



**T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE WI-FI VE  
BLUETOOTH TABANLI KAPALI ALAN  
KONUMLANDIRMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

**Kadir ARSLAN**

**BURDUR, 2019**



**T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE WI-FI VE  
BLUETOOTH TABANLI KAPALI ALAN  
KONUMLANDIRMA SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

**Kadir ARSLAN**

**Danışman: Doç. Dr. İsmail KIRBAŞ**

**BURDUR, 2019**

## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

**Kadir ARSLAN** tarafından **Doç. Dr. İsmail KIRBAŞ** yönetiminde hazırlanan “**Yapay Zekâ Teknikleri ile Wi-Fi ve Bluetooth Tabanlı Kapalı Alan Konumlandırma Sistemi Geliştirilmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 16/09/2019

**Doç. Dr. İsmail KIRBAŞ**

(Başkan)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....(İmza)



**Dr. Öğr. Üyesi Turgay AYDOĞAN**

(Jüri Üyesi)

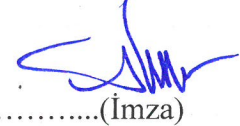
Süleyman Demirel Üniversitesi .....(İmza)



**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ**

(Jüri Üyesi)

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi .....(İmza)



### ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun \_\_\_\_\_ Tarih ve \_\_\_\_\_ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

**Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİŞ**

Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yapay Zekâ Teknikleri ile Wi-Fi ve Bluetooth Tabanlı Kapalı Alan Konumlandırma Sistemi Geliştirilmesi” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

16/09/2019

Kadir ARSLAN

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. İsmail KIRBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamızı gerçekleştirdiğimiz çiftlik ortamını bizlere sunan çiftlik müdürü Prof. Dr. Şenol GÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

**Eylül, 2019**

**Kadir ARSLAN**



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA .....	5
2.1. Sinyal Ölçüm Teknikleri .....	6
2.1.1. Geliş Süresi Tekniği (ToA) .....	7
2.1.2. Geliş Süresi Farkı Tekniği (TDoA) .....	7
2.1.3. Gidiş-Dönüş Zamanı Tekniği (RTT) .....	8
2.1.4. Geliş Açısı Tekniği (AoA) .....	8
2.1.5. Alınan Sinyal Kuvvet Göstergesi Tekniği (RSSI) .....	9
2.2. Konumlandırma Algoritmaları .....	10
2.2.1. Üçgenleme .....	10
2.2.2. Daire Kesişimi .....	10
2.2.3. Yakınlık .....	11
2.2.4. Parmak İzi .....	11
2.3. Performans Ölçütleri .....	12
2.3.1. Doğruluk .....	13
2.3.2. Hassasiyet .....	13
2.3.3. Maliyet .....	13
2.3.4. Ölçeklenebilirlik .....	13
2.3.5. Güvenlik .....	14
2.3.6. Kapsama Alanı .....	14
2.4. Kapalı Alan Konumlandırma Sistem Bileşenleri .....	14
2.5. Yol Kayıp Modelleri .....	15
2.5.1. Serbest Uzay Yayılım Modeli .....	16
2.5.2. Logaritmik Yol Kayıp Modeli .....	17
2.5.3. ITU Kapalı Alan İşaret Modeli .....	17
2.6. Kapalı Alan Konumlandırma Teknolojileri .....	18
2.6.1. Radyo Frekansı ile Kimlik Tanıma (RFID) .....	20
2.6.2. Ultra Geniş Bant (UWB) .....	22
2.6.3. Zigbee .....	23
2.6.4. Bluetooth .....	25
2.6.5. Wi-Fi .....	28
2.6.6. Kızılötesi .....	34
2.6.7. Ultrasonik Ses Dalgaları .....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	37
3.1. Materyal .....	37
3.1.1. Sinyal Ölçüm Tekniği, Konumlandırma Algoritması ve Konumlandırma Teknolojileri .....	38

3.1.2. Çalışma Alanı ve Düğümlerin Referans Noktalarına Yerleştirilmesi.....	38
3.1.3. Saha Analiz Cihazı Geliştirilmesi ve Saha Çalışmaları .....	40
3.1.4. Kablosuz Takip Cihazı Geliştirilmesi .....	46
3.1.5. ESP32 Modülü Teknik �zellikleri.....	48
3.2. Yöntem.....	52
3.2.1. K-En Yakın Komşu (KNN) Sınıflandırması ile Konumlandırma .....	53
3.2.2. Yapay Sinir Ağları ile Konumlandırma .....	54
4. ARAşTIRMA BULGULARI .....	60
4.1. K-En Yakın Komşu (K-NN) Sınıflandırma Değerlendirmesi .....	60
4.2. K-En Yakın Komşu (K-NN) ile Konumlandırma Performans Sonuçları.....	61
4.3. Yapay Sinir Ağları Eğitim Değerlendirmesi.....	63
4.4. Yapay Sinir Ağları ile Konumlandırma Performans Sonuçları .....	74
4.5. Konumlandırma Sonuçlarının Karşılaştırması .....	76
5. SONUÇ.....	78
KAYNAKLAR.....	80
�ZGEMİş.....	86





## ŞEKİL DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Sinyal ölçüm teknikleri ve konumlandırma algoritmaları.....	6
Şekil 2.2. TDoA tekniği ile sinyal ölçümü.....	8
Şekil 2.3. Geliş açısı tekniği ile sinyal ölçümü .....	9
Şekil 2.4. Daire kesişimi yöntemi ile 3 sabit düğüm noktası kullanılarak konum hesabı ...	11
Şekil 2.5. Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler .....	18
Şekil 2.6. Elektromanyetik spektrum.....	19
Şekil 2.7. RFID etiket iç yapısı .....	20
Şekil 2.8. RFID sisteminin genel yapısı.....	21
Şekil 2.9. Dar bant, geniş bant ve ultra geniş bant sinyalleri .....	22
Şekil 2.10. Örnek bir zigbee haberleşme cihazı .....	23
Şekil 2.11. Zigbee ağ topolojileri .....	24
Şekil 2.12. BLE link katmanı .....	26
Şekil 2.13. ESP8266 Wi-Fi modülü .....	28
Şekil 2.14. Nesnelerin interneti genel yapısı.....	29
Şekil 2.15. 2.4 GHz frekans spektrumu .....	31
Şekil 2.16. Wi-Fi 6 standardında örnek bir Wi-Fi cihazı.....	32
Şekil 2.17. Kızılötesi haberleşme sisteminin genel yapısı .....	34
Şekil 2.18. Ultrasonik sensör ile mesafe ölçümü .....	36
Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı çiftlik .....	39
Şekil 3.2. Çalışma alanından bir bölüm.....	39
Şekil 3.3. Çalışma alanına yerleştirilen sabit düğümler.....	40
Şekil 3.4. Tasarlanan saha analiz cihazının şematik çizimi .....	41
Şekil 3.5. Tasarlanan saha analiz cihazının PCB çizimi.....	41
Şekil 3.6. Tasarlanan saha analiz cihazının 3 boyutlu görüntüsü.....	42
Şekil 3.7. Geliştirilen saha analiz cihazı .....	42
Şekil 3.8. Çalışma alanının sinyal ölçüm planı .....	43
Şekil 3.9. Düğüm noktalarının varsayılan haberleşme kanalları.....	44
Şekil 3.10. Düğüm noktalarının haberleşme kanallarının değiştirilmesi.....	44
Şekil 3.11. Çalışma alanından sinyallerin toplanması .....	45

Şekil 3.12. Geliştirilen kablosuz takip cihazı.....	46
Şekil 3.13. Kablosuz takip cihazının süt sığırı üzerine yerleştirilmesi.....	47
Şekil 3.14. Kablosuz takip cihazı ile konum tespiti .....	47
Şekil 3.15. ESP32 modülü .....	48
Şekil 3.16. ESP32-D0WDQ6 blok diyagramı.....	49
Şekil 3.17. ESP32 geliştirme kartı.....	51
Şekil 3.18. Yapay sinir hücresinin yapısı.....	55
Şekil 3.19. Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı .....	57
Şekil 3.20. 4 düğüm ile eğitilen YSA modeli .....	58
Şekil 3.21. 6 düğüm ile eğitilen YSA modeli .....	58
Şekil 4.1. K-NN ile Wi-Fi sistemi için konum tahmin örnekleri .....	61
Şekil 4.2. K-NN ile Wi-Fi konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği .....	62
Şekil 4.3. K-NN ile Bluetooth konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği .....	63
Şekil 4.4. 4 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim başarısı.....	64
Şekil 4.5. 4 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim, doğrulama ve sınav performans grafiği .....	64
Şekil 4.6. 4 düğümlü Wi-Fi YSA hata dağılım grafiği.....	65
Şekil 4.7. 4 düğümlü Wi-Fi YSA regresyon analizi.....	66
Şekil 4.8. 6 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim başarısı.....	66
Şekil 4.9. 6 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim, doğrulama ve sınav performans grafiği .....	67
Şekil 4.10. 6 düğümlü Wi-Fi YSA hata dağılım grafiği .....	67
Şekil 4.11. 6 düğümlü Wi-Fi YSA regresyon analizi .....	68
Şekil 4.12. 4 düğümlü Bluetooth YSA eğitim başarısı.....	69
Şekil 4.13. 4 düğümlü Bluetooth YSA eğitim, doğrulama ve sınav performans grafiği ..	69
Şekil 4.14. 4 düğümlü Bluetooth YSA hata dağılım grafiği .....	70
Şekil 4.15. 4 düğümlü Bluetooth YSA regresyon analizi .....	70
Şekil 4.16. 6 düğümlü Bluetooth YSA eğitim başarısı.....	71
Şekil 4.17. 6 düğümlü Bluetooth YSA eğitim, doğrulama ve sınav performans grafiği ..	71
Şekil 4.18. 6 düğümlü Bluetooth YSA hata dağılım grafiği .....	72
Şekil 4.19. 6 düğümlü Bluetooth YSA regresyon analizi .....	72
Şekil 4.20. YSA ile Wi-Fi sistemi için konum tahmin örnekleri .....	74
Şekil 4.21. YSA ile Wi-Fi konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği .....	75
Şekil 4.22. YSA ile Bluetooth konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği .....	76

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Bluetooth sınıflandırması.....	27
<b>Tablo 2.2.</b> IEEE 802.11 protokollerinin karşılaştırılması.....	33
<b>Tablo 3.1.</b> Çalışma alanından toplanan veri örneklerinden bir bölüm .....	45
<b>Tablo 3.2.</b> Kablosuz takip cihazının enerji tüketimi .....	48
<b>Tablo 4.1.</b> K-NN ile konum tahminlerinin yüzde doğruluk sonuçları .....	60
<b>Tablo 4.2.</b> YSA eğitiminin başarı ve hata değerlerinin karşılaştırılması .....	73
<b>Tablo 4.3.</b> K-NN ve yapay sinir ağları ile konum tahmin hatalarının karşılaştırılması .....	76



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>ADC</b>	: Analog Digital Convertor
<b>AoA</b>	: Angle of Arrival
<b>AoD</b>	: Angle of Departure
<b>AP</b>	: Access Point
<b>BLE</b>	: Bluetooth Low Energy
<b>CSV</b>	: Comma Separated Values
<b>CPU</b>	: Central Processing Unit
<b>DAC</b>	: Digital Analog Convertor
<b>dB</b>	: Decibel
<b>dBm</b>	: Decibel-miliwatts
<b>DMIPS</b>	: Dhrystone Million Instructions Per Second
<b>FHSS</b>	: Frequency-Hopping Spread Spectrum
<b>GHz</b>	: GigaHertz
<b>GLONASS</b>	: Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
<b>GNSS</b>	: Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>ID</b>	: Identification
<b>IEEE</b>	: Institute of Electric and Electronic Engineers
<b>IoT</b>	: Internet of Things
<b>IR</b>	: Identification
<b>ISM</b>	: Industrial, Scientific, Medical
<b>KNN</b>	: K-Nearest Neighbor
<b>LAN</b>	: Local Area Network
<b>LoS</b>	: Line of Sight
<b>LR-WPAN</b>	: Low Rate- Wireless Personal Area Network
<b>mA</b>	: Miliamper
<b>MAC</b>	: Media Access Control
<b>Mbps</b>	: Megabits per second
<b>MHz</b>	: Megahertz
<b>MSE</b>	: Mean Square Error
<b>MU-MIMO</b>	: Multi User-Multi Input, Multi Output
<b>NLoS</b>	: Non-Line of Sight

<b>OFDM</b>	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<b>PCB</b>	: Printed Circuit Board
<b>PDA</b>	: Personal Digital Assistant
<b>RF</b>	: Radio Frequency
<b>RFID</b>	: Radio-Frequency Identification
<b>ROM</b>	: Read Only Memory
<b>RSSI</b>	: Received Signal Strength Indicator
<b>RTC</b>	: Real Time Clock
<b>RTT</b>	: Round Trip Time
<b>SoC</b>	: System on Chip
<b>SRAM</b>	: Static Random Access Memory
<b>STA</b>	: Station
<b>SU-MIMO</b>	: Single User-Multi Input, Multi Output
<b>TDoA</b>	: Time Different of Arrival
<b>ToA</b>	: Time Of Arrival
<b>ULP</b>	: Ultra Low Power
<b>UWB</b>	: Ultra Wide Band
<b>WAPI</b>	: WLAN Authentication and Privacy Infrastructure
<b>Wi-Fi</b>	: Wireless-Fidelity
<b>WLAN</b>	: Wireless Local Area Network
<b>WPA</b>	: Wireless Protected Access
<b>WPS</b>	: Wi-Fi Protected Setup

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yapay Zekâ Teknikleri ile Wi-Fi ve Bluetooth Tabanlı Kapalı Alan Konumlandırma Sistemi Geliştirilmesi

Kadir Arslan

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail Kırbaş

Eylül, 2019

İnsanların ve nesnelerin yerlerini tespit etmek ve onları yönlendirmek amacıyla konumlandırma sistemleri kullanılmaktadır. Özellikle geniş yapılı işletmelerde, üretim bantlarında ve malzeme depolarında ürün takibine ve iş akışı yönetimine sağladığı kolaylıklardan dolayı kapalı alanlardaki nesnelerin doğru bir şekilde konumlandırılması her geçen gün önem kazanmaktadır. Küresel ölçekte çözüm sunan, birlikte çalışabilir sistemler için kablosuz teknolojiler kullanılarak kapalı alan konumlandırma sistemleri için çözümler aranmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında kapalı alan konumlandırma sistemleri için yaklaşımlar incelenerek literatürde sıklıkla kullanılan konumlandırma teknolojileri, algoritmaları ve sinyal ölçüm teknikleri sunulmuştur. Kapalı alanlarda kullanılmak üzere Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri ile konumlandırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla saha analizi, düğüm noktası ve kablosuz takip sistemi için cihazlar geliştirilmiş ve bu cihazlar ile kapalı bir çiftlikte performans testleri yapılmıştır. Konumlandırma sistemlerinde RSSI tekniği ile sinyal ölçümleri yapılmış, parmak izi yöntemi ile çalışma alanının sinyal haritası modellenmiştir. Konumlandırma doğruluğunu artırmak için sinyal haritasının modellenmesinde yapay zekâ tekniklerinden K-en yakın komşu ve yapay sinir ağları kullanılmıştır. Gerçekleştirilen konum tahminlerine ait ayrıntılı performans sonuçları grafikler üzerinde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kapalı alan konumlandırma, Wi-Fi, Bluetooth, RSSI, K-en yakın komşu, yapay sinir ağları

## **SUMMARY**

**M. Sc. Thesis**

**Development of Wi-Fi and Bluetooth Based Indoor Positioning System with Artificial Intelligence Techniques**

**Kadir Arslan**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Materials Technology Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. İsmail Kırbaş**

**September, 2019**

Positioning systems are used to locate and guide people and objects. Especially in large enterprises, production lines and material warehouses due to the ease of product tracking and workflow management, the correct positioning of objects in indoor areas is gaining importance day by day. We are looking for solutions for indoor positioning systems using wireless technologies for interoperable systems that offer global solutions. Within the scope of this thesis, positioning technologies, algorithms and signal measurement techniques frequently used in the literature are presented by examining the approaches for closed area positioning systems. Wi-Fi and Bluetooth technologies and positioning systems have been developed for indoor use. For this purpose, devices have been developed for field analysis, node and wireless monitoring system and performance tests have been performed on a closed farm with these devices. In the positioning systems, signal measurements were made with RSSI technique and the signal map of the working area was modeled by fingerprint method. In order to increase the positioning accuracy, K-nearest neighbor and artificial neural networks, one of the artificial intelligence techniques, were used in the modeling of the signal map. Detailed performance results of the actual position estimates are shown on the graphs.

**Keywords:** indoor positioning, Wi-Fi, Bluetooth, RSSI, K-nearest neighbor, artificial neural network

# 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte, günümüz dünyasında geniş alanlara yayılmış, çok katlı ve karmaşık yapıların sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu yapıların büyüklük ve karmaşıklığına bağlı olarak yönetilmesi gereken geniş alanların zorlukları çözülmesi gereken problemleri de beraberinde gelmektedir (Demiral vd., 2013).

İnsanların ve nesnelerin buldukları yerleri tespit etmek ve onları yönlendirmek amacıyla konumlandırma sistemleri kullanılmaktadır. Özellikle geniş yapıli işletmelerde, üretim bantlarında ve malzeme depolarında ürün takibi sağlamak ve iş akışını yönetmek için kapalı alanlarda nesnelerin doğru bir şekilde konumlandırılması her geçen gün önem kazanmaktadır.

Açık alanlarda nesnelerin konum bilgileri küresel navigasyon uydu sistemleri (GNSS) aracılığıyla gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukta başarılı bir şekilde tespit edilebilmekte ve onları istedikleri hedefe doğru bir şekilde yönlendirebilmektedir. GPS ve GLONASS açık alanlarda en sık kullanılan küresel konumlandırma sistemleridir. Açık alanlarda uydular aracılığıyla konum belirleme sistemini kullanabilmek için yeterli sayıda uydu ile görüş hattında haberleşme sağlayabilen bir GNSS alıcısına ihtiyaç duyulmaktadır. Uydular ile görüş hattının olmadığı (NLoS) ormanlık, kanyon, yüksek yapıdaki binaların bulunduğu şehir merkezleri gibi dış ortamlarda ve bina içi gibi kapalı alanlardaki nesnelerin konum tespiti yapılırken konumlandırma doğruluğu azalmakta dolayısıyla GNSS sistemleri yetersiz kalmaktadır. Bu gibi alanlarda konum bilgisini alabilmek ve yönlendirmeler yapmak amacıyla telekomünikasyon ve radyo frekansı ağlarından yararlanarak birçok çalışma yapılmıştır (Selvi ve Bildirici, 2011). Bunlara ek olarak kapalı alanlarda kullanılmak üzere küresel ölçekte çözüm sunan, birlikte çalışabilir, ihtiyaçları karşılayabilir konumlandırma sistemleri için Wi-Fi, Bluetooth, RFID, UWB vb. kablosuz teknolojiler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır.

Endüstrideki gelişmeler ile birlikte modern hayvan yetiştiriciliği önemli bir endüstri haline dönüşmekte ve büyük kapasiteli çiftliklerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Takip ve kontrollerin zorlaştığı çiftliklerde kolay kontrol imkânı sağlamak ve yüksek verim elde etmek amacıyla hayvancılıkta teknoloji kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır (Aydın, 2017). Hayvanlarda görülen çeşitli sorunlar hareketsizliğe sebep olabilmektedir. Birçok araştırmacı hayvanlardaki davranış değişikliklerinin onların sağlık problemlerinin güçlü göstergeleri olduğunu doğrulamaktadır (Huhtala vd., 2007). Modern sığır yetiştiriciliği yapılan büyük



tesislerdeki yüksek hayvan sayılarından dolayı hayvanlardaki hareketsizliklerin geç tespit edilebilmektedir. Buna bağlı olarak süt veriminin azalması, zayıflama, üreme ve çeşitli hastalık risklerinin artması ile önemli ekonomik kayıplar yaşanabilmektedir. Buna yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Hareketsizliğe neden olan ayak hastalıkları, hayvanların sağlığa bağlı olarak kesime gitmesine neden olan ilk üç etken arasındadır (Yaylak, 2008).

Hayvanların takibinin kolay bir şekilde yapılmasında teknolojik bileşenler önem arz etmektedir. Geliştirilecek bir kapalı alan konumlandırma sistemi ile hareketsiz sığırları takip ederek, karmaşık verilerin basit ve net olarak gözlemlenebilir bilgilere dönüştürülmesiyle, kontrollerin zorlaştığı büyük tesislerde, hızlı ve etkili müdahale imkânı sağlayarak ekonomik ve zamansal kayıpların önüne geçilebilir.

Tez çalışması kapsamında kapalı bir çiftlikteki süt sığırlarını takip etmek üzere Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak konumlandırma sistemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen saha analizi cihazı ile çalışma alanına yerleştirilen 6 adet Wi-Fi ve Bluetooth tabanlı düğüm noktasından, RSSI tekniği ile sinyal ölçümleri yapılmıştır. Parmak izi yöntemi ile konumlandırma algoritması kullanılarak çalışma alanının sinyal haritası modellenmiştir. Takip edilecek süt sığırı üzerine takılan kablosuz takip cihazı aracılığıyla çalışma alanındaki düğüm noktalarından elde edilen RSSI verileri ile modellenen sinyal haritası benzerlik analizi yapılarak konum tahminleri yapılmıştır. Harita modelleme ve eşleştirme aşamasında yapay zekâ tekniklerinden olan K-en yakın komşu (KNN) ve yapay sinir ağları kullanılarak tahmin doğruluğu artırılmıştır.

Yapılan literatür taramasında; Li ve arkadaşları parmak izi ve üçgenleme yöntemlerini kullanarak Wi-Fi tabanlı konumlandırma sistemi ile 1 metreye kadar doğrulukla konum tespiti yapmışlardır (Li vd., 2007). Huhtala ve arkadaşları WLAN teknolojisi kullanarak kapalı bir çiftlikte gerçekleştirdikleri takip sistemi ile hayvanları 1 metre hata ile takip etmişlerdir (Huhtala vd., 2007). Doğancı RSSI verilerini kullanarak kapalı alandaki bir mobil cihazın yerini yüksek doğrulukla tespit etmiştir (Doğancı, 2008). Mark ve arkadaşları tasarlandıkları kapalı alan konumlandırma sistemini bir hastane ortamında kullanmış, hastanedeki personellerin ve hastaların yerini belirleyerek malzeme kayıplarını engellemiş ve alanlara erişimi kısıtlamışlardır (Barralet vd., 2009).

Öklid mesafe yöntemi ile bina içi konumlandırma sistemi gerçekleştiren Kök, yapay sinir ağları da kullanarak 3 metre hata ile konum tespiti yapmıştır (Kök, 2009). Arash ve arkadaşları bir binadaki kişinin Wi-Fi sinyalleri kullanılarak konum tespiti için bir mobil uygulama önermektedir (Lashkari vd., 2010). İki katlı bir evdeki iki erişim noktasından (AP)

alınan RSSI verilerinin katlardaki durumlarını inceleyen Takeno ve arkadaşları ölçüm sonuçlarını grafikler üzerinde göstermişlerdir (Takeno vd., 2011). Bluetooth tabanlı teknoloji ile kapalı alan konumlandırma sistemi geliştiren Bekkelien, 1.5 metre hata ile konum tespiti yapmıştır (Bekkelien, 2012). Mautz kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojileri ve konumlandırma algoritmalarını geniş çaplı olarak inceleyerek performans bilgileri sunmuştur (Mautz, 2012). Tatar ve Yıldırım, kablosuz sensör ağları ile çalışan parmak izi yöntemi için iki yeni yaklaşım önermişler ve yaptıkları testler ile KNN tekniğine kıyasla daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir (Tatar ve Yıldırım, 2014). Üçgenleme yöntemi kullanarak BLE tabanlı iBeacon protokolüne dayanan konumlandırma sistemi geliştiren Salas, 1~1.5 metre doğruluk ile konum tespiti yapmıştır (Corbacho Salas, 2014). Wi-Fi teknolojisi ile parmak izi yöntemi kullanarak işyeri ve ev ortamından elde ettiği sinyalleri 7 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanarak karşılaştırma yapan Karabey, Rastgele Orman Yöntemi ile % 87 oranında doğru sonuçlar bulmuştur (Karabey, 2015).

Taşkın geliştirdiği Bluetooth Low Energy (BLE) tabanlı konumlandırma sistemi ile akıllı telefon yardımıyla kapalı alanda konum tespiti yapmıştır (Taşkın, 2017). Kanmaz Dv-hop algoritmaları ile kapalı alan konumlandırma sistemi gerçekleştirmiş ve yeni bir konumlandırma yöntemi ile çalışma yaparak daha iyi sonuçlar elde etmiştir (Kanmaz, 2016). Michaelsson ve Quiroga kapalı bir çiftlikte testlerini yaptıkları hayvan takip sisteminde enerji tüketimini optimize ederek ticari bir ürün geliştirmeyi amaçlamışlardır (Michaelsson ve Quiroga, 2017). Chandrashekhar ve S, kapalı alanlarda sıklıkla kullanılan Wi-Fi ve Bluetooth sistemlerinin performanslarını karşılaştırmışlar ve Wi-Fi ile konumlandırma sisteminin daha etkili sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (Chandrashekhar ve S, 2017). Başak BLE teknolojisi ile mobil cihazların tespiti için gerçekleştirdiği kapalı alan konumlandırma sistemi ile % 95 güven aralığında 3 metre hata ile konum tahmini gerçekleştirmiştir (Başak, 2017).

Tez çalışmasının ikinci bölümde kapalı alan konumlandırma sistemlerinin genel yapısı anlatılmış, kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan sinyal ölçüm teknikleri ve konumlandırma algoritmaları incelenmiş, bu teknikler ve algoritmaların seçiminde değerlendirilmesi gereken ölçütler hakkında bilgiler verilmiştir. Kapalı alan konumlandırma sistemlerinin performansını etkileyen parametreler incelenerek konumlandırma sistemlerini oluşturan temel bileşenler hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu amaçla kullanılan teknolojiler incelenerek konumlandırma sistemlerinin önündeki engeller değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde tez çalışması kapsamında geliştirilen sabit düğümler incelenerek bu düğümlerin çalışma alanına yerleşim planları gösterilmiştir. Çalışma alanını tarayarak sinyal haritasını oluşturan saha analiz cihazı ve konumu bulunmak istenen süt sığırı üzerine yerleştirilen kablosuz takip cihazı incelenerek yapılan çalışma hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Çalışma alanına ait sinyal haritası modellenirken kullanılan yapay zekâ teknikleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde konum tahmin doğruluğunu artırmak için çalışma alanının sinyal haritasının modellenmesinde kullanılan KNN ve yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen konum tahminlerine ait ayrıntılı başarı performansı ve hata analizleri grafikler üzerinde incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde gerçekleştirilen kapalı alan konumlandırma sistemlerinin performansları değerlendirilmiştir.

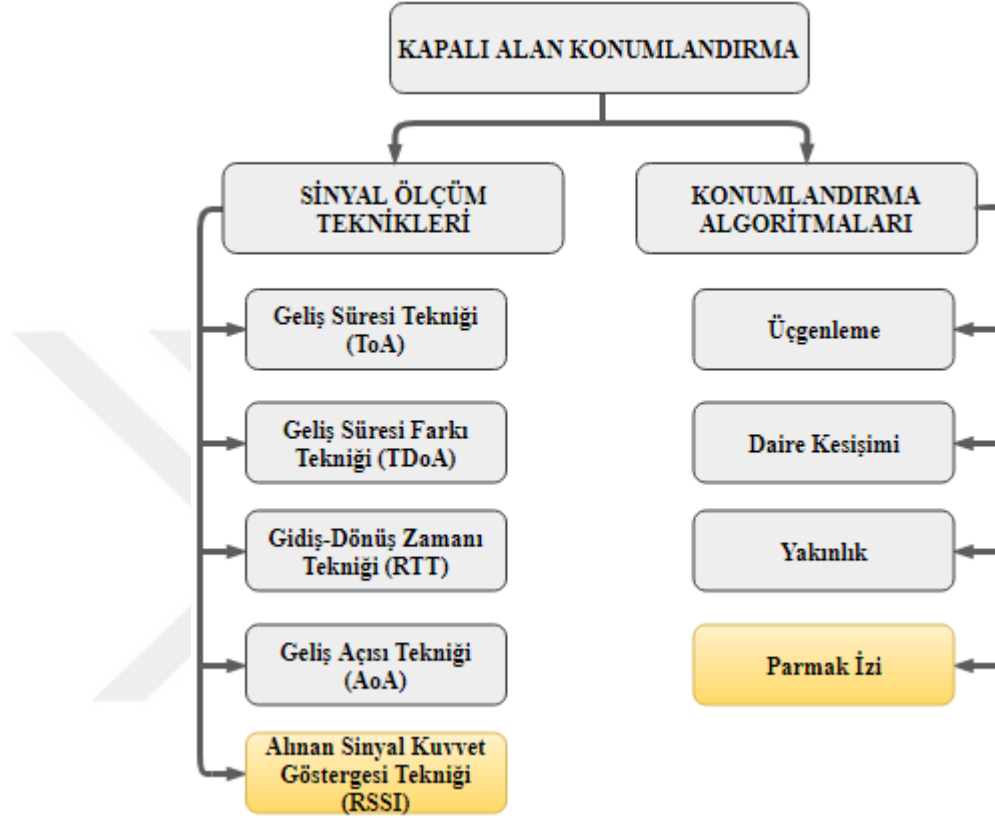
## 2. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA

Radyo dalgaları, manyetik alanlar, akustik sinyaller, mobil cihazlar aracılığıyla toplanan sensör verileri kullanılarak kapalı bir alandaki nesnelere veya kişilerin konumlarının tespit edilmesi, kapalı alan konumlandırma olarak tanımlanmaktadır (Başak, 2017). Kapalı alan konumlandırma sistemleri hava alanları, tren istasyonları ve bina içlerinde yönlendirme yapmak, müzelerde ziyaretçi deneyimini artırmak, üretim ve depo sistemlerinde kontrolü sağlamak, çocuk takibi ve görme engelliler için yönlendirme gibi uygulamalar ile kapalı alanlarda nesnelere konumunu tespit etmek ve yönlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Kapalı alanlar, açık alanlardan oldukça farklı karakteristik özelliklere sahiptirler. Açık alanlarda sinyal kısıtlayıcı etkenlerin daha az olmasına karşın kapalı alanlarda binaların yapısı, kullanılan malzemelerin özellikleri, kapalı alan içerisindeki sinyal bozucu kapı, dolap, çatı gibi etkenler sinyalleri kısıtlayarak vericiden çıkan sinyalleri, alıcıya ulaşırken zayıflama ve girişimlere (interference) maruz bırakabilmektedir. Sinyal bozucu bu etkenler konumlandırma doğruluğunu olumsuz etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda nesnelere gerçek zamanlı ve hassas olarak konum tespiti yapılabilmesi için konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler gelişmiş donanım ve yazılım desteğine ihtiyaç duymaktadırlar. Geniş ölçekte kullanılabilir bir konumlandırma sisteminden beklenen ise bakım gerektirmeyen, düşük maliyetli ve güvenli sistemler olmalarıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte gömülü sistemlerin kullanılmasına olanak sağlayan platformlar her geçen gün daha ucuz, küçük ve güçlü olarak üretilmekte ve kablosuz ağlar aracılığı ile gerçekleştirilen uygulamalar günlük hayatta daha sık kullanılmaktadır (Türkorall vd., 2016). Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler çoğunlukla kablosuz ağlar aracılığıyla haberleşebilen sensörlerden oluşmaktadır. Sensörlerin bağlı olduğu kablosuz ağların geniş kapsama alanlarına sahip olmalarının verdiği esneklikten faydalanarak kablosuz ağ sisteminin kapasitesi ihtiyaca göre genişletilebilir, sensör yerleri kolaylıkla değiştirilebilir.

Konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler önemli olmakla birlikte bu teknolojilerin sinyal ölçüm tekniği, ölçülen sinyallerin işlenmesi için kullanılan konumlandırma algoritmaları da kullanılan teknolojiler kadar önemlidir. Kapalı bir alandaki nesnelere konumlarını bulmak için ilk olarak nesnelere sinyal özelliklerinden faydalanarak, mesafe ölçüm teknikleri ile konumu bulunmak istenen nesnenin referans noktası olarak belirlenen ve konumu önceden bilinen sabit düğümlere olan uzaklığı tahmin

edilir. Daha sonra ise çeşitli matematiksel algoritmalar sayesinde, sinyal özellikleri ve hesaplanan mesafe verileri kullanarak nesnenin gerçek konumu hesaplanır. Şekil 2.1 de kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan sinyal ölçüm teknikleri ve konumlandırma algoritmaları gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Sinyal ölçüm teknikleri ve konumlandırma algoritmaları

## 2.1. Sinyal Ölçüm Teknikleri

Kapalı alan içerisindeki nesnelerin konumlarını tespit edebilmek ve onları gerçek zamanlı olarak yönlendirebilmek için konumlandırma yapılacak alandaki sabit ve hareketli cihazlardan gelen sinyalleri elde etmek gerekmektedir. Bu nedenle sinyal ölçüm teknikleri kullanılmaktadır. Kapalı alan konumlandırma sistemleri farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Konumu bulunmak istenen nesneler tarafından gönderilen sinyal bilgileri, konumu önceden bilinen sabit düğümler tarafından alınması ve bu cihazların gerekli hesaplama işlemlerini yapmasıyla konumlandırma yapılabileceği gibi konumu önceden bilinen sabit düğüm noktalarından alınan sinyallerin, konumu tespit edilmek istenen nesne tarafından alınmasıyla da konumlandırma yapılabilmektedir. Konumlandırma

yapılacak tekniğe göre konumu önceden bilinen sabit cihaz ya da konumu bulunmak istenen nesne gerekli hesaplamaları kendisi yapabileceği gibi alınan sinyal özelliklerini merkezi bir cihaza göndererek konumlandırma hesaplarını merkezi cihaz da yapabilir.

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan sinyal ölçüm teknikleri arasında geliş süresi (ToA), geliş süresi farkı (TDoA), geliş açısı (AoA), gidiş-dönüş zamanı (RTT), alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) yaygın olarak kullanılan sinyal ölçüm teknikleridir. Konumlandırmanın yapılacağı kapalı alana, beklenen hassasiyete, maliyet ölçütlerine göre gereksinimleri karşılayabilecek ideal bir sistem tasarımı yapılması gerekmektedir.

### 2.1.1. Geliş Süresi Tekniği (ToA)

Geliş süresi (ToA) tekniğinde, konumu bulunmak istenen nesne tarafından yayılan sinyallerin, konumu önceden belirlenmiş sabit düğümler tarafından alındığı süreler hesaplanarak (2.1) konumlandırma gerçekleştirilir.

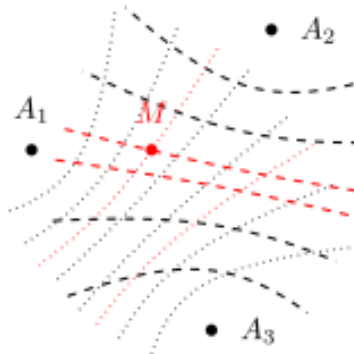
$$X = c * t \quad (2.1)$$

$t$  sinyalin verici tarafından gönderilip alıcı cihazlara ulaşması süresi,  $c$  gönderilen sinyalin hareket hızıdır. Sinyallerin yayılım hızları yaklaşık olarak ışık hızı ( $c$ ) veya saniyede  $\sim 3 \times 10^8$  metre olarak bilinmektedir. Geliş süresi yönteminde, veri transferinin başlangıç zamanı kesin olarak bilinmeli ve konumu bulunmak istenen nesne ve sabit düğümlerin tamamı tek bir kaynak tarafından senkronize edilmelidir (Mrindoko ve Minga, 2016). Sistem maliyetini artıran bu durum geliş süresi yönteminin kullanımını kısıtlayan önemli bir etkidir. Geliş süresi tekniği, ultra geniş bant (UWB) teknolojisinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir (Din vd., 2018).

### 2.1.2. Geliş Süresi Farkı Tekniği (TDoA)

Geliş süresi farkı tekniği (TDoA) ile konumu bulunmak istenen cihaz tarafından yayılan sinyaller eşzamanlı olarak çalışan sabit düğüm noktaları tarafından alınır ve sinyallerin düğüm noktalarına ulaşmasındaki zaman farkları kullanılarak sabit düğümler ile hareketli düğüm arasındaki uzaklık hesaplamaları yapılır. İlk sabit düğüm noktası sinyali alındığında bu süre başlangıç kabul edilerek diğer alıcılara ulaşma süreleri kontrol edilir. Bu amaçla düğüm noktalarından alıcı cihaza doğru hiperboller çizilir ve konum tespiti yapılır.

Geliş Süresi (ToA) yönteminde olduğu gibi hassas zaman senkronizasyonuna ihtiyaç duymazlar çünkü sinyallerin geliş zamanlarının bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bu nedenle ToA'ya göre daha çok tercih edilmektedir. Sinyallerin çok yönlü yayılımlardan daha az etkilenirler. Açık alanlarda yüksek doğrulukta sonuçlar alınabilen geliş süresi farkı (TDoA) tekniği ile kapalı alanlarda iyi sonuçlar elde edebilmek için kapalı alanın, geniş ve engellerinin az olması gerekmektedir. Şekil 2.2'de TDoA tekniği ile sinyal ölçümü gösterilmektedir (Kök, 2009; Michaelsson ve Quiroga, 2017).



Şekil 2.2. TDoA tekniği ile sinyal ölçümü

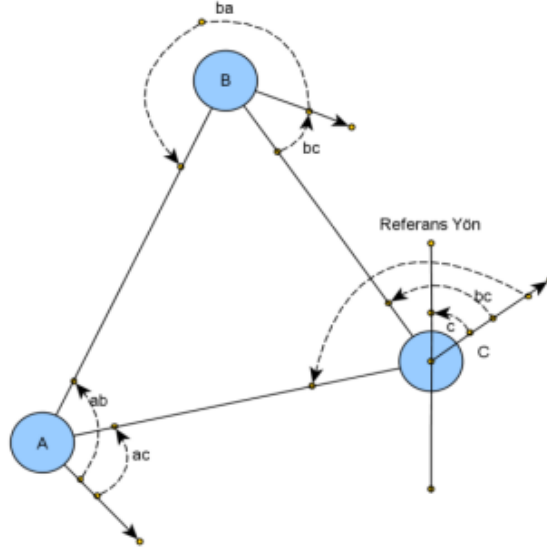
### 2.1.3. Gidiş-Dönüş Zamanı Tekniği (RTT)

Gidiş dönüş zamanı (RTT) tekniği sinyalin vericiden çıkıp, alıcıya ulaşarak tekrar vericiye ulaşma süresinin ölçülmesi işlemidir. Geliş süresi (ToA) tekniğinde gecikmeler her iki noktada, senkronize saatler ile ölçülürken gidiş-dönüş zamanı (RTT) tekniğinde gecikme tek taraflı olarak ölçülür. Sinyalin çıkış ve geliş süreleri bir noktaya kayıt edilir (Özdem vd., 2014).

### 2.1.4. Geliş Açısı Tekniği (AoA)

Geliş açısı (AoA) tekniği ile gönderilen sinyallerin alıcıya kaç derecelik açı ile gittiği tespit edilerek nesnelerin konumu hesaplanır (Kanmaz ve Aydın, 2018). AoA tekniğinde konumu önceden bilinen sabit düğümler antenlere sahiptir ve konumu bulunmak istenen nesneden alınan sinyallerin geliş açıları kullanılarak konumlandırma işlemleri yapılır. Açılar alıcı cihaz tarafındaki antenlerin açısal rotasyonu ile elde edilir (Başak, 2017). Geliş açısı yöntemi ile hareketli cihazın konumu iki düğüm noktası kullanılarak doğru bir şekilde bulunabilir (Kök, 2009). Sabit düğüm noktaları tarafından alınan geliş açısı değerleri kullanılarak, düğüm noktası ile hareketli cihaz arasında düz bir çizgi çizilir. Farklı düğüm

noktaları tarafından hareketli cihaz arasında çizilen bu çizgilerin kesişim noktası ile konum bulunmuş olur. Şekil 2.3’de bir cihazın yönlü antenler yardımıyla pozisyon tespiti için temsili resim gösterilmiştir (Kaya, 2018).



Şekil 2.3. Geliş açısı tekniği ile sinyal ölçümü

### 2.1.5. Alınan Sinyal Kuvvet Göstergesi Tekniği (RSSI)

RSSI değeri, alıcı cihaz tarafından elde edilen sinyallerin güç göstergesidir. Sinyaller alıcıya ulaşırken zayıflamalara maruz kalmaktadır ve bu zayıflamalar yol kaybı olarak bilinmektedir. Sinyalin gideceği mesafe arttıkça yol kaybı da üstel olarak artmaktadır. Sinyallerdeki bu zayıflama değerlerini mesafeye çevirerek konum hesaplamaları yapılır (Liu vd., 2007; Şahin, 2011). RSSI değerleri cihaz üreticileri tarafından belirlenen 0-255 arasında belirlenebilen 1 byte’lık bir değerdir. Bu nedenle RSSI değeri göreceli bir değerdir (Türkorall vd., 2017). Atheros firması tarafından üretilen ürünler  $RSSI_{(Max)}$  60 iken Cisco firması tarafından üretilen cihazların  $RSSI_{(Max)}$  100 değerindedir. RSSI değerinin 0’a yaklaşması sinyalin gücünün arttığını göstermektedir. RSSI değerleri firmaların ürettikleri cihazlara göre farklılık gösterdiklerinden dolayı yol kayıp modellerinde dBm değerleri ile hesaplama yapılmaktadır. Üretici firma ürünün kaynak sayfasında dBm değerlerini de kullanıcılara sunmaktadır. dBm değerleri kullanarak çeşitli mesafe tahmin algoritmaları geliştirilmiştir.

RSSI tekniği, kapalı alan konumlandırma sistemlerinde nesnelere konumlarının tespit etmek için sıklıkla kullanılan bir sinyal ölçüm tekniğidir. Wi-Fi, Bluetooth gibi birçok teknolojiye standart bir özellik olarak bulunan RSSI değeri, harici bir donanım



gerektirmeden elde edilebilmektedir. Bu nedenle RSSI ölçüm tekniğine dayanan konumlandırma sistemleri zaman ve maliyet açısından kolaylık sağladığı için diğer sinyal ölçüm tekniklerine göre daha fazla tercih edilmektedir.

## **2.2. Konumlandırma Algoritmaları**

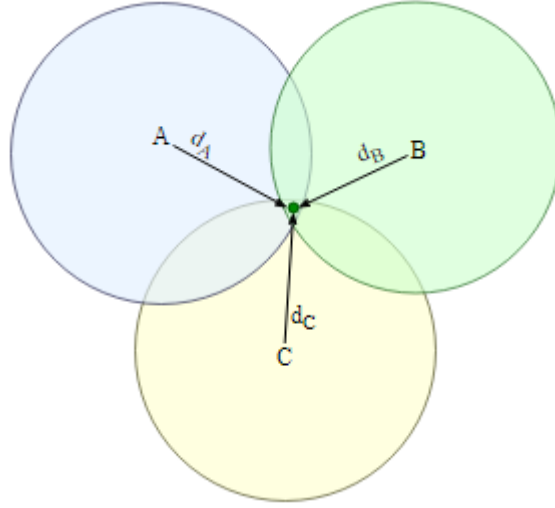
Konumlandırma algoritmaları kullanılarak, sinyal ölçüm teknikleri ile elde edilen sinyallerin matematiksel hesaplamaları yapılır ve konumlandırma işlemleri gerçekleştirilir. Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde sıklıkla kullanılan üçgenleme, daire kesişimi, yakınlık ve parmak izi algoritmaları bu bölümde incelenecektir.

### **2.2.1. Üçgenleme**

Üçgenlerin geometrik özelliklerinden faydalanarak konumlandırma gerçekleştirilir. Üçgenleme yöntemi kullanılırken üçgenin bir köşesi, hesaplanmak istenen konumdur ve bilinen diğer kenar uzunlukları ve açı değerleri birlikte kullanılarak üçgenin bilinmeyen köşesi hesaplanarak konumlandırma yapılır. Üçgenleme yöntemi, yüksek maliyetli donanımlar ve karmaşık algoritmalar kullanır (Yücel vd., 2014).

### **2.2.2. Daire Kesişimi**

Daire kesişimi yöntemi ile konum hesaplanabilmesi için konumu önceden bilinen en az 3 sabit düğüme ihtiyaç vardır. Sabit düğümler etrafında, mesafe ölçümlerine dayanarak elde edilen uzaklık bilgileri ile oluşturulan dairelerin kesişim noktaları matematiksel denklemler ile hesaplanarak konumlandırma işlemi gerçekleştirilir. Daire kesişimi yöntemi ile nesnelerin 3 boyutlu ve 2 boyutlu konumları bulunabilir. 2 boyutta x ve y noktaları yardımı ile konumlandırma yapılırken 3 boyutlu konumlandırmada z eksenini de kullanılmaktadır.  $(A_x, A_y)$ ,  $(B_x, B_y)$  ve  $(C_x, C_y)$  yerleri önceden bilinen 3 sabit düğüm noktası olmak üzere N noktasındaki bir nesnenin bulunması için yapılan işlem Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.** Daire kesişimi yöntemi ile 3 sabit düğüm noktası kullanılarak konum hesabı

Yukarıdaki şekle göre A, B ve C noktaları konumları önceden bilinen referans noktaları olmak üzere A, B ve C koordinatları kullanılarak p noktasındaki konumu bilinmeyen nesnenin mesafesinin hesaplanması aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir.

$$(P_x - A_x)^2 + (P_y - A_y)^2 = d_A^2 \quad (2.2)$$

$$(P_x - B_x)^2 + (P_y - B_y)^2 = d_B^2 \quad (2.3)$$

$$(P_x - C_x)^2 + (P_y - C_y)^2 = d_C^2 \quad (2.4)$$

### 2.2.3. Yakınlık

Konumlandırma yöntemleri arasındaki en basit olanıdır. Konumu bulunmak istenen nesnenin bağlı olup olmadığı bilgisini sunar. Konumu bulunmak istenen cihaz birden fazla verici tarafından algılanırsa, konum bilgisini sinyalin en güçlü olduğu vericiye iletir (Al Nuaimi ve Kamel, 2011). Yakınlık algılaması ile konumlandırma RFID sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Disha, 2013).

### 2.2.4. Parmak İzi

Parmak izi yöntemi, eğitim aşaması ve konumlandırma aşaması olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak kapalı alanın karakteristiğini oluşturan bir referans sinyal şiddet haritası oluşturulur (Kolodziej ve Hjelm, 2006; Yücel vd., 2014). Bu aşamada kapalı

alan içerisindeki ızgara şeklinde belirli aralıklarla referans noktalarından ölçümler alınır ve bu ölçümler bir sunucuya kaydedilerek eğitim aşaması tamamlanır. Bu işlemler saha analizi olarak adlandırılmaktadır. Konumlandırma aşamasında, konumu bulunmak istenen cihaz ile referans noktalarının sinyal şiddetleri ölçülür ve bu ölçümler saha analiz aşamasında sunucuya kaydedilen sinyal şiddeti haritasında hangi noktaya en yakın olduğu tespit edilerek konumlandırma yapılır. Açından ve mesafeden bağımsız olarak konumlandırma yapan parmak izi yöntemi ile gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinde, kapalı alanın karakteristiğini oluşturan eğitim aşamasında elde edilen sinyal sayısı ve sinyal yayan vericilerin sayısının artması konumlandırma doğruluğunu artırabilmektedir (Mautz, 2012; Sakpere vd., 2017). Ölçülen sinyallerin, eğitim aşamasında oluşturulan haritadaki sinyaller ile benzerlik analizi yapılırken konum tahmin doğruluğunu artırmak için yapay sinir ağları, K-en yakın komşu (KNN), rassal orman gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmaktadır. Wi-Fi ve Bluetooth cihazlarından RSSI değerleri kolaylıkla elde edilebildiğinden dolayı, kapalı alan konumlandırma sistemlerinde parmak izi yöntemi en sık kullanılan yöntemdir.

Parmak izi yönteminin eğitim aşaması olarak bilinen, çalışma alanının sinyal haritasının oluşturulması için statik ve dinamik tarama olmak üzere 2 farklı sinyal haritası oluşturma yöntemi bulunmaktadır. Dinamik taramada x ve y koordinatları girilmeden sürekli olarak saha içerisinde belirli bir hız ve doğrultuda hareket edilerek, tarama cihazı tarafından sabit düğümlerden alınan sinyal değerleri belirli aralıklarla sunucu cihaza gönderilmektedir. Daha sonra bu sinyal verilerine x ve y koordinatları eklenerek haritalama işlemi tamamlanır. Dinamik tarama çok geniş alanlarda kullanıldığında tarama süresini kısaltarak zaman tasarrufu sağlamaktadır (Doğancı, 2008).

Statik taramada ise çalışma alanının içerisinde önceden x ve y koordinatları belirlenerek o noktalardan düğüm cihazlarının RSSI değerleri alınarak sunucu cihaza gönderilmesi işlemidir. Statik tarama işleminde bir noktadan çok sayıda RSSI değeri alınarak sinyalin değişimleri gözlemlenerek daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

### **2.3. Performans Ölçütleri**

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinin performansını etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Konumlandırma sistemi tasarımında bu etkenler değerlendirilerek ideal konumlandırma sistemi tasarlanmalıdır.

### **2.3.1. Doğruluk**

Doğruluk, hesaplanan konum ile gerçek konumun farkının ortalamasıdır. Bu değer düştükçe, konum tahminindeki hata payı da düşecektir. Bu nedenle doğruluk konumlandırma sisteminin güvenilirliğinin göstergesidir. Konumlandırma sisteminde en önemli etken olarak tanımlanabilir.

### **2.3.2. Hassasiyet**

Konum tespiti yapılırken, birden fazla ölçümden elde edilen sonuçların tutarlı olmasıdır (Karabey, 2015). Birçok ölçüm yapıldığında birbirine ne kadar yakın sonuçlar alınırsa sistemin o kadar yüksek hassasiyette olduğunu gösterir.

### **2.3.3. Maliyet**

Konumlandırma sistemindeki para, zaman, sistemin kurulumu için gerekli ekstra altyapı çalışması, ekstra bant genişliği, sistemin kullanım ömrü, enerji tüketimi, ağırlığı gibi etmenler sistemin maliyetini belirleyen temel ölçütlerdir (Mrindoko ve Minga, 2016). Sinyal ölçüm aşamasında kullanılacak sistemin karmaşıklığı parasal maliyet olarak değerlendirilirken, konumlandırma aşamasında kullanılacak olan algoritmaların karmaşıklığı da zamansal maliyet olarak değerlendirilir. Parasal maliyet kurulacak sistemdeki en önemli etken olarak belirlenebilir. Kurulacak sistemin amacına uygun olarak en uygun yatırımın yapılması, sistemden beklenen sonucu en iyi şekilde karşılayacaktır.

### **2.3.4. Ölçeklenebilirlik**

Sistem içerisindeki bileşenlerin gözlemlenebilir ve kontrol edilebilir olmasıdır. Konumlandırma yapılacak nesnenin bulunduğu alan, büyük bir alışveriş merkezi, birkaç katlı otopark, bina, ev veya sadece bir odadan ibaret olabilir. Kontrol edilebilir bir sistem için konumlandırma yapılacak alan için ön çalışma yapılmalıdır. Konumlandırma sisteminin planlaması yapılırken, sistemin zamanla büyüme ihtimali de göz önünde bulundurularak sistem tasarımı yapılmalıdır (Doğancı, 2008).

### **2.3.5. Güvenlik**

Kurulacak sistemin dışarıdan müdahaleye, sızmalara, veri kayıplarına karşı güvenli olması gerekmektedir. Özellikle kurulacak sistem askeriye, sağlık gibi konuları ilgilendiriyorsa güvenlik çok daha büyük önem arz etmektedir. Kapalı alan konumlandırma sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda güvenlik faktörüne henüz endişeli bir konu olarak bakılmamaktadır (Al Nuaimi ve Kamel, 2011).

### **2.3.6. Kapsama Alanı**

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojilerin kapsama alanları farklılık göstermektedir. RFID, kızılötesi gibi teknolojilerin kapsama alanları bir oda ile sınırlı iken Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee gibi teknolojiler daha geniş kapsama alanlarına sahiptirler. Konumlandırma yapılacak ortama uygun teknoloji seçimi ile sistem kurulum maliyeti en uygun seviyede tutularak, konumlandırma sisteminden beklenen performans elde edilmelidir (Wiig, 2010).

## **2.4. Kapalı Alan Konumlandırma Sistem Bileşenleri**

Kapalı alan konumlandırma sistemleri temelde donanım ve yazılım olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Donanım kısmındaki en temel bileşenler sinyal verici cihaz ve gelen sinyali alan bir alıcı cihazdır. Bunlara ek olarak kullanılacak sinyal ölçüm tekniklerine göre saha tarama cihazı, sinyal yönlendiricisi, sinyal yükseltici, yönlü antenler, alıcıların senkronize edilmesi için özel saatler, verilerin kayıt edilmesi için veritabanı gibi ek donanımlara da ihtiyaç duyulabilmektedir. Yazılım bölümünde ise verici cihazdan sinyallerin gönderilmesi aşamasından başlayarak; sinyallerin alıcı cihaz tarafından elde edilmesi, matematiksel algoritmalar kullanılarak konumlandırılma yapılması ve tahmin algoritmaları kullanılarak sistem iyileştirilmesi aşamalarının tamamında yazılım kullanılmaktadır. Yüksek doğruluk gereksinimi olmayan alanlarda ekstra donanımlara ihtiyaç duyulmadan daha basit yöntemler ile konumlandırma gerçekleştirilebilirken, yüksek doğrulukta konumlandırma ihtiyacı olan yerlerde yönlü antenler, makine öğrenmesi gibi ekstra teknolojiler kullanılarak beklenen performansta konumlandırmalar gerçekleştirilmektedir.

## 2.5. Yol Kayıp Modelleri

Kapalı alan konumlandırma sistemi geliştirilirken, kullanıma elverişli olan sınırlı frekans bandını etkin bir şekilde kullanabilmek önemlidir. Ayrıca alıcı ve verici cihazlar arasındaki haberleşmeyi sağlayan elektromanyetik dalganın yol kaybını modelleyerek de konum tahmin doğruluğu artırılabilir (Bulucu ve Kavas, 2016).

Kapalı alanlarda sinyal yayılımları açık alanlara göre değişiklik göstermektedir. Konumlandırma sistemlerinde sıklıkla kullanılan RSSI değeri, verici cihazdan gönderilip, alıcı cihaz tarafından elde edilen sinyalin gücünün göstergesidir. Sinyallerin yayılma mesafeleri arttıkça sinyallerde zayıflama meydana gelmektedir. Sinyaldeki zayıflamalar teknik olarak yol kaybı olarak adlandırılmaktadır. Buna ek olarak sinyal gücünü zayıflatan ve değişken RSSI değerleri oluşmasına neden olan bazı etkenler aşağıda listelenmiştir.

- **Sinyal zayıflaması:** Sinyalin ulaşacağı mesafesinin uzak olmasına ek olarak sinyaller açık alanlardaki etkilerinden, kapalı alanlardaki duvarlar, kapılar gibi malzemelerden kaynaklı olarak zayıflamalara uğrayabilmektedir.
- **Yansıma:** Verici tarafından gönderilen sinyalin, alıcıya ulaşırken çevredeki nesnelere tarafından yönünün değiştirilmesidir. Yansıma olayı nesne boyutları sinyallerin dalga boylarından daha büyük olduğu durumlarda meydana gelir (Corbacho Salas, 2014).
- **Kırılma:** Sinyallerin yayıldığı ortamlara göre yoğunluğu farklı ortamlara geçerek yönünü ve hızını değiştirmeleridir.
- **Gürültü ve parazitler:** Vericiden çıkan sinyallerin ortamdaki etkenlerden dolayı bozulmasıdır. Bu gürültüler genellikle elektronik elemanlardan kaynaklanan ısı gürültüleri olmaktadır.
- **Atmosferik etkiler:** Genellikle dış ortamlardaki atmosfer etkilerinden (yağış, nem, basınç) dolayı orijinal sinyaldeki değişimlerdir.

Konumlandırma yapılacak kapalı alanın inşaat yapısında kullanılan çelik, betonarme malzemeler, bina içerisindeki dolap, mobilya vs. malzemeler yukarıda belirtilen etkilere neden olabilirler. Bu nedenle aynı mesafeden elde edilen sinyal değerleri kapalı alanların yapılarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Sinyallerin doğrusal olarak yayılmasını engelleyen bu değişiklikler doğru bir şekilde modellendiği takdirde bazı durumlarda bölgesel olarak konum bulmada avantaj olarak da kullanılabilir. Sonuç olarak daha kararlı bir sistem yapısı için kapalı alanın modellenmesi gerekebilir. Bu amaç için farklı modeller bulunmaktadır. Yol kayıp modellerinden serbest uzay yayılım modeli, logaritmik

yol kayıp modeli, ITU kapalı alan işaret modeli yöntemleri çalışma kapsamında incelenmiştir.

### 2.5.1. Serbest Uzay Yayılım Modeli

Serbest uzay yayılım modeli, alıcı ve verici arasında herhangi bir sinyal bozucu ve engelleyici etkinin olmadığı tamamen ideal ortamdaki sinyal zayıflamasıdır. Serbest uzayda yol kaybı dB cinsinden elde edilmektedir. Sinyalin yol kayıp hesaplaması denklem (2.5)'de gösterilmektedir.

$$P_L(dB) = 10\log(P_t/P_r) \quad (2.5)$$

$P_L$  yoldaki güç kaybı  $P_t$  verici cihazdan yayılan sinyal gücü,  $P_r$  alıcı cihaz tarafından alınan sinyal gücüdür. Verici cihazın gücü olan  $P_t$  cihaz üreticisi tarafından verilmektedir. Alıcı cihazın sinyal gücü  $P_r$  ise ideal şartlarda mesafenin ters karesiyle orantılı şekilde elde edilebilmektedir. Bu durum, düğüm noktasından belirli bir mesafeden sinyal ölçümü yapıldığında ve daha sonra iki kat uzaktan ölçüm yapıldığında sinyalin dört kat azaldığını ifade eder. Denklem (2.6)'da sinyalin alım gücü ile mesafe arasındaki bağlantı gösterilmektedir (Goldsmith, 2005).

$$P_r \propto d^{-2} \quad (2.6)$$

Ancak RSSI değerlerini etkileyen çevresel etkiler değerlendirildiğinde ideal durumlardaki gibi olmadığı için denklem (2.7)'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$P_r \propto d^{-x} \quad (2.7)$$

Burada  $x$  değeri referans olarak ayarlanan 1 metredeki değerdir. Sinyalin alıcı gücü ile mesafe arasındaki ilişki ise denklem (2.8)'de gösterilmektedir.

$$P_r(d)(dBm) = A - 10n\log_{10}(d) \quad (2.8)$$

$A$  1 metre mesafeden dBm cinsinden alınan güçtür,  $n$  yol kayıp katsayısı  $d$  ise mesafedir. Gerçek hayatta  $n$  ve  $A$ 'nın değerleri ancak deneysel olarak belirlenebilir. Aşağıda gösterilen denklem (2.9) ise RSSI değeri ile yol kayıp modeli oluşturmak için kullanılır.

$$RSSI = -(10n \log_{10}(d) + A) \quad (2.9)$$

RSSI değerleri bulunan ortamın parametrelerine göre değiştiği için  $A$  deneysel olarak ortama göre hesaplanmalıdır (Barralet vd., 2009).

### 2.5.2. Logaritmik Yol Kayıp Modeli

Radyo dalgalarının yol kaybı, kapalı ve açık alanlarda alıcı ile verici arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte logaritmik olarak artmaktadır. Yol kaybı alıcı ve verici arasındaki değişken mesafe ve yol kayıp katsayısı ( $n$ ) cinsinden ifade edilmektedir. Logaritmik yol kayıp modeli denklem (2.10)'da gösterilmektedir.

$$P_L(dB) = P_L(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (2.10)$$

$d$  alıcı ve verici arasındaki mesafe,  $n$  yol kayıp katsayısıdır ve sinyalin yayıldığı ortama bağlıdır,  $d_0$  daha önceden ölçümleri yapılmış bilinen referans uzaklıktır (Kaya, 2018; Elhesseawy ve Riad, 2018).

### 2.5.3. ITU Kapalı Alan İşaret Modeli

ITU kapalı alan işaret modeli, mesafeye ve ortam parametrelerine bağlı olarak alıcının işaret gücünü gösteren farklı ortamlarda (çiftlik, ev, boş alan) farklı çalışma frekansları ile parametreleri ayarlanabilen kapalı alan işaret modelidir. ITU kapalı alan işaret modeli kullanılarak elde edilen güç kayıp modeli denklem (2.11)'de gösterilmektedir.

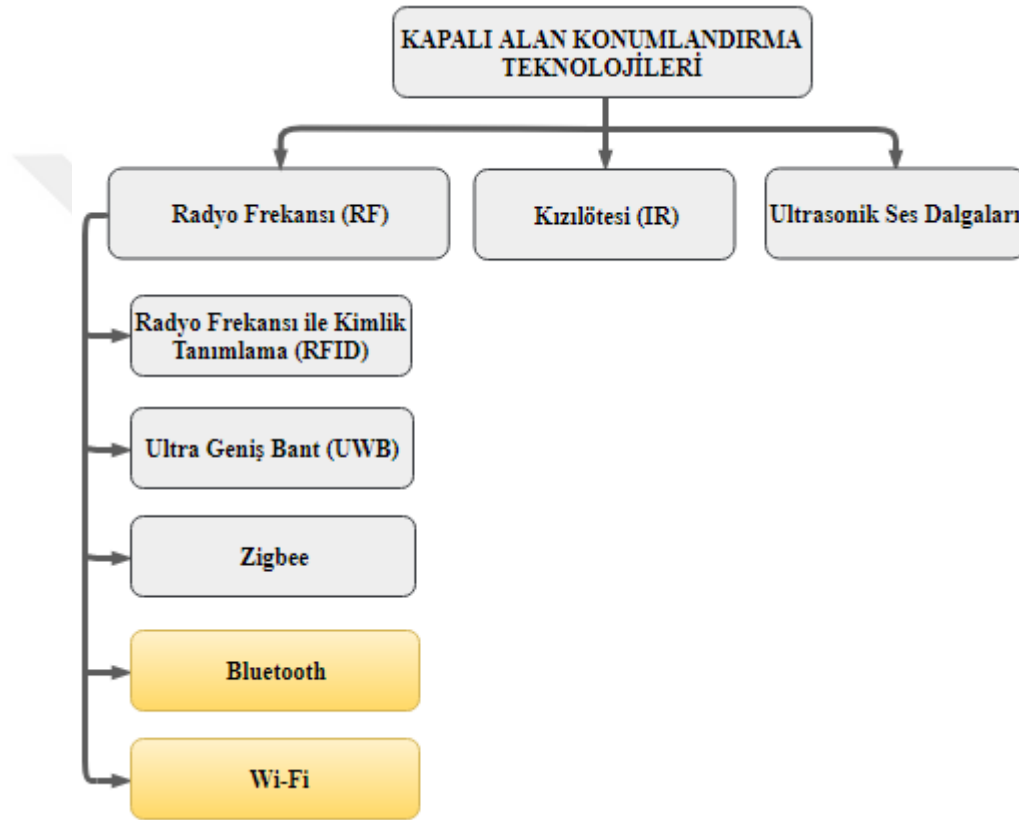
$$L = 20 \log_{10}(f) + N \log_{10}(d) + L_f(n) - 28dB \quad (2.11)$$

$L$  toplam güç kayıp sabiti,  $f$  çalışma frekansı,  $N$  mesafe güç kayıp sabiti,  $d$  mesafe  $L_f(n)$  kat kayıp etkisini ifade etmektedir (Türköral vd., 2016; Elhesseawy ve Riad, 2018).



## 2.6. Kapalı Alan Konumlandırma Teknolojileri

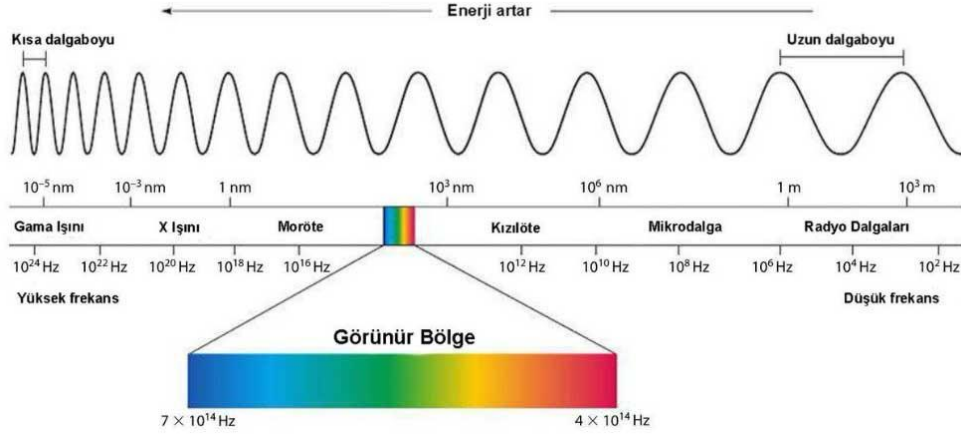
Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler genel olarak kablosuz haberleşme yöntemiyle veri iletimi sağlayan teknolojilerdir. Bu teknolojilerin yaydıkları sinyallerden faydalanarak alıcı cihaz ile sinyal yayan cihaz arasında mesafe tahmini yapılarak konumlandırma sistemleri tasarlanmaktadır. Şekil 2.5’de kapalı alan konumlandırma sistemlerinde sıklıkla kullanılan ve bu bölümde incelenecek olan teknolojiler gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler

Haberleşme teknolojilerini geçmeden önce radyo frekansı, kızılötesi gibi elektromanyetik dalgalar ile çalışan kablosuz teknolojilerin temelindeki elektromanyetik spektrumunu incelemek bu teknolojiler hakkında temel bilgiler verecektir. Elektromanyetik dalgalar elektromanyetik spektrum içerisinde gösterilen frekans bandlarında çalışan tüm cihazlarda kullanılmaktadır. Elektromanyetik dalga spektrumu, gama ışınlarından başlayarak, radyo dalgalarına doğru elektromanyetik dalgaların frekans değerlerine göre sınıflandırılarak gösterilmesidir. Gama ışınlarında atomun çekirdeği boyundaki

dalgaboyları, radyo dalgalarına ulaştığında bir bina büyüklüğünde olabilmektedir. Şekil 2.6’de elektromanyetik spektrum eğrisi gösterilmektedir (Saray, 2017).



Şekil 2.6. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik dalgaları diğer dalgalardan (su dalgası, ses dalgası vb.) ayıran özellik, diğer dalgalar tek boyutlu iken elektromanyetik dalgaların elektrik ve manyetik alandan oluşmasıdır. Değişen bir manyetik alan elektrik alan, değişen bir elektrik alan da manyetik alan meydana getirmektedir. Yani elektrik alanında meydana gelen bir salınım, manyetik alan salınımını da oluşturacaktır. Bu şekilde elektromanyetik dalgalar birbirini meydana getiren elektrik alan ve manyetik alan bileşenleriyle boşlukta devamlı olarak salınım halindedir. Elektromanyetik dalgaların bu sürekli salınım hareketleri kullanılarak bu dalgaları ile haberleşme teknolojileri geliştirilmiştir (Sarmaşık vd., 2012).

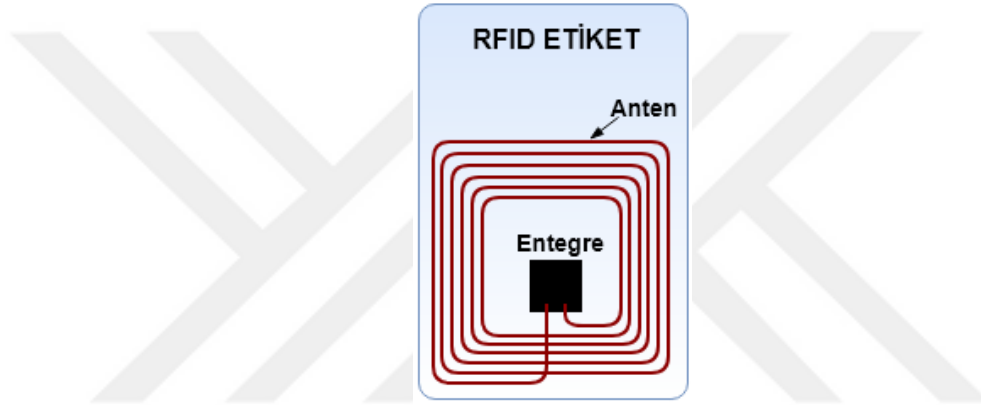
Elektromanyetik spektrumda insan gözü tarafından ışık olarak görülen dalgaların bulunduğu alan görünür bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgedeki dalga boyları 400nm ile 700 nm arasındadır. Görünür ışık bölgesi, elektromanyetik spektrumun en dar bölgesini oluşturmaktadır.

Radyo frekansı (RF) elektromanyetik spektrumda en büyük dalga boyuna sahiptirler. Radyo frekansı ile haberleşme sistemlerinde dalga boyu arttıkça haberleşme mesafesi de artmaktadır. Böylece radyo dalgaları kullanılarak uzak mesafelerden veri iletimi yapılabilmektedir. Radyo dalgaları kullanılarak vericiden gönderilen bilgiler, dalgalar üzerine kodlanır ve kablosuz olarak hava aracılığıyla iletilirler (Svalastog, 2007). RF haberleşmesi, görüş açısına ihtiyaç duymadan duvar, kapı gibi katı engellerden geçmesi onların en büyük avantajları arasındadır. Radyo frekansı dalgalarının da diğer dalgalar gibi girişimlere maruz kalmaları radyo dalgalarının olumsuz yönleridir.

Radyo frekansı ile kimlik tanıma (RFID), ultra geniş bant (UWB), zigbee, Bluetooth, Wi-Fi haberleşme sistemleri RF aracılığıyla haberleşme yapmaktadır. Dalgalar kablosuz bir sistemde alıcı ve verici arasında bilgi taşıyıcı görevi yaparlar.

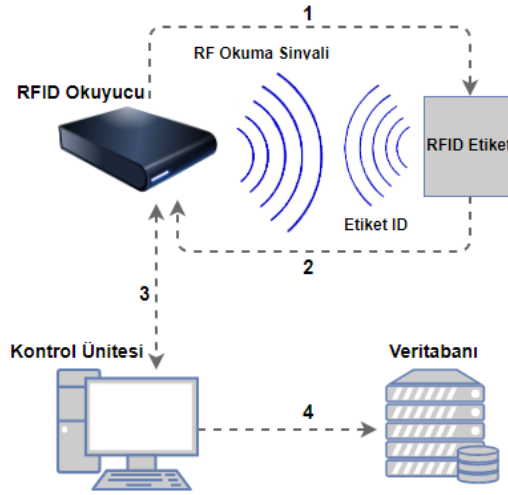
### 2.6.1. Radyo Frekansı ile Kimlik Tanıma (RFID)

RFID, içeriğinde barındırdığı entegre sayesinde ait olduğu nesne ile ilgili bilgileri hafızasında tutan ve bu entegreye bağlı olan bir anten aracılığıyla radyo frekansında haberleşme sağlayan teknolojidir (Maraşlı ve Çubuk, 2015). Şekil 2.7’de RFID etiket iç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.7. RFID etiket iç yapısı

RFID sistemleri okuyucu ve etiket olarak tanımlanan iki bölümden oluşmaktadır. RFID sisteminde haberleşme yapılabilmesi için ilk olarak okuyucu tarafından radyo frekansları yayılır, bu frekanslar alıcı kısmındaki entegreye ulaşır ve entegre içerisinde mevcut olan benzersiz kimlik numaralarını okuyucu karta gönderir bu şekilde haberleşme tamamlanmış olur. Bir RFID okuyucu içerisinde ise anten, güç kaynağı, işlemci ve verilerin bir sunucuya aktarılması için bir bağlantı arayüzü bulunmaktadır. RFID etiketleri içerisindeki entegreler genellikle 2 KB veri depolayabilirler (Alarifi vd., 2016). Şekil 2.8’de bir RFID sisteminin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.8. RFID sisteminin genel yapısı

RFID teknolojisini ile alakalı kayda değer ilk çalışma Henry Stockman tarafından 1948’de yayınlanmıştır. 1970’lerin başlarında, içerisinde pil bulundurmeyen, pasif etiketler içeren Checkpoint ve Sensormatic şirketleri hırsızlıkların önlenmesi adına ilk ticari RFID ürün satışa sunulmuştur. Bu RFID sistem 1 bit etiketler kullanmaktaydı ve üzerine takıldığı ürünün var olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmaktaydı bu ticari ürün RFID uygulamalarının temeli sayılmaktadır (Maraşlı ve Çubuk, 2015).

Düşük maliyetleri, bakım gerektirmemeleri, uzun ömürlü olduklarından dolayı esnek kullanım alanları vardır. Akaryakıt istasyonlarında, ilaç sektöründe, otoyollardaki OGS sistemlerinde, fabrikaların üretim takibinde, hastaların kimliklerinin tanımlanması için hastanelerde, güvenlikte, taşımacılıkta, otoparklarda RFID teknolojisi sıklıkla kullanılmaktadır.

Ticari alanda yaygınlaşmasında kullanım rahatlığı ve diğer teknolojilere göre avantajı ön plana çıkıyor. Örneğin Barkod sisteminde okuma işlemi tek tek yapılır ve okuma işleminin yapılabilmesi için ürünün barkodu ve okuyucu sistemin birbirini görmesi gerekmektedir RFID sisteminde ise alıcı verici mesafesi daha esnektir ve bir anda yüzlerce ürün kontrolü yapılabildiği için ticari ve lojistik alanında çokça tercih edilmektedir. Aktif ve Pasif olmak üzere iki çeşit RFID sistemi mevcuttur.

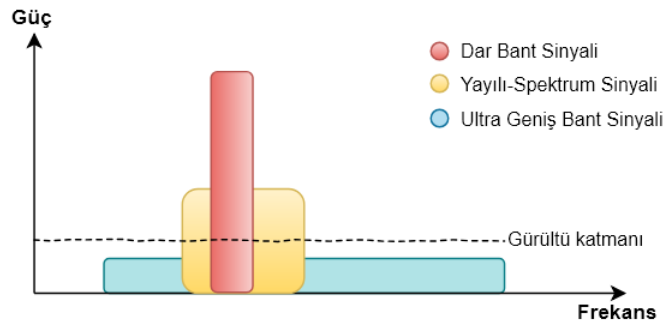
Pasif RFID sistemlerinde herhangi bir batarya yoktur. Bundan dolayı RFID okuyucu ile iletişime ilk geçmede pasiftirler (Maraşlı, 2016). Entegrenin veri aktarması için gereken enerjiyi RFID verici devresinden gelen sinyallerden alırlar. Bu sinyallerin indüklenmesi ile de kendi enerjisini oluştururlar. Kapalı alan konumlandırma sıklıkla kullanılan pasif

etiketli RFID sistemler, az yer kaplamaları, sağlamlıkları, ucuz olmaları, güvenilir olmaları kurulum ve bakım maliyetlerinin düşük olması ve dâhili bir bataryaya ihtiyaç duymadan kullanılabilir olması en büyük avantajlarıdır ve bu avantajlardan dolayı kullanım alanları oldukça yaygındır. Pasif etiketli RFID sistemlerinin en büyük dezavantajları ise algılama mesafelerinin 2 metre ile sınırlı olmalarıdır (Mautz, 2012).

Aktif RFID'ler sisteme enerji veren bir bataryaya sahiptirler. Bu etiketler okuyucu tarafından gelen bir enerjiye ihtiyaç duymazlar. Pasif etiketlere göre daha geniş kapsama alanlarına sahip olan aktif etiketlerin haberleşme mesafesi 30 metreye kadar çıkmaktadır. Dâhili pil kullandıklarından dolayı, pasif alıcılara göre daha pahalıdır (Mautz, 2012). RFID tabanlı konumlandırma sistemlerinde, konumlandırma yöntemi olarak yakınlık (proximity) yöntemi en sık kullanılan yöntemdir. RFID tabanlı konumlandırma sisteminde kesin konumdan ziyade varlık sorgulaması yapılır (Alarifi vd., 2016).

### 2.6.2. Ultra Geniş Bant (UWB)

Ultra geniş bant (UWB), düşük güç tüketimi ile kısa mesafelerde yüksek veri iletimini karşılayan yüksek bant genişliğine sahip bir iletişim teknolojisidir. Düşük enerji spektral yoğunluklarından dolayı diğer haberleşme sistemleri için ayrılmış olan frekans aralıklarını, diğer sistemler ile hiçbir karışma olmadan veya en az karışmayla kullanabilen UWB, diğer radyo frekansı cihazları tarafından da beyaz gürültü olarak algılanmaktadır (Çolak vd., 2007). 3.1 GHz ile 10.6 GHz arasındaki frekans bandını kullanan bu sistemler haberleşme yaparken birden fazla frekans kanalını kullanarak, çok kısa darbeler ile düşük güçlü radyo sinyalleri yayırlar. Şekil 2.9 dar bant, geniş bant ve ultra geniş bant sinyallerini gösterilmektedir.



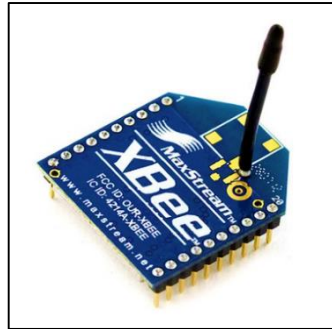
Şekil 2.9. Dar bant, geniş bant ve ultra geniş bant sinyalleri

Bluetooth, kızılötesi gibi konumlandırma sistemlerine göre daha uzak mesafelerden haberleşme yapabilen UWB sistemleri Wi-Fi haberleşme mesafesine ulaşamamakla birlikte, daha kısa mesafelerde, Wi-Fi den daha az enerji tüketerek daha hızlı veri iletimi yaparlar. Çoklu yol parazitlerini azaltan UWB alıcı vericileri, verileri daha yüksek hızlarda ve daha az hata ile iletirler (Küçük, 2017; Bonafini vd., 2018). Bu özelliği ile diğer haberleşme sistemlerine göre daha hassas konum tespiti yapılabilir.

UWB sinyalleri sinyal yayılımını engelleyen duvar gibi yapılardan geçerken sinyal kayıpları çok az olduğundan dolayı bu sistemler ile tasarlanan kapalı alan konumlandırma sistemi ile hassas şekilde konum tespiti yapılabilmektedir. Üstün özelliklerinin yanı sıra, iletim mesafesi arttıkça veri hızında yavaşlama olan (Özgör, 2013). UWB sistemlerinde, sinyallerinin yayılması yöne ve frekansa bağlı olabilmektedir. Ayrıca UWB sinyal darbesinin bozulması açıya bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Frekanstaki sinyal bozulmaları iletilen darbe şekline ve sinyale etki edebilir. Bundan dolayı uygulanan sinyalin tespiti de zorlaşır. Bu nedenle UWB sisteminin anten tasarımları diğer teknolojilere göre daha zordur (Çolak vd., 2007).

### 2.6.3. Zigbee

Zigbee, küçük veri paketlerini kısa mesafelere kablosuz olarak göndermek için kullanılan, kolay kurulumu, düşük güç tüketimini ve düşük maliyeti ile ön plana çıkan bir haberleşme sistemidir. 868 MHz / 915 MHz / 2.4 GHz bantlarında haberleşme yapan zigbee sistemleri IEEE 802.15.4 düşük hızlı kişisel alan ağ (LR-WPAN) standardını kullanırlar (Singh vd., 2012). Görüntü ve ses aktarımı gibi yüksek veri aktarımının ihtiyaç duyulmadığı, karmaşık olmayan, basit veri haberleşmesine ihtiyaç duyulan yerlerde sıklıkla kullanılan haberleşme sistemleridir. Şekil 2.10'da örnek bir zigbee haberleşme cihazı gösterilmektedir.



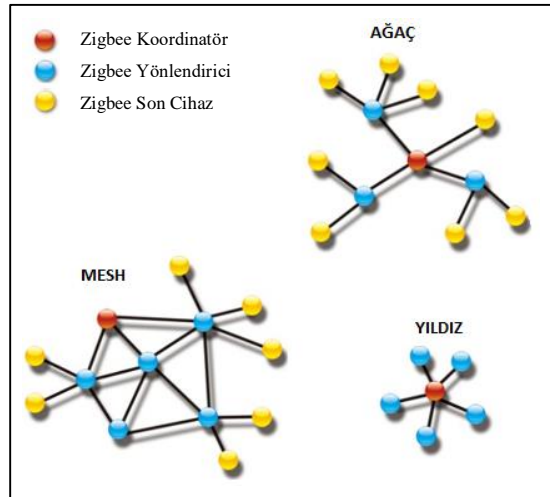
Şekil 2.10. Örnek bir zigbee haberleşme cihazı

Zigbee haberleşme sistemlerinde noktadan noktaya, bir noktadan çok noktaya, birden çok noktadan tek noktaya veri aktarımı yapılabilmektedir. İhtiyaca göre ağdaki düğüm sayısının artırılabilirdiği zigbee sistemleri ile mesh ağlar da kurulabilmektedir. Mesh ağlar sayesinde verinin aktarımında gecikme olmakla birlikte aktarılacak veri oldukça uzun mesafelere ulaşmaktadır. Noktadan noktaya haberleşme yaparken bir alıcı ve bir vericiden oluşan zigbee sistemi, bir noktadan birden çok noktaya haberleşme yapılacağı ve mesh olarak çalışacağı durumlarda biraz karmaşık olmaktadır. Mesh sistemlerinin haberleşmesinde koordinatör, yönlendirici, son cihaz olmak üzere 3 farklı görevi yapan cihaz kullanılmaktadır.

Zigbee koordinatör haberleşme ağında bir tane bulunur ve ağın başlatılmasından ve yönetilmesinden sorumludur (Başçifci, 2011). İki düğüm arasında en kısa mesafede veri iletimini sağlamak, ağın verilerini depolamak koordinatörün görevidir.

Zigbee yönlendirici koordinatör ve son cihazların doğrudan bağlantısının olmadığı yerlerde bu cihazlar arasındaki veri alışverişini sağlayan cihazlardır. Bu cihazlar uyku modunda kullanılamazlar.

Zigbee son cihaz kendi aralarında haberleşme yapamayan sadece koordinatör ve yönlendirici ile konuşabilen cihazlardır. Koordinatör ve yönlendirici cihaza göre daha basit tasarımı olan son cihazlar daha ucuz, daha az enerji tüketen, veri iletimi olmadığı durumlarda uyku modunda kullanılabilen cihazlardır. Şekil 2.11’de zigbee koordinatör, yönlendirici ve son cihazın ağ içerisindeki dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Zigbee ağ topolojileri

Düşük güç tüketimi, düşük maliyet, kurulumu kolay ve esnek yapıdaki zigbee haberleşme sistemlerinin genişletilmesi de kolaydır. Bluetooth haberleşmeye göre daha yavaş veri iletimi yapan zigbee, Bluetooth teknolojisine oranla daha az güç tüketimi, daha uzak mesafelere veri iletimi ile ön plana çıkmaktadır.

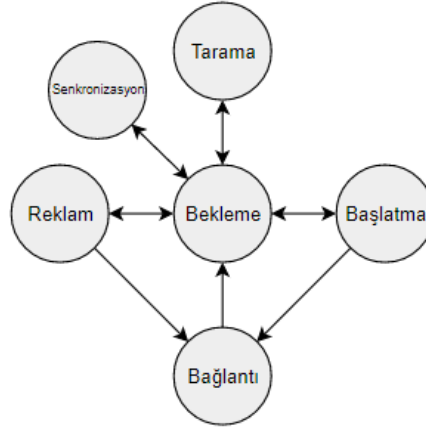
Zigbee ile kapalı alan konumlandırma sistemi gerçekleştirilirken, RSSI verileri kullanılarak konumlandırma yapılır. Sinyal kısıtlayıcı engellerin bulunmadığı ortamlarda zigbee cihazları arasındaki haberleşme mesafesi 100 metreye ulaşmaktadır (Başçifci, 2011). Lisanssız 2.4 GHz bandındaki değer cihazlardan kaynaklanan girişimlerin etkisiyle sinyal kalitesindeki düşüşler (Farid vd., 2013), kapalı alanlarda 20-30 metre olan sinyal iletim mesafeleri, zigbee haberleşme sistemlerinin kapalı alan konumlandırmada kullanılmasını kısıtlayan etkenlerdir.

#### **2.6.4. Bluetooth**

Bluetooth, kısa mesafelerde RF ile haberleşme sağlayan, IEEE 802.11.5 standartlarını kullanan bir haberleşme protokolüdür. Bluetooth teknolojisi lisanssız olarak kullanılan 2.4 GHz Endüstriyel, Bilimsel, Sağlık (ISM) bandında çalışmaktadır. 1994 yılında tasarlanan Bluetooth 'un geliştirilmesi SIG kuruluşu tarafından sağlanmaktadır.

Düşük güç tüketimine sahip ve fiyatları oldukça düşük olan Bluetooth cihazları, 2.4 GHz ile 2.48 GHz arasındaki 80 adet frekans bandını kullanabilmektedir. İlk Bluetooth haberleşme protokolü Bluetooth temel hız / geliştirilmiş veri hızı (BR/EDR) sistemi Bluetooth Classic olarak tanımlanmaktadır. 2010 yılında yeni bir teknoloji olan Bluetooth düşük enerji (BLE) kullanıma sunulmuştur. Özellikle nesnelerin interneti (IoT) teknolojisindeki gelişmelere odaklanan BLE teknolojisi düşük güç tüketimi ile küçük veri paketlerini uzak mesafelere hızlı şekilde iletmek için tasarlanmıştır. BLE teknolojisi, Bluetooth Classic teknolojisinin bir sürümü değil yeni bir teknolojidir. İki teknoloji birbirine bağlanarak veri transferi yapamazlar. Yüksek veri paketleri içeren uygulamalar için uygun olmayan BLE sistemleri, yeni nesil birçok akıllı telefon tarafından kullanılmaktadır. BLE teknolojisi verileri işleyen merkezi bir cihaz ve verilerin alındığı çevresel cihaz olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. BLE teknolojisinin çalışma modları Şekil 2.13 göstermektedir.





**Şekil 2.12.** BLE link katmanı

- **Bekleme:** Veri alışverişini olmadığı durumdur
- **Tarama:** Reklam cihazlarından gelen reklam paketlerini dinlerler.
- **Reklam:** BLE cihazı reklam verendir.
- **Başlatma:** Reklam veren cihaz ile bağlantı kurulur.
- **Bağlantı:** BLE master ise slave ile slave ise master ile bağlantı kurulur.
- **Senkronizasyon:** Bekleme durumundan girilebilir. Belirli cihazdan gelen kanal paketlerini dinler.

BLE sisteminde haberleşme 40 adet 2 MHz kanal üzerinde üzerinden yapılmaktadır. Veri aktarımı için 37 kanal kullanılırken 3 kanal reklam kanalı olarak kullanılmaktadır (Skočir vd., 2018). Bluetooth aracılığıyla gönderilen veriler bu 37 kanal üzerinden Frekans atlamalı yayılmış spektrum (FHSS) yöntemi ile saniyede 1600 kez kanallar arasında atlama yapılarak gönderilir. Böylece gönderilen veriler hem daha hızlı hem de daha güvenli bir şekilde iletilir. Bu sistem ile cihazlar arasında sürekli bağlantı kurmak yerine ihtiyaç anında bağlantı kurulması ve ihtiyaç bittiğinde bağlantının koparılması sağlanarak güç tasarrufu sağlanır. Bluetooth BR/EDR sisteminde ise veriler yine FHSS yöntemiyle 79 kanal üzerinden gönderilir (Taşkın, 2017). Bluetooth Tablo 2.1’de görüleceği üzere çekim mesafelerine göre göre 3 gruba ayrılmıştır.

**Tablo 2.1.** Bluetooth sınıflandırması

Sınıf	Mesafe
Sınıf 1	100 metre
Sınıf 2	10 metre
Sınıf 3	5 metre

Cihazların kapsama alanları arttıkça harcanan güç de artmaktadır. Sınıf 1'e ait bir cihaz daha uzak mesafelere daha fazla güç harcayarak veri iletirken, Sınıf 3'e ait olan bir cihaz çok daha düşük güç tüketerek kısa mesafelere veri iletimi yapmaktadır. Mevcut cihazların çoğu Sınıf 2 kategorisinde üretilmektedir. Bluetooth cihazlarının bağlantı kurma işleminde; bir cihaz çevredeki bulunabilir olarak ayarlanan Bluetooth cihazlarını sorgulamaya başlar, çekim mesafesindeki cihazların bulunmasıyla sorgulama işlemi tamamlanır. Görünür olarak ayarlanan ve tarama yapan cihaz tarafından bulunan Bluetooth cihaz, tarama yapan ana cihaza, kendi adını ve ID adresini gönderir ve eşleşme işlemi tamamlanmış olur. Eşleşme esnasında ortak bir parola oluşturulur ve sistem güvenliği sağlanır (Bekkelien, 2012).

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde sıklıkla kullanılan Bluetooth teknolojisi yakın zamanlarda Bluetooth Mesh, Bluetooth 5.1 teknolojileri ile nesnelerin interneti, kapalı alan konumlandırma, gerçek zamanlı konumlandırma sistemlerine odaklanmış teknolojiler üretmektedir. BLE teknolojisi üzerine kurulan ve 2017 yılında kullanıma sunulan Bluetooth mesh ile birçok Bluetooth kendi arasında ağ kurabilmekte ve ihtiyaç halinde ağın genişlemesine olanak tanımaktadır.

2019 yılının ilk çeyreğinde duyurulan Bluetooth 5.1 teknolojisi kapalı alan konumlandırma için sinyal ölçümüne ek olarak geliş açısı (AoA) ve kalkış açısı (AoD) teknolojilerini kullanarak sinyalin geliş yönünü de tespit ederek santimetre bazında hata oranı ile yüksek hassasiyette konumlandırma yapmak için tasarlanmıştır. Sinyalin geliş açısını bulmak için kullandığı AoA yönteminde verici cihaz üzerinde tek anten alıcı cihaz üzerinde birden çok anten bulunurken, AoD yönteminde verici cihaz üzerinde birden fazla anten alıcı cihaz üzerinde tek anten bulundurmaktadır.

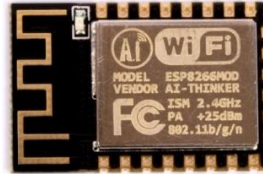
Bluetooth 5.1 teknolojisi kapalı alan konumlandırma ve gerçek zamanlı yön belirleme sistemleri üzerine odaklanmış bir teknoloji olarak santimetre bazında hata oranları ile konumlandırma sistemleri için standart olma niteliği taşımaktadır.

### 2.6.5. Wi-Fi

Kişisel bilgisayarlar ilk olarak 1970’li yılların sonunda ortaya çıkmıştır. 1980’lerde dizüstü bilgisayarlar ve 1990’larda PDA’ların yaygınlaşması sonucu bu cihazların dışarıda kullanım ihtiyacı ortaya çıktı (Ethw, 2019). Ofislerde ve evlerde internet yaygın şekilde kullanılabilirdi, taşınabilir cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte bu cihazların internete bağlanma ihtiyacı da doğması kablosuz internet fikrini ortaya çıkarmıştır.

IEEE tarafından 1980 yılında IEEE 802 komitesi oluşturuldu ve bu komite altında birçok çalışma grupları oluşturuldu (Kim ve Lee, 2015). Çalışmalar sonucunda kablosuz yerel alan ağı (WLAN) haberleşme protokolü geliştirildi. WLAN sınırlı bir alanda, çift yönlü olarak 2.4 GHz ve 5 GHz radyo frekans bantlarını kullanarak geniş bantta veri iletimi sağlayan, haberleşme protokolüdür (Bulucu ve Kavas, 2016).

IEEE 802.11 komitesi tarafından geliştirilen WLAN sistemleri, yerel alan ağı (LAN) altyapısından faydalanarak kullanıcılara LAN aracılığıyla gelen interneti kablosuz olarak kullanmaları için erişim noktası (AP) kullanılır. AP’ler vasıtasıyla, cihazlar kablosuz olarak internete bağlanabilirler. Ayrıca erişim noktaları aracılığıyla internet olmaksızın da cihazlar kablosuz bir ağ oluşturup kendi aralarında veri aktarımı yapabilirler. WLAN / Wi-Fi teknolojisi lisanssız olarak kullanılan ISM bandında haberleşme yapmaktadırlar. Aşağıda 2.4 GHz bandında haberleşme yapan ESP8266 Wi-Fi modülü gösterilmektedir.



Şekil 2.13. ESP8266 Wi-Fi modülü

IEEE 802.11 çalışma grubu tarafından standart belirleme işlemleri yapılırken, ticari olarak üretilen donanımların sertifikasyon işlemleri Wi-Fi Alliance tarafından yapılmaktadır. Kablosuz erişim noktası (AP) üreten şirketler, üretilen ürünlerin sertifikasyon işlemleri için Wi-Fi Alliance grubuna belirli miktarda ücret karşılığında üye olurlar ve üye şirketlerin ürettikleri Wi-Fi cihazının testleri Wi-Fi Alliance tarafından yapılır. 1999 yılında 6 şirket tarafından kurulan Wi-Fi Alliance’a 2019 itibariyle dünya çapında 800’ün üzerinde şirket üyedir toplamda 45000 üzerinde Wi-Fi sertifikası vermişlerdir (Almatrook, 2016; Torres, 2019). Wi-Fi Alliance, üretilen Wi-Fi cihazlarının performans, kalite, güvenlik, uygunluk, birlikte çalışabilirlik etmenlerini test etmektedir. Böylece farklı firmalar

tarafından üretilen aynı frekans bandında çalışan diğer cihazlar ile sorunsuzca çalışabileceği anlamına gelmektedir. Wi-Fi ürünleri 802.11 standartlarındaki tüm alt standartlar ile uyumlu olarak çalışabilmektedir. Sertifikalı ürünlerde markadan bağımsız olarak Wi-Fi performansında ve birlikte çalışabilirlikte hiçbir sorun yaşanmazken ek olarak kablosuz ağ sisteminin altyapı kurulumunu kolaylaştırmakta hem firmalar hem de kullanıcılar farklı standartlarda üretilen cihazları sorun yaşamadan birbiriyle haberleşirebilmektedir.

Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisinin de her geçen gün endüstride yaygınlaşmasıyla birlikte Wi-Fi kullanan cihaz sayısında yüksek miktarda artış olmuştur. 2018 itibariyle 13 milyar cihaz internete bağlanmaktadır (Torres, 2019). Wi-Fi kullanan cihaz sayısındaki artışa bağlı olarak iş merkezleri, üniversite kampüsleri, tren istasyonları gibi kalabalık ortamlarda Wi-Fi kullanımında önemli miktarda artış olmakta ve bu durum mevcut Wi-Fi cihazlarının kapasitesini zorlayabilmektedir. Daha fazla cihazın internete bağlanma isteği ve bu bağlantıya bağlı olarak da Wi-Fi ağında tıkanmalar ve girişimler meydana gelebilmektedir. Bu sorunlar ve internet bağlantısında yaşanan performans kayıplarını ortadan kaldırarak verimliliği artırmak, ayrıca kapsama alanını genişletmek için Wi-Fi 6 (802.11ax) teknolojisi geliştirilmiştir. Şekil 2.14’de nesnelerin interneti genel yapısı gösterilmektedir (Arslan ve Kırbaş, 2016).



Şekil 2.14. Nesnelerin interneti genel yapısı

Wi-Fi, frekans atlamalı radyo ve yayılı spektrumlu radyo gibi haberleşme teknikleri kullanarak veri iletimi yaparlar. Mikrodalga gibi cihazlar ile aynı frekans bandını kullandıklarından dolayı kanallar arasında atlama yaparak girişim en az seviyede tutulur. Bluetooth gibi 2.4 GHz bandında haberleşme yapan diğer teknolojiler de birlikte düşünüldüğünde 2.4 GHz frekansta aşırı yoğunluktan dolayı yine de girişimler olmakta,

buna bağı olarak da veri iletiminde yavaşlamalar meydana gelebilmektedir. Daha az girişim ve daha yüksek hız için 5 GHz bandında haberleşme her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Buna ek olarak birçok firma yeni üretilen Wi-Fi cihazlarını hem 2.4 GHz hem de 5 GHz bandında haberleşme yapacak şekilde üretmektedir. Daha hızlı veri transferi için kısa mesafelerde 5 GHz bandı kullanılırken, daha geniş alanlarda ve daha az veri transferi için 2.4 GHz bandı kullanılmaktadır.

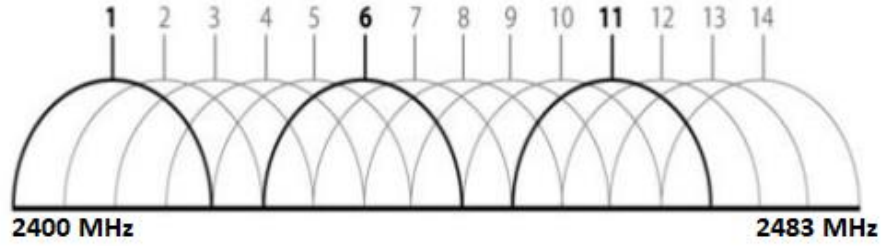
Wi-Fi teknolojisinin daha kolay tanıyabilmesi ve teknolojiler arasındaki farkları daha kolay ayırt edebilmesi için 2018 itibarıyla Wi-Fi 4, Wi-Fi 5, Wi-Fi 6 şeklinde endüstri isimlendirmeleri tanıtılmıştır. Önceki sürümlerde kullanılan kablosuz bağlantı korumalı erişim WPA ve WPA2'ye ek olarak daha güvenli bağlantı için WPA3 güvenlik çalışmalarına devam edilmektedir. Bu adlandırma yardımıyla bir kullanıcı Wi-Fi bağlantısı kurarken, bağlanacağı cihazın hangi Wi-Fi standardında olduğunu daha kolay bir şekilde ayırt edebilecektir.

1997 yılında kullanılmaya başlanan IEEE 802.11 ilk kablosuz ağ standardıdır. Bu standart ile 2.4 GHz bandında saniyede 2 Mbps hızına kadar veri aktarımı yapılabilmektedir ve FHSS tekniği ile haberleşme yapılmaktadır. 802.11 teknolojisi sonrasında, 802.11a ve 802.11b olarak farklı frekanslarda çalışan standartlar ile gelişimi devam etmiştir.

IEEE 802.11a standardı, 1999 yılında kullanılmaya başlanmıştır. 5 GHz bandında 54 Mbps'a kadar veri aktarımı yapabilmektedir. 2.4 GHz bandında mikrodalga, Bluetooth gibi cihazların sinyal girişimlerinden kaynaklı yavaşlamalar 5 GHz bandında yaşanmamaktadır. Daha az kapsama alanı olan 5 GHz bandı, 2.4 GHz haberleşmeye göre daha hızlıdır. 5 GHz teknolojisi, dikgen frekans bölme (OFDM) tekniği ile veri transferi yaparlar (Kim ve Lee, 2015). OFDM tekniği, frekans spektrumunu alt kanallara böler ve paralel iletişim yaparak veri iletimi yüksek miktarda artırır. OFDM ile aynı ağıdaki birden fazla kullanıcıya hızlı bir şekilde ve daha az girişim olacak şekilde aynı anda veri iletilmesine sağlanır (Akkaya ve Taşpınar, 2011). OFDM tekniğini kullanarak haberleşme yapan cihazların maliyetleri yüksek olduğundan ve kapsama alanı 2.4 GHz daha kısıtlı olduğundan dolayı daha az tercih edilmektedir.

IEEE 802.11b 1999 yılında kullanıma sunuldu (Berg, 2011). 2.4 GHz bandında çalışır ve saniyede 11 Mbps veri aktarımı yapılabilmektedir. IEEE 802.11b standardı CCK tekniği ile haberleşme yapar. 802.11a ile aynı yıl kullanıma sunulmasına rağmen sunduğu avantajlardan dolayı ofislerde ve evlerde 802.11b standardında haberleşme yapan cihazlar hızlı şekilde yaygınlaşmış özellikle dizüstü bilgisayarların 802.11b uyumlu cihazlar kullanmasıyla geniş şekilde kabul edilen ilk kablosuz ağ standardı olmuştur.

2.4 GHz haberleşme frekansı 2400-2483 MHz aralığını kullanmakla birlikte bir cihaz sadece 20 MHz bant genişliğini kullanabilmektedir. Wi-Fi'ye bağlanan cihazın çalıştığı frekans kanal numarası ile belirtilir. 5 MHz boşluklarla 14 adet kanal oluşturulmuş ve girişim olmayacak şekilde, aynı anda Şekil 2.15'da gösterildiği gibi (1,6 ve 11 gibi) kullanılabilir (Soy vd., 2013).



**Şekil 2.15.** 2.4 GHz frekans spektrumu

IEEE 802.11g, 2003 yılında kullanıma sunulmuştur. 2.4 GHz bandında daha yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyulması sonucu geliştirilen bir standarttır. Temelde 802.11b protokolünün uzantısıdır. 2.4 GHz bandında 54 Mbps hıza kadar veri iletimi yapabilmektedir. Geriye dönük olarak 802.11b standardı ile sorunsuz şekilde çalışmaktadır. Kapsama alanı 802.11b protokolü ile aynıdır fakat veri iletim hızında önemli miktarda artış olmuştur.

IEEE 802.11n / Wi-Fi 4 2009 yılında kullanıma sunulmuştur. Wi-Fi kullanıcı sayısının artması, multimedya içeriklerinin artması, erişilebilirlik ve kapsama alanının artması talepleri sonucu daha hızlı veri aktarımı için oluşturulmuş bir standarttır. 2.4 GHz ve 5 GHz bandında 540 Mbps hıza kadar veri iletimi yapabilmektedir. Çoklu giriş, çoklu çıkış (MIMO) teknolojisi kullanarak transfer edilecek verileri parçalara böler ve veriler çoklu antenler aracılığıyla gönderilir (Berg, 2011). Alıcı tarafında ise gelen veriler birden fazla anten aracılığıyla alınır ve bu veriler birleştirilir bu şekilde daha hızlı veri aktarımı gerçekleştirir. Anten sayısının fazla olması veri hızındaki artışa ek olarak sinyal gücünü de artırır. Artan sinyal gücüne oranla haberleşme mesafesi de genişlemektedir. 802.11n standardında üretilen cihazlar Wi-Fi 4 cihazları olarak tanımlanmaktadır. MIMO teknolojisini kullanabilmek için verici ve alıcı bu teknolojiyi desteklemesi gerekmektedir.

IEEE 802.11ac / Wi-Fi 5 2014 yılında kullanıma sunulmuştur. 5 GHz bandında çalışmaktadır. 802.11ac teknolojisine kadar kullanılan SU-MIMO teknolojisi yerine yeni bir teknoloji olan çok kullanıcılı-çoklu giriş, çoklu çıkış (MU-MIMO) tekniğini kullanarak 6,9

Gb/s hızında veri iletimi yaparlar (Bellalta vd., 2012). 802.11ac standardında üretilen cihazlar Wi-Fi 5 cihazları olarak adlandırılmaktadır.

IEEE 802.11ax / Wi-Fi 6 çalışmaların henüz yeni tamamlandığı Wi-Fi standardıdır. Birçok firma 802.11ax standardında çalışan ürünlerini piyasaya sürmüş durumdadır. 2.4 GHz ve 5 GHz bandında bağlantıya olanak sağlayacak olan bu teknoloji Wi-Fi 6 olarak bilinmektedir. Wi-Fi 5 mevcut durumlar için yeterli gelmekle birlikte, artan sayıda Wi-Fi cihazının her geçen gün internete bağlanma ihtiyacı ve nesnelerin interneti (IoT) devrimi ile internete bağlanacak cihazların muazzam artış beklentisinden dolayı yeni bir Wi-Fi arayışına girilmiştir. Wi-Fi 6 ile çok daha fazla cihazın internete bağlanma talebini karşılanmasının yanında cihazlara daha etkili cevap verebilecektir. 160 MHz bant genişliği kullanan Wi-Fi 6 teknolojisi veri transferi için 8x8 DL/UL MU-MIMO teknolojisini kullanmaktadır. Şekil 2.16'de Wi-Fi 6 standardında çalışan örnek bir Wi-Fi cihazı gösterilmektedir. Tablo 2.2 de IEEE 802.11 protokollerinin özellikleri gösterilmektedir.



**Şekil 2.16.** Wi-Fi 6 standardında örnek bir Wi-Fi cihazı

**Tablo 2.2.** IEEE 802.11 protokollerinin karşılaştırılması

Protokol	Tarih	Çalışma Frekansı	Veri Transfer Hızı (Max.)	Modülasyon Tekniği	Anten Teknolojisi	Kapalı Alan Kapsama (metre)	Açık Alan Kapsama (metre)
802.11	1997	2.4 GHz	2 Mbps	DSSS, FHSS	N/A	20	100
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbps	DSSS, CCK	N/A	35	140
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps	OFDM	N/A	35	120
802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbps	DSSS, OFDM	N/A	38	140
802.11n	2009	2.4 GHz / 5 GHz	540 Mbps	OFDM	SU-MIMO	70	250
802.11ac	2013	5 GHz	6.9 Gbps	OFDM	MU-MIMO	70	250
802.11ax	2019	2.4 GHz / 5 GHz	9.6 Gbps	OFDMA	MU-MIMO	...	...

Wi-Fi teknolojisi akıllı telefon, dizüstü bilgisayar, tablet gibi cihazlarda temel bileşenlerden birisi olarak bulunduğu için oldukça fazla ürün çeşitliliği ve yaygın kullanım alanları vardır. Wi-Fi tabanlı bir konumlandırma sisteminin kurulumu kolaylığı ve konumlandırma gerçekleştirilecek alandaki mevcut Wi-Fi altyapısını kullanarak, kurulum maliyetini azaltması Wi-Fi sisteminin önemli bir avantajıdır. 2016 yılında duyurulan yeni Wi-Fi haberleşme standardı Wi-Fi HaLow'un, düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanına sahip olması bu teknolojinin kapalı alan konumlandırma sistemlerinde tercih edilebileceğini göstermektedir.

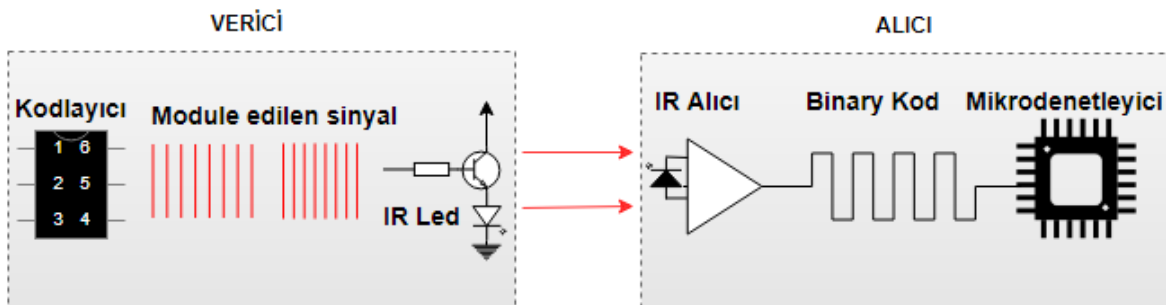
Wi-Fi tabanlı konumlandırma sistemleri RSSI tekniği ile sinyal ölçümü yapmaktadırlar. Erişim noktalarından yayılan RSSI değerleri kolaylıkla elde edilmesine karşın ortam parametrelerine karşı hassas bir yapıda oldukları için konumlandırmanın yapılacağı alandaki değişken parametreler konumlandırma doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca konumlandırma sistemlerinde kullanılan cihazların enerji tüketimi oldukça önemlidir. Wi-Fi cihazlarının yüksek enerji tüketimi ve değişken RSSI değerleri kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılmalarının önündeki büyük etkenlerdir.



### 2.6.6. Kızılötesi

Kızılötesi ışıkları (IR) ilk kez Sir Fredrick William Herschel tarafından 1800 yılında keşfedilmiştir (Rogalski, 2012). Görünür ışık aralığı dışında kaldığı için insan gözü tarafından görülemeyen kızılötesi ışıklar çevremizde gördüğümüz ışıklara benzeyen bir ışık türüdür. Ancak kızılötesi ışık ile görünür ışık arasında dalga genişliği ve frekans farkı vardır. Kızılötesi haberleşme teknolojilerinin temel bileşenleri; kızılötesi alıcı ve verici devresidir. Kızılötesi vericilerde optik kaynaklar kullanılır. Bu optik kaynaklar sinyal yayan küçük, düşük maliyetli, az güç tüketen ışık yayan diyotlardır (Svalastog, 2007). Kızılötesi vericisi görüntü itibariyle renkli bir LED gibidir LED'den farkı ise görünür ışık üretmek yerine kızılötesi ışık üretir. Kızılötesi alıcısı ise verici tarafından gelen ışığı elektrik sinyallerine dönüştüren ön yükselticiye sahip bir foto diyottur.

Televizyon, yazıcı, cep telefonu, PDA vb. kablolu veya kablosuz birçok cihaz içerisinde kızılötesi teknolojisi bulunduğu için dolayı kızılötesi teknolojisi kullanılarak kapalı alan konumlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Kızılötesi tabanlı bir konumlandırma sisteminde güçlü ışık kaynaklarından etkilenmeyecek şekilde alıcı ve verici arasında görüş hattı (LoS) olması gerekmektedir. Floresan ışık ve güneş ışığından kaynaklı girişimler kızılötesi haberleşmeyi olumsuz etkilemektedir. Kızılötesi haberleşme sistemlerinde alıcı ve verici arasında herhangi bir katı engelin bulunması da veri alışverişini sınırlandıracaktır. Bu nedenle bu haberleşmenin kapsama alanı bir oda ile sınırlıdır (Gu vd., 2009; Farid vd., 2013). Ek olarak ısı üreten cihazlar da kızılötesi ışık yayarlar. Bu nesnelere tarafından yayılan kızılötesi ışıkların haberleşme amaçlı kullanılacak sisteme herhangi bir olumsuz etkisi olmaması için kızılötesi haberleşme sistemlerinde veri aktarımı için sinyal modülasyon tekniği kullanılır. Şekil 2.17'de kızılötesi alıcı verici sisteminin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Kızılötesi haberleşme sisteminin genel yapısı

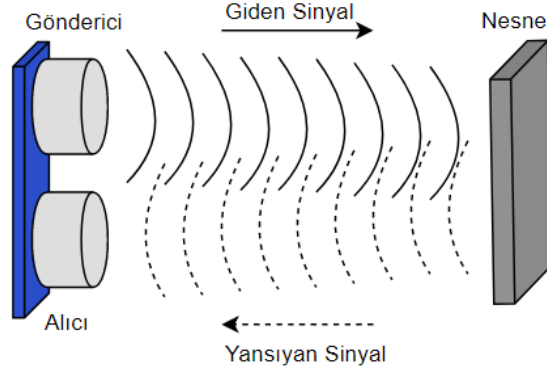
Kızılötesi teknolojisi ile konumlandırma sistemi tasarlanırken genellikle alıcı sabit, verici cihaz ise hareketli olabilmektedir. Alıcılar verici cihazı görece şekilde yerleştirilirler. Alıcı cihaz vericiden gelen kızılötesi sinyalleri alır ve bu şekilde verici cihazın konumu tespit edilir. Kızılötesi cihazlar küçük, taşınabilir cihazlardır ve kızılötesi tabanlı bir sistemin tasarımı, kullanımı ve bakımı gayet basittir. Düşük maliyetli olmaları, canlılara herhangi bir zararının olmaması, her yerde kullanılabilme esnekliği kızılötesi haberleşmenin avantajları arasında sayılabilecek etkenlerdir. Ancak güvenlik konusundaki olumsuz yönleri, kişisel bilgilerin kullanıldığı ve güvenlik gerektiren yerlerde kullanımını kısıtlamaktadır. Ayrıca katı cisimlerden geçmemesi, kapsama alanının sınırlı olması ve görüş hattı içerisinde olma zorunluluğu gibi etmenler kızılötesi teknolojisinin dezavantajlarıdır.

### 2.6.7. Ultrasonik Ses Dalgaları

Ultrasonik sinyaller; “ses ötesi” ya da “daha yüksek ses” anlamlarında kullanılan bir sinyal türüdür. Ses ise havada veya diğer hava geçirici ortamlardaki bir dalga hareketi veya işitme mekanizmasını uyaran bir dalga şeklinde tanımlanabilir (Everest, 2001). Ses dalgalarını aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

- **Duyma sınırı altı dalgalar (Infrasonic):** 20 Hz altındaki frekanslardır.
- **Duyulabilir dalgalar (Audible):** 20 Hz ile 20 KHz arasındaki frekanslardır
- **Ses üstü dalgalar (Ultrasonic):** 20 KHz ile 500 KHz arasındaki frekanslardır.

Ultrasonik ses dalgaları; içerisinde elektrik enerjisi uygulandığı zaman titreyen seramik bir güç çevirici bulunduran ultrasonik sensörler tarafından yayılırlar. Yayılan ultrasonik sinyaller aynı cihaz tarafından tekrar alınarak mesafe tespiti yapılır. Ultrasonik sensörlerin içerisinde bulunan güç çeviricilerin görevi, ortamdaki hava moleküllerini sıkıştırıp, genişleterek hedef cisme doğru ses dalgaları şeklinde göndermektir. Hedef cisme çarpıp geri yansıyan ses dalgalarını aynı güç çevirici aracılığıyla geri alırlar. Ses dalgaları ardışık olarak gönderilerek sürekli mesafe ölçümü yapılabilir fakat gönderilen ses dalgalarının karışmaması için gönderilen ses dalgasının tekrardan dönmesi beklenip konum tespiti yapılır ve ikinci ses dalgası daha sonra gönderilir bu şekilde dalgaların girişimi engellenmiş olur. Şekil 2.18’de ultrasonik sensörü ile mesafe ölçüm yöntemi gösterilmektedir.



**Şekil 2.18.** Ultrasonik sensör ile mesafe ölçümü

Yüksek frekanslı ultrasonik ses sinyallerinin ölçüm aralıkları düşük frekanslı olan sinyallere göre daha düşük seviyededir. Ortama yayılan ses dalgaları çevredeki bozucu etkilerden dolayı zayıfladıkları için sistemin kullanılacağı ortam ölçüm hassasiyetini etkilemektedir. Ultrasonik sinyaller çevre gürültüsü, termal gürültü, malzeme gürültüsü gibi çeşitli seslerden etkilenirler bu nedenle ultrasonik sinyallerin kullanımında kaynak hatalarının tespit edilmesi, gürültü azaltma işlemleri ve diğer gürültü hatalarının tespit edilmesi önemli süreçlerdir (Manjula vd., 2013). Ayrıca ultrasonik sinyallerin yansıdığı yüzeyin cinsine göre de sinyal hızı değişmektedir (Terzic vd., 2013). Bu nedenle konum tespiti yapılırken yüzeyin sert veya yumuşak olması da sinyal ölçüm aşamasında dikkate alınmalıdır. Ultrasonik sinyallerin yayılma hızı (340 m/s), RF sinyallerine oranla daha düşük olduğu için zaman senkronizasyonundaki doğruluk ihtiyacı nispeten daha azdır. Bu nedenle geliş süresi (ToA), geliş süresi farkı (TDoA) gibi zamana dayalı sinyal ölçüm teknikleri RF sinyallerine oranla daha rahat kullanılabilir. Ultrasonik sinyaller ile zaman ölçümünden faydalanarak konum hesabı yapıldığı gibi veri kodlaması ile varlık ölçümü yaparak bölge bazlı ölçüm de yapılabilmektedir (Yücel vd., 2014).

Ultrasonik sinyaller kızılötesi sinyallerde olduğu gibi ortamdaki katı engellerden (duvar, kapı vb.) etkilendikleri için kullanım alanları kızılötesinde olduğu gibi sınırlıdır. Ortamın ısı ve rüzgâr etkisi de ultrasonik sensörlerin ölçümünü etkileyen olumsuz etmenlerdir. Sıcaklıkla doğru orantılı olarak hızı artan ses dalgalarının mesafe hesabını doğru bir şekilde yapabilmesi için ortamın ısını da hesaplamak gerekmektedir. Ultrasonik sensörler; kızılötesi sinyallerin kullanılmadığı şeffaf maddelerin olduğu alanlarda, sıvı seviye tespiti ölçümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesinde bulunan kapalı bir çiftlikteki süt sığırlarının çiftlik içerisindeki konumlarını tespit etmek için Wi-Fi ve Bluetooth (BLE) tabanlı teknolojiler kullanılarak kapalı alan konumlandırma sistemi geliştirilmiştir. Sinyal ölçüm tekniği olarak RSSI, konumlandırma algoritması olarak parmak izi yöntemi kullanılmıştır.

Konumlandırma çalışmaları için ilk olarak çiftlik içerisine Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerine sahip olan 6 adet düğüm cihazı yerleştirilmiştir. Parmak izi yöntemi ile sahanın sinyal şiddet haritasının oluşturulması için çalışma alanındaki düğüm noktalarından yayılan sinyalleri toplayan saha analizi cihazı geliştirilmiştir. Bu cihaz ile Wi-Fi ve Bluetooth düğüm noktalarından yayılan RSSI verileri, 1,25 metre mesafe aralıkları ile toplanarak saha analiz cihazı ile aynı ağa bağlı olan sunucu bilgisayara gönderilmiştir. Sunucu bilgisayar gelen verileri CSV dosya formatında kaydetmiştir. Çalışma alanının sinyal haritası oluşturulurken alana yerleştirilen düğümler ilk olarak Wi-Fi erişim noktası (AP) olarak programlanarak cihazların RSSI değerleri elde edilmiştir. Daha sonra düğümler Bluetooth yayıncısı olarak programlanarak cihazların RSSI değerleri elde edilmiştir. Alandaki tüm noktalardan sinyal değerleri alındıktan sonra CSV dosyalarına aktarılan veri setleri yapay zekâ teknikleri ile modellenerek çalışma alanının sinyal haritası oluşturulmuştur. Bu işlemler çevrimdışı çalışma safhası olarak bilinmektedir.

Çevrimdışı safhanın tamamlanmasından sonra sinyal haritası oluşturulan alan içerisindeki konumu tespit edilmek istenen süt sığına kablosuz takip cihazı takılmıştır. Çalışma alanı içerisindeki 6 düğüm noktasından yayılan RSSI verilerini belirli aralıklarla toplayan kablosuz takip cihazı, aldığı bu verileri bağlı olduğu ağdaki sunucu bilgisayara göndermiştir. Saha analiz aşamasında oluşturulan sahanın sinyal şiddet haritası ile kablosuz takip cihazından gelen veriler yapay zekâ teknikleri ile işlenerek konum tespitleri gerçekleştirilmiştir. Tüm işlemler Wi-Fi ve Bluetooth sistemleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

### **3.1.1. Sinyal Ölçüm Tekniği, Konumlandırma Algoritması ve Konumlandırma Teknolojileri**

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılabilecek birçok teknoloji ve algoritma bulunmaktadır. Sistemin kurulacağı alana uygun olarak maliyet, kurulum kolaylığı, doğruluk, sistemden beklentiler vb. ölçütler değerlendirilerek en uygun tercih yapılmalıdır.

Hassas zaman senkronizasyonuna ihtiyaçlarından dolayı yüksek maliyet gerektiren UWB sistemleri, kapalı alan içerisinde varlık yoklaması yapan RFID sistemleri, ultrasonik ve infrared teknolojilerindeki katı engellerden dolayı sinyallerin alınmaması gibi etkenler Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri ile konumlandırma sisteminin tercih edilmesinde önemli etkenleridir. Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerinin gündelik hayatta oldukça yaygın olarak kullanılması bu teknolojilerin kullanımını ön plana çıkaran en önemli etkenlerdir. Çalışma kapsamında Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak 2 ayrı konumlandırma yapılmıştır. Konumlandırma sistemi için sinyal ölçüm tekniği olarak RSSI tekniği kullanılmıştır. Wi-Fi ve Bluetooth cihazlarından yayılan RSSI değerlerini almak için ek donanımlara ihtiyaç duyulmaması ve kolay bir şekilde elde edilebilmesi, konumlandırma sisteminin ihtiyaç halinde genişletilebilmesi, sistemin ilk kurulumun maliyetinin düşük olması RSSI sinyalleri ile konumlandırma tercihinde önemli ölçütler olmuştur. Bununla birlikte cihazlarından yayılan RSSI değerleri çevresel faktörlere karşı duyarlı oldukları için, RSSI değerlerinde anlık değişimler görülebilmektedir. Çalışmanın yapıldığı alan içerisinde görüş hattını engelleyen bir cismin bulunmaması RSSI verileri ile konumlandırma yapılmasına olanak tanımıştır. Çalışma kapsamında, içerisinde dâhili olarak Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri mevcut olan ESP32 geliştirme kartı kullanılmıştır.

### **3.1.2. Çalışma Alanı ve Dügümlerin Referans Noktalarına Yerleştirilmesi**

Çalışmanın yapıldığı kapalı çiftlik, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi yerleşkesinde bulunmaktadır. Çiftlik içerisinde sürekli olarak veteriner hekim çalışmakta ve veteriner hekim tarafından hayvanların düzenli olarak sağlık kontrolleri yapılmaktadır. Çalışma çiftlik içerisindeki 102 m<sup>2</sup> bir alanda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de çalışmanın yapıldığı çiftlik gösterilmektedir.



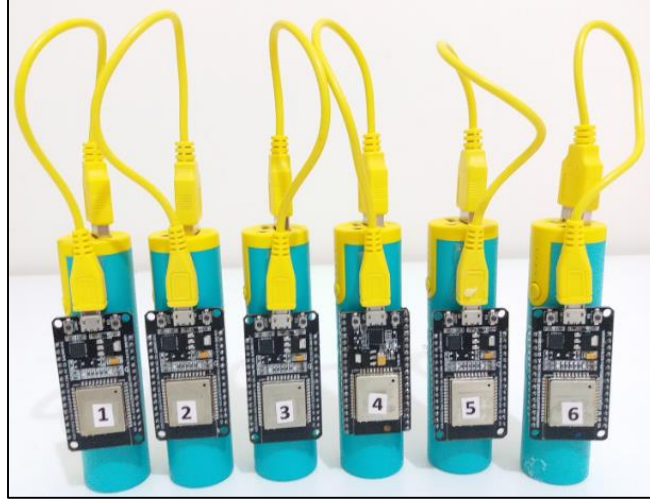
**Şekil 3.1.** Çalışmanın yapıldığı çiftlik

Şekil 3.2’de çalışmanın yapıldığı alanın bir bölümü gösterilmektedir.



**Şekil 3.2.** Çalışma alanından bir bölüm

Gerçekleştirilen konumlandırma sisteminde ilk olarak konumu tespit edilmek istenen nesneyi bulmak için konumu önceden bilinen sabit düğümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sabit düğümler sürekli olarak sinyal yayarlar ve konumu tespit edilmek istenen nesne tarafından bu sinyaller alınarak sunucu bilgisayara gönderilir ve konum tespiti yapılır. Şekil 3.3’de çiftlik içerisine yerleştirilen 6 adet düğüm cihazı gösterilmektedir.



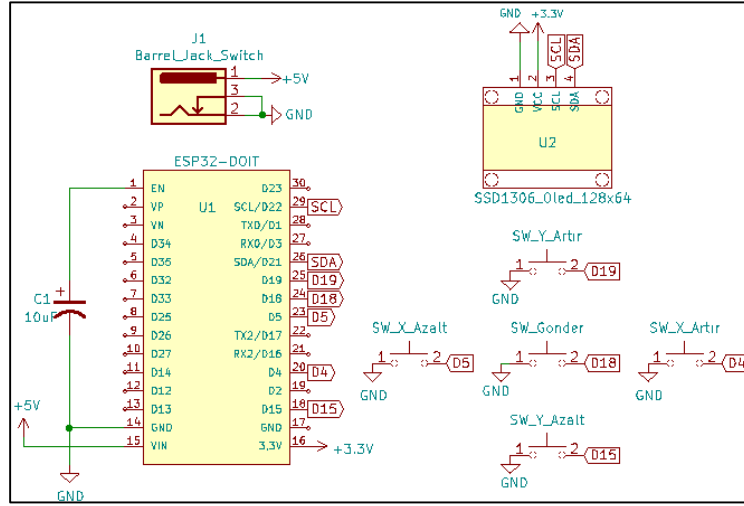
**Şekil 3.3.** Çalışma alanına yerleştirilen sabit düğümler

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde düğümler ile hareketli nesne arasındaki haberleşmenin kesintisiz ve etkili bir şekilde yapılabilmesi için alan içerisine yerleştirilecek olan düğümlerin pozisyonları ve konumlandırma yapılacak alandaki ortam parametreleri değerlendirilerek, ön ölçümler yapılmış ve sabit düğümler en uygun bölgelere yerleştirilmiştir.

### **3.1.3. Saha Analiz Cihazı Geliştirilmesi ve Saha Çalışmaları**

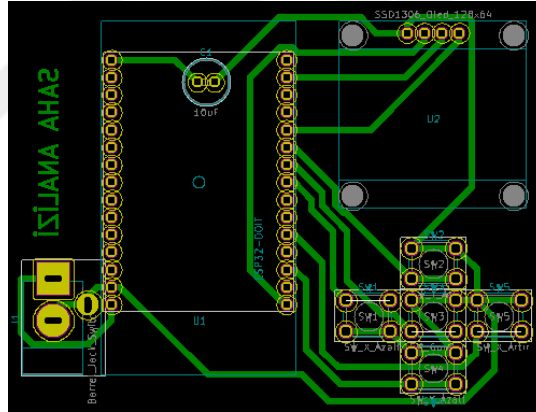
Parmak izi tekniğinde çalışma alanına düğüm cihazlarının yerleştirilmesinden sonra ikinci işlem saha analizidir. Saha analizi bir kez yapılır ve tüm çalışma alanının sinyal haritası oluşturulur.

Saha analizi; konumlandırma yapılacak kapalı alana yerleştirilen düğüm noktalarına ait RSSI değerlerinin belirlenen koordinatlardan alınarak çalışma alanının sinyal hartasının oluşturulması işlemidir. Bu işlem için düğüm noktalarından yayılan sinyali alabilen akıllı telefon, dizüstü bilgisayar veya programlanabilir herhangi bir Wi-Fi ve Bluetooth cihazı kullanılabilir. Çalışma kapsamında Wi-Fi ve Bluetooth özelliğini bünyesinde barındıran, ESP32 geliştirme kartı kullanılarak saha analizi cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen saha analiz cihazına ait şematik çizim Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Tasarlanan saha analiz cihazının şematik çizimi

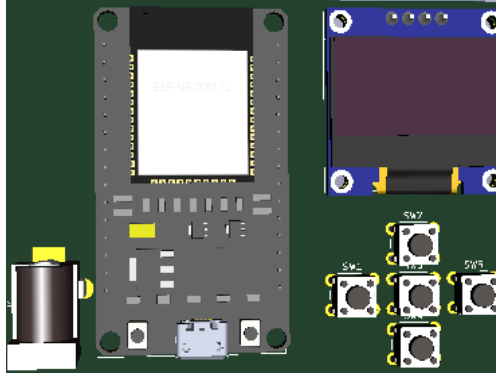
Yukarıda şematik çizimi gösterilen saha analiz cihazı, elektronik devre şeması ve baskı devre kartı (PCB) tasarım programı olan açık kaynak kodlu KiCad aracılığı ile çizilmiştir. Şekil 3.5’de tasarlanan saha analiz cihazının PCB çizimi gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Tasarlanan saha analiz cihazının PCB çizimi

Şekil 3.6’da geliştirilen saha analiz cihazının program içerisindeki 3 boyutlu şekli gösterilmektedir.





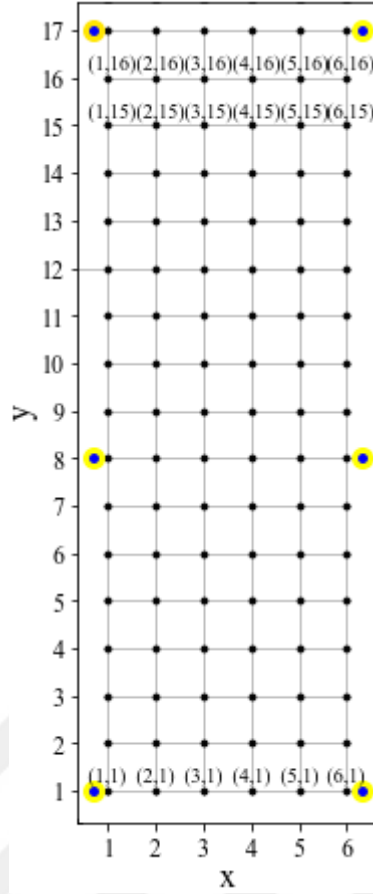
Şekil 3.6. Tasarlanan saha analiz cihazının 3 boyutlu görüntüsü

Baskı devre ve kodlama işlemleri yapılan saha analizi cihazı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Geliştirilen saha analiz cihazı

ESP32 geliştirme kartı Arduino geliştirme ortamı kullanılarak programlanmıştır. Geliştirilen cihaz üzerindeki tuşlar yardımıyla koordinat bilgileri ayarlanarak, 64x128 OLED ekrana yansıtılmıştır. Koordinat bilgileri ayarlandıktan sonra 6 düğüm noktasından yayılan RSSI değerleri toplanarak, analizi cihazı ile aynı ağa bağlı olan sunucu bilgisayara gönderilmiştir. RSSI değerleri statik tarama yöntemi ile toplanmıştır. Şekil 3.8'de çalışma alanının sinyal ölçüm planı gösterilmektedir.



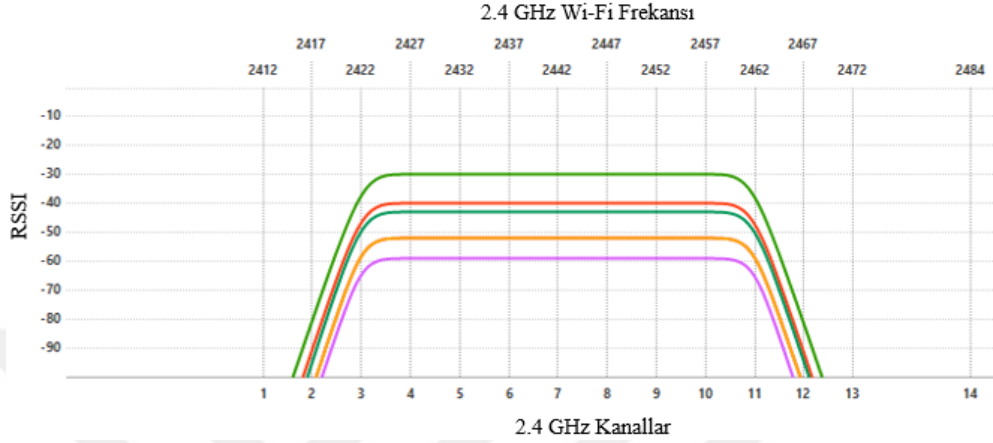
**Şekil 3.8.** Çalışma alanının sinyal ölçüm planı

Yukarıda şekilde sarı işaretçiler, çalışma alanına yerleştirilen düğümleri temsil etmektedir. 7,5 metre genişliğinde (x ekseni), 21 metre genişliğindeki (y ekseni) çalışma alanından 1,25 metre aralıklarla ölçümler alınmıştır. Koordinat kesişimlerindeki siyah noktalar ölçümlerin alındığı noktaları, siyah noktalar üzerindeki değerler ise (x, y) sunucu bilgisayara gönderilen, koordinat bilgilerini göstermektedir. Toplamda 102 bölgeden ölçümler alınmıştır.

Çalışma alanının sinyal haritasını oluşturmak için ilk olarak referans noktalarına yerleştirilen 6 adet sabit düğümün erişim noktası (AP) olarak çalışabilmesi için kodlama yapılmıştır. İkinci olarak saha analizi cihazını programlanarak, RSSI değerlerini taraması için istasyon (STA) moduna alınmıştır. Düğüm cihazlarının MAC adresleri ve ağ adlarına göre filtrelemeler yapılarak RSSI değerleri elde edilmiştir.

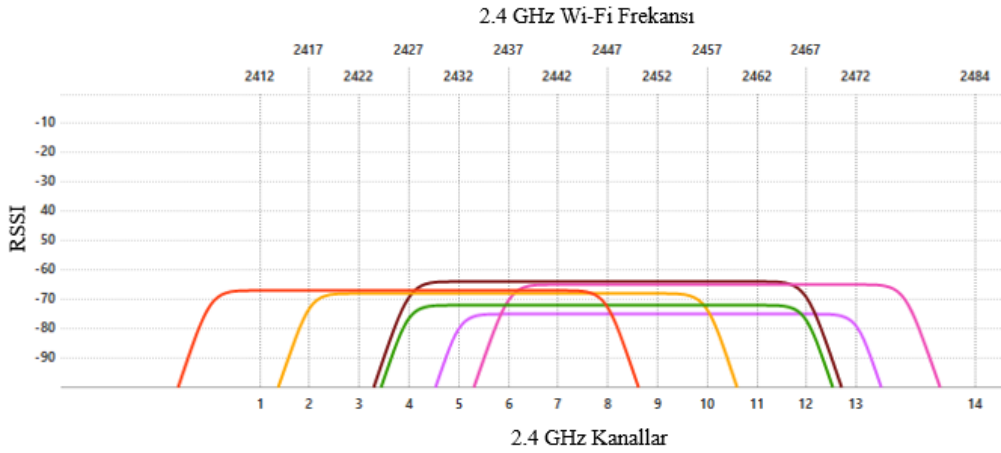
Ortam parametrelerine ve girişimlere karşı değişkenlik gösteren RSSI değerleri, çalışma alanında 2.4 GHz bandında çalışan diğer cihazlar ve çalışmada kullanılan 6 düğüm noktası aynı frekans bandında çalışması girişimleri artıracaktır. Girişimleri azaltarak daha doğru sonuçlar elde edebilmek için birkaç farklı işlem yapılmıştır. Öncelikli olarak aynı

kanallar üzerinden haberleşme yapan 6 düğüm noktasının haberleşme kanalları değiştirilerek cihazların kendi aralarındaki girişimlerin en az seviyede tutulması hedeflenmiştir. Bu işlem Wi-Fi konumlandırması için yapılmıştır. Şekil 3.9’da Wi-Fi erişim noktalarının varsayılan haberleşme kanalları gösterilmektedir.



**Şekil 3.9.** Düğüm noktalarının varsayılan haberleşme kanalları

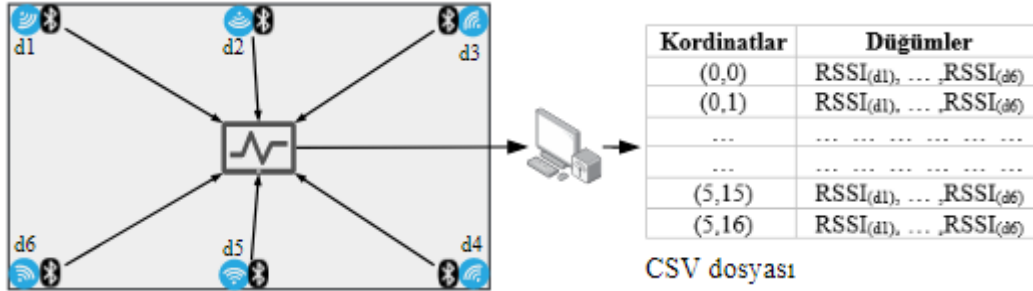
Aşağıda yer alan Şekil 3.10’da sinyal girişimlerini azaltmak için haberleşme kanalları değiştirilen düğüm noktaları gösterilmektedir.



**Şekil 3.10.** Düğüm noktalarının haberleşme kanallarının değiştirilmesi

Haberleşme kanallarının değiştirilmesinden sonra çalışma alanı içerisindeki 1,25 metre aralıklarla belirlenen tüm noktalardan 5 saniye aralıklarla 5'er örnek alınmıştır. Böylece düğümlerden elde edilen veri örneklerinin sayısı artırılarak konumlandırma doğruluğunun

artırılması hedeflenmiştir. Şekil 3.11’de saha analizi aşamasının temsili görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışma alanından sinyallerin toplanması

Tablo 3.1’de Wi-Fi çalışma alanından elde edilen veri örneklerinden bir bölüm gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Çalışma alanından toplanan veri örneklerinden bir bölüm

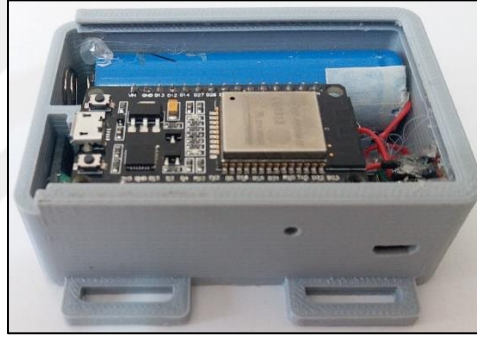
x konumu	y konumu	RSSI <sub>(d1)</sub>	RSSI <sub>(d2)</sub>	RSSI <sub>(d3)</sub>	RSSI <sub>(d4)</sub>	RSSI <sub>(d5)</sub>	RSSI <sub>(d6)</sub>
1	1	-58	-74	-88	-69	-70	-61
1	1	-50	-75	-86	-69	-70	-67
1	1	-50	-72	-86	-68	-69	-67
2	3	-59	-73	-74	-82	-65	-61
2	3	-61	-70	-83	-84	-67	-68
2	3	-59	-66	-83	-74	-70	-63
3	5	-60	-64	-79	-72	-74	-70
3	5	-58	-66	-75	-76	-76	-69
3	5	-59	-62	-76	-79	-75	-68
3	8	-59	-68	-71	-77	-57	-80
4	8	-60	-68	-69	-71	-57	-80
4	8	-60	-68	-70	-73	-56	-81
4	8	-59	-68	-71	-77	-57	-80
5	12	-70	-57	-72	-64	-63	-80
5	12	-68	-60	-68	-65	-63	-86
5	12	-68	-60	-74	-65	-70	-89
6	14	-73	-61	-57	-55	-71	-88
6	14	-71	-63	-56	-54	-81	-90
6	14	-73	-60	-57	-54	-69	-87

Tablo 3.1’de x ve y konumları, tuşlar aracılığıyla ayarlanan koordinat bilgileridir. RSSI<sub>(d1)</sub>, RSSI<sub>(d2)</sub>... RSSI<sub>(dn)</sub> verileri ise sabit noktalara yerleştirilen düğümlerden toplanan

RSSI verileridir. 102 noktadan toplam 510 veri örneği alınarak sunucu bilgisayara gönderilmiştir. Sunucu tarafında işlem kolaylığı için RSSI değerleri -1 ile çarpılarak pozitif değerlere çevrilmiştir.

### 3.1.4. Kablosuz Takip Cihazı Geliştirilmesi

Çiftlik içerisindeki konumu bulunmak istenen süt sığırını tespit etmek için kablosuz takip cihazı geliştirilmiştir. Çevrimdışı safhada, çalışma alanındaki düğümlerden RSSI değerleri elde edilerek çalışma alanının sinyal şiddet haritası oluşturulduktan sonra çalışma alanındaki yapılacak üçüncü ve son işlem kapalı alan içerisindeki konumu bulunmak istenen süt sığırına bağlanan kablosuz takip cihazı ile düğümlerden yayılan RSSI verilerini almak ve bunları sunucu bilgisayara göndermektir. Aşağıda Şekil 3.12’de geliştirilen kablosuz takip cihazı gösterilmektedir.



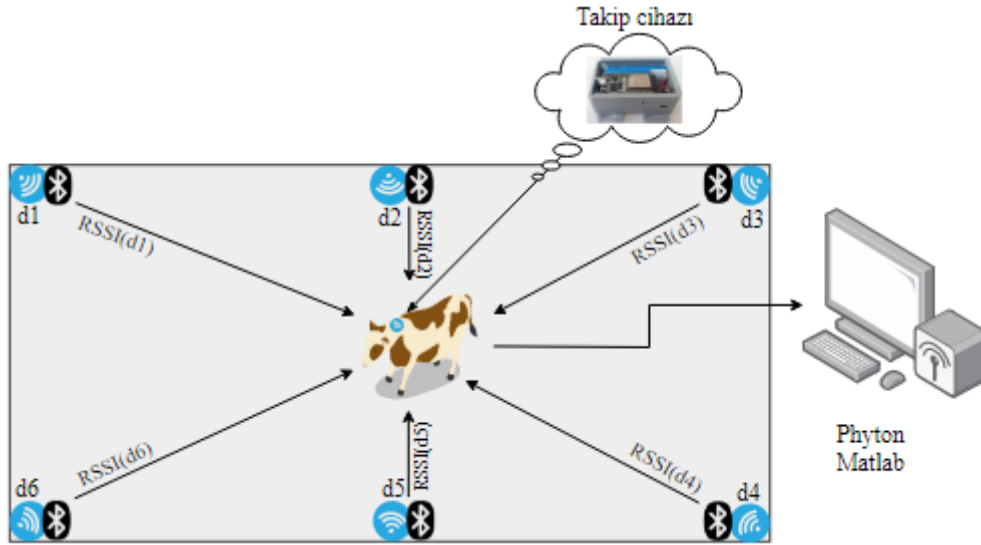
Şekil 3.12. Geliştirilen kablosuz takip cihazı

Kablosuz takip cihazı ortamdan elde edilen RSSI verilerini sunucuya gönderir. Sunucu, daha önce modellenen çalışma alanının sinyal şiddet haritası ile kablosuz takip cihazından gelen verileri yapay zekâ yöntemleri ile işleyerek hareketli nesnenin konum tespiti gerçekleştirilir. Yapay zekâ yöntemleri Python ve MATLAB programları aracılığıyla uygulanmıştır. Şekil 3.13’de kablosuz takip cihazının süt sığırını üzerine yerleştirilmesi gösterilmektedir. Kablosuz takip cihazı ile düğüm noktaları arasında herhangi bir engelin olmaması için takip cihazı süt sığırının boynunun üst kısmına gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.13.** Kablosuz takip cihazının süt sığırı üzerine yerleştirilmesi

Kablosuz takip cihazından alınan verilerin sunucu cihaza gönderilmesi Şekil 3.14'de temsili olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.14.** Kablosuz takip cihazı ile konum tespiti

Kablosuz takip cihazı belirli aralıklarla veri göndereceği için, cihazın yüksek pil tüketimi özellikle yüksek miktarda nesnenin takip edileceği alanlarda sistem bakımını zorlaştıran önemli bir etkidir. Kablosuz takip cihazlarının daha uzun pil ömrü için cihazların güç yöntemi oldukça önemlidir. Alana yerleştirilen 6 düğüm noktasının yerleri sabit oldukları için doğrudan şebekeden beslenebilirler. Bu nedenle düğümlerin enerji tüketimleri takip cihazının enerji tüketimi kadar önemli değildir. Kablosuz takip cihazında kullanılan ESP32 kartının derin uyku modunda enerji tüketimi  $10 \mu A$  seviyesine

düşmektedir. Cihaz dâhili RTC kaydedicileri ile istenilen süre kadar uyutulmakta ve ölçüm yapılacağı zaman uyanıp RSSI ölçümlerini yaparak sunucu cihaza göndermekte ve bir sonraki ölçüme kadar tekrar uyutulmaktadır. Cihazın ölçümleri yapıp ağa bağlanıp verileri ağdaki cihaza göndermesi ortalama 5 saniye sürmektedir. Kablosuz takip cihazı üzerinde 2600 mA'lık 18650 model lityum pil kullanılmaktadır. 3 boyutlu yazıcı ile basılan kutu üzerindeki şarj yuvası sayesinde cihazın enerjisi bittiğinde dâhili mikro USB bağlantısı ile kolaylıkla şarj edilmektedirler.

ESP32 modülü, Wi-Fi ve Bluetooth özelliklerini dâhili olarak bulundurduğu için hareketli cihaz için tek bir donanım tasarımı yapılmıştır. Wi-Fi ve Bluetooth cihazları için ayrı ayrı yazılım geliştirilerek hareketli cihazlar kodlanmıştır.

**Tablo 3.2.** Kablosuz takip cihazının enerji tüketimi

Çalışma modu	Enerji tüketimi
Çalışma voltajı	3.3 v
Modem uyku modu	3-20 mA
Derin uyku modu	10 $\mu$ A
Wi-Fi Tx paket 13dBm-21dBm	160-260 mA
Wi-Fi / Bt Tx paket 0 dBm	120 mA
Wi-Fi / Bt Rx ve dinleme	80-90 mA

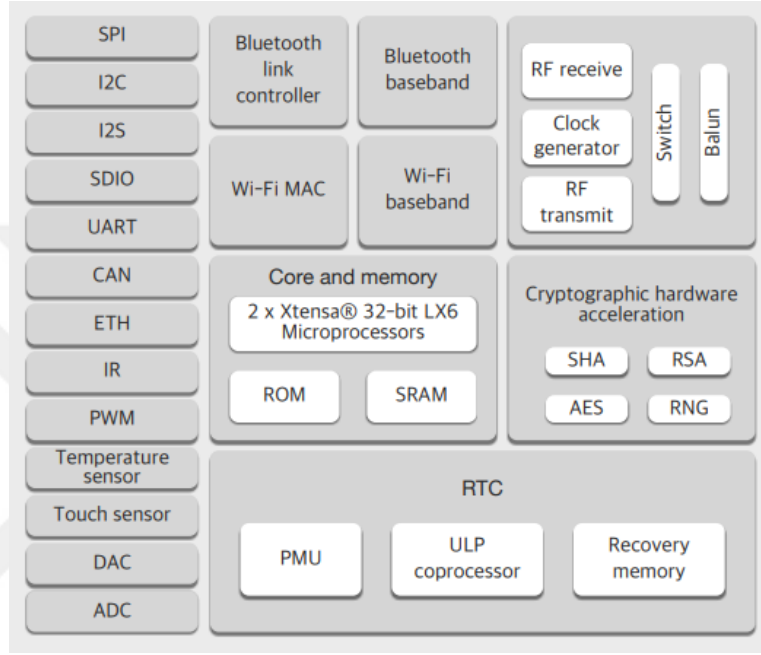
### 3.1.5. ESP32 Modülü Teknik Özellikleri

Çalışma kapsamında düğüm noktası olarak kullanılan cihazlar, saha analiz cihazı, takip cihazlarının her üçü için de Wi-Fi ve BLE teknolojinin bünyesinde barındıran oldukça esnek bir kullanıma sahip olan ESP32 modülü kullanılmıştır. Şekil 3.15'de ESP32 modülü gösterilmektedir.



**Şekil 3.15.** ESP32 modülü

ESP32 modülü içerisinde ESP32-D0WDQ6 entegresini barındırmaktadır. Bu entegre SoC (System on Chip) olarak tasarlanmıştır. Tek entegre üzerinde Tensilica Xtensa 32-bit çift çekirdekli LX6 CPU, 2.4 GHz Wi-Fi Bluetooth Classic ve Bluetooth Low Energy (BLE) teknolojilerini barındıran, çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir, farklı güç seçenekleri sunan programlanabilir bir modüldür. Şekil 3.16 ESP32 modülünün blok diyagramını göstermektedir (Espressif, 2019).



Şekil 3.16. ESP32-D0WDQ6 blok diyagramı

### Ana İşlemci

- Tensilica Xtensa 32-bit LX6 çift çekirdek CPU
- 240 MHz'e kadar hız
- 600 DIMPS

### Yardımcı işlemci

- ULP (ultra low power) işlemci ile ana işlemci derin uyku modunda kapalı iken ADC pinlerini, sıcaklık ve I2C pinlerini kullanarak ölçüm yapabilir.

### Kablosuz bağlantılar

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n (HT40 ile 40 MHz genişlik, 802.11n modunda 150 Mbit/s'e kadar hız)
- Bluetooth: v4.2 Bluetooth Low Energy (BLE) ve Bluetooth Classic



## Hafıza

- 520 KB SRAM
- 448 KB ROM
- 8 KB RTC yavaş SRAM (Derin uyku modunda ULP'nin kullanımı için)
- 8 KB RTC hızlı SRAM
- 4 MB harici Flash

## Çevre Birimleri ve Giriş/Çıkışlar

- 18 x 12 bit SAR ADC kanal
- 10 x Kapasitif dokunmatik sensör
- 2 x 8 bit DAC
- 3 x UART arayüzü
- 4 x SPI
- 2 x I<sup>2</sup>C
- 2 x I<sup>2</sup>S
- CAN 2.0
- Tüm çıkış pinleri ile PWM kontrolü
- SD kart desteği
- Ethernet MAC desteği
- Sıcaklık sensörü
- Hall-Effect sensör

## Güvenlik

- WAPI, WFA, WPA/WPA2 dâhil olmak üzere IEEE 802.11 güvenlik standartlarını desteği
- Güvenli önyükleme
- Flash şifreleme
- 1024 bit OTP

ESP32 modülü, esnek bir Wi-Fi kullanımı sunmaktadır. Erişim noktası (AP) olarak çalışarak bir ağ kurabilir, İstasyon (STA) olarak çalışarak bir ağa bağlanabilir ve AP+STA olarak çalışarak hem bir ağ kurup hem de farklı bir ağa bağlanabilir. Wi-Fi Direct özelliği ile daha hızlı dosya paylaşımına olanak sağlar. WPS özelliği ile hızlı bir şekilde şifresiz olarak bağlantı kurulabilir. Bluetooth Low Energy (BLE) ve Bluetooth Classic bağlantı özellikleri ile IoT (Internet of Things) projelerinde çok yönlü olarak kullanılabilir.

Elektrik ile doğrudan bağlantının olmadığı ve modülün harici pil ile çalıştığı alanlarda enerji tüketimi büyük önem arz etmektedir. ESP32 kartının aktif mod, modem uyku modu, hafif uyku modu, derin uyku modu, bekletme modu olmak üzere 5 farklı güç modu

bulunmaktadır. Cihaz farklı güç modları kullanılarak çok düşük enerji tüketimi ile uzun süre kullanılabilir.

Aktif mod, ESP32 kartının varsayılan olarak kullanılan modudur. Bu mod kullanılırken kartın bütün özellikleri tam olarak kullanılmaktadır. Bu modda iken kartın Wi-Fi, bluetooth gibi özellikleri aktif olarak kullanılabilirdiği için modül 260 mA'e kadar akım çekebilmektedir. Wi-Fi ve Bluetooth özelliği aynı anda kullanıldığı takdirde güç tüketimi daha yüksek seviyelere çıkabilmektedir.

Modem uyku modunda, Wi-Fi, Bluetooth, radyo kapalı iken diğer bileşenler aktif olarak kullanılabilir. İşlemci çalışma hızına göre 3mA-20mA akım tüketmektedir. Modem uyku modu kullanılırken, kart içerisindeki dâhili saat ayarlanarak kablosuz bağlantılar belirli aralıklarla sağlanarak modem tekrar uykuya alınabilmektedir. ESP32 kartı modem uyku moduna sadece istasyon (STA) modunda iken girebilmektedir.

Hafif uyku modunda modem uyku moduna ek olarak, çevresel birimler, RAM ve işlemci saati kapalıdır. RTC ve ULP işlemcisi aktif tutularak sistemin güç tüketimi 0.8 mA civarına kadar düşmektedir.

Derin uyku modunda CPU, RAM'ın çoğu ve tüm dijital çevre birimleri kapalıdır. RTC ve ULP kullanılabilir. Derin uyku modunda CPU tamamen kapalı iken ULP yardımcı işlemci sensör pinlerinden ölçüm yapar ve ölçülen verilere göre ana işlemciyi uyandırır. Derin uyku modunda güç tüketimi 10  $\mu$ A civarındadır.

Bekleme modunda ESP32 kartını uyandırmak için kullanılan RTC zamanlayıcısı ve bazı RTC pinleri dışında tüm sistem kapalıdır. Bekleme modunda güç tüketimi 5  $\mu$ A seviyesindedir.

ESP32 modülünü kolay bir şekilde programlayabilmek için ESP32 modülünü üzerinde bulduran geliştirme kartı Şekil 3.17' de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. ESP32 geliştirme kartı

ESP32 geliştirme kartı, CP2102 USB-Seriport dönüştürücü ile mini USB bağlantısı aracılığıyla kolaylıkla programlanabilir. ESP32 modülünün çalışma voltajı 2.2V ile 3.6V

arasındadır. Geliştirme kartı üzerinde kartın giriş voltajını ESP32 kartının çalışma voltaj aralığındaki 3,3V seviyesine düşüren AMS1117 regülatörü bulunmaktadır. Kart, harici Vin girişinden ve USB bağlantısından beslenerek kullanılabilir. Kart üzerinde modülü resetlemek ve boot için 2 adet buton bulunmaktadır. Ayrıca uygulamalarda kullanmak için mavi LED mevcuttur.

### 3.2. Yöntem

Parmak izi yöntemi ile kapalı alan konumlandırma sistemlerinin en önemli safhası çalışma alanının sinyal haritasının oluşturulmasıdır. Çalışma alanına yerleştirilen düğüm noktalarından elde edilen RSSI değerlerindeki dalgalanmalar, sinyal haritasının doğru bir şekilde oluşturulmasının önündeki en büyük engeldir. Sinyal haritasının daha doğru bir şekilde oluşturmak için makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak sahanın sinyal haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanına yerleştirilen Bluetooth ve Wi-Fi düğümlerinden elde edilen RSSI verileri K-en yakın komşu (KNN) ve yapay sinir ağları ile eğitilerek konumlandırma gerçekleştirilmiştir.

Makine öğrenmesi; istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanılarak elde edilen verilerden çıkarımlar yapıp, bilinmeyen verilere dair tahminde bulunma yöntemidir. Farklı matematiksel algoritmalar kullanan birçok makine öğrenme modeli bulunmaktadır. Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç makine öğrenmesi yöntemi bulunmaktadır.

Denetimli öğrenme yönteminde bir bağımlı değişken (hedef) ile bağımsız değişken (girdi) arasında matematiksel bir bağlantı kurulur. Bu yöntemde bir veri seti ile model oluşturulur, tahmin edilmek istenen yeni bir veri geldiğinde daha önce oluşturulan bu model kullanılarak bir tahmin gerçekleştirilir. Denetimli öğrenme yöntemi kullanılarak regresyon ve sınıflandırma işlemleri yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında denetimli öğrenme yöntemi kullanılmıştır.

Denetimsiz öğrenme yönteminde, sadece bağımsız (girdi) değişken bulunmaktadır. Bu yöntemin amacı bağımsız değişkenler arasında matematiksel bir ilişki kurmaktır. Bu yöntem ile kestirim ve kümeleme işlemleri yapılabilmektedir.

Takviyeli öğrenme yöntemi, insan öğrenme yöntemine yakın bir yöntemdir. Önceden model oluşturmak için herhangi bir veri setine ihtiyaç duymazlar. İstenilen sonuca ulaşırken yaptığı hataları değerlendirerek en az hata ile doğru yolu bulmaya çalışır. Genellikle

karmaşık problemlerde kullanılırlar. Takviyeli öğrenmede her bir eğitim sonucunun iyi veya kötü olduğunu belirtir ve sonuca göre kendisini yeniler (Gödekoğlu, 2019).

Çalışma kapsamında ilk olarak saha içerisindeki 6 adet Wi-Fi ve Bluetooth düğüm noktası olarak çalışan cihazlardan her bir x ve y koordinatları için alınan değerler ile sinyal haritası oluşturulmuştur. Daha sonra sahanın orta kısımlarına yerleştirilen 2 ve 5 numaralı düğüm noktalarından alınan RSSI verileri kullanılmadan sahanın 4 köşesinde bulunan d1, d3, d4, d6 numaralı düğüm noktalarının RSSI değerleri kullanılarak sinyal haritaları oluşturulmuştur. Wi-Fi sistemi için 4 ve 6 düğüm noktası Bluetooth sistemi için 4 ve 6 düğüm noktası kullanılarak 4 ayrı model oluşturulmuştur. Bu haritalar kullanılarak Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri için ayrı ayrı KNN ile 4 farklı model oluşturulmuştur. Aynı şekilde Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak yapay sinir ağları ile 4 farklı model oluşturularak kablosuz takip cihazından gelen verilere göre konum tahminleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1. K-En Yakın Komşu (KNN) Sınıflandırması ile Konumlandırma

K-NN sınıflandırma algoritması, belirli özelliklerine göre sınıflandırılmış bir örnek veri kümesine, sınıfı bilinmeyen yeni bir veri geldiğinde, yeni veriyi küme içerisindeki kendisine en yakın K tane veriye bakarak sınıflandırma işlemi yapan bir makine öğrenme algoritmasıdır. K-NN algoritmasında sınıflandırma işlemleri komşu sayısını ifade eden K parametresine göre yapılmaktadır. K 1 ise örnek veri en yakın komşunun sınıfına atanırken K sayısı veri setindeki örnek sayısına doğru yaklaştıkça dikkate alınan komşu sayısı da artmakta ve oylamaya göre seçim yapılmaktadır. K-NN algoritmaları sınıflandırma işlemlerinin yanında regresyon işlemlerinde de sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Maillo vd., 2017). Az sayıda parametre kullanan basit yapıdaki K-NN algoritmalarının performansını etkileyen en önemli parametreler komşu sayısı, uzaklık ölçütü ve ağırlıklandırma yöntemidir (Taşcı ve Onan, 2016).

K-NN algoritmalarında birçok uzaklık ölçütü kullanılmaktadır. Bunlar arasında Öklid uzaklık, sınıflandırma işlemlerinde en sık kullanılan mesafe ölçüm yöntemidir. Öklid iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığı hesaplamak için kullanılan bir matematiksel yöntemdir.  $x_i$  ve  $y_i$  bilinen iki nokta ve d uzaklık olmak üzere Öklid uzaklık hesabı denklem (3.1)'de gösterilmektedir.

$$d = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3.1)$$

$n$  Boyutlu iki nokta arasındaki farkların mutlak değerler toplamını ifade eden Manhattan yöntemi denklem (3.2)'de gösterilmektedir.

$$d = \sum_{i=0}^n |x_i - y_i|^2 \quad (3.2)$$

Diğer bir uzaklık hesaplama yöntemi olan Minkowski denklem (3.3)'de gösterilmektedir. Minkowski denkleminde  $p$  1 değerini aldığımda Manhattan uzaklığı,  $p$  2 değerini aldığımda ise Öklid uzaklık denklemi elde edilmektedir.

$$d = (\sum_{i=0}^n |x_i - y_i|^p)^{\frac{1}{p}} \quad (3.3)$$

Chebyshev uzaklığı (en büyük değer uzaklığı), Minkowski uzaklığının  $n \rightarrow \infty$  olduğu özel durumdur ve iki nokta arasındaki farkların mutlak değerlerinin en büyüğü olarak ifade edilmektedir (Taşcı ve Onan, 2016). Denklem (3.4) Chebyshev uzaklığını göstermektedir.

$$d = \max(|x_i - y_i|) \quad (3.4)$$

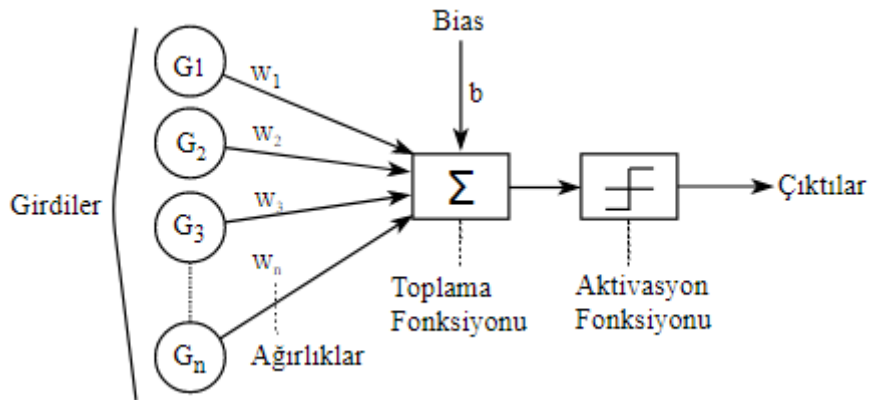
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen konum tahminlerinde, K-NN sınıflandırma algoritması kullanılarak parmak izi yönteminin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir. Konum tahminlerinde K-NN sınıflandırması kullanılarak kablosuz takip cihazından gelen verileri eğitim aşamasında 102 konumdan sinyal güçlerinin elde edilmesiyle oluşturulan çalışma alanının sinyal haritasına dayanarak bu konumlar içerisindeki en yakın sınıfa dâhil edilmesiyle konum tahminleri gerçekleştirilmiştir. Hem Wi-Fi hem de Bluetooth teknolojileri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilen konum tahmin işlemleri için Öklid, Manhattan, Chebyshev uzaklık hesaplama metotları ayrı ayrı kullanılmış, her bir metodu için K değeri 1 ile 5 arasında sırasıyla değiştirilerek en ideal konum tahmini gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. K-NN algoritması ile konum tahminleri için Python programlama dili ile algoritmalar geliştirilmiştir.

### 3.2.2. Yapay Sinir Ağları ile Konumlandırma

Yapay zekâ alanının alt dallarından olan yapay sinir ağları (YSA), öğrenebilen sistemlerin temelini oluşturmaktadır. İnsan beynindeki nöronlara benzer şekilde çalışan

yapay sinir ağı, öğrenme, hatırlama ve yeni bilgiler oluşturma gibi işlevleri yapabilen yazılımlardır (Yurtoğlu, 2005). Yapay sinir ağlarında ağı eğitilmesi ilk yapılacak işlemdir. Ağı eğitmek için veri seti kullanan denetimli öğrenme metodu kullanılmaktadır. Ağı eğitimi sonrasında sınıma verileri kullanılarak ağı ne kadar doğru sonuçlar ürettiği kontrol edilir. Yapay sinir ağı öğrenme, genelleme yapabilme, yorumlama, uyarlanabilme, bilgiler arasında ilişki kurabilme yeteneklerine sahiptir (Kıyıldı, 2017). Bu özelliklerinden faydalanarak regresyon, tahmin, kümeleme, sınıflandırma, optimizasyon gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir yapay sinir ağında; yapay sinir hücreleri (nöron), hücreler arasındaki bağlantılar ve öğrenme algoritması olmak üzere üç bileşen vardır. Yapay sinir ağının temel elemanları olan nöronlar, sistemi etkileyen faktörlere göre bir veya daha fazla girdi alarak problemden istenen sonuç adedi kadar çıktı oluştururlar. Nöronlar bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar (Kırbaş, 2018). Bilgiler ağı içerisindeki nöron bağlantılarında tutulurlar. Yapay sinir ağlarının eğitilebilmesi için nöronların ağırlık değerlerinin belirli kurallara dâhilinde değiştirilebilir olması gerekmektedir. Bilgiler tüm ağda yayılmış şekilde tutulurlar ve nöronlar üzerindeki bilgiler tek başlarına anlam taşımazlar çünkü olay tüm ağı tarafından öğrenilir (Öğücü, 2006). Ağıdaki tüm nöronların en ideal ağırlık değerlerini almasıyla öğrenme işlemi tamamlanmış olur. Şekil 3.18’de yapay sinir hücresinin yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 3.18.** Yapay sinir hücresinin yapısı

Şekil 3.18’deki yapay sinir hücresinde bulunan  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  değerleri ağı eğiteceği girdilerdir. Bu girdiler dışarıdan veya başka bir nörondan gelebilirler.  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  değerleri nöronların ağırlıklarını belirtmektedir. YSA’da girdi verileri bağımsız değişkenler, çıktı verileri ise bağımlı değişkenlerdir. Girdiler ağırlık değerleri ile çarpılıp,

çarpılan değerlerin toplanması toplama fonksiyonu oluşturulur. Toplama fonksiyonu nöron üzerine etki eden yükü belirtmektedir. Denklem (3.5) n adet girdiye sahip olan bir yapay sinir hücresinin toplama fonksiyonunu göstermektedir.

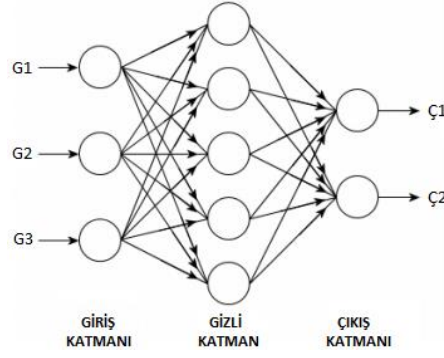
$$T = \sum_{i=1}^n G_i w_i \quad (3.5)$$

Toplama fonksiyonunda oluşturulan değerler aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Nöronların karar vermelerini etkileyen aktivasyon fonksiyonu bu değerleri işleyerek çıkış değerlerini üretirler. Denklem (3.6) toplama fonksiyonundan gelen verinin aktivasyon fonksiyonu tarafından çıkışa gönderilirken yaptığı işlemi göstermektedir.

$$\zeta = \emptyset(\sum_{i=1}^n G_i w_i + b) \quad (3.6)$$

$\emptyset$  Aktivasyon çarpanıdır. Girdi ve çıktı katmanları arasında bağlantı kuran aktivasyon fonksiyonları, yapay sinir ağlarında performansı etkileyen önemli etkenlerden biridir. Aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan denklemlerin çözümü mümkün hale gelmiştir. Adım ve sigmoid fonksiyonları sıklıkla kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıdır.

Yapay sinir ağları kullanılarak yapılan en temel işlem tek katmanlı algılayıcılar ile yapılan sınıflandırma işlemidir. Sınıflandırma işlemlerinde girdiler, nöron bağlantılarındaki ağırlıklar ile çarpılıp tüm değerler toplanarak elde edilen sayının bir eşik değerinden küçük veya büyük olmasına göre girdi elemanın sınıfı belirlenir. Öğrenme aşamasında ağırlıklar ve eğik değer değiştirilerek en doğru sonuç elde edilmeye çalışılır (Öztemel, 2012). Tek katmanlı algılayıcılar ile doğrusal olaylar sınıflandırılabilirken, doğrusal olmayan olaylar için çok katmanlı algılayıcılar (MLP) kullanılmaktadır. AND ve OR mantıksal işlemleri tek katmanlı ağlar ile gerçekleştirilebilen temel işlemler iken XOR problemleri çok katmanlı algılayıcılar ile çözülebilecek bir işlemdir. Çok katmanlı algılayıcılardaki gizli katman ile doğrusal olmayan problemlerin çözümü mümkün kılınmıştır. Daha karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan çok katmanlı algılayıcılar (MLP) temel olarak üç katmandan oluşan bir ağ yapısına sahiptir. Bu katmanlar giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanıdır (Öztemel, 2012). Şekil 3.19'da çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 3.19.** Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı

Şekil 3.19’de giriş katmanında 3 nöron gizli katmanda 10 nöron ve çıkış katmanında 2 nöron bulunduran MLP yapısı gösterilmektedir. MLP’da giriş katmanı ile dışarıdan bilgiler alınarak ağırlık değerleri belirlenip gizli katmana gönderilir. Giriş katmanındaki veriler bağımsız değişkenleri temsil ederler. Gizli katman ile giriş katmanından gelen bilgiler işlenir. Ağın karmaşıklığına göre gizli katmandaki nöron sayısı değiştirilebilmektedir. Çıkış katmanında ise gizli katmandan gelen bilgiler işlenerek, yapay sinir ağına giriş katmanından gelen veriler için çıktılar üretilir. Ağ eğitimi için kullanılan örnek miktarının fazla olması, girdi ve çıktı verilerinin doğru bir şekilde tanımlanması, uygun aktivasyon fonksiyonlarının seçilmesi, eğitim için kullanılan veri oranları, yapay sinir ağının çıktı doğruluğunu etkileyen önemli parametrelerdir (Çalışkan vd., 2018; Kırbaş ve Dükkancı, 2019). Yapay sinir ağı modellenirken bu parametreler dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmelidir.

Çalışma alanına yerleştirilen düğüm noktalarından elde edilen sinyal verilerinin yapay sinir ağları ile eğitilerek gerçekleştirilen konun tahminlerine ait ayrıntılı başarı performansı ve hata analiz sonuçları bu bölümde incelenecektir.

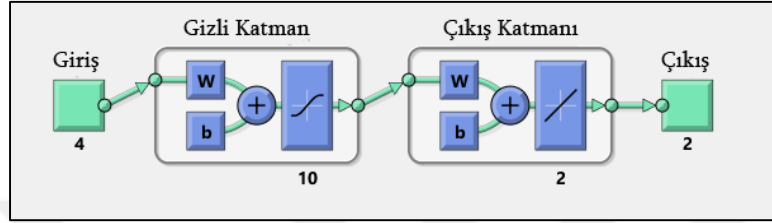
Çalışma alanının sinyal verileri ile yapay sinir ağlarını eğitmek için MATLAB programı içerisindeki yapay sinir ağı uygulaması kullanılmıştır. Ağın eğitim için Levenberd-Marquardt öğrenme algoritması kullanılarak veriler %70 eğitim, %15 doğrulama, %15 sınama verisi olmak üzere rastgele bölümlere ayrılmıştır. Levenberd-Marquardt yöntemi hesaplanan hata değerine göre nöron ağırlıklarını yenileyerek en az hata değerini elde eden bir öğrenme algoritmasıdır (Gödekoğlu, 2019). Tüm yapay sinir hücrelerinde birleştirme fonksiyonu için toplama fonksiyonu (3.5) kullanılmıştır. Gizli katmandaki yapay sinir hücrelerinde hiperbolik tanjant (3.7), çıktı katmanındaki yapay sinir hücrelerinde doğrusal fonksiyon (3.8) kullanılmıştır.



$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.7)$$

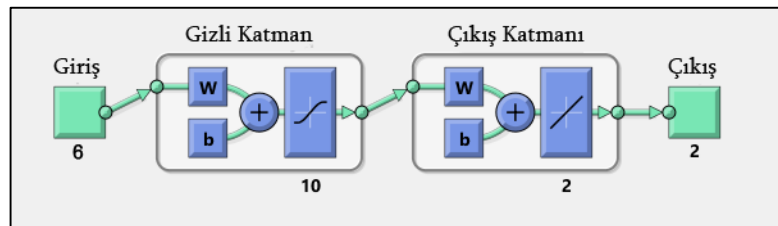
$$f(x) = x \quad (3.8)$$

Wi-Fi ve Bluetooth konumlandırma sistemleri için 4 düğüm noktası kullanılarak eğitilen YSA modeli Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. 4 düğüm ile eğitilen YSA modeli

Şekil 3.20’de yer alan modelde yapay sinir ağının giriş katmanında düğümlerden elde edilen  $RSSI_{(d1)}$ ,  $RSSI_{(d3)}$ ,  $RSSI_{(d4)}$ ,  $RSSI_{(d6)}$  verileri için 4 nöron bulunmaktadır. Gizli katmanda 10 nöron kullanılmaktadır. Çıkış katmanında ise 2 nöron bulunmaktadır. Çıkış katmanındaki veriler YSA’nın eğitim sonucu tahmin ettiği x ve y koordinat bilgileridir. w verileri nöronların ağırlık değerlerini, b değerleri ise bias verilerini temsil etmektedir. Aynı şekilde Wi-Fi ve Bluetooth konumlandırma sistemleri için 6 düğüm noktası kullanılarak eğitilen YSA modeli aşağıdaki Şekil 3.21’de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. 6 düğüm ile eğitilen YSA modeli

Şekil 3.21’de gösterilmekte olan 6 düğüm noktasına sahip YSA modeli için girişte çalışma alanındaki 6 düğüm noktasına ait 6 nöron, gizli katmanda 10 nöron ve çıkışta x ve y koordinatları için 2 nöron bulunmaktadır. Modellenen yapay sinir ağının performansını ölçmek için ortalama kare hatası (MSE) yöntemi (3.9) kullanılmıştır.

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=0}^n (e_i)^2 \quad (3.9)$$

$e_i$  Hedef değerler ile tahmin edilen değerlerin farkıdır.  $Y_i$  Hedef değerler  $\hat{Y}_i$  ise tahmin edilen değerler olmak üzere  $e_i$  hata terimi denklem (3.10)'de gösterilmektedir.

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (3.10)$$

$x$  ve  $y$  koordinatları için değerlendirildiğinde denklem (3.11) gerçek konum ile tahmin edilen konumların ortalama kare hata hesaplamasını göstermektedir.

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=0}^n (\sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2}) \quad (3.11)$$

$x$  ve  $y$  değişkenleri gerçek koordinat bilgileri  $\hat{x}$  ve  $\hat{y}$  değişkenleri ise YSA'nın tahmin ettiği koordinat bilgileridir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde düğüm sayısının ve yapay zekâ algoritmalarının konumlandırma sisteminin doğruluğuna etkileri değerlendirilerek gerçekleştirilen konum tahminleri için ayrıntılı performans ve hata analiz sonuçlarına ait bulgular incelenecektir.

### 4.1. K-En Yakın Komşu (K-NN) Sınıflandırma Değerlendirmesi

K-en yakın komşu (K-NN) sınıflandırma algoritması ile Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen konum tahminleri için yüzde doğruluk sonuçlarına ait veriler Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

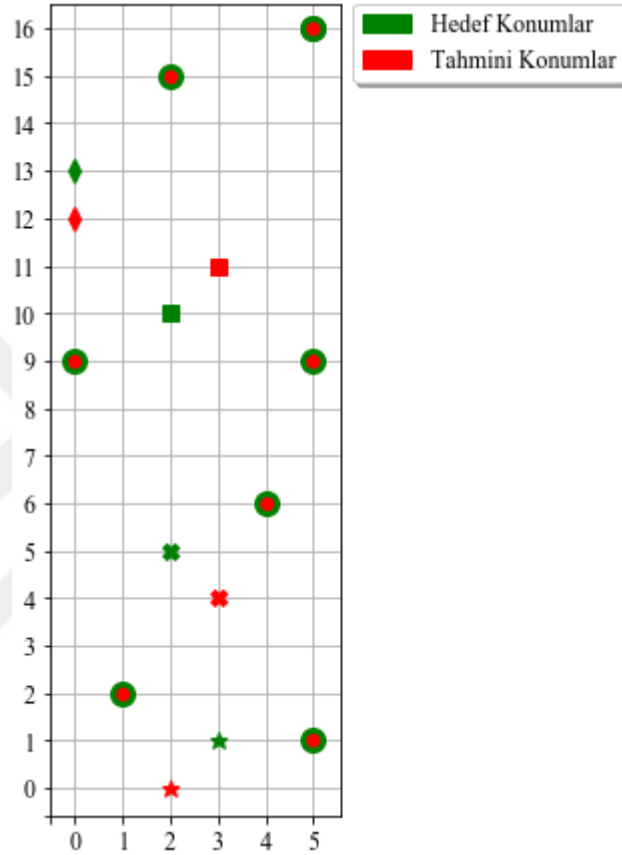
**Tablo 4.1.** K-NN ile konum tahminlerinin yüzde doğruluk sonuçları

Teknoloji	Düğüm Sayısı	Algoritma	K sayısı				
			1	2	3	4	5
Wi-Fi	4	Öklid	% 52,1	% 44,3	% 45,5	% 45,5	% 43,8
		Manhattan	% 50	% 43,2	% 45	% 47,3	% 40,2
		Chebyshev	% 46,7	% 38,5	% 34,3	% 36	% 35,5
	6	Öklid	% 68,6	% 60,3	% 58,5	% 58,5	% 50,3
		Manhattan	<u>% 69,8</u>	% 61	% 59,7	% 61,5	% 54,4
		Chebyshev	% 61,5	% 54,4	% 49,1	% 49,1	% 47,9
Bluetooth	4	Öklid	% 30,8	% 28	% 28,4	% 24,3	% 24,3
		Manhattan	% 30,8	% 28,4	% 26	% 24,9	% 23,1
		Chebyshev	% 30,8	% 31	% 25,5	% 21,3	% 21,3
	6	Öklid	% 47,9	% 40,2	% 38,5	% 34,3	% 31,4
		Manhattan	<u>% 50,9</u>	% 41,4	% 41,4	% 36,1	% 34,3
		Chebyshev	% 43,2	% 30,8	% 30,2	% 29	% 23

Tablo 4.1’de gösterilen, sonuçlar içerisinde en yüksek doğrulukta konum tahmini Manhattan uzaklık yöntemini kullanan, 6 düğümlü Wi-Fi teknolojisi ile % 69,8 olarak hesaplanmıştır. K sayısının sisteme etkisi gözlemlendiğinde, K 1 değerinde en yüksek doğrulukta konum tahmini gerçekleştirilmiştir.

## 4.2. K-En Yakın Komşu (K-NN) ile Konumlandırma Performans Sonuçları

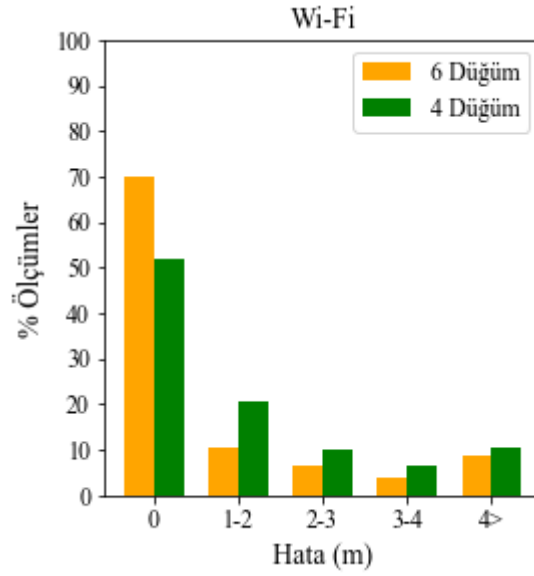
Aşağıda Şekil 4.1’de Manhattan uzaklık yöntemi ve K değeri 1 olan, en yüksek doğruluk oranına sahip Wi-Fi tabanlı konumlandırma sistemi için 11 noktada gerçekleştirilen hedef konumlar ve tahmin edilen konumlar için örnek harita gösterilmektedir.



Şekil 4.1. K-NN ile Wi-Fi sistemi için konum tahmin örnekleri

Yukarıdaki grafikte yeşil işaretçiler hedef konumları, kırmızı işaretçiler tahmin edilen konumları temsil etmektedir. Yeşil ve kırmızı renkli yuvarlak işaretçilerin üst üste geldiği yerler hedef konumun doğru tahmin edildiği bölgeleri temsil etmektedir.

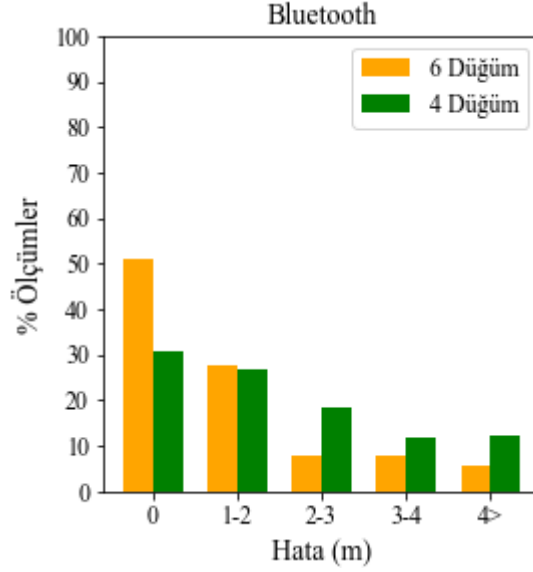
K-NN algoritması ile Wi-Fi sistemleri için gerçekleştirilen konum tahminlerinde 6 düğüm için Manhattan, 4 düğüm için Öklid uzaklık yöntemleri ve K değerlerinin 1 olduğu konumlandırma sistemleri en yüksek doğruluğa sahip olan sistemlerdir. Aşağıda bu yöntemlere ait yüzde hata değerleri grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.** K-NN ile Wi-Fi konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği

Şekil 4.2'deki grafikte Hata (m) eksenini, hedef konum ile tahmin edilen konum arasındaki hatayı metre bazında gösterirken, % Ölçümler eksenini tüm ölçüm sonuçlarının yüzdelik oranlarını göstermektedir. Dikdörtgen olarak gösterilmekte olan turuncu sütunlar 6 düğüm noktası, yeşil sütunlar ise 4 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konumlandırma sistemini temsil etmektedir. Wi-Fi sisteminde en düşük hataya sahip sistem metre bazında değerlendirildiğinde konum tahminlerinin hata ortalaması 0,94 metre olarak bulunmuştur.

K-NN algoritması ile Bluetooth sistemleri için gerçekleştirilen konum tahminlerinde 6 düğüm için Manhattan, 4 düğüm için Öklid uzaklık yöntemleri ve K değerlerinin 1 olduğu konumlandırma sistemleri en yüksek doğruluğa sahip olan sistemlerdir. Aşağıda bu yöntemlere ait % hata değerleri grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 4.3.** K-NN ile Bluetooth konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği

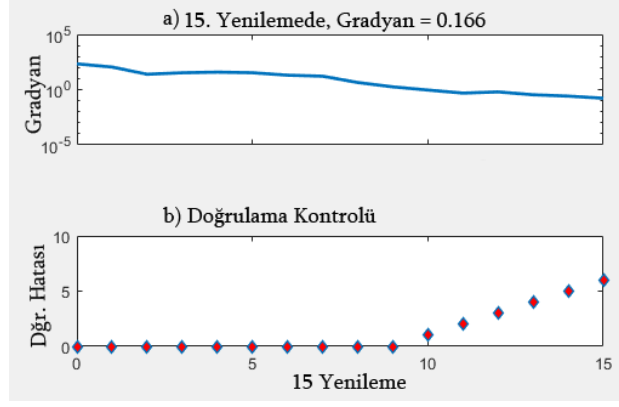
Şekil 4.3’deki hata analizlerinde, Bluetooth 6 düğümlü için % 50,9 oranla en yüksek doğrulukta tahmine sahip olan Manhattan uzaklık hesaplama yöntemine aittir ve k değeri 1 olarak belirlenmiştir. 4 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konum tahmini için K değeri 1 olarak belirlenmiştir. Öklid, Manhattan ve Chebyshev yöntemleri için % 30,8 oranla aynı sonuçlar bulunduğu için yeşil sütunlar üç yöntemi de temsil etmektedir. Bluetooth sisteminde en düşük hataya sahip sistem metre bazında değerlendirildiğinde konum tahminlerinin hata ortalaması 1,1 metre olarak bulunmuştur.

KNN ile gerçekleştirilen konum tahminlerinde Wi-Fi sistemi, Bluetooth sistemine oranla daha yüksek doğrulukta konumlandırma yaptığı tespit edilmiştir. K-NN yöntemi ile hem Wi-Fi hem de Bluetooth konumlandırma sistemi için düğüm sayısının artması tahmin doğruluğunu artırdığı gözlemlenmiştir.

#### 4.3. Yapay Sinir Ağları Eğitim Değerlendirmesi

Wi-Fi teknolojisi ve Bluetooth teknolojisi için 4 ve 6 düğüm noktası kullanılarak saha analizi aşamasında toplanan verilerin, yapay sinir ağları (YSA) ile eğitilmesi ile konum tahminleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen konum tahminleri için gradyan, ortalama kare hatası (MSE) ve doğrulama hata değerleri grafikler üzerinde gösterilerek ayrıntılı performans ve hata analiz sonuçları bu bölümde incelenecektir.

Wi-Fi düğüm noktalarının 4 tanesi kullanılarak eğitilen YSA’nın eğitim başarısı Şekil 4.4’de gösterilmektedir.

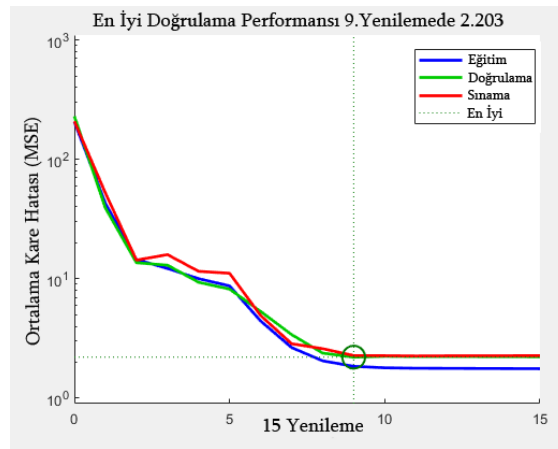


Şekil 4.4. 4 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim başarısı

Şekil 4.4.a grafiğinde gradyan değerleri logaritmik olarak gösterilmektedir. 15 yenileme yapan YSA için en düşük gradyan değeri 0,166 olarak bulunmuştur. Yapay sinir ağı eğitim aşamasında, nöronlar arasındaki ağırlık değerleri sürekli olarak güncellenerek en uygun ağırlık değerleri bulunana kadar ağ eğitime devam etmektedir. Gradyan değeri, YSA'nın öğrenme aşamasında yapılan hatalardan yola çıkarak nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıkları için en ideal değerini bulunmasını hedeflemektedir.

Şekil 4.4.b grafiği 15 yenileme yapan YSA'nın doğrulama hata değerlerini göstermektedir. 9. yenilemeden sonra doğrulama hata değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Eğitim kümesinin tamamının çalıştırılması 1 yenileme işlemi olarak ifade edilmektedir. YSA her yenileme için aynı veriler üzerinden geçerek öğrenme işlemi yapmaktadır.

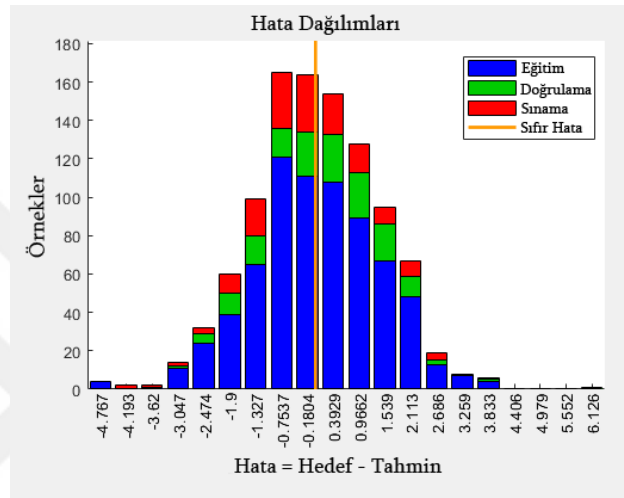
Eğitim, doğrulama ve sınav verileri için logaritmik olarak ortalama kare hatası (MSE) değerlerini gösteren YSA'nın performans grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.5. 4 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim, doğrulama ve sınav performans grafiği

Mavi çizgiler eğitim, yeşil çizgiler doğrulama, kırmızı çizgilerin sınama verilerini temsil ettiği Şekil 4.5’de YSA’nın eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin birbirine yakın seyir izlediği dolayısıyla ağın genelleme kabiliyetinin iyi olduğu görülmektedir. En düşük MSE değeri 2,203 olarak 9. yenilemede elde edilmiş ve 15 kez yenilenen ağda 9. yenilemeden sonra anlamlı bir değişiklik görülmemiştir.

Şekil 4.6 YSA’nın eğitim, doğrulama ve sınama verileri için hata dağılım grafiğini göstermektedir.



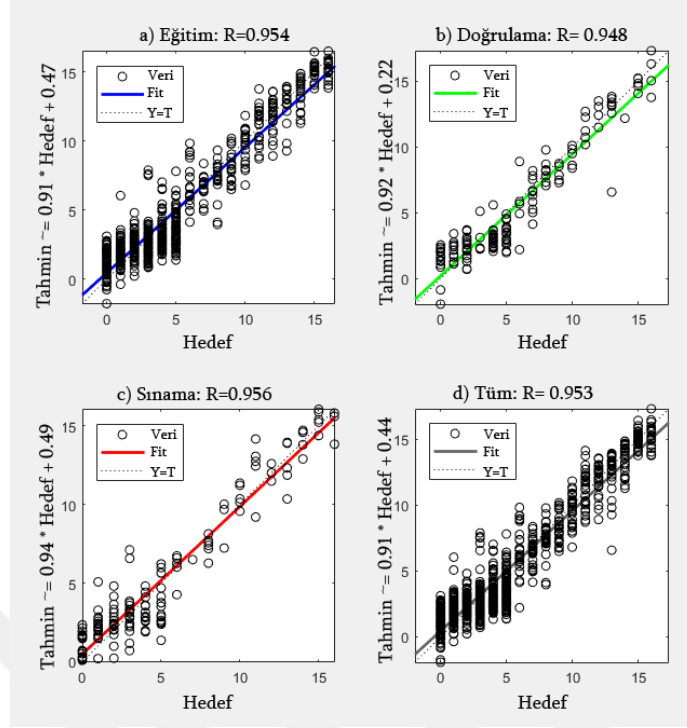
Şekil 4.6. 4 düğümlü Wi-Fi YSA hata dağılım grafiği

Hata dağılım grafiği hedef değerlerden, YSA’nın tahmin ettiği değerlerin çıkarılması ile oluşturulmaktadır. Grafik üzerinde dikdörtgenler halinde gösterilmekte olan mavi sütunlar eğitim için kullanılan, yeşil sütunlar doğrulama için kullanılan, kırmızı sütunlar ise sınama için kullanılan verileri temsil etmektedir.

Grafik üzerinde y eksenine paralel olarak gösterilmekte olan turuncu renkteki sıfır hata çizgisinin sağ tarafı pozitif, sol tarafı ise negatif farkı göstermektedir. Hata dağılım grafiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin sıfır hata noktasında yoğunlaşması ağın eğitim başarısının iyi olduğunu, dolayısıyla hata oranının düşük olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.7’de 4 düğümlü Wi-Fi sisteminin R değerleri eğitim, doğrulama ve sınama verileri için YSA’nın eğitim başarı oranını göstermektedir.

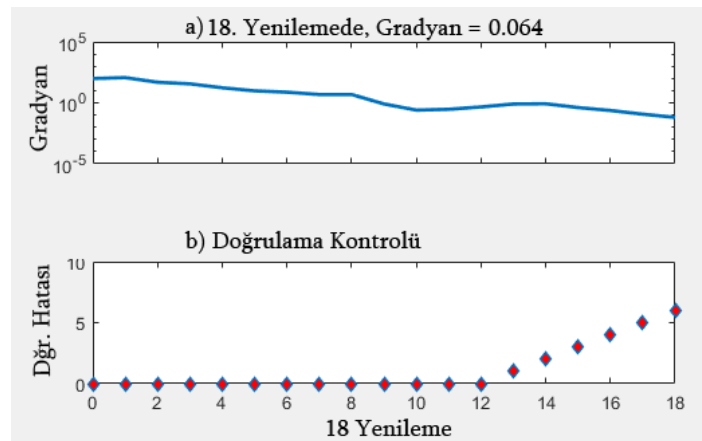




Şekil 4.7. 4 düğümlü Wi-Fi YSA regresyon analizi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verileri için R değerlerinin birbirine yakın bulunduğu görülmektedir. Değerlerin birbirine yakın olması aşırı ezber (overfittig) yapmadığını dolayısıyla eğitildiğini göstermektedir. R değeri 100 ile çarpılarak yüzde başarı değerleri hesaplanır. Eğitim % 95.4, doğrulama % 94,8, sınama değerleri % 95,6 iken, eğitilen YSA genel başarı grafiği (d) incelendiğinde R değeri % 95.3 olarak hesaplanmıştır.

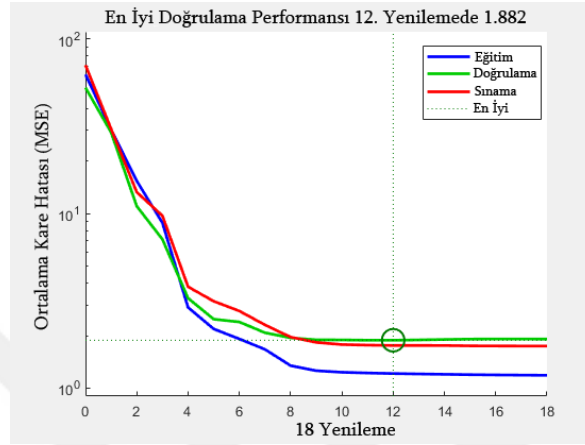
Wi-Fi düğüm noktalarının 6 tanesi kullanılarak eğitilen YSA eğitim başarısı Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. 6 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim başarısı

Şekil 4.8.a grafiği incelendiğinde, 18 yenileme yapan YSA için en düşük gradyan değeri 0,064 olarak bulunmuştur. Şekil 4.8.b grafiğinde, 18 yenileme yapan YSA 12. yenilemeden sonra doğrulama hata değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

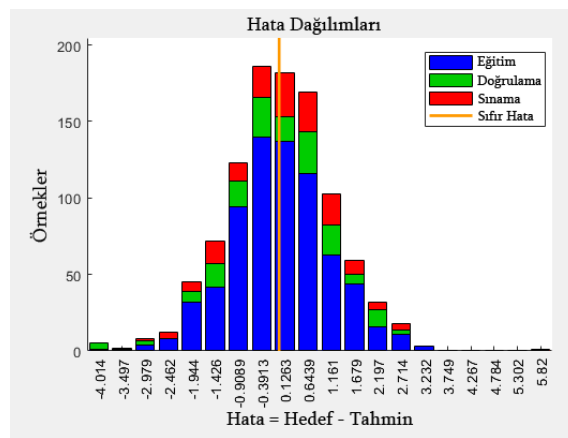
Eğitim, doğrulama ve sınama verileri için logaritmik olarak MSE değerlerini gösteren YSA'nın performans grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.9. 6 düğümlü Wi-Fi YSA eğitim, doğrulama ve sınama performans grafiği

Yukarıdaki grafik incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin birbirine yakın seyir izlediği dolayısıyla ağın genelleme kabiliyetinin iyi olduğu görülmektedir. En düşük MSE değeri 1,882 olarak 12. yenilemede elde edilmiş ve 18 kez yenilenen ağda 12. yenilemeden sonra anlamlı bir değişiklik görülmemiştir.

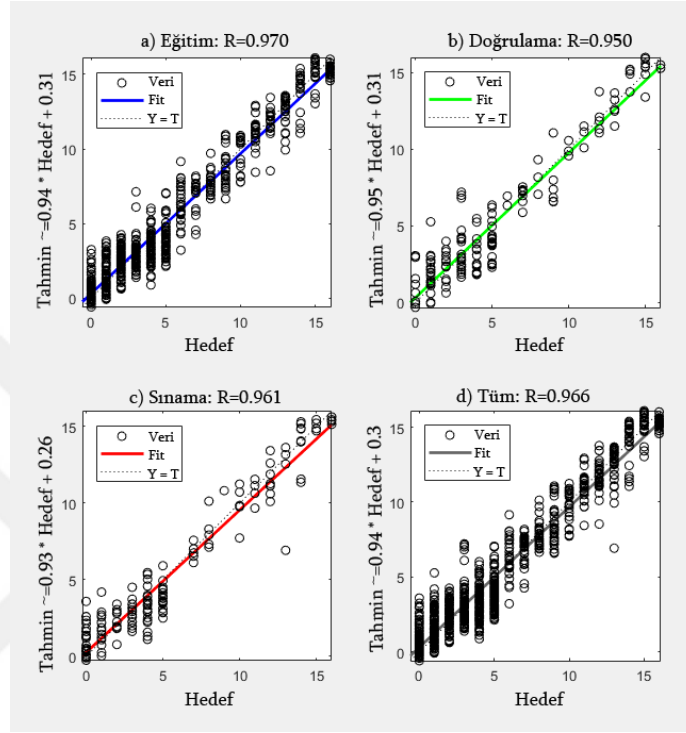
Şekil 4.10'da YSA'nın eğitim, doğrulama ve sınama verileri için hata dağılım grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.10. 6 düğümlü Wi-Fi YSA hata dağılım grafiği

Hata dağılım grafiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin sıfır hata noktasında yoğunlaşması ağın eğitim başarısının iyi olduğunu göstermektedir.

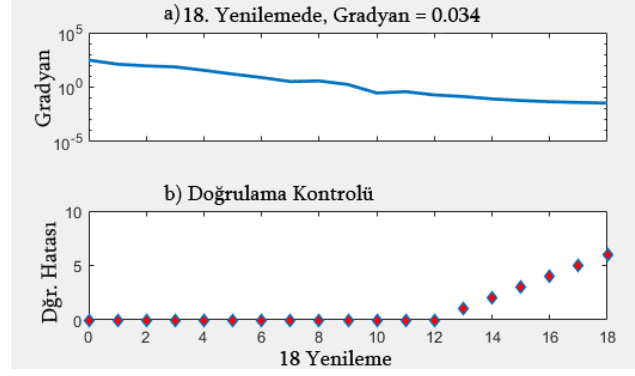
Şekil 4.11’de 6 düğümlü Wi-Fi sisteminin R değerleri eğitim, doğrulama ve sınama verileri için sistemin başarı oranını göstermektedir.



Şekil 4.11. 6 düğümlü Wi-Fi YSA regresyon analizi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verileri için R değerlerinin birbirine yakın bulunduğu dolayısıyla ağın ezber yapmadığı anlaşılmaktadır. Eğitilen ağın genel başarı grafiğinin yer aldığı Şekil 4.11.d incelendiğinde R değeri % 96,6 olarak hesaplanmıştır.

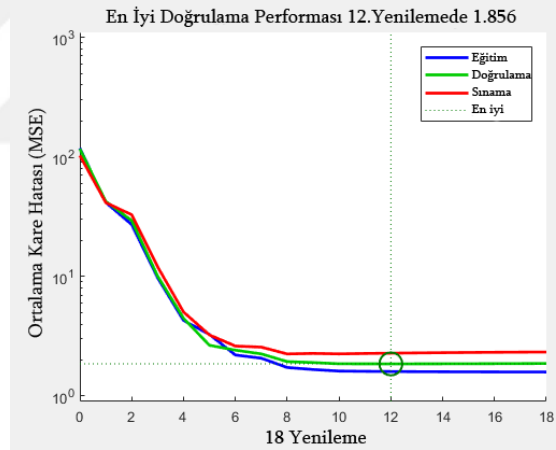
Bluetooth düğüm noktalarının 4 tanesi kullanılarak eğitilen YSA'nın eğitim başarısı Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. 4 düğümlü Bluetooth YSA eğitim başarısı

Şekil 4.12.a grafiğinde incelendiğinde, 18 yenileme yapan YSA için en düşük gradyan değeri 0,034 olarak bulunmuştur. Şekil 4.12.b grafiğinde, 18 yenileme yapan YSA'nın 12. yenilemeden sonra doğrulama hata değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

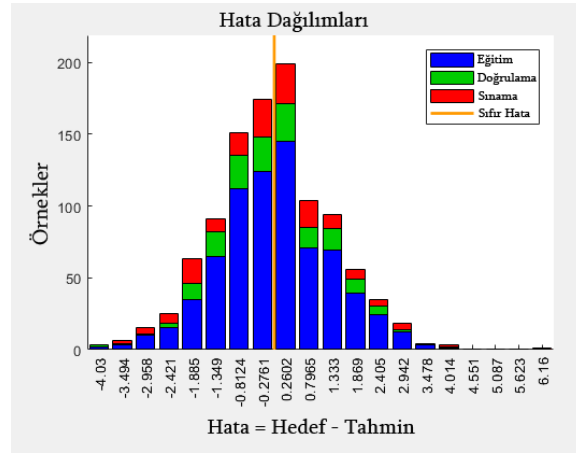
Eğitim, doğrulama ve sınamaya verileri için logaritmik olarak MSE değerlerini gösteren YSA'nın performans grafiği Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. 4 düğümlü Bluetooth YSA eğitim, doğrulama ve sınamaya performans grafiği

Mavi çizgiler eğitim, yeşil çizgiler doğrulama, kırmızı çizgiler sınamaya verilerini göstermekte olan Şekil 4.13'de YSA'nın eğitim, doğrulama ve sınamaya verilerinin birbirine yakın seyir izlediği dolayısıyla ağın genelleme kabiliyetinin iyi olduğu görülmektedir. En küçük MSE değeri 1,856 olarak 12. yinilemede elde edilmiş ve 18 kez yinelenen ağda 12. yinilemeden sonra anlamlı bir değişiklik görülmemiştir.

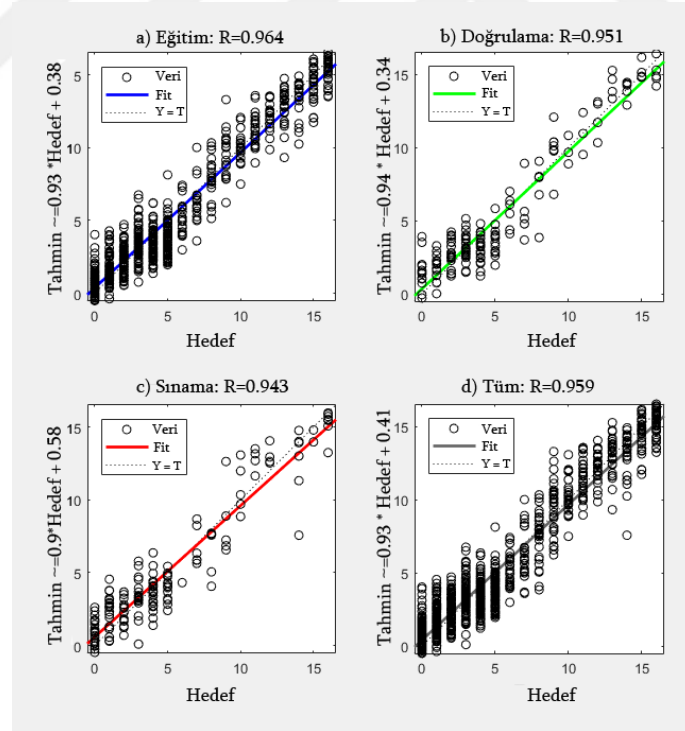
Aşağıda eğitilen YSA'nın eğitim, doğrulama ve sınamaya verileri için hata dağılım grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.14. 4 düğümlü Bluetooth YSA hata dağılım grafiği

Hata dağılım grafiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin sıfır hata noktasında yoğunlaşması ağın eğitim başarısının iyi olduğunu göstermektedir.

Aşağıdaki grafiklerde 4 düğümlü Bluetooth sisteminin R değerleri eğitim, doğrulama ve sınama verileri için sistemin başarı oranını göstermektedir.

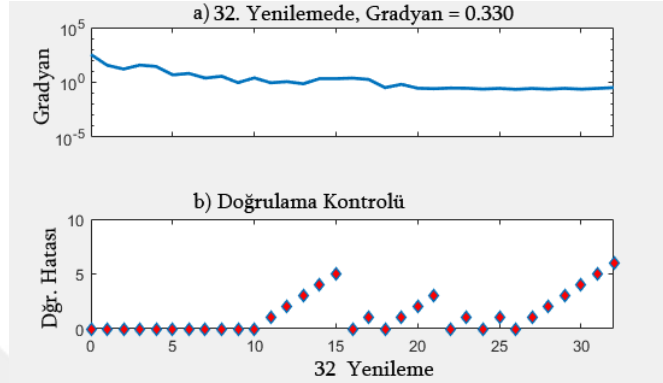


Şekil 4.15. 4 düğümlü Bluetooth YSA regresyon analizi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verileri için R değerlerinin birbirine yakın bulunduğu dolayısıyla ağın ezber yapmadığı anlaşılmaktadır.

Eğitim % 96,4 doğrulama % 95,1 sınama değerleri % 94,3 iken, eğitilen ağın genel başarı grafiği (d) incelendiğinde R değeri % 95,9 olarak hesaplanmıştır.

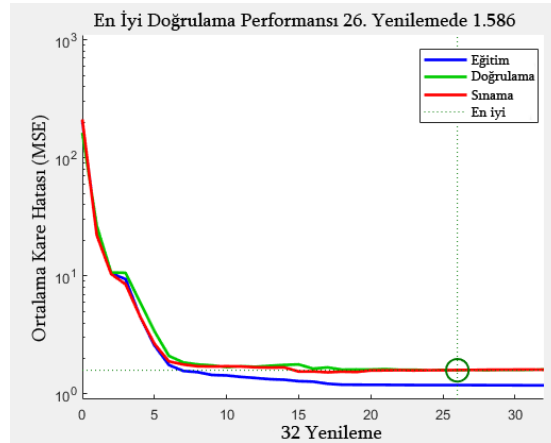
Bluetooth 6 düğüm noktası kullanılarak eğitilen YSA'nın eğitim başarısı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.16. 6 düğümlü Bluetooth YSA eğitim başarısı

Şekil 4.16.a grafiğinde incelendiğinde, 32 yenileme yapan YSA için en düşük gradyan değeri 0,33 olarak bulunmuştur. 10. yenilemeden sonra doğrulama hata değerlerinde (b) dalgalanmalar gözlemlenmiştir.

Eğitim, doğrulama ve sınama verileri için logaritmik olarak MSE değerlerini gösteren YSA'nın performans grafiği aşağıda gösterilmektedir.

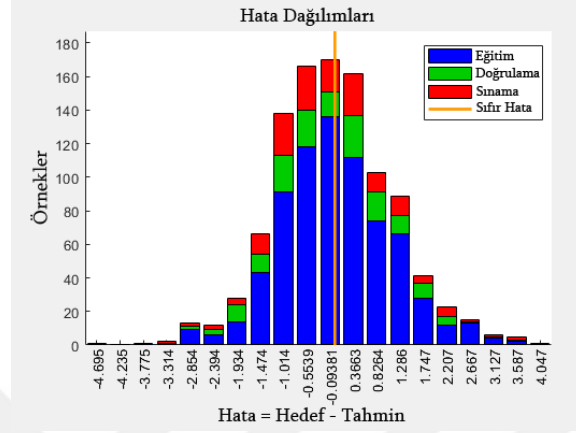


Şekil 4.17. 6 düğümlü Bluetooth YSA eğitim, doğrulama ve sınama performans grafiği

Şekil 4.17 incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin birbirine yakın seyir izlediği dolayısıyla ağın genelleme kabiliyetinin iyi olduğu görülmektedir. En düşük

MSE değeri 1,586 olarak 26. yenilemede elde edilmiş ve 32 kez yenilenen ağda 26. yenilemeden sonra anlamlı bir değişiklik görülmemiştir.

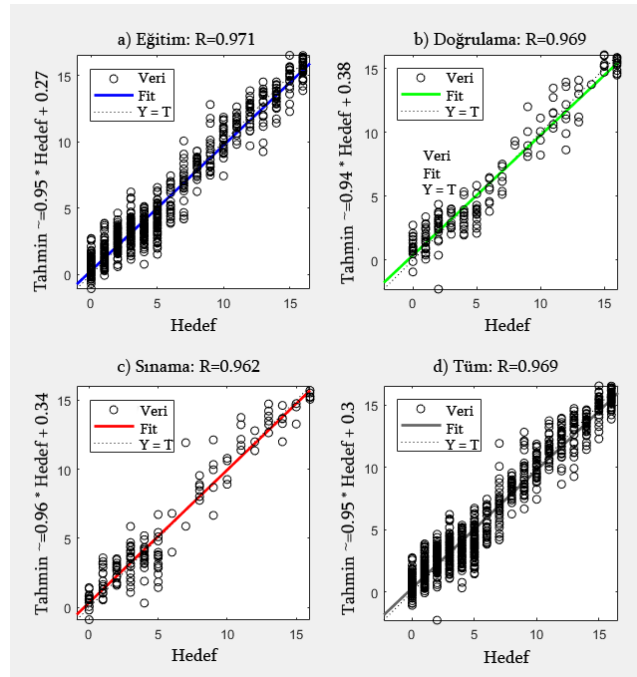
Aşağıda eğitilen YSA'nın eğitim, doğrulama ve sınama verileri için hata dağılım grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.18. 6 düğümlü Bluetooth YSA hata dağılım grafiği

Hata dağılım grafiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verilerinin sıfır hata noktasında yoğunlaşması ağın eğitim başarısının iyi olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.19, 6 düğümlü Bluetooth sisteminin R değerleri eğitim, doğrulama ve sınama verileri için sistemin başarı oranını göstermektedir.



Şekil 4.19. 6 düğümlü Bluetooth YSA regresyon analizi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde eğitim, doğrulama ve sınama verileri için R değerlerinin birbirine yakın bulunduğu dolayısıyla ağın ezber yapmadığı anlaşılmaktadır. Eğitilen ağın genel başarı grafiğini gösteren Şekil 4.19.d incelendiğinde R değeri % 96,9 olarak hesaplanmıştır.

Aşağıda gösterilmekte olan Tablo 4.2’de gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinin eğitim sonuçları karşılaştırılmaktadır. YSA ile eğitilen 4 model için de veri setinin % 70’i eğitim, % 15’i doğrulama, % 15’i sınama olarak rastgele atanmıştır. Böylece saha analizi aşamasında elde edilen 510 veri 356 eğitim, 77 doğrulama, 77 sınama olarak kullanılmıştır.

**Tablo 4.2.** YSA eğitiminin başarı ve hata değerlerinin karşılaştırılması

Teknoloji	Düğüm Sayısı	Değerler	Örnek sayısı	MSE	R
Wi-Fi	4	Eğitim	356	1,905	0,954
		Doğrulama	77	2,032	0,948
		Sınama	77	1,840	0,956
	6	Eğitim	356	<u>1,213</u>	<u>0,970</u>
		Doğrulama	77	1,882	0,950
		Sınama	77	1,756	0,961
Bluetooth	4	Eğitim	356	1,602	0,964
		Doğrulama	77	1,856	0,951
		Sınama	77	2,282	0,943
	6	Eğitim	356	<u>1,188</u>	<u>0,971</u>
		Doğrulama	77	1,586	0,969
		Sınama	77	1,596	0,962

MSE değeri ağın tahmin ettiği değer ile gerçek değer arasındaki farkı vermektedir. Yapay sinir ağının amacı, ağın tahmin ettiği değer ile gerçek değer arasındaki farkı en aza indirmektir. Bu amaçla MSE değerinin düşük olması istenmektedir. Eğitim aşamasında elde edilen MSE değerinin doğrulama aşamasında elde edilen MSE değerine yakın olması ağın genelleme yeteneğinin iyi olduğunu göstermektedir.

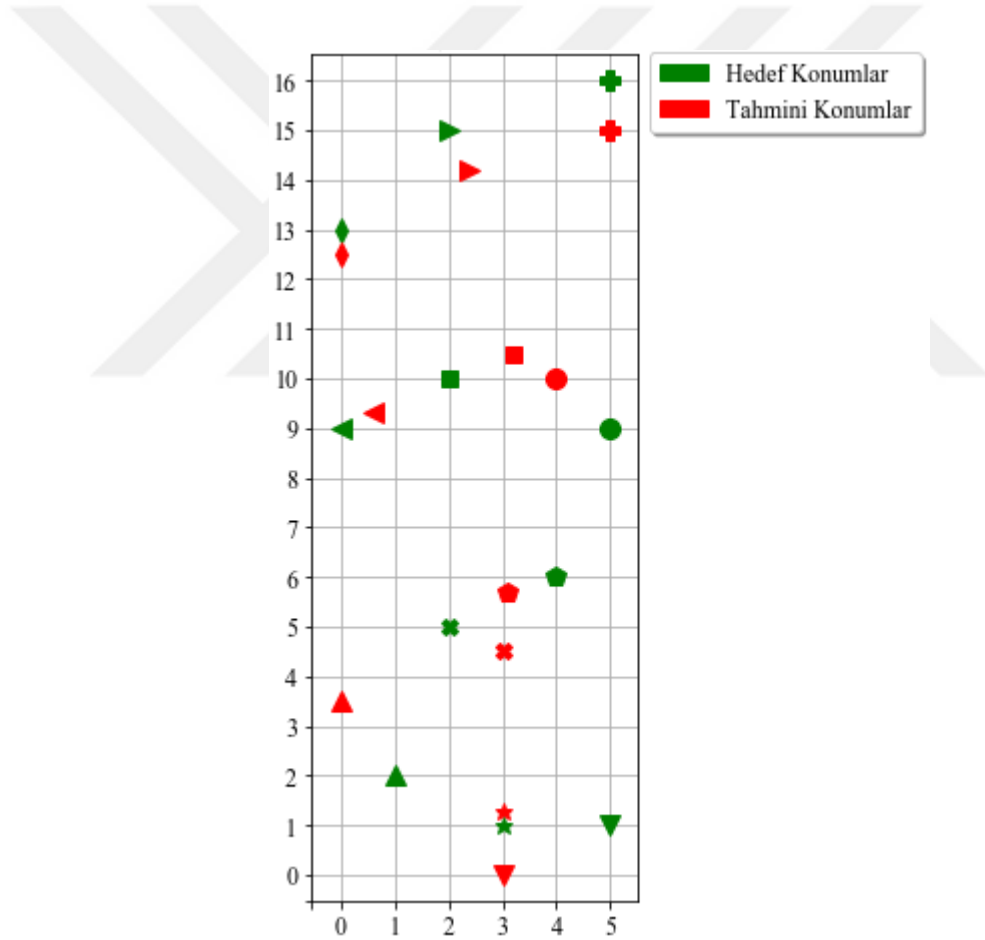
R değeri gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin korelasyonunu vermektedir. Korelasyon değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir. 1’e yaklaştıkça ağın tahmin doğruluk oranı artmaktadır. -1’e doğru yaklaştıkça ağın tahmin doğruluğu azalmakta olduğunu göstermektedir. R değeri 0 bulunursa, tahmin edilen değer ile gerçek değer arasında hiçbir



ilişkinin olmadığı anlamına gelmektedir. Geliştirilen 4 model için de yüksek doğrulukta R değerleri elde edilmiştir. 4 farklı sistem için YSA eğitimleri karşılaştırıldığında % 97,1 R değeri ve 1,188 MSE değeri ile en iyi tahmin modeli 6 düğümlü Bluetooth sistemi ile hesaplanmıştır.

#### 4.4. Yapay Sinir Ağları ile Konumlandırma Performans Sonuçları

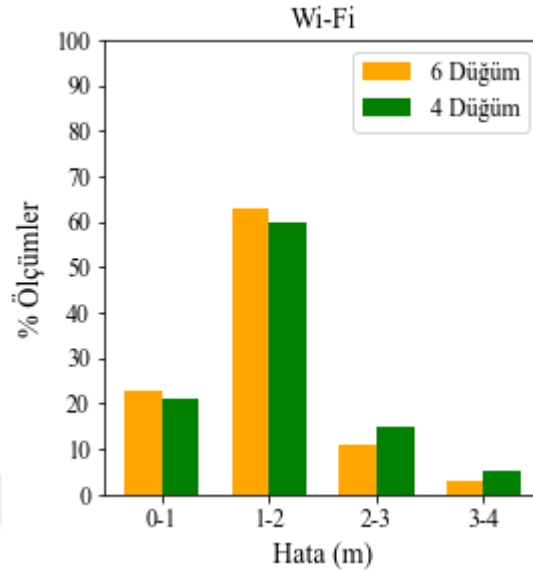
Şekil 4.20’de YSA ile gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinde en yüksek doğruluk oranına sahip olan Bluetooth 6 düğümlü konumlandırma için 11 noktada gerçekleştirilen konum tahmininde, hedef konumlar ve tahmin edilen konumlara ait örnek bir harita gösterilmektedir.



Şekil 4.20. YSA ile Wi-Fi sistemi için konum tahmin örnekleri

Şekil 4.20’de yer alan grafikte yeşil işaretçiler hedef konumları, kırmızı işaretçiler tahmin edilen konumları göstermektedir. Şekil 4.21’de Wi-Fi düğümleri kullanılarak

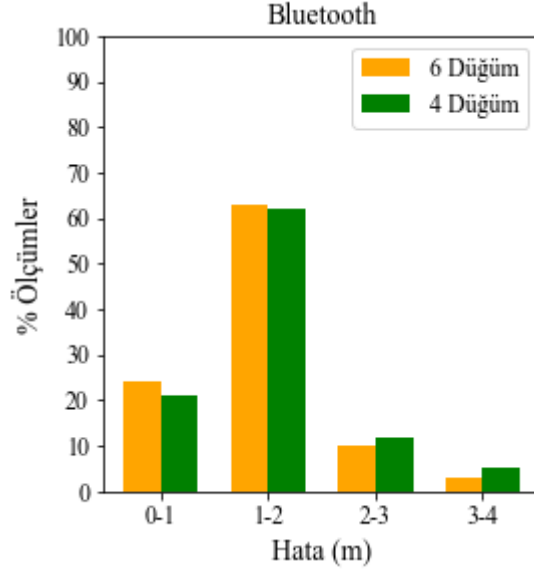
eğitilen YSA ile gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinin metre bazında yzdelik hata oranları grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gsterilmektedir.



şekil 4.21. YSA ile Wi-Fi konumlandırma sisteminin yzde hata grafiği

şekil 4.21'deki grafikte dikdörtgen olarak gsterilmekte olan turuncu sütunlar 6 düğüm noktası kullanılarak eğitilen YSA ile metre bazında hata tahmin dağılımlarını, yeşil sütunlar ise 4 düğüm noktası kullanılarak eğitilen ağın metre bazında hata tahmin dağılımlarını gstermektedir. Grafikler incelendiğinde 6 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konumlandırma sisteminin, 4 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konumlandırma sistemine göre daha başarılı olduğu gsterilmektedir.

şekil 4.22'de Bluetooth düğümleri kullanılarak eğitilen YSA ile gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinin metre bazında yzdelik hata oranları grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak gsterilmektedir.



**Şekil 4.22.** YSA ile Bluetooth konumlandırma sisteminin yüzde hata grafiği

Şekil 4.22’de yer alan grafikte dikdörtgen olarak gösterilmekte olan turuncu sütunlar 6 düğüm noktası kullanılarak eğitilen YSA ile metre bazında hata dağılımlarını, yeşil sütunlar ise 4 düğüm noktası kullanılarak eğitilen ağın metre bazında hata dağılımlarını göstermektedir.

Grafikler incelendiğinde 6 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konumlandırma sisteminin, 4 düğüm noktası kullanılarak gerçekleştirilen konumlandırma sistemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

#### 4.5. Konumlandırma Sonuçlarının Karşılaştırması

Bluetooth ve Wi-Fi teknolojileri için K-NN ve yapay sinir ağları kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilen modeller ile yapılan analizler sonucunda metre bazında hata değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4.2’ de gösterilmektedir.

**Tablo 4.3.** K-NN ve yapay sinir ağları ile konum tahmin hatalarının karşılaştırılması

Teknoloji	Düğüm sayısı	K-NN (metre)	Yapay sinir ağı (metre)
Wi-Fi	4	1,37	1,71
	6	<u>0,94</u>	1,51
Bluetooth	4	1,78	1,61
	6	1,1	1,48

Tablo 4.3’de altı çizili değer ortalama bazında en az hatayı göstermektedir. Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak K-NN ve yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen konumlandırma sistemlerinde, K-NN ile 6 duğüm noktasına sahip Wi-Fi sisteminden 0,94 metre ortalama hata ile en yüksek doğrulukta konum tahmini elde edilmiştir. Her iki teknoloji için de saha içerisindeki duğüm sayısı arttırıldığında konum tahmin doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir.



## 5. SONUÇ

Birçok kablosuz haberleşme teknolojisi kullanarak çeşitli uygulamaların gerçekleştirildiği kapalı alan konumlandırma sistemleri gelişmekte olan bir teknolojidir. Bu çalışma kapsamında Wi-Fi ve Bluetooth teknolojileri kullanılarak parmak izi yöntemi ile konumlandırma sistemleri geliştirilmiş, konumlandırma doğruluğunu artırmak için K-en yakın komşu ve yapay sinir ağları kullanılarak bir çiftlikte performans testleri gerçekleştirilmiştir.

Düğüm noktalarından yayılan sinyalleri elde etmek için RSSI tekniği kullanılmıştır. RSSI verileri ek donanımlara ihtiyaç duymadan kolaylıkla elde edilebilmesine karşın ortam parametrelerine ve girişimlere karşı hassas yapıdadırlar. Verici sinyal gücü sabit olsa da alıcı kısmında değişken sinyal değerleri elde edilmesi konumlandırma doğruluğunu azaltan önemli etkenlerdir. Bu nedenle kapalı bir alanda kurulacak konumlandırma sistemlerine ortam parametreleri de dâhil edilmelidir. Her iki teknoloji ile de gerçekleştirilen konumlandırma sistemleri için çalışma alanının sinyal haritasının modellenmesinde kullanılan örnek veri sayısının artırılması ile konum tahmin doğruluğunun artırıldığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak çalışma alanına yerleştirilen düğüm sayısının artırılması ile ölçüm netliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Hassas konumlandırma ihtiyacı olmadığı takdirde düğüm sayısı azaltılarak sistem kurulum ve bakım maliyeti düşürülebilir. Bununla birlikte uygun makine öğrenme yöntemleri ile iyileştirmeler yapılarak daha az düğüm sayısı ile de etkin konumlandırma gerçekleştirilebilir. Ayrıca kablosuz ağlardaki gelişmelerle birlikte bu teknolojilerin çok ucuz fiyatlara alınabilmesi düğüm sayısı kısıtlamasının ortadan kalkacağını göstermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan ESP32 modülü 32 bit mikroişlemciye sahip ve Wi-Fi, Bluetooth teknolojilerini bünyesinde barındırmasının yanında 20 TL'ye alınabilmesi bunun bir göstergesidir.

Günümüzde hemen her yerde kullanılan Wi-Fi teknolojisinin, oldukça zengin ürün çeşitliliği, yüksek bağlantı hızları, geniş çekim alanlarına sahip olması ve internete doğrudan erişimi bu teknolojinin avantajlarıdır. Bununla birlikte Wi-Fi teknolojisinin dinamik ağ yapısından dolayı sinyal gücünde değişiklikler meydana gelmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan kablosuz takip cihazların uzun pil ömrüne sahip olması için düşük güç tüketimi oldukça önemlidir. Wi-Fi cihazlarının yüksek enerji tüketimi ve değişken RSSI değerleri çiftlik uygulaması için kullanılmasının önündeki kısıtlayıcı etkenlerdir.

Bluetooth teknolojisi bilgisayarlar ve mobil cihazlar ile birlikte gömülü olarak gelen ve günlük hayatta sıklıkla kullanılan bir teknolojidir. Düşük enerji tüketimi Bluetooth teknolojisinin en büyük avantajıdır BLE ile Bluetooth teknolojisinin kapsama alanı genişletilirken enerji tüketimi oldukça azalmıştır. Bununla birlikte çalışma kapsamında kullanılan cihaz BLE 4.2 sürümüne sahip olmasına rağmen, kodlama ile en yüksek güç seçeneğine alınarak 25 metre kapsama alanına kadar ancak ulaşabilmiştir. Dar kapsama alanına sahip olması ve Wi-Fi sistemindeki gibi RSSI değerlerinin değişkenlik göstermesi BLE teknolojinin çiftlik uygulaması için kullanılmalarının önündeki kısıtlayıcı etkenlerdir.

Yapay zekâ teknikleri konumlandırma sistemlerinin tahmin doğruluğunu etkileyen önemli bileşenlerdir. Bu çalışmada kullanılan K-en yakın komşu sınıflandırması ve yapay sinir ağlarının sistem üzerine farklı etkileri gözlemlenmiştir. Wi-Fi teknolojisi ile gerçekleştirilen konum tahminlerinde K-en yakın komşu ile % 69,8 oranında doğru sınıflandırma yapılarak ortalama 0,94 metre hata ile yüksek doğrulukta konumlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Yine K-en yakın komşu algoritması kullanılarak Bluetooth teknolojisi ile 1.1 metre ortalama hata ile başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen çalışmalarda Wi-Fi teknolojisinin aksine Bluetooth teknolojisi ile daha yüksek doğrulukta konum tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki kullanılan teknoloji ve konumlandırma algoritması kadar yapay zekâ teknikleri de konumlandırma doğruluğunu etkileyen önemli bileşenlerdir.

Çalışma kapsamında kullanılan kablosuz takip cihazının yüksek pil tüketiminin bakım maliyetlerini artırması bu çalışma için Wi-Fi teknolojisinin kullanımını kısıtlayan bir durumdur. 1,1 metre ortalama hata ile konum tahmini gerçekleştiren Bluetooth teknolojisi ile K-en yakın komşu algoritması çiftlik uygulaması için en uygun konumlandırma sistemi olarak önerilmektedir.

Wi-Fi teknolojisinin kullanımını kısıtlayan yüksek enerji tüketimini azaltmak için henüz yeni gelişmekte olan Wi-Fi HaLow teknolojisi konumlandırma sistemleri için kullanıldığı takdirde bu teknolojiler ile ideal çözümler üretmek mümkün görünmektedir. Ayrıca Bluetooth 5.1 teknolojisi ile birlikte RSSI verilerine ek olarak geliş açısı ve kalkış açısı teknolojilerinin Bluetooth donanımına gömülü olarak gelmesi ile sinyalin geliş yönü de hesaplanabilmektedir. Bluetooth 5.1 teknolojisinin kapalı alan konumlandırma ve gerçek zamanlı yönlendirme sistemlerine küresel bir çözüm sunması beklenmektedir.

Gelecek çalışmada Bluetooth 5.1 teknolojisi ile sinyallerin geliş açıları da hesaplanarak kapalı alan konumlandırma sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akkaya, S., Taşpınar, N., 2011. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) Sistemlerinde Konvolüsyon Kodlarını Kullanan II. Türden Kod Birleştirmeli Karma SR ARQ Protokolü, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 16-18.
- Al Nuaimi, K., Kamel, H., 2011. A Survey of Indoor Positioning Systems and Algorithms, *International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, Abu Dhabi, 185–190.
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M., Al-Khalifa, H., 2016. Ultra wideband indoor positioning technologies: analysis and recent advance. *Sensors 16*.
- Almatrook, A., 2016. The Effect of Mobility, Security and Shadowing on Latest Wireless LAN Standard (IEEE802.11ac), Master of Computing. Unitec Institute of Technolgy, Auckland, New Zealand.
- Arslan, K., Kırbaş, İ., 2016. Nesnelerin interneti uygulamaları için algılayıcı/eyleyici kablosuz düğüm ilkörneği geliştirme. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1*, 35–43.
- Aydın, R., 2017. Süt Sığırcılığı İşletmelerinde İşletme İçi Kirlilik ile Topallık Arasındaki İlişki ve Topallığa Bağlı Ekonomik Kayıplar, Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye.
- Barralet, M., Huang, X., Sharma, D., 2009. Effects of Antenna Polarization on RSSI Based Location Identification, *11th International Conference on Advanced Communication Technology. IEEE, South Korea*, 260–265.
- Başak, A.A., 2017. Izgara Tabanlı Parmak İzi Algoritmalarıyla Kapalı Alan Konumlandırma Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Başçıfcı, N., 2011. Zigbee Tabanlı Mobil Sağlık İzleme Sistem Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Bekkelien, A., 2012. Bluetooth Indoor Positioning, Master of Computer Science. University of Geneva, Geneva, Switwerland.
- Bellalta, B., Barcelo, J., Staehle, D., Vinel, A., Oliver, M., 2012. On the performance of packet aggregation in IEEE 802.11ac MU-MIMO WLANs. *IEEE Communications Letters, 16(10)*, 1588–1591.
- Berg, J., 2011. *The IEEE 802.11 Standardization Its History, Specifications, Implementations, and Future, Graduate Program in Telecommunications, Technical Report Series*, George Mason University, Virginia, ABD.

- Bonafini, F., Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S., Sisinni, E., 2018. Exploiting Time Synchronization as Side Effect in UWB Real-Time Localization Devices, *2018 IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control, and Communication (ISPCS)*, IEEE.
- Bulucu, U., Kavas, A., 2007. Kablosuz Ağ Kapsaması için YSA(Yapay sinir Ağ) Modeli Kullanılarak Propagasyon Kayıplarının Hesaplanması III. *İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Balcalı, Adana*, 18-19.
- Çalışkan, S., Yazıcıoğlu, S.A., Demirci, U., Kuş, Z., 2018. Yapay Sinir Ağları, Kelime Vektörleri ve Derin Öğrenme Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Chandrashekar, A.M., S, T., 2017. Comparative analysis of indoor positioning system using bluetooth and wi-fi. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST)*, 4(1).
- Çolak, Ş., Wong, T.F., Serbest, A.H., 2007. Ultra Geniş Bandlı (UWB) Dipol Antenler.
- Corbacho Salas, A., 2014. Indoor Positioning System Based on Bluetooth Low Energy, A Degree's Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya Faculty of the Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació, Barcelona, Spain.
- Demiral, E., Karaş, İ.R., Turan, M.K., 2013. RFID Sistemleri ile Konum Belirleme Uygulamaları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara,14-17.
- Din, M., Jamil, N., Maniam, J., Mohamed, M.A., 2018. Review of indoor localization techniques. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.14), 201-204.
- Disha, A., 2013. A Comparative Analysis on indoor positioning techniques and systems. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*,1790-1796.
- Doğancı, Y.U., 2008. 802.11 Standartlarını Kullanarak Pozisyon Tespiti, Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Elhesseawy, H., Riad, L., 2018. Bluetooth Low Energy Industrial Sensor, Master's Thesis. Lund University Faculty of Engineering (LTH), Lund, Sweden.
- Espressif, S., 2019. ESP32 Series Datasheet. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf) (Erişim Tarihi: 08.07.2019).
- Ethw, 2019. Wireless Local Area Networks (WLANs). [https://ethw.org/Wireless\\_Local\\_Area\\_Networks\\_\(WLANs\)](https://ethw.org/Wireless_Local_Area_Networks_(WLANs)) (Erişim Tarihi: 19.04.2019)
- Everest, F.A., 2001. *Master Handbook of Acoustics*, Fourth Edition. United States of America, 641 p.



- Farid, Z., Nordin, R., Ismail, M., 2013. Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013, 1–12.
- Goldsmith, A., 2005. *Wireless Communications*, Cambridge University Press, England, 674 p.
- Gödekoğlu, D.A., 2019. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Solunum Fonksiyon Testleri ile Cinsiyet, Obezite ve Sigara Kullanımının İlişkilendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Gu, Y., Lo, A., Niemegeers, I., 2009. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1), 13–32.
- Huhtala, A., Suhonen, K., Mäkelä, P., Hakojärvi, M., Ahokas, J., 2007. Evaluation of instrumentation for cow positioning and tracking indoors. *Biosystems Engineering*, 96(3), 399–405.
- Kanmaz, M., 2016. Etkin Kullanıcı Hareketliliği ile Kesin Konumlandırma, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kanmaz, M., Aydın, M.A., 2018. Kablosuz sensör ağlarda konumlandırma yöntemleri ve k-means++ kümeleme yöntemi ile yeni yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2).
- Karabey, I., 2015. Wi-Fi Tabanlı Parmak İzi Yöntemi Kullanarak İç Ortam Konumlandırma, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Kaya, S.B., 2018. Çoklu Veri Füzyonu Tabanlı İç Ortam Konumlandırma ve Takip Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Kim, J., Lee, I., 2015. 802.11 WLAN: history and new enabling MIMO techniques for next generation standards. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), 134–140.
- Kırbaş, İ., 2018. İstatistiksel metotlar ve yapay sinir ağları kullanarak kısa dönem çok adımlı rüzgâr hızı tahmini. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 24–38.
- Kırbaş, İ., Dükkancı, A., 2019. Development of A wi-fi based indoor location system using artificial intelligence techniques. *Data Science and Applications*, 2(1), 8-12.
- Kıyıldı, R.K., 2017. Türkiye için Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Trafik Kazası Tahmini Araştırması, *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan)*, 1642-1651.
- Kök, İ.Ş., 2009. Bina İçi Konumlandırma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

- Kolodziej, K.W., Hjelm, J., 2006. *Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*, First Edition. CRC Press, Boca Raton, 463 p.
- Küçük, K., 2017. Geniş bant konum belirleme sistemi performans analizi ve iyileştirilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 26-33.
- Lashkari, A.H., Parhizkar, B., Ngan, M.N.A., 2010. WIFI-Based Indoor Positioning System, *2010 Second International Conference on Computer and Network Technology*, 76–78.
- Li, B., Salter, J., Dempster, A.G., Rizos, C., 2007. Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN, *1st IEEE Int. Conf. on Wireless Broadband & Ultra Wideband Communications*.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J., 2007. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067–1080.
- Maillo, J., Ramírez, S., Triguero, I., Herrera, F., 2017. kNN-IS: An Iterative Spark-based design of the k-Nearest Neighbors classifier for big data. *Knowledge-Based Systems*, 117, 3–15.
- Manjula, K., Vijayarekha, K., Venkatraman, B., 2013. Noise Reduction in Ultrasonic Signals for Identification of Weld Defects: A Review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(24), 4595–4601.
- Maraşlı, F., 2016. RFID Tabanlı Yeni Bir Yakıt Tanıma Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, Türkiye.
- Maraşlı, F., Çubuk, M., 2015. RFID Teknolojisi ve Kullanım Alanları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 249-275.
- Mautz, R., 2012. Indoor Positioning Technologies, Habilitation Thesis. ETH Zurich Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich, Switzerland.
- Michaelsson, L., Quiroga, S., 2017. Design and Evaluation of An Adaptive Dairy Cow Indoor Positioning System, Master of Science Thesis. KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden
- Mrindoko, N.R., Minga, D.L.M., 2016. A Comparison Review of Indoor Positioning Techniques. *International Journal of Computer (IJC)*, 21(1), 42-49.
- Öğücü, Müh.M.O., 2006. Yapay Sinir Ağları ile Sistem Tanıma, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Özdem, B.N., Ceylan, A., Alçay, S., 2014. Kapalı Mekânlarda Uygulanan Konum Belirleme Yöntemleri ve Karşılaştırılması, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye*.

- Özgör, M., 2013. Bayesian Compressive Sensing Approach For Ultra-Wideband Channel Estimation, M. Sc. Thesis. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Öztemel, E., 2012. *Yapay sinir ağları*, 3. Baskı. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 232 s.
- Rogalski, A., 2012. History of infrared detectors, *Opto-Electron Review*, 20(3), 279–308.
- Sakpere, W., Adeyeye Oshin, M., Mlitwa, N.B., 2017. A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies. *South African Computer Journal*, 29(3), 145-197.
- Sarmaşık, G., Durusoy, R., Özkurt, A., 2012. Bilgisayar Laboratuvarlarında Maruz Kaldığımız Elektromanyetik Alanların Zararları ve Çözüm Önerileri. *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Uşak Üniversitesi*, 1-3.
- Selvi, H.Z., Bildirici, Ö., 2011. Konum Tabanlı Hizmetler Teknolojisi ile Yönlendirme Sistemi Tasarımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Singh, G., Bhardwaj, R., Mehla, S., 2012. ZigBee: A Review. *International Journal of Computer Science and Technology (IJCST)*, 3(1).
- Skočir, B., Papa, G., Biasizzo, A., 2018. Multi-hop communication in Bluetooth Low Energy ad-hoc wireless sensor network, *Informacije MIDEA*, 48(2), 85-96.
- Soy, H., Özdemir, Ö., Bayrak, M., 2013. Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Güncel Gelişmeler: IEEE 802.11ac ile Yeni Nesil Gigabit Wi-Fi, *XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Akdeniz Üniversitesi*, 297-302.
- Svalastog, M.S., 2007. Indoor Positioning Technologies, Services and Architectures, Cand Scient Thesis. University of Oslo Department of Informatics, Oslo, Norway.
- Şahin, Y., 2011. Ölçüm Gürültüsünün Karma Geliş Zamanı/Geliş Açısı Yöntemine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- Takeno, H., Nakatsu, Y., Hasegawa, T., Omiya, M., 2011. Throughput Measurements and Numerical Prediction Methods for IEEE802.11n Wireless LAN Installations at 2.4 GHz in a Residential Two-Story House, *2011 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2011)*.
- Taşcı, E., Onan, A., 2016. K-En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Akademik Bilişim*.
- Taşkın, D., 2017. Design of Bluetooth Low Energy Based Indoor Positioning System. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 5(2), 60–65.

- Tatar, Y., Yıldırım, G., 2014. Kablosuz sensör ağlarında küçültülmüş radyo haritası kullanan imza tabanlı konum bulma tekniği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2).
- Terzic, J., Terzic, E., Nagarajah, R., Alamgir, M., 2013. *Ultrasonic Fluid Quantity Measurement in Dynamic Vehicular Applications: A Support Vector Machine Approach, First Edition*, Springer International Publishing, 129 p.
- Torres, A., 2019. Wi-Fi Alliance celebrates 20-year milestone, industry momentum continues. <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-in-2019> (Erişim Tarihi: 04.03.2019).
- Türkoral, T., Tamer, Ö., Yetiş, S., İnanç, E., Çetin, L., 2016. Alınan İşaret Güç Göstergesi (RSSI) Metriği Kullanılarak Kapalı Alan Mesafe, *Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*
- Türkoral, T., Tamer, Ö., Yetiş, S., İnanç, E., Çetin, L., 2017. Short range indoor distance estimation by using RSSI metric. *Istanbul University - Journal of Electrical and Electronics Engineering (IU-JEEE)*, 17(2), 3295-3302.
- Wiig, T. F., 2010. Assessment of Indoor Positioning System (IPS) Technology, Master Thesis. University of Oslo Department of Informatics, Norway
- Yaylak, E., 2008. Süt sığırlarında topallık ve topallığın bazı özelliklere etkisi, *Hayvansal Üretim* 49(1), 47–56.
- Yücel, H., Yazıcı, A., Edizkan, R., 2014. İç ortam konumlandırma sistemleri üzerine bir derleme, *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, IEEE, 1267-1270
- Yurtoğlu, H., 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi. Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü

## ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Kadir ARSLAN

Doğum Yeri ve Yılı :Gölbaşı / 1992

Fotoğraf

### Eğitim Durumu

Lise :Kahramanmaraş Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi 2006-2010

Lisans :Süleyman Demirel Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği 2010-2015

### Çalıştığı Kurum

1- Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi 2012-2019

### Yayımları

- 1- Bebekler ve Yatan Hastalar İçin Alt Değişimi ve Yüksek Ateş Takibi Mobil Uygulama Örneği Geliştirme (*Akademik Bilişim, 2016*)
- 2- Nesnelerin İnterneti Uygulamaları İçin Algılayıcı/Eyleyici Kablosuz Düğüm İlkörneği Geliştirme (*Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1, 2016*)