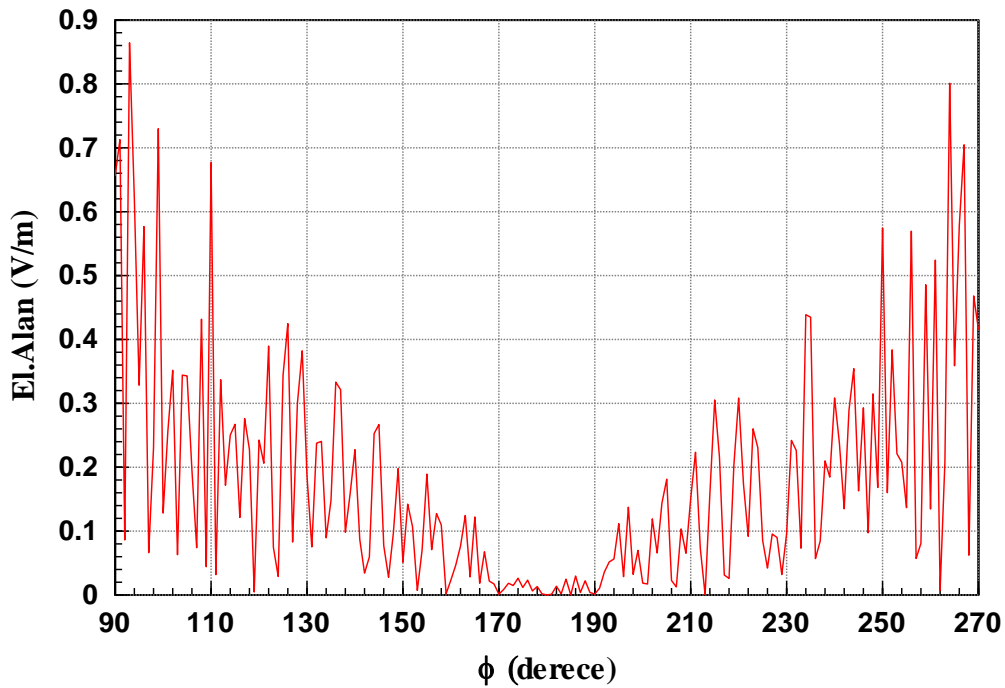
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 190^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.293 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.10 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.3. Senaryo 3

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 195^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $108 \text{ mV}$ 'dur.



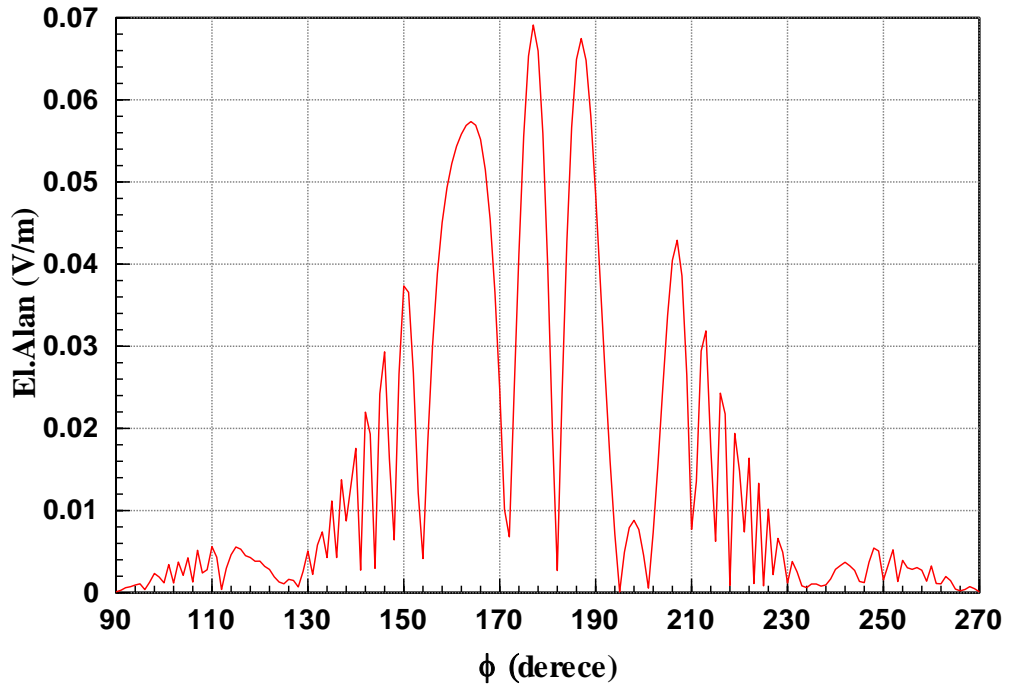
Şekil 4.11 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.3 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
10.376	-71.492	10.5658	39.147

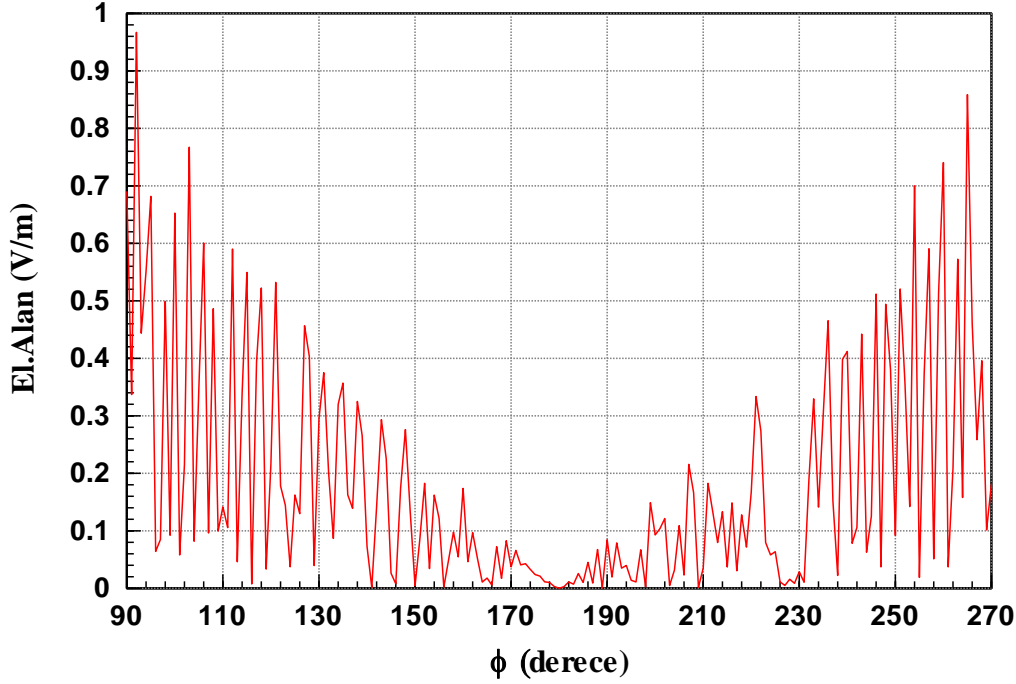
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 195^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.096 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.12 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

#### 4.2.4. Senaryo 4

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 20^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 200^\circ$  'de cilt geri dönüşü  $94 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.13 İHA cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

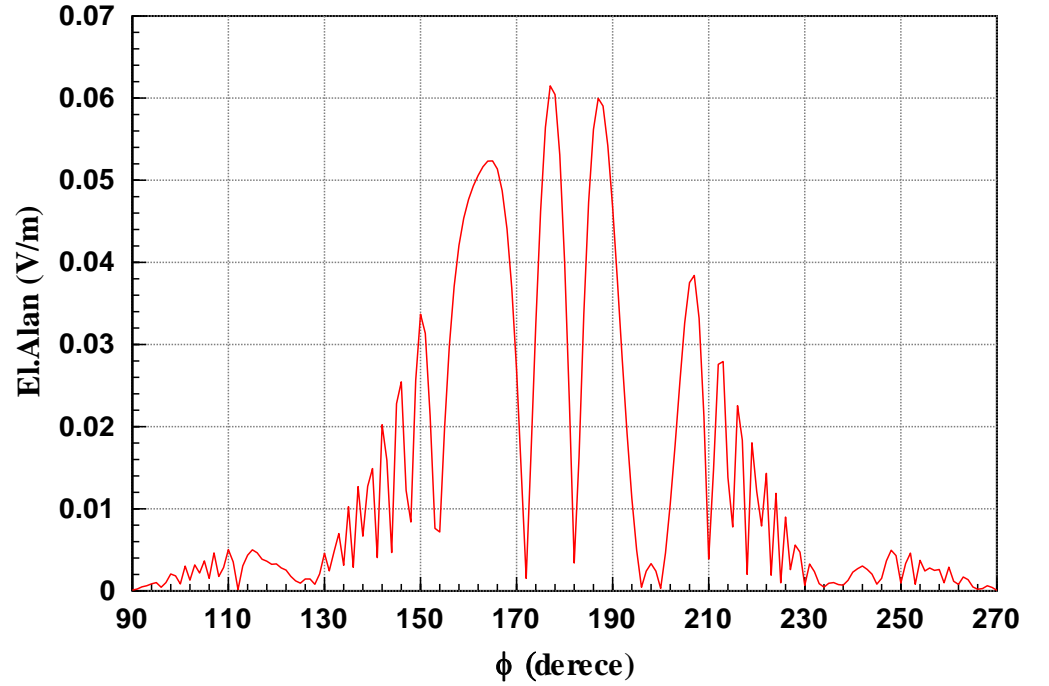
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşturularak  $\phi = 20^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.4 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 20^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)

9.2191	71.69	9.5014	172
--------	-------	--------	-----

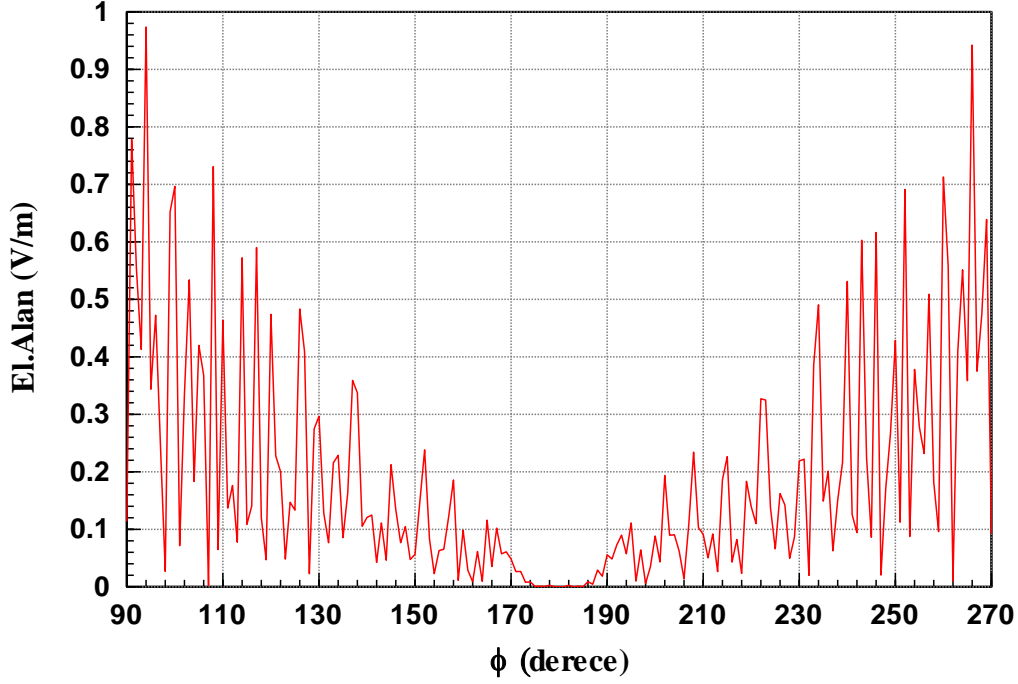
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 200^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.306 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.14 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.5. Senaryo 5

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 205^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $60 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.15 İHA cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 25^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

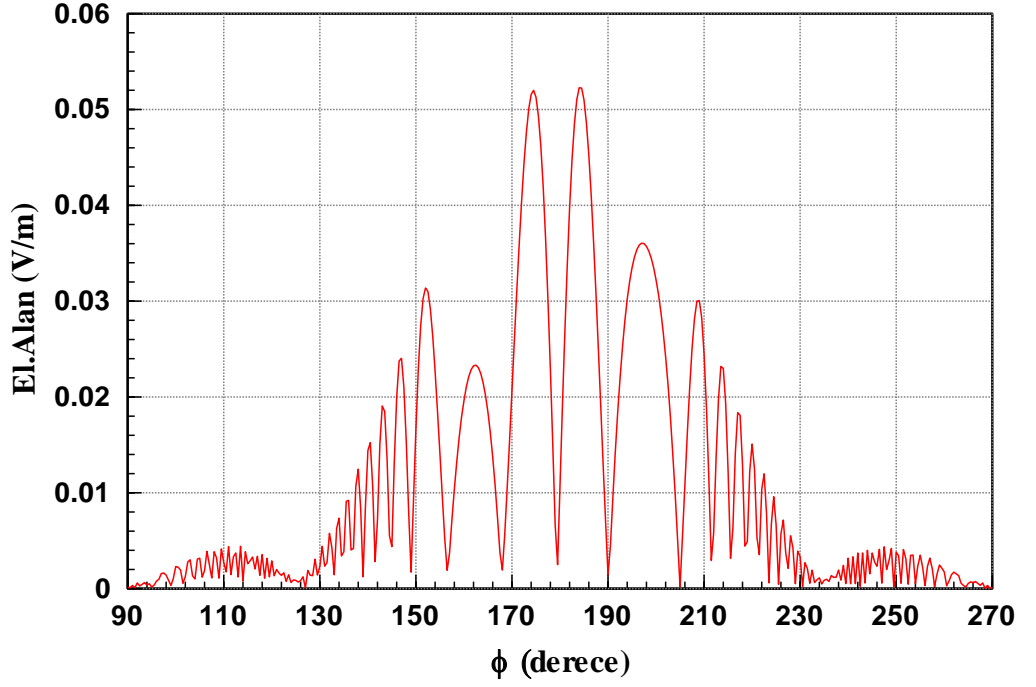
Çizelge 4.5 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 25^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
7.7952	-0.7185	8.1734	-157

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 25^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı



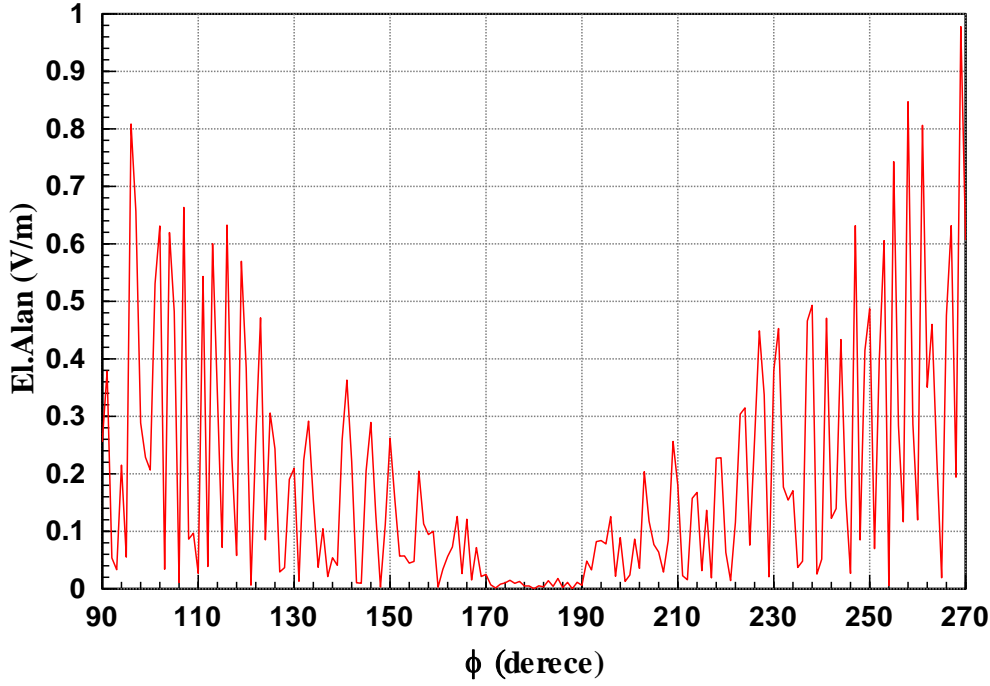
sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 205^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.9 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.16 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.6. Senaryo 6

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 210^\circ$  'de cilt geri dönüşü  $172 \text{ mV}$  'dur.



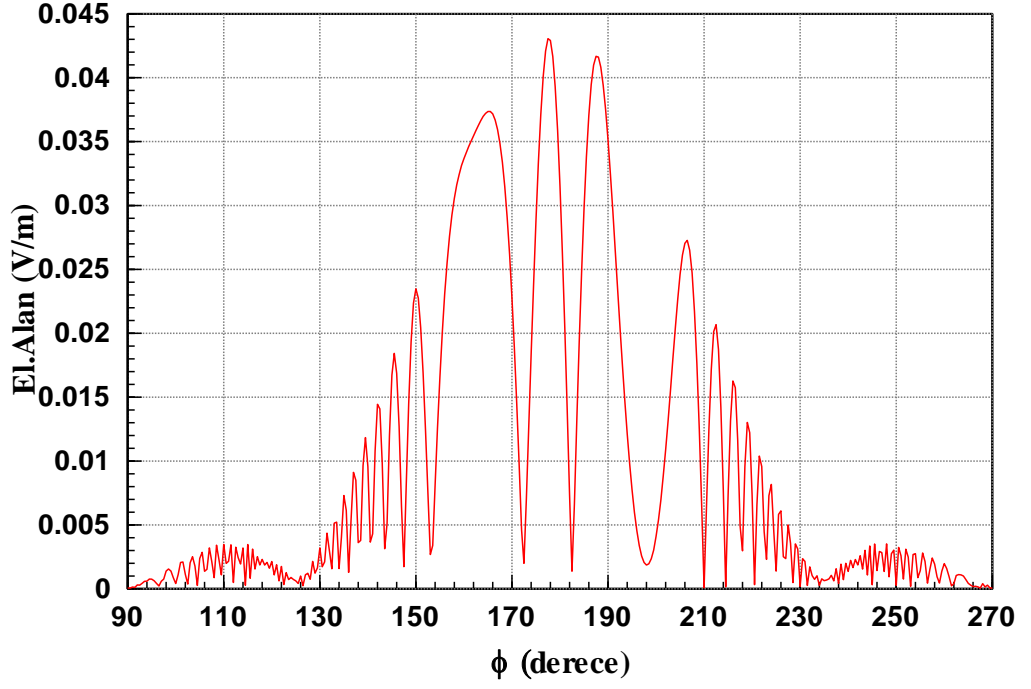
Şekil 4.17 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.6 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
6.3209	63.78	6.7228	151

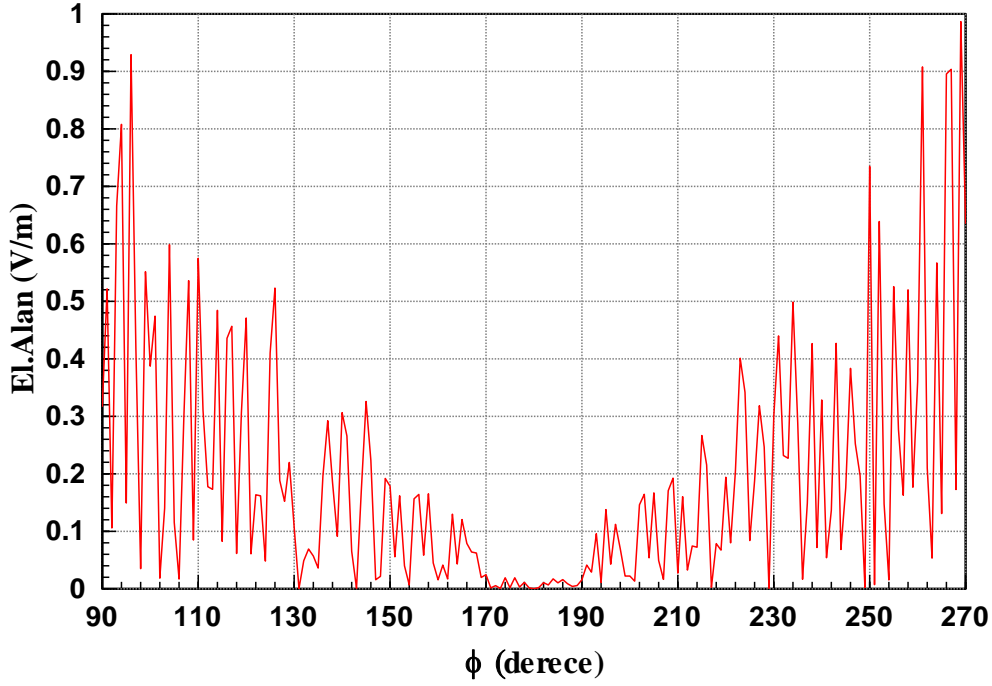
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 210^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.0724 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.18 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.7. Senaryo 7

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 215^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $264 \text{ mV}$ 'dur.



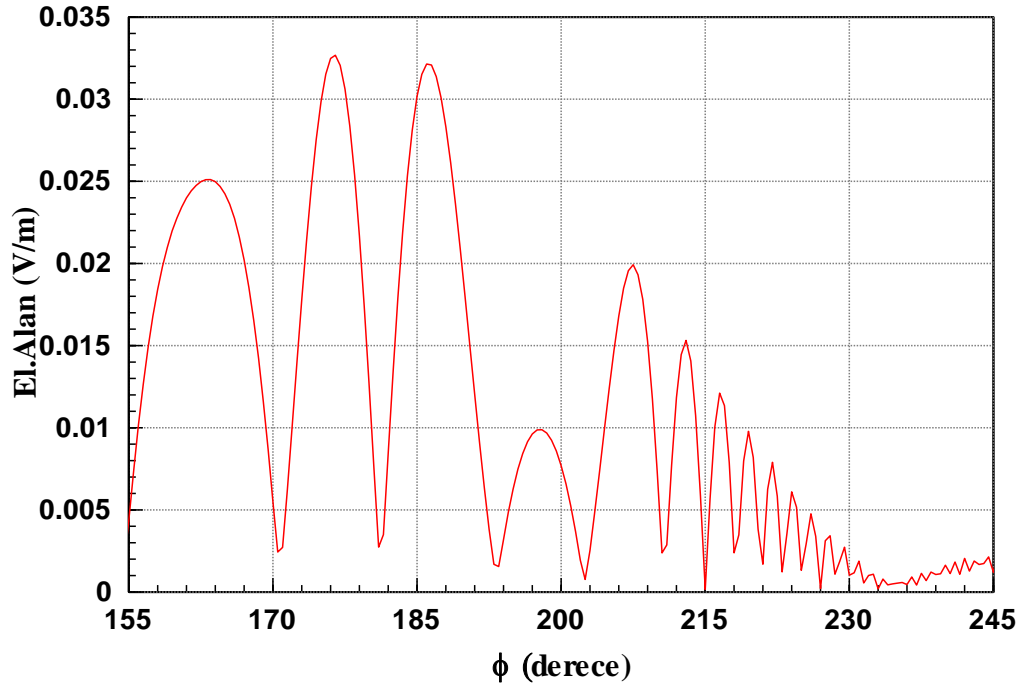
Şekil 4.19 İHA cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.7 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
4.7315	-101	5.2024	34.64

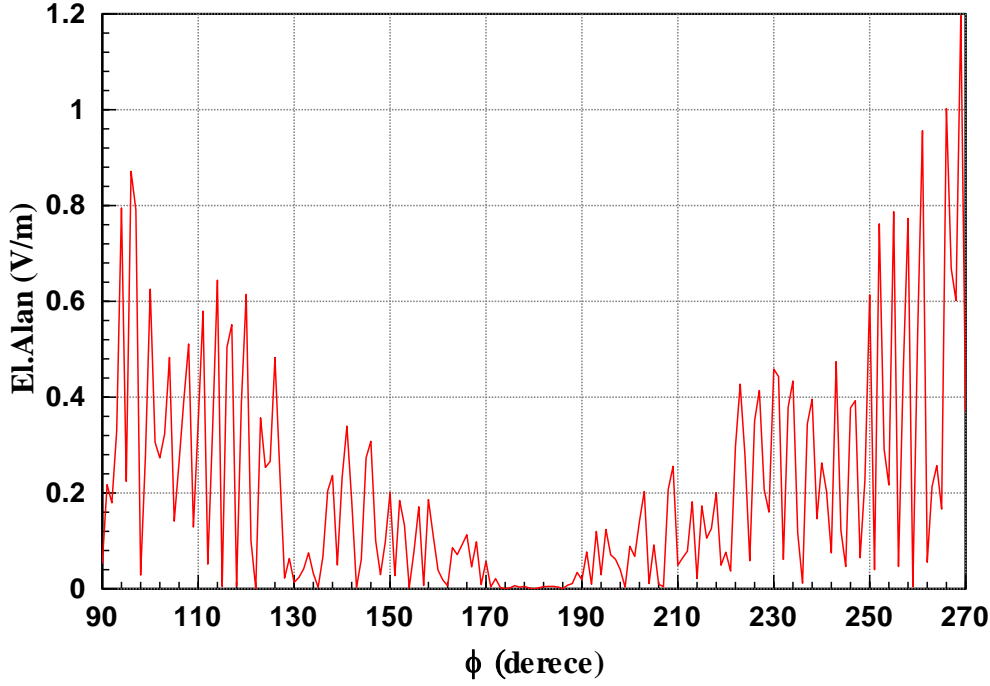
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 215^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.58 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.20 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

#### 4.2.8. Senaryo 8

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 220^\circ$  'de cilt geri dönüşü  $75.5 \text{ mV}$  'dur.



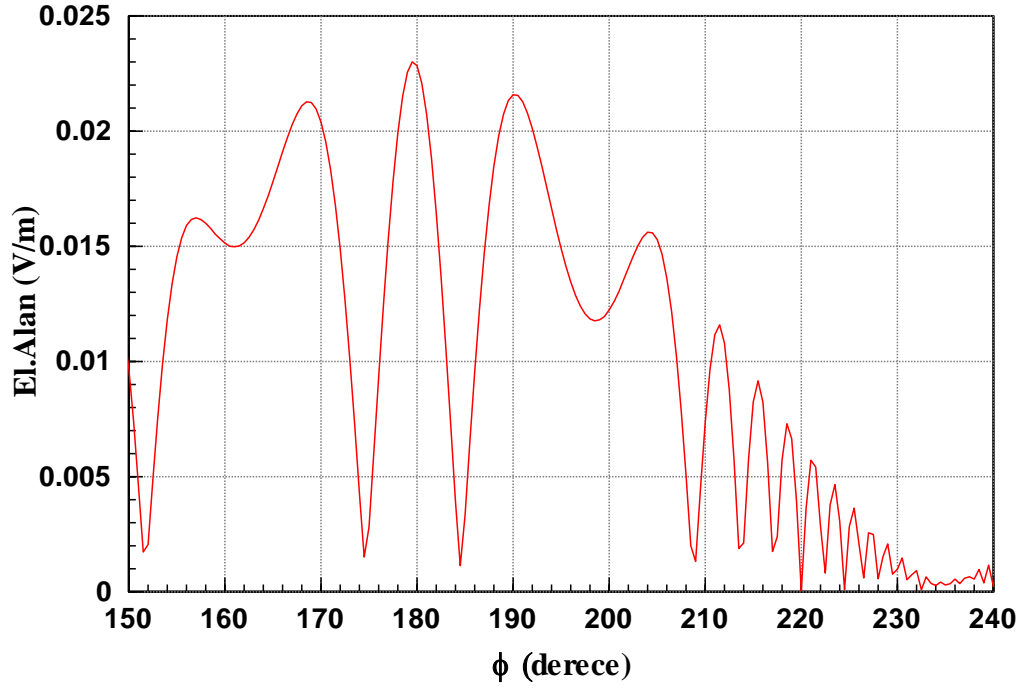
Şekil 4.21 İHA cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.8 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
3.298	-140	3.6421	-125

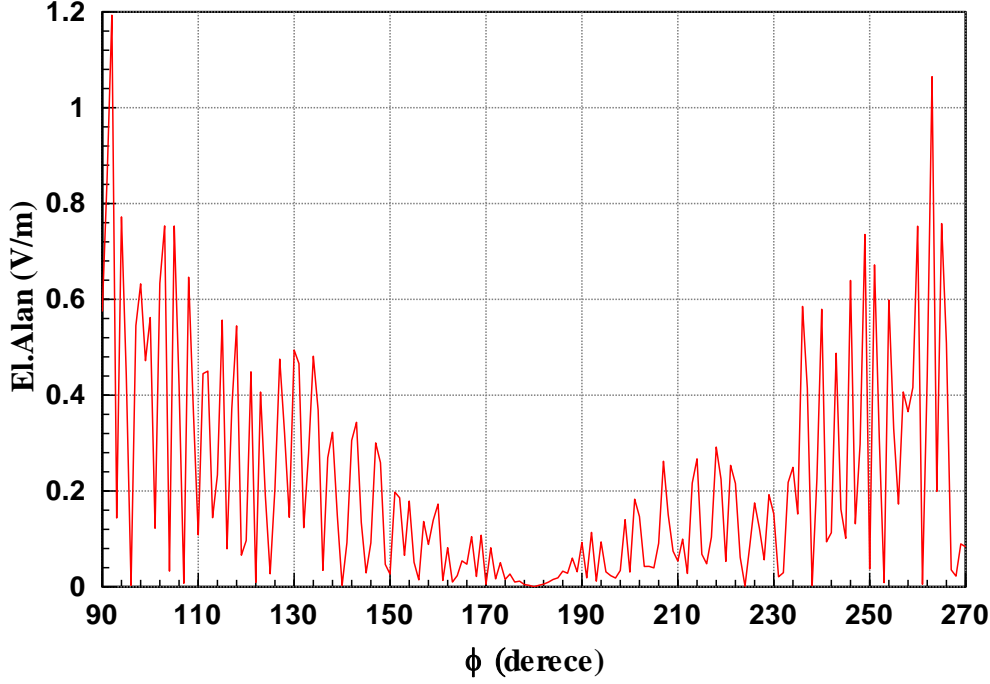
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 220^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.037 \text{ mV}$  'dur.



Şekil 4.22 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.9. Senaryo 9

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 225^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $85.4 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.23 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

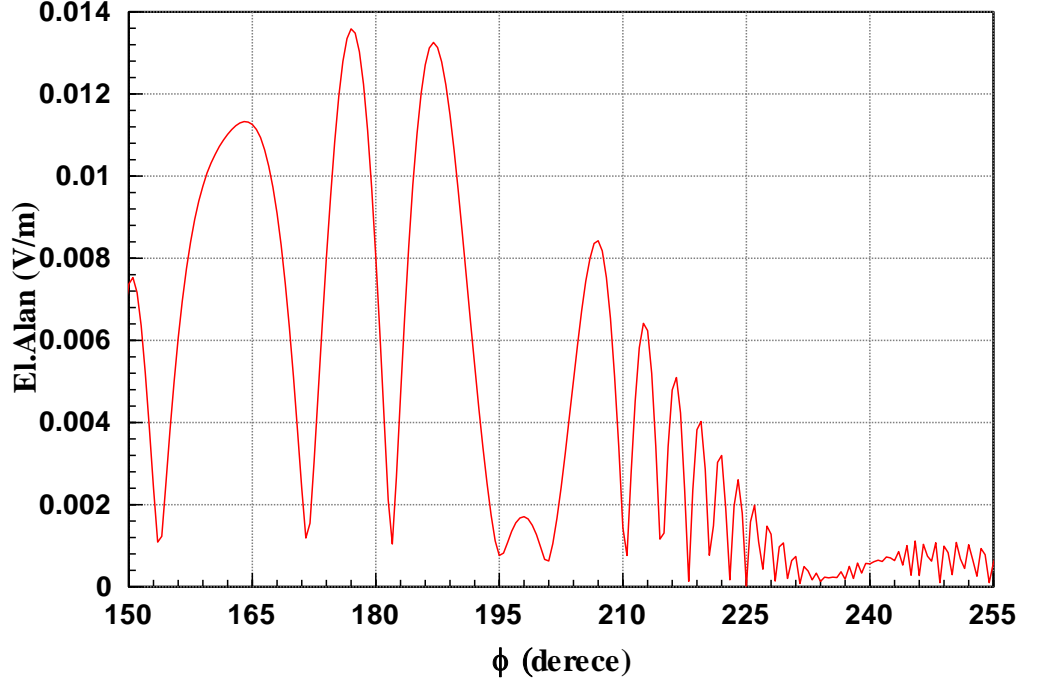
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.9 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
1.9103	-56.19	2.2067	52.86

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 225^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.018 \text{ mV}$ 'dur.

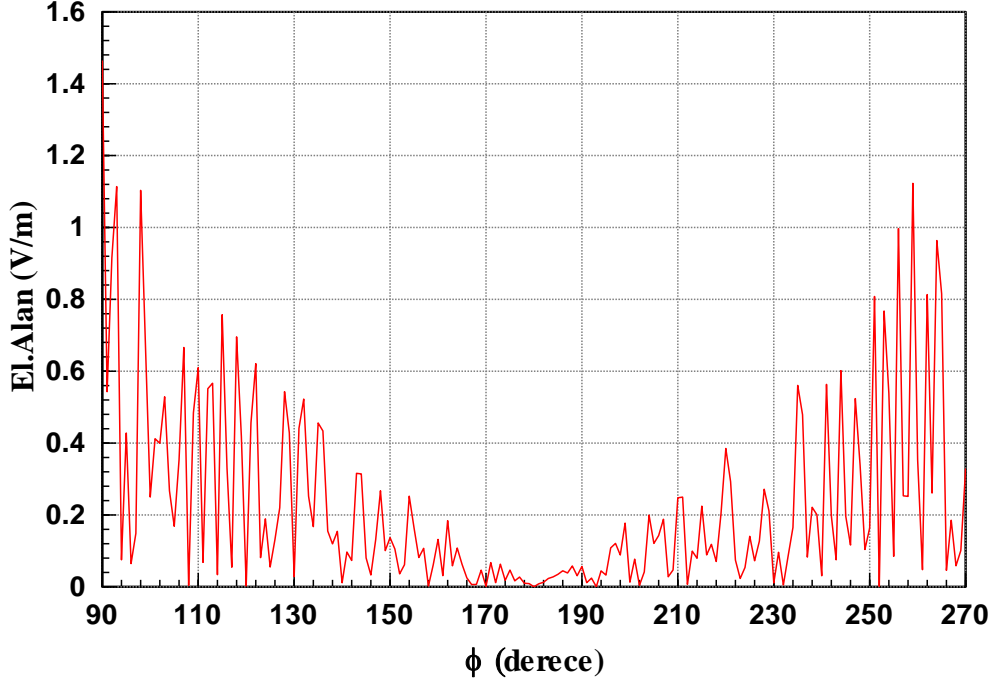




Şekil 4.24 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.10. Senaryo 10

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 230^\circ$ 'de cilt geri dönüşü  $13 \text{ mV}$ 'dur.



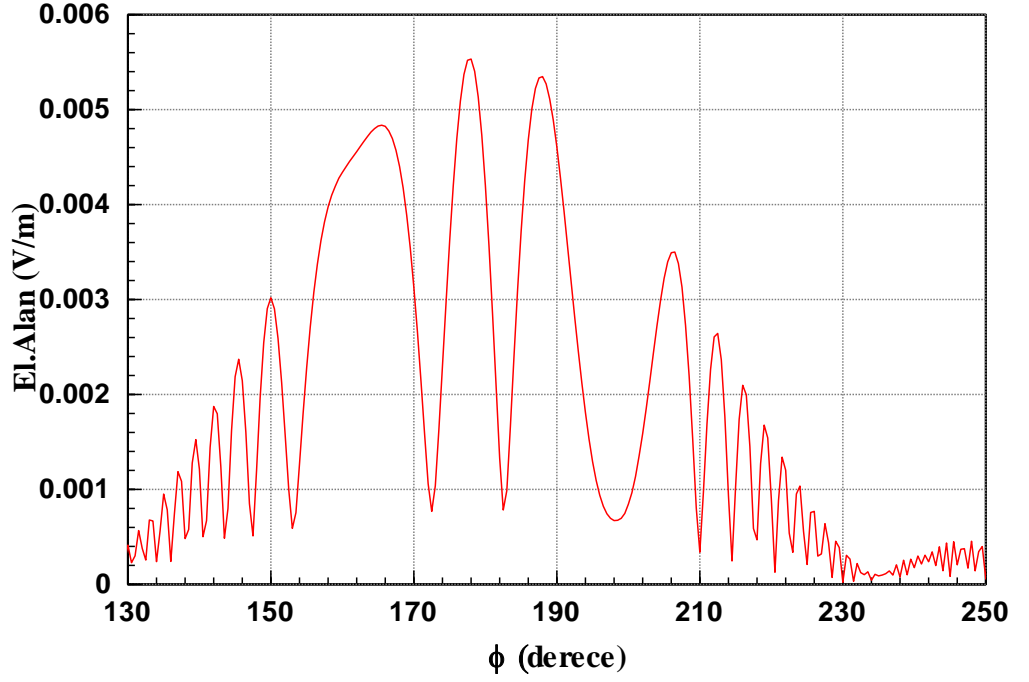
Şekil 4.25 İHA cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.10 Şaşı göz karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Anten1 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten1 ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 ölçülen voltaj değeri(mV)	Anten2 ölçülen faz değeri (derece)
0.7245	141.11	0.9512	-135.53

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri 180 derece faz farkı ile Anten 1'e verilerek  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen şaşı göz karıştırıcı sinyalinin voltaj değeri elde edilmiştir.  $\phi = 230^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin voltaj değeri  $0.037 \text{ mV}$ 'dur.



Şekil 4.26 Şaşı göz karıştırıcı sinyalin voltaj değerlerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

#### 4.2.11. Şaşı Göz Karıştırma Tekniği Duyarlılık Analizi

9 GHz'de çalışan İHA'nın kanatlarında konuşlu Yagi-Uda antenleri tarafından alınan sinyaller 180 derece faz farkıyla TDR'a geri gönderilmiştir. Farklı dönme açılarındaki İHA cilt geri dönüşünün ve şaşı göz karıştırıcı antenlerden TDR'a gönderilen sinyalin simülasyon sonuçları Çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Elbette, pratik bir uygulamada, karıştırıcı sinyalinin şiddeti cilt geri dönüş değerinden daha büyük olmalıdır, aksi takdirde cilt geri dönüşü hakim olur ve böylece karıştırıcı kullanışsız hale gelir.

Şaşı göz karıştırıcı antenlerin uzak alanda ölçülen voltaj değeri, TDR tarafından algılanan sinyal değeridir. Bu sinyal değeri, TDR'ın toplam kanal voltajını temsil eder ve çok sıfıra yakındır. Bu durumda, daha önce de bahsedildiği üzere TDR fark kanalının toplam kanalına oranı çok büyük olur, dolayısıyla TDR'da hata değeri çok büyük olur. Böylece, TDR, İHA platformunun kanatlarına yerleştirilen şaşı göz sıkıştırma tekniğini kullanan antenlerle başarıyla karıştırılmıştır.

Çizelge 4.11 Gönderilen farklı düzlemsel dalga açlarına göre simülasyon sonuçları ( $f = 9 \text{ GHz}$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Gönderilen Düzlemsel Dalga (derece)	İHA Cilt Geri Dönüşü (mV)	Şaşı Göz Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (180 derece faz farkı ile) (mV)
5	15	0.877
10	29	0.293
15	108	0.096
20	94	0.306
25	60	0.9
30	172	0.0724
35	264	0.58
40	75.5	0.037
45	85.4	0.018
50	13	0.037

Şaşı göz karıştırma tekniğinin başarılı olabilmesi için karıştırıcı antenler arasında 180 derece faz farkı olması gereklidir. Antenler arasında farklı faz farklarının olmasının sonuçları da incelenmiş olup, sistemin duyarlılık analizi yapılmıştır. 5 ve 10 derece düzlemsel dalga yönleri için, kusurlu faz değişiminin etkileri sırasıyla Çizelge 4.12 ve 4.13'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 Duyarlılık Analizi Simülasyon Sonuçları (düzlemsel yatay polarize dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şaşı Göz Karıştırıcı Antenler Arasındaki Faz Farkı (derece)	Şaşı Göz Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (mV)
180	0.877
179	1.48

178	1.98
177	1.93
176	3.42
175	3.8
174	4.76
173	5.43
172	5.09
171	6.77

Çizelge 4.13 Duyarlılık Analizi Simülasyon Sonuçları (düzlemsel yatay polarize dalga yönü  $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ )

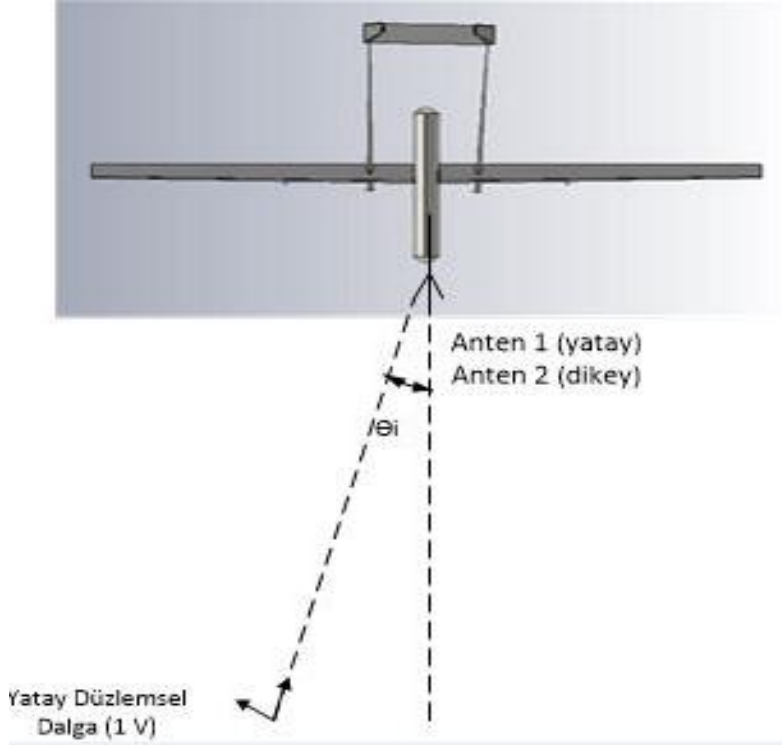
<b>Şaşı Göz Karıştırıcı Antenler Arasındaki Faz Farkı (derece)</b>	<b>Şaşı Göz Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (mv)</b>
180	0.293
179	0.47
178	1.46
177	1.67
176	2.28
175	3.24
174	3.51
173	4.12
172	4.73
171	5.35

Çizelge 4.12 ve 4.13’de görüldüğü üzere karıştırıcı antenler arasındaki faz farkı 180 dereceden farklı değerler aldığıında karıştırıcı sistemin duyarlılığı azalmakta ve karıştırma başarısı azalmaktadır. Bu nedenle başarılı bir karıştırma uygulamak için karıştırıcı antenler arasındaki faz farkı 180 derece olmalıdır.

### 4.3. Çapraz Kutuplanma Karıştırma Tekniği Simülasyonları

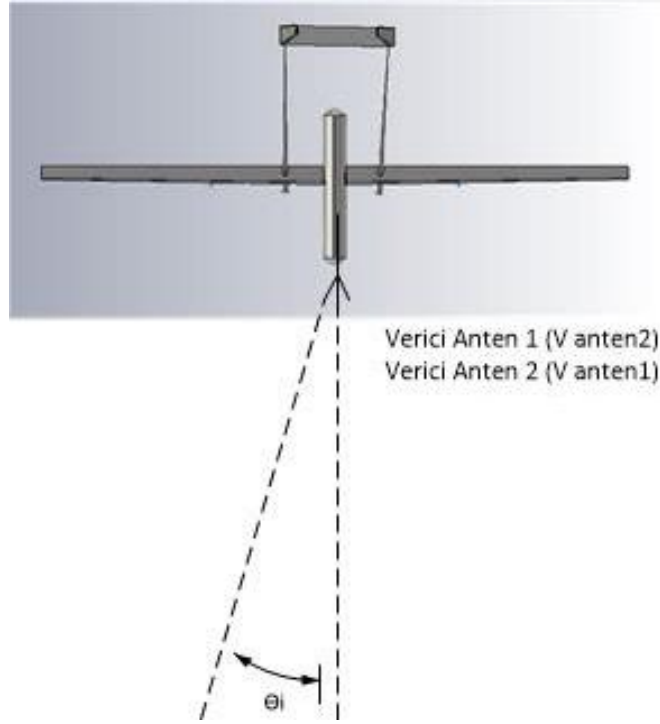
UAV modelin gövdesinin ön tarafına yatay ve dikey olacak şekilde tasarlanan iki ayrı 9 GHz de çalışan Yagi Uda anten yerleştirilmiştir. Yatay konuşlandırılan antenin aldığı sinyal dikey polarizasyonda, dikey konuşlandırılan antenin aldığı sinyal yatay polarizasyonda tekrar TDR'a gönderilmiş ve simülasyon sonuçları incelenmiştir.

İHA platformunun gövde ön kısmına konuşlandırılan yatay ve dikey Yagi Uda antenler bulunmaktadır ve bu antenlerin faz merkezleri arasındaki uzaklık minimum tutulmuştur. 1.adımda İHA'ya belirli bir  $\theta_i$  açısında yatay polarize düzlemsel dalga (1 V) gönderilmiş. İHA'nın üzerinde konuşlandırılan yatay ve dikey antenlerin alıcı olarak görev yapması sağlanmıştır. Bu durumda antenler üzerindeki voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.27 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği senaryosu 1. adım

2.adımda ise düzlemsel dalga gönderimi durdurularak, 1.adımda ölçülen Anten 1'in voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye, yine 1.adımda ölçülen Anten 2'nin voltaj ve faz değerleri Anten 1'e verilmiştir.



Şekil 4.28 Çapraz kutuplanma karıştırma tekniği senaryosu 2.adım

1.adımda İHA'ya gelen yatay polarize sinyalin, İHA'nın üzerinde bulunan yatay antende oluşturduğu voltaj değeri büyük olurken ( $mV$  seviyelerinde), dikey antende oluşturduğu voltaj değeri çok küçük ( $\mu V$  seviyelerinde) olur. 2.adımda yatay antendeki voltaj değerini dikey antene, dikey antendeki voltaj değerini de yatay antene verdiğimizde belirli bir  $\theta_i$  açısında uzak alandaki yatay ve dikey polarize sinyal değerleri ölçülmüştür. Yatay polarize gönderilen bir sinyalin İHA'dan geri dönüşünde ölçülen yatay polarize sinyal değerinin daha büyük olması beklenirken, çapraz polarize antenler ile tam tersi bir durum gözlenmekte ve dikey polarize sinyal değeri daha büyük olmaktadır. Bu durumda TDR'ın hüzmelerinde aldığı çapraz polarize değerleri arasındaki fark fazla olacaktır. Yani TDR'ın çapraz polarize sinyallere cevabı farklı olduğundan, fark kanalının aldığı

değer artar. Böylece fark kanalın toplam kanala oranında, açılı hata voltajının değeri büyür.

Çapraz kutuplama tekniği kullanan bir karıştırıcı, TDR'ın çalıştığı referans polarizasyona dik polarizasyonda sinyal gönderir. TDR'daki toplam izleme hatası, referans ekosundan kaynaklanan sinyalin ve çapraz kutuplanma sinyalinin toplamıdır. Karıştırma sinyalinin polarizasyonu, referans polarizasyonun polarizasyona tam olarak dikey olmadığından hem eş polar hem de kutuplar arası bileşenlere katkıda bulunur. Bu nedenle, TDR'daki toplam izleme hatası aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_E = C_{O_S} (1 + k \sin \beta) + C_{r_S} k \cos \beta \quad (4.1)$$

$$F_E = C_{O_D} (1 + k \sin \beta) + C_{r_D} k \cos \beta \quad (4.2)$$

$T_E$  = Toplam kanal hata sinyali,

$F_E$  = Fark kanal hata sinyali,

$C_{O_S}$  = Eş polarize ekodan kaynaklı TDR toplam sinyali,

$C_{r_S}$  = Çapraz polarize karıştırıcı sinyalden kaynaklı TDR toplam sinyali,

$C_{O_D}$  = Eş polarize ekodan kaynaklı TDR fark sinyali

$C_{r_D}$  = Çapraz polarize karıştırıcı sinyalden kaynaklı TDR fark sinyali

$k$  = Çapraz polarize genlik faktörü,

$\beta$  = Karıştırıcı sinyalin polarizasyon açısı ( $0^\circ$  = dik polarizasyonda)

$$E = \frac{F_E}{T_E} \quad (4.3)$$

$E$  = Hata sinyali

Senaryolarda önce yatay polarize düzlemsel dalga gönderilerek belirli açılarda simülasyon sonuçları incelenmiş, daha sonra dikey polarize düzlemsel dalganın belirli açıları için senaryolar tekrar edilmiştir.

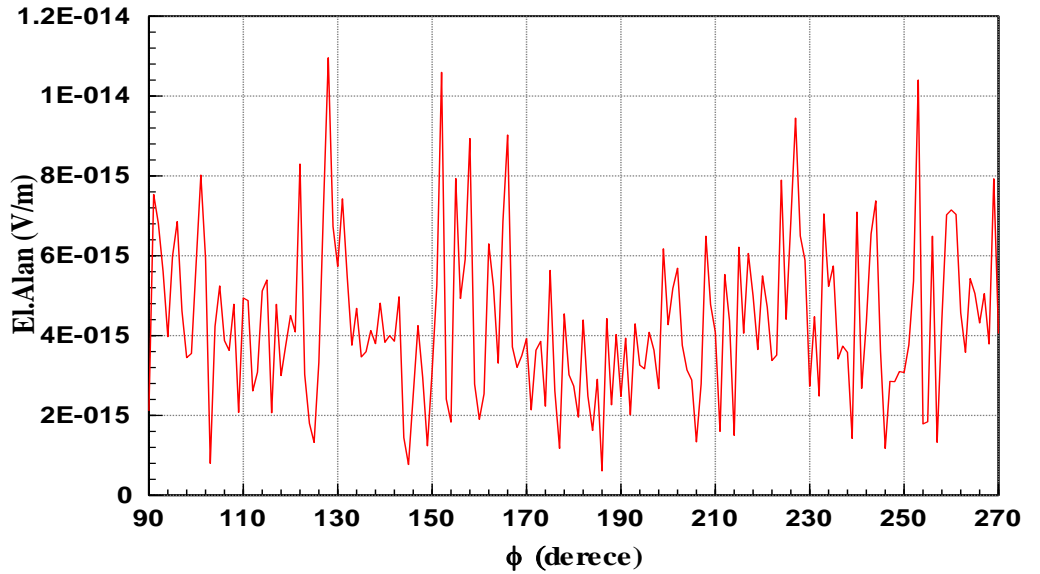
Pratikte yatay polarize gönderilen sinyal hedefe çarparak yatay polarize olarak hedeften geri yansır. Radara geri dönen bu cilt geri dönüş sinyalinin yatay



bileşenin dikeye göre daha büyük olması beklenen bir durumdur. Fakat çapraz kutuplanma tekniğini kullanan karıştırıcı antenlere yatay polarize gelen bir sinyal dikey polarize olarak TDR'a geri gönderilir ve bu gönderilen sinyalin yatay kutuplanmadaki voltaj değeri çok küçük, dikey kutuplanmadaki voltaj değeri çok büyük olur. Bu durumda TDR, hedefin yatay polarize cilt geri dönüşünün büyük olmasını beklerken dikey polarize geri dönüş sinyali daha büyük olur ve TDR'ın çapraz polarize algıladığı sinyallerin arasındaki fark büyür böylece hataya sebep olur. TDR, İHA platformuna konuşlandırılan çapraz kutuplanma karıştırma tekniğini kullanan antenler tarafından başarıyla karıştırılmış olur. Aşağıdaki senaryolarda İHA cilt geri dönüş sinyalinin voltaj değerleri ve çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin voltaj değerleri farklı kutuplanma senaryolarında incelenmiştir.

#### 4.3.1. Senaryo 1

Öncelikle platformda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 185^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $2.75 fV$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.7'de  $15 mV$  olarak simüle edilmişti.



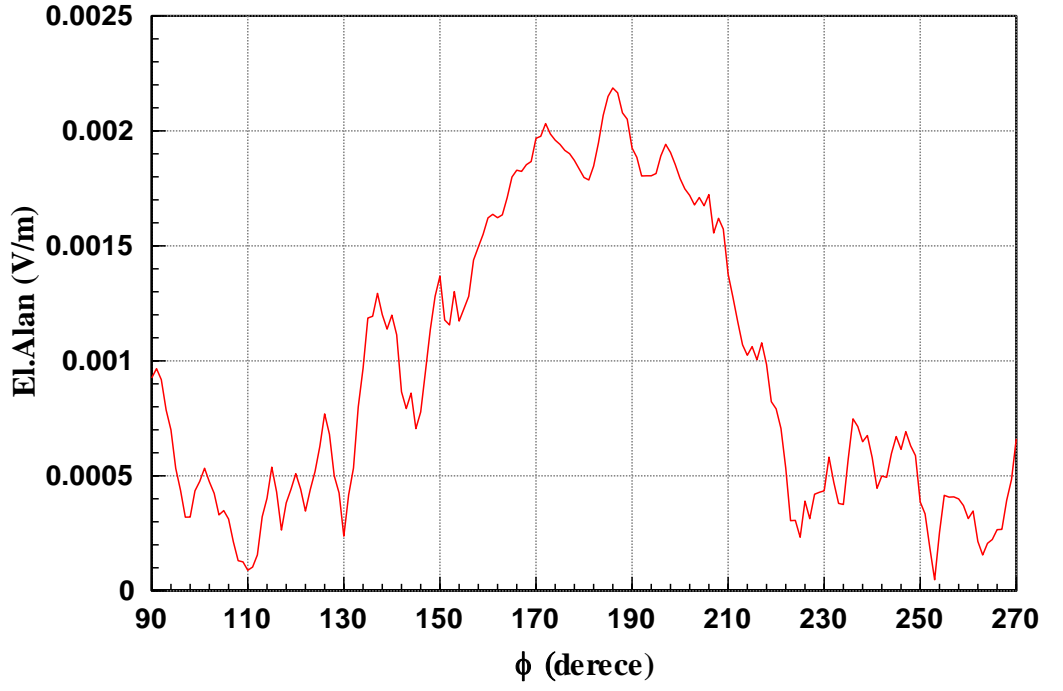
Şekil 4.29 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 GHz$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 5^\circ$   $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

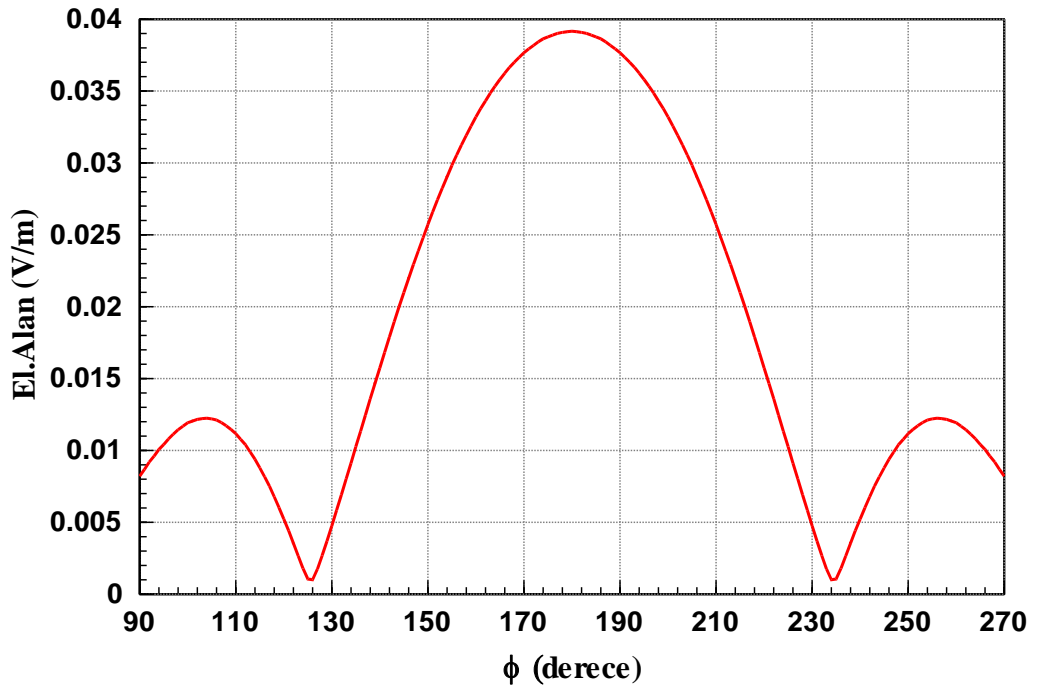
Çizelge 4.14 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 5^\circ, \theta = 90^\circ$  )

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
11.8622	37.952	168.48	124.07

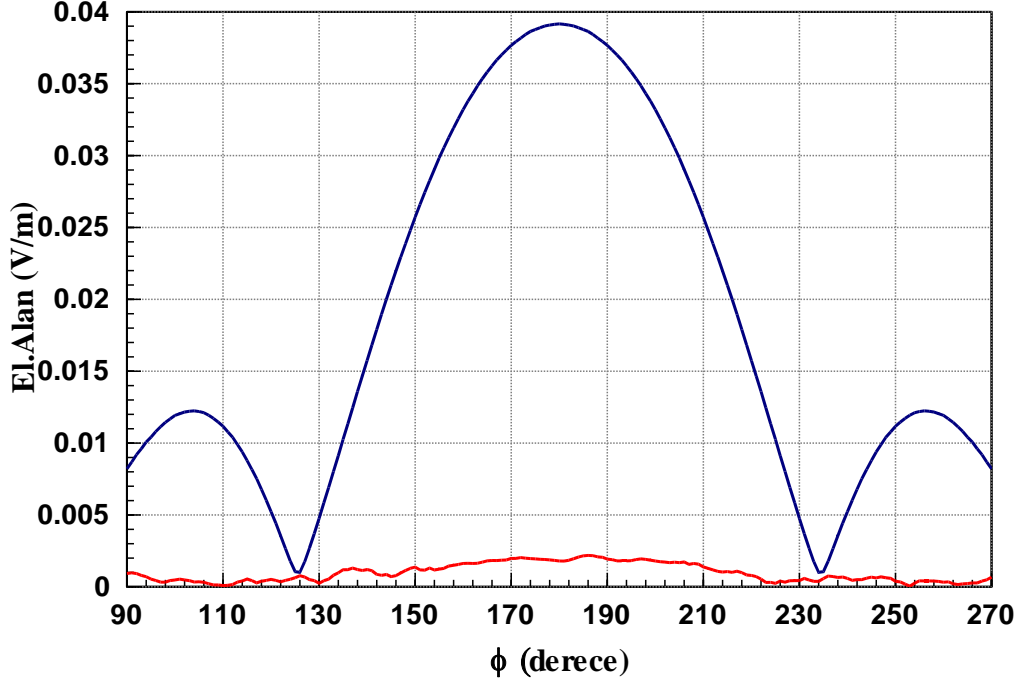
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 185^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.30'da 2.15 mV, karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.31'de 38.7 mV olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.30 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

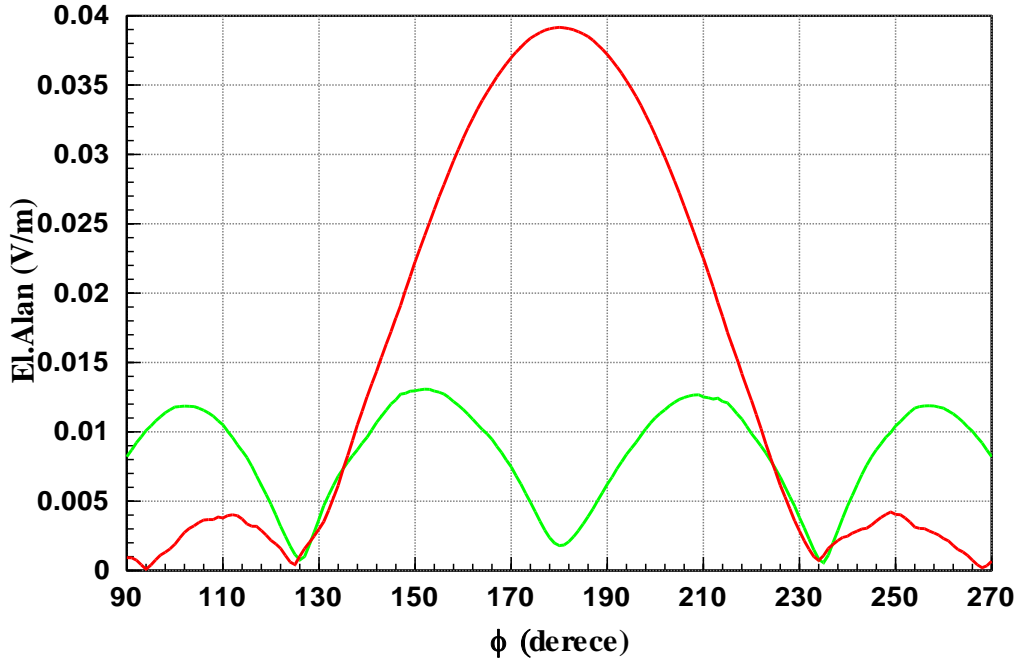


Şekil 4.31 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.32 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.32’de bir arada çizdirilmiştir.



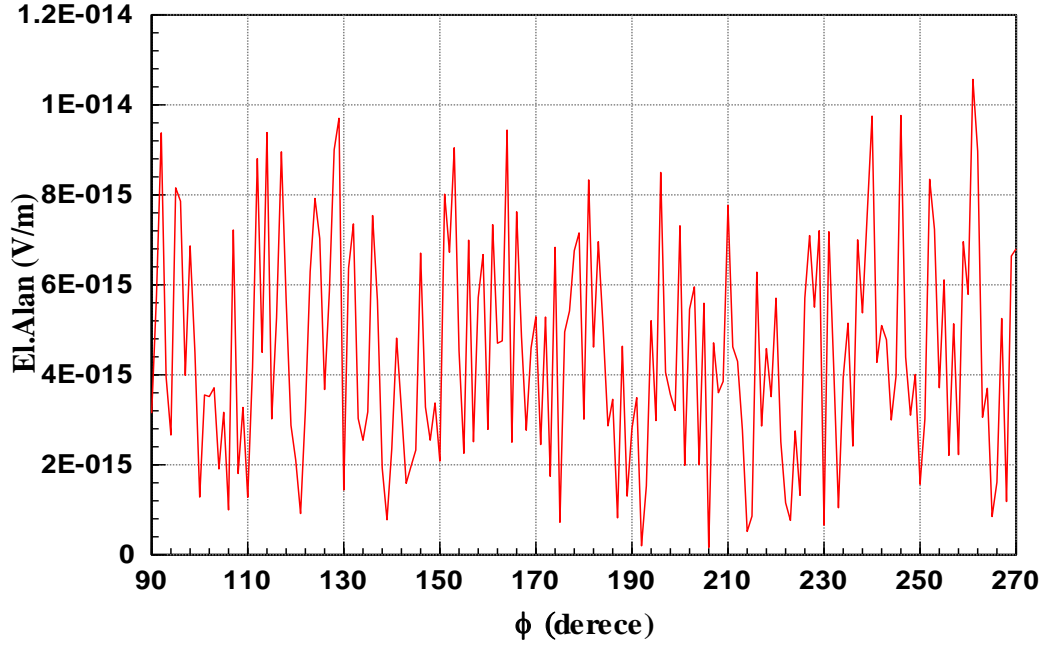
Şekil 4.33 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (

$f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.33'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.2. Senaryo 2

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 190^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $2.8 \text{ fV}$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.9'da  $29 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



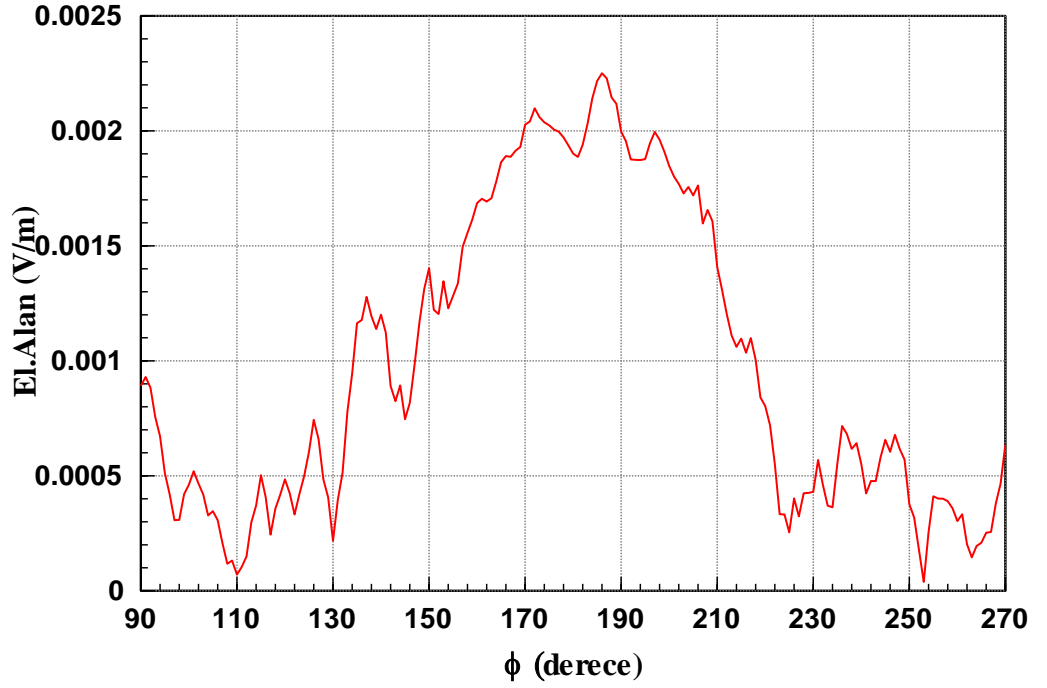
Şekil 4.34 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 10^\circ$   $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

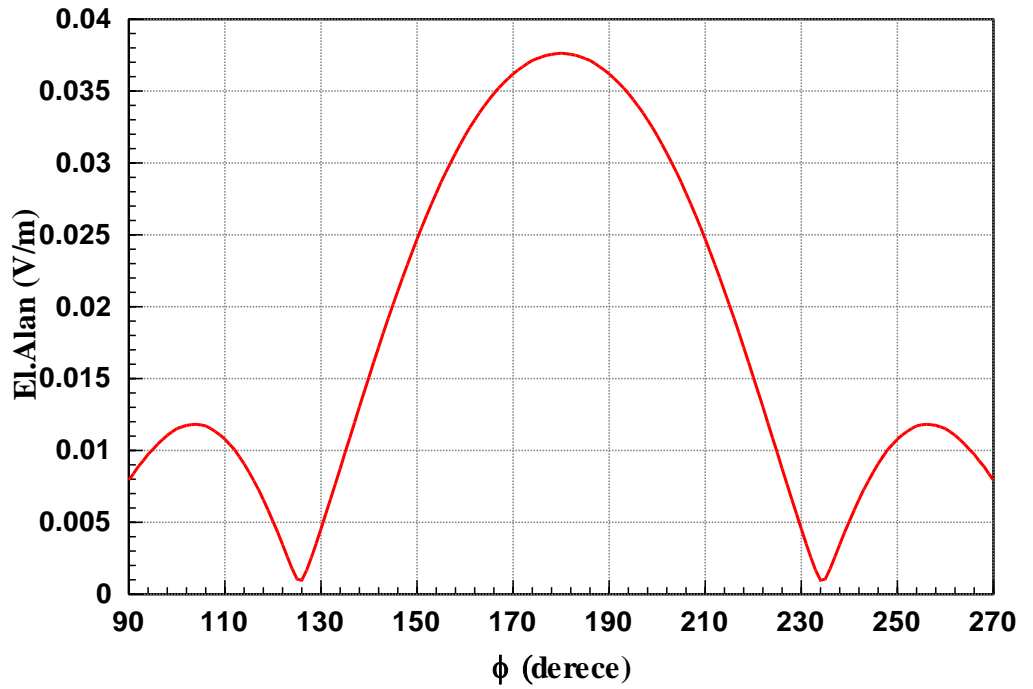
Çizelge 4.15 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$  )

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
11.403	-177.5	210	-99.82

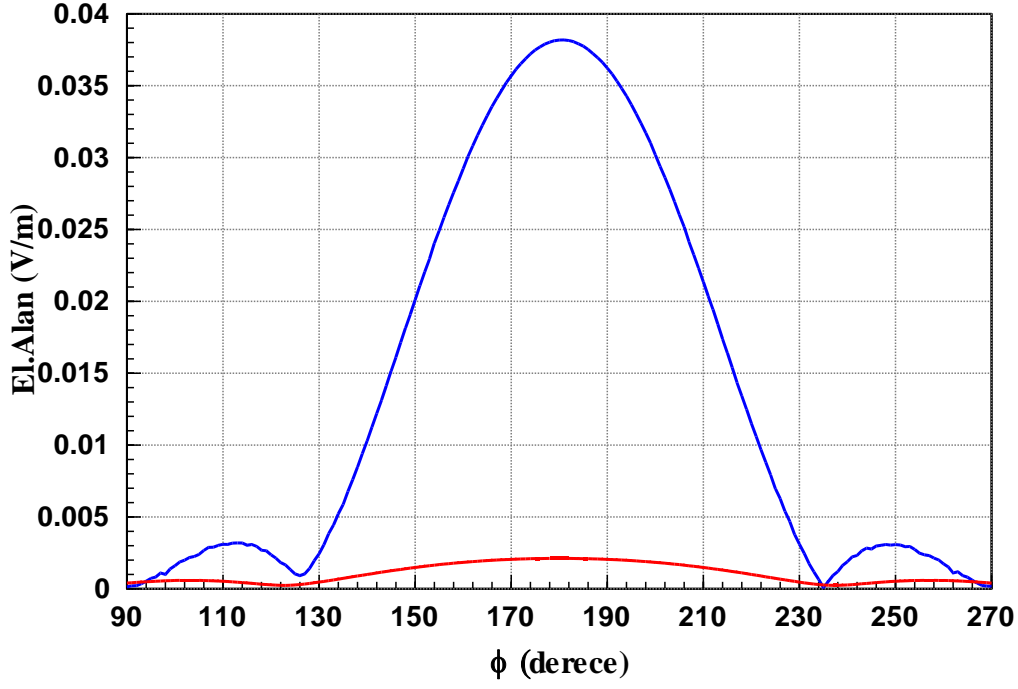
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 190^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.35'de  $1.99 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.36'da  $36.19 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.35 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

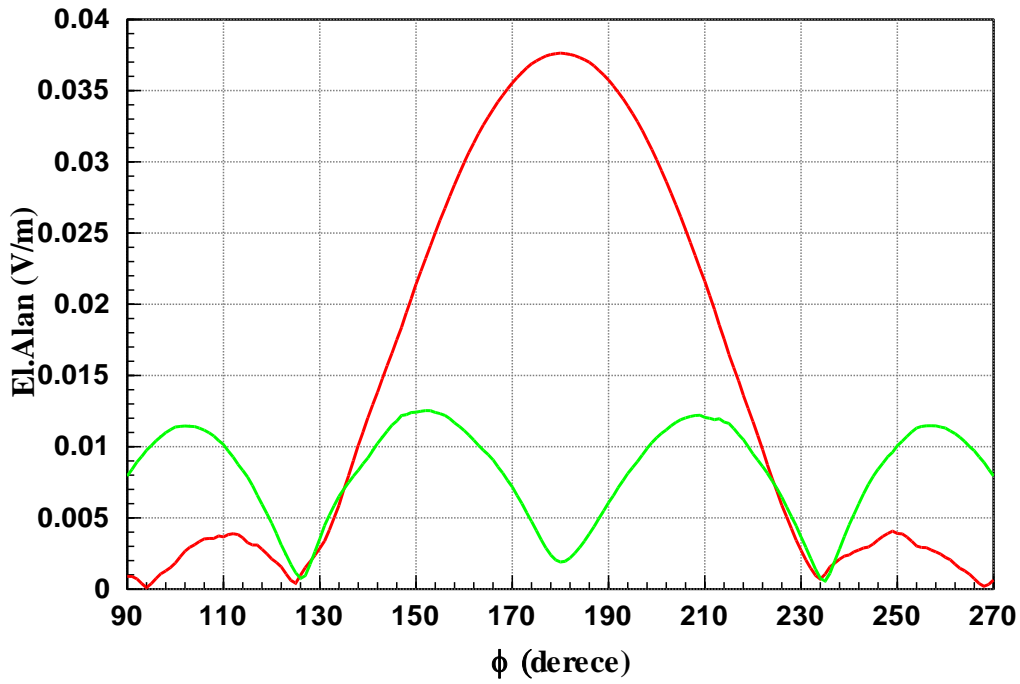


Şekil 4.36 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.37 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.37’de bir arada çizdirilmiştir.



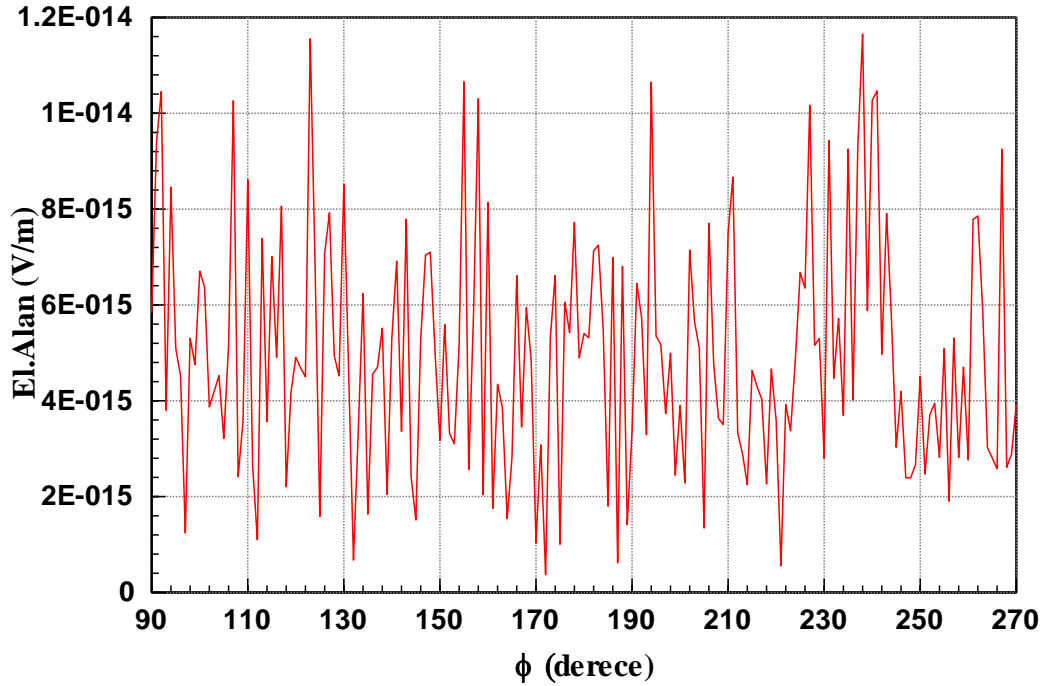


Şekil 4.38 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Şekil 4.38'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

### 4.3.3. Senaryo 3

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 195^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $5.65 \text{ fV}$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.11'de  $108 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



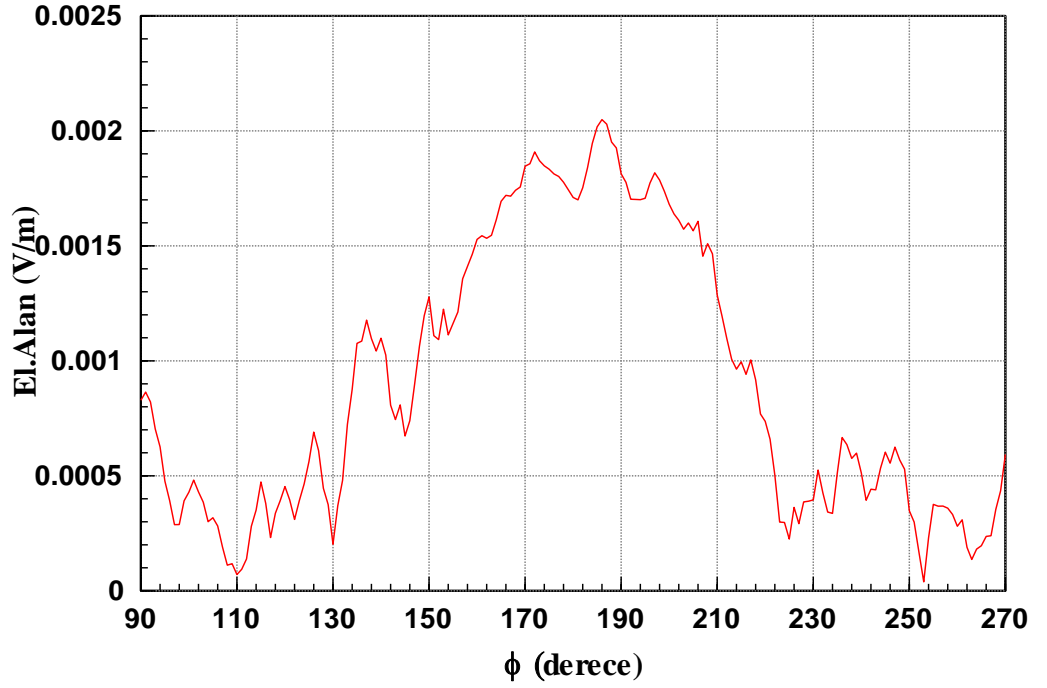
Şekil 4.39 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 15^\circ$   $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

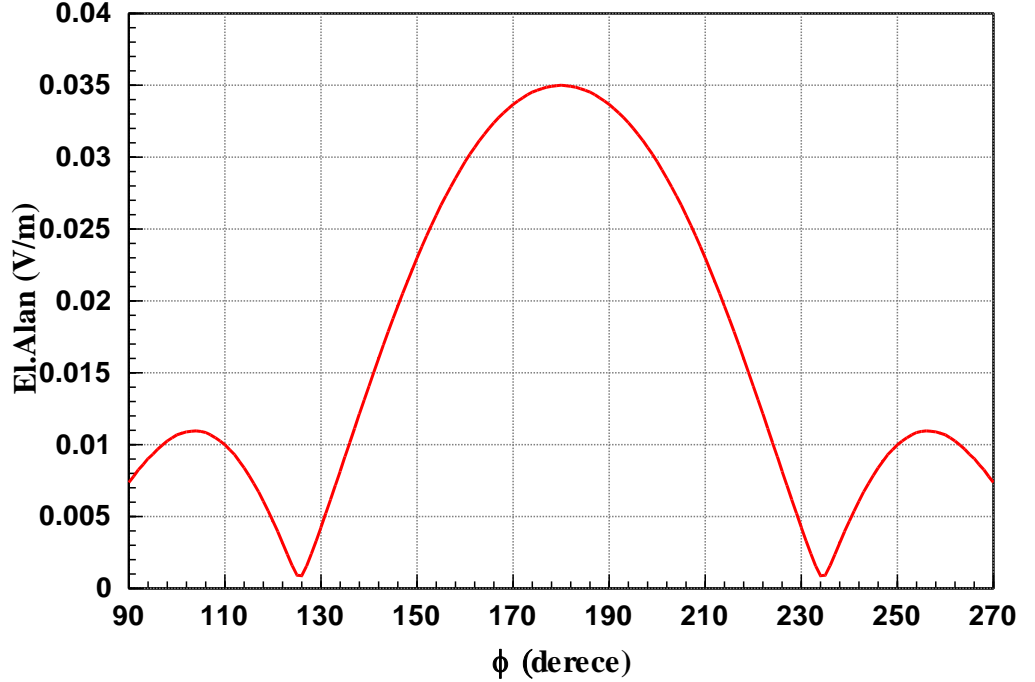
Çizelge 4.16 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 15^\circ, \theta = 90^\circ$ )

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
10.58979	-51.6697	177.55	29.9409

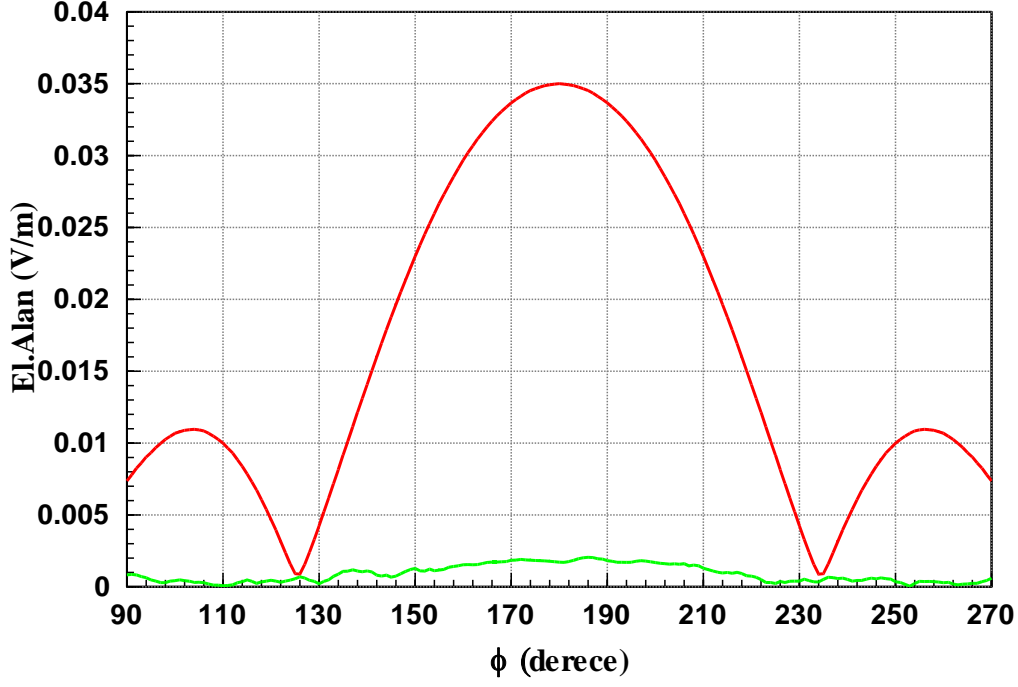
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 15^\circ, \theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 195^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.40'da  $1.707 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.41'de  $32 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.40 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

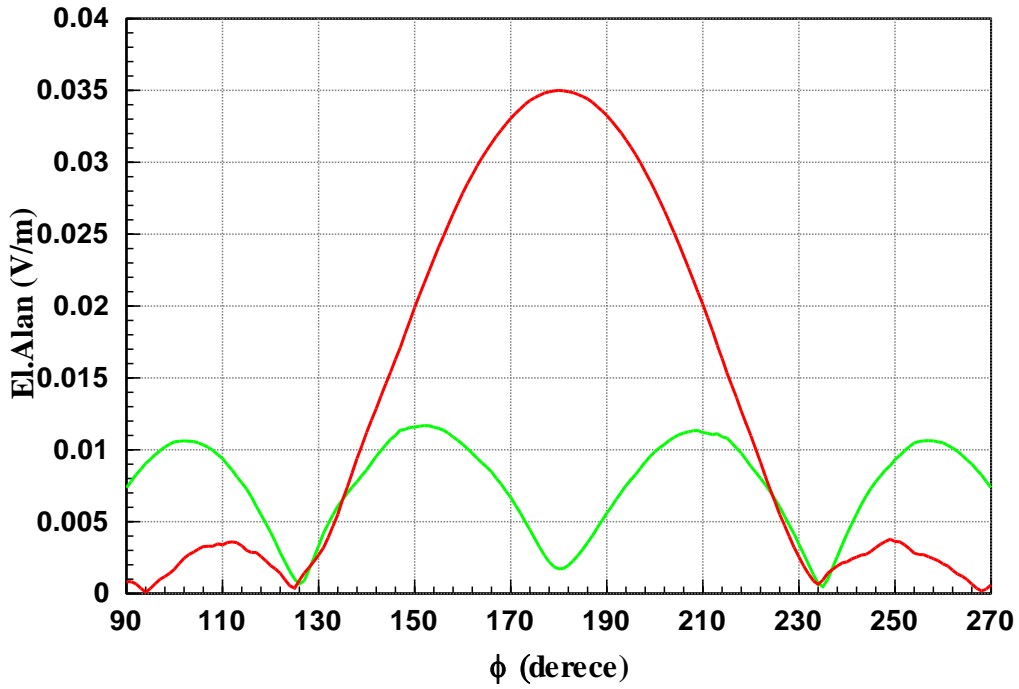


Şekil 4.41 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.42 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.42’de bir arada çizdirilmiştir.

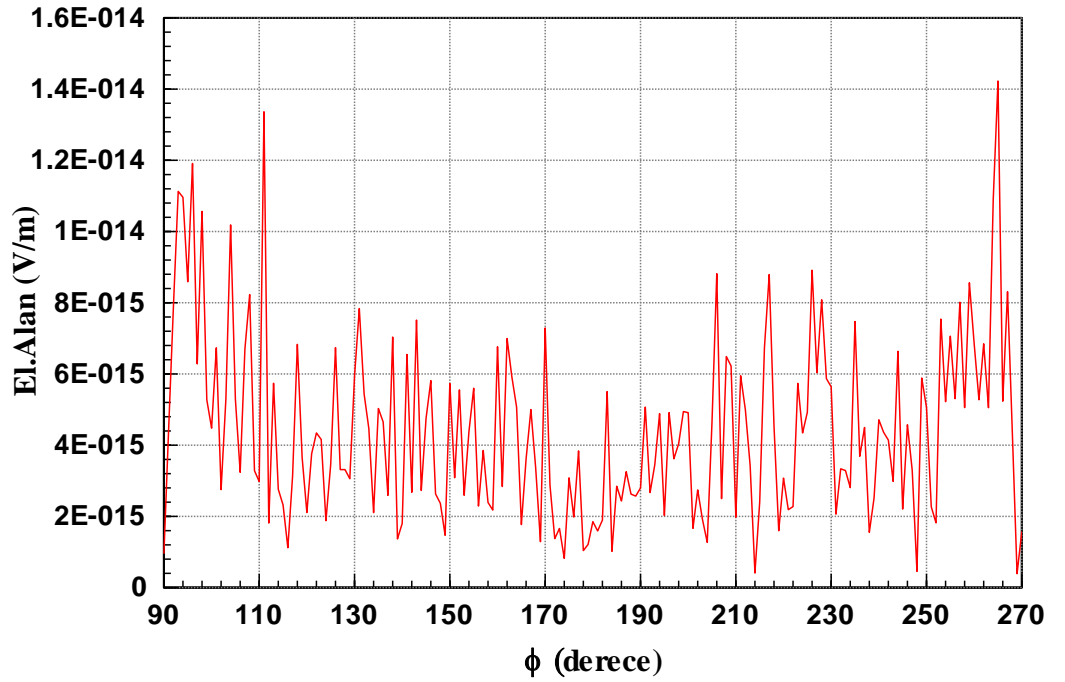


Şekil 4.43 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Şekil 4.43'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.4. Senaryo 4

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 200^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyali değeri  $4.91 \text{ fV}$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyali değeri de Şekil 4.13'de  $94 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



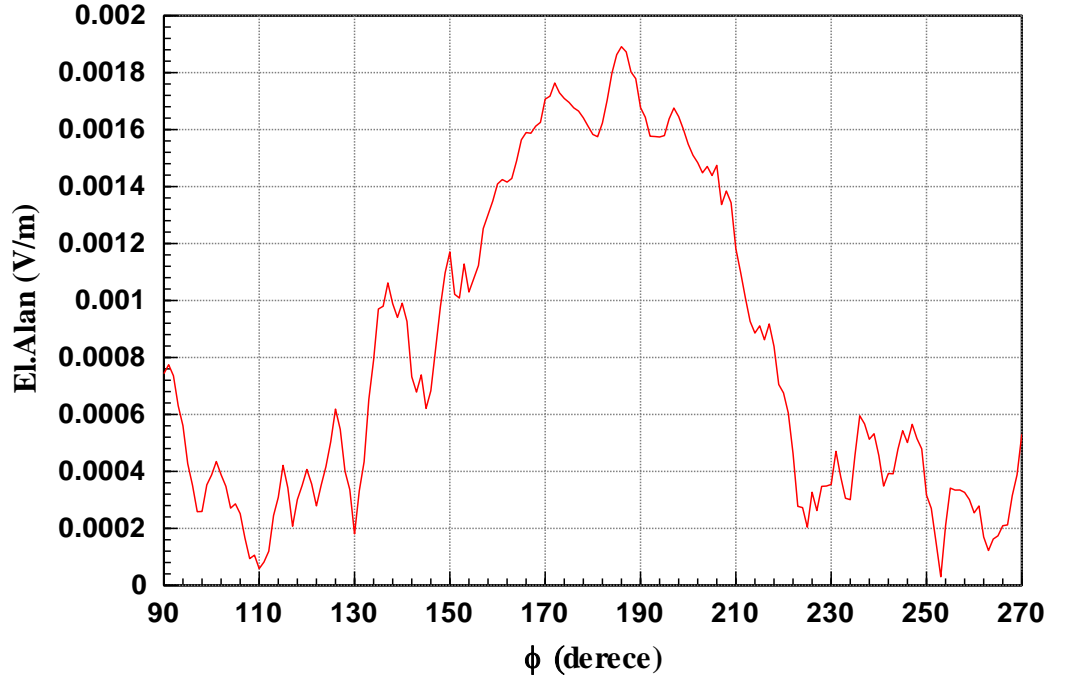
Şekil 4.44 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak,  $\phi = 20^\circ$   $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

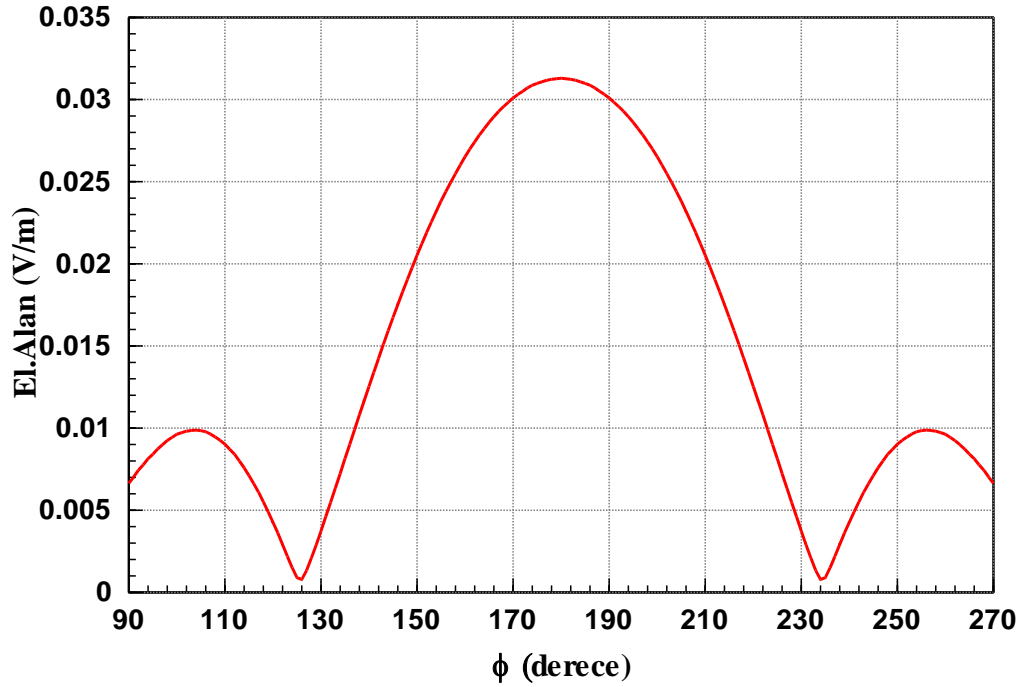
Çizelge 4.17 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 20^\circ, \theta = 90^\circ$  )

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
9.49	62.55	179.68	146.6

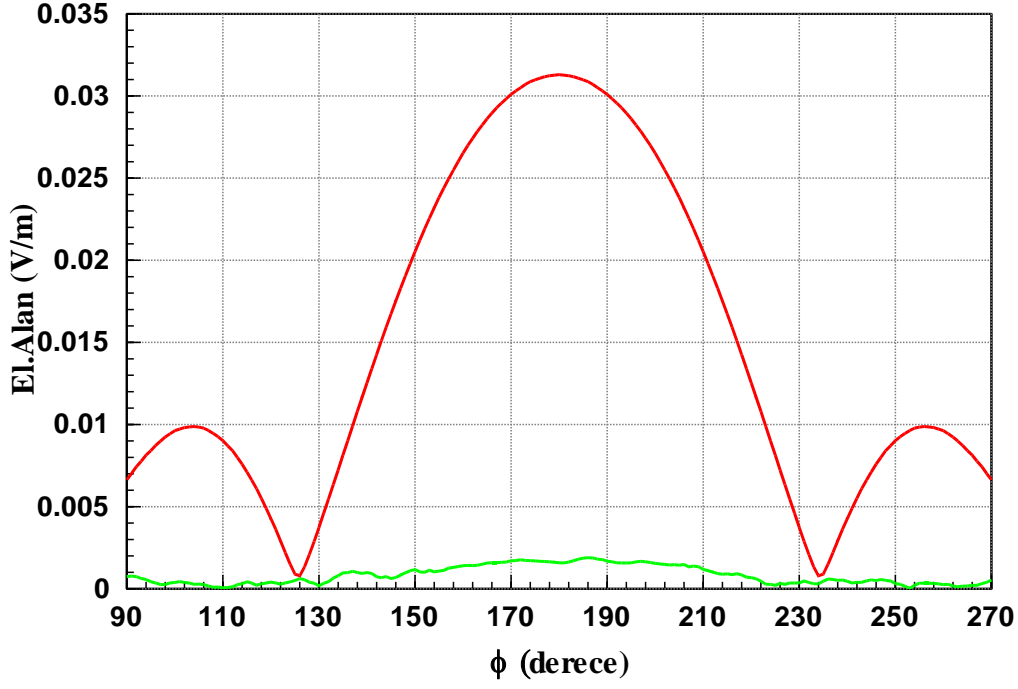
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 20^\circ, \theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 200^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.45'de  $1.54 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.46'da  $26.52 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.45 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

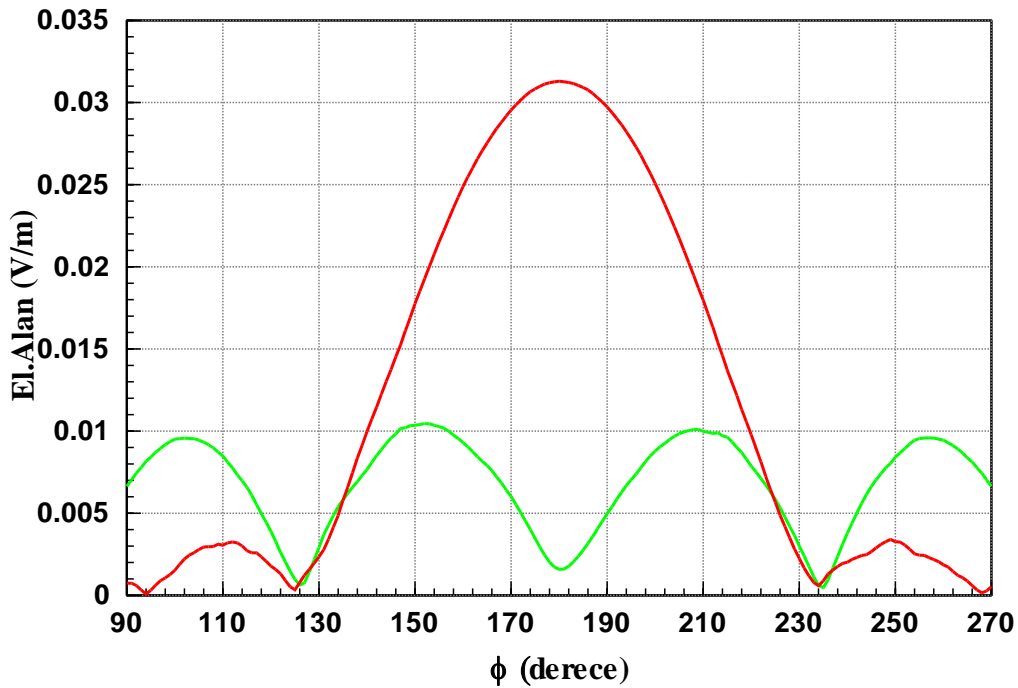


Şekil 4.46 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.47 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.47’de bir arada çizdirilmiştir.



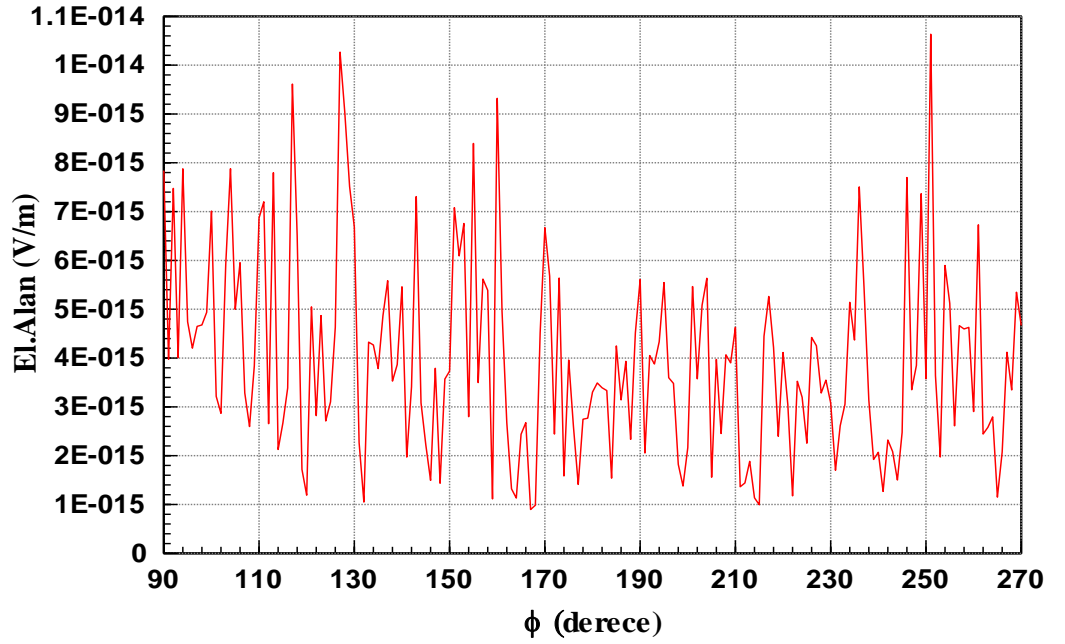


Şekil 4.48 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Şekil 4.48'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.5. Senaryo 5

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 205^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $1.87 \text{ fV}$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.15'de  $60 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



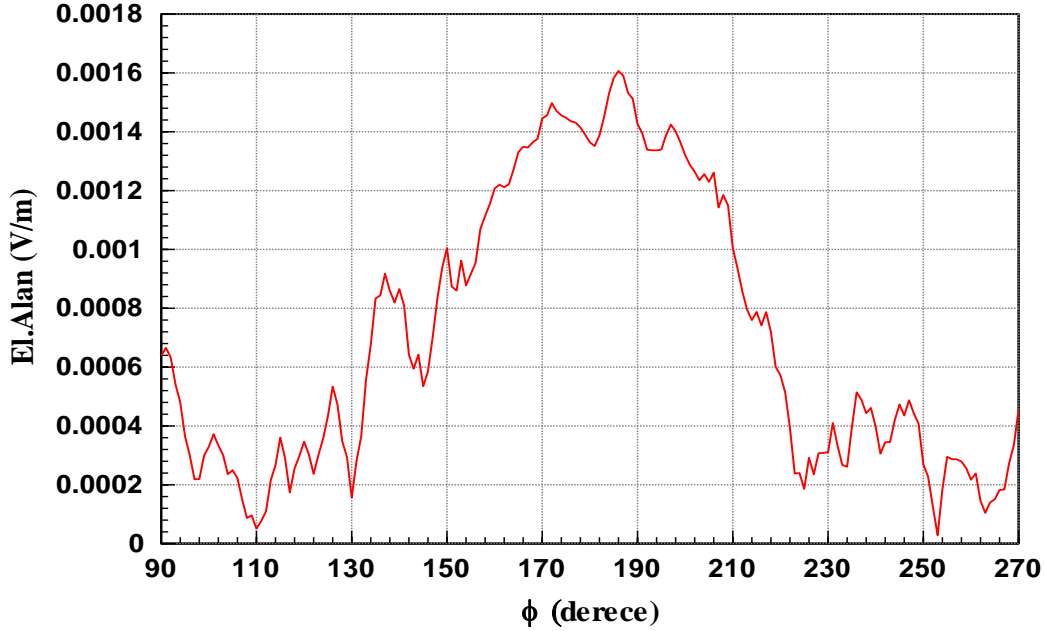
Şekil 4.49 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , yatay polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

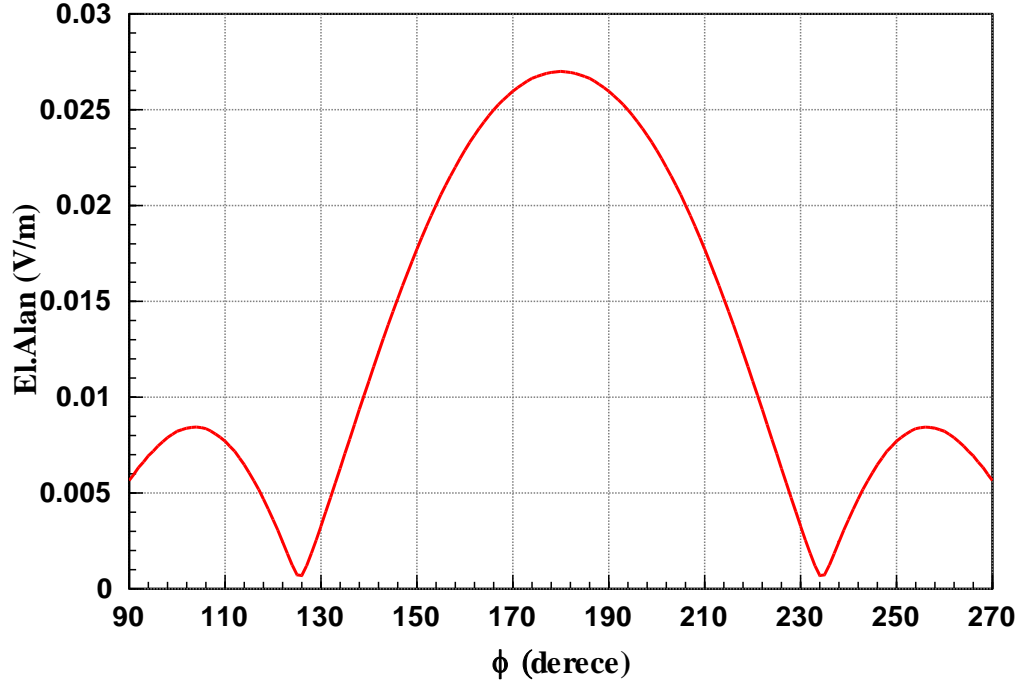
Çizelge 4.18 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ )

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
8.18	175	149.37	-110.56

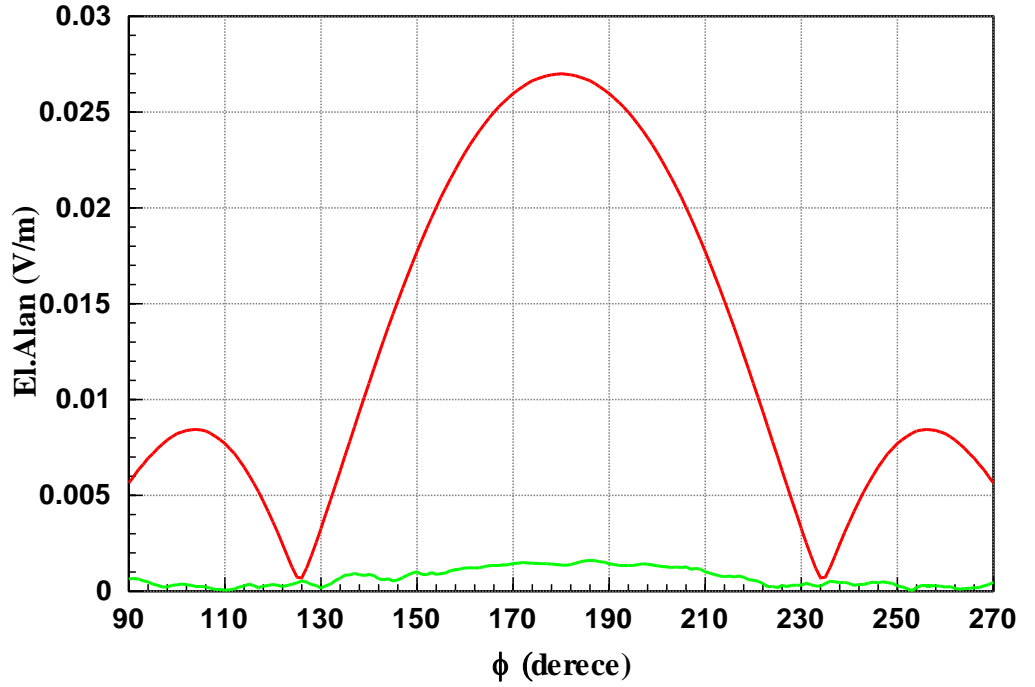
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 205^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.50'de  $1.23 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.51'de  $20.6 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.50 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ, \theta = 90^\circ$ )

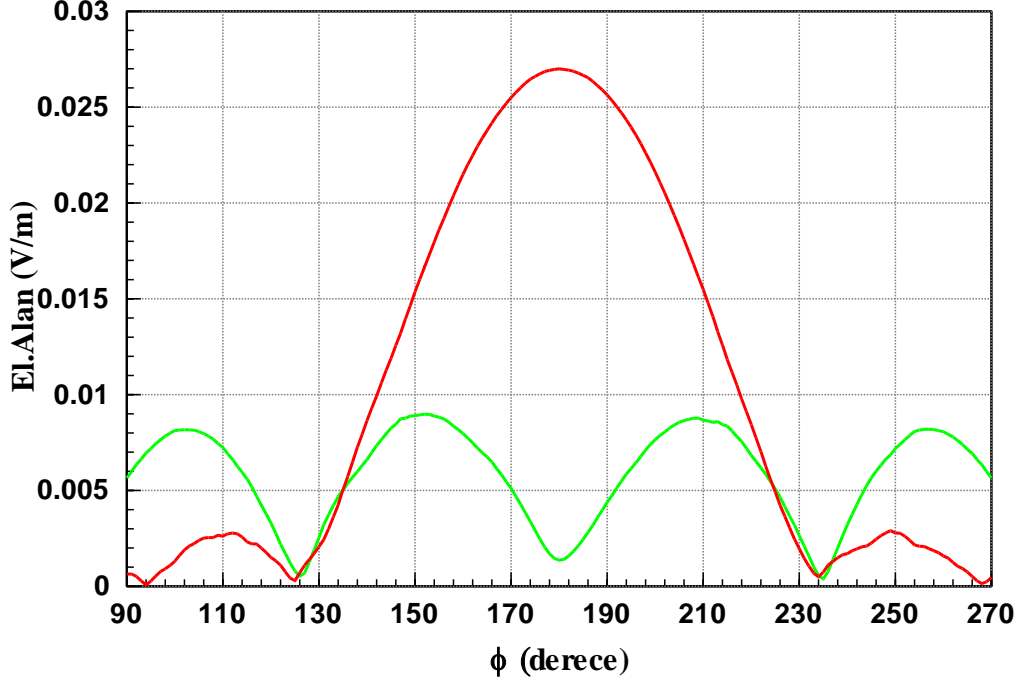


Şekil 4.51 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.52 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.52’de bir arada çizdirilmiştir.

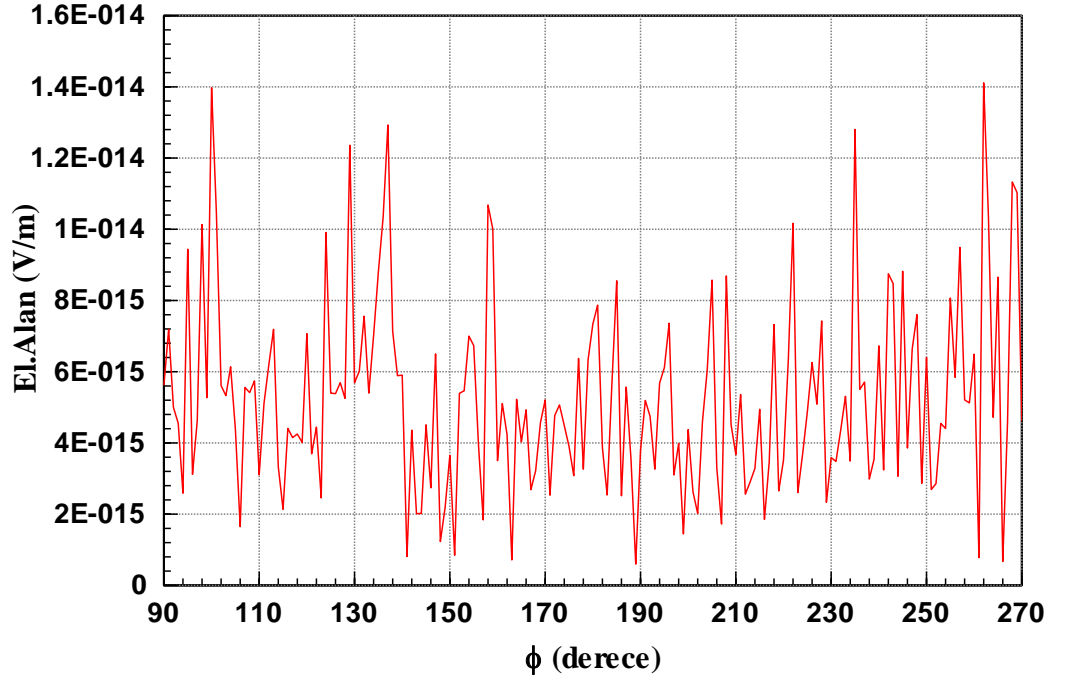


Şekil 4.53 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Şekil 4.53’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.6. Senaryo 6

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 210^\circ$ ’de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $3.67 \text{ fV}$ ’dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.12’de  $172 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.54 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , yatay polarize sinyal)

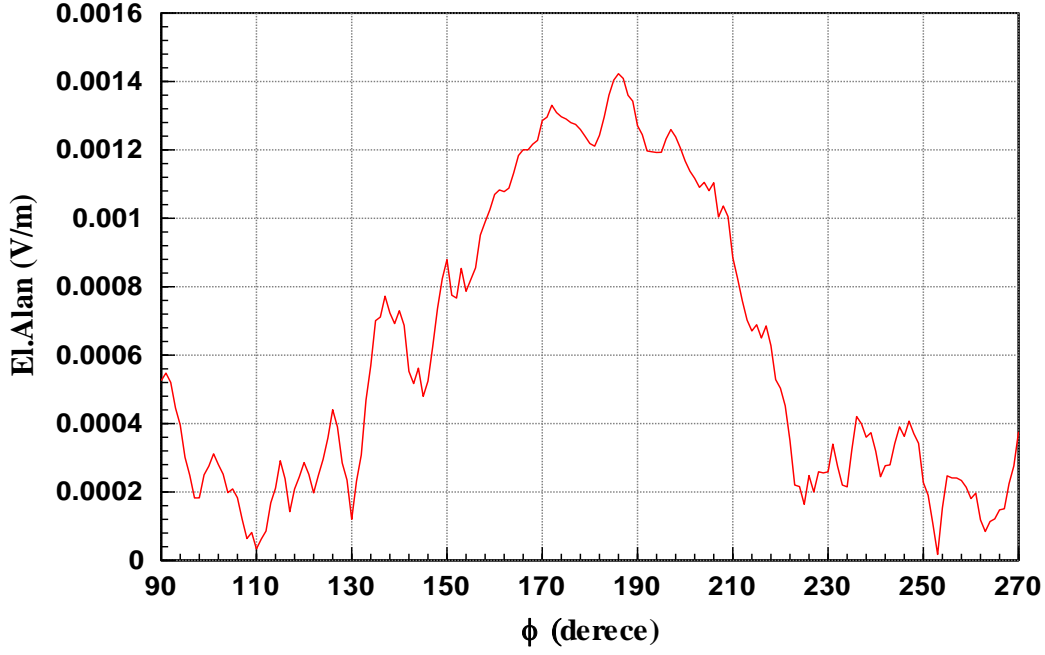
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 30^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.19 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 30^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

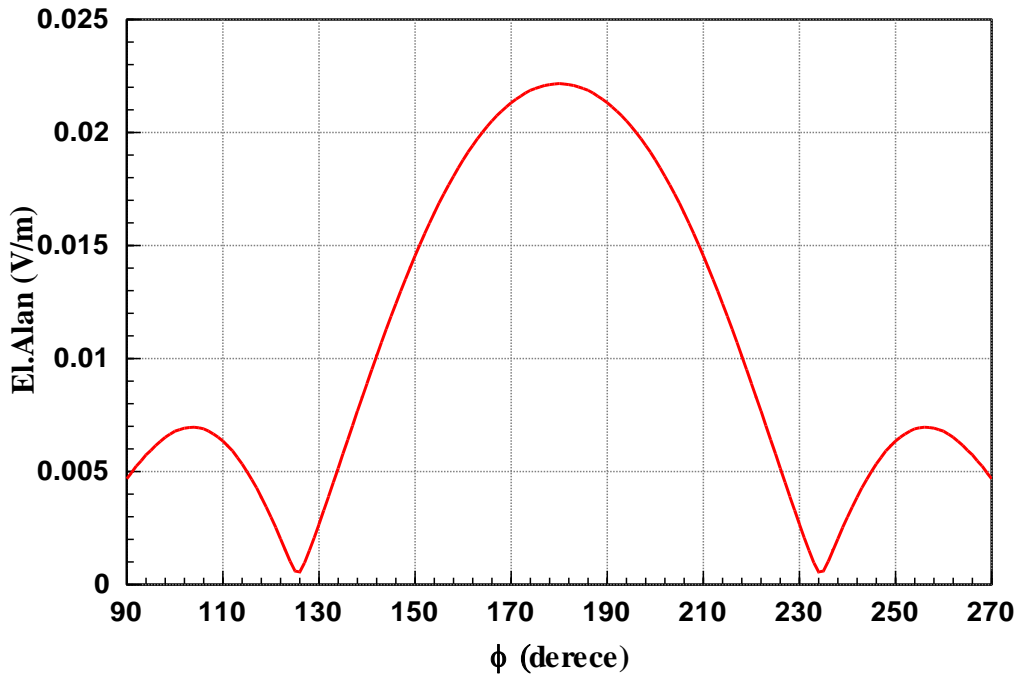
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
6.71	-61.32	152.12	16.06

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 30^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

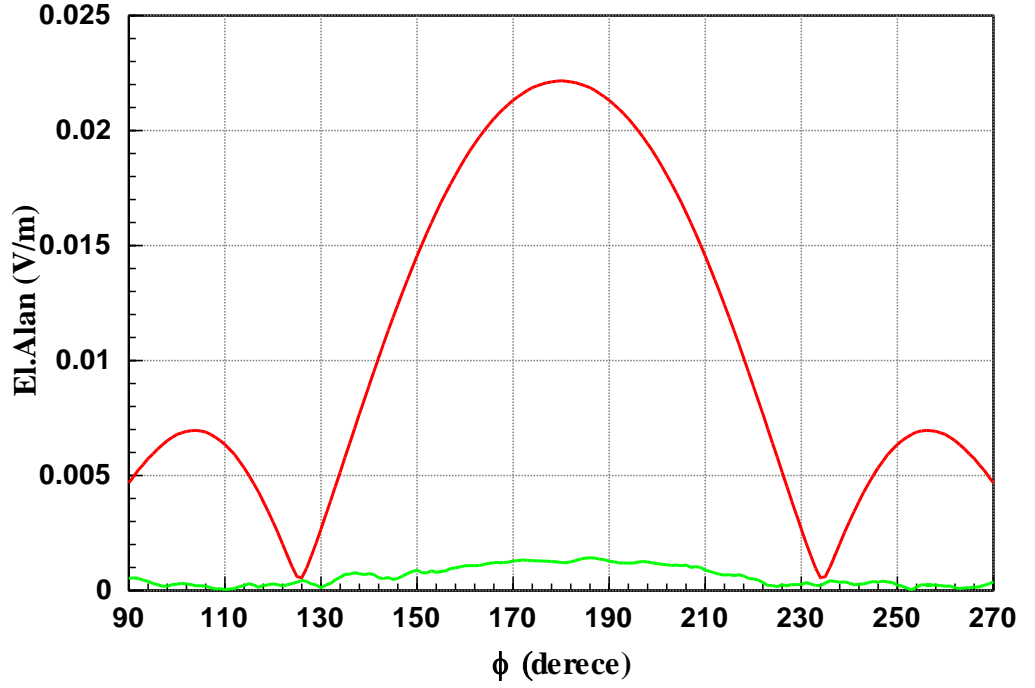
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 210^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.55'de  $0.88 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.56'da  $14.6 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.55 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

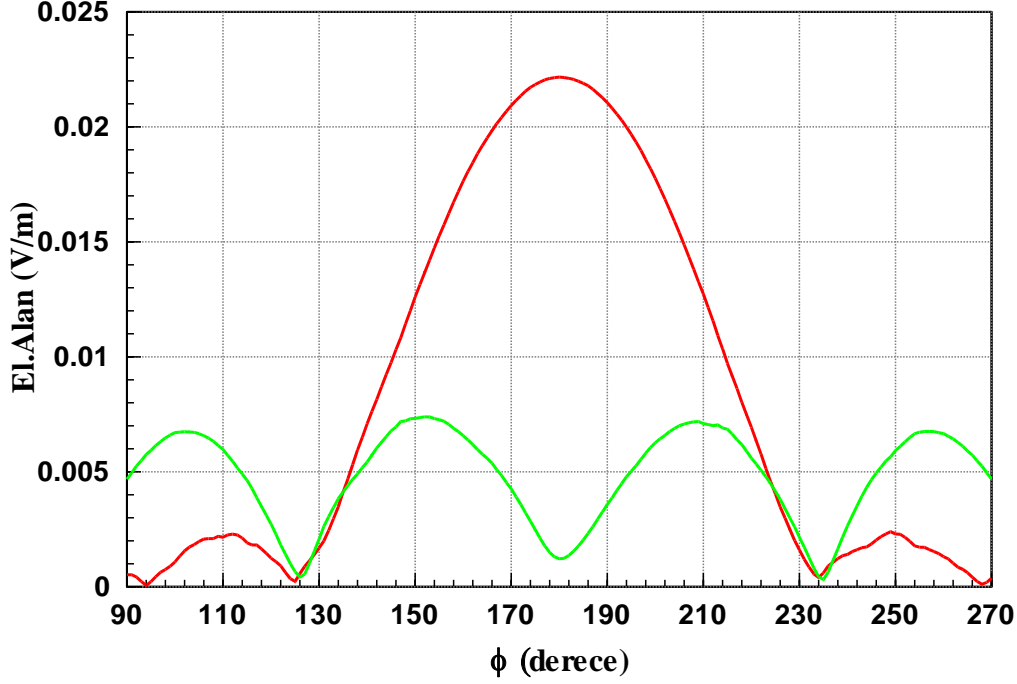


Şekil 4.56 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )



Şekil 4.57 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.58’de bir arada çizdirilmiştir.



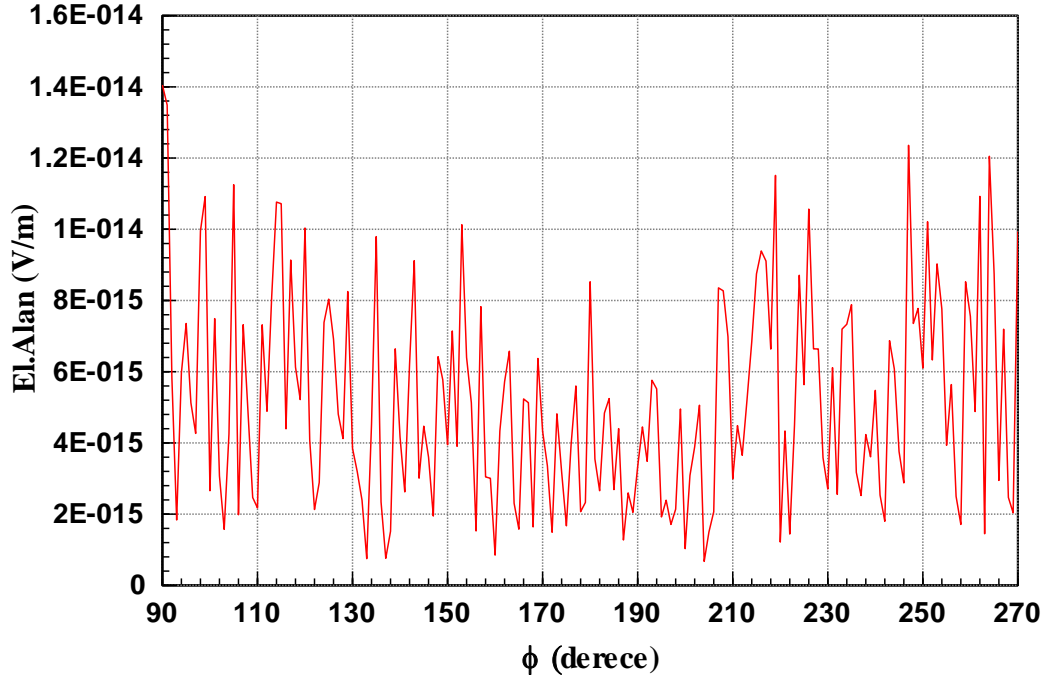
Şekil 4.58 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.58’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.7. Senaryo 7

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 215^\circ$ ’de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $8.77 \text{ fV}$ ’dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.19’da  $264 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.





Şekil 4.59 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , yatay polarize sinyal)

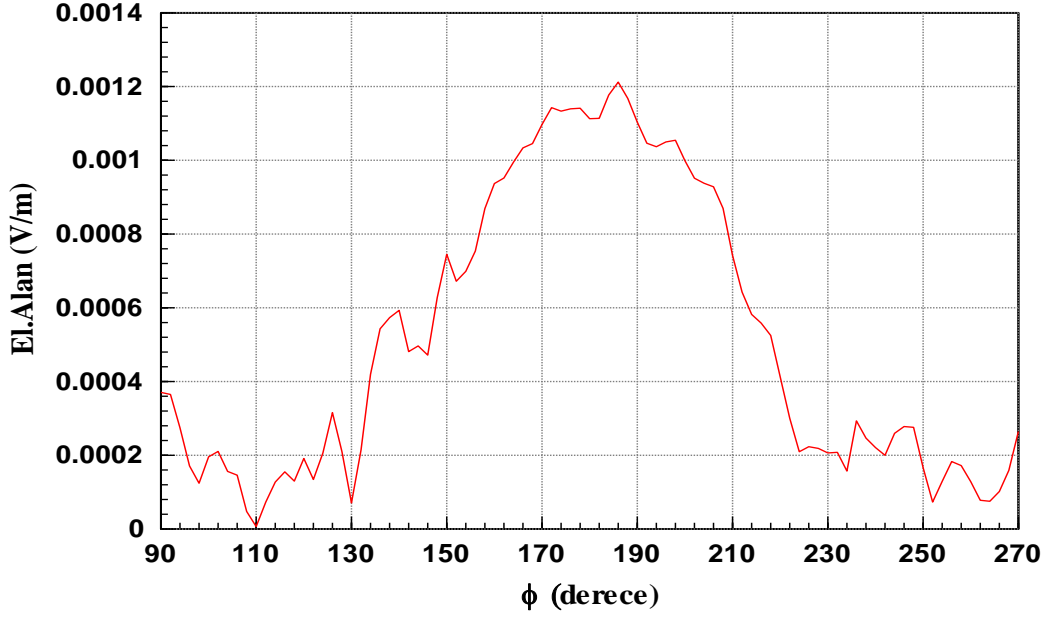
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.20 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

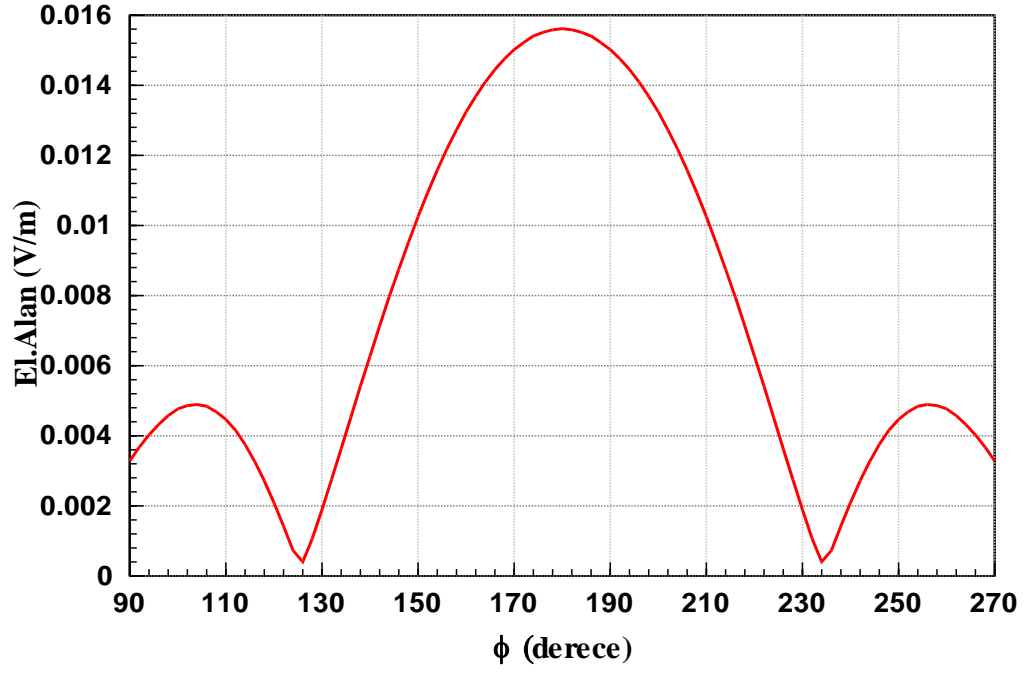
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
4.7317	80.3	183	139

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek

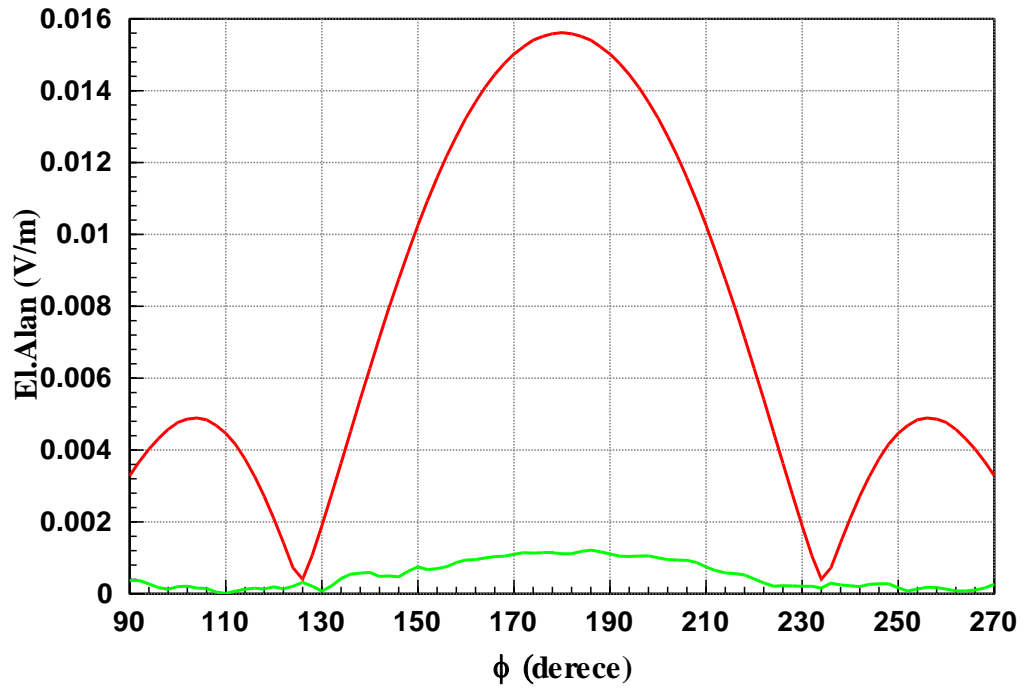
$\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 215^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.60'da  $0.48 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.61'de  $8.35 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.60 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

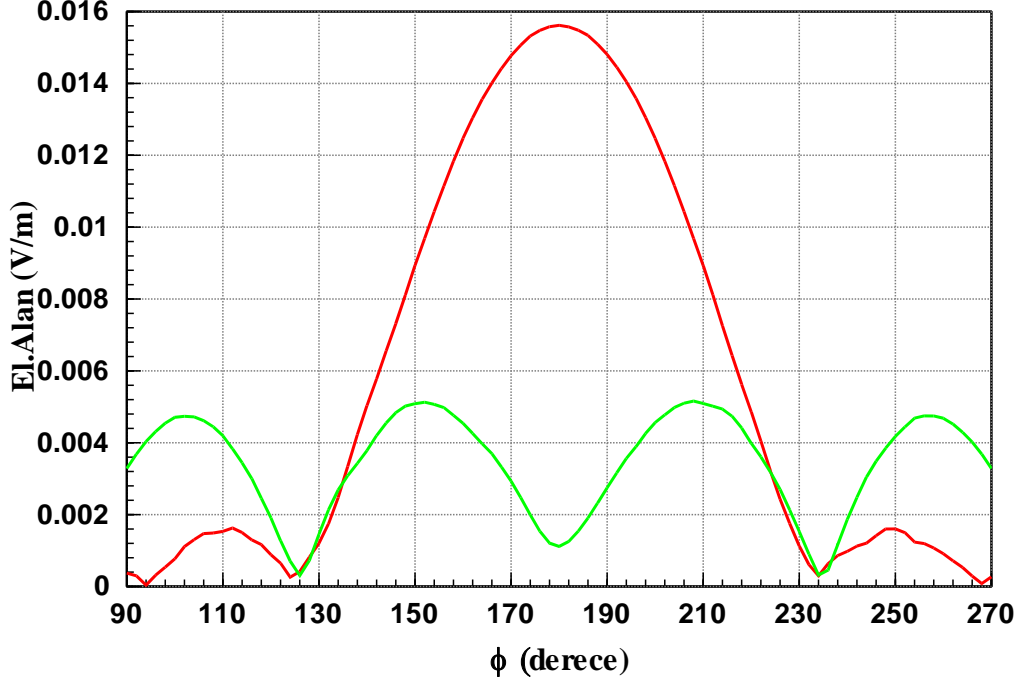


Şekil 4.61 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.62 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.62’de bir arada çizdirilmiştir.

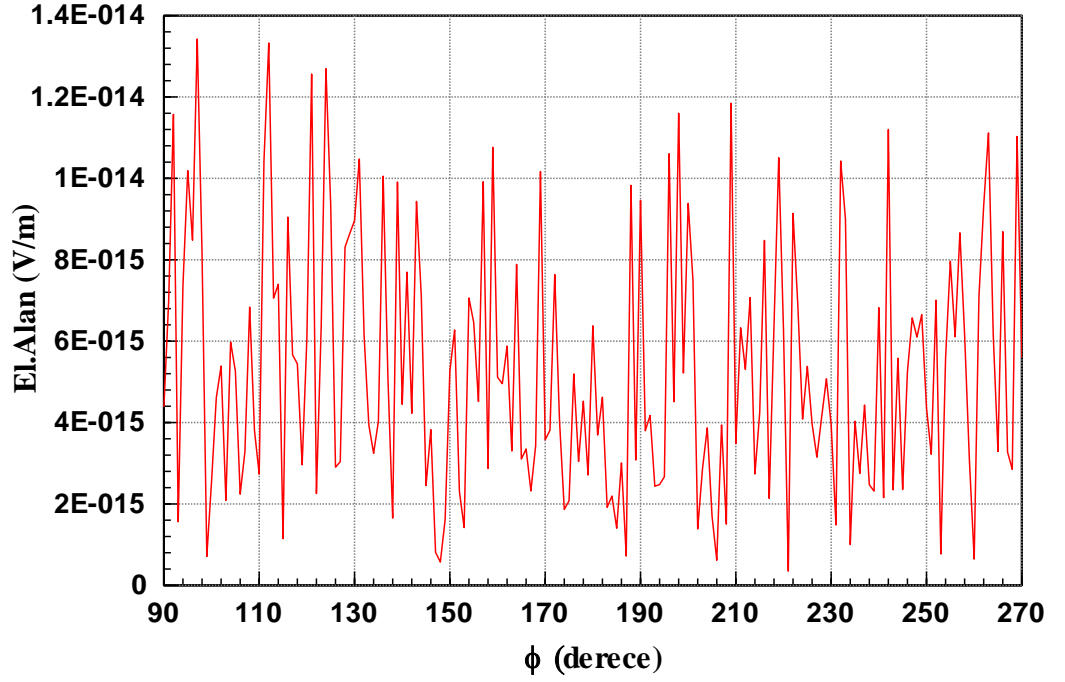


Şekil 4.63 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.63’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.8. Senaryo 8

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 220^\circ$ ’de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $6.27 \text{ fV}$ ’dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.21’de  $75.5 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.64 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , yatay polarize sinyal)

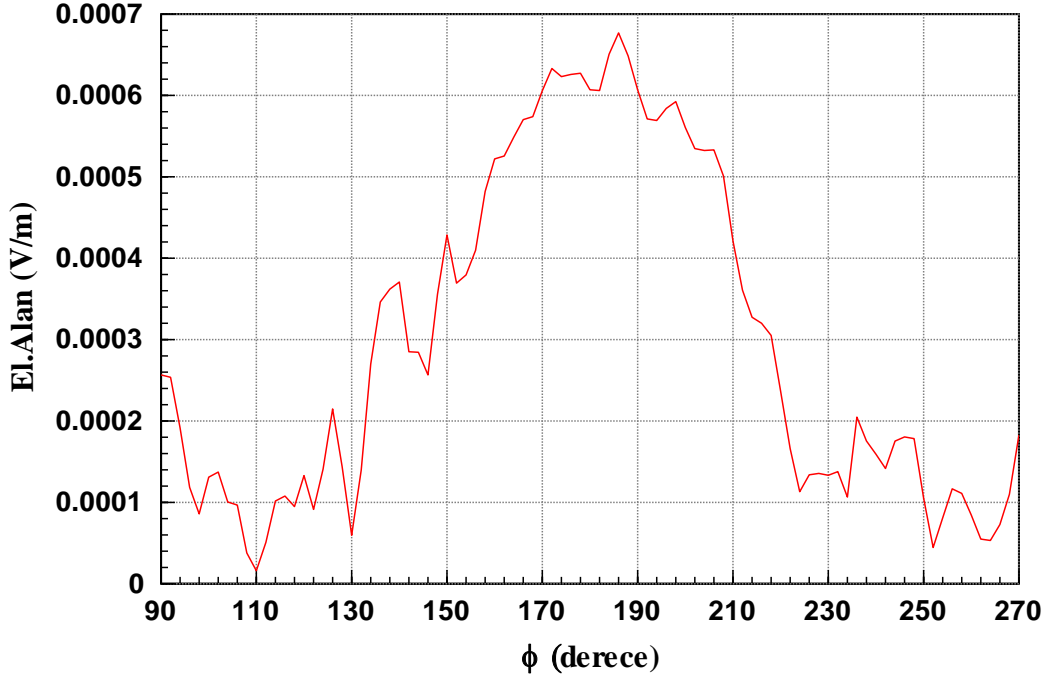
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.21 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

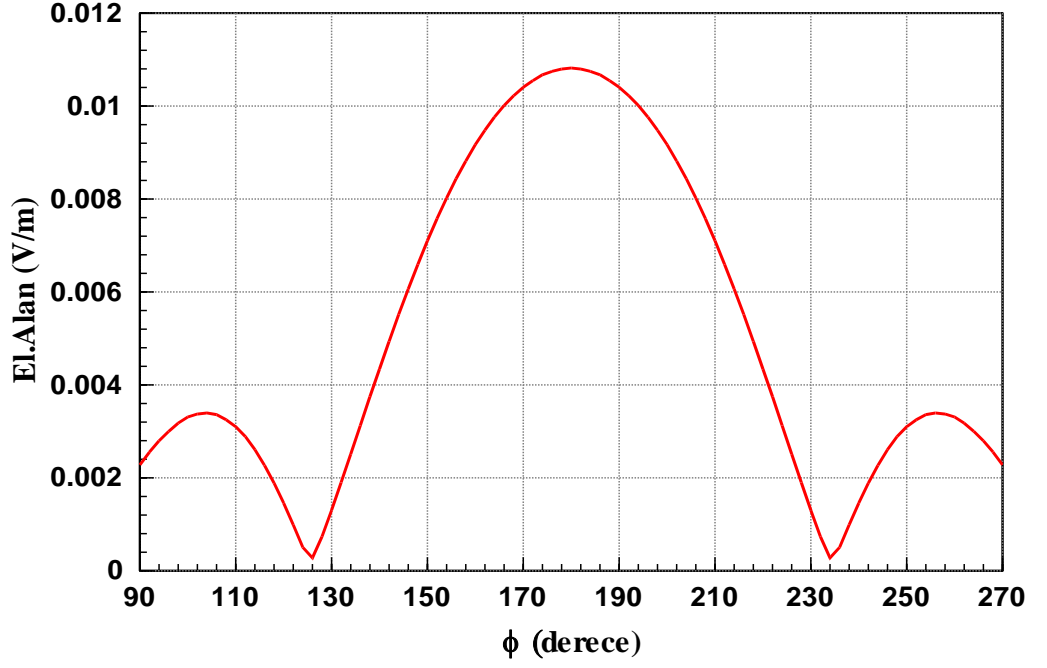
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
3.2757	-88	78.12	-36.065

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

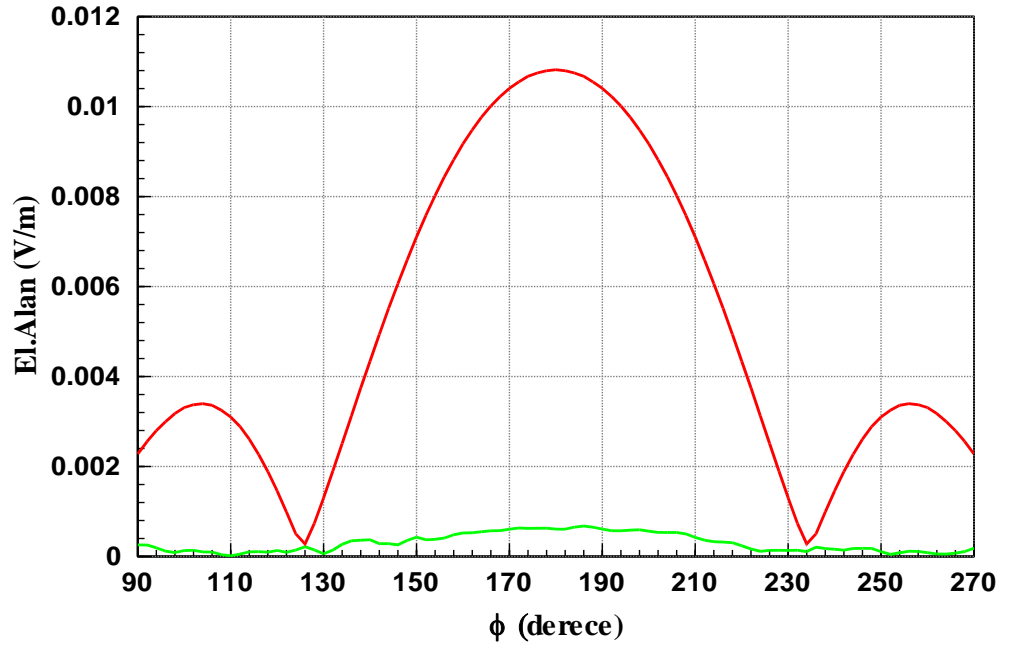
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 220^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.65'de  $0.371 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.66'da  $4.34 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.65 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

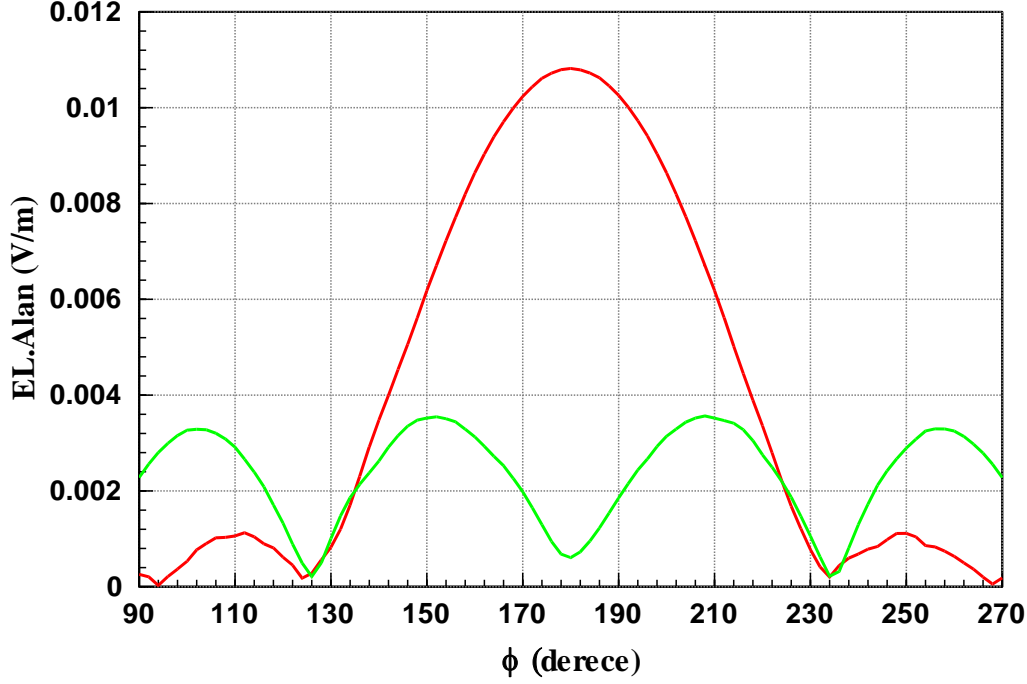


Şekil 4.66 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.67 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.67'de bir arada çizdirilmiştir.



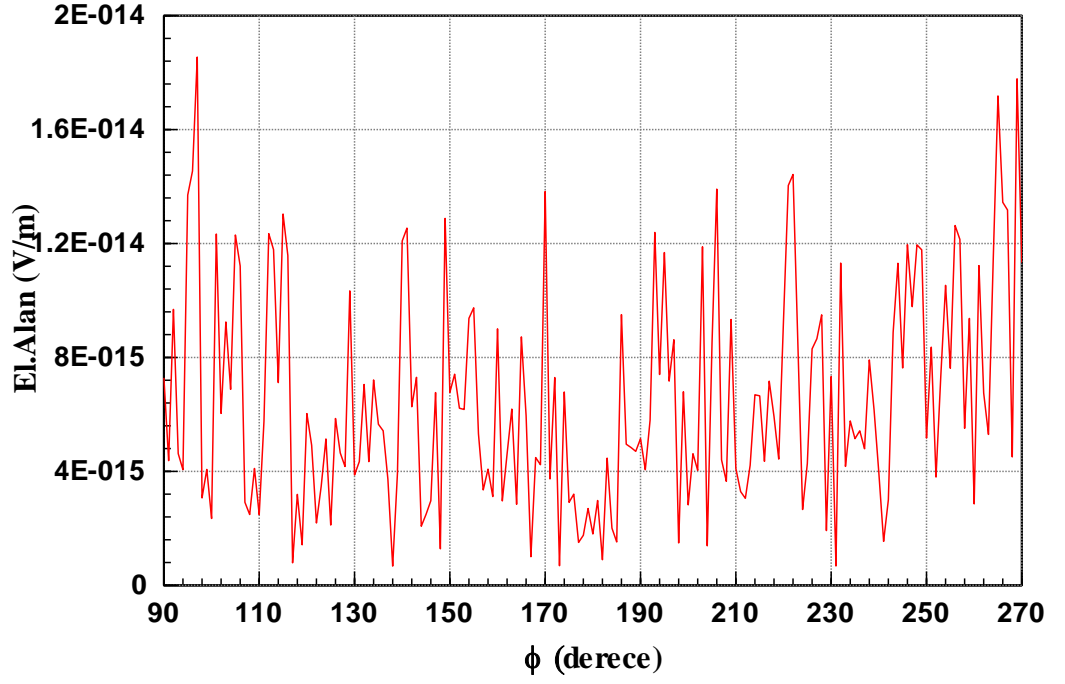
Şekil 4.68 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.68'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.9. Senaryo 9

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 225^\circ$ 'de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $4.27 \text{ fV}$ 'dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.23'de  $85.4 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.





Şekil 4.69 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , yatay polarize sinyal)

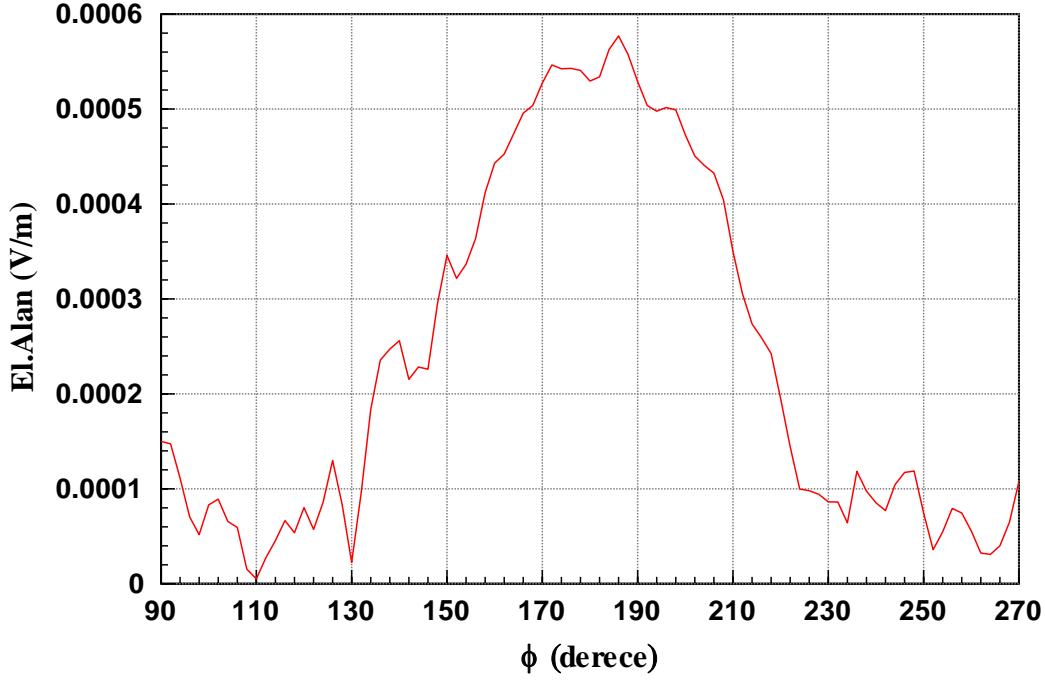
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.22 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

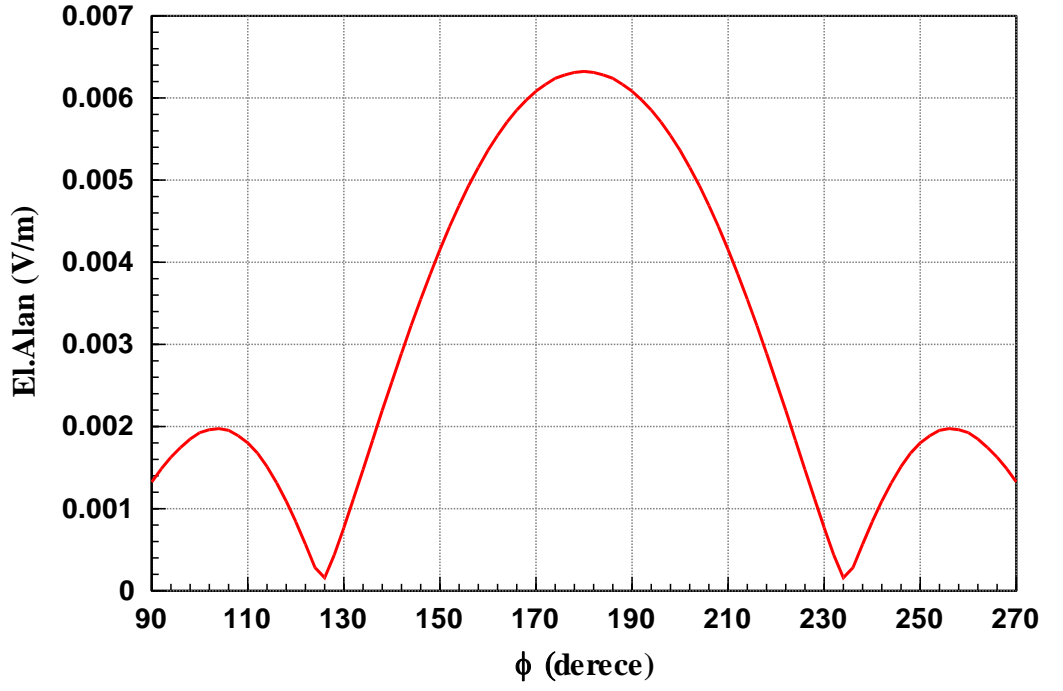
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
1.9164	168	97.5	-123

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

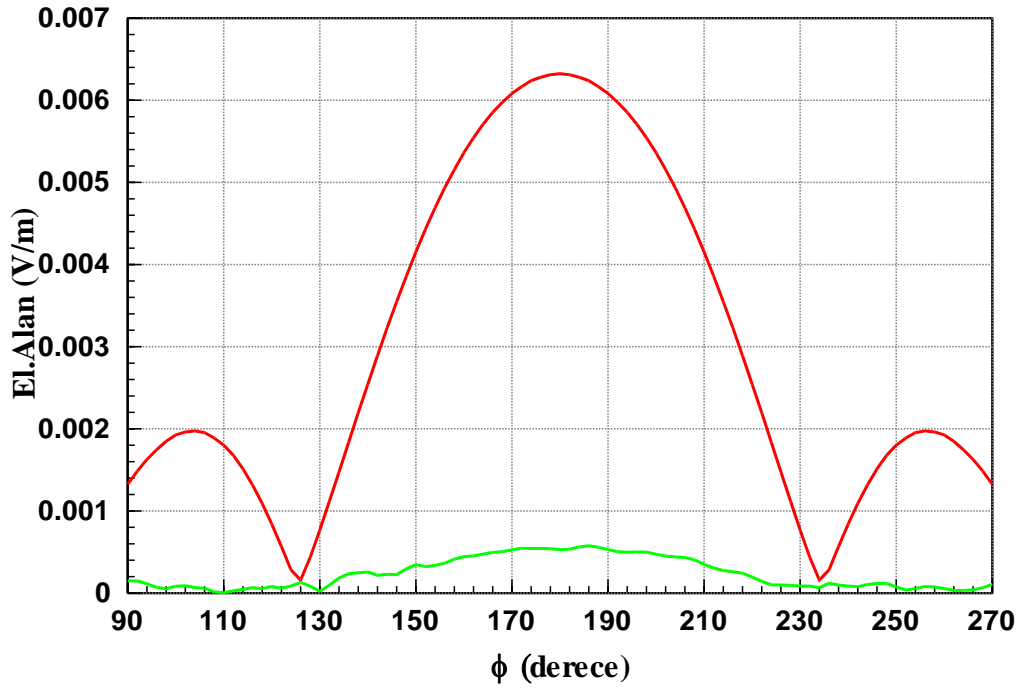
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 225^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.70'de  $0.209 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.71'de  $1.65 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.70 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

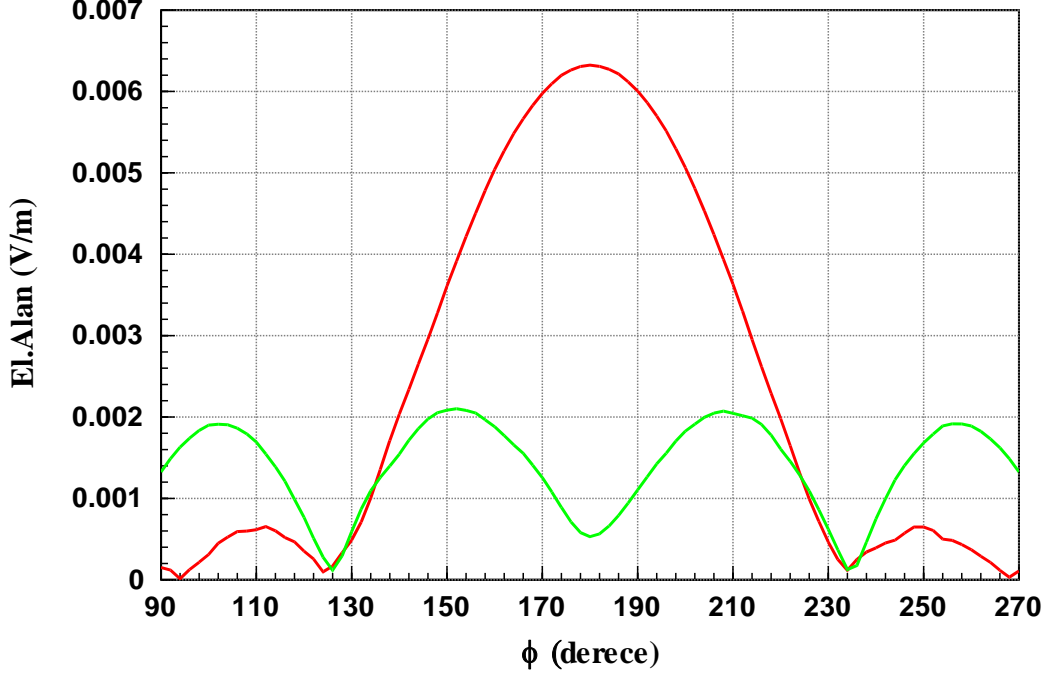


Şekil 4.71 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.72 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.72’de bir arada çizdirilmiştir.

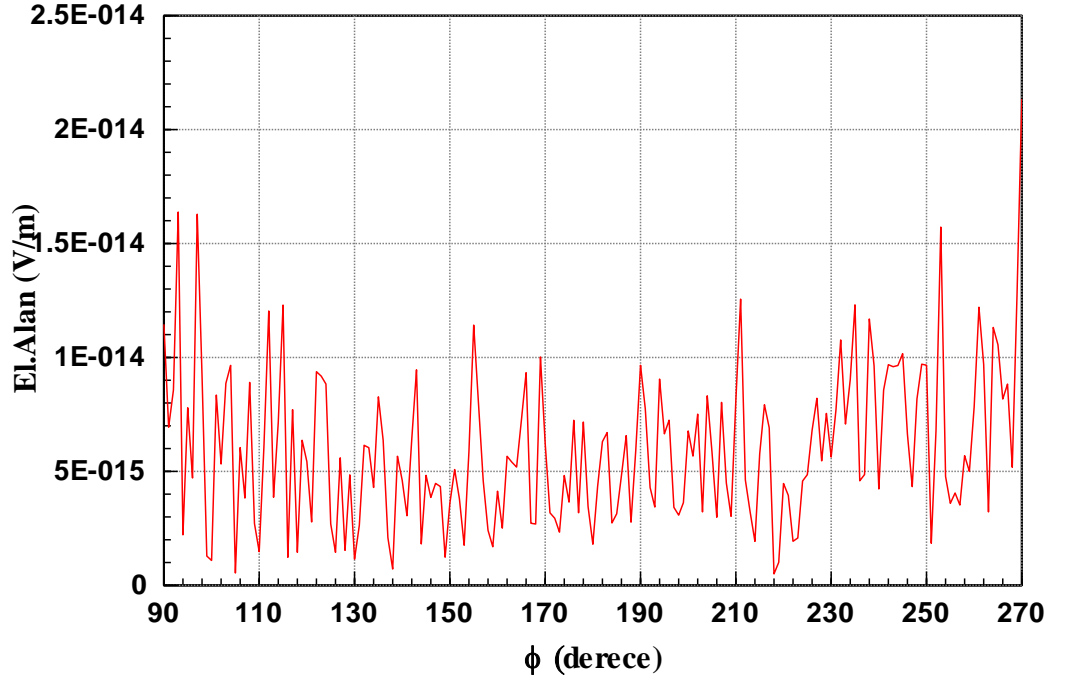


Şekil 4.73 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.73’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.10. Senaryo 10

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (yatay polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 230^\circ$ ’de dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $5.7 \text{ fV}$ ’dur. Yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.25’de  $13 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.74 İHA dikey polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , yatay polarize sinyal)

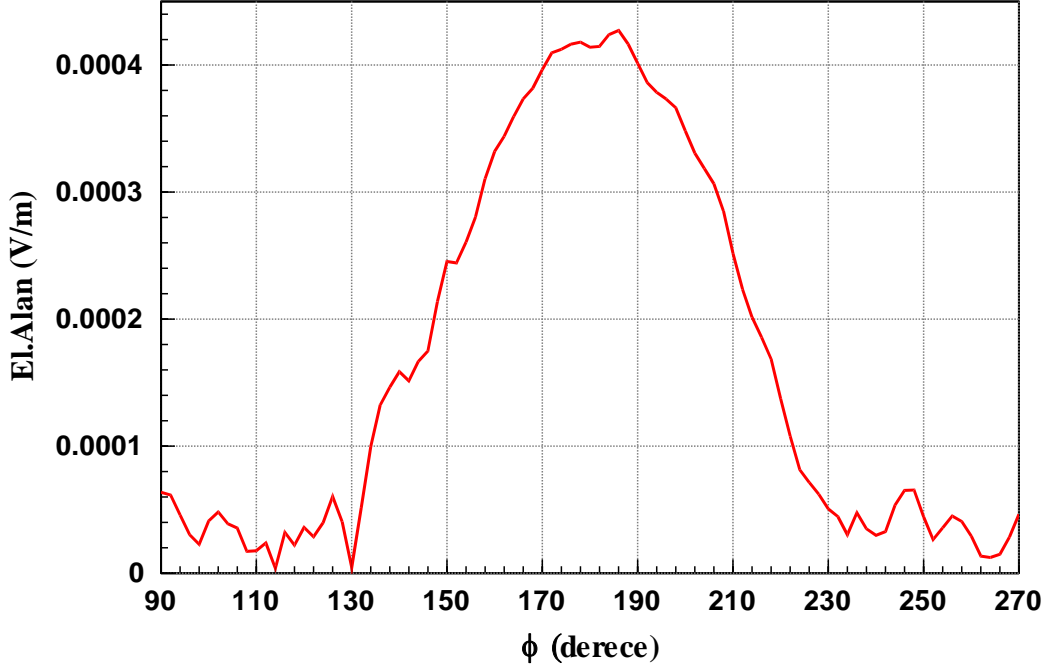
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  yatay polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.23 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

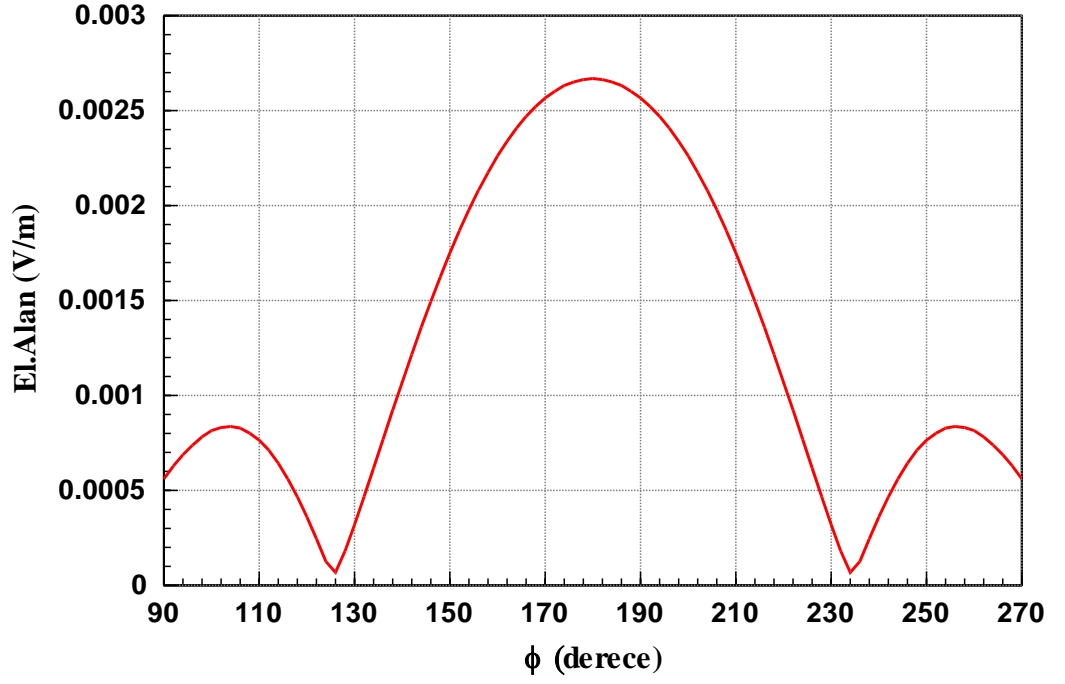
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
808.2	140.93	97.5	-153.03

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

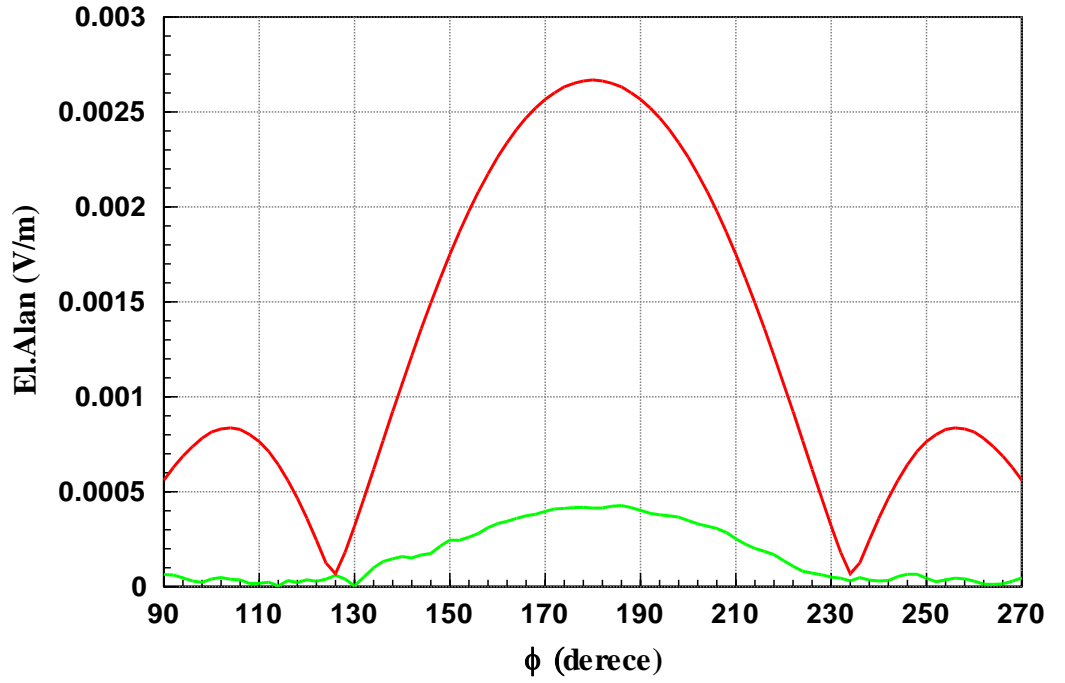
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 230^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.75’de  $0.0508 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.76’da  $0.31 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.75 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

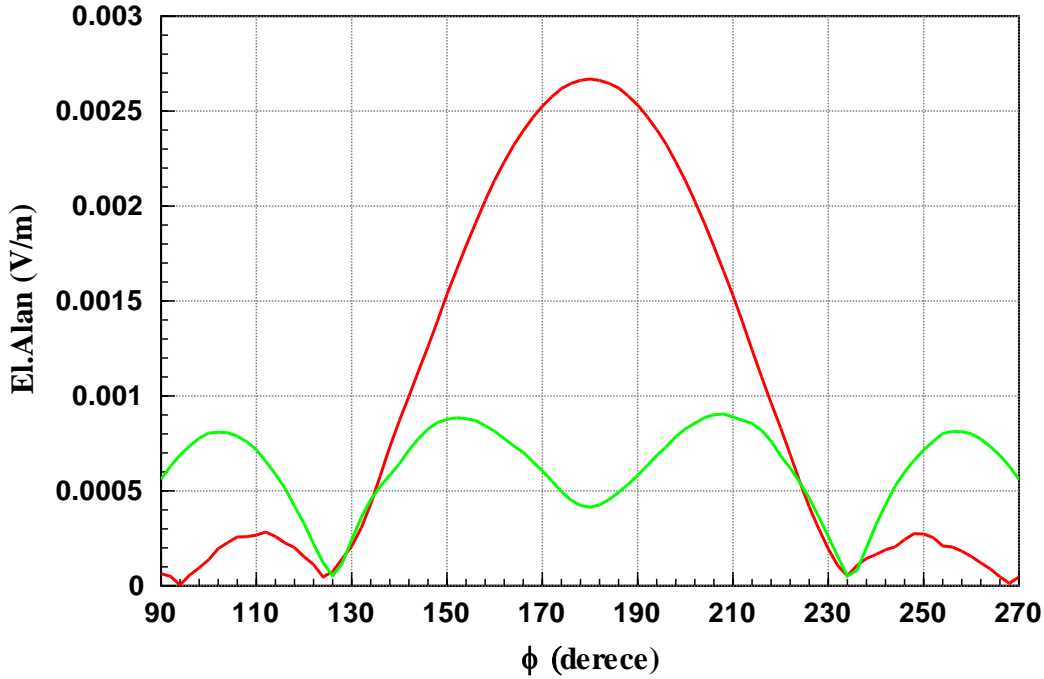


Şekil 4.76 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.77 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.77’de bir arada çizdirilmiştir.



Şekil 4.78 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.78’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğ erinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

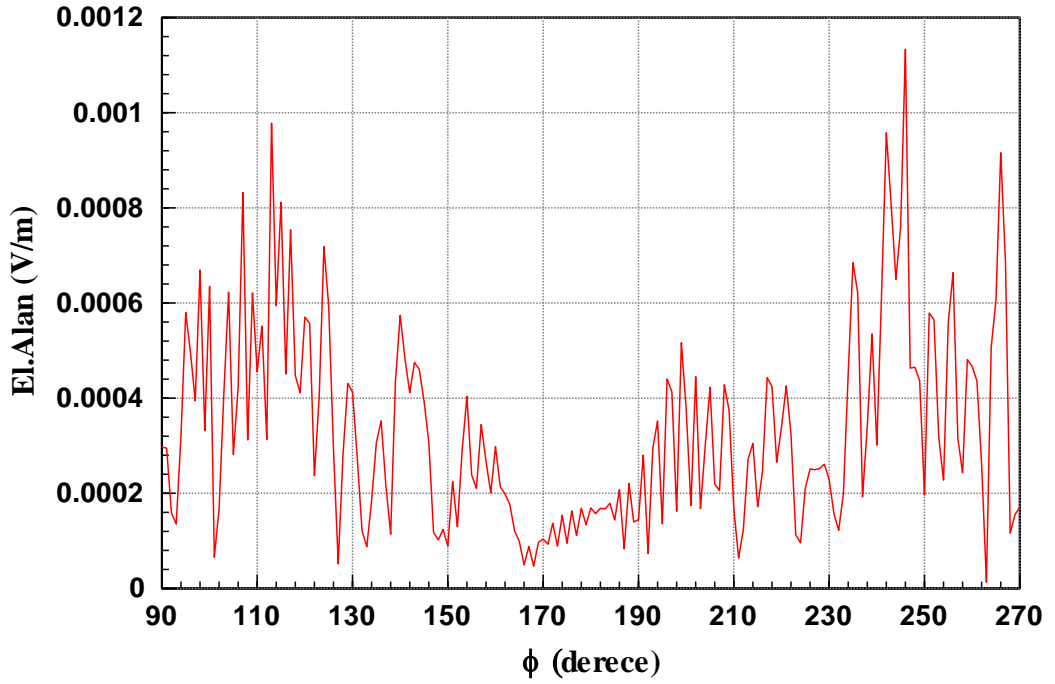
#### 4.3.11. Senaryo 11

Bu senaryo ve sonraki senaryolarda dikey polarize düzlemsel dalga kullanılmış ve dikey polarize durumunda simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 185^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş



sinyal değeri  $0.15 \text{ mV}$  'dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyali de Şekil 4.7'de  $15 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



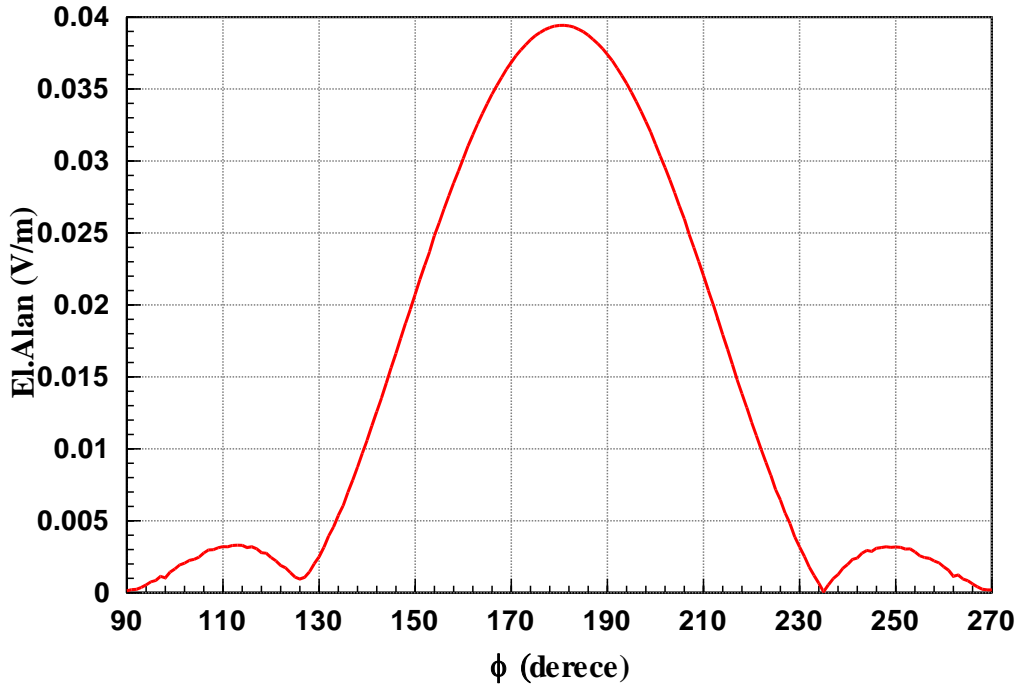
Şekil 4.79 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşturularak  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

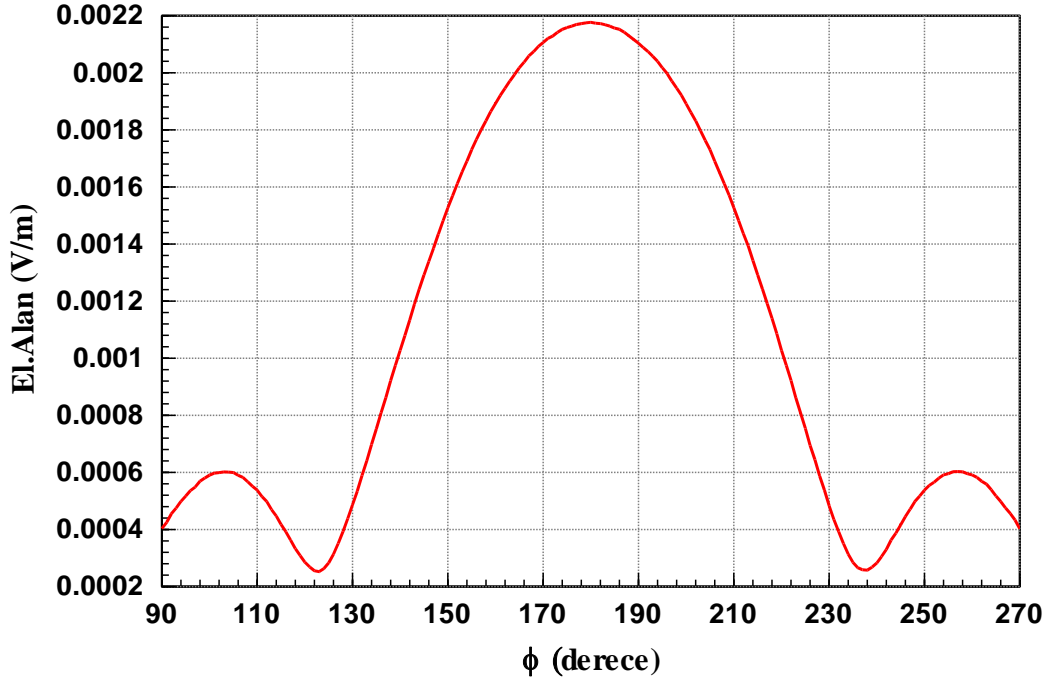
Çizelge 4.24 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey pol.)

Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
257.83	-66.0419	11.8981	-164.1

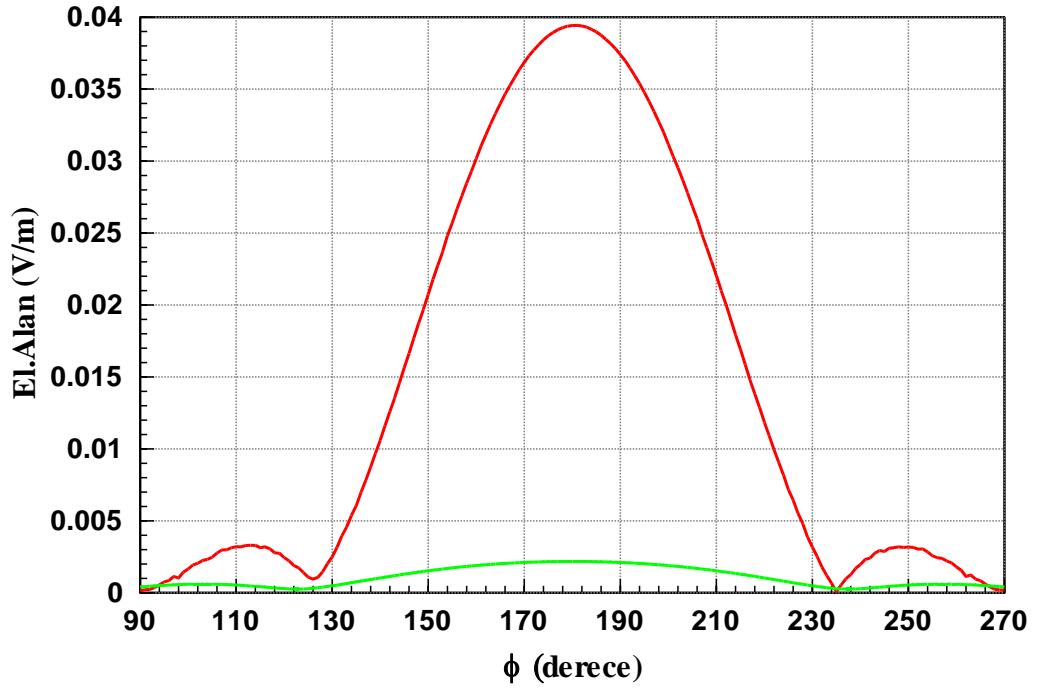
Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ 'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 185^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.80'de  $38.96 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.81'de  $2.156 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.80 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

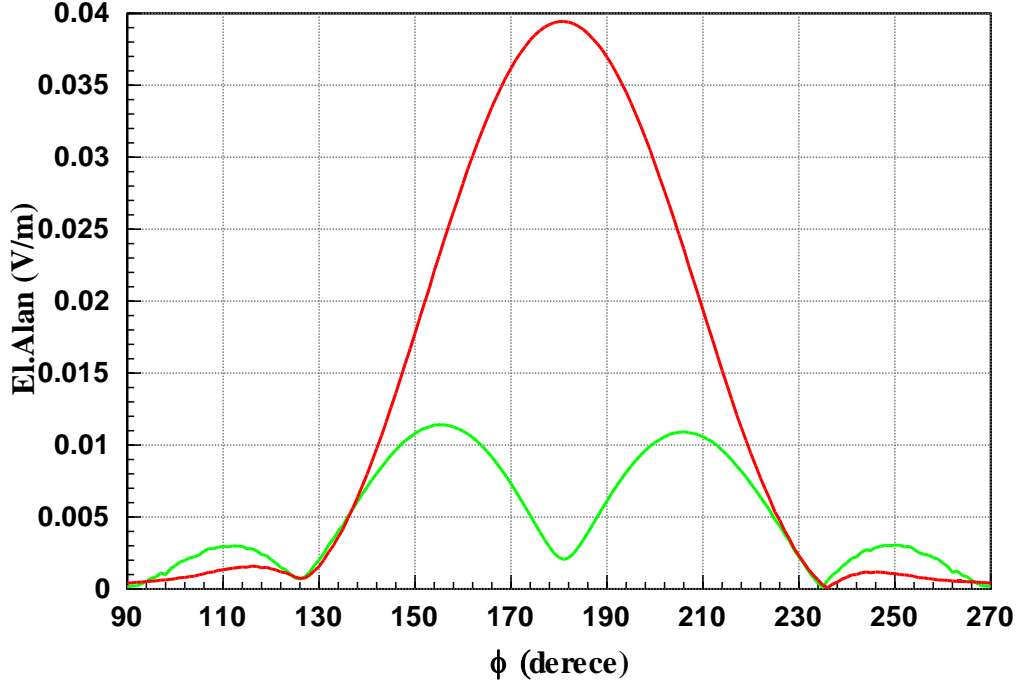


Şekil 4.81 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.82 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.82’de bir arada çizdirilmiştir.

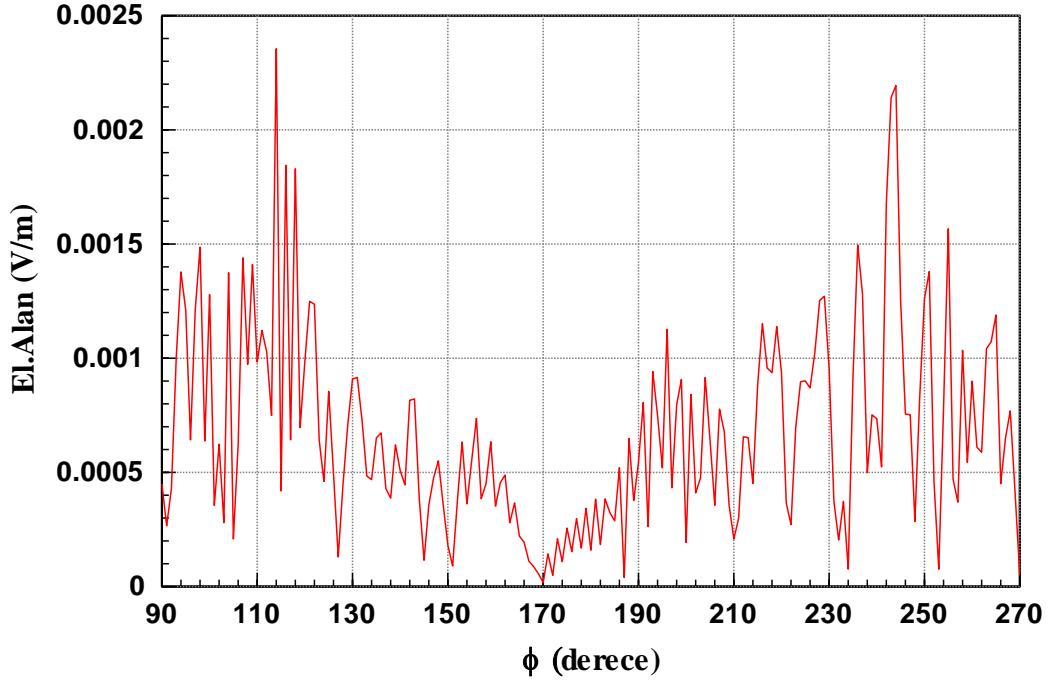


Şekil 4.83 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 5^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.83’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.12. Senaryo 12

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 190^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $0.55 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.9’da  $29 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.84 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

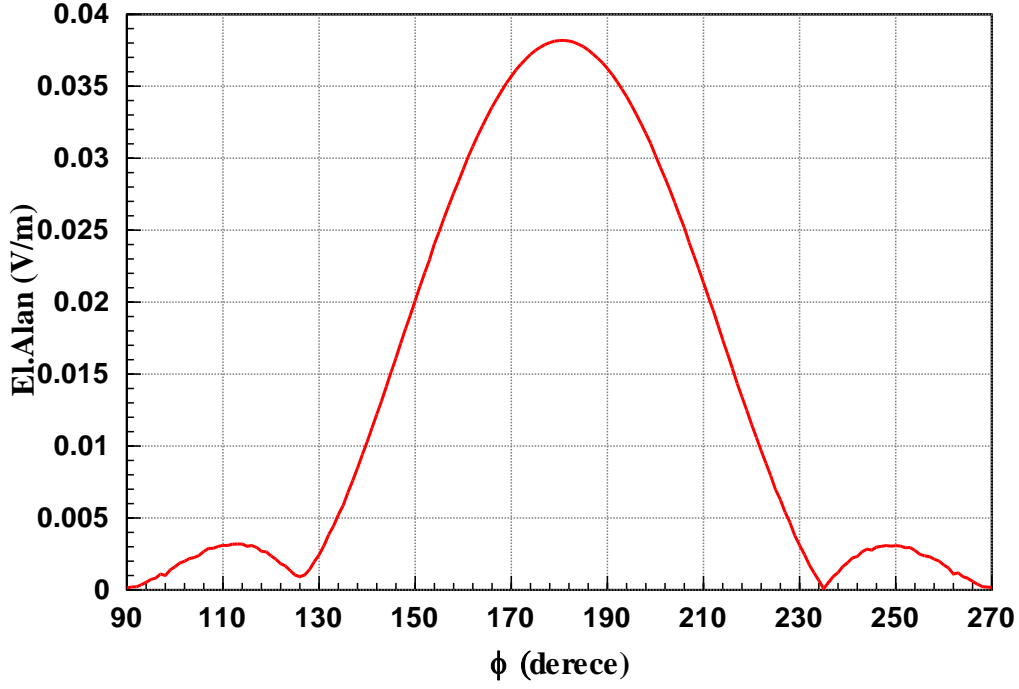
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.25 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 10^\circ, \theta = 90^\circ$ , dikey pol.)

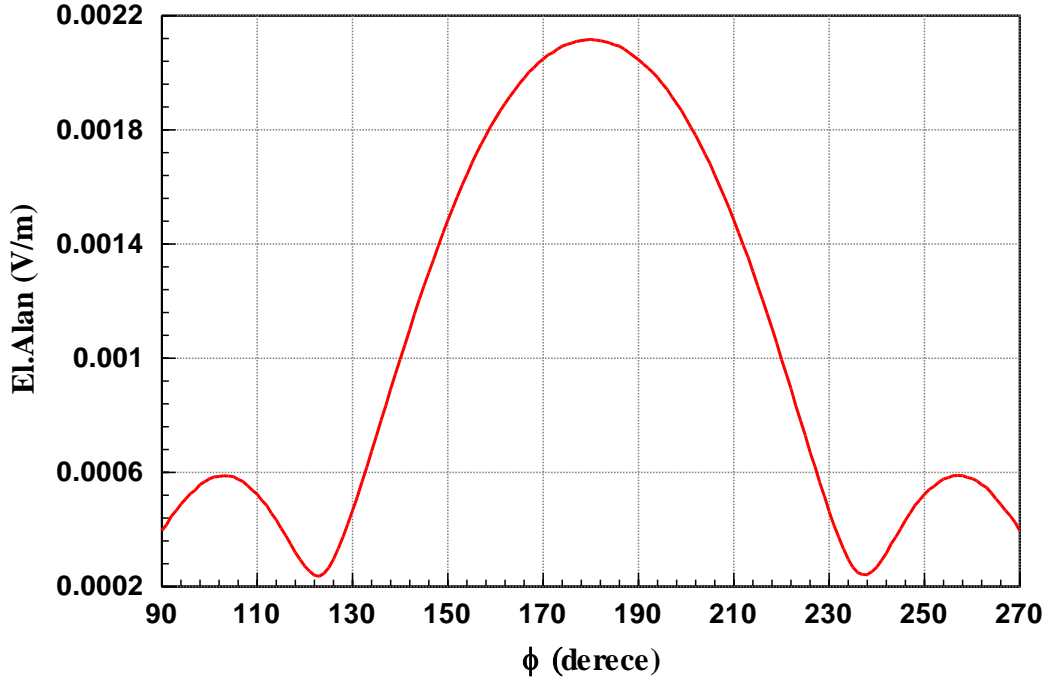
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
263.02	78.0114	11.5546	-19.561

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

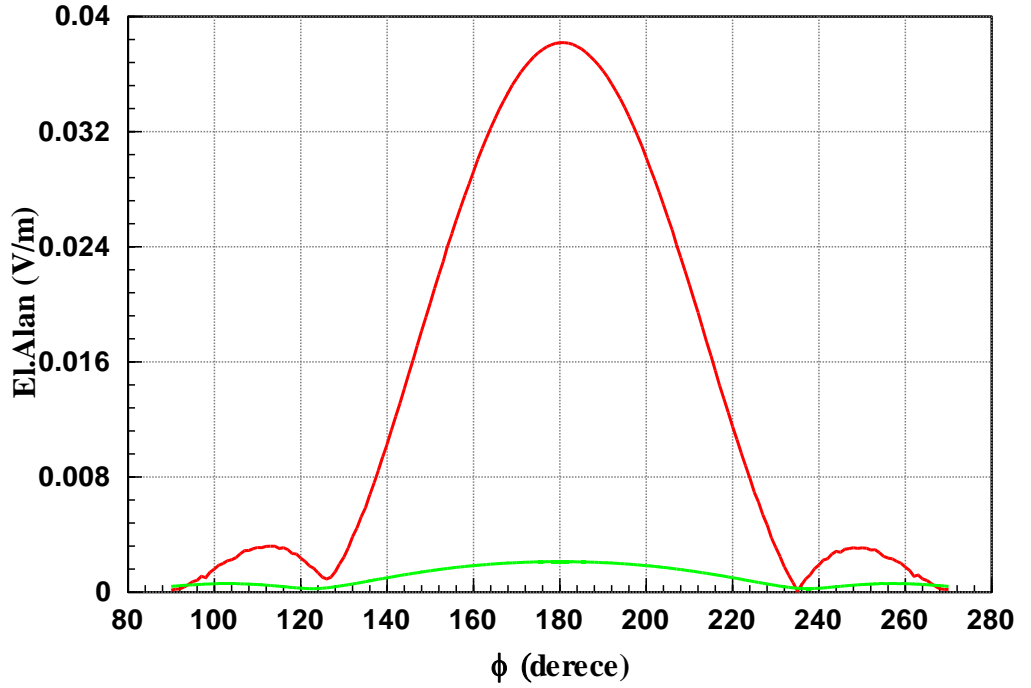
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 190^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.85'de  $36.22mV$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.86'da  $2.05mV$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.85 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 GHz$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

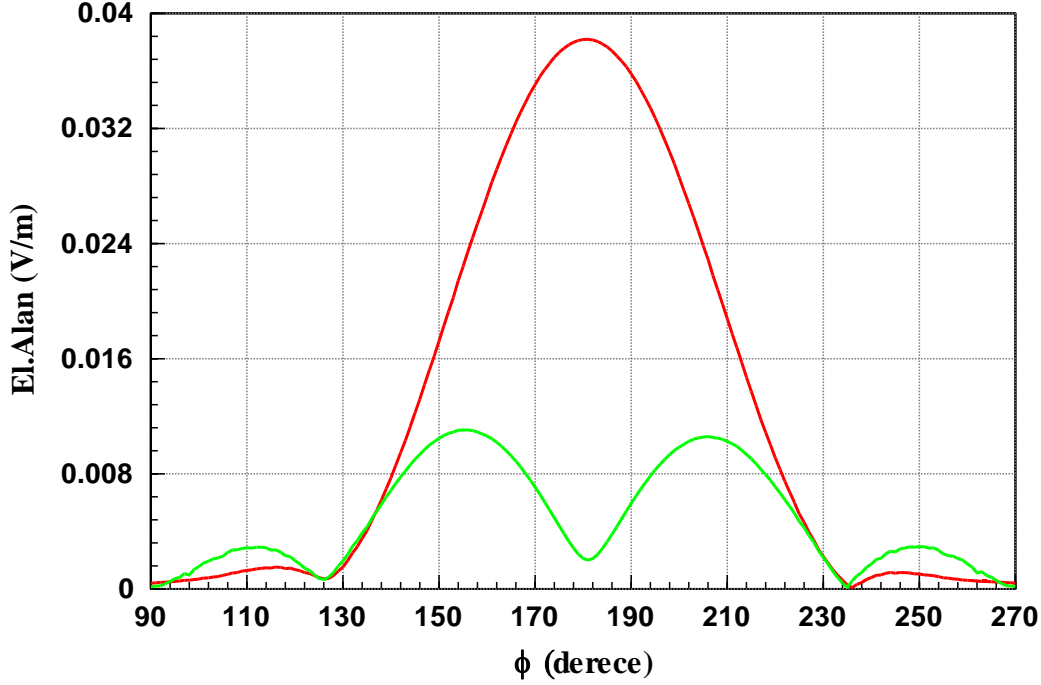


Şekil 4.86 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.87 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.87’de bir arada çizdirilmiştir.



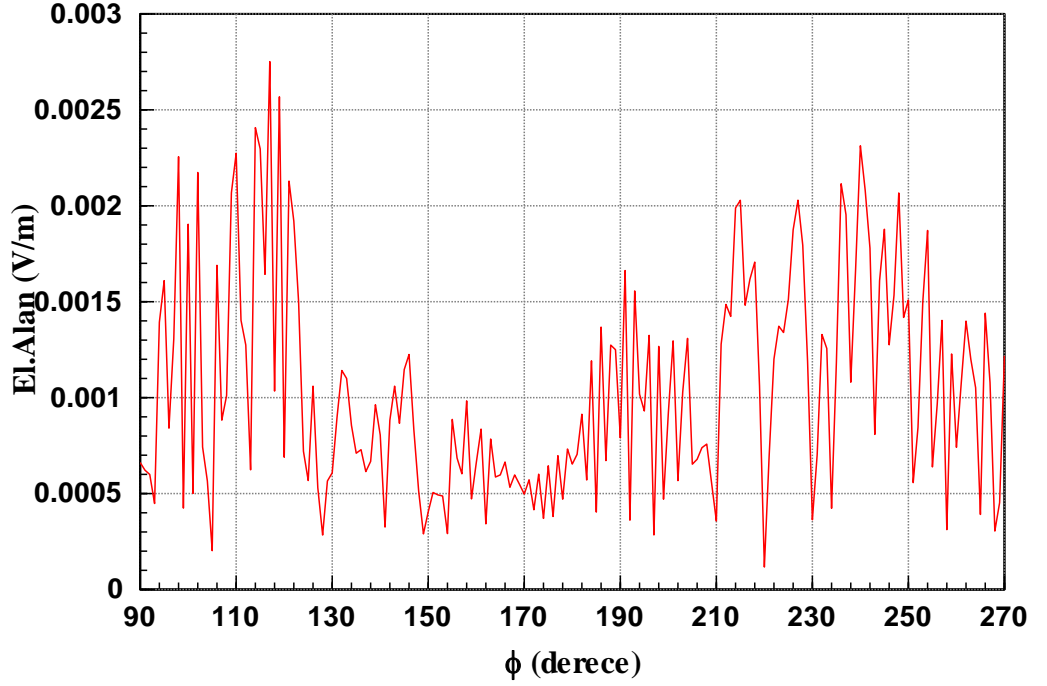
Şekil 4.88 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 10^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.88’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğ erinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.13. Senaryo 13

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 195^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $0.94 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.11’de  $108 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.





Şekil 4.89 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey polarize sinyal)

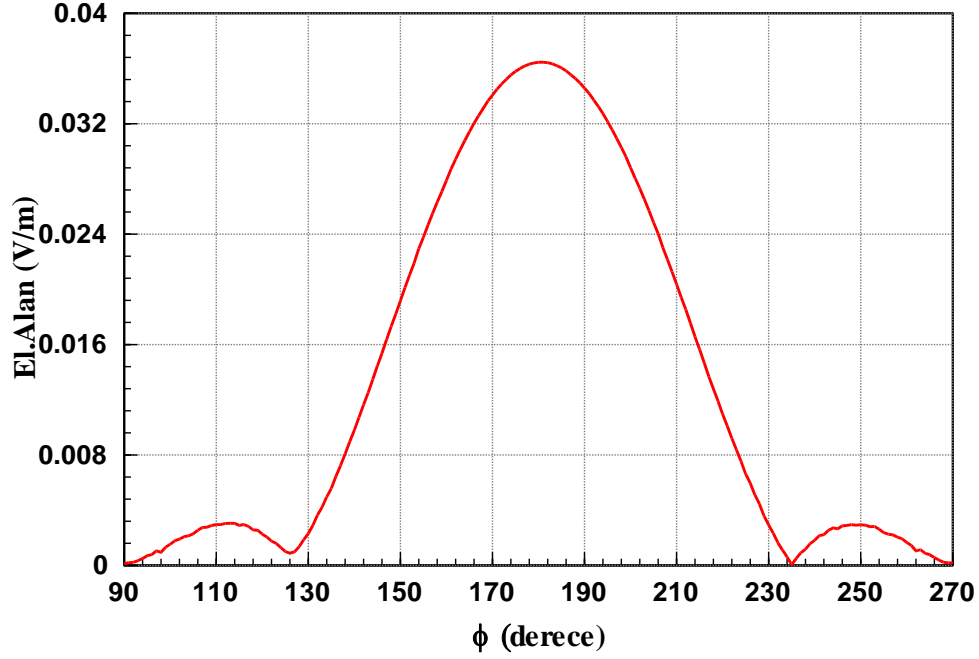
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 15^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.26 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 15^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey pol.)

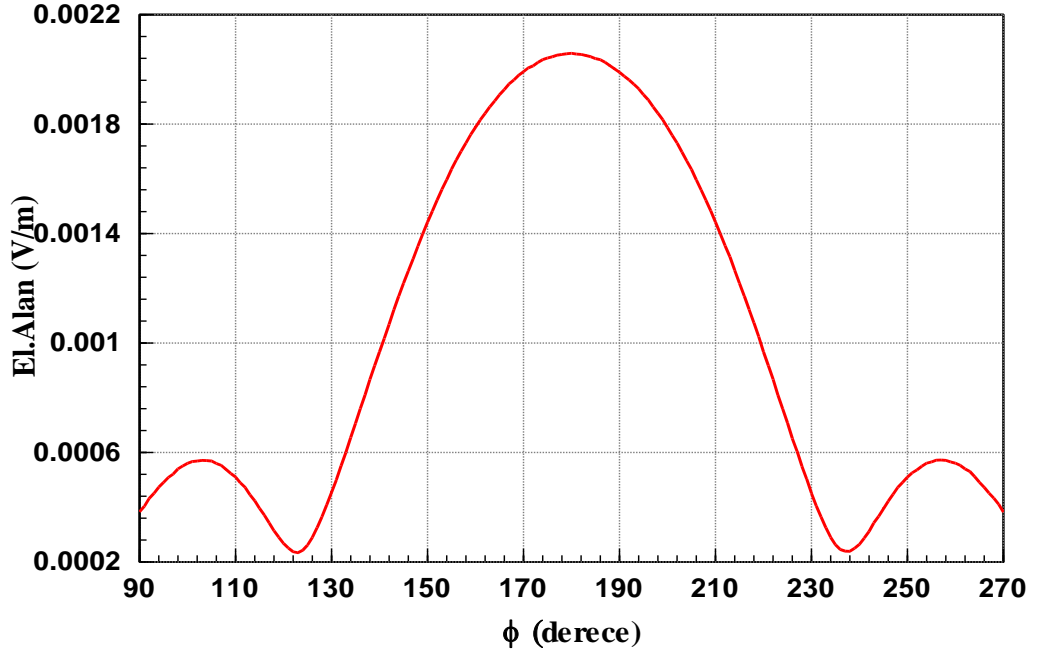
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
253.11	-156.64	10.9777	106.1

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 15^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

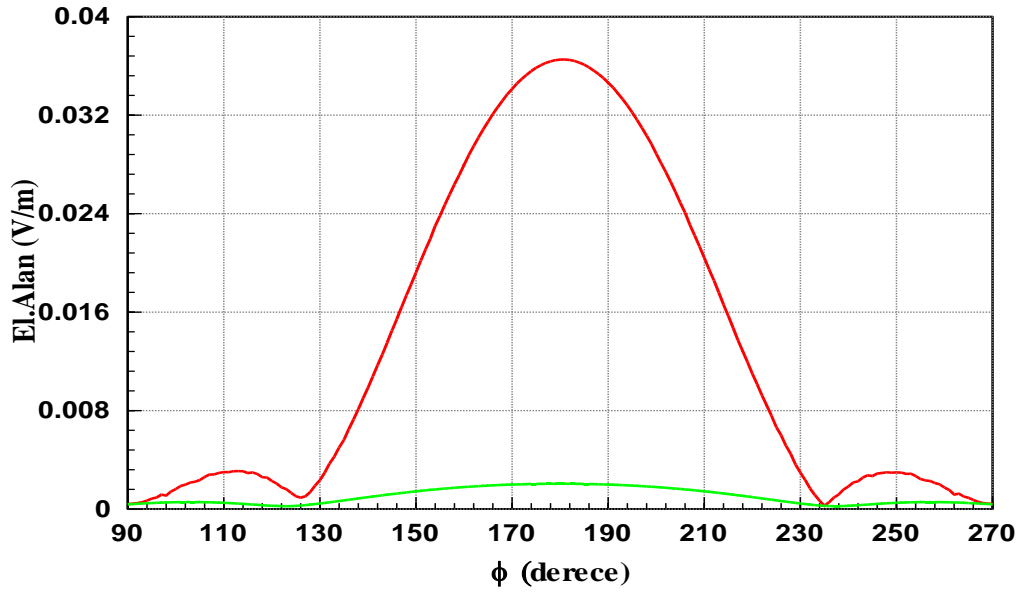
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 195^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.90'da  $32.2 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.91'de  $1.9 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.90 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

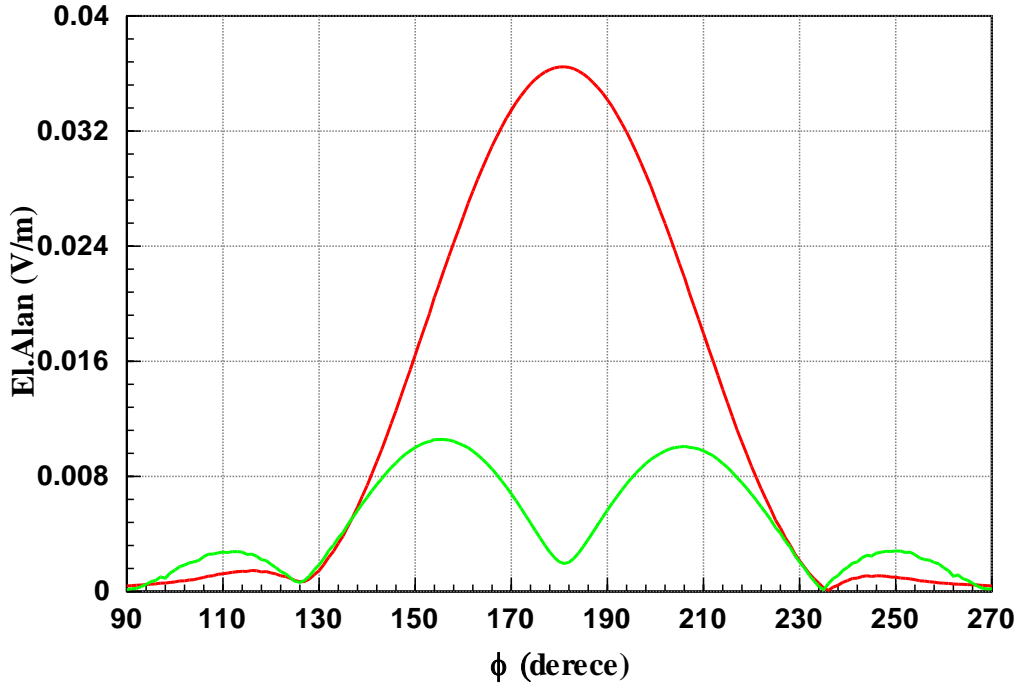


Şekil 4.91 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.92 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.92’de bir arada çizdirilmiştir.

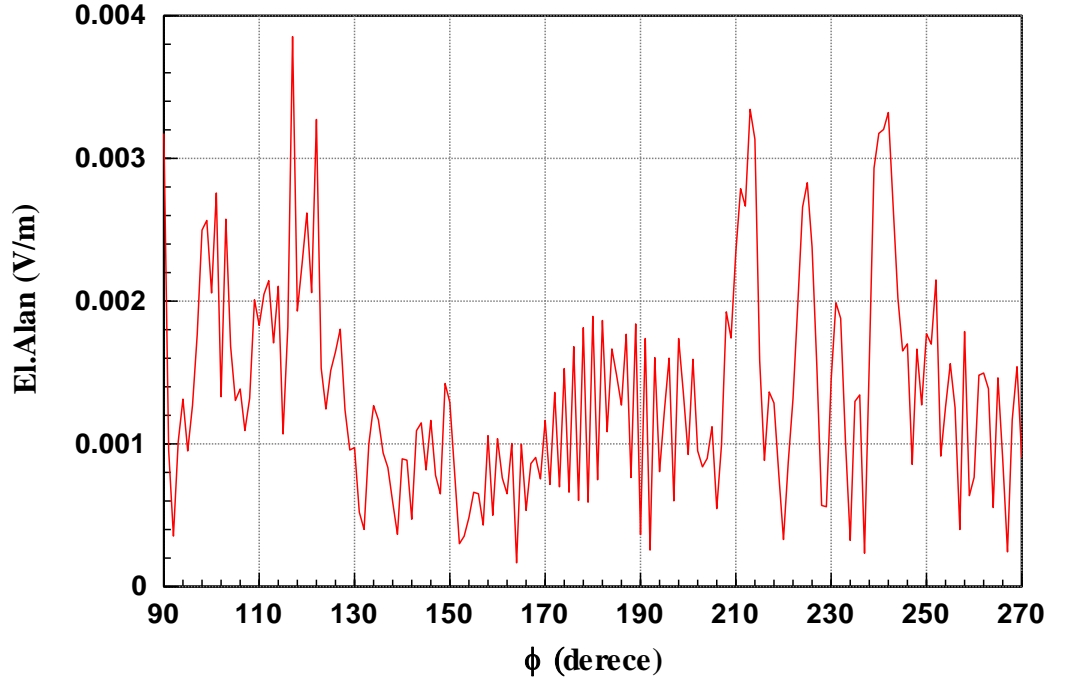


Şekil 4.93 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 15^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.93'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.14. Senaryo 14

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 200^\circ$ 'de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $0.94 \text{ mV}$ 'dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.13'de  $94 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.94 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

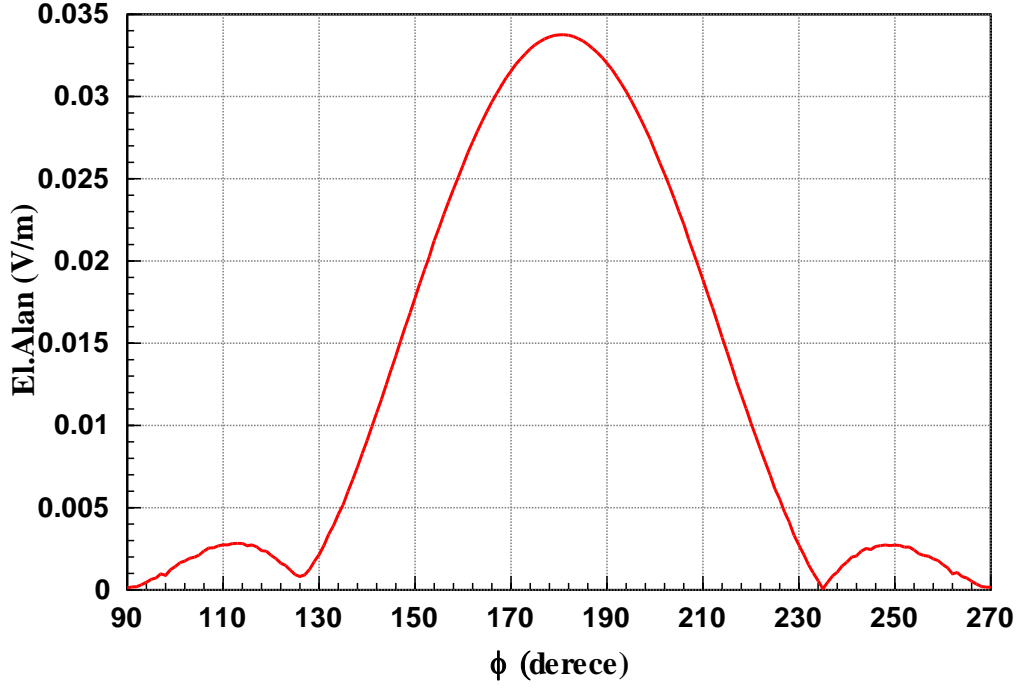
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.27 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey pol.)

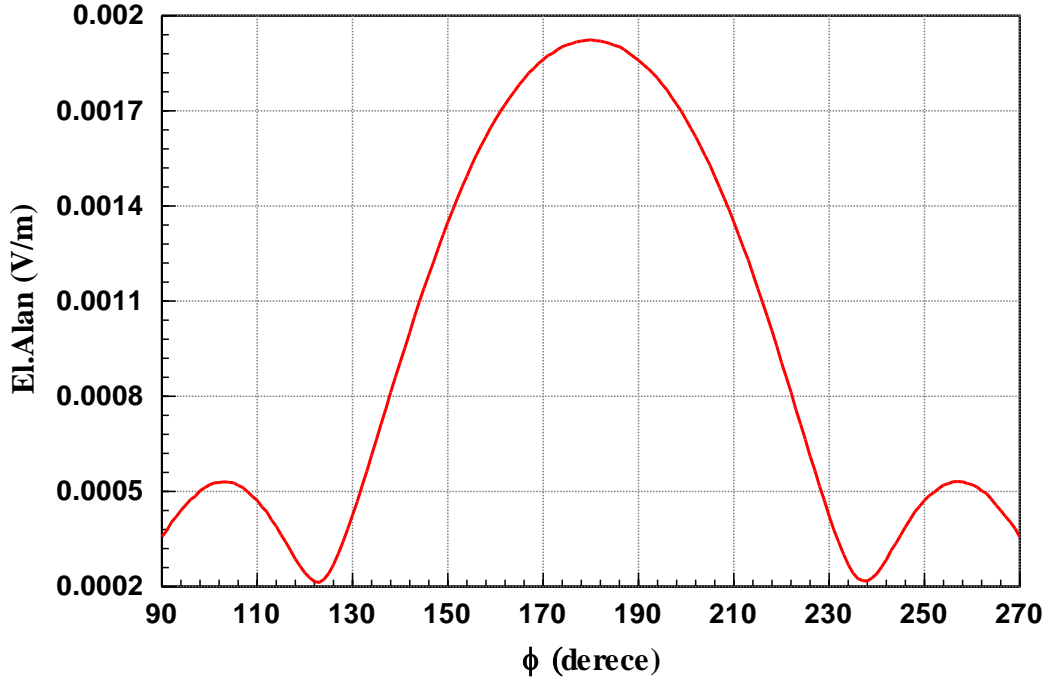
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
238.96	-46.93	10.187	-140

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

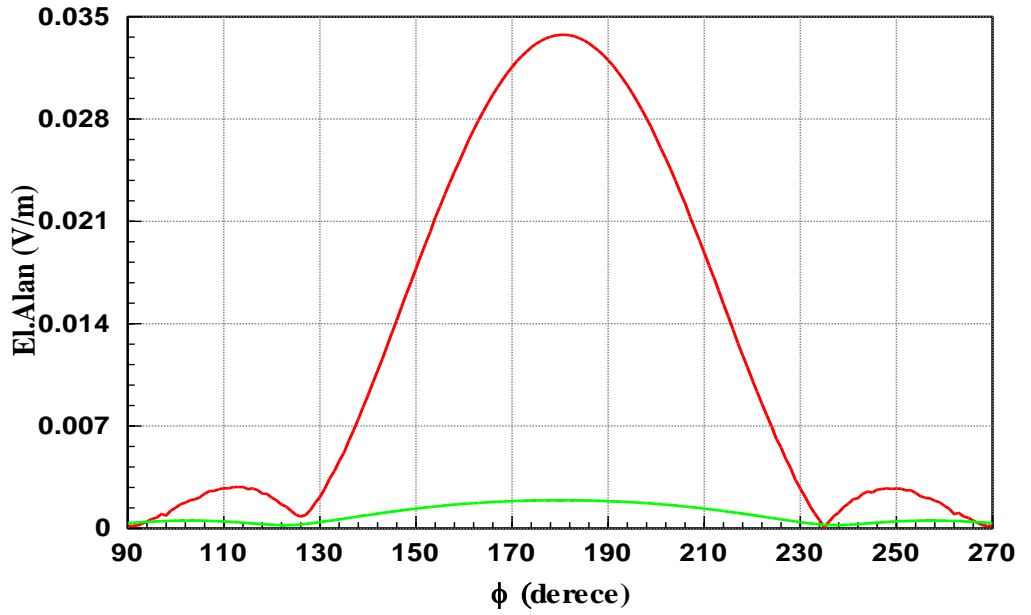
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 200^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.95'de  $26.68 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.96'da  $1.67 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.95 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

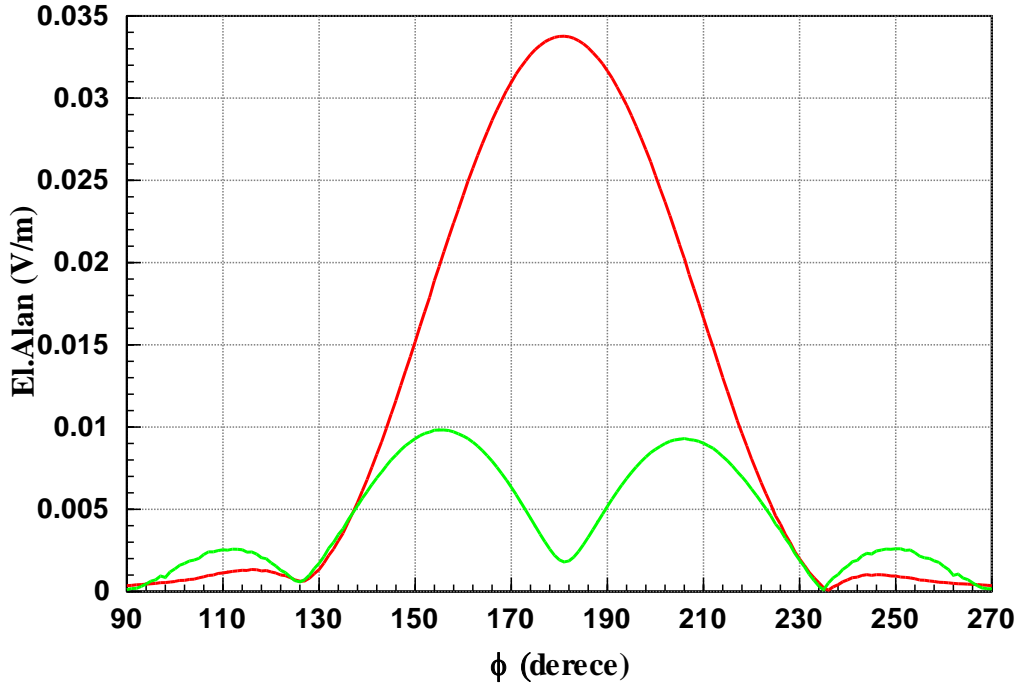


Şekil 4.96 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.97 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.97'da bir arada çizdirilmiştir.



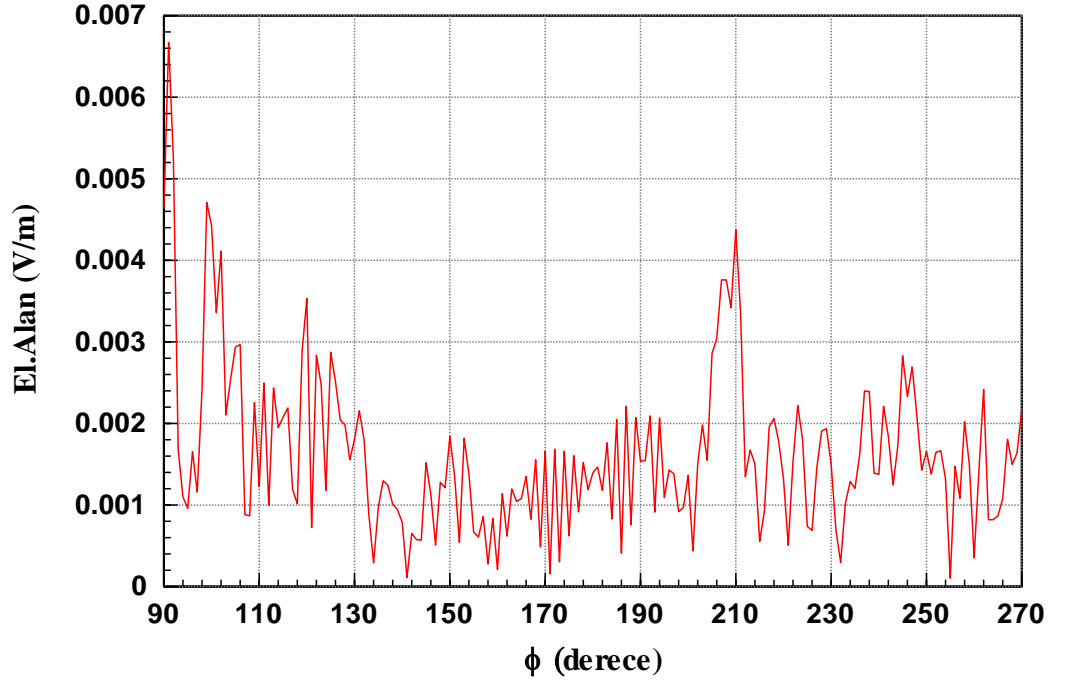
Şekil 4.98 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 20^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.98’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.15. Senaryo 15

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 205^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $2.86 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.15’de  $60 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.





Şekil 4.99 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

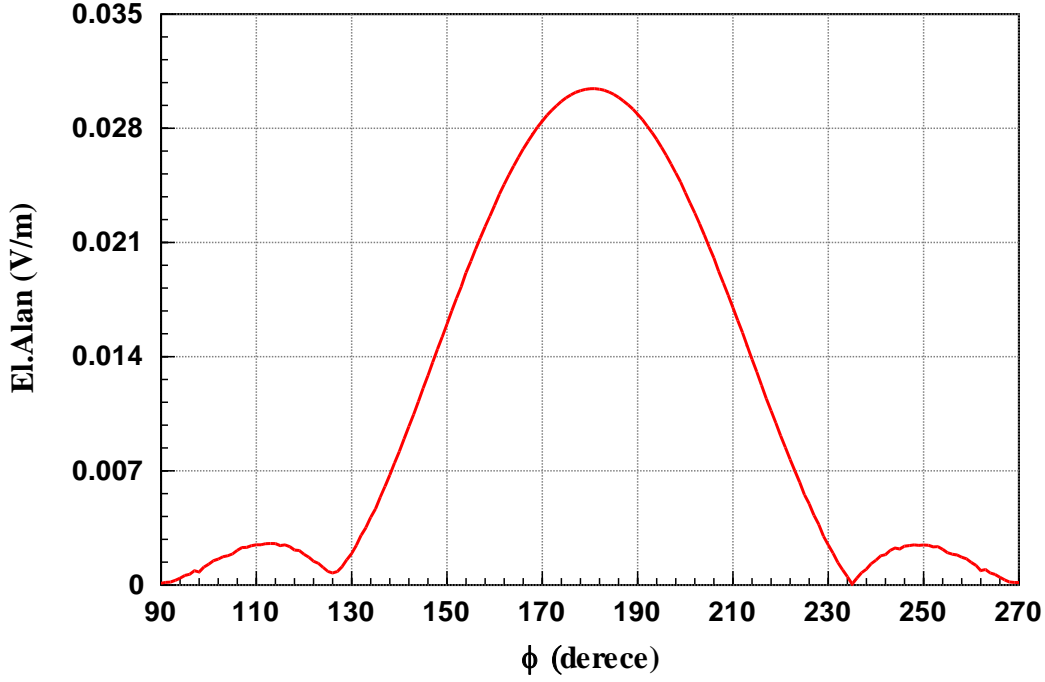
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.28 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey pol.)

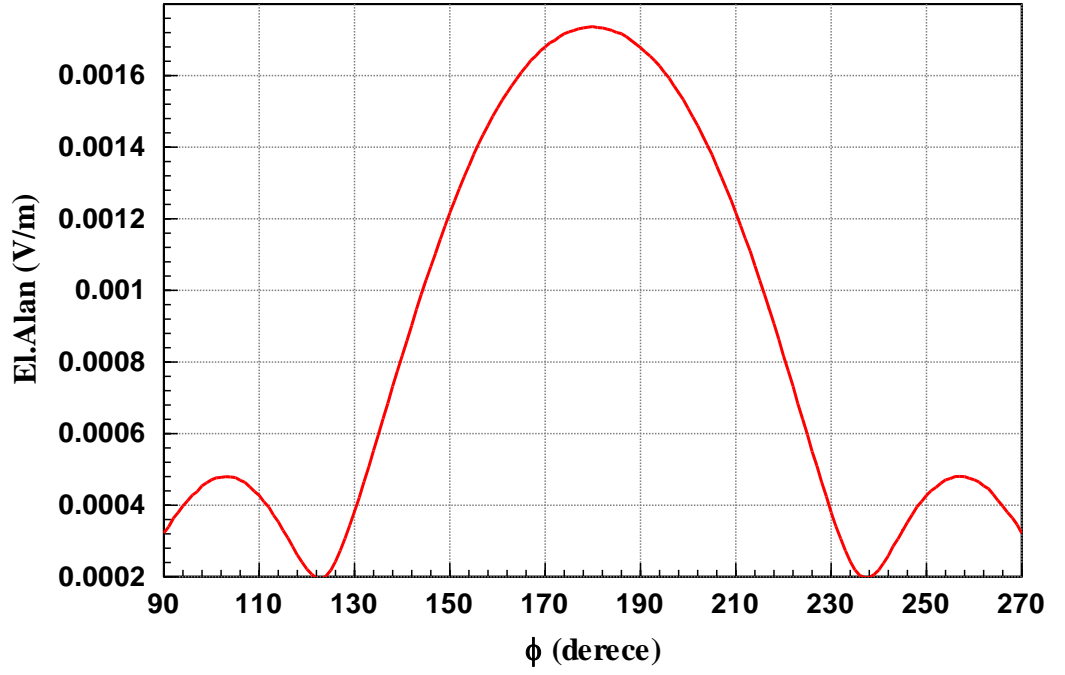
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
215.58	67.56	9.18	-27.27

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

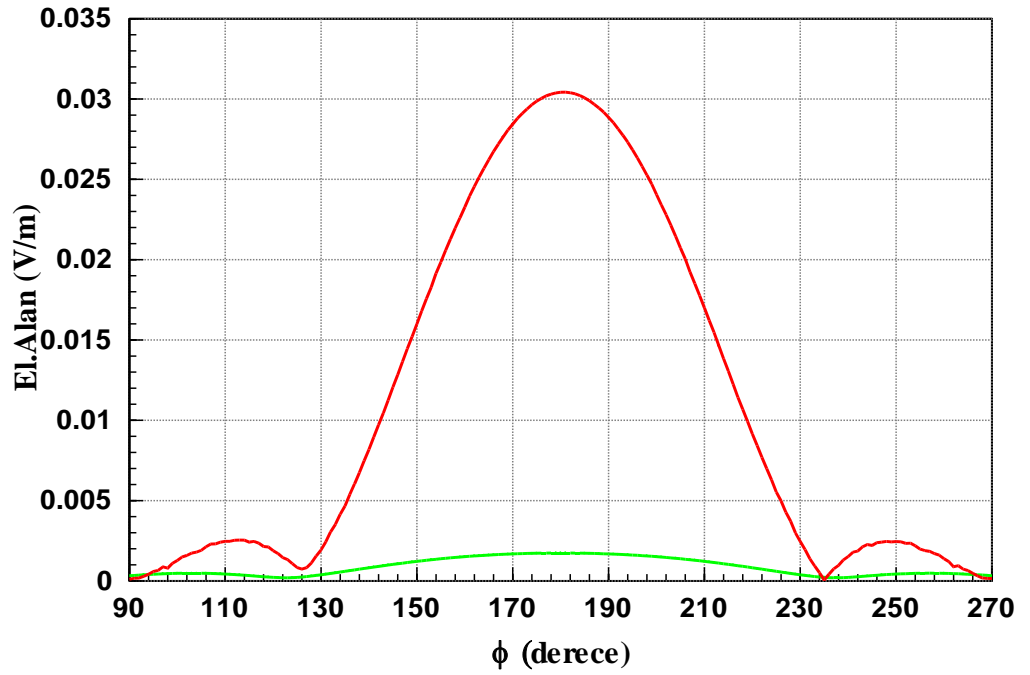
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 205^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.100'de  $20.7mV$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.101'de  $1.38mV$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.100 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

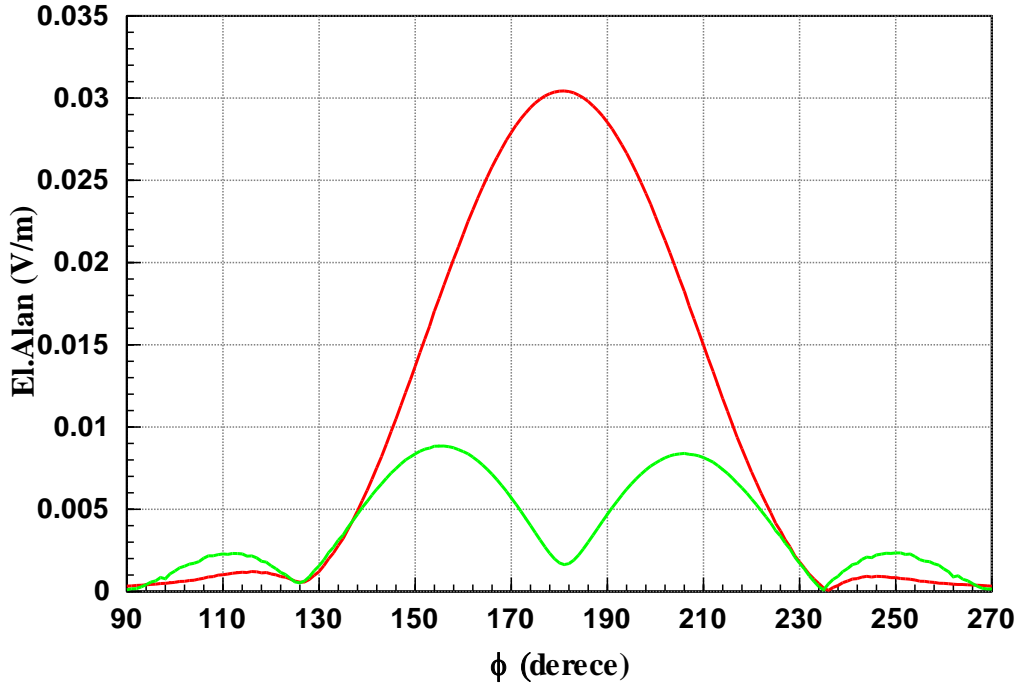


Şekil 4.101 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.102 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.102’de bir arada çizdirilmiştir.

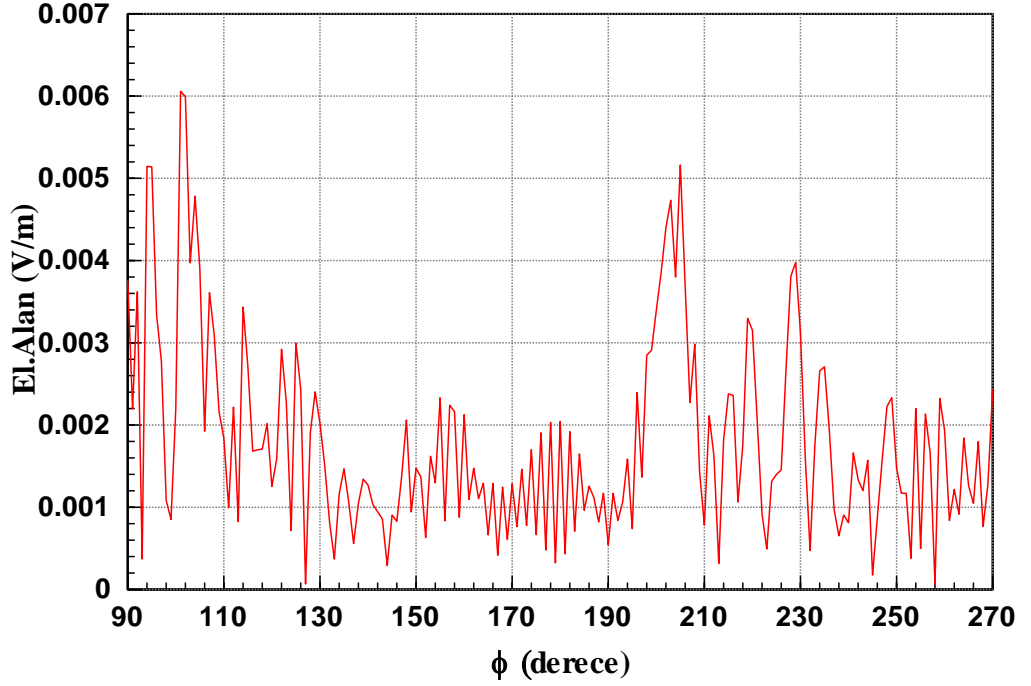


Şekil 4.103 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 25^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.103’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.16. Senaryo 16

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 210^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $0.84 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.17’de  $172 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.104 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey polarize sinyal)

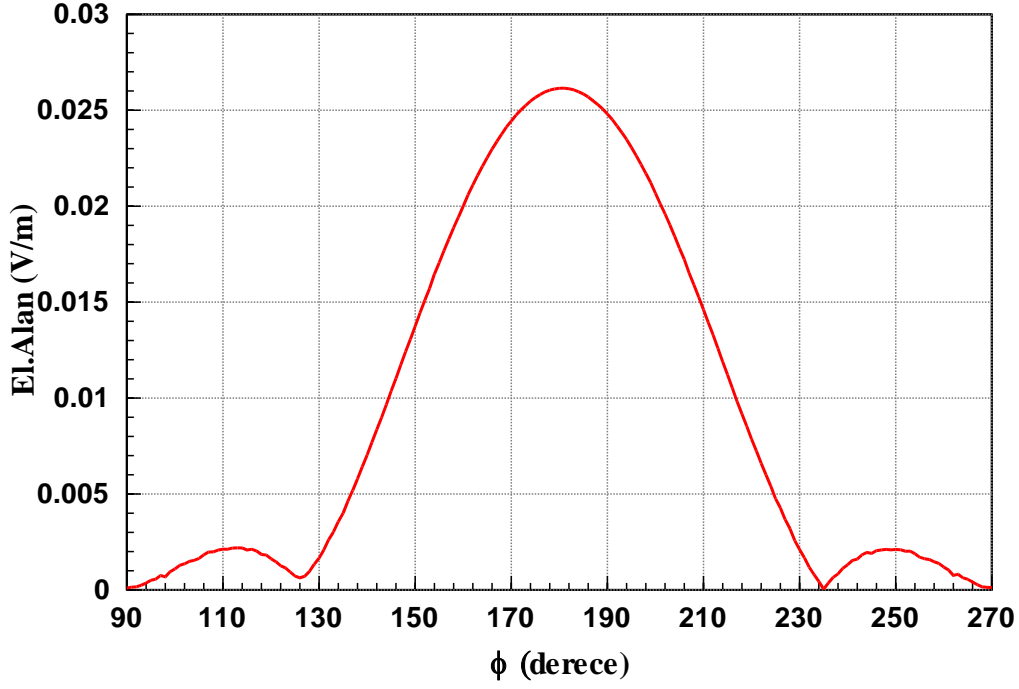
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.29 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri ( $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ , dikey pol.)

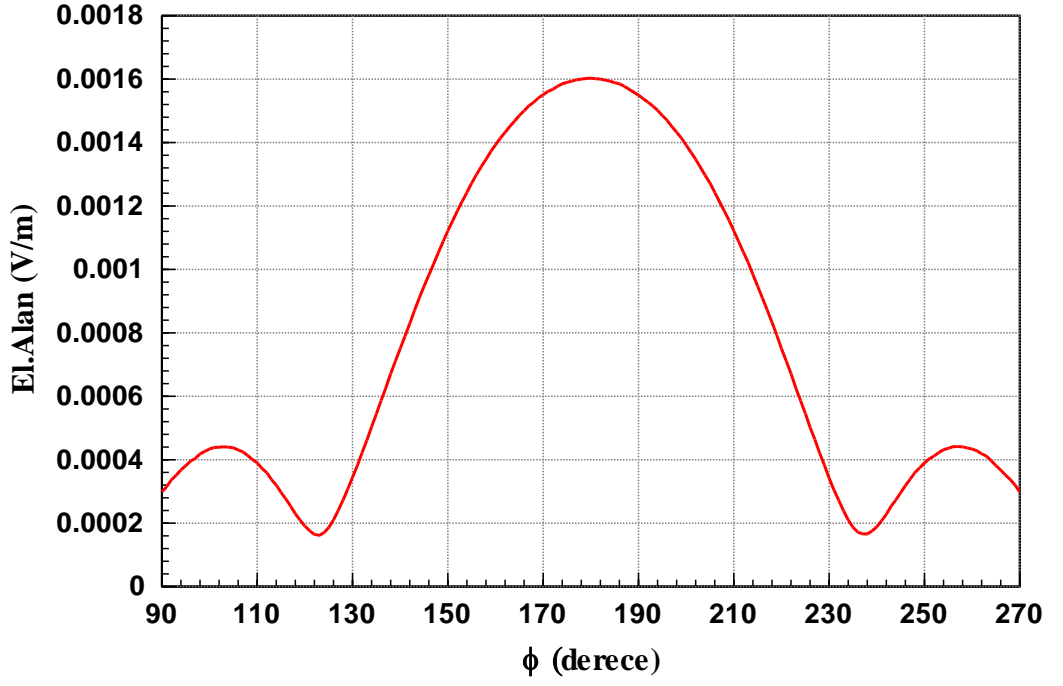
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
218.58	-177.13	7.89	96.4

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

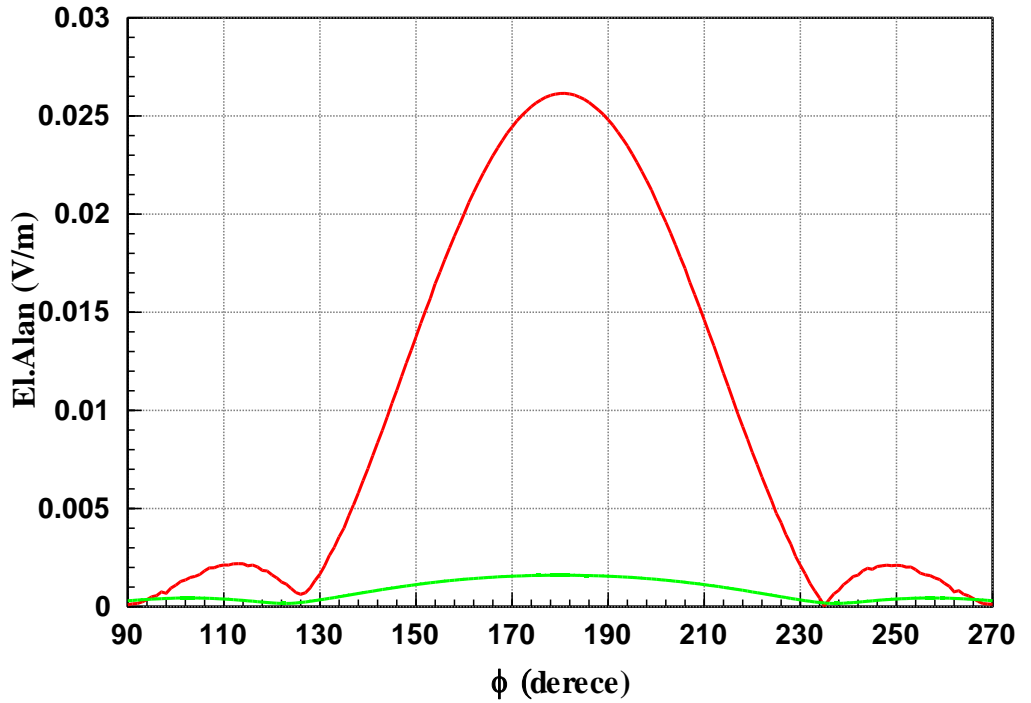
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 210^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.105'de  $14.6 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.106'da  $1.12 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.105 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

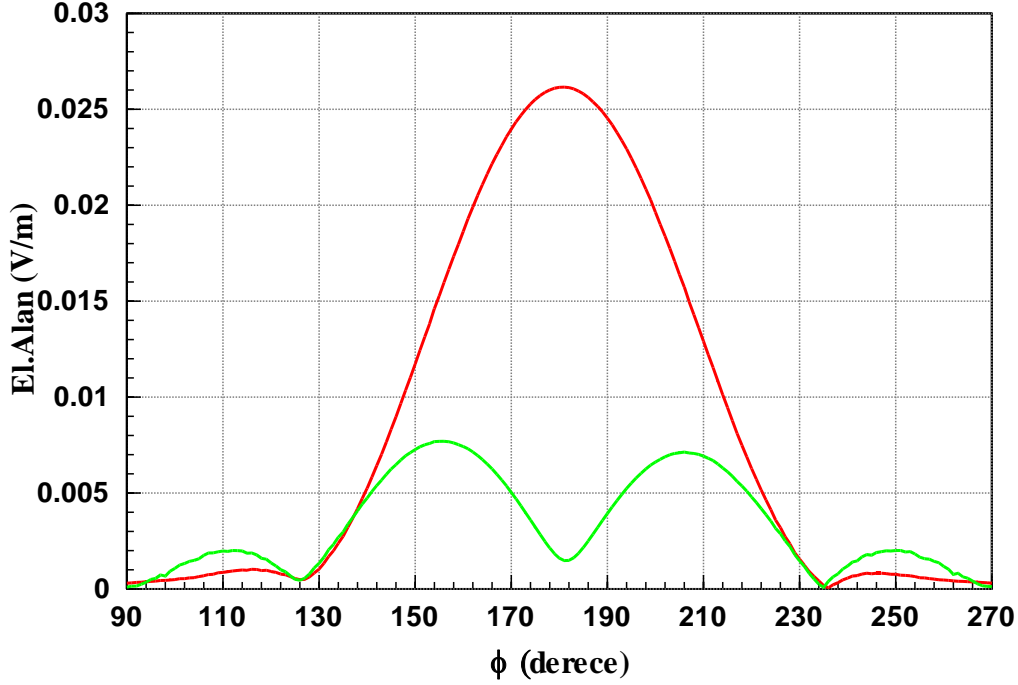


Şekil 4.106 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.107 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.107’de bir arada çizdirilmiştir.



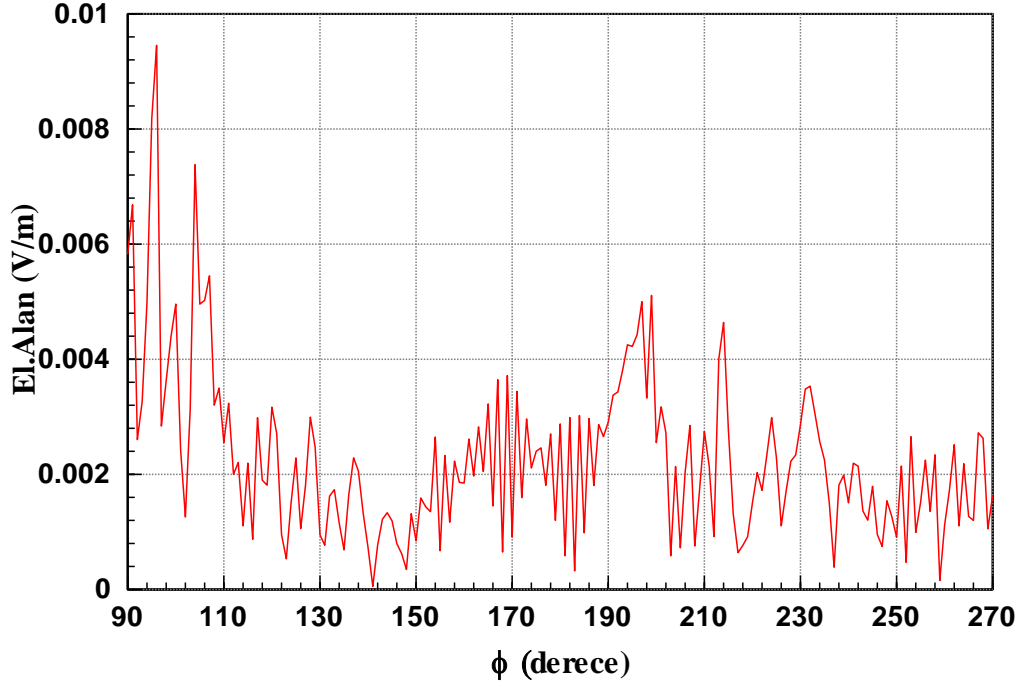
Şekil 4.108 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.108’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğ erinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.17. Senaryo 17

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 215^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $2.73 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.19’da  $264 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.





Şekil 4.109 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey polarize sinyal)

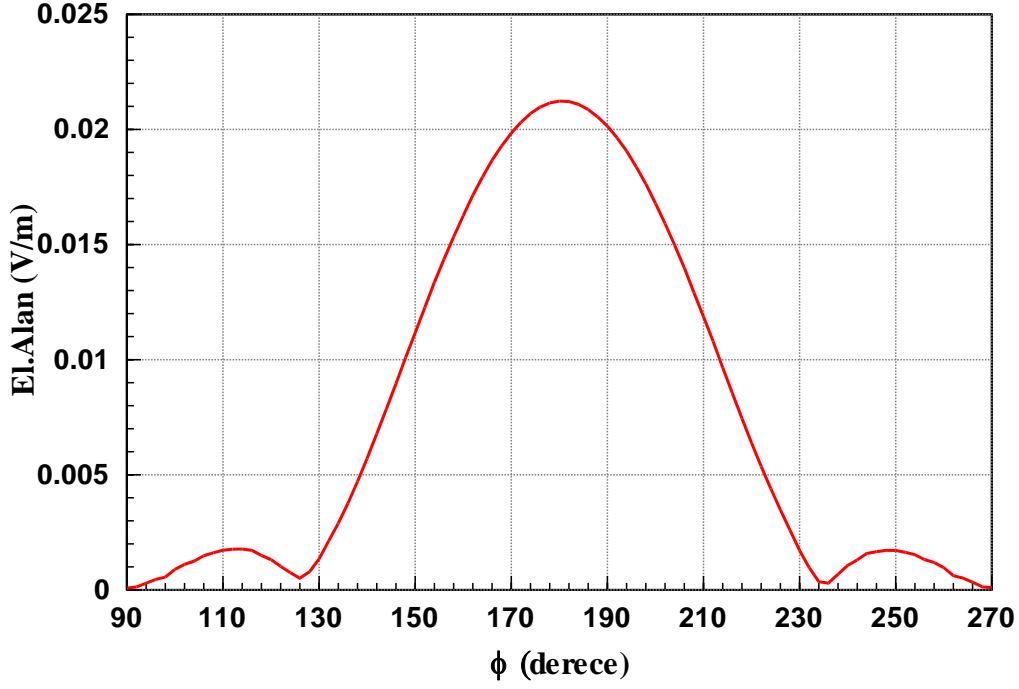
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.30 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey pol.)

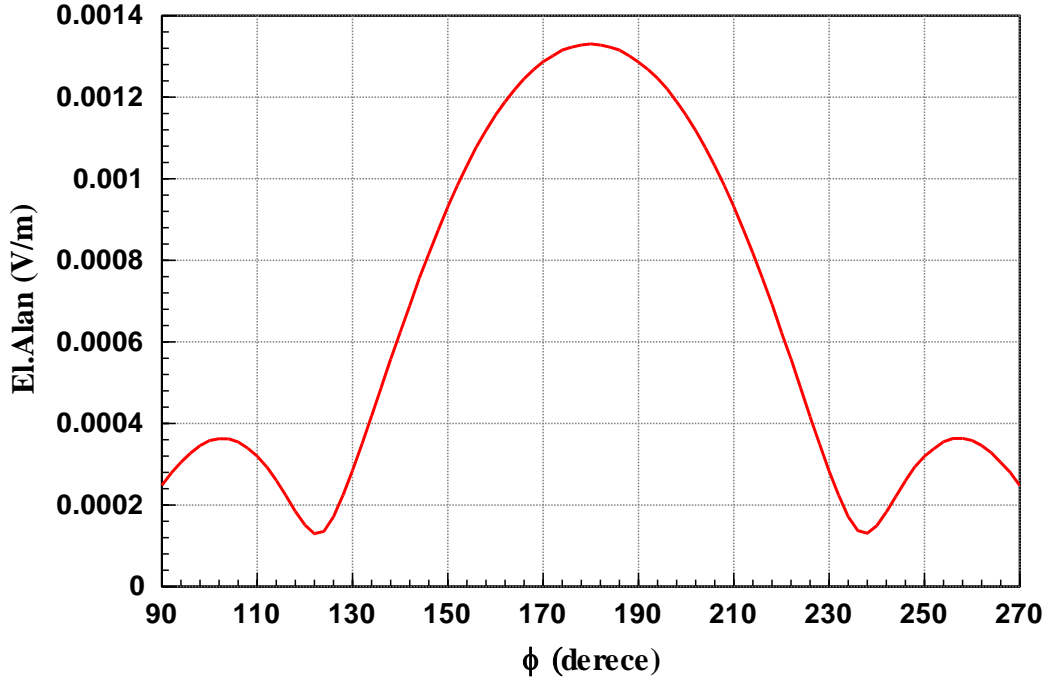
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
187.36	-30.7166	6.4089	-113

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 35^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

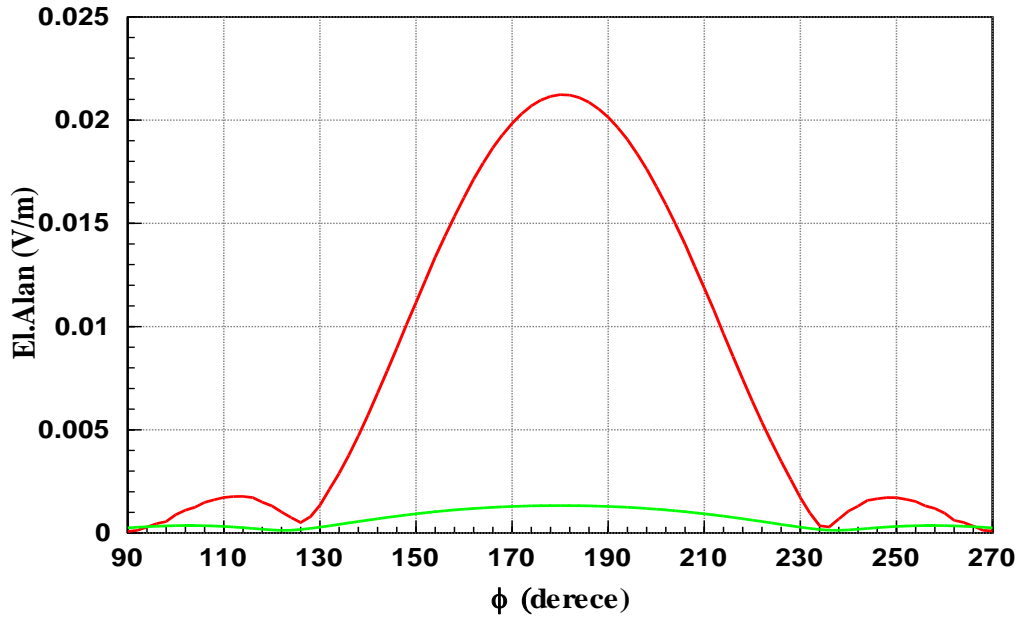
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 215^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.110'da  $8.38 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.111'de  $0.78 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.110 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

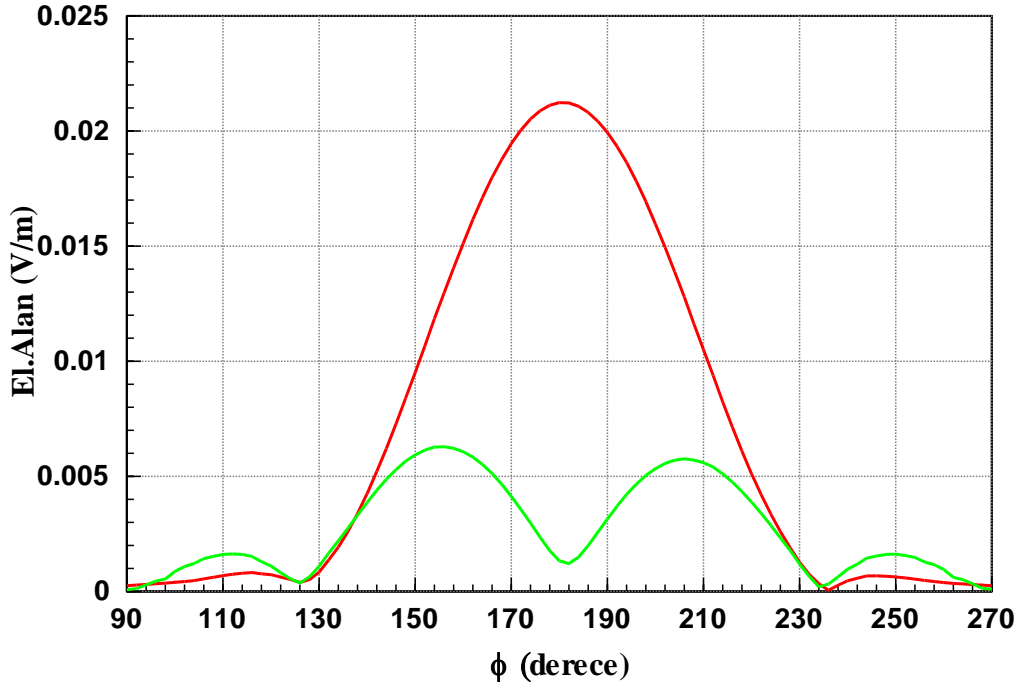


Şekil 4.111 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.112 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.112’de bir arada çizdirilmiştir.

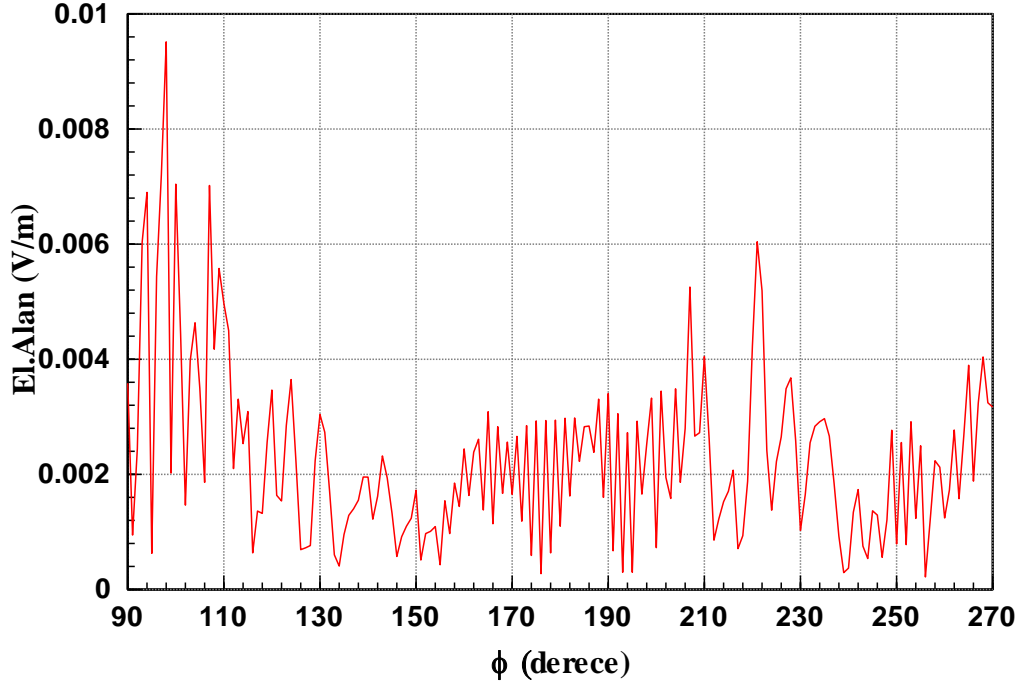


Şekil 4.113 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 35^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  )

Şekil 4.113'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.18. Senaryo 18

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 220^\circ$ 'de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $4.25 \text{ mV}$ 'dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.21'de  $75.5 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.114 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey polarize sinyal)

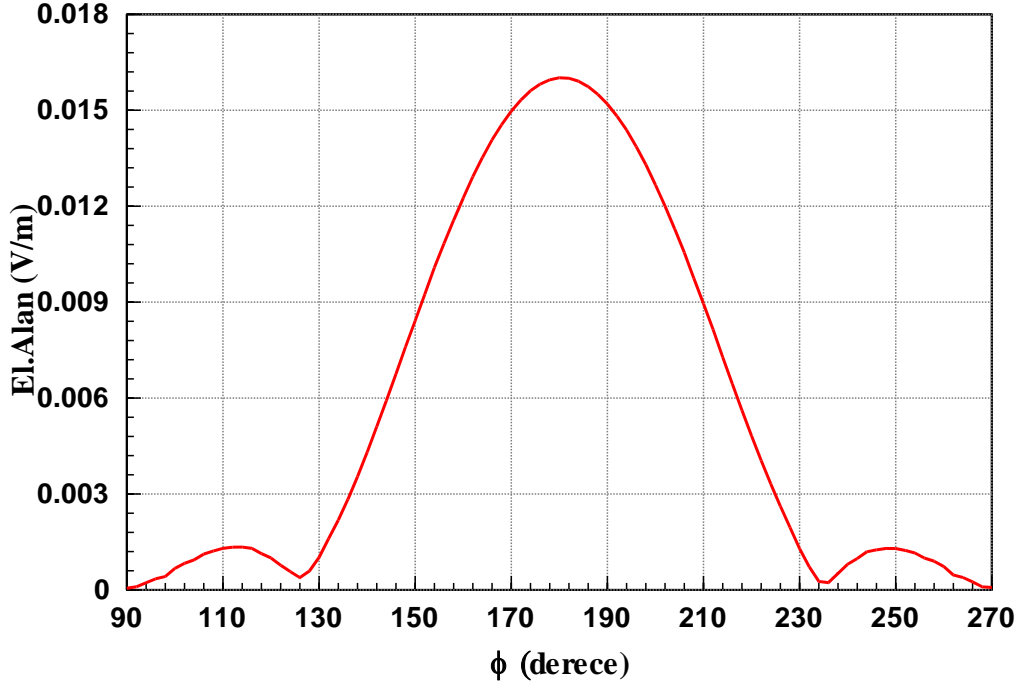
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.31 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey pol.)

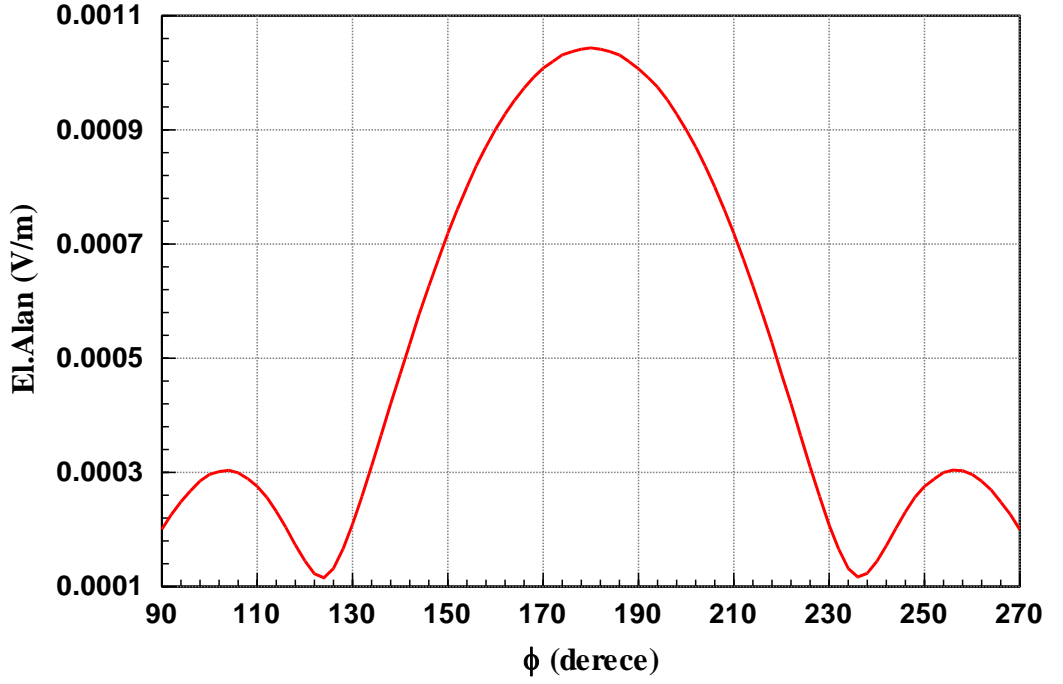
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
159.61	-164.88	4.8339	81.7

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 40^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

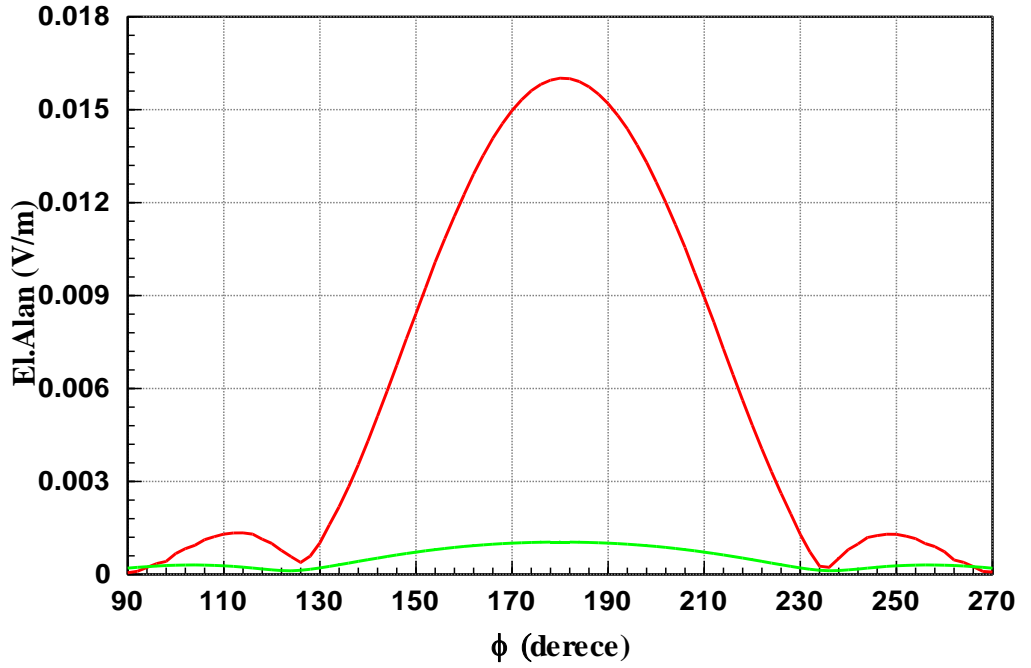
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 220^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.115’de  $4.3 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.116’da  $0.472 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.115 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği  
( $f = 9 \text{ GHz}$ , duzlemsel dalga yonu  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

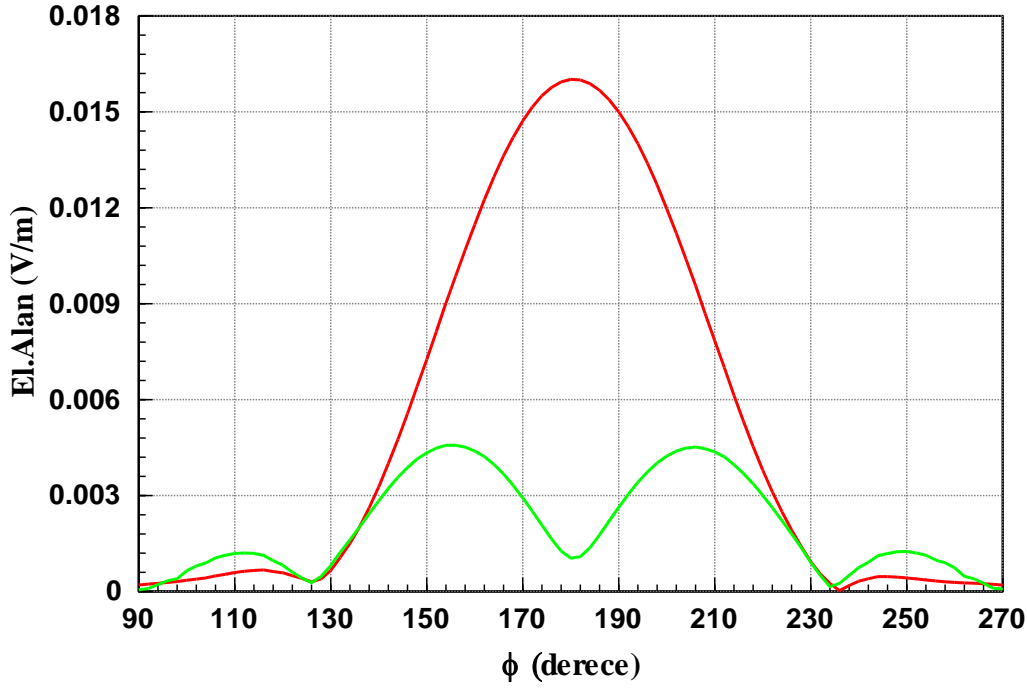


Şekil 4.116 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.117 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.117’de bir arada çizdirilmiştir.



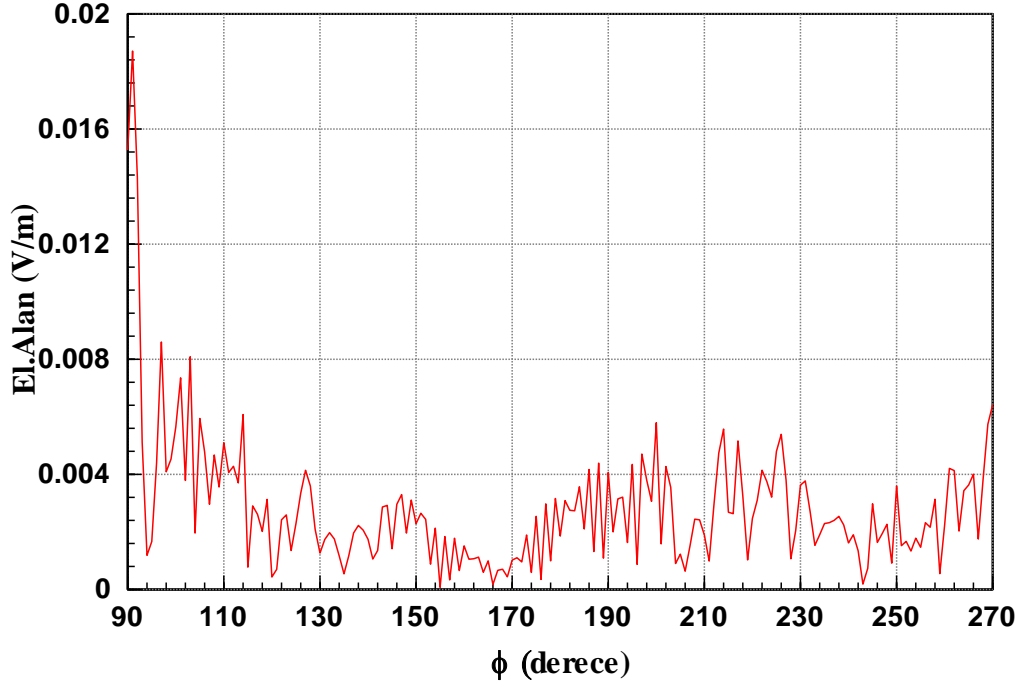
Şekil 4.118 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 40^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.118’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.19. Senaryo 19

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 225^\circ$ ’de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $4.8 \text{ mV}$ ’dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.23’de  $85.4 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.





Şekil 4.119 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey polarize sinyal)

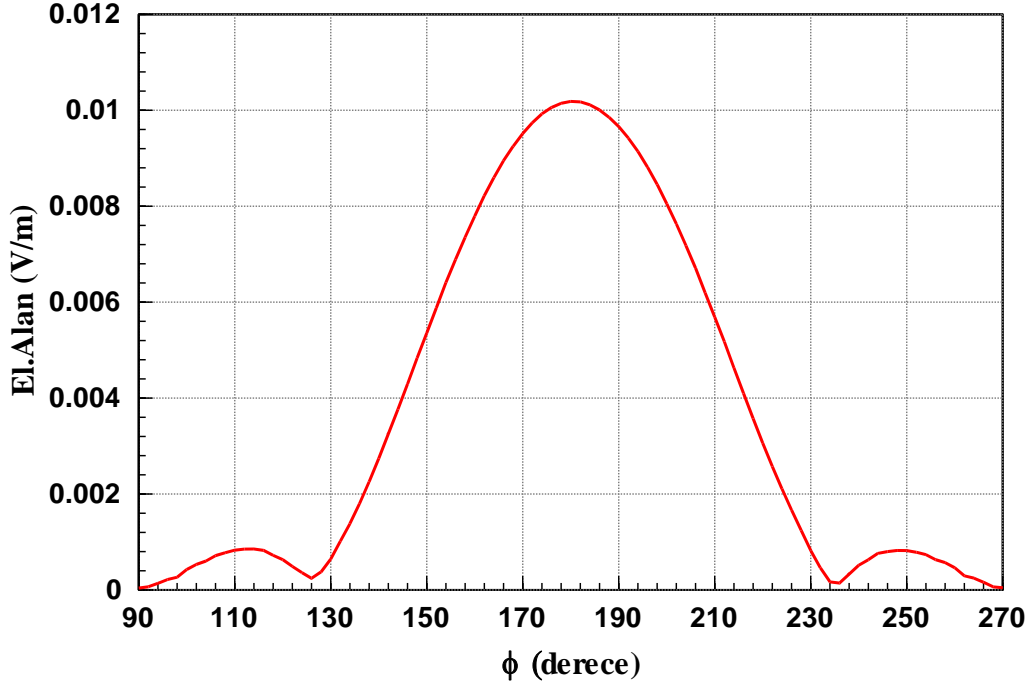
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.32 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey pol.)

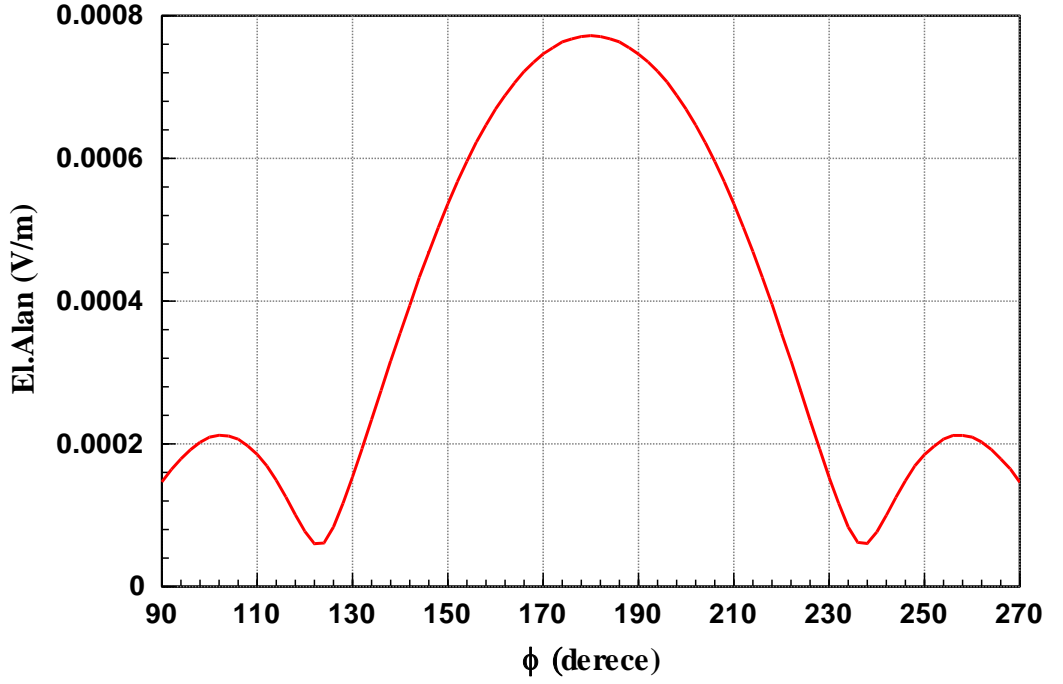
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
133.97	52	3.0748	-18.34

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

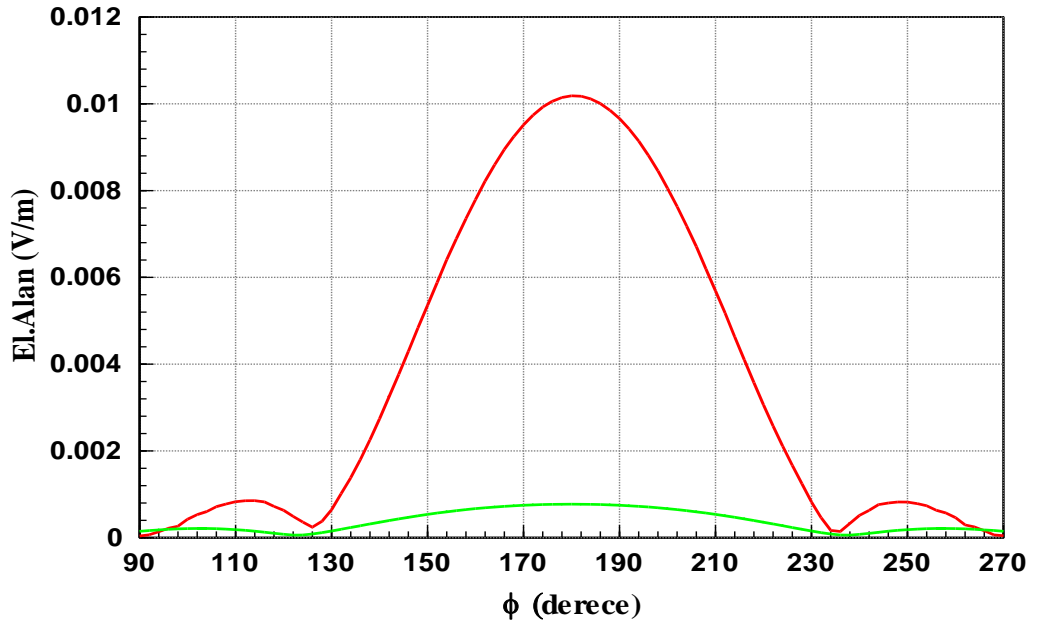
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 225^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.120'de  $1.59 \text{ mV}$  , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.121'de  $0.254 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.120 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  )

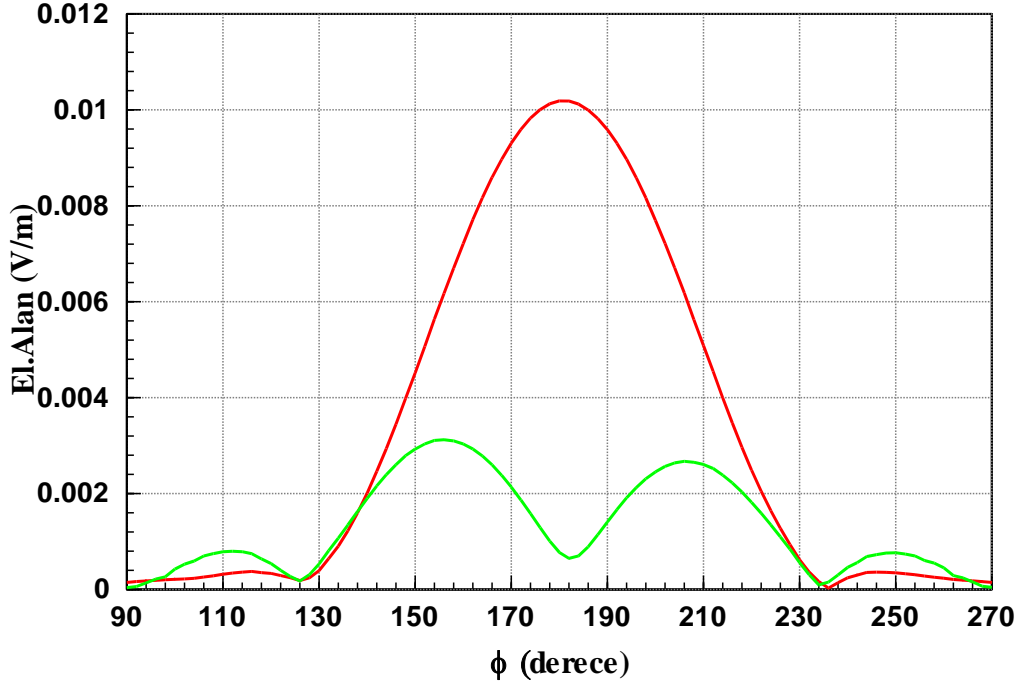


Şekil 4.121 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.122 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.122'de bir arada çizdirilmiştir.

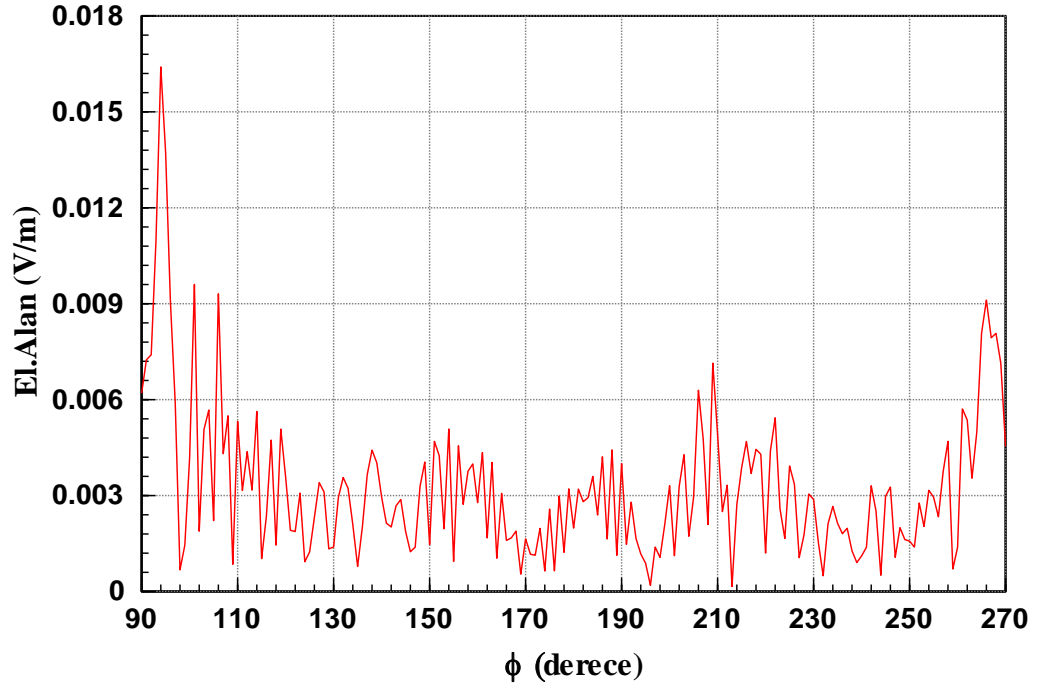


Şekil 4.123 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 45^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.123'de TDR'a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

#### 4.3.20. Senaryo 20

İHA platformunda karıştırıcı antenler yok iken  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  (dikey polarize) düzlemsel dalga gönderilmiş ve İHA platform cilt geri dönüşü hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte  $\phi = 230^\circ$ 'de yatay polarize cilt geri dönüş sinyal değeri  $2.88 \text{ mV}$ 'dur. Dikey polarize cilt geri dönüş sinyal değeri de Şekil 4.25'de  $13 \text{ mV}$  olarak simüle edilmişti.



Şekil 4.124 İHA yatay polarize cilt geri dönüşü (  $f = 9 \text{ GHz}$  , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey polarize sinyal)

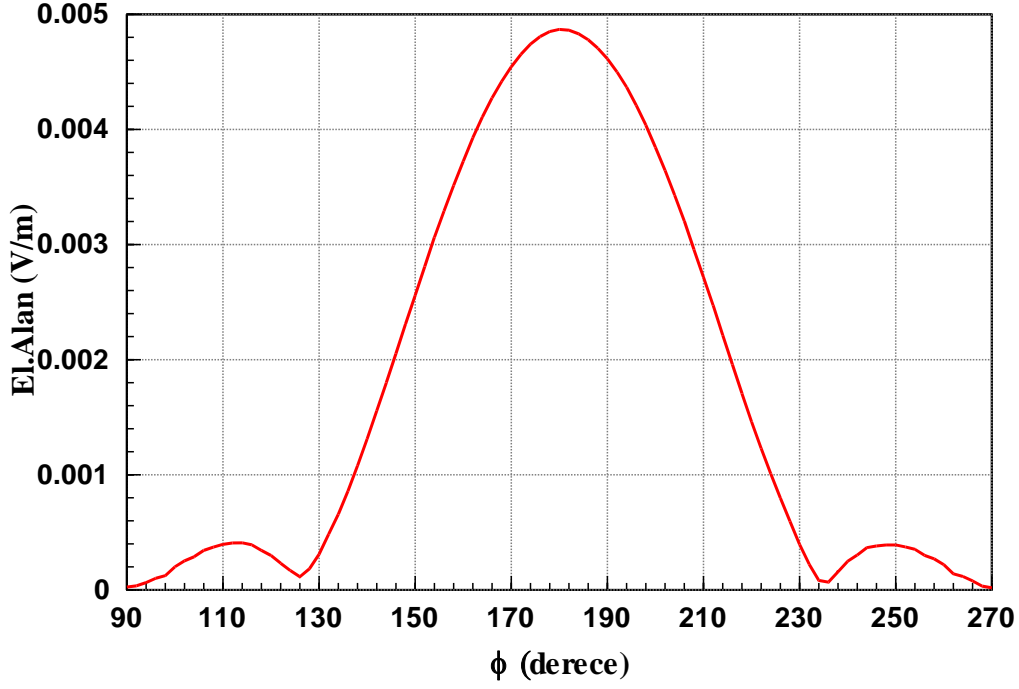
İkinci olarak, karıştırıcı antenler platforma konuşlandırılarak  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  dikey polarize düzlemsel dalga gönderilmiş ve karıştırıcı antenlerin alıcı olarak voltaj ve faz değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.33 Çapraz kutuplanma karıştırıcı antenlerin voltaj ve faz değerleri (  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  , dikey pol.)

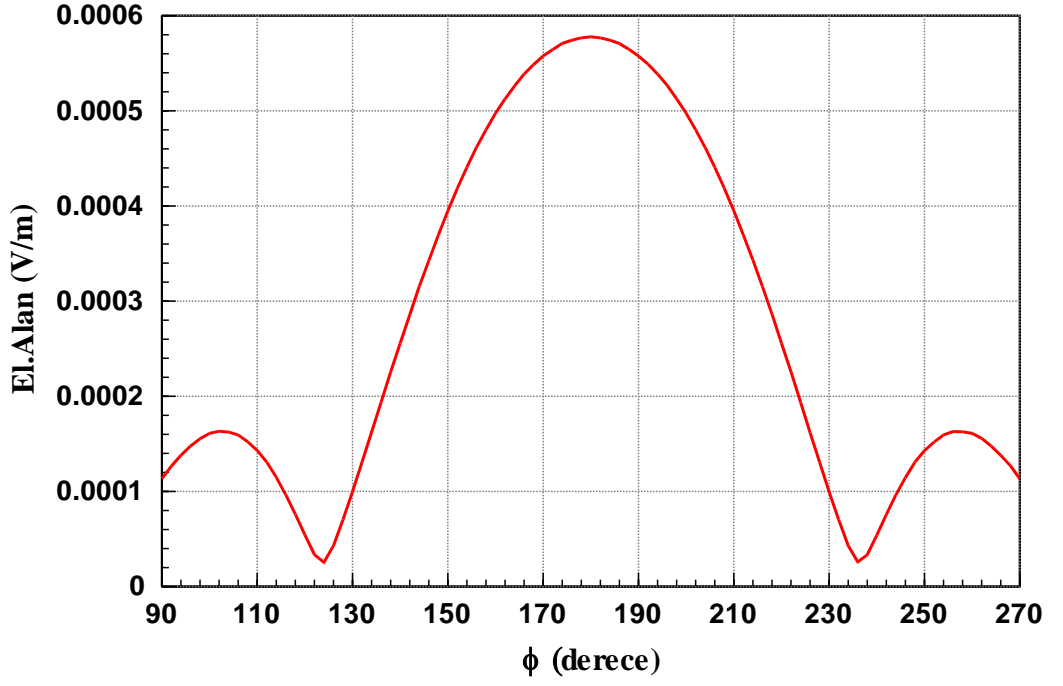
Anten1 (yatay anten) ölçülen voltaj değeri (uV)	Anten1 (yatay anten) ölçülen faz değeri (derece)	Anten2 (dikey anten) ölçülen voltaj değeri (mV)	Anten2 (dikey anten) ölçülen faz değeri (derece)
132.27	18.97	1.47	-35.3447

Üçüncü olarak, Anten 1'in ölçülen voltaj ve faz değerleri Anten 2'ye verilmiş, Anten 2'nin ölçülen voltaj değeri ve faz değeri Anten 1'e verilerek  $\phi = 50^\circ$  ,  $\theta = 90^\circ$  'de uzak alanda ölçülen çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalinin

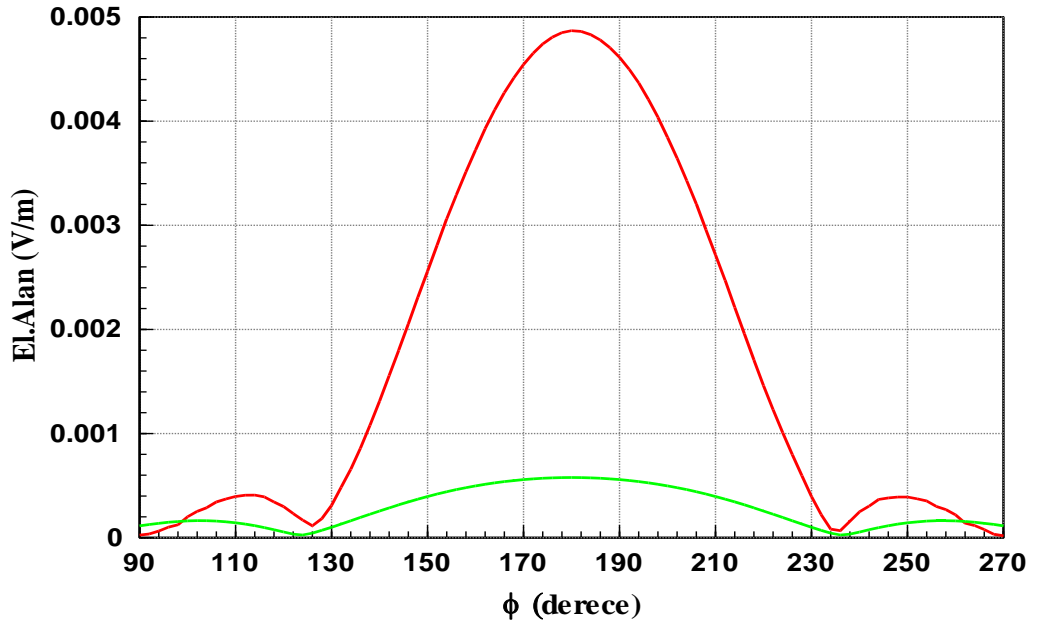
yatay ve dikey polarizasyondaki voltaj değerleri elde edilmiştir.  $\phi = 230^\circ$  iken karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değeri Şekil 4.125’de  $0.3 \text{ mV}$ , karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değeri Şekil 4.126’da  $0.099 \text{ mV}$  olarak simüle edilmiştir.



Şekil 4.125 apraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

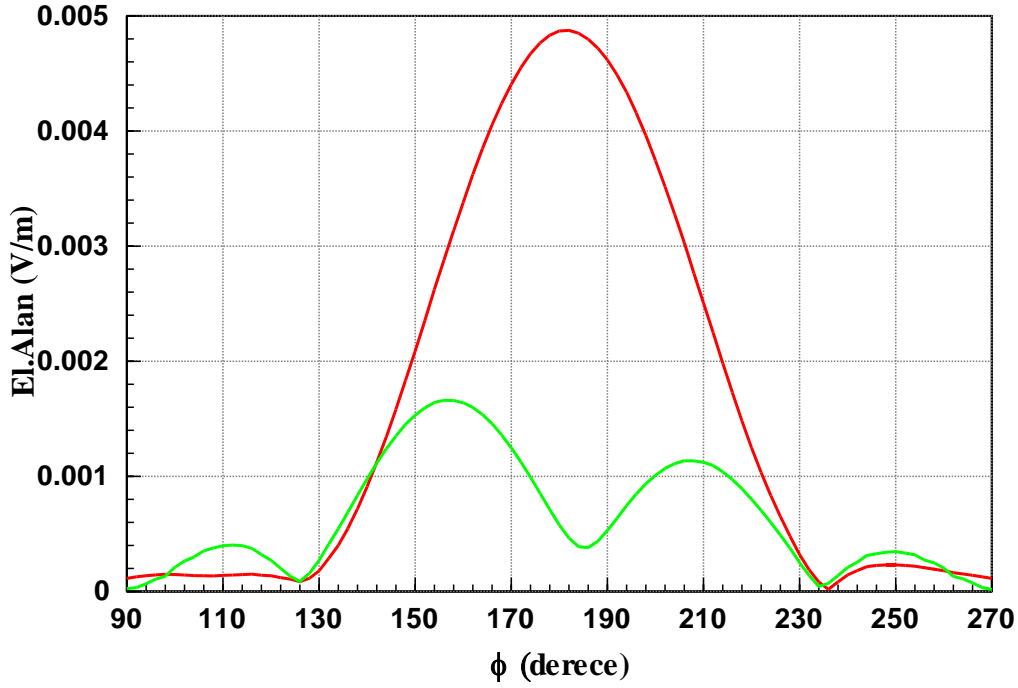


Şekil 4.126 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin dikey polarize voltaj değerinin grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )



Şekil 4.127 Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Çapraz kutuplanma karıştırıcı sinyalin yatay ve dikey polarize voltaj değerleri Şekil 4.127’de bir arada çizdirilmiştir.



Şekil 4.128 Çapraz kutuplanma karıştırıcı eş polarize ve çapraz polarize sinyal grafiği ( $f = 9 \text{ GHz}$ , düzlemsel dalga yönü  $\phi = 50^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ )

Şekil 4.128’de TDR’a gelen sinyalin çapraz ve eş kutuplanma sinyal değerleri görülmektedir. Birinin değerinin en büyük olduğu durumda diğerinin genliğinin çok küçük olması beklenen bir durumdur.

Tüm çapraz kutuplanma karıştırma sonuçları aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur. Ayrıca tasarlanan Yagi Uda anten modelinin resimleri şekil 4.129’da, laboratuvar ortamında yapılan  $S_{11}$  ölçümleri Şekil 4.130’da, üç frekansta network analyzer ile ölçülen kazanç ve çapraz polarize değerleri ise çizelge 4.36’da sunulmuştur.



Çizelge 4.34 Çapraz Kutuplanma Karıştırması Senaryoları Sonuçlar Tablosu (Yatay Polarize Düzlemsel Dalga)

<b>Yatay Polarize Gelen Dalga Yönü (derece)</b>	<b>Yatay Cilt Geri Dönüşü (mV)</b>	<b>Dikey Cilt Geri Dönüşü (fV)</b>	<b>Çapraz Polarize Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (Yatay) (mV)</b>	<b>Çapraz Polarize Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (Dikey) (mV)</b>
5	15	2.75	2.15	38.7
10	29.1	2.8	1.99	36.19
15	108	5.65	1.707	32
20	94	4.91	1.54	26.52
25	60	1.87	1.23	20.6
30	172	3.67	0.88	14.6
35	264	8.77	0.48	8.35
40	75.5	6.27	0.371	4.34
45	85.4	4.27	0.209	1.65
50	13	5.7	0.0508	0.31

Çizelge 4.35 Çapraz Kutuplanma Karıştırması Senaryoları Sonuçlar Tablosu (Dikey Polarize Düzlemsel Dalga)

<b>Dikey Polarize Gelen Dalga Yönü (derece)</b>	<b>Yatay Cilt Geri Dönüşü (mV)</b>	<b>Dikey Cilt Geri Dönüşü (mV)</b>	<b>Çapraz Polarize Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (Yatay) (mV)</b>	<b>Çapraz Polarize Karıştırıcı Antenlerin Uzak Alanda Ölçülen Voltaj Değeri (Dikey) (mV)</b>
5	0.15	15	38.96	2.156
10	0.55	29.3	36.22	2.05
15	0.94	107	32.2	1.9
20	0.94	94	26.68	1.67
25	2.86	60	20.7	1.38
30	0.84	172	14.6	1.12
35	2.73	264	8.38	0.78
40	4.25	75.5	4.3	0.472
45	4.8	85.4	1.59	0.254
50	2.88	13	0.3	0.0998

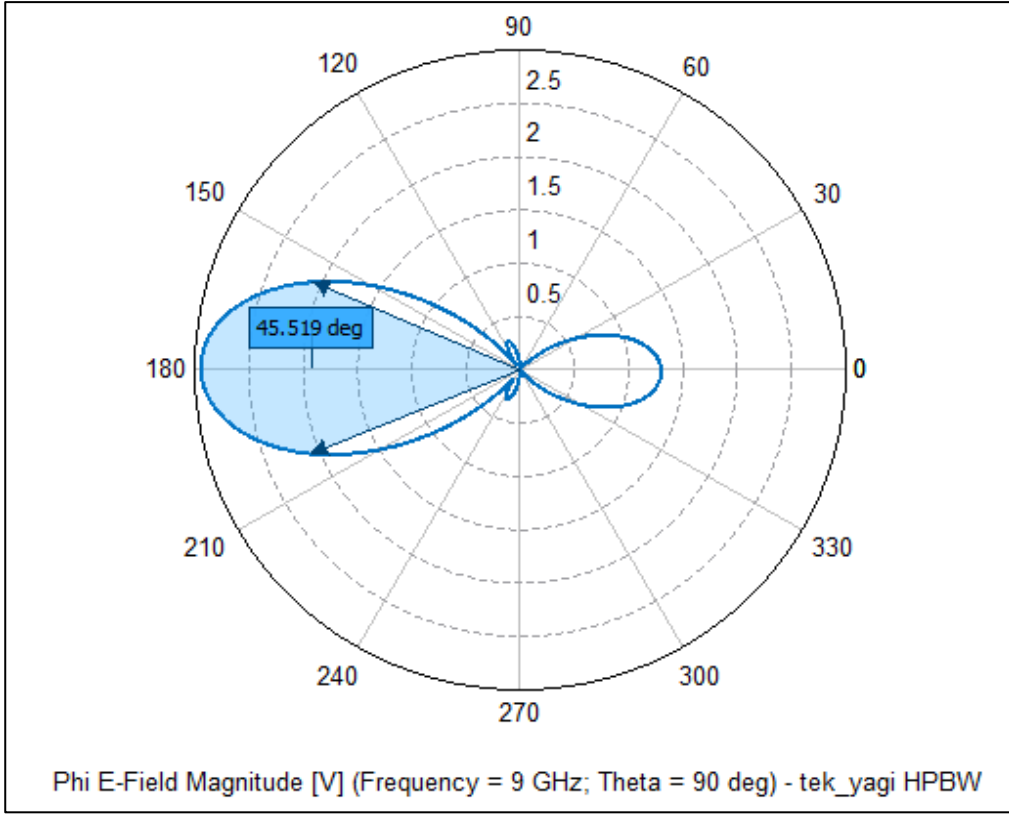
## 5. ÖLÇÜMLER

İHA'nın ağırlık ve boyut kısıtlamalarından dolayı 9 GHz'de çalışabilen, hafif ve küçük boyutlu (yaklaşık 1.4-1.5 cm.) Yagi Uda antenler tasarlanmıştır. 5 elemanlı Yagi Uda Anten tasarım değerleri (5.1)'deki çizelgede görülmektedir. Anten elemanları arasındaki mesafe:  $0.24\lambda=0.825$  cm'dir.

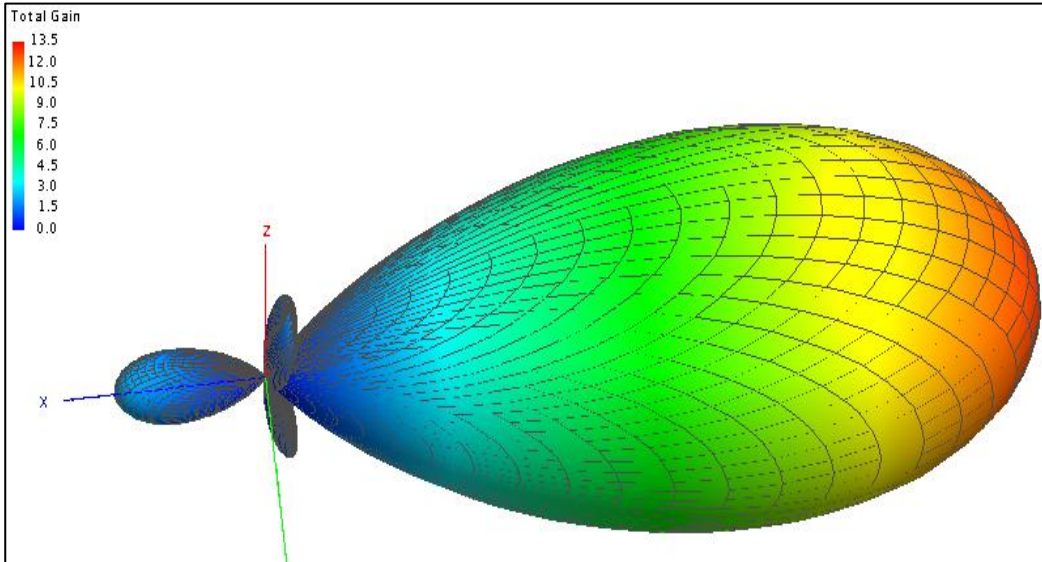
Çizelge 5.1 Yagi Uda Anten Tasarım Değerleri

Anten elemanı	Uzunluklar (cm)
Reflector	1.5741
Driven Element	1.4883
Director 1	1.4586
Director 2	1.4586
Director 3	1.4586

İHA'nın üzerine konuşlandırılan Yagi Uda antenlerin etkili olabildikleri en fazla açı yarım güç huzme genişliğiyle sınırlı kalmaktadır. Bu tezde tasarlanan antenlerin yarım güç huzme genişliği  $45.5^\circ$ 'dir. Şekil 5.1 ve 5.2'de antenlerin FEKO'da ölçülen yarım güç huzme genişliği ve anten yayın paterni görülmektedir.

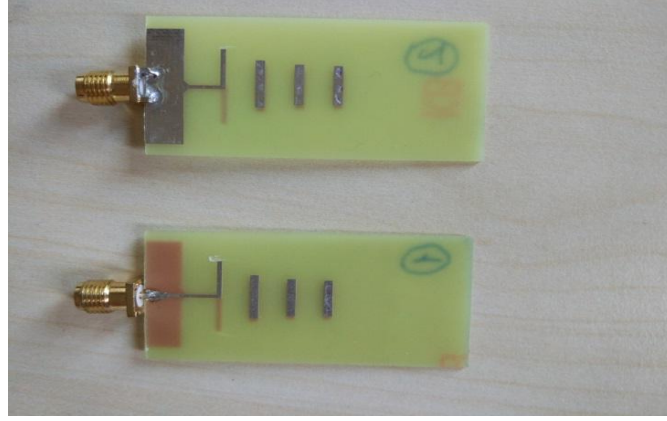


Şekil 5.1 Tasarlanan Yagi Uda Antenlerinin Yarım Güç Hüzme Genişliği



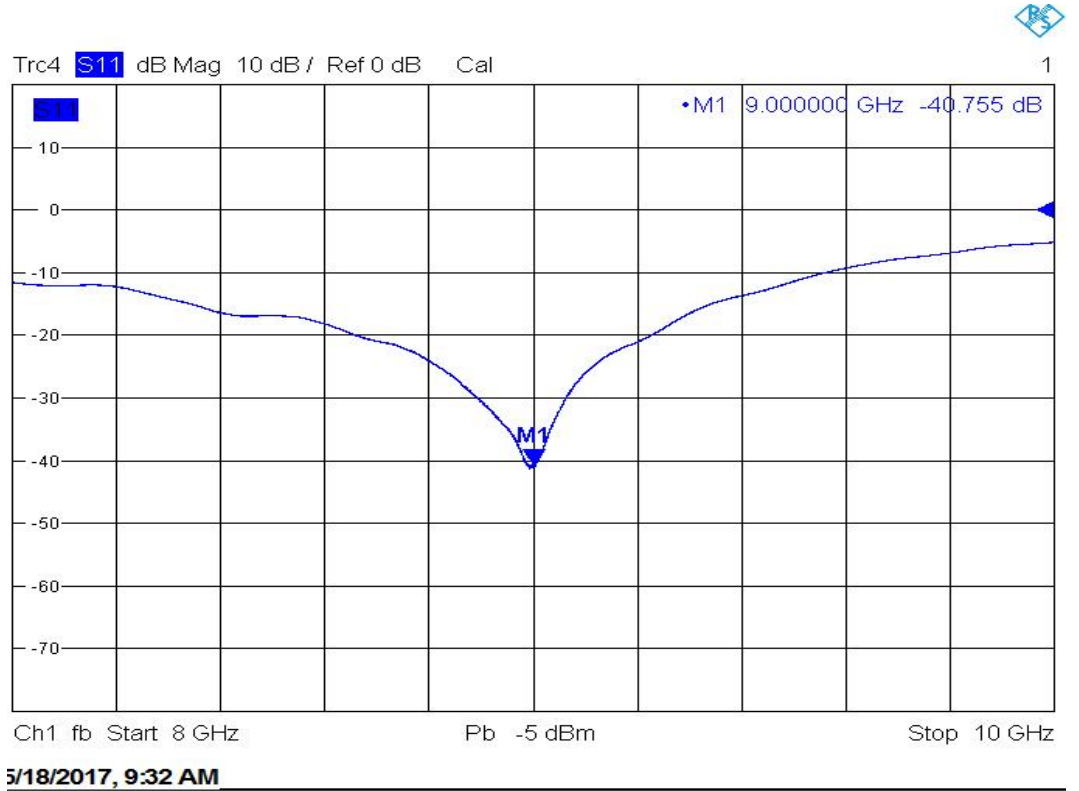
Şekil 5.2 Tasarlanan Yagi Uda Antenlerinin Yayın Paterni

Tasarlanan anten modellerinin ön ve arka görünüşleri şekil 5.3'de bulunmaktadır.



Şekil 5.3 Tasarlanan Yagi Uda Anten Modeli (Ön ve arka görünüm)

Laboratuvar ölçümlerinde; 9 GHz'de  $S_{11}$  (return loss) değerinin  $-40.755dB$  olduğu, genel olarak antenin 8-10 GHz frekans aralığında  $-10dB$ 'nin altında çalışabildiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.4 Tasarlanan Yagi Uda Anten Modeli  $S_{11}$  Grafiği

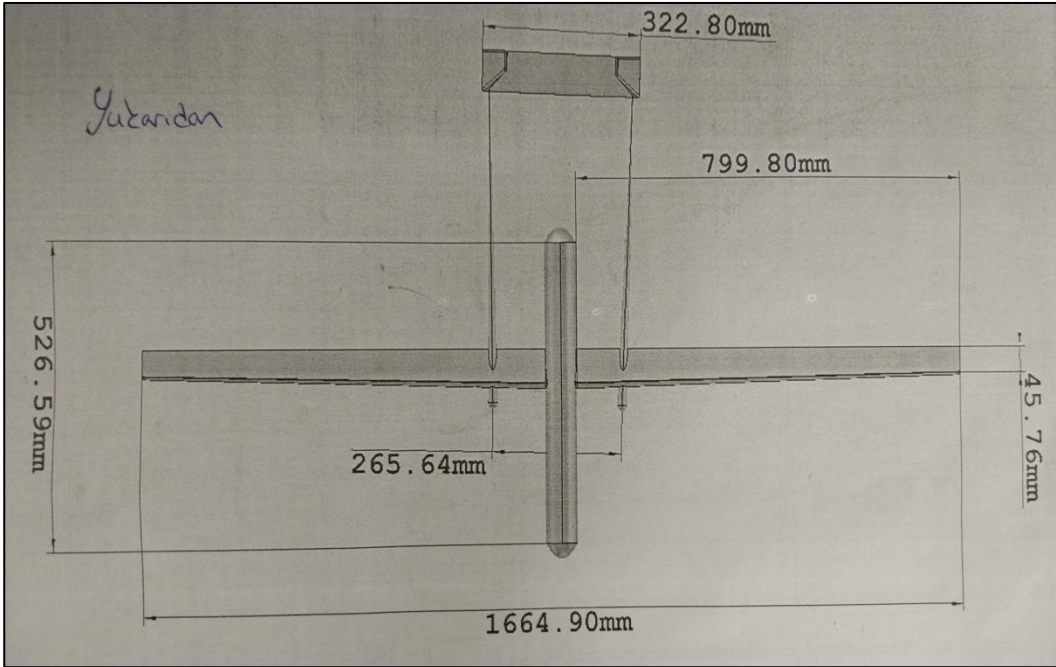
Laboratuvar ölçümlerinde; 9 GHz'de  $S_{11}$  (return loss) değerinin  $-40.755dB$  olduğu, genel olarak antenin 8-10 GHz frekans aralığında  $-10dB$ 'nin altında çalışabildiği tespit edilmiştir.

Antenlerin  $9GHz$ 'de kazancının  $9.1dB$ , çapraz kutuplanma değerinin ise  $-9.08dB$  olduğu tespit edilmiştir. Üç frekansta yapılan ölçümler çizelge 5.2'de görülmektedir.

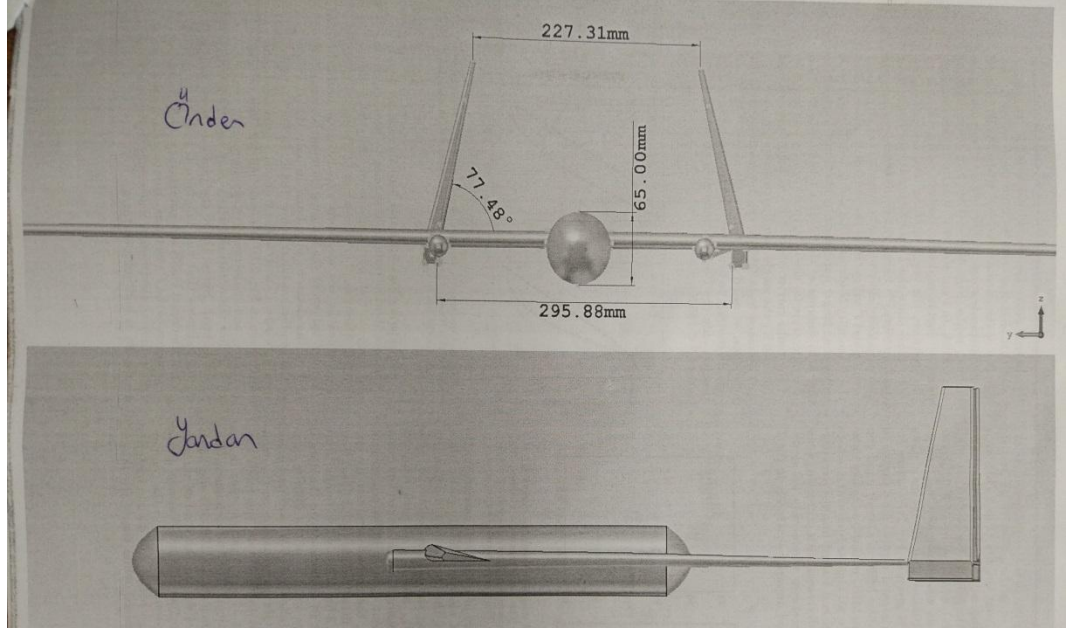
Çizelge 5.2 Yagi Uda Antenlerin Farklı Frekanslarda Ölçülen Kazanç ve Çapraz Kutuplanma Değerleri

Frekans (GHz)	Kazanç (dBi)	Çapraz Kutuplanma Değeri (dB)
8.9	8.28	-7.76
9	9.1	-9.08
9.1	8.42	-9.98

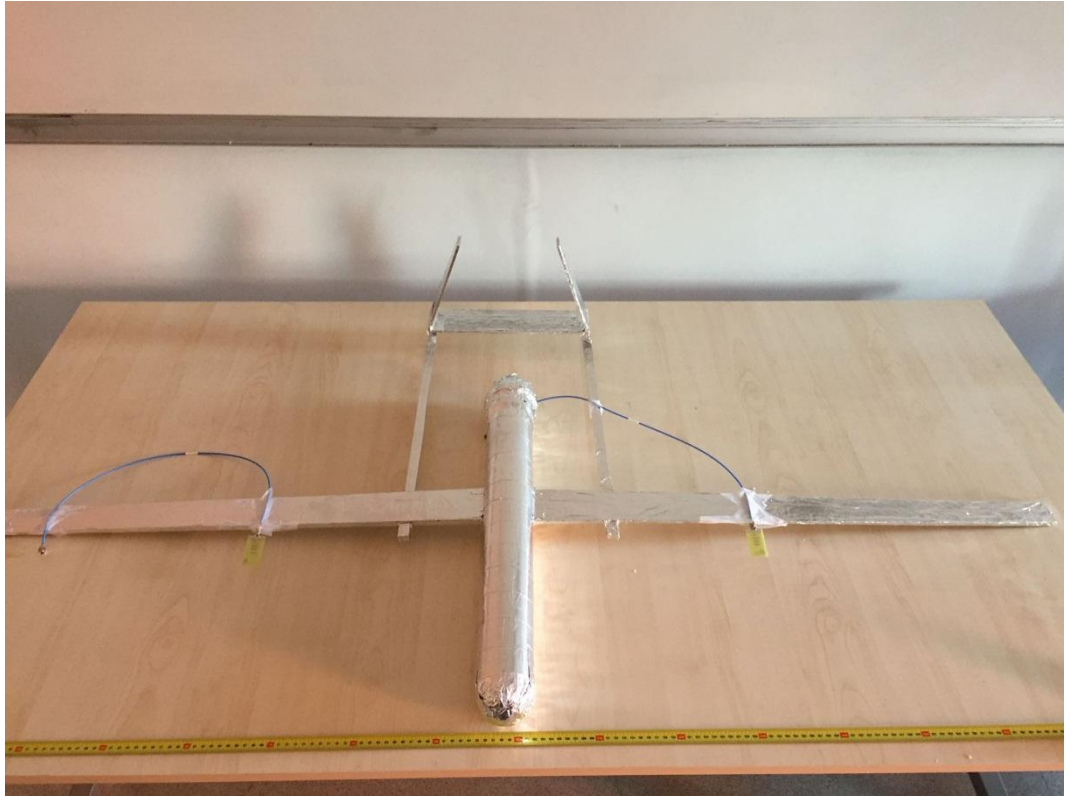
Laboratuvar ölçümleri için gerçek İHA modeli boyutlarının  $1/10$ 'u boyutunda İHA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin boyutları şekil 5.5 ve 5.6'da sunulmuştur. Modelin gerçekleştirilmiş hali şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.5 İHA Modeli Boyutları (Üst)



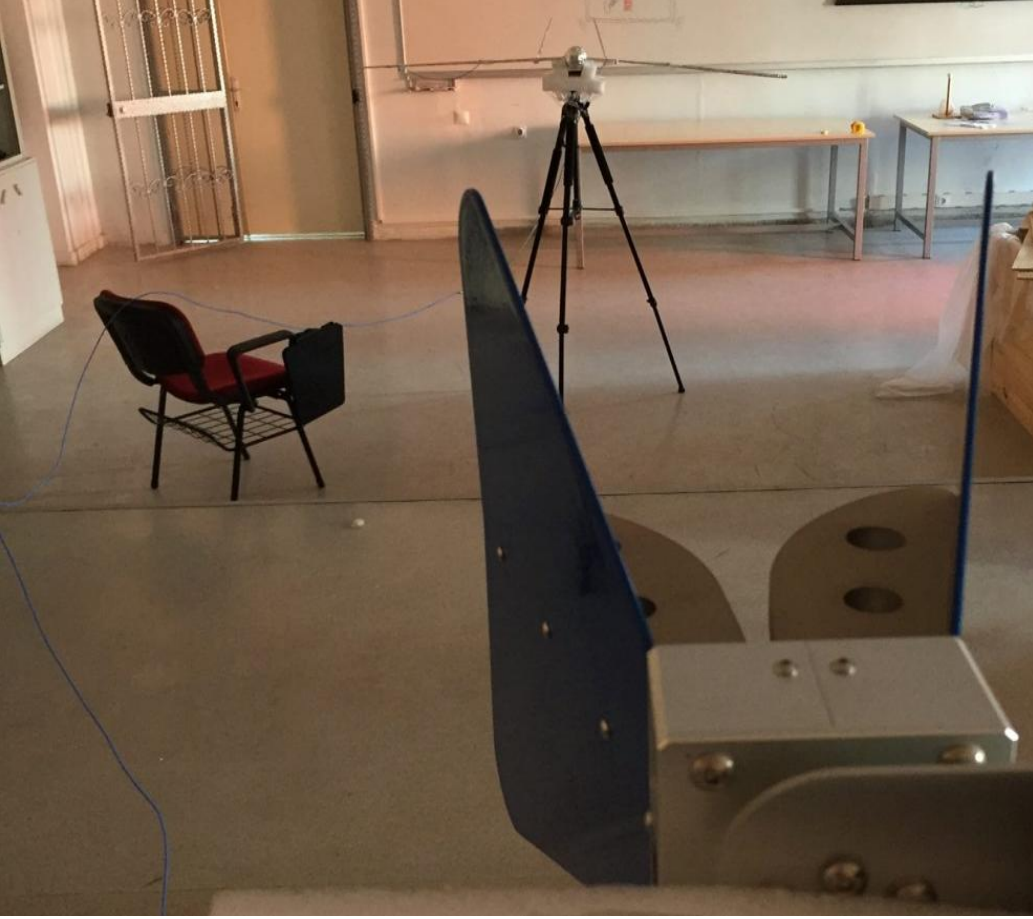
Şekil 5.6 İHA Modeli Boyutları (Ön, Yan)



Şekil 5.7 İHA Modeli



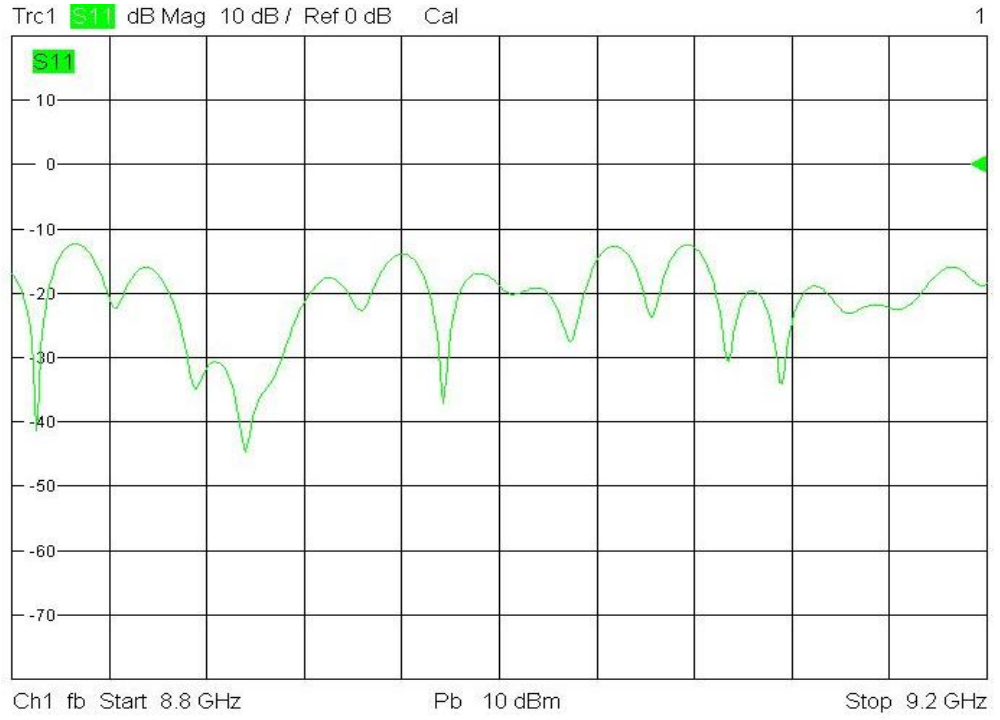
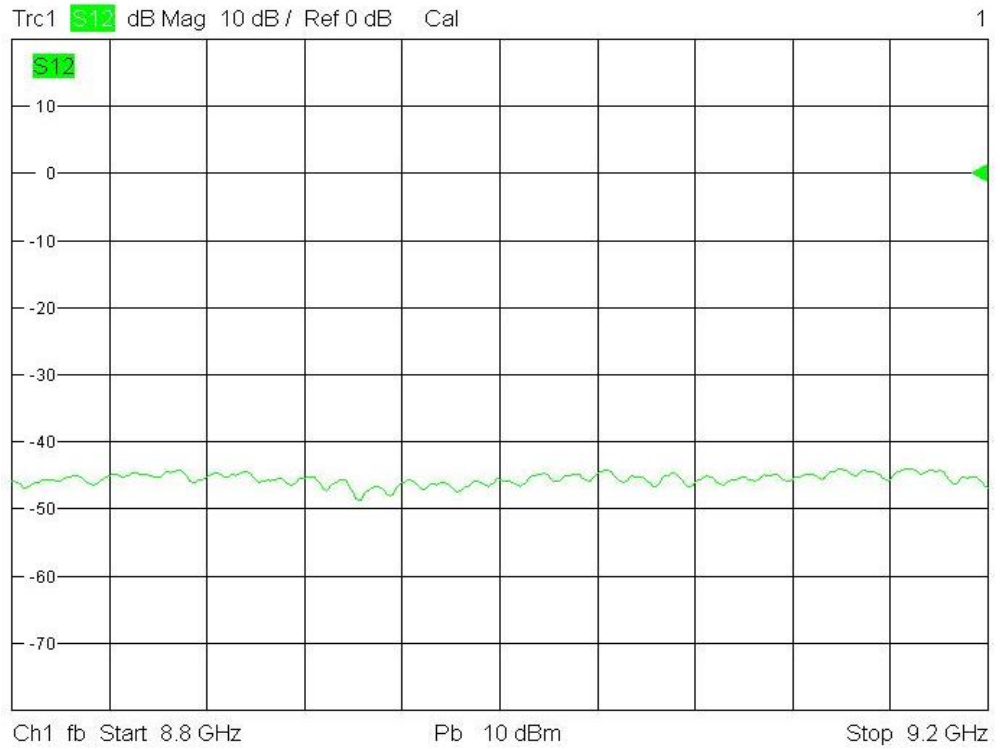
İHA'nın sağ kanadındaki Anten 1 ve sol kanadındaki Anten 2 olarak Yagi Uda antenler konuşlandırıldı. Horn anten ve İHA modeli arasındaki mesafe 5 m. olacak şekilde laboratuvar ölçüm modeli oluşturuldu (Şekil 5.8).

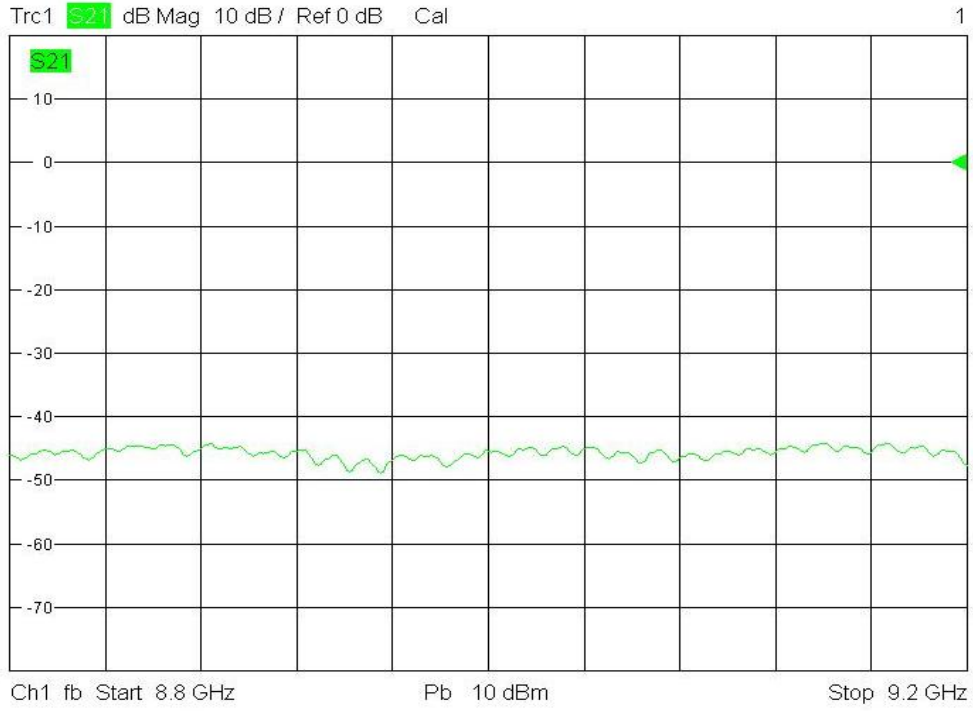
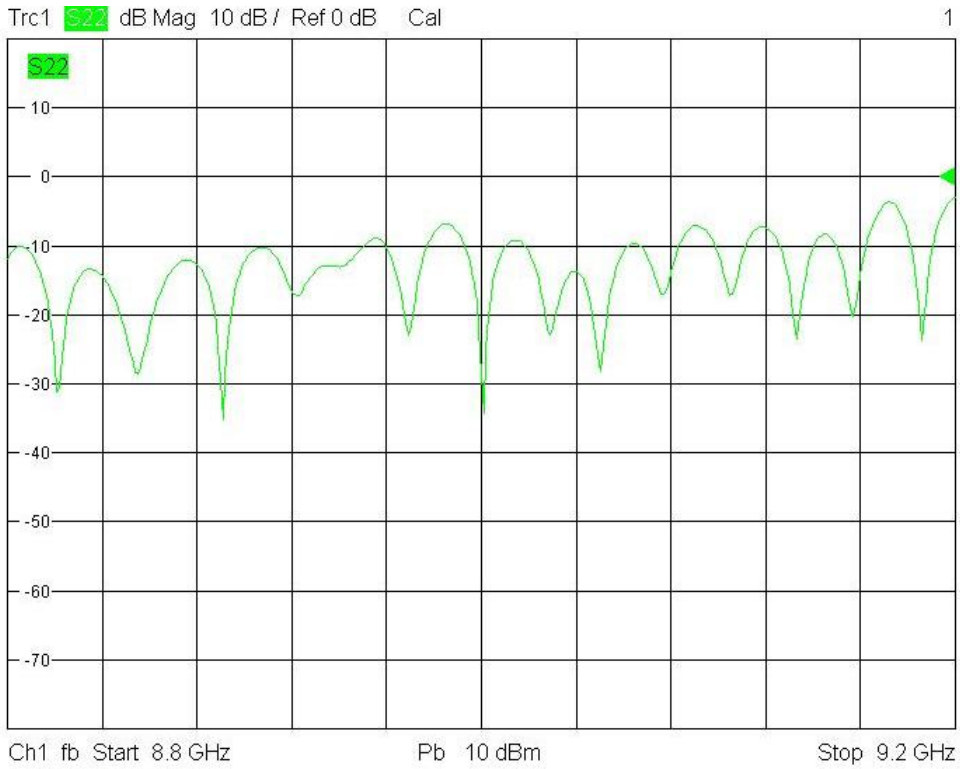


Şekil 5.8 Ölçüm Modeli

Horn anten, İHA modelinin tam karşısına (0 derece) yerleştirilerek  $S_{21}$  ve  $S_{12}$  değerleri network analyzer ile ölçüldü. (Port 2 ; Horn anten)



Şekil 5.9 Laboratuvar Ölçümü  $S_{11}$  GrafiğiŞekil 5.10 Laboratuvar Ölçümü  $S_{12}$  Grafiği

Şekil 5.11 Laboratuvar Ölçümü S<sub>21</sub> GrafiğiŞekil 5.12 Laboratuvar Ölçümü S<sub>22</sub> Grafiği

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, tek darbe radar sistemlerinin çalışma prensipleri incelenmiş, İHA modeli CST MWS yardımı ile oluşturulmuş, şaşı göz ve çapraz kutuplanma karıştırma tekniği kullanan sistemlerin çizimi FEKO MWS ile modellenmiş ve simülasyon sonuçları incelenmiştir.

Şaşı göz karıştırma tekniğinde antenler İHA modelinin kanat platformlarında bulunur. İHA'nın ağırlık ve boyut kısıtlamalarından dolayı 9 GHz'de çalışabilen, hafif ve küçük boyutlu (yaklaşık 1.4-1.5 cm.) Yagi Uda antenler tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçları şaşı göz karıştırmasının geniş açılarda da etkili olduğunun gösterse de, İHA'nın üzerinde konumlu bulunan Yagi Uda antenlerin yarım güç huzme genişliğiyle sınırlı kalmaktadır. Çünkü antenlerin etkili olabildikleri en fazla açı yarım güç huzme genişliğidir. Bu tezde tasarlanan antenlerin yarım güç huzme genişliği  $45.5^\circ$ 'dir. Bu nedenle simülasyonlarda, tek darbe radarın tarama açıları  $5^\circ$ 'den  $50^\circ$ 'ye kadar olacak simüle edilmiş ve sonuçlar bu kısıta göre değerlendirilmiştir. Tüm simülasyonlar 9 GHz'de yapılmıştır.

Hedefin herhangi bir zamandaki ani manevralarından dolayı yön değişimleri hızlı olduğunda cilt geri dönüşünün doğru olarak tahmin edilmesi çok zordur ve hedefin konumu hakkındaki tüm bilgilerin bilinmesi gerekir. İHA modeli diğer savaş uçaklarına göre daha stabil ve ani manevraları fazla ihtiyaç duymayan bir hedef olarak değerlendirildiğinde cilt geri dönüşü daha gerçeğe yakın tahmin edilebilir. Tezde incelenen senaryolarda da İHA'nın bu özelliklerinden yararlanılarak cilt geri dönüşü simüle edilmiştir. İHA'nın cilt geri dönüşünün tüm sistemi ne kadar etkilediğini değerlendirebilmek için Yagi Uda karıştırıcı antenler İHA modeli olmadan simülasyona sokulmuştur. Bu durumdaki şaşı göz karıştırma tekniği simülasyon sonuçlarının, İHA platformu mevcutken yapılan simülasyon sonuçları voltaj değerlerinin onda biri kadar olduğu gözlemlenmiştir. Yani İHA platformu, karıştırma sisteminin sinyal değerlerini on kat arttırmıştır, bu durumda karıştırma sistemi her ne kadar başarılı olsa da başarı oranı azalmaktadır ve radar tarafından tespit edilme olasılığı artmaktadır. Böylece İHA platformunun cilt geri

dönüşünün sistem üzerindeki etkisi ve göz ardı edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Şaşı göz karıştırma tekniğinde radardan hedefe gelen sinyal , hedefteki bir anten tarafından güçlendirilip radara geri gönderilirken, hedefte bulunan diğer anten tarafından 180 derece faz farkı ile güçlendirilip gönderilir. Radara geri gelen bu iki sinyal toplandığında toplam sinyalin değeri sıfıra yakın olur. Şaşı göz karıştırma tekniği simülasyon sonuçlarına göre; İHA'nın ilk adımda gözlemlenen cilt geri dönüşü ne kadar fazla olursa olsun ikinci adımda (şaşı göz karıştırıcı antenler platformda ve çalışırken) TDR'a gelen sinyal değeri sıfıra yakın değerler almış, böylece TDR'ın toplam kanalında sıfıra yakın sinyal değerleri oluşturmuştur. Fark kanal sinyalinin toplam kanal sinyaline oranı ile TDR açısı hata voltajının çok büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Duyarlılık analizi de karıştırıcının faz değişimine karşı çok hassas olduğunu ve 180 derece faz farkından küçük sapmaların bile büyük değişimlere neden olduğunu göstermektedir. Simülasyonun ilk adımında TDR tarafından 10 derece yatay polarizasyonda bir sinyal gönderilmiş. İkinci adımda; 10 derecede TDR'ın toplam kanal sinyal değeri, İHA platformundaki karıştırıcı antenlere 180 derece faz farkı verildiğinde  $0.293\text{ mV}$ , 179 derece faz farkı verildiğinde  $0.47\text{ mV}$ , 175 derece faz farkı verildiğinde  $3.24\text{ mV}$  olduğu gözlemlenmiştir. Simüle edilen tüm sonuçlarda bu tablo görülmüştür. Denklem 2.5'de fark kanalın toplam kanalına oranının  $\cos\theta$  ile çarpımından TDR hatasını elde ederiz. Bu kapsamda 180 derece ( $\cos 180 = -1$ ) faz farkı en büyük hatayı vermektedir. Dolayısıyla bu durum radarın yanlış hedefte olduğunu değerlendirmesine ve farklı yönde izleme yapmaya başlamasına neden olur.

Çapraz kutuplanma karıştırma tekniğinde, antenler İHA modelinin gövdesinin ön kısmında aralarında 90 derece açı olacak şekilde, yatay ve dikey konumlanmış olarak bulunur. TDR tarafından yatay polarize gönderilen bir sinyalin tekrar yatay kutuplanmada geri dönmesini beklerken, dikey polarize karıştırıcı anten tarafından dikey kutuplanmada radara geri gönderilir. Radarın aldığı eş polarize sinyal değeri fazla değişmezken, aldığı çapraz polarize sinyal değeri değişir ve çapraz polarize sinyal değerleri arasındaki fark fazla olur. Bu da radarda hataya sebep olur. Simülasyon sonuçları çapraz kutuplanma

kariştirmasının geniş açılarda da etkili olduğunu gösterse de, antenlerin yarım g huzme genişliğiyle sınırlı kalmaktadır.

Oluşturulan laboratuvar ölüm modelinde; İHA modeli 1/10 boyutunda tasarlanmış ve İHA'dan 5 m. uzaklığa horn anten koyularak,  $S_{12}$  ve  $S_{21}$  değerleri llmştr. Bu değerler kullanılarak radar kariştırma parametreleri elde edilebilir.

İHA'ların TDR'lara karşı görev güvenliği farklı anten modellemeleri ile de sağlanabilir. İHA'ya konuşlandırılacak antenlerin de ağırlık ve boyut kısıtlamaları olması gerektiği göz önünde bulundurularak farklı frekanslarda çalışabilen farklı anten tasarımları yapılabilir. Bundan sonraki çalışmalarda da her şit İHA modeli için geliştirilebilir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Balanis, C. A.**, 1982, Antenna Theory, Analysis and Design, Harper & Row, New York.
- Balanis, C.A.**, 2005, Antenna Theory, Analysis and Design, John Wiley & Sons.
- Curry, G.R.**, 2005, Radar System Performance Modeling, Artech House, INC.
- Çolak, O.**, 2013 Tek Darbe Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı, Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri Mühendisliği Enstitüsü Elektronik Sistemler Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Daobin, Y., Hongyan, W. ve Yanhong, W.**, 2016, Research on Cross-eye Jamming Technique Based on Phase Diversity Processing, MATEC Web of Conferences 59, 07003, ICFST 2016.
- Dastkhosh, A.R., Oskouei, H.D. ve Khademevatan, G.**, 2014, Compact Low Weight High Gain Broadband Antenna by Polarization-Rotation Technique for X-Band Radar, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume 2014, Article ID 743046.
- Du Plessis, W..P.**, 2008, Electronic attack (EA) research: introductory cross-eye jammer investigation CSIR, Pretoria, RSA, Rep.5865-EAR-00005.
- Du Plessis, W.P., Odendaal, J.W., ve Joubert J.**, 2009, Extended Analysis of Retrodirective Cross-Eye Jamming, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 57, no. 9, 2803-2806 pp.
- Du Plessis, W.P.**, 2012, Platform Skin Return And Retrodirective Cross-Eye Jamming, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 48, no 1.
- Du Plesis, W.P.**, 2010, A Compherensive Investigation Of Retrodirective Cross-Eye Jamming, University of Pretoria.
- Ekins ve Douglas,B.**, 1989, Characterization Of The Amplitude Comparison Monopulse Tracking Response On An Unresolvable Pair Of Fluctuating and Constant Targets, Master Thesis, The University of Texas at Arlington.
- Ewell, G.W. ve Alexander, N.T.**, 1987, Principles Of Modern Radar, International Thomson Publishing, Edited by Eaves, J.L. ve Reedy, E.K., Chapt.18.
- Falk, L.**, 2007, Cross-eye Jamming of Monopulse Radar, in IEEE Waveform Diversity and Design Conf., 209-213 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Foo, S., Aloisius, L. ve Kashyap, S.,** 2003, Modeling of Cross Polarization Tracking Errors of Radome-Enclosed Monopulse Systems, Defence R&D Canada, Ottawa.
- Howard, D.D.,** Tracking Radar, Radar Handbook, 2nd ed., Chapt.18.
- Hoon, K. K.,** 1989, Optimizing ECM Techniques Against Monopulse Acquisition And Tracking Radars, NPS Thesis.
- Huiping, W. ve Youyi, Z.,** 2007, A New Method to Realize Cross-eye Jamming Technique, Warships Electronic Warfare, 23-25 pp.
- Kajenski, P.,** 2006, Comparison of two theories of angle glint: Polarization considerations, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 42, no. 1, 206-210 pp.
- Kalınbacak, I., Pehlivan, M. And Yeğın, K.,** 2017, Cross Eye Monopulse Jammer Located on UAV, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), St.Petersburg, Russia.
- Lees, M.L.,** 1976, Cross-polarisation tracking errors on a linearly polarized monopulse radar. In Monitor-Proceedings of the IREE Augt, 306-310.
- Lindsay, J.E.,** 1968, Angular glint and the moving, rotating, complex radar target, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 4, no. 2, 164-173 pp.
- Leonov, A. I. ve Fomichev, K. I.,** 1986, Monopulse Radar, Artech House Inc.
- Lo, Y.T. ve Lee, S.W.,** 1993, Antenna Handbook, Vol.(I), Fundamentals and Mathematical Techniques. Chapman & Hall, New York, NY.
- Ludwig, A.C.,** 1973. The definition of cross polarization. IEEE Trans. Antennas Propagation, AP-21, 116-119.
- Meyer, G.J,** 1997, Using Cross-Eye Techniques To Counter The Frequency Agile Monopulse Processing, Master's Thesis, Air Force Institute of Technology, Air University.
- Neri, F.,** 1991, New Technologies in self-protection jammers. Journal of electronic defense, July, 55-58.
- Neri, F.,** 2001, Anti-monopulse Jamming Techniques, Microwave and Optoelectronics Conference.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Schleher, D.C.**, 1999 *Electronic Warfare in the information age*, Artech House, America, 256-271 pp.
- Sherman, S.M. ve Barthon, D.K.**, 2011, *Monopulse Principles and Techniques*, Artech House.
- Skolnik, M.**, 1962, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, New York, Inc.
- Skolnik, M.**, 2008, *Radar Handbook*, McGraw-Hill Professional.
- Stratakos Y., Geroulis, G. ve Uzunoglu, N.**, 2012, *Analysis Of Glint Phenomenon In A Monopulse Radar In The Presence Of Skin Echo And Non-Ideal Interferometer Echo Signals*, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 697-711 pp.
- Stutzman, W.L. ve Thiele, G. A.**, 1981, *Antenna Theory and Design*. John Wiley Sons, New York.
- Symons, F.W.**, 1997, *Cross polarization jamming of monopulse radar. (DREO-TM-17/97)*. Defence Research Establishment Ottawa.
- Van Brunt, L.B.**, *Applied ECM*. New York: EW Engineering, Inc., 1978, vol. 1.
- Wright, J.**, 1984, *Radar glint a survey*, *Electromagn.*, vol. 4, no. 2, 205-227 pp.

## **ÖZGEÇMİŞ**

İmren KALINBACAĞ 26 Şubat 1988 tarihinde Çanakkale’de doğdu. İlköğretim ve Lise öğrenimini Çanakkale’de tamamladıktan sonra, lisans eğitimini, Hava Harp Okulu Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde 2009 yılı sonunda bitirmiş oldu. Lisans mezuniyeti sonrasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans yapmaktadır.