KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

RADAR KESİT ALANI AZALTILMIŞ ULTRA GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

CENGİZHAN MUSTAFA DİKMEN

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

RADAR KESİT ALANI AZALTILMIŞ ULTRA GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

CENGİZHAN MUSTAFA DİKMEN

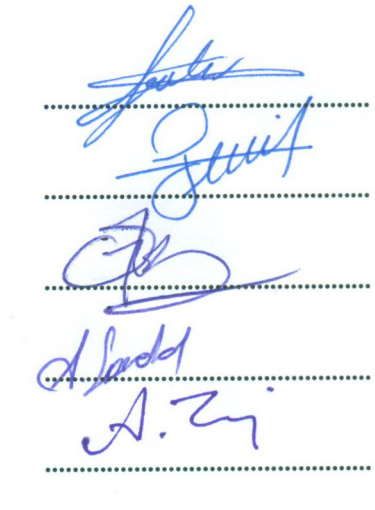
Doç.Dr. Gonca ÇAKIR
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Sibel GÜNDÜZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Güllü Kızıltaş ŞENDUR
Jüri Üyesi, Sabancı Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Adnan SONDAŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Ahmet Yahya TEŞNELİ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 23.06.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ultra geniş bant mikroşerit antenler günümüzde sivil ve askeri alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Az yer kaplamaları ve maliyetlerinin düşük olması bu tip antenleri haberleşme alanında tercih sebebi yapmaktadır. Özellikle aerodinamik yapıya uyumlu olabilmesi nedeniyle askeri alanda da kullanılan mikroşerit antenlerin radarda görünmezliği önem teşkil etmektedir. Radarda görünmeyen uçak ve gemilerin yapısal özelliklerinin yanında antenlerden kaynaklanan saçılım irdelenmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkar. Bu amaçla mikroşerit antenlerin radar kesit alanı azaltımı, üzerinde kullanılan cismin görünmezliğine katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında farklı yapılarda ve farklı özelliklerde alanında ilk kez tasarlanan ultra geniş bant mikroşerit antenler tasarlanmış olup, radar kesit alanı azaltımı literatürde bu alan bazı çalışmalar yapılmışsa da özellikle çalışma bandının tümünü kapsayacak şekilde daha fazla radar kesit alanı azaltımı ilerde geliştirilecek yeni tekniklere yol gösterecektir.

Bu tez çalışmasını 110E265 nolu araştırma projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu)' na teşekkür ederim.

Bunun yanında doktora giriş aşamasında beni teşvik eden Sn. Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK'e, doktora tezimin başlangıç aşamasında pratik uygulamalarda ihtiyacım olduğunda değerli zamanını bana ayıran Sn. Doç. Dr. Mustafa ÇAKIR'a, görev süresini tamamladığı halde desteğini esirgemeyen Sn. Prof Dr. Doğan DİBEKÇİ'ye, sunumlarım için bana değerli vaktini ayıran Sn. Güllü Kızıltaş ŞENDUR'a, doktora çalışma sürem boyunca makale, bildiri çalışmalarımda ve pratik çalışmalarımda her zaman bilgilerinden istifade ettiğim değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Sibel ÇİMEN'e ve bütün bunlardan öte, geçen bütün 6 yıl boyunca gerek ders aşamasında gerekse tez aşamasında akademik çalışma konusunda hemen herşeyi kendisinden öğrendiğim ve hatalarım olsa bile bana sabreden ve her zaman yol gösteren ve bu anlamda hiçbir zaman unutmayacağım değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Gonca ÇAKIR'a teşekkürümü bir borç bilirim.

Mayıs - 2015 Cengizhan Mustafa DİKMEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ……..……..……..…i
İÇİNDEKİLER ……..……..ii
ŞEKİLLER DİZİNİ ……....iii
TABLOLAR DİZİNİ ……..…..…..xi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR ……..…..….xii
ÖZET……....xiii
ABSTRACT ……....xiv
GİRİŞ ……..…1
1. GENEL BİLGİLER ……4
1.1. Mikroşerit Antenlerin Bant Genişliği ……4
1.2. UGB Antenlerde Bant Genişletme Teknikleri ……8
1.3. Anten Radar Kesit Alanı ……...9
2. ULTRA GENİŞ BANT ANTEN TASARIMLARI ……...13
2.1. Pin Diyot ile Bandı Kontrol Edilebilen Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……...13
2.2. Hilal Biçimli Minyatür Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……...19
2.3. Göz Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……23
2.4. Ok Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……..25
2.5. Balta Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……..27
2.6. Sekizgen Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı ……...29
3. MİKROŞERİT ANTENLERDE RADAR KESİT ALANI AZALTIMI ……....31
3.1. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Göz Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten ……...32
3.2. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Ok Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten ……..42
3.3. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Balta Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten ……..57
3.4. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Sekizgen Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten ……...75
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……94
KAYNAKLAR ……98
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER ……101
ÖZGEÇMİŞ ……....102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. W=0,9L kenar oranına sahip εr=2,2 dielektrik sabitindeki dikdörtgen yama antenin f=3 GHz frekansındaki h kalınlığının Q faktörüne etkisi 6
Şekil 1.2. W=0,9L kenar oranına sahip h=1,59 mm kalınlığında antenin f=3 GHz frekansındaki dielektirik sabitinin Q faktörüne etkisi 6
Şekil 1.3. Frekans bastırmak için kullanılan geometrik tasarımlar ...……..8
Şekil 1.4. Empedans uyumu için kullanılan bv1 ve bv2 uzunluklarıyla Açısal eğim verilen yapılar ……..…8
Şekil 1.5. (a) UGB papyon, (b) Dörtgen yama, (c) Üçgen yama, (d) Fraktal yapı ile gerçekleştirilmiş mikroşerit anten örnekleri ...……...…9
Şekil 2.1. Dörtgen antenin ön ve arka yüz geometrisi ……14
Şekil 2.2. Tasarlanan dörtgen antenin tasarım aşamaları ……..…14
Şekil 2.3. Antenin tasarım aşamalarında (#1,#2,#3,#4) için geri dönüş Kaybı (S_{11}) karakteristikleri ……..……..…15
Şekil 2.4. Üretimi yapılmış olan ultra geniş bant anten tasarımının ön ve arka yüz fotoğrafları ……..…16
Şekil 2.5. Tasarlanan antenin pin diyot kısa devre konumundayken S_{11} karakteristiği ölçüm ve simülasyon sonuçları ……16
Şekil 2.6. Tasarlanan antenin pin diyot açık devre konumundayken S_{11} karakteristiği ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..…17
Şekil 2.7. Tasarlanan antenin d uzaklığının S_{11} etkisi ……...17
Şekil 2.8. Tasarlanan antenin yüzey akım dağılımı ……..……..18
Şekil 2.9. Tasarlanan antenin simülasyonla elde edilen θ=0^o (sol), θ=90^o (sağ) (a) 3 GHz ve (b) 10 GHz değerlerindeki ışıma Diyagramları ……...18
Şekil 2.10. Hilal biçimli, minyatür UGB anten a) yama yapısı, b) ön yüz geometrisi ve c) arka yüz geometrisi ……...19
Şekil 2.11. Antenin tasarım aşamaları ……...19
Şekil 2.12. Farklı tasarım aşamalarında elde edilen geri dönüş kaybı Grafikleri ……..20
Şekil 2.13. Üretimi yapılan hilal biçimli antenin ön ve arka fotoğrafları ……..20
Şekil 2.14. Yamayı oluşturan E2x ve E2y yarıçaplarının anten geri dönüş kaybına etkisi ……..21
Şekil 2.15. Tasarlanan antenin simülasyonla elde edilen θ=0^o (sol), θ=90^o (sağ) (a) 5,5 GHz ve (b) 12,5 GHz değerlerindeki ışıma diyagramları ……...22
Şekil 2.16. Tasarlanan antenin (a) 3,7 GHz (b) 5,6 GHz (c) 12,5 GHz frekans değerlerinde simüle edilen yüzey akım dağılımları ……... 22
Şekil 2.17. Hilal şeklindeki minyatür ultra geniş bant antenin ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..……..…23
Şekil 2.18. Göz şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) Antenin ön yüzünün yama yapısı, (b) Antenin besleme hattı ve boyutları, (c) antenin arka yüzü, (d) antenin koordinat sistemine göre perspektif yerleşimi ……..……...24
Şekil 2.19. Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüzü ……..…24
Şekil 2.20. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ...……25
Şekil 2.21. Ok şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a)

Ön yüz (b) arka yüz (c) xyz eksenlerine yerleştirilmiş Perspektif görünüm ……..26
Şekil 2.22. Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri ……26
Şekil 2.23. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..….27
Şekil 2.24. Çift taraflı balta şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) ön yüz (b) arka yüz (c) xyz eksenlerine yerleştirilmiş perspektif görünüm ……28
Şekil 2.25. Üretimi yapılan (a) referans ve (b) modifiye antenin ön ve Arka yüz görüntüleri ……28
Şekil 2.26. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ……..……..29
Şekil 2.27. Altıgen yama ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) antenin ön yüzü (b) antenin xyz eksenleri ile perspektif görünümü ……...29
Şekil 2.28. Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri ……....30
Şekil 2.29. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..….30
Şekil 3.1. Antenin arka yüzünde hg yüksekliğinde yapılan değişimler (a) referans anten, (b) hg=14 mm, (c) hg=11 mm…….…33
Şekil 3.2. Toprak hattında hg yüksekliğindeki değişimle elde edilen S_{11} simülasyon değerleri karşılaştırması ……33
Şekil 3.3. Toprak hattında hg yüksekliğindeki değişimle elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri (Grafiklerdeki Düz çizgi orijinal anten, kesik çizgi hg yüksekliği %50 azaltılmış, noktalı iz hg yüksekliği %60 azaltılmış ışımaları göstermektedir) ……..……34
Şekil 3.4. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında hg yüksekliğinde yapılan değişimin RKA azaltımına etkisi ……35
Şekil 3.5. Antenin yama kısmında r yarıçaplı daire şeklinde eksiltme (a) referans anten, (b) r=6 mm yarıçapında daire, (c) r=8 mm yarıçapında daire ……...35
Şekil 3.6. Yama kısmında r yarıçaplı daire eksiltmesi ile elde edilen S_{11} karşılaştırması ……..……36
Şekil 3.7. Yama kısmında r yarıçaplı daire eksitlesi ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……..….36
Şekil 3.8. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmında uygulanan r yarıçaplı daire eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……..37
Şekil 3.9. Referans antenin (a) 7 GHz ve (b) 13 GHz frekanslarında Yüzey akım dağılımının simülasyonu ……....37
Şekil 3.10. Antenin toprak ve yama kısmında uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) hedeflenen anten ……..……38
Şekil 3.11. Yama ve toprak kısmının değiştirilmesi ile elde edilen S_{11} karşılaştırması ……..….38
Şekil 3.12. Yama ve toprak kısmında uygulanan eksiltme ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……39
Şekil 3.13. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında ve yama kısmında uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……..….40
Şekil 3.14. Üretimi yapılan (a) referans ve (b) modifiye antenlerin ön ve arka yüzleri ……..40
Şekil 3.15. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..….41
Şekil 3.16. Besleme hattı altında bulunan fr genişliğinin S_{11}'e etkisi ……..41
Şekil 3.17. Modifiye antenin RKA değerleri ölçüm ve simülasyon

sonuçları ……41
Şekil 3.18. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında x ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) x ekseninde %60 oranda eksiltme, (c) x ekseninde %70 oranda eksiltme ……42
Şekil 3.19. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması ……42
Şekil 3.20. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen(a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……43
Şekil 3.21 Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında x ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……44
Şekil 3.22. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında y ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) y ekseninde %50 oranda eksiltme, (c) y ekseninde %60 oranda eksiltme ……44
Şekil 3.23. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması ……45
Şekil 3.24. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltım ile elde Edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……45
Şekil 3.25. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……46
Şekil 3.26. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında xy ekseninde uygulanan azaltım (a) referans anten, (b) xy ekseninde %60 oranda eksiltme, (c) xy ekseninde %70 oranda eksiltme ……47
Şekil 3.27. Toprak hattında xy ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması ……47
Şekil 3.28. Toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……48
Şekil 3.29. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……48
Şekil 3.30. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……49
Şekil 3.31. Ok şeklindeki antenin yama kısmında uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) ok şeklindeki yama ile aynı merkezli %70 oranda da küçük geometrinin çıkarılması (c) ok Şeklindeki yama ile aynı merkezli r=3,5 mm yarıçapı daire Geometrinin çıkarılması ……49
Şekil 3.32. Yama kısmında uygulanan geometrik eksiltmeler sonucunda elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı karşılaştırması ……50
Şekil 3.33. Yama kısmında uygulanan geometrik azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……50
Şekil 3.34. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmında uygulanan değişimlerin RKA azaltımına etkisi ……51
Şekil 3.35. Ok şeklindeki antenin yama kısmında uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) ok şeklindeki yama ile aynı merkezli %70 oranda küçük geometrinin çıkarılması (c) ok şeklindeki yama ile aynı merkezli r=3,5 mm yarıçaplı daire geometrinin çıkarılması ……52
Şekil 3.36. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasında x, xy ve y ekseninde uygulanan oransal değişimlerin RKA azaltımına

etkisi ……...52
Şekil 3.37. Referans antenin (a) 3,6 GHz ve (b) 10 GHz de yüzey akımlarının dağılımı ……...53
Şekil 3.38. Ok şeklindeki antenin yama kısmında ve toprak kısmında, uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) Yamada r=3,5 mm yarıçaplı daire ile toprakta x ekseninde %70 oranda uygulanan eksiltmeler ……53
Şekil 3.39. Antenin toprak ve yama kısmına uygulanan değişim ile elde edilen S_{11} karşılaştırması ……...54
Şekil 3.40. Antenin toprak ve yama kısmına uygulanan değişim ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……54
Şekil 3.41. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda uygulanan değişimlerin RKA azaltımına etkisi ……55
Şekil 3.42. Üretimi yapılan modifiye antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri ……...56
Şekil 3.43. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ……..….56
Şekil 3.44. Modifiye anten için y polarizasyon RKA ölçüm ve Simülasyon sonucu ……..……56
Şekil 3.45. Çift taraflı balta şeklindeki antenin toprak kısmında x ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) y ekseninde %50 oranda eksiltme, (c) y ekseninde %60 oranda eksiltme ……..……....57
Şekil 3.46. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması ……...57
Şekil 3.47. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……58
Şekil 3.48. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……58
Şekil 3.49. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi ……59
Şekil 3.50. Çift taraflı balta şeklindeki antenin yama kısmından Uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) yama kısmından çıkarılan çift taraflı elips geometri ……..……59
Şekil 3.51. Yama kısmından çıkarılan çift elips geometrinin S_{11}'e etkisi ……..…..59
Şekil 3.52. Antenin yama kısmında uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……..60
Şekil 3.53. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan çift elips geometrinin RKA azaltımına etkisi ……61
Şekil 3.54. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) orjinal anten, (b) üst toprak katmanından y ekseni boyunca %30 oransal eksiltme (c) üst toprak katmanında y ekseni boyunca %50 oransal eksiltme ……..…61
Şekil 3.55. Üst toprak katmanında yapılan değişikliklerin S_{11}'e etkisi ……..……..62
Şekil 3.56. Antenin yama kısmında uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……..62
Şekil 3.57. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanının y ekseninde kısaltmanın RKA azaltımına etkisi ……63
Şekil 3.58. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) üst toprak

katmanından antenin x=25 ve y=10 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması, (c) üst toprak katmanından antenin x=25 ve y=13 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması (d) üst toprak katmanından antenin x=28 ve y=10 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması ……..64
Şekil 3.59. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan farklı yarıçap ölçülerindeki elips geometrilerin S_{11}'e etkisi ……..…64
Şekil 3.60. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan elips geometri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……65
Şekil 3.61. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanından x=25 ve y=10 mm yarıçapında elips elips geometrinin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi ……..…..…….66
Şekil 3.62. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) referans anten, (b) r=1,4 mm yarıçap büyüklüğünde olan dairelerin üst toprak katmanından çıkarılması ……..66
Şekil 3.63. Üst toprak katmanından çıkarılan delikli yapının antenin S_{11}'e etkisi ……....67
Şekil 3.64. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan delikli yapı ile elde Edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……67
Şekil 3.65. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanından 1,4 mm yarıçapında dairelerin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi ……68
Şekil 3.66. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanına uygulanan değişim örneklerinin karşılaştırılması (a) referans anten, (b) üst katmanın y ekseninde %30 oranda kısaltılması, (c) üst katmandan merkez noktası anten köşesi olan x=25 y=10 mm yarıçap ölçülerinde elips geometri çıkarılması, (d) r=1,4 mm yarıçap büyüklüğünde olan dairelerin üst toprak katmanından çıkarılması ……..69
Şekil 3.67. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanında yapılan farklı değişimlerin anten RKA azaltımına etkisi ……..69
Şekil 3.68. Referans antenin (a) 5,5 GHz (b) 12 GHz frekansında yüzey akım dağılımları ……..70
Şekil 3.69. Çift taraflı balta şeklindeki antenin RKA azaltımı için Uygulanan yapısal değişim (a) orjinal anten, (b) Antenin üst toprak, alt toprak ve yama kısmındaki değişimlerin birleştirilmesi ……..70
Şekil 3.70. Çift taraflı balta geometrisine sahip antende gerçekleştirilen yapısal değişikliğin S_{11} geri dönüş kaybına etkisi ……..71
Şekil 3.71. Referans anten ile yapısal değiştirilmiş antenin (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……71
Şekil 3.72. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda son aşamada elde edilen modifiye anten ve orijinal anten RKA karşılaştırması ……72
Şekil 3.73. Üretimi yapılan modifiye antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri ……..……..……73
Şekil 3.74. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ……...73
Şekil 3.75. Modifiye antenin RKA ölçüm ve simülasyon sonuçları ……73
Şekil 3.76. Gelen dalga $\Theta=60^o$ ve $\varphi=180^o$ yönünde olduğunda referans

ve modifiye antenin (a) x polarizasyon ve (b) y polarizasyon RKA simülasyon sonuçları ……74
Şekil 3.77. Gelen dalga Θ=15^o ve φ=0^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin (a) x polarizasyon (b) y polarizasyon RCS simülasyon sonuçları ……..…75
Şekil 3.78. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan değişiklikler (a) orijinal anten, (b) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %70 eksiltilmiş, (c) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %80 eksiltilmiş, (d) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %90 eksiltilmiş ……76
Şekil 3.79. Toprak tabakasını xy ekseni boyunca oransal azaltmanın S_{11} 'e etkisi ……76
Şekil 3.80. Toprak tabakasının xy eksenindeki oransal kısaltama ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……77
Şekil 3.81. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasının xy ekseninde oransal değişiminin RKA azaltımına etkisi ……78
Şekil 3.82. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan değişiklikler (a) referans anten, (b) toprak tabakası x ekseni boyunca %60 eksiltilmiş, (c) toprak tabakası y ekseni boyunca %70 eksiltilmiş, (d) toprak tabakası y ekseni boyunca %80 eksiltilmiş ……..……..…78
Şekil 3.83. Toprak tabakasını y ekseni boyunca oransal azaltmanın S_{11}'e etkisi ……...79
Şekil 3.84. Toprak tabakasının y eksenindeki oransal kısaltama ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……79
Şekil 3.85. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasının y ekseninde oransal değişiminin RKA azaltımına etkisi ……80
Şekil 3.86. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan geometrik değişiklikler (a) referans anten, (b) toprak tabakasından besleme noktası merkez olmak üzere y ekseninde ve r=28 mm yarıçapında çıkarılan elips, (c) toprak tabakasından besleme noktası merkez olmak üzere y ekseninde ve r=29 mm yarıçapında çıkarılan elips geometri ……..81
Şekil 3.87. Toprak tabakasından elips geometrinin çıkarılmasının S_{11}'e etkisi ……81
Şekil 3.88. Toprak tabakasından elips geometri çıkarılması ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……..82
Şekil 3.89. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasından r=28 mm ve r=29 mm yarıçapındaki elips geometrinin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi ……83
Şekil 3.90. Antenin yama kısmında yapılan değişiklikler (a) orijinal anten, (b) yama kısmı ile aynı merkezli r=4 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması, (c) yama kısmı ile aynı merkezli r=5 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması, (d) yama kısmı ile aynı merkezli r=6 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması ……83
Şekil 3.91. Yama kısmından farklı büyüklüklerde çıkarılan daire geometrinin S_{11}'e etkisi ……..……...84
Şekil 3.92. Yama kısmından çıkarılan daire geometrileri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……...84
Şekil 3.93. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan r=4

mm yarıçapında dairenin RKA azaltımına etkisi ……...85
Şekil 3.94. Antenin toprak kısmında yapılan değişimlerin karşılaştırılması (a) orijinal anten, (b) toprak kısmından y=28 mm yarıçaplı elipsin çıkarılması, (c) toprak kısmının x ve y ekseninde %80 oranda azaltılması, (d) toprak kısmının y ekseni boyunca %60 azaltılması ……..……..86
Şekil 3.95. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak kısımına uygulanan farklı değişimlerin oluşturduğu RKA azaltımlarının karşılaştırılması ……..86
Şekil 3.96. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak kısımına uygulanan farklı değişimlerin oluşturduğu RKA azaltımlarının karşılaştırılması ……..87
Şekil 3.97. Referans antenin (a) 7 GHz ve (b) 13 GHz de yüzeysel akım dağılımı ……..……87
Şekil 3.98. Altıgen ultra geniş bant anten yapısında RKA azaltımı için yapılan değişiklikler (a) referans anten, (b) hedeflenen anten …….88
Şekil 3.99. Yama kısmından farklı büyüklüklerde çıkarılan daire geometrinin S_{11}'e etkisi ……..……...88
Şekil 3.100. Yama kısmından çıkarılan dire geometrileri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri ……..……..89
Şekil 3.101. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan r=4 mm yarıçapında dairenin RKA azaltımına etkisi ……90
Şekil 3.102. Üretimi yapılan modifiye antenlerin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri ……...90
Şekil 3.103. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları ……91
Şekil 3.104. Referans ve modifiye anten için kazanç değerleri karşılaştırılması ……..91
Şekil 3.105. Modifiye anten için y polarizasyon RKA ölçüm ve simülasyon sonuçları ……92
Şekil 3.106. Gelen dalganın $\Theta=15^o$ ve $\varphi=90^o$ yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin y polarizasyon RKA simülasyon sonuçları ……92
Şekil 3.107. Gelen dalganın $\Theta=15^o$ ve $\varphi=90^o$ yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x polarizasyon RKA simülasyon sonuçları ……..……...93
Şekil 3.108. Gelen dalganın $\Theta=30^o$ ve $\varphi=90^o$ yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x polarizasyon RKA simülasyon sonuçları ……..……93
Şekil 3.109. Gelen dalganın $\Theta=30^o$ ve $\varphi=90^o$ yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin y polarizasyon RKA karşılaştırılması ……..93

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. d uzunluğunun f_r rezonans frekansına etkisi ……14
Tablo 4.1. Tasarımı yapılan UGB antenler ……95
Tablo 4.2. Tasarımı ve RKA azaltımı yapılan UGB antenler ……96

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

$\mathbf{a}_1$: Uyumlu yük bağlandığında oluşan genlik, (V)
E^{an} : Anten mod saçılan elektriksel alan, (V/m)
E^{s} : Saçılan elektriksel alan, (V/m)
E^{st} : Yapısal mod saçılan elekriksel alan, (V/m)
E_0 : Birim akım uygulandığında yayılan elektriksel alan, (V/m)
f_c : Bant genişliği merkez frekansı, (Hz)
f_h : Anten çalışma frekansı üst sınır, (Hz)
f_l : Anten çalışma frekansı alt sınır, (Hz)
f_r : Rezonans frekansı, (Hz)
S_{11} : Anten geri dönüş kaybı, (dB)
Q : Kalite faktörü
v_0 : Işık hızı, (m/sn)
Z_{in} : Anten giriş impedansı, (ohm)
Z_L : Yük impedansı, (ohm)
Z_0 : Beslem hattaı impedansı, (ohm)
ε_r : Dielektrik sabiti
ε_{re} : Bağıl dielektrik katsayısı
λ : Dalga boyu, (m)
σ^{total} : Toplam anten radar kesit alanı, (dB)
σ^{st} : Yapısal mod radar kesit alanı, (dB)
σ^{an} : Anten mod radar kesit alanı, (dB)
∞ : Sonsuz
Γ : Anten besleme noktası yansıma katsayısı
Γ_A : Anten yansıma katsayısı
Γ_L : Yük yansıma katsayısı
Ω : Direnç, (ohm)
λ_g : Dielektrik malzeme içerisindeki dalga boyu, (m)
Θ : Polar koordinat sisteminde x eksen ile vektör arasındaki açı, (derece)
Φ : Polar koordinat siteminde vektör ile z eksen arasındaki açı, (derece)

Kısaltmalar

BG : Bant Genişliği
BG_o : Oransal Bant Genişliği
dB : Logaritmik Tabanlı Güç Oranı
DDO : Duran Dalga Oranı
DRPA : Defence Advanced Research Projects Agency (Defansif İleri Araştırma Projeleri Ajansı)
FCC : Federal Communications Commission (Federal İletişim Komisyonu)
GHz : Gigahertz
m : Metre
MHz : Megahertz
mm : Mili Metre
RKA : Radar Kesit Alanı
RYT : Radar Yutucu Tabaka
UGB : Ultra Geniş Bant
WLAN : Local Area Network (Yerel Alan Ağı)

RADAR KESİT ALANI AZALTILMIŞ ULTRA GENİŞ BANTLI MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada ultra geniş bant mikroşerit anten tasarımında antenin bütün çalışma bandı boyunca radar kesit alanı azaltımı sağlamak amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında farklı geometrik yapılara sahip anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu bir tanesinde daha önce çalışılmamış olan yalnız bir tek diyot kullanılarak WLAN (Wireless local area network) sistemleri için ayrılmış frekans bandında anahtarlama gerçekleştirilmiştir. Bir başka anten tasarımı şimdiye kadar tasarlanmış olanlarla karşılaştırıldığında mikroşerit hat beslemeli fiziksel olarak en küçük boyuta sahiptir. Bir sonraki adımda tasarlanan antenlerin yüzey akım dağılımları simüle edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları da göz önüne alınarak her iki toprak ve yama yapıları RKA (radar kesit alanı) azaltımı için modifiye edilmiştir. Yapılan modifikasyonlar sonucunda antenlerde çalışma bandı boyunca ortalama 10 dB değerinde bir radar kesit alanı azaltımı sağlanmıştır. Son aşamada simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak çalışma uygulamalarla doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikroşerit Antenler, Ultra Geniş Bant, Radar Kesit Alanı.

ULTRA WIDE BAND MICROSTIP ANTENNA DESIGN WITH REDUCED RADAR CROSS SECTION

ABSTRACT

In this study, it' s aimed to reduce radar cross section of ultra wide band microstrip antennas at whole operation bandwidth. At the first stage of this study ultra wide band microstrip antennas that have different geometric structures are designed. One of these anttena designs uses one pin diode that hasn't been studied before to switch frequency band which is reserved for WLAN (wireles local area network) systems. Another antenna design has the smallest physical size compared to antennas designed before which are fed by a microstrip feed line. At the next step, the surface current distribution of the antennas are simulated. Considering the simulation results, both patch and ground structures are modified to reduce RCS (radar cross section) of the antennas. After the modifications RCS of the antennas are reduced by approximately 10 dB at whole operating frequency band. At the last stage the simulated results are confirmed by comparing to measurement results.

Keywords: Microstrip Antennas, Ultra Wide Band, Radar Cross Section.

GİRİŞ

Son yıllarda ultra-geniş bantlı (UGB) kablosuz haberleşme ve radar sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak düşük maliyetli mikrodalga devre elemanlarının tasarımı ve üretimi araştırmacılar tarafından ele alınan önemli konulardan biri haline gelmiştir. UGB antenler bu elemanların başında gelmektedir. UGB antenler, UGB radarlar ve yüksek veri hızlı kablosuz haberleşme sistemleri gibi birçok sivil ve askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Mikroşerit antenler, az hacim kaplamaları, maliyetlerinin düşük ve üretimlerinin kolay olması nedeniyle UGB haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan anten tipleridir. Özellikle uçaklarda aerodinamik yapıyı bozmaması sebebiyle tercih edilmektedirler. Radara karşı görünmezlik söz konusu olduğunda düşük radar kesit alanlı UGB antenlerin tasarımı kritik önem taşımaktadır. Hayalet uçak, hayalet gemi gibi görünmezlik teknolojilerinin kullanıldığı yapılarda, taşıdıkları antenlerden kaynaklanan saçılımın, toplam radar kesit alanına (RKA) katkısının göz önünde bulundurulması çok önemlidir. Son yıllara kadar literatürde anten RKA'sını azaltmaya yönelik çalışmaya pek rastlanmazken, son birkaç senedir konunun önemine dikkat çekilerek, özellikle mikroşerit antenlerin radar kesit alanını azaltmaya yönelik teknikler ve tasarımlar literatürde yerini almaya başlamıştır. Bu alanda yapılacak tasarımlara ve tekniklere olan ihtiyaç, ışıma performansını değiştirmeden, anten kazancını azaltmadan mümkün olan en düşük RKA elde edilene kadar devam edecektir. Bu tezde de, görünmezlik teknolojilerinin gerek duyulduğu platformlarda kullanılmak üzere, ultra-geniş bantlı (3-12GHz bandı hedeflenmektedir), düşük RKA'lı (tüm bantta ortalama 10dB azatlım hedeflenmektedir) mikroşerit anten tasarımı yapılması planlanmıştır.

Günümüzde savaş sahasında taktik ve stratejik açıdan üstün olabilmek için elektronik harp unsurlarının milli, gelişmiş ve özgün teknolojik donanımlara sahip olması gerekmektedir. Hayalet uçak, hayalet gemi gibi görünmezlik teknolojilerinin kullanıldığı platformlarda, taşıdıkları antenlerden kaynaklanan saçılımın, toplam radar kesit alanına katkısı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu katkının düşük olması için, tasarlanan antenlerin radar kesit alanları da düşük olmalıdır. Son yıllarda ultra-geniş bantlı (UGB) kablosuz haberleşme sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak düşük maliyetli mikrodalga devre elemanlarının tasarımı ve üretimi de araştırmacılar tarafından ele alınan önemli konulardan biri haline gelmiştir. UGB antenler, UGB

radarlar ve daha yüksek hızlı kablosuz haberleşme sistemleri gibi birçok askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Fakat özellikle radara karşı görünmezlik söz konusu olduğunda düşük radar kesit alanlı UGB antenlerin tasarımı kritik önem taşımaktadır.

Bir antenin RKA değerinin düşürülmesi, maksimum görünmezlik sağlamaya çalışılan askeri platformlarda oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Bilindiği üzere askeri uygulamalar (uçak, gemi) için kullanılan yüksek kazançlı antenler RKA değerini arttırmaktadır. Bu tip antenlerin kullanıldığı araçlar radar sistemleri için oldukça kolay bir hedef haline gelmektedirler. Hayalet uçak, hayalet gemi gibi görünmezlik teknolojilerinin kullanıldığı bir araca yerleştirilen bu tip antenler aracın radara görünmezliğini ortadan kaldırır. Literatürde, antenin RKA değerini düşürmeye yönelik dört yöntemin varlığından bahsedebiliriz. Bu yöntemler radar yutucu tabaka ile kaplamak, pasif yükleme, aktif yükleme ve anten şeklini değiştirmek olarak sıralanabilir. Radar yutucu tabakalar (RYT), gelen radar dalgasını tabaka içerisinde sönümleyerek geri yansımasını engelleyen yapılardır. Anten RYT ile kaplanıp gelen radar dalgasına karşı görünmezliği sağlanabilir. İkinci yöntem olan pasif yükleme aynı zamanda empedans yükleme olarak da isimlendirilmektedir. Bu yöntemde, başka bir kaynağı bastırmak için genliği ve fazı ayarlanabilir bir kaynak yerleştirilir. Basit yapılar için uygulanabilir olmasına karşın çok fazla yansımanın olabileceği karmaşık anten yapılarında uygulaması oldukça zordur. Üçüncü yöntem olan aktif yükleme pasif yüklemeye göre uygulanabilirliği daha fazladır. Aktif yüklemede hedef, gelen dalga karakteristiğinin tam zıttında bir dalga yayarak toplam yansıyan dalgayı söndürmektedir. Kullanılan hedefin gelen dalganın açı, faz, genlik gibi dalga karakteristiğini bilecek yapıda yani akıllı olması gerekmektedir. Böylece hedef, gelen dalganın tam zıttı karakteristiğinde dalga yayar ve radara görünmezlik elde edilebilir. Son yöntem olan anten şeklini değiştirmede, yapının gelen dalgayı yansıtma özelliklerinden yararlanılmaktadır. En kuvvetli yansıma radar dalgasının yapıya dik olarak ulaştığı durumda meydana gelir. Bu durumda iken fiziksel alanı büyük antenler küçük antenlere oranla daha fazla yansıma meydana getirecekler, dolayısıyla da göstereceği RKA değerleri daha büyük olacaktır. Bugüne kadar fiziksel alanı düşürülerek yapılan çalışmalarda, RKA değeri yüksek frekans bölgesinde düşük değer sergilerken, alçak frekans bölgesinde daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Mikroşerit antenlerin radar kesit alanlarını azaltmaya yönelik literatürde farklı teknikler mevcuttur. Bunlar, kayıplı ara tabaka koymak, yama anten etrafına rezistif şerit veya kısa devre pinler yerleştirmek, EBG (electromagnetic band gap) yapılar kullanmak şeklinde sayılabilir. Hangi teknik kullanılırsa kullanılsın, radar kesit alanı azaltılırken,

antenin ışıma performansının bozulmaması dikkat edilen en önemli nokta olmuştur. Literatürde yer alan çalışmalara baktığımızda, özellikle bu husus vurgulanmakta ve daha düşük RKA'lı ama aynı zamanda yüksek performanslı anten tasarımlarına halen ihtiyaç olduğu gözlenmektedir.

Literatürde ultra geniş bant antenlerde RKA azaltımı konusu oldukça sınırlı sayıda çalışılmıştır. Özellikle son 2 senedir UGB haberleşme sistemlerinin yaygınlaşması sebebiyle, ihtiyaç dahilinde UGB antenler için de radar kesit alanı azaltma teknikleri önerilmeye başlanmıştır.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde mikroşerit antenlerin bant genişliği ve mikroşerit antenlerde bant genişliğini etkileyen faktörler belirtilmiştir. Akabinde ultra geniş bant tanımları ve daha önce mikroşerit antenlerde bant genişletme amaçlı yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Bir sonraki bölümde ise radar kesit alanı tanımları ve literatürde radar kesit alanı azaltmak için yapılan çalışmalar verilmiştir. Tezin sonraki bölümünde ise farklı yapılarda ultra geniş bant mikroşerit antenlerin tasarımları tanıtılmış ve bunun yanında anten tasarımlarına bant anahtarlama seçeneği ve minyatür mikroşerit anten özellikleri de eklenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde ise tasımları yapılan ultra geniş bant mikroşerit antenlerin yüzey akımları da dikkate alınarak radar kesit alanı azaltımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Mikroşerit Antenlerin Bant Genişliği

Mikroşerit antenler temelde toprak metal tabaka üzerinde bulunan dielektrik malzeme ve iletken yama yapısıyla rezonans elemanı olarak çalışmaktadırlar. Bu da özellikle kablosuz iletişimde dezavantaj olan dar bant genişliği sonucunu getirmektedir. Daha da ötesi mikroşerit antenlerin uygulama alanlarında temel gereksinim çoklu frekansta çalışma zorunluluğudur. Bu yüzden bant genişliğinin arttırılması ve çoklu frekansta çalışma özelliği anten tasarımcısının göz önüne alması gereken bir ihtiyaçtır ve bunun için belli başlı teknikler geliştirilmiştir. Bant genişliği (BG)' nin temel tanımı üst ve alt çalışma frekansları (f_h ve f_l) arasındaki farktır.

$$BG=f_h-f_l \tag{1.1}$$

Bundan başka oransal ve yüzde bant genişliği gibi farklı bant genişliği tanımlamaları da mevcuttur. Göreceli olan bu bant genişliği tanımlamaları için merkez frekansı (f_c)' nin hesaplanması gereklidir. Merkez frekansı hesaplanması için alt ve üst çalışma frekansının aritmetik ortalaması,

$$f_c=\frac{f_h+f_l}{2} \tag{1.2}$$

veya geometrik ortalaması ile belirlenir.

$$f_c=\sqrt{f_h f_l} \tag{1.3}$$

Aritmetik ortalama ile belirlenen merkez frekansı lineer skalada kullanırken daha az kullanılan geometrik ortalama ile bulunan merkez frekansı logaritmik skalada belirtilir. Oransal bant genişliği BG_o ise sistemdeki bant genişliğinin merkez frekansa oranıdır.

$$BG_o=\frac{BG}{f_c} \tag{1.4}$$

Yüzde tabanına göre tanımlandığında,

$$BG\%=\frac{BG}{f_c}100\% \tag{1.5}$$

şeklinde ifade edilir. Geometrik ortalama alınarak hesaplanan merkez frekansı her zaman diğerinden daha küçük olacağından oransal bant genişliği hesaplamasında kullanıldığında da oransal bant genişliği her zaman aritmetik değerle hesaplanana göre daha büyük çıkacaktır. Tasarım aşamasında bu göz önüne alınmalıdır. Bir antenin geniş bant olması için özel limit değerleri kesin olmamakla birlikte antenin ultra geniş bant olarak tanımlanması için kriterler tanımlanmıştır. Defense Advanced Research Projects Agency (DRPA) kurumuna göre bant genişliği 0,25, Federal Communications Commusions (FCC) kurumuna göre ise bant genişliği 0,2 değerinden büyük olan antenler ultra geniş bant anten olarak tanımlanır.

Diğer taraftan mikroşerit antenlerin bant genişliği empedans uyumu ile de ifade edilir. Duran dalga oranı (DDO) yada bant genişliği antenin besleme hattıyla olan uyumunun freakans aralığı olarak belirtilmiştir. Mikroşerit antenlerin bant genişliği bu bağlamda,

$$BG=\frac{DDO-1}{Q\sqrt{DDO}} \tag{1.6}$$

ile tanımlanır. Bant genişliği burada Q kalite faktörü ile ters orantılır. DDO ise giriş yansıma katsayısı Γ'ye bağlı olarak,

$$DDO=\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \tag{1.7}$$

ile ifade edilir. Γ antenin besleme noktasındaki yansıyan sinyalin ölçüsüdür. Yansıyan sinyal antenin Z_{in} giriş empedansı ve Z_0 besleme hattı empedansına bağlıdır.

$$\Gamma=\frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0} \tag{1.8}$$

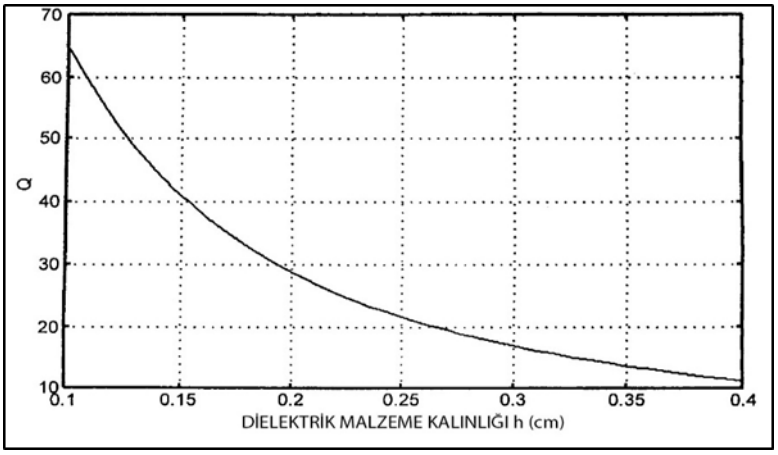
Bant genişliği bu bağlamda DDO değerinin 2'nin altında olduğu (geri dönüş kaybının 9,5 dB yada yansıyan gücün 11% olmasına karşılık gelir) frekans aralığıdır. Bant genişliğini tanımlayan diğer bir faktör olan Q kalite faktörü ise,

$$Q=\frac{\text{depolanan enerji}}{\text{kaybedilen güç}} \tag{1.9}$$

olarak tanımlanır. Mikroşerit antenin Q faktörü malzemenin dielektrik sabiti (ε_r) ve kalınlığına göre değişmektedir (Şekil 1.1). Dielektrik malzemenin kalınlığı bant genişliğini arttırmaktadır.

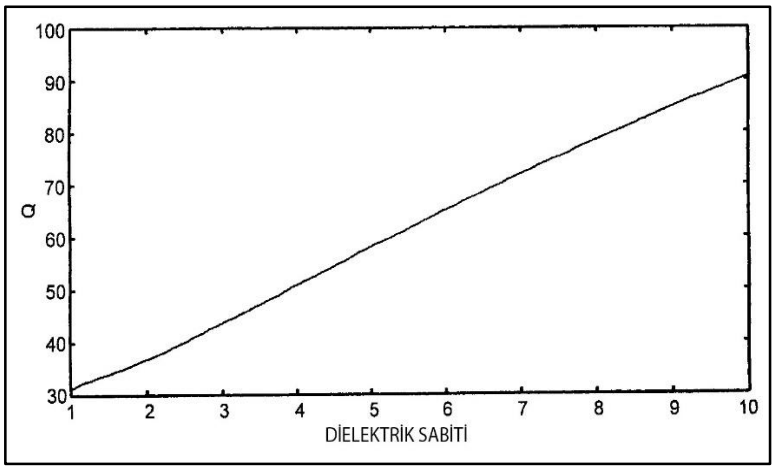
Diğer taraftan ε_r dielektrik sabitinin artması da bant genişliğini azaltmaktadır. Bu değişim antenin Q kalite faktörünün değişimi ile açıklanmaktadır. Dikdörtgen şeklinde

bir yamaya sahip olan bir anten ele alınırsa h kalınlığı ve ε_r dielektrik sabitinin Q faktörünü nasıl değiştirdiği Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.1. W=0,9L kenar oranına sahip ε_r=2,2 dielektrik sabitindeki dikdörtgen yama antenin f=3 GHz frekansındaki h kalınlığının Q faktörüne etkisi.

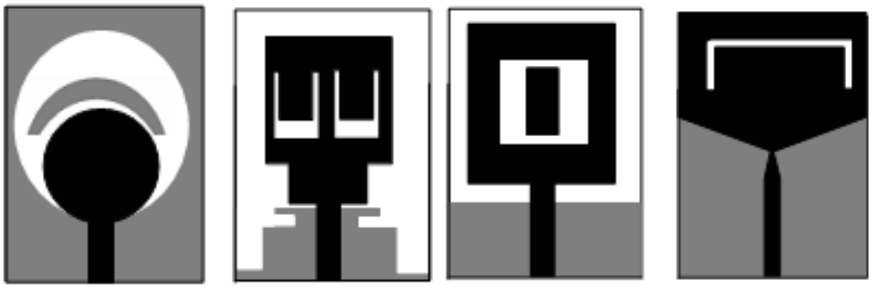
Şekil 1.2' de görüldüğü gibi antenin Q faktörü ε_r dielektrik sabitinin artmasıyla lineer olarak artmaktadır. Diğer bir deyişle Q faktöründeki artış saklanan enerjideki artış ve yayılan güçteki düşme olarak açıklanabilir. Benzer şekilde dielektrik malzemenin kalınlığının artması saklanan enerjideki düşüşü ve beraberinde Q faktöründeki azalmayı getirir. Dolayısıyla h kalınlığını arttırma ve ε_r dielektrik sabitini azaltma bant genişliğini arttırmak için etkilidir. Bu yaklaşım h<0,02λ sınırına kadar geçerlidir. Ancak bu yöntemin dezavantajları da vardır.



Şekil 1.2. W=0,9L kenar oranına sahip h=1,59 mm kalınlığında antenin f=3 GHz frekansındaki dielektirik sabitinin Q faktörüne etkisi.

Daha önce de belirtildiği gibi Şubat 2002'de UGB işleyişini tarif eden FCC, 7,5 GHz bant aralığını 3,1 GHz ile 10,6 GHz arasına yerleştirmiştir [1]. Merkez frekansını 20% oranında aşan bant genişliği kısa mesafe yüksek bant kablosuz iletişimde yeni bir dönem başlatmıştır. Ultra geniş bant yayılım birkaç yüz megabayt seviyesine kadar çok yüksek oranda veri transferine imkan vermiştir. Aynı zamanda çok kısa tetiklemelerle çalışmasından dolayı veri izleme zorluğundan dolayı güvenliği de sağlamıştır. Diğer taraftan ultra geniş bant antenlerin geleneksel dar bant antenlere göre yayılan güç tüketimi çok düşüktür. Ultra geniş bant iletişim anten tasarımında hedeflenen antenin bütün bandı kapsaması temel gereksinimdir. Bu sebeple yarık şeklinde tasarlanan farklı tasarımlar mevcuttur [1-6]. Bu tasarımlar düşük maliyet, geniş bant çalışma, kompakt boyutlara sahiptir. Tasarımlar deneysel olarak geliştirilmiş ve geniş dikdörtgen yarık [2], kare halka yarık [3], E tipi yarık [4], yarım daire yapı [5], dikdörtgen çentik [6] ve koni şeklinde yarık geometrilerle ultra geniş bant ışıma sağlamaktadırlar. Bütün bu tasarımlardan başka L tipi yarık [8] ve T tipi yarık [9] yapılar antenlere 87% ve 98% oransal bant genişliği sağlamıştır. Belirtilen tasarımlarda antenlerin boyutları ile bant genişlikleri arasında farklılıklar da göze çarpmaktadır. Bir grup çalışmada anten boyutu küçülürken daha dar bant genişliği, ultra geniş bant gereksinimini tam olarak sağlayamamış [2,6,8,9], diğer bir grup ise portatif sistemler için fazla büyük tasarlanmışlardır [3-7]. Ultra geniş bant karakteristiğine uymaları açısından dikdörtgen delikli [10], çoklu deliğe sahip geometri [11], fraktal geometrik yarık [12], eşlenik yarıklı [13], ve çoklu rezonans sağlayan yarıklara [14] sahip yeni geometrik yapılar da geliştirilmiştir. Ancak bu yeni tasarımlar da portatif sistemler için yeterince küçük boyutlara sahip değillerdir. Günümüzde farklı yapılar kullanılarak tasarlanan küçük boyutlardaki ultra geniş bant anten tasarımları hala üzerinde çalışılmakta olan bir konudur.

Gürültü sinyalleri ultra geniş bant antenler için ciddi bir problem yaratmaktadırlar. UGB anten uygulamalarında özellikle 5,15-5,35 GHz ve 5,725-5,825 GHz frekansta çalışan [15] kablosuz bölgesel ağ (wireless local area network) WLAN sistemleri ile karışmaması için bu frekanslarda ışımanın engellenmesi ihtiyacı doğar. Bu amaçla kullanılan filtre yapıları ise anteni daha karmaşık hale getirmektedir. Bugüne kadar bu frekans karışmasını engellemek için bant bastıran tasarımlar da gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlardan bazıları yay şeklinde yapı [16], çift u şeklinde yarık [17], kare şeklinde yarık [18], v tipi yapı [18] Şekil 1.3.' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Frekans bastırmak için kullanılan geometrik tasarımlar.

1.2. UGB Antenlerde Bant Genişletme Teknikleri

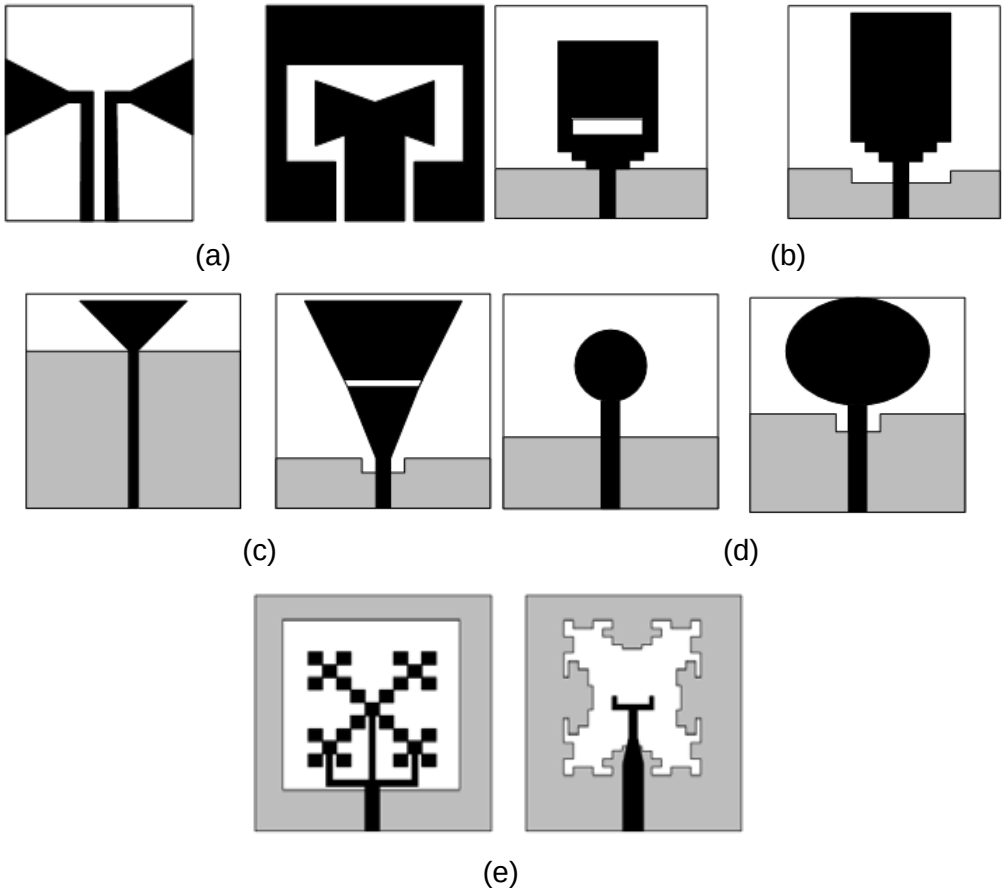
Ultra geniş bant düzlemsel antenlerde bant genişletmek için farklı teknikler üzerinde çalışılmaktadır. Antenin boyutları ve fiziksel özellikleri değiştirilerek frekans ve bant genişliği karakteristikleri ayarlanabilmektedir. Günümüzde bununla ilgili oldukça fazla örnek bulunmaktadır. Bunların arasında eğim verilmiş yapı en fazla bant genişliği sağlayan teknik olarak bilinir [19]. Birden fazla rezonans frekansı elde etmek dolayısıyla empedans uyumunu sağlamak için değişik geometriler kullanılmıştır. Antenin giriş empedansı besleme yapısına son derece bağımlıdır. Eğim verilerek empedans uyumlandırma için dörtgen yapıya bir örnek Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Empedans uyumu için kullanılan bv1 ve bv2 uzunluklarıyla açısal eğim verilen yapılar

Burada eğim verilen yapı bant genişliğinin üst frekansını daha yukarı kaydırmak için kullanılmıştır [20-23]. Antenin impedans uyumu özellikle alt kısmına yumuşak bir eğim vererek sağlanmıştır. Gerçekte yamanın bu kısmı toprak tabakası ile kapasitif kuplajı etkileyen çok kritik bir öneme sahiptir. Bu kısımda yapılan en küçük bir değişiklik akım dağılımını ve uyumlanmayı etkilemektedir [21]. Bunun yanında yama kısmında uyumlandırma yapmak için yarık açılabilir. Yama kısmında çıkarılan parçalar yama üzerindeki akım dağılımını değiştirmektedir. Böylece giriş noktasındaki empedans değişir. Yama kısmından kesilen çentik parçalar ise antenin boyutunu azaltmaktadır.

Yamanın üstüne yerleştirilen şeritler ise yine antenin empedans uyumunu değiştirmektedir. Besleme noktasının yerini değiştirme tekniğinde giriş empedansı değiştiğinden bant genişliği de arttırılabilir. Diğer bir yöntem ise kısa devre pin diyot kullanılarak bant genişliğini arttırmaktır [19]. Çift beslemeye sahip antenler de yüksek frekanslarda bant genişliği arttırmaktadır. [24]. Diğer bir yöntem birden fazla rezonans frekansı elde etmektir. İki veya daha fazla rezonans frekansı bir araya getirildiğinde multi rezonans veya geniş bant performansı elde edilir. Aynı zamanda bu anten yapısını daha karmaşık hale getirmektedir. Bunun da ötesinde birden fazla ışıma yapısı olduğu için sabit bir ışıma karakteristiği elde etmek zordur. Şekil 1.5.'te farklı yapılarda ultra geniş bant anten örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.5. (a) UGB papyon, (b) Dörtgen yama, (c) Üçgen yama, (d) Fraktal yapı ile gerçekleştirilmiş mikroşerit anten örnekleri.

1.3. Anten Radar Kesit Alanı

Antenlerde saçılma karakteristikleri besleme ve anten yapısına bağlı olarak değişmektedir. Anten uyumlu yük ile beslendiğinde oluşan saçılma antenin yapısına bağlı olarak yapısal mod olarak tanımlanmıştır. Anten uyumlu olmaya bir besleme hattı ile besleniyorsa enerjinin bir kısmı yük tarafından boşluğa geri yansıtılır. Bu tip saçılma ise anten modu olarak tanımlanır. Her iki mod arasındaki ilişki,

$$\sigma^{total}=\left|\sqrt{\sigma^{st}}+\sqrt{\sigma^{an}}e^{j\varphi}\right|^2 \tag{1.10}$$

ile tanımlanmıştır. Bu eşitlikte σ anten radar kesit alanını, 'st' ve 'an' yapısal ve anten modlarını, φ ise her iki mod arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Bunun yanında açık ve kısa devre yöntemi [25] her iki modu tanımlamak için kullanılabilir. Anten kısa ve açık devre ile sonlandırıldığında saçılan elektriksel alan $E^s(0)$ ve $E^s(\infty)$ ile ifade edildiğinde ve anten Z_L yükü ile beslendiğinde, toplam saçılan alan,

$$E^s(Z_L)=\frac{(1+\Gamma_A)E^s(0)+(1-\Gamma_A)E^s(\infty)}{2}+\frac{\Gamma_L}{1-\Gamma_L\Gamma_A}\frac{1-\Gamma_A^2}{2}\left[E^s(\infty)-E^s(0)\right] \tag{1.11}$$

olarak ifade edilir. Burada Γ_A antenin yansıma katsayısı, Γ_L ise yükün yansıma katsayısıdır. Antenin ve yükün yansıma katsayıları,

$$\Gamma_L=\frac{Z_l-Z_c}{Z_l+Z_c} \tag{1.12}$$

$$\Gamma_A=\frac{Z_{in}-Z_c}{Z_{in}+Z_c} \tag{1.13}$$

eşitlikleriyle Z_l port yüküne ve Z_c anten karakteristik impedansına bağlıdır. Antenin toplam saçılma eşitliğinde ilk terim yapısal mod saçılan alanı ikinci terim ise anten modu saçılan alanı ifade eder.

$$\begin{cases} E^{st}=\dfrac{(1+\Gamma_A)E^s(0)+(1-\Gamma_A)E^s(\infty)}{2} \\ E^{an}=\dfrac{\Gamma_L}{1-\Gamma_L\Gamma_A}\dfrac{1-\Gamma_A^2}{2}\left[E^s(\infty)-E^s(0)\right] \end{cases} \tag{1.14}$$

Anten modu saçılan alan ifadesi saçılan matris yöntemi ile [26],

$$E^{an}=a_1\times\frac{\Gamma_L}{1-\Gamma_L\Gamma_A}\times E_0 \tag{1.15}$$

olarak yazılabilir. Burada a_1 anten uyumlu bir yük ile bağlandığında alınan genlik, E_0 anten birim akım ile uyarıldığında yayılan alanı ifade etmektedir. Belirtilen eşitliğe göre ilk terimde anten alıcı olarak düşünüldüğünde antene gelen enerji, ve sonrasında besleme noktasındaki uyumsuzluktan dolayı yansıyan enerji ikinci terimde görülmektedir. Üçüncü terim ise anten verici olarak ele alındığında gelen dalgayı tekrar boşluğa yansıttığında yansıyan enerjiyi ifade eder. Burada da görülmektedir ki anten uyumlu bir yük ile sonlandırıldığında antenin toplam saçılan alanı sadece yapısal mod saçılan alana eşittir.

Mikroşerit antenlerde RKA azaltımına yönelik çalışmaların sayısı literatürde az sayıdadır ve var olanların içinde UGB ışıma gerçekleştiren ve frekans bandı boyunca RKA değeri -10 dB azaltılabilmiş anten yapısı yer almamaktadır. Bu çalışmada, 3-12 GHz bandında ortalama -10 dB seviyesinde RKA azaltımını hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalara geçmeden önce, kullanılan tekniklerin literatürde olanlardan farkını ve başarımını gösterebilmek için, öncelikle literatürde benzer çalışmalardan örneklere bakmak gerekmektedir.

Şimdiye kadar mikroşerit antenlerin RKA azaltımı konusunda çok fazla araştırma yapılmamasına rağmen sınırlı sayıda da olsa bazı çalışmalar bulunmaktadır. Daire şekline yama kısmı bulunan monopol bir antenin RKA azaltımı bunlardan biridir [27]. Örnekte daire geometrinin alanı azaltılarak alt katmana yerleştirilen halka şekliyle spiral olarak birleştirilmiştir. Elde edilen RKA azaltımı 8 GHz den yüksek frekanslarda ve en fazla 7 dB değerindedir. Bir diğer makalede 8-12 GHz arasında ışıma yapan Vivaldi anten kullanılmıştır [28]. Antenin RKA azaltımı sırasında antenin ışıma yaptığı frekans aralığının alt sınırı yükselirken, x polarize RKA analizlerinde antenin RKA değerinin 11 GHz den sonra arttığı görülmektedir.

Başka bir makalede kuplajlı besleme hattı kullanılan anten incelenmiştir [29]. Yapılan geometrik değişiklikler sonucunda antenin RKA değeri en fazla 5 dB kadar düşürülebilmiştir. Diğer bir örnekte dairesel bir monopol antene farklı yapısal geometriler uygulanarak RKA azaltım yoluna gidilmiştir [30]. Uygulanan yapısal değişiklikler antenin RKA değerini 2-5 dB arasında düşürmüştür. Bir önceki örneğe oldukça benzeyen farklı bir çalışmada yine yama kısmında eksiltme yapılarak RKA azaltımına gidilmiştir [31]. Uygulanan değişiklikler antenin RKA değerini ortalama 3 dB düşürdüğü gibi, düşük frekanslarda antenin RKA değerini arttırmıştır. Farklı bir çalışmada balistik füze üzerinde kullanılan dörtgen yama antenden H geometrisinde parçalar eksiltilmiştir [32]. Eksiltme sonucu antenin RKA değeri çalışma aralığının

düşük frekanslarında azalırken, yüksek frekanslarında arttırmıştır. Diğer bir çalışmada ise antenin toprak tabakasına fraktal geometri uygulanmıştır [33]. Bu uygulama ile antenin RKA değeri ortalama 2 dB kadar düşmüştür. RKA'sı azaltılmış anten tasarımına örnek teşkil edebilecek bir diğer bir çalışmada yine monopol anten kullanılmıştır. [34]. Çalışmada, antenin RKA'sı 5-9 GHz gibi çalışma frekansının belli bir kısmında azaltılabilmiştir. Bir diğer çalışmada, geniş bantlı uygulamalar için bant genişliği 3-11 GHz olan düşük radar kesit alanlı mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır [35]. Çalışmada referans olarak dairesel monopol anten alınmıştır ve RKA değeri çalışma bandında yaklaşık 5 dB değerinde azaltılmıştır. Son örnekte koaksiyel beslemeli antenin yama kısmına Koch ve Minowski olarak adlandırılan geometrik değişim uygulanmıştır [36]. Elde edilen sonuçlarda antenin RKA değerinin her frekansta düzenli artmazken düşük frekanslarda yine antenin RKA değerini arttırmıştır.

2. ULTRA GENİŞ BANT ANTEN TASARIMLARI

2.1. Pin Diyot ile Bandı Kontrol Edilebilen Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Tez çalışmasının ilk aşamasında dörtgen geometri bir anten tasarımı yapılmıştır (Şekil 2.1). Tasarlanan anten için h=3,175 mm kalınlığında ε_r=2,2 dielektrik katsayısına sahip malzeme kullanılarak empedansı 50 Ω olan hat ile beslenmiştir. Anten W=41 mm ve L=50 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Antenin ön yüzü, a=13,6 mm kenar ölçüsüne sahip, merkezinin tabana b=33,6 mm uzaklığında konumlandırılmış ve merkezi etrafında k=45 derece döndürülmüş kare şeklinde yama ve g_2=9,6 mm, g_1=2,43 mm kalınlığında besleme hattından oluşmaktadır. Besleme hattının uzunluk ölçüleri f_1=25,19 mm ve f_2=4 mm alınmıştır. Antenin arka yüzü ise dört aşamada tasarlanmıştır (Şekil 2.2). Öncelikle s_3=23,8 mm yüksekliğinde toprak tabakası (#1) yerleştirilmiştir. Alınan ölçümlerden sonra antenin ışıma performansını arttırmak için ikinci bir toprak tabakası (#2) s_1=10 mm yerleştirilmiştir. Böylece antenin amaçlanan frekans değerleri arasında daha verimli ışıma yapması sağlanmıştır. Daha sonra c= 2,2 mm konumunda s_2=1,6 mm kalınlığında bir şerit eklenerek (#3) antenin 5 GHz ile 6 GHz arasında ışıma yapması engellenmiştir. Son aşamada ise orta şerit ile alt toprak tabaka arasına d=40 mm mesafede bir pin diyot eklenmiştir (#4). Diyotun anahtarlaması ile antenin 5 GHz ve 6 GHz arasında ışıma yapması kontrol edilmiştir. Diyot kısa devre konumuna geçtiğinde diyot üzerinden geçen akım 5,5 GHz de rezonansa sebep olmaktadır. Burada d uzaklığı yaklaşık olarak yarım dalga boyundadır.

$$d \approx \frac{\lambda_g}{2} \tag{2.1}$$

Yukarıda verilen d uzunluğu yamanın eklem noktası ile diyot arası uzunluğu ifade etmektedir. λ_g ise dielektrik malzemedeki dalga boyudur. Dielektrik malzemedeki dalga boyu

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{re}}} \tag{2.2}$$

eşitliğiyle bulunabilir. Eşitlikte ε_{re} bağıl dielektrik katsayısını ifade eder. Antende

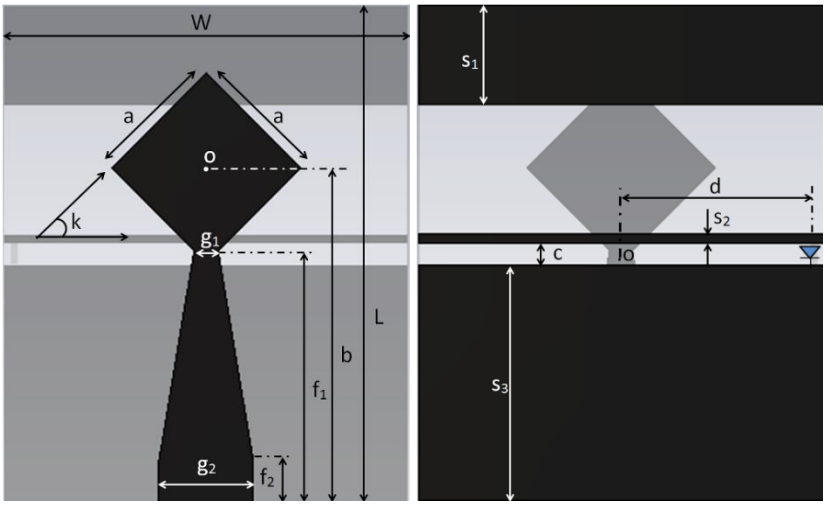
kullanılan ε_r=2,2, h=3,175 mm ve g_2=9,6 mm değerleri için ε_{re}=1,86 olarak bulunur. f=5,5 GHz, frekansında yarım dalga boyu Eşitlik (2.1) ve Eşitlik (2.2)'den 19,9 mm olarak hesaplanabilir ki bu değer d=19,5 mm uzunluğuna oldukça yakındır. Eşitlik (2.1) ve (2.2) birleştirilerek,

$$f_r \approx \frac{v_0}{2d\sqrt{\varepsilon_{re}}} \tag{2.3}$$

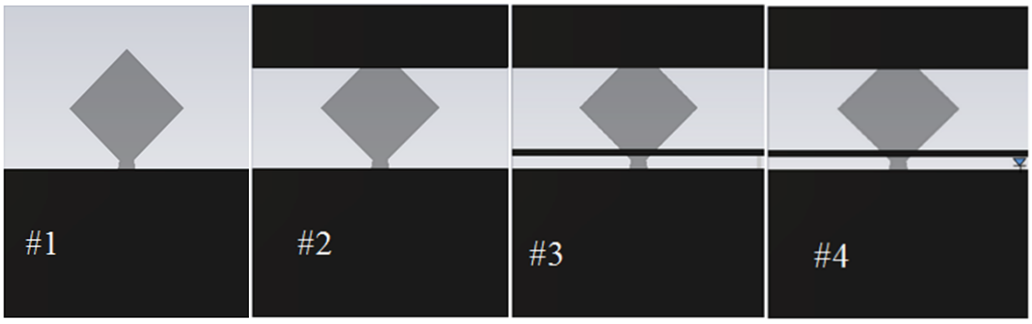
f_r rezonans frekansı ve diyodun d pozisyonu arasındaki ilişki v_0 ışık hızına da bağlı olarak saptanabilir. Farklı d uzunlukları için f_r frekansı aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 2.1.)

Tablo 2.1. d uzunluğunun f_r rezonans frekansına etkisi

d (mm)	19,5	18	16,5
f_r (GHz)	5,64	6,11	6,66



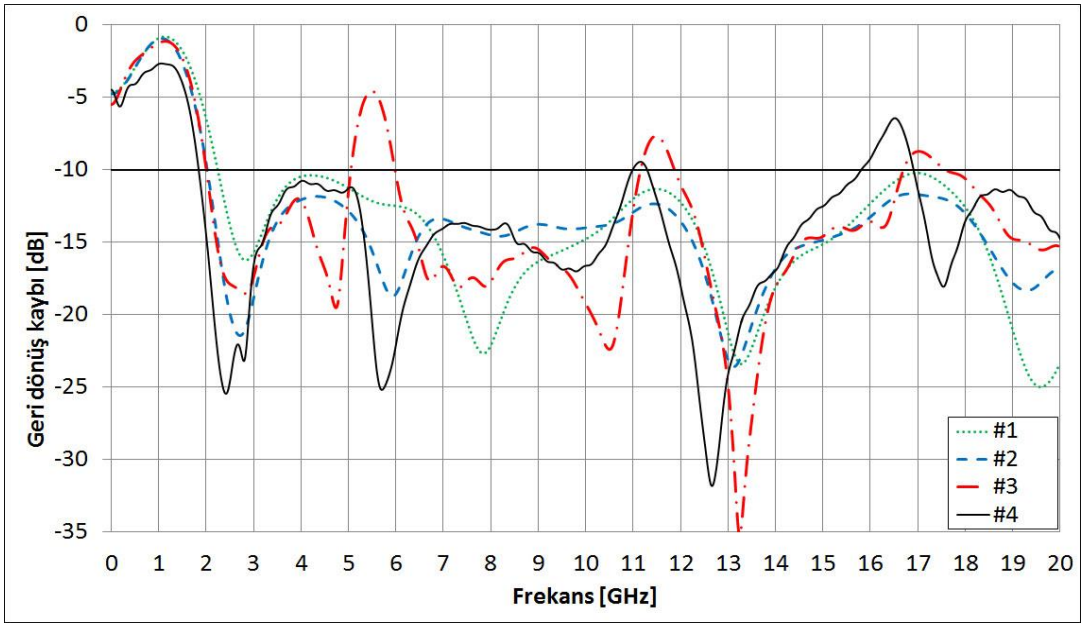
Şekil 2.1. Dörtgen antenin ön ve arka yüz geometrisi



Şekil 2.2. Tasarlanan dörtgen antenin tasarım aşamaları

Şekil 2.3'te antenin tasarım aşamalarının her biri için elde edilen yansıma katsayısı (S_{11}) karakteristikleri verilmiştir. Şekil 2.3'te belirtilen ilk durum antenin S_{11}<10dB

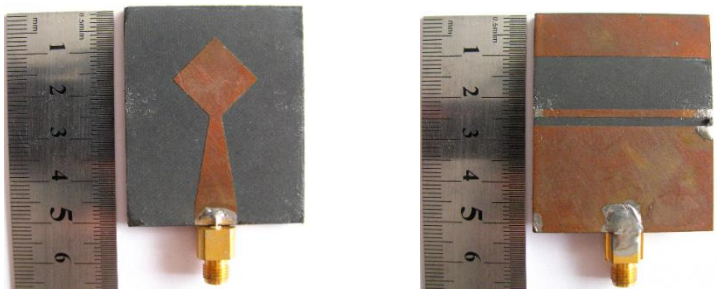
kriterine göre 2,2 GHz frekansından başlayarak 13 GHz'den daha yüksek değerlere kadar oldukça geniş bant performans sergilediği görülmektedir. İkinci aşamada ise antene eklenen üst toprak alan ile geri dönüş kaybı, özellikle 2,3 GHz ve 6,6 GHz frekans aralığında daha aşağı çekilerek verimliliği arttırılmıştır. Üçüncü aşamada eklenen orta toprak şerit ile antenin çalışma frekansı aralığının 2 GHz ve 11 GHz ile sınırlanmakla birlikte 5 GHz ile 6 GHz aralığında antenin ışıması engellenmiştir. Böylece ilk etapta 2 GHz ve 11 GHz aralığında ultra geniş bant çalışan ancak 5 GHz ve 6 GHz aralığında çalışmayan karakteristiğe sahip anten tasarımı elde edilmiştir. Son aşamada ise antenin arka yüzündeki alt toprak tabaka ile ince şerit arasına pin diyot eklenerek anahtarlama yapılmıştır. Diyota uygulanan gerilim ile diyotun kısa devre konumuna gelmesi sağlanmış ve antenin 2 GHz ve 11 GHz arasında kesintisiz ışıma yapması sağlanmıştır.



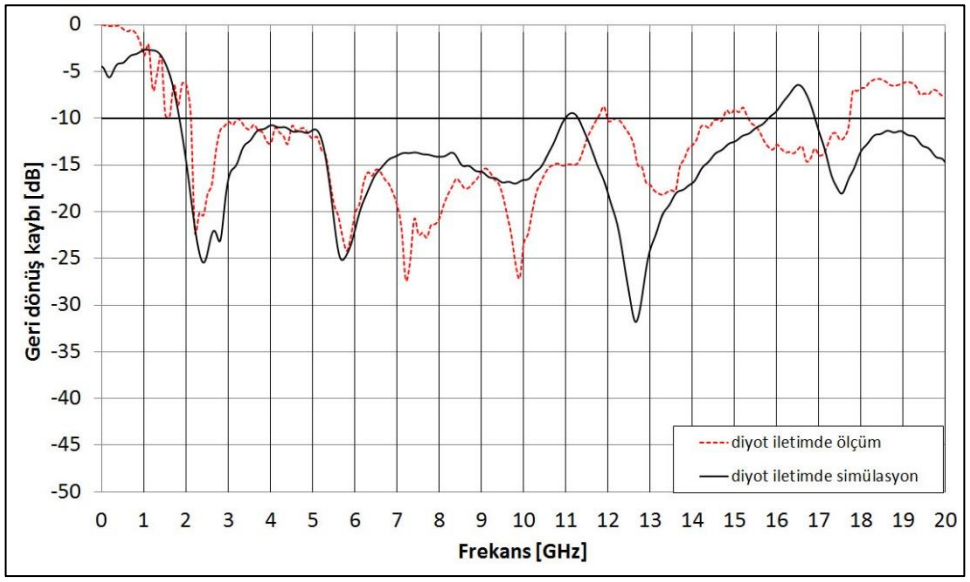
Şekil 2.3. Antenin tasarım aşamaları (#1,#2,#3,#4) için geri dönüş kaybı (S_{11}) karakteristikleri

Anten tasarımı yapılıp simülasyon sonuçları alındıktan sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Şekil 2.4'de üretimi yapılmış olan antenin fotoğrafları görülmektedir. Üretimi tamamlanan anten, laboratuvar ortamında network analizör cihazı ile test edilmiş ve pin diyot açık ve kısa devre durumları için sonuçlar Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verildiği gibi karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırmalar, ölçüm ve simülasyon sonuçlarının antenin amaçlanan hedef doğrultusunda çalıştığını göstermiştir. Diyodun d uzaklığının ışıma performansına etkisi incelendiğinde (Şekil 2.7) en etkin ışımanın d=19,5 mm uzunlukta oluştuğu görülmüştür. Şekil 2.8'te diyot kısa devre durumundayken antenin ışıma yapmadığı 5,5 GHz ve rezonansa yakın olan 10 GHz

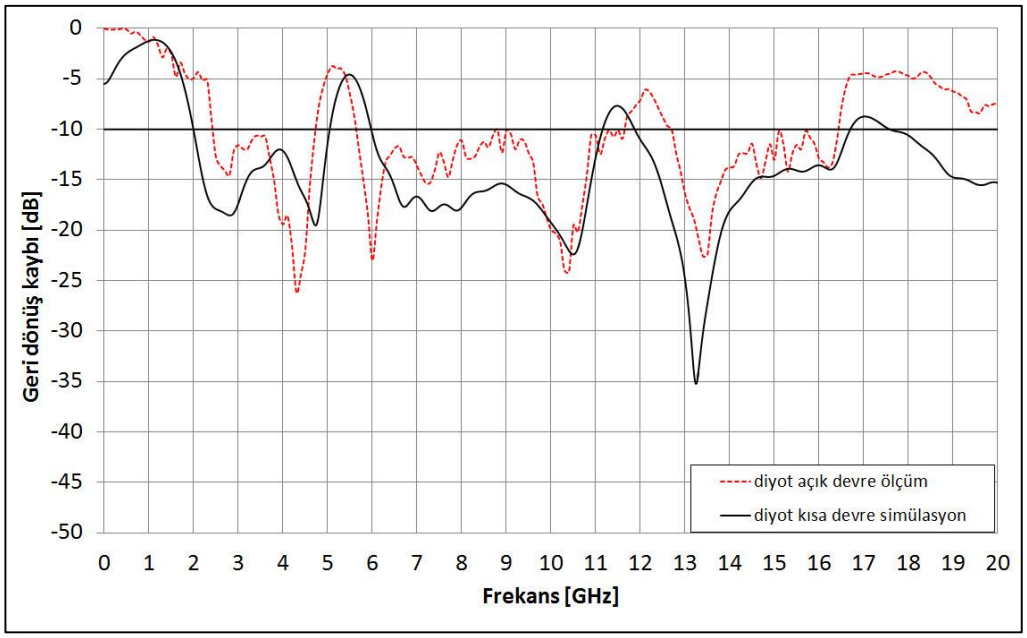
frekansları seçilerek yüzey akımları belirtilmiştir. 5,5 GHz frekansında elde edilen yüzey akımlarının antenin toprak kısmındaki ince orta şeritte birbirine zıt olarak yoğunlaştığı görülmüştür. Birbirine zıt yönde ve şiddeti yüksek akım akışı antenin ışıma yapmasını engellemektedir. Diğer taraftan antenin ışıma yaptığı frekanslarda incelenen yüzey akımları sonuçlarında, orta ince şeritte şiddetli bir akım akışı bulunmamaktadır. Bu da 5 GHz ve 6 GHz aralığının dışarısında kalan frekanslarda ince şerit yapının etkisinin olmadığını göstermektedir. Şekil 2.9'da antenin ışıma diyagramları verilmiştir.



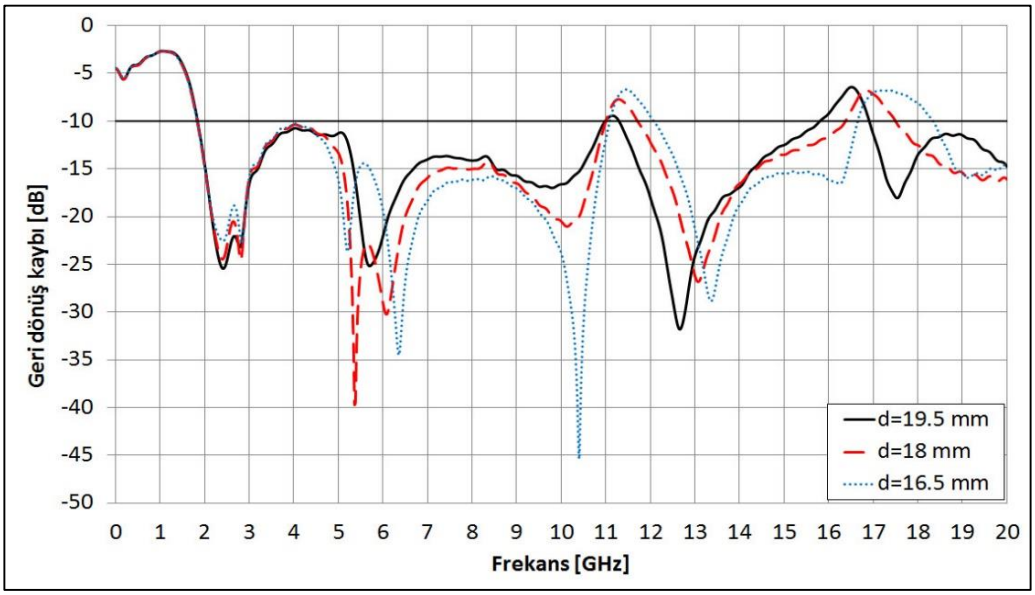
Şekil 2.4. Üretimi yapılmış olan ultra geniş bant anten tasarımının ön ve arka yüz fotoğrafları



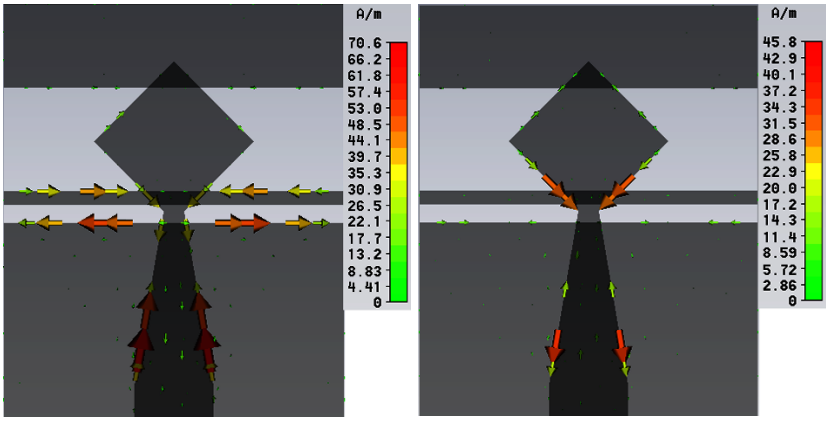
Şekil 2.5. Tasarlanan antenin pin diyot kısa devre konumundayken S_{11} karakteristiği ölçüm ve simülasyon sonuçları



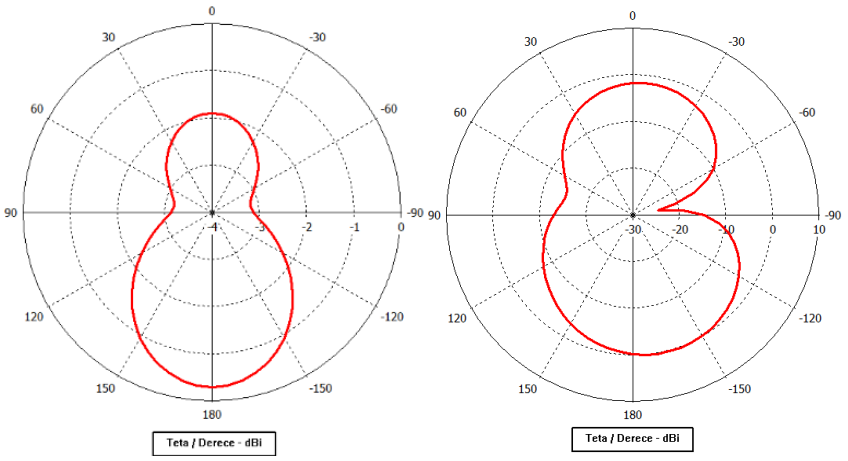
Şekil 2.6. Tasarlanan antenin pin diyot açık devre konumundayken S_{11} karakteristiği ölçüm ve simülasyon sonuçları



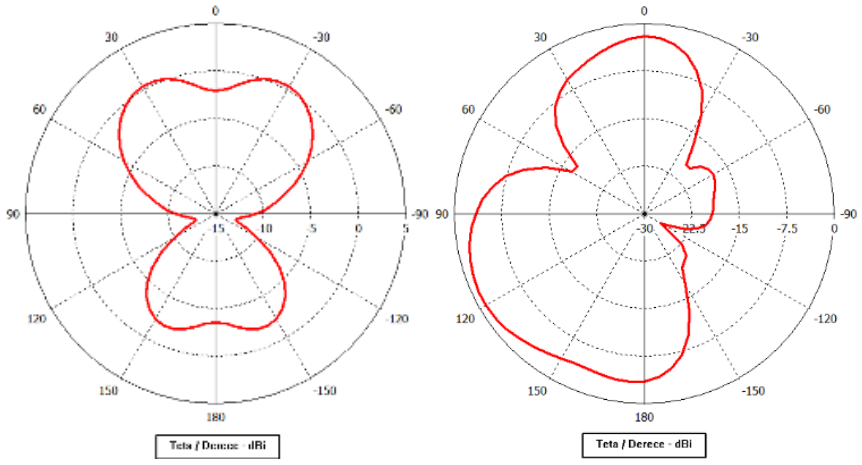
Şekil 2.7. Tasarlanan antenin d uzaklığının S_{11}'e etkisi



Şekil 2.8. Tasarlanan antenin yüzey akım dağılımı



(a)

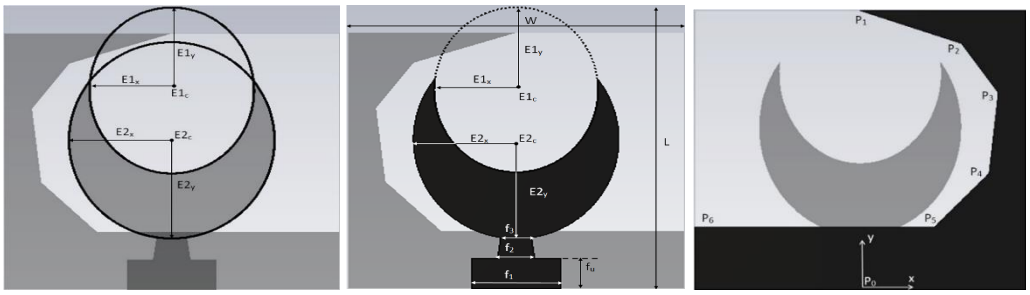


(b)

Şekil 2.9. Tasarlanan antenin simülasyonla elde edilen θ=0º (sol), θ=90º (sağ) (a) 3 GHz ve (b) 10 GHz değerlerindeki ışıma diyagramları

2.2. Hilal Biçimli Minyatür Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Ultra geniş bant anten tasarımında bir diğer örnek hilal şeklinde geometriye sahip minyatür UGB antendir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi anten tasarımında W=17 mm ve L=18 mm boyutlarında, dielektrik sabiti ε_r=2,2 olan h=1,575 mm kalınlığında dielektrik malzeme kullanılmıştır. Literatürde günümüze kadar var olan benzer antenler içinde en küçük boyuta sahip antendir. Anten 50 ohm besleme hattına sahiptir. Antenin ön yüzündeki hilal şekli iki ayrı elips geometrinin fark alanından oluşmaktadır. Antenin ön yüzü Şekil 2.10'da görülmektedir. İç elips $E1_x$=4,4 mm ve $E1_y$=5,5 mm yarıçap ölçülerine sahiptir. Dış elipsin yarıçap ölçüleri ise $E2_x$=5,5 mm and $E2_y$=6,6 mm'dir. Besleme hattını 50 ohm girişe uyumlandırmak için f_1=4,8 mm seçilmiştir. Besleme hattı yama ile besleme girişi arasındaki uyumu sağlamak için f_2=2 mm ve f_1=1,66 mm kalınlığında belirlenmiştir. Antenin arka kısmı ise öndeki hilal yamayı çevreleyen asimetrik toprak tabakasından oluşmuştur. Bu yapıda seçilen beş ayrı nokta ise farklı denemeler sonunda konumlandırılarak antene daha iyi bir performans kazandırmıştır.



(a) (b) (c)

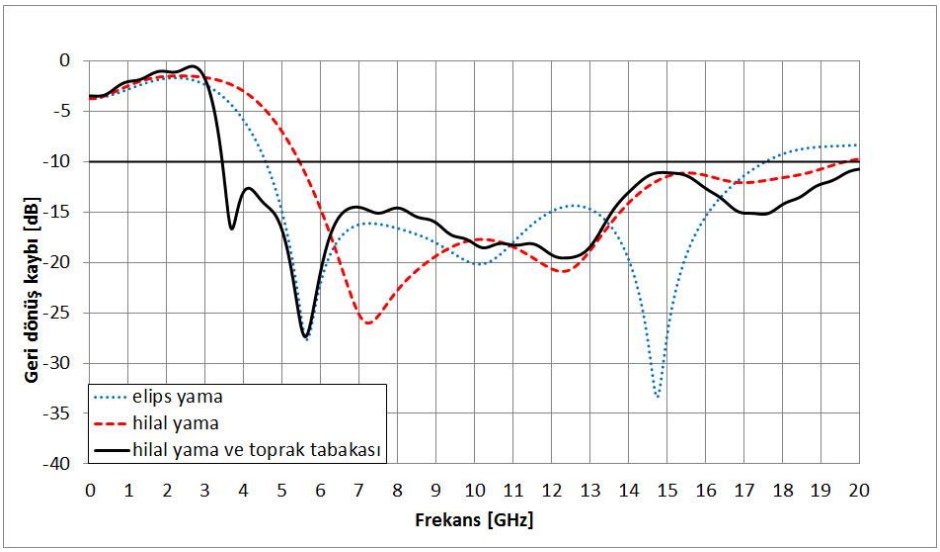
Şekil 2.10. Hilal biçimli, minyatür UGB anten a) yama yapısı, b) ön yüz geometrisi ve c) arka yüz geometrisi

Anten tasarımı 3 ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi ilk etapta elips yama oluşturulmuş daha sonra ikinci bir elips bu yamadan çıkarılmıştır.

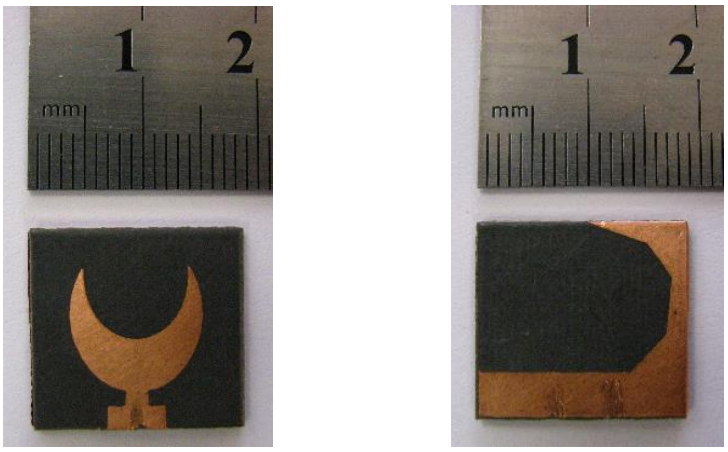


Şekil 2.11. Antenin tasarım aşamaları

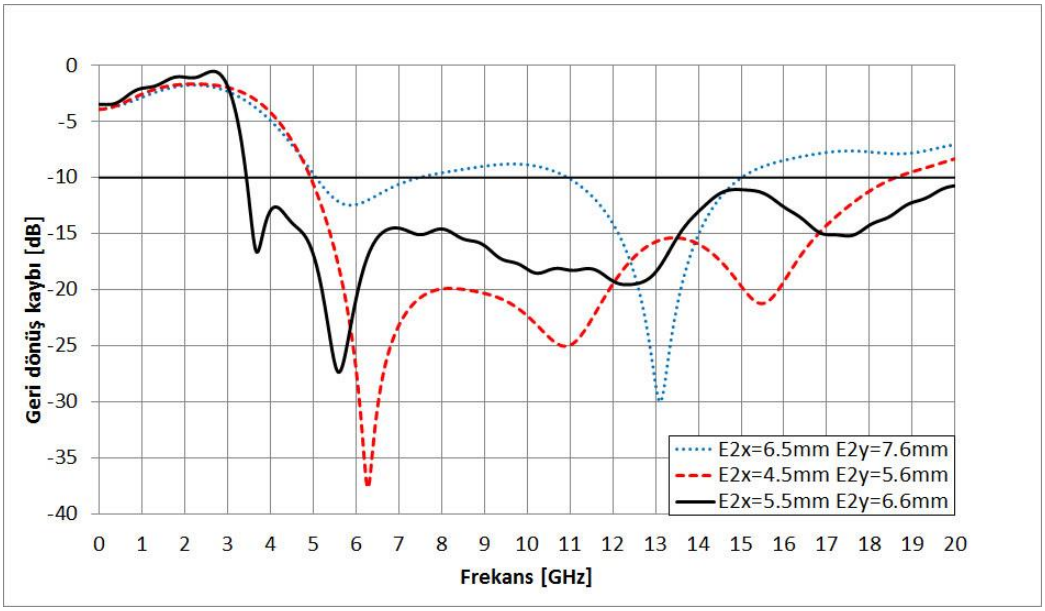
Son aşamada ise arka tarafa asimetrik yapı yerleştirilmiştir. Üç ayrı aşamaya ilişkin simülasyonla elde edilen geri dönüş kaybı sonuçları Şekil 2.12'de verilmiştir. İlk aşamada antenin ön kısmına eliptik bir yama yerleştirilmiştir. Besleme hattı genişliği ve yama uzaklığı ayarlanarak optimum ışıma sağlanmıştır. İkinci aşamada ise eliptik yamadan parça eksiltilerek yama geometri değiştirilmiştir. Son aşamada da asimetrik bir toprak tabakası eklenmiş ve anten performansı geliştirilmiştir. Toprak hattı için seçilen P noktaları farklı değerler denenerek en iyi ışıma performansı sağlanmıştır. Tasarlanan anten pratik olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.13), ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 2.14'de yamayı oluşturan elips geometri üzerinde değişiklik yapılarak 1 mm değerinde farklılığın dahi anten ışımasını olumsuz yönde etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Farklı tasarım aşamalarında elde edilen geri dönüş kaybı grafikleri



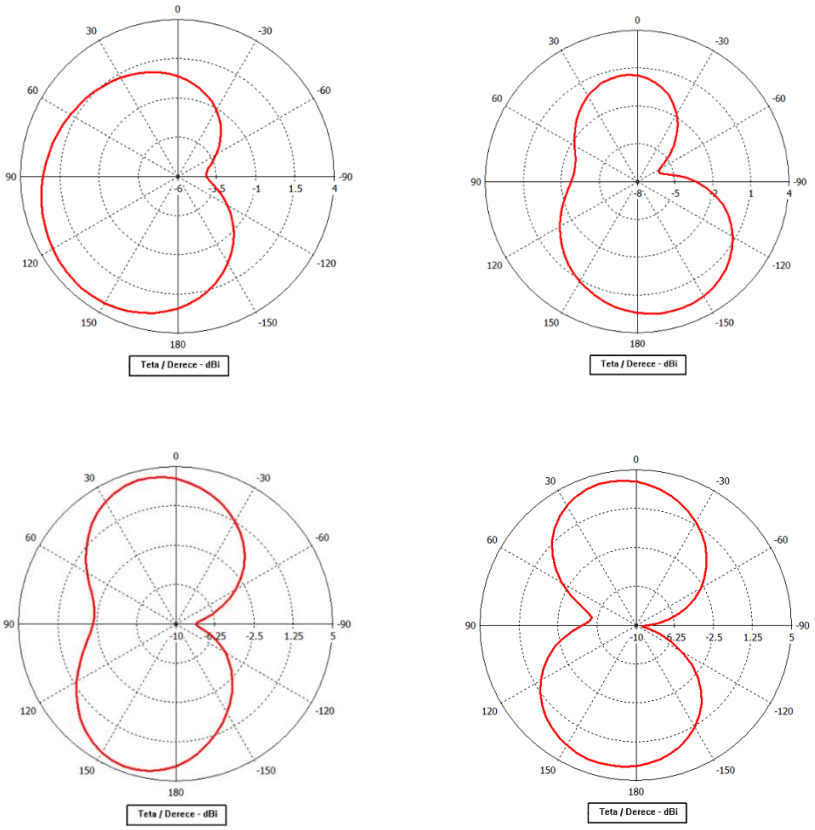
Şekil 2.13. Üretimi yapılan hilal biçimli antenin ön ve arka fotoğrafları



Şekil 2.14. Yamayı oluşturan E2x ve E2y yarıçaplarının anten geri dönüş kaybına etkisi

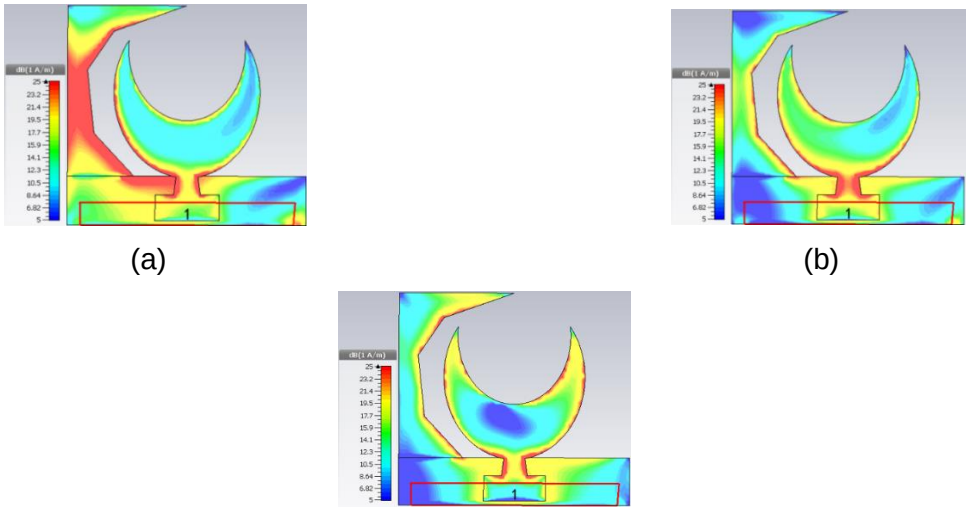
Şekil 2.15'te de farklı frekanslarda xz ve yz düzlemleri için simülasyonla elde edilen anten ışıma diyagramları görülmektedir. Şekil 2.16'da ise antenin yüzey akımları simüle edilmiştir. Yüksek frekanslarda yama kısmı ve besleme hattı arasında yoğunlaşan akım düşük frekanslarda asimetrik toprak tabakası ve yama arasında dağılmıştır. Bu dağılım antenin tasarım aşamasındaki asimetrik toprak tabakasının düşük frekanslarda değiştirdiği ışıma performansını desteklemektedir. Tasarlanan bu anten 17x18 mm boyutlarında olup 140 % oransal bant genişliği ile minyatür olarak tabir edilen antenler içerisinde en küçük boyutta olup boyutuna göre en fazla oransal genişliğe sahiptir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.12'de de görülen tasarım aşamasındaki arka asimetrik yapının eklenmesiyle antenin düşük frekanslarda da ışıma yapmasını desteklemektedir.

Tasarlanan antenin yapılan ölçüm ve simülasyon sonuçları şekil 2.17'de verilmiştir. Sonuçların karakteristik olarak örtüşmesiyle beraber antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarındaki farklılıklar anten boyutlarının küçük olmasından ve özellikle besleme noktasındaki yapının 0,1 mm kaymasında dahi anten performansının bundan olumsuz etkilenmesinden dolayı aynı hassasiyetin üretim aşamasında gerçekleştirilmesindeki zorluktan kaynaklanmaktadır.



(a) (b)

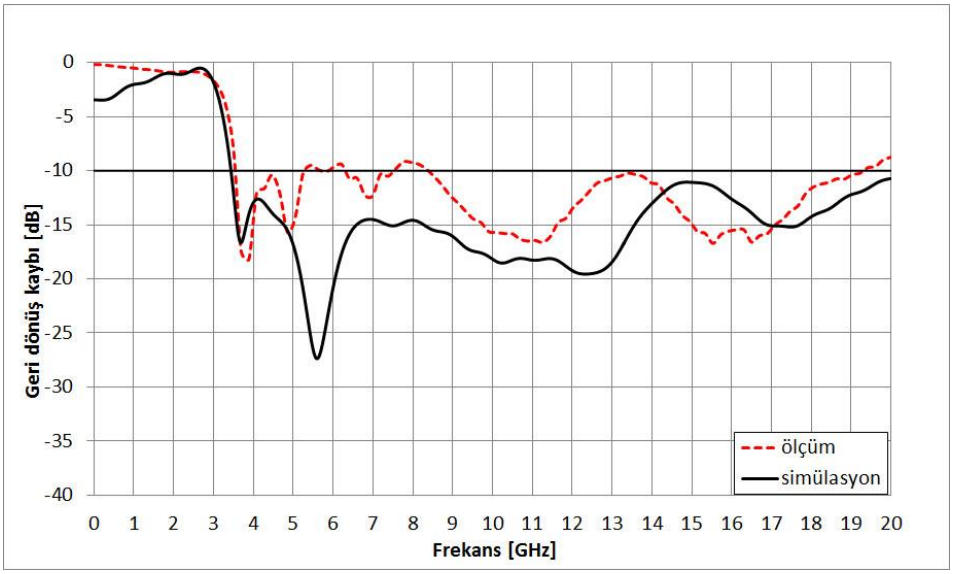
Şekil 2.15. Tasarlanan antenin simülasyonla elde edilen θ=0^o (sol), θ=90^o (sağ) (a) 5,5 GHz ve (b) 12,5 GHz değerlerindeki ışıma diyagramları.



(a) (b)

(c)

Şekil 2.16. Tasarlanan antenin (a) 3,7 GHz (b) 5,6 GHz (c) 12,5 GHz frekans değerlerinde simüle edilen yüzey akım dağılımları



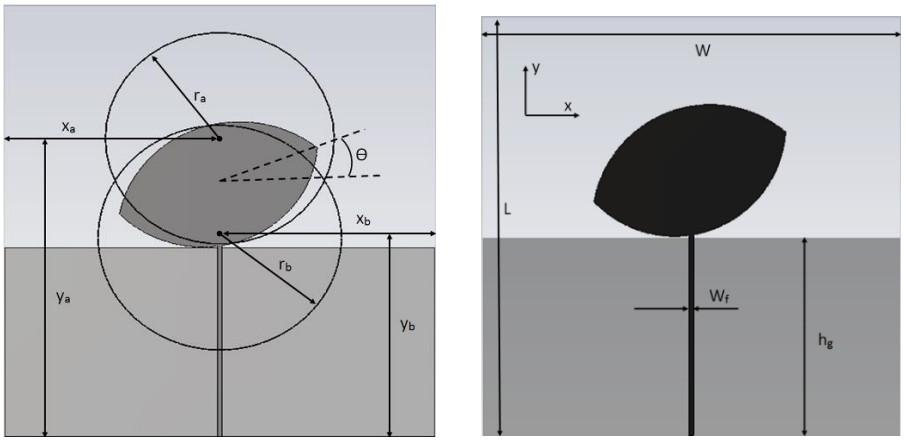
Şekil 2.17. Hilal şeklindeki minyatür ultra geniş bant antenin ölçüm ve simülasyon sonuçları

2.3. Göz Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

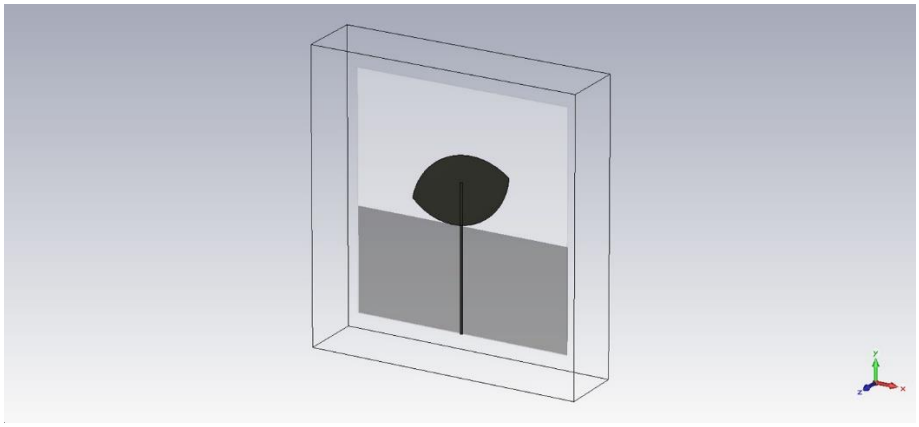
Bu çalışmada 2,5-18 GHz frekans aralığında çalışan ultra geniş bant anten tasarlanmıştır. Anten iki ayrı daire yapısı ile oluşturulmuştur. Antenin dielektrik tabakasının dielektrik sabiti ε_r=6,15 ve kalınlığı h=0,508 mm'dir. Kullanılan dielektrik tabakanın genişliği W=60 mm uzunluğu ise L=65 mm alınmıştır. Anten tasarım aşamasında öncelikle r_a=16 mm yarıçapında beslemeden uzaklığı y_a=45 mm ve r_b=17 mm yarıçapında beslemeden uzaklığı y_b=17 mm olan iki ayrı dairenin kesiştiği alan yama olarak kullanılmıştır. Her iki dairenin merkezi yan kenarlardan X_a=X_b=30 mm uzaklıktadır (Şekil 2.18).

İkinci aşamada ise elde edilen kesişim alanı kendi merkezi etrafında 20 derece döndürülerek antenin nihai geometrisi elde edilmiştir. Diğer taraftan antenin şerit besleme hattı W_f=0,74 mm belirlenerek 50 Ω' luk besleme hattıyla uyumu sağlanmıştır. Şekil 1c'de görülen antenin arka yüzü h_g=28,4 mm yüksekliğinde toprak tabakaya sahiptir.

Tasarlanan antenin üretimi yapılmış (Şekil 2.19.), ayrıca geri dönüş ölçümleri alınarak simülasyonla elde edilen S_{11} karakteristiği ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.20.) Üretimi yapılan antenin ışıma performansı teorik çalışmada -10 dB seviyesinin altında kalırken ölçüm aşamasında ise üretim hassasiyetinden kaynaklanan sebepler nedeniyle -10 dB seviyesinde salınım yaptığı görülmüştür.

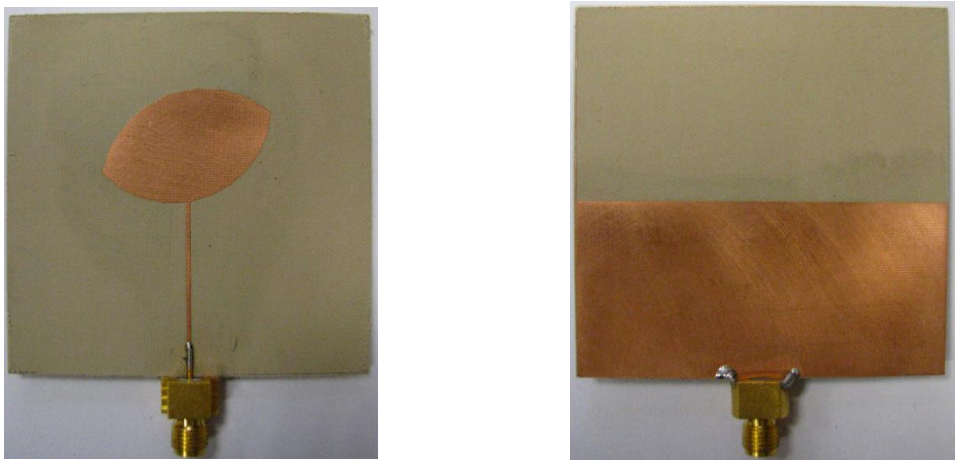


(a) (b)



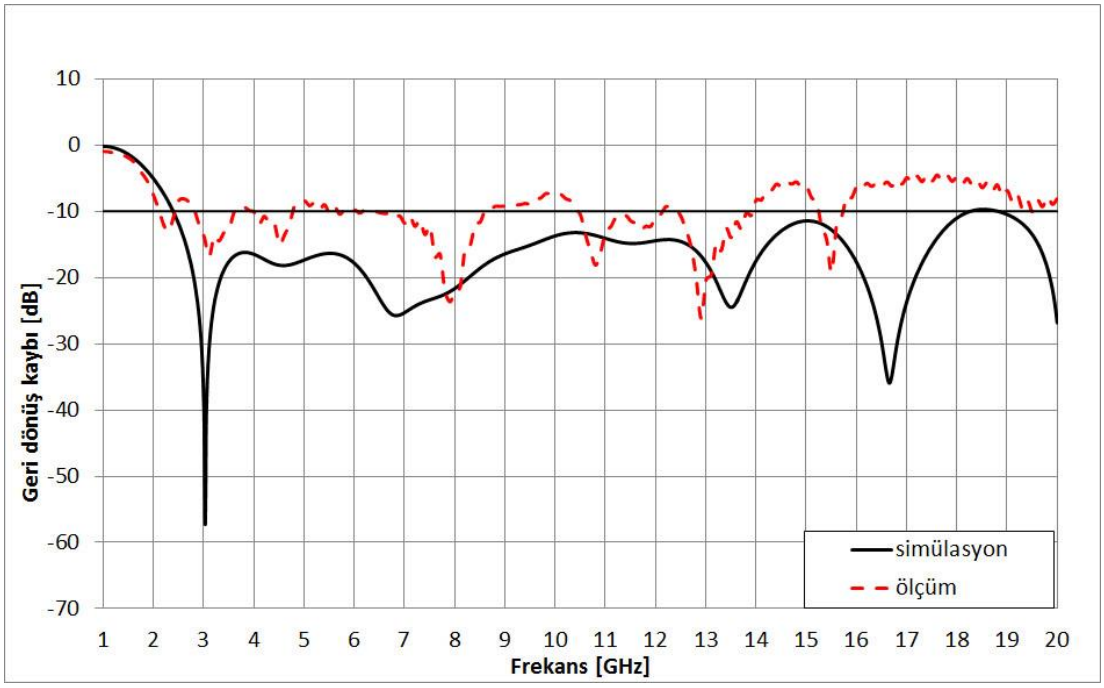
(c)

Şekil 2.18. Göz şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) Antenin ön yüzünün yama yapısı, (b) Antenin besleme hattı ve boyutları, (c) antenin arka yüzü, (d) antenin koordinat sistemine göre perspektif yerleşimi



(a) (b)

Şekil 2.19 Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüzü

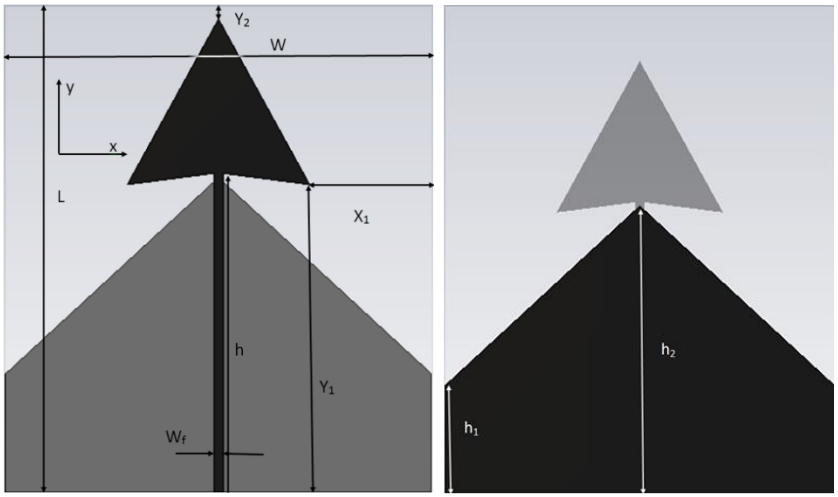


Şekil 2.20. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları

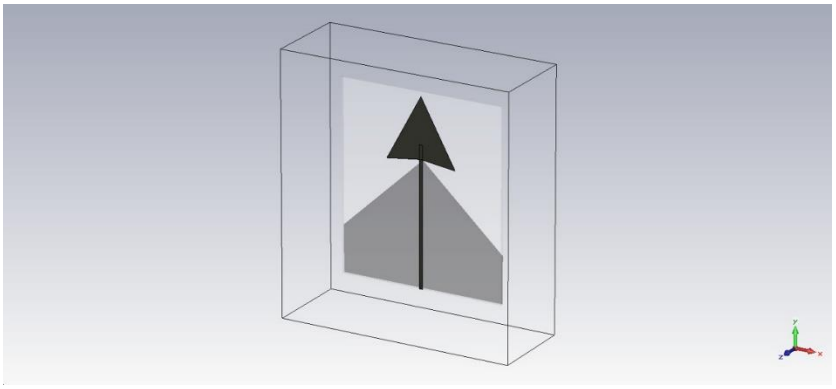
2.3. Ok Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Başka çalışma olarak ok geometrisinde yamaya ve toprak tabakasına sahip ultra geniş bant anten tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan anten 2,8-15,25 GHz aralığında ışıma yapması sağlanmıştır. Şekil 2.21'de görülen anten ε_r=2,2 dielektrik sabitinde ve h=0,762 kalınlığında dielektrik malzeme kullanılarak tasarlanmıştır. Dielektrik malzeme L=41 mm uzunluğunda ve W=36 mm genişliğindedir. Antenin ön yüzünde bulunan ok geometrisi üst sınıra Y_2=1 mm uzaklıkta olup alt sağ ve sol uçları yan kenara X_1=7,7 mm uzaklıktadır. Aynı uçlar besleme eksenine Y_1=26 mm uzaklıktadır. Antenin besleme hattı W_f=0,8 mm kalınlıkta ve h=26,95 mm olup 50 Ω luk beslemeye bağlanmıştır. Antenin arka yüzünde ise Şekil 2.21(b)'de görüldüğü gibi h_1=10 mm ve h_2=26 mm ölçülerinde toprak tabaka bulunmaktadır.

Tasarlanan antenin üretimi yapılarak (Şekil 2.22) geri dönüş kaybı ölçülmüştür. Şekil 2.23'te ölçüm ve simülasyon sonucunda bulunan geri dönüş kaybı değerleri verilmiştir. Simülasyon ve ölçüm grafiklerinin optimum düzeyde örtüştüğü görülmüş, üretimi yapılan antenin S_{11} ışıma grafiğinin -10 dB seviyesinin altında olmasının yanında düşük frekanslarda simüle edilen değer ile ölçüm değerinin arasında 0,5 GHz seviyesinde bir kayma olduğu belirlenmiştir.

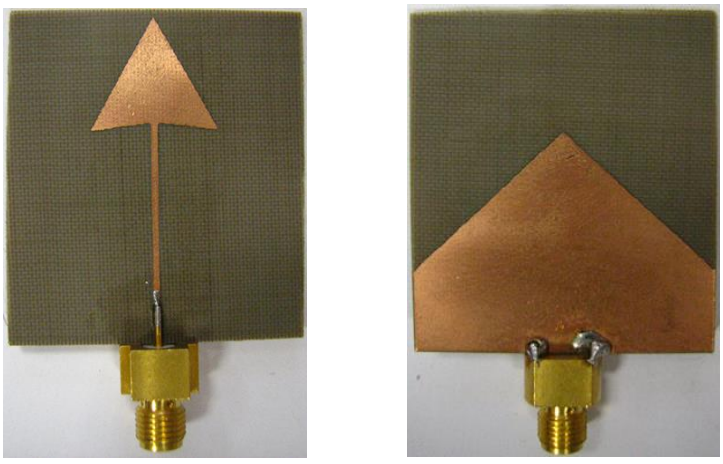


(a) (b)



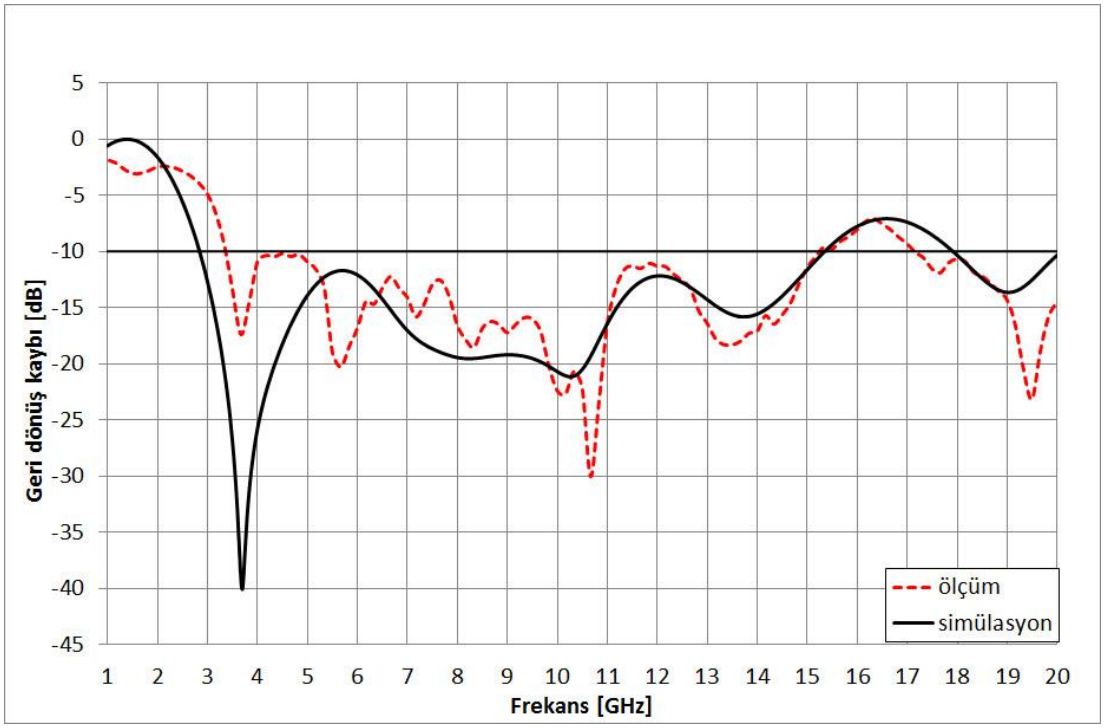
(c)

Şekil 2.21. Ok şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) ön yüz (b) arka yüz (c) xyz eksenlerine yerleştirilmiş perspektif görünüm



(a) (b)

Şekil 2.22. Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri

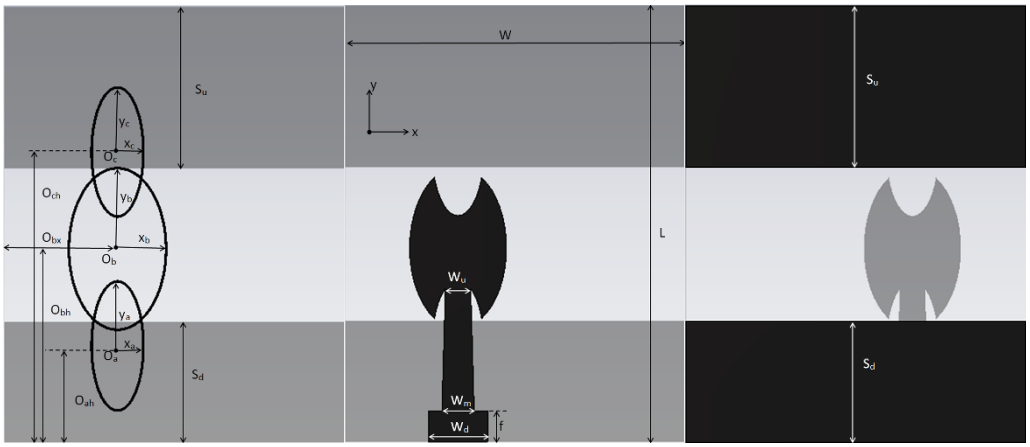


Şekil 2.23. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları

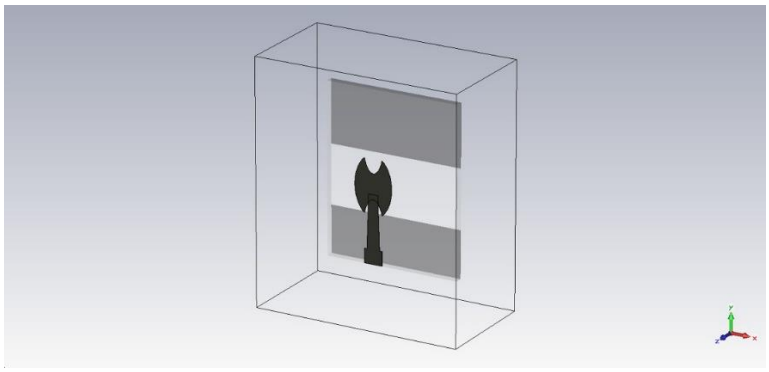
2.4. Balta Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Tasarımı gerçekleştirilen bir diğer anten için W=28, L=35 mm boyutlarında dielektrik sabiti ε_r=3 olan h=1,524 mm kalınlığında malzeme kullanılmıştır. Antenin yama kısmı çift taraflı balta geometrisinde olup, yama taper yapısındaki besleme hattı ile beslenmiştir (Şekil 2.24). Antenin yama kısmını oluşturan balta geometrisi antenin kenarlarından O_{bh}=15,6 mm ve O_{bx}=10 mm uzaklığındaki O_b merkezli elips şekli oluşturmaktadır. O_b merkezli elipsten, kenardan O_{bx} ve O_{ch}=23,4 mm, O_{ah}=7,8 mm uzaklığında O_c ve O_a merkezli iki ayrı elips geometrisi çıkarılarak çift taraflı balta geometrisi elde edilmiştir. Elipslerin yarıçapları y_b=6,5 mm, x_b=4 mm, y_c=y_a=3,3 mm, x_c=x_a=2,1 mm olarak belirlenmiştir. Antenin besleme hattının girişinin 50 Ω luk hatta uyumlandırılması için, W_d=3,96 mm ve f=3 mm alınmıştır. Besleme girişine yama kısmının empedansını uyumlandırmak için ise W_m=2,8 mm ve W_u=2 mm olarak belirlenmiştir. Antenin toprak tabakası S_d=9,75 mm ve S_u=13 mm yüksekliğinde iki ayrı kısımdan oluşmaktadır.

Tasarlanan balta şeklindeki antenin üretimi yapılarak ölçümleri alınmıştır (Şekil 2.25). Şekil 2.26'da antenin S_{11} geri dönüş kaybı için ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında simüle edilen anten 3,4 GHz ve 15,5 GHz arasında ışıma yaparken üretim sonucu elde edilen anten 3 GHz ve 13,5 GHz arasında ışıma yaptığı görülmüştür.



(a) (b)



(c)

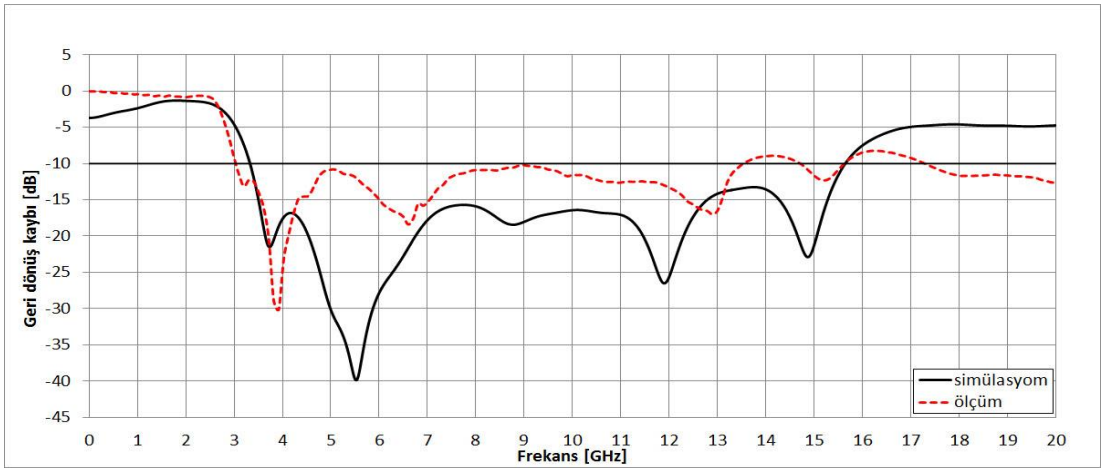
Şekil 2.24. Çift taraflı balta şeklindeki ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) ön yüz (b) arka yüz (c) xyz eksenlerine yerleştirilmiş perspektif görünüm





(a) (b)

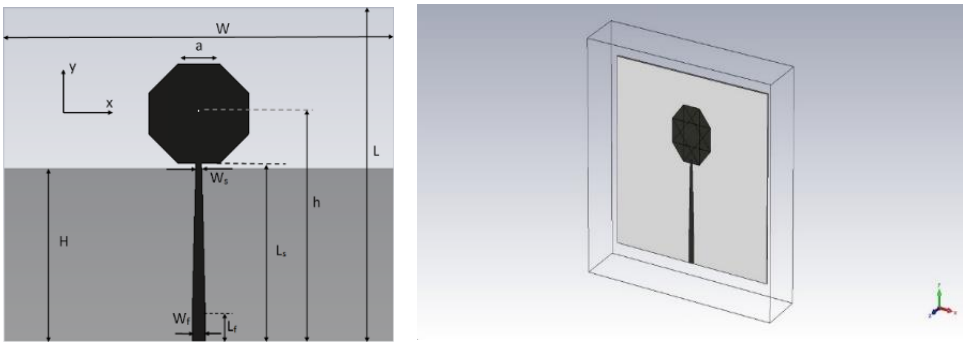
Şekil 2.25. Üretimi yapılan (a) referans ve (b) modifiye antenin ön ve arka yüz görüntüleri



Şekil 2.26. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

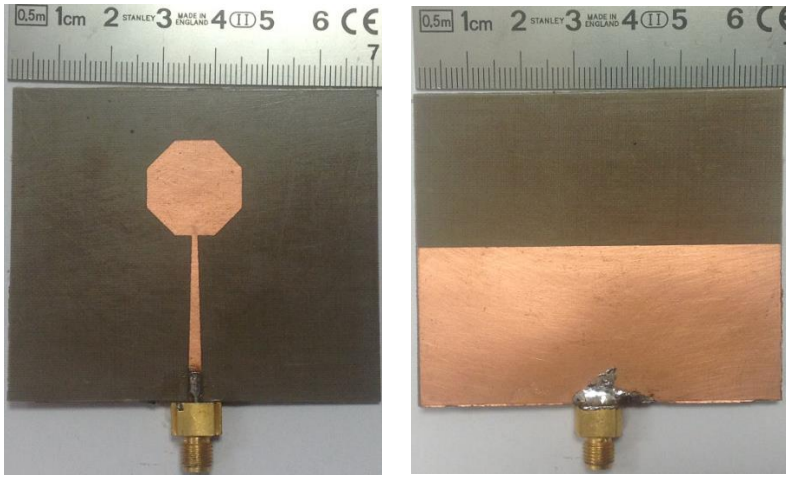
2.5. Sekizgen Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Bir başka örnekte sekizgen geometriye sahip bir ultra geniş bant anten tasarlanmış ve RKA analizleri için yapısal değişimler uygulanmıştır (Şekil 2.27). Anten için W=70 mm ve L=60 mm boyutlarında, dielektrik sabiti ε_r=2,2 olan h=0,762 mm kalınlığında dielektrik malzeme kullanılmıştır. Antenin mikroşerit besleme hattı uzunluğu L_s=32 mm ve besleme ile altıgen yamanın birleştiği noktadaki hattın genişliği W_s=1 mm alınmıştır. Bunun yanında mikroşerit hattı 50 Ω değerindeki beslemeye uyumlandırmak için mikroşerit hattın kalınlığı besleme kısmında W_f=2,37 mm ve uzunluğu L_f=5 mm olarak tasarlanmıştır. Yama kısmını oluşturan altıgen geometri ise a=7,45 mm kenar uzunluğuna sahip olup merkezinin beslemeden uzaklığı h=41 mm dir. Antenin arka yüzündeki toprak tabaka H_1=31,1 mm yüksekliğindedir. Şekil 2.28'de üretimi yapılan anten görülmektedir. Antenin S_{11} geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları ise Şekil 2.29'da verilmiştir.



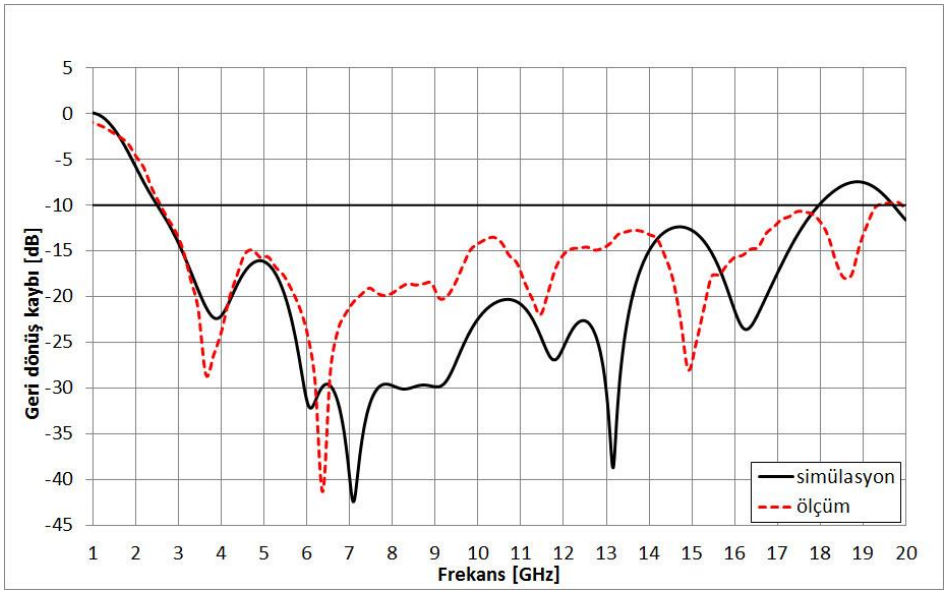
(a) (b)

Şekil 2.27. Sekizgen yama ultra geniş bant antenin geometrik ölçüleri (a) antenin ön yüzüi (b) antenin xyz eksenleri ile perspektif görünümü



(a) (b)

Şekil 2.28. Üretimi yapılan antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri



Şekil 2.29. Referans antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları

3. MİKROŞERİT ANTENLERDE RADAR KESİT ALANI AZALTIMI

Mikroşerit antenlerde RKA azaltımına yönelik çalışmaların sayısı literatürde az sayıdadır ve var olanların içinde UGB özellikli olup, 3-12 GHz bandı boyunca RKA'sı azaltılabilmiş anten yapısı yer almamaktadır. Bu tez çalışmasında, 3-12 GHZ bandında ortalama 10dB'lik RKA azaltımı hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, Bölüm 2'de tasarımlarına yer verilen UGB antenlerin, RKA azaltım çalışmaları açıklanacaktır. Simülasyon çalışmaları neticesinde RKA azaltımı yapılan antenlerin geri dönüş kayıpları laboratuvarımızda bulunan Network analyzer (Rohde Schwarz ZVB 20) ile ölçülmüştür. Anten RKA'larının ölçümü ise uygun laboratuvar koşullarına sahip (300 MHz-110 GHz aralığında ölçümlerin yapılabilidiği yutucu tabakalar ile kaplı tam yansımasız oda, anten/radar ölçüm sistemi ve network analizör içeren) "RCS/Antenna Measurement Facilities Radio Technology Center National Engineering and Scientific Commission, Islamabad" laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Proje çalışmasında antenlerin RKA değerleri monostatik olarak simüle edilmiştir. Yapılan ölçümlerde de monostatik RKA değerleri elde edilmiştir, yani bu amaçla hedeften 17,6 m uzaklığa (uzak-alan bölgesini sağlayacak mesafe) iki tane geniş bantlı horn anten aynı düzlemde olacak şekilde yerleştirilmiş, hedef -40 dBsm RKA değerine sahip bir strafor sütuna monte edilerek ölçümler alınmıştır. Ölçümler için Agilent E8362B vektör network analizör kullanılmış olup dalga y-polarizasyonlu olarak gönderilmiştir. Elde edilen sonuçlar bize RKA ve ışıma diyagramı simülasyon sonuçlarının da ölçümle uyum içerisinde olduğunu göstermiştir.

RKA azaltılma çalışmalarında özellikle geniş bantlı anten tasarımlarının iki kritik problemi vardır. Birincisi, antenin RKA değerinin tüm bantta azaltmak, ikincisi ise ışıma performansını korumaktır. Dolayısı ile bu tez çalışmasında hem ışıma performansları hem de RKA değerleri araştırılmıştır. Şimdiye kadar literatürde yer alan çalışmalarda antenin tüm çalışma bandında RKA değeri azaltılamamış, daha ziyade antenlerin çalışma bantlarının üst frekanslarında RKA'ları önemli seviyede düşürüldüğü gözlenmiştir. Fakat çalışma bandının alt frekanslarında (gelen dalga boyunun anten geometrik boyutuna yaklaştığı bölgede) RKA değerlerinin azaltılamadığı gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında sunulan özellikle "sekizgen yapılı anten" tasarımında düşük frekans bölgesinde 25 dB kadar RKA değerinin azaldığı

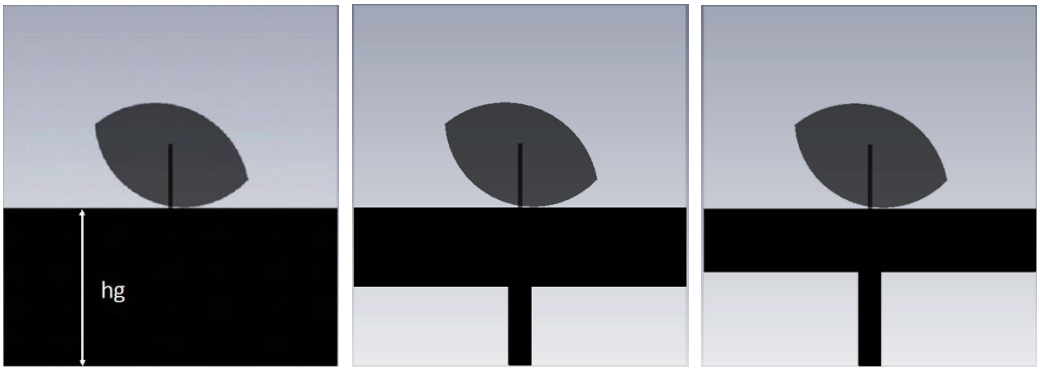
görülmüştür. Tasarımlarda RKA değerleri monostatik olarak elde edilmiştir. Hedef için en yüksek RKA değeri dalganın dik geliş durumunda olmasına rağmen aynı zamanda eğik geliş için de RKA değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, modifiye antenin yalnız dik geliş halinde değil, aynı zamanda dalganın eğik geliş durumunda da RKA azalımınım devam ettiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar neticesinde, sunulan tasarımların bant içi (3-12 GHz) ve bant dışı düşük RKA değerleri ile görünmezlik teknolojilerinin bulunduğu platformlarda rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bir antenin toplam RKA değeri, Eşitlik (1.10)'da belirtilmişti. Tasarımlarda anten besleme hattının uyumlu yük (50Ω) ile sonlandırılması durumu ele alınmıştır. Bu durumda anten modu RKA değeri sıfır olup, toplam RKA yalnızca yapısal mod RKA' dan oluşmaktadır.

3.1. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Göz Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten

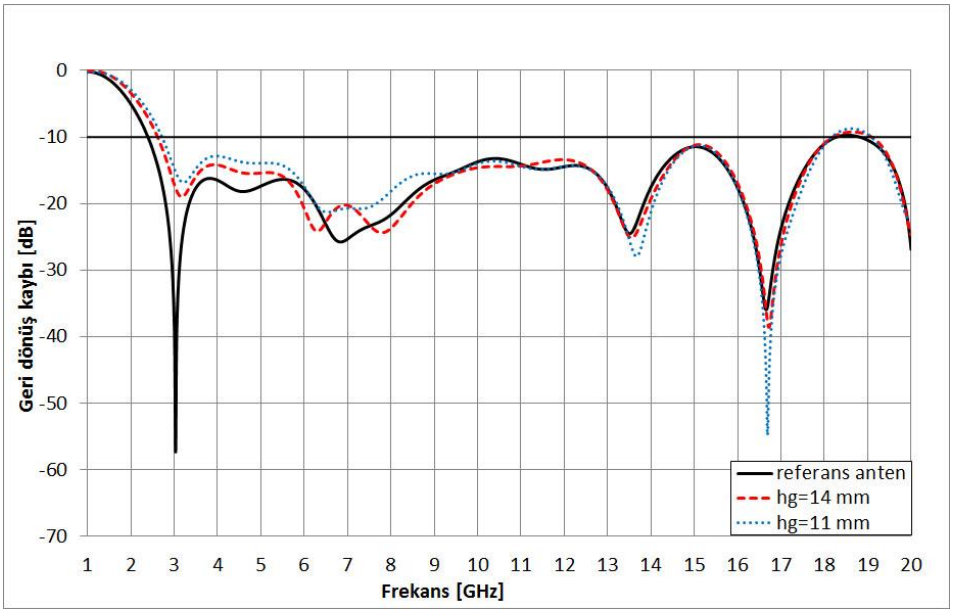
Bölüm 2.3'te verilen göz geometrisindeki ultra geniş bant antenin RKA azaltımı için öncelikle toprak tabakasının alanı y ekseni boyunca azaltılmıştır (Şekil 3.1). Bu azaltma sırasında besleme hattı boyunca 6 mm kalınlığında toprak tabakası besleme girişinden verilen dalganın ışıma yapabilmesi için bırakılmıştır. Toprak tabakasının geriye kalan kısmı öncelikle y ekseninde %50 oranda daha sonra ise %60 oranda azaltılmıştır. Elde edilen S_{11} geri dönüşüm grafiklerine göre antenin ışıma karakteristiğinde 3-6 GHz aralığında bozulma olduğu diğer taraftan antenin hala ışıma yaptığı görülmüştür (Şekil 3.2). Ayrıca 3 GHz, 7 GHz ve 13 GHz frekanslarında antenin ışıma diyagramları elde edilmiştir. Elde edilen ışıma diyagramında 7 GHz de yz düzleminde antenin yönlülüğünün arttığı ancak diğer frekanslarda ışıma karakteristiğinin değişmediği görülmüştür (Şekil 3.3).

Antenin toprak tabakasında yapılan değişikliklerin her aşamasında RKA değerleri gelen dalganın elektriksel alanı x ekseninde ve y ekseninde iken ayrı ayrı simüle edilmiştir (Şekil 3.4). Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre gelen dalganın elektriksel alanı x yönündeyken 3 GHz ve 13 GHz aralığında RKA değerlerinde ortalama 8 dB bir azalma olduğu görülmüştür. Gelen dalganın elektriksel alanı y yönündeyken ise 3,5 GHz ve 6 GHz aralığında ortalama 17 dB değerinde azalma olmuştur.



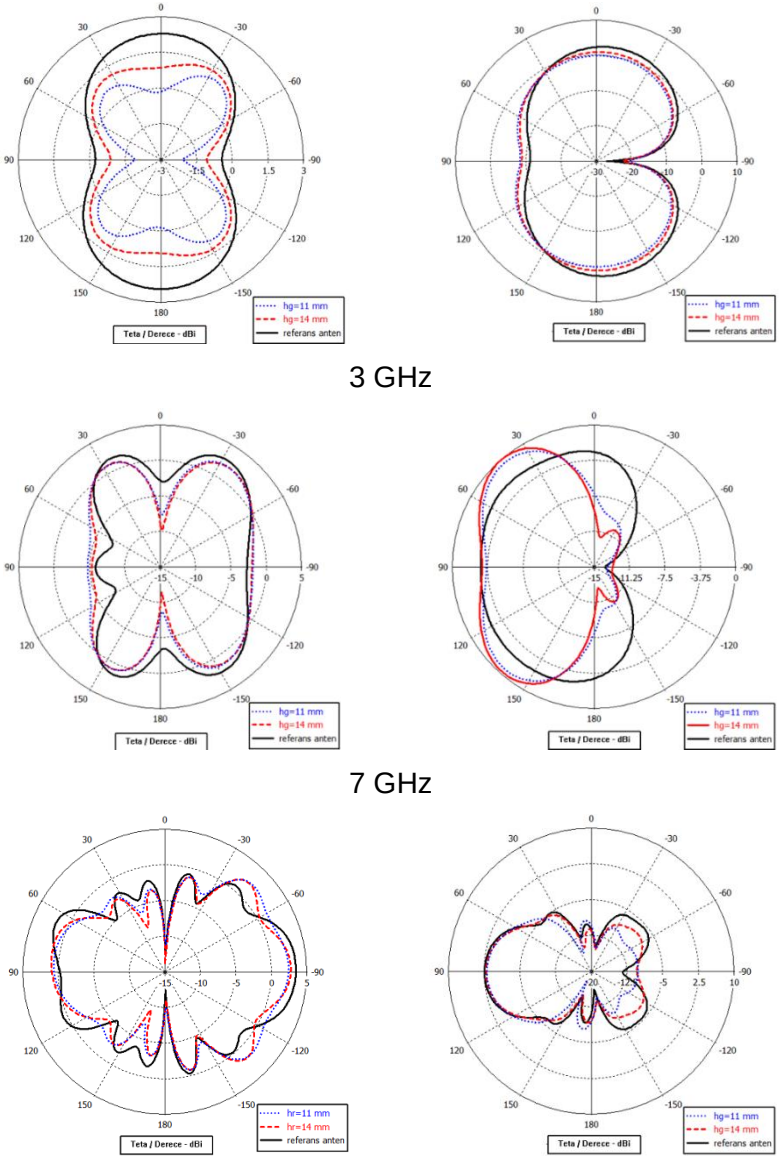
(a) (b) (c)

Şekil 3.1. Antenin arka yüzünde hg yüksekliğinde yapılan değişimler (a) referans anten, (b) hg=14 mm, (c) hg=11 mm



Şekil 3.2. Toprak hattında hg yüksekliğindeki değişimle elde edilen S_{11} simülasyon değerleri karşılaştırması

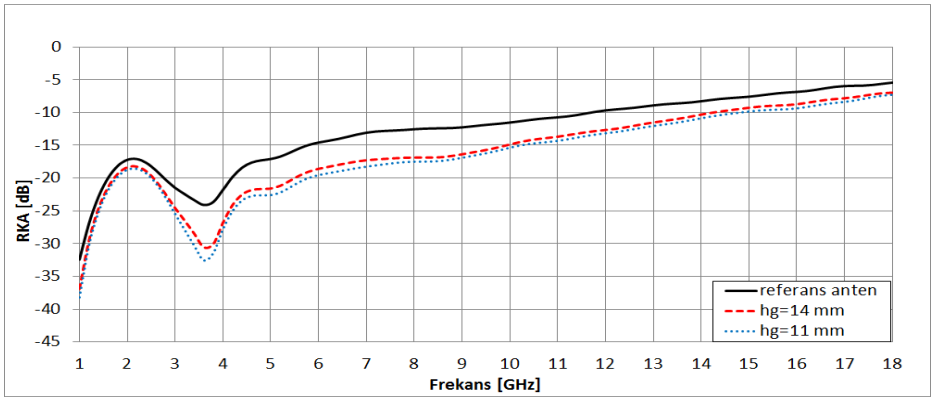
İkinci aşamada antenin yama kısmında geometrik değişiklik yapılarak yama kısmının RKA üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Bu aşamada yama geometrinin merkezi baz alınarak aynı merkezli daire şeklinde geometri yamadan çıkarılmıştır (Şekil 3.5). Daire şeklindeki geometri önce r=6 mm ve daha sonra r=8 mm yarıçapında seçilmiştir. Diğer taraftan elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı grafiklerinden antenin ışıma performansının değişmediği ve r=6 mm için 3,5-6,5 GHz aralığında r=8 mm için ise 10-14 GHz aralığında antenin daha iyi ışıma performansı gösterdiği görülmüştür (Şekil 3.6). Akım yoğunluğunun yamanın dış çeperinde yoğunlaşmasından dolayı yama içerisinde yapılan değişiklik geri dönüş kaybını fazla değiştirmemiştir. Elde edilen ışıma diyagramları antenin yönlülüğünün değişmediğini göstermektedir (Şekil 3.7).



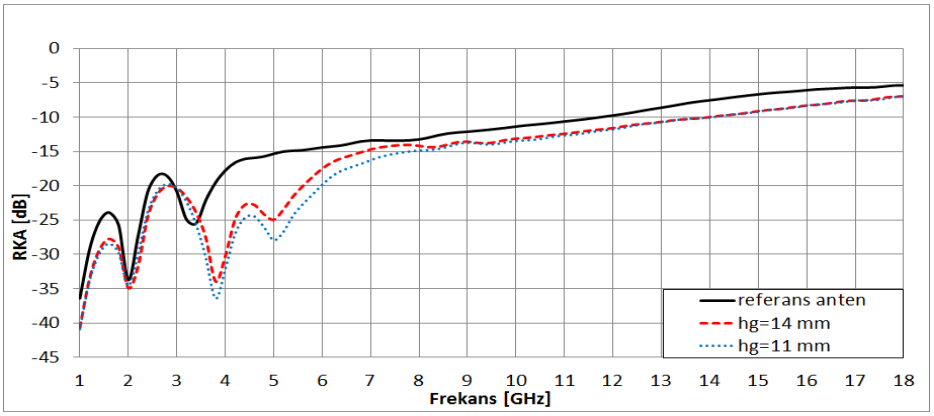
Şekil 3.3. Toprak hattında hg yüksekliğindeki değişimle elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri (Grafiklerdeki düz çizgi orijinal anten, kesik çizgi hg yüksekliği %50 azaltılmış, noktalı iz hg yüksekliği %60 azaltılmış ışımaları göstermektedir

Antenin RKA analizi gelen dalganın elektriksel alanı x ve yönleri için ayrı ayrı simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yama kısmındaki daire geometrinin çıkarılması gelen dalganın elektriksel alanı x yönündeyken antenin RKA değerini 3-5 GHz aralığında olumsuz etkilerken, 5-14 GHz aralığında ise ortalama 2 dB değerinde bir azalmaya sebep olmuştur. Diğer taraftan gelen dalganın elektriksel alanı y yönündeyken antenin RKA değeri yaklaşık 2 dB azalmıştır (Şekil 3.8). Şekil 3.9.'da

tasarlanan antenin yüzey akım dağılımları simüle edilmiş ve akım yoğunluğunun özellikle yama çevresinde ve toprak tabakasının besleme hattı hizası ve üst kenarlarında arttığı görülmüştür.

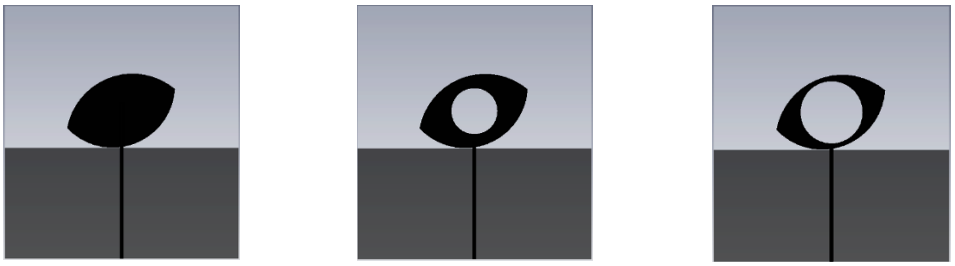


(a)



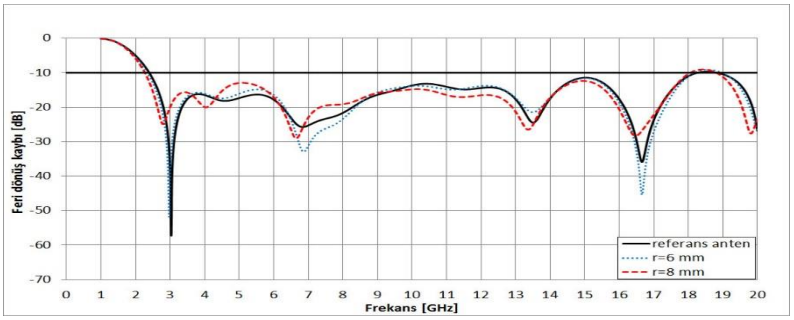
(b)

Şekil 3.4. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında hg yüksekliğinde yapılan değişimin RKA azaltımına etkisi

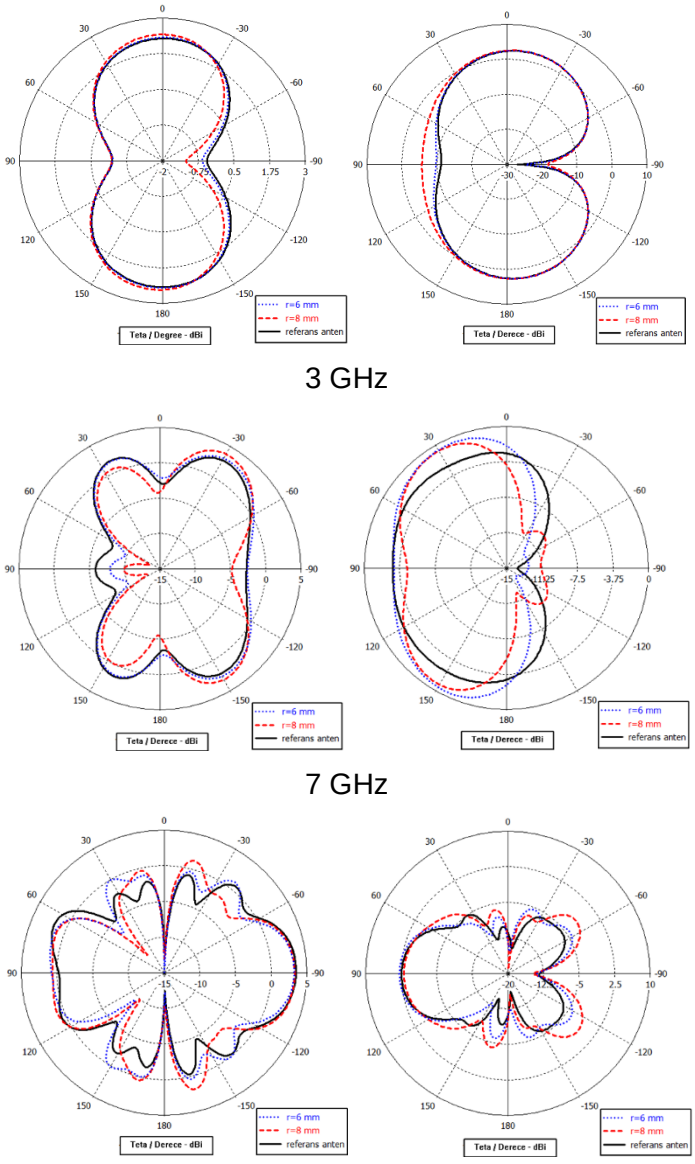


(a) (b) (c)

Şekil 3.5. Antenin yama kısmında r yarıçaplı daire şeklinde eksiltme (a) referans anten, (b) r=6 mm yarıçapında daire, (c) r=8 mm yarıçapında daire



Şekil 3.6. Yama kısmında r yarıçaplı daire eksiltmesi ile elde edilen S_{11} karşılaştırması



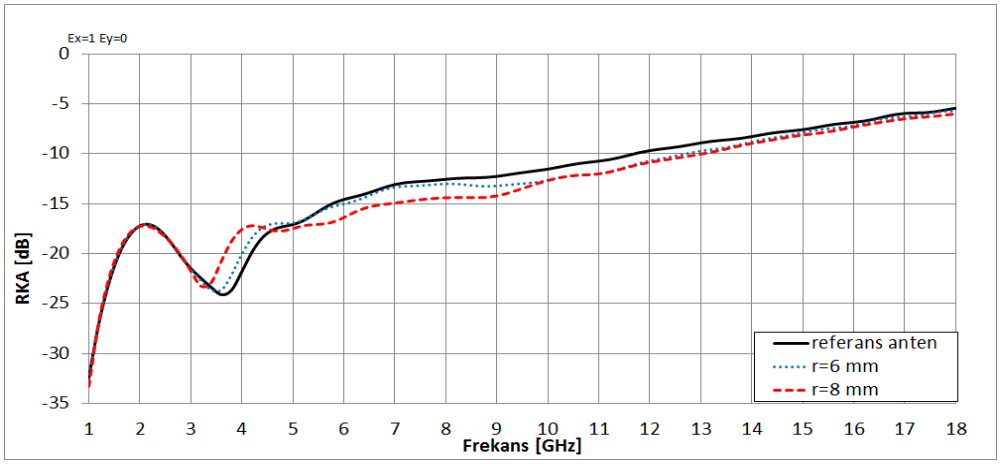
3 GHz

7 GHz

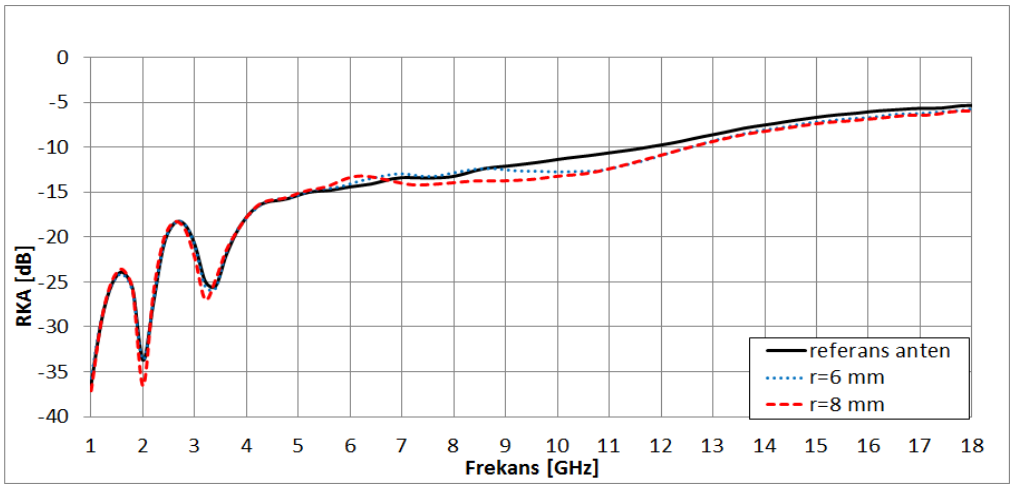
13 GHz

(a) (b)

Şekil 3.7. Yama kısmında r yarıçaplı daire eksitlesi ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

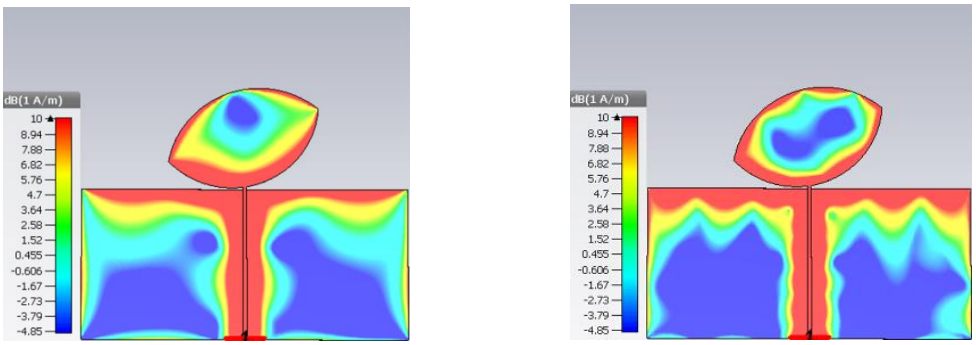


(a)



(b)

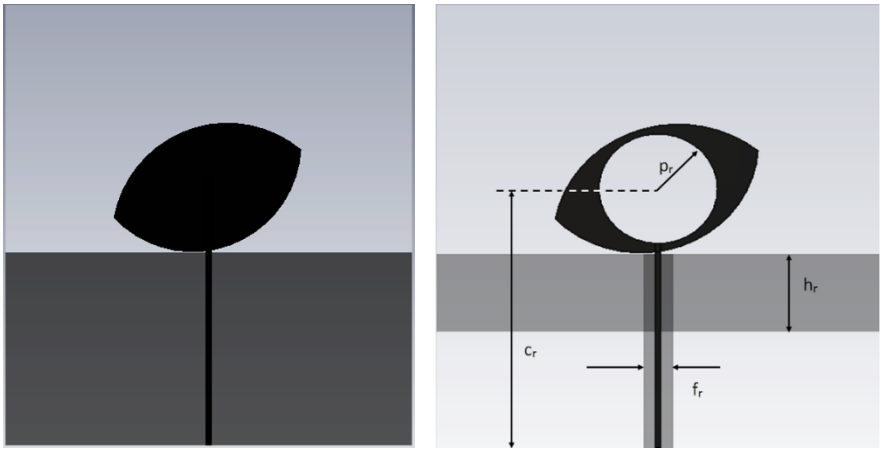
Şekil 3.8. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmında uygulanan r yarıçaplı daire eksiltmenin RKA azaltımına etkisi



(a) (b)

Şekil 3.9. Referans antenin (a) 7 GHz ve (b) 13 GHz frekanslarında yüzey akım dağılımının simülasyonu

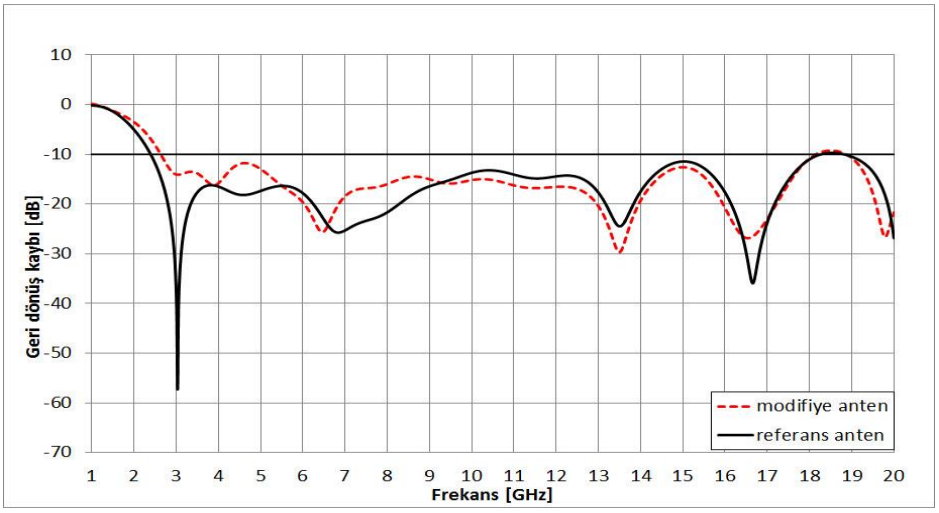
Son aşamada antenin hem toprak kısmında hem de yama kısmında eksiltme yapılarak RKA azalması incelenmiştir (Şekil 3.10).



(a) (b)

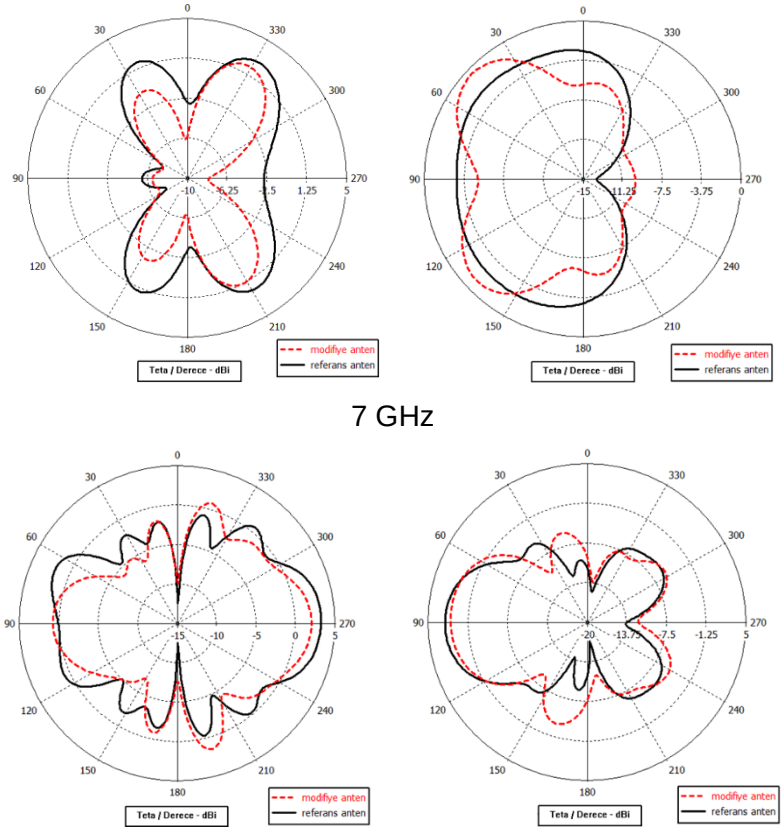
Şekil 3.10. Antenin toprak ve yama kısmında uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) hedeflenen anten

Antenin toprak kısmı y ekseninde %60 oranında bir alan çıkarılırken yine besleme hattı boyunca 6 mm genişliğinde şerit dalganın iletimi için bırakılmıştır. Buna ilave olarak yama kısmında da r=8 mm yarıçapında daire geometri de çıkarılmıştır. Elde edilen modifiye antenin S_{11} geri dönüş kaybı ile referans anten karşılaştırılarak ışıma performansındaki değişimin minimal düzeyde oldu görülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yama ve toprak kısmının değiştirilmesi ile elde edilen S_{11} karşılaştırması

Bunun yanında simüle edilen ışıma diyagramlarında 3 GHz, 7 GHz ve 13 GHz'de antenin yönlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.12). Ayrıca xz düzleminde antenin kazancının düştüğü de gözlemlenmiştir. Antenin RKA analizlerinde gelen dalganın elektriksel alanı x yönünde alındığında RKA değerinin hemen bütün frekanslarda 10 dB ile 5 dB arasında azaldığı görülmüştür (Şekil 3.13).

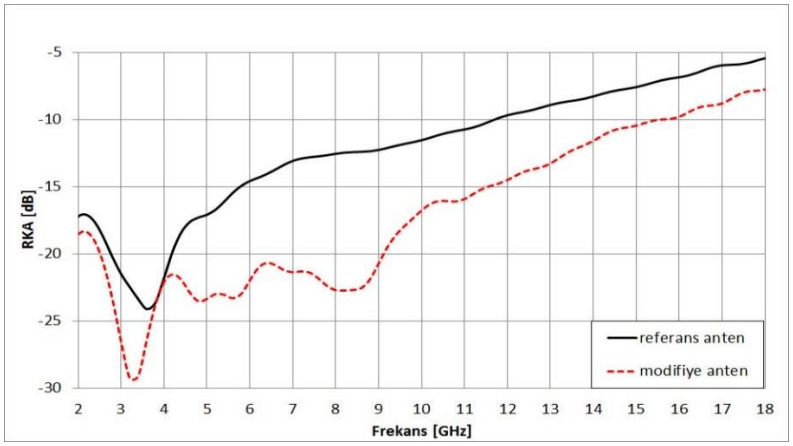


(a) (b)

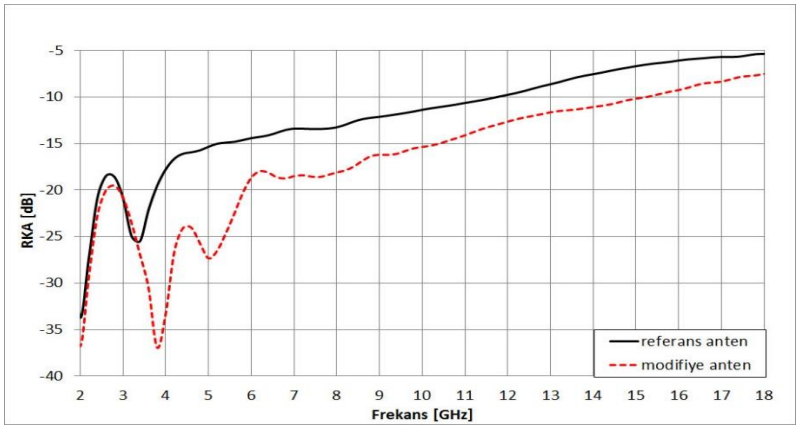
Şekil 3.12. Yama ve toprak kısmında uygulanan eksiltme ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Gelen dalganın elektriksel alanını y yönünde olması durumda ise 2 ve 4 GHz frekanslarında yaklaşık 15 dB, diğer frekans aralıklarında ise yine 5 ila 10 dB arasında RKA azalması gözlemlenmiştir.

Son aşamada tasarımı yapılan antenler üretilmiştir. Şekil 3.14'te üretimi gerçekleştirilen antenlerin fotoğrafı yer almaktadır. Üretimi yapılan modifiye antenin daha sonrasında S_{11} geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmış (Şekil 3.15) ve antenin beklenen ışıma karakteristiğine uyduğu görülmüştür. Şekil 3.16'da görülen besleme hattı altında bulunan f_r genişliğinin S_{11} geri dönüş kaybına etkisi sonucunda besleme hattının f_r=4 mm genişliğinde olması antenin ışımasını bozmadığı belirlenmiştir. Bundan sonraki tasarımlarda besleme hattı genişliği yaklaşık 4 mm alınacaktır. Nihai olarak üretimi yapılan modifiye antenin y düzlemindeki RKA azalımı ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılarak hedeflenen RKA azaltımına ulaşıldığı belirlenmiştir (Şekil 3.17).

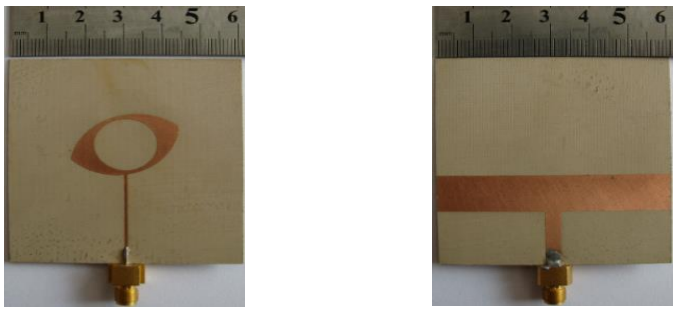


(a)



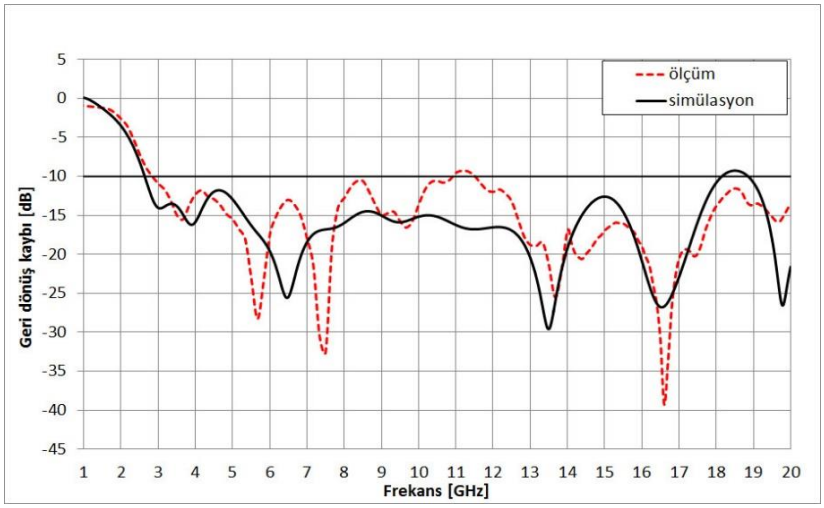
(b)

Şekil 3.13. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında ve yama kısmında uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi

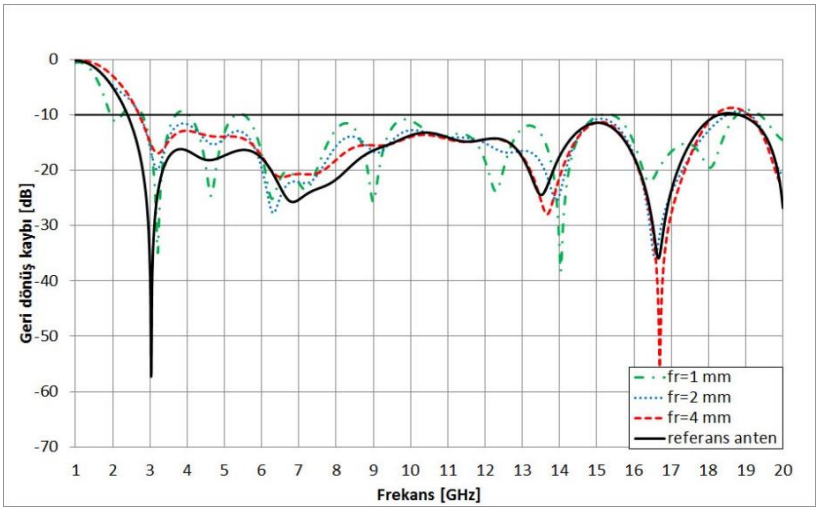


(a) (b)

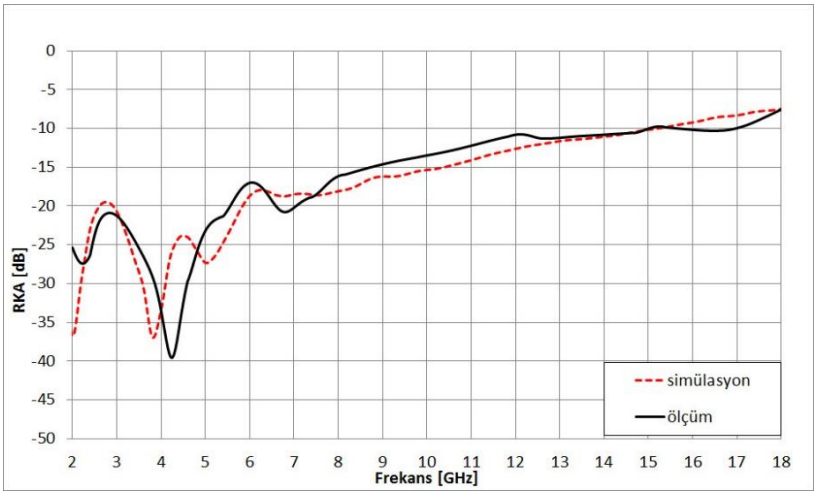
Şekil 3.14. Üretimi yapılan (a) referans ve (b) modifiye antenlerin ön ve arka yüzleri



Şekil 3.15. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları



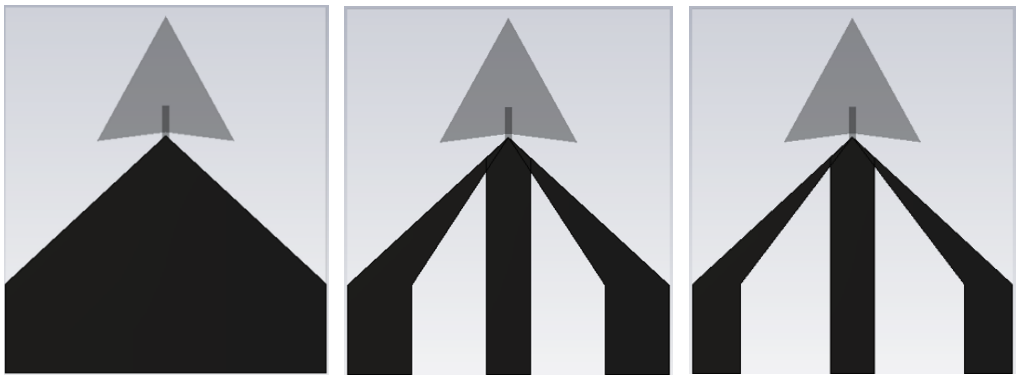
Şekil 3.16. Besleme hattı altında bulunan fr genişliğinin S_{11}'e etkisi



Şekil 3.17. Modifiye antenin RKA değerleri ölçüm ve simülasyon sonuçları

3.2. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Ok Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten

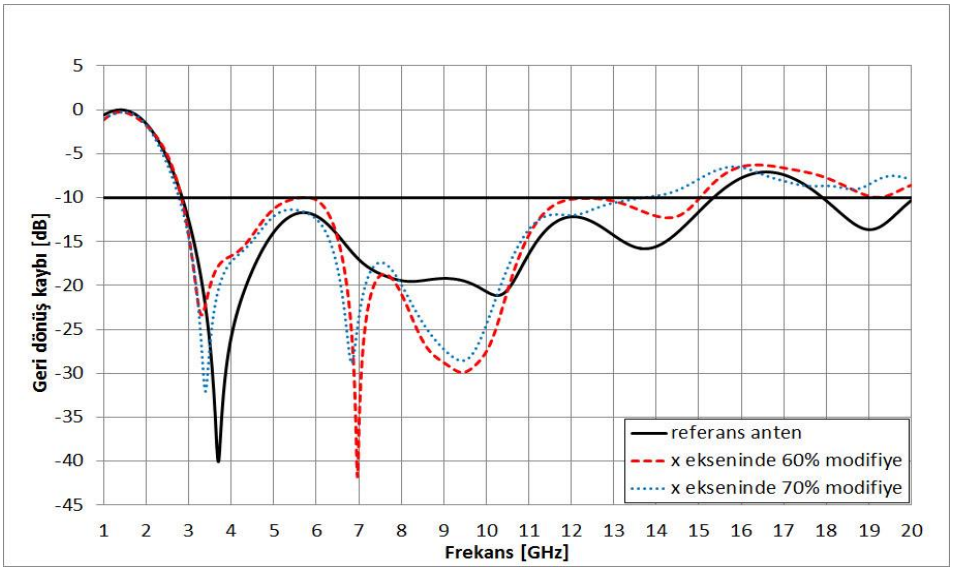
Ok biçimindeki antenin ilk RKA azaltımı analizleri için öncelikle toprak kısmı x ekseninde dış kenarlar baz alınarak %60 ve %70 oranında azaltılmıştır (Şekil 3.18).



(a) (b) (c)

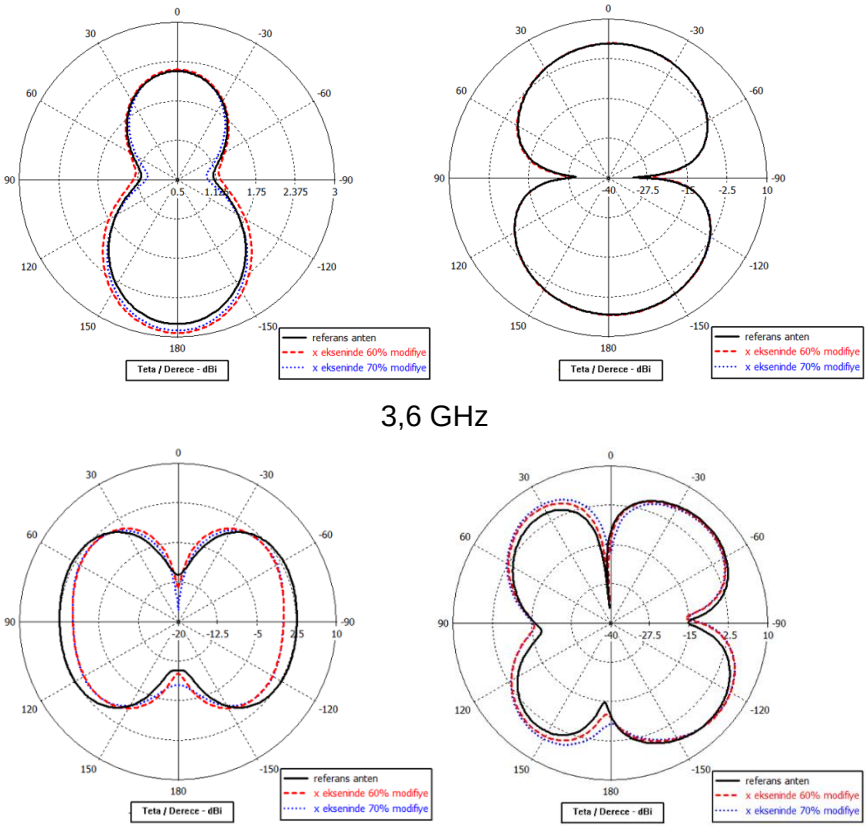
Şekil 3.18. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında x ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) x ekseninde %60 oranda eksiltme, (c) x ekseninde %70 oranda eksiltme

Bu azaltmanın antenin ışıma performansını minimal düzeyde etkilemesi için toprak kısmının dış kenarları baz alınarak iç kesimden çıkarma yapılmıştır. Bunun yanında besleme hattı boyunca 6 mm genişliğinde bir şerit bırakılmıştır. Antenin S_{11} geri dönüş grafiklerinde ise 6-10 GHz aralığında antenin ortalama 5 dB değerinde geri dönüş kaybının azaldığı, 13-16 GHz frekans aralığında ise geri dönüş kaybıını 5 dB arttığı görülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması

Antenin 3,6 GHz ve 10 GHz de ışıma diyagramları simüle edilmiş ve ışıma karakteristiklerinde bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.20).

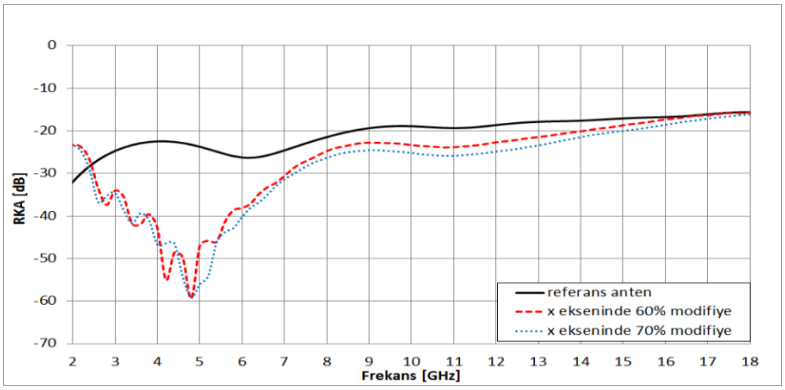


Şekil 3.20. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

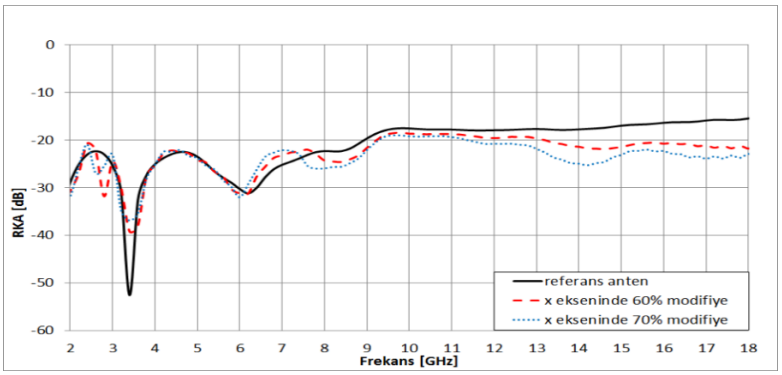
RKA analizlerinde ise gelen dalganın elektriksel alanı x yönünde olduğunda 2 GHz de 5 dB lik bir artış olmasına rağmen 2,5 GHz ve 15 GHz frekans aralığında ortalama 15 dB değerinde azalma görülmüştür (Şekil 3.21). 5 GHz'de bu azalma 35 dB değerine kadar çıkmaktadır. Gelen dalganın elektriksel alanı y yönünde olduğunda ise 8 GHz'e kadar bir azalma gözlenmezken daha yüksek frekanslarda 5 dB değere kadar bir RKA azalması görülmüştür.

İkinci aşamada toprak tabakası y ekseninde %50 ve %60 oranında azaltılmış ve besleme hattı boyunca 6 mm genişliğinde şerit bırakılmıştır (Şekil 3.22). Simüle edilen S_{11} geri dönüş grafiklerinde 4 GHz, 9 GHz, 14 GHz frekanslarında geri dönüş kaybının 7 dB kadar arttığı görülmüştür. Bu etken, antenin RKA azaltımında x yönünde bir toprak tabakası çıkarılması yönteminde olumsuz rol oynayacaktır (Şekil 3.23). Elde

edilen ışıma diyagramlarında xz düzleminde 3,6 GHz frekansında kazanç azalırken 10 GHz frekansında yönlülüğün azaldığı görülmüştür (Şekil 3.24).



(a)



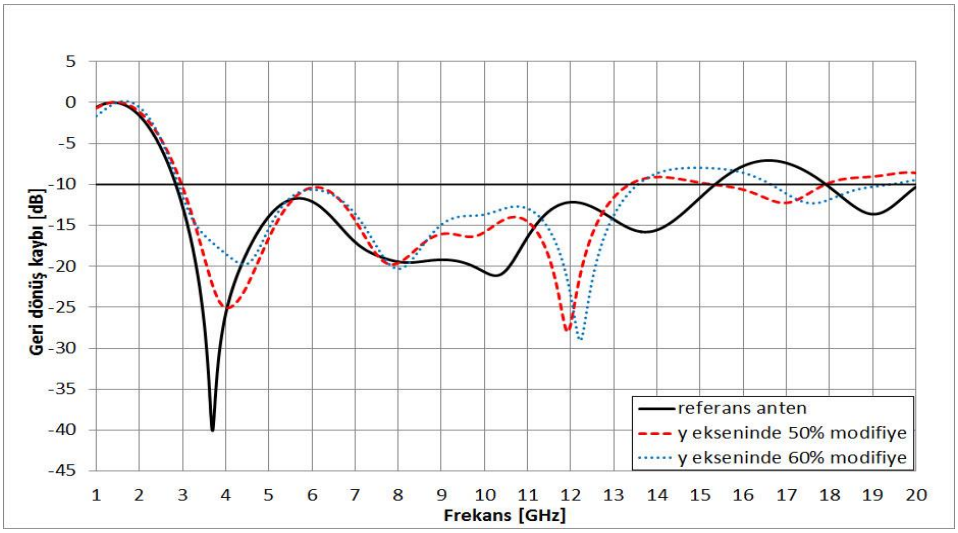
(b)

Şekil 3.21. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında x ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi

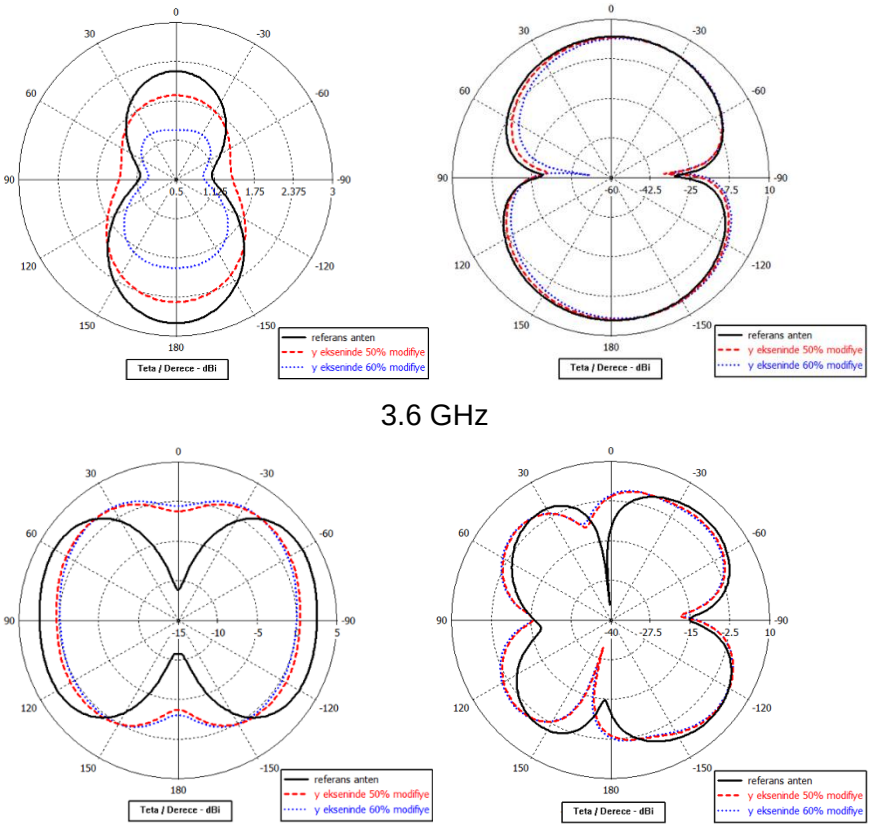


(a) (b) (c)

Şekil 3.22. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında y ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) y ekseninde %50 oranda eksiltme, (c) y ekseninde %60 oranda eksiltme



Şekil 3.23. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması



3.6 GHz

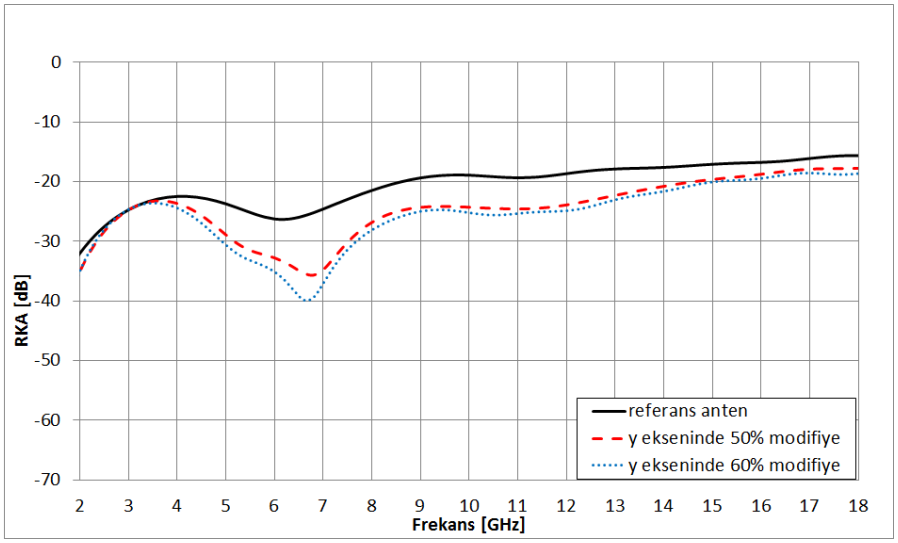
10 GHz

(a) (b)

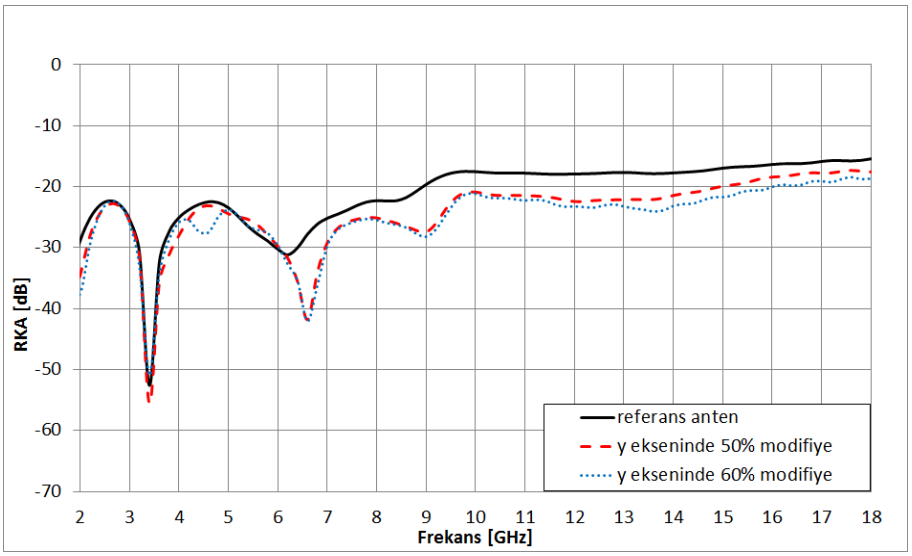
Şekil 3.24. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Antenin RKA analizlerine bakıldığında gelen dalganın elektriksel alanı x yönünde alındığında 7 GHz frekansında 15 dB ye kadar çıkan bir RKA azalması

gözlemlenmiştir. Gelen dalganın elektriksel alanı y yönünde olduğunda 6 GHz ve üzerinde 10 dB değerinde bir RKA azalması görülmüştür (Şekil 3.25).



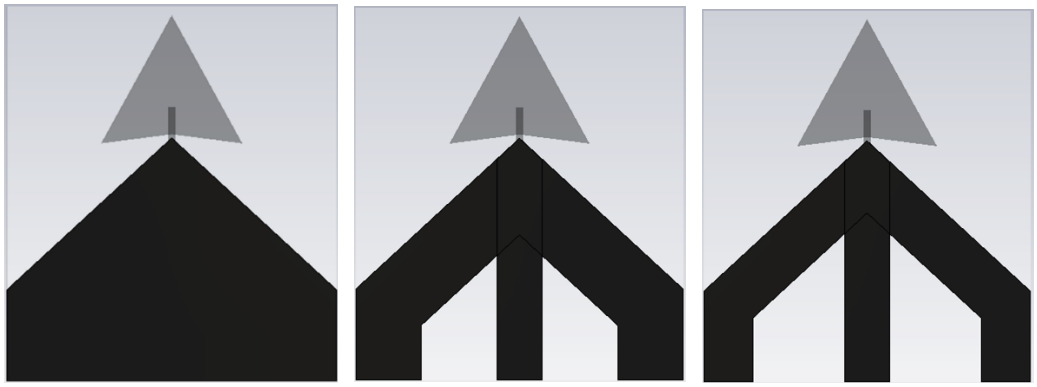
(a)



(b)

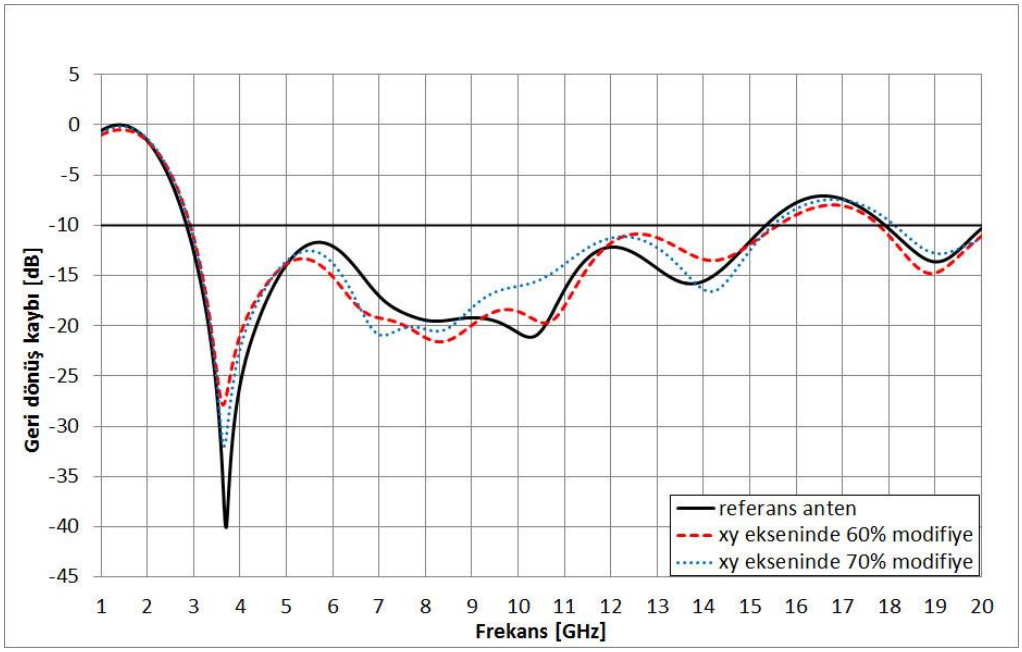
Şekil 3.25. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi

Üçüncü aşamada antenin toprak tabakası hem x hem de y yönünde %60 ve %70 oranında alan çıkarılması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.26). Antenin S_{11} geri dönüş grafiğinde ise 10 GHz frekansında 5 dB değerinde yükselme görülürken diğer frekanslarda ışıma performansının değişmediği görülmüştür (Şekil 3.27).



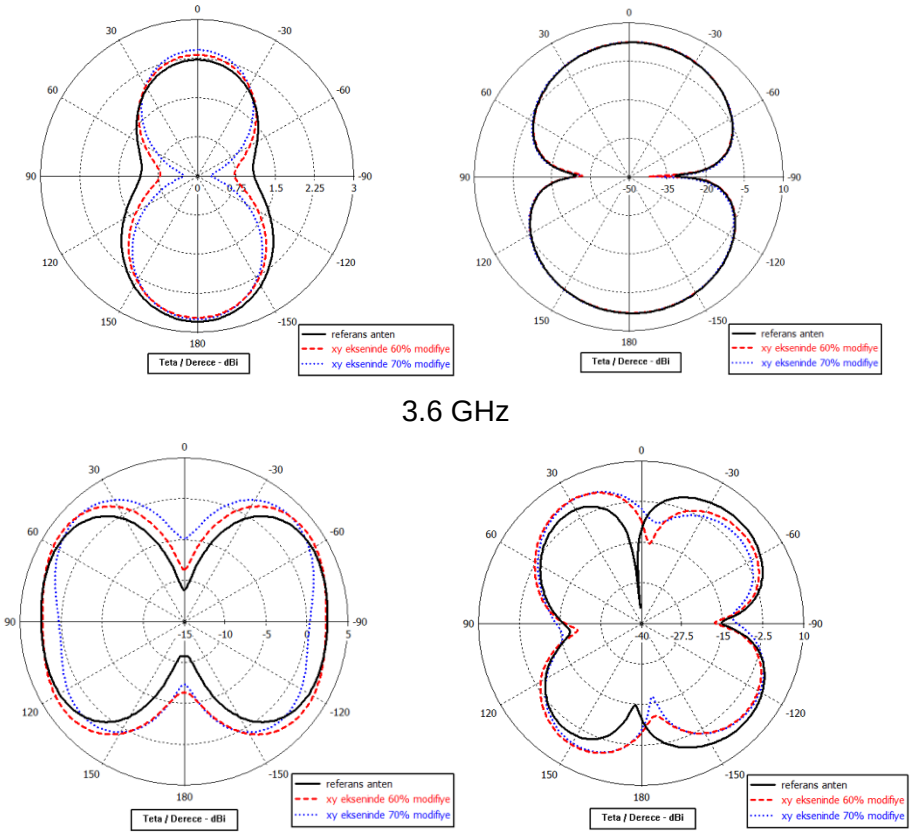
(a) (b) (c)

Şekil 3.26. Ok şeklindeki antenin toprak kısmında xy ekseninde uygulanan azaltım (a) referans anten, (b) xy ekseniynde %60 oranda eksiltme, (c) xy ekseninde %70 oranda eksiltme

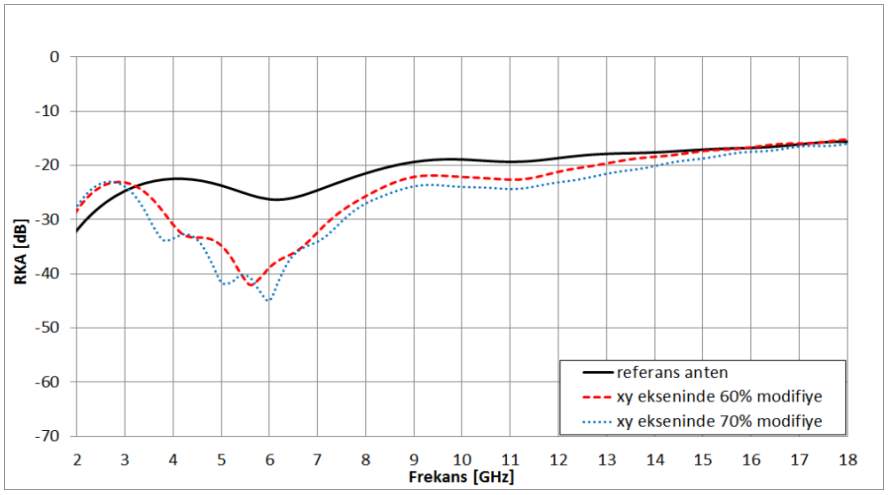


Şekil 3.27. Toprak hattında xy ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması

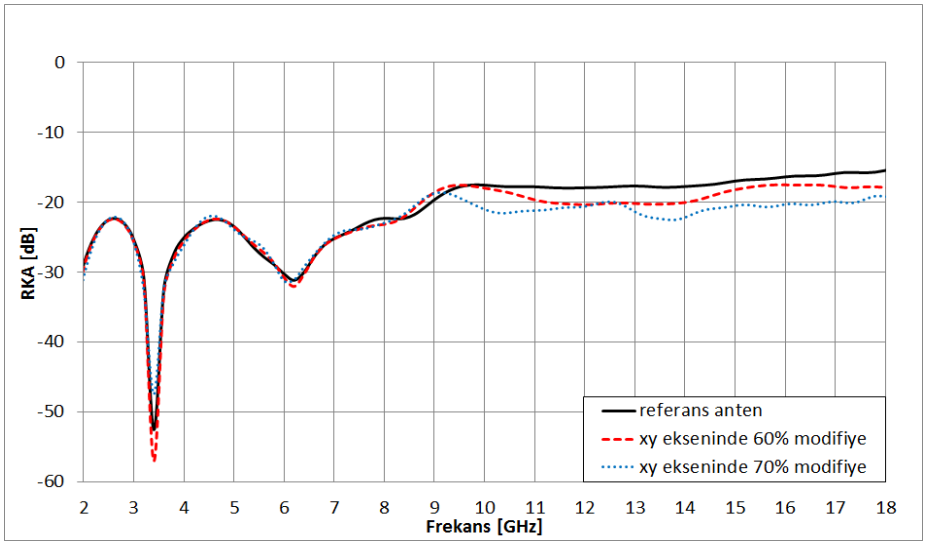
Bu yöntemde antenin elde edilen ışıma diyagramları incelendiğinde ışıma karakteristiğinin hemen hiç değişmediği görülmüştür (Şekil 3.28). Elde edilen RKA analizlerinde gelen dalganın elektriksel alanın x yönünde olduğunda 3-14 GHz aralığında RKA ortalama 5 dB değerinde bir RKA azalması görülmüştür. RKA azalması 6 GHz de 20 dB değerine kadar çıkmaktadır (Şekil 3.29). Gelen dalganın elektriksel alanı y yönünde olduğunda ise 9 GHz den yüksek frekanslarda RKA 5 dB değerinde azalmıştır. (Şekil 3.30).



Şekil 3.28. Toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri



Şekil 3.29. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi



Şekil 3.30. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak hattında x ve y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi

Dördüncü aşamada antenin üçgen yama kısmından eksiltmeler yapılmıştır (Şekil 3.31).

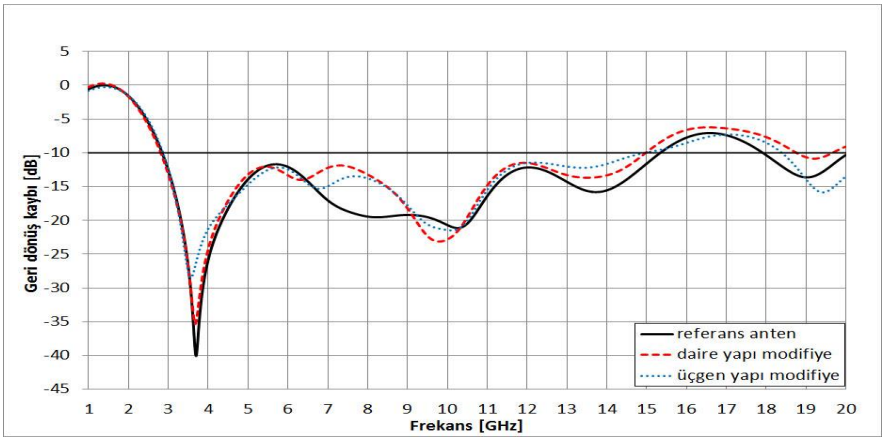


(a) (b) (c)

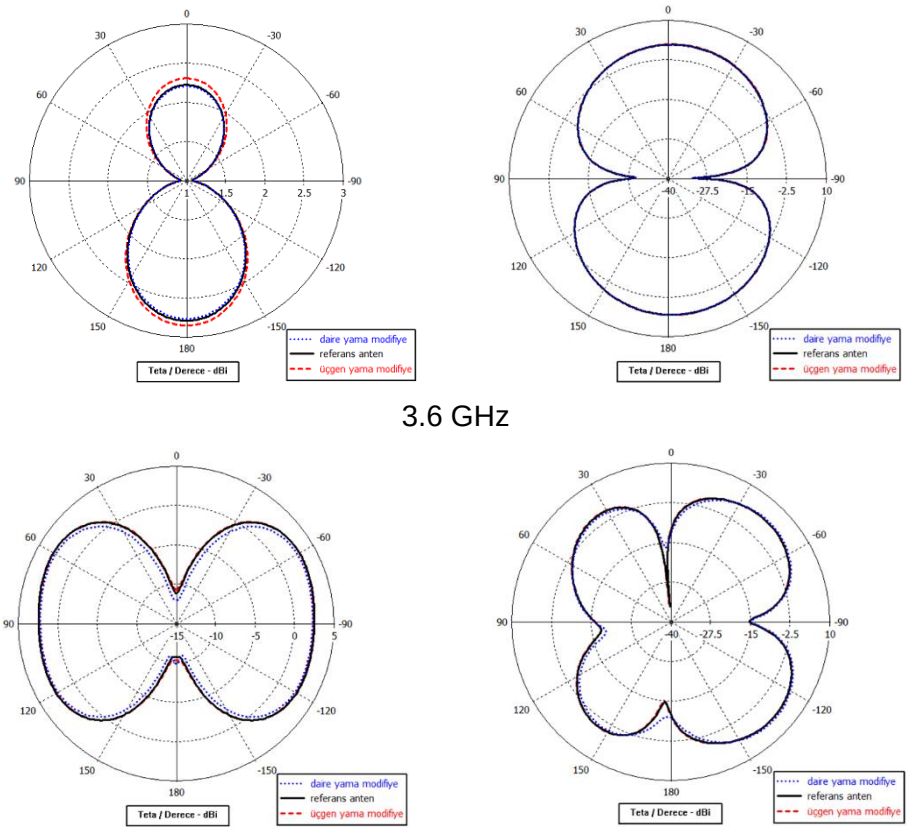
Şekil 3.31. Ok şeklindeki antenin yama kısmında uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) ok şeklindeki yama ile aynı merkezli %70 oranda da küçük geometrinin çıkarılması (c) ok şeklindeki yama ile aynı merkezli r=3,5 mm yarıçapı daire geometrinin çıkarılması

Eksiltmeler için öncelikle yama geometrisiyle aynı merkezli ve alan olarak yama geometrisinin %70 oranda küçültülmüş halinin yama geometriden çıkarılmıştır. İkinci uygulamada ise yama geometriden aynı merkezli ve r=3,5 mm yarıçaplı daire şeklinde bir geometrinin çıkarılması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen S_{11} grafiklerinde ışıma performansının 8 GHz frekansında 5 dB değerinde azalmasının dışında değişmediği görülmüştür (Şekil 3.32). Bunun yanında her iki geometride de antenin ışıma diyagramları değişmemektedir (Şekil 3.33). Diğer taraftan elde edilen RKA

analizlerinde bu eksiltmenin, gelen dalganın elektriksel alanının hem x hem de y yönünde olması durumunda RKA değerini ortalama 1 dB azalttığı görülmüştür (Şekil 3.34).



Şekil 3.32. Yama kısmında uygulanan geometrik eksiltmeler sonucunda elde edilen S_{11} karşılaştırması

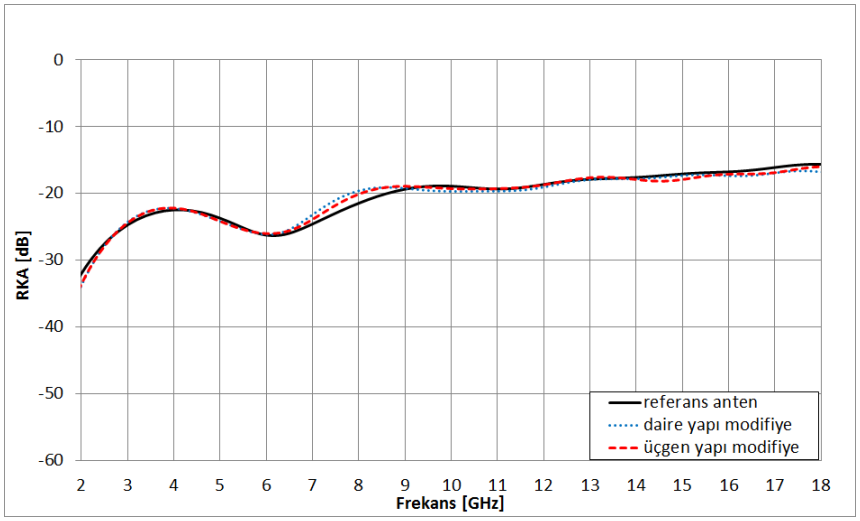


3.6 GHz

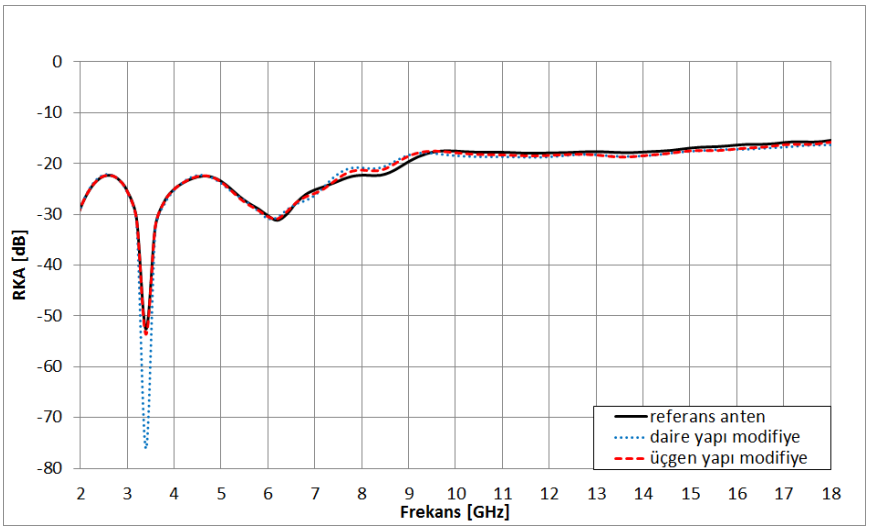
10 GHz

(a) (b)

Şekil 3.33. Yama kısmında uygulanan geometrik azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri



(a)



(b)

Şekil 3.34. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmında uygulanan değişimlerin RKA azaltımına etkisi

Yukarıda verilen analiz sonuçları doğrultusunda 3,5 GHz'de daire geometri eksiltmenin 30 dB ye varan RKA azaltımı sebebiyle ilerde antenin hedeflenen geometrisinde daire şekline eksiltme kullanılacaktır.

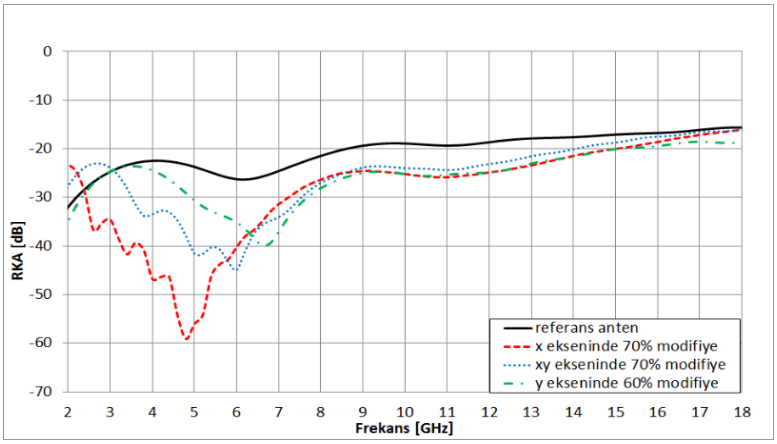
Beşinci aşamada daha önce gerçekleştirilen toprak tabakasındaki azaltımın x, xy ve y ekseninde oransal azaltımı karşılaştırılmıştır (Şekil 3.35). Karşılaştırma yapılırken toprak kısmına uygulanan oransal azaltımların antenin S_{11} seviyesini -10 dB sınır değerine ulaşmamasına özen gösterilmiştir. Daha önce elde edilen RKA analizlerine göre gelen dalganın elektriksel alanın x yönünde olması durumunda, toprak tabakası x ekseninde oransal azaltıldığında 5 GHz'de RKA değerinin diğer eksenlerdeki

oransal azaltımdan daha yüksek değerde yaklaşık 35 dB değere düştüğü görülmüştür (Şekil 3.36).

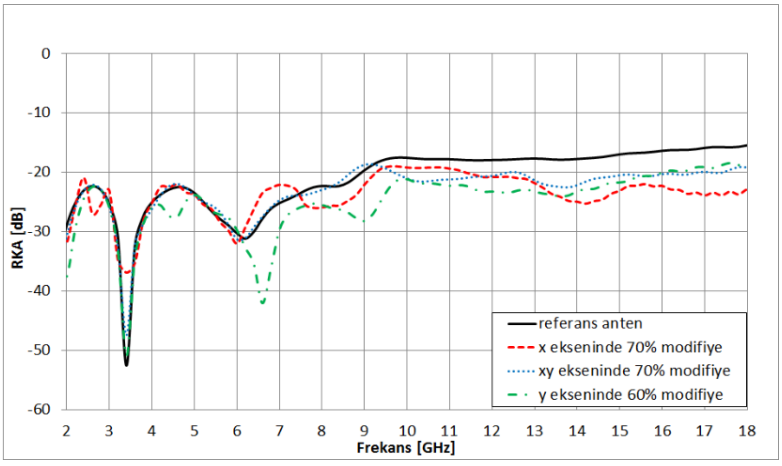


(a) (b) (c)

Şekil 3.35. Ok şeklindeki antenin yama kısmında uygulanan azaltım (a) x ekseninde gerçekleştirilen azaltım, (b) x ve y ekseninde gerçekleştirilen azaltım, (c) y ekseninde gerçekleştirilen azaltım



(a)

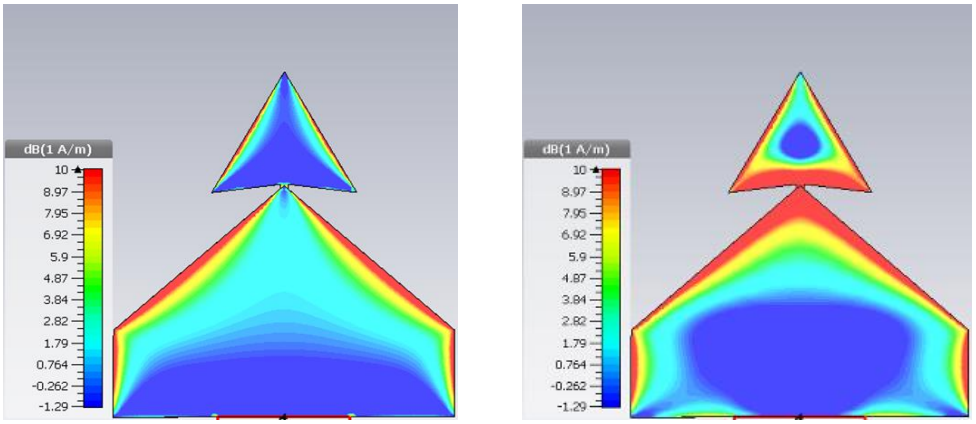


(b)

Şekil 3.36. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasında x, xy ve y ekseninde uygulanan oransal değişimlerin RKA azaltımına etkisi

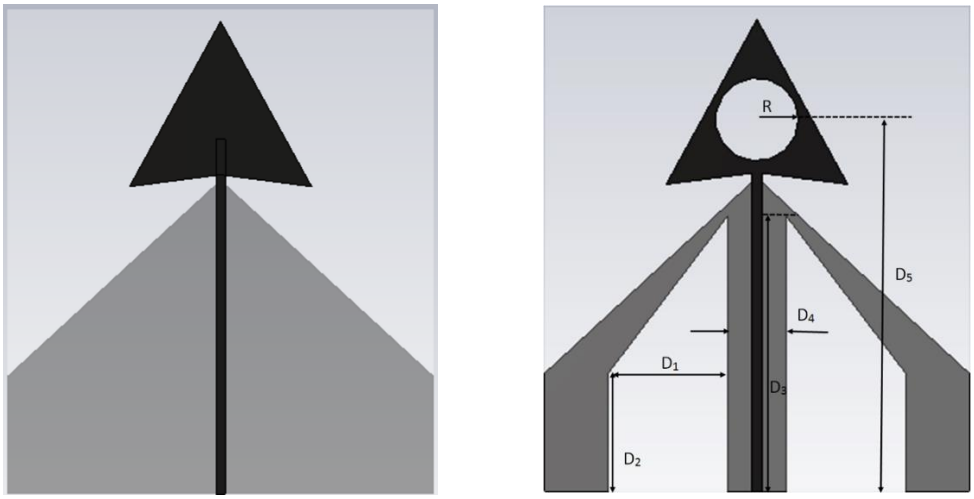
Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda ise, toprak kısmının y ekseninde oransal azaltımı 6-13 GHz aralığında RKA değerini diğer azaltımlara göre ortalama 5 dB daha fazla düşmesini sağlarken, x ekseninde azaltım diğer değişimlere göre 13 GHz değerinden yüksek frekanslarda ortalama 5 dB azaltım sağlamıştır. Bu durumda antenin nihai değişiminde x ekseninde oransal azaltım seçilecektir.

Son aşamada antendeki akım dağılımları göz önüne alınarak (Şekil 3.37) antenin toprak tabakasında x ekseninde %70 oranında bir eksiltme ile beraber yama kısmından da daire şeklinde geometri çıkarılmıştır (Şekil 3.38).



(a) (b)

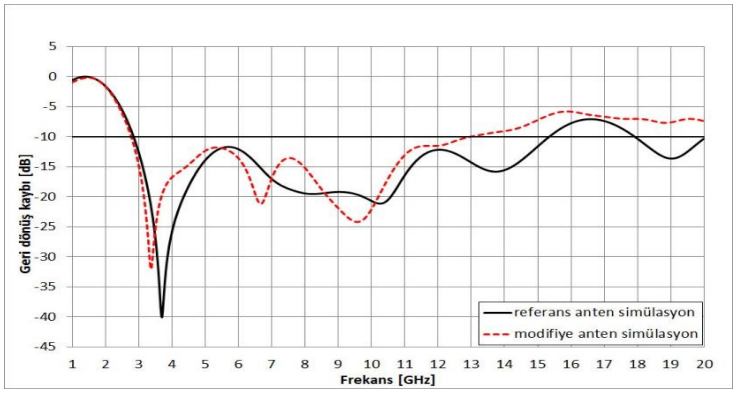
Şekil 3.37. Referans antenin (a) 3,6 GHz ve (b) 10 GHz de yüzey akımlarının dağılımı



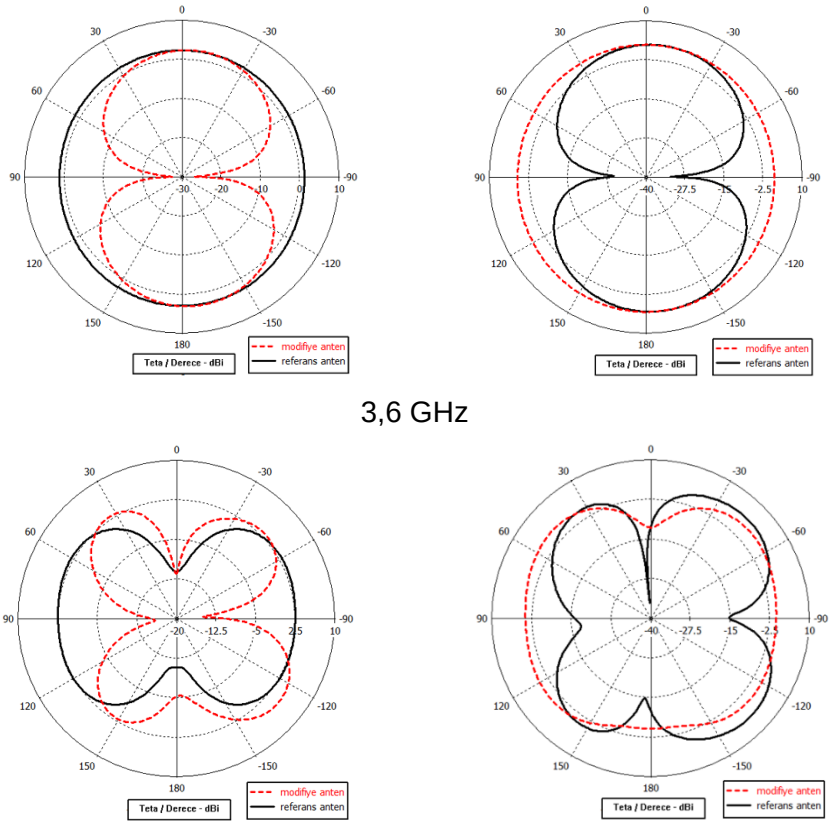
(a) (b)

Şekil 3.38. Ok şeklindeki antenin yama kısmında ve toprak kısmında uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) Yamada r=3,5 mm yarıçaplı daire ile toprakta x ekseninde %70 oranda uygulanan eksiltmeler

Antenin S_{11} ise antenin ışıma performansı 3-15 GHz aralığında iken bunun 3-13 GHz aralığına düştüğü görülmüştür (Şekil 3.39). Elde edilen ışıma diyagramlarında düşük ve yüksek frekanslarda xz düzleminde yönlülük artarken yz düzleminde yönlülük azalmıştır (Şekil 3.40).



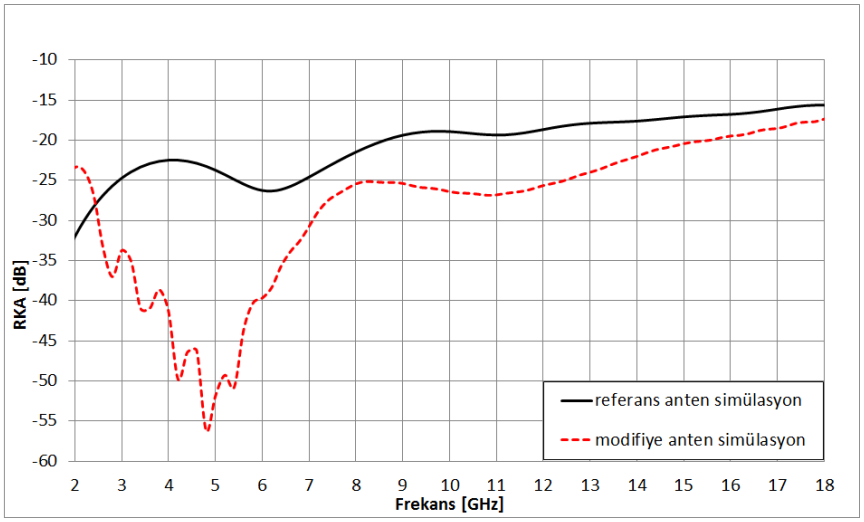
Şekil 3.39. Antenin toprak ve yama kısmına uygulanan değişim ile elde edilen S_{11} karşılaştırması



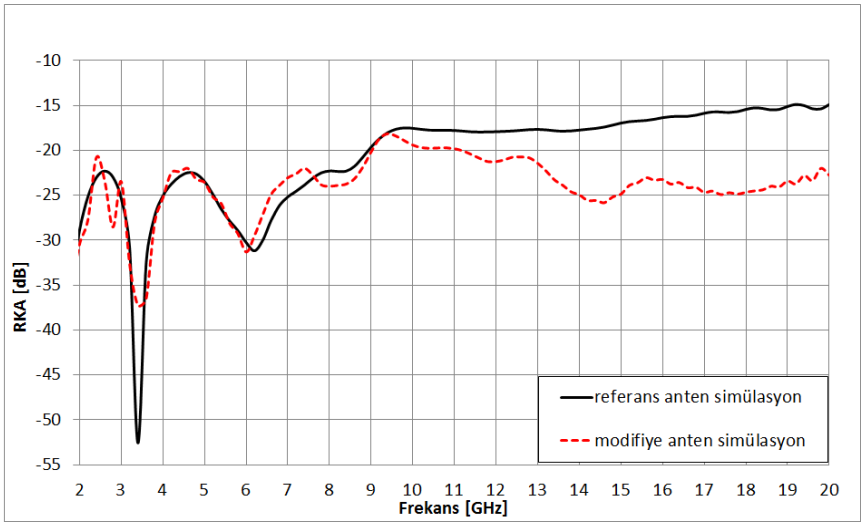
(a) (b)

Şekil 3.40. Antenin toprak ve yama kısmına uygulanan değişim ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Diğer taraftan antenin RKA analizinde gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda 2,5-20 GHz aralığında düşen RKA değeri 5 GHz de 30 dB kadar azalmıştır (Şekil 3.41).



(a)

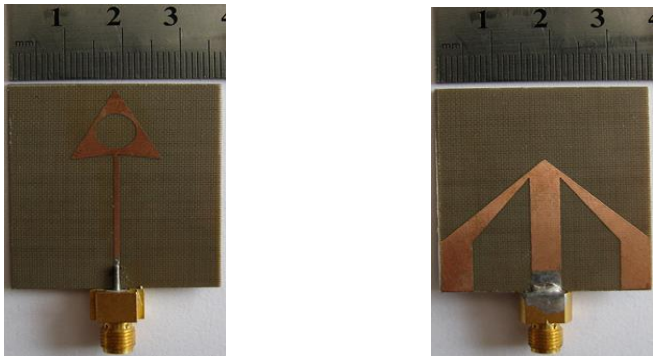


(b)

Şekil 3.41. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda uygulanan değişimlerin RKA azaltımına etkisi

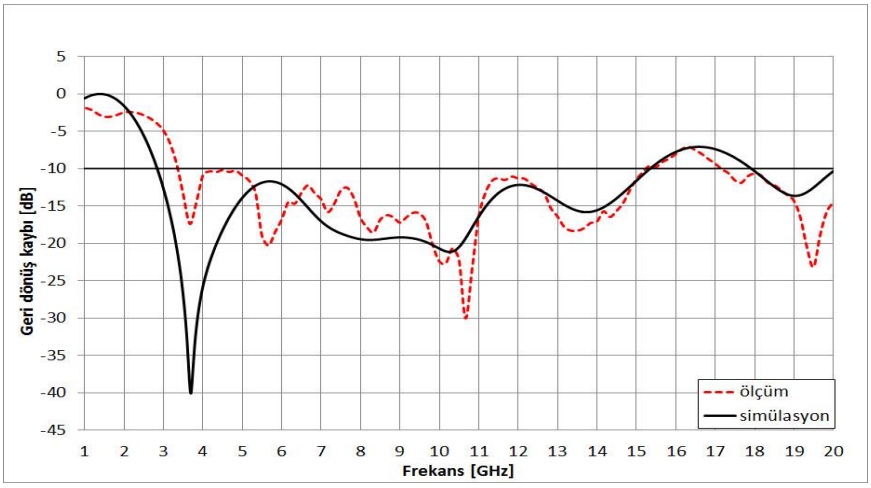
Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda da 10 GHz den yüksek frekanslarda RKA düşürülmüş ve bu azalma yüksek frekanslarda 10 dB değere kadar çıkmaktadır. Tasarlanan modifiye anten üretimi yapılarak (Şekil3.42) S_{11} ve RKA analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.43'te referans ve modifiye antenlerin geri dönüş kayıplarının frekansa göre değişiminin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının

karşılaştırması verilmiştir. Şekil 3.44'te ise modifiye antenin RKA ölçüm ve simülasyon sonucu yer almaktadır. Ölçüm ve simülasyon sonuçları uyum içindedir.

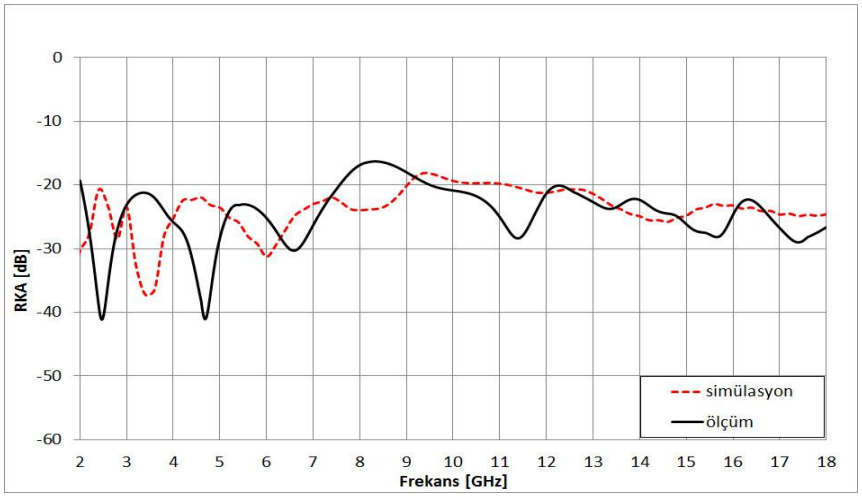


(a) (b)

Şekil 3.42. Üretimi yapılan modifiye antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri



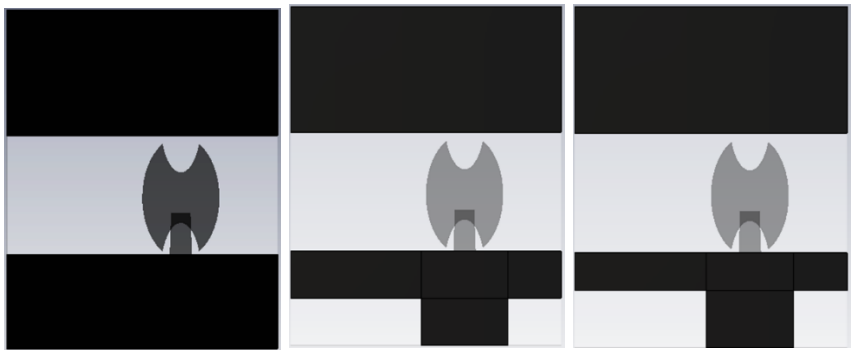
Şekil 3.43. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları



Şekil 3.44. Modifiye anten için y polarizasyon RKA ölçüm ve simülasyon sonucu

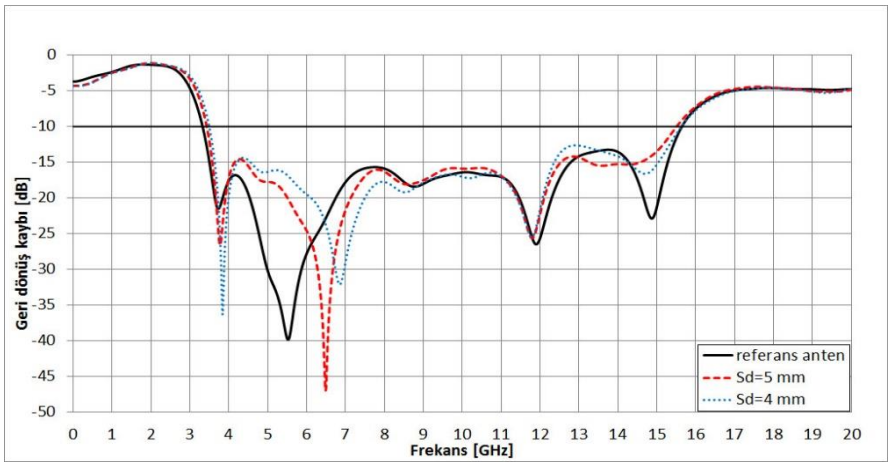
3.3. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Balta Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten

Antenin ilk RKA azaltımı analizleri için öncelikle toprak kısmı y ekseninde %50 ve %60 oranda azaltılmıştır (Şekil 3.45.). Diğer taraftan antenin besleme hattı hizasında toprak kısmında 8 mm genişliğinde iletim yolu ışıma için bırakılmıştır. Bu azaltım sonucunda S_{11} geri dönüş kaybı simüle edilmiştir (Şekil 3.46).



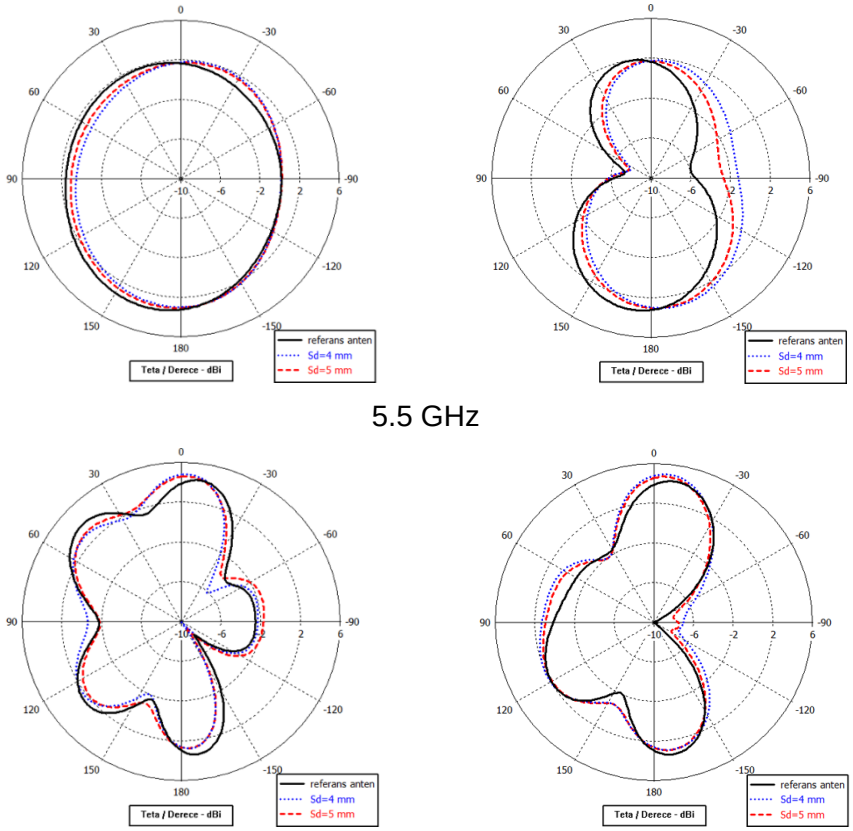
(a) (b) (c)

Şekil 3.45. Çift taraflı balta şeklindeki antenin toprak kısmında x ekseninde uygulanan azaltım (a) orijinal anten, (b) y ekseninde %50 oranda eksiltme, (c) y ekseninde %60 oranda eksiltme



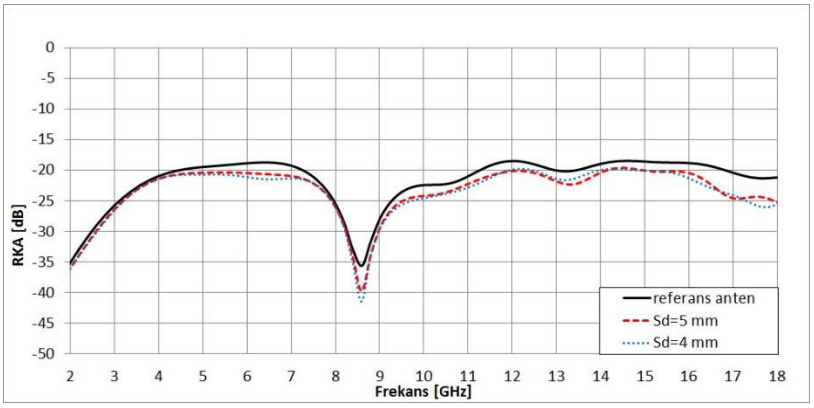
Şekil 3.46. Toprak hattında x ekseninde uygulanan azaltımla elde edilen S_{11} karşılaştırması

Uygulanan geometrik değişimde antenin orjinalinde 5,5 GHz de rezonansa girdiği ve toprak tabakasındaki her eksiltmede rezonans frekansının 6,5 GHz ve 7 GHz e kaydığı görülmüştür. Gerçekleştirilen azaltım sonucunda 4,5 ve 13 GHz frekansında ışıma -15 dB değerinin üzerine çıkmış fakat diğer bütün frekans aralığında ışıma performansını korumuştur. Bunun yanında 5,5 ve 12 GHz frekansında antenin ışıma diyagramları simüle edilmiş ve antenin ışıma karakteristiğinin korunduğu görülmüştür (Şekil 3.47).

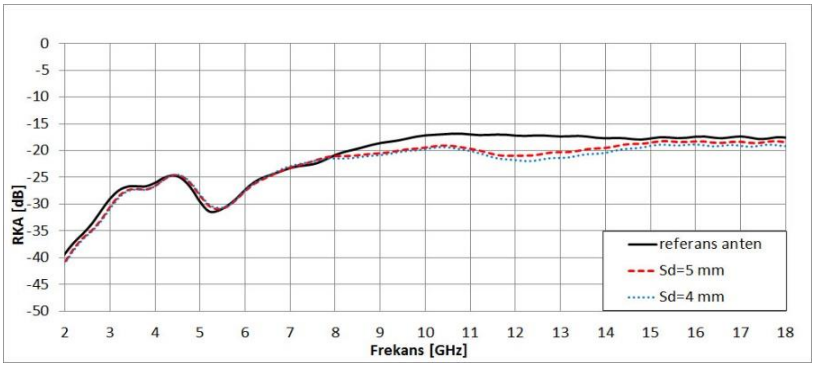


Şekil 3.47. Toprak hattında y ekseninde uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da görülen RKA analizlerinde ise gelen dalganın elektriksel alanının her iki yönünde olması durumunda da 8 GHz ve üzerinde ortalama 2 dB değerinde RKA azalması görülmüştür. Düşük frekanslarda ise RKA değerinin değişmediği saptanmıştır.



Şekil 3.48. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi



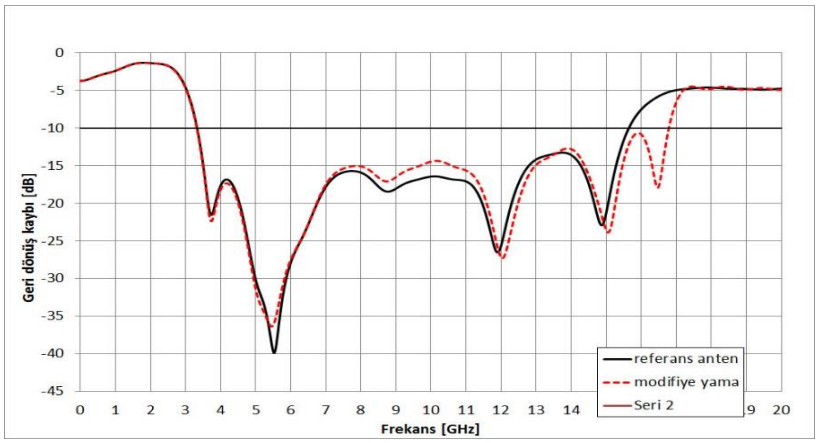
Şekil 3.49. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak hattında y ekseninde uygulanan eksiltmenin RKA azaltımına etkisi

Antenin RKA azaltımının ikinci aşamasında balta geometrisindeki yama kısmından r_x=1,1 mm ve r_y=3 mm yarıçapında iki ayrı elips geometri çıkarılmıştır (Şekil 3.50). Uygulanan geometrik değişimin S_{11} geri dönüş kaybına etkisi Şekil 3.51'de görülmektedir.



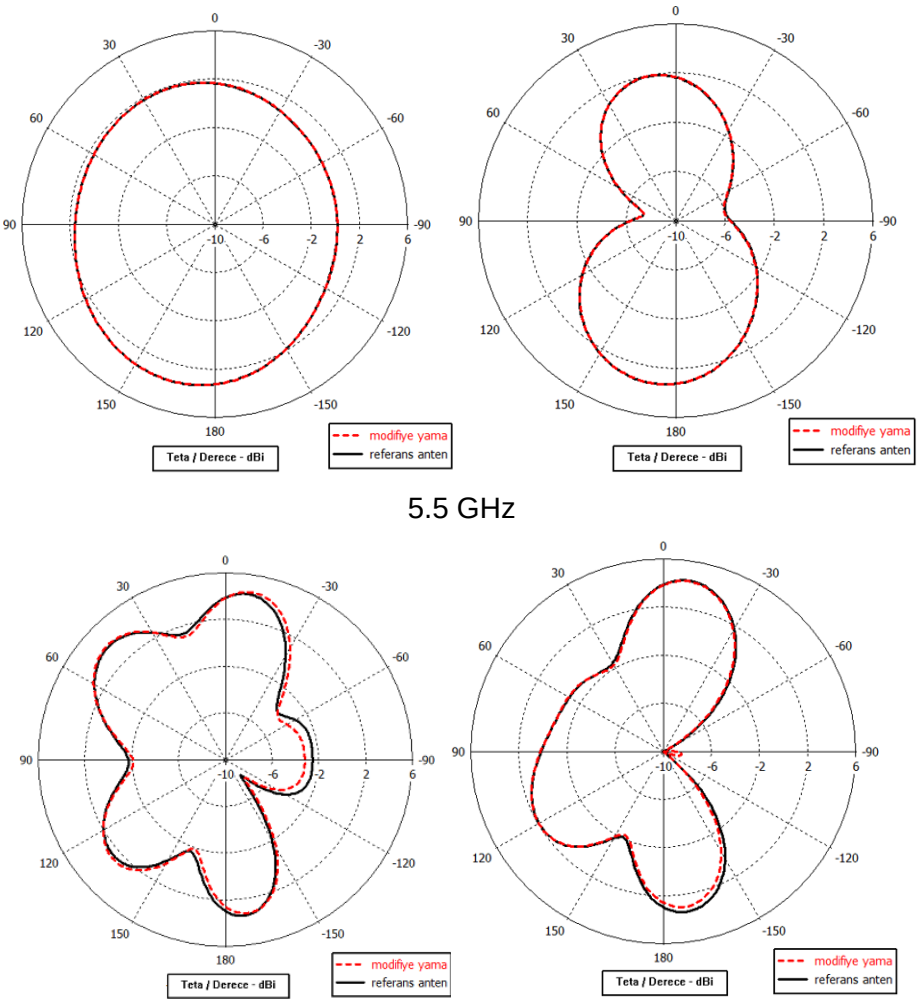
(a) (b)

Şekil 3.50. Çift taraflı balta şeklindeki antenin yama kısmından uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) yama kısmından çıkarılan çift taraflı elips geometri



Şekil 3.51. Yama kısmından çıkarılan çift elips geometrinin S_{11}'e etkisi

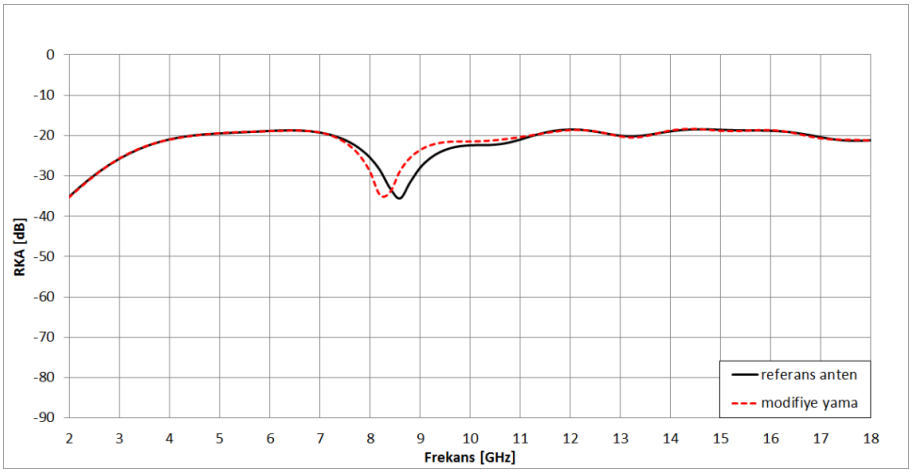
Elde edilen simülasyon sonucuna göre yama kısmındaki değişiklik antenin ışıma performansını değiştirmemektedir. Bunun yanında antenin ışıma diyagramları da simüle edilmiş ve antenin ışıma karakteristiğinin hemen hiç değişmediği görülmüştür (Şekil 3.52).



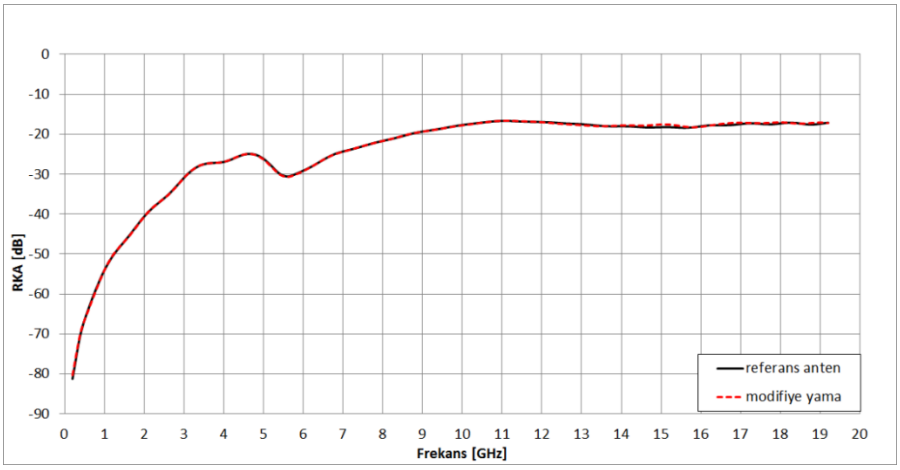
(a) (b)

Şekil 3.52. Antenin yama kısmında uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Daha sonrasında yapılan RKA analizlerine göre antenin RKA değerlerinin de hemen hiç değişmediği, ancak gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün x ekseni doğrultusunda olması durumunda 8,5 GHz de kayma gözlemlenmiştir (Şekil 3.53). daha önceki örneklerde de belirlendiği gibi antenin yama kısmında yapılacak geometrik değişim anten RKA değerine toprak tabakaları kadar etkilemediği tekrardan görülmüştür.



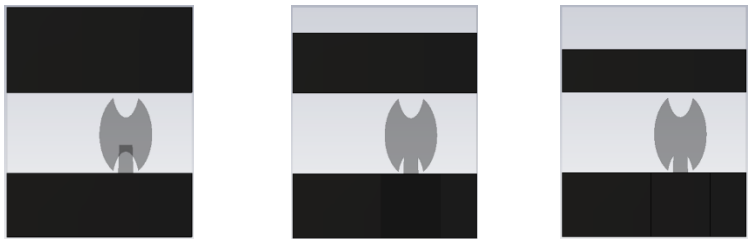
(a)



(b)

Şekil 3.53. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan çift elips geometrinin RKA azaltımına etkisi

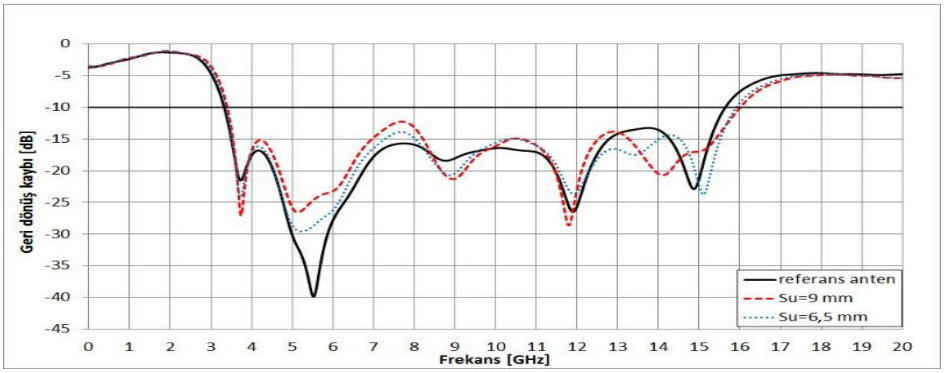
Antenin RKA azaltımının diğer bir aşamasında üst toprak katmanı y ekseni boyunca %30 ve %50 oranda kısaltılmıştır (Şekil 3.54.).



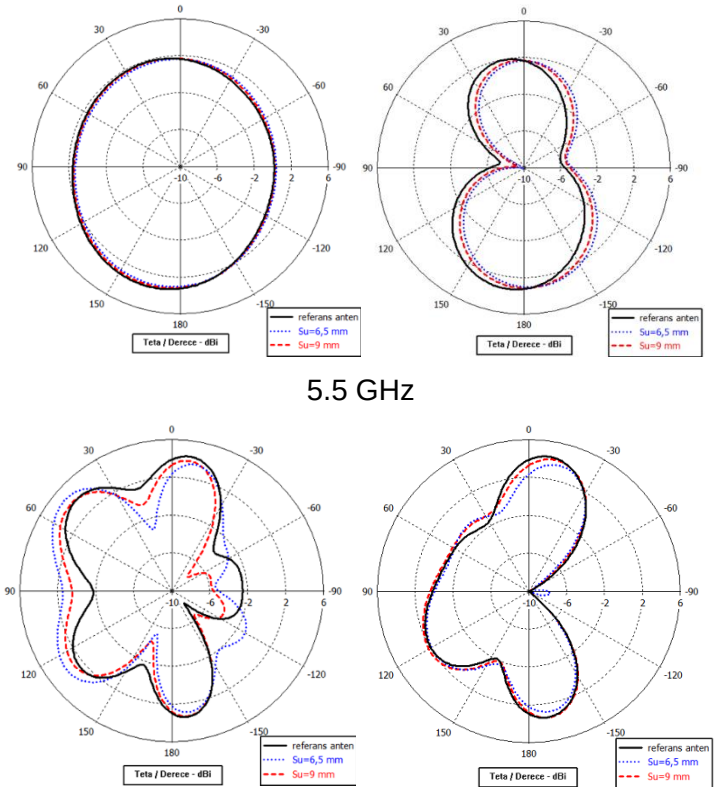
(a) (b) (c)

Şekil 3.54. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) orjinal anten, (b) üst toprak katmanından y ekseni boyunca %30 oransal eksiltme (c) üst toprak katmanında y ekseni boyunca %50 oransal eksiltme

Uygulanan geometrik değişim sonucunda elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı grafiğine göre 7-8 GHz aralığındaki ışıma performansının -10 dB seviyesine yaklaştığı görülmektedir (Şekil 3.55). Bu olumsuzluk, RKA azaltımı için üst katmanda y ekseninde oransal bir değişikliğin tercih edilmesinde negatif bir rol oynayacaktır. Simüle edilen antenin ışıma diyagramlarına göre y ekseninde değişim antenin ışıma karakteristiğini değiştirmemektedir (Şekil 3.56).



Şekil 3.55. Üst toprak katmanında yapılan değişikliklerin S_{11}'e etkisi



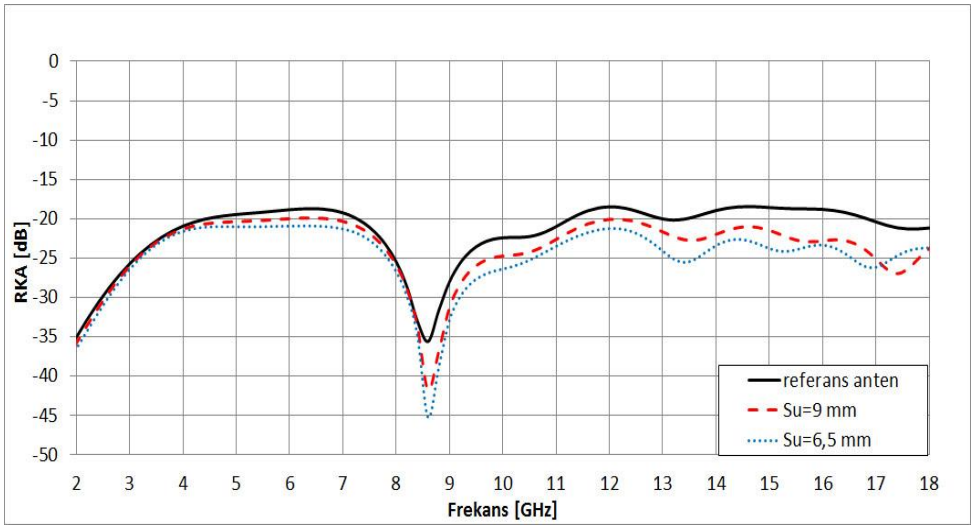
5.5 GHz

12 GHz

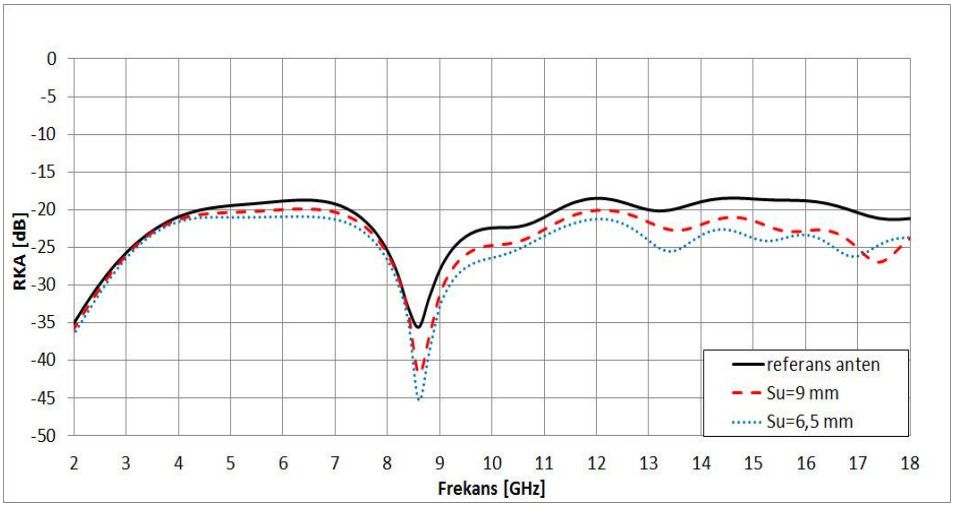
(a) (b)

Şekil 3.56. Antenin yama kısmında uygulanan azaltım ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Uygulanan değişimlerden sonra antenin RKA analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.57). Elde edilen analiz sonuçlarına göre gelen dalganın elektriksel alanı x eksen yönündeyken, 8 GHz den yüksek frekanslarda her %30 ve %50 oransal küçültmede antenin RKA değeri yaklaşık 2 ve 4 dB azalmıştır. Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğü y eksenindeyken ise 5-12 GHz aralığında yine 2 ve 4 dB değerinde bir azalma görülmüştür.



(a)

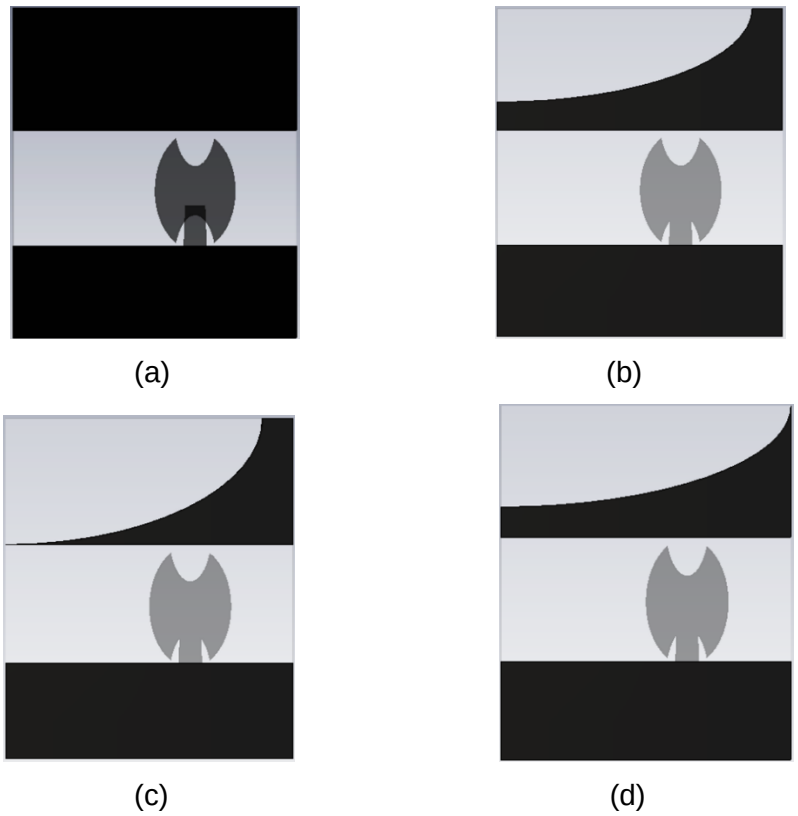


(b)

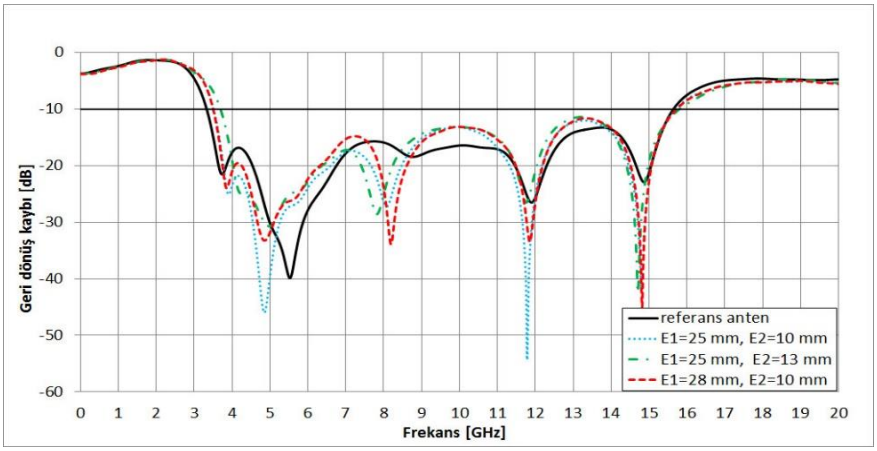
Şekil 3.57. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanının y ekseninde kısaltmanın RKA azaltımına etkisi

Antenin RKA azaltımında bir sonraki aşamada üst toprak katmanından merkez noktası antenin köşesi alınarak, x ve y eksenindeki yarıçap ölçüleri farklı olan elips geometri çıkarılmıştır (Şekil 3.58). Farklı yarıçap ölçüleri uygulanarak S_{11} geri dönüş kaybı simüle edilmiştir (Şekil 3.59). Elde edilen sonuca göre 9-11 GHz aralığında

antenin performansı olumsuz etkilenmiş ancak x=25 ve y=10 mm yarıçapındaki elips geometrinin, diğer uygulanan yarıçap ölçülerine göre ışıma performansını minimal düzeyde etkilediği görülmüştür.

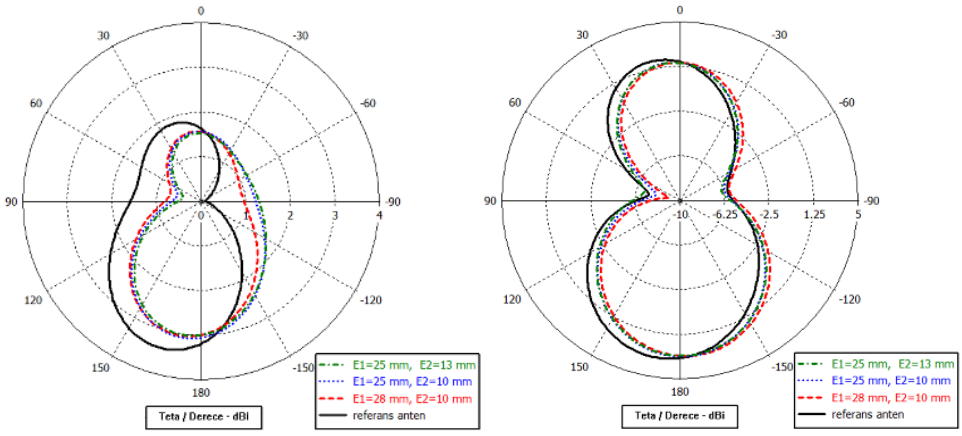


Şekil 3.58. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) orijinal anten, (b) üst toprak katmanından antenin x=25 ve y=10 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması, (c) üst toprak katmanından antenin x=25 ve y=13 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması (d), üst toprak katmanından antenin x=28 ve y=10 mm çapındaki eliptik geometrinin çıkarılması

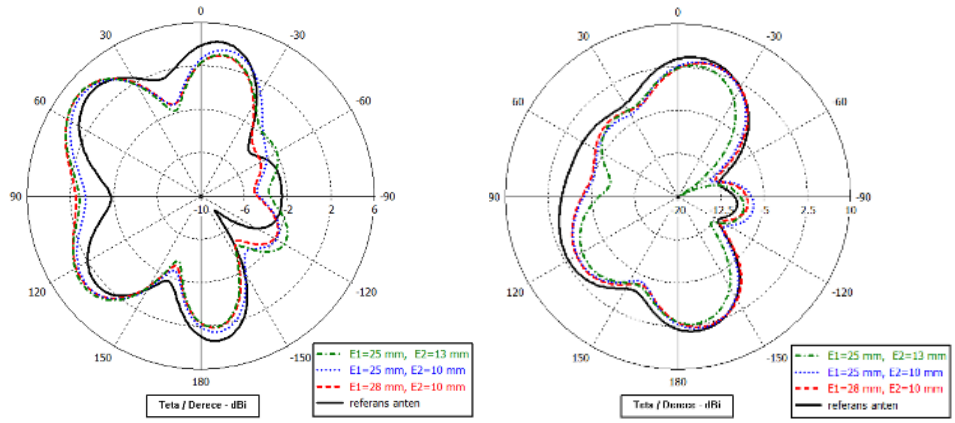


Şekil 3.59. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan farklı yarıçap ölçülerindeki elips geometrilerin S_{11}'e etkisi

Şekil 3.60'ta görülen antenin ışıma karakteristiğine göre ise antenin üst toprak katmanından elips şekline geometrinin çıkarılması antenin ışıma karakteristiğini çok fazla değiştirmemektedir.



5.5 GHz

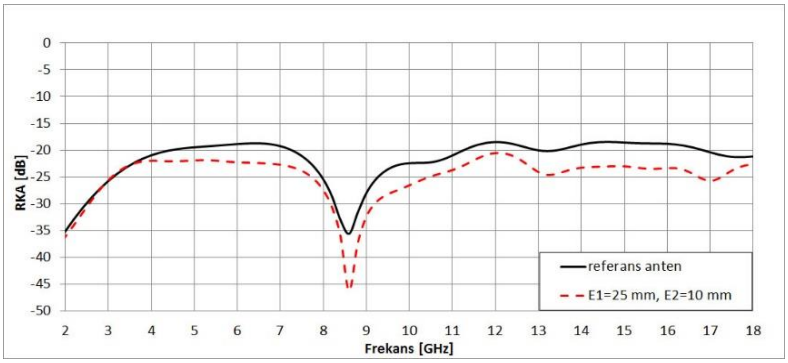


12 GHz

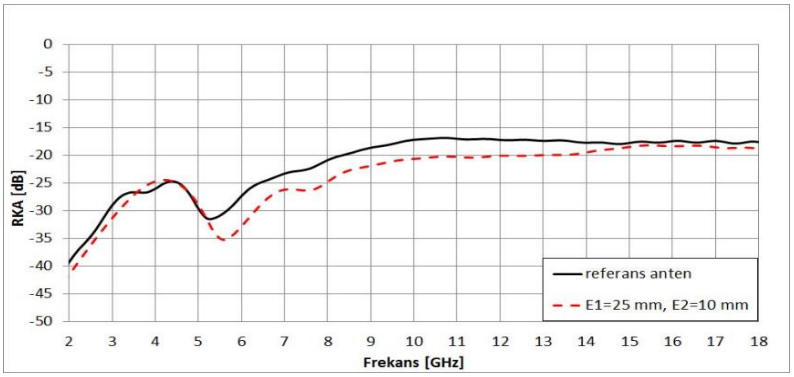
(a) (b)

Şekil 3.60. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan elips geometri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Farklı ölçülerde alınan elips geometrilerin içerisinde x=25 ve y=10 mm çapındaki elips S_{11} performansını diğer ölçülere göre minimal düzeyde etkilediğinden, 5 GHz ve 12 GHz rezonans frekanslarında rezonans frekanslarında antenin ışıma performansını daha arttırdığından RKA analizi için referans anten modeliyle karşılaştırılmıştır (Şekil 3.61). RKA analizlerinde, gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğü x ekseni yönünde iken 4-19 GHz frekans aralığında antenin RKA değeri ortalama 5 dB azalmaktadır. Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğü y yönünde iken ise 5-14 GHz frekans aralığında ortalama 5 dB azalmıştır.



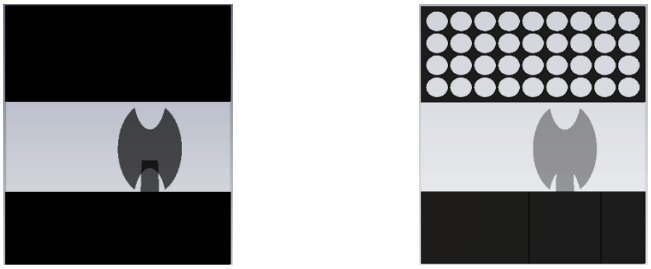
(a)



(b)

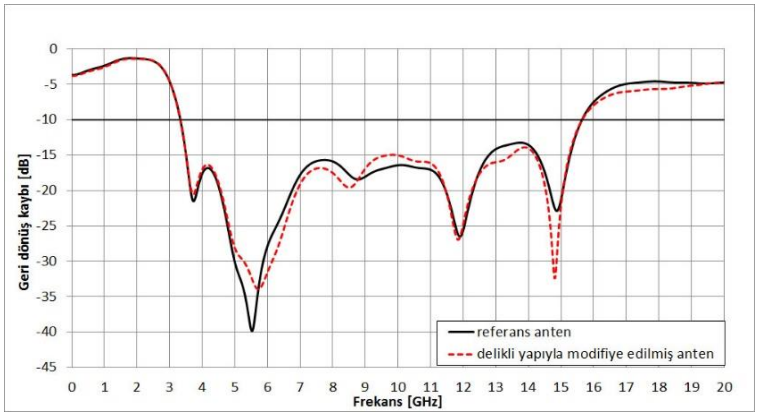
Şekil 3.61. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanından x=25 ve y=10 mm yarıçapında elips elips geometrinin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi

Balta geometrisindeki antenin RKA azaltımı için uygulanan bir diğer değişim üst toprak katmanından 1,4 mm yarıçapında sıralı yerleştirilmiş 36 ayrı dairenin çıkarılması ile elde edilen geometrik yapıdır (Şekil 3.62). Elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı analizi ise antenin ışıma performansını oldukça kararlı bir şekilde koruduğu görülmüştür (Şekil 3.63).



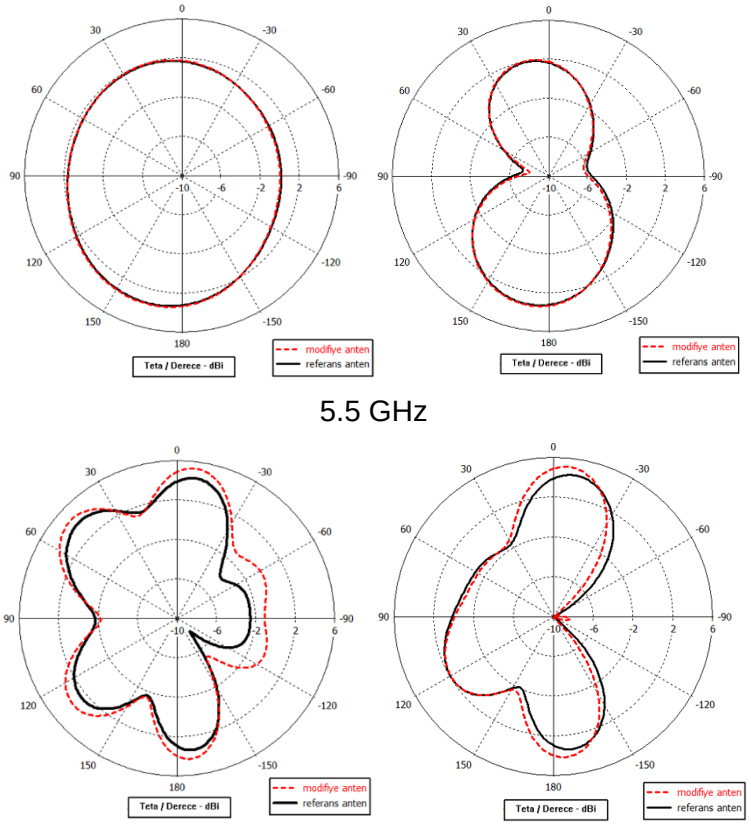
(a) (b)

Şekil 3.62. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanında uygulanan değişim (a) referans anten, (b) r=1,4 mm yarıçap büyüklüğünde olan dairelerin üst toprak katmanından çıkarılması



Şekil 3.63. Üst toprak katmanından çıkarılan delikli yapının antenin S_{11}'e etkisi

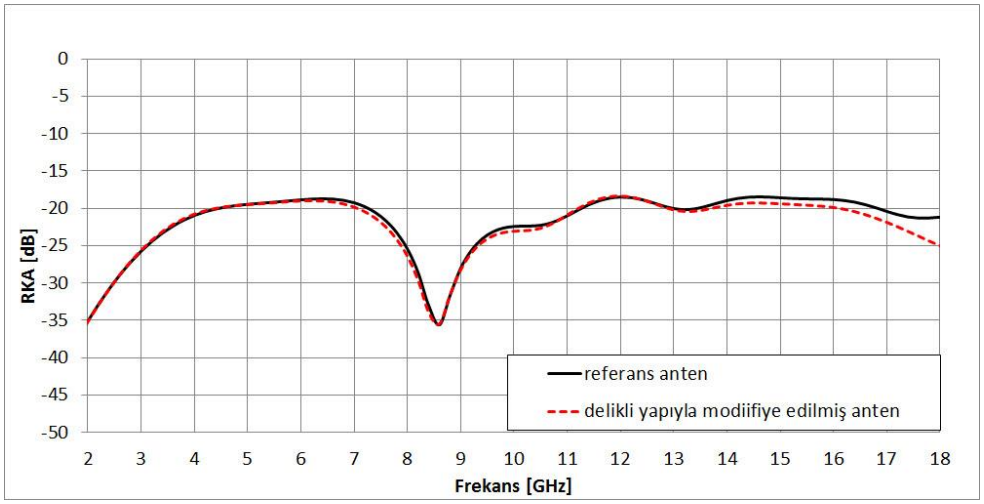
Antenin ışıma diyagramlarına bakıldığında ise ışıma karakteristiğin sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.64).



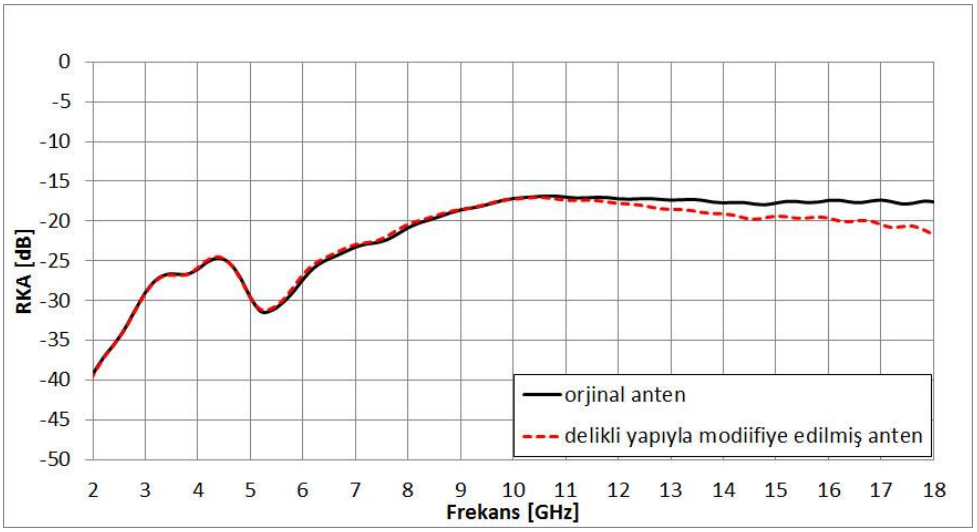
(a) (b)

Şekil 3.64. Antenin üst toprak katmanından çıkarılan delikli yapı ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Diğer taraftan antenin ışıma performansı ve karakteristiğinin değişmemesine karşı simüle edilen RKA analizlerinde 15 GHz den yüksek frekanslarda antenin RKA değerinin sadece birkaç dB düştüğü görülmüştür (Şekil 3.65).



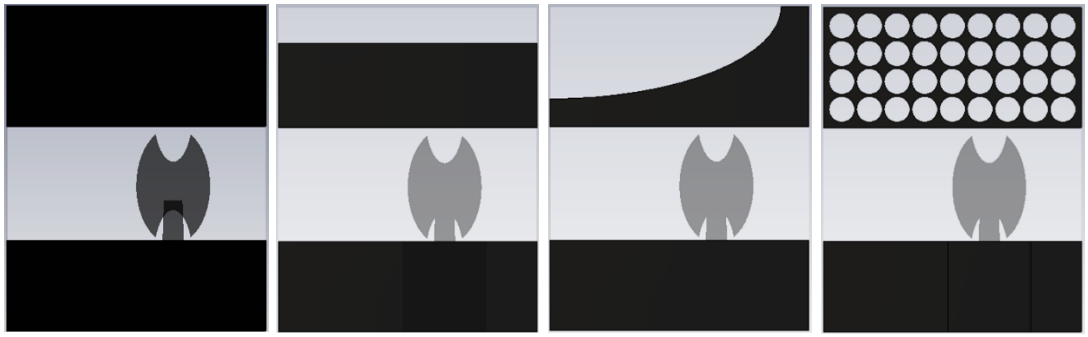
(a)



(b)

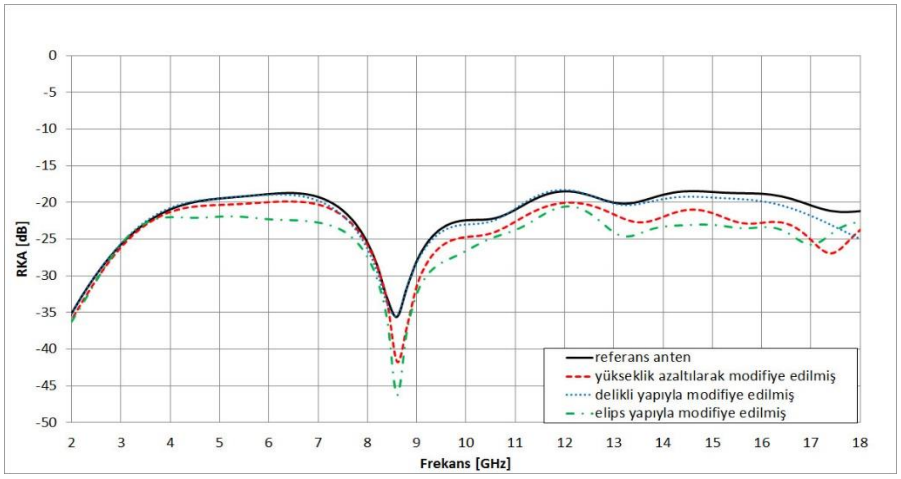
Şekil 3.65. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanından 1,4 mm yarıçapında dairelerin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi

Diğer bir aşamada antenin üst katmanına uygulanan farklı geometrik yapıların içerisinde S_{11} ışıma performansını düşürmeyen yapıların birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.66). Daha önce kullanılan yapılardan üst katmanı y ekseninde %30 kısaltma, x=25 mm ve y=10 mm yarıçaplı elips geometrinin çıkarma ve 1,4 mm yarıçapında sıralı yerleştirilmiş 36 ayrı daireyi çıkarma uygulamaları RKA analizlerini karşılaştırmak için aynı grafikte birleştirilmiştir (Şekil 3.67).

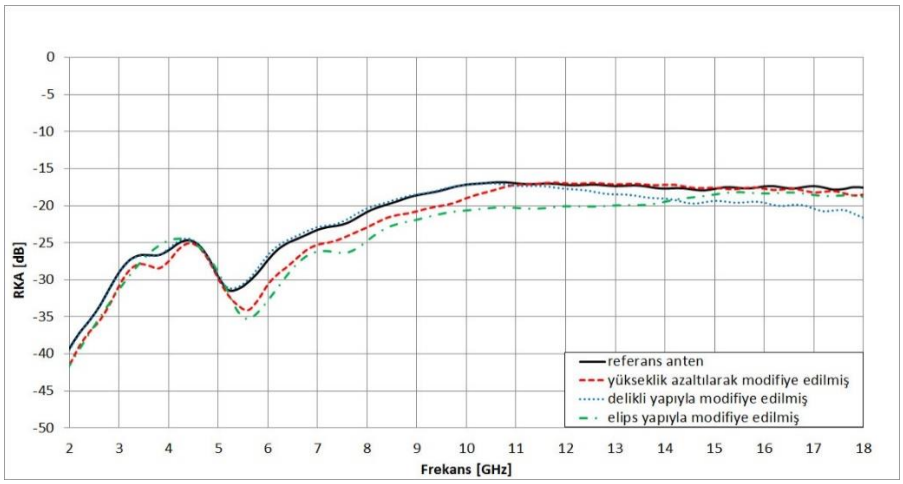


(a) (b) (c) (d)

Şekil 3.66. Çift taraflı balta şeklindeki antenin üst toprak katmanına uygulanan değişim örneklerinin karşılaştırılması (a) referans anten, (b) üst katmanın y ekseninde %30 oranda kısaltılması, (c) üst katmandan merkez noktası anten köşesi olan x=25 y=10 mm yarıçap ölçülerinde elips geometri çıkarılması, (d) r=1,4 mm yarıçap büyüklüğünde olan dairelerin üst toprak katmanından çıkarılması



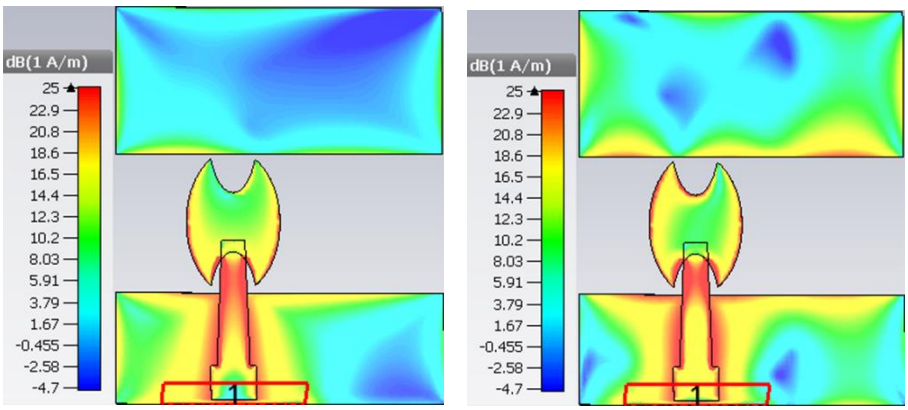
(a)



(b)

Şekil 3.67. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda üst toprak katmanında yapılan farklı değişimlerin anten RKA azaltımına etkisi

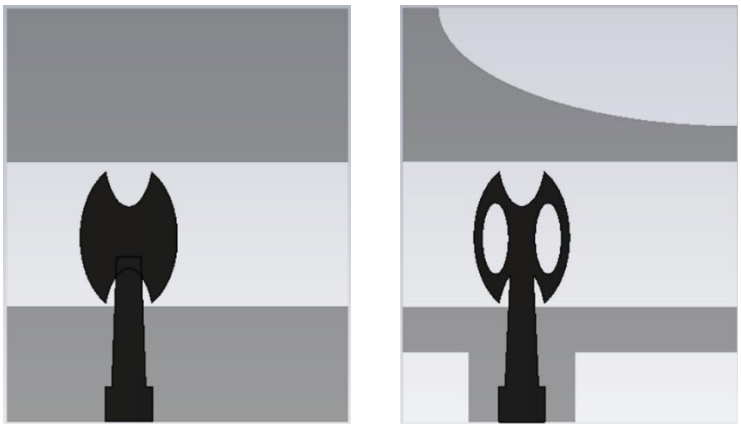
Elde edilen RKA karşılaştırmalarına göre antenin RKA azaltımı en fazla üst katmandan x=25 y=10 mm yarıçapındaki elips geometrinin çıkarılması sağlamıştır. Şekil 3.68'de yama ve toprak tabakasından yapılan çıkarımlarda göz önüne alınan akım dağılımları verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.68. Referans antenin (a) 5,5 GHz (b) 12 GHz frekansında yüzey akım dağılımları

Balta geometrisindeki antenin RKA azaltımı için son aşamada daha önce elde edilen geometrik değişimler birleştirilerek antenin bütün yama ve toprak katmanlarındaki yapısal değişiklikler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.69).

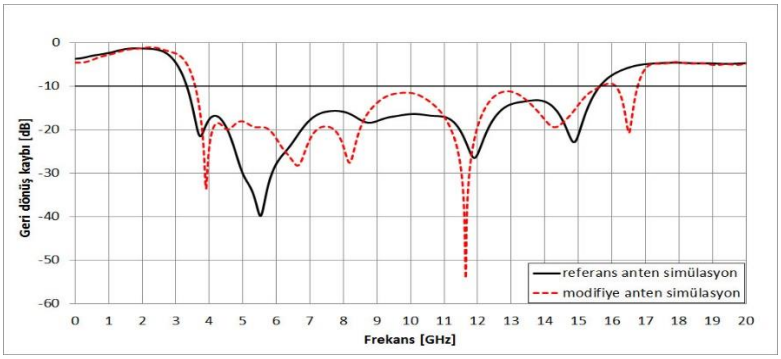


(a) (b)

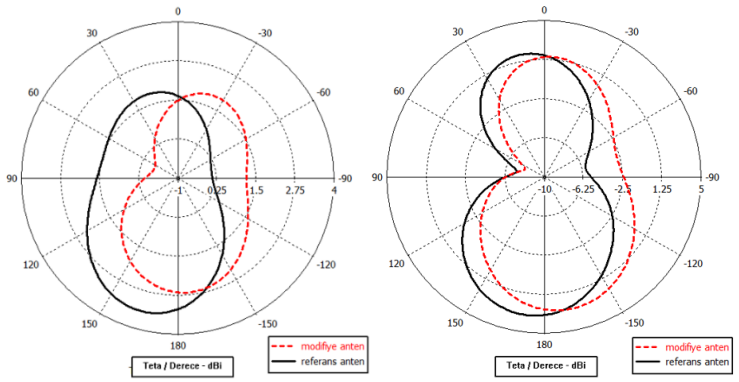
Şekil 3.69. Çift taraflı balta şeklindeki antenin RKA azaltımı için uygulanan yapısal değişim (a) orjinal anten, (b) Antenin üst toprak, alt toprak ve yama kısmındaki değişimlerin birleştirilmesi

Öncelikle antenin besleme hattı boyunca 8 mm eninde dalga yayılımını sağlaması için toprak tabaka bırakılmıştır. Geriye kalan toprak tabaka y ekseni boyunca %60 oranda kısaltılmıştır. Üst toprakta ise merkezi anten köşesi olacak biçimde x=25 y=10 mm

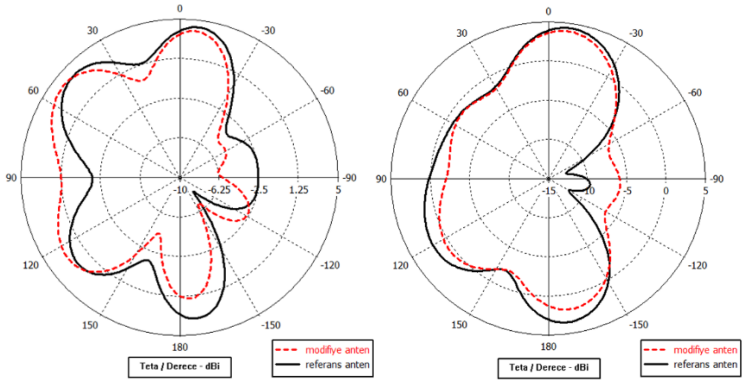
yarıçap ölçülerinde elips geometri çıkarılmıştır. İlave olarak antenin yama kısmından x=1,1 mm ve y=3 mm yarıçapında iki ayrı elips geometri çıkarılmıştır. Tasarlanan yeni geometrinin S_{11} geri dönüş kaybı simüle edilmiştir (Şekil 3.70). 9-11 GHz ve 12-13,5 GHz frekans aralıklarında antenin geri dönüş kaybı -12 dB seviyesine çıkarken diğer frekans aralıklarında ışıma performansı korunmuştur. Simüle edilen ışıma diyagramlarında da antenin karakteristiğini koruduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.71).



Şekil 3.70. Çift taraflı balta geometrisine sahip antende gerçekleştirilen yapısal değişikliğin S_{11}'e etkisi



5.5 GHz

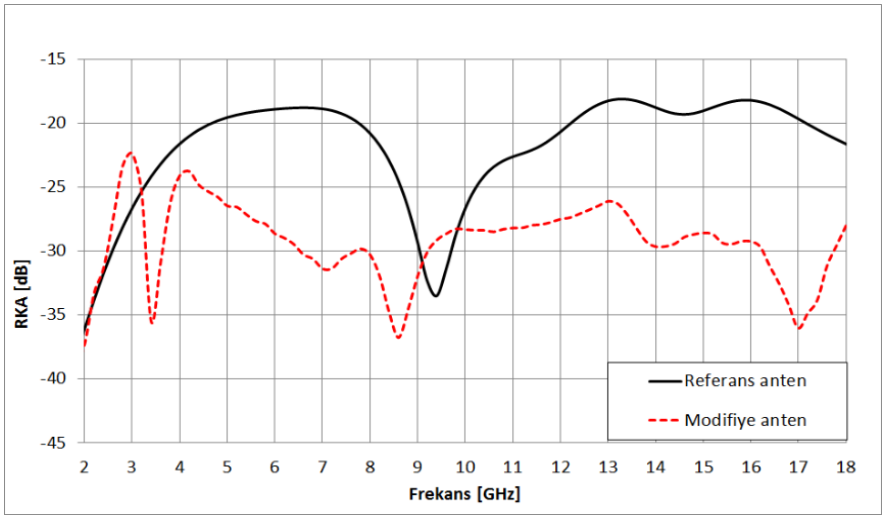


12 GHz

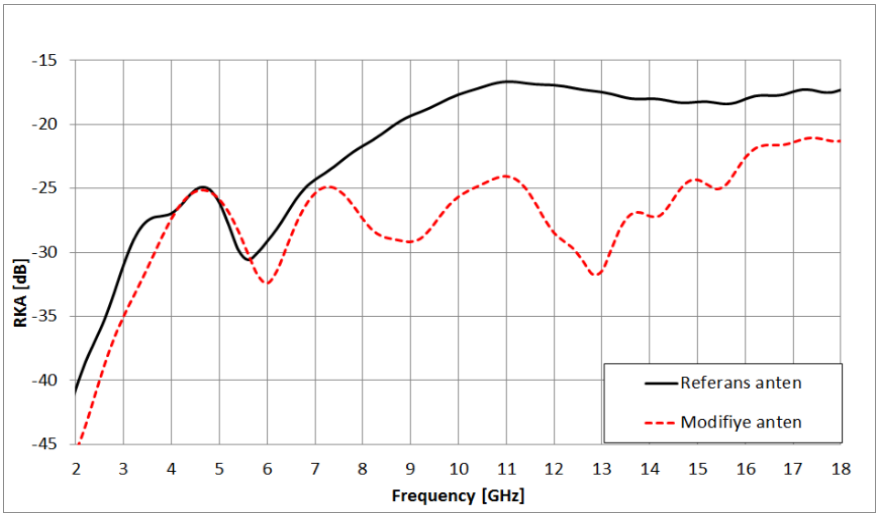
(a) (b)

Şekil 3.71. Referans anten ile yapısal değiştirilmiş antenin (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Elde edilen yeni anten geometrisinin RKA analizleri gerçekleştirilerek RKA azaltımları gözlemlenmiştir (Şekil 3.72). Elde edilen sonuçlara göre gelen dalganın elektriksel alanı büyüklüğü x ekseni yönündeyken antenin RKA değeri 3-18 GHz aralığında azalmıştır. Bu azalım 17 GHz de 15 dB değere çıkmakta olup bütün frekans aralığında yaklaşık 10 dB değerinde RKA azaltımı sağlanmıştır. 9-10 GHz aralığında ise antenin RKA değerinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün y ekseninde olması durumunda ise 3-18 GHz aralığında yine RKA azaltımı sağlanmıştır. 4-5,5 GHz frekans aralığında RKA azaltımı gerçekleşmeyip diğer geriye kalan bütün frekanslarda RKA değeri düşmüştür. 13 GHz de bu azaltım 15 dB değere kadar çıkmaktadır.



(a)



(b)

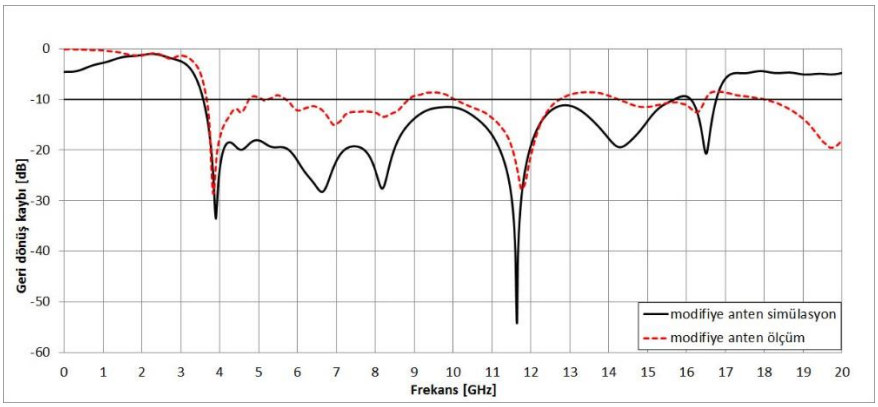
Şekil 3.72. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda son aşamada elde edilen modifiye anten ve orijinal anten RKA karşılaştırması

Şekil 3.73'te üretimi gerçekleştirilen modifiye antenin fotoğrafları yer almaktadır. Simülasyon sonuçlarının doğruluğunun test edilmesi amacıyla geri dönüş kaybı (Şekil 3.74), ve radar kesit alanları (Şekil 3.75) ölçülerek simülasyonlarla karşılaştırılmıştır.

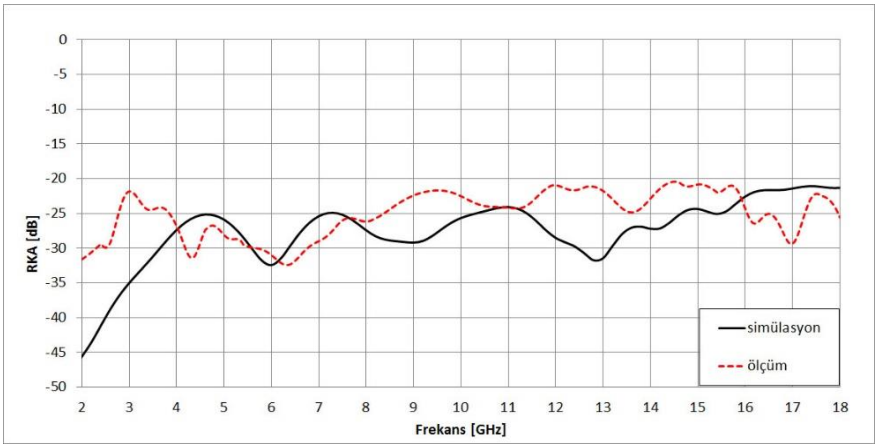


(a) (b)

Şekil 3.73. Üretimi yapılan modifiye antenin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri

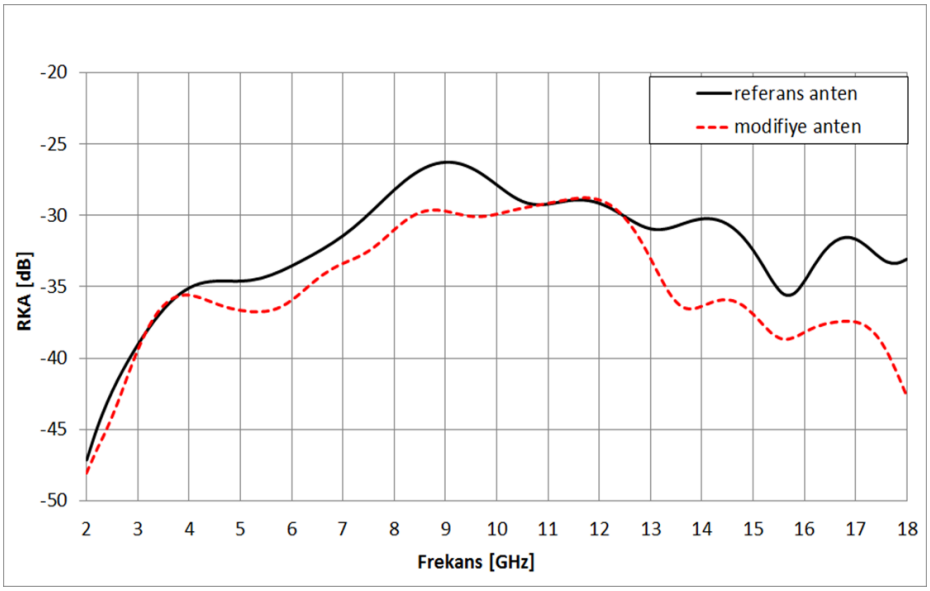


Şekil 3.74. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

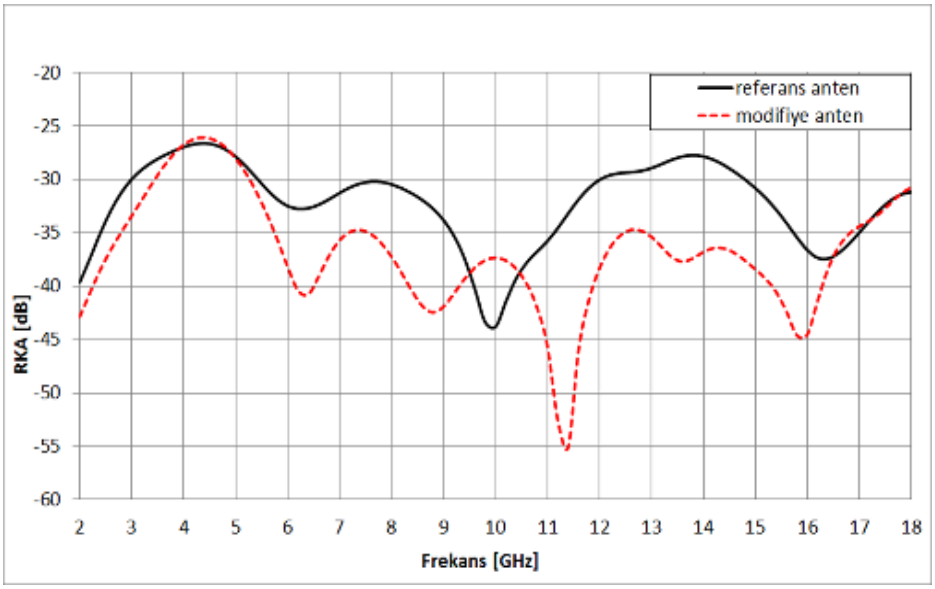


Şekil 3.75. Modifiye antenin RKA ölçüm ve simülasyon sonuçları

Daha önce gerçekleştirilen RKA analizlerine ek olarak gelen dalganın Θ=60^o, φ=180^o ve Θ=15^o, φ=0^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x ve y polarizasyonu için RKA simülasyon sonuçları Şekil 3.76 ve Şekil 3.77'de verilmektedir. Elde edilen modifiye antenin yalnızda dik geliş halinde değil, aynı zamanda dalganın eğik geliş durumunda da RKA azalımınım devam ettiği görülmektedir.

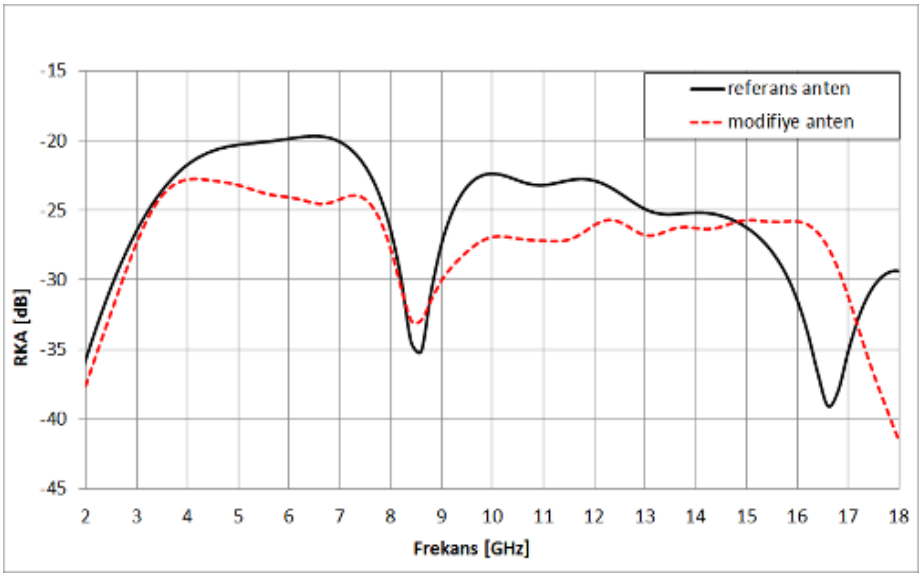


(a)

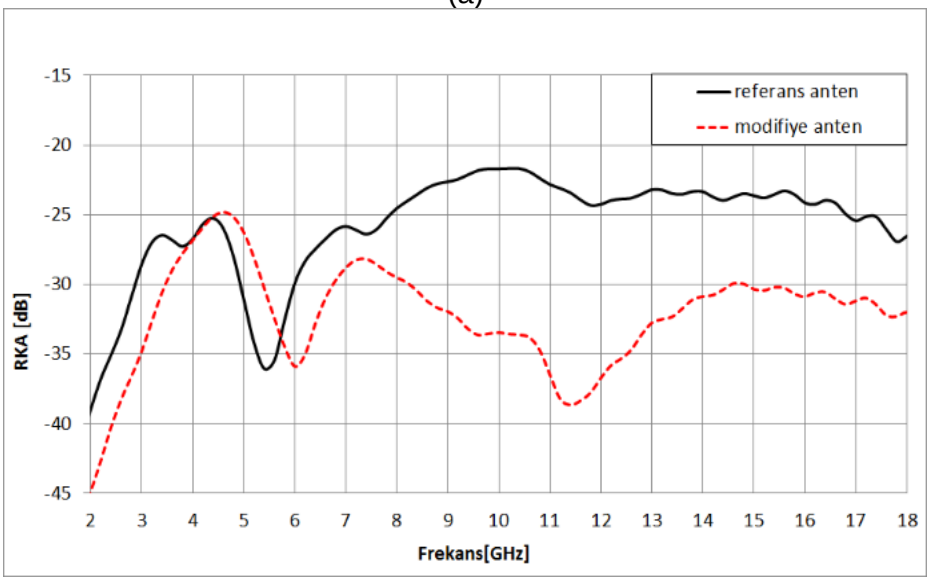


(b)

Şekil 3.76. Gelen dalga Θ=60^o ve φ=180^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin (a) x polarizasyon ve (b) y polarizasyon RKA simülasyon sonuçları



(a)



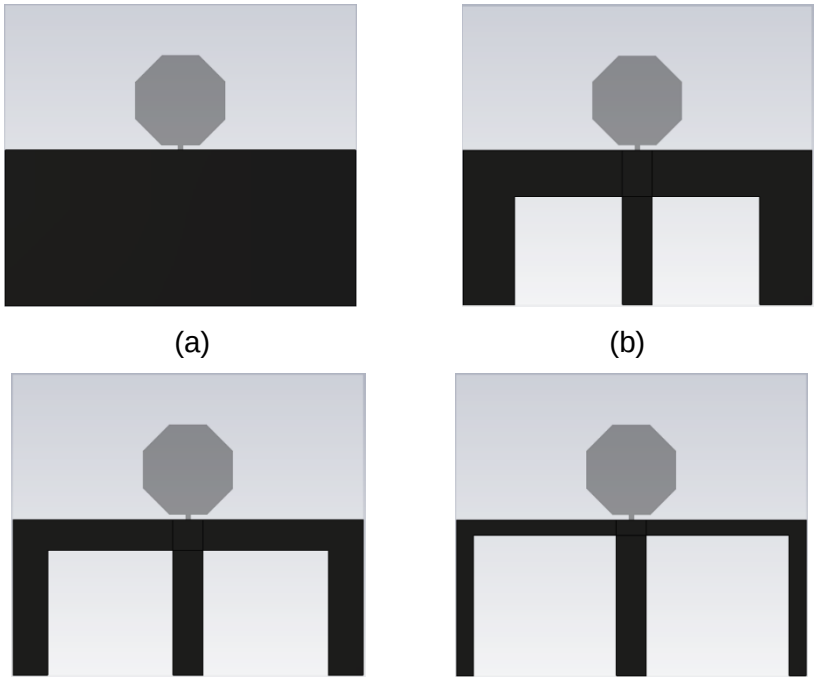
(b)

Şekil 3.77. Gelen dalga Θ=15^o ve φ=0^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin (a) x polarizasyon (b) y polarizasyon RCS simülasyon sonuçları

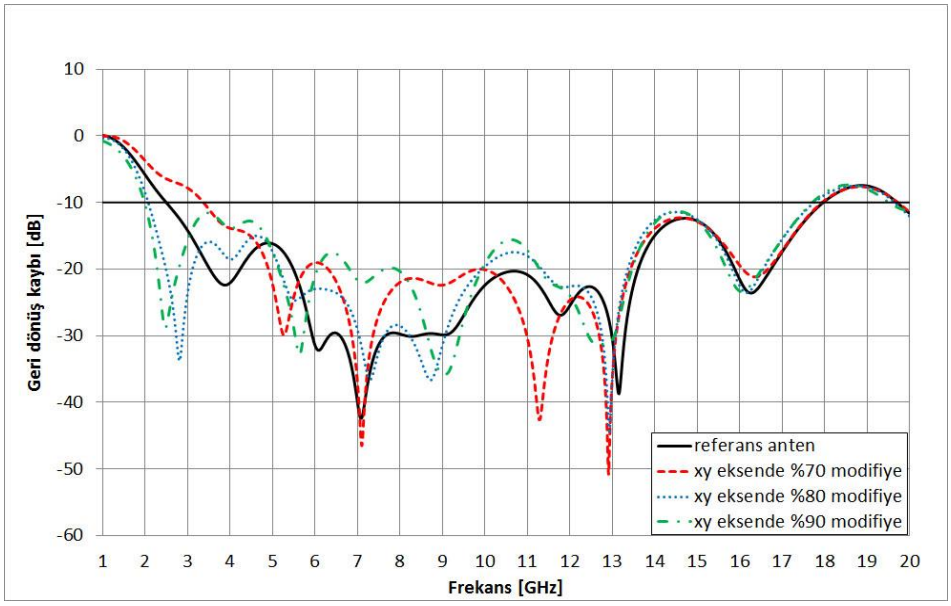
3.4. Radar Kesit Alanı Azaltılmış Sekizgen Biçimli Ultra Geniş Bantlı Anten

Sekizgen biçimli antenin RKA azaltımı için ilk aşamada toprak tabakasından farklı geometriler çıkarılmıştır. İlk etapta toprak tabakası x ve y ekseni boyunca %70, %80, ve %90 azaltılmıştır (Şekil 3.78). Toprak tabakasındaki oransal azaltma, elde edilen S_{11} grafiğinde de görüldüğü gibi 5-13 GHz frekans aralığında antenin ışıma performansının -30 dB ile -20 dB arasında dalgalanmalara sebep olmuştur (Şekil 3.79). Ancak oransal azaltım %80 ve % 90 olduğunda antenin bant genişliğinin alt sınırı 0,5 GHz azalarak 2 GHz'e kadar inmiştir. 7 ve 13 GHz frekanslarında simüle

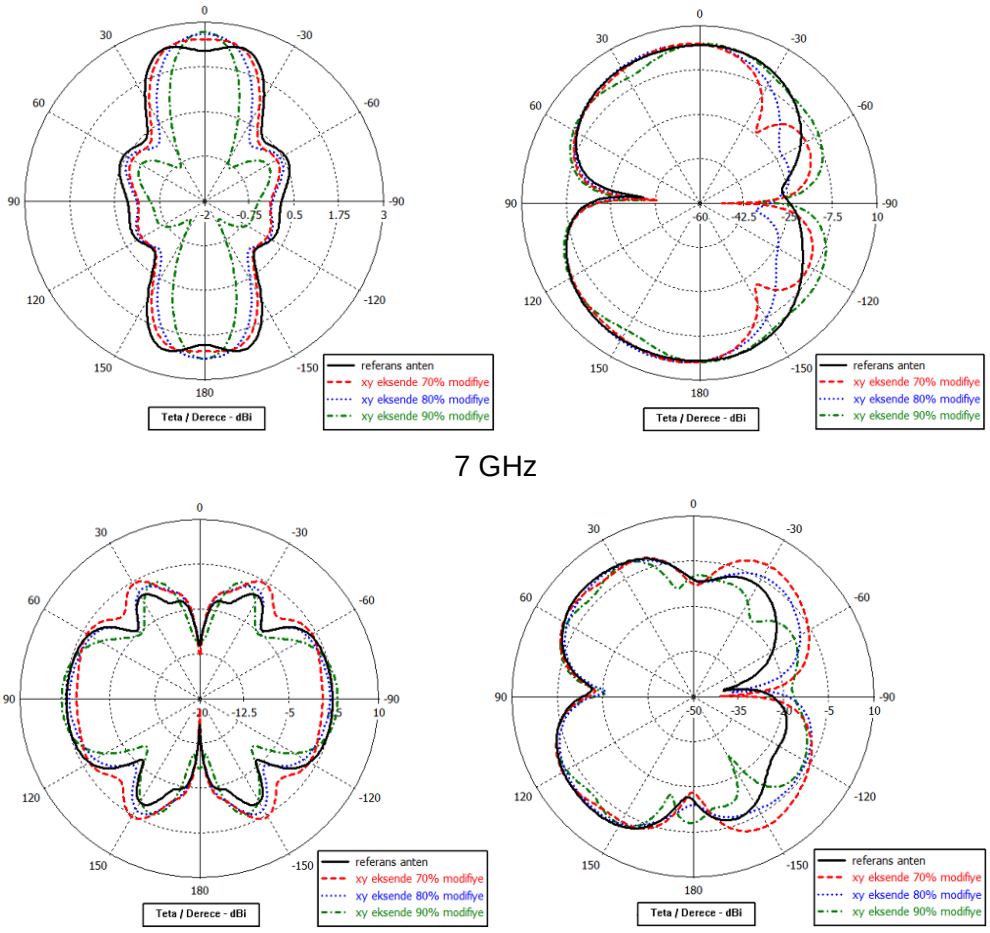
edilen ışıma diyagramlarında ise antenin ışıma karakteristiğinin sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.80).



Şekil 3.78. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan değişiklikler (a) orijinal anten, (b) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %70 eksiltilmiş, (c) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %80 eksiltilmiş, (d) toprak tabakası y ve x ekseni boyunca %90 eksiltilmiş



Şekil 3.79. Toprak tabakasını xy ekseni boyunca oransal azaltmanın S_{11}'e etkisi



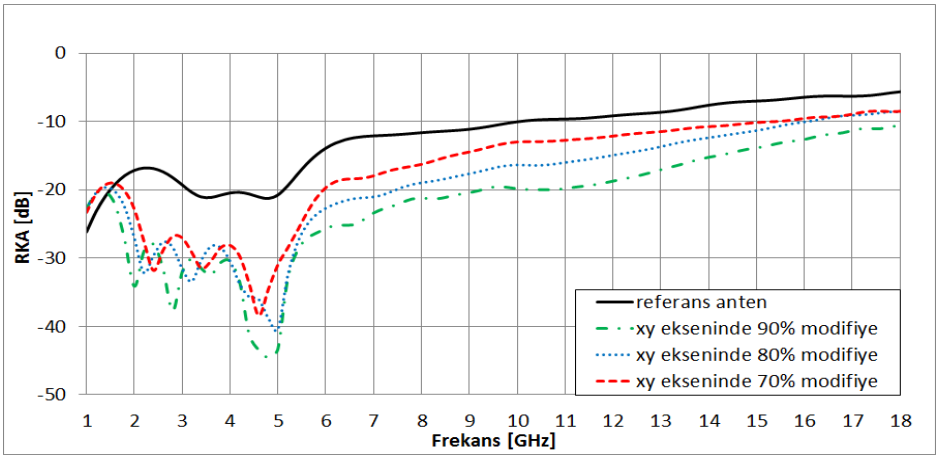
(a) (b)

Şekil 3.80. Toprak tabakasının xy eksenindeki oransal kısaltama ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

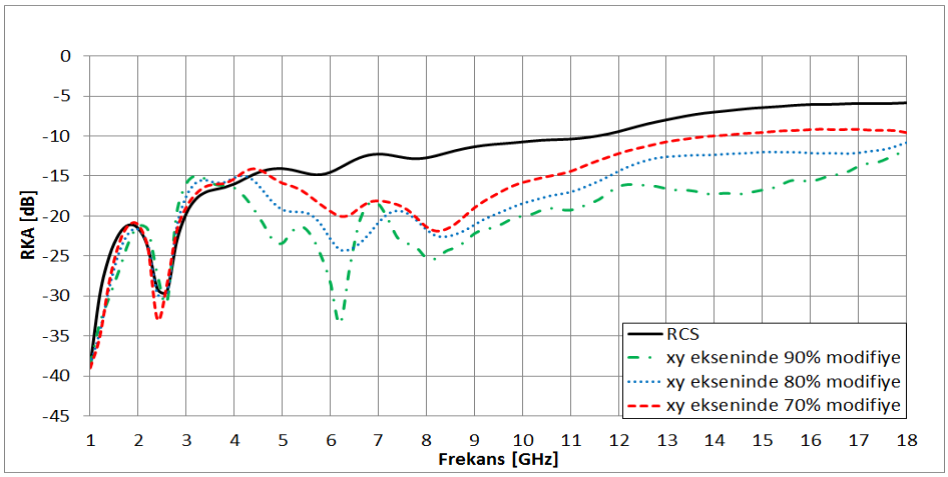
Yapılan RKA analizlerinde, gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün x ekseninde olması durumunda 1,5-20 GHz aralığında antenin RKA değerinin 10 dB azaldığı ve bu azalmanın 5 GHz'de 25 dB'ye kadar çıktığı görülmüştür (Şekil 3.81). Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün y ekseninde olması durumunda ise 4-20 GHz aralığında ortalama 10 dB değerinde RKA azaltımı sağlanmıştır.

İkinci aşamada toprak tabakası y ekseni boyunca %60, %70, ve %80 oranda azaltılmıştır (Şekil 3.82). Toprak tabakasındaki oransal azaltım, elde edilen S_{11} grafiğinde de görüldüğü gibi özellikle 10-11 GHz frekans aralığında antenin S_{11} seviyesi olumsuz etkilenmiştir (Şekil 3.83). Buna ilave olarak 2,5 GHz olan antenin bant genişliğinin alt sınırı 1 GHz artarak 3,5 GHz e çıkmıştır. Bu etkenler antenin toprak tabakasının y ekseni boyunca değişiminin RKA azaltımı için uygun olmadığını göstermektedir. Şekil 3.84'te görülen antenin ışıma diyagramlarında ise antenin ışıma

karakteristiğinin değişmediği ancak rezonans frekansı olan 7 GHz'de xz düzleminde antenin kazancının da arttığı görülmüştür.



(a)



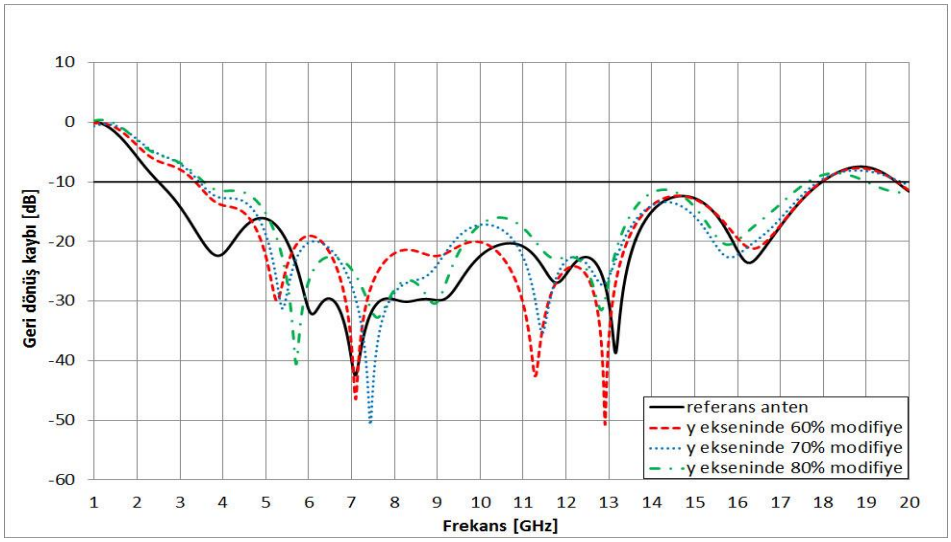
(b)

Şekil 3.81. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasının xy ekseninde oransal değişiminin RKA azaltımına etkisi

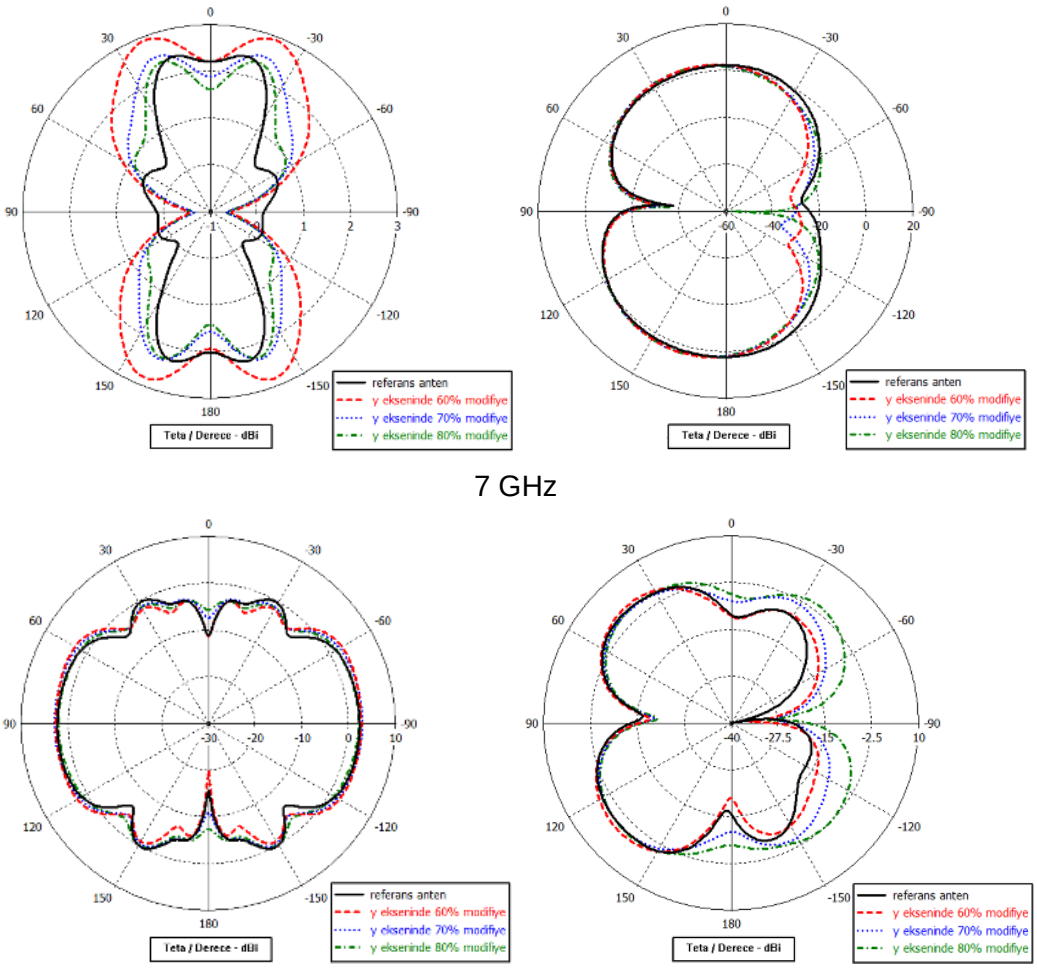


(a) (b) (c) (d)

Şekil 3.82. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan değişiklikler (a) referans anten, (b) toprak tabakası y ekseni boyunca %60 eksiltilmiş, (c) toprak tabakası y ekseni boyunca %70 eksiltilmiş, (d) toprak tabakası y ekseni boyunca %80 eksiltilmiş



Şekil 3.83. Toprak tabakasını y ekseni boyunca oransal azaltmanın S_{11}'e etkisi



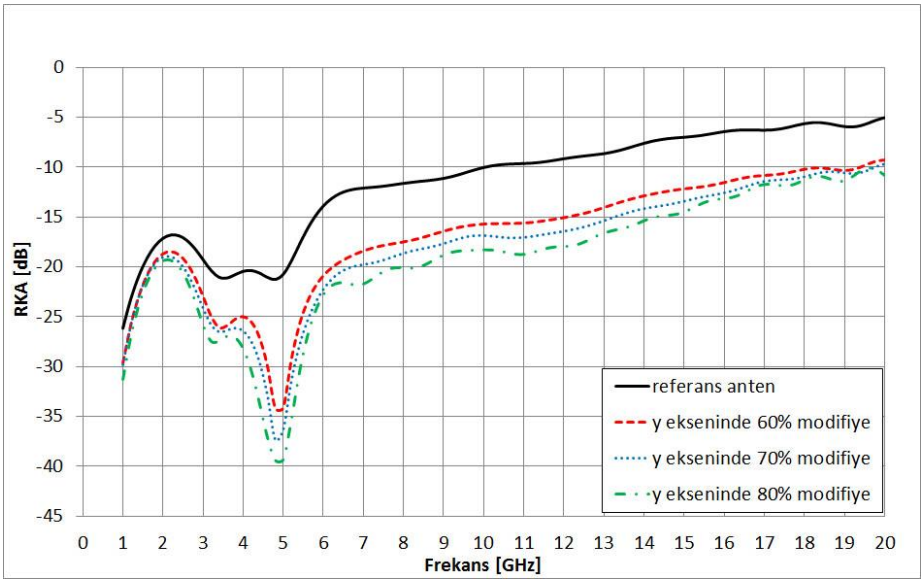
7 GHz

13 GHz

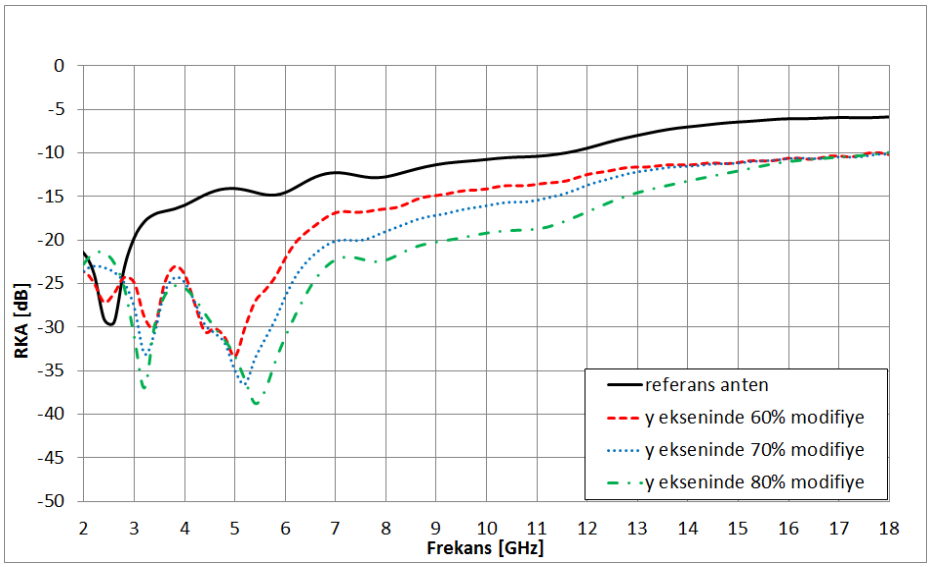
(a) (b)

Şekil 3.84. Toprak tabakasının y eksenindeki oransal kısaltama ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Yapılan RKA analizlerinde gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün x ekseninde olması durumunda 1,5-20 GHz aralığında antenin RKA değerinin 10 dB azaldığı ve bu azalmanın 5 GHz de 20 dB ye kadar çıktığı görülmüştür (Şekil 3.85). Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün y ekseninde olması durumunda ise 3,5-20 GHz aralığında ortalama 10 dB değerinde RKA azaltımı sağlamış, 5 GHz'de ise yaklaşık 20 dB kadar artmıştır. Her iki durumda da toprak tabakasının y ekseninde %80 oranında azaltım yapıldığında diğerlerine oranla en fazla eksiltme yapıldığı için RKA değeri bu durumda en düşük değere ulaşmıştır.



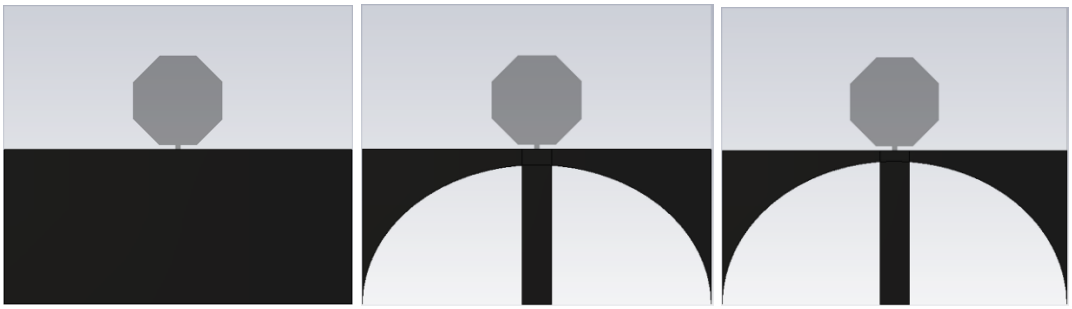
(a)



(b)

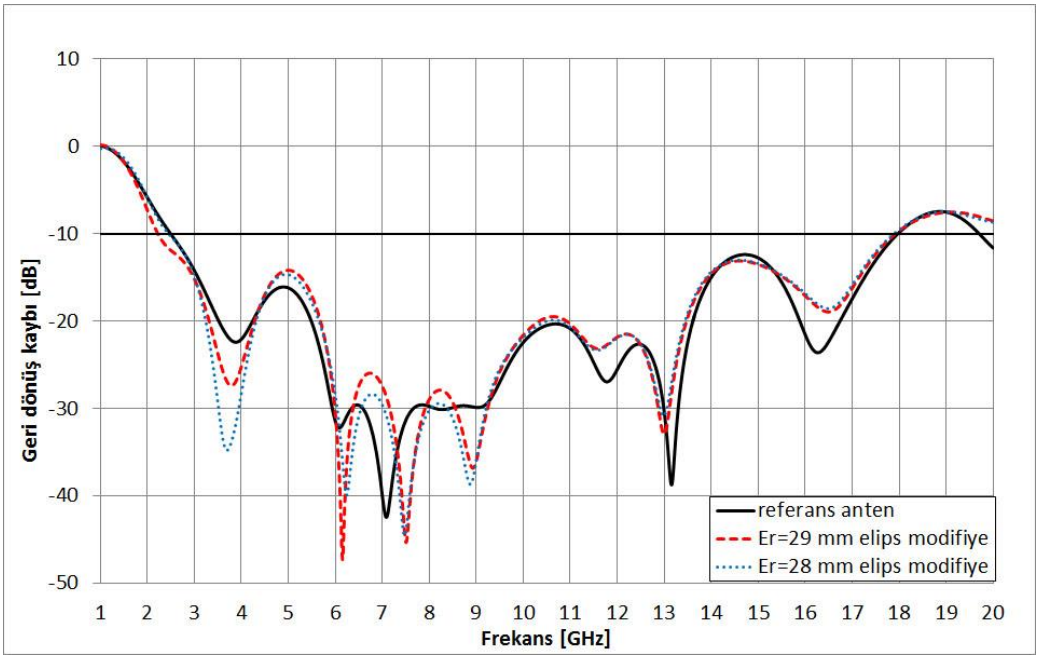
Şekil 3.85. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasının y ekseninde oransal değişiminin RKA azaltımına etkisi

Bir sonraki aşamada toprak tabakasından antenin besleme giriş noktası merkez alınarak y ekseni boyunca 28 mm ve 29 mm yarıçap ölçüsüne sahip olan elips geometri çıkarılmıştır (Şekil 3.86). Elips geometrinin çıkarılması esnasında yarıçap ölçüleri farklı bir çok deneme yapılmış olup, aşağıda verilen değerlere yaklaşıldığında S_{11} geri dönüş kaybının referans anten değerlerinden sapmaya başladığı görülmüştür. Dolayısıyla belirtilen yarıçap ölçülerinden daha fazla çıkarım yapıldığında da antenin ışıma performansı bozulmaktadır. Toprak tabakasına yerleştirilen elips geometri, anteninin ışıma performansını 4 ve 6 GHz de daha da iyileştirmiştir (Şekil 3.87). Şekil 3.88'deki antenin ışıma diyagramlarında, antenin ışıma karakteristiğinin değişmediği görülmüştür.

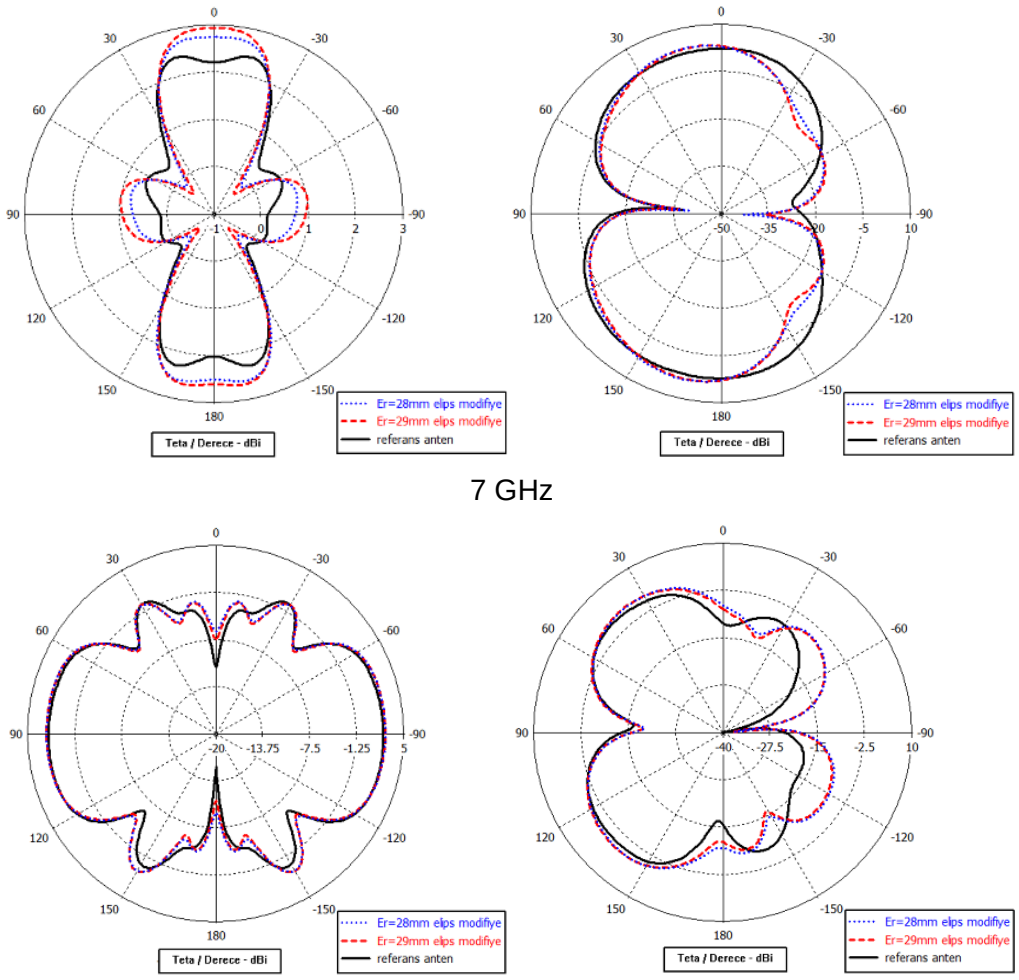


(a) (b) (c)

Şekil 3.86. Antenin arka yüzündeki toprak tabakasında yapılan geometrik değişiklikler (a) referans anten, (b) toprak tabakasından besleme noktası merkez olmak üzere y ekseninde ve r=28 mm yarıçapında çıkarılan elips, (c) toprak tabakasından besleme noktası merkez olmak üzere y ekseninde ve r=29 mm yarıçapında çıkarılan elips geometri



Şekil 3.87. Toprak tabakasından elips geometrinin çıkarılmasının S_{11} 'e etkisi

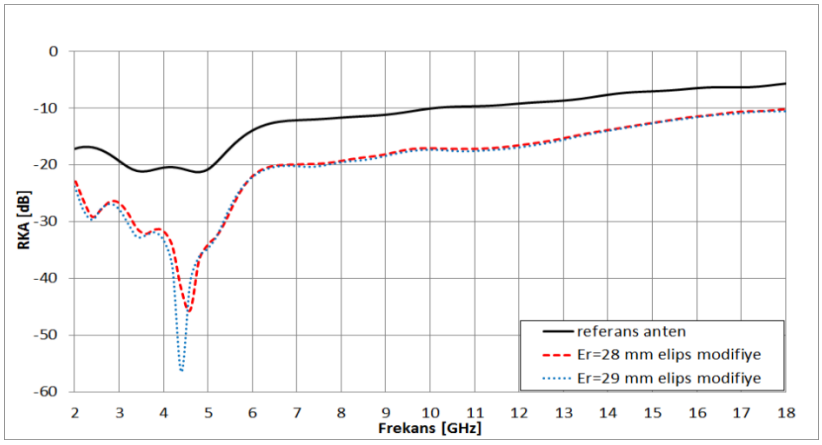


(a) (b)

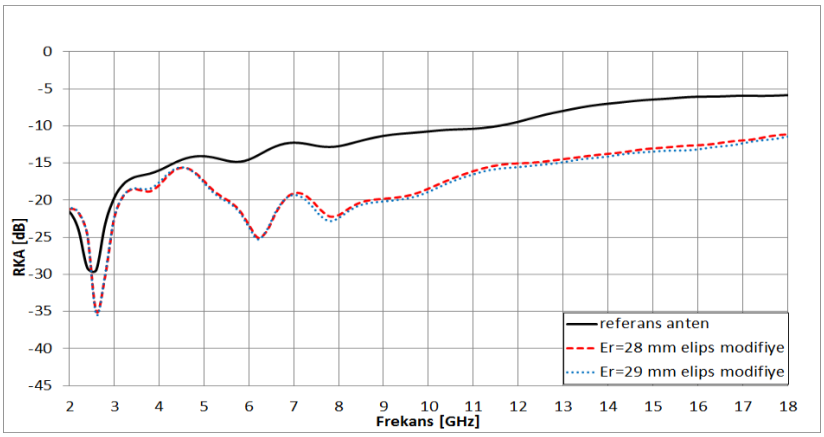
Şekil 3.88. Toprak tabakasından elips geometri çıkarılması ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Elde edilen RKA analizlerinde gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün x ekseninde olması durumunda 1,5-20 GHz aralığında antenin RKA değerinin ortalama 10 dB azaldığı ve bu azalmanın 5 GHz de 35 dB ye kadar çıktığı görülmüştür (Şekil 3.89). Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün y ekseninde olması durumunda ise 3-20 GHz aralığında ortalama 10 dB değerinde RKA azaltımı sağlanmıştır.

Bir sonraki aşamada antenin yama kısmından yama ile aynı merkezli 4, 5 ve 6 mm yarıçapında daire geometrisi çıkarılmıştır (Şekil 3.90). Şekil 3.91'deki S_{11} geri dönüş kaybında görüldüğü gibi anten ışımasını gerçekleştirmekte fakat 4-9 GHz aralığında direnin çapı büyüdükçe ışıma performansı düşmektedir. Bu nedenle ilerde RKA azaltımı için sadece 4 mm yarıçapındaki daire çıkarımı kullanılacaktır. Elde edilen ışıma diyagramlarında ise anten ışıma karakteristiğini korumaktadır (Şekil 3.92).

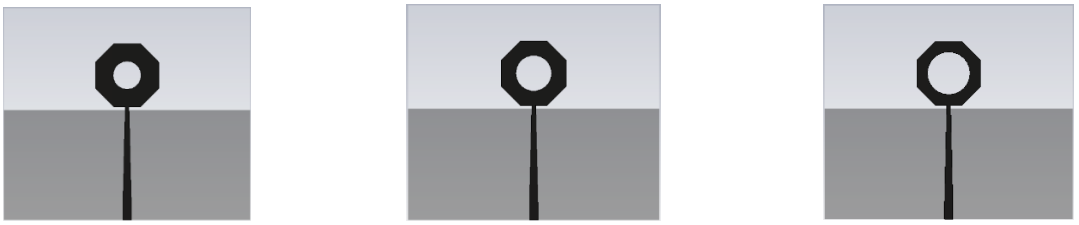


(a)



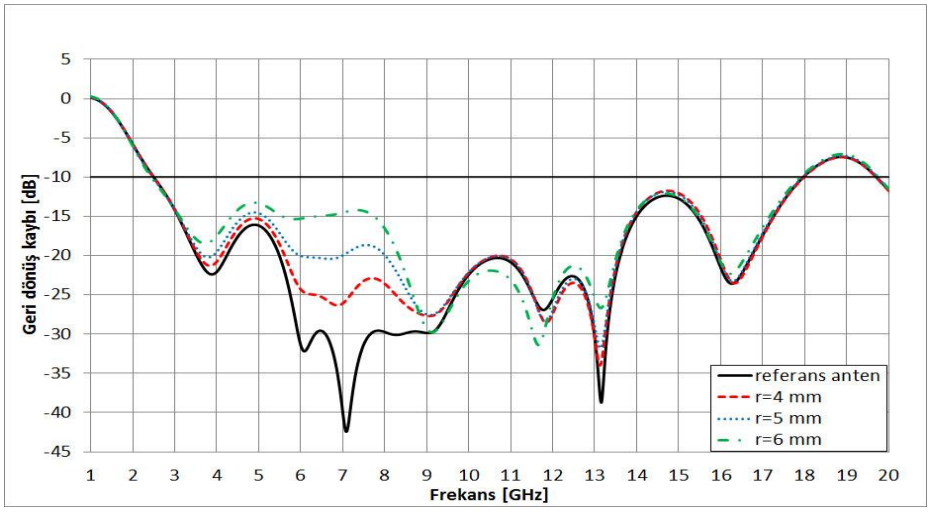
(b)

Şekil 3.89. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda toprak tabakasından r=28 mm ve r=29 mm yarıçapındaki elips geometrinin çıkarılmasının RKA azaltımına etkisi

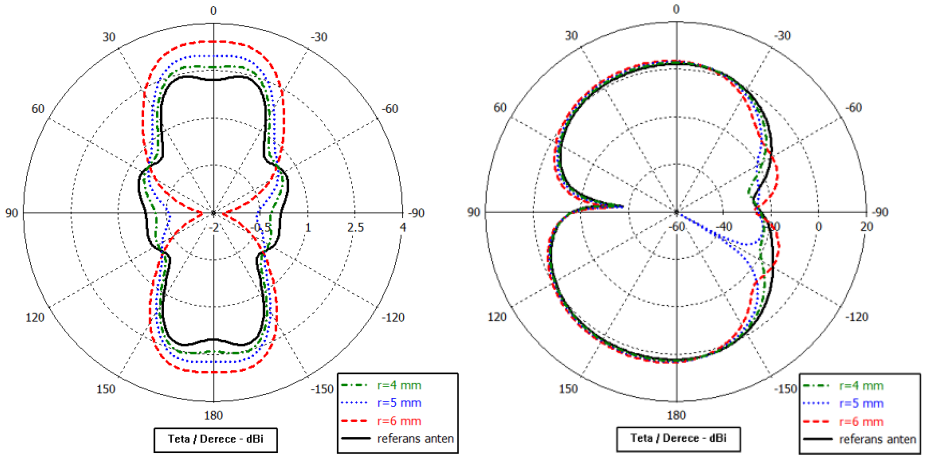


(a) (b) (c)

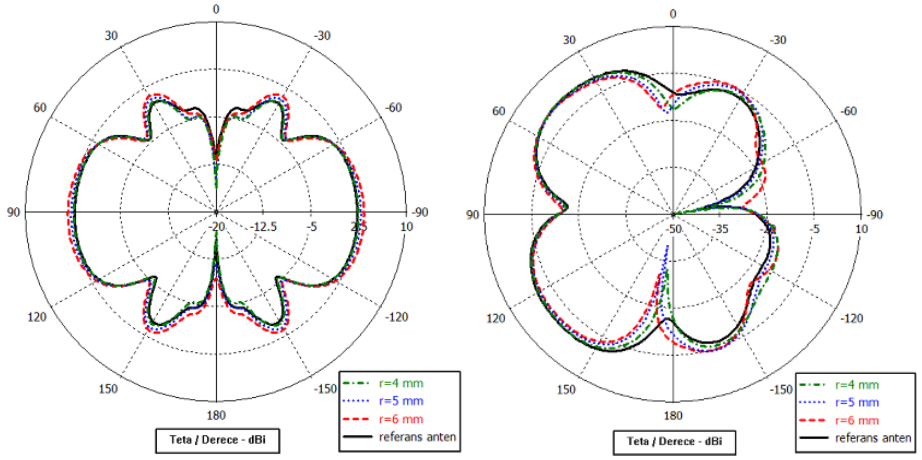
Şekil 3.90. Antenin yama kısmında yapılan değişiklikler (a) orijinal anten, (b) yama kısmı ile aynı merkezli r=4 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması, (c) yama kısmı ile aynı merkezli r=5 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması, (d) yama kısmı ile aynı merkezli r=6 mm yarıçaplı daire geometrisin çıkarılması



Şekil 3.91. Yama kısmından farklı büyüklüklerde çıkarılan daire geometrinin S_{11}'e etkisi



7 GHz

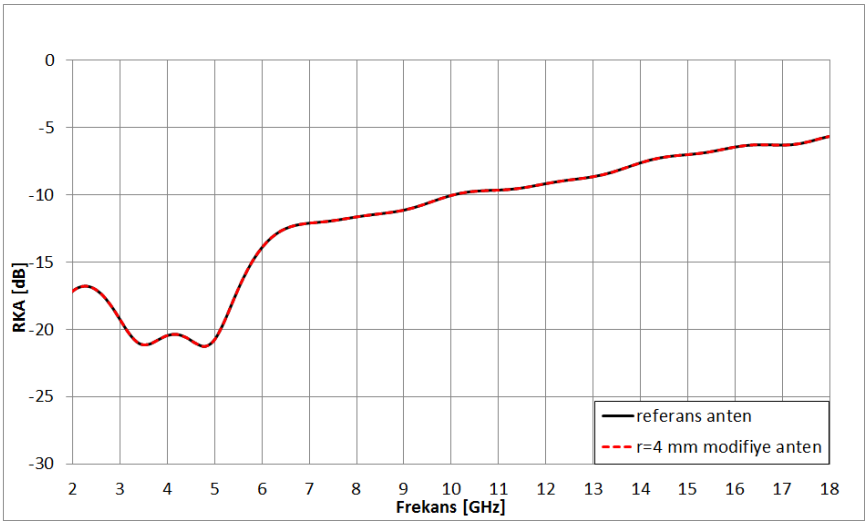


13 GHz

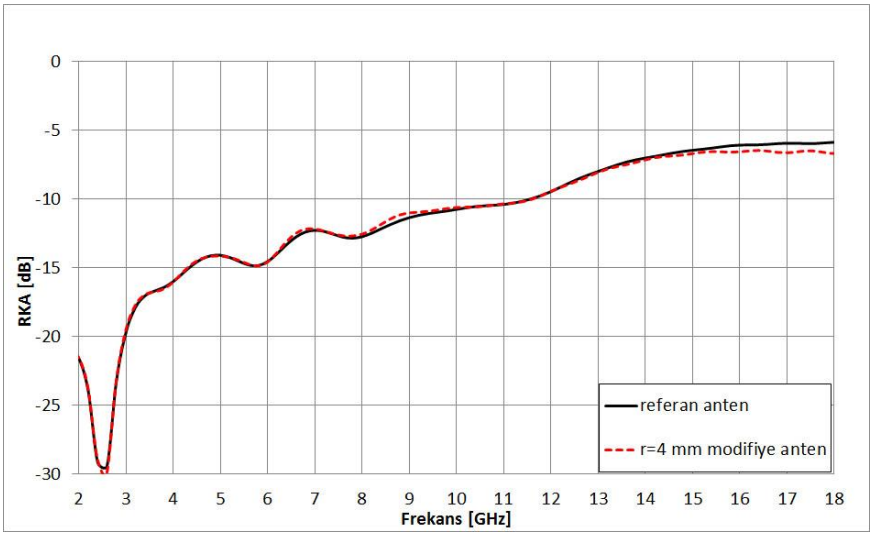
(a) (b)

Şekil 3.92. Yama kısmından çıkarılan daire geometrileri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

RKA analizlerinde ise antende hemen hiç RKA azaltımı görülmemektedir (Şekil 3.93). Gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün y ekseninde olması durumunda 14 GHz'den yüksek frekansta sadece 1 dB kadar bir RKA azaltımı görülmüştür.



(a)

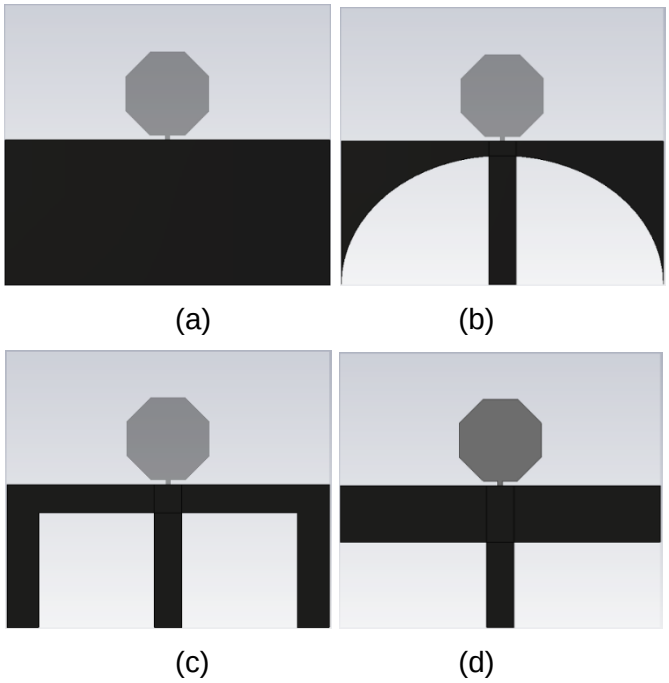


(b)

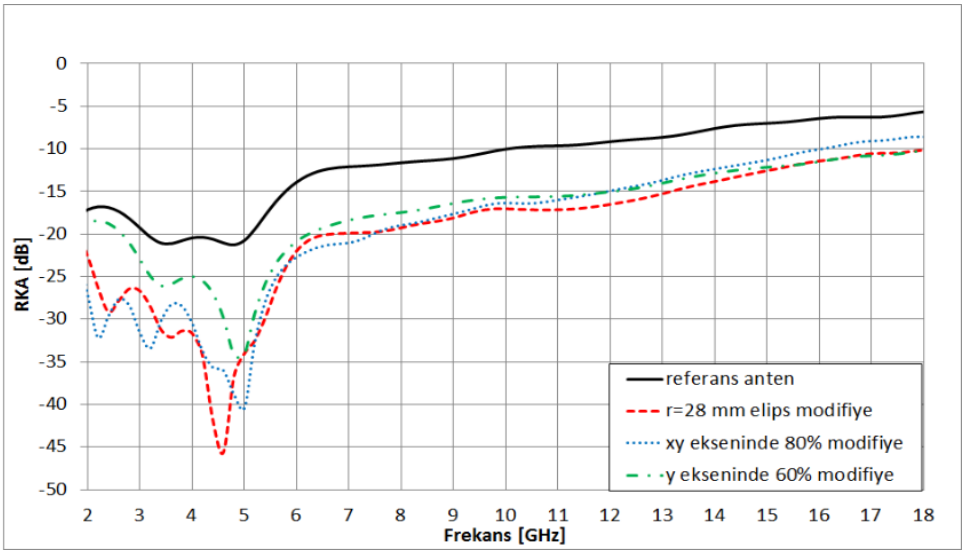
Şekil 3.93. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan r=4 mm yarıçapında dairenin RKA azaltımına etkisi

RKA azaltımlarını karşılaştırmak amacıyla daha önce analizleri yapılan farklı toprak katmanlarından oluşan yapılar birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.94). Tasarlanmış olan yapıların RKA analizleri ise Şekil 3.95 ve 3.96'da gösterilmiştir. Burada elde edilen sonuçlara göre gelen dalganın elektriksel alan büyüklüğünün x ekseninde olması durumunda en fazla RKA azaltımını elips geometri sağlamıştır. Gelen dalganın elektriksel büyüklüğünün y eksenin olması durumunda ise toprak kısmının y

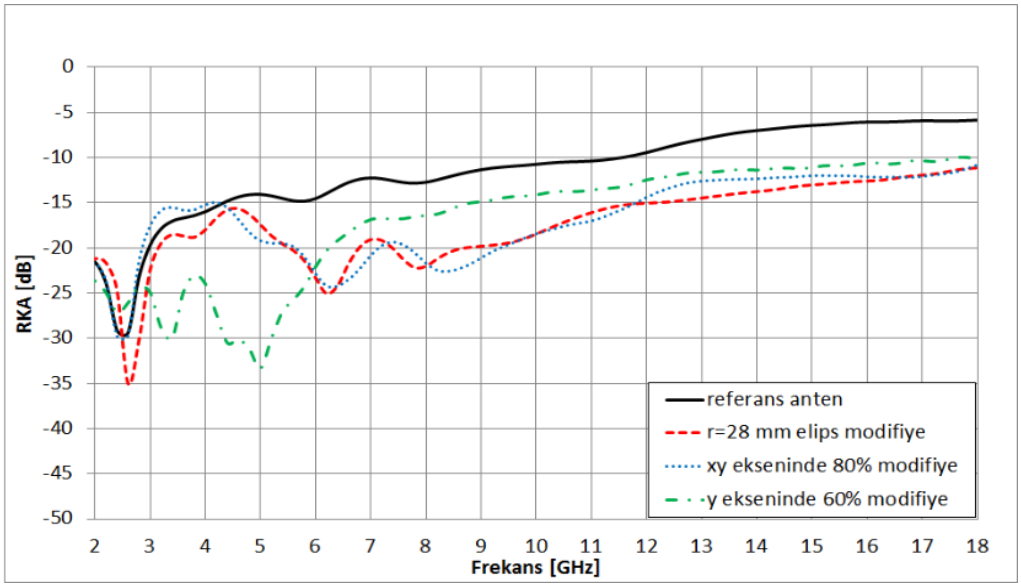
ekseninde %60 azaltımı her ne kadar 3-6 GHz frekans aralığında RKA değerini diğer alternatiflerden daha fazla düşürmüşse de daha öncede belirtilen S_{11} geri dönüş kaybını olumsuz etkilemesinden dolay tercih edilmeyecektir.



Şekil 3.94. Antenin toprak kısmında yapılan değişimlerin karşılaştırılması (a) orijinal anten, (b) toprak kısmından y=28 mm yarıçaplı elipsin çıkarılması, (c) toprak kısmının x ve y ekseninde %80 oranda azaltılması, (d) toprak kısmının y ekseni boyunca %60 azaltılması

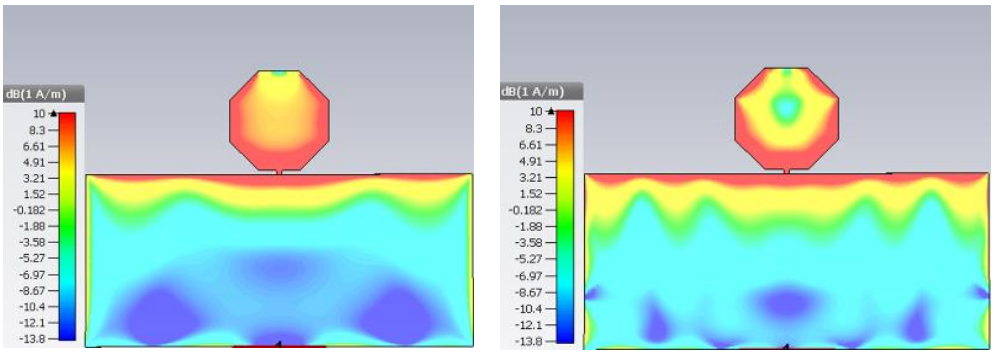


Şekil 3.95. Gelen dalganın elektriksel alanının x yönünde olması durumunda toprak kısmına uygulan farklı değişimlerin oluşturduğu RKA azaltımlarının karşılaştırılması



Şekil 3.96. Gelen dalganın elektriksel alanının y yönünde olması durumunda toprak kısmına uygulanan farklı değişimlerin oluşturduğu RKA azaltımlarının karşılaştırılması

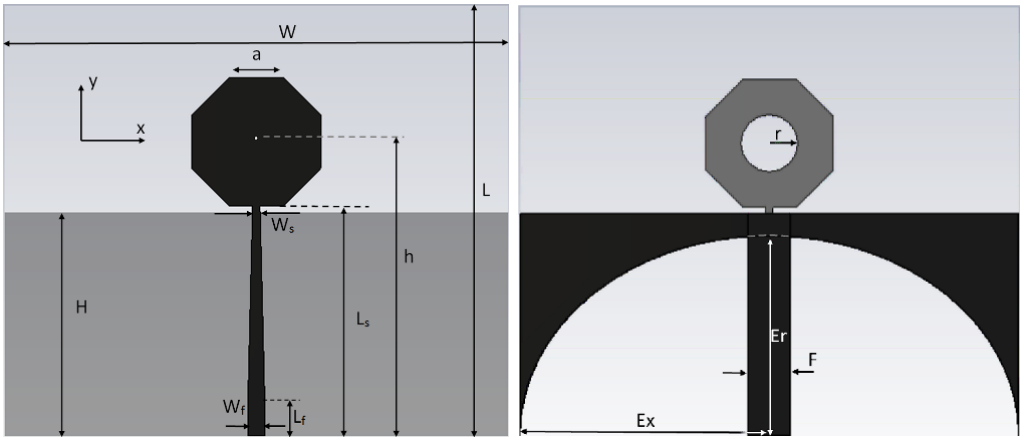
Şekil 3.97'de ise modifiye antende çıkartılan parçaların belirlenmesinde kullanılan anten akım dağılımı verilmiştir. Elde edilen akım dağılımı simülasyon sonucuna göre akım yoğunluğu toprak tabakasının yama kısmı tarafında yoğunlaştığı bunun yanında daha az bir yoğunlukta yan kısımlarda mevcut olduğu görülmektedir. Toprak tabakasının alt ve orta bölümlerinde ise akım yoğunluğunun en düşük seviyeye düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer taraftan sekizgen yama kısmında yan kenarlarda akım yoğunluğu orta kısma nispeten daha fazla olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar yukarıda belirtildiği gibi yama kısmındaki değişiklik antenin RKA değerini toprak tabakasında yapılan değişiklik kadar azaltmasa da modifiye anten tasarlanırken her iki kısımda da değişiklik uygulanarak elde edilebilecek maksimum RKA azaltımı sağlanacaktır.



(a) (b)

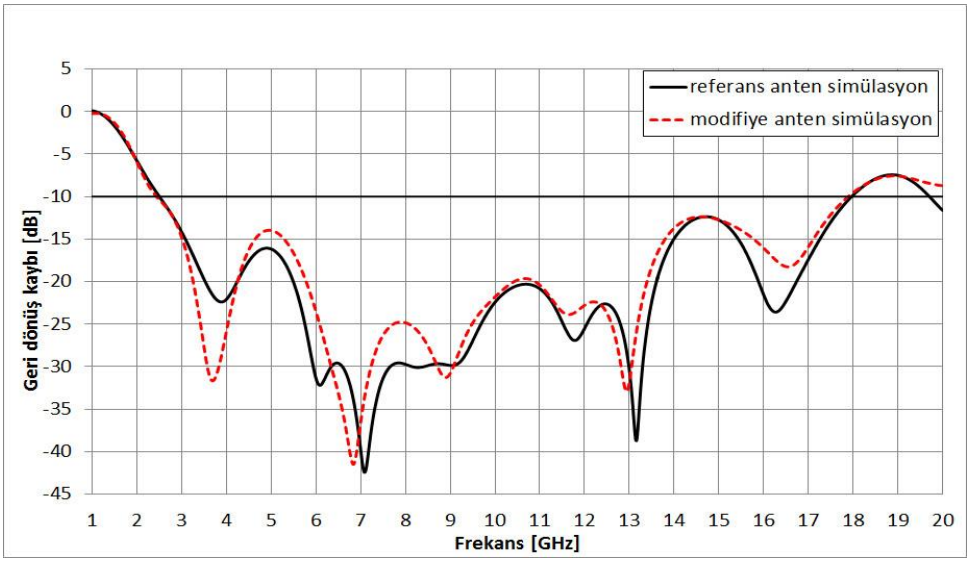
Şekil 3.97. Referans antenin (a) 7 GHz ve (b) 13 GHz'de yüzeysel akım dağılımı

Son aşamada daha önce incelenen yapısal değişikliklerin ışığında antenin toprak kısmından r=28 mm yarıçapında elips ve yama kısmından da sekizgen geometrinin merkezinde ile 4 mm yarıçapında bir daire çıkarılmıştır (Şekil 3.98). diğer taraftan toprak tabakasında besleme hattında devamlılığı sağlamak için F=6 mm kalınlığında şerit bırakılmıştır. Antende yapılan geometrik değişikliklerden sonra elde edilen S_{11} geri dönüş kaybına göre hedeflenen anten ışıma performansını korumakta olduğu görülmüştür (Şekil 3.99). Diğer taraftan modifiye antenin referans anten ile aynı bant genişliğinde ışıma yapması da sağlanmıştır. Bunun yanında simüle edilen ışıma diyagramları da antenin ışıma karakteristiğini koruduğunu göstermektedir (Şekil 3.100).

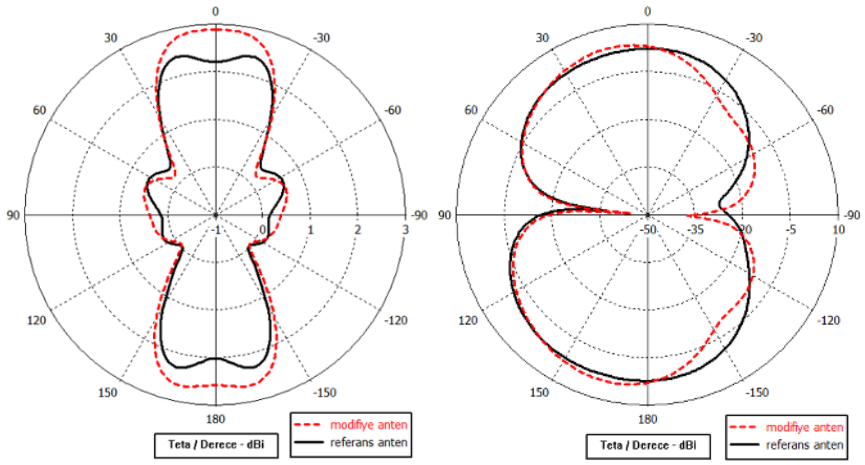


(a) (b)

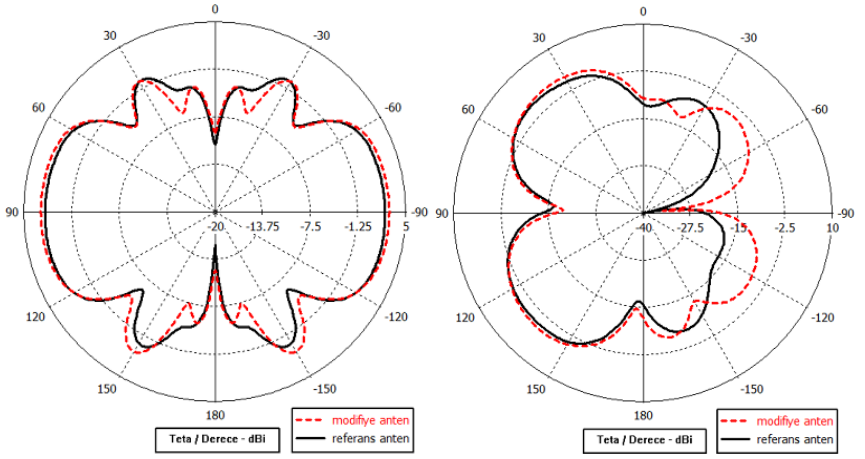
Şekil 3.98. Altıgen ultra geniş bant anten yapısında RKA azaltımı için yapılan değişiklikler (a) referans anten, (b) hedeflenen anten



Şekil 3.99. Yama kısmından farklı büyüklüklerde çıkarılan daire geometrinin S_{11}'e etkisi



7 GHz

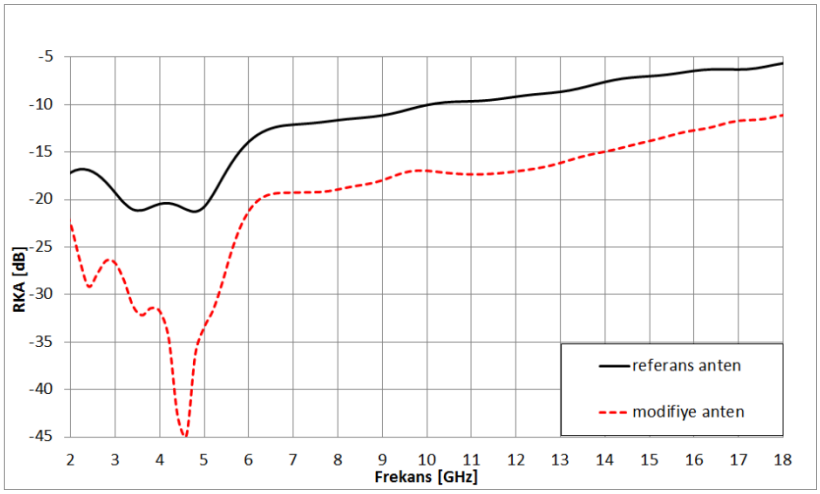


13 GHz

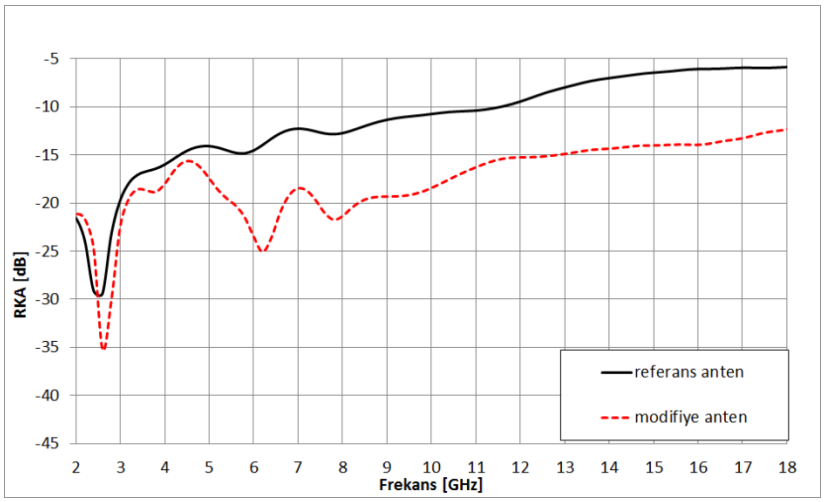
(a) (b)

Şekil 3.100. Yama kısmından çıkarılan dire geometrileri ile elde edilen (a) xz düzlemi ve (b) yz düzlemi ışıma grafikleri

Analizi yapılarak RKA verileri elde edilmiş ve antenin ışıma yaptığı bütün frekanslarda RKA azaltımı sağlanmıştır (Şekil 3.101). Gelen dalganın elektriksel alanının x ekseninde olması durumunda 2-18 GHz aralığında antenin RKA değerinin ortalama 8 dB düştüğü, 4,5 GHz de ise RKA değerinin 25 dB düştüğü görülmüştür. Gelen dalganın elektriksel alanının y ekseninde olması durumunda da 3-18 GHz aralığında antenin RKA değeri 10 dB azalmıştır.



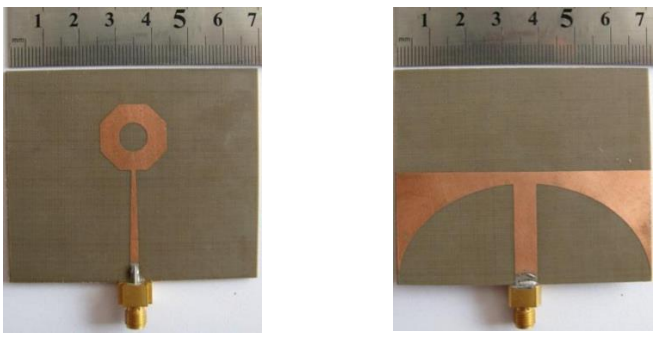
(a)



(b)

Şekil 3.101. Gelen dalganın elektriksel alanının (a) x yönünde ve (b) y yönünde olması durumunda yama kısmından çıkarılan r=4 mm yarıçapında dairenin RKA azaltımına etkisi

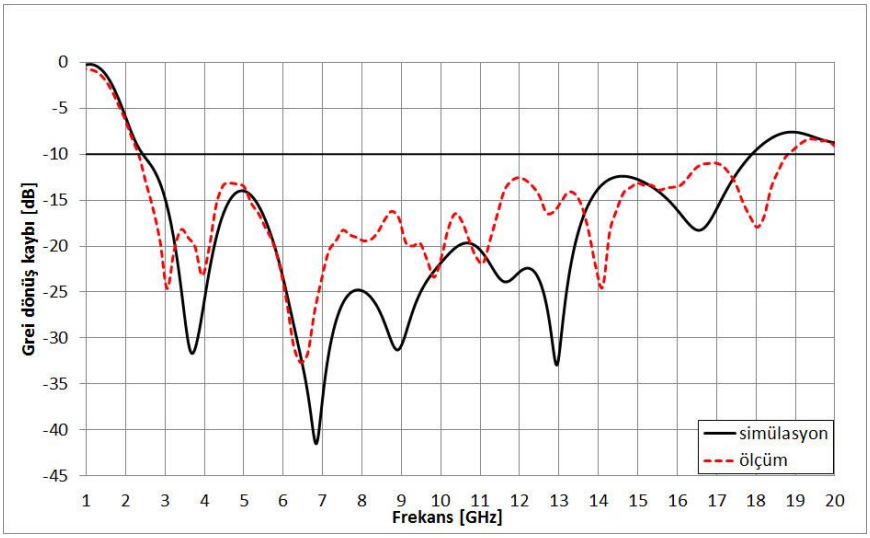
Son aşamada gerçekleştirilen bu tasarımlar pratik olarak üretilmiştir (Şekil 3.102).



(a) (b)

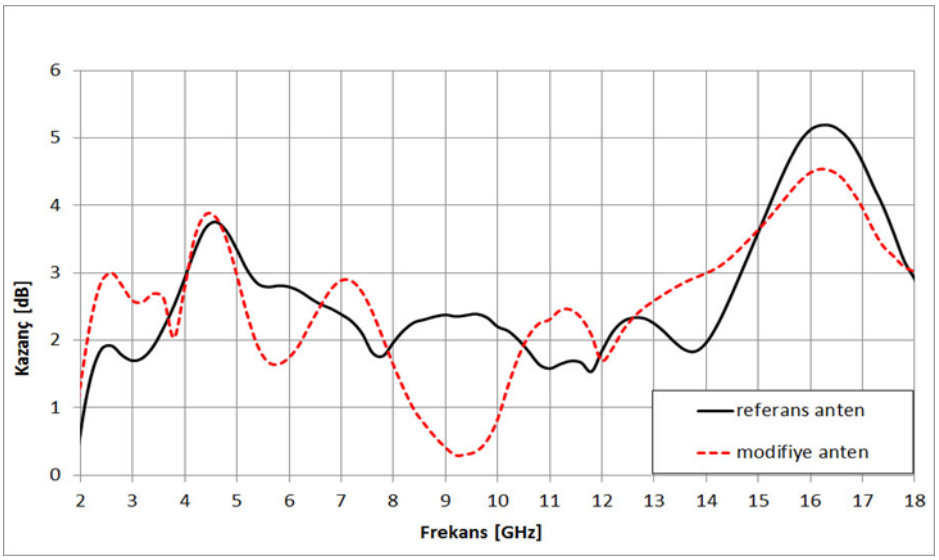
Şekil 3.102. Üretimi yapılan modifiye antenlerin (a) ön ve (b) arka yüz görüntüleri

Tasarımı yapılan modifiye antenin geri dönüş kayıpları ölçülmüştür (Şekil 3.103).Tasarlanan her iki anten yapısının da 2,5-18 GHz frekans bandında ışıma yaptığı ve modifikasyonun çalışma frekans aralığını etkilemediği gözlenmektedir. Her iki durumda da anten yapısının %151 bant genişliğine sahip olduğu görülmektedir.



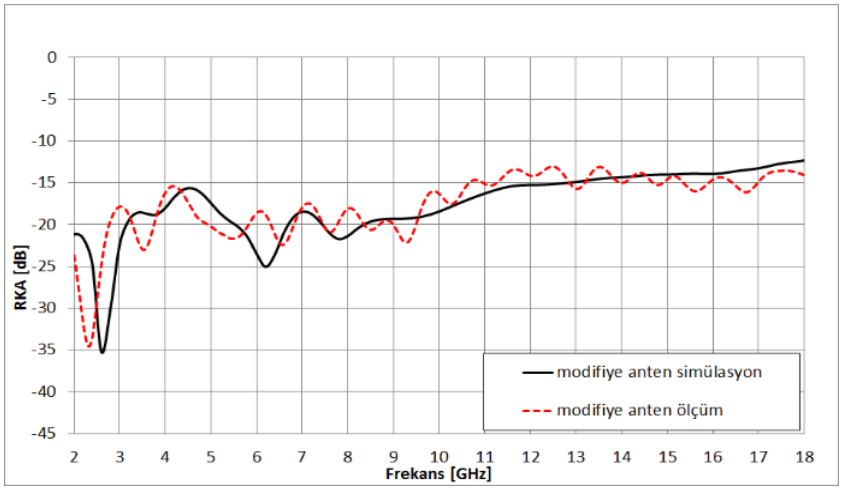
Şekil 3.103. Modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları

Antenler üzerinde yapılan değişimin RKA üzerindeki etkisini incelemeden önce ışıma diyagramlarının da incelemesi gerekmektedir. Modifikasyonun antenin performansını (kazanç, ışıma diyagramı, geri dönüş kaybı gibi) bozmaması beklenmektedir. Şekil 3.104'te kazanç eğrileri yer almaktadır. Görüldüğü gibi kazanç grafiği bu yapısal değişiklilerden etkilenmemiş, anten performansını bozmamıştır.



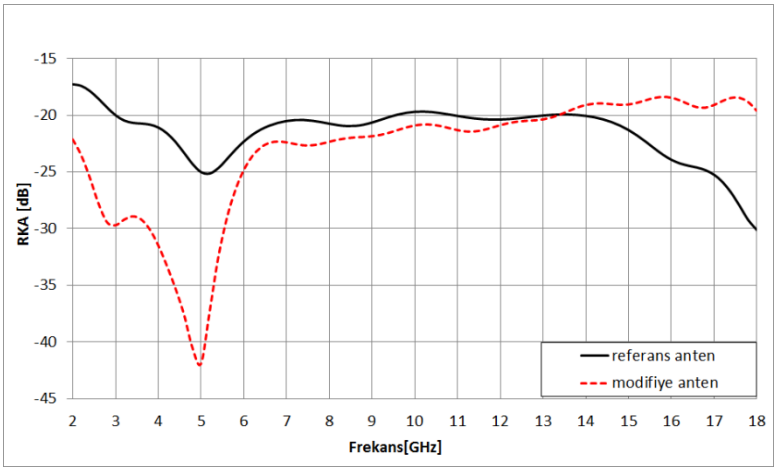
Şekil 3.104. Referans ve modifiye anten için kazanç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.105'te modifiye anten için y-polarizasyonlu RKA ölçüm ve simülasyon sonuçları bir arada verilmektedir. Görüldüğü üzere simülasyon sonuçları ölçümle uyum içerisindedir, bu durumda yapılan simülasyonların doğru olduğunu kanıtlamaktadır.

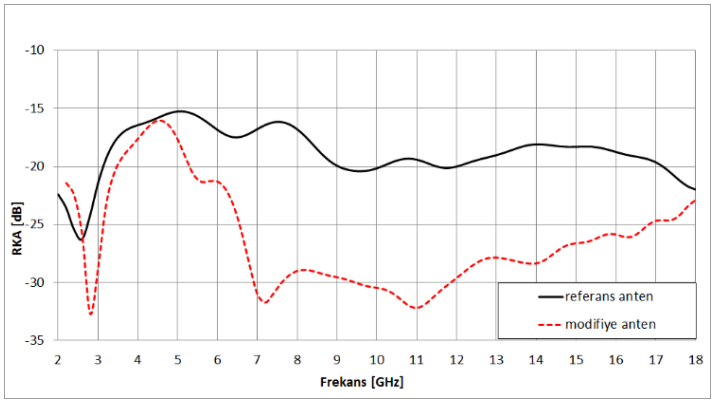


Şekil 3.105. Modifiye anten için y polarizasyon RKA ölçüm ve simülasyon sonuçları

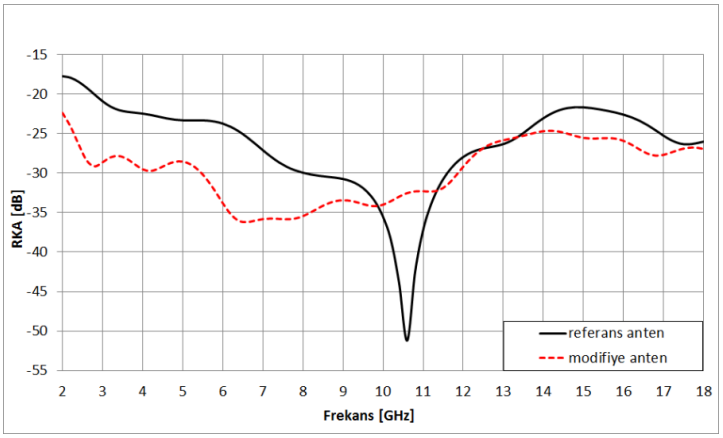
Hedef için en yüksek RKA değeri dalganın dik geliş durumunda olmasına rağmen, aynı zamanda eğik geliş için de RKA değerleri elde ediliştir. Gelen dalganın Θ=15^o, φ=90^o ve Θ=30^o, φ=90^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x ve y polarizasyonu için RKA simülasyon sonuçları Şekil 3.106, Şekil 3.107, Şekil 3.108 ve Şekil 3.109'da verilmektedir. Elde edilen sonuçlardan, modifiye antenin yalnızca dik geliş halinde değil, aynı zamanda dalganın eğik geliş durumunda da RKA azalımını sağladığı görülmektedir.



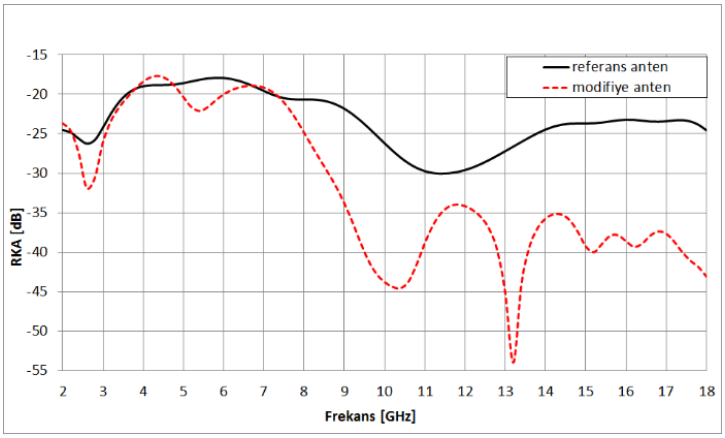
Şekil 3.106. Gelen dalganın Θ=15^o ve φ=90^o yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin y polarizasyon RKA simülasyon sonuçları



Şekil 3.107. Gelen dalganın Θ=15° ve φ=90° yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x polarizasyon RKA simülasyon sonuçları



Şekil 3.108. Gelen dalganın Θ=30° ve φ=90° yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin x polarizasyon RKA simülasyon sonuçları



Şekil 3.109. Gelen dalganın Θ=30° ve φ=90° yönünde olduğunda referans ve modifiye antenin y polarizasyon RKA karşılaştırılması

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasında, günümüzde yaygın olarak askeri ve sivil alanda kullanılan mikroşerit antenlerin ultra geniş bant tasarımlarında besleme hattı ile uyumlandırma ve minyatürize etme konusunda birbirinden farklı tasarımlar gerçekleştirilerek yapısal bağlamda yeni bant genişletme teknikleri ortaya konmuştur. İlave olarak tasarlanan antenlerin RKA azaltımı akım dağılımları da göz önüne alınarak şimdiye kadar uygulanan tekniklerden daha fazla RKA azaltım gerçekleştirilmiştir.

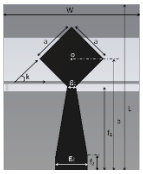
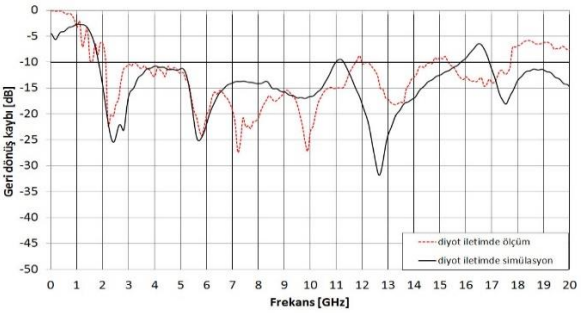
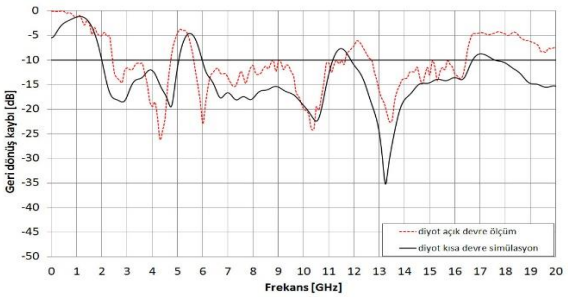
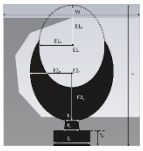
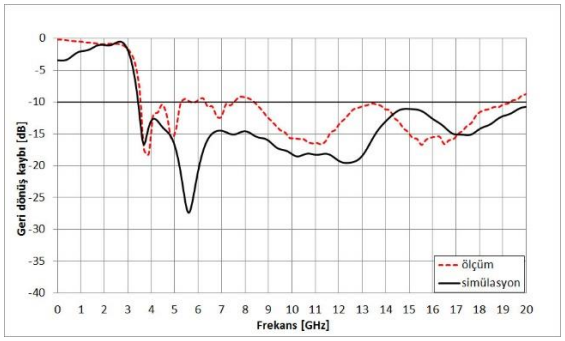
Tez çalışmasının ilk aşamasında şimdiye kadar literatürde birçok örneği bulunan bant anahtarlama yöntemi, ilk kez tasarlanan mikroşerit anten yapısı ile özellikle 5,15-5,35 GHz ve 5,725-5,825 GHz frekansta çalışan WLAN (wireless local area network) sistemleri ile karışmaması sağlanmıştır. Daha önce yapılan bant filtresi ve diyotlar kullanılarak anahtarlama tekniklerinden farklı olarak basit ve sade bir yapı ile ve ilk kez tek bir diyot kullanılarak hem ultra geniş bant ışıma yapan hem de amaçlanan bant aralığında isteme bağlı olarak antenin ışıması kontrol edilebilen tasarım gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada ise mikroşerit antenlerde amaçlanan bir özellik olan küçük boyutlarda olması göz önüne alınarak antenin toprak tabakasında asimetrik bir yapı kullanılmış antenin şimdiye kadar tasarlanan mikroşerit antenler arasında en küçük boyutta olması sağlanmıştır. Her iki antenin geometri ve S_{11} özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında farklı ebat ve geometrilerde özgün anten tasarımları yapılarak RKA azaltımı içim referans anten çalışmaları elde edilmiştir. Bütün bu tasarımlarda izlenen yol benzer olduğundan ultra geniş bant mikroşerit anten tasarımı prosedüründe özgün bir yöntem izlenmeye çalışılmıştır. Tasarımlar için ilk olarak dielektrik malzemenin belirlenmesiyle beraber düz bir besleme hattı kullanılarak besleme girişinin uyumuna bakmaksızın basit geometrilerde temel bir yapı saptanmıştır. Daha sonra farklı dielektrik malzemelerin 50 ohm besleme girişlerine uyumu mevcut formülasyonla hesaplanmış ve öncelikle besleme girişinin genişliği saptanmıştır. Antenin sadece besleme girişi uyumlanması gereken genişliğe

değiştirilerek 50 ohm hatta uyumu sağlanmıştır. Diğer taraftan besleme hattının değişmesiyle ışıması olumsuz değişen anten, yama yapısı ve besleme hattı bağlantı noktasında tekrar genişlik ölçüsü değiştirilerek taper besleme hattı ve yama yapısının uyumu sağlanmıştır. Bütün bunlara ilave olarak farklı kombinasyonlarda besleme noktasına göre asimetrik toprak yapısı ve besleme noktasının bulunduğu x eksenindeki anten genişliğinin orta noktasına göre asimetrik anten yerleşimi veya iki parçalı toprak yapıları kullanılarak anten bant genişliği daha da arttırılmıştır.

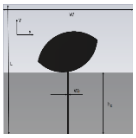
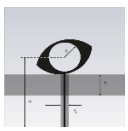
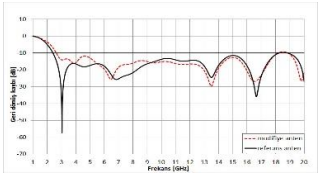
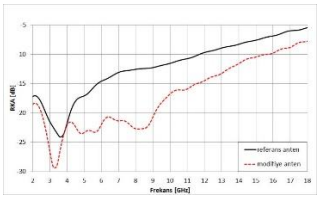
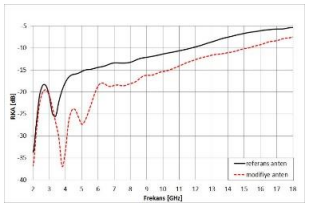
Tablo 4.1. Tasarımı yapılan UGB antenler

Tasarımı yapılan anten geometrisi	S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları	Sonuç
 dörtgen	 	2-11 GHz freakans aralığında ışıma yapan, tek diyot ile bant anahtarlamalı, 40x51 mm boyutlarında UGB anten
 hilal		3,4-20 GHz frekans aralığında ışıma yapan, 17x18 mm boyutlarında minyatür UGB anten

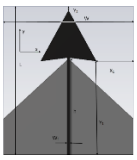
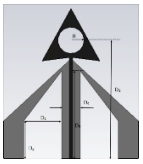
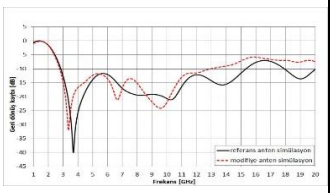
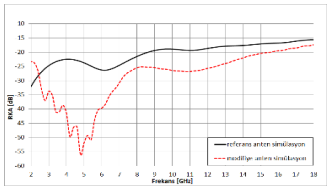
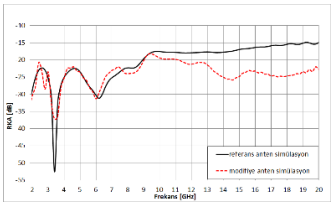
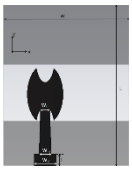
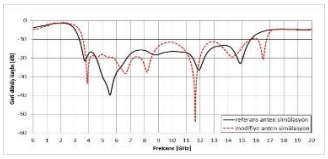
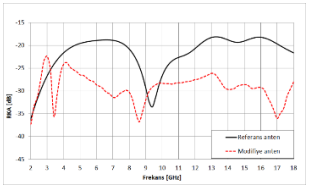
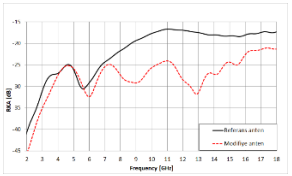
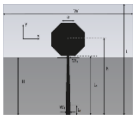
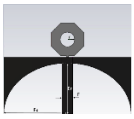
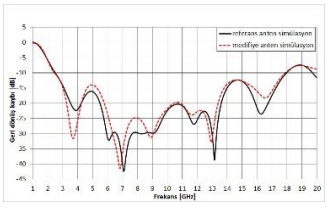
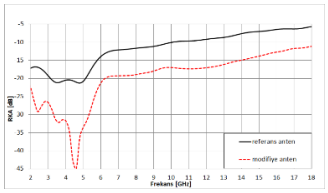
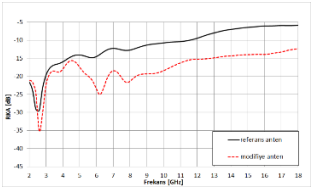
Çalışmanın bir sonraki aşamasında tasarlanan antenler baz alınarak RKA azaltım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle antenlerin toprak tabakaları üzerinde geometrik değişiklikler yapılmış sonrasında yama yapılar üzerinde de değişim uygulanarak anten radar kesit alanı olabilecek maksimum düzeyde azaltma amaçlanmıştır. Anten yüzey akım dağılımları da göz önüne alınarak anten üzerinde uygulanan değişiklikler bir bütün olarak birleştirilerek literatürde mevcut olan antenin belli bir frekans aralığından ziyade bütün çalışma frekanslarında RKA azaltımı sağlanmıştır. Elde edilen verilere göre ortalama 15 dB değerinde gerçekleştirilen azaltım 25 dB değere kadar çıkarılmıştır. Sonuçlar daha önce gerçekleştirilen çalışmaların çok daha üzerindedir. Tasarımı ve RKA azaltımı yapılan UGB antenler Tablo 4.2.' de verilmiştir.

Son aşamada RKA ölçümleri 300 MHz ve 110 GHz frekans aralığında soğurma gerçekleştiren yansımasız bir ortamda alınmıştır. Monostatik RKA ölçümü için iki adet horn anten aynı düzleme ve uzak alan kriterini sağlaması için de antenlerden 17,6 m uzaklığa yerleştirilmiştir. Analizler Agilent E8362B network analizör ile ölçülerek simüle edilen sonuçlar desteklenmiştir. Antenlerin simülasyonları farklı açılardan örnekleme alınarak RKA azaltımının sağlandığı belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Tasarımı ve RKA azaltımı yapılan UGB antenler

Tasarımı yapılan referans ve modifiye anten geometrisi	Referans ve modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları	Referans ve modifiye antenin x ve y polarizasyon RKA azaltım sonuçları	Sonuç
  göz		 	2,5-18 GHz frekans aralığında ışıma yapan, 60x65 mm boyutlarında UGB anten. x polarizasyonda RKA değeri hemen bütün frekanslarda 10 dB ile 5 dB arasında azalmıştır. y polarizasyonda RKA değeri, 2-4 GHz aralığında yaklaşık 15 dB, diğer frekans aralıklarında 5 ile 10 dB arasında azaltılmıştır.

Tablo 4.2. (Devam) Tasarımı ve RKA azaltımı yapılan UGB antenler

Tasarımı yapılan referans ve modifiye anten geometrisi	Referans ve modifiye antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon sonuçları	Referans ve modifiye antenin x ve y polarizasyon RKA azaltım sonuçları	Sonuç
  ok		 	2,8-15,25 GHz aralığında ışıma yapan 41x36 mm boyutlarında UGB anten X polarizasyonda RKA değeri 8-18 GHz aralığında RKA değeri 7 dB, 2,5-8 GHz aralığında 10 ile 30 dB arasında azalmıştır Y polarizasyonda RKA değeri 10-18 GHz aralığında 5 ile 10 dB arasında azaltılmıştır.
  balta		 	3,4-15,5 GHz aralığında ışıma yapan, 28x35 mm boyutlarında UGB anten X polarizasyonda RKA değeri 3-18 GHz aralığında RKA değeri 10 ile 15 dB arasında azaltılmıştır. Y polarizasyonda RKA değeri 2-18 GHz aralığında 5 ile 10 dB arasında azaltılmıştır
  sekizgen		 	2,5-18 GHz aralığında ışıma yapan, 60x70 mm boyutlarında UGB anten X polarizasyonda RKA değeri 2-18 GHz aralığında RKA değeri 8 ile 25 dB,arasında azaltılmıştır. Y polarizasyonda RKA değeri 2,5-18 GHz aralığında 5 ile 10 dB arasında azaltılmıştır

KAYNAKLAR

[1] Copps M. J., Martin K. J., FCC report and order on ultra wideband technology, *Federal Communications Commission*, FCC 02-48, 4-12, 2002.

[2] Chair R., Kishk A. A., Lee K. F., Smith C. E., Kajfez D., Microstrip line and CPW fed ultra wideband slot antennas with U-shaped tuning stub and reflector, *Progress In Electromagnetics Research,* 2006, **56**, 163-165.

[3] Sadat S., Fardis M, Geran F., Dadashzadeh G., A compact microstrip squarering slot antenna for UWB applications, *Progress In Electromagnetics Research*, 2007, **67**, 173-179.

[4] Dastranj A., Imani A., Naser-Moghaddasi M., Printed wide-slot antenna for wideband applications, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, **56**, 3097-3102..

[5] Guo L., Wang S., Gao Y., Wang Z., Chen X., Parini C. G., Study of printed quasi-self complementary antenna for ultra- wideband systems, *Electronics Letters*, 2008, **44**, 511-512.

[6] Lin S.Y., Ke B. J., Ultrawideband printed patch antenna in notch, *Microwave and Optical Technology Letters*, 2009, **51**, 2080-2084.

[7] Wang H., Zhang H., Liu X., Huang K., A CPW- fed ultra-wideband planar inverted cone antenna, *Progress In Electromagnetics Research* , 2010, **12**, 101-112.

[8] Latif S. I., Shafai L., Sharma S. K., Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2005, **53**, 994-1003.

[9] Chen W. S. Ku K. Y., Broadband design of non-symmetric ground λ/4 open slot antenna with small size, *Microwave Journal*, 2007, **50**, 110-121.

[10] Lin Y.C., Hung K. J., Compact ultrawideband rectangular aperture antenna and band-notched designs, *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 2006, **54**, 3075-3081.

[11] Chen D. Cheng C. H., A novel compact ultra-wideband (UWB) wide slot antenna with via holes, *Progress In Electromagnetics Research*, 2009, **94**, 343-349.

[12] Chen W. L., Wang G. M., Zhang C. X., Bandwidth enhancement of a microstrip-linefed printed wide-slot antenna with a fractalshaped slot, *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 2009, **57**, 2176-2179.

[13] Song K., Yin Y. Z Zhang L., A novel monopole antenna with a self-similar slot for wideband applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, 2010, **52**, 95-97.

[14] Kim H., Jung C. W., Bandwidth enhancement of CPW fed tapered slot antenna with multi-transformation characteristics, *Electronics Letters*, 2010, **46**, 1050-1051.

[15] www.fcc.gov/pshs/techtopics/techtopics10.html , (Ziyaret tarihi: 5 Şubat 2015).

[16] Kalteh A. A., Fallahi R., Roozbahani M. G., A novel microstrip fed UWB circular slot antenna with 5-Ghz band-notch characteristics, *IEEE International Conference on Ultralwideband* , 2008, **1**, 117-120.

[17] Ojaroudi M., Ghanbari G., Ojaroudi N., Ghobadi C., Small square monopole antenna for UWB applications with variable frequency band-notch function, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, **8**, 1061-1064.

[18] Liu H. W., Ku C. H., Wang T. S., Yang C. F., Compact monopole antenna with bandnotched characteristic for UWB applications, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2010, **9**, 397-400.

[19] Fabres M. C., On the influence of the shape of planar monopole antennas in the impedance bandwidth performance, *Microwave and Optical Technology Letters,* 2005, **44**, 500-505.

[20] Giuseppe R., Ammann M. J., A novel small wideband monopole antenna, *Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)*, Loughborough University, England, 11-12 April 2006.

[21] Chen Z. N., Planar antennas*, IEEE Microwave Magazine*, 2006, **7**, 63-73.

[22] Ammann M.J., Chen Z. N., A wideband shorted planar monopole with bevel, *IEEE Transactions Antennas and Propagation*, 2003, **51**, 901-903.

[23] Ammann M. J., Control of the impedance bandwidth of wideband planar monopole antennas using a beveling technique, *Microwave and Optical Technology Letters*, 2001, **30**, 229–232.

[24] Antonio-Daviu E., Wideband double fed planar monopole antennas. *Electronics Letters*, 2003, **39**, 1635-1636.

[25] Liu Y., Fu D. M., Gong S. X., A novel model for analyzing the radar cross section of microstrip antenna, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 2003, **17**, 1303-1310.

[26] Knott, E. F., Shaeer J. F., Tuley M. T., *Radar Cross Section*, 2nd ed, Scitech. Publishing., Raleigh, NC, 2004.

[27] Elsharkawy Z. F., Sharshar A. A., Elhalafawy S. M., Elaraby S. M., Ultra wide band A-shaped printed antenna with parasitic elements, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 2010, **24**, 1909-1919.

[28] Yang G. M., Jin R. H., Xiao G. B., Vittoria C., Harris V. G., Sun N. X., Ultrawideband (UWB) antennas with multiresonant split ring loops, *IEEE Transactions On Antenna and Propagation*, 2009, **57**, 256-260.

[29] Lee Y. C., Lin S. J., Sun S. J., CPW fed UWB slot antenna, *Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference*, Yokohama, Japan, December 2006.

[30] Gopikrishna M., Krishna D. D., Anandan C. K., Mohanan P., Vasudevan K., Design of a compact semi elliptic monopole slot antenna for UWB systems, *IEEE Transactions On Antennas and Propagation*, 2009, **57**, 1834-1837.

[31] Azim R., Islam M. T., Misran N., A planar monopole antenna for UWB applications, *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, 2010, **5**, 1848-1852.

[32] Zaker R. ve Abdipour A., Bandwidth enhancement and miniaturization of fork-shaped monopole antenna, *IEEE Antennas and Propagation Letters*, 2011, **10**, 697-700.

[33] Shiu J., Sze J., ve Tu P., Compact ultrawideband square slot antenna with an asymmetric protruding stub*, Microwave and Optical Technology Letters*, 2008, **50,** 1776-1779.

[34] Alam A. H. M. Z., Islam R. ve Khan S., Design of a tuning fork type UWB patch antenna, *International Journal of Computer Science and Engineering*, 2007, **1**, 240-243.

[35] Song K., Yin Y. Z., Fan S. T. Wang Y. Z. ve Zhang L., Open L-slot antenna with rotated rectangular patch for bandwidth enhancement, *Electronic Letters*, 2009, **45**, 1286-1288.

[36] Azim R., Islam M. T., Misran N., A planar monopole antenna for UWB applications, *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, 2010, **5,** 1848-1852.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Dikmen C. M.,** Çakır G., Çimen S., Pin Diyot ile Bandı Kontrol Edilebilen Ultra Geniş Bantlı Anten Tasarımı, *1. Ulusal EMC Konferansı*, Doğuş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 14-16 Eylül 2011.

[2] **Dikmen C. M.**, Çakır G., Miniature Crescent Shaped UWB Antenna, *12. MMS Mediterranean Microwave Symposium*, Doğuş University, İstanbul, Turkey, 2-5 September 2012.

[3] **Dikmen C. M.**, Çakır G., Çift Taraflı Balta Geometrisinde UGB Anten Tasarımı ve Asimetrik Yama Konumlandırılmasının Etkisi, *VI. URSİ Türkiye Bilimsel Kongresi*, Doğuş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2-5 Eylül 2012.

[4] **Dikmen C. M.,** Çakır G. Miniature Crescent Shaped UWB Antenna, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, July 2013, **23**, 494–498.

[5] **Dikmen C. M.,** Çimen S., Çakır G. A Novel Ultra-Wide Band Antenna With Switchable Notch Band, *Microwave and Optical Technology Letters,* July 2013, **55**, 1461–1466.

[6] **Dikmen C. M.,** Çimen S., Çakır G., A Reduced RCS Ultra Wide Band Antenna With Eye Geometry, *2013 XVIIIth International Seminar Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED),* Pidstryhach Institute for Applied Problems in Mechanics and Mathematics, Lviv, Ukraine, 23-26 September 2013.

[7] **Dikmen C. M.,** Çakır G., Double Side Axe Shaped UWB Antenna With Reduced RCS, *APMC 2013 Asia Pacific Microwave Conference*, Coex, Seul, South Korea, 5-8 November 2013.

[8] **Dikmen C. M.,** Çimen S., Çakır G., An Arrow Shaped UWB Antenna With Reduced RCS, *2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, The University of Jordan, Amman, Jordan, 3-5 December 2013

[9] **Dikmen C. M.**, Çimen S., Çakır G., An Octagonal Shaped Ultra Wide Band Antenna with Reduced RCS, *The Second International Symposium on Computer Science and Electrical Engineering (ISCSEE)*, Phuket, Tailand, 14-16 March 2014.

[10] **Dikmen C. M.,** Çimen S., Çakır G., Planar Octagonal-Shaped UWB Antenna With Reduced Radar Cross Section, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* June 2014, **62**, 2946-2953.

[11] **Dikmen C. M**., Çimen S., Çakır G., Design of double-sided axe-shaped ultra-wideband antenna with reduced radar cross-section, *Microwaves, antennas & Propagation IET*, June 2014, **8**, 571-579

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladıktan sonra, 1987 yılında girdiği Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nden 1993 yılında mezun oldu. 1996-1999 yılları arasında yüksek lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. 1994 yılından beri Kocaeli Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.