



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PASİF RFID ETİKET KONUMUNUN
BELİRLENMESİNE YÖNELİK ANTEN
TASARIMI**

Taha Fatih ATEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Eylül-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Taha Fatih ATEŞ

25/09/2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PASİF RFID ETİKET KONUMUNUN BELİRLENMESİNE YÖNELİK ANTEN TASARIMI

Taha Fatih ATEŞ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2020, 51 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Radyo frekanslı tanımlama (RFID: Radio Frequency Identification) sistemleri uzun zamandır hayatımızın hemen her alanında kullanılan en yaygın otomatik tanımlama sistemlerinden bir tanesidir. RFID sistemlerinin kurulumu ile kullanımının kolay olması ve temassız çalışması tercih edilmesini sağlamaktadır. RFID teknolojisinde son yıllarda önemli gelişmeler yaşanmaktadır ve çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Konum belirleme sosyal, bilimsel, askeri vb. birçok alanda insanlık için en büyük ihtiyaçlardan biri olmuştur. Açık ve kapalı alanlarda çeşitli konum belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Kapalı alanda konum belirlenmesi açık alanlarda kullanılan yöntemler ile başarılı olmayabilir. Kapalı alanlarda konum belirleme için özel yöntemler geliştirilmiştir. RFID, kurulum ve kullanım kolaylığı ile farklı sahalarda aktif çalışabilmesi sebebiyle konum belirleme hizmetlerinde de tercih edilen teknolojiler arasına girmiştir. Bu tez çalışmasında kapalı alanda bulunan pasif RFID etiketin konumunun belirlenmesinde kullanılacak anten tasarımı amaçlanmıştır. RFID okuyucularının önemli bir bileşeni olan antenlerin performansları yeni tasarımlar ile geliştirilebilmektedir. Ultra yüksek frekans (UHF) aralığında çalışabilen ve konum belirlemeye uygun performans sergileyen düşük profilli yama anten tasarlanmış ve analizleri yapılmıştır. Tasarım aşamasında antenin; geri dönüş kaybı, kazancı, empedans uyumluluğu gibi parametreler göz önünde bulundurularak amaca yönelik belirlenen hedefleri karşılayacak bir anten tasarlanmıştır. Tasarım sonucu gerçekleştirilen analizlerde antenin performans değerlendirilmesi yapılmıştır ve hedeflenen değerlerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek kazançlı, düşük geri dönüş kayıplı yönlendirilmiş anten elde edilmiştir. Kapalı alanda bulunan pasif RFID etiketlerin konumunu bulmaya yardımcı anten üretilmiştir ve yapılan testlerde ortamda bulunan etiketlerden veri alınabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Radyo frekanslı tanımlama (RFID), Ultra yüksek frekans (UHF), Yama anten, Elektromanyetik

ABSTRACT

MS THESIS

RFID ANTENNA DESIGN FOR DETERMINING PASSIVE RFID TAG LOCATION

Taha Fatih ATEŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

2020,51 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

Assoc. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Assist. Prof. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Radio Frequency Identification (RFID) systems are one of the most common automatic identification systems used in almost every area of our lives for a long time. RFID systems are preferred due to their non-contact operation and ease of use and installation. There have been significant developments in RFID technology in recent years and there are various application areas. Location determination has been one of the greatest needs for humanity in many fields such as social, scientific, military, etc. Various location determination methods are used in open and closed areas. Location determination in closed areas may not be successful with methods used in open areas. Special methods have been developed for geolocation in close areas. RFID has become one of the preferred technologies in location determination Technologies due to its ease of installation and use and its active operation in different fields. In this thesis, it is aimed to design an innovative antenna to be used in determining the position of the passive RFID tag in a closed area. The performances of antennas, which are an important component of RFID readers, can be improved with new designs. A low-profile patch antenna that can operate in the ultra-high frequency (UHF) range and performs suitable for positioning was designed and analyzed. During the design phase of the antenna, an antenna was designed to meet the targets determined for the purpose, considering parameters such as return loss, gain, impedance compatibility. In the analysis performed as a result of the design, the performance of the antenna was evaluated, and better results were obtained than the targeted values. High gain, low return loss and directional antenna has been obtained. An antenna was produced to help find the location of passive RFID tags in a closed area, and data was obtained from the tags in the environment during the tests.

Keywords: Radio frequency identification (RFID), Ultra high frequency (UHF), Patch antenna, Electromagnetic

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN'a, yönlendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren hocam Dr. Öğr. Üyesi Hulusi AÇIKGÖZ'e, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Taha Fatih ATEŞ
KONYA-2020

Bu çalışma, TÜBİTAK/TEYDEB Proje No: 7170741 kapsamında, FFPS Bilgi Teknolojileri Danışmanlık Dış Ticaret ve Eğitim Hizmetleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (Konya) ile iş birliği içinde gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 RFID	3
2.1.1 RFID tarihçesi.....	4
2.1.2 RFID kullanım alanları	4
2.2 Diğer Otomatik Tanımlama Sistemleri.....	5
2.3 RFID Çalışma Frekansları	6
2.4 RFID Sistem Bileşenleri	7
2.4.1 Etiket.....	8
2.4.1.1 Aktif etiketler	9
2.4.1.2 Yarı pasif etiketler	9
2.4.1.3 Pasif etiketler	9
2.4.1.4 Yalnızca okunabilen etiketler	10
2.4.1.5 Okunabilen ve yazılabilen etiketler	10
2.4.1.6 Kullanım yeri-fiziksel yapı	10
2.4.2 RFID okuyucu.....	11
2.4.3 RFID antenler	13
2.5 Kapalı Alan Konum Belirleme Teknolojileri	14
2.6 RFID Sistemleri ile Konum Belirleme	15
2.7 Antenler	16
2.7.1 Anten çeşitleri	17
2.7.1.1 Tel antenler	17
2.7.1.2 Dizi antenler.....	18
2.7.1.3 Yansıtıcı antenler	18
2.7.1.4 Mikroşerit antenler.....	19
2.7.1.5 Lens antenler.....	19
2.7.2 Anten parametreleri	20
2.7.2.1 Geri dönüş kaybı	20
2.7.2.2 Bant genişliği	20
2.7.2.3 Polarizasyon.....	21
2.7.2.4 Işıma örüntüsü.....	21
2.7.2.5 Kazanç	22
2.7.2.6 Duran dalga oranı.....	22
2.7.3 Mikroşerit yama antenler	22
2.7.3.1 Mikroşerit yama anten özellikleri	23
2.7.4 Mikroşerit antenler besleme teknikleri	24
2.7.4.1 Mikroşerit besleme	24

2.7.4.2 Koaksiyel besleme	25
2.7.4.3 Açıklık kuplajlı besleme	25
2.7.4.4 Yakınlık kuplajlı besleme	25
2.7.5 Anten tasarım ve imalat yöntem bilimi.....	25
2.7.5.1 Teorik tasarım	25
2.7.5.2 Yazılımsal tasarım	26
2.7.5.3 İmalat	26
2.7.5.4 Performans değerlendirmesi	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Materyal	27
3.2 Yöntem.....	27
3.3 Tasarım	29
3.4 Üretim Aşamaları.....	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	46
5. KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	Alüminyum
cm	Santimetre
dB	Desibel
ϵ_r	Dielektrik Sabiti
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
m	Metre
MHz	Megahertz
mm	Milimetre
$\tan\delta$	Kayıp Tanjantı
Ω	Ohm

Kısaltmalar

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
BW	Bandwidth- Bant Genişliği
EMC	Electromagnetic Compatibility- Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Electromagnetic Interference- Elektromanyetik Girişim
EPC	Electronic Product Code- Elektronik Ürün Kodu
EPCIS	EPC Information Service- Elektronik Ürün Kodu Bilgi Servisi
GPS	Global Positioning System- Küresel Konumlama Sistemi
HF	High Frequency- Yüksek Frekans
HFSS	High Frequency Structure Simulator
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LP	Low Frequency- Düşük Frekans
MIMO	Multiple Input Multiple Output- Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
PVC	Polivinil Klorür
RFID	Radio Frequency Identification- Radyo Frekanslı Tanımlama
RL	Return Loss- Geri Dönüş Kaybı
RSS	Received Signal Strength- Alınan Sinyal Gücü
RSSI	Received Signal Strength Indication- Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UHF	Ultra High Frequency- Ultra Yüksek Frekans
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio- Duran Dalga Oranı
Wi-Fi	Wireless Fidelity- Kablosuz Bağlantı Alanı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Ülkelere göre UHF değerleri	7
Şekil 2.2. RFID sistem bileşenleri	8
Şekil 2.3. RFID etiket örneği ve iç yapısı.....	8
Şekil 2.4. Aktif RFID etiketi	9
Şekil 2.5. Çeşitli RFID etiketleri	11
Şekil 2.6. Metal yüzeylerde kullanıma uygun RFID etiket	11
Şekil 2.7. Sabit RFID okuyucu.....	12
Şekil 2.8. RFID el tipi okuyucular.....	13
Şekil 2.9. RFID antenler	14
Şekil 2.10. Dipol anten	17
Şekil 2.11. Heliks dizi anten.....	18
Şekil 2.12. Yansıtıcı anten.....	19
Şekil 2.13. Lens anten	19
Şekil 2.14. Lens anten alıcı ve verici modların gösterimi	20
Şekil 2.15. Anten örüntüsü	21
Şekil 2.16. Mikroşerit yama anten.....	22
Şekil 2.17. Yama şekilleri.....	23
Şekil 2.18. Mikroşerit anten besleme yöntemleri	24
Şekil 3.1. ANSYS Electromagnetics Suite V19	27
Şekil 3.2. Kutusuz ve desteksiz ham anten tasarım genel görünümü.....	31
Şekil 3.3. Kutusuz ve desteksiz ham anten S_{11} geri dönüş kaybı analiz sonucu	31
Şekil 3.4. Kutusuz ve desteksiz ham anten Z_{11} empedans analiz sonucu.....	32
Şekil 3.5. Kutusuz ve desteksiz ham anten kazanç değeri ve ışım örüntüsü	32
Şekil 3.6. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı genel görünümü	33
Şekil 3.7. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı S_{11} geri dönüş kaybı analiz sonucu. 34	
Şekil 3.8. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı Z_{11} empedans analiz sonucu	34
Şekil 3.9. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı VSWR oranı analiz sonucu	35
Şekil 3.10. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı kazanç değeri ve ışım örüntüsü... 35	
Şekil 3.11. 866 MHz RFID okuyucu anteni genel görünümü	36
Şekil 3.12. 866 MHz RFID okuyucu anteni ABS malzeme dış kutusu.....	37
Şekil 3.13. 866 MHz RFID okuyucu anteni toprak düzlemi alt ve üst görünümü	38
Şekil 3.14. 866 MHz RFID okuyucu anteni yama düzlemi.....	38
Şekil 3.15. 866 MHz RFID okuyucu anteni ikinci yama düzlemi	39
Şekil 3.16. 866 MHz RFID okuyucu anteni S_{11} geri dönüş kaybı analiz sonuçları	40
Şekil 3.17. 866 MHz RFID okuyucu anteni Z_{11} empedans analiz sonuçları.....	40
Şekil 3.18. 866 MHz RFID okuyucu anteni VSWR oranı analiz sonuçları	41
Şekil 3.19. 866 MHz RFID okuyucu anteni kazanç analiz sonuçları.....	41
Şekil 3.20. RFID okuyucu anteni kazanç değeri ve ışım örüntüsü analiz sonuçları.....	42
Şekil 3.21. RFID okuyucu anteni ve ışım örüntüsü birlikte gösterimi 1/2 ölçekli	42
Şekil 3.22. Anten dış kutusu	43
Şekil 3.23. Anten tasarımının üretilmiş ve kullanıma hazır hali	44
Şekil 3.24. Anten tasarımının üretilmiş ve kullanıma hazır kapaksız hali	44

1. GİRİŞ

Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID: Radio Frequency Identification) olarak bilinen radyo frekanslı tanımlama son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. RFID radyo frekanslarını kullanarak nesnelere tanımlayan kablosuz haberleşme ve otomatik tanımlama sistemidir. İlk kullanımı 1940'lı yıllara dayanmaktadır ve günümüze kadar gelişerek kullanım alanını yaygınlaştırmıştır [1]. Envanter yönetiminden personel takibine, hayvancılıktan hırsızlık önlemeye kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Son zamanlarda konum belirleme sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Teknolojik ilerlemeler RFID sistemlerinin de gelişmesine olanak sağlamıştır. Üretim süreçlerini hızlandırıcı yöntemler gelişmiş, performans arttırıcı materyaller kullanılmaya başlanmıştır. Ekstrem şartlarda çalışabilecek etiket ve okuyucuların kullanıma başlanmasıyla RFID sistemlerinin verimliliği arttırılmış ve hemen her alana dahil olabilir hale gelmiştir. Hayvan takibi, insan sağlığı denetimi, çevre kontrolü, gıda kalitesi ve güvenliği, araç takibi ve güvenliği, konum belirleme ve nesnelere interneti için kablosuz sensör ağları gibi uygulama alanları yaygın olarak literatürde bildirilmektedir [2].

RFID sistem bileşenleri arasında en etkili görevi olan yapılardan birisi antenlerdir. RFID antenler, elektromanyetik dalgaları okuyuculardan alarak diğer okuyuculara ya da etiketlere dağıtan ve kablosuz haberleşme sağlayan bileşenlerdir. Antenlerin buldukları koşullara uyumlu çalışmaları ve düşük kayıplı olmaları gerekir.

Uygulamalar için farklı antenler seçilmesi gerekliliği sebebiyle, çeşitli anten tasarımları bulunmaktadır ve uygulamaya göre yeniden tasarlanmaktadır. Gerek anten tasarımında gerekse hazır sistemlerde kullanılacak anten seçim aşamalarında, okumaların başarılı olmasını sağlayacak; geri dönüş kaybı, ışınma örüntüsü, yönlendirme ve kazanç dikkate alınması gereken anten parametrelerindedir.

Konum belirleme insanlık için en önemli ve çözülmesi zor konulardan biri olmuştur. Kapalı ve açık alanda konum belirlemeye yönelik çeşitli metotlar geliştirilmiş ve farklı teknolojilerden yardım alınmıştır. Kurulum ve kullanım kolaylığı ile farklı sahalarda aktif çalışabilmesi sebebiyle RFID konum belirleme hizmetlerinde de tercih edilen teknolojiler arasına girmiştir.

Tez çalışmasında RFID teknolojisinde kullanılacak anten tasarımı hedeflenmiştir. Pozisyon belirlemenin temeli mesafe ve yönü doğru tayin edebilmektir. Literatürde mesafe bulmak ve yön bulmakla ilgili farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. RFID ile pozisyon belirlemek için en yaygın biçimde tercih edilen metot Alınan Sinyal Gücü (RSS: Received Signal Strength) değerleri kullanılarak üç ya da daha fazla pozisyonu bilinen anten aracılığı ile alınan sinyallerin zayıflama karakteristiğinin mesafe ile olan ilişkisi üzerinden pozisyon bulmaya dayanır. Bu yöntem çevresel faktörlerden etkilenmeye çok açıktır ve hassas sonuç vermez. Endüstriyel ortamda zararlı etkiye sahip olan çevresel faktörler fazladır ve hassas sonuç alınmak istenmektedir, bu yüzden daha hassas ve etkili çözüm bulan konum bulma yönteminin yanında verimliliği arttıracak ve çevresel etkilenmeyi azaltacak anten geliştirilmesi gerekmektedir.

Çalışmalarda önemli yer bulan bir diğer metot ise faz bilgisine dayanarak mesafe ölçme yöntemidir. Bu yöntemde etikete giden ve gelen sinyalin faz farkı ölçülerek bu değerden mesafe hesaplanmaya çalışılmaktadır. Faz farkının ölçülebilmesi ve mesafe ölçmede kullanılabilmesi için birden fazla frekansta sinyal gönderme ve aralarında belirli mesafe bulunan birden fazla anten kullanma gibi çalışmalar literatürde yer bulmuştur. Bunun dışında dizi anten kullanarak da etiketin yönü belirlenebilir. Ancak bu durumda standart olmayan anten kullanılmakta ve bu da maliyeti artırmaktadır.

Literatürde bol miktarda anten çeşidi bulunmakta ve her geçen gün tasarım çeşitliliği artmaktadır. Gerekli parametreler belirlendikten sonra istenilen şekilde anten tasarlamak mümkündür. Endüstri ortamında RFID etiketlerden ve okuyuculardan sinyalleri almak etrafta bol miktarda bulunan metal malzemeler sebebiyle zorlaşmaktadır. Hem zayıflamış, yönü değişmiş sinyalleri toparlayabilecek hem de etiketlerin konumlarının bulunabilmesi için alanı tam anlamıyla tarayarak okuyucu ve yazılıma yardımcı olacak yapı anten olduğu için en etkili birim olarak tanımlanmıştır. Tez çalışması sayesinde bu önemli probleme çözüm bulunması amaçlanmıştır. Pasif RFID etiketlerin konum tespitinde kullanılacak bir RFID anten tasarımı gerçekleştirilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 RFID

RFID, üzerinde mikroişlemci ve anten bulunan etiketin taşıdığı bilgilere ulaşan, radyo frekansları ile çalışan ve haberleşen otomatik tanıma sistemidir. Etiket ile okuyucu arasındaki veri ve enerji transferi, temassız olarak sağlanmaktadır [3]. Okuyucudan yayılan elektromanyetik dalgalar etiket üzerindeki antene ulaşır ve mikroçipteki devreleri enerjilendirir, ardından okuyucu tarafından tanıma sinyali gönderilir ve etiket ile eşleşmesi sonucunda iletişime geçilir. Mikroçip, cevabı dalgalar ile okuyucuya tekrar göndermekte ve okuyucu gelen dalgayı dijital veri haline dönüştürmektedir [4].

RFID sisteminde yazılım ve donanım gereksinimleri bulunmaktadır. RFID için gerekli olan donanımlar; etiketler, okuyucular ve okuyucu antenleri olarak sıralanabilir. Sistemin kullanılacağı amaca ve şartlara göre radyo frekansları farklılık göstermektedir. Yazılım katmanında ara yüzler bulunmaktadır.

Barkod, mikroçip ve RFID sistemler farklı otomatik nesne tanımlama teknolojileridir. Bu teknolojiler günümüzde dünya çapında dikkate alınır bir konuma sahiptir. Çalıştıkları veri alışveriş teknikleri, üretim süreç farklılıkları ve uygulama alanları farklılıkları bu yöntemlerin hepsinin özel olduğunu göstermektedir. RFID sistemlerinin üstün özellikleri ile kullanım alanları analiz edilir ve iyi kurgulanabilirse birçok alanda etkili çözümler elde edilecektir. RFID'nin diğer otomatik nesne tanımlama teknolojilerine göre üstün özellikleri: çeşitli okuma mesafeleri, etiketlerin dayanıklı olması, kullanım ömrünün uzun olması, etiketlerin çeşitliliği, bilgi depolama kapasitesi ve esnekliği, veri güvenliği, düşük maliyet, kolay kullanım, standartlar ve geniş kullanım alanı olarak sıralanabilir [5].

RFID sistemlerinin hızlı gelişimi, hayatı kolaylaştırıcı çözümleri ve düşük maliyetleri sayesinde kullanım alanları yaygınlaşmıştır. Bazı uygulama alanlarına: personel takibi, müşteri takibi, konum tespiti, havalimanı bagaj takibi, askeri sistemler ve uygulamaları, paketleme uygulamaları, bilet yönetimi, evrak kayıt takibi, lojistik yönetimi, güvenlik uygulamaları, kargo takibi, perakende satış, hırsızlığa karşı koruma, araçlara kontrollü erişim, otopark sistemleri, akıllı ev sistemleri, araç kilitleme sistemi, atık yönetimi, kutulanmış/paketlenmiş yiyecekler, hastaneler ve sağlık kurumları,

kuyumculuk, kütüphaneler, araç takip sistemleri, otoyol ve köprü ücretli geçiş sistemleri, canlı hayvan takip sistemleri sayılabilir [6].

2.1.1 RFID tarihçesi

RFID üzerine ilk çalışma Harry Stockman tarafından Ekim 1948'de "Communication By Means of Reflected Power" [1] adıyla yayınlanmıştır.

1940 yıllarındaki radar ve radyo hakkındaki gelişmelerden sonra 1950'li yıllarda RFID çalışmaları hız kazanmış ve havacılık alanında da RFID kullanılmaya başlanmıştır [7].

1970'li yıllarda Sensormatic ve Checkpoint şirketleri tarafından hırsızlık önleme amacıyla geliştirilen Elektronik Eşya İzleme isimli ilk ticari uygulama piyasaya sürülmüştür [8].

1980 yılı ile RFID uygulamaları birçok alana yayılmıştır. RFID, Avrupa'da hayvan izleme amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda çeşitli ülkelerde ücretli yollar RFID ile donatılmıştır. Oklahoma'da 1991'de açılan ücretli geçiş sistemi araçlara gişelerden duraklamadan geçiş imkânı tanımıştır [9].

2000'li yıllarda teknolojinin farklı alanlarda da gelişmesi ve yeni üretim yöntemleri oluşmasıyla birlikte RFID sistemleri küçük boyutlarda üretilmeye başlanmıştır. Yeni yöntemler ile üretilen RFID'lerin maliyetinin azalması ve boyutlarının küçülmesi birçok sistemde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Özel anahtarlama ve kodlama sistemleri geliştirilmiştir. Elektronik Ürün Kodu standartlarının gelişmesi için çalışmalar yapılmıştır.

EPCGlobal kuruluşu, RFID standartlarının geliştirilmesi faaliyetini üstlenmektedir. Elektronik Ürün Kodu (EPC: Electronic Product Code) sisteminde her bir ürün, RFID etiketinde bulunan tekil bir numara ile izlenmektedir ve EPCIS (EPC Information Service) ağ sistemi üzerinden ürün bilgilerine ulaşılabilmektedir [10].

2.1.2 RFID kullanım alanları

Günümüzde RFID sistemleri hemen her alanda kullanılmaya başlamıştır. Kullanımının yaygınlaşmasındaki başlıca etmenler sistem kurulumunun kolay ve düşük maliyetli olmasıdır. Ayrıca diğer otomatik tanımlama sistemlerine kıyasla tercih edilme sebebi temas gerektirmemesi ve görüş alanı içerisinde olma gereksinimi bulunmamasıdır [11].

En yaygın kullanım alanlarına örnek olarak personel takip sistemleri gösterilebilir. Personel takip sistemlerinde, personellerin iş yerlerine giriş çıkışlarının kontrol edilmesinin yanı sıra olası acil durumlarda bina içerisinden tahliyesi yapılan ve içeride kalmış olma ihtimali olan kişilerin belirlenmesi hızlıca yapılabilmektedir. Bu bağlamda RFID sistemi etiket bulunan nesne hakkındaki bilgilerin elde edilmesi olarak düşünülmemelidir [2, 12, 13].

Okuyucu ve etiket arasındaki haberleşme için etiketin, okuyucu anteninin kapsama alanı içerisinde bulunmuş olması yeterli olduğundan envanter takibi için en kullanışlı yöntemlerden olmaktadır. Benzer durum havalimanlarında bagaj takibi, kargo ve postanelerde paket/posta takibi işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır [6,12,13].

Alışveriş merkezlerinde ve mağazalarda ürünlerin hırsızlığa karşı korunması amacıyla da kullanılmaktadır. Satış işlemlerinde kasalarda barkod yerine RFID teknolojisinin kullanılması, işlem süresini kısaltmakta ve hataları önlemektedir. Barkod sisteminde okuyucu etiketi doğrudan görmelidir ancak RFID okuyucu bulunması durumunda belirlenen alana ürünlerin konulması satış işlemini hızlıca tamamlamaktadır [14].

Kütüphanelerde kitap zimmet işlemlerinde ve stokların kontrolünde de RFID kullanılmaktadır. Hayvancılık sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvanlar üzerinde yerleştirilen etiket sayesinde, hem hayvanlar hakkında bilgilere kolaylıkla ulaşılmakta hem de sayımları hızlıca yapılabilmektedir. Sağlık sektöründe hasta takibi bir diğer kullanım alanıdır. Otopark sistemleri, araç takip sistemleri, ücretli otoyollarda geçiş sistemleri, araç tanıma sistemleri, akıllı ev sistemleri gibi çeşitli sahalarda da kullanıma uygundur [2,6].

Konum belirleme alanında RFID sistemleri tercih edilen bir teknolojidir [15]. Kapalı alanlarda konum belirleme işlemleri için kullanımı yaygınlaşacaktır. Bu konuda aktif veya pasif etiketler kullanılarak geliştirilmiş farklı yöntemler bulunmaktadır.

2.2 Diğer Otomatik Tanımlama Sistemleri

Otomatik tanımlama; nesnelere belirlemeye, verilerini toplamaya ve bilgileri otomatik olarak işlemeye yarayan sistem olarak tanımlanabilir. Otomatik tanımlama sistemlerinin amacı veri toplama aşamalarını hızlandırmak, insan hatasını ortadan kaldırmak, verimliliği arttırmaktadır [11]. Otomatik tanımlama sistemleri kimlik tanımlama olarak da isimlendirilebilir. Kimlik tanımlama sistemleri ilk kullanım zamanlarından günümüze kadar çeşitli alanlarda kullanılmıştır, geçen süreçte gelişen

teknolojiye paralel olarak ve kullanım amacına göre farklı otomatik tanımlama sistemleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

Otomatik tanımlama sistemlerine örnek olarak barkod sistemleri, biyometrik sistemler ve RFID sistemleri gösterilebilir. Her sistemin birbirine göre avantajları bulunmaktadır. Hangi sistemin tercih edileceği kullanım yerine, amacına ve ihtiyaçlara göre belirlenmektedir.

Barkodlar en çok kullanılan otomatik tanımlama sistemidir. Barkodların optik okuyucu ile okunması gerekmektedir. Barkod üzerindeki ifadeler ürün hakkında bilgi içermemektedir ancak ifadenin bilgisayara tanımlanması sayesinde barkod okutulduğu zaman nesnenin üretildiği ülke ve firma, nesnenin cinsi ile özellikleri gibi bilgilere erişilmiş olunur. Barkod sistemleri hızlıdır ve insan hatalarını ortadan kaldırmaktadır ancak okunabilmesi için barkodun barkod okuyucunun görüş alanına girmiş olması gerekmektedir bu yüzden ürünlerin tek tek ve görerek okutulması gerekmektedir. Bu sorun sebebiyle RFID sistemlerine göre dezavantajlı kalmaktadır.

Biyometrik yapılar, sistemi yalnızca izin verilen verilerin kullanılmasına olanak sağlaması sebebiyle gizlilik içeren alanlarda çokça tercih edilmektedir. Günümüzde en çok bilinen ve kullanılan biyometrik sistemlere; parmak izi, iris tarama, ses tanıma, yüz tanıma sistemleri örnek gösterilebilir [16].

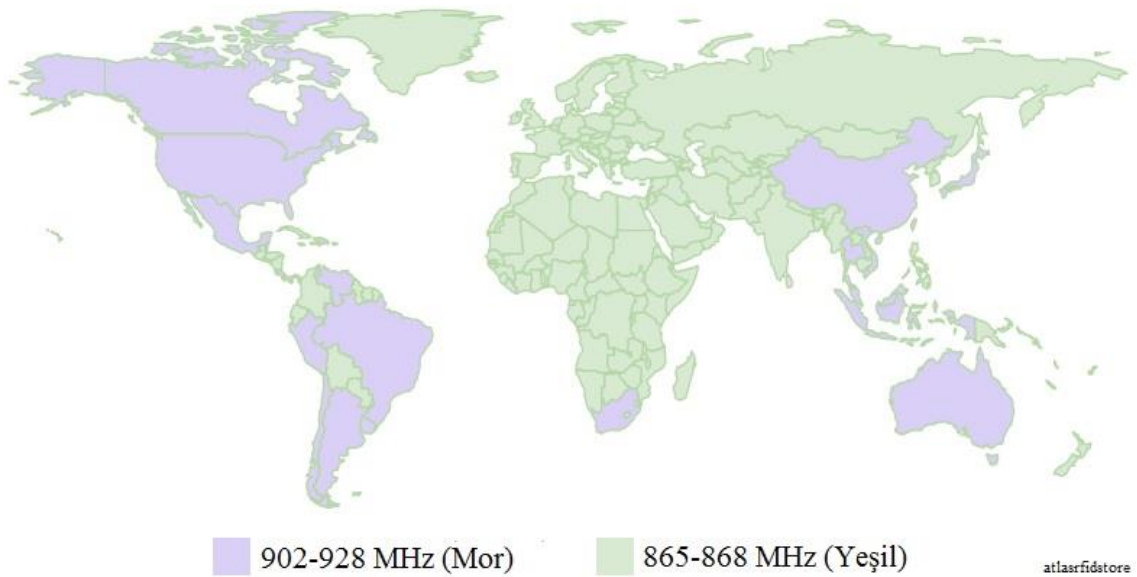
2.3 RFID Çalışma Frekansları

RFID sistemi kablosuz haberleşme sistemidir ve isminden de anlaşıldığı üzere radyo frekansları ile çalışmaktadır. Sistemin kullanım alanına göre ve faaliyet göstereceği ülkeye göre çalışma frekans aralıkları değişmektedir. Dünya çapında uygulanan standartların yanı sıra bazı ülkeler kendi ekledikleri standartları ve frekans aralıklarını kullanmaktadır. Frekans aralıkları temelde 4'e ayrılır; düşük frekans (Low Frequency-LF), yüksek frekans (High Frequency-HF), ultra yüksek frekans (Ultra High Frequency-UHF) ve mikrodalga frekans (Microwave Frequency-microwave) [17].

LF, 30-300 kHz arasındaki frekansları içerir, fakat RFID uygulamalarında 125-135 kHz arası frekanslar kullanılır. Genelde hayvancılık alanında kullanılan etiketlerde tercih edilir. Düşük frekansa sahip RFID etiketler sıvı ve metal yakınlığında kullanımda daha verimlidir. Etiket maliyetleri düşüktür. Veri aktarım hızı yavaştır ve okuma menzili ortalama 30 cm civarındadır [18].

HF, RFID uygulamaları için 13.56 MHz olarak tek bir frekans tahsis edilmiştir. LF'ye göre daha hızlı veri aktarımı yapılabilir ve menzili 1 m civarındadır [17].

UHF RFID, 860-960 MHz aralığını kapsamaktadır. UHF diğer frekanslara göre daha fazla güç harcamaktadır ve etiket ile okuyucu arasında engel bulunmamalıdır ancak yüksek veri aktarım hızı ve yaklaşık 4-5 m okuma mesafesi sayesinde tercih edilmektedir. UHF aralığı tüm dünyada aynı bantta kullanılmamaktadır. 860-960 MHz bandı bölgelere göre ayrılmıştır. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Avrupa bölgesi 865.6–867.6 MHz aralığında çalışırken, Amerika bölgesi 902–928 MHz bandını kullanmaktadır [19]. Ünelere göre frekans aralıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



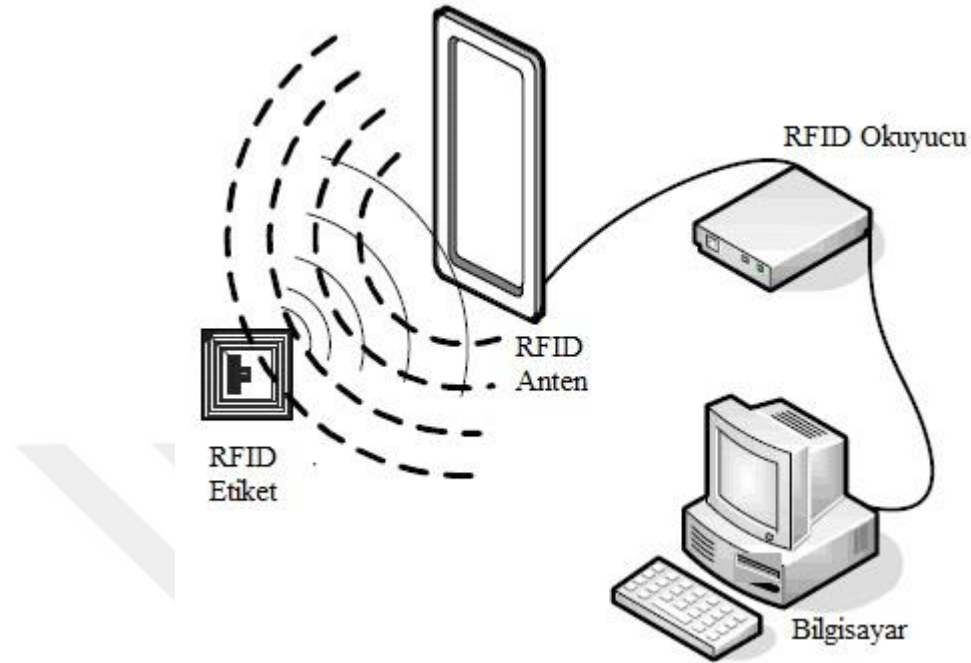
Şekil 2.1. Ünelere göre UHF değerleri [20]

RFID çalışmalarında kullanılan 2.45 GHz ve 5.8 GHz frekansları mikrodalga olarak tanımlanmaktadır. Okuma mesafesi ve hızı yüksektir [17].

2.4 RFID Sistem Bileşenleri

RFID sisteminde okuyucu etrafa radyo frekansları gönderir. Etki alanında bulunan pasif etiketler gelen dalgalar ile enerjilenir, aktif etiketler enerjilerini üzerinde bulunan güç kaynağından sağladığı için enerji sinyaline ihtiyaç duymazlar. Enerjilenme sonrasında etiket gelen sinyalleri modüle eder ve içerisinde tanımlı olan bilgileri okuyucuya gönderir. Okuyucu anteni tarafından toplanan sinyaller çözülür ve okunur. Bilgi, ara yüz yazılımları ile bilgisayarda kullanılır hale getirilir. Kısaca sistem

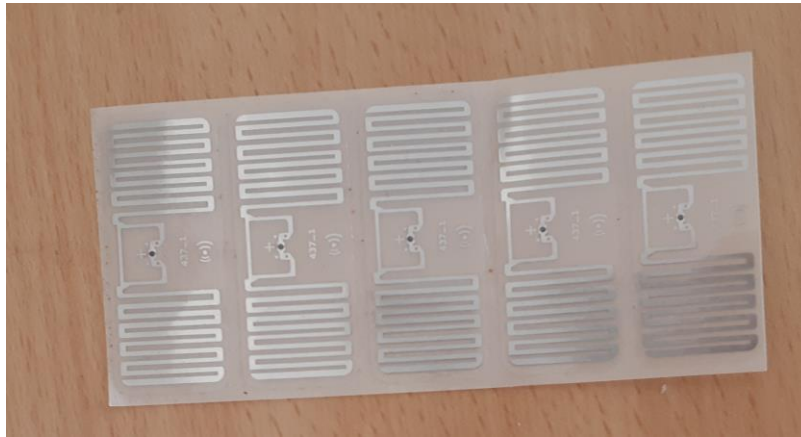
işleyişi anlatılan RFID sisteminin çalışabilmesi için Şekil 2.2’de gösterildiği gibi etiket, okuyucu ve anten donanımlarına ihtiyacı vardır.



Şekil 2.2. RFID sistem bileşenleri [21]

2.4.1 Etiket

RFID etiket, sistemin ilk birimidir. Nesnelerin üzerinde bulunan, içerisinde o nesneye ait bilgileri tutan ve radyo frekansları ile bu bilgileri okuyucuya ulaştıran yapıdır. Mikroçip ve antenden oluşur. Etiket iç yapısı Şekil 2.3’te şeffaf etikette gösterilmektedir. Mikroçip, nesneye ilişkin bilgileri tutar. Anten, okuyucudan gelen sinyallerin alınmasını ve yanıt sinyallerinin okuyucuya iletilmesinde görev alır [22].



Şekil 2.3. RFID etiket örneği ve iç yapısı

Ayrıca entegrenin yerleştirildiği ve kullanılacak yüzeye montajını sağlayacak taban katmanına sahiptir. Enerji elde etme yöntemlerine, kullanım yüzeylerine, hafıza durumlarına, frekanslarına vb. göre sınıflandırılabilir çok sayıda farklı türü bulunmaktadır [4].

2.4.1.1 Aktif etiketler

Aktif etiketler, üzerlerinde bulunan güç kaynağı sayesinde ihtiyaç duydukları enerjiyi sağlarlar. Bu yüzden okuyucudan enerji sinyali gelmeden de verileri okuyucuya gönderebilirler. Enerji sağlayıcı olarak batarya kullanılması durumunda çalışma ömürleri sonlu olmaktadır. Güç kaynağına bağlı oldukları için okunma menzilleri fazladır ve veri aktarımı hızlı gerçekleşmektedir. Sağladıkları faydaların yanı sıra pasif etiketlere göre üretim maliyetleri yüksektir. Aktif RFID etiket örneği Şekil 2.4'te gösterilmiştir [14].



Şekil 2.4. Aktif RFID etiketi [23]

2.4.1.2 Yarı pasif etiketler

Yarı pasif etiketler de aktif etiketler gibi güç kaynağı barındırmalarına rağmen okuyucu ile iletişim kurabilmek için okuyucudan gelecek sinyale bağımlıdır, iletişimi başlatamaz yalnızca cevap verir. Batarya tarafından güç sağlandığı için okunma mesafeleri aktif etiketler kadar geniştir [14].

2.4.1.3 Pasif etiketler

Pasif etiketler dahili enerji sağlayıcı bulundurmazlar. İçerisinde bulunan mikroçipe enerji sağlamak ve iletişime geçebilmek için okuyucu tarafından gönderilecek sinyale ihtiyaç duyar. Aktif etiketler gibi uzak mesafelerde çalışamazlar

ancak güç radyo sinyalleri sayesinde sağlandığından uzun ömürlü kullanıma uygundur. Maliyetlerinin düşük olması, uygulama alanının geniş olması ve üretim kolaylığı sayesinde en çok tercih edilen etiket türlerindedir fakat çevresel koşullardan etkilenirler [24].

2.4.1.4 Yalnızca okunabilen etiketler

Sadece okunabilen etiketlere yalnızca üretim aşamasında veri yazılabilir ve veriler sonradan değiştirilemez [14].

2.4.1.5 Okunabilen ve yazılabilen etiketler

Bu etiketlere okuyucu vasıtasıyla yeni veri eklenebilir, var olan veriler silinebilir ve/veya değiştirilebilir. Depolanan bilginin değiştirilmesi gereken alanlarda kullanılır, bilgi kapasiteleri yüksektir [25].

2.4.1.6 Kullanım yeri-fiziksel yapı

RFID etiketler frekansları, enerji kaynakları ve okuma/yazma durumlarının haricinde kullanım sahasına göre üretilmiş farklı çeşitleri bulunmaktadır. Şekil 2.5'te farklı amaçlar için üretilmiş çeşitli RFID etiketler gösterilmiştir. Elektromanyetik dalgaların yapısı gereği metal yüzey üzerine yapıştırılmış olan etiketlerin okunabilmesi güçleşmektedir. Metal yüzeylerde kullanım için özel üretim etiketler bulunmaktadır ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalacak ürünlerde kullanılabilmesi adına yüksek sıcaklıklara dayanıklı etiketler geliştirilmiştir. Hayvancılık sektörü için özel üretilen etiketler piyasada bulunmaktadır. Benzer şekilde perakende, giyim ve kuyumculuk alanlarında kullanılacak amaca özele etiketler bulunmaktadır. Etiket in vida içerisine yerleştirilmiş uygulamaları ile nesne üzerinde kalıcılığı sağlanmıştır. İhtiyaç oluşumuna göre ilerleyen süreçlerde farklı etiketler kullanıma sunulacaktır [4].



Şekil 2.5. Çeşitli RFID etiketleri [26]



Şekil 2.6. Metal yüzeylerde kullanıma uygun RFID etiket [26]

2.4.2 RFID okuyucu

Okuyucular, antenleri vasıtasıyla radyo frekansları yayarak etiketler ile iletişime geçen, etiketlerden gelen sinyalleri toplayarak etiketleri okuyan ve etiketlere veri yazılmasını sağlayan donanımlardır [27].

Okuyucular kullanılacakları RFID frekans aralığına özel tedarik edilmelidir ya da çoklu frekans aralıklarını destekleyen okuyucular tercih edilmelidir. Bölgesel frekans farklılıklarına ve güç kısıtlamalarına dikkat edilmelidir. Antenleri dahili olabileceği gibi harici anten bağlantıları da bulunmaktadır ve birden fazla anteni destekleyebilmektedir [4].

Okuyucular etiketlerle iletişim kurarak etikette tanımlı verileri alarak ana bilgisayarlar ile kurdukları bağlantı üzerinden verileri bilgisayarlara aktarmaktadır. Okuyucular genellikle farklı bağlantı türlerini desteklemektedir [4].

Okuma ve yazma işlemi yapabilen RFID okuyucular tekrar yazılabilir özelliğine sahip RFID etiketlere veri güncellemesi yapabilmekte ve kapsama alanında bulunan etiketleri okuyabilmektedir. Yazma işlevi bulunmayan okuyucular ise etiketlerde veri değişikliği yapamamaktadır, yalnızca çevresindeki etiketlerden gelen bilgileri okuyabilmektedir [27].

Sabit okuyucular, taşınabilir olmayan belirli bir noktaya sabitlenerek kullanılan okuyuculardır. Etki alanına giren etiketleri okumaktadır. Bu okuyucular çoğunlukla giriş-çıkış kontrollerinde, hırsızlık önleme sistemlerinde, konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Sabit okuyucuların okuma mesafeleri el terminallerine göre fazladır. Genellikle harici ve birden fazla anten kullanımına müsaade etmesinden kaynaklı okuma mesafeleri ve kapsama alanları değiştirilebilmektedir [6]. Şekil 2.7’de çalışmada kullanılan çoklu anten çıkışı destekleyen sabit RFID okuyucu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Sabit RFID okuyucu

El Tipi okuyucular, el terminalleri veya portatif okuyucular olarak da bilinir ve Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Taşınabilir okuyuculardır ve dâhili anten içermektedir.

Okuma mesafeleri sabit okuyuculara göre kısadır. Taşınabilir olması sebebiyle sabit okuyucular ile okumanın mümkün olmadığı alanlarda, gezici sistemlerde kullanılabilir. Envanter takibi işlemlerinde tercih edilmektedir.



Şekil 2.8. RFID el tipi okuyucular [28]

2.4.3 RFID antenler

RFID antenler, elektromanyetik dalgaları okuyuculardan alarak etiketlere dağıtan ya da çevredeki etiketlerden gelen elektromanyetik dalgaları alarak bir okuyucuya iletip okuyucu ve etiket arasında kablosuz haberleşme sağlayan bileşenlerdir [29].

Okuyucu antenlerinin kullanımı, etiket okuma mesafelerini artıracığından dolayı çok önemlidir. Verimli okuma yapılabilmesi adına RFID sisteminin kullanılacağı alana ve amaca yönelik uygun anten seçilmelidir. RFID okuyucu antenlerinin çalışma frekansları, kapsama alanları, boyutları farklılık göstermektedir. Ortamı analiz ederek doğru antene karar vermek gerekmektedir [30]. Şekil 2.9'da çeşitli RFID antenler gösterilmiştir.



Şekil 2.9. RFID antenler [28]

2.5 Kapalı Alan Konum Belirleme Teknolojileri

Konum belirleme genel olarak nesnelerin buldukları yeri tespit etmektir. Konum belirleme uzun yıllardır insanlık için bir ihtiyaç olmuştur. Özellikle güvenlik alanında kullanımı vazgeçilmezdir. Ayrıca haritalandırma, araç takibi, arama kurtarma faaliyetleri, ürün takibi gibi alanlarda da konum belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Konum belirlenmesinde önemli olan unsur hata payının düşük olması ve en yüksek doğruluk ile tespit yapılmasıdır. Açık alanda konum belirlemede kullanılan yöntemler kapalı alanlarda yetersiz kalabilmektedir. En çok bilinen ve tercih edilen Küresel Konumlama Sistemi (GPS: Global Positioning System) yörüngeye yerleştirilen uydular vasıtasıyla konumlama yöntemi, dış ortamlarda güzel sonuçlar vermektedir ancak iç ortamlarda uydu sinyallerinin zayıflaması sebebiyle etkili olamamaktadır [15].

Dış ortamda kullanılan yöntemlerin yetersiz kalması, iç mekanlarda konum belirleme ihtiyacını karşılamak adına farklı yöntemlerin oluşmasını sağlamıştır. Kızılötesi, Kablosuz Bağlantı Alanı (Wi-Fi: Wireless Fidelity), ultrasonik ve RFID sistemler bu yöntemlere örnek gösterilebilir. Her bir sistemin diğerlerine göre üstün özellikleri bulunmaktadır ve bozucu unsurlardan etkilenme oranları değişmektedir [31-33].

Kızılötesi, düşük güç tüketimi ihtiyacına rağmen gün ışığına duyarlılığı, görüş hattı gereksinimi ve kısa menzili sebebiyle etkili olamamaktadır. Wi-Fi, maliyeti düşük ve kurulumu kolay bir sistemdir, IEEE (Institute of Electrical and Electronics

Engineers) 802.11 standardını kullanır. İzlenilecek nesnenin ilgili standardı desteklemesi gereksinimi, duvarlardan etkilenmesi ve çok katlı yapılarda sinyal zayıflaması ise dezavantajlarıdır. Ultrasonik, ses ötesi dalgalar ile ortamı tarayarak düşük hata payı ile konum tespiti yapabilir fakat yüksek doğruluk için kurulması gereken altyapı ve işletim maliyetlerinin yüksek olması kullanıcıların tercih etmeme sebebidir. Sağladığı avantajlar, kurulum ve işletim kolaylığı ile doğruluk payı dikkate alındığında RFID yönteminin kapalı alan konum belirleme yöntemleri arasında en etkili metot olduğu görülmektedir [31-33].

2.6 RFID Sistemleri ile Konum Belirleme

RFID tabanlı kapalı alan konum belirleme teknikleri, sistem bileşenleri olan etiket ve okuyucuların yerlerine ve çalışma yöntemlerine göre incelenebilir. Etiketlerin aktif ya da pasif etiket olmasına göre konum belirleme algoritmaları değişmektedir. Aktif etiketlerin dahili güç kaynakları sayesinde okuyucu ile haberleşmeleri daha verimli olduğundan aktif etiketlerin konumları daha hassas belirlenebilmektedir. Sistem bileşenlerinin yerleşimlerine göre ise etiket sabit okuyucu hareketli ve etiket hareketli okuyucu sabit olarak ayrılmaktadır.

Etiket sabit okuyucu hareketli sistemlerde takip edilmek istenilen cisimlere RFID okuyucular ve mekanın belirli yerlerine de sabit RFID etiketler yerleştirilmektedir. Etiketlerin yerleştirildikleri konumlar önceden belirlenerek referans noktaları olarak kullanılmaktadır ve gezici olan okuyucunun konumu belirlenmektedir [34].

Sabit etiket sayısının artırılması hata payını düşürecektir. Bu sistemde takip edilecek olan tüm nesnelere okuyucu yerleştirilmesi zorunluluğu ve duyarlılığı arttırmak adına etiket sıklığının artırılacak olması maliyeti yükseltmektedir. RFID sistemlerinde okuyucu maliyetleri etiketlere oranla epey fazladır bu yüzden takip edilmek istenilen nesne sayısı fazla olan sistemlerde bu yöntem uygun olmamaktadır [35].

Etiket hareketli okuyucu sabit sistemlerde, takibi ve konum tespiti yapılmak istenilen nesne üzerine etiket, iç mekanda belirli noktalara ise okuyucular yerleştirilir. Sabit okuyucular alanı taramakta ve hareketli etiketlerden okuma almaktadır. Hareketli nesne olarak etiket tercih edilmesi ve okuyucu sayısının az olması maliyeti düşürücü yönde etkilemektedir. Etiketlerin konumlarını belirleyebilmek için Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI: Received Signal Strength Indication) verilerinden faydalanılabilir. Okuyucunun etiketten aldığı sinyalin gücünün analiz edilmesi ile bu yöntem kullanılır.

Normal şartlarda okuyucu ile etiket arasındaki mesafe ile doğru orantılı olarak sinyal gücü değişmektedir, yakın mesafede yüksek güçte sinyal alınırken, uzak mesafede ulaşan sinyal gücü düşük olacaktır. Ortamda bulunan bozucu etkiler ve sinyal yansıtıcı yüzeyler RSSI yöntemin de yanıltıcı olmaktadır. Metal bir yüzeyden yansıyan radyo frekans sinyali gerçekte olduğundan daha uzakta veya daha yakında yorumlanabilir. RFID etiketinin RSSI metodu ile konumunun belirlenmesi tek okuyucu ile mümkün olmamaktadır, RSSI verisinde yalnızca sinyal gücü bulunmaktadır. Birden fazla okuyucu kullanarak konum belirleme işlemi daha hassas yapılabilecektir. Trilaterasyon yöntemi kullanılarak pasif RFID etiketinin konum tespiti yapılabilir [36, 37].

2.7 Antenler

Antenler, elektromanyetik enerjiyi kablosuz olarak yaymak veya toplamak için kullanılan cihazlardır, alıcı ve verici sistemlerde bulunur [38]. Kablosuz haberleşme sistemlerinin olmazsa olmaz birimidir. Antenler tasarlandıkları ve kullanıma başlandığı günden günümüze kadar teknolojinin ve bilimin sunduğu imkanlar dahilinde sürekli geliştirilmiştir ve farklı çeşitleri ortaya çıkarılmıştır. Kullanım amacına ve ihtiyaçlara özel tasarlanması verimli çalışmasını sağlayacaktır.

Antenlerin teknolojik gelişimi şu şekilde verilebilir. Telli telgrafın mucidi ve Princeton Üniversitesi Profesörü Joseph Henry, 1842 yılında yaptığı bir takım deney ile elektromanyetik dalgaları keşfetti. 1875 yılında Edison elektrik devrelerindeki anahtarların açılıp kapanması esnasında oluşan ışığı belirli bir mesafeden algıladı ve 1885'te dikey konumlandırılmış, tepe yüklü, topraklanmış antenlerle oluşturulan haberleşme sisteminin patentini aldı. Edison'un anten sistemine benzer bir yapı A. E. Dolbear tarafından 1882 yılında kod iletimi için kullanılmıştır. 1887 senesinde H. Hertz dipol anten kullanarak radyo dalgalarını almaya ve işlemeye başladı. 1900'lü yıllarda çalışmalar hız kazanmıştır ve farklı anten türleri ile keşifler devam etmiştir. Düşük frekanslı, yüksek kazançlı antenler yapılmaya başlamıştır. 1916'da Marconi reflektörler ve kısa dalga boyları ile güvenli haberleşme sağlamak adına çalışmalar yürüttü. 1920'li yıllarda antenler uygulamalara özel formlara bürünmeye başlamıştır. 1930'larda UHF ve mikrodalga frekanslarında anten çalışmaları hız kazanmıştır. İkinci dünya savaşı ile birlikte radarlar üzerine yoğunlaşmıştır. İlk örnekleri 1950'li yıllarda görülen mikro şerit antenler 1970 yılı itibariyle tercih edilmeye başlamıştır. 1990 itibariyle bilim insanları çalışmalarını ışınma elemanları üzerine yoğunlaştırmıştır. Meta materyaller anten tasarımlarında ayrılmaz parça olmaya başlamıştır. Yine aynı dönemlerde oluşan

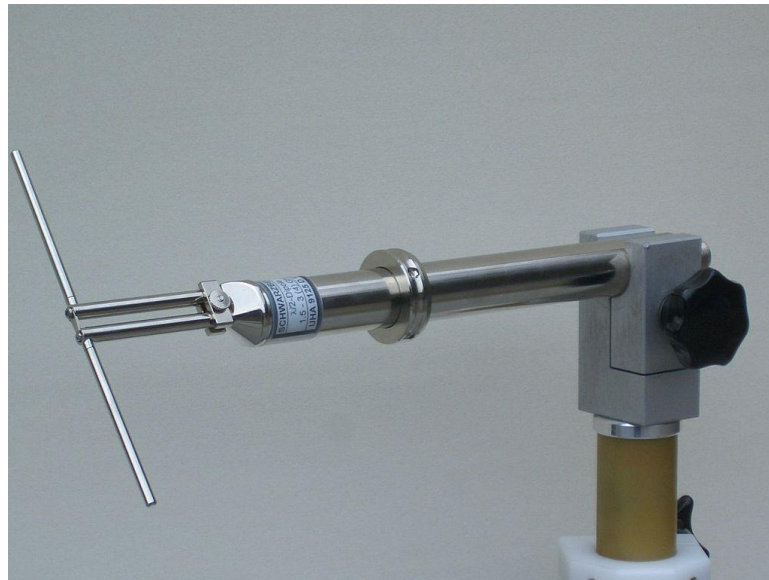
ihtiyaçları karşılamak için Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO: Multiple Input Multiple Output) antenler, fraktal antenler ve çok bantlı antenler üzerine geliştirmeler yapılmıştır [39,40].

2.7.1 Anten çeşitleri

Antenler fiziksel yapılarına, özelliklerine, çalışma frekanslarına göre sınıflandırılabilir. İdeal antenlerden beklenen, antene verilen tüm gücün istenilen yönde ve düzlemde hedeflenen alıcıya iletebilmesidir. Uygulamalar için farklı anten tipleri mevcuttur ve her birinin özel üstünlükleri bulunmaktadır. Kullanım sahasına ve ihtiyaç duyulan özelliklere uygun anten seçimi yapılmalıdır. Teoride tüm noktalara eşit ışımaya yapan antenler izotropik anten olarak isimlendirilir. Pratikte her yönde eşit güçte sinyal iletilmesi mümkün değildir. Anten kazançlarının belirlenmesinde ve antenlerin kıyaslamalarında referans olarak kullanılır [41].

2.7.1.1 Tel antenler

Tel antenler, binalar, otomobiller, gemiler gibi birçok alanda kullanılır. Tel antenlerin dipol anten, halka anten, sarmal (*heliks*) anten gibi farklı çeşitleri bulunur. Dipol anten örneği Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Döngü antenlerin dairesel olması zorunlu değildir dikdörtgen, kare, elips gibi farklı formlarda da tasarlanabilirler [42].



Şekil 2.10. Dipol anten [43]

2.7.1.2 Dizi antenler

Tek anten ışımalarının yeterli olmayacağı uygulamalarda antenler bir araya getirilerek gerekli olan ışıma sağlanabilir, bu amaçla bir araya getirilerek oluşturulan anten türüne dizi anten adı verilir. Her anten türü kendi türünden antenlerle bir araya getirilerek dizi anten oluşturulabilir, heliks antenlerle oluşturulmuş dizi anten Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Dizi antenler ile yayılım yönü ve şiddeti ayarlanabilir [44].



Şekil 2.11. Heliks dizi anten [45]

2.7.1.3 Yansıtıcı antenler

Sinyallerin uzak mesafelere iletilmesini sağlayan antenler yansıtıcı antenlerdir. Yansıtıcı antenler Hertz tarafından elektromanyetik dalgaların keşfinden bu yana kullanılmaktadır ancak uzay araştırmalarının başlaması ile rağbet görmüştür. Farklı geometrik şekillerde yansıtıcı yüzey tasarlanabilir. Çalışma prensibi; parabol yansıtıcının odağında bulunan ışığıcıdan çıkan sinyalleri yansıtıcı ile dağıtmak ya da gelen sinyalleri toplayarak odağa iletmektir [42]. Şekil 2.12’de parabolik yansıtıcı anten gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yansıtıcı anten [46]

2.7.1.4 Mikroşerit antenler

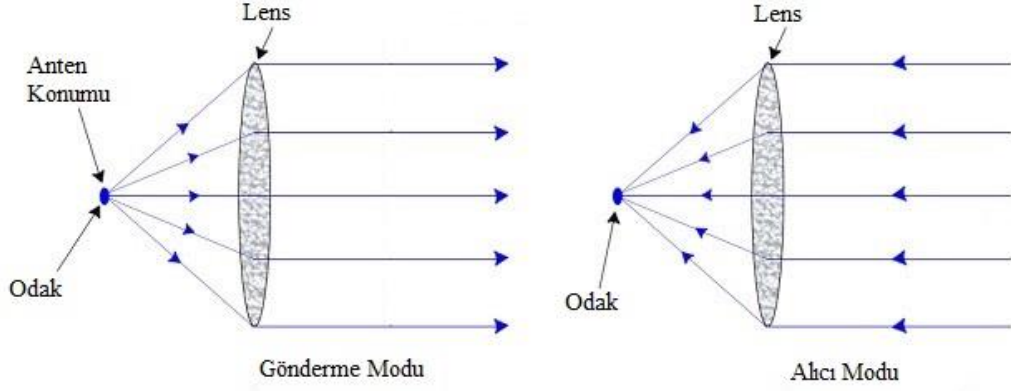
Mikroşerit antenler en fazla tercih edilen anten türlerinden birisidir. Yama anten olarak da bilinmektedir. Dielektrik malzeme üzerinde iletken bir yama bulunmaktadır. Mikroşerit antenlerin analizi, tasarımı ve üretimi kolaydır. Mobil cihazlardan, uzay araçlarına kadar hemen her alanda kullanım imkanı sağlamaktadır [42].

2.7.1.5 Lens antenler

Lens anten, farklı yönlerden gelen enerjilerin istenmeyen yönlere dağılmaması için kullanılır. Parabolik yansıtıcı antenlere benzerdir fakat daha yüksek frekanslarda kullanılırlar [42]. Şekil 2.13'te lens anten, Şekil 2.14'te lens anten çalışma mantığı gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Lens anten [47]



Şekil 2.14. Lens anten alıcı ve verici modların gösterimi [47]

2.7.2 Anten parametreleri

Antenlerin verimli çalışması için dikkate alınması gereken parametreler bulunmaktadır. Bunlar; geri dönüş kaybı, bant genişliği, polarizasyon, ışınma örüntüsü, kazanç ve duran dalga oranı sayılabilir.

2.7.2.1 Geri dönüş kaybı

Bir antenin geri dönüş kaybı, antenin sinyal beslemesi olan 50Ω iletim hattına ne kadar uyduğunu gösterir. İletim hattı karakteristik empedansı genellikle 50Ω 'dur. Geri dönüş kaybı, uyumsuzluk nedeniyle gelen gücün ne kadarının antenden yansıdığını gösterir ve Denklem 2.1'de gösterilmiştir. Mükemmel bir şekilde eşleştiğinde ideal bir anten, tüm enerjiyi yansımadan yayar [42].

$$\text{GeriDönüşKaybı(dB)} = 10 \log \frac{\text{Gelengüç}}{\text{Yansıyanguç}} \quad (2.1)$$

Ger dönüş kaybı sonsuz ise, antenin iletim hattı ile mükemmel şekilde eşleştiği söylenir. S_{11} desibel cinsinden ifade edilen dönüş kaybının negatif değeridir. Çoğu durumda, geri dönüş kaybı ≥ 10 dB (eşdeğer, $S \leq -10$ dB) yeterli kabul edilir. 10 dB'lik bir geri dönüş kaybı, gelen gücün %90'ının ışınma için antene gittiğini gösterir [42].

2.7.2.2 Bant genişliği

Bant genişliği, bir antenin performans parametrelerinin istenilen değerleri sağladığı frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Bant genişliği antenin kullanım amacına

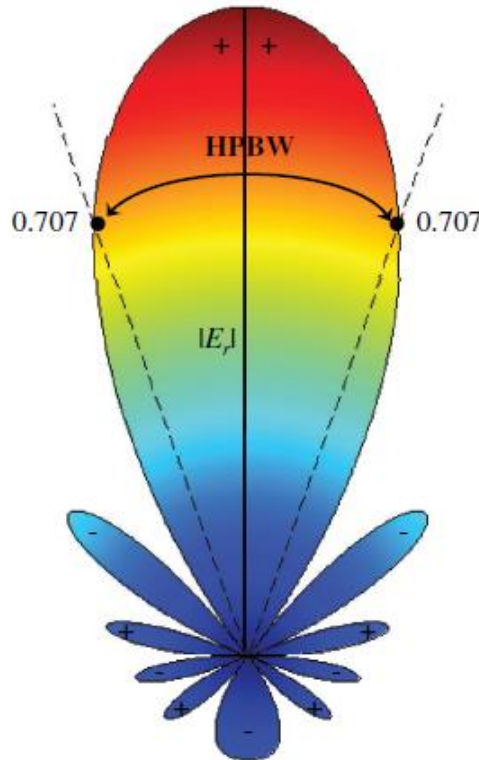
göre şekillenebilir. Antenin dar bant olması durumunda çevresindeki yakın frekanslarda çalışan cihazlardan kaynaklanan bozulma etkisini en aza indirir [42].

2.7.2.3 Polarizasyon

Polarizasyon veya kutuplanma, asıl anlamı itibariyle elektrik alan vektörünün zamana bağlı olarak uzayda çizmiş olduğu şekildir. Lineer, dairesel ve eliptik olmak üzere 3 farklı polarizasyon mevcuttur. Verici ve alıcı anten arasında maksimum veri alışverişi olabilmesi için antenlerin aynı polarizasyonda olması gerekir. Daha başka bir ifade ile alıcı antenin maksimum enerji toplayabilmesi için gelen dalga ile aynı polarizasyonda olması gerekir [30].

2.7.2.4 Işıma örüntüsü

Anten ışıma örüntüsü, antenin hangi yönlerde ışıma yaptığı hakkında bilgi verir. Antenin ışıma özelliklerinin grafiksel örüntüsü Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Ana kulak (*lob*), yan kulak ve arka kulaklardan oluşur. Ana kulak; ışımının yönünü ve en yüksek değerini gösterir. Yan ve arka kulaklar; ana kulak haricindeki kulaklardır ve istenmemektedir [42].



Şekil 2.15. Anten örüntüsü [42]

2.7.2.5 Kazanç

Anten kazancı, belli bir yönde yayılan ışımaya gücünün, izotropik bir antenin her yönde ve eşit seviyede yapmış olduğu toplam ışımaya gücüne oranıyla elde edilir. Anten kazancı yaygın olarak desibel (dB) türünden ya da izotropik antene oranla olduğunu belirtmek için dBi türünden ifade edilir. Denklem 2.2’de gösterilmiştir [29].

$$\text{Kazanç} = 4\pi \frac{\text{Işıma şiddeti}}{\text{Toplam giriş gücü}} \quad (2.2)$$

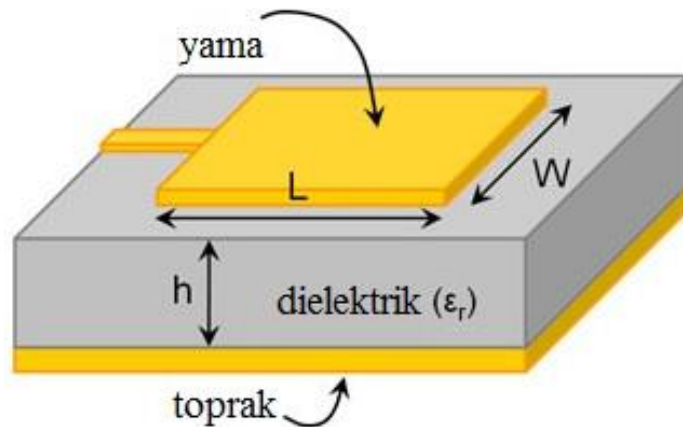
2.7.2.6 Duran dalga oranı

Anten giriş empedansının, besleme kaynağı empedansından farklı olması durumunda kaynak, iletim hattı ve anten arasında empedans uyumsuzluğu oluşur. Uyumsuz çalışmanın neticesinde duran dalgalar oluşur. Gerilim duran dalga oranı (VSWR: Voltage Standing Wave Ratio) hattaki en yüksek gerilim genliğinin, en düşük gerilim genliğine oranı şeklinde tanımlanır [30].

2.7.3 Mikroşerit yama antenler

Mikroşerit antenler iki iletken arasında dielektrik malzeme yerleştirilmesiyle elde edilir. Tabanda bulunan iletken tabaka topraklama amacıyla, üst iletken ise ışımaya katmanı olarak kullanılır. Dielektrik malzeme üzerinde kare, üçgen, daire, halka, dikdörtgen, elips gibi çeşitli şekillerde iletken yama kullanılır [42].

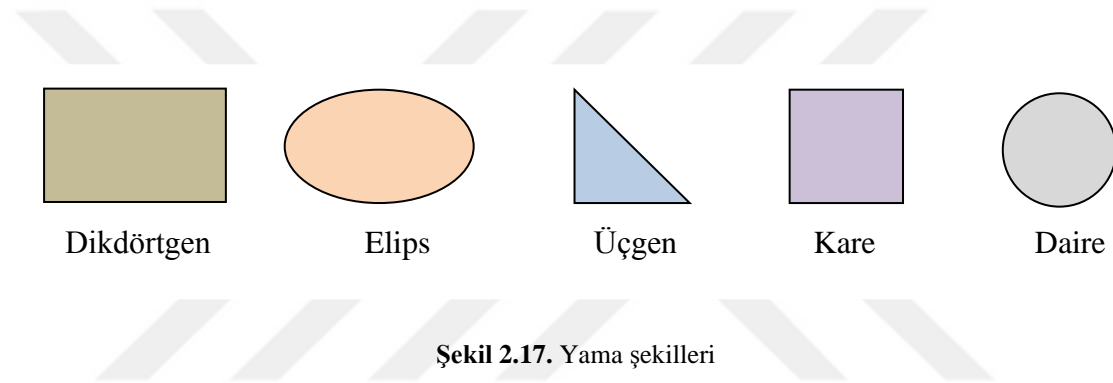
Toprak düzlemi; genelde en alt tabakada yer alan iletken katmandır. Dielektrik malzemenin altında bulunur. Anten verimliliği toprak düzleminin boyutlarının değiştirilmesinden etkilenir. Mikroşerit yama anten tasarımı Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Mikroşerit yama anten [48]

Dielektrik tabaka; ışına katmanı ile toprak düzlemi arasında kalan kısımdır. Farklı dielektrik sabitine sahip malzemeler kullanılabilir. Dielektrik sabiti ve katman kalınlığı anten performansını etkilemektedir. Tasarım parametrelerini sağlayacak uygun maliyetli ürünler tercih edilmelidir. [49]

Işıma düzlemi; yama olarak da bilinir. Dielektrik malzeme üzerinde bulunan ve anten ışımalarının gerçekleştiği iletken yüzeydir. Şekil 2.17’de gösterildiği gibi farklı boyutlarda ve şekillerde kullanılabilir. Yama boyutları ve geometrik şekilleri anten çalışma frekansı, bant genişliği ve diğer parametreler üzerinde etkilidir. Dikdörtgen yama şekli yüksek bant genişliğine sahipken, dairesel şekiller düşük bant genişliği sağlamaktadır. Dikdörtgen ve dairesel mikroşerit antenler doğrusal kutupludur. Halka şekillerde ise empedans uyumunu yakalamak zordur [50].



Şekil 2.17. Yama şekilleri

Mikroşerit antenler üretimi ve tasarımı kolay olması sebebiyle tercih edilmektedir. Yüksek anten performansı için düşük dielektrik sabitli ve kalın toprak/tabakası tercih edilmelidir. Kalın ve düşük dielektrik sabitli malzeme kullanmak bant genişliğini artırmakta fakat boyutların büyümesine sebep olabileceğinden kullanım alanına göre tasarım yapılmalıdır [42].

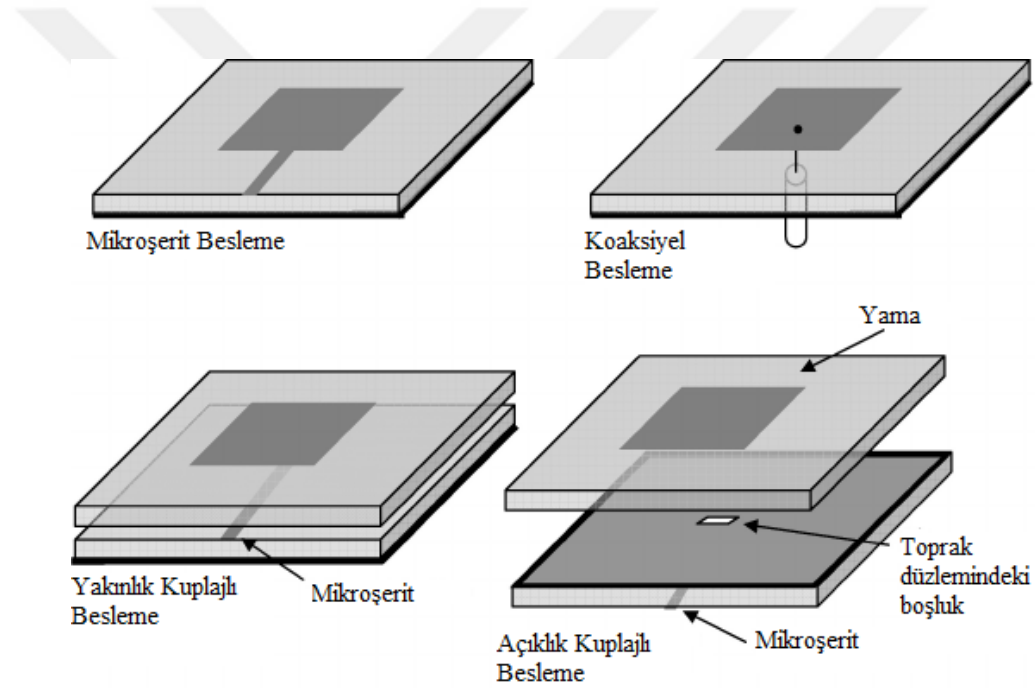
2.7.3.1 Mikroşerit yama anten özellikleri

Tasarım ve üretim aşamalarının kolaylığının yanı sıra çalışma alanının genişliği ve düşük profilli oluşu herkesçe bilinmesini ve kullanılmasını sağlamaktadır. Her sistemde olduğu gibi mikroşerit antenlerinde artıları ve eksileri bulunmaktadır. Boyutlarının küçük olması, kullanım ve montaj kolaylığı sağlaması, düşük maliyetli üretim imkânı, doğrusal ve dairesel kutuplanmayı desteklemesi ve birden fazla frekansta çalışabilme imkânı sunması avantajları arasında sayılabilir. Dar bant genişliği, düşük anten kazancı, besleme kısımlarında istenmeyen ışımaların olması ise dezavantajlarıdır. Dezavantajları bertaraf etmek için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır fakat

bunların bir kısmı tasarımı olumsuz etkileyebilmektedir. Anten kazancı anten dizisi kullanımı ile yükseltilebilirken, bant genişliği artırımı için dielektrik malzeme seçimi, yama şeklinin ve boyutlarının değiştirilmesi gibi yöntemler kullanılabilir [51].

2.7.4 Mikroşerit antenler besleme teknikleri

Mikroşerit yama antenlerin farklı besleme metotları bulunur. Yama şekillerinde ve malzeme seçiminde olduğu gibi beslenme yöntemi de anten performansını ve parametrelerini etkilemektedir. İlk mikroşerit antenler ya bir mikroşerit besleme hattı ya da bir koaksiyel beslemesi kullanmıştır ve uygulamada bu iki besleme yöntemi benzerdir [52,53]. Farklı olarak açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlı besleme kullanılabilir. Mikroşerit anten besleme teknikleri Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Mikroşerit anten besleme yöntemleri [53]

2.7.4.1 Mikroşerit besleme

Mikroşerit besleme tipinde yamaya temas eden ve yamadan daha dar bir şerit hat üzerinden besleme sağlanır. Üretimi kolaydır, besleme ve yamanın aynı yüzeyde olması düzlemsel yapı sağlamaktadır, empedans uyumluluğu sağlanması basittir, modellemesi sadedir ancak besleme hattından sahte ışımalara sebep olur ve bant genişliği dardır [42].

2.7.4.2 Koaksiyel besleme

Koaksiyel besleme yönteminde koaksiyel kablo kullanılır ve koaksiyel kablo dış iletkeni antenin toprak düzlemine, iç iletkeni ışına yapacak olan yama düzlemine lehimlenir. Koaksiyel prob beslemeli antenlerin; sahte ışına oluşumu düşüktür, empedans kontrolü sağlamaktadır, verimlidir fakat kalın dielektrik malzeme kullanılır ise bant genişliğini olumsuz etkiler ve üretimi zorlaştırır [42].

2.7.4.3 Açıklık kuplajlı besleme

Açıklık kuplajlı beslemede iki dielektrik malzeme bulunur ve bunlar toprak düzlemi ile birbirinden ayrılır. Dolaylı besleme yöntemidir. Alttaki dielektrik katmanın alt kısmında mikroşerit hat bulunur ve toprak düzlemindeki boşluktan üst katman üzerindeki yama beslenir. Besleme hattı ile yamanın ayrılmış olması sahte ışınları engeller. Besleme amacıyla toprak iletkenine açılmış olan yarığın ebatları anten parametreleri üzerinde etkilidir. Üretimi diğer yöntemlere nazaran daha zordur. Alt katmanlarda farklı dielektrik sabitli malzemeler kullanılabilir. Yama düşük dielektrik sabitli malzeme üzerine, toprak yüksek dielektrik sabitli malzeme üzerinde basılır [42].

2.7.4.4 Yakınlık kuplajlı besleme

Yakınlık kuplajlı beslemede de açıklık kuplajlı besleme yöntemine benzer olarak iki dielektrik katman kullanılır. Yama ile toprak düzlemleri arasında iki dielektrik malzeme bulunur ve besleme hattı bu iki dielektrik malzeme arasına yerleştirilmiştir. Yama ile besleme hattı birbirinden bağımsızdır. Bu yöntemde de sahte ışınlar engellenir [42].

2.7.5 Anten tasarım ve imalat yöntem bilimi

Antenlerin üretimi öncesinde ve sonrasında yapılması gereken çalışmalar bulunmaktadır. Öncelikle teorik hesaplamaları ve teorik tasarımı yapılan anten yazılım desteğiyle birlikte modellenme ve benzetim adımlarının ardından üretim safhasına geçer ve uygun yöntemler ile üretimi yapılan anten son olarak performans testlerine alınır.

2.7.5.1 Teorik tasarım

İlk olarak tasarımı yapılacak olan antenin nerede, nasıl ve ne için kullanılacağı belirlenmelidir. Kullanım alanına ve amacına göre tasarımda kısıtlayıcı ve/veya belirleyici etmenler analiz edilmeli ve verimli çalışan anten olması için ihtiyaç duyulan

parametreler kararlaştırılmalıdır. Karar kılınan parametrelere uygun malzeme seçimi en önemli aşamalardan birisidir. Formüllerden faydalanarak matematiksel hesaplamaların yapılarak yazılım aşaması öncesi gerekli veriler oluşturulmalıdır.

2.7.5.2 Yazılımsal tasarım

Anten tasarımlarında kullanılabilir bir çok program bulunmaktadır. Uygun elektromanyetik benzetim programı seçimi sonrası bir önceki aşamada belirlenen verilerden faydalanılarak tasarımı yapılır. 3 boyutlu tasarım ve antenin fiziksel görünümü yanı sıra parametreleri etkileyen unsurlarda eklenerek antenin teknik şartları karşılayacak duruma getirilmesi sağlanır ve benzetimi yapılarak test edilebilir.

2.7.5.3 İmalat

Yazılımsal tasarım aşamasında üretime karar verilen tasarım uygun yöntemlerle üretimi sağlanır. Anten tipine göre farklı üretim süreçleri gerekebilir. Üretimi gerçekleştirilen antenin testlerine geçilir.

2.7.5.4 Performans değerlendirmesi

Antenin teorik tasarım aşamasında belirlenen ve yazılımsal tasarım aşamasında gözlemlenen performansı ve parametrelere uygunluğu test edilir. Ayrıca antenlerin uluslararası standartları sağlıyor olduğu onaylanmalıdır. Antenlerin, elektromanyetik uyumluluklarının ve performanslarının test merkezlerindeki kontrolü sonrası çalışma ortamlarındaki değerlendirmeleri yapılmalıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

HFSS (High Frequency Structure Simulator: Yüksek Frekans Yapı Simülatörü), üç boyutlu modelleme ve elektromanyetik benzetim için kullanılan yüksek performanslı sonlu elemanlar yöntemi tabanlı yazılımdır. Antenler, RF ve mikrodalga bileşenleri, iletişim araçları vb. ürünlerin tasarım ve simülasyonunda tercih edilen bir uygulamadır. HFSS tasarım, katı modelleme, simülasyon, sanal prototip ve analiz aşamalarını kabul edilebilir doğrulukta çözümler ve raporlayabilir. Tasarım ve simülasyon işlemleri sonrasında analiz edilerek, ürünün tasarım parametrelerine uygunluğunun doğrulanmasında yardımcı olur [54,55]. Bu tez çalışmasında; anten tasarımı, simülasyonları ve analizi için Şekil 3.1'de gösterilen ANSYS Electromagnetics Suite HFSS V19 (ansys.selcuk.edu.tr) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. ANSYS Electromagnetics Suite V19

3.2 Yöntem

Literatür taraması yapılarak, antenler üzerine çalışmalar incelenmiştir. Çeşitli anten tipleri araştırılmış/incelenmiş uygun olanlar üzerine yoğunlaşmıştır. UHF band aralığında çalışan anten çalışmaları araştırılarak bilgi edinilmiştir. Literatürde bulunan ve saha araştırmaları sonucu elde edilen zorluklar listelenmiştir. Kullanım yeri sebebiyle ortamda bol miktarda bozucu etki olması, anten boyutunun küçük olması gerekliliği,

UHF bandında çalışması gerekçesi, düşük maliyetli-yüksek performanslı olması, üretiminin kolay olması etkenleri sebebiyle yama (*patch*) anten üzerine karar kılınmıştır [56].

RFID antenler ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC: Electromagnetic Compatibility) konularındaki standartların yanı sıra IEEE, TSE (Türk Standartları Enstitüsü) gibi standartlar da incelenmiştir. Literatür taraması sonucu oluşturulan fikirler standartlara uygunluğu kontrol edilerek düzenlenmiştir. RFID sistemlerinde UHF bandında farklı frekans aralıkları bulunmaktadır. Tez çalışmasında tasarlanan antenimiz Türkiye'nin içerisinde bulunduğu bölgenin frekansları olan 865-868 MHz aralıkta çalışacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir.

Araştırmalar ve standartlar neticesinde uygun olan yapı üzerine düşünülerek kullanılacak yazılımlar, kaynaklar belirlenmiştir. Maliyet analizi yapılmış ve ihtiyaçlar pazar araştırması ile doğrulanmıştır. Maliyet analizi sonucunda anten için fiyat/performans bakımından uygun malzeme alüminyum (Al) olarak belirlenmiştir. Dayanıklılığı, kolay üretimi ve düşük maliyetli olması sebebi ile dış kutu malzemesi ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) seçilmiştir.

Yapmış olduğumuz kaynak taraması neticesinde düşük profilli bir yama anten için geometrik boyutların hesaplanması Denklem 3.1'de verilmiştir [42].

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} \sqrt{\varepsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}} \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} - 2\Delta L$$

$$L \approx (0,47 - 0,49) \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} = (0,47 - 0,49) \lambda_d \quad (3.1)$$

Burada; W:Genişlik, L:Uzunluk, f_r :Rezonans frekansı, ε_0 :Boşluğun dielektrik sabiti, ε_r :Yalıtkan katman dielektrik sabiti, μ_0 :Boşluğun manyetik geçirgenliği, v_0 :Işık hızı, λ_d :Dalga boyu göstermektedir.

Bu denklemlerden oluşturulan matematiksel modeller ideal şartlarda teorik hesaplamalardan elde edildiği için antenin içinde bulunduğu şartlara uygun olmayabilir.

Çevresel faktörler bu hesaplamaları bozmaktadır. Formül sonuçlarına göre tasarlanan antenler bir kutu içerisine konulduğu zaman performansı değişmektedir. Değişen durumlara göre boyutları yeniden düzenlenmek gerekmektedir.

865-868 MHz frekans aralığında çalışacak yama anten mikroşerit (*microstrip*) ve koaksiyel besleme yöntemi için anten boyutları, besleme boyutları, empedans eşleme elemanı boyutları gibi hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında literatür kitaplardan, ilgili ders notlarından yararlanılmış ve tüm formüllerin hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar ve modellemeler neticesinde ulaşılan sonuçların uygunluğu ve kullanılabilirliği sonraki çalışmalarda ve tasarım aşamasında teyit edilerek gerekirse düzenlemeler yapılmıştır.

3.3 Tasarım

Tasarıma başlamadan önce, anten için ihtiyaçlar belirlenmiş, kullanım yeri tespit edilmiş, sınırlandırıcı faktörler belirlenmiş ve hesaplamaları yapılarak taslak çıkarıldıktan sonra elektromanyetik modelleme yazılımlarında tasarlanıp analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre düzenlemeler yapılarak kullanılabilir hale getirilmiştir. Analiz sonucunda anten kazancı düşük ya da frekans değeri yanlış çıktıysa bunları giderici/düzeltilici işlemler uygulanmıştır. Tasarıma başlamadan önce yapılan çalışmalar aşağıda detaylandırılmıştır;

İhtiyaçlar: Geniş açılı, düşük kayıplı ve yüksek kazançlı anten olması.

Kullanım Yeri: Kapalı alanlar ve genellikle bozucu etkilerin bulunduğu ortamlar.

Sınırlandırıcı Faktörler: Düşük boyutlu anten olması, maliyeti düşük performansı yüksek malzeme ve düşük kayıplı malzeme kullanılması.

Elektromanyetik modelleme araçları kullanılarak; çalışmalar sonucunda belirlenen, 865-868 MHz bandında çalışacak, koaksiyel beslemeli yama anten tasarımına başlanmıştır.

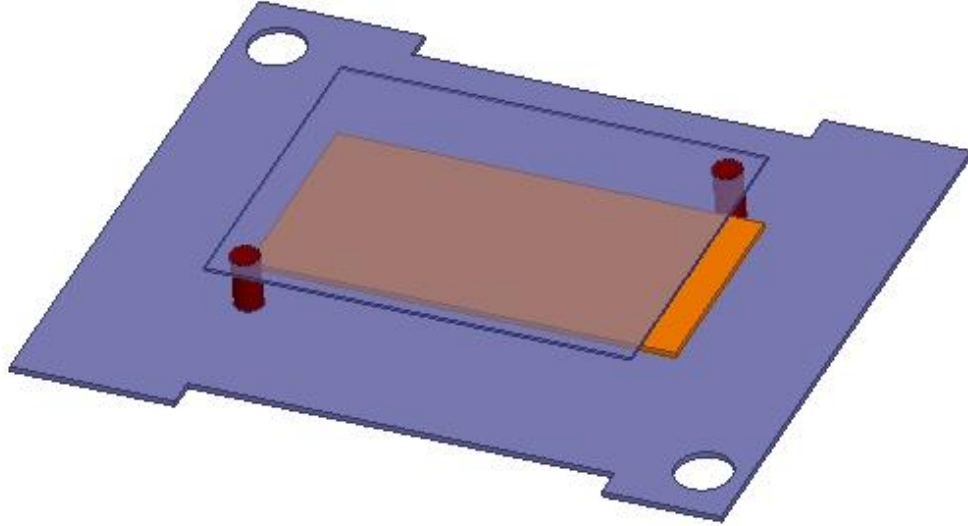
Matematiksel modeller ile belirlenen ölçülerde çeşitli antenler tasarlanmıştır. Buradaki amaç; farklı antenler ile konum bulma amacına yönelik uygun anteni belirlemektir. Literatürde bulunan farklı konum bulma yöntemleri için farklı tipte antenler gerekmektedir. Tasarlanan antenlerin, tasarım ve analiz bilgileri aşağıda sunulmuştur.

Öncelikle standart yama antenler tasarlanarak tasarım aşamasındaki zorluklar ve oluşabilecek problemler hakkında bilgi edinilmiş ve parametrelere uygunluğu

yakalamak için yapılacak düzenlemeler belirlenmiştir. Standart anten tasarımları sonrasında geliştirmelere başlanmıştır. Geliştirme olarak antenlerin fiziksel yapısından ziyade asıl önemli olan teknik yapısı üzerinde durulmuştur. Dönüş kaybı düşürülmeye, kazancı arttırılmaya, ışınım şekli olarak gerekli alanı kapsayacak hale getirilmeye çalışılmıştır.

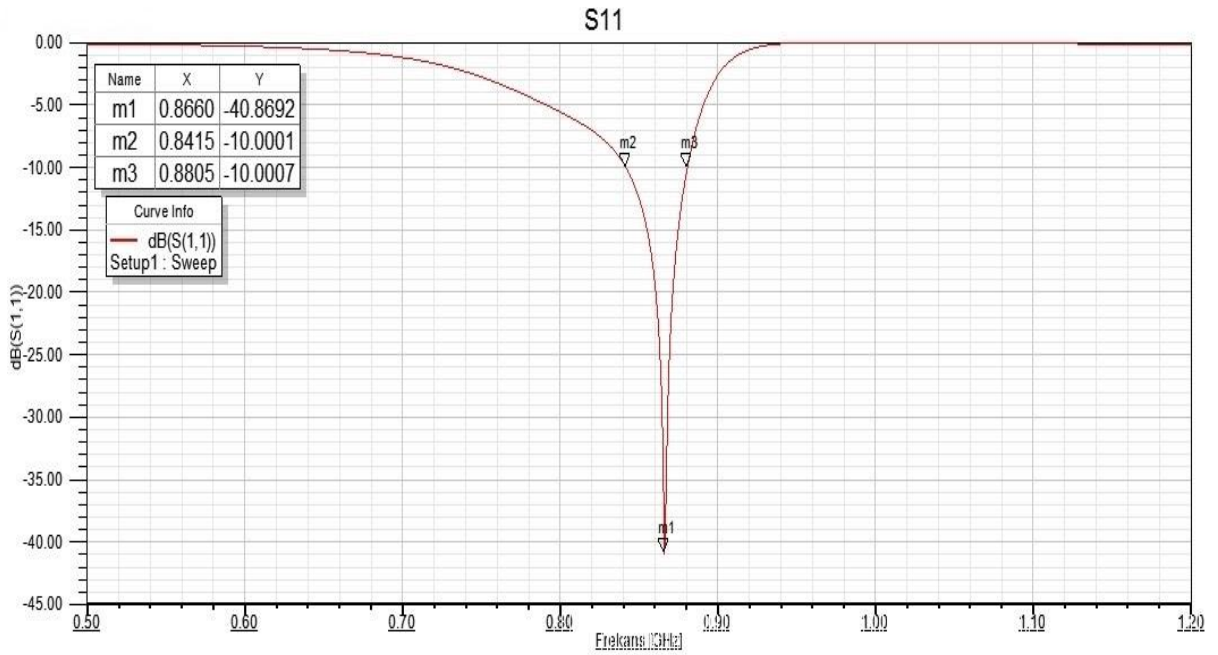
Öncelikle standart bir yama anten tasarlanmış, gerekli hesaplamalar yapılmış, ayrıca literatür ve kaynak taramaları sonrası elde edilen bilgiler pekiştirilmiştir. Simülasyon çalışması sonrasında gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Aşağıda sırası ile tasarımımızın revizyonları bulunmaktadır. Öncelikle yapılan ilk tasarımda anten tek başına değerlendirilmiş ve analizi yapılmıştır. Ancak kullanım gereği ikinci tasarımda etrafı Polivinil Klorür (PVC: Polyvinyl Chloride) malzeme ile kapatılarak kutu içerisine alınmış ve bu aşamada simülasyon sonuçlarında bozulmalar gerçekleştiği için tasarımda güncellemeye gidilmiş ve boyutları değiştirilmiştir. Aynı zamanda imalat hazırlığı esnasında PVC malzeme yerine ABS malzemenin temininin ve üretiminin daha kolay olduğu düşünülerek ve karşılaştırma yapmak için üzerine ABS malzeme kullanılarak tasarım tekrar edilmiştir.

Kutusu ve destek noktaları olmayan ham anten tasarımı: Bu anten tasarımında toprak düzlemi ve yama düzlemlerinde Al kullanılmıştır. Hesaplanan değerlere uygun olarak toprak düzlemi boyutlandırılmış ve şekillendirilmiştir. Dielektrik malzeme olarak hava tercih edilmiştir. Işınım düzlemi olan yama ile toprak düzlemi arasında boşluk bırakılarak yalıtım sağlanmıştır. Şekil 3.2’de gösterildiği üzere; dış kutuya montajı yapılabilmesi için gerekli düzenlemeler sonraki aşamalarda yapılacaktır fakat bu aşamada iki köşeye destek sütunları için boşluk oluşturulmuş ve istenilen ışınım ve geri dönüş kaybını yakalayabilmek adına toprak düzleminin kenarlarına çentikler eklenmiştir. Teorik tasarım aşamasında belirlenen parametrelere ve kullanım yerinin teknik gereksinimlerine uygunluğu için çok katlı yama kullanımı tercih edilmiştir. Eklenen ikinci yama band genişliğinin artmasına yarar sağlamıştır. Ayrıca havanın dielektrik sabitinin düşük olması sebebiyle bant genişliği üzerinde genişletici etkiye sebep olmuştur. Yama şekli olarak dikdörtgen tercih edilmiştir. Enerjilenen yama ile kuplajlanan ikinci yama sayesinde band genişliği arttırılabilir. Yüksek kazanç sağlaması, band genişliği arttırması ve ışınım performansı sayesinde tez çalışmasına uygun tasarımdır.



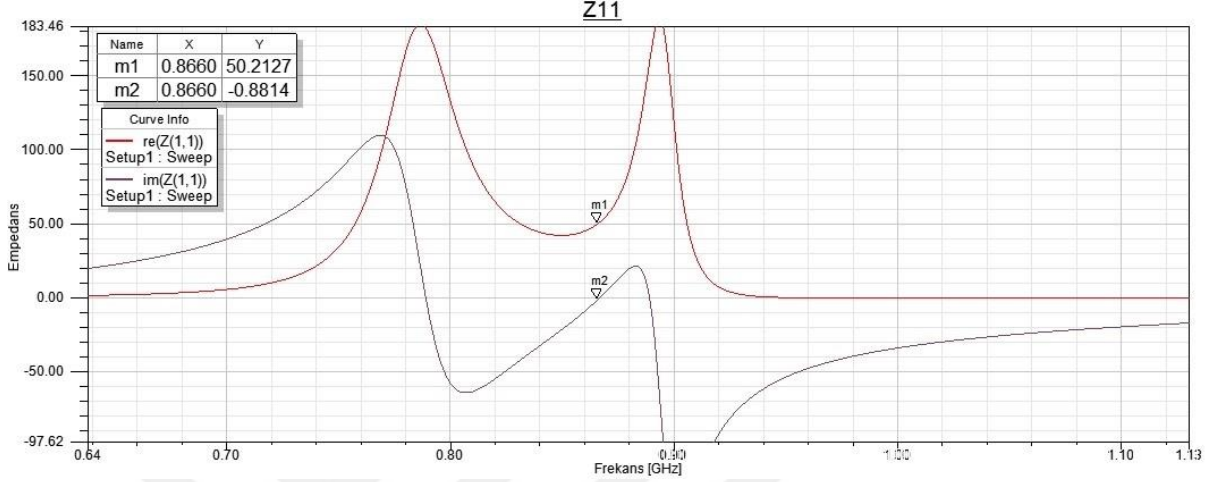
Şekil 3.2. Kutusuz ve desteksiz ham anten tasarım genel görünümü

Çizim aşamasının bitmesi sonucunda çalışma frekans değerleri ve besleme özellikleri girilerek analiz başlatılmıştır. Analiz sonuçları Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Geri dönüş kaybı parametresi (S_{11}) sonucunda istenilen değerler yakalanmıştır. S_{11} değerinin -10 dB değeri band genişliği olarak alınmıştır. 841 MHz ile 880 MHz arasında antenimiz çalışabilmektedir. Işıma frekansımız olan 866 MHz değerinde geri dönüş kaybı değeri -40.869 dB olarak analiz edilmiş ve bu da antenimizin kaybının düşük olduğunu göstermektedir.



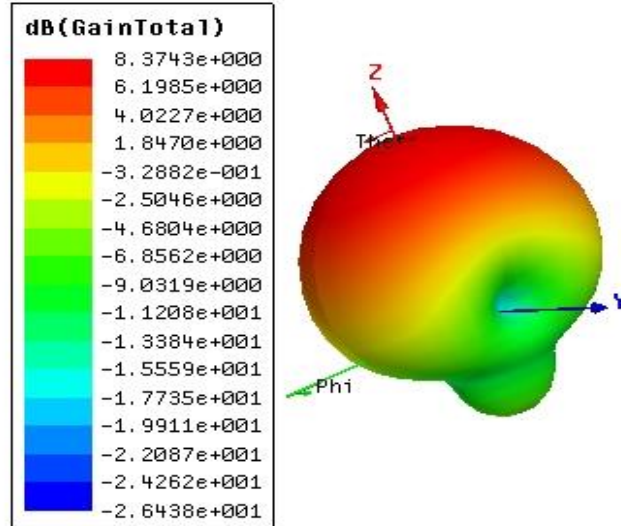
Şekil 3.3. Kutusuz ve desteksiz ham anten S_{11} geri dönüş kaybı analiz sonucu

Şekil 3.4'te Z_{11} empedans grafiği gösterilmiştir. Antenlerin giriş empedansları 50Ω kabul edilmektedir ve analiz sonucunda bu değer yakalanamaz ise empedans eşleme elemanlarının eklenmesi gerekmektedir. İlk analiz sonucunda $\text{Re}(Z_{11})$ 50.212Ω ve $\text{Im}(Z_{11})$ -0.881Ω olarak ölçülmüştür. Gerçek ve sanal değerler kullanıma uygundur.



Şekil 3.4. Kutusuz ve desteksiz ham anten Z_{11} empedans analiz sonucu

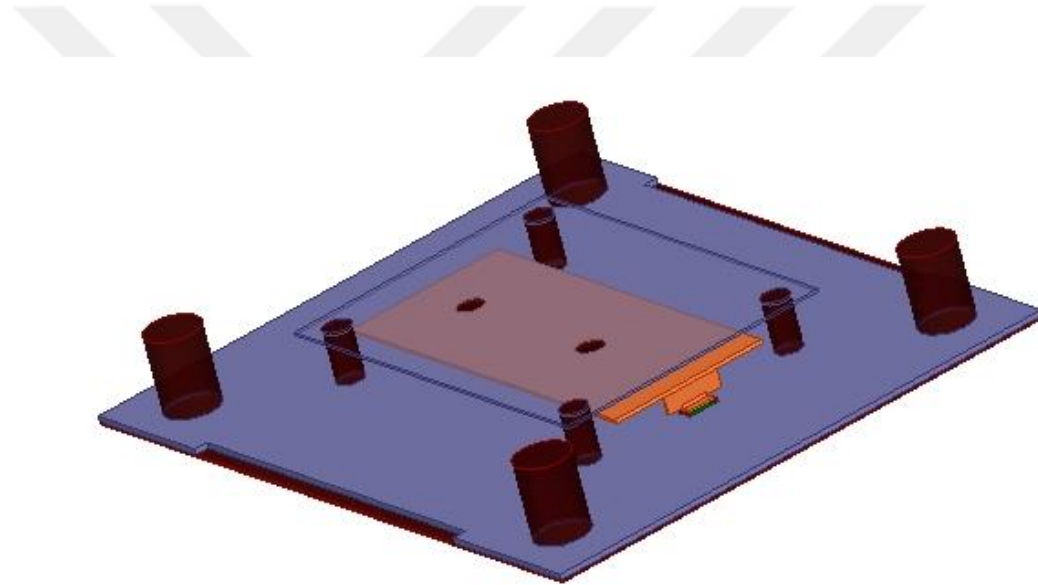
Yaptığımız ilk tasarım anteninin ışımaya örüntüsü ve kazanç değerleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Antenimiz 8.374 dB kazanç değeri ile ışımaya yapmaktadır.



Şekil 3.5. Kutusuz ve desteksiz ham anten kazanç değeri ve ışımaya örüntüsü

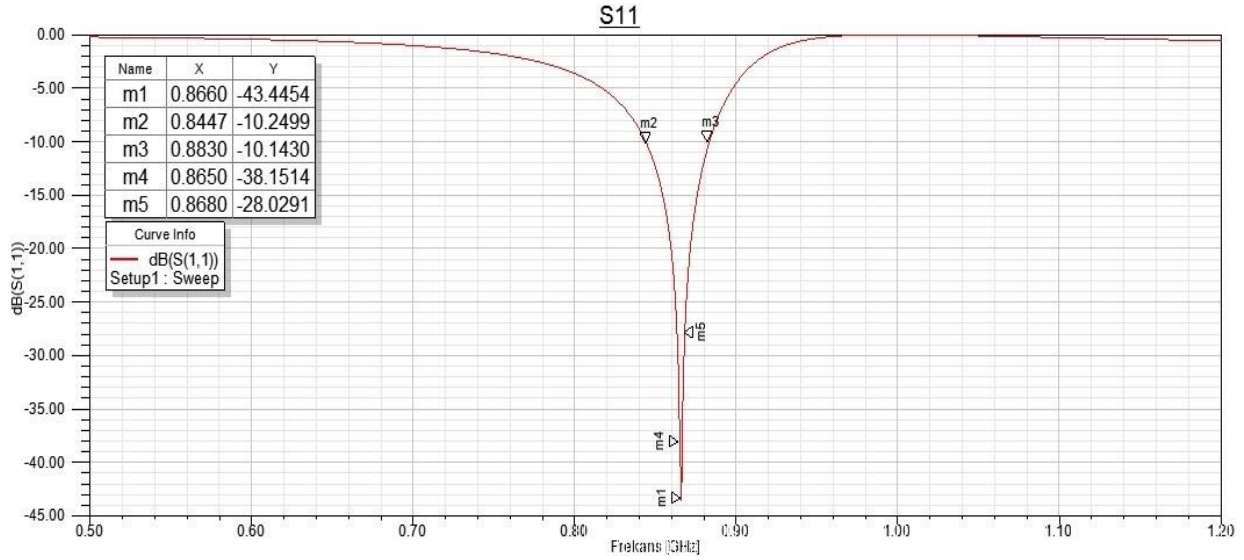
Şekil 3.1'den 3.5'e kadar gösterilen anten tasarlanıp parametreleri uygun hale getirildikten sonra kullanıma hazır hale getirmek için elemanlara tutucu destek noktaları eklenmiştir.

Kutusu olmayan, destek noktaları bulunan anten tasarımı: Bu anten tasarımında toprak düzlemi ve yama düzlemlerinde Al, destek kısımlarında ise ABS malzeme kullanılmıştır. Önceki bölümde gösterilen anten tasarlandıktan sonra, anten parametrelerinin başarı ölçütü sağlanmıştır ancak antenin kullanılabilir olması, dışına kutu eklenmesi ve elemanları taşıyacak destek noktalarının oluşturulması gerekmektedir. Şekil 3.6’da kutusuz ve destek elemanlı anten tasarımının görünümü gösterilmiştir. Kutu henüz eklenmemiş ancak toprak düzlemine ve yama düzlemlerine yuvarlak boşluklar açılarak destek sütunları oluşturulmuştur. Destek noktalarının eklenmesi sonrasında ışıma alanlarının boyutları değiştiği için parametre sonuçlarında değişiklik görülmüş ve bu yüzden tasarımda iyileştirmeler yapılarak boyutları güncellenmiştir.



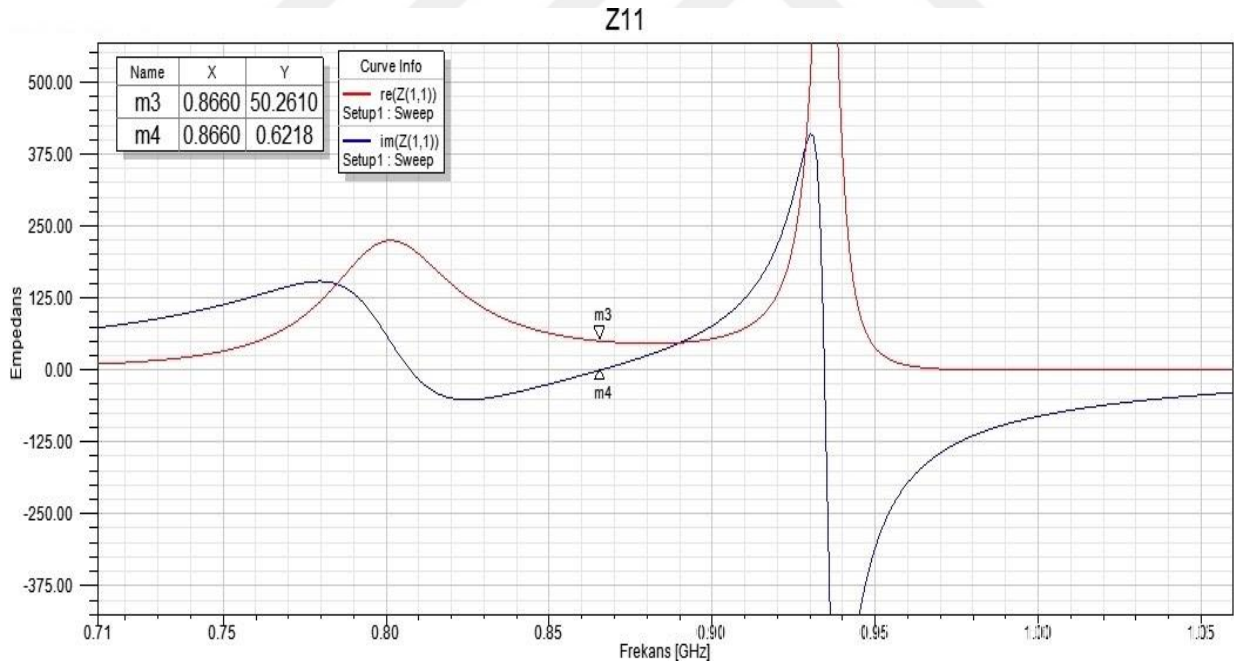
Şekil 3.6. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı genel görünümü

Destek noktalarının eklenmesi ile analiz tekrarlanmıştır. Toprak ve yama düzlemlerindeki boyut değişiklikleri ve araya yalıtkan ABS malzemesinin eklenmesi anten parametrelerini etkilemiştir. İlk analiz sonucuna göre tasarımda düzenlemeler yapılarak değerler istenilen ölçütlere getirilmiştir. Şekil 3.7’de gösterilen geri dönüş kaybına göre band genişliği 844 MHz ile 883 MHz arasında yaklaşık 39 MHz’dir. UHF çalışma aralığı olan 865-868 MHz aralığında ortalama -33 dB kayıp yakalanmıştır. Çalışma frekansı 866 MHz değerinde S_{11} değeri -43.44 dB hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı S₁₁ geri dönüş kaybı analiz sonucu

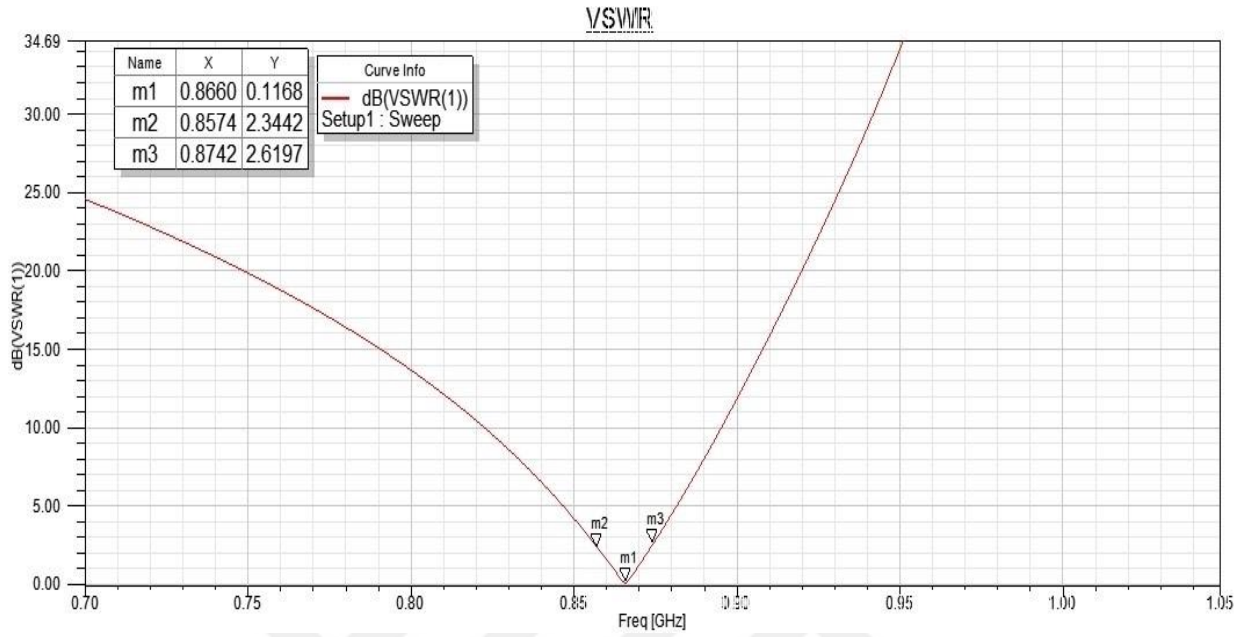
Şekil 3.8’de destek noktaları eklendikten ve düzenlemeler yapıldıktan sonra analiz edilen Z₁₁ grafiği gösterilmiştir. 866 MHz frekansında istenilen değerler yakalanmış ve empedans uyumluluk elemanlarına ihtiyaç kalmamıştır.



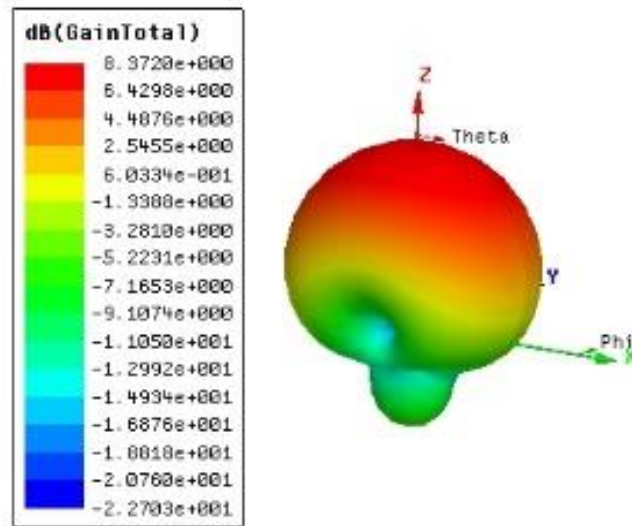
Şekil 3.8. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı Z₁₁ empedans analiz sonucu

VSWR değerinin 2.5 dB altında olması istenilmektedir. 857 MHz ile 874 MHz frekansları aralığında bu değer yakalanmıştır. 866 MHz ışıma frekansında ise VSWR oranı 0.118 dB ile yüksek performans sağlayacak bir değer elde edilmiştir. Şekil 3.9

VSWR oran grafiği gösterilmiştir. Şekil 3.10'da kazanç değeri ve ışıma örüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı VSWR oranı analiz sonucu

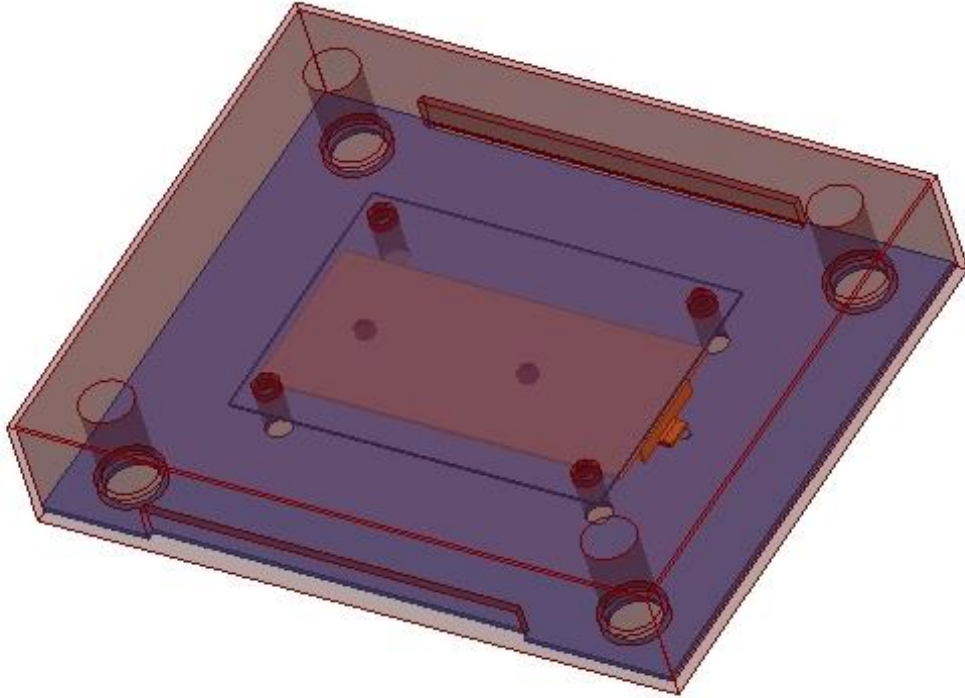


Şekil 3.10. Kutusuz destek elemanlı anten tasarımı kazanç değeri ve ışıma örüntüsü

Şekil 3.6'da gösterilen anten tasarlanıp parametreleri uygun hale getirildikten sonra kullanıma hazır hale getirmek için dışına ABS malzemeden kutu eklenmiştir.

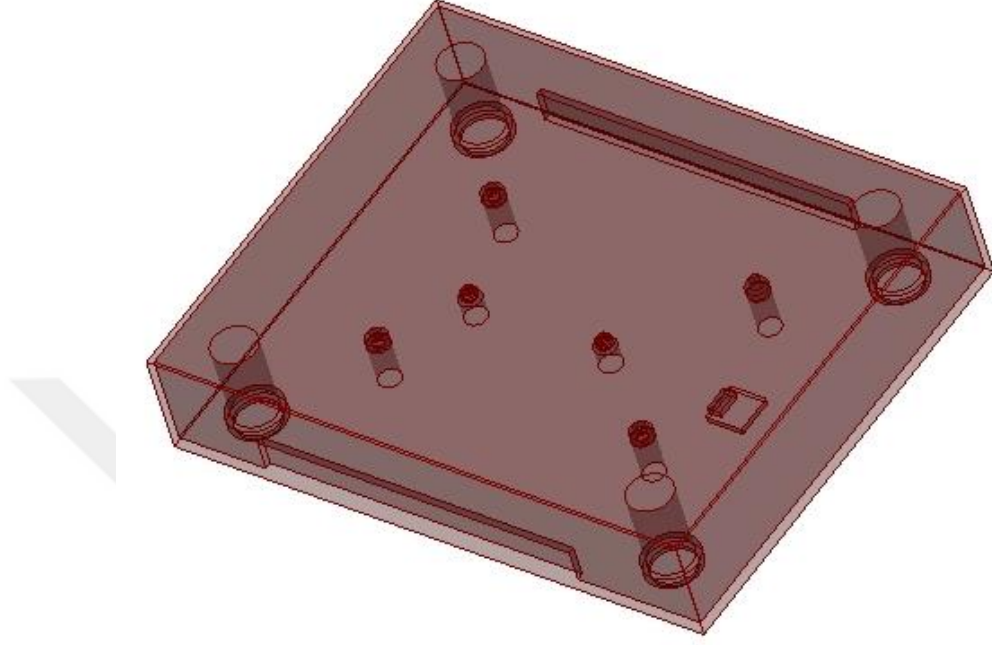
Kutulu ve Üretime Hazır Anten Tasarımı- 866 MHz RFID Okuyucu Anteni: Bu anten tasarımında toprak düzlemi ve yama düzlemlerinde Al, destek kısımlarında ABS malzeme kullanılmıştır. Bir önceki bölümde gösterilen anten tasarlandıktan sonra parametreleri başarı ölçütümüzü sağlamıştır ancak antenin kullanılabilir olması için dışına kutu eklenmesi ve elemanları taşıyacak destek noktaları oluşturulması gerekmektedir. Kutu ve konektör bağlantısı eklenmesi sonrasında sonuçlarda değişiklik görülmüş, bu yüzden tasarımda iyileştirmeler yapılarak boyutları güncellenmiştir. Tasarım ve analiz sonuçları verilen bu anten imalata hazır hale getirilmiş ve prototip üretim aşamasına geçilmiştir.

Analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere, anten çalışması için en fazla değer olarak belirtilen -10 dB dönüş kaybı değeri tutturulmuş ve daha iyi sonuç alınmıştır (866 MHz frekansta -61.35 dB). Düşük dönüş kaybı sayesinde gelen sinyalin çok düşük bir kısmı geri yansımaktadır ve yüksek kazancı sayesinde verimli çalışmaktadır. Empedans uyumluluğu sayesinde ışınım kaybı olmamaktadır. Geniş açılı yapısı sayesinde etrafta bulunan etiketleri okuması kolaylaşmaktadır. Antenin fiziksel yapısı düşük profilli anten ölçütünü sağlamaktadır. Teknik ve fiziksel şartları sağlayan, amaca yönelik uygun bir antendir. Şekil 3.11’de ABS ile oluşturulan dış kutu ve anten yapısı bir arada gösterilmiştir.



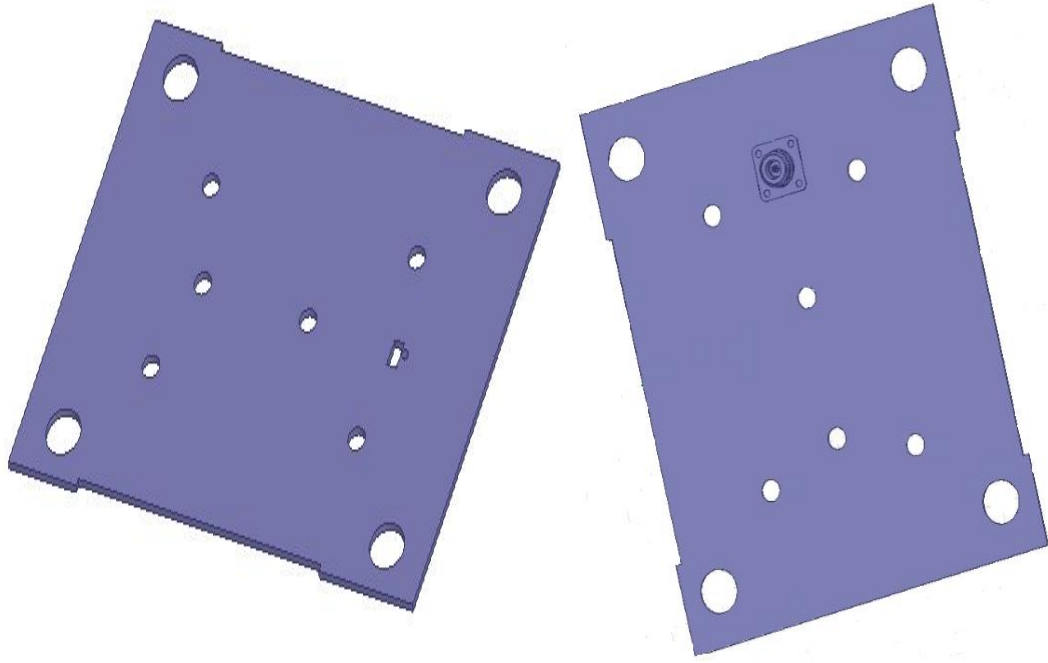
Şekil 3.11. 866 MHz RFID okuyucu anteni genel görünümü

Şekil 3.12’de antenin dış kutusu ve kutuya sabit destek noktaları gösterilmiştir. Üretim aşamasında bu kısım ABS malzeme kullanılarak 3-D baskı teknolojisi ile üretilmiştir.



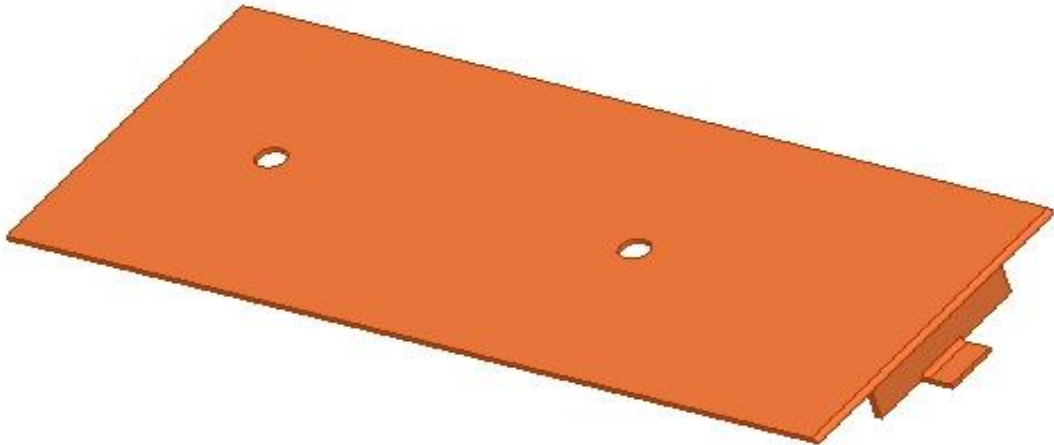
Şekil 3.12. 866 MHz RFID okuyucu anteni ABS malzeme dış kutusu

Tasarımın son aşamasında toprak düzlemine koaksiyel besleme yapılabilmesi için konektör girişi eklenmiştir. Koaksiyel kablunun dış iletkeni konektör vasıtasıyla toprak düzlemine bağlanacak ve koaksiyel iç iletkeni konektör iç iletkeni üzerinden yamaya ulaştırılacaktır. Yapılan tüm düzenlemelerin ardından analiz sonuçlarına göre tasarım yenilenmiştir. Üretim aşamasına gönderilen tasarım görüntüleri bu bölümde paylaşılmaktadır. Şekil 3.13’te toprak düzleminin ön ve arkadan görünümü bulunmaktadır.



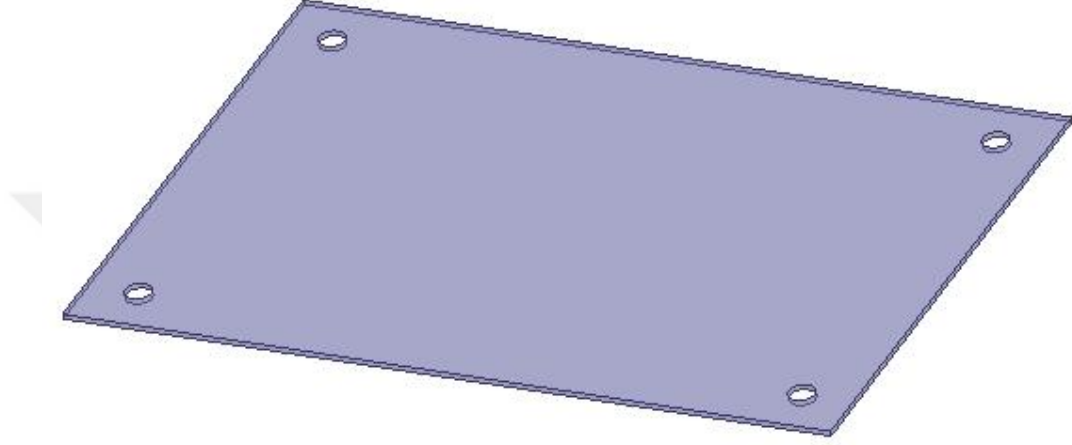
Şekil 3.13. 866 MHz RFID okuyucu anteni toprak düzlemi alt ve üst görünümü

Toprak düzlemi üzerinde bulunan dielektrik malzemesi olarak kullanılan hava üzerine montajı yapılan ve koaksiyel besleme elemanının canlı ucunun bağlandığı, anten ışımasını gerçekleştiren dikdörtgen yama Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Orta kısmında bulunan iki adet dairesel açıklık kutudan uzanan destek sütunlarının monte edileceği kısımlardır, yamanın ayakta durabilmesi ve sabitlenmesi için kullanılmaktadır. Yamanın uç kısmında bulunan iki küçük basamak şeklindeki dikdörtgen şekilli uzantılar empedans uyumluluğu için kullanılmıştır, en uçtaki küçük parça koaksiyel kablonun iç iletkeni ile enerjilenen kısımdır.



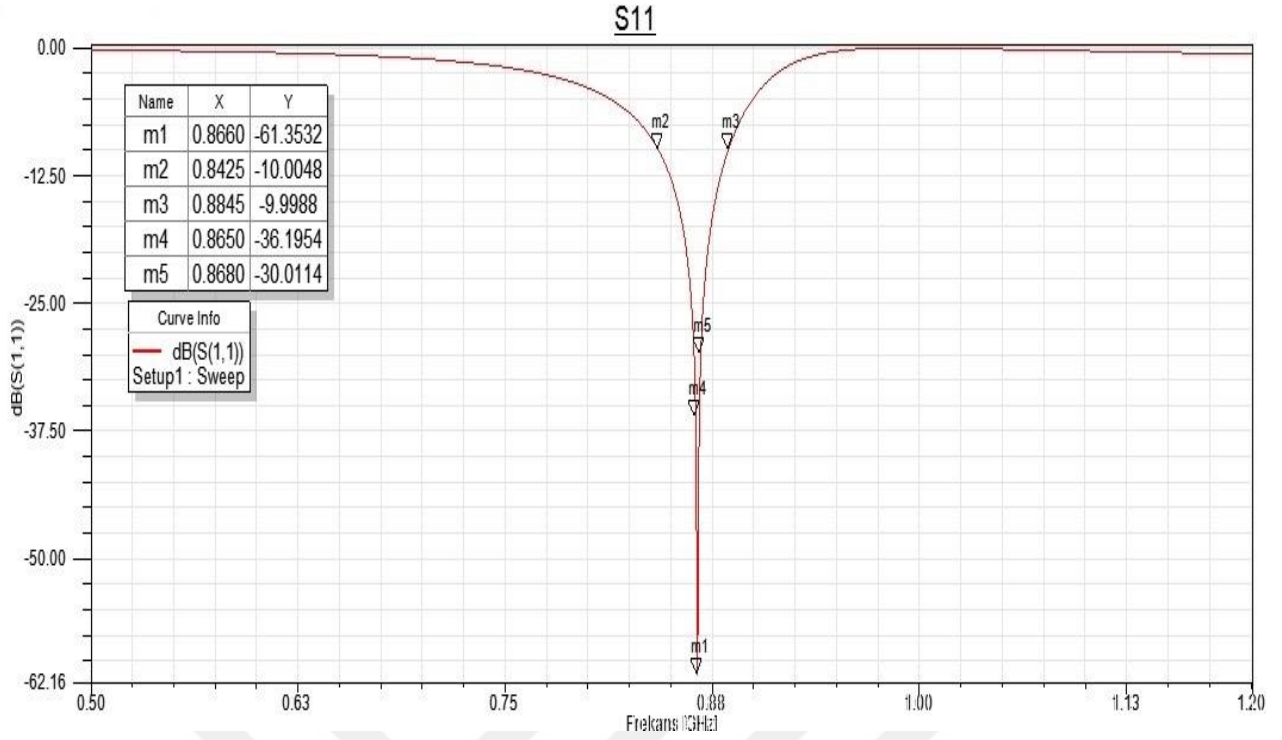
Şekil 3.14. 866 MHz RFID okuyucu anteni yama düzlemi

Band genişliği artırımı, yüksek kazançlı anten elde edilmesi ve ışıma performansı sağlamasıyla kullanım alanına uygun parametreleri yakalayabilmesi için anten tasarımı da kullanılan ikinci yama Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Burada 1 mm kalınlığında Al materyal kullanılmıştır. Yama ile arasında 13 mm kalınlığında alt katman kullanılmış ve alt katman olarak yine düşük dielektrik özelliği sebebiyle hava tercih edilmiştir.



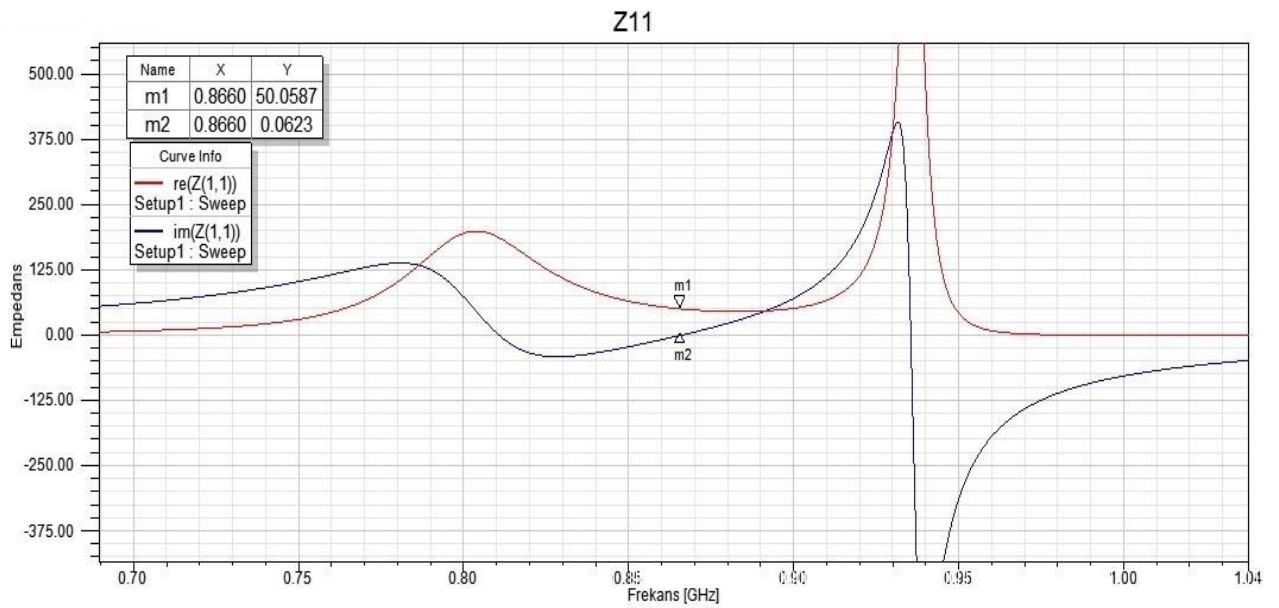
Şekil 3.15. 866 MHz RFID okuyucu anteni ikinci yama düzlemi

Üretimi yapılan antenin elektromanyetik benzetim programında tasarlanan ve analizleri yapılan antenin analiz sonuçları bu bölümde paylaşılmıştır. Antenin verimli çalışması için en yüksek değer olarak belirtilen -10 dB dönüş kaybı değeri tutturulmuş ve daha iyi sonuç alınmıştır. Şekil 3.16'da gösterilen dönüş kaybı analiz sonucuna göre 866 MHz frekansta -61.35 dB değer yakalanmıştır. Düşük dönüş kaybı sayesinde gelen sinyalin çok düşük bir kısmı geri yansımaktadır ve yüksek kazancı sayesinde verimli çalışmaktadır. -10 dB dönüş kaybı değeri 0.8425 GHz ile 0.8845 GHz frekansları arasında yakalanmış ve bu iki frekans aralığında antenin gelen sinyali geri yansıtma oranı kabul edilebilir seviyededir. Türkiye'yi de içine alan Avrupa bölgesi UHF bandı frekans aralığı olan 865.6–867.6 MHz frekanslarında S_{11} değerleri -36.19 ve -30.01 dB büyüklüğünde analiz edilmiştir. RFID okuyucu antenimiz UHF frekanslarında düşük kayıpla çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.



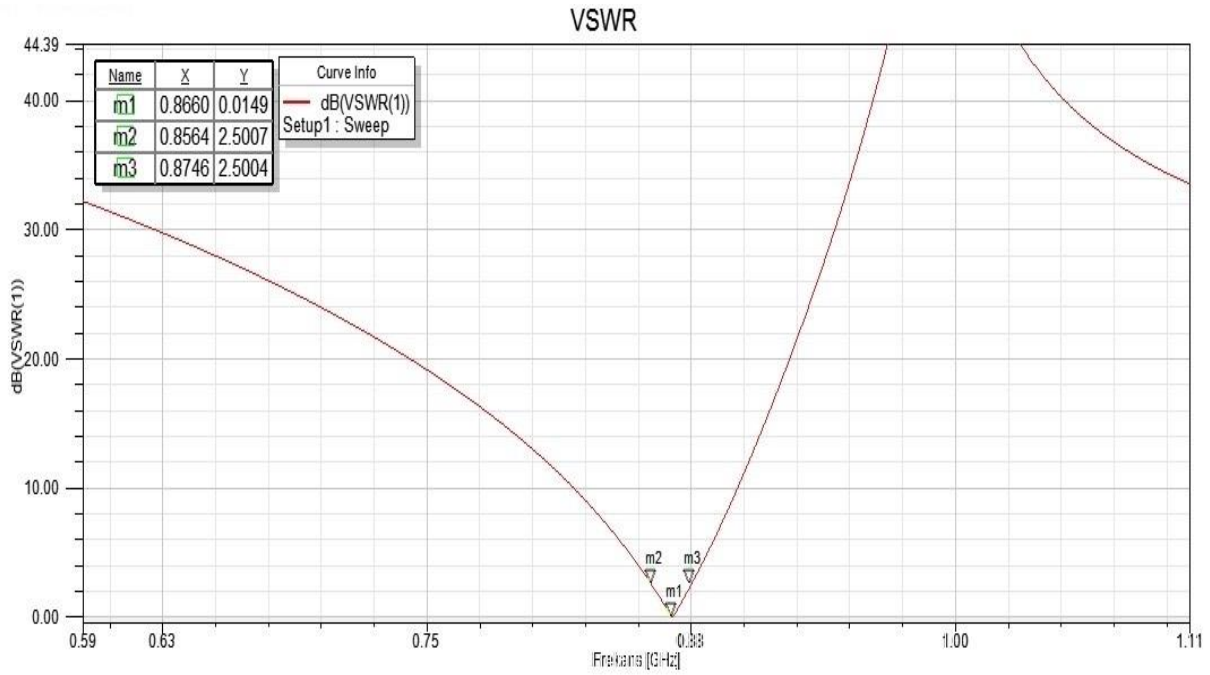
Şekil 3.16. 866 MHz RFID okuyucu anteni S_{11} geri dönüş kaybı analiz sonuçları

Anten üzerindeki kayıpları en aza indirmek ve verimliliği artırmak için iletim hattının empedansı ile anten empedansının uyumlu olması gerekmektedir. Empedans eşleşmesini sağlayabilmek adına tasarım aşamasında anten empedansı kontrol edilmiş ve gerçek büyüklüğünün 50Ω , sanal büyüklüğünün 0Ω olması hedeflenmiştir. Şekil 3.17'deki Z_{11} grafiğine göre hedeflenen değerler yakalanmıştır. Anten çalışma frekansında $\text{Re}(Z_{11})$ 50.057Ω ve $\text{Im}(Z_{11})$ 0.062Ω olarak ölçülmüştür.



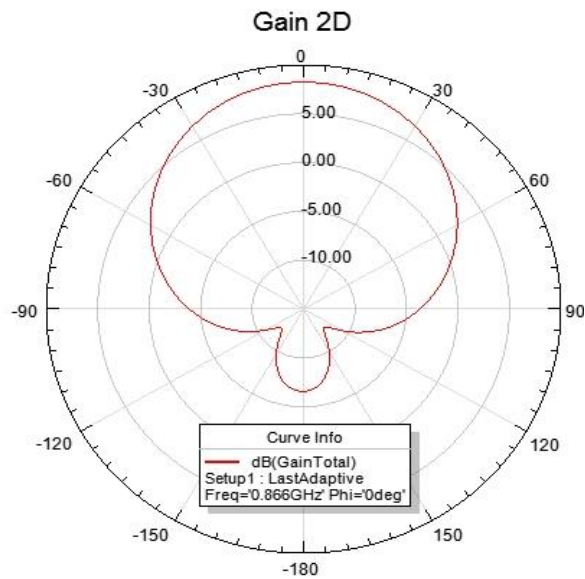
Şekil 3.17. 866 MHz RFID okuyucu anteni Z_{11} empedans analiz sonuçları

Anten parametreleri bölümünde anlatıldığı gibi; VSWR oranı, hattaki en yüksek gerilim genliğinin, en düşük gerilim genliğine oranı şeklinde tanımlanır. Değerinin düşük olması uyumluluğun yüksek olduğunu gösterir. Tez çalışmasında tasarlanan antenin tasarım analizi sonucunda VSWR değeri Şekil 3.18’de görülebileceği üzere 866 MHz frekansında 0.014 dB olarak hesaplanmıştır. VSWR verisi oransal olarak en düşük 1 olmaktadır, grafikte bu oranın dB cinsinde dönüştürülmüş verisi paylaşılmıştır.



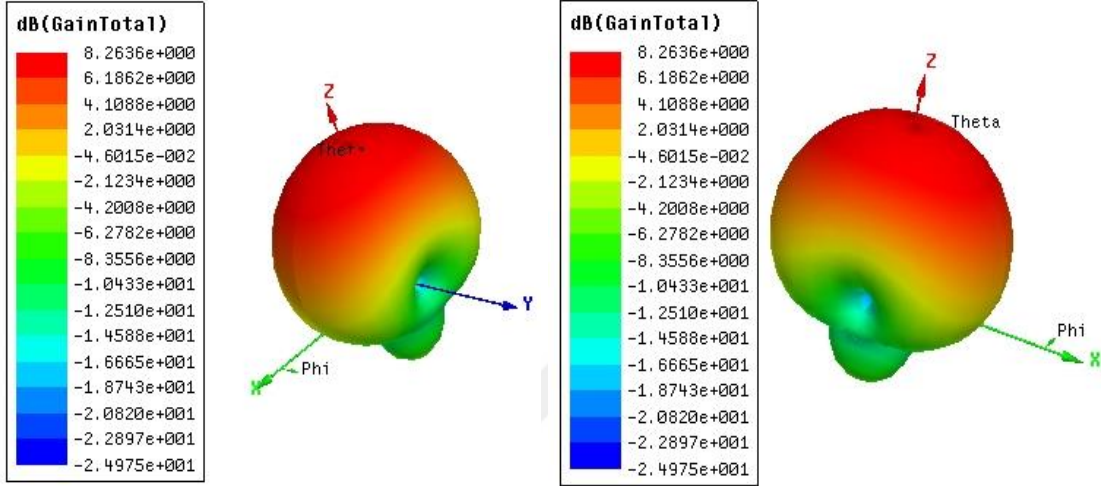
Şekil 3.18. 866 MHz RFID okuyucu anteni VSWR oranı analiz sonuçları

Şekil 3.19’da 866 MHz frekansında çalışacak RFID antenin kazanç analizinin 2 boyutlu gösterimi yer almaktadır.



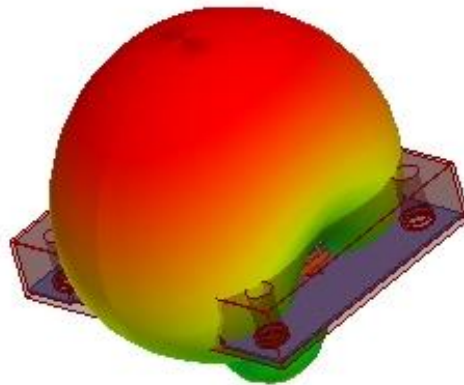
Şekil 3.19. 866 MHz RFID okuyucu anteni kazanç analiz sonuçları

Antenin ışına örüntüsü ve kazanç değerleri iki farklı açıdan Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Işıma örüntüsünde yan kulakçıklar bulunmamaktadır, arka kulakçığı ise ışına yapmayacak şekildedir. Antenin istenmeyen ışımalar yapması ve verimini düşürmesi engellenmiştir. Kazanç değeri 8.263 dB değerindedir.



Şekil 3.20. RFID okuyucu anteni kazanç değeri ve ışına örüntüsü analiz sonuçları

Şekil 3.21’de ışına örüntüsünün anten üzerine yerleştirilmiş görüntüsü bulunmaktadır, ışına örüntüsü $\frac{1}{2}$ oranında ölçeklenerek yerleştirilmiştir. Anten ışımalarının yayılma şekli ve kapsama alanı buradan anlaşılabilir. Antenin dik düzlemde kullanılması geniş açılı olması sebebiyle daha geniş alandaki etiketleri okuyabilmesine imkan sağlayacaktır.



Şekil 3.21. RFID okuyucu anteni ve ışına örüntüsü birlikte gösterimi 1/2 ölçekli

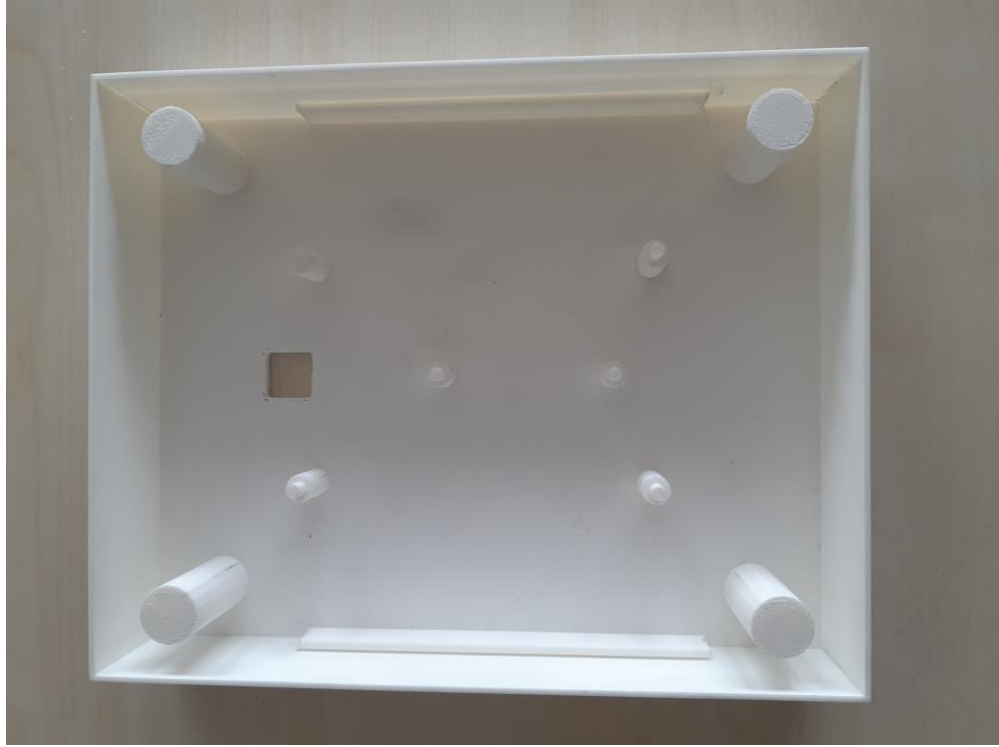
Tasarım çalışmasını bitmesi ve analizlerin belirlenen hedefleri sağladığına emin olunması üzerine üretim aşamasına geçilmiştir.

3.4 Üretim Aşamaları

Prototip üretimi için teknikler araştırılmıştır. Karşılaşılabilecek problemler belirlenerek tedbirler alınmış, düzenlemeler yapılmıştır. Tasarlanan antenin dış kutusu için 3-D yazıcı desteği alınarak ABS malzeme ile bastırılmıştır. İletken kısımlar için Al tercih edilmiş, malzeme temin edilmiş ve tasarlanan yapıda kesilip şekil verilerek kullanıma hazırlanmıştır. Yalıtkan katman olarak düşük dielektrik özelliği sebebiyle hava kullanılmıştır. Kablo ve konektörler temin edildikten sonra tüm yapı birleştirilerek anten kullanılabilir hale getirilmiştir.

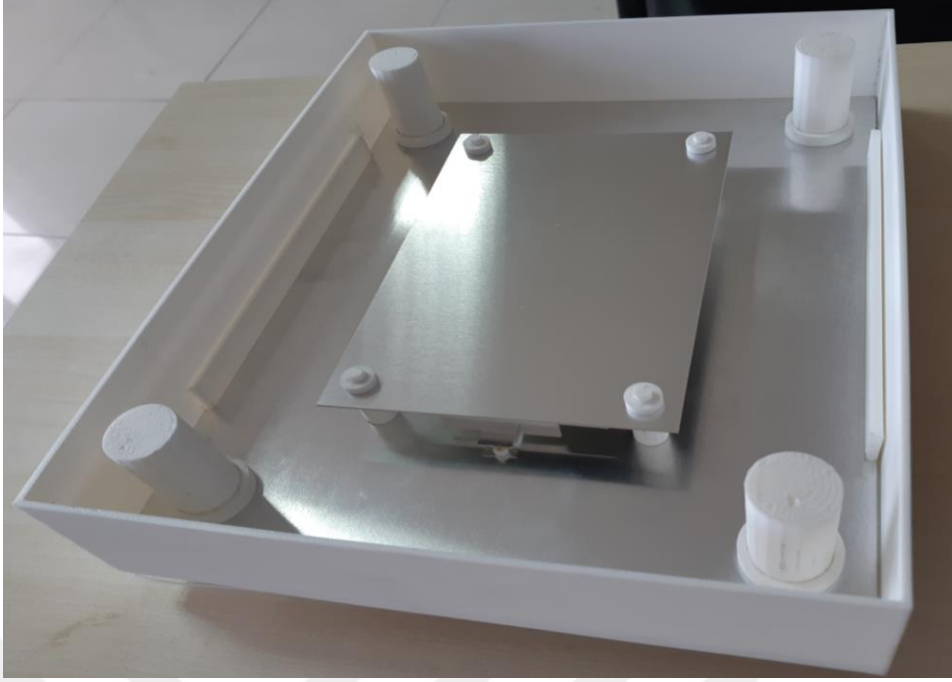
Kutu tasarım dosyası hazırlanarak 3-D yazıcıda kutu basılmıştır. İletken kısımlarda toprak düzlemi için 2 mm, yama düzlemleri için 1 mm kalınlığında alüminyum parçalar lazer kesici ile kesilmiştir.

3 boyutlu yazıcı ile ABS malzeme kullanılarak üretilen kutu Şekil 3.22’de gösterilmektedir.



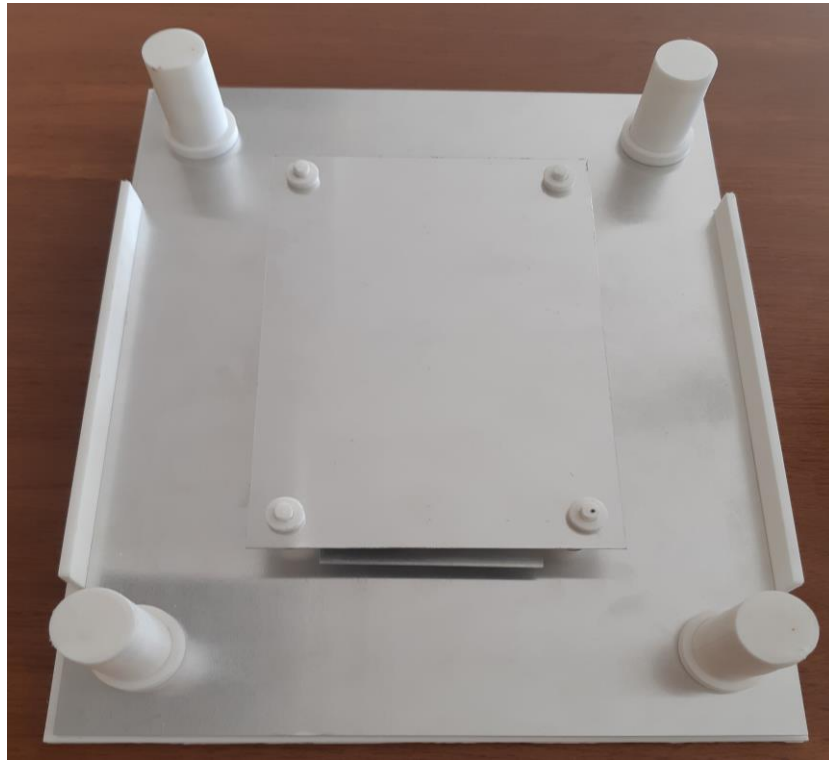
Şekil 3.22. Anten dış kutusu

Kutu ve iletken parçaların temini sonrası birleştirilmeye başlanmıştır. Şekil 3.23’te kutu içerisinde antenin toprak, yama ve ikinci yama düzlemlerinin birleştirilerek antenin kullanıma hazır hali gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Anten tasarımının üretilmiş ve kullanıma hazır hali

Anten Şekil 3.23'teki gibi üretildikten sonra kutuya iletken kısımların monte edilme işleminin zor olması sebebiyle kutu tasarımında değişiklik yapılmıştır. Şekil 3.24'te gösterildiği gibi farklı bir kutu daha üretilmiş ve montajı yapılmıştır.



Şekil 3.24. Anten tasarımının üretilmiş ve kullanıma hazır kapaksız hali

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te gösterilen iki farklı tasarımın teknik olarak farklılıkları bulunmamaktadır. Dış ABS kutu içerisine antenin iç Al kısımlarının monte edilmesi işlemini kolaylaştırmak adına kapak tasarımı değiştirilmiştir. Anten kullanım sırasında kapak kapatılarak kutunun tam kapalı olması sağlanacağı için kapalı halinde farklılık oluşmayacak ve parametrelerini etkilemeyecektir. Tez çalışması sürecinde yürütülen tasarım ve üretim aşamalarında antenimizin çalışma ortam şartlarına uygunluğu, kullanım kolaylığı ve teknik gereklilikleri sağlanması amaçlanmıştır.

Üretim aşaması sırasında dört anten için üretim ve malzeme temini yapılarak hazırlanmış ve testlerde dört anten kullanılmıştır. Kullanım şartları gereği antenin kapalı kutu içerisinde bulunması gerektiğinden üst kapakta kapatılarak üretim aşaması sonlandırılmış ve testleri yapılmıştır. Test ortamı oluşturularak belirli noktalara yerleştirilen pasif RFID etiketlerini okuyabilme başarısı denenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında 866 MHz RFID anten tasarlanmış, üretimi gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Analiz sonuçlarında elde edilen verilere göre yüksek kazançlı, düşük geri dönüş kayıplı ve geniş açılı anten elde edilmiştir. Konum belirleme amacıyla kullanılacak bir anten tasarımı hedeflendiği için geniş açılı ve kazançlı olmasına önem verilmiştir. Kapalı alanda pasif RFID etiketten yansıyan sinyaller birçok bozucu etkiye maruz kalmaktadır bu yüzden antenin yüksek kazançlı olması zayıflamış sinyallerin alınabilmesini, geniş açılı olması ise ortamı kapsama alanına alabilmesini sağlamaktadır. Materyal ve Yöntem bölümünde aktarılan analiz verilerine göre anten tasarımı başarıya ulaşmıştır. Literatürde geçen başarılı anten parametrelerine göre geri dönüş kaybı -10 dB değerinin altında olmalıdır. Analiz sonuçlarına göre antenimiz 866 MHz çalışma frekansında S_{11} değeri -61.35 dB hesaplanmıştır. Düşük dönüş kaybı sayesinde gelen sinyalin çok düşük bir kısmı geri yansımaktadır. UHF bandında düşük kayıpla çalışabilmektedir. Anten çalışma frekansında $Re(Z_{11})$ 50.057Ω ve $Im(Z_{11})$ 0.062Ω olarak ölçülmüştür, bu değerlerden iletim hattı empedansı ile anten empedansının uyumluluğu anlaşılmaktadır. Antenin fiziksel yapısı düşük profilli anten ölçütünü sağlamaktadır bu sayede kurulumu kolaydır, kapalı alanda birçok ortamda kullanıma uygundur. $7m \times 7m$ alanda dört köşeye yerleştirilen antenler ile $49m^2$ içerisinde bulunan pasif RFID etiketler okunabilmiştir. Alan içerisinde kapsama dışında kalan etiket olmamıştır. Antenlerden alınan veriler kullanılan çoklu anten çıkışlı RFID sabit okuyucu üzerinden ilgili konum bulma algoritmalarına aktarılmıştır. Test ortamı piyasada mevcut antenler ile denendiğinde etiketlerin bir kısmı kapsama alanı dışında kalmıştır. Antenimizin yüksek kazanç değeri ve geniş açılı ışına yapması hedefe ulaştırmıştır.

RFID etiket okuma başarısını artırabilmek adına sonraki çalışmalarda antenin daha yüksek kazançlı olması sağlanabilir. Alana yerleştirilen antenler arasında okunamayan bölge kalmaması adına açıları artırılabilir ya da dizi antenler ile ortamın taraması sağlanarak tek bölgeden okuma yapılabilir. Yapılacak yeni çalışmalar ile literatüre başarılı anten tasarımları kazandırılacaktır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Stockman H, 1948. Communication by Means of Reflected Power. Proceedings of the I.R.E.
- [2] Domdouzis, Konstantinos, Bimal Kumar, ve Chimay Anumba. 2007. "Radio-Frequency Identification (RFID) Applications: A Brief Introduction" *Advanced Engineering Informatics* 21(4):350-55.
- [3] Lehpamer, Harvey. 2008. *RFID design principles*. Boston: Artech House.
- [4] Bolic, Miodrag, David Simplot-Ryl, ve Ivan Stojmenović, ed. 2010. *RFID systems: research trends and challenges*. Hoboken, NJ: Wiley.
- [5] Finkenzeller, Klaus. 2010. *Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and near-Field Communication*. 3rd ed. Chichester, West Sussex; Hoboken, NJ: Wiley.
- [6] Banks, Jerry, ed. 2007. *RFID applied*. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.
- [7] F. Maraşlı, M. Çıbuk, RFID Teknolojisi ve Kullanım Alanları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. (2015) 249-275.
- [8] Dilonardo RL, 2014. EAS Source Tagging 20-Plus Years of Inoovation. *Loss Prevention Magazine*.
- [9] Bazaatı S, 2012. İnşaat Sektöründe Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Adana.
- [10] Üstündağ A, Tanyaş M, 2009. Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) Teknolojisinin Tedarik Zinciri Üzerindeki Etkileri, *İTÜ Dergisi*, 8 (4): 83-94.
- [11] McFarlane, Duncan, Sanjay Sarma, Jin Lung Chirn, C. Y. Wong, ve Kevin Ashton. 2003. "Auto ID Systems and Intelligent Manufacturing Control". *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16(4):365-76.
- [12] Ngai, E. W. T., Karen K. L. Moon, Frederick J. Riggins, ve Candace Y. Yi. 2008. "RFID Research: An Academic Literature Review (1995–2005) and Future Research Directions". *International Journal of Production Economics* 112(2):510-20.
- [13] Ustundag, Alp, ed. 2013. *The Value of RFID*. London: Springer London.
- [14] Roussos, George. 2008. *Networked RFID: systems, software and services*. London Springer.
- [15] Lionel M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau, ve Abhishek P. Patil. 2004. "LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID". *Kluwer Academic Publishers* 701-10.

- [16] Ratha, N. K., J. H. Connell, ve R. M. Bolle. 2001. "Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems". *IBM Systems Journal* 40(3):614-34.
- [17] Mobashsher, Ahmed Toaha, Mohammad Tariqul Islam, ve Norbahiah Misran. 2010. "A Novel High-Gain Dual-Band Antenna for RFID Reader Applications". *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 9:653-56.
- [18] Roberts, C. M. 2006. "Radio Frequency Identification (RFID)". *Computers & Security* 25(1):18-26.
- [19] Paredes, F., G. Zamora, F. J. Herraiz-Martinez, F. Martin, J. Bonache. 2011. "Dual-Band UHF-RFID Tags Based on Meander-Line Antennas Loaded With Spiral Resonators". *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 10:768-71.
- [20] <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/uhf-rfid-frequency-regulations> [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2020].
- [21] Mouzouna, Y., Mohamed Taouzari, Hanane Nasraoui, Azzeddine Sardi, Jamal El Aoufi, ve Ahmed Mouhsen. 2018. "Designing of a New Miniaturized Tag Antenna Using the Meander Technique and Low Cost Paper Substrate for Bottle Labeling Applications". *International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP)* 8(3):265.
- [22] Sweeney, Patrick J. 2005. *RFID for dummies*. 1st ed. Indianapolis, IN: Wiley Pub., Inc.
- [23] <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-tags/> [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2020].
- [24] Verdult R., "Security Analysis of RFID Tags", Haziran 25, 2008.
- [25] Kitsos, Paris, ve Yan Zhang, ed. 2008. *RFID Security: Techniques, Protocols and System-on-Chip Design*. New York, NY: Springer.
- [26] <https://www.atlashcs.com.tr/rfid-etiketler> [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2020].
- [27] Chabanne, Herve, Pascal Urien, ve Jean-Ferdinand Susini, ed. 2011. *RFID and the Internet of Things*. London : Hoboken, N.J: ISTE ; Wiley.
- [28] <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-readers/> [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2020].
- [29] Ateş, Taha Fatih, Hulusi Açıköz, Ali Osman Özkan. 2019. "Pasif RFID Etiket Konumunu Belirlemeye Yönelik UHF Anten Tasarımı". *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 1(2):112-17.
- [30] Chen, Zhi Ning, ed. 2007. *Antennas for Portable Devices*. Chichester: Wiley.
- [31] Kárník, Jiří, ve Jakub Streit. 2016. "Summary of Available Indoor Location Techniques". *IFAC-PapersOnLine* 49(25):311-17.

- [32] Gu, Yanying, Anthony Lo, ve Ignas Niemegeers. 2009. "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks". *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 11(1):13-32.
- [33] Zekavat, Seyed A., ve R. Michael Buehrer, ed. 2012. *Position location: theory, practice and advances*. Hoboken, N.J: Wiley-IEEE Press.
- [34] Hahnel, D., W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, ve M. Philipose. 2004. "Mapping and localization with RFID technology". Ss. 1015-1020 Vol.1 içinde *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004*. New Orleans, LA, USA: IEEE.
- [35] Zekavat, Seyed A., ve R. Michael Buehrer, ed. 2012. *Position location: theory, practice and advances*. Hoboken, N.J: Wiley-IEEE Press.
- [36] Bechteler, T. F., ve H. Yenigun. 2003. "2-D Localization and Identification Based on SAW ID-Tags at 2.5 Ghz". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 51(5):1584-90.
- [37] Hightower, J., Want, R., & Borriello, G. (2000). SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength.
- [38] "IEEE Std 149-1979", IEEE Standard Test Procedures for Antennas (ANSI), 1990.
- [39] Ramsay, Jack. 1981. "Highlights of antenna history". *IEEE Communications Magazine* 19(5):4-16.
- [40] Balanis, Constantine A. 2012. "Antenna technology: Past, present and future". Ss. 5-7 içinde *2012 IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*. Tucson, AZ, USA: IEEE.
- [41] Matzner, H., & McDonald, K. T. (2003). Isotropic radiators. *arXiv preprint physics/0312023*.
- [42] Balanis, Constantine A. 2016. *Antenna theory: analysis and design*. Fourth edition. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- [43] https://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2020].
- [44] Milligan, Thomas A. 2005. *Modern antenna design*. 2nd ed. Hoboken, N.J: IEEE Press: Wiley-Interscience.
- [45] https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_array [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2020].
- [46] https://tr.wikipedia.org/wiki/Parabolik_anten [Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2020].
- [47] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-lens-antenna> [Ziyaret tarihi: 02 Haziran 2020].
- [48] <https://www.emtalk.com/mpacalc.php> [Ziyaret tarihi: 06 Haziran 2020].

- [49] <https://www.rfcafe.com/references/electrical/dielectric-constants-strengths.htm> [Ziyaret tarihi: 06 Haziran 2020].
- [50] Pozar, D. 1986. "An update on microstrip antenna theory and design including some novel feeding techniques". IEEE Antennas and Propagation Society Newsletter 28(5):4-9.
- [51] Uzer, Dilek. 2016. "Geniş Band Mikro Şerit Yama Anten Tasarımları için Uygun Yöntemlerin Araştırılması". Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [52] Pozar, D. M. 1992. "Microstrip antennas". Proceedings of the IEEE 80(1):79-91.
Carver, K., ve J. Mink. 1981. "Microstrip Antenna Technology". IEEE Transactions on Antennas and Propagation 29(1):2-24.
- [53] Lee, Kai Fong, Kwai Man Luk, ve Hau Wah Lai. 2017. "Introduction". Ss. 1-23 Microstrip Patch Antennas. WORLD SCIENTIFIC.
- [54] ANSYS HFSS for Antenna Design, 2015 Release, Ansoft Corporation, May 2015.
- [55] <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss> [Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2020].
- [56] Kai-Fong Lee, ve Kin-Fai Tong. 2012. "Microstrip Patch Antennas—Basic Characteristics and Some Recent Advances". *Proceedings of the IEEE* 100(7):2169-80.

