

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BÜYÜK ELEKTRONİK SOĞUTUCULARIN 30-1000MHz ARALIĞINDA
UZAK ALAN ELEKTROMANYETİK İŞİMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Alparslan Bozkurt KARAMAN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ (ANABİLİM DALI)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BÜYÜK ELEKTRONİK SOĞUTUCULARIN 30-1000MHz ARALIĞINDA
UZAK ALAN ELEKTROMANYETİK İŞİMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Alparslan Bozkurt KARAMAN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ (ANABİLİM DALI)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜK ELEKTRONİK SOĞUTUCULARIN 30-1000MHz ARALIĞINDA
UZAK ALAN ELEKTROMANYETİK İŞIMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Alparslan Bozkurt KARAMAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÜYÜK ELEKTRONİK SOĞUTUCULARIN 30-1000MHz ARALIĞINDA
UZAK ALAN ELEKTROMANYETİK İŞİMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Alparslan Bozkurt KARAMAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 11/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi İ. Bahadır Başyigit

ÖZET

BÜYÜK ELEKTRONİK SOĞUTUCULARIN 30-1000MHz ARALIĞINDA UZAK ALAN ELEKTROMANYETİK IŞIMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Alparslan Bozkurt KARAMAN

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

II. Danışman: Dr. Abdullah GENC

Haziran 2019; 70

Günümüz teknolojisinin gelişmesi beraberinde yarı iletken malzemelerin gelişmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu gelişmeyle birlikte elektronik cihazların devre yapısı karmaşık bir hal almış ve güç ihtiyaçları artmıştır. Devrelerin güç ihtiyaçlarını karşılamak üzere bütünleşik devre yapılarına sahip güç kaynakları tasarlanmıştır. Tasarlanan güç kaynaklarının temel elemanlarını; FET, JFET, MOSFET, BJT vb. yarı iletken anahtarlama elemanları oluşturmaktadır. Güç ihtiyacının sürekli olarak artması anahtarlama elemanlarının anahtarlama hızlarının artmasıyla sonuçlanmıştır. Yüksek anahtarlama hızlarına sahip elemanlar çalışmaları esnasında ısı açığa çıkarırlar. Anahtarlama elemanlarının dolayısıyla elektronik cihazın düzgün çalışabilmesi için açığa çıkan ısı ortadan kaldırılmalıdır. Bu hususta metalik soğutucular anahtarlama elemanlarıyla birlikte kullanılır.

Anahtarlama elemanlarının hızlarının artması anahtarlama frekansının artmasıyla mümkündür. Artan anahtarlama frekansı beraberinde bir takım istenmeyen harmonik bileşenler üretmektedir. Ortaya çıkan frekansın harmonik bileşenleri soğutucu üzerine düşerek ışıma yaparlar. Soğutucuların ışıyarak anten davranışı göstermesi karşımıza bir elektromanyetik uyumluluk problemi olarak çıkmaktadır. Soğutucunun fiziksel boyutlarının, yapısının ve ışıma kaynağının soğutucuya göre konumunun ışıma performansına olan etkisinin gözlemlenmesi bu tez çalışmasının temel konusudur.

ANAHTAR KELİMELER: Alüminyum Soğutucu, Anahtarlama Güç Kaynağı, Anten, Elektromanyetik Uyumluluk, Işıma

JÜRİ: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi İ. Bahadır Başyigit

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FAR FIELD ELECTROMAGNETIC EMISSION BEHAVIOR OF BIG ELECTRONIC HEATSINKS IN THE FREQUENCY RANGE OF 30-1000MHz.

Alparslan Bozkurt KARAMAN

MSc Thesis in Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

II. Supervisor: Dr. Abdullah GENC

June 2019; 70

The development of today's technology has led to the need for the development of semiconductor materials. With this development, the circuit structure of electronic devices has become complicated and their power needs have increased. Power supplies with integrated circuit structures are designed to meet the power requirements of the circuits. Basic elements of designed power supplies; FET, JFET, MOSFET, BJT etc. semiconductor switching elements. The continuous increase in power requirements resulted in an increased switching speed of the switching elements. Elements with high switching speeds generate heat during their work. In order for the switching elements to function properly, the heat released must be eliminated. In this regard, metallic heatsinks are used with switching elements.

Increasing the speed of the switching elements is possible by increasing the switching frequency. The increased switching frequency produces a number of unwanted harmonic components. The harmonic components of the resulting frequency fall on the cooler and radiate. The appearance of the antenna behaviour by radiating the radiators is an electromagnetic compatibility problem. The main subject of this thesis is to observe the effect of the physical dimensions, structures of the heatsink and the position of the radiation source on the radiative performance of the heatsink.

KEYWORDS: Aluminum Heatsink, Antenna, Electromagnetic Compability, Radiation Switch Mode Power Supply

COMMITTEE: Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Asst. Prof. Dr. İ. Bahadır Başyigit

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda soğutucuların fiziksel boyutlarındaki değişimin farklı elektromanyetik ışımaları beraberinde getireceği ve soğutucunun bir anten gibi davrandığı gözlemlendi. Bu hususta sektör de soğutucular vasıtasıyla elektromanyetik uyumluluk testlerinde sorun yaşayan cihaz tasarımcılarına, soğutucu seçerken yol göstereceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında ve yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir zaman yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk HELHEL' e, tezin benzetim ve ölçüm kısmında yol gösteren ve tecrübelerini daima paylaşan Sayın Dr. Abdullah GENC ve Dr. İ. Bahadır Başyigit hocalarıma teşekkür ederim.

Tezimin uygulama ve ölçüm kısımları Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu imkanları sağlayan EMUMAM müdürlüğüne, uygulama ve ölçüm kısmında tecrübe ve desteğini asla esirgemeyen hocam Sayın Arş. Gör. Atalay KOCAKUŞAK' a teşekkür ederim.

Son olarak bu günlere gelmemi sağlayan ve bana daima güvenen babam Sayın Şinasi KARAMAN, annem Sayın Tayyibe KARAMAN ve amcam Sayın Halis KARAMAN' a üstün emeklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Soğutucuların Termal Davranışı.....	3
2.2. Soğutucuların Işıma Üzerindeki Etkisi.....	3
2.3. Güç Elektroniğinde Karşılaşılan Soğutucu Işıma Problemleri.....	7
2.4. Işımaların Kontrolü.....	10
3. MATERYAL VE METOT	14
3.1. Anten Teorisi hakkında Temel Bilgiler ve İlgili Parametreler	14
3.1.1. Giriş Empedansı ve Yansıyan Güç	14
3.1.2. Işıma Verimliliği.....	16
3.1.3. Anten Yönlülüğü.....	17
3.1.4. Anten Kazancı.....	17
3.1.5. Friis İletim Denklemi.....	18
3.2. Soğutucuların Işıma Davranışı	19
3.3. Mikroşerit Yama Antenler ve Soğutucu İlişkisi	20
3.4. Monopole Antenler ve Soğutucu İlişkisi	22
3.5. Soğutucuların Uzak Alan Işımasında Rayleigh Kriteri	24
3.6. Soğutucuların Termal Açıdan Yüzey Alanı Hesabı	25
3.6.1. Kondüksiyon Yoluyla Isı Transferi.....	26
3.6.2. Konveksiyon Yoluyla Isı Transferi.....	26
3.7. Ölçüm Metotları.....	27
3.7.1. Yansımayan Odada Yapılan Uzak Alan Ölçümü	27
3.7.2. S11 Parametresinin Vektör Network Analizör ile Ölçümü	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	30
4.1. Soğutucuların Parametrik Analizi	30

4.1.1 Kanatçık Sayısına göre Analiz.....	30
4.1.2. Soğutucunun Boy Değişimine göre Analizi	32
4.1.3. Soğutucunun En Değişimine göre Analizi.....	33
4.1.3. Soğutucunun Yükseklik Değişimine göre Analizi.....	35
4.2. Soğutucuların Taban Yapısına göre Analizi.....	36
4.3. Soğutucuların Kanatçık Yapısına göre Analizi	41
4.4. Soğutucuların Besleme Noktasına göre Analizi	45
4.4.1. Besleme Noktalarının Benzetim ile Analizi	46
4.4.2 Besleme Noktalarının Ölçüm ile Analizi.....	51
4.4.2.1. Yansımayan odada yapılan uzak alan ölçümleri.....	51
4.4.2.1. VNA ile yapılan S11 parametresi ölçümü	61
6. SONUÇLAR	65
7. KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Büyük Elektronik Soğutucuların 30-1000MHz Aralığında Uzak Alan Elektromanyetik Işıma Davranışının İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurllar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

11/06/2019

Alparslan Bozkurt KARAMAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

dB	: Desibel
KHz	: Kilohertz
MHz	: Megahertz
GHz	: Gigahertz
λ	: Dalga Boyu
C	: Işık Hızı
f	: Frekans

Kısaltmalar

EMG	: Elektromanyetik Girişim
EMU	: Elektromanyetik Uyumluluk
FSV	: Frekans Seçici Geçerlilik
FDTD	: Zamanda Sonlu Farklar Metodu
DC	: Doğru Akım
SBID	: Süper Bilye Izgara Dizisi
PBID	: Plastik Bilye Izgara Dizisi
SiC	: Silikon Karpit
YMT	: Yalıtkan Metal Tabaka
MoM	: Anlar Yöntemi
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
DFFG	: Dört Formlu Faktör Geçmeli
VNA	: Vektör Network Analizör
RF	: Radyo Frekansı
EYBYG	: Etkili Yön Bağımsız Yayılan Güç
PCB	: Baskı Devre Plakası

E Alan : Elektrik Alan
PEC : Mükemmel İletken
EM : Elektromanyetik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4. 1. Soğutucu parametrelerinin soğutucu yapısı üzerinde gösterimi	30
Şekil 4. 2. Farklı kanatçık yapısına sahip soğutucular	31
Şekil 4. 3. Soğutucunun kanatçık sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği	31
Şekil 4. 4. Soğutucunun kanatçık sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	32
Şekil 4. 5. Soğutucunun boy değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği	32
Şekil 4. 6. Soğutucunun boy değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	33
Şekil 4. 7. Soğutucunun en değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği	34
Şekil 4. 8. Soğutucunun en değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	35
Şekil 4. 9. Soğutucunun yükseklik değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği	35
Şekil 4. 10. Soğutucunun yükseklik değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği ...	36
Şekil 4. 11. Soğutucunun taban yapısına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği .	37
Şekil 4. 12. Soğutucunun taban yapısına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	38
Şekil 4. 13. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindir taban için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın iki boyutlu görüntüsü	39
Şekil 4. 14. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindir taban için soğutucu ışıma örüntüsünün polar görüntüsü	40
Şekil 4. 15. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindir taban için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü	40
Şekil 4. 16. Soğutucu örnek kanatçık yapıları sırasıyla sol üstten sağa doğru dikdörtgen tip, gökdelen tip, silindirik tip yandan görünüm, silindirik tip üstten görünüm	41
Şekil 4. 17. Soğutucunun kanatçık yapısına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği	42
Şekil 4. 18. Soğutucunun kanatçık yapısına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	42

Şekil 4. 19. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın üç boyutlu görüntüsü.....	43
Şekil 4. 20. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için soğutucu ışıma örüntüsünün polar görüntüsü.....	44
Şekil 4. 21. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü	45
Şekil 4. 22. Soğutucu tabanında bulunan referans besleme noktaları ve numaraları	46
Şekil 4. 23. Soğutucunun farklı besleme noktalarına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği	47
Şekil 4. 24. Soğutucunun farklı besleme noktalarına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği	47
Şekil 4. 25. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın üç boyutlu görüntüsü.....	48
Şekil 4. 26. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için soğutucu ışıma örüntüsünün polar görüntüsü	49
Şekil 4. 27. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü.....	50
Şekil 4. 28. 2 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	51
Şekil 4. 29. 2 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	52
Şekil 4. 30. 2 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	52
Şekil 4. 31. 2 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	53
Şekil 4. 32. 2 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	53
Şekil 4. 33. 4 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	54

Şekil 4. 34. 4 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	54
Şekil 4. 35. 4 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	55
Şekil 4. 36. 4 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	55
Şekil 4. 37. 4 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	56
Şekil 4. 38. 4 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	56
Şekil 4. 39. 6 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	57
Şekil 4. 40. 6 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	57
Şekil 4. 41. 6 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	58
Şekil 4. 42. 6 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	58
Şekil 4. 43. 8 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	59
Şekil 4. 44. 8 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	59
Şekil 4. 45. 8 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	60
Şekil 4. 46. 8 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	60
Şekil 4. 47. 8 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği.....	61
Şekil 4. 48. 1 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği	62
Şekil 4. 49. 2 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği	62

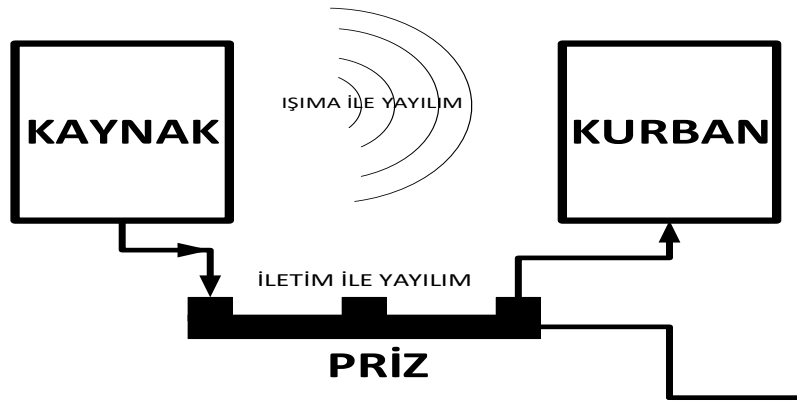
Şekil 4. 50. 4 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği	63
Şekil 4. 51. 5 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği	63
Şekil 4. 52. 10 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yüksek ısı iletimine sahip metaller ve k değerleri	38
---	----

1. GİRİŞ

Çevremizde bulunan ve elektrik kullanan her türlü elektronik, elektromekanik veya elektro-optik cihazlar, çalışmaları esnasında etraflarına elektromanyetik ışıma yaparlar. Etrafa ışıyan bu elektromanyetik dalga içinde bulunduğu ortamdaki diğer cihazların ki bu cihazlar kurban olarak adlandırılır üzerinde bir akım indüklenmesine neden olur. İndüklenen bu akıma bağlı olarak kurban cihazda fonksiyon bozuklukları görülebileceği gibi kurbanın çalışma yeteneğini tamamen kaybetmesi de mümkündür. Anlaşılabileceği üzere ortaya çıkan olgu çift taraflıdır. Kısaca ifade etmek gerekirse elektrik kullanan her cihaz ya başka elektrikli cihazları etkiler ya da kendisi başkalarından etkilenir. Bu olay kabaca elektromanyetik girişim (EMG) olarak adlandırılır ve bu problemi inceleyen bilim dalına elektromanyetik uyumluluk (EMU) denir. Elektromanyetik girişim ışıma ve iletkenlik yoluyla olmak üzere temelde iki guruba ayrılır. Problemin tarafı olan kaynak ve kurban cihazlar tarafından bakışımıza bağlı olarak yukarıda sayılan ışıma ve iletkenlik yollu girişim problemleri de kendi içlerinde yayılım (emisyon) ve iletkenlik olmak üzere tekrar ikiye ayrılır. Bu durum Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Bir elektronik cihazın EMU bakımından performansını incelemek istediğimizde temelde dört elektromanyetik uyumluluk test isteri ile karşı karşıya kalırız.



Şekil 1.1. Işıma ve iletim yoluyla yayılım

Elektromanyetik ışımaların pek çok nedeni olmakla birlikte yarı iletken devre elemanlarının elektronik devrelerde yaygın kullanımının artması da önemli bir nedendir. Bilindiği üzere yarı iletken devre elemanlarının boyutları hızla küçülmekte ve buna paralel olarak anahtarlama hızları da neredeyse üstel olarak artmaktadır. Bu ise yarı iletken elemanın doğrudan ya da dolaylı bir yol üzerinden bağlı olduğu iletken yollar, elemanlar veya soğutucular üzerinden kolayca ve çok yüksek frekanslarda ışıma yapması sonucunu doğurur. Literatürde BJT, FET, MOSFET, JFET vb. transistörler ile bunları barındıran anahtarlama güç kaynakları (AGK) neden oldukları EMG problemlerinin çözümüne ilişkin pek çok çalışma bulunmaktadır. Gong vd. (2013) evirici motor sürücülerin sebep olduğu ortak mod akımlarının iletkenlik yoluyla yaptığı ışımaları incelemişlerdir ve bu ışımaların temel kaynağı olarak JFET anahtarlama elemanın göstermişlerdir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan AGKlar anahtarlama hızlarının ve verimliliğinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmesine rağmen yüksek anahtarlama hızına bağlı olarak yüksek frekans harmonik bileşenlerinin aktarılmasına neden olmaktadır. Bu ise üstesinden gelinmesi gereken bir problemdir. Ahn ve Oh

(2014) harmonik bileşenlerin soğutucular vasıtasıyla çevreye yayıldığını ve bu durumu minimuma indirmek üzere soğutucunun topraklanması gerektiğini beyan etmişlerdir.

Bu arada hızlı anahtarlama sonucunda anahtarlama elemanları ısınacağından işlevlerini düzgün bir şekilde yerine getiremeyeceklerdir. Bunun anlamı başta anahtarlama elemanları olmak üzere tüm elektronik devrenin bir soğutucu vasıtası ile soğutulması gerekliliğidir. Klasik anlamda soğutucular alüminyum veya bakırdan yapılmış basit metal kütlelerdir. İhtiyaca bağlı olarak bu metal kütlelerin yüzey alanını artırmak, içine açılacak yarıklar vasıtasıyla sıvı soğutma sistemi ile desteklemek ve açığa çıkan ısıyı daha kolay uzaklaştırmak için bir fan sistemi eklemek gibi yenilikçi uygulamalarda gereklidir. Piyasada soğutucu üreten firmalar farklı ısı değerleri için farklı boyut ve tasarımlara sahip soğutucular geliştirerek cihaz üreticilerine sunmaktadırlar. Etkili bir soğutma sunulabilmesi için tasarlanan soğutucunun yüzey alanının büyük tutulması esas alınmaktadır. Bunun sebebi konveksiyonla soğutma esnasında havanın daha büyük bir yüzeyle temas ederek soğutma verimini artırmasıdır. Bu bağlamda soğutucu tasarımcıları soğutucuların belirli bir hacim doğrultusunda yüzey alanlarını artırmak için kanatçık veya silindirik yapı benzeri termal tasarımlar gerçekleştirerek soğutma performansını artırmayı hedeflemişlerdir. Geliştirilen tasarımlar da kendi içerisinde farklı kombinasyonlar ile desteklenmiştir. Örneğin kanatçıkların dizilimi hacim üzerinde enine, boyuna, karşılıklı çapraz veya labirent şeklinde olabilir. Aynı zamanda kanatçıkların boyutları da değiştirilerek termal tasarımlar iyileştirilebilir.

Ortaya çıkan ısının etkili bir şekilde dışarı atılması için soğutucu yüzey alanının maksimum büyüklükte olması genel beklentidir. Ancak soğutucu yüzey alanının artması gerçekte o elemanın bir anten formu oluşturması anlamına gelecektir. Temelde mekanikçiler tarafından tasarlanarak kullanıcıya sunulan soğutucu alternatiflerinin elektronik devrelerle birlikte kullanılması bir anlamda kontrolsüz olarak elektromanyetik ısıma yapılması anlamını taşımaktadır. Soğutma performansını eksiltmeden soğutucular üzerinden ortaya çıkan elektromanyetik ısımanın kontrol edilmesi için soğutucunun şeklinin ve besleme noktasının uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Lu vd. (2010) soğutucu modellenmesinde besleme noktası büyük önem taşıdığına dikkat çekmişler. Bu nokta seçilirken soğutucu üzerindeki en sıcak noktanın üzerinde akım dağılımının en fazla olması dolayısıyla girişimin fazla olacağını belirtmişler.

Bu tez hacimce büyük soğutucuların kanatçık boyu, sayısı, derinliği ve aralığının geniş bant elektromanyetik ısıma bakımından etkisinin ele alınmıştır. Ayrıca soğutucu tabanına farklı noktalardan uygulanan sinyalin soğutucunun ısımasında oynadığı roller incelenmiştir. Çalışma ile birlikte cihaz tasarımcıları için yeterli soğutmayı garanti eden aynı zamanda ısıma bakımından da elverişli soğutucu modeli seçimine yönelik fikir vermek hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın 2. Bölümünde kaynak taraması, 3. Bölümünde çalışmanın teorik yapısının ve ölçüm yönteminin bahsedildiği materyal ve metot kısmı, 4. Bölümünde çalışmaya ait benzetim ve ölçüm bulguları, 5. Bölümünde literatürde var olan çalışmalar ile elde edilen bulguların karşılaştırılması, 6. Bölümünde çıkarılan sonuçlar ve 7. Bölümde çalışmada referans gösterilen kaynaklar yer almaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Tezde soğutucular incelenirken soğutucuların termal davranışı ve elektromanyetik ısıma davranışı ayrı ve birbirinden bağımsız konular olduğundan farklı başlıklara ayrılarak incelenmiştir.

2.1. Soğutucuların Termal Davranışı

Bar-Cohen ve Rohsenow (1984) simetrik ve asimetrik paralel plakalar arasındaki mesafenin ısı transferini maksimize eden en uygun değerini belirlemeye yönelik analitik optimizasyonlar üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada plaka yüzeyi boyunca ısı transfer katsayısının değişiminin kompozit ilişkilerin geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Bu bağlamda kompozit ilişkileri matematiksel olarak geliştirip doğrulamak ve optimizasyon kısmının formülünü çıkarmak üzere çeşitli sınır şartları için denklemler çözümlenmiştir. Bu çözümlenmeleri bir tabloda toparlayarak; izotermal simetrik ve asimetrik plakalar, eş akışkan simetrik ve asimetrik plakalar için ısı transfer oranı, optimum plakalar arası boşluk değerini veren formülleri elde etmişlerdir (Bar-Cohen ve Rohsenow 1984).

Shah vd. (2004) sıkıştırılmış soğutucu yapısının performansını nümerik yöntemlerle ele almışlardır. Soğutucunun kanatçıklarının şeklinin ve soğutucu merkezine olan yakınlığının bağlı bulunduğu muhafaza üzerine ısı atma performansını incelemişlerdir. Soğutucunun merkez noktasında basınç değerinin yüksek olduğu dolayısıyla hava akışının önemli ölçüde azalacağını vurgulamışlardır. Bu durumu göz önüne alarak basınç değerini artırmadan termal performansı artırmak amacıyla en uygun soğutucu tasarımını gerçekleştirmek üzere farklı kanatçık şekillerini ve havanın farklı akış durumlarını araştırmışlardır. Kanatçıkların en, boy, yükseklik değerlerini değiştirip merkeze en yakın olan kanatçıkları çıkararak on yedi farklı tasarımı karşılaştırmışlardır. Isı akışını en iyi sağlayan ve basınç değerini artırmayan en uygun soğutucu şeklini belirlemişlerdir. Aynı zamanda soğutucunun merkezindeki kanatçığın çıkarılmasının ısı atış performansını ve hidrolik performansını artırdığını saptamışlardır (Shah vd. 2004).

2.2. Soğutucuların Isıma Üzerindeki Etkisi

Bhobe ve Sochoux (2010) soğutucuların uzak alandaki elektrik alan değerlerini karşılaştırmak için Frekans Seçici Geçerlilik (FSG) metodunu kullanmışlardır. İki farklı benzetim programında benzetimi yapılan ve ölçümü gerçekleştirilen soğutucu için elde edilen verilerin birbiri ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Ölçüm verisi referans olarak alındığında benzetim için kullanılan benzetim programlarının kabul edilen frekans aralığı içerisindeki belirli frekans değerleri için benzetim programları doğruluk yönünden karşılaştırılmıştır. Programdan elde edilen verinin ölçüm sonucu ile daha iyi uyuştuğunu belirlemek maksadıyla iyiden (0) kötüye (1.6) doğru 0 ile 1.6 arasındaki sayıları kullanarak bir sınıflandırma metodu oluşturmuşlar. Her iki benzetim programı içinde farklı frekanslarda veriyle örtüşme oranı birbirinden bağımsız sonuç vermiştir ve kendi aralarındaki örtüşmenin zayıf olduğu gözlemlenmiştir (Bhobe ve Sochoux 2010).

Shen vd. (2017) eşdeğer alan kaynağı yaratmanın bütünleşik devre yapılarından uzak alanda yayılan ışımların tahmininde verimli bir metot olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yayılan ışımların en yüksek değerinin belirlenmesi için soğutucu ile bütünleşik

devrenin arasındaki boşlukta eşdeğer kaynak oluşturulmuştur. Soğurucu malzeme ile kaplı elektrik alan probuyla ölçüm alınmıştır. Alınan ölçüm neticesinde elde edilen elektrik alan değeri benzetim ortamında uyarım kaynağı olarak kullanılmıştır. Ölçüm ve benzetim sonuçlarının birbiriyle uyumlu olmasının yanı sıra ölçümde kullanılan fazlı kaynak için 40 GHz 'e kadar 7 dB hata, fazsız kaynak için 10 GHz 'e kadar 7 dB hata gözlemlenmiştir. Bu metot sayesinde elektrik alanın dikey bileşeni alınarak uzak alan ölçüm tahminleri yapılmış ve yansımayan oda ölçümlerine istinaden alternatif bir yol oluşturulmuştur (Shen vd. 2017).

Brench (1994) soğutucuların ısıma karakteristiklerinin soğutucu geometrisine bağlı olarak üç boyutlu olacak şekilde zamanda sonlu farklar metodunu (FDTD) kullanarak incelemiştir. Çok büyük ölçekte tümleşik devrenin ısıma kaynağı olarak modellenmesi için soğutucu ile toprak düzlemi arasına değişmeyen elektrik alan bölgesi kurarak gerçeklemiştir. Bu yöntemle sonuçların laboratuvar ortamında yapılan ölçümlere yakın olması amaçlanmıştır. Farklı boyutlu soğutucular incelenmiş fakat soğutucuların kanatçıklarının etkisi ısıma davranışına büyük bir etkisi olmadığından göz ardı edilmiştir. Ayrıca soğutucunun uyarım noktaları değiştirilmiş ve soğutucunun modül toprak düzlemine bağlantısının ısımaya etkileri gözlemlenmiştir (Brench 1994).

Lu ve Dawson (2006) sonlu elemanlar nümerik metodunu kullanarak mikro elektronik devreye bağlı olan soğutucunun benzetimini yapmışlardır. Bu benzetimde soğutucunun 3 farklı topraklama durumunu incelemiştir. Ele aldıkları soğutucu modeli Intel P4 işlemcide kullanılan soğutucu modelidir. Topraklamalı gerçekleştirilen benzetimde 2.6 GHz frekansta yansıma sabiti 8.3 dB olarak gözlemlenmiştir. Bu değer IEEE haberleşme standartlarına ve bluetooth kablosuz haberleşme çalışma frekansı olan 2.4 GHz e oldukça yakın çıkmıştır. Aynı zamanda diğer bir rezonans frekansı olan 4.5 GHz kablosuz haberleşme çalışma frekansı içerisinde var olup elektromanyetik uyumluluk açısından tehlike arz edebileceği belirtilmiştir (Lu ve Dawson 2006).

Covert vd. (2007) hem soğutucunun hem de antenin gerekli olduğu örneğin yüksek güç verileri vb. durumlarda soğutucunun yaptığı ışımaları en üst seviyeye taşımının avantaj yaratabileceğinden bahsetmişlerdir. Aynı zamanda bu gibi bir durum toplam bileşen sayısının azaltılması niteliğindedir. Bu fikri uygulamak adına mikro şerit yama anteni tasarım şartlarına uygun 2.4 GHz pin kanatçık yapısına sahip soğutucu anten tasarlamışlardır. 2.4 GHz pin kanatçık yapısına sahip soğutucunun yanında 5.8 GHz kalıp kanatçık yapısına sahip soğutucu üretmişlerdir. Ayrıca kalıp kanatçık yapısına sahip soğutucunun polarizasyonunun değişiminin ısıma yaptığı frekansı değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu yöntemle tasarlanan soğutucu antenin kazancını 12.6 dBi olarak hesaplamışlardır (Covert vd. 2007).

Zhu vd. (2008) Intel Pentium Dual Die işlemcinin ortaya çıkardığı harmonik bileşenlerin üzerine düşmesiyle soğutucunun yüksek ısıma frekansına sahip bir yama anten görevini gördüğünü ileri sürmüşlerdir. Bu bağlamda sonlu elemanlar yöntemi ile modelleyerek benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Önceki çalışmalarında ele aldıkları Pentium 4 işlemcinin üst versiyonu olarak Pentium Dual Die işlemciyi incelemiştir. Moore kanunlarının geçerliliğini korumasıyla her 18 ayda bir geliştirilen işlemcinin transistör sayısı eskisinin 2 katına ulaşmaktadır. Bu göz önüne alındığında işlemci üzerinde bulunan soğutucunun anten davranışının artması beklenmektedir. İncelenen Pentium Dual Die işlemci 2.18 GHz ve 4.90 GHz de yansıma kat sayıları sırası ile -

20.94 dB ve -21.83 dB olarak ölçüm ve benzetimle ayrı ayrı elde etmişlerdir. Önceki çalışmalarında ele aldıkları Pentium 4 işlemcinin 2.6 GHz’de -8.3 dB yansıma kat sayısının elde edilmiş olması göz önüne alındığında yeni işlemci yapısıyla soğutucunun anten davranışının arttığını beyan etmişlerdir. Bu sorunsaldan kaçınmak adına çözüm metodu olarak soğutucunun şekil ve boyutlarının ışımayı azaltacak şekilde uyarlanmasını önermişlerdir (Zhu vd. 2008).

Lu vd. (2010) yüksek güçlü mikro elektronik devreler olan Intel Pentium 4 ve Intel Pentium Dual Core için soğutucuları vasıtasıyla yaptıkları ışımaları 2.4 GHz ve 5 GHz’de sırasıyla -19 dB ve -8 dB’nin altında gözlemlemişlerdir. Bu frekanslar dikkate alındığında IEEE ve bluetooth haberleşme sistemlerine yakın olduğu görülmüştür. Buna istinaden çift çekirdekli işlemci ve çift kaynaklı modele dayanan yeni bir kıyaslama modeli önerilmişlerdir. Soğutucu modellenmesinde besleme noktası büyük önem taşımaktadır. Bu nokta seçilirken soğutucu üzerindeki en sıcak noktanın üzerinde akım dağılımının en fazla olması dolayısıyla girişimin fazla olacağına dikkat çekmişlerdir. 1 ile 6 GHz bandında benzetim ve ölçüm gerçekleştirerek yansıma kat sayılarını elde etmişlerdir. Farklı soğutucuların bulunduğu ölçüm ve benzetimde frekans bandında iki rezonans frekansı gözlemlemişlerdir. İlk rezonans frekansı 1.77 GHz ile 2.18 GHz aralığında diğer rezonans frekansı ise 5.25 GHz ile 5.52 GHz aralığında farklı soğutucu modelleri için farklılık göstermiştir (Lu vd. 2010).

Manivannan vd (2010) soğutuculardan yayılan ışımaları azaltmak için soğutucu boyutlarını Taguchi tasarım metodunu kullanmışlardır. Benzetimini sonlu elemanlar nümerik yöntemi ile gerçekleştirip yarı yansımaya odada yapılan ölçüm sonuçlarıyla da desteklemişlerdir. Taguchi metoduyla 27 farklı kombinasyon elde etmişlerdir. Bu kombinasyonlar ışıma bakımından uygun soğutucuyu bulmak adına soğutucu uzunluğu, soğutucu eni, kanatçık yüksekliği, taban boyu ve kanatçık sayısı parametreleriyle hesaplanmıştır. Soğutucu kanatçıkları yüksek frekansta monopole anten davranışı göstereceğinden bahsetmişlerdir. Taguchi tasarım metodundan elde edilen veriler ışıma üzerindeki etkisi bakımından soğutucu uzunluğunun %44 ile ana rolü oynadığı, ikinci olarak taban yüksekliğinin %22.79 oranla, üçüncü olarak soğutucu eninin %21.62 oranla, dördüncü olarak kanatçık sayısının %5.8 oranla, beşinci olarak ise kanatçık boyu %3.2 oranla sonuçlara etki ettiği ancak kanatçık kalınlığının %1’in altında olduğunu gözlemlemişlerdir. Ölçüm ve benzetimler 1 ile 10 GHz aralığında yapılmış olup elde edilen sonuçlara 3 GHz’de var olan rezonans frekansında ulaşmışlardır (Manivannan vd 2010).

Georgerian ve Montrose (2003) soğutucuların 100-700 MHz aralığında hem ışıma bakımından hem de soğutma bakımından en uygun davranışı göstermesi gerektiğini söylemişlerdir. Soğutucu çevre güvenliği, soğutmakla yükümlü olduğu cihazı soğutmayı garanti etmesi gibi bir takım termal yükümlülükleri yerine getirmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Ancak bu yükümlülükler yerine getirilmediğinde soğutucular üzerindeki fazla ısıdan ötürü çevreye karşı tehlike arz etmekte olduğunu örnek olarak yangına sebebiyet verebileceği veya temas halinde deride yanık oluşturabileceğini eklemişlerdir. Gerekli soğutmayı sağlaması için soğutucu boyutlarının artması orantılı olarak soğutucunun anten davranışını da artıracığından ortaya bir ikilem çıkmıştır. Bu ikilemi aşmak için ışımayı en düşük, termal soğutmayı en yüksek düzeyde tutacak bir soğutucunun tasarlanması gerektiğine karar kılınmıştır. Işımanın gerçekleşmesi için dalga boyunun λ ile $\lambda/20$ arasında soğutucunun herhangi

bir boyutunun bu aralıktaki dalga boyuyla eşleşmesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Buna istinaden soğutucuların kanatçık boyunu değiştirip ısımaya etkisini ve termal yünden etkisini gözlemleyerek ikisi içinde en uygun değerleri veren soğutucuyu seçmişlerdir (Georgerian ve Montrose 2003).

Manivannan vd. (2010) soğutucuların 1 ile 10 GHz frekans aralığında Taguchi tasarım metodu tabanlı Grey ilişkisel analizini kullanarak çoklu nesnel optimizasyonu yapmışlardır. Soğutuculardan yayılan ışımlar, termal direnç, basınç değişimi ve soğutucu kütlelerini düşürmeye, ortalama ısı transfer kat sayısını artırmaya çalışmışlardır. Taguchi tasarım metodu tabanlı benzetimde soğutucu uzunluğu, soğutucu eni, kanatçık yüksekliği, taban yüksekliği, kanatçık sayısı ve kanatçık kalınlığı parametre olarak soğutucu optimizasyonunu elde etmeye çalışmışlardır. Çoklu nesnel optimizasyon Grey ilişkisel analiz yöntemiyle tekli nesnel optimizasyona dönüştürülerek uygun soğutucu boyutlarını elde etmişlerdir. 3 GHz’de 27 farklı kombinasyonun benzetimini gerçekleştirip Taguchi tasarım metoduyla harmanlayarak en uygun olanları seçmişlerdir. Ölçüm sonuçları ile desteklemek üzere seçilen soğutucuları üretmişlerdir. Bu kombinasyonlarda kanatçık sayısı, boyu ve kalınlığının ısımaya etkisinin çok az olduğunu gözlemlemişlerdir. Grey analizi ile soğutucu ışıması, termal direnç, basınç değişimi ve kütlesi en küçük çıkan, ısı transfer kat sayısı en yüksek çıkan soğutucuyu belirlemişlerdir. Bu soğutucu en iyi soğutucu modelini oluşturmuştur. Ayrıca çalışma sonucunda Taguchi tasarım metodu tabanlı Grey analizinin soğutucu tasarımında en iyi yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Manivannan vd. 2010).

Das ve Roy (1998) dairesel soğutuculardan yayılan ışımları incelemişlerdir. Soğutucuyu monopole anten şeklinde alarak sonlu elemanlar nümerik yöntemiyle benzetimini yapmış ve yarı yansımaya odada ölçümünü gerçekleştirerek ısıma örüntüsünü çıkarmışlardır. 1 ile 5 GHz arası gerçekleştirilen ölçüm ve benzetimde sırasıyla monopole beslemeyi, monopole besleme ile birlikte epoksi ve metal kapaktan oluşan yapıyı ve monopole besleme epoksi metal yapının üstüne soğutucuyu ekleyerek 3 ayrı model için sonuçları analiz etmişlerdir. Monopole beslemeyi 30.5 mm seçmişlerdir. Bu da 2.459 GHz’de çeyrek dalga boyunu oluşturmuştur. İlk modelde ışımların 2.35 GHz frekansına yakın bölgelerde yoğun olduğunu gözlemlemişlerdir. İkinci modelde monopole besleme 26 mm uzunluğuna düşmüş ve ısıma 2 ile 3 GHz arasında yoğun görülmekle birlikte 2.45247 GHz’de tepe değerinde olduğunu 26 mm monopole beslemenin 2.88 GHz’de çeyrek dalga boyuna ulaştığını belirtmişlerdir. Soğutucunun eklendiği üçüncü modelde ise ışımanın tepe değerini 1.575 GHz’de elde etmişlerdir. Bu parametreler dahilinde ışımların soğutucunun eklenmesiyle düşük frekans bölgesine kaydığı sonucuna ulaşmışlardır (Das ve Roy 1998).

Drewniak vd. (2001) soğutucuların sebep olduğu ışımları zamanda sonlu farklar yöntemi ile benzetimini yaparak incelemişlerdir. Ayrıca sonuçları desteklemek üzere ölçümlerini yapmışlardır. Farklı topraklama kombinasyonlarına sahip soğutucuların tasarımlarını benzetim ortamında gerçekleştirmişlerdir. Soğutucuların devre kartının üzerine sıkıca bağlanmasının herhangi bir elektriksel bağlantı olmadığı halde önemli oranda ışımayı azalttığını belirtmişlerdir. Soğutucudan çıkan toprak devre kartının topraklamasına iyi bir elektriksel bağlantı ile bağlandığında 100 MHz ile 5 GHz frekans aralığında 10 ile 25 dB arasında ışımayı azalttığını ifade etmişlerdir. Ölçüm ve benzetim sonuçları 1 GHz’in altında farklılık göstermekle birlikte 1 ile 5 GHz arasında birbiriyle örtüştüğünü dile getirmişlerdir. Ölçüm ve benzetimde birbirinden farklı 5 adet

konfigürasyon denemişlerdir. Bu konfigürasyonlarda topraksız soğutucuların olduğu durumlardaki ısıma sonuçlarının daha yüksek çıktığını beyan etmişlerdir. En iyi sonucu ise soğutucunun tüm köşelerinin topraklanmasıyla elde ettiklerini ve diğer konfigürasyonlara göre 100 MHz ile 5 GHz arasında 10 ile 25 dB aralığında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır (Drewniak vd. 2001).

Ryan vd. (2002) soğutucuların zamanda sonlu farklar nümerik yöntemiyle benzetimini yaparak en uygun soğutucu geometrisi ve bileşenlerin en uygun yerleşim yerinin tespitine yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki temel amaç ışımayı olabildiğince azaltmaktır. Besleme noktasını değiştirdiklerinde rezonans frekansın aynı kaldığı fakat uyarım seviyesinin değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu gözlemler neticesinde ısıma bakımından en yüksek sonuç beslemenin merkezde olduğu durumda elde etmişlerdir. Benzetim ortamında 0 Hz ile 1.5 GHz arasında ilk olarak ince kablo şeklinde bir boyutta besleme yapılmış ve en yüksek ısıma değerini beslemenin dik olarak alındığı durumda olduğunu ifade etmişlerdir. İkinci olarak iki boyutlu benzetim yapmışlar ve en ille boyun değişimini birbirlerine göre incelediklerinde 200 mm plakanın boyunun enine yirmide bir oranda olduğu durumda 31 dB ısıma değeri, boyun enine ikide bir oranda olduğu durumda 21 dB ısıma değerine ulaşmışlardır. Aynı zamanda ısıma grafiğinin şeklinin aynı kaldığını sadece seviyesinin değiştiğini belirtmişlerdir. Üçüncü olarak kanatçıkların etkisini hesaba katmışlar ve kanatçıkların rezonans frekansını düşürdüğünü öngörmüşlerdir. Bunun için enine, boyuna ve pin kirpi soğutucu şeklinde kanatçıkları denemişlerdir. Kanatçıkların etkisini ortaya koymak adına kütük şeklinde soğutucu alınmış ve 3 dB civarı ışımanın azaldığını gözlemlemişlerdir. Soğutucu merkezden uyarılıp boyuna kanatçık kullanıldığında enine kanatçıklara göre 1.5 dB ışımanın azaldığını belirtip kirpi soğutucuların enine kanatçıklar ile aynı sonucu verdiğini beyan etmişlerdir. Plakanın köşe noktasında uyarım yapıldığında plakanın enine ve boyuna kenarlarının orta noktalarındaki uyarıma göre ısıma değeri 320 MHz'de 10 dB fazla çıktığını saptamışlardır. Kenardan uyarım yapıldığında boyuna kanatçık yapısına sahip soğutucuların 11 dB, enine ve kirpi soğutucu pin (iğne) şeklindeki soğutucuların 20 dB ışımalarında artış olduğu sonucuna varmışlardır (Ryan vd. 2002).

2.3. Güç Elektroniğinde Karşılaşılan Soğutucu Isıma Problemleri

Grobler ve Gitau (2017) metal soğutucuların topraklamaları üzerinden ilettikleri ışımayı azaltmak için polimer soğutucuları incelemişlerdir. Bu fikri soğutucu ile toprak arasındaki empedansı artırarak ışımayı azaltma düşüncesiyle ortaya atmışlardır. DC-DC (Doğru Akım-Doğru Akım) dönüştürücüyü ısıma kaynağı olarak soğutucunun üzerinde parazitlik kapasitense yoluyla ortak mod akımlarına yol açtığını belirtmiş ve polimer malzemeden üretilmiş soğutucunun metal soğutuculara göre daha az kapasiten etki göstereceğine değinmişlerdir. Ayrıca polimer soğutucuların tıpkı metal soğutucular gibi ısıyı yeterli oranda uzaklaştırdığını ifade etmişlerdir. Sonlu elemanlar nümerik yöntemiyle benzetimini yapıp ölçüm sonuçları ile desteklemişlerdir. Ölçüm ve benzetim için EpoxAcast690 ve F19UrethaneResin olmak üzere iki farklı bakır katkılı polimer kullanmışlardır. Polimer malzemelerin termal performansını alüminyuma göre kıyaslamışlar ve alüminyum polimer malzemeden 3 kat daha iyi performans göstermiştir. Ancak termal iletken macun kullanımıyla bu oranı 2 kata düşürmüşlerdir. 120 W ve altı ısılar için polimer malzeme katkılı alüminyum katkılı soğutucuların güvenle kullanılabileceğini dile getirmişlerdir. İletkenlik yoluyla gerçekleşen ışımaları

incelediklerinde 10 KHz ile 30 MHz aralığında fark mod akımları dikkate değer bir değişiklik göstermese de ortak mod akımlarından elde ettikleri verileri analiz ettiklerinde polimer katkılı soğutucunun 100 KHz ile 30 MHz aralığında ışımayı 20 dBuV azalttığı sonucuna ulaşmışlardır (Grobler ve Gitau 2017).

He vd. (2008) devre kartlarında kullanılan ve kablo bağlantıları olan soğutucuların FCC ve CISPR standartları gereğince ışıma limitini aşmaması için üzerlerine indüklenen gerilimin oluşturacağı maksimum alanı belirlemeye yönelik kapalı formlu bir ifade türetmişlerdir. Tümleşik devre elektriksel olarak küçükse ve soğutucunun kapasitansın tümleşik devreye göre küçükse yayılan ışımaların tahmini için bir model geliştirilebileceğine değinmişlerdir. Bu modelde soğutucu tümleşik devre kablo yapısının yerine eşdeğer tümleşik devre kablo yapısı kullanmışlardır. Eşdeğer gerilim kaynağını kablonun karta bağlandığı yere yerleştirmişlerdir. Bu sayede eşdeğer gerilimi hesaplamışlardır. Tam dalga benzetimi yapılarak 500 MHz'e kadar kabloyu ve soğutucuyu gösteren benzetimler birbirleriyle eşleşmiş, 500 MHz'in üstündeki frekanslar içinse soğutucudan gelen ışımanın kabloya göre daha baskın çıktığını gözlemlemişlerdir (He vd. 2008).

Rollin vd. (1999) tümleşik devrelerde bileşen seviyesinde paketleme yaparak istenmeyen ışımaların ortadan kaldırılabilceğini belirtmişlerdir. Bu doğrultuda 10 GHz'e kadar paketleme performansını artırmak amacıyla plastik bilye ızgara dizisi (PBID) ve süper bilye ızgara dizisi (SBID) olmak üzere iki farklı paketleme yöntemini ele almışlardır. GTEM hücresi içerisinde PBID ve SBID paketleme yöntemlerinin ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. SBID için ölçüm yapılırken PBID referans olarak alınmıştır. SBID paketleme 38 dB civarı ışımayı azaltma performansı göstermiştir. Ayrıca SBID paketleme yöntemi soğutucu ile kullanıldığında topraklama sayısı ve noktalarına oldukça bağlıdır. 4 GHz'in altındaki frekanslarda topraklama sayısının artışı ışıma miktarının azalmasını sağlamıştır. SBID paketleme ile birlikte soğutucunun da kullanılmasıyla birlikte ışıma değerinin 8 dB arttığını beyan etmişlerdir. 4 GHz'in altında SBID paketleme ve optimum topraklamaya sahip soğutucunun birlikte kullanılması, yalın bir şekilde kullanılan PBID paketleme yöntemine göre 10 dB daha fazla ışımayı bastırdığını gözlemlemişlerdir (Rollin vd. 1999).

Klotz vd. (1996) farklı test devreleriyle IGBT'lerin sebep olduğu iletkenlik yoluyla gerçekleşen ışımaları incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar dahilinde ortak ve fark mod ışımaların tahmin edilmesi için ortaya bir model çıkarmışlardır. Bu model vasıtasıyla EMU için çözümler belirlemeye çalışmışlardır. Ölçüm işleminde IGBT'lerin davranışını görmek üzere Chopper devresi alınmıştır. İnceledikleri NPT ve PT tipi IGBT yapılarının ışıma bakımından nerdeyse aynı sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri spektrumdaki farklılıkları ise diyotların geri kurtarma davranışına bağlı olan akım değişim oranları olarak yorumlamışlardır. Buna istinaden daha hızlı anahtarlama sahip NPT tipi IGBT 3 MHz'in üzerindeki frekanslarda daha yüksek ışıma değerlerini gösterdiğinden bahsetmişlerdir. IGBT için kullanılan soğutucu topraklandığında 260 KHz ile 8 MHz arasında 75 dBuV olan ışıma değerinin 92 dBuV değerine ulaştığını görmüşlerdir. Bunun sebebinin ise bariz bir şekilde ortak mod akımlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca model olarak IGBT üzerine farklı izolasyon malzemelerinin etkisini 500 KHz ile 8 MHz arasında incelemişler ve etkisinin maksimum 16 dBuV olduğunu elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda ışıma

spektrumunun yarı iletkenin yapısından bağımsız olduğuna karar vermişlerdir. Fark mod akımlarının temel kaynağı olarak diyotları göstermişlerdir (Klotz vd. 1996).

Zhou vd. (2013) devre kartlarında kullanılan çeşitli elektronik ve mekanik bileşenlerin ısıma analizini gerçekleştirmek üzere sonlu elemanlar nümerik yöntemi temelli üç boyutlu elektromanyetik benzetim ara yüzü geliştirmişlerdir. Bu benzetim ara yüzünde optik konektörler, gövde üzerindeki ısımalar, soğutucular üzerindeki ısımalar ve fanlar gibi 1 ile 40 GHz aralığında modellemişlerdir. Benzetimde elde ettikleri sonucu doğrulamak için laboratuvar ortamında yansıyan odada ölçümünü yapmışlardır. Sonuçların birbiriyle mükemmel şekilde örtüştüğünü beyan etmişlerdir. Benzetim yöntemini denemek adına soğutucu ile devre kartı arasına iki farklı soğurucu malzemeyi ayrı ayrı koyarak etkilerini incelemişlerdir. Önceki yapılan çalışmalar ve ölçümlerini referans alarak benzetimde 5 ile 25 GHz frekans aralığında 5 ile 10 dB aralığında zayıflama gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlarında referans değerlerle iyi bir şekilde uyuştuğunu belirtmişlerdir (Zhou vd. 2013).

Felic ve Evans (2001) anahtarlamalı güç kaynaklarının (AGK) sebep olduğu soğutuculardan yayılan ısımaları araştırmışlardır. AGK'lar içerisinde bulunan MOSFET lerin drain-source voltaj değişiminin parazitik etkilerini incelemişlerdir. Soğutucu ile drain arasındaki parazitik kapasitansı azaltırsak ısımanın da azalacağını belirtmişlerdir. Buna sebep olarak ise azalan sürücü voltajının soğutucu üzerinde daha az etkisinin olacağını göstermişlerdir. 200 MHz ile 2 GHz aralığında zamanda sonlu farklar nümerik yöntemiyle soğutucunun benzetimini yaparak ısıma örüntüsünü çıkarmışlardır. Çalışmada özgün olarak soğutucunun AGK'larda kullanılması cihaz yakınlarında elektrik alanı artıracak yönde etki göstermesi beklenmiş ve bunu gözlemek adına bir deney düzeneği kurmuşlardır. Çalışmada hangi frekans aralığında ortaya çıkacak elektrik alanın genliği önem arz eder sorusundan yola çıkarak basit bir buck çevirici devresi kurmuşlardır. Devrede kullanılan mosfet üzerine bir soğutucu yerleştirmişlerdir. Elektrik alan tek kutuplu probu kullanarak 20 MHz ile 220 MHz aralığında ölçüm yapmışlardır. Ölçümde AGK'nın güç seviyesini 10 watt'ın altında ve anahtarlama frekansını 100 KHz'in üstünde tutmuşlardır. AGK açıkken ortamdaki ısıma seviyesi 10 ile 30 dB aralığında artmıştır. Soğutucu olmayan AGK da 35 MHz'de yapılan ölçümde 20 dB ısıma gözlemlemişlerdir. Ayrıca soğutucuyla yapılan ölçümlerde 25 ile 50 MHz arasında 25 dB civarında ısıma saptamışlardır (Felic ve Evans 2001).

Gong vd. (2012) evirici motor sürücülerin sebep olduğu ortak mod akımlarının iletkenlik yoluyla yaptığı ısımaları incelemişlerdir. Evirici motor sürücü olarak silikon karpit (SiC) JFET'leri ele alarak üst kısımlarına yalıtkan metal tabaka (YMT) ekleyip ısmayı bastırmaya çalışmışlardır. YMT kullanılmış evirici ile soğutucu kullanılmış eviriciyi kıyasladıklarında ikisinde de aynı parazitik kapasitansı gözlemlemişlerdir. Ortak mod akımları için filtreler kullanılsa da filtrelerin sadece düşük frekans bölgesindeki ısıma bileşenlerini bastırdığını ancak orta ve yüksek frekans bileşenlerine etki etmediğini ifade etmişlerdir. Bu sorundan yola çıkarak ortak mod eşdeğer devresini parazitik bileşenler vasıtasıyla modellemişlerdir. Ayrıca modelin filtre ekleme kayıplarının da hesaplanmasına olanak sağladığını belirtmişlerdir. Deney ve hesaplamaları sonucunda iletkenlik yoluyla oluşan ısımaları 150 KHz ile 30 MHz arasında bastırmaya yönelik bir rehber oluşturmuşlardır. Model önerildikten sonra farklı filtre tasarımlarını model ile karşılaştırmış ve en uygun filtre tasarımını tanımlamışlardır. Bunun yanında yüksek frekans bölgesinde ısımaları bastırmak üzere

alternatif çözümler önermişlerdir. Yapılan kıyaslamada YMT'nin 4.6 MHz'de yaptığı ışıma soğutucu kullanılan eviricinin yaptığı ışımadan 6 dB daha yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir. İncelenen farklı filtre modellerinde üçüncü dereceden LCL filtresinin dördüncü dereceden LCLC filtresi de olmak üzere diğer filtrelerle göre daha iyi sonuç verdiğini saptamışlardır. Bununla birlikte filtre boyu ve maliyetini de düşürdüklerini ifade etmişlerdir (Gong vd. 2012).

2.4. Işımaların Kontrolü

Kullanayagam vd. (2011) parazittik kuplaj yoluyla oluşan elektrik güç kaynağı ile soğutucu arasındaki ortak mod akımlarını dolayısıyla soğutucunun ısınımasını azaltmak amacıyla yeni bir filtre tasarımı önermişlerdir. Bu filtre tasarımında farklı giriş empedansına sahip iki adet demir çekirdek kullanılmıştır. Bu demir çekirdekler soğutucu ile güç kaynağı arasına yerleştirilmiştir. Soğutucunun eşdeğer devresi çizilerek demir çekirdeklerin empedans etkileri devreye dahil edilmiştir. Soğutucunun giriş empedansı rezonans frekansına kadar kapasitense gibi, rezonans frekansının üzerinde indüktans gibi davranmıştır. Yansımayan odada uzak alan ölçümleri yapılarak bu demir çekirdeklerin soğutucunun gerçekleştirdiği ışımayı zayıflatma etkileri 25 dB ve 15 dB olarak ölçülmüştür. Tasarladıkları filtrenin beklenildiği üzere zayıflatığı gözlemlenmiştir (Kullanayagam vd. 2011).

Chikando vd. (2010) tümleşik devrelerde kullanılan soğutucuların elektromanyetik ışımalarını azaltmak için yüksek dielektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip mikrodalga soğurucu malzemelerin etkilerini araştırmıştır. Bu malzemeler için zamanda sonlu farklar metodu kullanarak benzetimini yapmış ve bulguların desteklenmesi için yansıyan ve yansımayan odada deney düzenekleri kurarak ölçüm yapmıştır. Soğutucu ile devre arasındaki boşluğa bu malzemeler yerleştirilmiş ve ışımayı 20 dB'e kadar azalttığı görülmüştür. Çalışmanın verdiği avantaj için zaman kaybı yaşanmaması esas alınarak hali hazırda var olan devrenin ve soğutucunun arasına soğurucu malzeme sonradan eklenerek ışımayı azaltması olarak bahsedilmiştir. Aksi takdirde ışımayı azaltmak için tasarım döngüsüne geri dönmeli ve bu bağlamda yeni tasarı gerçekleştirilmelidir (Chikando vd. 2010).

Archambeault vd. (2001) soğutucuların ışıma davranışlarını incelemeye yönelik farklı nümerik metotlara başvurmuşlardır. Işımayı azaltmak ve problem tanımını oluşturmak adına soğutucunun toplama sayısını bir ile sekiz arasında toprak bağlantısı olmak üzere farklı kombinasyonlar için farklı nümerik metotlarla denemişlerdir. Soğutucu modeli olarak bir kütük şeklinde soğutucu almışlardır. Soğutucunun kanatçıklarının alınmama sebebi ise önceki araştırmalara istinaden kanatçıkların sonuçlara etki etmemesi olarak beyan edilmiştir. Ayrıca kütük şeklinde soğutucunun alınması benzetimin basitte indirgenmesi için mükemmel bir yol oluşturmuştur. Topraklama sayısının etkisi yakın ve uzak alan için FDTD, MoM, ve FEM nümerik metotları ile denenmiş olup yaklaşık olarak aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Soğutucu topraksız durumda maksimum ışıma gerçekleştirmiş ve topraklı durumlarda ise 30 dB civarı ışımayı azalttığını gözlemlemişlerdir (Archambeault vd. 2001).

Liu vd. (2015) Soğutucudan yayılan ışımaları azaltmaya yönelik etkilerini gözlemlemek için manyetik soğurucu malzemeleri iletim hatları metoduyla Debye modelini kullanarak yansıma katsayılarını ve güç kayıplarını ölçmüşlerdir. Ayrıca

ölçüm sonuçlarının yansira benzetimi gerçekleştirilerek sonuçlar onaylanmıştır. Ele alınan iki adet soğurucu malzeme için ölçüm ve benzetim verilerinden dielektrik geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik kat sayılarını elde etmişlerdir. Kat sayıların gerçek ve sanal kısımlarından oluşan eğriler Debye modeline uydurulmuştur. Benzetim ve ölçüm sonuçları arasında 6.5 dB değerinin altında olmak üzere ortalama 2.3 dB fark gözlemlenmiştir (Liu vd. 2015).

Kullanayagam vd. (2012) güç elektroniği elemanları kaynaklı parazitik kuplaj yoluyla soğutucu üzerinde oluşan ortak mod akımlarının çeşitli soğutucu boyutlarıyla değişimini nümerik metotlarla benzetimini yaparak incelemişlerdir. Aynı zamanda laboratuvar ölçümleri yapılarak bulgular desteklenmiştir. Işıma karakteristiklerinin değişimi soğutucunun topraklamalı ve topraklamasız durumlarına göre ele alınmıştır. Yapılan önceki çalışmalar referans alınarak soğutucunun kanatçıkların etkisi ihmal edilebilecek düzeyde az olduğu ve benzetimin daha kolay gerçekleştirilebiliyor olması nedeniyle soğutucu dikdörtgen bir kütük şeklinde alınmıştır. Elde edilen benzetim ve ölçüm sonuçlarında 500-580 MHz aralığında 8 dB sapma gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak gerçek hayatta yapılan ölçümlerde yansımaya oda içerisinde bulunan diğer malzemelerin etkisi gösterilmiştir. Ölçüm ve benzetimde soğutucuyu desteklemesi adına soğutucu ve toprak düzlemi arasına farklı dielektrik malzemeler konulmuştur. Bu malzemeler içinde PVC'nin FR4'e göre 800-900 MHz arasında ışımayı 5 dB azalttığı gözlemlenmiştir. 600 MHz'in altında topraklamalı soğutucunun etkili olduğu kanaatine varılmış olup topraklama kablosunun anten haline gelmemesi için minimum empedansa sahip kablonun seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Kullanayagam vd. 2012).

Jin vd. (2018) soğutuculardan yayılan ışımanın belli bir frekans aralığını bastırmak üzere mantar tipi elektromanyetik bant boşluğu yapısını tasarlayarak soğutucunun alt kısmına yerleştirmişlerdir. Elektromanyetik dalganın mükemmel manyetik iletken düzlemi ve mükemmel elektrik iletken düzlemi arasındaki boşlukta, boşluğun miktarı çeyrek dalga boyundan daha küçük olduğunda güçlükle yayılabileceğini söyleyerek bu koşulu gerçekleştirmek adına mantar tipi elektromanyetik bant boşluğu yapısını benimsemişlerdir. Tasarladıkları elektromanyetik bant boşluğu yapısını soğutucunun alt kısmına yerleştirerek boşluk rezonanslarını bastırmışlardır. Ayrıca bu yapının parametrelerini değiştirerek frekans aralığını kontrol edebileceklerini belirtmişlerdir. Bu bağlamda nümerik yöntemlerle benzetimini gerçekleştirip yarı yansımaya odada alınan ölçüm sonuçlarıyla da desteklemişlerdir. Tasarladıkları yapının 9.2 GHz ile 15.8 GHz aralığında ortalama 10 dB civarı ışımayı azalttığını, 9.8 GHz ile 15.6 GHz arası ortalama 10 dB ışımayı azalttığını gözlemlemiştir (Jin vd. 2018).

Chiappe (2012) tümleşik devrelerde kullanılan soğutuculardan yayılan ışımaları azaltmak üzere farklı soğurucu malzemelerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Referans olan diğer çalışmalardan ayrılan yönünü; soğurucu malzemelerin farklı kalınlıkta, farklı farklı ende ve farklı konumlarda kullanılması olarak belirtmiştir. İki farklı soğurucu malzeme soğurucu malzeme kullanmıştır. Bu malzemeleri 4 ile 10 GHz aralığında zamanda sonlu farklar nümerik yöntemiyle benzetimini gerçekleştirmiştir. Benzerimde eklenmiş halde bulunan soğurucu madde seçilmiş ve 4 ile 10 GHz aralığında soğurma yaptığını gözlemlemiştir. Ölçüm içinse benzetimden farklı soğurucu malzeme seçmiş ve 6 GHz'den 20 GHz'e kadar ışımı yaptığına ulaşmıştır. Benzetimde soğutucuyu 8 noktadan topraklayarak soğurucu malzemeleri

soğutucu ile tümleşik devre arasına yerleştirirken 3 farklı konfigürasyon gerçekleştirmiştir. İlkinde tamamen arasını dolduracak şekilde soğurucu malzeme ile doldurmuştur. İkincisinde soğurucuyu araya halka şeklinde yerleştirmiştir. Üçüncüsünde soğutucunun kenarlarının etrafında bir etek şeklinde yerleştirmiştir. Üçüncü yöntem soğutucu ile tümleşik devre arasındaki ısı akışını engellemediği için diğer konfigürasyonlara göre avantaj sağlamıştır. Ayrıca bu yöntem kullanılırken tümleşik devre yüzeyi ile soğutucu yüzeyi birbirinin aynı ölçülerde olmalıdır. 1 ile 25 GHz arası benzetim sonuçları göz önüne alınarak soğutucunun topraklanmasının ışımaya etkisi 3 GHz’de yoğun olarak görülmüştür. Yüksek frekans bölgesinde ise soğurucu malzemelerin etki göstermesi ve soğurucu malzemenin kalınlık ile boyunun artmasının ışımayı daha fazla azalttığı saptanmıştır. İlk iki konfigürasyon için soğutucu ile tümleşik devre yapısı arasına konulan soğurucu malzemenin kalınlığının 3 mm ve üzeri ölçüler için ışımaları önemli ölçüde azalttığını dile getirmiştir. Üçüncü konfigürasyonda ise kenarları örten etek yaklaşımında soğurucu malzemenin eni 3 mm ve üzeri olduğunda ışımaları bastırdığını ifade etmiştir (Chiappe 2012).

Talebzadeh vd. (2018) dört formülü faktör geçmeli (DFFG) kafesin soğutucular üzerindeki paketleme etkisini incelemişlerdir. Bunun için iki farklı kafes konfigürasyonunu üç farklı durum için uygulamışlardır. Bu durumları normal soğutuculu durum, soğutucu olmayan durum ve üzerinde değişiklik yapılmış soğutuculu durum olarak ele almışlardır. 1 ile 40 GHz frekans aralığında yansıyan odada tüm ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Farklı markalara ait üç optik modül kullanılmış ve ortalama bir paketleme değeri elde etmişlerdir. Soğutucuyla yapılan ölçümde soğutucu olmayan veya üzerinde değişiklik yapılmış soğutucu bulunan durumlara nazaran 5 ile 10 dB aralığında paketleme etkinliği gözlemlenmiştir. Işıyan soğutucunun DFFG kafesi üzerinde yeni yollar oluşturarak gövde yüzeyi üzerinden yayılabileceğini beyan etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada soğutucuları optik modülleri soğutması amacıyla ele alıp modül ve soğutucuyu DFFG kafesinin içerisine yerleştirmişlerdir. Soğutucuların kafesin paketleme etkinliğini bozup bozmayacağını araştırmışlardır. Üzerinde değişiklik yapılan soğutucu diğer iki duruma göre daha yüksek bir paketleme etkisi göstermiştir. Bunun sebebi normal soğutucuda modül ile soğutucu arasında hava boşluğu vardır ve bu boşluktan elektromanyetik dalgaların yayılabileceğini belirtmişlerdir. Soğutucu olmayan durumda ise vida deliklerinin boş olmasından dolayı bu boşluklar üzerinde ışıma yapabilmekte olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca soğutucu olmayan durumda normal soğutuculu duruma göre daha iyi paketleme etkinliğinin olduğunu vurgulamışlardır. Işımayı azaltmak adına soğutucu ile modül arasını conta ile pencere şeklinde sarmışlardır. Bunun neticesinde rezonans frekansları olan 5.5, 11, 22 GHz’de 7 dB paketleme etkinliğinin arttığını gözlemlenmiştir (Talebzadeh vd. 2018).

Kulanayagam vd. (2011) AGK’larda kullanılan soğutucuların ışımasını bastırmak üzere yeni bir filtre tasarımı önermişlerdir. AGK dan soğutucuya doğru yayılan parazittik etkiyi eşdeğer devre şeklinde modellemişlerdir. Soğutucu topraklanırsa AGK’dan dolayı ortak mod akımlarının artacağını, topraklanmazsa etkili bir anten şeklinde davranacağını belirtmişlerdir. Soğutucu ile mosfet arasına bir soğurucu malzeme koymanın parazittik kapasitensin azaltacağı dolayısıyla ışmanın azalacağını beyan etmişlerdir. Ancak bu yöntemle düşük frekans bölgesindeki ışımlar bastırılmış ve yapı yüksek geçiren filtre davranışı göstermiştir. Yüksek frekans bileşenlerini ortadan kaldırmak üzere bir filtre tasarlamışlardır. Bu filtrede ferit

çekirdekler kullanılarak soğutucu ile mosfet arasındaki dielektrik malzemenin yanlarına yerleştirilerek eşdeğer devreye eklemişlerdir. Ancak oluşturdukları bu modelde termal direnç artmıştır ve bunu da dezavantaj olarak nitelendirmişlerdir. Soğutucunun kanatçıklarının ısımaya etkisini gözlemle adına aynı boyutlarda fakat farklı kanatçık yapısına sahip üç adet soğutucunun 300 KHz ile 1 GHz aralığında Vektör Network Analizör (VNA) ile giriş empedanslarını hesaplamışlardır. İkinci adına ferit çekirdek koymadan metalik silindirler ekleyerek ölçüm yapılmış, üçüncü kısımda ise üç farklı ferit çekirdeğini ölçüme ayrı ayrı dahil etmişlerdir. Ayrıca yayılan ışımaları gözlemlemek adına yansımaya odada 20 ile 300 MHz aralığında uzak alan ölçümlerini yapmışlardır. Giriş empedans eğrileri incelendiğinde soğutucu eşdeğer devresi seri rezonans devresi gibi davrandığını gözlemlemişlerdir. Giriş empedansı rezonans frekansına kadar kapasitif etki, rezonans frekansın üzerinde endüktif etki göstermiştir. Üç soğutucu içinde devre içi akımları aynı olduğundan aynı endüktif etkiyi ancak farklı parazitlik kapasitansları olduğundan farklı kapasitif etki gösterdiğini dile getirmişlerdir. Ferit çekirdek konulduğunda eşdeğer devre empedansının arttığını saptamışlardır. Bunun sebebi olarak ferit çekirdeklerin çok yüksek empedansa sahip olması ve bu sayede ortak mod akımlarını azaltması olarak göstermişlerdir. Uzak alan ölçümlerinde ferit çekirdek ile ışımayı 20 ile 25 dB aralığında azaltmışlardır (Kulanayagam vd. 2011).

Ahn ve Oh (2014) 100 ile 600 MHz aralığında soğutuculardan yayılan ışımaları azaltmak üzere soğutucu ile toprak arasına direnç eklemişlerdir. Farklı direnç değerleri için benzetim ve ölçümünü gerçekleştirip en uygun direnç değerlerini elde etmişlerdir. Soğutuculardan yayılan ışımaları engelleme adına topraklamanın yapılmakta olduğu ancak topraklandığı takdirde iletkenlik yolu ışımaların arttığını beyan etmişlerdir. Benzetim ortamındaki denemelerde görece düşük frekanslarda ısıma yoğunluğunu azalttığını elde etmişlerdir. 10 ile 20 ohm aralığında ise en iyi sonuçları gözlemlemişlerdir. Yansımaya odada yapılan uzak alan ölçümlerinde direk topraklı soğutuculara göre direnç kullanılan soğutucuların ışımasının 12 dB azaldığı sonucuna varmışlardır (Ahn ve Oh 2014).

Wang vd. (2002) tümleşik devrelerde kullanılan muhafaza ve soğutucu deliklerinin büyüklük, sayı ve şeklini göz önüne alarak ısıma ve termal yönden etkisini incelemişlerdir. Deliklerin kalınlığının onları dalga kılavuzuna dönüştürebileceğinden bahsetmişlerdir. Ele alınan konuda havanın giriş çıkışının artırılarak devrenin termal durumu için verimli bir şekilde fan ve soğutucunun devreyi soğutmasını beklemektedirler. Muhafaza üzerinde olabildiğince delikler olmasını uygun bulmuşlardır. Ancak ışımayı ortadan kaldırmak üzere devrenin muhafaza kutusunun paketlenmesinin bozulmaması gerekmekte olduğunu ve bu deliklerin paketleme etkinliğini olumsuz yönde etkilediğini dile getirmişlerdir. Bu iki durumdan hareketle bir ikilem içinde kaldıklarını ifade etmişlerdir. Ortaya çıkan ikilemi çözmek adına soğutucu montajı için kullanılan paketlemeye sahip vida tasarımını tanıtmışlardır. Benzetim ve ölçüm sonuçları ile tasarımın etkisini ortaya koymuşlardır. Tasarladıkları vida sayesinde açığa çıkan ışımaların 10 ile 25 dB arasında zayıfladığını saptamışlar (Wang vd. 2002).

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmada soğutma işlemini gerçekleştirmek üzere alüminyumdan üretilen soğutucular ele alınacaktır. Açığa çıkan ısı miktarının belirlenmesiyle bir kütle miktarı elde edilecek ve bu kütle miktarını göz önüne alarak bir hacim hesaplanacaktır. Hacim miktarından yola çıkarak ise yeterli soğutmayı garanti eden bir yüzey alanı belirlenecektir. Ancak belirlenen toplam yüzey alanını içerecek en düşük hacimli elektronik soğutucunun ortaya çıkan fiziksel boyutları nedeni ile farklı frekans bileşenlerinde rezonanslar görülecektir. Bir başka ifade ile her bir soğutucu farklı frekans bölgesinde çalışan bir tür anten gibi davranacaktır. Bu nedenle genel anten teorisini kısaca ele almak gerekmektedir. Hesaplanan yüzey alanından hareketle büyük elektronik soğutucuların soğutucu kanatçıklarının sayısı, boyu, derinliği, kanat aralıklarının değişiminin 30-1000 MHz frekans aralığında ısıma davranışları ele alınacaktır. Bu davranışların analizi neticesinde cihaz tasarımcılarının EMU testlerinden geçiş süreçlerini hızlandırmaya katkıda bulunulacaktır.

3.1. Anten Teorisi hakkında Temel Bilgiler ve İlgili Parametreler

Soğutucuların ışımaları incelendiğinde taban boyutlarının ve besleme noktalarının değişimiyle oluşan etkiler sebebiyle yama anten, kanatçık yüksekliklerinin değişimiyle de monopole anten davranışı gösterdiği belirlendi. Bu kısımda temel anten teorisi ve parametrelerinin yanında yama anten ve monopole antenden bahsedilecektir. Genel itibariyle Antenlerin giriş empedansı ve yansıyan güç üzerindeki önemi tartışılmaktadır. Daha sonra ısıma verimliliği, yönlülük ve kazanç gibi anten parametreleri kısaca açıklanmıştır. Son olarak, Friis denklemi, bir RF sistemine ilişkin olarak anten parametrelerini birbirine bağlamak için tanıtıldı.

3.1.1. Giriş Empedansı ve Yansıyan Güç

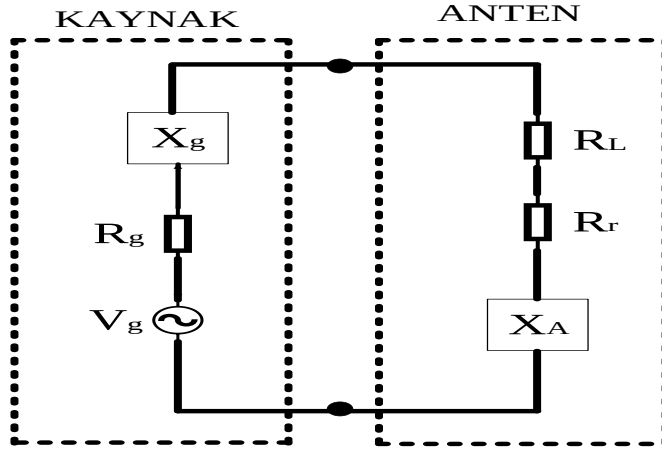
Bir antenin giriş empedansı, anten terminallerinde voltajın akıma olan oranı olarak tanımlanır. Genel olarak, giriş empedansı hem gerçek hem de sanal kısımlardan oluşur. Denklem 3.1’de bu durum gösterilmiştir.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de Z_A giriş empedansını, R_A giriş empedansının gerçek kısmını ve X_A giriş empedansının sanal kısmını ifade etmektedir. Ayrıca gerçek kısımda iki parçaya ayrılabilir.

$$R_A = R_L + R_r \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de R_r ısıma direncini ve R_L kayıp direncini ifade etmektedir. Bu dirençler ve devre yapısı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Thevenin eşdeğer anten devresi

Kaynak kısmının empedansı genel bir ifadeyle Denklem 3.2’de ki şekilde oluşturulabilir. Kaynak tarafından sağlanan güç Denklem 3.3 ile belirtilmiştir.

$$P_S = \frac{1}{2} R (V_G I_G^*) = \frac{1}{2} V_G R \left(\frac{V_G^*}{Z_G + Z_A} \right) = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{1}{R_G + R_L + R_r} \right) \quad (3.3)$$

Denklem 3.4’de V_G kaynağın tepe voltaj değerini göstermektedir.

Maksimum güç transferi $Z_G = Z_A^*$ karmaşık eşleniğinin eşleşmesi durumunda ortaya çıkar. Bu ifade Denklem 3.4 ve 3.5’deki şekilde de elde edilebilir.

$$R_G = R_A = R_L + R_r \quad (3.4)$$

$$X_G = -X_A \quad (3.5)$$

Bu durumda kaynak tarafından sağlanan güç eşitliği Denklem 3.6’daki haline indirgenir.

$$P_S = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{1}{R_G + R_L + R_r} \right) = \frac{1}{4} |V_G|^2 \left(\frac{1}{R_L + R_r} \right) \quad (3.6)$$

Işıma direnci R_r ye aktarılan güç P_r olarak Denklem 3.7’de ifade edilmiştir.

$$P_r = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{R_r}{4(R_L + R_r)^2} \right) = \frac{1}{8} |V_G|^2 \left(\frac{R_r}{(R_L + R_r)^2} \right) \quad (3.7)$$

Benzer şekilde kayıp direnci R_L ye aktarılan güç P_L Denklem 3.8’de verilmiştir.

$$P_r = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{R_L}{4(R_L + R_r)^2} \right) = \frac{1}{8} |V_G|^2 \left(\frac{R_L}{(R_L + R_r)^2} \right) \quad (3.8)$$

Kaynağın iç direnci R_G tarafından dağıtılan güç P_G Denklem 3.9’da verilmiştir.

$$P_G = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{R_G}{(R_r + R_L + R_r)^2} \right) = \frac{1}{2} |V_G|^2 \left(\frac{R_r + R_L}{(2(R_r + R_L))^2} \right) = \frac{1}{8} |V_G|^2 \left(\frac{1}{R_r + R_L} \right) \quad (3.9)$$

Denklem 3.8 ve 3.9 birleştirilmesiyle Denklem 3.10 elde edilir.

$$P_G = P_L + P_r \quad (3.10)$$

Temel prensip olarak eşlenik eşleştirme durumunda kaynak tarafından sağlanan gücün yarısı kaynak iç direnci üzerinde harcanırken diğer yarısı yüke aktarılmalıdır. Bu ifade yukarıdaki Denklemlerde de belirtilmiştir ve enerjinin korunumu sağlanmış olur.

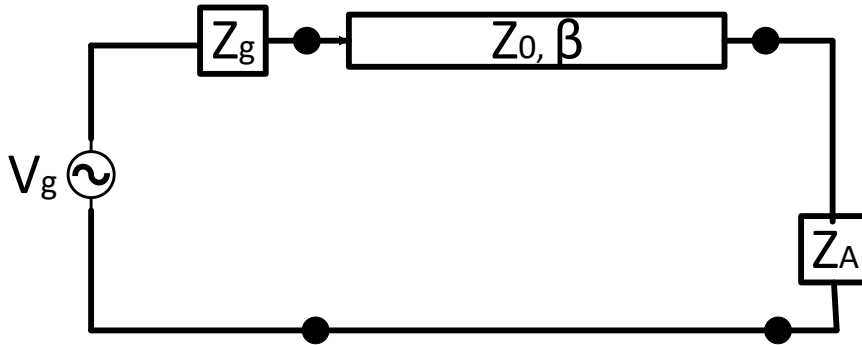
Güç ilişkilerini yansıma katsayısına göre tartışmak yararlıdır. Şekil 3.2, kayıpsız bir iletim hattı boyunca yüke (bir anten) bağlı bir kaynağı göstermektedir. Yük ile iletim hattı arasındaki yansıma katsayısı Denklem 3.11’de verilmiştir.

$$\Gamma_L = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’de Z_0 iletim hattının karakteristik empedansını ve Z_A antenin giriş empedansını ifade etmektedir. Yansıma katsayısı karmaşık bir sayıdır, ancak büyüklüğün karesiyle eşleşmemesi nedeniyle yük tarafından yansıtılan giriş gücünün yüzdesiyle sonuçlanır. Kaynağın, iletim hattına ($Z_G = Z_0$) uygun şekilde empedansla eşleştirildiğini farz edersek, birden fazla yansıma oluşmaz ve antene aktarılan güç Denklem 3.12 ile ifade edilebilir.

$$P_{acc} = P_{inc}(1 - |\Gamma_L|^2) = P_{inc} - P_{refl} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12’de P_{inc} antenin girişine gelen gücü ve P_{refl} empedans uyumsuzluğu nedeniyle yansıyan gücü belirtmektedir. Tek bir bağlantı noktası için yansıma sabiti Γ_L saçılma parametresi S_{11} ’e eşittir. Bu durum vektör ağ analiz cihazıyla ölçüm yapılarak kolayca gözlemlenebilir.



Şekil 3. 2. İletim hattı yoluyla kaynağa bağlı anten

3.1.2. Işıma Verimliliği

Antenlere güç aktarımı esnasında empedans uyumsuzluğu nedeniyle birtakım kayıpların olduğundan bahsedildi. Ancak bu kayıplara ek olarak farklı kayıplarda mevcuttur. Işıma verimliliği, yayılan gücün kabul edilen güce oranı olarak tanımlanır. Bu durum Denklem 3.13’de gösterilmiştir.

$$e_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{acc}} = \frac{P_{acc} - P_{loss}}{P_{acc}} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13’de P_{rad} yayılan gücü ve P_{acc} verici anten tarafından aktarılan gücü ifade etmektedir. Ancak antenler çift yönlü olduklarından bu durum alıcı kısmı içinde geçerli olmuş olur.

3.1.3. Anten Yönlülüğü

Antenler enerjiyi üç boyutlu bir alana yaydıklarından dolayı antenin ışımayı odaklama davranışından bahsedilmelidir. Yönlülük, belirli bir doğrultuda ışıma yoğunluğunun tüm alandaki ortalama ışıma yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Denklem 3.14’de bu durum ifade edilmiştir.

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{avg}} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{\int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} U(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14’de $U(\theta, \phi)$ verilen yöndeki ışıma yoğunluğunu, U_{avg} tüm yönlerdeki ortalama ışıma yoğunluğunu, P_{rad} anten tarafından yayılan toplam gücü göstermektedir. Tepe yönlülüğü, maksimum ışıma yoğunluğunun tüm alandaki ortalama ışıma yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Bu yüzden $U(\theta, \phi)$ yerine U_{max} yazılarak tepe yönlülük değeri D_{peak} Denklem 3.15’de verildiği şekilde bulunulabilir.

$$D_{peak} = \frac{U_{max}}{U_{avg}} = \frac{4\pi U_{max}}{\int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} \quad (3.15)$$

Genel anlamda anten yönlülüğü Denklem 3.14 ile ifade edilmektedir. Ayrıca tipik olarak yönlülük $10 \log_{10}(D)$ formülü kullanılarak dB cinsinden belirtilir.

Bir yön bağımsız anten tüm yönlere eşit oranda ışıma yapar. Işıma örüntüsü mükemmel bir küredir. Ancak bu durum sadece teoride mümkündür. Yön bağımsız antenin her yöne eşit ışıma yoğunluğuna sahip olması nedeniyle, ortalama ışıma yoğunluğu (U_{avg}) herhangi bir yöndeki ($U(\theta, \phi)$) ışıma yoğunluğuna eşittir. Bu nedenle yön bağımsız bir antenin yönlülüğü boyutsuz olarak 1 ya da 0 dB dir.

3.1.4. Anten Kazancı

Yönlülük bir antenin odaklanma özelliğini açıklarken, ışıma verimliliği hakkında hiçbir şey söylemez. Anten kazancı, antendeki kayıpları, radyo frekansı (RF) sistemlerine göre daha kullanışlı bir anten parametresiyle sonuçlanan yönlülük ile birlikte dikkate alır. Denklem 3.16’da anten kazancının yönlülük ile olan ilişkisi belirtilmektedir.

$$G = e_{rad} D \quad (3.16)$$

Denklem 3.16’da G ve D boyutsuz niceliklerdir. Ayrıca tepe yönlülük ifadesi D_{peak} denklemde yerine yazılırsa tepe kazancı G_{peak} elde edilmiş olur.

Anten kazancı ifadesiyle doğrudan bir kazançtan bahsedemeyiz. Bununla birlikte yön bağımsız bir antene göre güç kazanımını ifade etmektedir. Böylelikle enerjinin korunumu ilkesi ihlal edilmemiş olur. Örnek olarak iki anten düşünersek her yöne eşit miktarda güç yayan anten yön bağımsızdır ancak gücünü belirli doğrultuda odaklayan anten ise o doğrultuda daha fazla güç iletir. Dolayısıyla her iki anten içinde karşılıklı

bulunan alıcı antene göre davranışları da farklı olmuş olacaktır. Belirli yönde doğrultulmuş anten alıcı antene daha fazla güç iletecektir. Alternatif olarak belirtildiği gibi, kazancı olan bir anten, etkili bir yön bağımsız yayılan güçle (EYBYG) ilişkili olabilecek miktarda güç iletir.

$$EYBYG = P_t G_t \quad (3.17)$$

Denklem 3.17’de P_t iletilen gücü ve G_t verici antenin boyutsuz kazancını ifade etmektedir.

3.1.5. Friis İletim Denklemi

Friis iletim denklemi daha önce tartışılan parametreleri alır ve bunları RF sistemi bağlantısıyla ilişkilendirir. Ayrıca bu denklem RF haberleşme sistemlerinin temelini oluşturur. Denklem 3.18 de Friis denklemi verilmiştir.

$$P_r = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} P_t \quad (3.18)$$

Denklem 3.18’de P_r alıcı anten tarafındaki gücü, P_t verici anten tarafındaki gücü, R antenler arasındaki mesafeyi ve λ dalga boyunu ifade etmektedir. G_t ve G_r alıcı ve verici antenlerin tepe kazancını göstermektedir. Denklem 3.18’deki denklemde alıcı antenin gücü mutlak maksimum değere göre hesaplanmaktadır. Ancak bu denkleme kayıplar da eklenerek tekrar düzenlenmelidir. İlk olarak empedans uyumsuzluğuna hesaba katılmalıdır. Aktarılan gücün giriş gücüne oranı Denklem 3.19’da tekrar gösterildi.

$$\frac{P_{acc}}{P_{inc}} = (1 - |\Gamma_L|^2) \quad (3.19)$$

Denklem 3.19 yalnızca tek bir anten için geçerlidir. Ancak bir sistem hem alıcı hem verici antenleri içerdiğinden dolayı empedans uyumsuzlukları da dikkate alınarak Denklem 3.20’deki haline revize edilir.

$$e_{imp} = (1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) \quad (3.20)$$

Denklem 3.20’de Γ_t verici antenin yansıma sabitini ve Γ_r alıcı antenin yansıma sabitini ifade etmektedir.

Bir diğer önemli kayıp faktörü, iki antenin birbirine göre yönelimlerinin bir ölçüsü olan polarizasyon kaybı faktörüdür. İki anten arasında optimize edilmiş iletim için, aynı şekilde ve yönde kutuplaşmaları gerekir. Örneğin, yatay olarak kutuplaşmış bir verici anten, maksimum miktarda güç almak için yatay olarak kutuplaşmış bir alıcı anten ile birleştirilmelidir. Benzer şekilde, sağ dairesel kısmı polarize verici bir anten, polarizasyon uyumsuzluğu kayıplarını en aza indirmek için sağ dairesel kısmı polarize alıcı bir anten ile birleştirilmelidir. Nicel olarak, bu durum Denklem 3.21’de tanımlanır.

$$e_{pol} = |\hat{e}_i \cdot \hat{e}_r|^2 \quad (3.21)$$

Denklem 2.21’de ϵ_i birim vektörü gelen düzlem dalgaının elektrik alanının polarizasyonu belirtir ve ϵ_r birim vektörü alıcı antenin elektrik alanının polarizasyonu belirtir.

Açığa çıkan empedans uyumsuzluğu ve polarizasyona kayıpları dikkate alınarak Friis denklemi eklenir. Denklem 3.22’de bu kayıpları eklenmiş haliyle Friis denklemi verilmiştir.

$$P_r = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} P_t e_{imp} e_{pol} \quad (3.22)$$

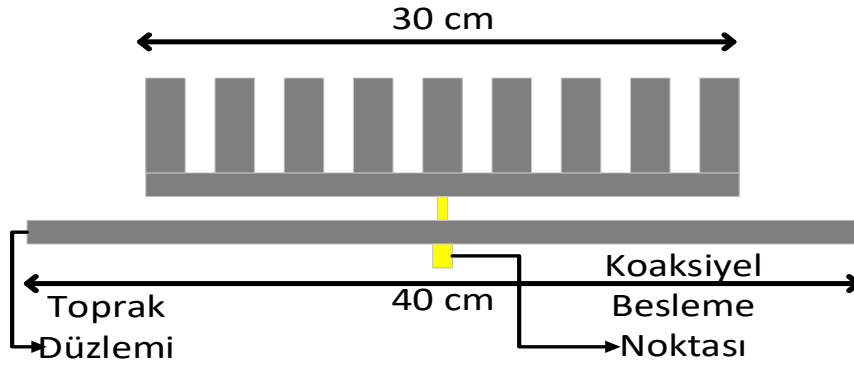
Pozar (1997) çok kayıplı etkiler ve atmosferden kaynaklanan zayıflama nedeniyle diğer kayıpların meydana geleceğinden bahsetmiştir. (moleküler oksijen ve moleküler su ile oluşan rezonanslar).

3.2. Soğutucuların Işıma Davranışı

Ortaya çıkan farklı yüzey alanları doğası gereği farklı rezonans frekanslarına sahip anten gibi davranacaklardır. Soğutucuların boyutlarındaki değişimler ışıma bakımından davranışlarının belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Işımaların oluşumu Denklem 3.23 ile açıklanır. Bu denklemde belirlenen f frekansına bağlı olarak bir λ dalga boyu hesaplanır. Soğutucunun herhangi bir ölçüsünün λ ile $\frac{\lambda}{20}$ dalga boyu arasındaki bir değerle eşlemesi sonucunda yayılan ışıma oluşması beklenir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.23)$$

Denklem 3.23’de λ metre cinsinden dalga boyunu, c ışık hızını ve f MHz cinsinden frekansı ifade etmektedir.



Şekil 3. 3. Monopol anten olarak soğutucunun modellenmesi

Soğutucular ışıma bakımından incelenirken analizinin daha kolay olmasından dolayı monopole anten olarak ele alınır. Şekil 3.3.’de gözlemlendiği üzere soğutucunun alt kısmının da bulunan toprak düzleminde koaksiyel besleme noktası oluşturularak monopole antene benzetim gerçekleştirilir. Koaksiyel besleme için toprak düzlemine eklenen konektörün dış kısmı toprak düzlemiyle, iç kısmında bulunan pin ise

soğutucuya temas ettirilerek model oluşturulur. Toprak düzleminde belirlenen koaksiyel besleme noktası farklı konumlar için farklı ışıma davranışı gösterir.

3.3. Mikroşerit Yama Antenler ve Soğutucu İlişkisi

İletim hattı modelini kullanarak, kare mikroşerit yama anten tasarımı, yama uzunluğunun çalışma frekansında yaklaşık yarım dalga boyu olması gerektiği varsayımıyla başlar. Dalga boyu temel denklem olan Denklem 3.24'den kolayca hesaplanabilir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'de c ışığın boşluktaki hızını, f dalganın frekansını ve λ dalga boyunu ifade etmektedir. Ancak bu varsayım boşlukta geçerlidir. Ortamın dalga yayılım hızına etkisi belirlenmelidir. Dalganın ortamdaki yayılım hızı V_p Denklem 3.25 ile hesaplanır.

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (3.25)$$

Denklem 3.25'de ϵ_r ortamın dielektrik geçirgenliğini ve μ_r ortamın manyetik geçirgenliği ifade etmektedir. Ayrıca Denklem 3.25'de verilen ϵ_0 ve μ_0 sırasıyla ortamın mutlak dielektrik geçirgenliği ve mutlak manyetik geçirgenliğidir. Bu şekilde ortamın manyetik geçirgenliği 1 kabul edilerek Denklem 3.26'da gösterildiği üzere yarım dalga boyu hesaplanabilir.

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{V_p}{2f} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26'da ışık hızı cinsinden faz hızı ifadesi yerine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda Denklem 3.26 yama antenin genişliğine eşittir. Bu ifade yerine yazılırsa genişlik W Denklem 3.27 ile elde edilir.

$$W = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.27)$$

Yama antenin boyunu Denklem 3.28 ile hesaplarız.

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta \quad (3.28)$$

Denklem 3.28'de Δ kırılma alanlarından dolayı oluşan manyetik duvarın uzantısını ifade eder. ϵ_{eff} kırılma alanlarından oluşan etkin dielektrik geçirgenliği belirtir ve Denklem 3.29'da matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10H}{W} \right)^{-1/2} \quad (3.29)$$

Denklem 3.29'da H dielektrik alt tabaka kalınlığını ifade etmektedir. Denklem 3.30 ile Δ hesaplanabilir.

$$\Delta = 0.412H \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0.300}{\epsilon_{eff} - 0.258} \right) \left(\frac{(W/H) + 0.262}{((W/H) + 0.813)} \right) \quad (3.30)$$

Yüksek frekanslarda (L veya $W > \lambda / 2$) soğutucu ve PCB arasındaki boşluk, boşluk rezonatör gibi davranabilir. Yapılan araştırmalar da rezonans 2D boşluğundan maksimum yayılan ışımların hesaplanması sorununu ele almıştır. Kaynak iyi tanımlanmışsa, boşluk duvarları boyunca maksimum gerilim geliştirilen denklemlerden elde edilebilir. Kenar etkilerini hesaba katan L uzunluğu ve genişlik W uzatılmalıdır. Uzatma, uzunluk veya genişliğin her bir ucundaki yaklaşık aralıktır. Yani,

$$L_{eff} = L + 2S ; W_{eff} = W + 2S \quad (3.31)$$

Denklem 3.31’de L_{eff} boşluğun etkin uzunluğunu ve W_{eff} boşluğun etkin genişliğini ifade etmektedir. İki özdeş plakanın oluşturduğu bir 2D boşluk için, maksimum yayılan elektrik alan (E alan) ifadesi geliştirilmiştir. Bununla birlikte, 2D boşluk nispeten büyük bir elektriksel iletken zeminin üzerinde bir plaka ($L_{eff} \times W_{eff}$) tarafından oluşturulduğunda, bu zeminden yansıyan E alanı dikkate alınmalıdır. Maksimum emisyonu tahmin etmek için, PCB düzlemi sonsuz bir PEC topraklaması olarak modellenebilir. Dolayısıyla, böyle bir boşluktan maksimum yayılan E alan elde edilen maksimum alanın iki katı olmalıdır.

$$|E|_{max} = 2 \frac{k\eta S I_{in}}{4\pi r} = \frac{k\eta S I_{in}}{2\pi r} \quad (3.32)$$

Denklem 3.32’de k boş alan dalga numarası, η boş alan iç empedansı I_{in} kaynak gürültü akımı ve r gözlem mesafesidir. Boşluğun kenarları boyunca voltaj, birinci rezonansın altındaki herhangi bir frekans için yaklaşık olarak sabittir ve boşluk boşluğu empedans formülünden elde edilebilir.

$$|V|_{max} = \frac{\eta S I_{in}}{L_{eff} W_{eff} k} \quad (3.33)$$

Denklem 3.32 ve 3.33 birbirileriyle oranlanırsa Denklem 3.34’de belirtilen $|E|_{max}$ ın $|V|_{max}$ a oranı bulunur.

$$\frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} = \frac{k^2 L_{eff} W_{eff}}{2\pi r} \quad (3.34)$$

Rezonans boşluğu için, $TM_{mn} (m \neq 0, n \neq 0)$ kaynaklı uzak alan yayılan ışımlar genellikle yakındaki $TM_{m0} (m \neq 0)$ veya $TM_{0n} (n \neq 0)$ modlarından daha zayıftır. Bu nedenle, yalnızca son modlar oran tahmininde dikkate alınır. Birinci boşluk rezonansının üzerindeki frekanslar için, oran uzak alan formülünden $|E|_{max}$ hesaplanarak ve transfer empedans formülünden $|V|_{max}$ elde edilerek bulunabilir. Boşluğun TM_{m0} modu etrafındaki frekanslar için oranı Denklem 3.35’de verilmiştir.

$$\frac{|E_{m0}|_{max}}{|V_{m0}|_{max}} = \frac{mkW_{eff}}{\pi r} \quad (3.35)$$

Benzer şekilde TM_{0n} modu için E alan voltaj oranı Denklem 3.36’da verilmiştir.

$$\frac{|E_{0n}|_{max}}{|E_{0n}|_{max}} = \frac{nk_{eff}}{\pi r} \quad (3.36)$$

Boşluğun henüz yankılanmadığı düşük frekans ifadesi Denklem 3.34 ile yüksek frekans ifadesi Denklem 3.35 arasındaki bağlantı noktasını belirlemek için boşluk transfer empedansı formülü kullanılır. Düşük frekanslarda, boşluk basit bir kapasite olarak modellenebilir. Düşük frekans giriş empedansını birinci boşluk rezonansına (TM_{10}) eşitleyerek, iki ifade arasındaki bağlantı noktası Denklem 3.37 ile hesaplanır.

$$k = \frac{\pi}{\sqrt{3L_{eff}}} \approx \frac{2}{L_{eff}} \quad (3.37)$$

Daha yüksek mertebeden TM_{m0} veya TM_{0n} modlarını tercih eden özel yapıları olmayan normal boşluk yapılandırması için, maksimum yayılan ışımlar TM_{01} modunda meydana gelen ışımları aşmayacaktır. Dolayısıyla bu modun üzerindeki frekanslar için maksimum yayılan emisyon ifadesi Denklem 3.38'e indirgenir.

$$\frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} = \frac{|E_{01}|_{max}}{|V_{01}|_{max}} = \frac{k_{01}L_{eff}}{\pi r} = \frac{1}{r} \frac{L_{eff}}{W_{eff}} \quad (3.38)$$

Denklem 3.38'de $k_{01} = 2\pi/W_{eff}$ ifadesi TM_{01} modu için boş alan dalga numarasıdır.

TM_{01} Modunun olası geniş bant genişliğini dikkate almak için, bağlantı frekansı, TM_{01} modunun rezonans frekansları ve TM_{01} modundan daha yüksek olmayan en yüksek TM_{m0} modunun ortalaması alınarak kaydırılır. Böylece bağlantı frekansı Denklem 3.39 ile bulunur.

$$k = \left(\frac{\pi}{W_{eff}} + \frac{\pi}{L_{eff}} \right) / 2 \quad (3.39)$$

Denklem 3.40'da p ifadesi L_{eff}/W_{eff} ifadesine eşittir ve en yakın tam sayıya yuvarlanır. Maksimum boşluk ışımasının formülü Denklem 3.40'da verilmiştir.

$$\left| \frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} \right|_{PATCH} = \begin{cases} \frac{k^2 L_{eff} W_{eff}}{\pi r}, & k \leq \frac{2}{L_{eff}} \\ \frac{k W_{eff}}{\pi r}, & \frac{2}{L_{eff}} < k \leq \left(\frac{\pi}{W_{eff}} + \frac{\pi p}{L_{eff}} \right) / 2 \\ \frac{L_{eff}}{r W_{eff}}, & k > \left(\frac{\pi}{W_{eff}} + \frac{\pi p}{L_{eff}} \right) / 2 \end{cases} \quad (3.40)$$

3.4. Monopole Antenler ve Soğutucu İlişkisi

Soğutucu yüksekliği, soğutucu genişliğinden daha uzun olduğunda kalın bir monopol anten olarak modellenebilir. İlk rezonansındaki bir monopol antenden maksimum yayılan alanın ifadesi Denklem 3.41'de verilmiştir.

$$E_{max} = \frac{\eta_0 I_0}{2\pi r}, \theta = \frac{\pi}{2} \quad (3.41)$$

Denklem 3.41'de I_0 monopol antenin kaynak akımını belirtmektedir.

Denklem 3.41’de ki E_{max} ifadesi monopol antenin ilk rezonans frekansından türetilmiştir. İlk rezonans frekansının üzerindeki frekanslarda ideal bir monopol antende yayılan E alanın genliğinin daha yüksek olması beklenir. Ayrıca Denklem 3.41 yüksek frekanslardaki hesaplarda dahi kullanılabilir.

Rezonans frekansındaki monopol antenin girişindeki maksimum volt değeri $V_{max} = I_0 x R_{res}$ dir. Burada R_{res} monopol antenin rezonans giriş direncidir. Bu bilgilendirme dahilinde monopol antenden yayılan maksimum E alanın monopol antenin girişindeki besleme maksimum gerilime oranı Denklem 3.42’de verilmiştir.

$$\frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} = \frac{\eta_0}{2\pi r R_{res}} = \frac{120\pi}{2\pi r R_{res}} = \frac{60}{r R_{res}} \quad (3.42)$$

Monopol antenin ilk rezonans frekansından daha düşük frekanslarda, giriş empedansı çoğunlukla kapasitedir ve bu nedenle frekansla ters orantılıdır. Dolayısıyla, bu kalın monopole verilen besleme gerilimi, besleme akımı sabit ise frekansla ters orantılıdır. Aynı zamanda, maksimum yayılan alan, sabit bir besleme akımına sahip kısa (çeyrek dalga boyundan kısa) bir monopol için frekansla orantılıdır. Böylece maksimum E alanın maksimum voltaja oranı yaklaşık olarak frekansın karesine eşittir. Bu durum Denklem 3.43’de gösterilmiştir.

$$\frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} \approx \left(\frac{f}{f_{1st}}\right)^2 \frac{60}{r R_{res}} \quad (3.43)$$

Denklem 3.43’de f_{1st} kalın monopol antenin birinci rezonans frekansını ve f rezonans frekansından düşük değere sahip frekansı göstermektedir.

Monopol anten ilk rezonans frekansı, soğutucu yaklaşık üç çeyrek dalga boyunda olduğunda meydana gelir. Rezonanstaki bir monopol antenin giriş empedansı için olan ifadeler literatürde mevcuttur ve yazarların benzetimleri rezonansta bir monopol anten gibi ışıyan bir antenin minimum giriş direncinin antenin spesifik boyutlarından bağımsız olarak yaklaşık 30-40 ohm olduğunu göstermektedir. Denklem 3.43’de R_{res} değerinin 36 ohm'a ayarlanması, mümkün olan en fazla yayılan ışımlar için (ilk rezonansa kadar olan frekanslarda), verilen bir mesafedeki bir monopol anten gibi ışıyan bir soğutucudan ve verilen bir giriş voltajı için bir denklem sağlar.

Bir monopole antene ait ilk rezonans frekansı, yüksekliği çeyrek dalga boyuna yaklaştığında meydana gelir. Bununla birlikte, uç yüzün boyutlarının göz ardı edilemeyeceği kalın bir monopol anten için, ilk rezonans frekansı daha düşük bir şekilde kaydırılır. Akımın uç yüzeyler boyunca aktığı ilave mesafe, bir kalın monopol antenin etkin uzunluğunu arttırdığı şeklinde görülebilir. Rezonans frekansının kayması ait matematiksel ifade Denklem 3.44’de verilmiştir.

$$f_{1st-shifted} = \frac{c_0}{4\left(H+S+\sqrt{L_{eff}^2+W_{eff}^2/2}\right)} \quad (3.44)$$

Denklem 3.44’de c_0 ışığın boşluktaki hızını, H monopol antenin yüksekliğini ve S bakır plaka ile monopol anten arasındaki boşluğu ifade etmektedir.

Genel itibariyle soğutucudan yayılan E alanının matematiksel ifadesi Denklem 3.45’de belirtilmiştir.

$$\left| \frac{|E|_{max}}{|V|_{max}} \right|_{Monopole} = \begin{cases} \left(\frac{f}{f_{1st-shifted}} \right)^2 \frac{60}{rR_{res}}, & f < f_{1st-shifted} \\ \frac{60}{rR_{res}}, & f \geq f_{1st-shifted} \end{cases} \quad (3.45)$$

3.5. Soğutucuların Uzak Alan Işımasında Rayleigh Kriteri

Soğutucu ışımaları uzak alan bölgesinde incelenmektedir. Ele aldığımız benzetim ve ölçüm modellerinde soğutucuların kanatçık sayısının farklı olduğu durumlar da mevcuttur. Soğutucu kanatçık sayısının ışımlar üzerine etkisini incelerken yüzey pürüzlülüğü ve kanatçıklar arası mesafenin ışımlar üzerindeki etkisi de göz önüne alınmalıdır. Bu hususta Rayleigh kriterinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

Doğal yüzeyler pürüzlü olarak kabul edilebilir ve pürüzlülük bir elektromanyetik (EM) dalganın saçılma davranışının baskın faktörüdür. Herhangi bir saçılma yüzeyinin pürüzlülüğü, o yüzeyin kendine özgü bir özelliği değildir ancak iletilen dalganın özelliklerine bağlıdır. Hem iletilen dalganın frekansı hem de yerel geliş açısı, herhangi bir yüzeyin ne kadar pürüzlü veya pürüzsüz göründüğünü belirler. EM dalganın dalga boyu λ ile istatistiksel pürüzlülük parametresi s olması arasındaki ilişki ks ile verilmiştir. Böylece artan dalga boyu ile, pürüzlülük terimi azalmaktadır, sonuç olarak, herhangi bir yüzey için göreceli pürüzlülük göstergesi $ks=2\pi/\lambda$ olarak dalga boyuna bağlıdır. Ayrıca, yerel geliş açısı, bir yüzeyin pürüzlülük durumunu tanımlamak için önemli bir rol oynar. EM dalgasının yayıldığı yakın alanda, yüzey, uzak alana göre daha pürüzlü görünür ki bu da gün batımının denizdeki yansımasıyla karşılaştırılabilir. İdeal bir pürüzsüz yüzey olması durumunda, yansımanın özelliği iyi bilinen Fresnel Yansıtma Γ özelliği ile tanımlanabilir. Fresnel Yansıtma özelliği, iletilen bir dalganın iki dielektrik ortam (n) arasındaki ara yüzdeki yansımasını karakterize eder. Örneğin n_1 hava ve n_2 homojen toprak ortamı. Fresnel katsayısı (Γ) iletilen θ ’nin ve yansıyan dalganın (θ) açısının ve saçılmanın dielektrik sabitinin bir fonksiyonudur.

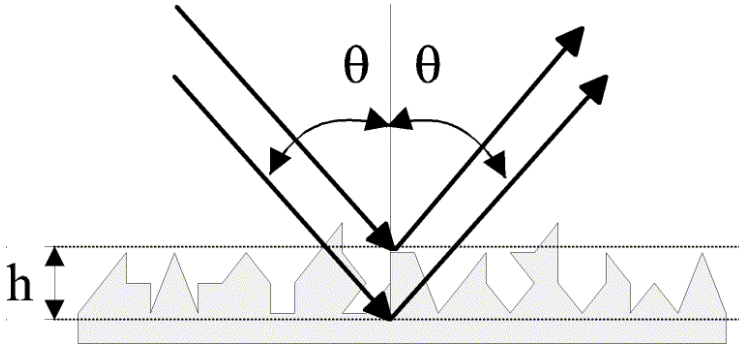
$$\Gamma_h(\theta) = \frac{\mu \cos \theta - \sqrt{\mu \epsilon - \sin^2 \theta}}{\mu \cos \theta + \sqrt{\mu \epsilon - \sin^2 \theta}}, \quad \Gamma_v(\theta) = \frac{\epsilon \cos \theta - \sqrt{\mu \epsilon - \sin^2 \theta}}{\epsilon \cos \theta + \sqrt{\mu \epsilon - \sin^2 \theta}} \quad (3.46)$$

Denklem 3.46’da Γ_h ve Γ_v sırasıyla EM dalganın yatay ve dikey polarizasyonunu göstermekte olup, μ ise manyetik geçirgenlik sabiti olup doğal yüzeyler gibi ferromanyetik olmayan ortamlarda bire eşittir. Yerel geliş açısının artmasıyla birlikte yatay polarizasyonun etkisi de artar. Dikey polarizasyon belli bir açıda sifıra düşer ve Brewster Açısı olarak bilinir. Bu açı iletilen dalganın dielektrik ortam tarafından tamamen soğurulduğu açıdır ve lokal geliş açısının artmasıyla aniden artar. Sabit bir dalga boyu ve sabit bir yerel geliş açısı göz önüne alındığında, iletilen bir EM dalganın farklı pürüzlülük koşullarına sahip bir yüzey ile etkileşimi, genel olarak, saçılma ne kadar dağılırsa veya yüzey ne kadar düzgün olursa, saçılmanın da o kadar yönlü olacağı şeklin de ele alınır. Fresnel Yansıtma özelliği, yukarıda açıklandığı gibi, ideal bir pürüzsüz yüzey sınırı olarak göz önüne alınır. Doğal ortamda, yüzey durumu orta durumdan zor duruma doğru değişmektedir. Bir yüzeydeki ters saçılan EM dalga, yansıyan veya tutarlı ve dağınık veya tutarsız olan iki bileşenden oluşur. Tutarlı bileşen,

pürüzsüz bir yüzey üzerinde özel bir yansıma olarak tepki verir ve bu nedenle mono statik bir radar durumunda, saçılma geri dönüşü olmaz. Tutarlı bileşen dağınık bir saçılma ve saçılma gücünü her yöne dağıtır. Yüzey pürüzlü hale geldikçe, tutarlı bileşen ihmal edilebilir hale gelir ve tutarsız bileşen sadece dağınık saçılmadan oluşur. Bir yüzeyi elektromanyetik açıdan, daha önce de belirtildiği gibi, pürüzsüz ya da pürüzlü bir şekilde tanımlamak isteğe bağlıdır. Bununla birlikte, pürüzsüz bir yüzey tanımlamak için sırasıyla Rayleigh ve Fraunhofer Kriteri olan iki ana kriter bulunabilir. Bazı açılarda θ pürüzlü bir yüzeye iletilen düzlem monokromatik bir dalga göz önüne alındığında, $\Delta\phi$ 'nin yüzeydeki ayrı noktalardan dağılmış iki ışın arasındaki faz farkını hesaplamak önemlidir:

$$\Delta\phi = 2h \frac{2\pi}{\lambda} \cos\theta \quad (3.47)$$

Denklem 3.47'de h , referans yükseklik ve θ ilgili yerel geliş açısına göre pürüzlülük yüksekliğinin standart sapmasıdır ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. EM dalganın θ geliş açısıyla pürüzlü yüzeye teması

Rayleigh kriteri, yansıtılan iki dalga arasındaki $\Delta\phi$ faz farkının $\pi/2$ radyandan küçük olması durumunda, yüzeyin pürüzsüz olarak kabul edilebileceğini ve Denklem 3.48 tarafından tanımlandığını belirtir.

$$h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta} \quad (3.48)$$

Denklem 3.47'de belirtilen iki ışın arasındaki faz farkı, kanatçık sayısının atması sebebiyle iki kanatçık arası mesafenin azalması durumunda ele alınmaktadır. Faz farkı belirli bir kritik değerin altına düştüğünde yani kanatçıklar arası mesafe belirli bir değerin altına indiğinde kanatçıkların sayısının değişiminin soğutucunun uzak alandaki ışınması üzerinde herhangi bir etkiye sebep olmayacağından bahsedilebilir.

3.6. Soğutucuların Termal Açıdan Yüzey Alanı Hesabı

Cihaz tasarımcıları cihazlarını soğutmayı garanti eden ve aynı zamanda belirledikleri hacim sınırları içerisinde bulunan soğutucuları tercih ederler. Soğutucular tasarlanırken yüzey alanının maksimum olması hedeflenip farklı tasarımlar gerçekleştirilerek piyasaya sunulmaktadır. Elimizde var olan bir soğutucunun ne kadar ısıyı atabildiğini hesaplamak için kondüksiyon ve konveksiyon ile ısı transferinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulur. Soğutmak istediğimiz birim ile soğutucu arasında katı-

katı (kondüksiyon) yoluyla ısı transferi gözlemlenir. Soğutucu ile hava arasında da katı-akışkan (konveksiyon) yoluyla ısı transferi gözlemlenir.

3.6.1. Kondüksiyon Yoluyla Isı Transferi

Katı-katı arası gerçekleşen ısı transferidir. Soğutucunun alüminyum, çelik, bakır vb. metalik özelliklerinin soğutma performansına etkisi açısından birbirinden ayrıldığı kısımır.

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (3.49)$$

Fourier ısı denklemi olan Denklem 3.49'da; Q watt (w) cinsinden aktarılan ısı miktarını, k watt/metre x Kelvin (w/m.K) cinsinden metalin ısı iletim katsayısını, A metre kare cinsinden (m^2) ısı geçişine dik yüzey alanı, Δt kelvin (K) cinsinden sıcaklık farkını ve Δx metre (m) cinsinden soğutucu taban kalınlığını ifade etmektedir. Bu eşitliğe soğutucu için kullanılan malzeme türünün etkisi k kat sayısı ile dahil edilmiştir. Yüksek ısı iletimine sahip metallerin k katsayıları Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Çizelge 3.1.'deki metaller incelenecek olursa soğutucu tasarımında hem yüksek ısı iletim kat sayısı hem de düşük maliyet açısından genellikle alüminyum metali tercih edilmektedir.

Çizelge 3.1. Yüksek ısı iletimine sahip metaller ve k değerleri.

	Altın	Bakır	Gümüş	Alüminyum	Tungsten
k (W/m.K)	314	385	406	205	180

3.6.2. Konveksiyon Yoluyla Isı Transferi

Katı-akışkan arası gerçekleşen ısı transferidir. Genellikle akışkan olarak hava kullanılır. Soğutucunun metalik yüzeyinde bulunan ısı, serbest hava ortamının sirkülasyonu sayesinde dışarı atılarak bertaraf edilmiş olunur.

$$Q = H \cdot A \cdot \Delta t \quad (3.50)$$

Newton soğuma denklemi olan Denklem 3.50'de Q watt cinsinden aktarılan ısıyı, H w/m.K cinsinden ısı taşınım katsayısını, A m^2 hava ile temas eden yüzey alanını ve Δt ise K cinsinden yüzey ile hava arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir.

Denklem 3.49 ve Denklem 3.50'deki A yüzey alanı değerleri hesaplanır. Hem kondüksiyon hem de konveksiyon yoluyla ısı transferini garanti eden yüzey alanı belirlenir. Belirlenen bu yüzey alanıyla birlikte gerekli soğutucu tasarımına ait sınırlar belirlenmiş olur. Bu sınırlar çerçevesinde farklı soğutucu tasarımları gerçekleştirilir.

3.7. Ölçüm Metotları

3.7.1. Yansımayan Odada Yapılan Uzak Alan Ölçümü

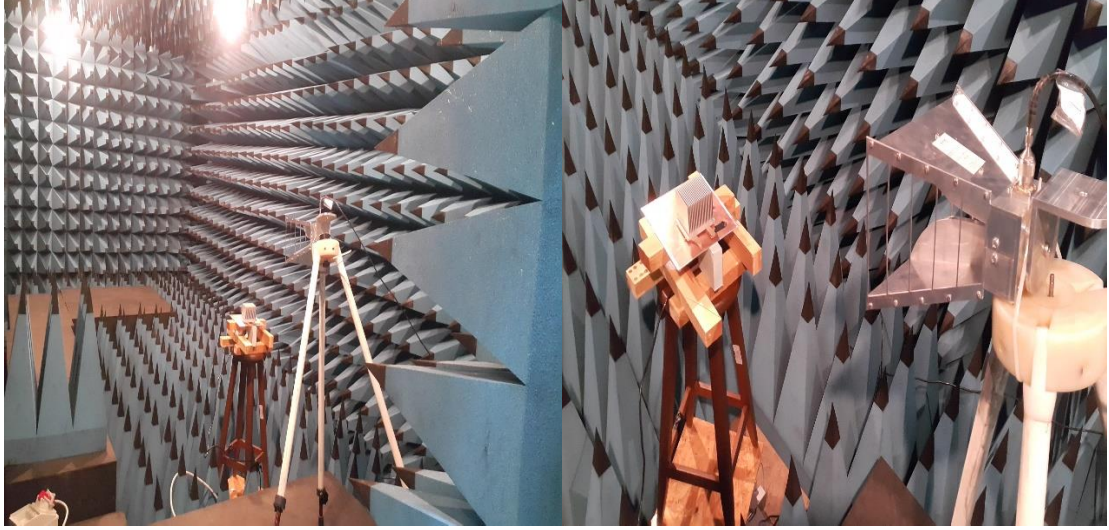
Elektrik alanın uzak alanda ölçümü gerçekleştirilirken bir takım düzenek ve cihazlar gereklidir. Bunların başında frekans bandına göre bir alıcı anten, yansımayan veya tam yansıyan oda, spektrum analizör, RF sinyal jeneratörü ve gerekli kablolar ile konektör ekipmanlarıdır. Ekipmanları tanıttığımız olursak; spektrum analizör belirli bir frekans aralığında girişine uygulanan sinyalin hangi frekansta ne kadar güce sahip olduğunu ölçmemizi sağlar. RF Sinyal jeneratörü ise özellikle yüksek frekans bölgesinde istediğimiz frekans değerinde cihazın sınırları içerisinde istediğimiz gücü çıkışına vererek aktarmamıza olanak tanır. Şekil 3.4’de ölçümde kullanılan spektrum analizör ve RF sinyal jeneratörü görülmektedir. Yansımayan odaya değinecek olursak, belirli frekans bölgesi için içerisinde bulunan özel tasarıma sahip köpükler içerideki elektromanyetik dalganın duvarlara çarpan bileşenlerini soğurarak sönümler ve ölçmek istediğimiz elektromanyetik dalganın direkt olarak gelen bileşeni yansımadan kaynaklı girişimler olmadan ölçülmüş olur. Ayrıca odanın dış metal yapısı sayesinde dışardan gelen ve girişime sebep olabilecek tüm elektromanyetik dalgaların içeri girmesini engeller.



Şekil 3. 4. Ölçümde kullanılan spektrum analizör ve RF sinyal jeneratörü

Tezde yapılan ölçümlerde soğutucunun anten ışıma örüntüsü çıkarılmıştır. Ölçümü açıklamak gerekirse soğutucu ve toprak düzlemi hazırlanan bir düzenek vasıtasıyla döner masa üzerine yerleştirilir. Soğutucunun karşısına alıcı anten yerleştirilir. Antenin girişi RF kablolar vasıtasıyla spektrum analizöre bağlanır. Spektrum analizörün frekans aralığı ayarlanır. Döner masa üzerine yerleştirilen soğutucunun toprak düzleminde bulunan SMA konektör girişine RF kablo bağlanır. Bu konektörün iğne kısmı soğutucuya toprak kısmı bakır plakadan olan toprak düzlemine temas etmektedir. RF kablonun diğer ucu RF sinyal jeneratörüne takılır. Sinyal jeneratöründen istenilen frekansta bir güç uygulanarak soğutucuya aktarılır. Aktarılan güç neticesinde soğutucunun üzerinde bir akım indüklenir ve soğutucu anten gibi

davranarak ışımaya başlar. Döner masanın hassasiyeti ayarlanarak adım adım kendi etrafında bir tur dönecek şekilde konuşlandırılır. Her adımda yaydığı elektrik alan alıcı anten tarafından algılanarak spektrum analizörün ekranından gözlemlenerek kaydedilir. Tur tamamlandığındaysa alınan veriler bir programda işlenir ve polar grafiğe dökülerek ışıma örüntüsü elde edilir. Ölçüm düzeneği ve yansımaya odanın içinin görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.

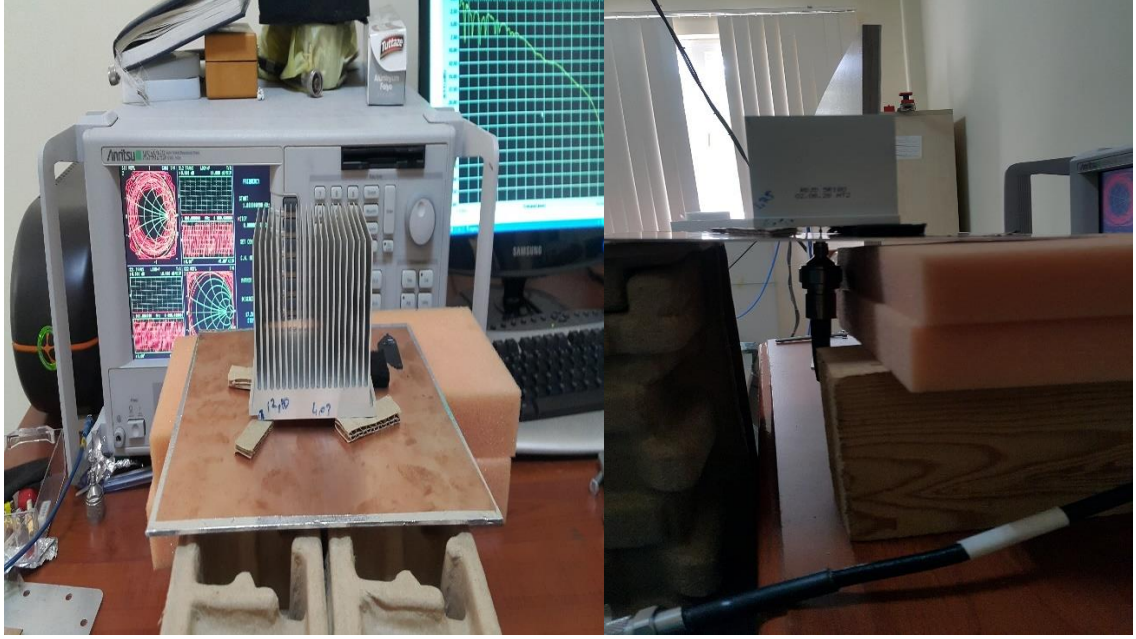


Şekil 3. 5. Yansımaya oda iç kısmında bulunan döner masa, soğutucu ölçüm düzeneği ve alıcı anten

3.7.2. S11 Parametresinin Vektör Network Analizör ile Ölçümü

S11 parametre ölçümü gerçekleştirilirken ölçülen yapının anten davranışı gösterdiği bölgelere bakılır. Kabaca bahsetmek gerekirse S11 parametresinin değeri normalize eksende herhangi bir frekans bileşeninde değer olarak $(-10, -\infty)$ aralığında bir değerdeyse aktif bir anten gibi davrandığı söylenebilir. S11 parametre ölçümü gerçekleştirilirken gerekli olan ekipmanlar; Vektör Network Analizör (VNA), RF kablo, ölçüm düzeneği ve konektörlerdir. Ekipmanlardan VNA’yı açıklayacak olursak; özellikle yüksek frekanslarda girişine bağlanan anten vb. yapının bir takım kalibrasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra genlik ve faz değerlerinin gerçek ve sanal değerlerine ulaşmamızı sağlar.

Tezde kullanılan soğutucunun S11 ölçümü gerçekleştirilirken uzak alan ölçümlerinde de kullanılmış olan koaksiyel giriş bağlı toprak düzlemi üzerinde yer alan soğutucu düzeneği kullanılmıştır. VNA tek giriş üzerinden yansıma kat sayısı S11 ölçümü için sırasıyla açık, yük bağlı ve kısa devre bağlantı yapılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon yapılmış giriş RF kablo vasıtasıyla soğutucu düzeneğinin üzerinde bulunan konektöre bağlanmıştır. Gerekli frekans aralığı girilerek soğutucunun S11 parametre ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm düzeneği ve VNA’ya ait görsel Şekil 3.7’de yer almaktadır.



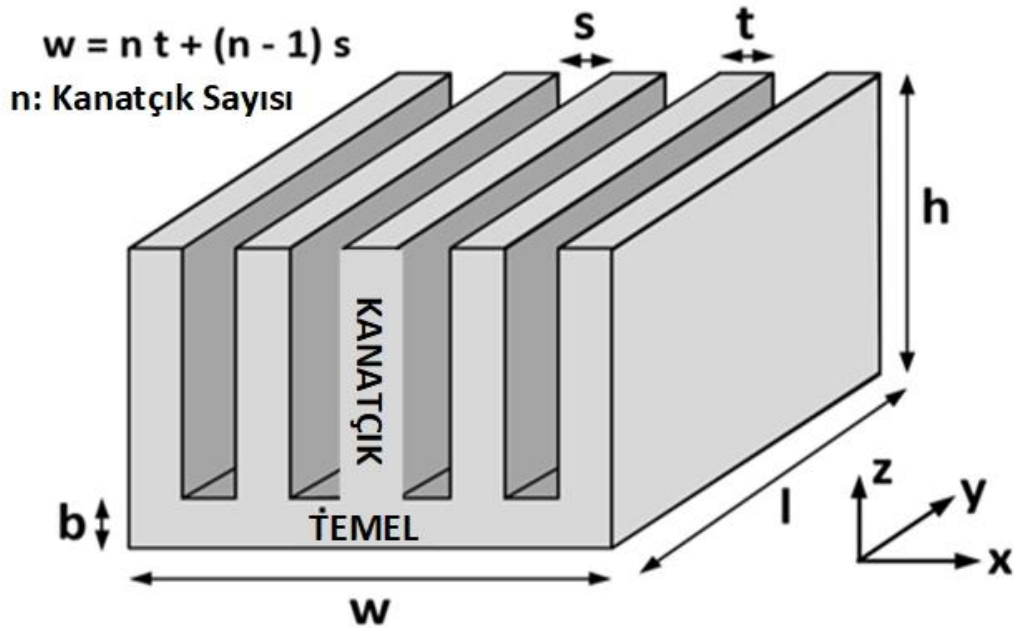
Şekil 3. 6. S11 parametresi ölçümü VNA ve soğutucu ölçüm düzeneği

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu kısım 4 alt başlık altında incelenmiştir. Bunlar sırasıyla; soğutucunun parametrik analizi, soğutucunun taban yapısına göre analizi, soğutucunun kanatçık yapısına göre analizi ve soğutucunun besleme noktasına göre analizidir. Bu başlıkların yorumlanması için benzetimleri CST benzetim programında yapılmıştır. Ayrıca soğutucuların besleme noktasına göre analizi benzetimin yanı sıra laboratuvar ortamında yapılan uzak alan ve S11 ölçümleriyle de desteklenmiştir. Benzetimler için soğutucuların kaynak sinyali koaksiyel giriş ile sağlanmış olup incelenen frekans aralığı 1 – 8 GHz’dir.

4.1. Soğutucuların Parametrik Analizi

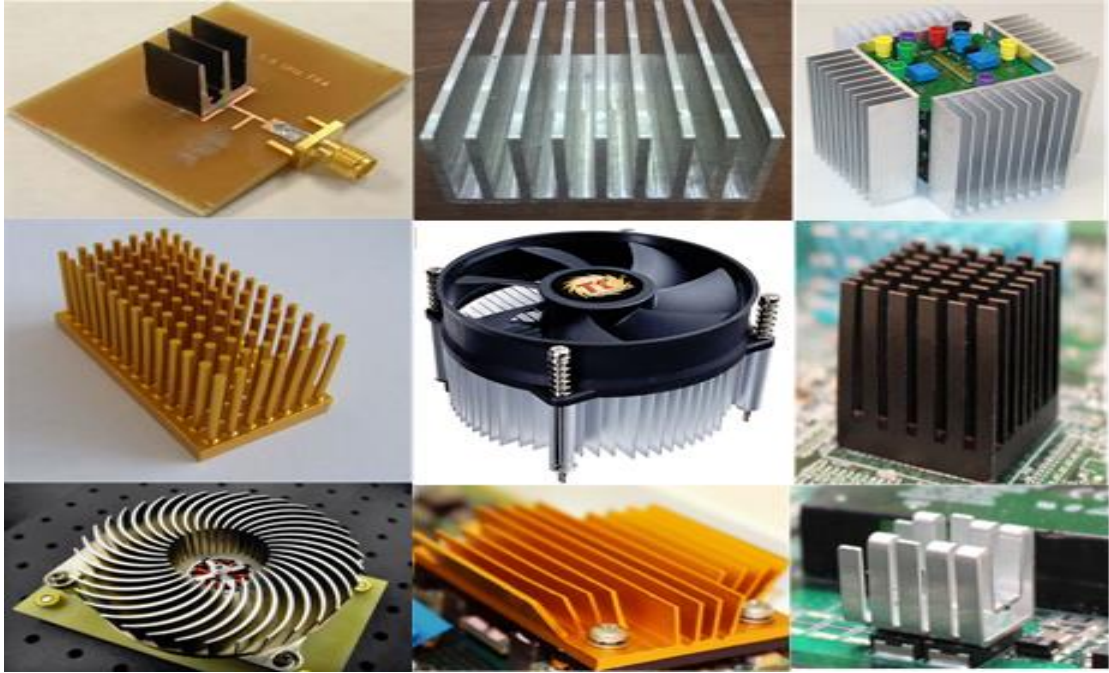
Soğutucuların parametrik analizi yapılırken soğutucu boyu (l), soğutucu eni (w), soğutucu yüksekliği (h) ve kanatçık sayısı (n) parametreleri değiştirilerek uzak alan ışımasına olan etkileri ve s11 parametreleri incelenmiştir. Şekil 4.1’de soğutucu tabanı (base) üzerinde bulunan kanatçıklar (fin) ile birlikte genel parametreler belirtilmiştir. Ayrıca kanatçıkların arasındaki boşluğun belirlendiği fonksiyonda Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4. 1. Soğutucu parametrelerinin soğutucu yapısı üzerinde gösterimi

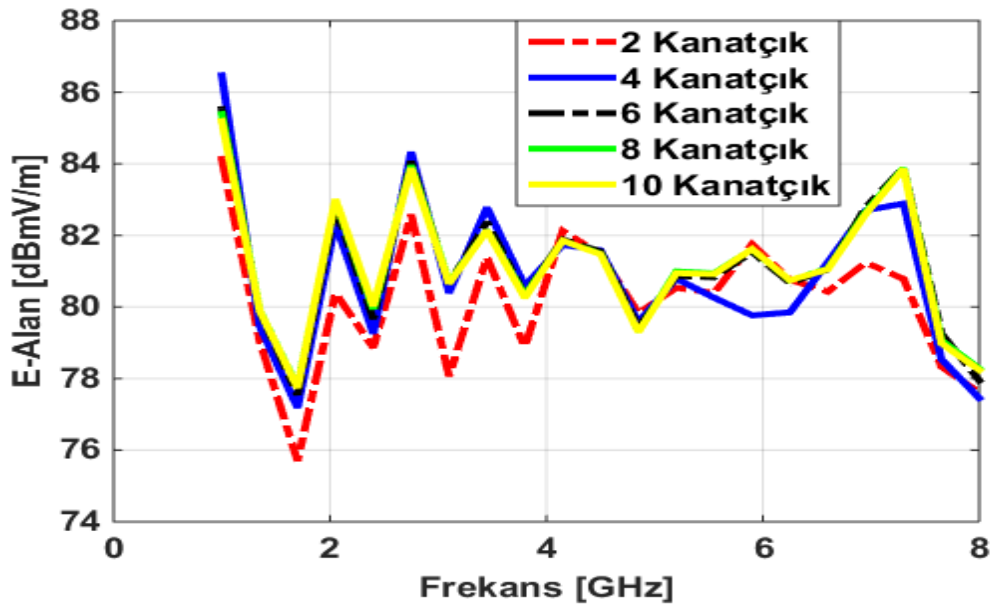
4.1.1 Kanatçık Sayısına göre Analiz

Kanatçıkların uzunluğu, derinliği ve kanatçıklar arasındaki mesafe mekanik anlamda soğutma performansını doğrudan etkilerken elektromanyetik ışıma davranışlarını da değiştirmektedir. Şekil 4.2’de soğutuculara ait bazı kanatçık yapıları görülmektedir. Bu kısımda kanatçık sayısının değişimine bağlı yapılan benzetimler verilmektedir. Kanatçıkların etkisinin gözlemlenmesi adına diğer parametreler sabit tutulup kanatçık sayısı değiştirilerek benzetim yapılmıştır.



Şekil 4. 2. Farklı kanatçık yapısına sahip soğutucular

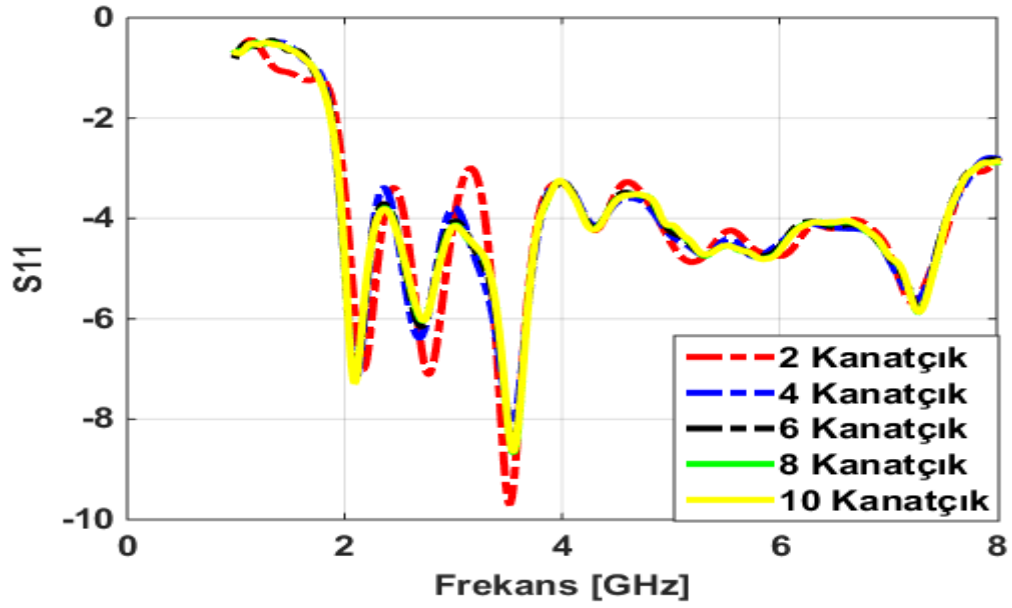
Benzetimlerde kanatçık sayısı sırasıyla 2, 4, 6, 8, 10 olarak değiştirilmiştir. Benzetimde kullanılan soğutucun ölçüleri; boy 100 mm, en 130 mm, yükseklik 84 mm, kanatçık kalınlığı 2 mm olarak seçilmiştir. Soğutucu ile toprak düzlemi arasındaki boşluk (gap) 5 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4. 3. Soğutucunun kanatçık sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği

Şekil 4.3'deki grafikte soğutucunun kanatçık sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde kanatçık sayısı değişiminin

ışırma üzerinde etkisinin neredeyse olmadığı gözlemlenmiştir. Değer olarak incelendiğindeyse en büyük farkın 2.5 dB'nin altında olduğu görülmüştür.

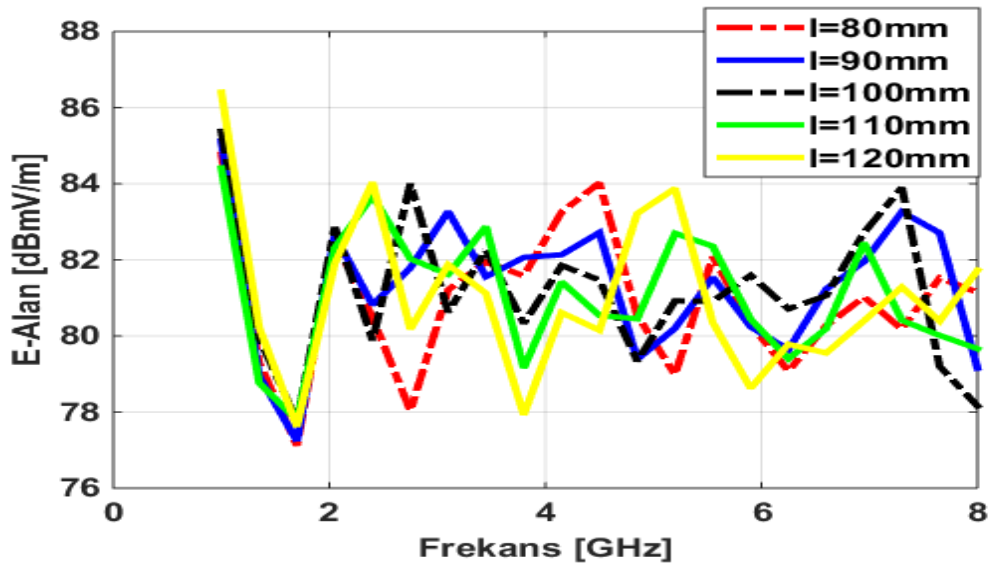


Şekil 4. 4. Soğutucunun kanatçık sayısı değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği

Şekil 4.4'de verilen S11 parametre grafiği incelendiğinde kanatçık sayısı değişiminin genel şekli değiştirmedeği belirlenmiş olup genlik olarak değişimin ise 1 dB'nin altında olduğu saptanmıştır.

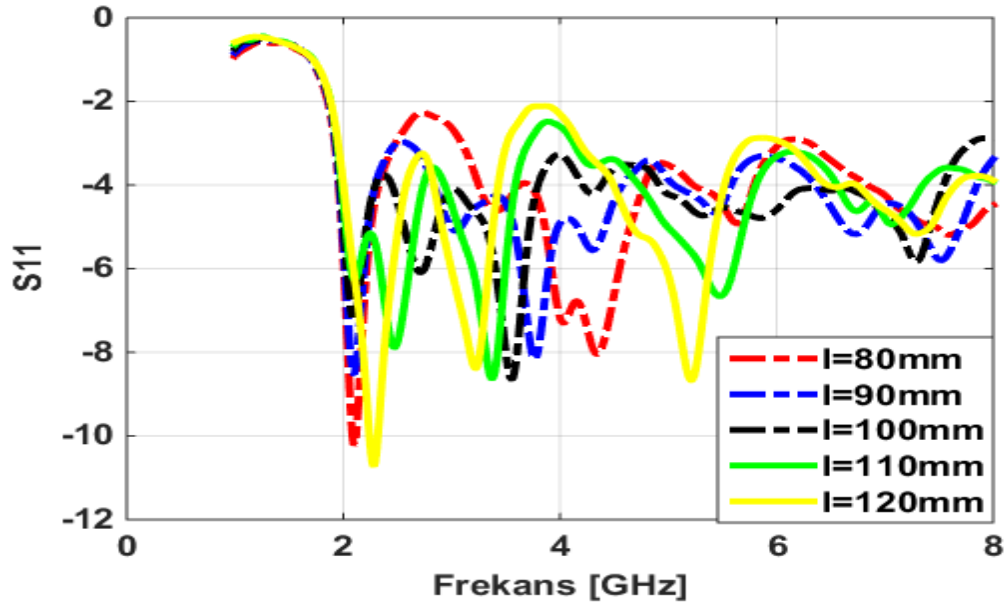
4.1.2. Soğutucunun Boy Değişimine göre Analizi

Soğutucuların parametrik analizinde boyun değiştirilmesi yama anten davranışından dolayı ışıma karakteristiğini ve genliğini değiştirir. Bu kısımda soğutucunun boyu için 80 mm ile 120 mm arasındaki değerler alınıp uygulanmıştır.



Şekil 4. 5. Soğutucunun boy değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği

Şekil 4.5'deki grafik boy parametresinin değişimine bağlı olarak elde edilen elektrik alan değişimini vermektedir. Grafik incelendiğinde 2 GHz'e kadar boy değişiminin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. 2.4 GHz'de boyun artmasıyla birlikte ışıma 4 dB artmıştır. 2.75 GHz'e bakıldığında 80 mm'ye göre 100 mm değeri 6 dB daha fazla ışıma yapmıştır. Ayrıca grafik olgusu incelenirse oluşan ışıma farkının cüzi miktarda genlik değişimiyle birlikte frekans kaymasından oluştuğu gözlemlenir.

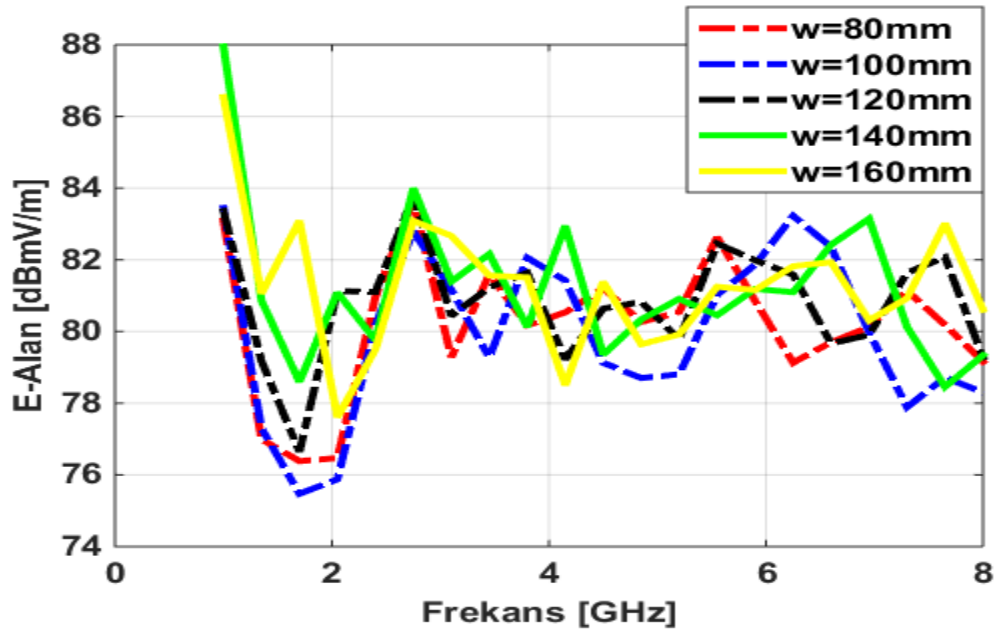


Şekil 4. 6. Soğutucunun boy değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği

Şekil 4.6'da boy değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği verilmiştir. Seçilen boyutlar için soğutucunun 2.1 GHz'de anten gibi davrandığı görülmektedir. Grafik olgusuna bakılacak olursa farklı frekans bölgeleri için faz kaymaları mevcuttur. 2 ile 4 GHz aralığında oluşan tepeler boyun artmasıyla birlikte düşük frekans bölgesine kaymıştır ve genlikleri değişmiştir. Aynı durum 4 ile 8 GHz aralığında da mevcuttur.

4.1.3. Soğutucunun En Değişimine göre Analizi

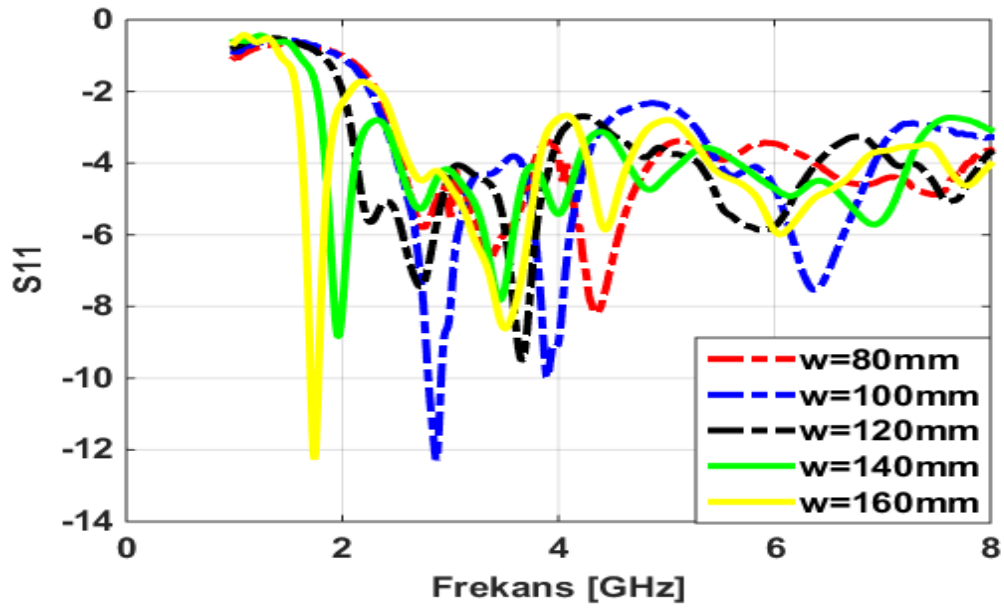
Önceki kısımda bahsedilen boy parametresinde olduğu gibi en parametresinin de yama antenden dolayı ışıma olgusu ve genliği üzerinde değişiminin dikkate değer oranda olması beklenir. Bu kısımda soğutucu eni 80 mm ile 160 mm aralığında değiştirilerek benzetim yapılmıştır.



Şekil 4. 7. Soğutucunun en değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği

Soğutucu eni değiştirilerek uzak alan için elde edilen elektrik alan grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir. Grafikte 1 ile 2.1 GHz aralığı incelenirse en büyük ısıma değeri ile en küçük ısıma değeri arasındaki farkın 7 dB civarı olduğu görülür. Ayrıca bu bölgede en parametresinin artmasıyla beraber ısımanın arttığı yorumu da yapılır. 2.1 GHz ile 6 GHz aralığında ısımanın 3 dB’yi geçmemekle birlikte kabaca aynı olduğu görülmektedir. 6 ile 8 GHz aralığındaysa ısımanın yer yer 5 dB’nin üzerinde olduğu gözlemlenmektedir.

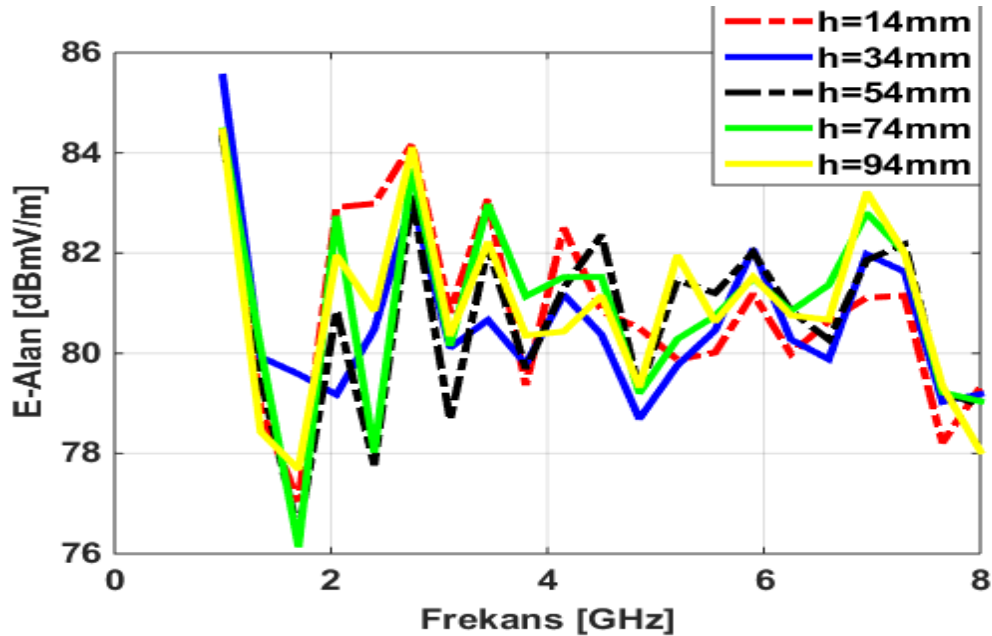
Şekil 4.8’de en değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği verilmiştir. 1.7 GHz’de 160 mm en değeri için ve 2.8 GHz’de 100 mm en değerinde soğutucunun anten gibi davrandığı görülmektedir. 3.5 ile 4 GHz aralığında en değerinin artmasıyla birlikte olgudaki tepenin düşük frekans bölgesine doğru kaydığı ve genliğinin azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca grafik olgusuna genel olarak bakıldığında 2 GHz ile 8 GHz aralığında faz kaymasıyla birlikte genlik değerlerinin değiştiği saptanır.



Şekil 4. 8. Soğutucunun en değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği

4.1.3. Soğutucunun Yükseklik Değişimine göre Analizi

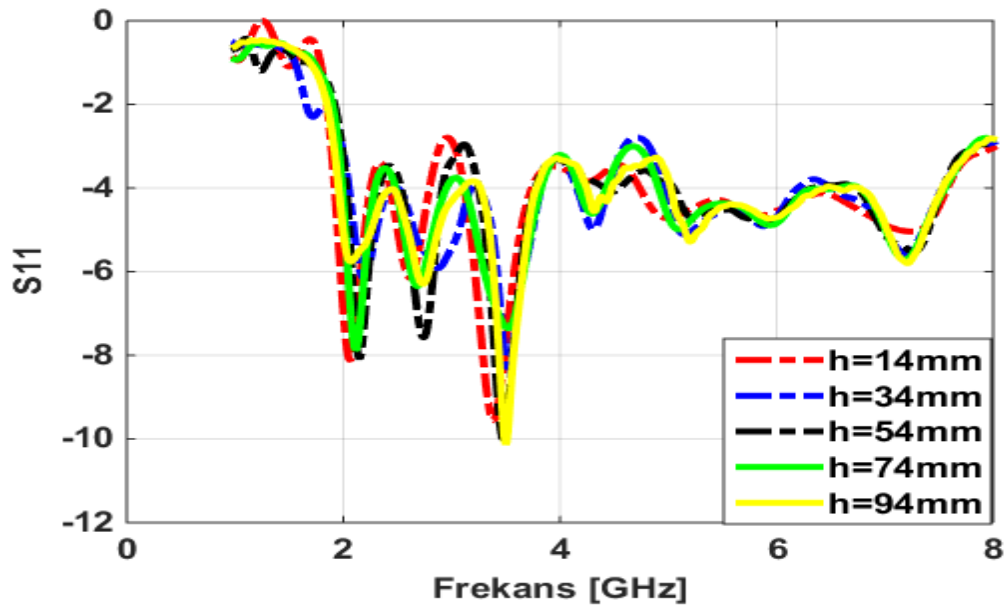
Önceki parametrik analiz kısımlarında soğutucunun yama anten davranışından bahsedilmiştir. Bu kısımda ise soğutucunun yüksekliğinin değişimine bağlı olarak monopül anten davranışı incelenmiştir. Soğutucu yüksekliği 14 mm ile 94 mm aralığında değiştirilerek benzetimi yapılmıştır.



Şekil 4. 9. Soğutucunun yükseklik değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği

Yukarıda da bahsedildiği üzere soğutucunun yüksekliğindeki artış monopol antenin boyundaki artış gibi düşünülebilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus bu yüksekliğin soğutucu en ve boy ölçülerinden daha fazla olması gerektiğidir. Teoride bu durum kalın bir monopolü ifade eder. Elde ettiğimiz benzetim sonuçlarındaysa soğutucu boyutlarının somutlaştırılabilir ölçüler seçilmesi nedeniyle yükseklik değerleri taban ölçülerinden küçük alınıp incelenmiştir.

Şekil 4.9’da yükseklik değişimine bağlı olarak soğutucunun uzak alanda elde edilmiş elektrik alan grafiği yer almaktadır. 1 ile 2 GHz aralığında ışıma olgusu aynı kalmakla birlikte genliği 2 dB’den azdır. 2.4 GHz’e bakıldığında 14 mm yükseklik değeri diğerlerine göre yaklaşık 5 dB fazla ışıma yapmıştır. 2.4 ile 8 GHz aralığında ise grafik olgusu aynı kalmakla birlikte ortaya çıkan ışıma miktarı 2 dB’nin altındadır.

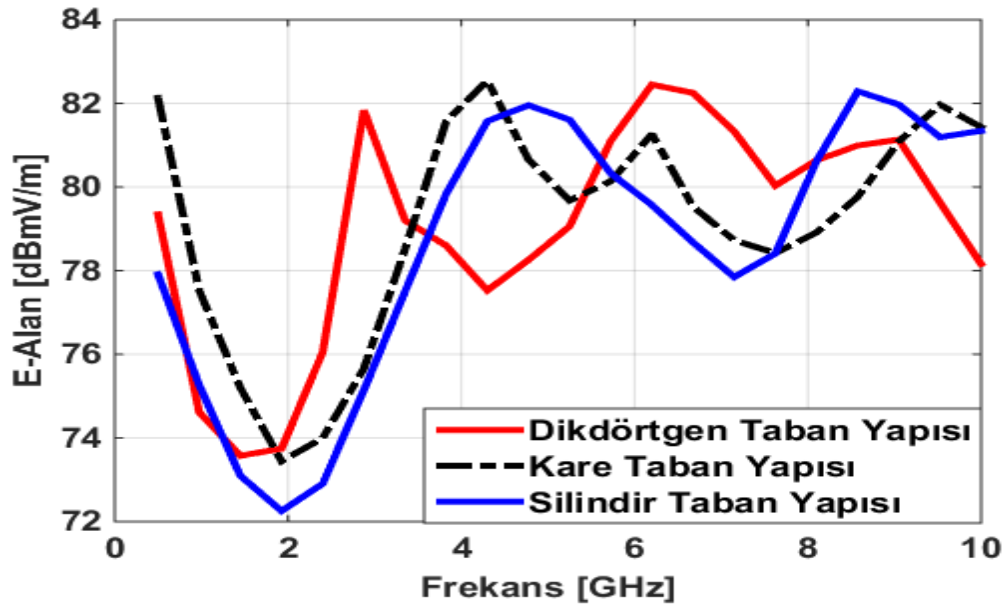


Şekil 4. 10. Soğutucunun yükseklik değişimine bağlı olarak elde edilen alan grafiği

Yükseklik değişimine bağlı olarak elde edilen S11 grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir. Genel olarak grafik incelenirse şeklin yaklaşık olarak aynı kaldığı, frekans kaymasının da neredeyse olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte yükseklik parametresinin değişimi S11’in tepe yaptığı yerlerdeki genliği değiştirmiştir. Ancak bu değişim 2.5 dB’nin altındadır. Grafikte oluşan tepeler seçilen ortak ebatlara sahip soğutucudan kaynaklanmaktadır.

4.2. Soğutucuların Taban Yapısına göre Analizi

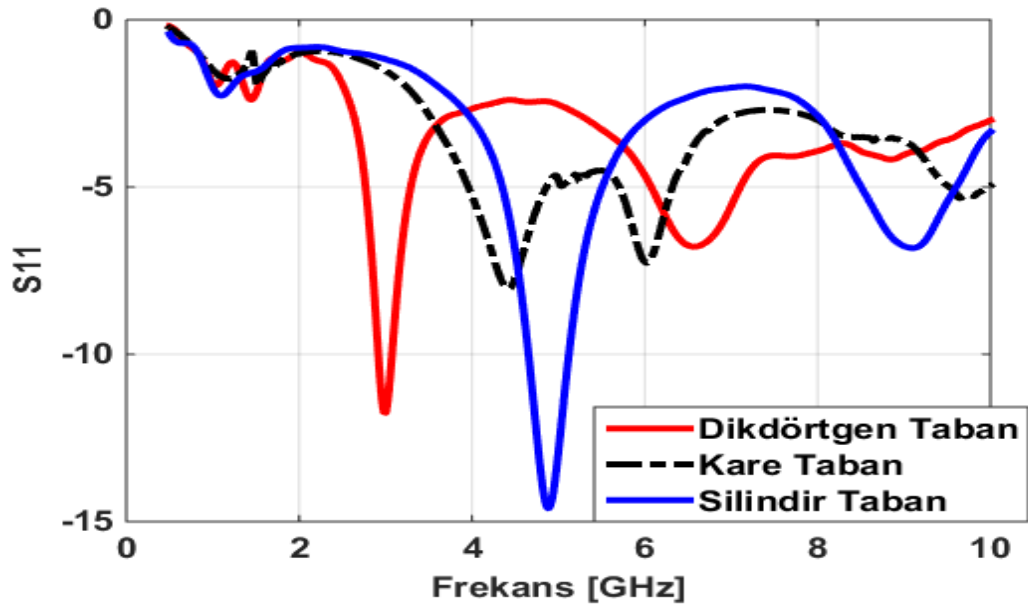
Soğutucular taban şekillerine göre farklı ışıma karakteristiğine sahiptir. Bu kısımda soğutucu tabanı dikdörtgen, kare ve silindir şeklinde alınarak benzetimleri yapılmıştır. Kare taban yapısı için taban ölçüleri en 65 mm, boy 65 mm’dir. Dikdörtgen taban yapısı için taban ölçüleri en 46 mm, boy 92 mm’dir. Silindir taban yapısı için taban yarıçapı 36.7 mm’dir. Üç taban yapısı için yükseklikler aynı olup 55 mm’dir.



Şekil 4. 11. Soğutucunun taban yapısına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği

Şekil 4.11’de farklı üç taban yapısına ait uzak alan elektrik alan grafiği verilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa 1 ile 2 GHz aralığında kare tabanlı soğutucunun 2 ile 4 dB aralığında daha fazla ısıma yaptığı görülmektedir. 2 ile 4 GHz frekans aralığında kare tabanlı soğutucu ile silindir tabanlı soğutucunun yaptığı ısıma yaklaşık olarak birbiriyle aynıdır. 2.9 GHz incelendiğinde dikdörtgen taban yapılı soğutucunun diğer soğutuculara göre 6 dB daha fazla ısıma yaptığı gözlemlenmiştir. 4 ile 6 GHz frekans aralığına gelindiğinde silindir tabanlı ve kare tabanlı soğutucunun ısıma değerleri birbirine yakın olmakla birlikte farklı olduğu bölgelerde 2 dB’nin altındadır. 4.3 GHz’de en fazla ışımayı kare tabana sahip soğutucu yapmış, en az ışımayı ise dikdörtgen tabanlı soğutucu yapmış olup aralarındaki fark 5 dB kadardır. 6 ile 8 GHz frekans aralığında dikdörtgen tabanlı soğutucunun diğerlerine göre daha fazla ısıma yaptığı görülmekle birlikte değer olarak 3 dB’den daha azdır. 10 GHz frekansına bakıldığında dikdörtgen tabanlı soğutucunun ısmasının diğer soğutuculara göre 3.5 dB daha az olduğu belirlenmiştir. Genel olarak grafik olgusuna bakılacak olursa cüzi miktarda frekans kaymasıyla birlikte silindir tabanlı soğutucu ile kare tabanlı soğutucunun birbirine benzer olduğu görülmektedir.

Farklı taban yapılarının anten davranışları incelemek için benzetimde elde edilen S11 grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafik şekil olarak incelendiğinde 3 taban yapısı içinde 2 tepe olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca 3 GHz’de dikdörtgen tabanlı soğutucunun, 4.9 GHz’de silindir tabanlı soğutucunun anten gibi davrandığı yorumu yapılabilir. Kare tabanlı soğutucunun ise anten davranışı diğerlerine göre daha zayıftır.

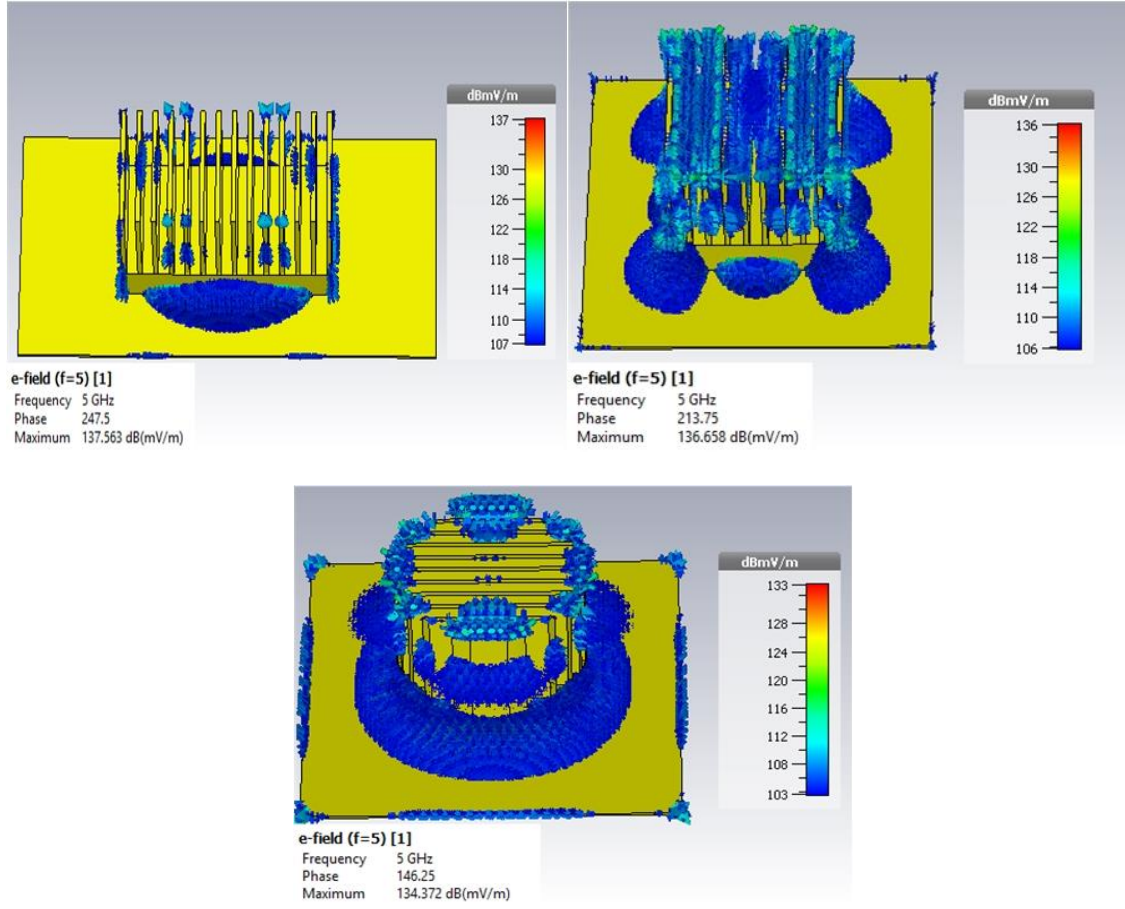


Şekil 4. 12. Soğutucunun taban yapısına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği

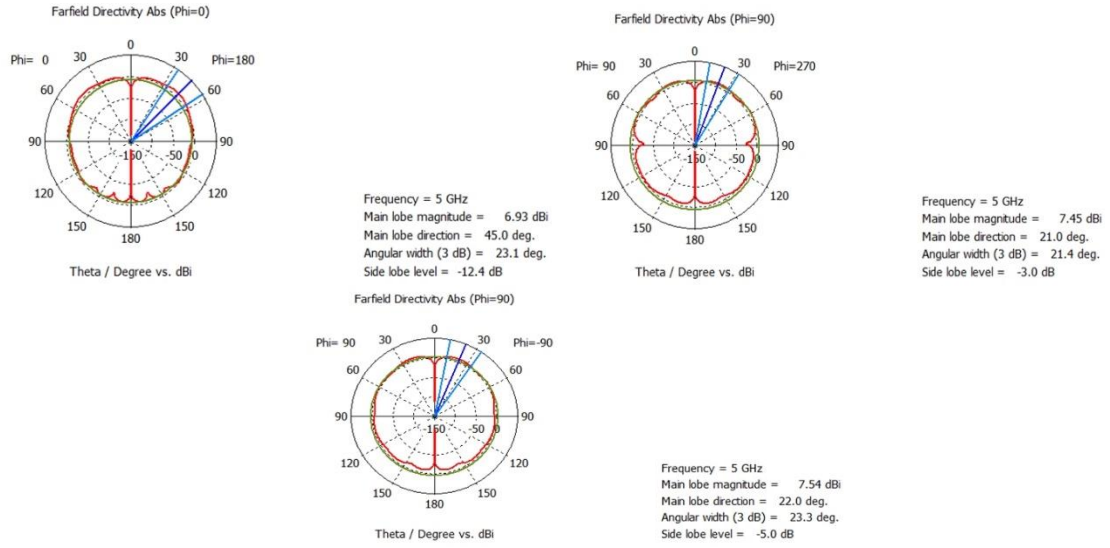
Farklı taban yapılarına sahip her soğutucu için üzerlerinde indüklenen elektrik alanda birbirinden farklıdır. Şekil 4.13’de verilen görsellerde bu durum açıkça görülmektedir.

Soğutucuların belirli frekans değerlerinde geometrilerine bağlı olarak anten gibi davranacağından önceki kısımlarda bahsedilmiştir. Soğutucuların taban yapısını incelerken anten parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Soğutucu bir anten olarak ele alındığında kendine ait ışıma örüntüsü ve anten yönlülük kazancı olmalıdır. Bu kısımda incelemiş olduğumuz farklı taban yapılarına ait 5 GHz frekanstaki ışıma örüntüsü Şekil 4.14’de verilmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılacak olursa dikdörtgen tabanlı soğutucunun ana huzmesi 45 derecede, kare tabanlı soğutucunun ana huzmesi 21 derecede, silindir tabanlı soğutucunun ana huzmesi 22 derecede olduğu saptanmıştır. Ayrıca yan huzme seviyesi incelendiğinde dikdörtgen tabanlı soğutucunun -12.4 dB, kare tabanlı soğutucunun -3 dB, silindir tabanlı soğutucunun -5 dB olduğu şekil üzerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır. Ayrıca anten kazançlarına değinecek olursak dikdörtgen tabanlı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 6.93 dBi, kare tabanlı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 7.45 dBi, silindir tabanlı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 7.54 dBi’dir.

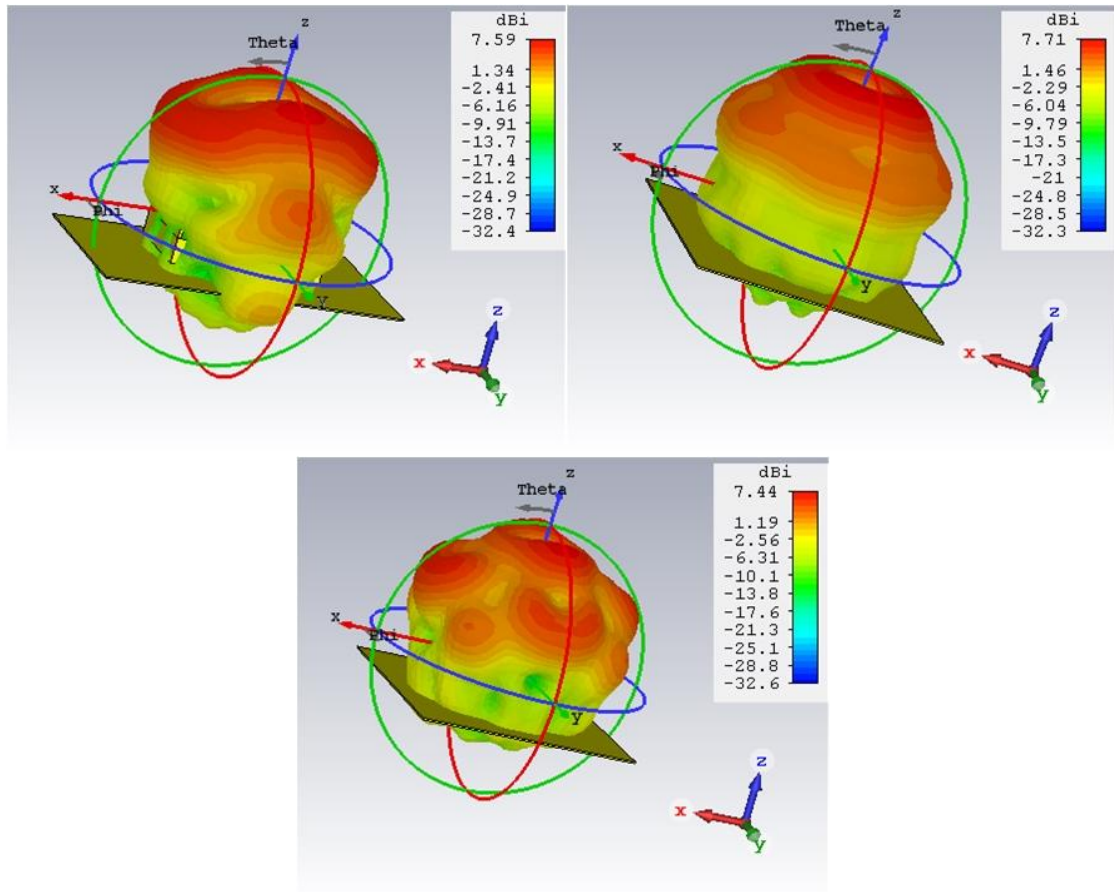
Şekil 4.15’de farklı taban yapılarına sahip soğutucular için uzak alandaki anten yönlülüğü verilmiştir. Taban geometrisinin bu durum üzerindeki etkisi üç boyutlu görseller yardımıyla kolayca anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 13. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindir taban için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın iki boyutlu görüntüsü



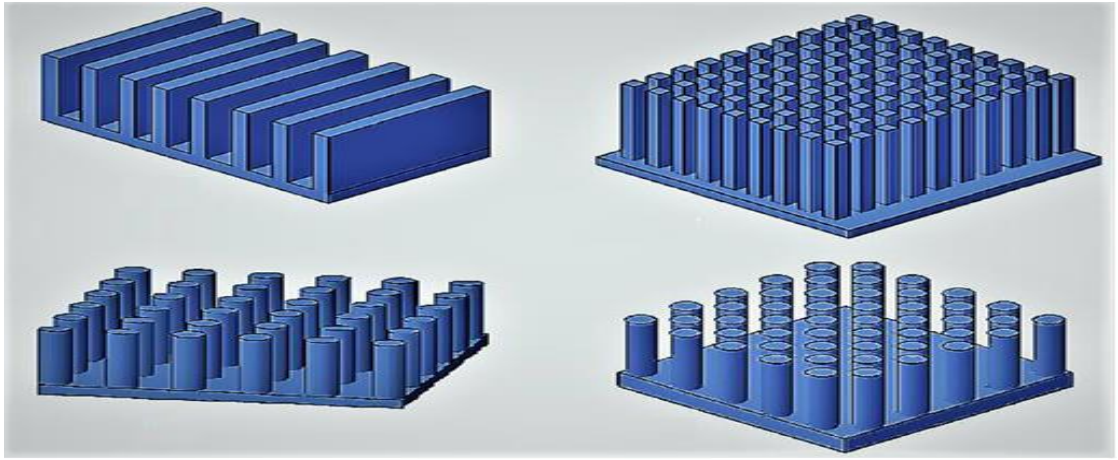
Şekil 4. 14. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindirik taban için soğutucu ışıma örüntüsünün polar görüntüsü



Şekil 4. 15. Taban yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla dikdörtgen taban, kare taban ve silindirik taban için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü

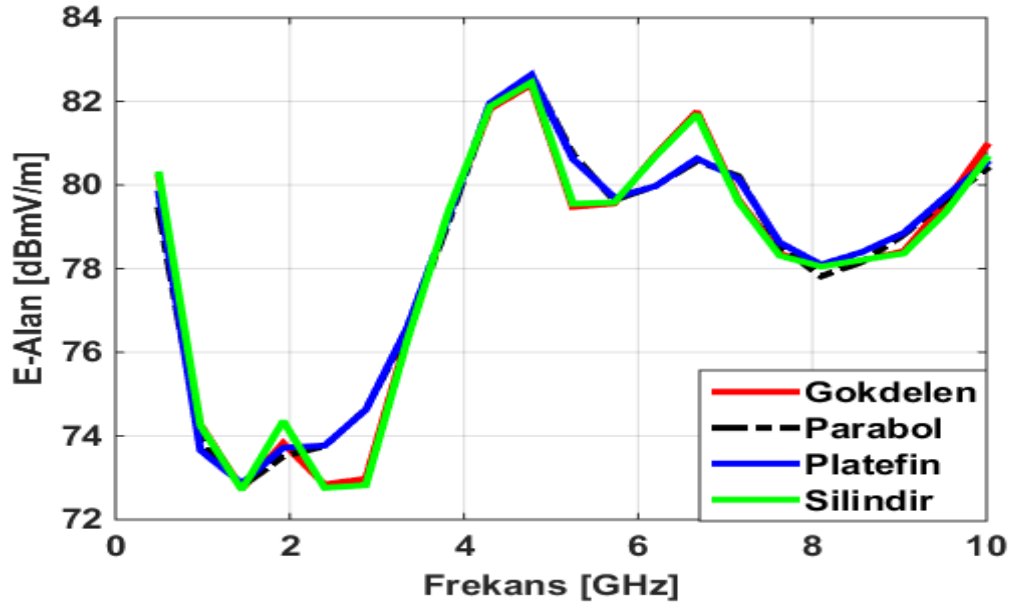
4.3. Soğutucuların Kanatçık Yapısına göre Analizi

Soğutucular ısıyı uzaklaştırma bakımından farklı tipte kanatçıklara sahip olarak tasarlanabilmektedir. Billings ve Morey (1976) yayınladıkları kitabında aynı hacme sahip farklı soğutucu tasarımlarının serbest hava ortamında soğutma performansının %10'dan daha fazla iyileştirilemeyeceğini belirtmişlerdir. Bu kısımda 4 farklı kanatçık yapısına sahip soğutucu benzetimi yapılarak incelenmiştir. Bunlar dikdörtgen tip kanatçık, parabol tip kanatçık, gökdelen tip kanatçık ve silindirik tip kanatçık yapısına sahip soğutuculardır. Ele alınan soğutucuların ısıyı atma performansları yaklaşık olarak birbirine eşittir. Şekil 4.16'da bu soğutuculara ait görsel verilmiştir. İncelenen soğutucular göz önüne alındığında kanatçık yapısı olarak silindirik tip ile gökdelen tipin, parabolik tip ile dikdörtgen tipin birbirine şekil olarak benzerliği dikkat çekmektedir. Bu durum benzetim sonuçları incelenirken de akılda bulundurulmalıdır.



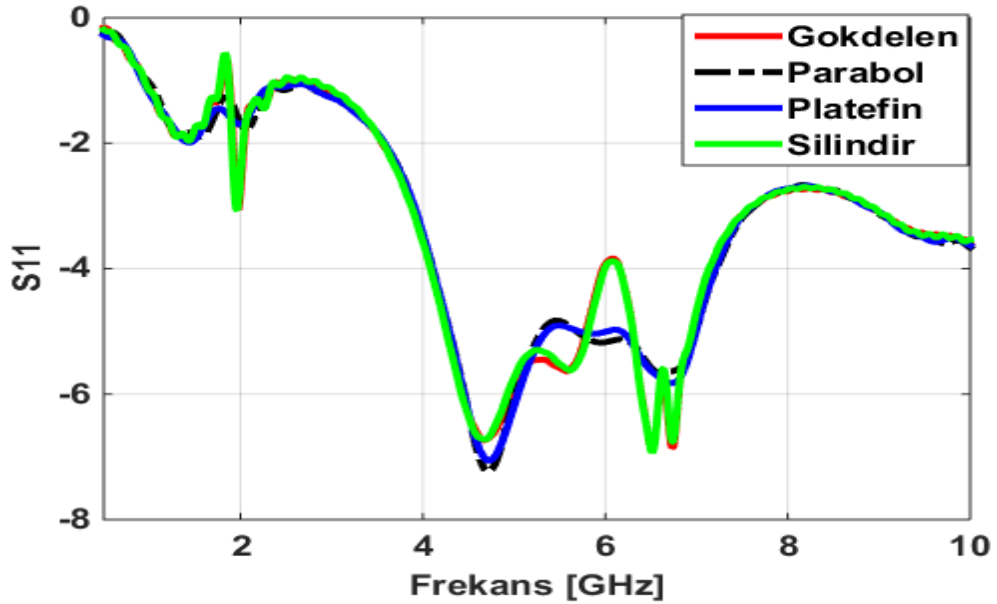
Şekil 4. 16. Soğutucu örnek kanatçık yapıları sırasıyla sol üstten sağa doğru dikdörtgen tip, gökdelen tip, silindirik tip yandan görünüm, silindirik tip üstten görünüm

Şekil 4.17'de farklı kanatçık yapılarına sahip soğutucuların uzakla alanda elde edilen elektrik alan grafiği verilmiştir. Grafik olgusal olarak incelendiğinde silindirik tip ile gökdelen tipin, parabolik tip ile dikdörtgen tipin aynı ısıma karakteristiğine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca tüm frekans bandında soğutucular birbirine göre kıyaslanırsa ısıma bakımından kanatçık yapısının etkisinin 2 dB'den az olduğu grafik üzerinde açıkça görülmektedir.

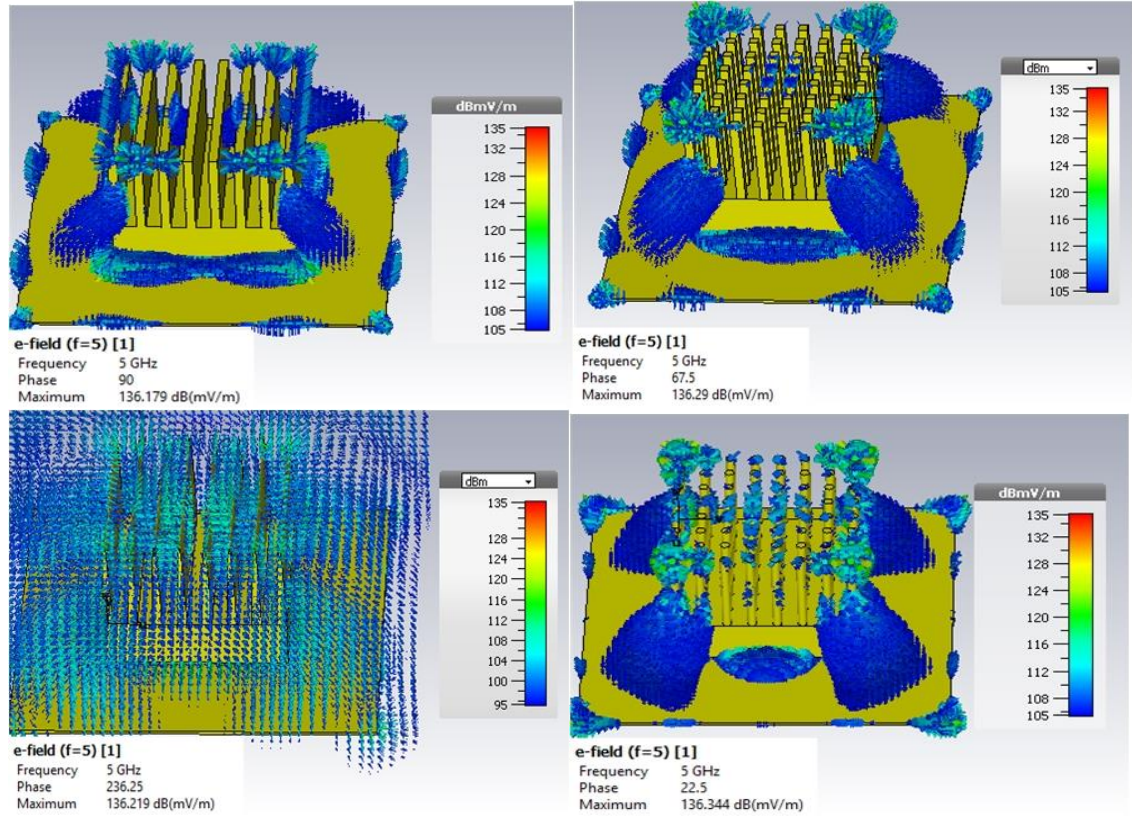


Şekil 4. 17. Soğutucunun kanatçık yapısına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği

Farklı kanatçık yapılarına sahip soğutuculara ait S11 grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir. Üstte bahsedildiği gibi parabolik tip ile dikdörtgen tip ile de gökdelen tipin benzerliği S11 grafiğinde de görülmektedir. Genel itibariyle grafiğin olgusal şekli birbiriyle aynı olmakla birlikte 6 ile 8 GHz aralığındaki ufak farklılıklar göze çarpmaktadır. Ancak soğutucuların kanatçık yapısının değişiminin anten performansına etkisinin olmadığı elde edilen S11 grafiği ile net bir şekilde görülmektedir.

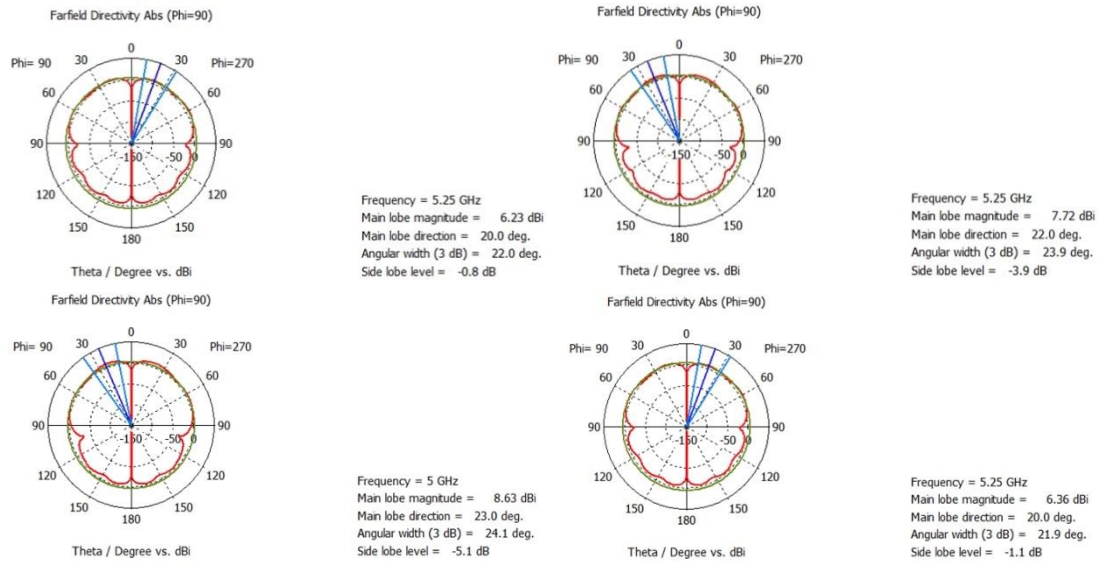


Şekil 4. 18. Soğutucunun kanatçık yapısına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği



Şekil 4. 19. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın üç boyutlu görüntüsü

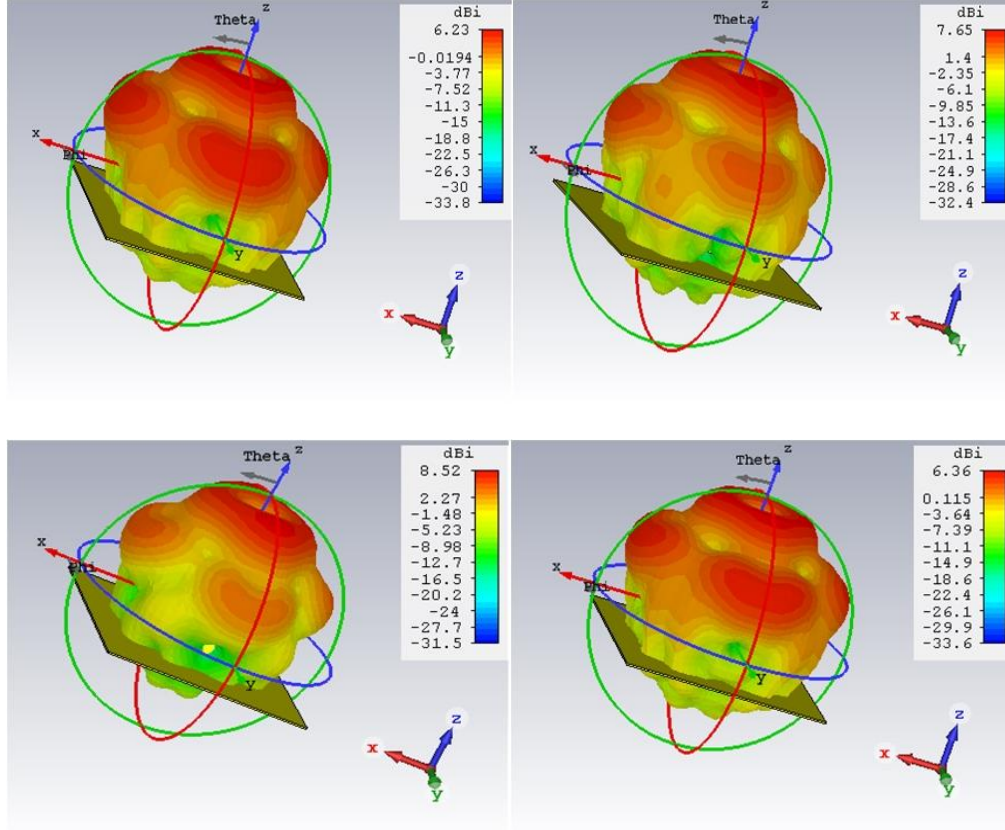
Şekil 4.19’da farklı kanatçık yapılarına sahip soğutucuların 5 GHz’de üzerinde indüklenen elektrik alan görülmektedir. Değerlere bakılacak olursa indüklenen maksimum elektrik alan yaklaşık olarak birbiriyle aynıdır.



Şekil 4. 20. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için soğutucu ışıma örüntüsünün polar görüntüsü

Uzak alanda 5 GHz frekansta elde edilen farklı kanatçık yapılarına ait ışıma örüntüsü Şekil 4.20’de verilmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılacak olursa gökdelen kanatçıklı soğutucunun ana huzmesi 20 derecede, parabol kanatçıklı soğutucunun ana huzmesi 22 derecede, dikdörtgen kanatçıklı soğutucunun ana huzmesi 23 derecede ve silindir kanatçıklı soğutucunun ana huzmesi 20 derecede olduğu saptanmıştır. Ayrıca yan huzme seviyesi incelendiğinde gökdelen kanatçıklı soğutucunun -0.8 dB, parabol kanatçıklı soğutucunun -3.9 dB, dikdörtgen kanatçıklı soğutucunun -5.1 dB, silindir kanatçıklı soğutucunun -1.1 dB olduğu şekil üzerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır. Anten kazançlarına değinecek olursak gökdelen kanatçıklı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 6.23 dBi, parabol kanatçıklı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 7.72 dBi, dikdörtgen kanatçıklı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 8.63 dBi ve silindir kanatçıklı soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 6.36 dBi’dir.

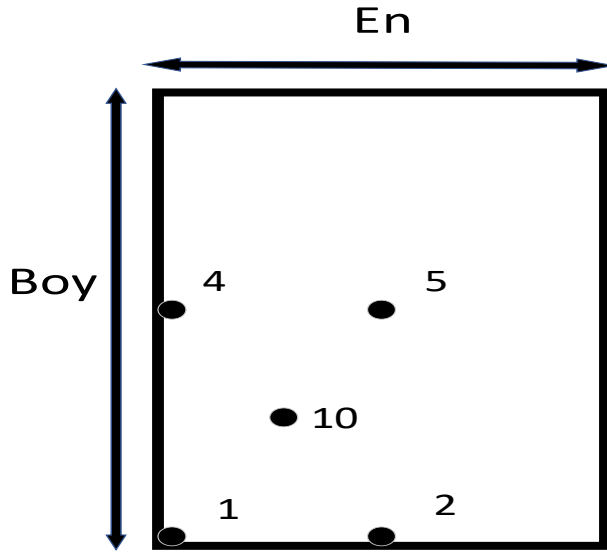
Şekil 4.21’de incelen farklı kanatçık yapılarına sahip soğutuculara ait üç boyutlu anten yönlülükleri verilmiştir. Şekillere dikkatli bakılırsa soğutucu yapısı iç taraftadır. Çevresindeki olgunun renkleri ile şiddeti belirlenir. Aynı zamanda hangi yönde anten yönlülüğünün daha fazla olduğunu görsel olarak anlamamız kolaylaşır.



Şekil 4. 21. Kanatçık yapısına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla sırasıyla gökdelen, parabol, dikdörtgen ve silindir tip için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü

4.4. Soğutucuların Besleme Noktasına göre Analizi

Soğutucuların bağlı bulundukları cihazların içerisinde bulunan yarı iletken anahtarlamalı devre elemanları olan BJT, MOSFET, JFET vb. yapıların anahtarlamaları sonucunda ortaya harmonik bileşenler çıkardıklarından önceki kısımlarda bahsedilmiştir. Bu yapılar AGK'lar gibi bütünleşik devre haline getirilip kullanıldıklarında ortaya çıkan ısıyı atmak için metalik soğutuculara ihtiyaç duyarlar. Anahtarlamalar esnasında oluşan harmonik bileşenler soğutucu üzerine düşerek ısıya yapmasına dolayısıyla soğutucunun anten davranışı göstermesine sebep olurlar. Bütünleşik devre tasarımında kullanılan anahtarlama elemanları tasarımcının isteği doğrultusunda devrenin herhangi bir yerinde bulunabilir. Soğutucuların bütünleşik devreye yekpare şekilde vidalarla bağlandığı göz önüne alındığında ısıya kaynağı olarak ele aldığımız yarı iletken anahtarlama elemanlarının harmonikleri soğutucunun farklı kısımlarına düşerek buradan yayılırlar. Soğutucuların benzetimi esnasında bu parametre göz önüne alınarak taban kısmında bulunan 5 farklı nokta seçilmiştir. Besleme noktası da dediğimiz bu noktalar ısıya kaynağının bulunduğu noktalar olarak değerlendirilerek her birine aynı giriş sinyali uygulanmıştır. Besleme noktaları Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Bu kısım benzetim ve ölçüm kısmı olarak iki alt başlık altında açıklanacaktır.

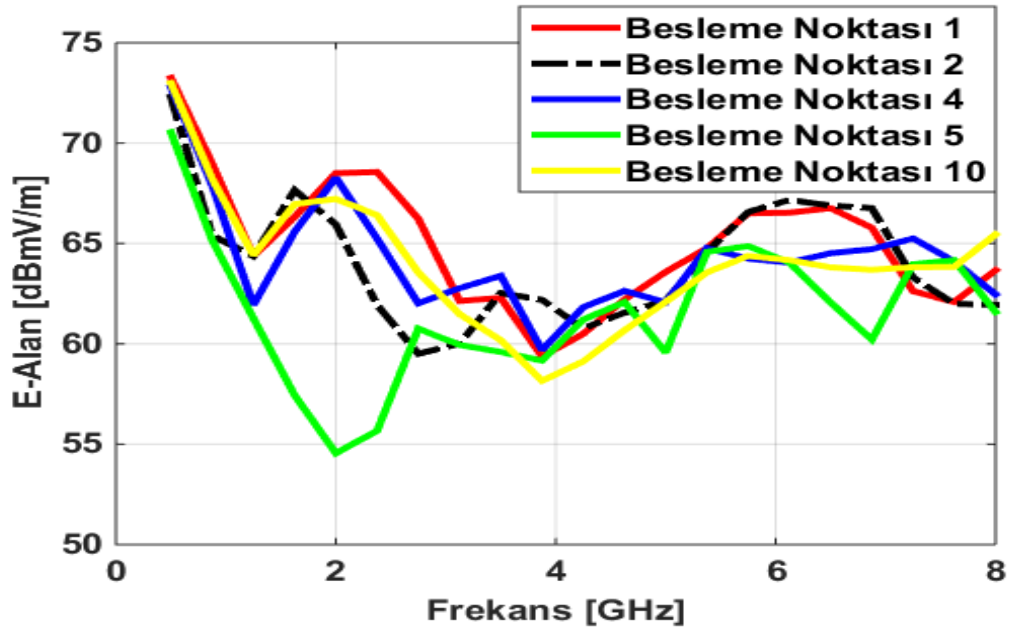


Şekil 4. 22. Soğutucu tabanında bulunan referans besleme noktaları ve numaraları

4.4.1. Besleme Noktalarının Benzetim ile Analizi

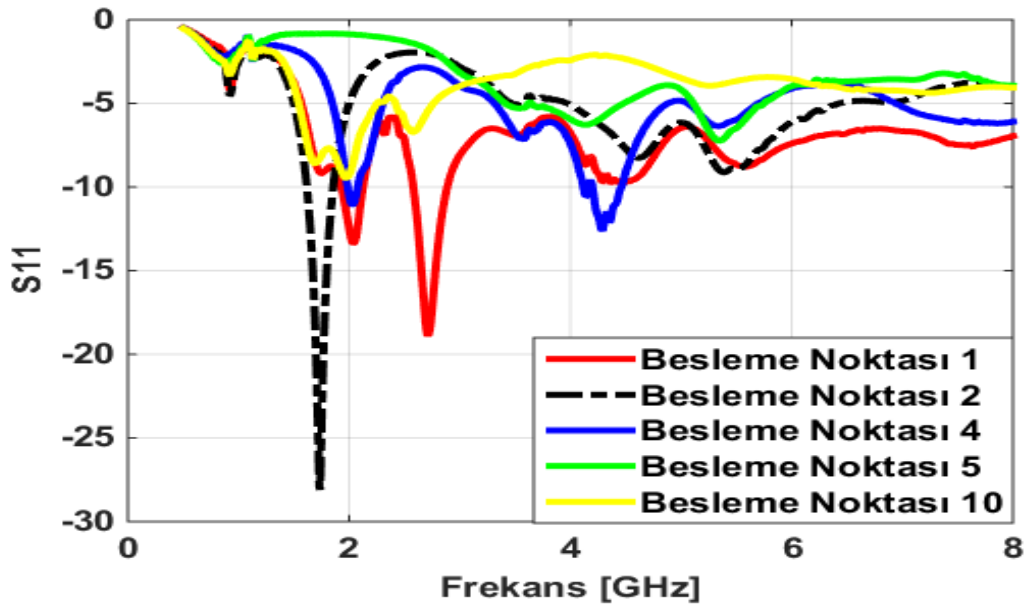
Benzetimdeki soğutucu tabanının 4 eşit parçaya bölündüğünü düşünelim. Seçilen besleme noktalarının bu 4 eşit parça içindeki herhangi bir parçada olduğunu göz önüne alırsak, besleme noktalarının diğer parçalar içinde simetrik bir şekilde aynı olduğu sonucuna varırız. Besleme noktalarının etkisini gözlemlemek için soğutucu ölçüleri ve kanatçık sayısı sabit tutularak 5 farklı benzetim gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.21'deki besleme noktalarına dikkat edilecek olursa; taban eninin küçülmesi halinde besleme noktalarının kenarlara uzaklıkları değişecek, aynı zamanda soğutucuyu anten olarak düşündüğümüz için anten boyutları değişecektir. Dolayısıyla her besleme noktasının davranışının bu bağlamda değişmesi beklenmektedir. Elde edilen elektrik alanın frekansa bağlı değişimi tek grafik üzerinde toplanarak birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Şekil 4.23'de seçilen besleme noktalarına ait elektrik alan grafiği verilmiştir. Grafik incelenirse 1 ile 2 GHz aralığında diğer besleme noktalarının birbiriyle yaklaşık olarak aynı olmalarına karşın 5 numaralı besleme noktasına göre 10 dB daha fazla ısıma yapmaktadırlar. 2 ile 3 GHz aralığına bakıldığında en fazla ışımayı 1 numaralı besleme noktasının en az ışımayı ise 15 dB değerine yakın olarak 5 numaralı besleme noktasının yaptığı gözlemlenmektedir. Ayrıca bu bölgede 1 numaralı besleme noktasına göre kıyaslandığında besleme noktası 4 ile besleme noktası 10 yaklaşık 2 dB, besleme noktası 2'nin ise yaklaşık olarak 5 dB daha az ısıma yaptığı görülür. 3 ile 6 GHz aralığı incelendiğinde besleme noktalarının ışımalarının birbirine benzer olduğu ve aralarındaki farkın 3 dB'den az olduğu net bir şekilde görülmektedir. 6 ile 7 GHz aralığına değinildiğinde 1 ile 2 numaralı besleme noktalarının ışımalarına birbiriyle aynı olduğu ve en çok ışımayı yaptığı ve en az ışımaya sahip 5 numaralı besleme noktasından 7 dB daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. 7 ile 8 GHz aralığında olgusal olarak farklılıklar olmakla birlikte yaklaşık olarak ısıma değerleri birbirine yakındır ve aralarındaki fark 2 dB'den azdır.



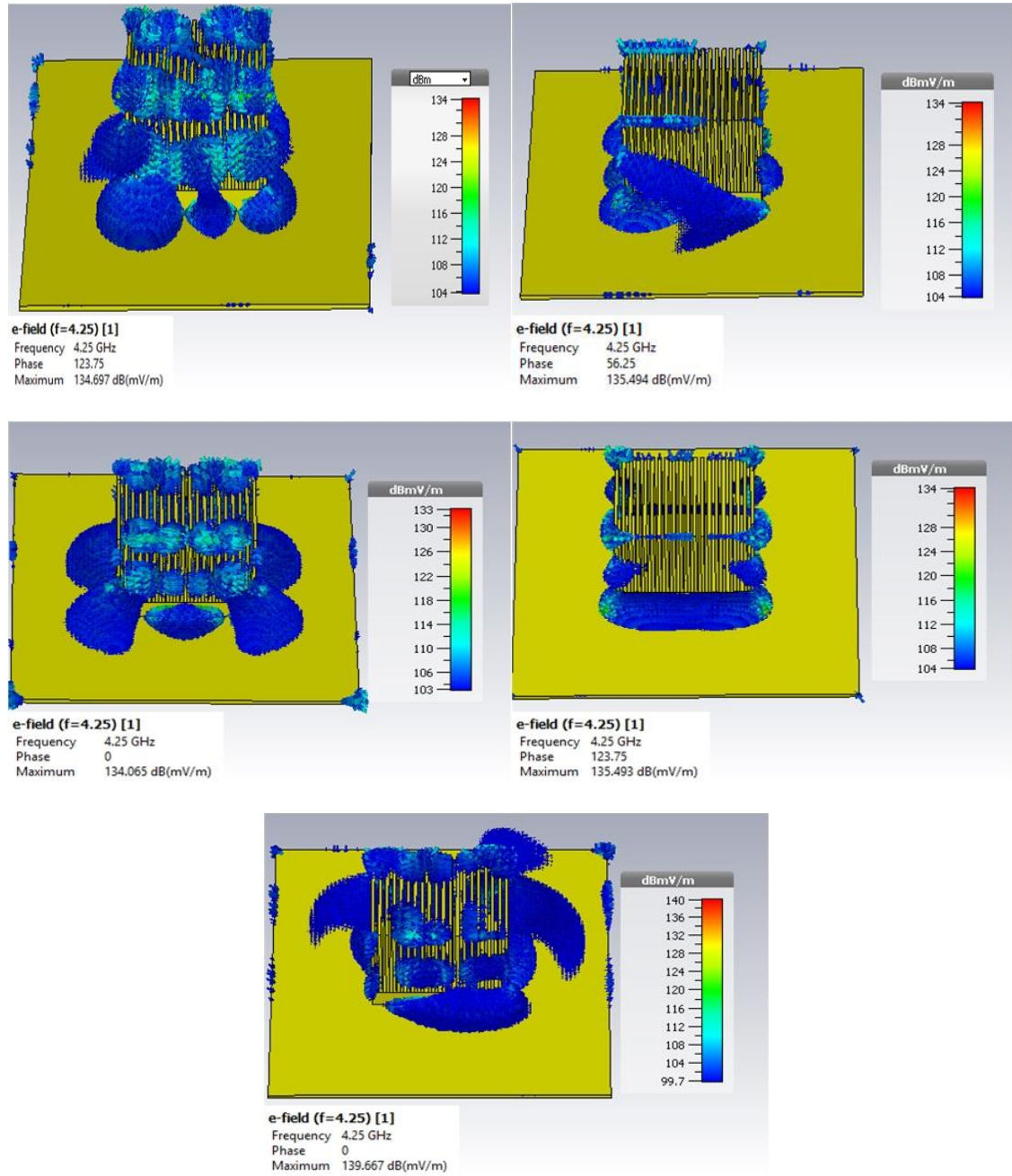
Şekil 4. 23. Soğutucunun farklı besleme noktalarına bağlı olarak elde edilen elektrik alan grafiği

Besleme noktalarına ait S11 grafiği Şekil 4.24’de verilmiştir. Grafiğe bakıldığında direkt olarak göze çarpan besleme noktaları 1, 2 ve 4’ün farklı frekanslarda anten davranışı gösterdiği görülmektedir. Besleme noktası 2’nin 1.7 GHz’de bir adet, besleme noktası 1’in sırasıyla 2 GHz, 2.7 GHz ve 4.6 GHz’de olmak üzere 3 adet, besleme noktası 4’ün 2 GHz ve 4.3 GHz’de olmak üzere 2 adet anten davranışı gösterdiği bölge vardır. Besleme noktası 5 ve 10 içinse tüm frekans bandında anten olarak davrandığı bölge yoktur.



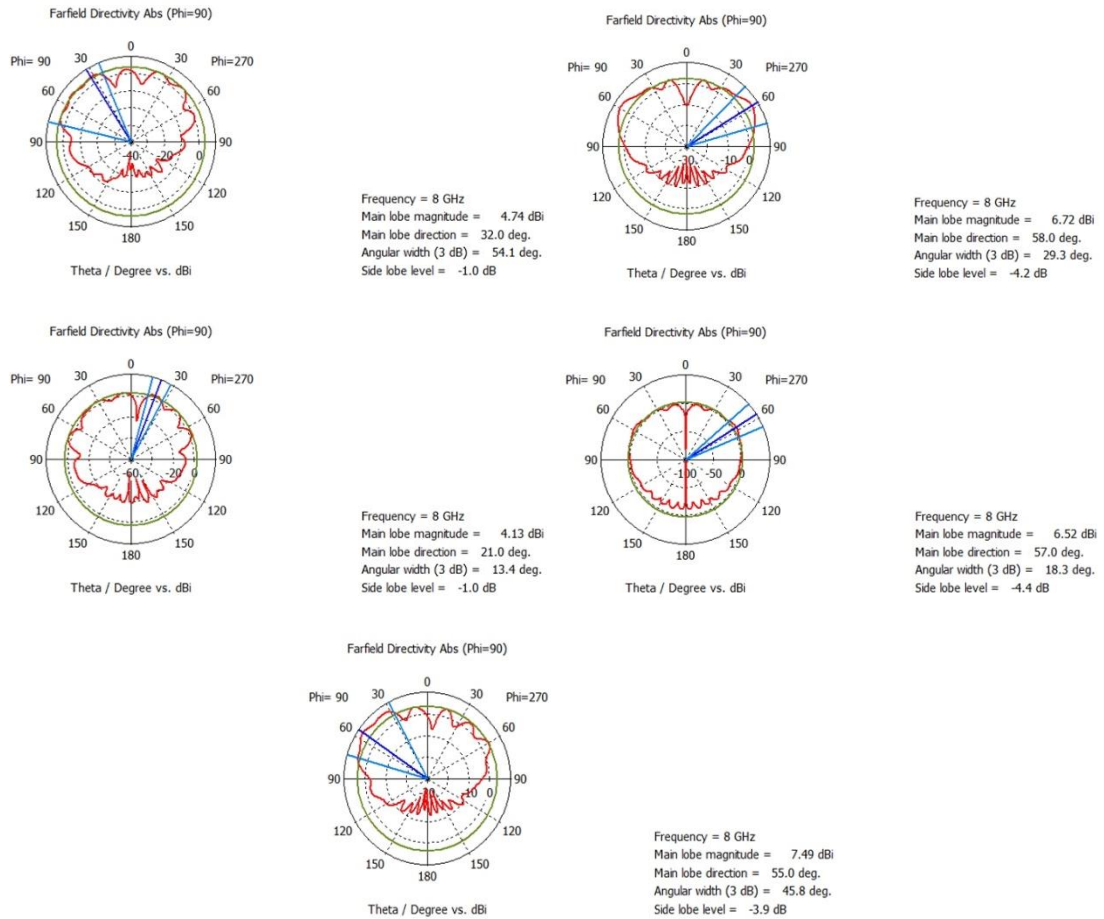
Şekil 4. 24. Soğutucunun farklı besleme noktalarına bağlı olarak elde edilen S11 grafiği

Şekil 4.25’de soğutucu tabanında alınan farklı besleme noktalarının soğutucu üzerinde indükledikleri elektrik alanın üç boyutlu görseli yer almaktadır. Farklı taban bölgelerinden tetiklenen soğutucular farklı yönlerde elektrik alan yaymışlardır.



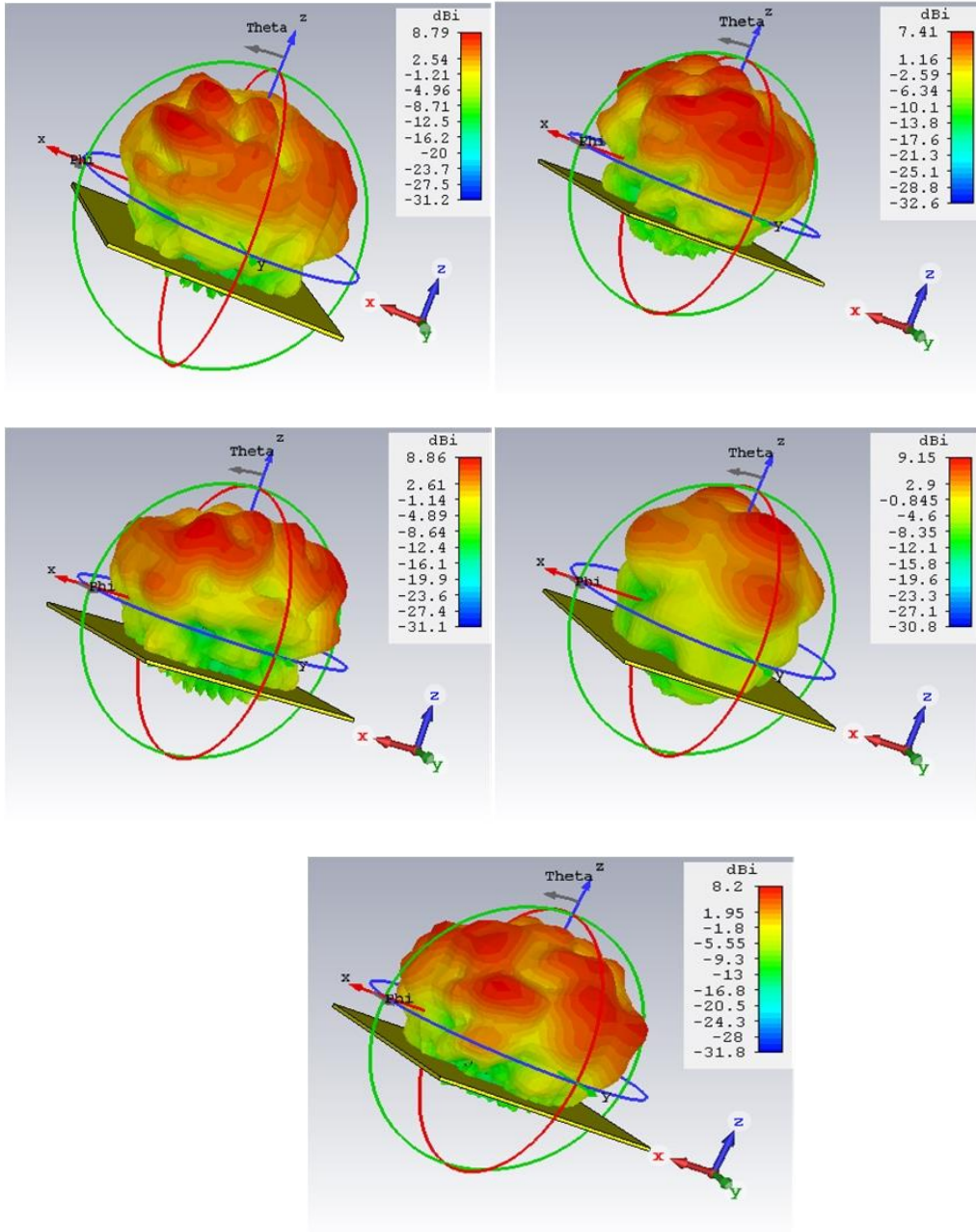
Şekil 4. 25. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için soğutucu üzerinde indüklenen elektrik alanın üç boyutlu görüntüsü

Farklı besleme noktalarına ait 8 GHz'deki polar yönlülük örüntüsü Şekil 4.26'da verilmiştir. Birbirleriyle karşılaştırılacak olursa 1 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesi 32 derecede, 2 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesi 58 derecede, 4 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesi 21 derecede, 5 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesi 57 derecede ve 10 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesi 55 derecede olduğu saptanmıştır. Ayrıca yan huzme seviyesi incelendiğinde 1 numaralı beslemeye sahip soğutucunun -1 dB, 2 numaralı beslemeye sahip soğutucunun -4.2 dB, 4 numaralı beslemeye sahip soğutucunun -1 dB, 5 numaralı beslemeye sahip soğutucunun -4.4 dB ve 10 numaralı beslemeye sahip soğutucunun -3.9 dB olduğu şekil üzerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır. Ayrıca anten kazançlarına değinecek olursak 1 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 4.74 dBi, 2 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 6.72 dBi, 4 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 4.13 dBi, 5 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 6.52 dBi, ve 10 numaralı beslemeye sahip soğutucunun ana huzmesine ait anten kazancı 7.49 dBi'dir.



Şekil 4. 26. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için soğutucu ışım örüntüsünün polar görüntüsü

Şekil 4.27’de farklı besleme noktalarına ait anten yönlülük kazançlarının soğutucu yapısı etrafındaki üç boyutlu görüntüsü verilmiştir. Bu şekillerden de kolayca anlaşılacağı üzere farklı besleme noktalarının uzak alanda ışımaya olan etkileri oldukça fazladır. Şekillerde kırmızı olan kısımlar anten kazançlarının en yüksek olduğu kısımları göstermektedir.



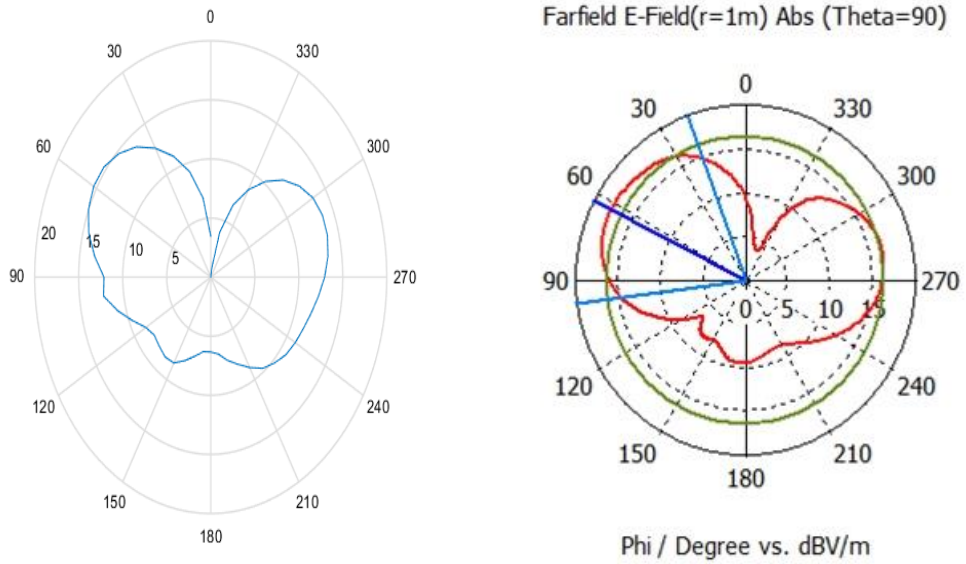
Şekil 4. 27. Besleme noktasına göre sol üstten sağa doğru sırasıyla besleme noktası 1, besleme noktası 2, besleme noktası 4, besleme noktası 5, besleme noktası 10 için üç boyutlu anten yönlülük görüntüsü

4.4.2 Besleme Noktalarının Ölçüm ile Analizi

Farklı besleme noktalarının etkisini gözlemlemek amacıyla ölçümler yansımayan odada yapılan uzak alan anten örüntüsü ölçümleri ve Vektör Network Analizör (VNA) ile yapılan S11 yansıma katsayısı ölçümleri olmak üzere iki ayrı bölümde yapılmıştır. Bu yüzden bu kısım iki alt başlık altında sunulacaktır.

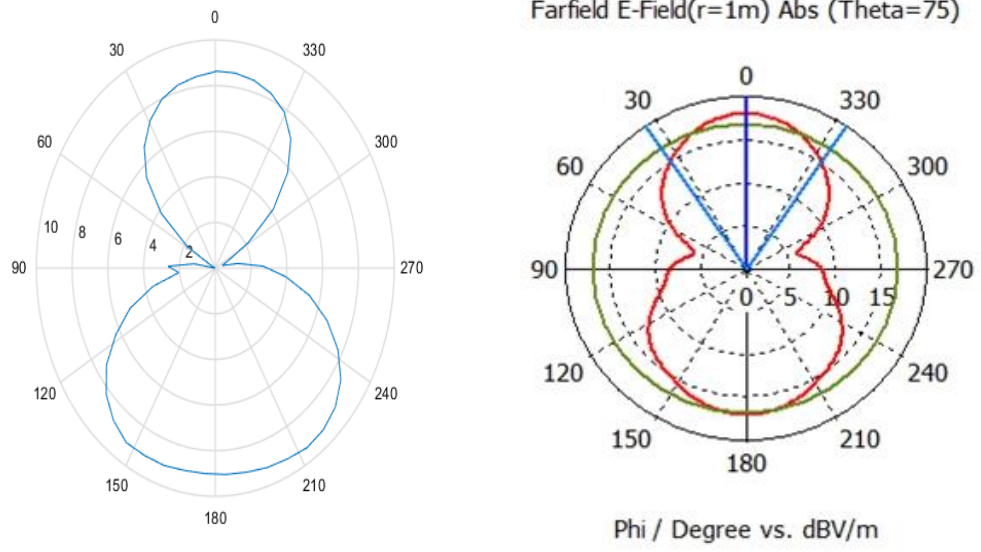
4.4.2.1. Yansımayan odada yapılan uzak alan ölçümleri

Bu kısımda elde edilen ölçümler farklı besleme noktalarının tümü için sırasıyla 2, 4, 6, 8 GHz frekanslarında sinyal jeneratöründen sabit -7 dBm güç verilerek yapılmıştır. Ölçümler gerçekleştirilirken kullanılan ekipmanlar; sinyal jeneratörü, spektrum analizör, yansımayan oda, döner masa, RF kablolar, konektörler ve ölçüm için hazırlanmış olan SMA konektöre sahip toprak düzleminden oluşan soğutucu ölçüm düzeneğidir. Ölçümün yapılış metodu materyal metot kısmında anlatılmıştır. Elektrik alan ölçümü yapılarak anten ışınma örüntüsü polar grafik olarak elde edilmiştir. Benzetim yoluyla elde edilen polar grafikler ile kıyaslanarak ölçüm yorumlanmıştır.



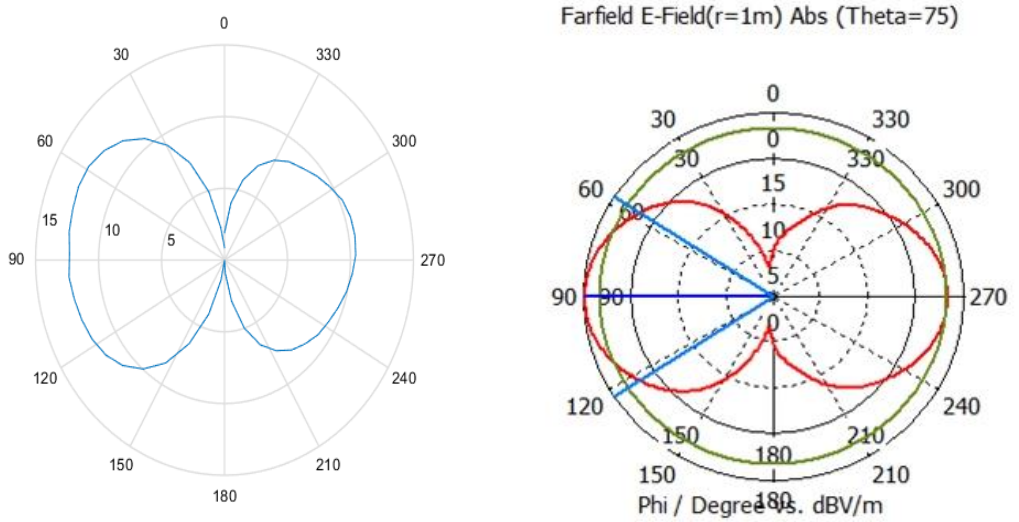
Şekil 4. 28. 2 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.28’de 2 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının elektrik alan polar grafiği verilmiştir. Şekiller incelenecek olursa birbirine çok benzediği dolayısıyla ölçümün ve benzetiminin birbirini sağladığını söyleyebiliriz. Ayrıca 60 derecede ve 300 derecede açığa çıkan ana huzmeler dikkat çekmektedir.



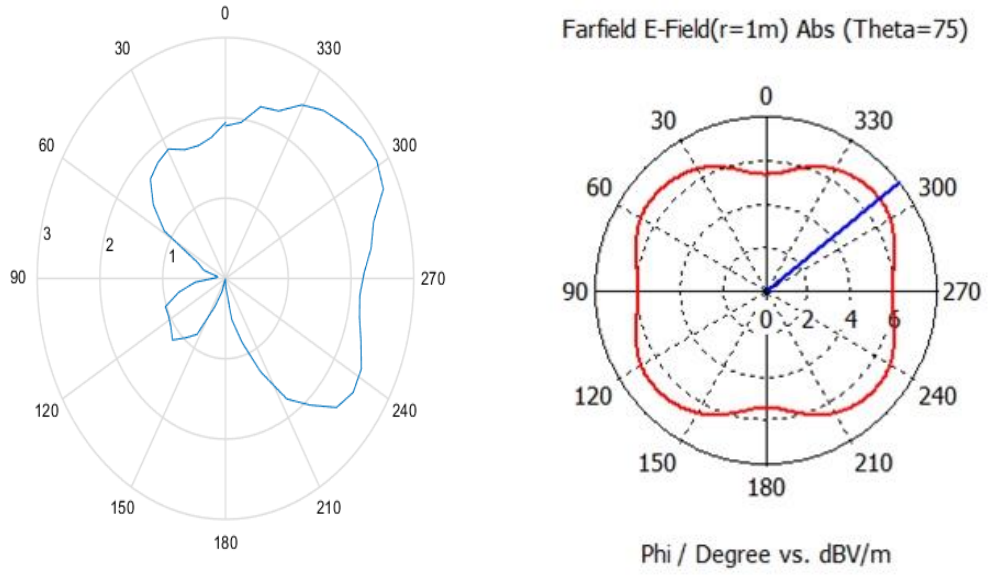
Şekil 4. 29. 2 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.29’da 2 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetim polar elektrik alan grafikleri verilmiştir. Şekiller görsel olarak birbirinin aynı çıkmıştır. Ölçüm ve benzetim sonuçlarının aynı olduğu yorumu yapılır. Grafiklerde 2 numaralı besleme noktasının 0° ve 180° ‘de iki ana huzmesinin olduğu görülmektedir.



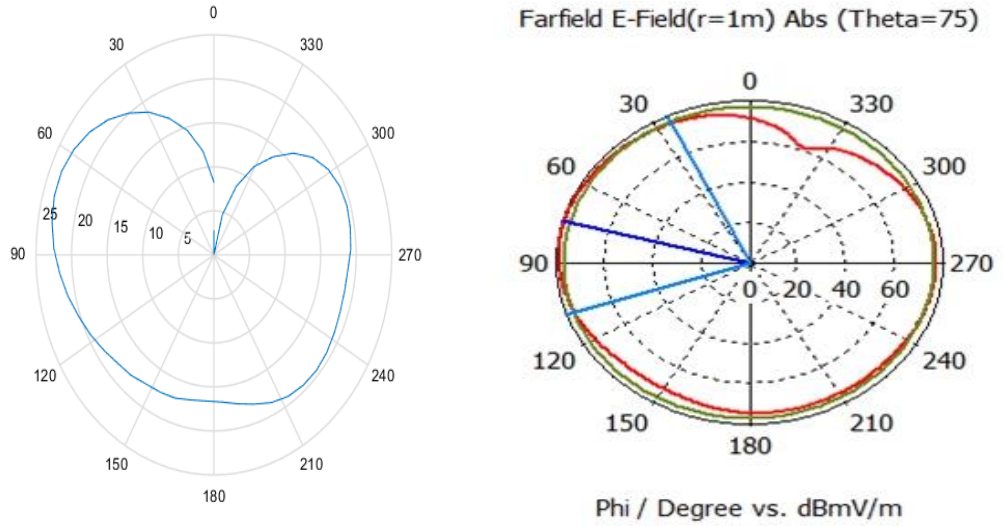
Şekil 4. 30. 2 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.30’da 2 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Şekiller birbiriyle aynıdır ve bu durum ölçüm ile benzetimin uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil olarak incelendiğinde 90° ve 270° ’de iki ana huzme göze çarpmaktadır.



Şekil 4. 31. 2 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

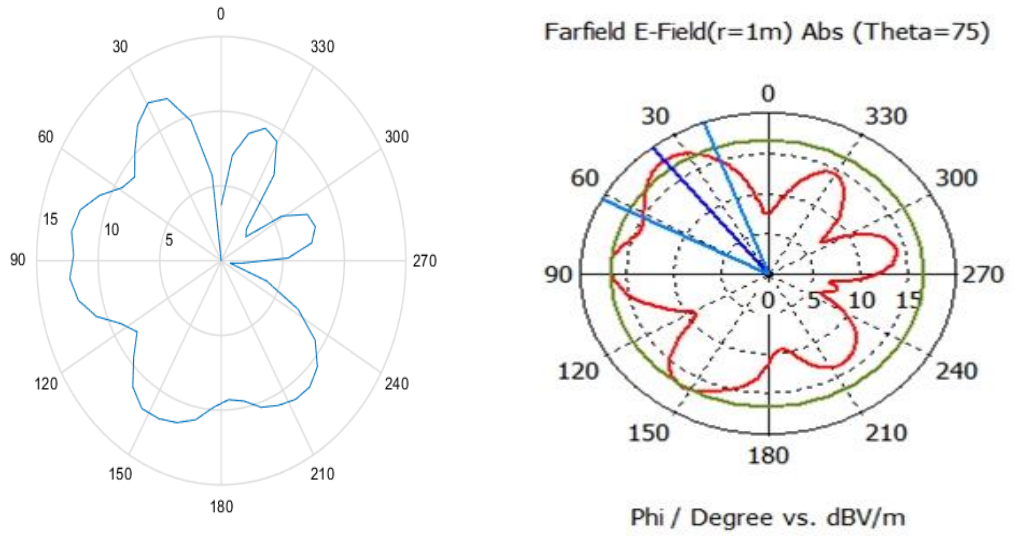
2 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasına ait polar elektrik alan grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir. Benzetim ve ölçüm şekilleri incelendiğinde birbiri ile olan benzerliğinin görece az olduğu görülmektedir. Şeklin sağ kısmında bulunan huzmelerin birbirine benzer olduğu ancak sol kısmındaki huzmelerin ölçüm grafiğinde bulunmadığı göze çarpmaktadır.



Şekil 4. 32. 2 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

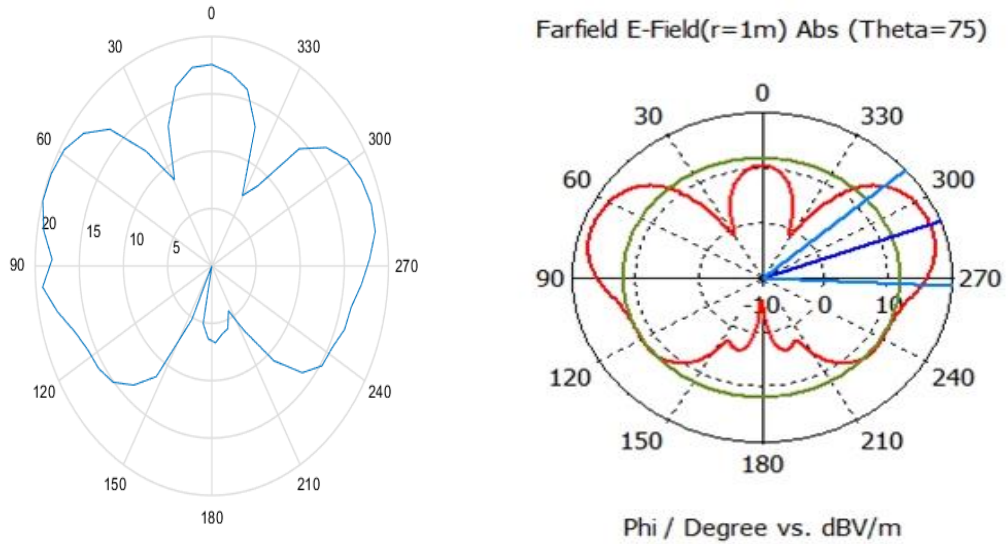
Şekil 4.32’de 2 GHz frekans için 10 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Ölçüm ve benzetim grafikleri incelendiğinde şekillerin benzerliğinin az olduğu göze çarpmaktadır. Bu durumun nedeni olarak 10 numaralı besleme noktasının bulunduğu soğutucu tabanı ışıma yönünden hassas bölge olması

gösterilir. Besleme noktası olarak açılan giriş deliğinin ufak saplamalarda dahi ışıma davranışının değiştiği söylenebilir.



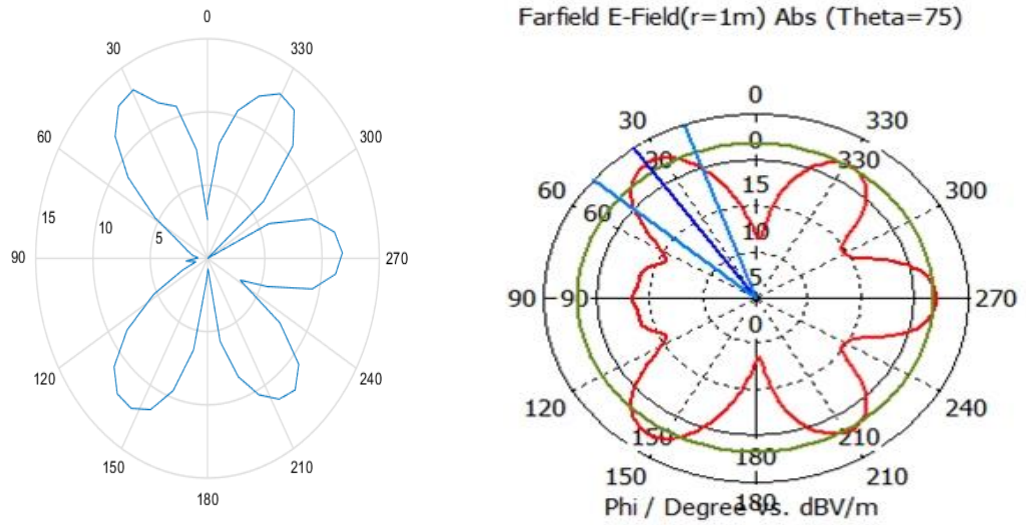
Şekil 4. 33. 4 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

4 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği Şekil 4.33’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının birbirini sağladığı görülür. 30° , 90° ve 150° de ana ışıma huzmeleri dikkat çekmektedir.



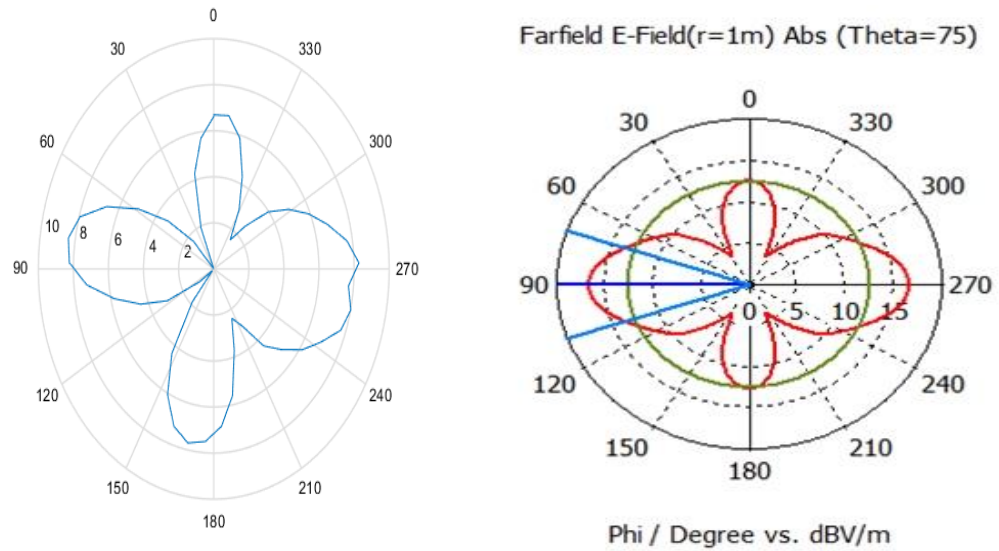
Şekil 4. 34. 4 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.34’de 4 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Şekil olarak incelendiğinde benzetim ve ölçüm verileri birbiriyle örtüşmektedir. Ayrıca 0° , 60° ve 280° ’deki ana huzmeler belirgin bir şekilde görülmektedir.



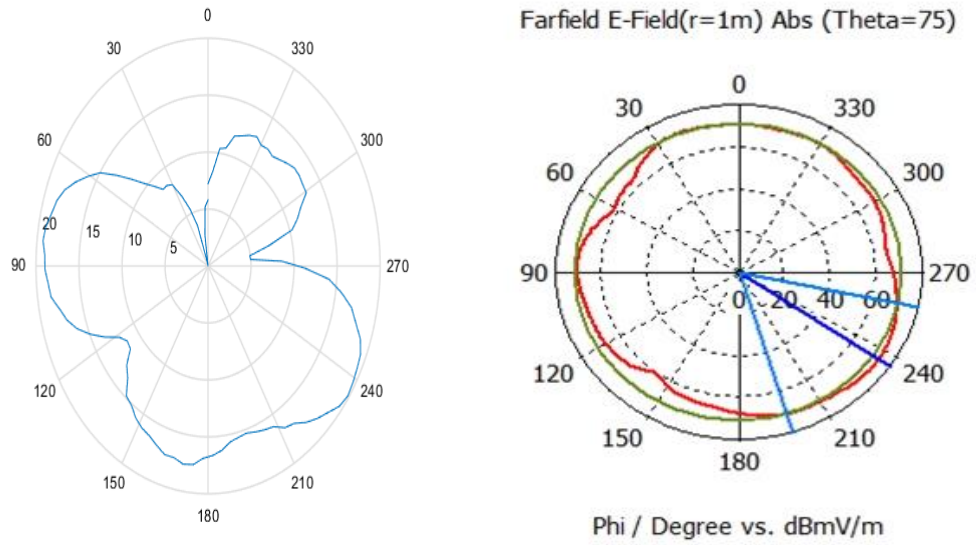
Şekil 4. 35. 4 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

4 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen elektrik alan polar grafiği Şekil 4.35’de görülmektedir. Grafiğe bakıldığında ölçüm ve benzetimin birbiriyle aynı olduğu açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Grafikler incelendiğinde 30°, 150°, 210°, 270° ve 330°’de ana huzmelerin olduğu göze çarpmaktadır.



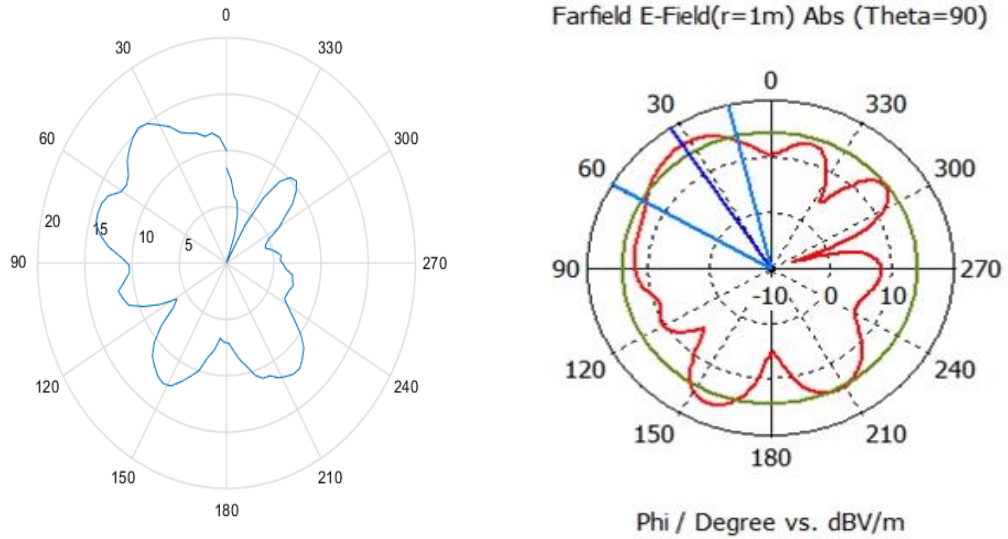
Şekil 4. 36. 4 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.36’da 4 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen polar elektrik alan grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ölçüm ve benzetim verilerinin birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. Şeklin ana huzmelerine bakıldığında 0°, 90°, 180° ve 270°’de oldukları açıkça anlaşılmaktadır.



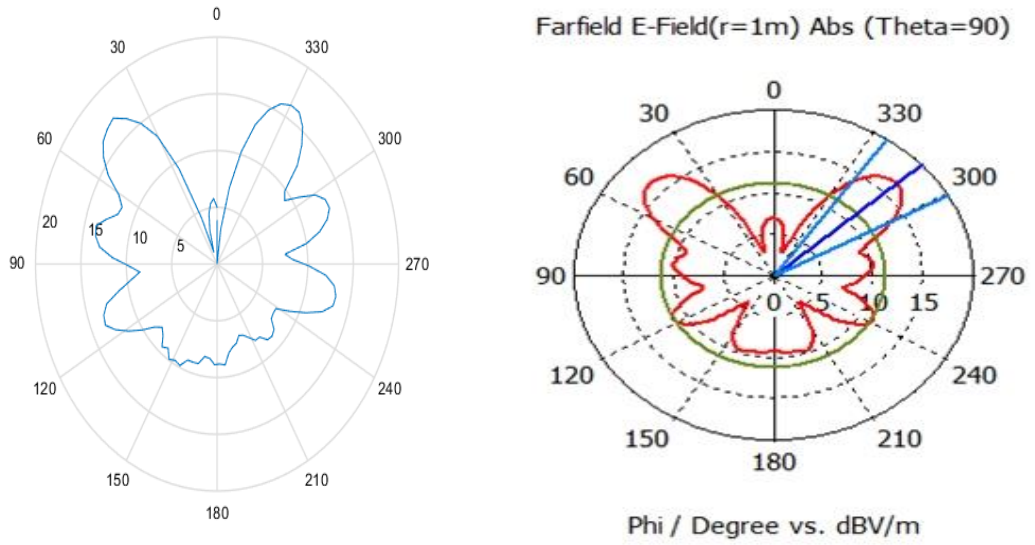
Şekil 4. 37. 4 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

4 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen elektrik alan polar grafiği Şekil 4.37’de görülmektedir. Grafiğe bakıldığında ölçüm ve benzetimin birbirinden farklıdır. Bu durum sadece 10 numaralı besleme noktasında karşımıza çıkmaktadır.



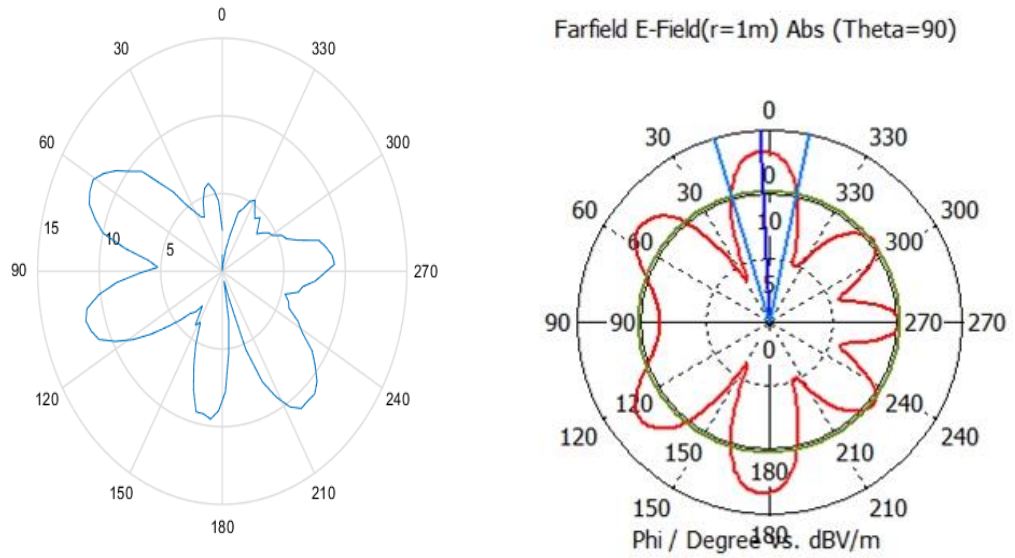
Şekil 4. 38. 4 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.38’de 6 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Şekil olarak incelendiğinde benzetim ve ölçüm verileri birbiriyle örtüşmektedir. Ayrıca 40°, 70°, 150° ve 220°’deki ana huzmeler belirgin bir şekilde görülmektedir.



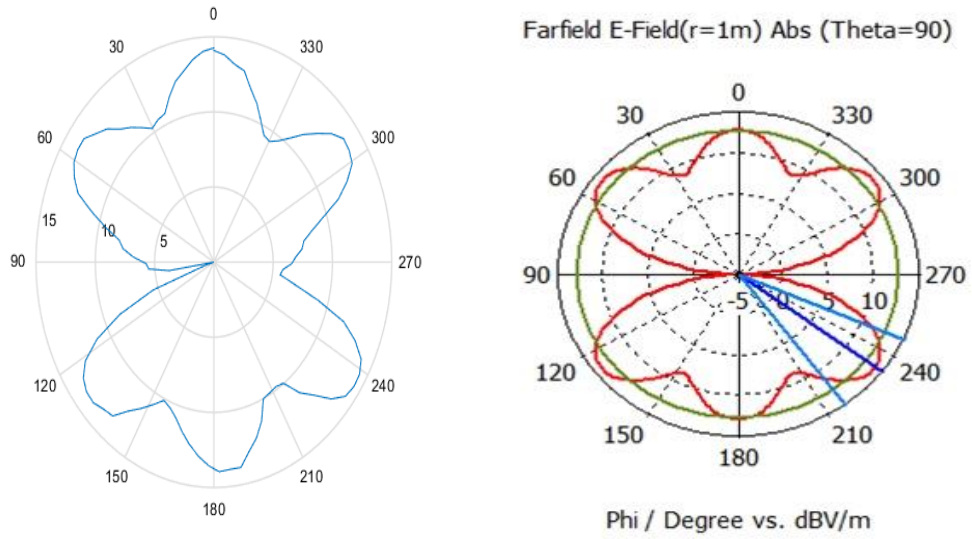
Şekil 4. 39. 6 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

6 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasına ait polar elektrik alan grafiği Şekil 4.39'da verilmiştir. Benzetim ve ölçüm şekilleri incelendiğinde birbiri ile olan benzerliği açıkça görülmektedir. Ana huzmelerin 50° ve 320° 'de olduğu şekil üzerinden kolayca belirlenmektedir.



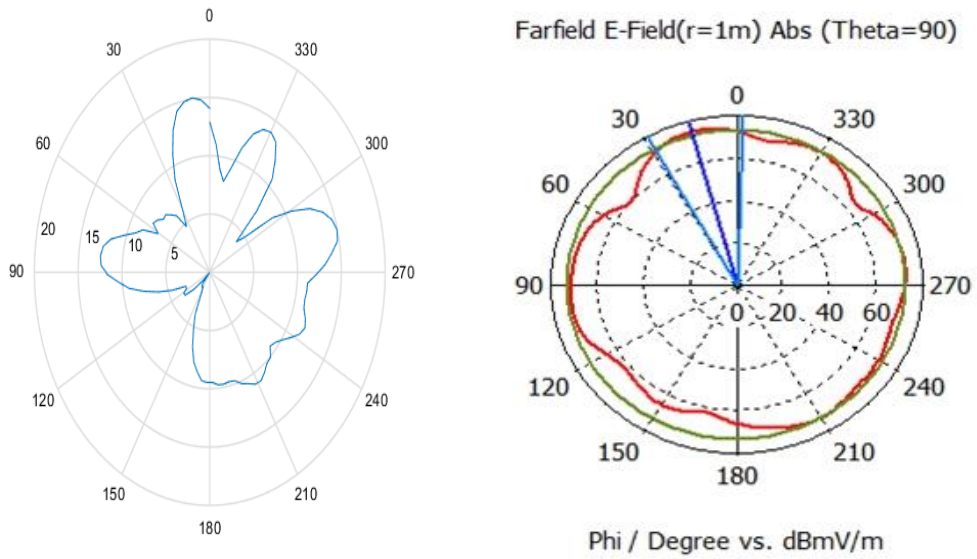
Şekil 4. 40. 6 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.40'da 6 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetim polar elektrik alan grafikleri verilmiştir. Şekiller görsel olarak birbirine benzer olmakla beraber ufak farklılıklar görülmektedir. 0° ve 330° derecedeki huzmelerin değişik çıkması ölçümde oluşan hata payındandır. Ayrıca grafik incelendiğinde 60° , 105° ve 180° 'deki ana huzmeler dikkat çekmektedir.



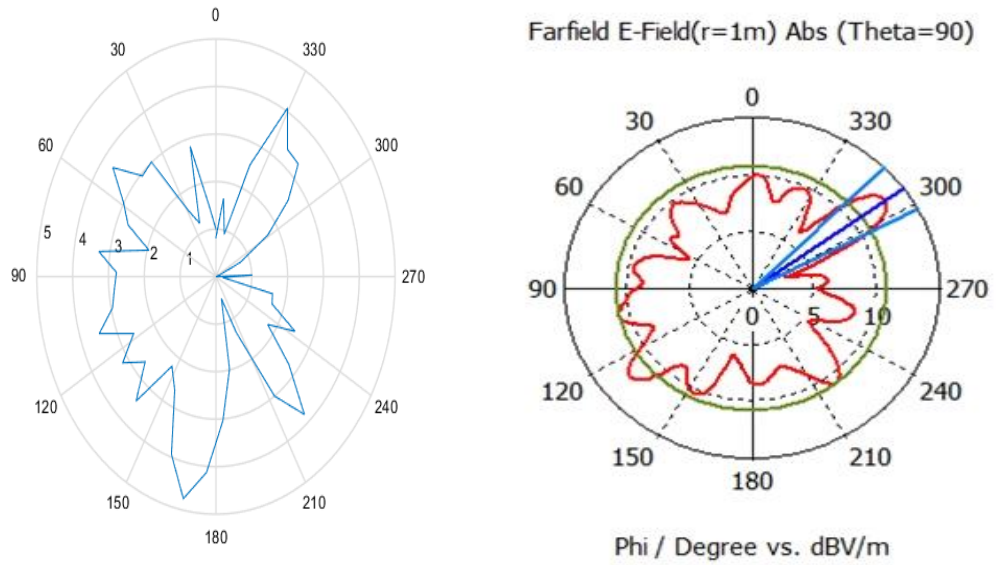
Şekil 4. 41. 6 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.41’de 6 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Şekiller birbiriyle aynıdır ve bu durum ölçüm ile benzetimin uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil olarak incelendiğinde 0° ve 180° ’de iki ana huzme belirgin bir şekilde görülmektedir.



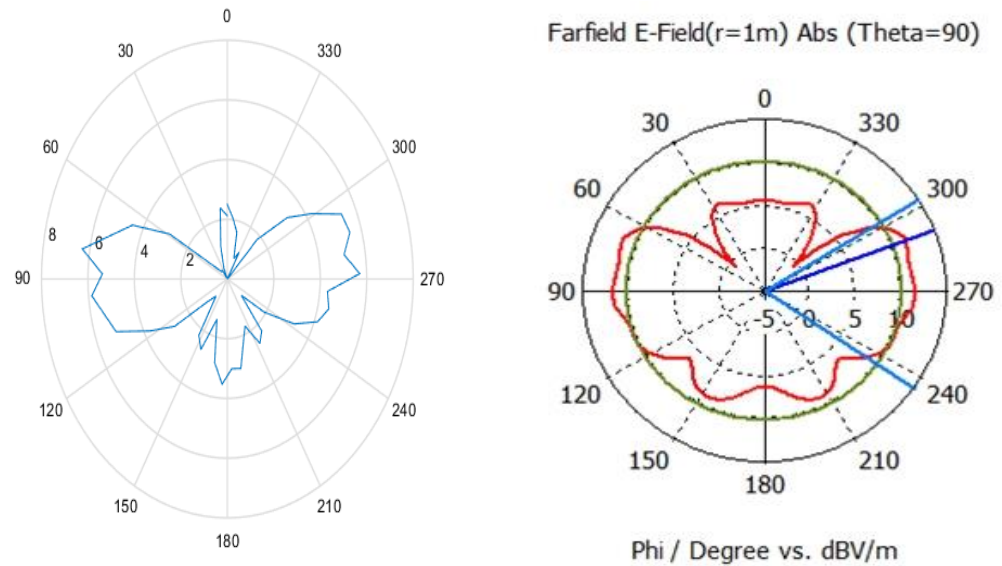
Şekil 4. 42. 6 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.42’de 6 GHz frekans için 10 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Ölçüm ve benzetim grafikleri incelendiğinde şekillerin benzerliğinin az olduğu göze çarpmaktadır. Önceki 10 numaralı besleme noktasına ait grafiklerde olduğu gibi bu durumun nedeni olarak 10 numaralı besleme noktasının bulunduğu bölgede soğutucu tabanının ısıma yönünden hassas bölge olması gösterilir.



Şekil 4. 43. 8 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

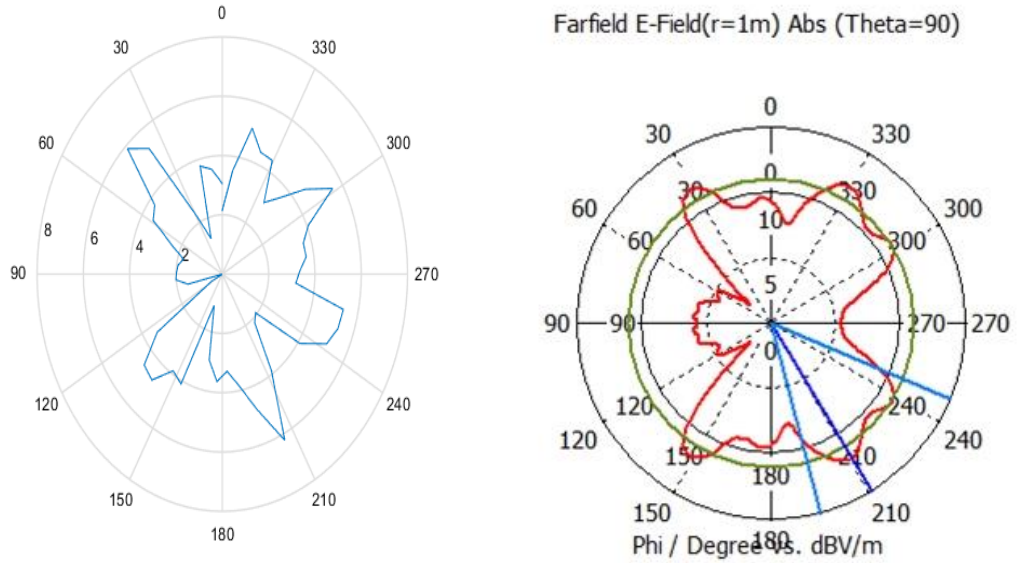
Şekil 4.43’de 8 GHz frekansta 1 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetimden elde edilen polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Şekil olarak incelendiğinde benzetim ve ölçüm verileri birbiriyle yaklaşık olarak örtüşmektedir. Ayrıca 60° , 110° , 170° ve 330° ’deki ana huzmeler belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. 44. 8 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

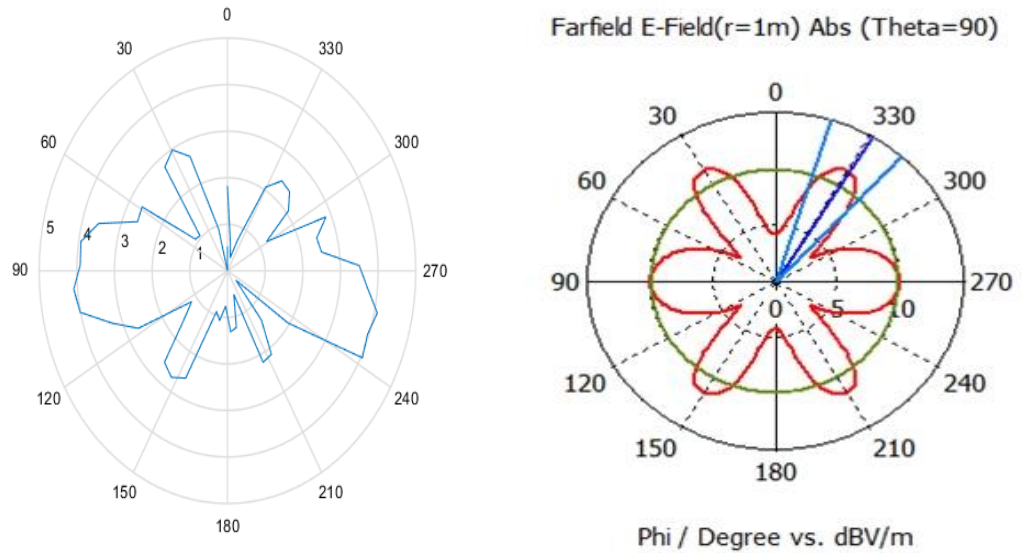
Şekil 4.44’de 8 GHz frekansta 2 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetim polar elektrik alan grafikleri verilmiştir. Ölçüm ve benzetim sonuçlarının ufak farklılıklar ile beraber aynı olduğu yorumu yapılır. Grafiklerde 2 numaralı besleme

noktasının 90° ve 270° 'de iki ana huzmesinin olduğu görülmektedir. Ayrıca 0° ve 180° 'de oluşan huzmelerin ölçümde zayıflamış olarak çıktığı göze çarpmaktadır.



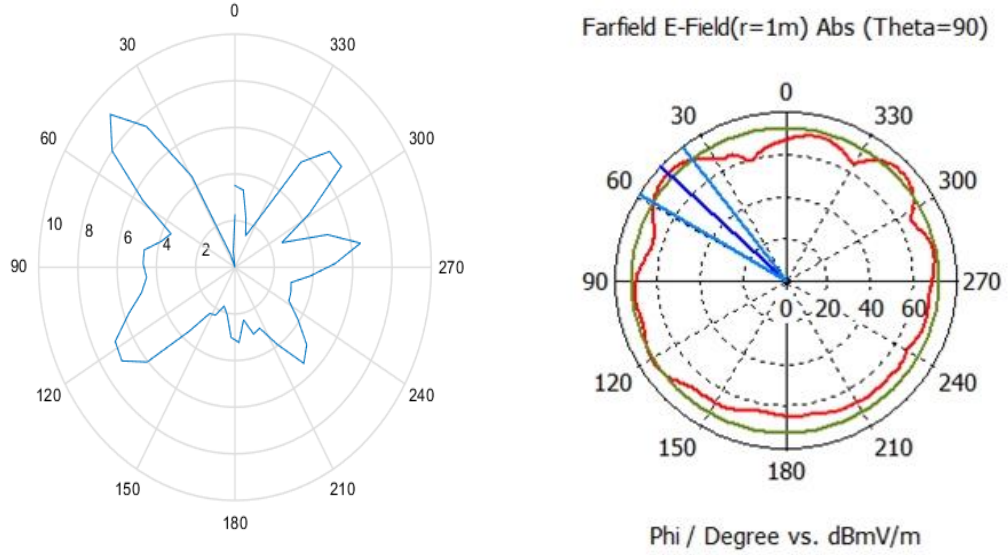
Şekil 4. 45. 8 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.45'de 8 GHz frekansta 4 numaralı besleme noktasının elektrik alan polar grafiği verilmiştir. Şekiller incelenecek olursa birbirine çok benzediği dolayısıyla ölçümün ve benzetiminin birbirini sağladığını söyleyebiliriz. Ayrıca 30° , 150° , 210° , 300° ve 330° 'de açığa çıkan ana huzmeler açıkça görülmektedir.



Şekil 4. 46. 8 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

8 GHz frekansta 5 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının birbirini yaklaşık olarak sağladığı görülür. 90° ve 270° de ana ışıma huzmeleri belirgin bir şekilde grafik üzerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca ölçümle elde edilen grafik benzetimle oluşturulan grafiğe göre kıyaslandığında 30° , 150° , 210° ve 330° 'deki huzmelerin zayıf olarak elde edildiği sonucuna ulaşılır



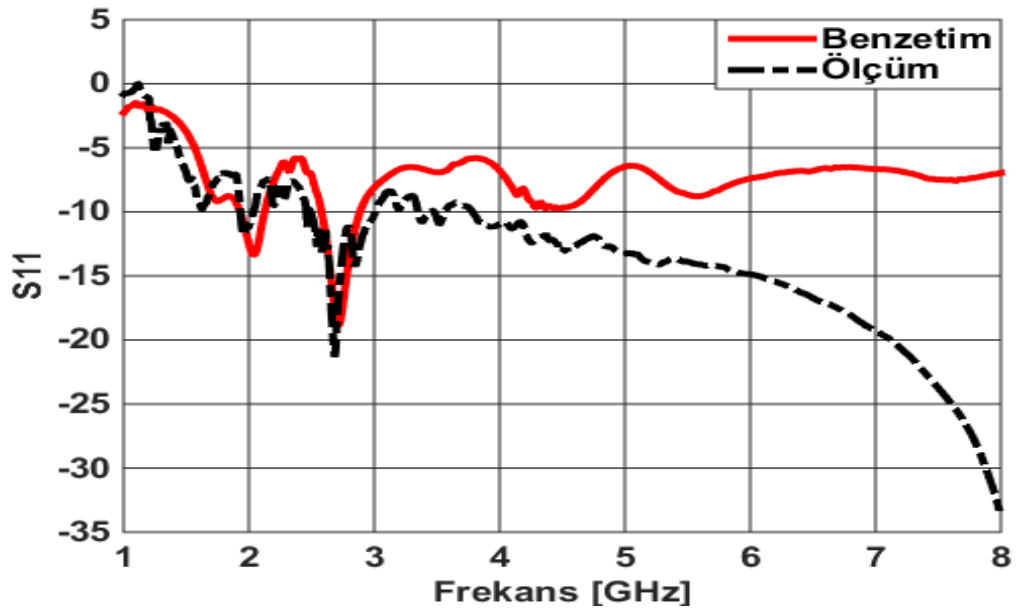
Şekil 4. 47. 8 GHz frekansta 10 numaralı besleme noktasının sol taraftaki ölçüm, sağ taraftaki benzetimde elde edilen elektrik alan polar grafiği

Şekil 4.47'de 8 GHz frekans için 10 numaralı besleme noktasının polar elektrik alan grafiği verilmiştir. Ölçüm ve benzetim grafikleri incelendiğinde şekillerin benzerliğinin az olduğu göze çarpmaktadır. 8 GHz frekansı da dahil olmak üzere incelenen 2,4,6 GHz frekanslar için 10 numaralı besleme noktasının ışıma örüntüsünün benzetim ve ölçüm sonuçları birbiriyle alakasız çıkmıştır. Bu durumun açıklaması 10 numaralı besleme noktasının delik açıldığı soğutucu tabanındaki bölgenin ışıma yönünden hassas olması ve de ufak farklılıklar ve hatalarda dahil olmak üzere sonuçları baştan başa etkilemesidir.

4.4.2.1. VNA ile yapılan S11 parametresi ölçümü

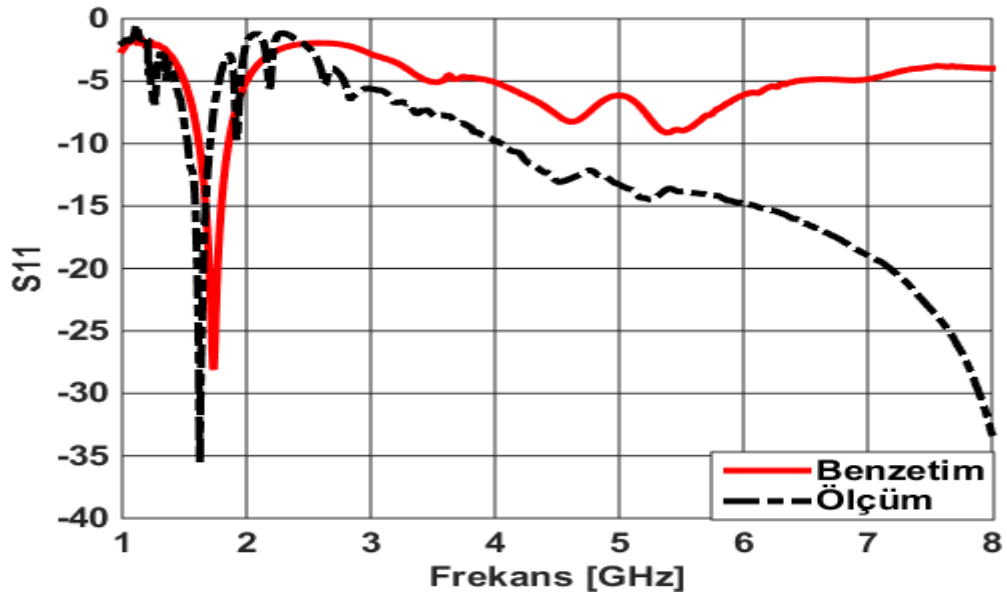
VNA ve soğutucu ölçüm düzeneğine ait detaylı bilgi materyal ve metot kısmında açıklanmıştır. Bu kısımda soğutucunun 5 adet besleme noktası için S11 parametrelerinin ölçüm ve benzetim sonuçları kıyaslanacaktır. VNA tek girişten kalibre edilerek S11 parametre değerleri alınmıştır. Kalibrasyon için sırasıyla girişe açık devre, yük bağlantısı ve kısa devre durumları tanıtılmıştır. Sonuçlar alınırken frekans aralığı 1601 noktaya bölünmüş ve bu noktalardaki verilerin gerçek ve sanal kısımları elde edilmiştir.

Şekil 4.48'de 1 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetim sonuçlarına ait S11 grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ölçüm ve benzetimin birbirini sağladığı görülür. 2 GHz, 2.7 GHz ve 4.6 GHz frekanslarındaki değerler soğutucunun bu bölgede anten gibi davrandığına işaret etmektedir.



Şekil 4. 48. 1 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği

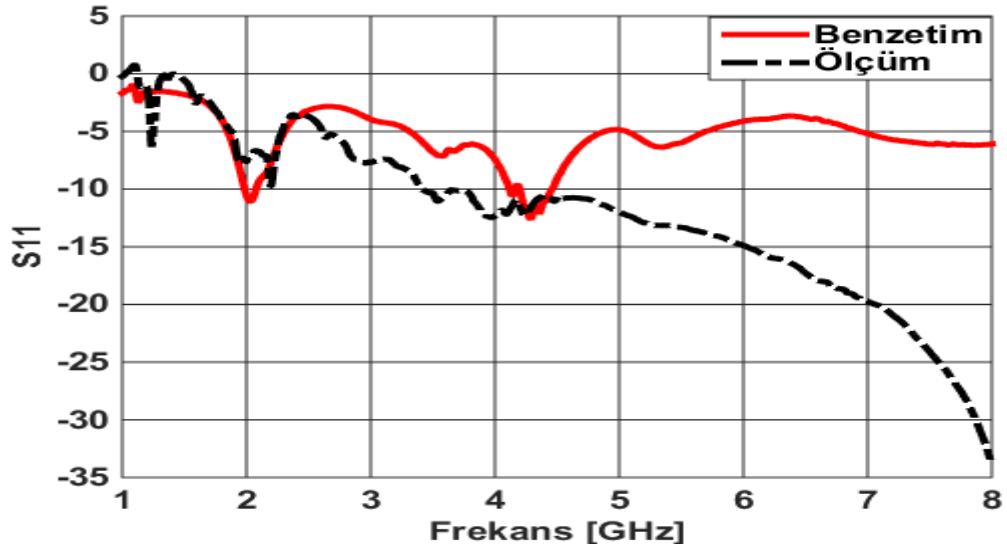
2 numaralı besleme noktasına ait ölçüm ve benzetim sonuçlarından çıkarılan S11 grafiği Şekil 4.49’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde ölçüm ve benzetim sonuçları birbirleriyle örtüşmektedir. Ayrıca 1.7 GHz frekansına dikkatli bakıldığında soğutucu 2 numaralı besleme noktasından beslendiğinde anten gibi ışımaktadır.



Şekil 4. 49. 2 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği

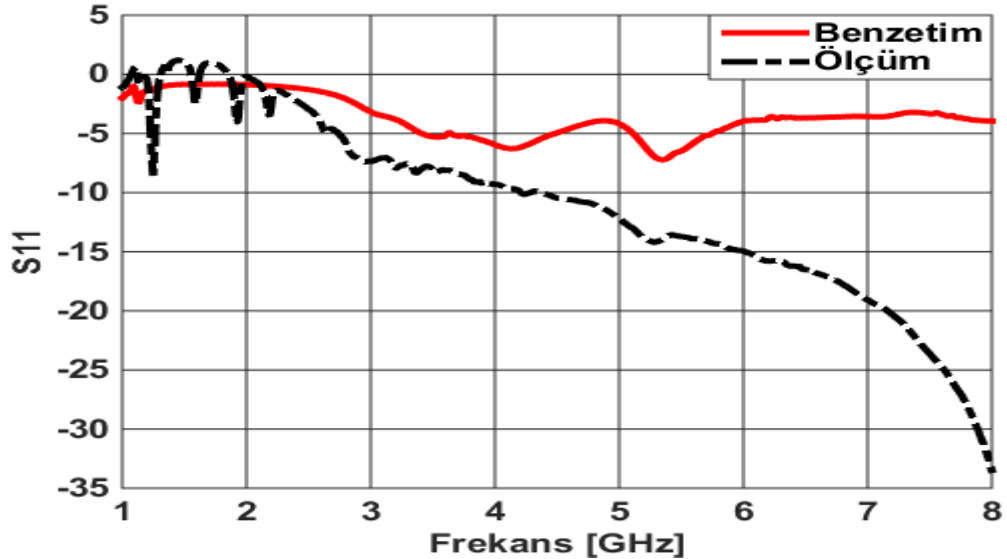
Şekil 4.50’de 4 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği görülmektedir. Grafiğe bakıldığında cüzi miktarda frekans

kaymalarıyla birlikte sonuçlar biriyle uyumludur. Anten davranışları incelendiğinde 2 GHz ve 4.3 GHz’de anten özelliği göstermektedir.



Şekil 4. 50. 4 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği

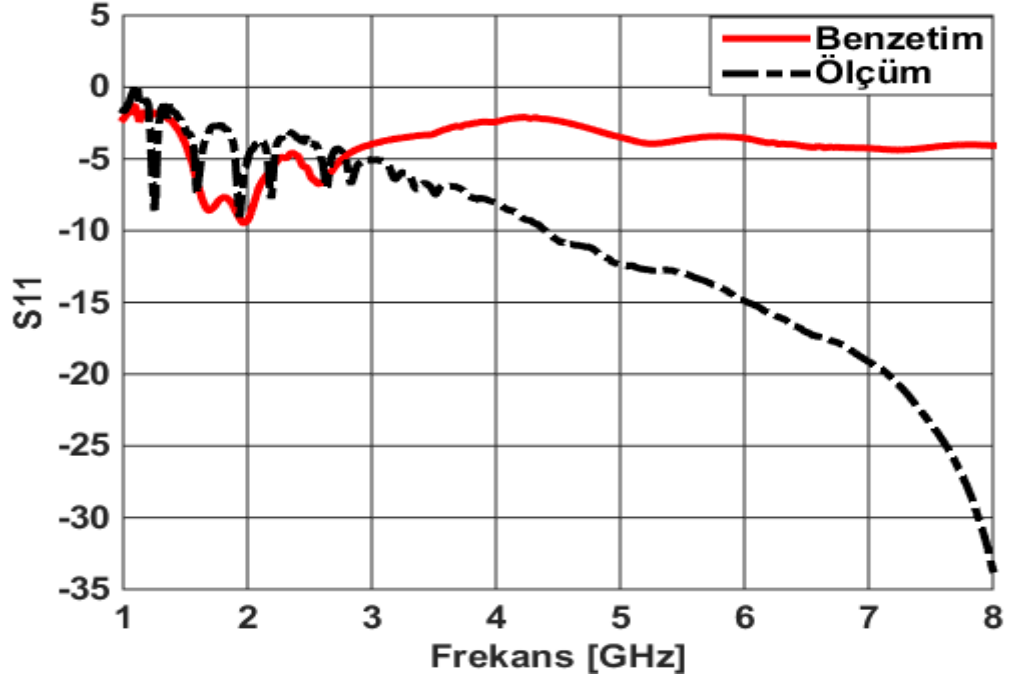
5 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetim verilerinden elde edilen S11 grafiği Şekil 4.51’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde olgusal olarak birbiriyle örtüşmektedir. Verilere bakıldığında 1 ile 8 GHz frekans aralığında soğutucunun anten davranışı gösterdiği bölge yoktur.



Şekil 4. 51. 5 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği

Şekil 4.52’de 10 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetim sonuçlarından elde edilen S11 grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında olgusal olarak farklar olmakla

birlikte yaklaşık olarak birbirini sağlamaktadır. Ayrıca grafiğe bakıldığında 10 numaralı besleme noktasının 1 ile 8 GHz frekans aralığında anten gibi davrandığı bölge bulunmamaktadır.



Şekil 4. 52. 10 numaralı besleme noktasının ölçüm ve benzetiminden elde edilen S11 grafiği

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında soğutucu boyutlarının parametrik analizi, soğutucunun taban yapısına göre analizi, soğutucunun kanatçık yapısına göre analizi ve soğutucunun taban kısmında besleme noktası adını verdiğimiz kaynak noktalarının ısıma performansına etkisi analiz edilerek elektromanyetik ısıma davranışları incelenmiştir. Bu başlıkların benzetimi CST programında yapılmış olup besleme noktalarının analizi laboratuvar ortamında yapılan uzak alan ölçümleri ve S11 ölçümleri ile desteklenmiştir.

Soğutucuların parametrik analizleri sırasıyla kanatçık sayısı, boy, en, ve yükseklik parametreleri değiştirilerek yapılmıştır. Kanatçık sayısı 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak alınıp benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları aynı grafik üzerinde toplandığında kanatçık sayısının etkisinin nerdeyse olmadığı belirlenerek en büyük ısıma farkının 2.5 dB'nin altında olduğu saptanmıştır. Kanatçık sayısının değişiminin S11 üzerindeki etkisi de incelenmiş olup grafiği şekilsel olarak değiştirmemekle birlikte genlik değişimine olan etkisi 1 dB'nin altındadır.

Soğutucu boyunun değişimini ele alındığında yama anten davranışından dolayı ısıma karakteristiği ve genliğin değişmesi beklenir. Bu durumu incelemek üzere soğutucu boyunun değeri 80, 90, 100, 110, 120 mm olarak alınıp benzetimleri elde edilmiştir. 2 GHz'e kadar boy değişiminin bir etkisinin olmadığı kanısına varılmış olup 2.4 GHz'de boyun artmasıyla birlikte ısıma 4 dB artmıştır. 2.75 GHz'e bakıldığında 80 mm'ye göre 100 mm değeri 6 dB daha fazla ısıma yapmıştır. Ayrıca ısıma farkının cüzi miktarda frekans kaymasından oluştuğu söylenir. S11'e bakıldığında 2 ile 4 GHz aralığında oluşan tepeler boyun artmasıyla birlikte düşük frekans bölgesine kaymıştır ve genlikleri değişmiştir. Aynı durum 4 ile 8 GHz aralığında da mevcuttur.

Soğutucunun eninin değişimine bakıldığında yama anten özelliğinden ötürü ısıma olgusu ve genliği değişmiştir. Benzetim ortamında soğutucu en değerleri 80, 100, 120, 140, 160 mm olarak alınmıştır. Veriler incelendiğinde 1 ile 2.1 GHz aralığında en parametresinin artmasıyla beraber ısıma da artmıştır. 2.1 GHz ile 6 GHz aralığında ısıma farkının 3 dB'nin altında olduğu belirlenerek kabaca aynı olduğu söylenir. 6 ile 8 GHz aralığında en değişimiyle beraber ısımanın yer yer 5 dB arttığı gözlemlenmiştir. S11 sonuçları göz önüne alındığında 3.5 ile 4 GHz aralığında en değerinin artmasıyla birlikte olgudaki tepenin düşük frekans bölgesine doğru kaydığı ve genliğinin azaldığı saptanmıştır. S11 verileri genel olarak incelendiğinde 2 ile 8 GHz arasında faz kaymasıyla birlikte genlik değerleri değişmiştir.

Soğutucunun yükseklik parametresi incelendiğinde en ve boy değerlerinden büyük olması şartıyla teorik olarak kalın bir monopol anten davranışı göstermesi beklenir. Ancak ele aldığımız ölçülerde somutlaştırılabilir olması esas alınmıştır. Bu duruma istinaden 14 ile 94 mm aralığında 20 mm aralıklarla yükseklik değiştirilerek benzetimi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 1 ile 2 GHz aralığında ısıma olgusu aynı kalmakla birlikte genliği 2 dB'den azdır. 2.4 GHz'e bakıldığında 14 mm yükseklik değeri diğerlerine göre yaklaşık 5 dB fazla ısıma yapmıştır. 2.4 ile 8 GHz aralığında ise grafik olgusu aynı kalmakla birlikte ortaya çıkan ısıma miktarı 2 dB'nin altındadır. S11 grafiği incelendiğinde yükseklik değişimiyle beraber şeklin kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yer yer genlik değerleri değişmiştir ve bu değişimler 2.5 dB'nin altında kalmıştır.

Taban yapısının değişimi dikdörtgen, kare ve silindir yapı için analiz edilmiştir. Uzak alan benzetiminde 1 ile 2 GHz aralığında kare tabanlı soğutucunun diğerlerine göre 4 dB civarı daha fazla ışıma yaptığı görülmüştür. 2 ile 4 GHz aralığında dikdörtgen tabanlı soğutucu diğerlerine göre 6 dB civarı daha fazla ışıma yapmıştır. Ayrıca bu bölgede kare ve silindir tabanlı soğutucunun ışıma değerleri birbirine çok yakındır. 4 ile 6 GHz frekans bölgesi incelendiğinde kare ve silindir tabanlı soğutucuların ışıma değerleri birbirine yakın olmakla birlikte farklı olduğu bölgeler için aralarındaki fark 2 dB'nin altındadır. Dikdörtgen tabanlı soğutucu bu frekans aralığında diğerlerine göre yaklaşık 5 dB daha az ışıma yapmıştır. 6 ile 8 GHz deki ışıma davranışları incelendiğinde dikdörtgen tabanlı soğutucunun diğer soğutuculardan daha fazla ısıdığı ve değer olarak 3 dB'yi geçmediği belirlenmiştir. Genel itibarıyla incelendiğinde kare ve silindir tabanlı soğutucunun uzak alan ışıma grafiğinin birbirine yakın olduğu ancak silindir tabanlı soğutucunun bir miktar daha az ışıma yaptığı yorumu yapılır. Dikdörtgen tabanlı soğutucu içinse diğer soğutuculara göre ışıma yaptığı frekanslar farklılık göstermiştir. S11 grafiği ele alındığında 3 GHz'de dikdörtgen tabanlı soğutucunun, 4.9 GHz'de silindir tabanlı soğutucunun anten gibi davrandığı açıkça görülmüştür. Kare tabanlı soğutucunun ise anten davranışı diğerlerine göre daha zayıftır.

Soğutucuların kanatçık yapısını incelemek üzere 4 farklı tipte kanatçık yapısı ele alınmıştır. Bunlar dikdörtgen tip kanatçık, parabol tip kanatçık, gökdelen tip kanatçık ve silindirik tip kanatçıklardır. Seçilen bu soğutucular ısıyı atma bakımından yaklaşık olarak aynı performansa sahiptir. Benzetimler neticesinde grafikler incelendiğinde parabol kanatçıklı soğutucu ile dikdörtgen kanatçıklı soğutucu, gökdelen kanatçıklı soğutucu ile silindir kanatçıklı soğutucu birbiriyle aynı ışıma şekline sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm frekans bandı incelendiğinde kanatçık yapısının ışımaya etkisinin 2 dB'den az olduğu saptanmıştır. Benzetimde elde edilen S11 grafiği incelendiğinde kanatçık yapısı farklılığının şekilsel olarak etkisinin olmaması ile birlikte bazı frekans bölgeleri için genliğin 1 dB civarında değiştiği gözlemlenmiştir. S11 grafiği genel olarak ele alındığında kanatçık yapısının soğutucunun anten davranışına etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Soğutucu tabanında birbirinden farklı kaynak uygulama noktaları belirlenmiştir. Bu kaynak noktaları besleme noktaları olarak isimlendirilip Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Beş farklı besleme noktası için ayrı ayrı benzetimler yapılarak veriler aynı grafik üzerinde toplanmıştır. Uzak alan için elde edilen benzetim sonuçları incelendiğinde 1 ile 2 GHz aralığında diğer besleme noktalarının birbiriyle yaklaşık olarak aynı olmalarına karşın 5 numaralı besleme noktasına göre 10 dB daha fazla ışıma yapmışlardır. 2 ile 3 GHz aralığına bakıldığında en fazla ışımayı 1 numaralı besleme noktasının en az ışımayı ise 15 dB değerine yakın olarak 5 numaralı besleme noktasının yaptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu bölgede 1 numaralı besleme noktasına göre kıyaslandığında besleme noktası 4 ile besleme noktası 10 yaklaşık 2 dB, besleme noktası 2'nin ise yaklaşık olarak 5 dB daha az ışıma yaptığı görülmüştür. 3 ile 6 GHz aralığı incelendiğinde besleme noktalarının ışımalarının birbirine benzer olduğu ve aralarındaki farkın 3 dB'den az olduğu net bir şekilde belirlenmiştir. 6 ile 7 GHz aralığına değinildiğinde 1 ile 2 numaralı besleme noktalarının ışımalarına birbiriyle aynı olduğu ve en çok ışımayı yaptığı ve en az ışımaya sahip 5 numaralı besleme noktasından 7 dB daha fazla olduğu yorumu yapılır. 7 ile 8 GHz aralığında olgusal olarak farklılıklar olmakla birlikte yaklaşık olarak ışıma değerleri birbirine yakın olup ve aralarındaki fark

2 dB'den az olarak bulunmuştur. S11 benzetim sonuçlarına bakıldığında 1, 2 ve 4 numaralı besleme noktalarının farklı frekanslarda soğutucuyu antene dönüştürdüğü saptanmıştır. Besleme noktası 2'nin 1.7 GHz'de bir adet, besleme noktası 1'in sırasıyla 2 GHz, 2.7 GHz ve 4.6 GHz'de olmak üzere 3 adet, besleme noktası 4'ün 2 GHz ve 4.3 GHz'de olmak üzere 2 adet anten davranışı gösterdiği bölge vardır. Ek olarak besleme noktası 5 ve 10 içinse tüm frekans bandında anten olarak davrandığı bölgeye rastlanmamıştır. Genel olarak besleme noktaları ele alındığında ışıma bakımından en az değere sahip ve en kararlı olarak 5 numaralı besleme noktası, en kötü değere ve en kararsız yapıya sahip olarak 1 numaralı besleme noktası gösterilir. Bununla birlikte 2 numaralı besleme noktasının tek bölge frekans için anten karakteristiği oldukça güçlüdür. Besleme noktaları için S11 ve uzak alan benzetimlerinin ölçümleri yapılmış olup ulaşılan veriler benzetim sonuçlarını destekler niteliktedir.

Bu çalışmada elektronik cihaz tasarımcıları için elektromanyetik uyumluluk testlerinde soğutucu kaynaklı sorun yaşadığı frekans bölgesinde en uygun soğutucu modeline karar vermesi ve soğutucunun cihaza göre konumunun belirlenmesine yardımcı olması hedeflenmiştir. Ayrıca çalışmanın kapsamını büyük ölçüdeki endüstriyel alüminyum soğutucular oluşturmaktadır.

7. KAYNAKLAR

- Ahn, C., and Oh, J. 2014. Resistive grounding technique of the heatsink for reducing radiation noise. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9 (5): 1724-1728.
- Archambault, B., Pratapneni, S., Zhang, L., and Wittwer, D. C. 2001. Comparison of various numerical modelling tools against standard problem concerning heatsink emissions. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 1341-1346, 13-17 Aug, Montreal, Canada.
- Bar-Cohen, A. and Rohsenow, W. M. 1984. Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled, parallel plates. *Transactions of the ASME*, 116 (106): 116-123.
- Bhobe, A., and Sochoux, P. 2010. Comparison of measured and computed near and far fields of a heatsink using feature selective validation method. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 732-736, 25-30 July, Fort Lauderdale, FL, USA.
- Blings, K., and Morey, T. 2011. *Switchmode Power Supply Handbook*. Mc GrawHill, USA, 849 p.
- Brench, C. E. 1994. Heatsink radiation as a function of geometry. *Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 105-109, 22-26 Aug, Chicago, IL, USA.
- Chiappe, J. 2012. Additional techniques to reduce heatsink emissions utilizing RF absorbers. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 56-63, 6-10 Aug, Pittsburg, PA, USA.
- Chikando, E., Connor, S., and Archambault, B. 2010. Reduction of heatsink emissions by application of lossy material. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 239-243, 25-30 July, Fort Lauderdale, FL, USA.
- Covert, L., Lin, J., Janning, J. And Dalrymple, T. 2007. Dual Function 3-D heatsink antenna for high density 3-D Integration. *IEEE International Workshop on Radio-Frequency Integration Technology*, pp. 26-29, 9-11 December, Singapore.
- Das, S. K., and Roy, T. 1998. An investigation on radiated emissions from heatsinks. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 784-789, 24-28 Aug, Denver, CO, USA.
- Felic, G. And Evans, R. 2001. Study of heat sink EMI effects in SMPS circuit. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 254-259, 13-17 Aug, Montreal, Canada.
- Georgierian, R., and Montrose, M. 2003. Product safety and the heatsink dilemma of minimizing radiated emissions and maximizing thermal cooling. *IEEE EMC International Symposium*, pp. 134-137, 11-16 May, Istanbul, Turkey.
- Gong, X., Josifovic, I., and Ferreira, J. A. 2013. Modelling and reduction of conducted EMI of inverters with SiC JFETs on insulated metal substrate. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28 (7): 3138-3146.

- Grobler, I., and Gitau, M. N. 2017. Analysis, modelling and measurement of the effects of aluminium and polymer heatsinks on conducted electromagnetic compability in DC-DC converters. IET Science, Measurement and Technology, 11 (4): 414-422.
- He, X., Ke, H., and Hubing, T. 2008. Determining the maximum allowable heatsink voltage to ensure compliance with a given radiated emissions specification. IEE EMC International Symposium, pp. 62-65, 18-22 Aug, Detroit,MI,USA.
- Jin, H., Zhang, L., Yang, X., Cheng, P., Li, E., and Zhang, Y. 2018. A novel heatsink with mushroom type EBG structure for EMI radiation suppression. IEEE EMC International Symposium, pp. 772-775, 14-18 May, Singapore.
- Klotz, F., Petzoldt, J., and Volker, H. 1996. Experimental and simulative investigations of conducted EMI performance of IGBTs for 5-10 kVA converters. IEEE Power Electronics Specialist Conference, pp. 1986-1991, 23-27 June, Baveno,Italy.
- Kulanayagam, J., Hagmann, J. H., Hoffmann K. F. And Dickmann, S. 2011. New efficient filter design for a heatsink. Advances in Radio Science, 9 (1): 317-321.
- Kulanayagam, J., Hagmann, J. H., Hoffmann, K. F., and Dickmann, S. 2011. Reduction of heatsink common mode currents in switching mode power supply circuits. Advances in Radio Science, 9 (1): 321-325.
- Kulanayagam, J., Hagmann, J. H., Schenke, S., Hoffmann, K. F., and Dickmann, S. 2012. Numerical modelling for heatsink emissions in power electronics. Advances in Radio Science, 10 (1): 239-243.
- Liu, Q., Jiao, X., Li, J., Khilkevich V., Drewniak, J., Dixon, P., and Arien, Y. 2015. Modelling absorbing materials for EMI mitigation. IEEE EMC International Symposium, pp. 1548-1552, 16-22 Aug , Dresden,Germany.
- Lu, J., and Dawson, F. 2006. EMC computer modelling techniques for CPU heatsink simulation. IEEE Transactions on Magnetics, 42 (10): 3171-3173.
- Lu, J., Zhu, B., and Thiel, D. 2010. Full wave solution for Intel CPU with a heatsink for EMC investigations. IEEE Transactions on magnetics, 46 (8): 3405-3408.
- Manivannan, S., Arumugam, R., Prasanna, S., Paramasivam, S., Salil, P., and Subbarao, B. 2010. Optimization of heatsink EMI using design of experiments with numerical computational investigations and experimental validation. IEEE EMC International Symposium, pp. 295-300, 25-30 July, Fort Lauderdale,FL,USA.
- Manivannan, S., Prasanna, S., and Arumugam, R. 2011. Multi-objective optimization of flat plate heatsink using Taguchi-based Grey relational analysis. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 52 (5): 739-749.
- Pozar, D. M. 1997. Microwave Engineering. Wiley, USA, 756 p.
- Rollin, J. J., Arcari, G., and Roy, L. 1999. EMC performance of IC packages. IEEE EMC International Symposium, pp. 44-46, 2-6 Aug, Seattle,WA,USA.
- Ryan, N. J., Chambers, B., and Stone, D. A. 2002. FDTD modelling of heatsink RF characteristics for EMC mitigation. IEEE Transactions on Electromagnetic Compability, 44 (3): 458-465.

- Shah, A., Sammakia, B. G., Srihari, H. and Ramakrishna, K. 2004. A numerical study of the thermal performance of an impingement heat sink fin shape optimization. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 27 (4): 710-717.
- Shen, G., Yang, S., Sun, J., Xu, S., Pommerenke, D. J., and Khillkevich, V. V. 2017. Maximum radiated emissions evaluation for the Heatsink/IC structure using the measured near electrical field. IEEE Transactions on Electromagnetic Compability, 59 (5): 1408-1414.
- Talebzadeh, A., Sochoux, P., Li, J., Liu, Q., Ghosh, K., and Pommerenke, D. 2018. Shielding Effectiveness, coupling path and EMI mitigation for QSFP cages with heatsink. IEEE Transactions on Electromagnetic Compability, 60 (5): 1254-1262.
- Wang, C., Drewniak, J. L., Knighten, J. L. Wang, Alexander, R., and Hockanson, D. M. 2001. Grounding of heatpipe, heatspreader and heatsink structures for EMI mitigation. IEEE EMC International Symposium, pp. 916-920, 13-17 Aug, Montreal, Canada.
- Wang, D. G., Knighten, J. L., and Muller, P. K. 2002. An Integrated vent, heatsink and EMI shield. IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, pp. 125-131, 12-14 March, San Jose, CA, USA.
- Zhou, X., Li, J., Fan, H., Bhohe, A., Sochoux, P., and Yu, J. 2013. High frequency EMC design verifications through full wave simulations and measurements in reverberation chamber. IEEE EMC International Symposium, pp. 299-305, 5-9 Aug, Denver, CO, USA.
- Zhu, B., Lu, J., and Li, E. 2008. Electromagnetic radiation study of Intel dual die CPU with heatsink. IEEE International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, pp. 949-952, 2-5 Nov, Kunming, China.

ÖZGEÇMİŞ

ALPARSLAN BOZKURT KARAMAN

alparslankaraman0707@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2013-2017	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya