



# Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Destekli IoT Ağ Geçidinin Yazılım Tasarımlarının Yapılması

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Çağatay KAYNAK  
ORCID 0009-0005-1416-3884

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Merih Palandöken

Nisan 2023

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Çağatay KAYNAK** tarafından hazırlanan **Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Destekli IoT Ağ Geçidinin Yazılım Tasarımlarının Yapılması** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**ONAYLAYANLAR:**

**Tez Danışmanı:** **Prof. Dr. Merih Palandöken**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:**

**Prof. Dr. Adnan Kaya**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Prof. Dr. Merih Palandöken**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Bilge KARTAL ÇETİN**  
Ege Üniversitesi

**Savunma Tarihi: 25/04/2023**

# Yazarlık Beyanı

Ben, Çağatay KAYNAK, başlığı **Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Destekli IoT Ağ Geçidinin Yazılım Tasarımlarının Yapılması** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih:

25.04.2023

---

# Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Destekli IoT Ağ Geçidinin Yazılım Tasarımlarının Yapılması

## ÖZ

Üretim trendlerinde Endüstri 4.0'ın gündeme gelmesi beraberinde, akıllı fabrikaları, dolayısı ile kendi aralarında iletişim kurabilen insansız sistemleri ve Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet of Things) kavramını ön plana çıkarmıştır.

Endüstri 4.0 konsepti ile büyük ilgi odağı olan akıllı fabrika konsepti, farklı kontrol mekanizmaları ile kendilerine atanan görevleri otonom yada merkezi kontrollü bir şekilde tamamlayan makinelerin varlığını gerektirmektedir. Bunların yanı sıra fabrikadaki insan ve varlıkların gerçek zamanlı siber modeli olan dijital ikiz kavramı da ön plana çıkmaktadır. IoT tabanlı bir akıllı fabrikada gerçek zamanlı konum takibi yapılarak, hem insan ve varlıklar üzerinden farklı fiziksel büyüklüklerle ilgili algılayıcı bilgileri toplanabilir, hem de anlık konum takibi sağlanabilir. Bu sayede dijital ikiz oluşturulabilir. Elde edilen veriler ile birçok analiz yapılarak farklı sonuçlar elde edilebilir.

Çalışmanın merkezinde endüstriyel ortamda çalışabilecek IoT protokolü tasarımı ve kapalı alanlarda gerçek zamanlı konumlama uygulamaları yer almaktadır. Tasarlanan AFSUAM haberleşme protokolü ve gerçek zamanlı konum bilgilerinden yararlanarak fabrika modeli üzerinde taşıma ve transfer vagonları ile otomasyon gerçekleştiren elektronik sistem ve gömülü yazılım tasarımı kapsamında bu tez çalışması yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Akıllı fabrika, sensör, endüstri 4.0, nesnelerin interneti, gerçek zamanlı konumlama sistemi, ultra geniş band, kablosuz haberleşme

# Software Design of IoT Gateway with Real Time Positioning Support for Smart Factories

## Abstract

The emergence of Industry 4.0 in production trends has brought the concept of smart factories, unmanned systems that can communicate with each other, and the Internet of Things (IoT) to the fore.

The concept of the smart factory, which is the center of attention with the concept of Industry 4.0, requires the existence of machines that complete the tasks assigned to them with different control mechanisms in an autonomous or centrally controlled manner. In addition to these, the concept of digital twin, which is a real-time cyber model of people and assets in the factory, comes to the fore. By real-time location tracking in an IoT-based smart factory, sensor information about different physical sizes can be collected from people and assets, as well as instant location tracking can be provided. In this way, a digital twin can be created. Different results can be obtained by performing many analyzes with the obtained data. For example, in Inventory Management System of Sewio Company, they have created a visual interface shows items by determining their zones and in zone locations, using informations collected from real time localisation system.

At the center of the study are the IoT protocol design that can work in an industrial environment and real-time positioning applications in closed areas. This thesis study has been carried out within the scope of the electronic system and embedded software design objectives that perform automation with transport and transfer wagons on the AFSUAM smart factory model by using the designed AFSUAM communication protocol and real-time location information.

**Keywords:** Smart factory, sensor, industry 4.0, internet of things, real-time localization system, ultra-wide band, wireless communication

*Aileme . . .*

# Teşekkür

Bu çalışmanın tamamlanmasında tecrübelerini benimle paylaşmaktan hiçbir zaman kaçınmayan danışman hocam Prof Dr. Merih PALANDÖKEN'e, bölüm başkanımız Prof. Dr. Adnan Kaya'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Anneme, babama, kız kardeşime; ayrıca eşim Dilara'ya, her anımda yanımda olarak; bana sundukları destekler için ve cesaretlenmemi sağladıkları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Oğlum Meriç'in 2.yaşına basmasıyla tezimi bitirmenin mutluluğunu da aynı dönemde yaşıyor olduğumu buraya not etmek istiyorum.

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü katkı ve destekleri için Litum Bilgi Teknolojilerine, iş ve okul arkadaşım Hüseyin ÖZDİL'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje no: 2021-TYL-FEBE-0007 tarafından desteklenmiştir.

STMicroelectronics'e ek olarak çizimlerini ve kaynak kodları bu firma ve siteler aracılığıyla araştırmacılara sunan bireylere teşekkürlerimi sunarım.

# İçindekiler

Yazarlık Beyanı.....	ii
Öz.....	iii
Teşekkür.....	vi
Bölüm 1 Giriş.....	1
1.1    Motivasyon.....	2
1.2    Literatür Araştırması ile İlgili Çalışmalar .....	2
1.3    Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları .....	21
Bölüm 2 Akıllı Üretim Sistemleri .....	22
2.1    Endüstri 4.0'ın Endüstriyel Tesislerdeki Rolü .....	22
2.2    Endüstri 4.0'ın Temel İlkeleri .....	24
Bölüm 3 Akıllı Fabrika Sistemlerinde Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Uygulamaları için Teorik Arkaplan.....	26
3.1    Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemleri.....	26
3.2    Akıllı Fabrikalardaki Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidinin Sunucu Tarafı ile Haberleşmesi Hakkında Teorik Arkaplan .....	31
3.2.1    OSI Referans Modeli Katmanları.....	31
3.2.2    TCP/IP Protokolü Referans Modeli ve Uygulamaları .....	34
Bölüm 4 Materyal ve Metod .....	39
4.1    UWB Tabanlı Gerçek Zamanlı Konumlama Algoritmalarının Laboratuvar Ortamında İncelenmesi.....	39
4.1.1    İki Yönlü Ölçüm Metodu Hakkında Yapılan Lab. Çalışmaları ve Bulgular	39



4.1.2	Variş Zamanları Farkı Metodu Hakkında Yapılan Lab. Çalış. ve Bulgular	51
4.2	Gömülü Sistem Altyapısının Oluşturulması	58
4.2.1	İhtiyaç Analizinin Gerçekleştirilmesi	58
4.2.2	İhtiyaca Uygun Gömülü Sistem Analiz ve Tasarımı	61
4.3	Akıllı Fabrika Ağ Geçidi Gömülü Yazılım Tasarımı	69
4.3.1	AFSUAM Haberleşme Protokolü	69
4.3.2	Donanım Sürücüleri Katmanı	73
4.3.3	Kuyruklama Katmanı	74
4.3.4	Çerçeveleme Katmanı	77
4.3.5	Ağ Katmanı	78
4.3.6	Uygulama Katmanı	79
4.3.7	Palet Transfer Uygulaması Gömülü Yazılım Tasarımı	79
Bölüm 5 Gerçek Zamanlı Konumlama Destekli Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi Entegrasyon ve Saha Testleri		83
5.1	Kablosuz Haberleşme Testleri	85
5.2	Transfer Vagonunun Hedef Noktaya Ulaşması ile İlgili Çalışmalar ve Çözümler	87
5.3	TDoA Metodu İle Bölge Tespit Çalışmaları	92
5.4	AFSUAM Akıllı Taşıma Transfer Sistemi Senaryo Testleri	97
Bölüm 6 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar		102

# Şekiller Listesi

Şekil 1.1 (a) Birbirine bağlı fabrikalar (b) Endüstriyel AGV Takip Sistemi .....	5
Şekil 1.2 (a) DW1000 Entegre Devresi Blok Diyagramı [7] (b) TDoA Mesajlaşma Yapısı [8].....	7
Şekil 1.3 (a) DW1000 Geliş Fazları Farkı Uygulama Prensipleri [9] (b) DW1000 Geliş Fazları Farkı Reel ve İmajiner Kısım Ölçümleri[9].....	9
Şekil 1.4 Gerçek Zamanlı Konum Takip Sistemi [20].....	11
Şekil 1.5 UWB İle Tehlike Uyarı Sistemi [21].....	12
Şekil 1.6 Sosyal mesafe uygulama örnekleri .....	13
Şekil 1.7 UWB Test Ortamı [26] .....	15
Şekil 1.8 UWB Yörünge Testi Grafikleri [26].....	15
Şekil 1.9 Yakınlık Olayı İçin Uyarı Oluşumu.....	17
Şekil 1.10 (a) Üçgenleme Konumlama Metodu (b) TurtleBot Hareket Rotası.....	18
Şekil 1.11 IoT Topolojisi ve Ağ Geçidinin Rolü [29] .....	19
Şekil 1.12 IoT Ekosistem Piramidi [2].....	20
Şekil 3.1 Yer altı madeni RTLS Uygulaması [40].....	27
Şekil 3.2 GPS ile konumlama prosedürü [63].....	28
Şekil 3.3 GPS Sinyal Yayılım Şekilleri [41].....	28
Şekil 3.4 (a) UWB Sinyal Birim Tepkisi [56] (b) DWM1000 Tipik Bir Akümülatör Analizi.....	30

Şekil 3.5 OSI Katmanları Diyagramı .....	32
Şekil 3.6 TCP/IP Modeli Katmanları .....	35
Şekil 3.7 HTTP Protokolü Çalışma Prensibi .....	37
Şekil 3.8 MQTT Protokolü Blok Diyagramı [59] .....	38
Şekil 4.1 Temel Twr Mesajlaşması .....	39
Şekil 4.2 Çift Taraflı TWR .....	42
Şekil 4.3 TWR Mesajı Protokol Paketi Yapısı .....	43
Şekil 4.4 Twr Mesajları Detaylı Protokol Açılımı .....	44
Şekil 4.5 Deney Ortamı Kurulumu .....	46
Şekil 4.6 TWR ile 280 cm'de alınan ölçümler .....	47
Şekil 4.7 (a) Tablo 4.4 Grafikselsel Sonuçları (b) DWM1000 Mesafe Sapma Grafiği .	48
Şekil 4.8 AFSUAM IoT Gateway ile TWR Ölçümleri Deney Düzenegi .....	49
Şekil 4.9 DWM1000 Mesafe Sapma Kompanzasyon Fonksiyonu .....	50
Şekil 4.10 Sapma Kompanzasyonu Sonrası Deney Sonuçları .....	50
Şekil 4.11 DW1000 Entegre Devresi Senkronizasyon Şeması .....	52
Şekil 4.12 DW1000 Entegre Devresi Zaman Senkronizasyonu Devresi .....	52
Şekil 4.13 Hercules Yazılımı Seri Port Çıktı Görünümü .....	54
Şekil 4.14 (a) TDoA Test Düzenegi Fiziki Görünüm (b) TDoA Test Düzenegi Yapısal Diyagram .....	54
Şekil 4.15 TDoA Testleri için Transfer Vagonu Yerleşimi .....	55
Şekil 4.16 AFSUAM Transfer Sistemi Akışı .....	58
Şekil 4.17 AFSUAM Taşıma Transfer Sistemi Raylı Vagon Tasarımları .....	59

Şekil 4.18 AFSUAM Taşıma Transfer Sistemi Vagonları Yüksek Seviyeli Tasarımı Diyagramı.....	60
Şekil 4.19 Ağ Geçidi Yüksek Seviyeli Tasarım Diyagramı .....	61
Şekil 4.20 (a) 12V Lipo Pil (b) Güç anahtarı (c) Güç anahtarlama devresi.....	62
Şekil 4.21 5V ve 3V Regüle Devresi .....	62
Şekil 4.22 STM32F429ZGT6 Kodlu Mikrodenetleyici.....	64
Şekil 4.23 DWM1000 Modülü Pin Diyagramı .....	64
Şekil 4.24 (a) L298N Motor Sürücü Devresi (b)12V Redüktörlü DC Motor.....	65
Şekil 4.25 AFSUAM Transfer Robotu Mekanik Yapısı.....	66
Şekil 4.26 ESP WROOM-02 Modülü (a) Fiziki Görünümü (b) Blok Diyagramı .....	68
Şekil 4.27 AFSUAM Protokolü Mesaj Çerçevesi Veri Yapısı .....	71
Şekil 4.28 AFSUAM Modüler Gömülü Yazılım Mimarisi .....	73
Şekil 4.29 Donanım Sürücüleri Katmanı .....	74
Şekil 4.30 Çerçeveleme Katmanının Topolojik Konumu .....	77
Şekil 4.31 Ağ Katmanının Topolojik Konumu .....	78
Şekil 5.1 (a) AFSUAM Sensör Kartı 3D Tasarım Görünümü (b) AFSUAM Sensör Kartı PCB Tasarım Görüntüsü (c) AFSUAM Sensör Kartı Üstten Görünümü (d) IoT Gateway PCB 3D Tasarım Görüntüsü .....	84
Şekil 5.2 (a) Transfer Vagonu ve AFSUAM Sensör Kartı Görünümü (b)(c)(d) Transfer ve Taşıma Vagonu Görünümü .....	85
Şekil 5.3 AFSUAM Fabrika Modeli Üzerinde Transfer Vagonu Hareketi .....	87
Şekil 5.4 Filtre edilmemiş Twr Ölçümleri - 1 .....	89
Şekil 5.5 Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Twr Ölçümleri – 1 .....	89

Şekil 5.6 Filtre Edilmemiş Twr Ölçümleri - 2 .....	90
Şekil 5.7 Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Twr Ölçümleri – 2 .....	90
Şekil 5.8 Ani Yükseliş ve Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Ölçüm Sonuçları - 3	91
Şekil 5.9 Filtre Edilmemiş Twr Ölçümleri - 3 .....	91
Şekil 5.10 Testlerde kullanılan antenler (a) Anten-1 (b) Anten-2 (c) Anten-3 .....	92
Şekil 5.11 Anten-1 ile yapılan TDoA Bölge Testleri .....	93
Şekil 5.12 Anten-1 ile yapılan TDoA Açık Testleri .....	93
Şekil 5.13 Anten-1 Konum-4 Zaman Damgası Önceliği .....	94
Şekil 5.14 Anten-1 Konum-3 Zaman Damgası Önceliği .....	94
Şekil 5.15:Anten-2 ile yapılan TDoA Bölge Testleri .....	95
Şekil 5.16 Anten-2 ile yapılan TDoA Açık Testleri .....	95
Şekil 5.17 Anten-3 ile yapılan TDoA Bölge Testleri .....	96
Şekil 5.18 Anten-3 ile yapılan TDoA Açık Testleri .....	96
Şekil 5.19 AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli Görünümü .....	97
Şekil 5.20 AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli Kısımları .....	98
Şekil 5.21 (a)(b) Gerçek bir mermer fabrikasında iş akışları .....	99
Şekil 5.22 Gerçek bir mermer fabrikasındaki taşıma/transfer vagonları ve istasyonlar .....	100
Şekil 5.23 Gerçek bir mermer fabrikasındaki depo alanları ve istasyonlar .....	101
Şekil 5.24 Gerçek Bir Mermer Fabrikasında Mamül ve Depo İş Akışları Diyagramı .....	101
Şekil 6.1 HERCULES Tıp Sunucu Terminal Ekranı .....	104

# Tablolar Listesi

Tablo 1.1 Yörünge Testi Sayısal Sonuçları.....	16
Tablo 3.1 Konumlama Teknolojileri Karşılaştırması.....	31
Tablo 3.2 IoT Platformlarında Tercih Edilen Protokoller [57] .....	36
Tablo 4.1 DW1000 Osilatör Zaman Saati Sapması .....	40
Tablo 4.2 Twr Veri Paketleri .....	45
Tablo 4.3 TWR Ölçüm Sonuçları .....	46
Tablo 4.4 TWR Ölçüm Sonuçları .....	47
Tablo 4.5 DWM1000 Kanal-2 Sapma Miktarları .....	49
Tablo 4.6 TDoA Test Sonuçları - Test1 .....	55
Tablo 4.7 TDoA Test Sonuçları - Test2.....	56
Tablo 4.8 Test1 ve Test2'nin Değerlendirmesi .....	57
Tablo 5.1 ESPWROOM02 Modülü Sinyal Seviye Testleri.....	86
Tablo 5.2 DWM1000 Modülü Sinyal Seviye Testleri .....	86

# Kısaltmalar Listesi

AFSUAM	Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
IoT	Nesnelerin interneti
UWB	Ultra Geniş Band
PDOA	Variş Fazları Farkı
TWR	İki Yönlü Ölçüm
VSM	Değer Akış Analizi
Wi-Fi	Kablosuz Kaplama Alanı
WSN	Kablosuz Sensör Ağları
AGV	Otomatik Yönlendirmeli Araç
AoA	Variş Açısı
ROS	Robot İşletim Sistemi
TDOA	Variş Zamanları Farkı
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
MQTT	Mesaj Kuyruğu Veri Aktarımı
RTLS	Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi
BLE	Düşük Güçlü Bluetooth
RSSI	Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
UUID	Özel Kimlik Numarası
RF	Radyo Frekansı
CR/LF	Satır Başı
ASCII	Amerikan Standart Kodu
DNS	Alan Adı İsim Sunucusu
SPI	Seri Çevre Birimi Arayüzü
FTP	Dosya Transfer Protokolü

UART	Evrensel Senkron ve Asenkron Alıcı Verici
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
HTTP	Üst Metin Aktarım Protokolü
HTTPS	Güvenli Üst Metin Aktarım Protokolü
TCP	Aktarım Kontrol Protokolü
IP	İnternet Protokolü
MAC	Medya Erişim Kontrolü
CoAP	Kısıtlı Cihaz Uygulama Protokolü
OSI	Açık Sistemler Arası Bağlantı
RFID	Radyo Frekans Tanımlama
UDP	Kullanıcı Diyagram Protokolü
SÜ	Son Ürün
YM	Yarı Mamül



# Semboller Listesi

$\mu\text{s}$	Mikro Saniye
ns	Nano Saniye
m <sup>2</sup>	Metrekare
dBW	Desibel milliwatt

# Bölüm 1

## Giriş

“Endüstri 4.0” ve nesnelerin İnterneti, endüstriyel otomasyon ve kontrolde görülen mevcut teknolojik yenilikler için iki önemli terimdir. Bu kavramlar ile birlikte her şey daha akıllı hale geliyor ve üretim sürecinin tüm seviyelerinde üretilen veriler, ürün kalitesini, esnekliği ve üretkenliği artırmak için kullanılıyor.

Bu terimlerden ilki Endüstri 4.0, yüksek teknolojiye üretim ekipmanları aracılığıyla imalat sanayinde bilgisayarlaşmayı en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu nedenle akıllı fabrikaların temel amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Fabrikalarda, üretimde insan hata oranını azaltmak,
2. Üretim sürecinin hızlandırılması ve üretim hattında maksimum esneklik elde etmek,
3. Üretici ve tüketici arasındaki iletişim kanallarını arttırmak.

İmalat sanayi, küresel talepler nedeniyle önemli bir yapısal geçişle ilgilidir. Bu geçiş endüstri 4.0'ın devam eden ve gittikçe çeşitlenen birçok gelişiminin bütünüdür; bulut bilişim, gelişmiş analitik, mobil bilgi işlem, makineden makineye iletişim, gelişmiş robotik, 3 boyutlu baskı, optik teknolojiler, mikrosistem teknolojisi, nanoteknoloji, biyoteknoloji bu gelişimin içindeki bazı alt başlıklardır. Bu nedenle, yeni ortaya çıkan, birbirine bağlı değer zincirleri, dördüncü sanayi devriminin tüm üretim ortamı için inanılmaz potansiyeli nedeniyle geleneksel iş modellerini ve organizasyon yapısını değiştirmiştir. Bunun üzerine teknoloji, modern yaşam ve yüksek teknoloji üreticisi olmayı hedefleyenler için yepyeni bir anlam kazanmıştır.

Bir diğer ana kavram olan IoT, cihazların birbirleriyle konuşmalarını, bilgi paylaşmalarını ve bildirimleri senkronize etmelerini sağlayarak nesnelere görme, duyma, düşünme ve iş yapma konusunda güçlendirir. IoT, hemen her yerde bulunan; bilgi işlem, gömülü cihazlar, iletişim teknolojileri, sensör ağları, protokoller ve uygulamalar

gibi temel teknolojilerini manipüle ederek bu nesnelere geleneksellikten akıllı hale getirir.

## 1.1 Motivasyon

Güncel endüstri uygulamaları dikkate alındığında, birçok tesiste, kablosuz haberleşmeyi ve sensörleri de içeren nesnelere interneti uygulamaları yaygın hale gelmiştir. Bu tez, akıllı fabrika sistemlerinde kablosuz haberleşme ile veri taşıma ve nesnelere interneti uygulamalarının yanı sıra, gerçek zamanlı konumlama uygulamalarını da kapsam dahilinde alarak dijital dönüşüme geçişte yeni bir özelliğin aktifleştirilebilmesi için katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Tez çalışmasının hedefleri arasında, bir çok endüstriyel ortamda çalışan bir alt yapı ile, kablosuz haberleşme kullanılarak sensör verilerini telemetri yolu ile toplayabilmek, makineler arası haberleşmeyi aktif edebilmek ve mobil verici içeren demirbaşların anlık konumlarını mevcut sistemlere göre daha az sistem kaynağı ile takip edebilmek, maddeleri sayılabilir. Bu tez çalışmasında, UWB ile çalışan kablosuz sensör kartlarından sensör verilerinin okunması, UWB ile çalışan kablosuz vericilerin konumlarının bulunması, farklı iş istasyonları veya makinelerin kendileri arasında haberleşerek kural tabanlı aksiyon alabilmelerinin sağlanması, kablosuz ortamlardan toplanan çeşitli verilerin nesnelere interneti ağ geçidi ile bulut bilişim sistemlerine taşınması hedeflenmiştir. Hedeflenen çalışmalar tamamlandığında, toplanan veriler ile iş güvenliği uygulamalarına destek sağlanmasının yanı sıra, bir akıllı fabrika ortamında mamül, yarı mamül ürünlerini taşıma-transfer işlemini gerçekleştiren Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (AFSUAM) akıllı taşıma-transfer sisteminde vagonları kontrol eden, elektronik sistem üzerinde çalışabilen bir gömülü yazılım tasarımı elde edilmiştir.

## 1.2 Literatür Araştırması ile İlgili Çalışmalar

Bu bölümde nesnelere interneti, sensörler, konumlama sistemleri hakkında kullanılan farklı yöntemler hakkında literatür taramasında karşılaşılan ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir.

Sandro Nizetic, Petar Solic ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada, IoT'nin temel amacı, farklı alanlardaki süreçleri basitleştirmek, sistemlerin daha verimli olmasını sağlamak ve yaşam kalitesini iyileştirmek olarak tanımlanmaktadır. IoT teknolojilerinin

yaygınlaşmasının beşeri olarak etkileri incelenmiş, farklı uygulama alanlarından örnekler verilmiştir. IoT'nin endüstriyel tesislerde uygulanması sayesinde, verimliliğin artacağı, insan makine etkileşiminin daha verimli olacağı ve makine makine iletişiminin sağlanabileceğinden bahsedilmektedir. IoT'nin diğer alanlarda uygulanmasının da faydalarından bahsedilmekte, blok diyagramdan, teknik uygulama seviyesine kadar farklı IoT veri toplama uygulamalarından örnekler verilmektedir [1].

Kanitkorn Khanchuea ve Rawat Siripokarpirom'ın yaptıkları çalışmada, çok protokolü destekleyen ve akıllı ev/bina uygulamalarında kullanılmak üzere tasarladıkları nesnelerin interneti ağ geçidi hakkında bilgi verilmektedir. Kapsam dahilinde, kablosuz ağların, kablolu ağlara göre kurulum maliyeti ve cihaz yerleşimi konusunda esneklik sağlaması bakımından avantajları belirtilmektedir. Kablosuz bir ağ ile nesnelerin interneti ağı kurarken tek atlamalı ağ topolojisinin kapsama alanı bakımından dezavantajlı olduğu, bunun üstesinden gelmek için kullanılacak çok atlamalı alternatiflerin neler olduğu, hiyerarşi içerisinde nesnelerin interneti ağ geçidinin görevi anlatılmaktadır. Nesnelerin interneti ağ geçidi birden çok protokolü destekleyen, algılanan ve kontrol edilen bileşenler ile bulut bilişim sistemleri arasındaki iletişimi internet üzerinden köprüleyen bir cihaz veya yazılım bileşeni olarak tanımlanmıştır. Uygun ağ topolojisinin sağlanabilmesi için gerekli teknolojik altyapıdan bahsedilmiştir. Doğru ağ topolojisinin seçimi için incelemeler yapılmış, yapılan inceleme sonucunda, sunucu, ağ geçidi, yönlendirici ve sensör düğümleri ile kontrol panelinden oluşan bir nesnelerin interneti mimarisi tasarlanmıştır [2].

Karabegovic I., Karabegovic E. , ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, nesnelerin interneti kavramının, verileri efektif bir şekilde toplama ve toplanan verilerin analizi sonucunda, ilgili uçlara gitmesi gereken karar verilerini oluşturan bir yapı olduğundan söz edilmiştir. İlgili verilerin toplanabilmesi ve analiz edilebilmesi için akıllı sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı sensörler, yaygın olarak bilinen ve kullanılan sensörler ve mantıksal işlemler yapılmasına olanak sağlayan mikrodenetleyicinin elektronik bir devre üzerinde kombine edilmesiyle oluşan veri depolayabilen, çift yönlü iletişim kurabilen uç birimler olarak tanımlanmaktadır [3]. Bu özellikleri nedeniyle akıllı sensörler Endüstri 4.0 uygulamalarının yapı taşı olarak görülmektedir. Dünya'da birçok şirket farklı fiziksel büyüklükler için akıllı sensörler geliştirmiştir.

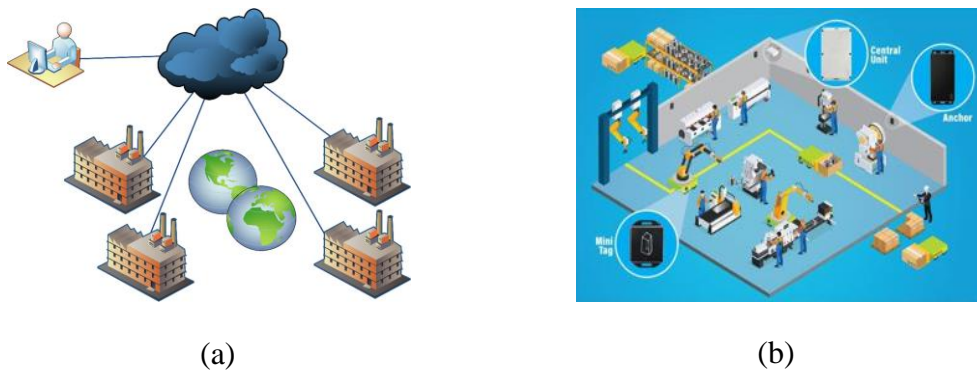
Akıllı sensörlerin farklı endüstriyel ortamlara uyumluluğunu sağlamak için çeşitli protokoller tasarlanmıştır. Bu protokoller sayesinde akıllı sensörlerin standartlaştırılması sağlanmaktadır. Protokoller üzerindeki yönetim katmanları sayesinde sensörler, üretim sürecini etkilemeden konfigüre edilebilmektedir.

Sriganesh K. Rao ve Ramjee Prasad'ın yaptığı çalışmada endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti konsepti hakkında bazı gereklilik ve tanımlar belirtilmektedir. Endüstri 4.0'ın üretim ortamı için akıllandırılmış bir otomasyon sistemi olduğu ve birçok veri alışverişi yapılması gerektiği ihtiyacından söz edilmektedir. Akıllı fabrikaların temelinde endüstri 4.0 bulunmaktadır. Bir şirketin veya kuruluşun Dünya'nın birçok farklı bölgesinde ve farklı noktalarında, birçok farklı yerleşkesi, fabrikaları, depoları bulunur. Kuruluşun üretim için gereksinim duyduğu ham maddeler ise yine Dünya'nın farklı yerlerinde mevcut olabilir. Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti uygulamaları sayesinde, akıllı ve modüler fabrikaların oluşması sağlanırken, bir kuruluşun kendi içindeki farklı birimleri arasında ve ham madde sağlayıcıları arasında kesintisiz gerçek zamanlı operasyonların yürütülebilmesi için gerekli iletişim ağının oluşması sağlanabilmektedir. Modüler yapıya sahip olan akıllı fabrikaların süreçlerini, siber-fiziksel sistemler izlemektedir. Bu sistemler kuruluşun farklı lokasyonları arasında ve bir lokasyon içerisindeki farklı makineler arasında gerçek zamanlı iletişim kurarak iş birliği yapılmasını sağlamaktadır. Sistemler kendi aralarında kurdukları haberleşme ile birbirlerine tanımlı durumlar için gerekli işaretleri iletebilmekte, bu sayede sistemler basit seviyede otonomlaşarak, insan bağımlılığının azalmasını sağlamaktadır. Diğer bir yandan kablosuz haberleşme bulunan ortamlarda verimliliğin %99 ve üstü olması gerektiği vurgulanmıştır [4]. Bir önceki incelenen çalışmadaki akıllı sensörleri düşündüğümüzde bu nokta kritik önem taşımaktadır.

Sebastian Thiede ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada endüstriyel nesnelerin interneti uygulamaları için , fabrika içinde bulunan nesnelerin gerçek zamanlı konumlarının takip edilmesinin önemli olduğu belirtilmektedir [5]. Gerçek zamanlı konumlama sistemleri, mobil verici ve sabit konumlu alıcıların oluşturduğu yapı açısından incelenmiştir. Sabit alıcılar koordinatları bilinen noktalara yerleştirilmekte, mobil vericiler ise sabit alıcılarla haberleşmektedir. Bu prensiple mobil vericinin konumu belirlenmektedir. Bir fabrika içinde hem ofis içinden, hem de farklı paydaşlardan

çeşitli kademelerdeki çalışan ve yöneticiler bulunabilmektedir. RTLS ile her kademedeki personelin anlık bölgesel durumları, çalışma ve mola bilgileri takip edilebilmektedir. Ayrıca kalp atış hızı ve anlık düşme gibi bilgiler de takip edilerek çalışanın iş güvenliğinin sağlanmasında RTLS'den yararlanılabilir. Lojistik süreçler açısından forklift ve otomatik yönlendirmeli araçların mevcut yük durumları, arıza ve şarj bilgileri takip edilebilir, elde edilen anlık konumları sayesinde, bir sonraki istasyona yönlendirilmeleri sağlanabilir. RTLS hizmeti UWB, Wi-Fi, Bluetooth, GPS ve RFID veya bunların birleşimi ile oluşturulabilir. Bu sistemlerden UWB en iyi hassasiyete sahip fakat maliyet olarak yüksektir. GPS yöntemi en az 3 uydu ile direk ve net bir görüş doğrultusuna ihtiyaç duyduğundan, iç mekanlarda kullanılabilirliği oldukça düşük kalmaktadır. UWB ve Bluetooth birlikte incelendiğinde, Bluetooth'un doğruluk ve iletişim menzili açısından UWB'ye karşı olumsuz yönleri olduğu görülmektedir.

RTLS teknolojileri, tesislerdeki araç ve malzemelerin konumlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesine fırsat sunmaktadır. Söz konusu RTLS olduğunda, QR Kod ve RFID gibi sistemler ile RTLS arasında benzetim ve kıyaslama yapılmaktadır. Ancak bu sistemlerden farklı olarak RTLS, gerçek zamanlı konum takibi sağlayarak avantajlı durumda bulunmaktadır [6]. Şekil 1.1'de, bir üretim tesisindeki AGV'lerin takibini sağlamayı amaçlayan, sabit okuyuculardan ve hareketli etiketlerden oluşan bir RTLS kurulumu görülmektedir.



Şekil 1.1: (a) Birbirine bağlı fabrikalar (b) Endüstriyel AGV Takip Sistemi

Ürün ve ekipmanları takip etmenin yanı sıra, RTLS sayesinde, insan ve araç navigasyon yönetimi, verimlilik takibi, fabrika içindeki forkliftlerin otomatik rezerve edilmesi gibi imkanlar da sağlanabilmektedir [7].

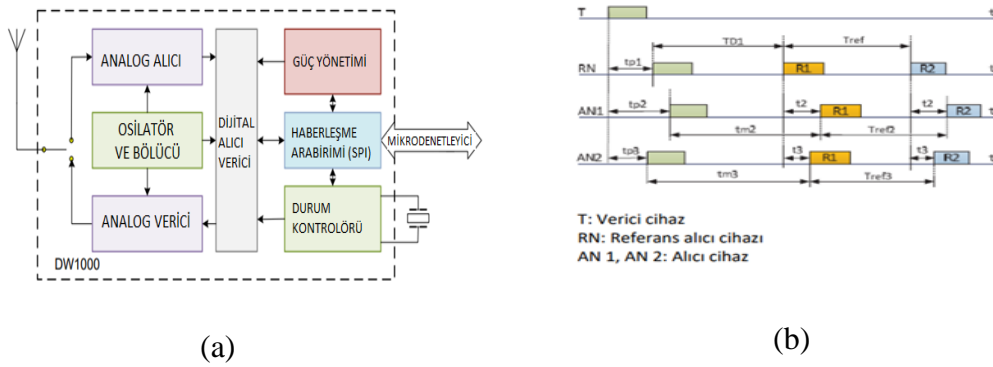
Xiangguo Ma ve arkadaşının yaptığı çalışmada, Wi-Fi tabanlı bir RTLS yapısı ile lojistik yönetim organizasyonunun kurgulanmasından söz edilmektedir. Her depo girişinde sabit okuyucular bulunmaktadır. Aynı zamanda palet, forklift ve ürünlerin üzerinde de mobil etiketler monte edilmiş durumdadır. Bu sayede her depoya giren palet, forklift ve ürünlerin otomatik algılanması sağlanır. Ürünlerin, forkliftin ve paletlerin konumları ve buldukları depolar bilindiğinde, sevkiyat planlaması yazılım sayesinde otomatik yapılabilmektedir. Ürünlerin yüklendiği forkliftlerin konumu izlenir ve hedef noktaya ulaştıklarında etiketler yardımıyla ürünlerin otomatik tanınması sağlanabilmektedir [8]. Tasarlanan bu sistem, lojistik süreç verimliliğine olumlu yönde fayda sağlamaktadır.

Tyler Robert Peabody'nin yaptığı akademik çalışmada, hastanelerde envanter yönetim süreçlerinde RTLS'in fayda ve risklerinden bahsedilmektedir. Hastanelerde pahalı makine ekipmanlar mevcuttur. Geleneksel sistemlerde bu ekipman ve makinelerin sayımı insan yordamıyla gerçekleştirilmekte ve veritabanına kaydedilmektedir. Personel tarafından bir sayım ve veritabanı kaydı yapılmadıkça, bu envanterler hakkında bilgi sahibi olunamamaktadır. Aynı zamanda personel veritabanını takip etmek yerine makine ve ekipmanları aramayı tercih etmektedir. Veritabanındaki bilgiler ise personelin girdiği kadar güncel ve güvenilirdir. RTLS ile hastanede ekipmanların hareket ve konumları anlık takip edilebilmektedir [9]. Bu sayede daha düşük işçilik ve kayıp ekipman maliyeti oluşmaktadır.

Dongchen Ni ve diğerlerinin yaptıkları akademik çalışmada UWB ile konumlandırma konusunda bilimsel bir bakış açısı ortaya koyulmaktadır. Son yıllarda kapalı ortamlarda konum tabanlı hizmetler yaygınlaşmaya başlamış, yüksek hassasiyetli konumlama, haberleşme açısından kompleks ortamlarda konumlama konuları daha çok gündeme gelmeye başlamıştır. UWB kompleks ortamlar ve yüksek hassasiyetli konumlama için uygun bir medya olarak gösterilmiştir. UWB ile iki haberleşme düğümü arasındaki sinyal uçuş süresi hesaplanarak, iyi bir doğruluk elde edilebilir [10]. Uçuş süresi hesaplama işlemi TWR isimli metot sayesinde sağlanmaktadır. Ölçüm oturumunu başlatan düğüm ile diğer düğüm belirli mesajları birbirine gönderir.

Bu sayede iki düğüm arasındaki propogasyon süresi hesaplanır. Propogasyon süresinin ışık hızı ile çarpımı iki düğüm arasındaki mesafe bilgisini elde etmeyi sağlamaktadır.

Literatür taramalarında, UWB tabanlı uygulamalardan söz edilen akademik çalışmalarda DW1000 entegre devresi ile yapılan çalışmalar, bu entegre devre hakkında teknik seviyede bir literatür araştırması yapma gerekliliğini ortaya koymaktadır. DW1000 entegre devresiyle TWR metodunda +/- 10 cm hassasiyetiyle mesafe ölçümü yapılabilmesi sağlanmakta, çok yönlü radyo frekans bileşenlerinin bulunduğu ortamlarda iyi derecede direk yol bulunması mümkün olabilmektedir. İlgili entegre devrenin üretici dökümanları incelendiğinde, iki yönlü ölçüm metodunda hassasiyet sağlamanın en önemli sebebi 15.65 ps mertebesinde zaman damgası oluşturabilmesi olarak görülmüştür [11]. İlgili entegre devre farklı kanallarda radyo frekans haberleşmesini destekleyerek, farklı sistemler arasında girişim riskinin oluşmasına engel olmakta, desteklediği frekanslar ile mikrodalga sinyalin çeşitli materyaller içerisinde geçmesine olanak sağlamaktadır. Haberleşme hızları incelendiğinde, yüksek hızlı haberleşme ile birim veri paketinin havada kısa sürede transfer edilebilmesine olanak sağladığı görülmektedir.



Şekil 1.2: (a) DW1000 Entegre Devresi Blok Diyagramı [7] (b) TDoA Mesajlaşma Yapısı [8]

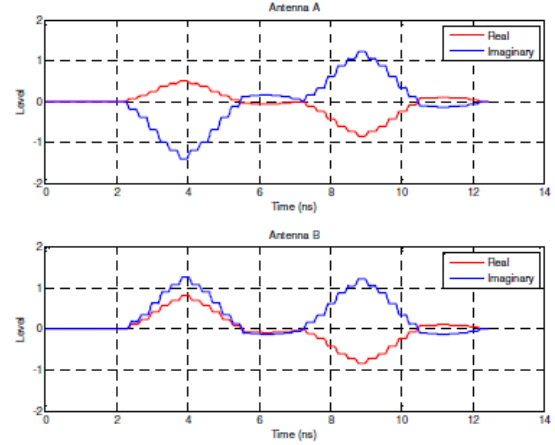
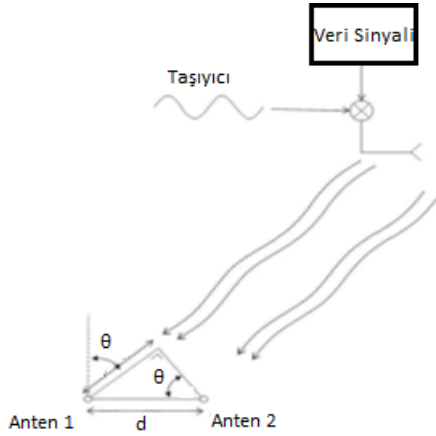
Djaja-Josko, V ve Kolakowski J.'nin yaptığı akademik çalışmada DW1000 kullanarak TDoA yönteminin uygulama prensipleri paylaşılmakta ve karşılaşılan saat senkronizasyon problemi için geliştirdikleri kendi çözüm yöntemleri ortaya koyulmaktadır. TDoA tekniğinde konumu belirlenmek istenen mobil cihaz ve sabit cihazlar bulunmaktadır. Sabit cihazlar yardımı ile mobil cihazın anlık konumu elde edilmektedir. Mobil cihazın TDoA tekniği ile konumunun belirlenebilmesi için, sabit cihazlar, mobil cihazın gönderdiği veri paketinin alınış zamanlarının farkını ortak bir



saat bilgisine göre hesaplamaktadırlar. Bu işlemin yapılabilmesi için, Şekil 1.2'deki mesajlaşma yapısı uygulanmaktadır.

TDoA bilgisi  $tp1 + TD1 = tp2 + tm2 - t2$  şeklinde formüle edilmektedir. Hesaplanan TDoA süreleri, farklı sabit cihazların kendi araların oluşan osilatör saat sapmaları sebebiyle senkronize değildir. Senkronizasyon için, referans olmayan sabit cihazların osilatör saatlerini, referans olan cihazın osilatör saat hızına göre entegre etmeleri gerekmektedir. İlgili çalışmada, referans cihazın da bulunduğu sabit cihazlar arasında yapılan mesaj alışverişi ile bu saat entegrasyonunun yapılma metoduna değinilmektedir [12].

Igor Dotlic ve diğerlerinin yaptığı çalışmada DW1000 entegre devresi ile varış açısı bulma metodu anlatılmaktadır. Yapılan akademik çalışma içerisinde, DW1000 entegre devresi ile yapılabilen TWR, TDOA, PDOA metotlarından özetle bahsedilmiştir. DW1000 entegre devresi kullanılarak TDOA ve PDOA metotlarının kullanımı ile varış açısı hesaplanabildiği, en iyi yöntemin PDOA olduğundan söz edilmiştir. DW1000 entegre devresi LDE algoritmasına sahiptir. Bu algoritma sayesinde alınan bir UWB sinyalinin ilk geliş yolu genliği elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada 2 adet DW1000 kullanılmıştır. Mobil bir vericinin göndermiş olduğu sinyal iki entegre devre tarafından eş zamanlı olarak alınır ve ilk geliş yolu genliği bilgisindeki gerçek ve sanal kısımlar kullanılarak, mobil vericiden yayılan sinyalin varış fazı elde edilir. 2 entegre devrenin varış fazları farkı kullanılarak, sinyalin geliş açısı elde edilir. Bu işlemi yapabilmek için 2 adet entegre devre bir mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmeli ve ilgili trigonometrik hesaplamaları yapan bir gömülü yazılım geliştirilmelidir. Bu uygulamanın yapılmasında en kritik noktalardan biri, iki entegre devreye bağlı olan birer anten arasındaki aralığın haberleşilen sinyalin dalga boyundan küçük olması gerektiğidir. Çalışmayı yapan ekibin kullandığı donanım ile yapılan açı ölçümlerinde, en fazla 80 derecelik açıya kadar 10 derecelik açı ölçüm hatası yapıldığı görülmüştür [13].



(a)

(b)

Şekil 1.3: (a) DW1000 Geliş Fazları Farkı Uygulama Prensibi [9] (b) DW1000 Geliş Fazları Farkı Reel ve İmajiner Kısım Ölçümleri[9]

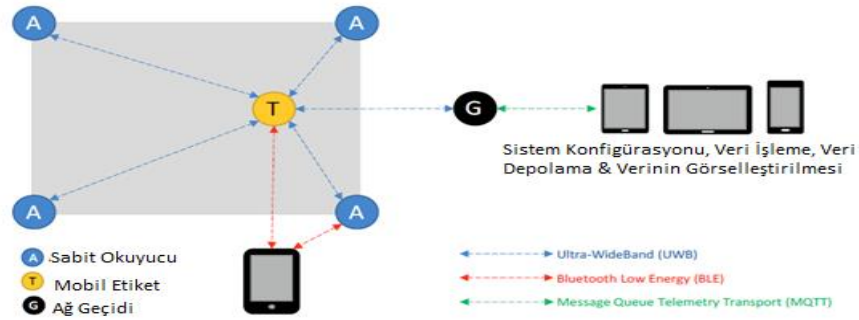
F.Halawa ve diğerlerinin gerçekleştirdiği çalışmada RTLS için yapılan bir pazar araştırmasıyla, UWB'nin iç mekan konumlama hizmetleri için en iyi teknoloji olduğu belirtilmektedir. Yaptıkları araştırmalarda, RTLS'e olan ilginin son yıllarda artmasının sebebini, verimli konumlama uygulamalarının şirketlerin geniş alanlarda varlık ve kaynak yönetimini daha iyi yapılması olarak saptamışlardır [14]. UWB teknolojisi ile yatay doğrultuda 0.1 – 0.3 metre , dikey doğrultuda 1-2 metre seviyelerine kadar hassasiyet elde edilse de, bu yüksek hassasiyetin yanı sıra cihaz yerleşiminin iyi yapılmadığı durumlarda konumlama kalitesinin düştüğü sonunucunu elde etmişlerdir.

Batori ve Tamas'ın yaptığı çalışmada UWB, 0.16 ns mertebesinde hassas zaman damgası oluşturabilen ve en az 500 MHz bant genişliğine sahip bir teknoloji olarak tanımlanmıştır. Zaman damgası hassasiyeti sayesinde, gerçek sinyal ve yansiyarak elde edilen sinyal arasındaki ayrımın kolayca yapılabildiği vurgulanmıştır. UWB'nin yüksek bant genişliği, farklı radyo frekans sistemlerinin frekans bantlarıyla girişim yaşanması ihtimalini artırmaktadır. Bunu engellemek amacıyla UWB için -41.3 dBm/MHz spektral yoğunluk kısıtlaması getirilmiştir. Bu güç kısıtı altında UWB ile ancak düşük mesafelerde haberleşilmesi beklenir. Fakat bu durumu iyileştirmek için bir bitlik seri bir darbe gönderilir. Alıcı taraf bu darbeleri dinler ve gürültü seviyesinin üstünde bir darbe algırsa, gönderici taraf ile haberleşmeye başlar, zaman damgası oluşturur. Zaman damgasının oluşabilmesi için algılanması gereken Direk Yol Sinyali, şekil 1.8'de gösterilmektedir. Yapılan çalışmada UWB tabanlı bir RTLS etiketinin şarj

edilebilir veya edilemez pili olan, belirli bir UWB standardında radyo sinyali gönderme ve alabilme yeteneği olan, insanlar ve ekipmanlar üzerinde bulunmaya uygun elektronik ekipmanlar olarak tanımlanmaktadır. Bir UWB pozisyonlama sisteminde etiketlerin konumlarını belirli tekniklerle belirleyebilen sabit alıcılar bulunur. Bunlar “anchor” olarak isimlendirilir. Tag’ler ise, harici güç kaynaklarıyla beslenebilen, UWB sinyalleri alıp gönderebilen, endüstriyel ortamlarda rahatlıkla sabit konumlara monte edilebilen, sabit ve mobil cihazlar ile kablolu veya kablosuz haberleşme kurabilen elektronik cihazlar olarak tanımlanmışlardır. RTLS ile takip edilen nesne veya insanın, dijital ikizinin kolayca oluşturulabildiğine değinilmiştir. Kurumsal Kaynak Planlama uygulamaları ile RTLS arasında sağlanan entegrasyon ile kurumsal süreçlerin daha efektif bir şekilde yönetilebildiğinden söz edilmiştir [15].

Brendan P. Sullivan ve diğerleri endüstriyel ortamlarda RTLS ve Değer Akışı Haritalama metotlarının harmanlanarak dijitalleştirme sürecini incelemek adına bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada insan eli ile müdahalenin en aza indirildiği dijitalleşme tabanlı Akıllı Fabrika’lara doğru olan ilerleyişten söz edilmiştir. RTLS’in Değer Akışı Haritalama prosedürlerinin dijitalleştirilmesindeki olumlu etkilerine atıf yapılmıştır. Değer Akışı Haritalama üretimdeki tüm proseslerin bütünü olarak tanımlanmıştır. VSM ile bir üretim sürecinin hammadde ile başlayıp müşteri ile biten akışındaki adımlar adreslenir ve görselleştirme sağlanır. Yaptıkları araştırmalarda VSM’nin metal ve endüstriyel atık sektörlerinde zaman ve atık madde açısından yüksek derecede faydalı olduğu bilgisine eriştiklerini belirtmişlerdir. RTLS anlık konum bilgisi sağlamaktadır. Bu sayede bir VSM sisteminde RTLS etkin olduğunda, istenen zaman dilimlerinde mevcut durumun haritalanması sağlanabilmektedir. RTLS’den toplanan verilen VSM sisteminde yorumlanarak farklı verilere çevrilebilir. Örneğin tüm etiketlerin bir noktadan bir noktaya erişim süreleri dikkate alınarak ortalama bir döngü süresi hesaplanabilir. Etiketlerin proses dışında geçirdikleri süreler dikkate alınarak, katma değeri olmayan zamanın hesabı yapılabilir [16].

Brigita Gajsek ve Simona Sinko'nun çalışmasında endüstri 4.0 konseptine uygunluk açısından dijital ikizin oluşturulmasının önemi vurgulanmıştır. Bu çalışmada kalıp sanayisinde çalışma şekillerini desteklemek amacıyla RTLS'nin kullanımı incelenmiştir. RTLS sisteminin üretim verisinin takibinde oluşturduğu avantajlardan söz edilmiştir. Üretimde envanterdeki ürünleri insan müdahalesi olmadan sayabilmek için RTLS kullanımı olumlu etki yaratmaktadır. Bu sayede kaybolan ürün ve varlıklar için daha az arama süresi harcanmakta, ekipman hareketlerinin daha verimli planlanması sağlanır. Lojistik süreçlerde son derece olumlu etki yaratarak sonuçta döngü süresinde büyük avantaj elde edilmesini sağlamaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, 57 m<sup>2</sup>'lik bir ortam içerisinde, konumu takip edilmek istenen etiket yoğun metal ortama dahil edilmiş, sabit alıcılara olan iletişimi kesmek üzere metal plakalar kullanılmıştır. Bu deney koşullarında dahi, etiketin konumunun alınmaya devam ettiği tespit edilmiştir [17].



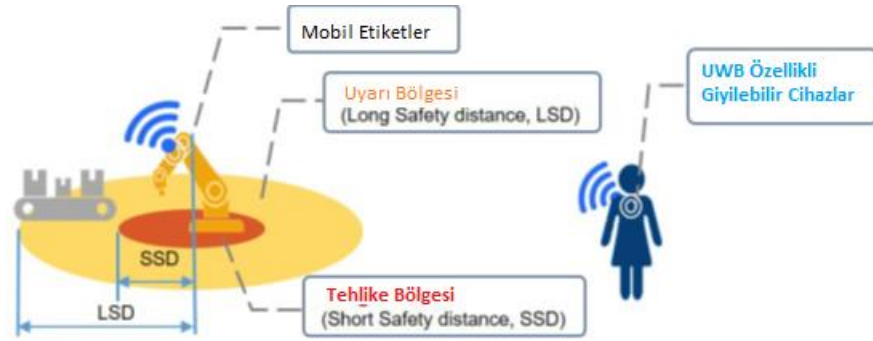
Şekil 1.4: Gerçek Zamanlı Konum Takip Sistemi [20]

Grau ve arkadaşı RTLS destekli varlık takibinin, geleneksel takibe göre zaman avantajı sağlayacağını belirtmektedirler. Geleneksel takibin 36.8 dakika sürdüğü bir ortamda, RTLS ile takipte süre 4.56 dakikaya kadar düşürülebilmektedir. Ayrıca 100.000\$'ın üstünde tasarruf ihtimali olabileceğini tahmin etmektedirler [18]. Jang ve Skibniewski, 24 ay süren bir inşaat projesinde varlık takibinin RTLS ile yapılmasıyla, %64'e kadar işçilik tasarrufu yapılabileceğini tahmin etmektedirler [19].

M.Wolf ve diğerleri yaptıkları çalışmada karmaşık üretim sistemlerinde, süreçlerin şeffaf olmasının önemine değinerek, insan faktörünün yoğun olduğu proseslerde RTLS ile anlık verileri toplamının şeffaf üretim sistemi tasarımı için olan değerinden söz etmektedirler. İmalat şirketleri, rekabetçi pazarda prosesleri en iyi şekilde tasarlamakla yükümlüdür. RTLS ile tesis içindeki performans değerleri, insan

faktörünü de işin içine katarak anlık olarak güncellenebilmektedir. Yapılan kıyaslama ile UWB'nin RTLS hizmeti için en iyi seçenek olduğu ve doğrudan görüş yolu olmayan ortamlarda en iyi başarıma sahip olduğu vurgulanmıştır [20].

Wei Wang ve diğerlerinin yaptığı çalışmada robot ve insanların fabrikalar içerisinde tehlikeli bölgelerde bulunabildiklerine dikkat çekilmektedir. Daha önceden tercih edilen bazı donanımsal paketler ile robot ve insanların güvenli bir şekilde hareket etmeleri sağlanmıştır. Fakat bu yöntemler dijital ikizin yaratılması ve hareket rahatlığı açısından verimsiz kalmaktadır. Bu noktada UWB tabanlı konumlama sistemi ile bir güvenlik sisteminin kurulması önerilmiştir. Çalışma güvenliği için “Safe Operation” isimli sistemden bahsedilmektedir. Bu sistemde, etiketler ile robotlar veya insanlar arasındaki mesafeler hesaplanmaktadır. Yapılan uygulamada robot etikete göre uyarı bölgesine girdiğinde sarı uyarı vererek yavaşlamakta, tehlike bölgesinde ise robot durmaktadır [21].

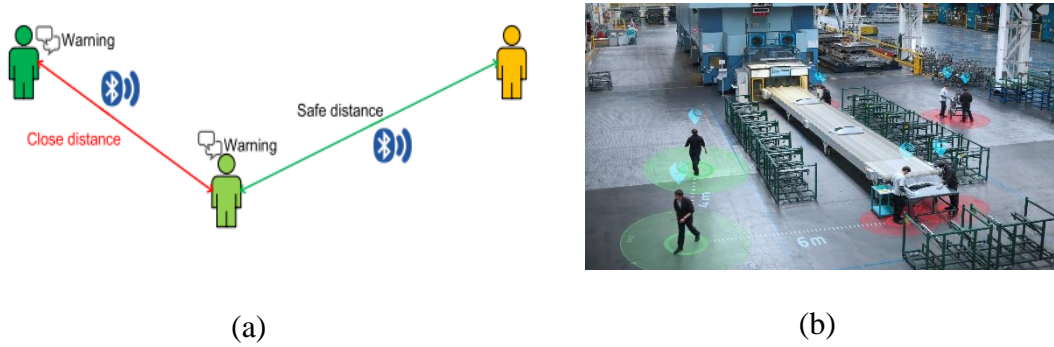


Şekil 1.5: UWB İle Tehlike Uyarı Sistemi [21]

Petzold ve arkadaşı, insanların çalışma ortamlarında takip ettikleri rutin rota bilgisini kullanarak, konumların önceki bilgilerden yararlanarak tahmin edileceğinden söz etmektedir. Bir inşaattaki işçilerin günlük rotalarını, inşaat programlarının simülasyon verileri ile karşılaştırma prensibiyle, olası çarpışma olaylarını önceden takip etmenin mümkün olacağına vurgu yapmaktadır [22].

Naga Deepa Cha ve diğerlerinin yaptığı çalışmada RTLS'in Covid-19 pandemisi üzerindeki önemine değinilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü Covid-19'un yayılmasından korunmak için, yüz maskesi, düzenli temizlik, ortak noktalara dokunmaktan kaçınmak ve güvenlik sosyal mesafeyi korumak şeklinde önerilerde bulunmuştur. Sadece maske takmak yeterli olmayıp, sosyal mesafeyi korumak da

büyük önem arz etmektedir. Pandemi döneminde hükümetler ve şirketler çalışanlarının sosyal mesafeyi korumalarını sağlamak amacıyla önlemler almaya yönelmişlerdir. Bu önlemi gerçekleştirebilmek amacıyla RTLS ile hem çalışanların yerleri bulunabilir, hem de çalışanlar arasındaki mesafeye göre çalışanlara uyarı verebilen bir sistem gerçekleştirilebilmektedir. Önerilen sistemde sabit alıcılar aracılığıyla insanlar üzerindeki etiketlerin konumları hesaplanacak ve konumlar arasındaki mesafe bulunacaktır. Bulunulan mesafe sosyal mesafe kurallarını ihlal ediyorsa, etiketlere uyarı sinyali gönderilmektedir [23]. Şekil 1.6’da sosyal mesafe uygulaması temsilen anlatılmaktadır. Birbirine yakın mesafede olan 2 kişinin arasındaki mesafe “Close Distance” olarak adlandırılmıştır. Bu kişilerin mobil etiketleri uyarı ürettiğinden, bu kişilerin üstlerinde “Warning” ifadesi yer alıyor. Diğer kişi uygun mesafede olduğundan “Safe Distance” şeklinde belirtme yapılmış ve uyarı oluşturulmamıştır [24].

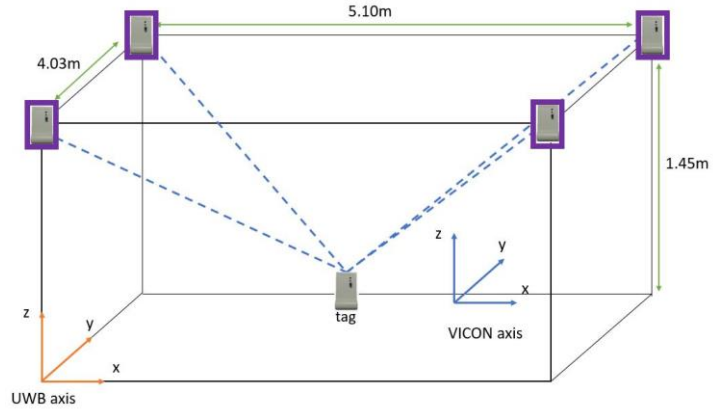


(a) (b)  
Şekil 1.6: Sosyal mesafe uygulama örnekleri

Igona Velez ve diğerleri yaptıkları çalışma ile UWB ve üretim sistemleri arasındaki ilişki konusunda bakış açılarını ortaya koymuşlardır. Günümüz endüstriyel sistemlerinin ürün çeşitliliği ve mevcut ürünlerin hızla yenilerinin çıkmasından kaynaklı olarak çevik ve esnek üretim yapılarına entegre edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu gerekliliğin karşılanması sıradanlaşmış otomasyon sistemleri yerine endüstri 4.0 kapsamında yer alan uygulamalarla gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulamalardan birisi de Otomatik Kılavuzlu Araçlar (Automated Guided Vehicles – AGV) olarak geçmektedir. AGV’ler endüstriyel tesislerde insan yönetimli forklift araçlarının yerini almaya başlamıştır. AGV’ler genellikle bazı işaretleri takip ederek otonom şekilde hareket kararı veren yük taşıma amaçlı robotlardır. Bu robotlar endüstriyel ortamlarda diğer ekipmanlar ve insanlarla aynı ortamda çalıştılarından güvenlik önlemlerinin alınması önem arz etmektedir. Hem güvenlik önlemleri hem de robotun kendi yönünü tayin edebilmesi LIDAR ve manyetik sensörler gibi

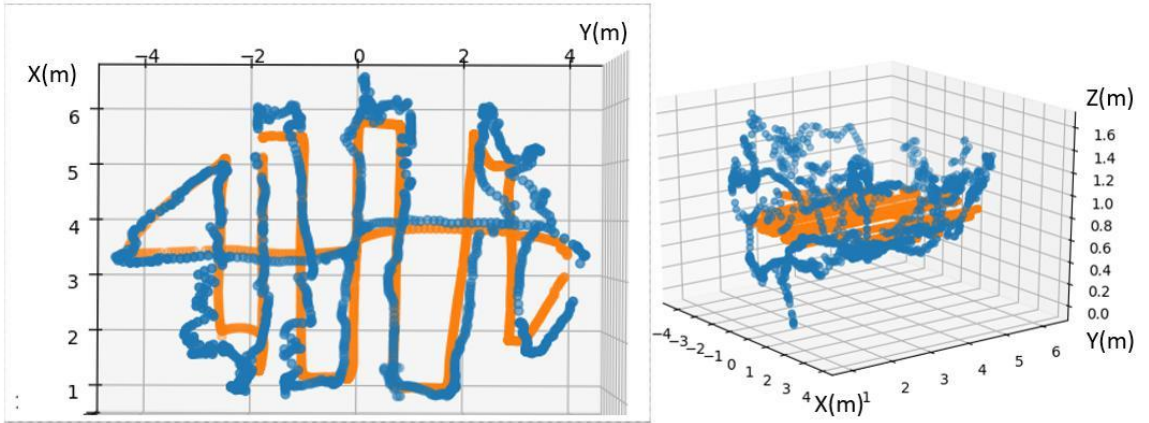
ekipmanlarla sağlanmaktadır. Son dönemlerde AGV'lerin tasarım metotlarında RTLS desteği tercih edilmeye başlanmıştır. Klasik RTLS sistemlerinde olduğu gibi sabit alıcı cihazlar ve mobil etiketler aracılığı ile mesafe tahminleri yapılarak AGV'lerin konumları tespit edilebilmektedir. Ancak endüstriyel ortamlarda çoklu yol etkisi ve radyo sinyallerini etkileyici materyallerin bulunmasından dolayı, radyo tabanlı RTLS sistemlerinde hassasiyet ve veri kaybı problemleri yaşanabilmektedir. Bu noktada UWB çoklu yol ayırabilme konusunda yüksek doğruluk altyapısı sağlaması ve fiziki engelleri penetre edebilme yeteneği ile ön plana çıkmaktadır. AGV'ler için RTLS kullanımı sayesinde, merkezi bir yönetim sistemi üzerinden birçok AGV'nin rotası otomatik olarak yönetilebilmekte, bu sayede AGV'lerin bulunacağı bölgede trafik sıkışıklığı probleminin önüne geçilebilmektedir [25].

Mickeal Delamara ve diğerleri yaptıkları çalışmada konumlandırma yöntemleri ve konumlandırmanın endüstri 4.0 konsepti dahilinde önemini incelemişlerdir. Radyo frekansı tabanlı konumlama sistemlerinde triletasyon yöntemi ve alınan sinyal gücü seviyesi (Received Signal Sensitivity Indicator – RSSI) bilgisinden yararlanılmaktadır. RSSI ile sinyal gücü zayıflamasını mesafeye çeviren bir mesafe tahmin metodu uygulanmaktadır. Fakat çevresel etkenler ve fiziki engeller sebebiyle yaşanan ek sinyal zayıflamaları RSSI yöntemi ile konumlandırmanın düşük hassasiyette yapılmasına sebep olmaktadır. Bir mobil etiketin konumunun hesaplanabilmesi için en az 3 alıcı ile haberleşerek, mobil vericinin sinyalinin sabit alıcılara ulaşma zamanları farkının hesaplanması gerekmektedir. TDoA metodu ile 30 cm hassasiyete kadar konumlama yapılabilmektedir. Tahminin doğruluğu mobil etiket ile sabit alıcılar arasında doğrudan görüş mesafesine bağlı olmaktadır. UWB'nin olumlu yönleri farklı metotlarla ve direk görüş hattı olmayan koşullarda bile hassas doğrulukta konumlama yapabilme yönünde umut vericidir. Çalışma dahilinde Şekil 1.7'de gösterilen fiziki model üzerinde testler yapılmıştır.



Şekil 1.7: UWB Test Ortamı [26]

Yapılan test direk görüş hattı koşulları olan ve metal yapıların ağırlıklı bulunduğu bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Test dahilinde tag cihazı farklı konumlara yerleştirilerek dinamik bir şekilde test yapılmıştır. Tag'in çizdiği yörünge, VICON isimli ekipman ile dijital olarak tespit edilmiş, UWB üzerinden yapılan RTLS ile oluşturulan yörünge ile kıyaslanmıştır. Test sonucunda turuncu çizgi VICON cihazının tespit ettiği yörüngeyi, mavi çizgi ise UWB RTLS sistemi üzerinden elde edilen yörüngeyi ifade etmektedir. Testin sayısal sonuçları Tablo 1.1'de gösterilmiştir [26].



Şekil 1.8 : UWB Yörünge Testi Grafikleri [26]



Tablo 1.1: Yörünge Testi Sayısal Sonuçları

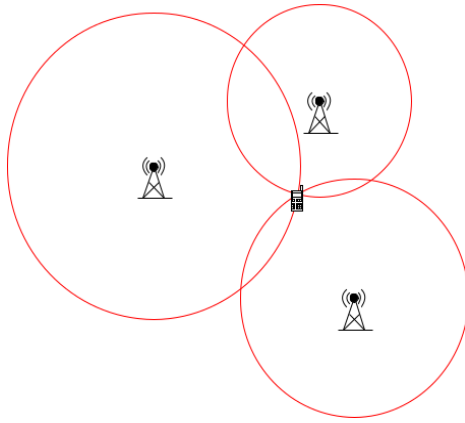
Yapılan Hesaplama	X Ekseni		Y Ekseni	Z Ekseni	2 Boyutlu	3 Boyutlu
Ortalama Hata	0.20m		0.22m	0.32m	0.21m	0.24m
Menzil	0.73m		0.64m	0.87m	0.65m	0.75m
Standart Sapma	0.13m	0.14m	0.29m	0.13m		0.18m

Yusheng Huang ve diğerleri yaptıkları çalışmada UWB ile RTLS yapıldığında doğruluk oranının oldukça yüksek olduğunu ancak şantiyelerde güvenlik yönetimini sağlamak için oldukça maliyetli olduğunu belirtmektedir. Çalışma dahilinde Bluetooth Düşük Enerji (Bluetooth Low Energy – BLE) teknoloji altyapısı ile varış açısı tahmini (Angle of Arrival – AoA) uygulaması hakkında bilgi verilmektedir. BLE teknolojisi ile metre altı seviyesinde hassasiyet alınmaktadır. Bu hassasiyet seviyesi UWB teknolojisine göre daha düşük olsa da, hedeflenen çıktı için yeterli ve maliyet olarak UWB'ye göre daha avantajlıdır. Çalışma kapsamında önerilen yöntemde, kişiler arası yada herhangi bir referans noktasına yaklaşım olayları tanımlanarak veri işlenmesi ve raporlar oluşturulması hedeflenmiştir. BLE ile RTLS'nin istenen seviyede performans sağlayabilmesi için, sabit alıcıların mümkün olduğu kadar çok mobil etiketi görebileceği yerlere konumlandırılması önerilmiştir. Bunun yanı sıra mobil etiketin kişi veya nesnelere üzerindeki görünürlüğü de önem kazandığında, tıkanıklık ihtimali olan nesnelere için birden fazla etiket kullanımı önerilmiştir. Çalışmayı yapanlar yakınlık olaylarını, etiketlerin konumunu takip ederek yapmayı önermişlerdir. Şekilden de görüleceği üzere, etiketler yardımıyla konumu belirlenen iş araçları için bir çember oluşturularak, bu çember içerisinde bir yayanın konumu hesaplanırsa, yakınlık olayı oluşmuş olarak kabul edilecektir [27].

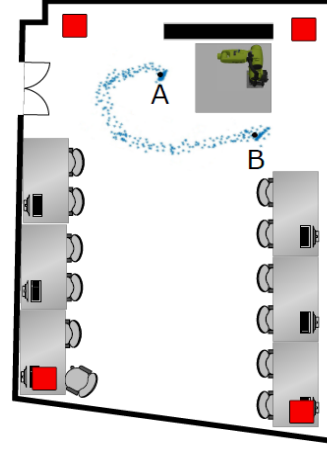


Şekil 1.9: Yakınlık Olayı İçin Uyarı Oluşumu

Juraj Slovak ve diğerlerinin yaptığı çalışmada RTLS terimine değinilerek, konumlama metodlarından bahsedilmiş ve kurdukları sistemle TurtleBot2 isimli robotlarını iki nokta arasında RTLS vasıtası ile yönlendirmişlerdir. TurtleBot2 , araştırma ve eğitim amaçlı çalışmalar için tasarlanmış düşük maliyetli bir robot platformudur. Robot İşletim Sistemi (Robot Operation System – ROS)'nin yapımcıları tarafından tasarlanmıştır. ROS ise linux bir platform üzerinde çalışan, mevcut işletim sistemlerine ek olarak robotlarla ilgili prosesleri yönetebilen bir işletim sistemidir. Bu çalışmada ROS'dan yararlanılmıştır. UWB'nin avantajlı yönleri tespit edilmiş ve RTLS için UWB tercih edilmiştir. Yapılan çalışmada TWR metodu ile etiket ve sabit alıcılar arasındaki mesafelerin tespiti sağlanmıştır. Konumun tespit edilebilmesi için üçgenleme metodu tercih edilmiştir. Bu metotta, mobil cihazın konumunun hesaplanabilmesi için, en az 3 adet sabit alıcı ile haberleşmeye ihtiyaç vardır. Her bir sabit alıcı ile ölçülen mesafe bir dairenin yarı çapı olarak kabul edilir. Bir mobil etiketin her sabit alıcı ile oluşturduğu yarıçap mesafelerinden elde edilen daireler kesiştirilerek konum bulunur.



(a)



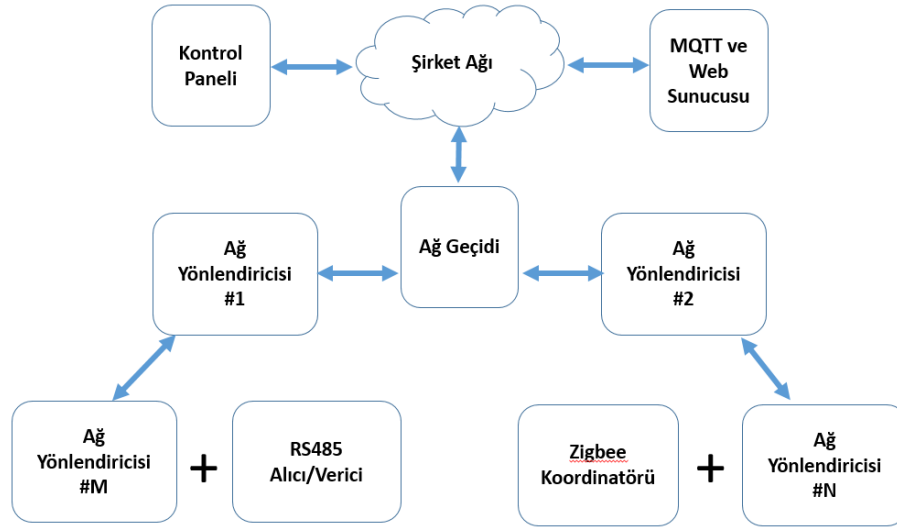
(b)

Şekil 1.10: (a) Üçgenleme Konumlama Metodu (b) TurtleBot Hareket Rotası

Çalışma dahilinde yukarıda şekil 1.15’de görseli bulunan fiziki ortamda TurtleBot2’nin UWB teknolojisi ile RTLS uygulanarak A noktasından B noktasına hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Kırmızı kareler sabit alıcıları temsil etmektedir. Robot, A noktasından başlamış ve B noktasını hedeflediği için, A ve B noktalarında noktaların renk tonu daha koyu olmuştur. B hedef noktasına yaklaşan robot, mümkün olabilecek en yakın noktada durabilmek için hızını ayarlayarak daha yavaş hareket etmiştir [28].

Gunjan Beniwal ve arkadaşı yaptıkları inceleme çalışmasında, nesnelerin interneti konseptine, IoT Ağ Geçitlerine (Gateway) ve bunların mimari özelliklerine değinmişlerdir. Endüstri 4.0 kapsamında, teknolojinin de ilerlemesiyle, gömülü sistem tabanlı cihazlarda yapılan geliştirmeler ile düşük güç tüketimli ve kompakt bir çok IoT cihazı oluşmaya başladı. IoT cihazlarının genel özelliği birbirlerine bağlı olmaları, veri transfer edebilmeleri ve bazı aksiyonları kendi aralarında haberleşerek alabilmeleridir. Bazı noktalarda bu IoT cihazları küçük bir alanda kendi aralarında haberleşirken, bazı topolojilerde farklı bölgelerdeki IoT cihazları internet üzerinden birbirleriyle veri haberleşmesi gerçekleştirmektedir. Bu tür akıllı cihazların birbirleriyle haberleşmeleri ve aksiyon almalarına dayalı topoloji Nesnelerin İnterneti (Internet Of Things – IoT) olarak tanımlanmaktadır. Gömülü sistem mimarisiyle çalışan bu akıllı cihazlar internet üzerinden haberleşmek istediklerinde verilerini bir ağ geçidine(Gateway) gönderirler.

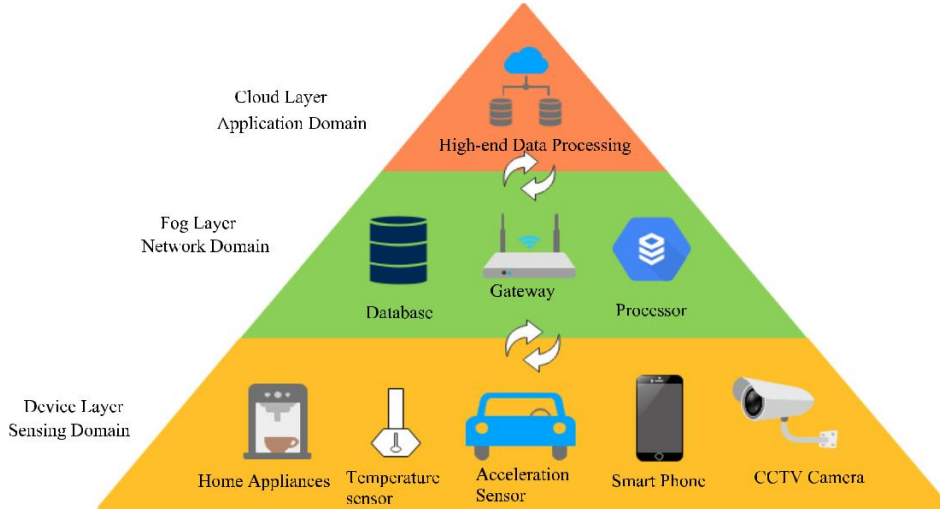
Bu ağ geçitlerine IoT Gateway denilmektedir. IoT Gateway'in IoT topolojisindeki Şekil 1.11'den anlaşılabilir [29].



Şekil 1.11: IoT Topolojisi ve Ağ Geçidinin Rolü [29]

Kanitkorn Khanchuea ve arkadaşı ev ve bina otomasyonu için hazırladıkları gatewayle çalışmasını paylaşmışlardır. Bir IoT Gateway'in kullanılabilirliğini artıran en önemli faktör birden çok protokolü destekleyebilmesidir. IoT topolojisine dahil olmak üzere tasarlanan eski ve yeni nesil cihazlar mevcut olabilir. Bu cihazlar tasarlandıkları zamana göre farklı haberleşme protokolleriyle haberleşmektedir. Bu durumda bir IoT Gateway farklı haberleşme protokollerini desteklediğinde, aynı ortamda bulunan farklı zaman diliminde tasarlanmış IoT düğümleri ile haberleşme olanağına sahip olabilecektir. Yapılan uygulamalı çalışmada mimari tasarımlarından bahsedilmiştir. Mimariyi oluşturan bloklardan birincisi gateway donanımı üzerinde çalıştırılan haberleşme katmanıdır. Haberleşme katmanı için MQTT protokolü tercih edilmiştir. Tek kartlı bir bilgisayar donanımı üzerinde MQTT protokolü çalıştırılmıştır. İnternette gelen MQTT mesajlarının alınarak ilgili IoT Düğüm cihazına gönderilmesini sağlarken, IoT Düğüm cihazından gelen mesajların da MQTT protokolü ile internet üzerindeki sunucuya aktarımı sağlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için Ethernet ve Wi-Fi bağlantısı olan bir gateway donanımı kullanılmıştır. Router düğümleri ise, birbirleri arasında örgü ağı kurarak, en uzak noktadaki bilginin örgü ağı üzerinden taşınabilmesini sağlamak amacıyla mimari içinde yer almışlardır. Router düğümleri aynı zamanda bazı donanımsal portlara sahip olup, portlardan topladıkları bilgileri de gateway'e iletmektedirler. Bunun yanı sıra

sistemde yer alan Zigbee katmanı ile, Zigbee protokolünü destekleyen IoT cihazları ile haberleşme sağlanabilmekte, bu haberleşme router ile IoT cihazları arasında yapılmaktadır. Router cihazları, IoT cihazları ile Gateway arasında köprü vazifesi görmektedir [2].



Şekil 1.12: IoT Ekosistem Piramidi [2]

### 1.3 Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları

Endüstri 4.0 gereksinimleri doğrultusunda fabrikaların yeni nesil teknolojik alt yapı ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Bahsedilen endüstri devrimi çatısı altında nesnelerin interneti kavramının hayatımıza girmesiyle, fabrikalarda yapılan veri toplama, sistem izleme, sistem kontrolü uygulamaları, fabrikaların farklı şubelerinin de birbiriyle haberleşebildiği ve tek bir merkezden tüm fabrikaların kontrol edilebildiği bulut sistemlerinin dahil olmasını gerektirmiştir. Bulut sistemleri sayesinde önceden yapılan tüm bu işlemler, kablosuz iletişimin daha çok yer aldığı ve yerel hizmetlerden daha çok uzaktan da yapılabilen hizmetler olmasının önünü açmıştır. Kablosuz haberleşme kullanan ve internete bağlı bir çok sistem, kablosuz sensör düğümleri ve ağ geçitlerine olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda donanım ihtiyaçları ve paralelinde donanım maliyetleri ortaya çıkmış, bu donanımların kurulum ve bakım onarım maliyetleri harcama kalemlerine eklenmeye başlamıştır. Ayrıca farklı donanımların sisteme dahil edilmesiyle, fiziki alan kısıtları da ortaya çıkmış, genel olarak da sistemlerin kompleksliği artmaya başlamıştır. Çalışma kapsamında tüm bu kompleksliği ve maliyetleri indirgemeye yönelik bir nesnelerin ağ geçidinin gömülü yazılımının tamamlanması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasına ait araştırma soruları aşağıda listelenmiştir;

Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikalar için nesnelerin interneti ağ geçidi modeli tasarlanırken, hangi aşamalar tamamlanmalıdır ?

Akıllı fabrika ortamlarında hangi RTLS metotları kullanılmakta ve birbirleri arasındaki farklılıklar nelerdir ?

Tez kapsamında sistem entegrasyonunun gerçekleştirildiği model fabrikada istenilen senaryoları gerçekleştirebilmek için hangi konumlama tekniği kullanılmalıdır?

Akıllı fabrika ortamlarında RTLS yapıları için tercih edilen teknolojiler arasında konum hassasiyeti ne kadar fark göstermektedir ?

## Bölüm 2

# Akıllı Üretim Sistemleri

Bu bölümde, endüstri 4.0 sanayi devrimi ve akıllı fabrikalar hakkında bilgiler verilecektir. Endüstri 4.0'ı oluşturan temel teknolojilerden ve uygulamalarından bahsedildikten sonra bu tez çalışması kapsamında uygulama testlerinin gerçekleştirildiği AFSUAM akıllı transfer laboratuvar uygulamasından bahsedilmiştir.

### 2.1 Endüstri 4.0'ın Endüstriyel Tesislerdeki Rolü

Endüstri 4.0 siber-fiziksel sistemleri temel olarak alan, sanayinin günümüz teknolojilerindeki evrimleşmeye uyumlanmasını içeren güncel özellikleri içermektedir. Endüstri 4.0 devrimi Alman ekonomik kalkınma ajansı GTAI aracılığıyla öne sürülmüştür. Endüstri 4.0 devrimi sayesinde, fiziki ve dijital sistemler birbirleriyle bağlantılı hale gelir. Bu bağlantı sayesinde Operasyon Yönetimi tarafından alınan kararlar, sahada akıllı uç birimler tarafından karşılık bulur. Bulunan bu karşılık fiziksel ve dijital dünyanın bağlantısını ifade eder. Bahsedilen haberleşme sistemlerinin temelinde nesnelerin interneti, blok zinciri, robotik ve yapay zeka bulunur. Endüstri 4.0'ın bir fabrika kapsamında bulunduğu en belirgin göstergesi, fabrikanın her kısmını ve tedarik zincirini dijital dünyada yöneterek, bu yönetimin yansımalarını fiziksel dünyada görmek olacaktır [30].

Siber-Fiziksel sistemler, hesaplama yeteneği ile fiziki yeteneklerin birleştiği bir ortam olarak tanımlanır [31]. Mikrodenetleyici destekli uç birimler, aynı siber sisteme bağlı bir çok birimden gelen veriden yararlanır. Bu uç birimler sistemin fiziki dünyası olarak görülmektedir. Aynı siber sistem üzerinden haberleşebilen fiziksel elementler üretim sürecinin otomatikleştirilmesini sağlayarak, talep üstüne iş yapılan geleneksel yöntemlerin kullanımına olan ihtiyacı azaltırken, otomatikleşmiş üretim sürecinin devreye alınmasını ve dijital süreç üzerinden takip edilmesini sağlar. Bileşenleri

makineler, aktüatörler, sensörler, cihazlar , tesisler , pek çok ulaşım aracı ve insanlar olarak belirtilebilir [31].

Üretim için ilerde şekillendirilecek misyon sayesinde ürünler sistemleri kontrol eder. Gelecekteki üretim vizyonu tamamen modüler olarak görülmekte ve sağlanan kontrol sistemleri sayesinde daha verimli olarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi süreci, birçok akıllı mekatronik ürünlerin bulunacağı şekilde tasarlanmaktadır. Bu süreç kapsamında akıllı ürünler, yeni bir ürün oluşturulması, sanal dökümantasyon ve 3 boyulu modellerin üretilmesi aşamaları da dahil olmak üzere otomatize edilmiş bir bütünlüğü sağlamak için gerekli tüm aşamalarda kullanılacaktır. Endüstri 4.0'ın endüstriyel bir tesise entegre edilmesi sayesinde, tedarik zinciri tamamen dijital ortamdan takip edilebilir hale gelecektir. Dijital olarak takip edilebilir uçtan uca sistem kapsamında, tüm lojistik ve tedarik zinciri süreçleri yer alacak, müşterinin de dahil olabileceği, fabrikadaki üretimi takip edebileceği, fabrikanın ise gerekli tedarikçilerle iletişim sağlayabileceği bir ortam olacaktır [32].

Akıllı fabrika genel olarak üç kısımdan oluşturan bir mühendislik disiplini. Bu kısımlar, cihazlar ve sistemler arası bağlantı, işbirliği ve eyleme geçirme şeklindedir. Endüstri 4.0'ın uygulandığı fabrikalar akıllı fabrika olarak, fabrika içindeki tüm sistem ve cihazlar birbiriyle bağlantılı olacaktır. Süreçler de bu bağlantıya dahil olacak, fabrikadaki tüm konseptler birbiri ile iletişim halinde olacaklar. Dijital dünya ile fiziki sistemler bu bağlantı olanağı sayesinde organik bir bağ oluşturacaklardır.

Endüstri 4.0 konseptinin akıllı fabrikalarda uygulanması sayesinde, üretim aşamaları esnetilebilir ve ihtiyaca göre uyarlanabilir şekle bürünecektir. Üretim, müşteriden gelen talepleri hızlı bir şekilde karşılayabilir hale gelecektir. Akıllı fabrika ortamında robotvizyon ve yapay zeka kullanımı bulunur. Yapay zeka sayesinde, bazı kararlar insan dehasına ihtiyaç olmadan yapılan analizlerle verilir. Sanal gerçeklik sayesinde, üretim süreçleri bilgisayar ortamında sanallaştırılır. İnsan makine etkileşimi daha üst seviyeye taşınır. Bilgisayar ortamında yapılan görselleştirme ile insanların farklı duyularını tetikleyecek ortam meydana gelir [33].



## 2.2 Endüstri 4.0'ın Temel İlkeleri

Endüstri 4.0 modüler halde tasarlanmış olan akıllı fabrikalarda, siber-fiziksel sistemler aracılığı ile fiziki alemin dijital alemde eşdeğerini oluşturarak, dijital alemde fiziksel alem için gerekli kararları alan yapı şeklinde tanımlanırken; Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, akıllı fabrikalar olarak görülmektedir. [34]Siber-fiziksel sistemler, hesaplama yeteneği ile fiziki yeteneklerin birleştiği bir ortam olarak tanımlanır. Fiziki ortamlarda gömülü sistemleri de içeren sistemler, tanımlı bir ağ üzerinden siber sisteme bağlıdırlar. Siber sistem üzerinde fiziki dünyadan alınan veriler incelenir, gerekli kontroller yapılır, fiziki sistemlere yaptırılmak istenilen aksiyonlar belirlenir. Siber ve fiziki kısım birbirleri ile geri bildirim döngüsü içinde çalışmalarını devam ettirirler. Bu kavramın fiziki kısmı, tamamen fiziki dünya ile ilişkilidir. Fiziksel ortam koşulları her zaman öngörülebilir olmayacaktır.Bu sebeple fiziki sistemler beklenmeyen çevresel koşullara dayanıklı olarak tasarlanmalıdır. Dijital ve analog işlemlerin bulunduğu elektronik sistemlerin tasarımlarında gerekli prensipler takip edilmelidir [35].

Nesnelerin interneti, RFID sensörler, aktüatörler, cep telefonları gibi çeşitli bileşenlerin kendilerine özel adresleri kullanarak birbirleriyle işbirliği yapabilmesi olarak tanımlanır. Nesnelerin interneti kapsamında ağ konseptleri konusunda gerekli önem gösterilmelidir. İletilmek istenen veri ve alınmak istenen komut mesajları farklı ağlar üzerinden gidebilir. Mevcut ağ bağlantı durumu zaman içinde değişiklik gösterebilir. Cihazların dinamik IP'ye sahip olması veya mevcut uç birimin bir ağdan diğer ağa geçmesi gibi durumlarda, gerekli hedef noktalara olan bağlantı sürekliliğini korumaları esastır [36].

Akıllı fabrikalar kısaca sessiz sistemler olarak tanımlanabilir. İlgili konsept kapsamında, akıllı fabrikalar belirli bir içerik hedefini sağlamak için insanlara gerekli görevlerin tamamlanmasında yardımcı olan yapılar olarak görülür. Bu sistemler gerekli görevlerini tamamlarken gerçek dünyadaki fiziksel sistemlerden topladıkları verilerden yararlanırlar. Bir aracın veya makinenin anlık durumu, konumu gibi bilgiler bunlar arasında sayılabilir [37].

Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri sayesinde, endüstri 4.0'ın temel ilkeleri uygulanabilmektedir. Birlikte çalışabilirlik bu ilkelere biridir. Endüstri 4.0

uygulamalarının yaygınlaştığı kuruluşlarda, birlikte çalışabilirlik önemli bir yer edinmektedir. Birlikte çalışabilirlik, siber-fiziksel sistemler ve insanların, nesnelere interneti üzerinden birbirleri ile bağlantı kurmalarıyla ilgilidir. SmartFactory KL tesisinde, tesis içindeki tüm siber-fiziksel sistemler belirli bir standart protokol üzerinden birbirleriyle açık ağlar üzerinden iletişim kurarlar [34].

Endüstri 4.0 öncesinde, üreticiler belirli bir süreci verim kapsamında test etmek istediklerinde, bazı deneme-yanılma şeklinde testler yaparlardı. Endüstri 4.0 kapsamında dijital ikiz kavramı gündeme gelmiştir. Sanallaştırma sayesinde, ilgili ürün veya bu ürünün üretim prosesi sanallaştırılarak dijital ikizi siber ortamda elde edilir. Bu sayede deneme-yanılma yerine bazı simülasyonlar yapılarak üretim kalitesinin artırılması sağlanabilir. Otomasyonun mimarı olan süreç mühendisleri, sanallaştırma sayesinde, mevcutta var olan süreci fiziksel dünyada gerçekleştirdikten sonra dijital ikizini oluşturur. Bu sanal model üzerinde, sistemde yer alan sensörlerin verileri sanal olarak değiştirilebilir, sensör yapıları değiştirilebilir. Bu sayede fiziki sistem gerçek dünyada değiştirilmeden, dijital ikizi üzerinde güncel hali ile simüle edilebilecektir. Modelleme ve ürün geliştirme için harcanan zaman bütçesi minimize edilebilecektir. Desantralizasyon sayesinde, endüstri 4.0 uygulaması olan kuruluşlarda, siber-fiziki sistemler gömülü sistemleri kabiliyetlerinden yararlanarak bazı kararları merkezi geri bildirim olmadan alabilirler. Yine de tüm sürecin 25erkez tarafından takip edilmesi her zaman esastır [38].

## Bölüm 3

# Akıllı Fabrika Sistemlerinde Kapalı

# Alanlarda Gerçek Zamanlı

# Konumlandırma Uygulamaları için

## Teorik Arkaplan

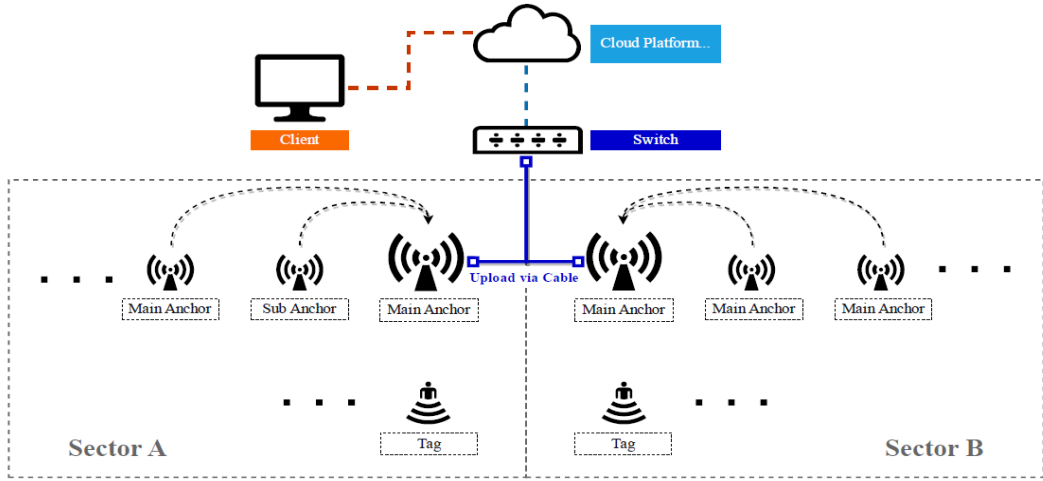
Bu bölümde kapalı alanlarda kullanılan gerçek zamanlı konumlama sistemleri tanım seviyesinden başlanarak incelenecek, güncel uygulamaların gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan gerekli arkaplan hakkında vizyon kazanma yönünde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

### 3.1 Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemleri

Gerçek Zamanlı Konum Belirleme Sistemleri (Real Time Location Systems)(RTLS) kapalı alanlarda nesne ve kişilerin anlık konumlarını kablosuz mobil etiketler aracılığıyla ve bu kablosuz etiketleri algılayabilen okuyucular aracılığıyla tespit etmek ve takip etmek amacıyla kullanılan sistemlerdir. Sistemde kablosuz sistemle çalışan etiketleri okuyabilen okuyucular, sabit konumlarda bulunur ve konum tespiti için referans nokta olarak sistemin bir üyesi olarak yer alırlar. RTLS uygulamalarında GPS gibi küresel uydulara dayalı sistemler tercih edilmez. Sistem dahilinde kapalı alan içerisinde mobil kablosuz etiketler ve sistemin kendine has referans noktaları olan sabit okuyucular bulunur [39].

Şekil 3.1’de bir RTLS sisteminin çalışması açıklanmaktadır. Bu sistem bir yer altı madeninde uygulanmıştır. Sistem aktif mobil etiketler, sunucular ve istemcilerin dahil olduğu bir paradigmadan oluşmaktadır. Düşük seviyeli sabit okuyucular(Sub-anchor) ölçüm alanlarına giren mobil etiketlerle iki yönlü ölçüm metodu(Two Way Ranging –

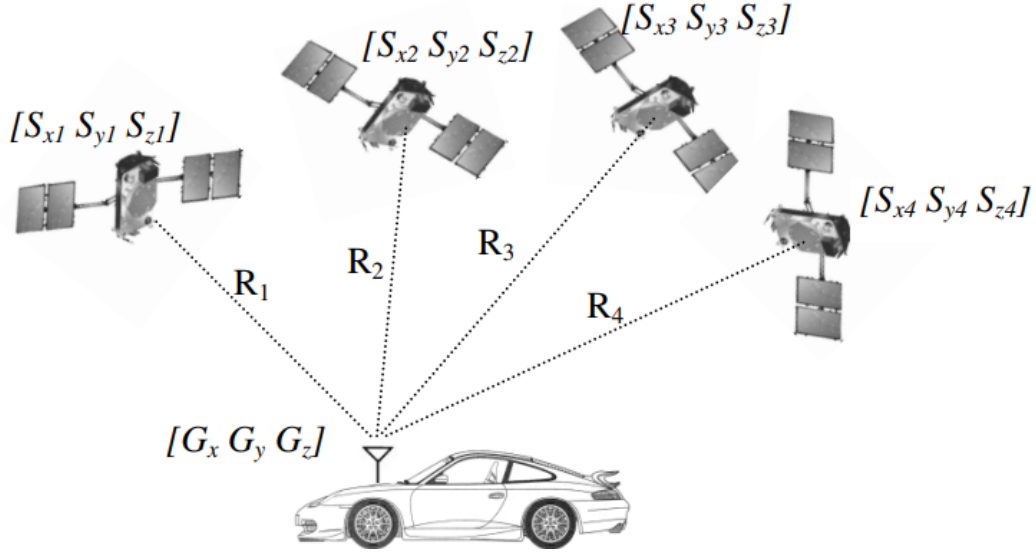
TWR) kullanarak mesafe ölçümü yapar. Elde ettikleri mesafe bilgilerini belirli periyotlar ile üst seviyeli sabit okuyuculara(Main Anchor) gönderirler. Hiyerarşide Main Anchor ismi ile anılan cihazlar, Sub Anchor’lardan aldıkları bilgiler ışığında bazı algoritmalar çalıştırarak, Tag’lerin koordinatlarını bulur ve Ethernet kablosu ile sunucuya gönderirler. Sunucu aldığı koordinat bilgileri ile görselleştirme işlemini yapar. İhtiyaç duyulduğunda sunucu üzerinden Tag’e komut da gönderilebilir [40].



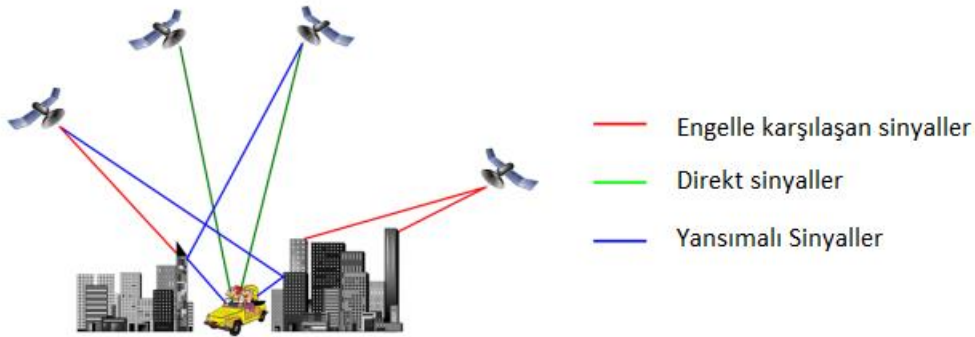
Şekil 3.1: Yer altı madeni RTLS Uygulaması [40]

RTLS sistemleri GPS, cep telefonu üzerinden takip, Wi-Fi ve RFID teknolojilerinden yararlanılarak gerçekleştirilebilir. GPS küresel uydularla haberleşir. Şekil 3.2’de GPS’in konumlama prensibi gösterilmiştir. Dış mekan uygulamalarında verimli olsa da, uydu ile direk hat haberleşmesi olmayan durumlarda uygulamalarda gerekli sonucu elde edilmesi konusunda kısıtlar yaratır. GPS sinyalleri bina gibi büyük engellerle karşılaştığında, alıcı ile uydular arasındaki sinyaller engellenmekte, yansımaya müsait yüzeylerde sinyaller yansımaktadır. Sinyal kesintileri konum eksikliğine, yansımalar ise hatalı konum hesaplarına yol açmaktadır [41]. Şekil 3.3’İç mekan konumlama sistemleri için kablosuz sensör ağı(Wireless Sensor Network – WSN), kablosuz yerel ağ(Wireless Local Area Network – WLAN), radyo frekans etiket sistemi (Radio Frequency Identification – RFID) altyapıları kullanılarak çeşitli konumlama algoritmaları tasarlanmıştır. Her bir teknoloji ile üretilen konumun farklı hassasiyet seviyesi bulunur. Hassasiyet seviyesi sistemler arasında 1 ile 10 metre arasında değişir. Pasif RFID etiketler ile kurulan sistemlerde, RFID okuyucular bulunur. Bu okuyucular bir verici, bir de alıcı antene sahiptir. Verici antenden belirli bir güç seviyesinde ve frekansta yayın yapılır. Pasif etiketler bu yayından elde ettikleri güçle, tekrar propogasyon yaparlar. Okuyuculardaki alıcı antenler, pasif etiketin yaydığı sinyali alır.

Verici antenden yaymış olduğu güç seviyesi ile, alıcı antenden almış olduğu güç seviyesini karşılaştıran algoritmalar kullanılarak, hareketli pasif etiketin konumu tespit edilir [42].



Şekil 3.2: GPS ile konumlama prosedürü [63]



Şekil 3.3: GPS Sinyal Yayılım Şekilleri [41]

GPS ile konumlama doğruluğu Şekil 3.4’de belirtilen fiziki etmenler de olmak üzere, çeşitli etkenler karşısında değişkenlik göstermektedir. Lu ve arkadaşları yoğun bir şehir ortamında bir kamyonun konumunu takip etmek için, yol kenarlarında Bluetooth algılayıcının da takıldığı bir ortamda GPS ve ölü hesaplama algoritmalarını da kullanarak bir sistem oluşturmuştur. Bu sistemde hata miktarı 10 metrenin altında olmuştur [43]. Bu çalışmanın yanı sıra, Pradhananga ve Teizer GPS ile yaptıkları konumlama testlerinde çevresel engellerin de etkisi ile 4.36 metreye kadar yükselen hata miktarları elde etmişlerdir [44].

GPS ile 5 cm'den daha az hata miktarı elde eden Saeki ve Hori yaptıkları çalışmada GPS verilerini kablosuz sensör ağından toplanan verilerle kombine etmişlerdir [45].

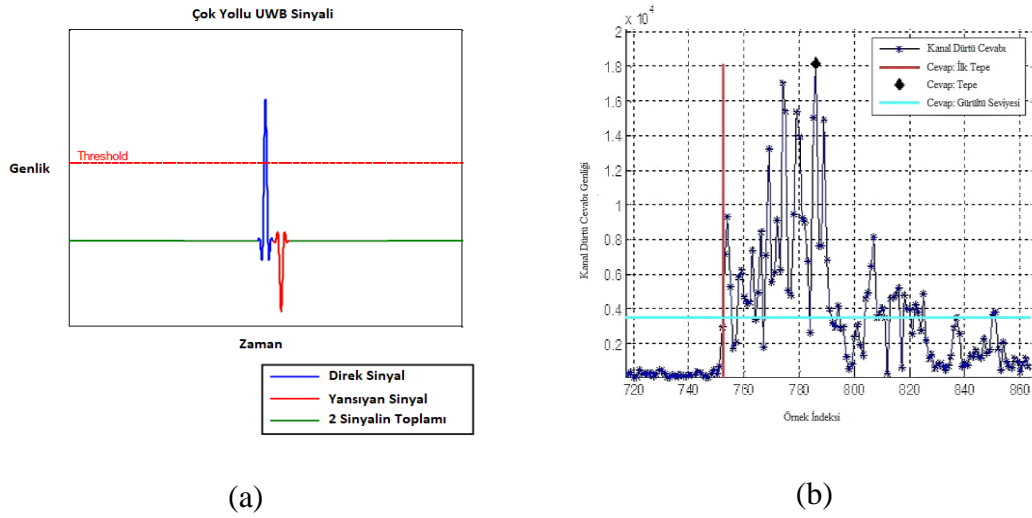
RTLS uygulamalarında Bluetooth Low Energy (BLE) sistemleri de rol oynamaktadır. BLE sayesinde cihazlar arasında düşük link bütçesi ve düşük güç tüketimi ile kablosuz haberleşme sağlanabilmektedir. Bahsedilen olumlu yönleri sebebiyle BLE teknolojisi RTLS sistemlerinde tercih edilmektedir. BLE tabanlı RTLS uygulamaları Beacon(Verici), Gateway(Ağ Geçidi), Location Engine(Konum Hesaplama Servisi) ve Web Application(Web Uygulaması) katmanlarından oluşur. Bluetooth taşıyıcı cihazları (Beacon) BLE tabanlı RTLS uygulamalarının temelinde yer alır. Küçük boyutlu ve pille çalışan cihazlardır. Her bir beacon'ın kendine özel eşsiz kimliği (Unified Unique ID – UUID) si bulunur. BLE protokolü dahilinde advertisement isimli veri paketleri göndererek, beacon'lar kendi varlıklarını bildirir. Bu veri paketlerinin içerisinde ilgili beacon'ın UUID'si yer alır. Beacon'lar takip edilmek istenen ekipmanlara takılır. Gateway'ler beacon'ların bir üst seviyesidir. Beacon'ların UUID içeren advertisement veri paketlerini alma görevi üstlenirler. Aldıkları paketlerin alınan sinyal gücü göstergesi(Received Signal Strength Indicator – RSSI) elde eder ve Location Engine'e gönderirler. Location Engine ise gateway'lerden topladığı advertisement paketlerini ve her bir paketin RSSI bilgisini eşleştirerek her bir UUID için konum tahmini yapar. Konum tahmin aşamasında çevresel etkenlerden dolayı RSSI bilgisinde oluşabilecek hataları ve veri kaybı gibi problemleri ortadan kaldırmak için bazı işlemler yapabilir. Web uygulaması, Location Engine tarafından üretilen konum tahminlerini görselleştirerek, kullanıcı ile gerekli etkileşimi sağlamak amacıyla bulunur [46].

RTLS sistemleri için pasif ve aktif RFID ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Zaman içerisinde farklı teknik ve algoritmalar geliştirilmiştir. Yakın geçmiş içerisinde UWB sistemlerinin RTLS'e dahil olmasıyla, birkaç santimetre seviyesine kadar konum hassasiyeti elde edilmeye başlanmıştır. UWB sayesinde pandemi döneminde virüsün yayılmasını önlemek için sosyal mesafe takip sisteminin en hassas şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olmuştur [23].

UWB geniş bant genişliği sayesinde, yüksek ölçüm hassasiyeti, çok yollu (Multipath) RF ortamlarında daha iyi direk yol bulma, parazit ve girişime karşı dayanıklılık

sağlamaktadır. Bu teknik özellikleri sayesinde, UWB'nin RTLS için daha uygun bir çözüm olarak görülmektedir. UWB modülleri 2019 yılından bu yana akıllı telefonlarda da kullanılmaktadır. UWB tabanlı sistemlerde direk ve dolaylı yol (LOS/NLOS) ayrımı için kanal dürtü tepkisi (Channel Impulse Response – CIR) kullanımı önerilmiştir [47].

UWB, kapalı ortamlarda çok yollu bozulma sebebiyle oluşan hataların üstesinden gelebilmek ve daha doğru sonuçlar sağlamak için, yansıyan sinyalin orjinal sinyalden ayırt edilebilmesini sağlayan kısa bir darbeye sahiptir [48].



Şekil 3.4: (a) UWB Sinyal Birim Tepkisi [56] (b) DWM1000 Tipik Bir Akümülatör Analizi

Radyo konumlama teknolojilerini farklılaştıran birçok faktör bulunur. Seçilen bant genişliği, seçilen konumlandırma algoritması sistemin performansını belirleyecek olan ana etkenlerdir. Radyo frekansının bant genişliği seçilen standart veya teknolojiye göre farklılık gösterir. BLE ve Wi-Fi tabanlı çözümler, UWB'ye göre daha az bant genişliği kullanmaktadır. UWB tabanlı ve IEEE802.15.4.a standardı kullanan sistemlerde genellikle bant genişliği 500 MHz ve üstündedir. Seçilen teknoloji aynı zamanda konumlandırma metot seçiminde de önemlidir. Wi-Fi ve BLE tabanlı sistemlerde alınan sinyal gücü seviyesi (RSSI) üzerine kurulu algoritmalarından yararlanır. UWB tabanlı sistemlerde ise ToA ve TDoA tabanlı algoritmalarından yararlanır. Yine kullanılan teknoloji, sistemin konumlama doğruluğu üzerinde de etkilidir. BLE ve Wi-Fi gibi dar bant sistemlerin kullanımı durumunda konumlandırma hatası 2 metreye kadar çıkabilmektedir. UWB sistemlerde ise konum doğruluğu ise 1 metrenin altında

olabilmektedir. Bunun yanı sıra UWB sistemlerde elde edilen konum doğruluğu direk görüş hattı olmayan ortamlarda daha düşük seviyelerde olabilmektedir. Teknoloji seçimi güç tüketimi açısından da efektif olup, BLE sistemler UWB sistemlere göre daha az güç tüketimi ile pil kullanımı konusunda daha verimli olmaktadır [49].

Tablo 3.1: Konumlama Teknolojileri Karşılaştırması

GPS	BLE	UWB
Bina içi konumlama ve binalar arasında kalan nesnelerin konumlandırması için uygun değil.	Düşük güç tüketimi.	Yüksek güç tüketimi.
4 metreye varan hata payları.	RSSI tabanlı algoritmalarla 2 metreye kadar hassasiyet sağlayabilmesi.	Zaman damgası tabanlı algoritmalar ile metre altı hassasiyet sağlayabilmesi.
Her zaman uydu bağlantısı bağımlılığı mevcuttur.	Düşük penetrasyon yeteneği.	Kanal darbe yanıtı sayesinde direk görüş hattı olan ve olmayan sinyallerin ayırımının yapılabilmesi.
	2 Mbps'e kadar veri aktarım hızı sebebiyle UWB'ye göre uzun paket süreleri.	6.8 Mbps'e kadar veri aktarım hızı sayesinde, kısa paket süreleri.
	Maliyet olarak UWB'den daha efektif.	

## 3.2 Akıllı Fabrikalardaki Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidinin Sunucu Tarafı ile Haberleşmesi Hakkında Teorik Arkaplan

Bu bölümde, tasarımı yapılan ağ geçidinin sunucu tarafı ile haberleşmesi sürecinde kullanılan teknik ve protokollerin teorik altyapısı hakkında edinilen bilgi haznesini paylaşma amaçlı başlıklar bulunmaktadır. Bu sayede kullanılacak teknik ve protokollere tam hakimiyet sağlanması amaçlanmıştır.

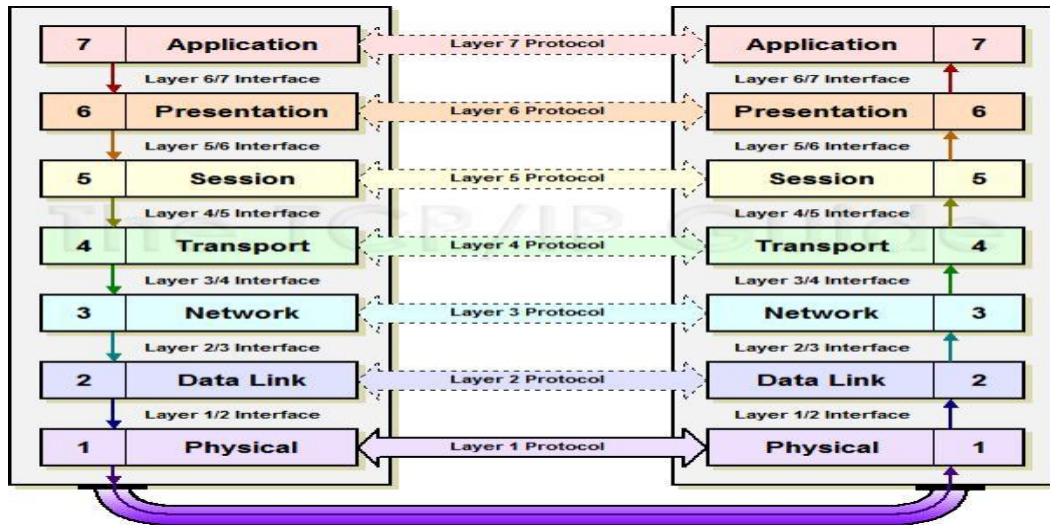
### 3.2.1 OSI Referans Modeli Katmanları

Açık Sistem Ara Bağlantısı (Open System Interconnection – OSI) referans modeli, ağ sistemlerinin birbiriyle iletişim kurması için gerekli kuralları ve görevleri tanımlayan bir çerçevedir. OSI Modeli, birlikte çalışabilir ağ sistemleri üretmek için satıcılara ve iletişim yazılımı geliştirenlere yardımcı olmak için tasarlanmıştır. OSI modeli, katmanlama adı verilen yaygın olarak kabul edilen bir yapılandırma tekniğine



dayanmaktadır. Bu yaklaşıma göre, iletişim fonksiyonları dikey bir dizi katmana bölünmüştür. Her katman, hemen alt katman tarafından sağlanan hizmetleri kullanarak ve zenginleştirerek ilgili bir dizi işlevi yerine getirir. OSI Modelinin tasarlanması, aşağıdaki amaçlara dayanmaktadır:

- Karmaşık bir iletişim ağının daha küçük, daha anlaşılır ve yönetilebilir mantıksal parçalara ayrıştırılmasını sağlamak,
- Ağ işlemleri ve modülleri arasında standartlaştırılmış arabirimler sağlayabilmek,
- Ağ tasarımcıları, yöneticileri, satıcıları ve kullanıcıları arasında ağ işlevlerini açıklayabilecek standart bir dil sağlamak.



Şekil 3.5: OSI Katmanları Diyagramı

**Katman 1 : Fiziksel katman : (Physical) :** Kurulacak veri bağlantısının elektriksel ve fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Bir cihaz ile fiziksel iletim ortamı arasındaki ilişkiyi tanımlar. (Örneğin : bakır veya fiberoptik kablo). Kablo ile bağlı iki düğüm arasında bir bağlantının sağlanması ve elektrik sinyalleri ile iletilen dijital verinin anlamlandırılmasını, modüle edilmesini ve modülasyonun çözülmesini sağlar.

**Katman 2: Veri Bağlantısı Katmanı (Data Link) :** Fiziksel katman tarafından sağlanan dijital iletim hizmetinin üzerine inşa edilmiş, farklı ağ düğümleri arasında güvenilir veri iletimi sağlayan katmandır. Güvenilir veri iletimi, düğümler arasında

ortak şekilde tanınan bir veri penceresi formatı ile sağlanmaktadır. Aktarılan verinin doğruluğu artıklık kontrolü ile sağlanmaktadır.

***Katman 3: Ağ Katmanı (Network)*** : Ağ katmanı farklı cihazların birbirlerine bağlantı kurmasını sağlamaktadır. Ağ üzerindeki cihazlar, aynı ağ üzerindeki başka cihazlara bir veri paketi göndermek istediğinde, ağ katmanına başvururlar. Bu katman o veri paketi için bir adres belirler ve bir yol çizer. Aynı zamanda bu katmanda veri paketleri parçalara ayrılabilir. Anlamli bir bütünün anlamsız parçaları yine bu katmanda birleştirilerek anlamlı hale getirilir. Paketlerin teslim durumunu takip eder ve hata durumunda gerekli aksiyonları alır.

***Katman 4 : Taşıma Katmanı (Transport)*** : Farklı düğüm noktaları arasında yürütülen işlemler arasında uçtan uca iletişim sağlamaktadır. Taşıma katmanı yazılım geliştiricinin gözünde veriyi aktarabildiği ilk katman olarak görülmekte ve bu sebeple yazılımcılar tarafından ağ katmanı gibi kabul edilmektedir. Bu sebeple taşıma katmanı kullanıcı yönelimli bir katmandır. Ağ katmanının güvenilirlik seviyesi ile ilgilenmeden, aktaracağı veri ve kuracağı bağlantılarda kendi güvenlik prosedürlerini uygulamaktadır. Yönettiği akış kontrol mekanizması ile verinin diğer uca garantili bir şekilde gitmesini sağlar. Bunu yaparken gerekirse yeniden gönderme yapar ve bu durum beklenmedik bir veri paketinin beklenmedik bir zamanda gönderilmiş olmasına yol açabilir. İki uç arasında bir bağlantı oturumu kurma ve sonlandırma ile ilgili görevler de bu katmanda gerçekleştirilmektedir. TCP ve UDP bu katmanda çalışan en yaygın protokollerdir.

***Katman 5 : Oturum Katmanı (Session)*** : Oturum katmanı, iki tarafın bir ağ üzerinden oturum adı verilen devam eden iletişimi sürdürmesine izin verir. Oturumun her iki ucundaki uygulamalar, oturum devam ettiği sürece veri alışverişi yapabilir veya diğerine paket gönderebilir. Oturum katmanı, oturum kurulumunu, veri veya mesaj alışverişini yönetir ve oturum sona erdiğinde bilgileri temizler. Ayrıca oturum kimliğini izler, böylece yalnızca belirlenen taraflar katılabilir ve güvenlik hizmetleri oturum bilgilerine erişimi kontrol eder. Oturum, bir kullanıcının uzaktan zaman paylaşımli bir sistemde oturum açmasına veya iki makine arasında bir dosya aktarmasına izin vermek için kullanılabilir.

**Katman 6: Sunum Katmanı (Presentation):** Sunum katmanı, uygulama katmanına sunulacak verileri biçimlendirir. Ağ için tercüman olarak görülebilir. Bu katman, verileri uygulama katmanı tarafından kullanılan bir formattan gönderen istasyonda ortak bir formata çevirebilir ve daha sonra ortak formatı, alıcı istasyondaki uygulama katmanı tarafından bilinen bir formata çevirebilir. Sunum katmanı şunları sağlar:

- Karakter kodu çevirisi: örneğin, ASCII'den EBCDIC'ye.
- Veri dönüştürme: bit sırası, CR-CR/LF, tamsayı kayan nokta vb.
- Veri sıkıştırma: ağda iletilmesi gereken bit sayısını azaltır.
- Veri şifreleme: güvenlik amacıyla verileri şifreleyin. Örneğin, şifre şifreleme.

**Katman 7: Uygulama Katmanı (Application):** Bu, kullanıcının sıklıkla etkileşime girdiği seviyedir. Verilerin web sitelerine, sohbet programlarına vb. Dönüştüğü yer burasıdır. DNS, FTP, HTTP, HTTPS, NFS, POP3, SMTP ve SSH gibi birçok protokol bu katmanda çalışır. Bu katman, uygulama ve son kullanıcı işlemlerini destekler. İletişim ortakları belirlenir, hizmet kalitesi belirlenir, kullanıcı kimlik doğrulaması ve gizlilik dikkate alınır ve veri sözdizimi üzerindeki tüm kısıtlamalar tanımlanır. Bu katmandaki her şey uygulamaya özeldir. Bu katman, dosya aktarımları, e-posta ve diğer ağ yazılım hizmetleri için uygulama hizmetleri sağlar [50].

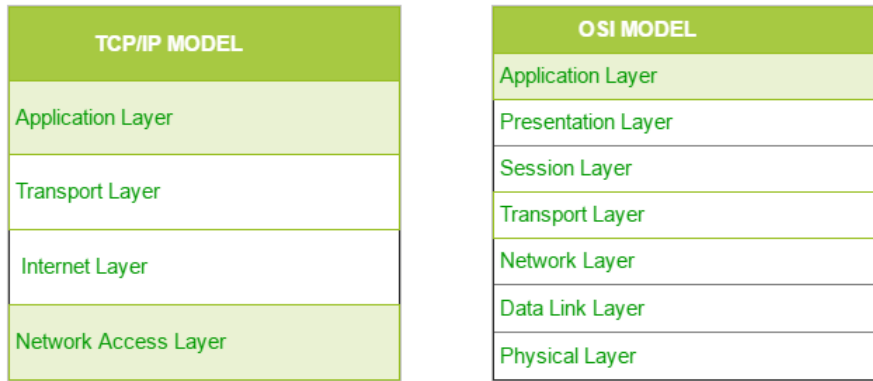
Katman 2 – Veri Bağlantısı Katmanı, topolojide Katman-1 ile simgelenen fiziksel ortama erişim kurallarını belirler. Fiziksel ortamı bilgisayarlardaki ethernet kartı olarak kabul edebilmekteyiz. Her ethernet kartının, eşsiz bir 6 byte'lık adresi bulunur. Bu adres MAC adresidir. Veri Bağlantısı Katmanı'nda çalışan cihazlar, çeşitli bağlantı noktalarına bağlı cihazların MAC adreslerini öğrenerek, MAC adresi seviyesinde iletişim sağlayan cihazlardır [51].

### 3.2.2 TCP/IP Protokolü Referans Modeli ve Uygulamaları

TCP/IP protokolü en önemli iki protokolü içinde barındırdığı için bu şekilde adlandırılmıştır. TCP/IP ağlar arasında düğümler arası bağlantıyı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. TCP/IP özel bilgisayar ağlarında, iletişim protokolü olarak kullanılmaktadır [52]. TCP/IP bir protokol paketidir. İsminden TCP ve IP protokollerinden oluştuğu düşüncesini uyandırır da, paket içerisinde başka protokoller

de bulunmaktadır. TCP/IP internet uygulamaları ile yönlendirme ve anahtarlama yapısı arasında bir soyutlama katmanı işlevi görmektedir. TCP, uygulamaların ağ üzerinde iletişim kanalları oluşturabileceği politikaları tanımlamaktadır. Ayrıca uygulamaların gönderdiği veri paketlerinin parçalanması ve birleştirilmesinden de sorumludur. IP ise her paketin doğru yönlendiricilerden geçerek hedefe ulaşmasından sorumlu olmaktadır. TCP/IP istemci-sunucu tabanlıdır. Bir istemci, bir sunucuya bağlantı sağlar. Sunucu tarafından istemciye veri aktarılır. Web sayfalarının tarayıcılarımıza yüklenmesi bu prensiple sağlanmaktadır. İstemcinin sunucuyu gönderdiği istekler arasında bir durum takibi bulunmamaktadır. Her istek bir öncekinden bağımsız olarak kabul edilir ve cevaplanır [53]. OSI modeli, veri haberleşmesini anlatan referans bir modeldir. Prosedürleri küçük parçalara ayırarak, basitçe açıklamak amacıyla tasarlanmıştır. TCP/IP ise OSI'nin daha farklı bir versiyonu olarak ele alınmıştır. Dört katmandan oluşmaktadır [54].

- İşlem/Uygulama Katmanı
- Aktarım Katmanı
- İnternet Katmanı
- Ağ Erişim ve Bağlantı Katmanı



Şekil 3.6: TCP/IP Modeli Katmanları

**Ağ Erişim ve Bağlantı Katmanı (Network Access Layer) :** Ağ üzerinden verilerin fiziki iletimiyle ilgili katmandır. Veri iletimi ve diğer düğümlerle konuşurken, fiziksel adresten yararlanır. IP bilgisi içeren veri paketleri, bu katmanda fiziksel adres içeren veri paketlerine çevrilerek, elektriksel sinyaller ile verinin iletimi sağlanır [55].

**İnternet Katmanı (Internet Layer) :** Bu katmanda veriler IP paketlerine dönüştürülür. Bu paketler içerisinde kaynak ve hedef IP adresleri yer almaktadır. İstemci yada sunucular, bu katmandan yararlanarak, aynı ağ yada uzaktaki bir ağ

üzerindeki düğümlere paket gönderimi sağlayabilirler. Üst katmanlar bu verileri alarak Uygulama katmanında kullanılacak hale dönüştürmekle yükümlüdür [56].

**Aktarım Katmanı (Transport Layer):** Verinin kaynak ile hedef düğüm arasında sorunsuz iletiminden sorumludur. Hizmet kalitesiyle ilgili işlevler de buraya yürütülmektedir. Anlık yoğunluk durumuna göre hangi zamanda, hangi büyüklükte verinin, hangi haberleşme hızında gönderileceği konusunda planlamalar yapar. Gönderim onay bilgisi takibi yaparak, gerekirse yeniden gönderim sağlar [56].

**Uygulama Katmanı (Application Layer) :**TCP/IP modelinin en üst seviyesinde uygulama katmanı bulunmaktadır. Protokoller ile kullanıcı uygulamaları arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Bu katmanda uygulamalar aktarım katmanı hizmetleriyle etkileşimde bulunarak ağı kullanırlar. TCP/IP üzerine inşa edilen diğer protokoller de bu katmanda kullanılmaktadır. Bu protokollere örnek olarak HTTP, RDP, DHCP, DNS, SMTP verilebilir. IoT uygulamalarında uygulama katmanında kullanılan protokollerden bazıları ise şunlardır:

- a. Http (Hyper Text Transfer Protocol)
- b. Https (Hyper Text Transfer Protocol Secured)
- c. MQTT (Message Queue Transport Telemetry)
- d. CoAP (Constrained Application Protocol)

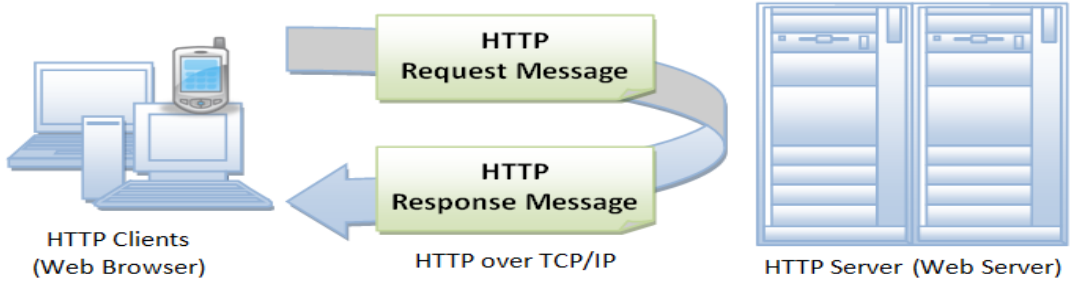
Eyhab Al-Masri ve diğerlerinin yaptığı araştırmada, IoT platformlarında en çok tercih edilen ilk iki protokol HTTP ve MQTT olarak belirtilmektedir. Ayrıca CoAp de tercih edilmektedir [57].

Tablo 3.2: IoT Platformlarında Tercih Edilen Protokoller [57]

İncelenen Platform	Kullanılan Protokoller
Azure IoT Hub	HTTP(S), MQTT, MQTT over WebSocket, AMQP, AMQP over WebSocket
IBM Watson IoT	HTTP(S), MQTT
AWS IoT Core	HTTP(S), MQTT,

Alibaba IoT	HTTP(S), CoAP, MQTT, MQTT over WebSocket, WebSocket,
Oracle IoT	HTTP(S), CoAP, MQTT, AMQP, XMPP, WebSocket
Siemens MindSphere	HTTP(S), CoAP, MQTT, AMQP, XMPP, <i>supports wide range of device protocols via field gateways (e.g. MindConnect) such as OPC UA, LoRaWAN, Modbus, 6LoWPAN, LwM2M</i>
Bosch IoT Hub	HTTP(S), MQTT, AMQP, LoRaWAN

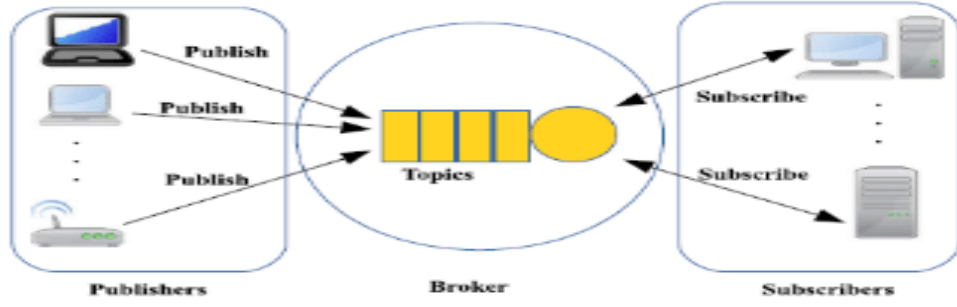
HTTP asimetrik istek-yanıt istemci-sunucu protokolüdür. Bir HTTP istemcisi, bir http sunucusuna bir istek mesajı gönderir. Sunucu da bir yanıt mesajı döndürür. Bu protokol, sunucudan bilgi çekebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Sunucu istemciye doğrudan bilgi iletmez. İstemci sunucudan istek yaptıkça, sunucu bilgi iletir [58].



Şekil 3.7: HTTP Protokolü Çalışma Prensibi

MQTT makineden makineye iletişim için özel tasarlanmış bir protokoldür. TCP/IP üzerine inşa edilmiştir. İletilecek veriye olan ekstra protokol verisi yükü fazla değildir. Bu protokol taşınmak istenen verileri XML, JSON yada farklı biçimlerde iletir. Taşınan verinin formatından bağımsız bir protokoldür. İstemci – Sunucu modeli yerine, yayınlama ve abone olma metodu kullanılmaktadır. Bu metotta ortak bir broker bulunur. Broker üzerinde belirli başlıklara yayın yapılır. Bu başlıklara abone olanlar, başlıklara yayınlanan veri için uyarılır ve veriyi okurlar. Bu modelde yayıncı ve dinleyici birbirlerinin kimliğini bilmeden haberleşebilmektedir. Ayrıca aboneler o

anda aktif olmasalar bile, gecikmeli aktif olduklarında, başlıklar altındaki son verilere ulaşabilmektedirler [59]. MQTT protokolünde kullanıcıların aktif olduklarında sadece son verilere ulaşabilmesi olumsuz bir yön olarak görülmüş ve tez kapsamında tasarlanan AFSUAM protokolünde bu olumsuz yön dikkate alınmıştır. Konuyla alakalı bölüm 4.3.1’de detayları verilen AFSUAM protokol tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8: MQTT Protokolü Blok Diyagramı [59]

# Bölüm 4

## Materyal ve Metod

### 4.1 UWB Tabanlı Gerçek Zamanlı Konumlama

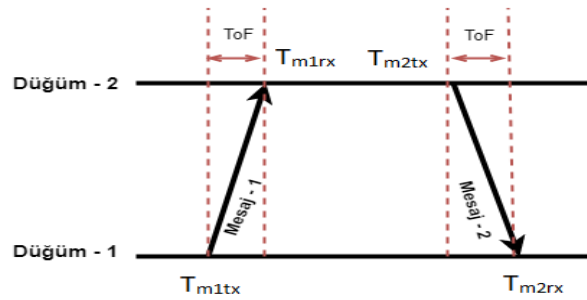
#### Algoritmalarının Laboratuvar Ortamında İncelenmesi

Bu bölümde tez kapsamında kullanılacak olan konumlama algoritmalarını incelemek amacıyla, farklı algoritmaların uygulamaları yapılmış ve test edilmiştir.

#### 4.1.1 İki Yönlü Ölçüm Metodu Hakkında Yapılan Laboratuvar

##### Çalışmaları ve Bulgular

İki yönlü ölçüm, iki düğüm cihazının birbirlerine belirli bir zaman gecikmesi ile belirli etiketler içeren ölçüm mesajları göndermesine dayanan mesafe bulma metodudur. Bu yöntemde her bir düğüm, gönderdiği ve aldığı ölçüm mesajlarının zaman damgalarını kaydeder. Bu zaman damgaları ile yapılan hesaplama sonucunda, ölçüm mesajlarının iki düğüm arasında giderken havada geçirdikleri propogasyon süresi hesaplanır. Propogasyon süresinin ışık hızı ile çarpımı prensibi ile iki düğüm arasındaki mesafe bilgisi elde edilmektedir. Literatür araştırması sonucu iki yönlü ölçüm metodu için DW1000 entegre devresinin kullanılması uygun bulunmuştur. İki adet DW1000 entegre devresi içeren düğüm ile en basit TWR aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.



Şekil 4.1: Temel Twr Mesajlaşması



- Düğüm-1  zerinden Düğüm-2'ye Mesaj-1 gönderilir ve gönderim anı  $T_{m1tx}$  olarak damgalanarak saklanır.
- Düğüm-2 Mesaj-1'i aldığı anı  $T_{m1rx}$  olarak damgalar ve saklar. Belirli bir gecikmeden sonra Düğüm-2, Mesaj-2'yi gönderir. Gönderdiği anı  $T_{m2tx}$  olarak damgalayarak saklar.
- Düğüm-1, Mesaj-2'yi aldığı anı  $T_{m2rx}$  olarak damgalar ve saklar. ( $T_{m2tx}-T_{m1rx}$ ) değeri sabit olmakta ve Düğüm-1 içerisinde tanımlıdır.
- İki düğüm arasındaki propogasyon süresi (Time of flight – ToF) Őu Şekilde hesaplanır.

$$ToF = \frac{(T_{m2rx} - T_{m1tx}) - (T_{m2tx} - T_{m1rx})}{2} \quad (4.1)$$

- Elde edilen ToF bilgisi ile ışık hızı değeri çarpıldığında, propogasyon s resinden yararlanılarak iki düğüm arasındaki mesafe bilgisi elde edilmektedir.

$$Mesafe = c * ToF \quad (4.2)$$

- Görülen mesajlaşma ve mesafe hesaplama topolojisinde, iki düğümün kristal saatlerinin farklı kayma değerlerine sabit olması ve frekans kayması sebepleriyle, mesafe hesaplarında hatalar oluşmaktadır. Bu metodun adı Tek Taraflı TWR (Single Sided TWR – SS-TWR) olarak tanımlanmaktadır.

DW1000 entegre devresinin bilgi kitapçığından elde edinilen bilgiye göre  $T_{reply}$  olarak adlandırılan ( $T_{m2tx}-T_{m1rx}$ ) değerine ve tercih edilen saat kristalinin hassasiyetine göre mesafe tahmin hatalarına sebep olan zamansal değerler Tablo 4.1'de gösterilmektedir

Tablo 4.1: DW1000 Osilat r Zaman Saati Sapması

$T_{reply}$ \ clock error	2 ppm	5 ppm	10 ppm	20 ppm	40 ppm
100 $\mu$ s	0.1 ns	0.25 ns	0.5 ns	1 ns	2 ns
200 $\mu$ s	0.2 ns	0.5 ns	1 ns	2 ns	4 ns
500 $\mu$ s	0.5 ns	1.25 ns	2.5 ns	5 ns	10 ns
1 ms	1 ns	2.5 ns	5 ns	10 ns	20 ns
2 ms	2 ns	5 ns	10 ns	20 ns	40 ns
5 ms	5 ns	12.5 ns	25 ns	50 ns	100 ns

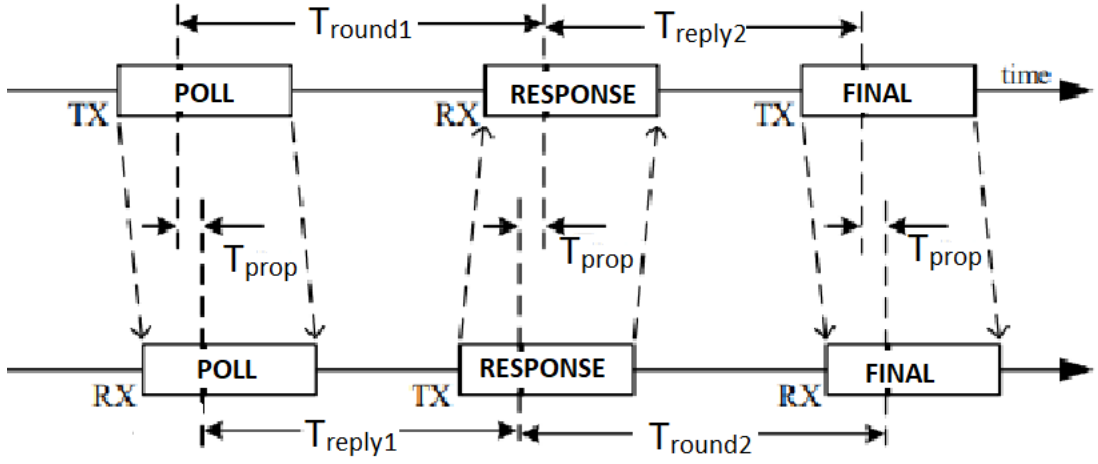
Tablo 4.1’de farklı hassasiyet değerine sahip kristal zaman osilatörlerinde(2 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm) iki adet TWR paketi arasında geçen zamanın hesaplanmasına yaşanan hata miktarları(clock error) gösterilmektedir. Işık hızının 299792458m/sn olduğu dikkate alındığında, 1 ns zaman değeri için mesafe adım değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$299792458\text{m/sn} = (299792458 * 100)/1000000000 = 29.97 \text{ cm/ns} \quad (4.3)$$

DW1000 entegre devresini kontrol eden kristalin ise düşük hassasiyetli bir bileşen olduğu düşünüldüğünde, hata seviyeleri 100 ns’ye kadar çıkmaktadır. 100 ns ise mesafe olarak yaklaşık 30 metre hata anlamına gelmektedir.  $T_{\text{reply}}$  süresinin tanımlı bir sabit olarak tanımlandığı bu yöntemde, düğümler arasındaki saat kayma farkları sebebiyle, birim zamanda geçirilen süre farklılık oluşturduğundan, Düğüm-2’nin saatine göre hesaplanan  $T_{\text{reply}}$  süresi Düğüm-1 için eşit bir zaman dilimine denk gelememektedir. Sonuçta farklı saat kaymalarına sabit entegre devreler arasında yapılan TWR’lerde hatalı ölçümler oluşmaktadır. Bu sebeple SS-TWR metodu çok fazla tercih edilmemektedir.

Bu yöntemde Düğüm-2’nin  $T_{\text{reply}}$  süresi değişkenlik gösterememekte, çünkü bu değer her iki düğümde de ön-tanımlı olarak saklanmaktadır. Bağlantı bütçeleme açısından bakıldığında, mesaj paketi sayısı azlığı nedeniyle avantaj gösterse de,  $T_{\text{reply}}$  süresi büyüdükçe ve kristal saat kalitesi azaldıkça, dezavantajları ile ön plana çıkmaktadır. SS-TWR metodundaki olumsuzluklara alternatif olarak Çift Taraflı TWR(Double Sided TWR – DS-TWR) metodu tercih edilmektedir.

- TWR metotlarında, düğümler arası gönderilen mesajların yaygın isimlendirmesi POLL – RESPONSE – FINAL şeklindedir.
- POLL : Mesafe ölçüm oturumunu başlatan düğüm bu mesajı gönderir.  
RESPONSE : POLL mesajını alan düğüm, cevap olarak POLL mesajını gönderen düğüme bu mesajı gönderir.
- FINAL : Mesafe ölçüm oturumunu başlatan düğüm, RESPONSE mesajını aldığı anda, bu mesajı göndererek, mesafe ölçüm oturumunu sonlandırır. FINAL mesajını alan düğüm mesafe bilgisini hesaplayabilmektedir.



Şekil 4.2: Çift Taraflı TWR

$$T_{prop} = \frac{(T_{round1} \times T_{round2}) - (T_{reply1} - T_{reply2})}{(T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2})} \quad (4.4)$$

$$Mesafe = c * T_{prop} \quad (4.5)$$

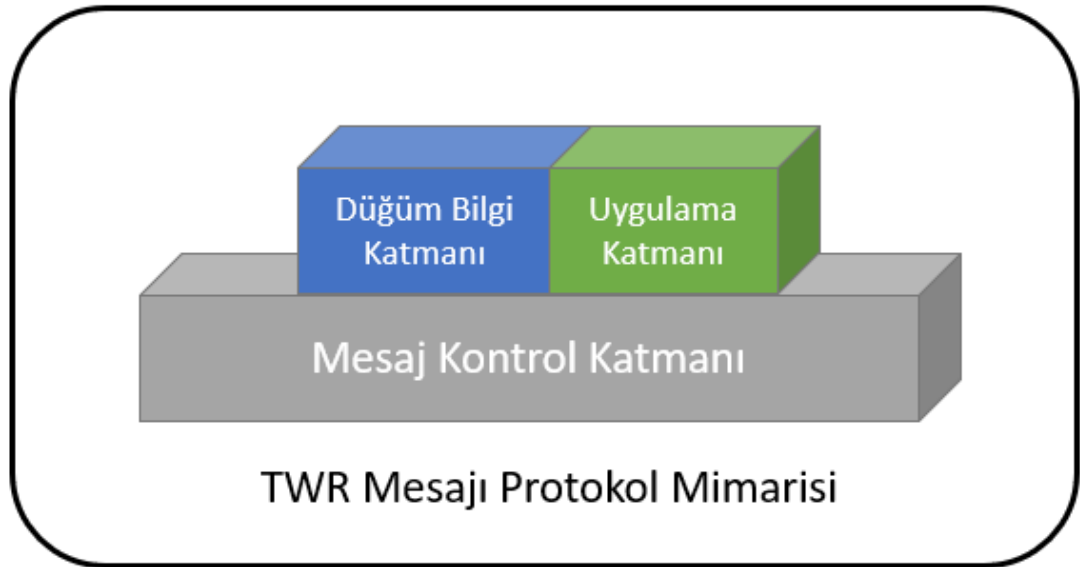
DS-TWR metodunda, FINAL mesajını gönderen düğüm, kendi tarafında geçen  $T_{round1}$  ve  $T_{reply2}$  değerlerini mesaj içerisinde belirtmektedir. Bu sebeple iki düğüm arasındaki kristal saat kayma farklarının yaratmış olduğu olumsuz etki ortadan kalkmaktadır. Bunun yanı sıra her düğüm farklı  $T_{round}$  ve  $T_{reply}$  gecikme değerleri ile yayın yapmakta, bu değerler mesaj içerisinde yazıldığı için ön-tanımlı değer olmak zorunda olmamaktadır.

FINAL mesaj paketinin alınmasıyla tüm zaman gecikme bilgilerine sahip olan düğüm, mesafe hesaplamasını yapabilmektedir. Karşı düğüm bu durumda mesafe bilgisini bilmemektedir. Tasarlanan uygulama özelinde, her iki düğümün de mesafe bilgisini edinme ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. Bu problemi çözebilmek amacıyla DS-TWR mesajlaşma topolojisine RESULT isimli bir mesaj paketi eklenmesi prensibiyle bir çalışma yapılmıştır. FINAL paketini alan düğüm, mesafe hesaplamasını yaptığında, mesafe bilgisini RESULT paketi içerisine yerleştirerek göndermektedir. RESULT paketini alan düğüm, karşıdaki düğüm ile olan mesafesini edinebilmekte ve uygulama lojisi içerisinde kullanabilmektedir. RESULT paketi edinme ihtiyacı farklı konumlama uygulamalarına göre ihtiyaç gösterebilmektedir. RESULT paketi ihtiyacı olmadığında, bu paketin gönderilmemiş olması bağlantı bütçeleme açısından avantaj

sağlayacaktır. Bu durumun üstesinden gelebilmek adına, RESPONSE paketi içerisine resultRequest isimli bir bayrak eklenmiştir. Bu bayrak değeri lojik-1 olduğunda, RESULT paketi gönderimi yapılmakta, lojik-0 olduğunda RESULT paketi gönderilmemektedir.

Birçok düğümden oluşan endüstriyel bir ortamda, düğümler arası haberleşme paketleri belirli bir protokol kapsamında gönderilmelidir. Bir düğümün gönderdiği mesaj paketi, aynı entegre devreye sahip bir çok düğüm tarafından eş zamanlı olarak alınabilir. Fakat gönderici düğüm, bu veri paketini özel bir düğüme göndermek isteyebilir. Bir kaynak düğüm tarafından gönderilen mesaj paketinin, sadece bir veya birkaç düğüm tarafından dikkate alınması, diğer düğümler tarafından dikkate alınmaması gereken durumlar sıkça mevcut olacaktır.

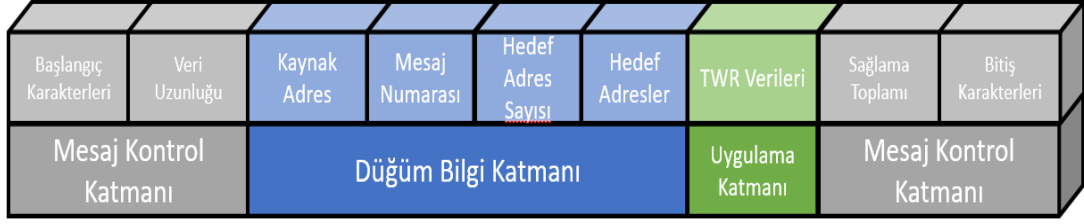
Yapılan çalışmada bir protokol tasarımı yapılmış, bu sayede düğümler arası haberleşmeler bazı kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmeye başlanmıştır.



Şekil 4.3: TWR Mesajı Protokol Paketi Yapısı

Mesaj Kontrol Katmanı, üretilmiş bir mesajın dahil olunan mesaj topolojisine ait olup olmadığını belirlemek için tasarlanmıştır. Düğüm Bilgi Katmanı, üretilmiş bir mesajın düğümler arası iletişim kurallarını tanımlamaktadır. Uygulama Katmanı, üretilmiş mesaj içerisinde, uygulama seviyesinde taşınmak istenen verileri temsil etmektedir.

Her bir katmanın daha detaylı açıklaması için Şekil 4.4 eklenmiştir.



Şekil 4.4: Twr Mesajları Detaylı Protokol Açılımı

Başlangıç ve Bitiş karakterleri, dahil olunan mesajlaşma topolojisine ait olduğunu ifade etmektedir. Her bir düğüm aynı başlangıç ve bitiş karakterlerini kullanır. Herhangi bir düğüm bir mesaj aldığı anda, öncelikle Başlangıç ve Bitiş karakterlerine bakarak, kendisinde tanımlı olan Başlangıç ve Bitiş Karakterlerini almayı bekler.

Başlangıç Karakterleri sonrasında, Uzunluk bilgisi yer almaktadır. Bu kısım Düğüm Bilgi Katmanı ve Uygulama Katmanı içerisinde yer alan verilerin toplam uzunluğunu ifade etmektedir.

Sağlama Toplamı kısmı mesaj paketinin propogasyon esnasında sağlıklı transfer edildiğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Uzunluk verisinden sonra yer alan tüm verilerin toplamının 255 ile modunun alınması prensibiyle hesaplanır. Paketi yayınlayan düğüm, yayınladığı paket içerisinde bu bilgiyi hesaplar. Paketi alan düğüm ise Uzunluk ve sonrasındaki bilgileri kullanarak bu bilgiyi hesaplar. Eğer yayınlayıcı düğümün hesapladığı değer ile kendi içerisinde hesapladığı değer eşit ise, veri paketi sağlıklı bir şekilde transfer edilmiş demektir. Bu durumda veri paketinin okunmasına devam edilebilir.

Her bir düğüm 2-byte büyüklüğünde düğüm kimlik değerine sahiptir. Veri paketini yayınlayan düğüm, Kaynak Adres kısmına kendi düğüm kimliğini yazmaktadır. Hedef Adres kısmına ise mesaj paketini iletmek istediği düğümün düğüm kimliğini yazmaktadır. Birden fazla düğümüne bilgiyi iletmek isterse, Hedef Adres Sayısı kısmına 1'den büyük bir değer yazmaktadır. Veri paketini alıp Sağlama Toplamı kontrolünden geçiren düğüm, Hedef Adres kısmında kendi düğüm kimliğinin olup olmadığını kontrol eder. Eğer kendi düğüm kimliği burada bulunuyorsa, veri paketinin uygulama kısmını okumaya karar verir.

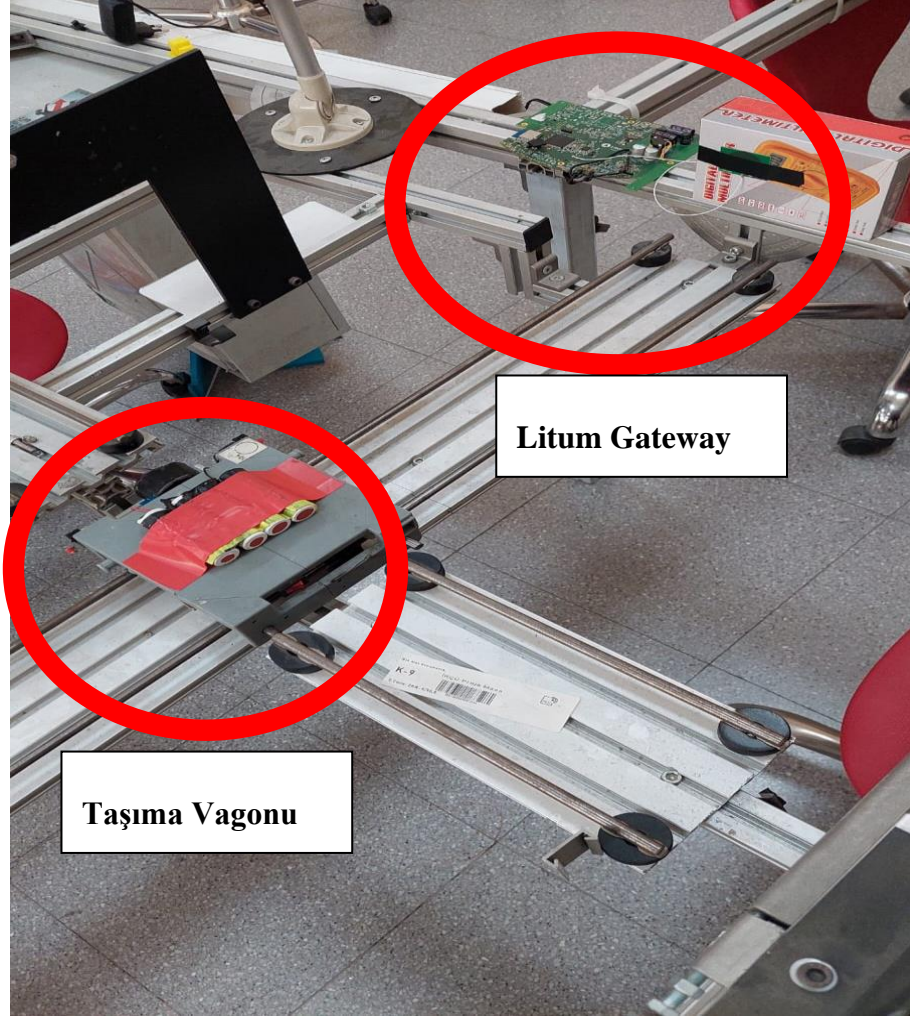
Uygulama katmanında, gelen bu veri paketine bir cevap verilmesi gerektiğine karar verirse, Düğüm Bilgi Katmanı'nda yer alan Kaynak Adres bilgisini kullanır. Cevap paketinde, Kaynak Adres kısmına kendi düğüm kimliğini, Hedef Adres kısmına ise bir önceki mesajın Kaynak Adres kısmında yer alan düğüm kimliğini yazarak veri paketini yayımlar.

Uygulama katmanı her bir uygulama paketinin belirteç numarası ile başlamaktadır. TWR kapsamında yukarıda da söz edildiği üzere 4 adet uygulama paketi bulunmaktadır. Uygulama paketleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Twr Veri Paketleri

Belirteç Numarası	Veri Paketi İsmi	Veri Uzunluğu (Byte)	Veri İçeriği
0	POLL	0	YOK
1	RESPONSE	1	RESULT isteği
2	FINAL	8	T <sub>round1</sub> T <sub>round2</sub>
3	RESULT	2	Mesafe(cm)

Tasarlanan mesaj paketleri ile gömülü yazılım geliştirildi. Gömülü yazılım kapsamında ilgili paketler için uygun zaman damgalarının elde edilmesi sağlandı. Sonrasında aşağıdaki resimdeki düzenek kurularak testler yapıldı. Geliştirilen gömülü yazılım sayesinde TWR metodu ile mesafe ölçümü yapılmıştır.



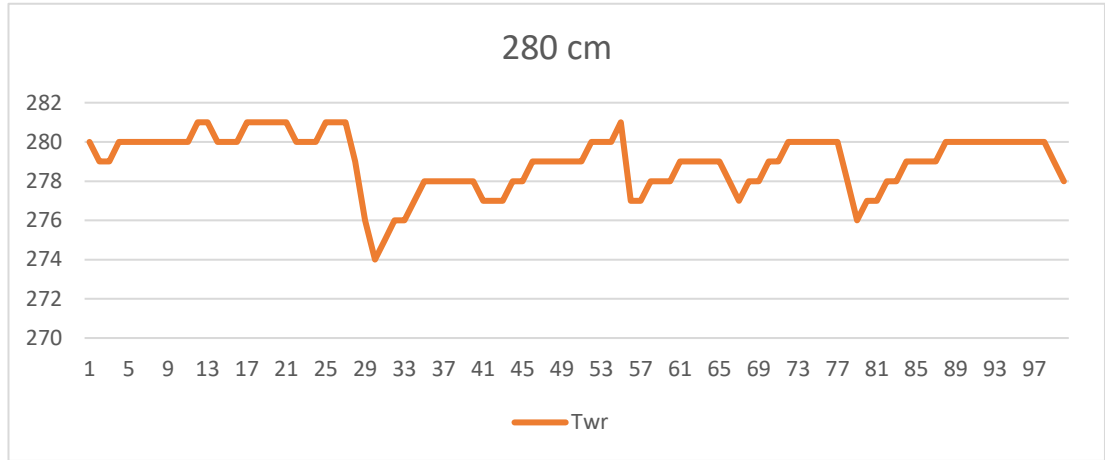
Şekil 4.5: Deney Ortamı Kurulumu

Ölçüm sonuçları Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 : TWR Ölçüm Sonuçları

Gerçek Mesafe (cm)	Twr Minimum Mesafe(cm)	Twr Maksimum Mesafe (cm)
190	188	193
240	239	245
300	301	306
400	398	402
500	501	504

280 cm mesafesinde alınan ölçüm sonuçları aşağıdaki gibi olmuştur. Ölçümlerdeki sapma miktarını grafiksel olarak ifade edebilmek için Şekil 4.7 aşağıya eklenmiştir.



Şekil 4.6: TWR ile 280 cm'de alınan ölçümler

Farklı bir DW1000 tabanlı donanım referans alınarak aşağıdaki ölçümler yapılmıştır. Bu donanımda anten anahtarlama devresi bulunmamakta ve DWM1000 isimli modül tercih edilmiştir.

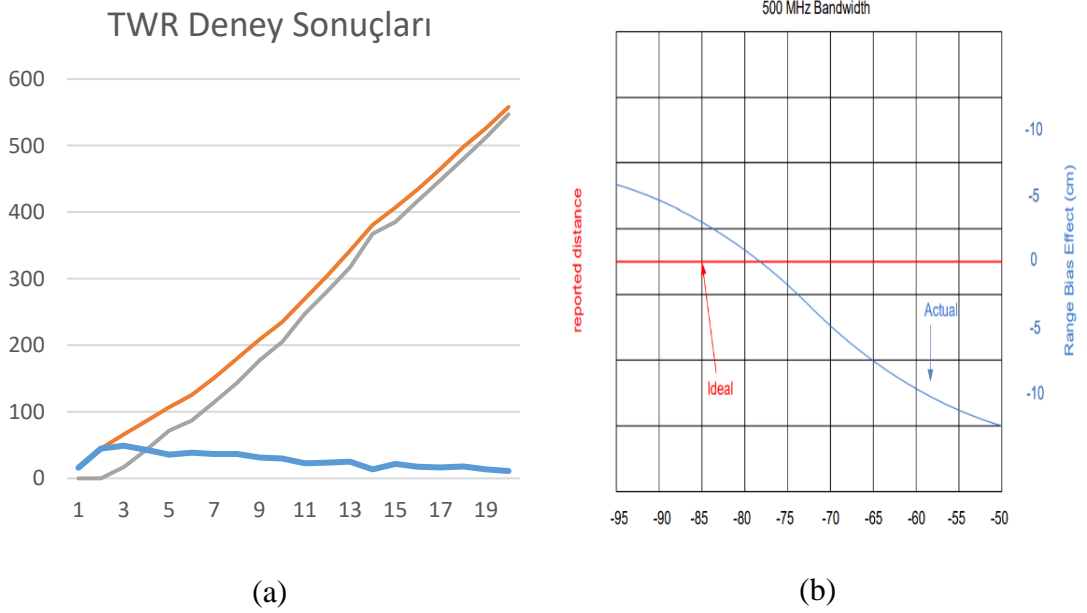
Tablo 4.4: TWR Ölçüm Sonuçları

Gerçek Mesafe(cm)	Twr Min(cm)	Twr Maks(cm)	Twr Ortalama(cm)	Fark(cm)
16	0	0	0	16
45	0	0	0	45
66	14	20	17	49
86	41	45	43	43
107	69	74	71.5	35.5
125	84	89	86.5	38.5
151	113	116	114.5	36.5
180	140	147	143.5	36.5
209	175	180	177.5	31.5

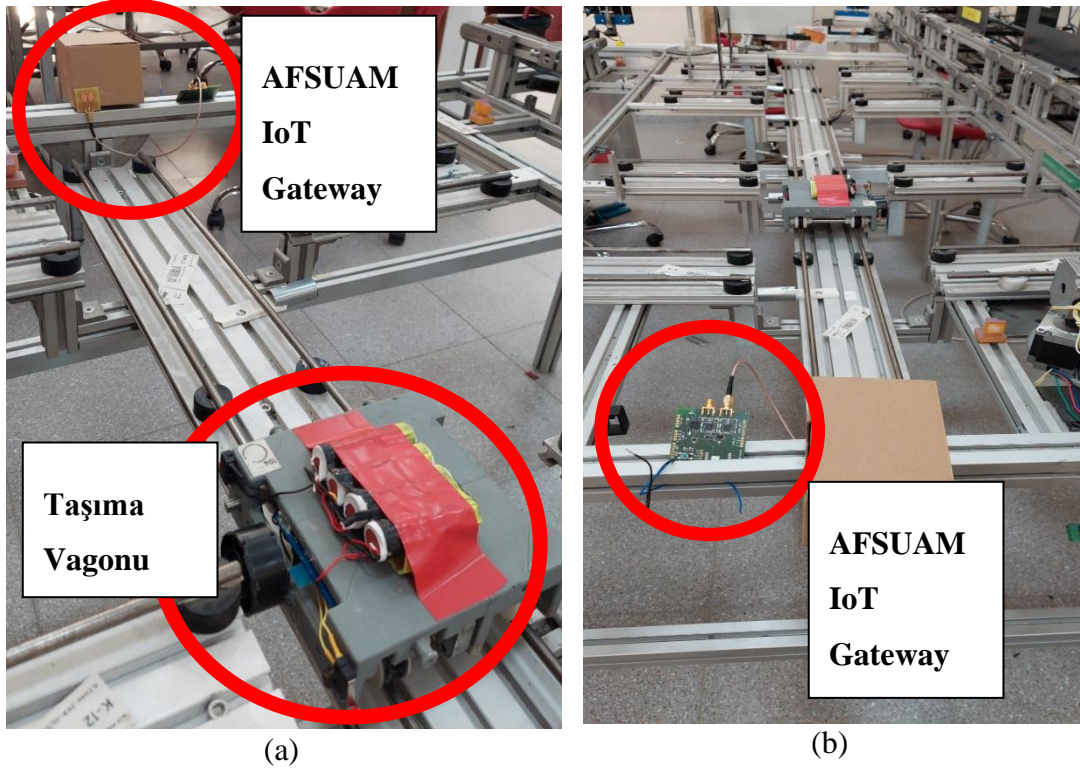


235	203	207	205	30
270	245	250	247.5	22.5
305	279	284	281.5	23.5
342	314	320	317	25
381	365	370	367.5	13.5
407	384	387	385.5	21.5
435	415	420	417.5	17.5
465	447	450	448.5	16.5
498	478	482	480	18
526	510	515	512.5	13.5
558	544	550	547	11

Yapılan deneyde, gerçek mesafe ile Twr mesafeleri arasında, fiziki mesafenin değişimine göre değişen fark değerleri görülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.7(a)'da grafikleştirilmiştir.



Şekil 4.7: (a) Tablo 4.4 Grafiksel Sonuçları (b) DWM1000 Mesafe Sapma Grafiği



Şekil 4.8: AFSUAM IoT Gateway ile TWR Ölçümleri Deney Düzenegi

Şekil 4.7(a)'da turuncu çizgi gerçek mesafeyi, gri çizgi twr mesafesini ifade etmektedir. Mavi çizgi ile de 2 değer arasındaki farklar görülmüştür. Nedeni araştırılarak ilgili entegre devrenin üreticisi tarafından yayınlanan APS011 “Source Of Error In DW1000 Based TWR” dökümanına erişilmiş, sebebinin üretici tarafından belirtilen mesafe sapması olduğu görülmüştür. Şekil 4.7(b)'de açıklanmıştır.

İlgili dökümanda, kanal 2 (~ 4GHz)'de yapılan ölçümlerde, aşağıdaki sapma değerlerinin elde edileceği ön görülmüştür.

Measured TWR distance (m)	Range Bias Correction Factor Applied For channel 2 (cm)	
	PRF 16 MHz	PRF 64 MHz
1.00	-21	-13
1.25	-20	-11
1.50	-19	-11
1.75	-19	-10
2.00	-18	-10

Tablo 4.5: DWM1000 Kanal-2 Sapma Miktarları

Verilen grafik ve tablo kanal-2’de yapılan çalışmaların ürünüdür. Kanal 2, ISM bantları ile girişim yapmaya uygun bir kanal olduğundan bu kanal uygulamada tercih edilmemiştir. Kanal 5’de yapılan ve yukarıda elde edilen deney sonuçlarından sonra, üreticinin dökümanı da incelendiğinde, menzil sapması değerinin buna sebep olacağı belirlenmiştir.

Bunu gidermek için gömülü yazılım içerisinde menzil sapmasını gidermek üzere bir fonksiyon geliştirilmiştir. Şekil 4.8’de görülmektedir.

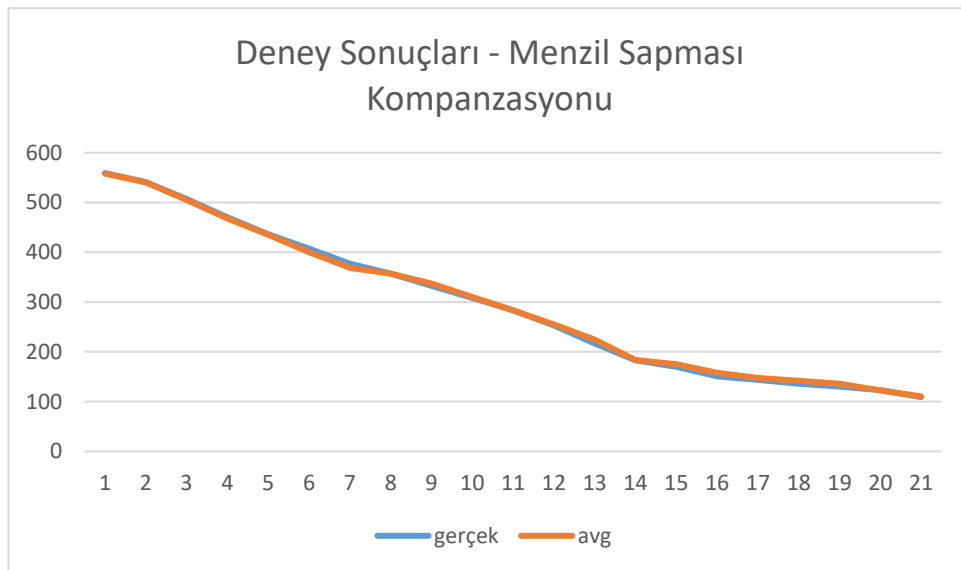
```
static U16 RtlS_Correct_Distance(U16 input)
{
    U16 retVal = input;

    if((input > 71) && (input < 150))
    {
        retVal = input + 37;
    }
    else if((input > 149) && (input < 230))
    {
        retVal = input + 31;
    }
    else if((input > 229) && (input < 340))
    {
        retVal = input + 24;
    }
    else if(input > 339)
    {
        retVal = input + 17;
    }

    return retVal;
}
```

Şekil 4.9: DWM1000 Mesafe Sapma Kompanzasyon Fonksiyonu

Yapılan geliştirme sonrasında deney tekrar edilmiştir.



Şekil 4.10: Sapma Kompanzasyonu Sonrası Deney Sonuçları

Elde edilen ölçüm sonuçları matematiksel değerler açısından incelendiğinde en yüksek sapma değerinin 8 cm olduğu görülmüştür.

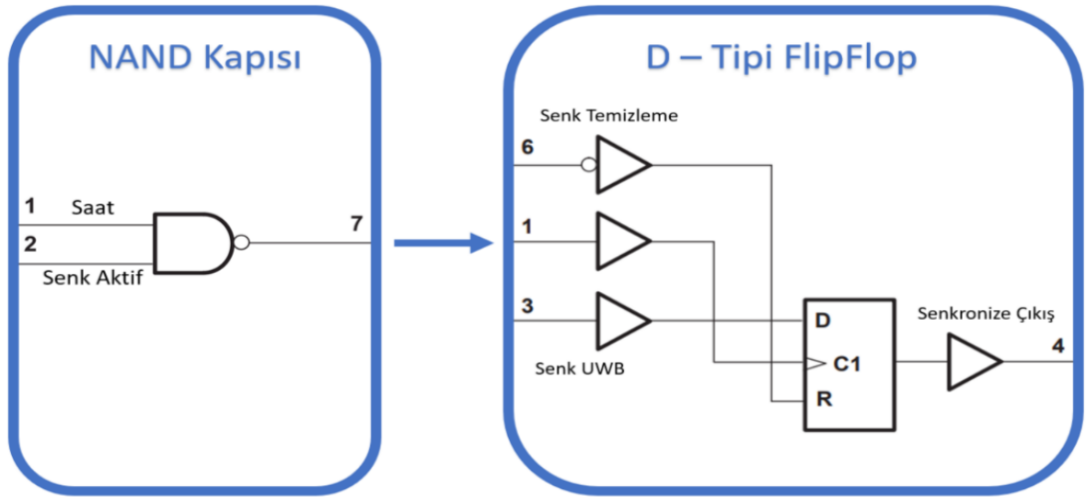
#### 4.1.2 Varış Zamanları Farkı Metodu Hakkında Yapılan Laboratuar Çalışmaları ve Bulgular

Varış Zamanları Farkı (Time Difference of Arrival – TDoA) yöntemi hakkında yapılan literatür araştırmalarında, hareketli etiketin bir konumlama paketi için, birden çok sabit düğümün kendi aralarında haberleşmesi ve belirlenen referans düğüm yardımı ile, hareketli etiketin konumlama mesajının farklı sabit düğümlere geliş zamanları farkları hesaplanarak, merkezi sunucuda konum hesaplama işlemleri yapıldığı görülmektedir. Bölüm 1.2’de 12 nolu atıf ile yapılan bu araştırma belirtilmiştir.

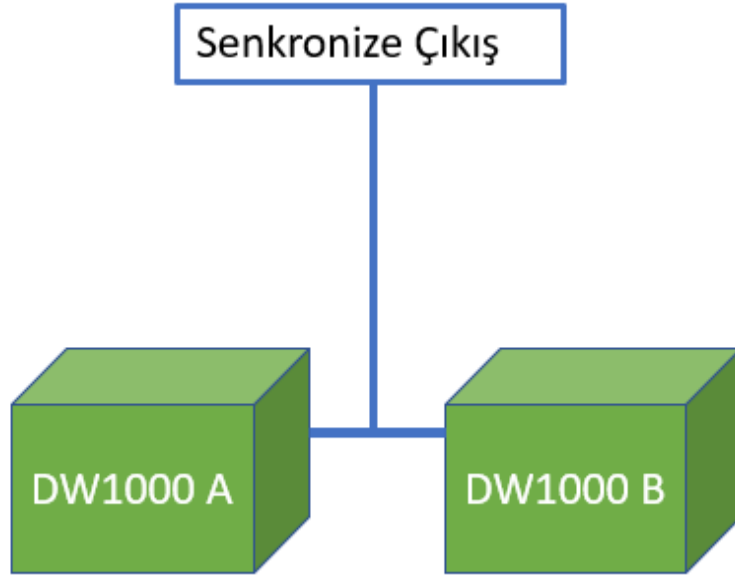
İncelenen çalışmada, TDoA uygulaması için bir mobil etiket ve birden fazla sabit alıcı kullanılmaktadır. Hareketli vericinin bir adet mesajı için, sabit alıcılar kendi aralarında referans paketlerini alışveriş etmektedirler. Bu durumda bir mobil etiketin bir mesajı için, sabit alıcı adeti kadar referans mesajı gönderimi sağlanmaktadır. Nihayetinde referans seçilmiş olan düğüm, tüm zaman farklarını tek bir veri paketi içerisinde toplayarak, sunucu ile paylaşmaktadır. Bu çalışmada TDoA uygulaması yapabilmek için hem birden fazla sabit düğüm, hem de sabit düğüm adedi kadar mesaj paketi alışverişi bulunur. Tüm bunlar hem donanım maliyeti, hem de veri trafiği maliyeti oluşturmaktadır.

Ön tasarım çalışmalarında AFSUAM IoT Gateway üzerinde 2 adet UWB alıcı/verici entegresi (DW1000) olması fikri benimsenmiştir. Buna göre bir adet mikrodenetleyici, 2 adet DW1000 entegre devresini kontrol edecektir. Birden çok sabit düğüm olan uygulamalarda DWM1000/DW1000’ler arası zaman senkronizasyonu problemi baş göstermektedir. Bu problemi aşabilmek için, bölüm 1.2’de de araştırması yapıldığı gibi, mesaj paketleri ile zaman senkronizasyonunu sağlamak veya UWB entegre devrelerinin senkronizasyon pinlerini kablo yardımıyla birbirine bağlamak gerekmektedir. Mesaj alışverişi ile zaman senkronizasyonu sağlamak hava trafiği açısından, birbirinden uzak sabit düğümler arasında kablo ile zaman senkronizasyonu sağlamak ise kablolama zorluğu ve maliyet açılarından olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Ön tasarım çalışmasında AFSUAM IoT Gateway için benimsenen fikir ile, aynı elektronik kart üzerinde yer alan 2 adet DW1000 entegre devrenin zamanlarını senkronize etmek için PCB üzerinde senkronizasyon devresi oluşturularak, 2 entegre devrenin de senkronizasyon pinlerini, oluşturulan devrenin çıkış ucuna bağlamak yeterli olacaktır. Senkronizasyon devresi, DW1000 entegre devrelerini kontrol eden mikrodenetleyici tarafından kontrol edilerek, DW1000 entegre devrelerinin kendi aralarında zaman senkronizasyonunu sağlayacaktır.



Şekil 4.12: DW1000 Entegre Devresi Zaman Senkronizasyonu Devresi

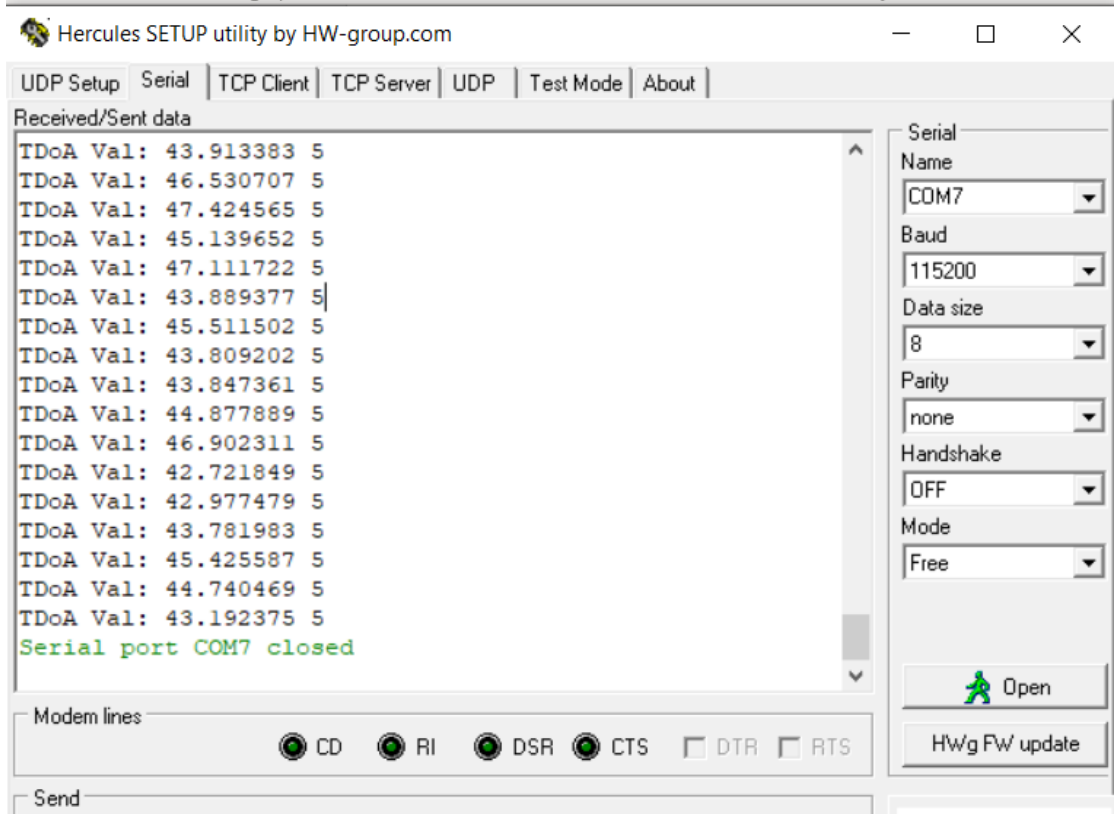


Şekil 4.11: DW1000 Entegre Devresi Senkronizasyon Şeması

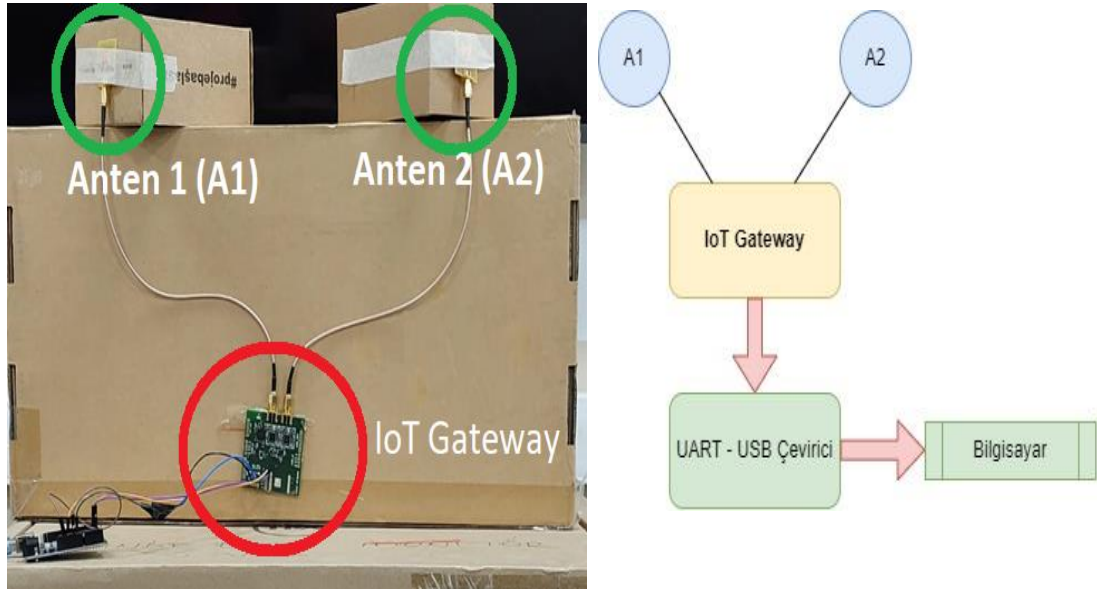
Şekil 4.10'da gösterilen senkronizasyon devresinin Senk Aktif, Senk Temizleme ve Senk UWB pinleri mikrodenetleyiciye bağlanmalıdır. Senk Aktif pini Lojik-1 seviyesine geldiğinde, ilgili senkronizasyon devresinin aktif olması sağlanabilmektedir. Devre aktif konumdayken Senkronizasyon yapılabilmesi için Senk UWB pini lojik-1 seviyesinde olmalıdır. Senk Temizleme pinine herhangi bir anda Lojik-1 sinyali uygulanırsa, Senkronize Çıkış pini Lojik-0 konumuna düşecektir. NAND kapısının Saat pini, kontrol devresinin kristal osilatörüne bağlı olmalıdır. Bu sayede Senkronize Çıkış pini kristal osilatörün lojik durumunu takip ederek sürekli darbe üretecektir. Her darbeye DW1000 entegre devrelerinin zamanları resetlenmiş ve senkronize olmuş olacaklardır.

Her bir DW1000 entegre devresi kendi antenine sahip olduğunda, bir mobil vericinin göndermiş olduğu tek bir veri paketi, eş zamanlı olarak 2 adet DW1000 entegre devresi tarafından da alınacak ve 2 entegre devre de senkronize olmuş zaman düzleminde birer zaman damgası oluşturabilecektir. Dolayısı ile mobil vericinin konumuna ve antenler arasında yer alan mesafeye bağlı olarak zaman damgası farkı oluşacaktır. Bu zaman damgaları farkının antenlerin sabit olduğu durumda, mobil vericinin konumuna göre farklılık göstermesi beklenmektedir. Bu sayede tek bir IoT Gateway ile, yani tek bir donanım ile TDoA uygulaması yapılabilecektir. Tez çalışmasının bu bölümünde, ön tasarım aşamasındaki bu fikrin deneysel uygulaması yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır.

Yapılan testte transfer vagonu sürekli mesaj paketi gönderim moduna alınmıştır. IoT Gateway'in 2 adet SMA anten portuna gerekli antenler bağlanmıştır. Transfer vagonu iki farklı pozisyona alınarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde her bir DW1000 entegre devresi, transfer vagonundan aldığı her mesaj paketi için bir zaman damgası oluşturmuştur. Her mesaj paketi için eş zamanlı olarak 2 entegre devre tarafından üretilen zaman damgaları IoT Gateway üzerinde yer alan mikrodenetleyici tarafından okunmuştur. Okunan zaman damgalarının fark değerleri hesaplanmış, UART portu üzerinden fark değerleri gönderilmiştir. UART üzerinden gönderilen fark değerleri Hercules terminal yazılımı ile okunmuştur.

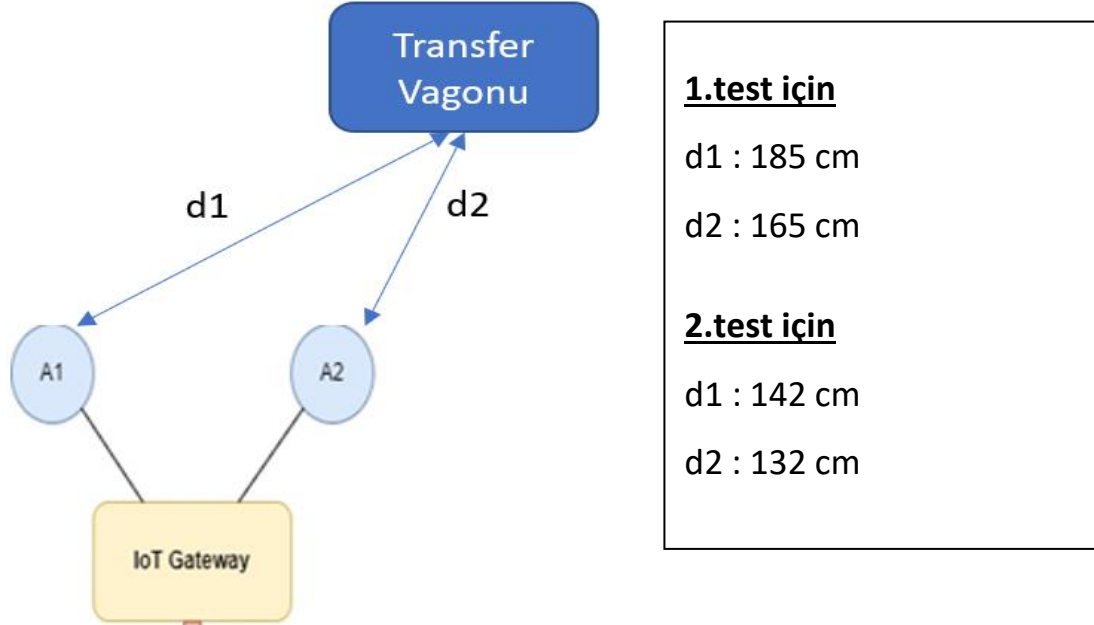


Şekil 4.13: Hercules Yazılımı Seri Port Çıktı Görünümü



Şekil 4.14 (a): TDoA Test Düzeneği Fiziki Görünüm (b) TDoA Test Düzeneği Yapısal Diyagram

IoT Gateway ve antenler diyagramda gösterildiği gibi konumlandırıldı ve UART – USB çevirici ile bilgisayara bağlantı yapıldıktan sonra transfer vagonunun yerleşimi yapıldı.



Şekil 4.15: TDoA Testleri için Transfer Vagonu Yerleşimi

DW1000 entegre devresi zaman damgasını 15.65 ps hassasiyetinde oluşturmaktadır. Zaman damgası DW1000 entegre devresinin RX\_TIME isimli yazmacından okunmaktadır. Bu yazmaçta yazan değerler 15.65 ps ile çarpılarak gerçek zaman değeri ps değerinden elde edilebilmektedir. Her bir mesaj paketinde, her DW1000 entegre devresinden ilgili yazmaç okunup, yazmaç değerlerinin farkı alınarak UART üzerinden gönderilmesi sağlanmıştır.

1.test için sonuçlar (d1 : 185 cm , d2 : 165 cm) Tablo 4.6’da gösterilmektedir.

Tablo 4.6: TDoA Test Sonuçları - Test1

Ölçüm Sonuç No	TDoA Değeri (DW1000 Yazmaç Cinsinden)	TDoA Değeri (ns Cinsinden)
1	63.792108	0.99834649



2	61.833686	0.96769719
3	61.066949	0.95569775
4	60.853559	0.9523582
5	62.282847	0.97472656
6	62.626278	0.98010125
7	65.101022	1.01883099
8	64.480818	1.0091248
9	63.696143	0.99684464
10	65.156914	1.0197057

Tablo 4.6'daki ns değerlerinin ortalaması : 0.987 ns yapmaktadır. Test 1 için seçilmiş d1 ve d2 mesafe değerlerinin farkı ise 20 cm'dir.

2.test için sonuçlar (d1 : 142 cm , d2 : 132 cm) Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7: TDoA Test Sonuçları - Test2

Ölçüm Sonuç No	TDoA Değeri (DW1000 Yazmaç Cinsinden)	TDoA Değeri (ns Cinsinden)
1	41.364662	0.64735696
2	42.891729	0.671255559
3	43.913383	0.687244444
4	46.530707	0.728205565

5	43.889377	0.68686875
6	45.511502	0.712255006
7	43.809202	0.685614011
8	43.847361	0.6862112
9	44.877889	0.702338963
10	42.721849	0.668596937

Tablo 4.6'daki ns değerlerinin ortalaması : 0.686 ns yapmaktadır. Test 2 için seçilmiş d1 ve d2 mesafe değerlerinin farkı ise 10 cm'dir.

Formül 4.3'de gösterildiği üzere 1 cm , 29.97 ns'lik zaman dilimine denk gelmektedir.4.1.1 başlığında yer alan formül hatırlatma amaçlı buraya da eklenmiştir.

$$299792458\text{m/sn} = (299792458 * 100)/1000000000 = 29.97 \text{ cm/ns} \quad (4.3)$$

Test 1 ve Test 2 için elde edilen TDoA değerleri ve fiziki mesafelerin kıyaslanmasını içeren genel sonuç Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Test1 ve Test2'nin Değerlendirmesi

Test İsmi	Fiziksel Mesafe Farkı	TDoA Değeri(cm)	Hata Miktarı
Test1	20 cm	$0.988 * 29.97 = 29.61$	9.61 cm
Test2	10 cm	$0.688 * 29.97 = 20.55$	10.55 cm

DW1000 entegre devresinin ölçüm hassasiyeti, üretici dökümanında da [11] belirtildiği üzere 10 cm'dir. Bu sebeple test sonuçları entegre devrenin kısıtları

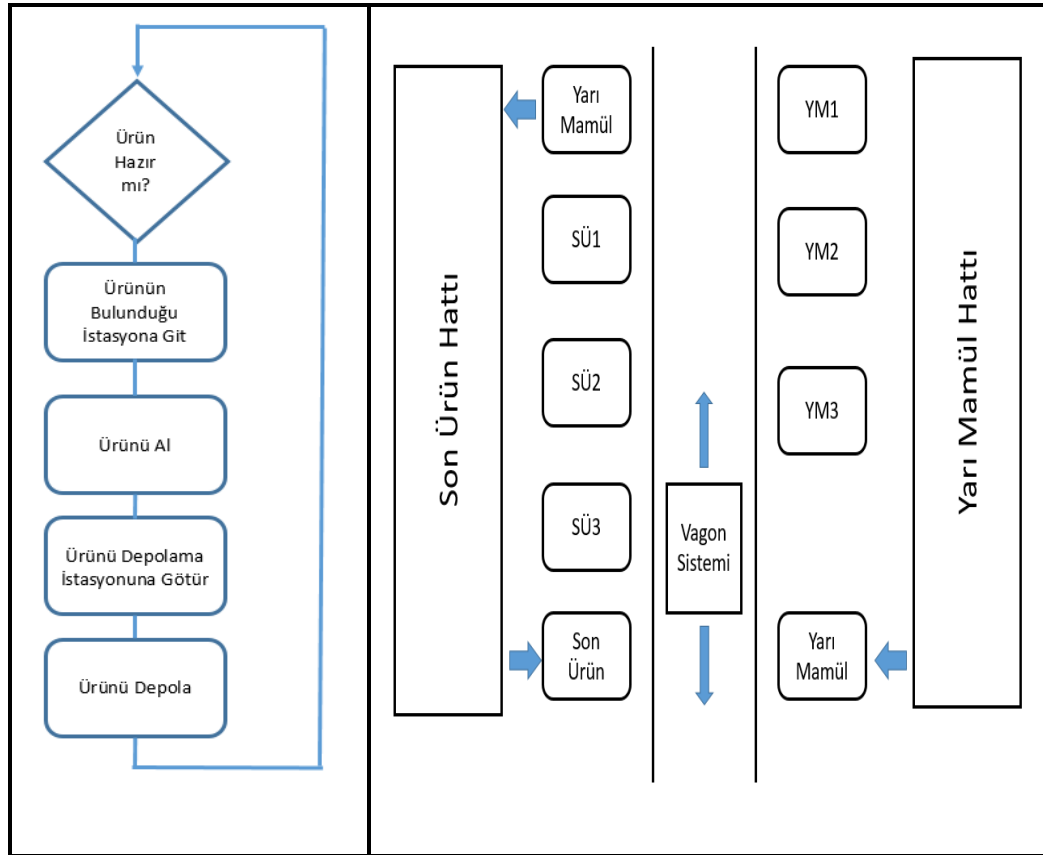
doğrultusunda başarılı görülmüştür. Bölüm 5’de DW1000 entegre devresi ile TDoA yapılarak bölge tespiti testleri yapılmaktadır.

## 4.2 Gömülü Sistem Altyapısının Oluşturulması

Bu bölümde hedeflenen taşıma ve transfer sisteminin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç olan robotlarda kullanılmak üzere gerek duyulan gömülü sistemin ihtiyaçları belirlenmiş ve ihtiyaç doğrultusunda gerekli teknolojik ekipman seçimleri yapılmıştır.

### 4.2.1 İhtiyaç Analizinin Gerçekleştirilmesi

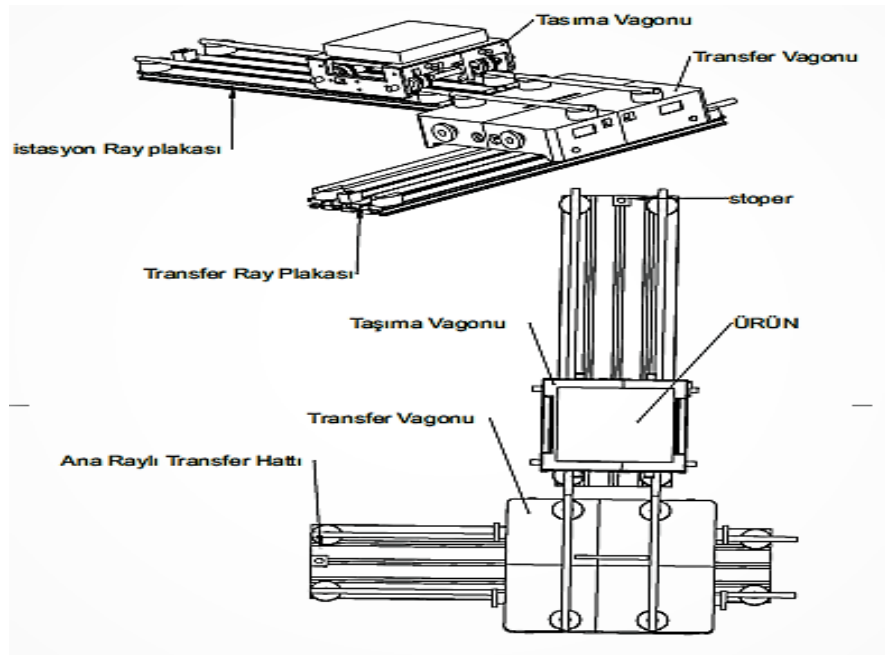
Tez çalışması kapsamında AFSUAM fabrika modeli üzerinde, akıllı taşıma-transfer uygulaması yapılması hedeflenmiştir. Bu hedef kapsamında transfer vagonu ve taşıma vagonunu ray plakaları üzerinde hareket ettirerek, ürünlerin hedeflenen istasyonlar arasında taşınması ihtiyacı vardır. Tasarlanan akışın şekil 4.16’da gösterilmektedir.



Şekil 4.16: AFSUAM Transfer Sistemi Akışı

- Yarı Mamül Hattındaki prostenen geçen ürün, Yarı Mamül isimli standa yerleştirilmiş olacaktır.
- Ürünün yerleşmesi sonucu, Vagon Sistemi harekete geçerek Yarı Mamül istasyonuna kadar hareket edecektir.
- Yarı Mamül istasyonuna ulaşan Vagon Sistemi, ürünü istasyondan alacaktır.
- Yarı Mamül standından teslim alınan ürünler, sıra ile YM1, YM2, YM3 isimli istasyonlara yerleştirilir.
- Son Ürün Hattından, işlenmek üzere ürün isteği geldiğinde, Vagon Sistemi hareket ederek YM1, YM2 ve YM3 istasyonlarından numarası en küçük ve dolu olana doğru hareket eder.
- İlgili YM istasyonundan ürün alınarak Son Ürün Hattı'nın Yarı Mamül girişine ürün teslim edilir.
- Son Ürün Hattında proseslerden geçen ürün Son Ürün standına bırakılır.
- Vagon Sistemi Son Ürün İstasyonuna hareket eder ve son ürünü teslim alır.
- Alınan Son Ürün sıra ile SÜ1, SÜ2 ve SÜ3 istasyonlarına depolanır.

Prosedürleri açıklanan senaryoyu gerçekleştirebilmek için, ilgili istasyonlar arasında bir kontrol sistemine bağlı olarak hareket edebilecek vagon sisteminin tasarlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



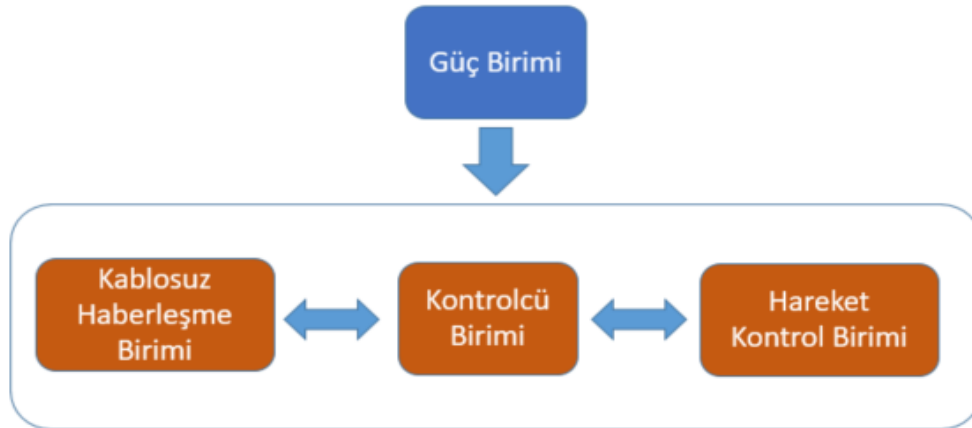
Şekil 4.17: AFSUAM Taşıma Transfer Sistemi Raylı Vagon Tasarımları

Vagon sisteminin ray üzerinde hareket ederek hedeflenen istasyona gidebilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyaç için vagonun bulunduğu noktanın ve her bir istasyonun mesafesi bilgisine sahip olması ihtiyacı karşılayacaktır.

Mesafe bilgisinin yanı sıra, vagon sistemi hedeflenen noktalara geldiğinde, mekanik dürtü sonucunda elektriksel bir işaret alarak durma kararını verebilir. İstasyonlar arası navigasyonun mesafe bilgisi ile sağlanabilmesi için, bir kontrol ünitesi gerekmektedir. Vagon sisteminin fiziki hareketini gerçekleştirebilmesi kontrol ünitesi tarafından yönlendirilen bir hareket kontrol sistemi ile sağlanabilmektedir.

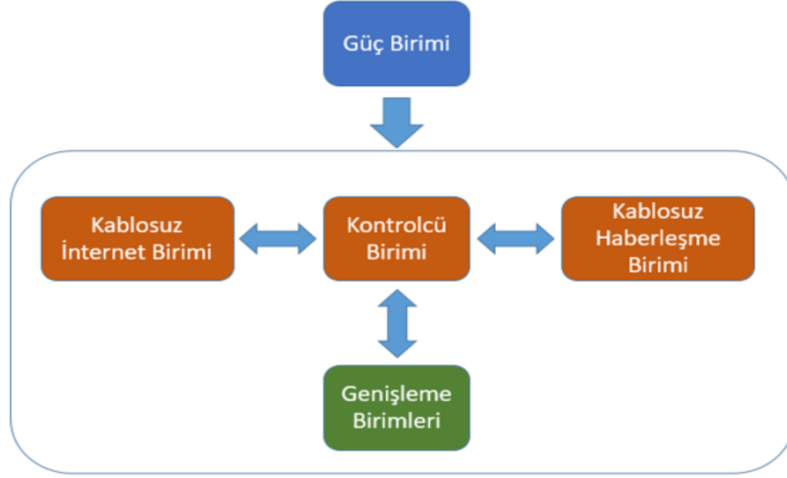
Vagon sisteminin mesafe bilgisini edinebilmesi ihtiyacı, bir referans nokta ile arasında yaptığı ölçümler ile karşılanabilecektir. Bunu sağlayabilmek için, vagon sisteminin hareket edeceği lineer hattın başına bir referans ölçüm noktası oluşturulmalıdır. Bu referans ölçüm noktası aynı zamanda ağ geçidi görevi görerek, hem vagon sistemi ile bulut sisteminin haberleşmesine olanak sağlayacak, hem de çeşitli sensör verilerini aktarabilecektir.

Tüm bu ihtiyaçları karşılayabilmek için Taşıma Vagonu ve Transfer Vagonu ünitelerinin elektronik sistemleri için yüksek seviyeli blok diyagramı Şekil 4.18'deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 4.18: AFSUAM Taşıma Transfer Sistemi Vagonları Yüksek Seviyeli Tasarımı Diyagramı

Ölçüm referans noktası olarak Kabul edilecek ve sensör verilerini bulut ortamına aktarma yeteneğine sahip olacak ağ geçidi için yüksek seviyeli blok diyagramı ise Şekil 4.19'daki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 4.19: Ağ Geçidi Yüksek Seviyeli Tasarım Diyagramı

Hedeflenen senaryo doğrultusunda ihtiyaç analizi yapılan sistemlerin, elektronik sistem düzeyinde daha alt seviyeli analizleri bir sonraki başlık altında yapılmaktadır.

#### 4.2.2 İhtiyaca Uygun Gömülü Sistem Analiz ve Tasarımı

Transfer ve Taşıma vagonları için yapılan üst seviyeli tasarım sonucunda ortaya çıkan bloklar aşağıdaki gibi olmuştur.

- Güç Birimi
- Kablosuz Haberleşme Birimi
- Kontrolcü Birimi
- Hareket Kontrol Birimi

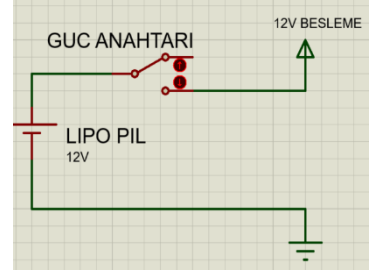
Güç birimi, bulunduğu sistemin besleme gerilimi ihtiyacını karşılamak üzere bulunmaktadır. Bu birim bir adet 12V Lipo pil ve güç anahtarından oluşmaktadır.



(a)



(b)

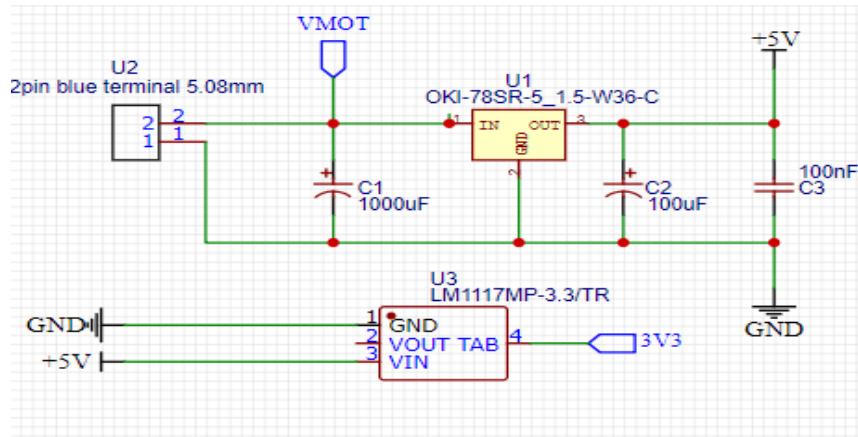


(c)

Şekil 4.20: (a) 12V Lipo Pil (b) Güç anahtarı (c) Güç anahtarlama devresi

Güç anahtarı 12V beslemeyi iletecek konuma geldiğinde, Lipo pil'in +12V kutbu kontrol devresine iletilmektedir. Ters konuma alındığında ise pil gerilimi iletimi kesilmektedir. Bu sayede sistem kullanılmadığında besleme gerilimi kesilebilmektedir.

Kontrol devresi içerisinde 5V ve 3.3V gerilimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple 12V pil gerilimini gerekli voltaj seviyelerine indirecek regülatör devrelerine ihtiyaç bulunmaktadır. Kontrol devresinde OKI-78SR-5 kodlu Murata firmasının 5V regülatörü sayesinde 12V gerilim 5V seviyesine regüle edilmiştir. 3.3V ihtiyacı için LM-1117-3.3V regülatör entegre devresi tercih edilmiştir. Bu entegre 5V çıkışından aldığı gerilim seviyesini 3.3V'a düşürerek kontrol birimi içerisinde gerekli olan 3.3V gerilim değerini sağlamaktadır. 5V ve 3.3V ihtiyaçlarını sağlayan entegre devrelerden oluşan devre topolojisi Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21: 5V ve 3V Regüle Devresi

Kontrolcü birimi, bulunduğu sistemin tüm birimlerini kontrol edecek olan birimdir.

Bu birimde mikrodenetleyici kullanımı sağlanmıştır. Sistemin tüm ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve gelecek çalışmalara da alt yapı hazırlayabilmek amacıyla uygun bir mikrodenetleyici seçimi yapılmıştır. ST Microelectronics firmasının STM32F427ZGT6 kodlu mikrodenetleyicisi gözetilen anlık ve gelecek ihtiyaçları karşılamak amacıyla uygun görülmüştür. STM32F427ZGT6 kodlu ürünün üretici veri sayfası incelendiğinde,

- 2 MB Boyutunda Flash Hafızası
- Düşük Güçle Çalışabilmesi
- 24 kanala kadar Analog/Dijital Çevirici Arabirimi
- 17 adet zamanlayıcı
- 3 adet I2C Haberleşme arayüzü
- 4 adet UART Haberleşme arayüzü
- 6 adet SPI Haberleşme arayüzü
- 2 adet CAN Haberleşme arayüzü

Özellikleri ilgili mikrodenetleyicinin seçiminde etkin rol oynamıştır.

Mikrodenetleyici 144 pinden oluşmakta, ARM tabanlı mikroişlemciye sahiptir. 144 adet pin bir çok dijital giriş/çıkış portu sağlamaktadır. I2C, UART, SPI ve CAN gibi birden çok haberleşme arayüzüne sahip olması, farklı tip sensör ve modüllerle iletişim kurabilme yeteneğini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra 24 kanala kadar analog/dijital çevirici arabirimi sayesinde, dijital giriş/çıkış ve haberleşme işlemlerinin yanı sıra, birçok analog sensör verisi de mikrodenetleyici tarafından okunabilecektir. 2MB Flash Hafızası sayesinde, gömülü yazılım geliştirilebilecek yüksek kapasiteye sahip bir mikrodenetleyicidir. Seçilen mikrodenetleyicinin bu özellikleri, uygulama kapsamında ihtiyaçları karşılarken, gelecek senaryolarda kullanmak üzere de genişleme imkanı sağlamaktadır.

Kablosuz Haberleşme Birimi, sistemin diğer uyumlu sistemler ile kablosuz haberleşmesini sağlamaktadır. Ağ geçidi ile vagon sistemleri arası, farklı vagonlar arası, vagon ve kablosuz sensör okuyucu düğümler arasındaki haberleşme bu birim sayesinde sağlanmaktadır. Bunların yanı sıra, vagon sistemlerinin, ağ geçidi ile kablosuz haberleşerek ray üzerinde bulunduğu konumu belirleme ihtiyacı da



mevcuttur. Literatür araştırması ve laboratuvar çalışmalarında da görüleceği üzere UWB üzerinden DWM1000 entegre devresi ile mesafe ölçme ve konum hesaplama faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir. DWM1000 üretici sayfası incelendiğinde aşağıdaki özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

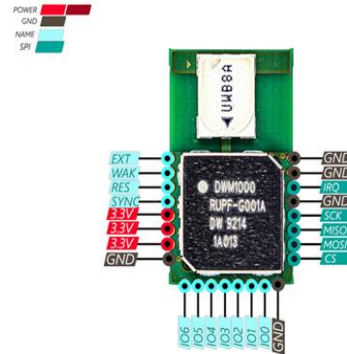
- 3.5 GHz 4 GHz ve 6GHz frekanslarında haberleşme
- 110kbps , 850kbps ve 6.8 Mbps hızlarında veri aktarımı
- 15.65 ps hassasiyetinde zaman damgası üretebilmesi
- Konum bulma uygulamaları için uyumlu olması

Farklı frekanslarda haberleşebilen bir entegre devre, uygulamalarda farklı sistemlerin farklı bantlarda haberleşmesine olanak sağlayarak, sistemler arası girişim olasılığının azaltılmasını sağlamaktadır. 6.8 Mbps hızında veri haberleşmesi yapabilmesi sayesinde, birim zamanda aktarılacak veri paketi sayısı açısından avantajlıdır. Konum bulma uygulamaları için uygunluğu yapılan laboratuvar çalışmalarında da görülmektedir. İlgili entegre devre SPI arabirimi üzerinden kontrol biriminde yer alan mikrodenetleyici ile haberleşme için de uygundur.

DWM1000 entegre devresi ile kablosuz haberleşme ile mesafe bilgisi elde edilebilmektedir. Aynı zamanda farklı frekans ve hızlardaki haberleşme seçenekleri ile farklı düğümler arasında veri haberleşmesi sağlamak için de uygundur. Sistemin haberleşme birimi için DWM1000 tercih edilmiştir.



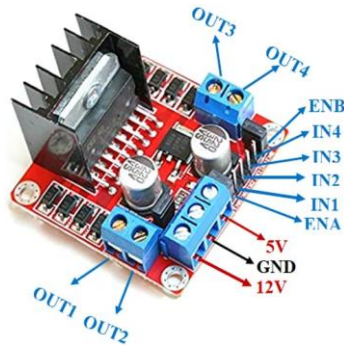
Şekil 4.22: STM32F429ZGT6 Kodlu Mikrodenetleyici



Şekil 4.23: DWM1000 Modülü Pin Diyagramı

Vagon sistemleri, ağ geçidi tarafından aldığı bilgilerle ve ağ geçidi ile belirlediği mesafe bilgisine göre gerekli iş istasyonları arasında hareket edecektir. Bu sebeple

vagon sistemleri için bir Hareket Kontrol Birimi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu birim, kontrol biriminden aldığı işaretlere göre vagonun mekanik hareketlerini gerçekleştirmesini sağlayacaktır. Birim içerisinde hareketi sağlamak amacıyla Redüktörlü DC Motor tercih edilmiştir. DC Motoru istenilen yönde döndürebilmek ve hızını kontrol edebilmek için ise L298N motor sürücü devresi kullanılması uygun görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 4.24: (a) L298N Motor Sürücü Devresi (b)12V Redüktörlü DC Motor

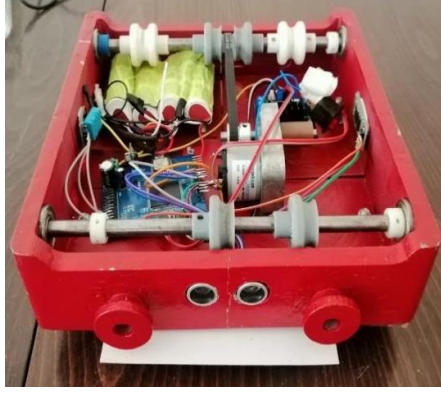
L298N motor sürücüsü 2 adet DC Motor'u sürmeye uygundur. Vagon sistemi kapsamında 1 adet motorun kontrol edilmesi yeterli olmaktadır. Motorun hareketi mekanik ekipmanlarla tekerleklere aktarılmaktadır.



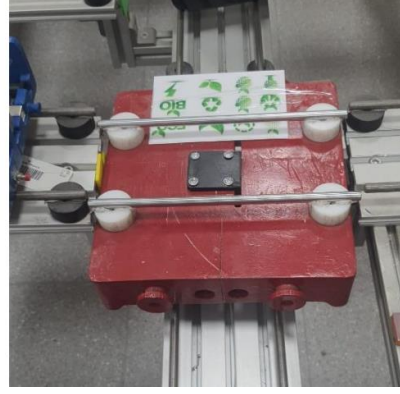
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.25: AFSUAM Transfer Robotu Mekanik Yapısı

Motor sürücünün OUT1 ve OUT2 pinlerine birinci motor, OUT3 ve OUT4 pinlerine ikinci motor bağlanabilmektedir. IN1 ve IN2 uçları ile birinci motorun, IN3 ve IN4 motoru ile ikinci motorun yönü kontrol edilebilmektedir. ENA ve ENB uçlarına ise kontrol birimi tarafından sağlanacak kare dalga işareti ile motorların hızları kontrol edilebilmektedir. Bu uçlara sürekli lojik-1 sinyali uygulanırsa, ilgili motor en yüksek hızında hareket edecektir. Vagon sistemi uygulamasında, ENA ve ENB uçlarına her zaman lojik-1 sinyali uygulandığında vagon sisteminin ray üzerindeki hızı, amaçlanan uygulamayı gerçeklemeye uygun olmuştur. Motor sürücünün 5V beslemesi, ilgili sürücü entegrenin mantıksal faaliyetlerini gerçekleştirmesi için , 12V beslemesi ise motorlara uygulanacak maksimum gerilim seviyesini sağlamak için gerekmektedir.

Kontrol birimi ve motor sürücüsü gerekli lojik sinyaller sayesinde hareketi sağlamaktadır. Akışı verilen senaryonun anlık durumuna göre, taşıyıcı vagon ağ geçidinden elde ettiği mesafe bilgisi ile ileri yada geri hareket sağlamakta, ulaşması gereken istasyonun mesafesine geldiğinde ise durmaktadır. Yapılan literatür araştırması ve laboratuvar çalışmalarında da görüldüğü üzere, DWM1000 entegresi +/- 10 cm hassasiyetinde mesafe tahmini yapılmasına olanak sağlamaktadır. 10 cm sapma değeri ilgili istasyonun hizasında durma konusunda probleme yol açabileceğinden, hareket kontrol birimi mekanik sınır anahtarları ile desteklenmiştir.

Kontrol birimi, kablosuz haberleşme birimi üzerinden elde ettiği mesafe bilgisi ile, hedef istasyonun mesafe bilgisini gömülü yazılım kapsamında kıyaslamaktadır. İlgili istasyonun yakınlık bölgesine girildiğinde, mekanik sınır anahtarı kontrolü

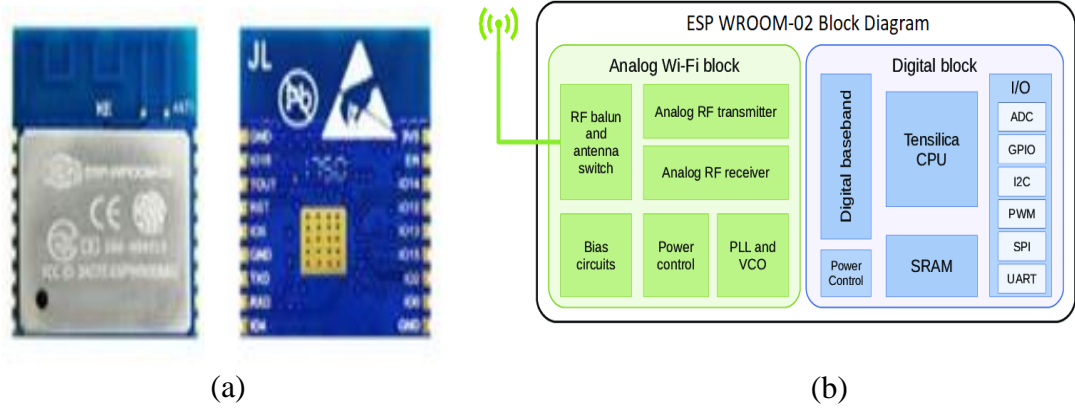
yapılmaktadır. Her bir hedef istasyonda mekanik sınır anahtarının temas edebileceği takozlar bulunmaktadır. Hedef istasyonun mesafe bölgesine girildiğinde, mekanik limit anahtarı kontrolü başlamaktadır. Anahtar iletim konumuna geldiğinde, taşıyıcı vagonun durması sağlanmaktadır.

Taşıyıcı vagonun kontrol birimi, hedef istasyona ulaşıldığında, kablosuz haberleşme birimi üzerinden transfer vagonu ile gerekli veri iletişimini sağlayarak, vagonu üstüne bindirmekte veya ilgili istasyona park edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede gerekli istasyondan ürün alma veya istasyona ürün bırakma hizmetleri sağlanabilmektedir. Taşıyıcı vagonun mesafe belirlemek ve bulut sistemi ile haberleşmesini sağlayabilmek amacıyla haberleştiği ağ geçidinde ise, vagon sistemlerinden farklı olarak Kablosuz İnternet Birimi ve Genişleme Birimleri bulunmaktadır.

Ağ geçidinin kablosuz ağ üzerinden bulut sistemleriyle haberleşmesi hedeflenmiştir. Bu haberleşmeyi sağlayabilmek için ESP-WROOM-02 entegre devresi tercih edilmiştir. ESP-WROOM-02 entegre devresi aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- IEEE 802.11 b/g/n standart desteği
- UART Haberleşme arabirimi
- IPv4, TCP, UDP, HTTP, FTP protokolleri desteği
- AT Komut seti

Özellikleri incelenen ESP-WROOM-02 entegresi, güncel ağ cihazlarının desteklediği IEEE standartlarını desteklemesi, IP protokolü ve TCP protokolü desteği sayesinde bulut ortamlarıyla haberleşme olanağı sağlaması ve UART arabirimi üzerinden seçilen mikrodenetleyici ile kontrol edilebilirliği sebeplerinden dolayı tercih sebebi olmuştur.



Şekil 4.26: ESP WROOM-02 Modülü (a) Fiziki Görünümü (b) Blok Diyagramı

Uygulaması gerçekleştirilen ağ geçidi üzerinde, yer alan genişleme birimleri, ağ geçici donanımına harici birimlerin entegre edilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek kapasiteli mikrodenetleyicisi sayesinde, birçok farklı arabirimde haberleşme desteği sunması, çok sayıda giriş/çıkış pinine sahip olması sayesinde, ağ geçidine farklı sensör ve modüller entegre edilip, gerekli gömülü yazılım geliştirmeleri yapılarak, ağ geçidi birçok farklı amaca hizmet edebilir hale getirilebilmektedir.

- 2 adet röle çıkışı
- Ultrasonik sensör bağlantı yuvası
- UART arabirimi bağlantı yuvası
- Sıcaklık sensörü bağlantı yuvası
- SPI arabirimi bağlantı yuvası
- Motor sürücü bağlantı yuvası
- Analog/Dijital çevirici bağlantı yuvası
- Optik sensör bağlantı yuvası

Olanakları sayesinde, ağ geçidi modüler hale getirilmiş ve birçok farklı uygulama geliştirilmesi konusunda elverişli bir yapı oluşturulmuştur.İlgili donanımın vagon sistemini ve ağ geçidi görevini destekleyebilmesi amacıyla tasarlanan gömülü yazılım mimarisine bir sonraki bölümde değinilmektedir.

## 4.3 Akıllı Fabrika Ağ Geçidi Gömülü Yazılım Tasarımı

Yapılan akademik çalışma kapsamında, üzerinde gömülü yazılım geliştirmesi yapılan donanım, gerekli yazılım bloklarının varlığı ile hem ağ geçidi, hem de vagon sistemi olarak kullanılabilir. Mevcut genişleme yuvaları sayesinde, farklı modül ve birimlerin sisteme dahil edilmesi ve karşılığına denk gelen gömülü yazılımın geliştirilmesi prensibiyle, farklı uygulamalara hizmet edebilir, mevcut uygulamalara ek özellikler kazandırılabilir.

Sistemin donanımsal modülerliği kadar, gömülü yazılım modülerliği de ön plana çıkmalıdır. Modüler bir yapı sayesinde, farklı işlevleri uygun katmanlara ayırarak, her katmanın, her biri birbiriyle yakından ilişkili olan birkaç görevi yürütmesi sağlanabilmektedir. Katmanlı bir yazılım mimarisi, çalışma zamanında oluşan problemlerde kod bakımı yapma gerekliliği oluştuğunda, yazılım geliştiricisinin her problem için ilgili katmanda hata giderme işlemi yapması konusunda kolaylık sağlayarak, yazılım bakımının daha sağlıklı ve kısa sürede tamamlanmasına altyapı oluşturmaktadır.

Yeni bir özellik eklemek üzere bir geliştirme yapılacağında, geliştirilen yazılımın her noktasına müdahil olunmadan, sadece uygulama katmanında geliştirme yapılması sayesinde, hem hatasız hem de zamanı daha efektif kullanarak geliştirme yapılmasına zemin oluşturması sebebiyle, yazılım tasarımında katmanlı yapıların oluşturulması önem kazanmaktadır.

Katmanlı yazılım mimarilerinde, sisteme yabancı olan bir geliştiricinin, yazılım bloklarına hakim olup, yeni kod bloğu geliştirebilme süresi çok daha kısa olabilmektedir.

### 4.3.1 AFSUAM Haberleşme Protokolü

Tez kapsamında 4.2.1 başlığında anlatımı yapılan senaryonun, ihtiyaç analizi yapılan gömülü sistem donanımı ile gerçekleştirilmesi için vagonlar arası ve vagon-ağ geçidi arası kablosuz haberleşme ile veri paketleri alışverişi ihtiyacı bulunmaktadır.

- Aynı frekans ve modülasyonda bulunan ortamda farklı sistemlere ait veri paketleri bulunabilir.

- Aynı sisteme ait fakat, farklı cihazları hedef alan veri paketleri bulunabilir.
- Veri paketleri propogasyon esnasında kayba ve bozulmaya uğrayabilir.

Tüm bu sebeplerden dolayı, veri paketlerinin doğru sisteme ait olduğunu doğrulamak, doğru hedefe ulaştırabilmek ve içerisindeki verinin bozulmadan taşınabilmesi amacıyla bir veri paketi formatı belirlenmesi gerekmektedir.

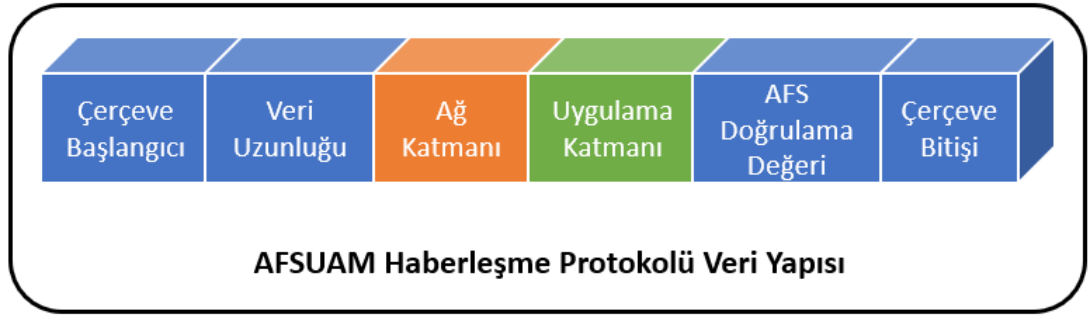
Mevcut IoT platformlarından MQTT üzerinde inceleme yapılmıştır. MQTT protokolünde veri paketi gönderimi sonrası, veri paketinin karşı tarafa ulaştığını onay amaçlı Acknowledgement isimli paket gönderimi olduğu görülmüştür. AFSUAM protokolü bir IoT projesindeki ihtiyaçları gidermeye yönelik tasarlanmıştır. Verinin karşı tarafa ulaşma onayı yerine, gönderilen veriye cevap anlamında gönderilen bir veri paketi, onay paketi görevini görebilir. Bu sayede cevap paketli mesajlaşmalarda, veri trafiği daha optimum bir şekilde kullanılabilir. Yeni tasarlanan ve gelişime açık AFSUAM protokolü bu uygulamayı gerçekleştirebilmek için gerekli altyapıya sahiptir.

MQTT protokolünde yapılan bir diğer incelemede, bağlantı tabanlı bir protokol olduğu görülmüştür. Uç birimlerin, sunucu birim ile sürekli bağlantı içinde olması gerekliliği bulunmaktadır. Gömülü sistemlerde özellikle mobil birimlerde düşük güç tüketimi, pil ömrü açısından önem arz etmektedir. Bu sebeple batarya ile çalışan mobil sistemlerde bağlantı sürekliliği gerektiren bir protokol kullanmak batarya ömrü açısından efektif olmayacaktır. AFSUAM protokolü bağlantı tabanlı olmayan bir protokoldür.

MQTT protokolü konseptinde, konu başlıkları ve bu başlıklara abone olan uç birimler bulunmaktadır. Sunucuya mesaj gönderilirken, her bir mesaj bir konu başlığı altında gönderilir. İlgili konu başlığına abone olan uç birimler ise, bu mesajları alırlar. Ancak MQTT protokolünde senkron haberleşme esastır. Bir uç birim, sunucuya bağlı olduğu zaman dilimindeki mesaj paketlerini alabilir. Bağlı olmadığı durumdaki mesaj paketleri sunucu üzerinde bekletilmez. Batarya ile çalışan mobil bir sistemin belirli periyotlarda uykuya girdiği, belirli periyotlarda uyanarak haberleşme faaliyetlerini ve diğer aksiyonlarını gerçekleştirdiğini düşündüğümüzde, MQTT protokolü ile veri kaybı yaşanması muhtemel görünmektedir.

Bu doğrultuda AFSUAM uygulamalarında kullanılmak üzere bir haberleşme protokolü veri formatı tasarlanmıştır. Tasarlanan veri formatı, gömülü yazılım

mimarisinin farklı katmanlarında gerçekleştirilecek görevleri temsil eden veri katmanlarına sahiptir. Her bir katman, kendi göreviyle ilgili verileri okuyup yorumlayarak gerekli işlevleri yerine getirmektedir. AFSUAM sistemine dahil olan cihazlar birbirleri arasında haberleşme yaparken göndermeleri gereken veri paketlerini bu protokole uygun şekilde oluşturmakta, alınan veri paketleri bu formata uygun şekilde okunmaktadır.



Şekil 4.27: AFSUAM Protokolü Mesaj Çerçevesi Veri Yapısı

Tüm katmanları temsil eden bilgilerden oluşan veri paketinin tamamı çerçeve olarak isimlendirilmektedir.

Çerçeve Başlangıcı bölümünde, bir AFSUAM çerçevesinin başladığını ifade eden özel bilgiler yer almaktadır. Bu kısım için 3 adet '^' karakterinin yanyana gelmesi Çerçeve Başlangıcı işareti olarak kabul edilmiştir. Alınan ve gönderilen veri paketlerinde Çerçeve Başlangıcı işaretinin bulunması beklenmektedir. Çerçeve Başlangıcının arkasından 1 byte büyüklüğünde uzunluk bilgisi yer almaktadır. Bu kısımda veri paketinin içerisinde, Çerçeve Başlangıcı ile AFS Doğrulama kısmı arasındaki bilgi büyüklüğü byte cinsinden ifade edilmektedir.

Çerçeve Bitişi kısmı ise bir adet '>' karakterinden oluşmaktadır. Bu kısım Çerçeve Başlangıcı ile birlikte ele alındığında, bir veri paketinin sonuna gelindiğini ifade eder. Veri paketinin sonunda Çerçeve Bitişi işareti olması beklenmektedir. Çerçeve Bitişi'nden hemen önce AFS Doğrulama kısmı yer almaktadır. Oluşturulan bir veri paketi içerisindeki Uzunluk bilgisinden sonraki her 1 byte'lık bilgi AFSUAM protokolüne özel bir polinoma dahil edilir. Polinoma dahil edilen her 1 byte'lık bilgi için elde edilen değerler toplanarak bir AFS Doğrulama değeri elde edilmektedir. Veri paketini alan taraf da Uzunluk'dan sonraki her bir byte'ı aynı polinom ve toplama



işlemlerinden geçirir. Kendi hesapladığı AFS Doğrulama değeri ile veri paketi içerisinde gönderilen değer eşit olması beklenmektedir. Eşit olduğu durumda veri paketi içindeki tüm bilgiler propogasyon esnasında bozulmadan transfer edilmiş anlamına gelmektedir.

AFS Doğrulama Değeri, Uygulama Katmanı verileri ile hesaplanmaktadır. Hesaplama yönteminde kullanılan polinom formülü hem gönderici, hem alıcı tarafta aynı olmalıdır. Aksi durumda alıcı taraf sürekli olarak farklı bir AFS Doğrulama değeri hesaplayarak, veri paketlerini göz ardı etmeye başlar. Bunun yanı sıra polinomun sisteme özel oluşu sayesinde, özel polinom formülünü bilmeyen sistemler, tasarlanan sisteme veri gönderip, sisteme zarar veremeyeceklerdir.

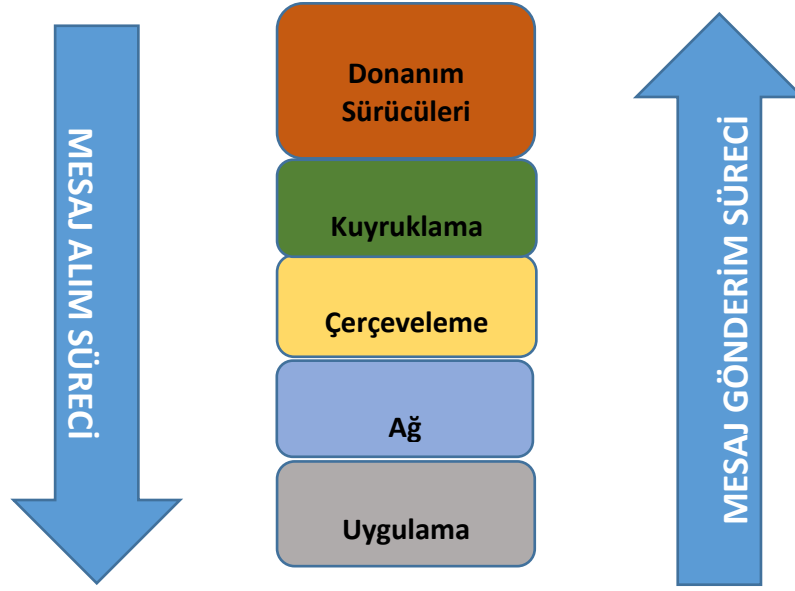
Uygulama katmanında 0.indisten n nolu indise kadar veriler bulunur. Her bir indisteki byte değeri UKV ile temsil edilmektedir. AFS Dizisi isimli dizideki değerlerden yararlanılmaktadır. AFS Dizisi={‘A’,‘F’,‘S’,‘U’,‘A’,‘M’}. AFSD olarak temsil edilmektedir.

$$AFS\ Doğrulama\ Değeri = \sum_{0}^{n} UKV[n] * UKV[n] + n + AFSD[n(mod6)] \quad (4.6)$$

Çerçeve Başlangıcı, Çerçeve Bitişi ve AFS Doğrulama kısımları katmanlı gömülü yazılım mimarisinin Çerçeveleme Katmanı’nı temsil etmektedir. Bu bilgilerin veri paketi içerisine yerleştirilmesi ve alınan bir veri paketi içerisinden okunması işlemi, Çerçeveleme Katmanı’nda gerçekleştirilmektedir.

Mimaride, her katman kendisine ait bilgiyi oluşturarak bir üst katmana iletmektedir. Her bir katmanda ilgili veriler paket içerisine dizilerek Çerçeve oluşturulmaktadır.

Aşağıdaki mimari blok diyagramın yazılım içindeki akışı, mesaj gönderimi esnasında yukarıya, alım esnasında aşağıya doğru gerçekleşmektedir.



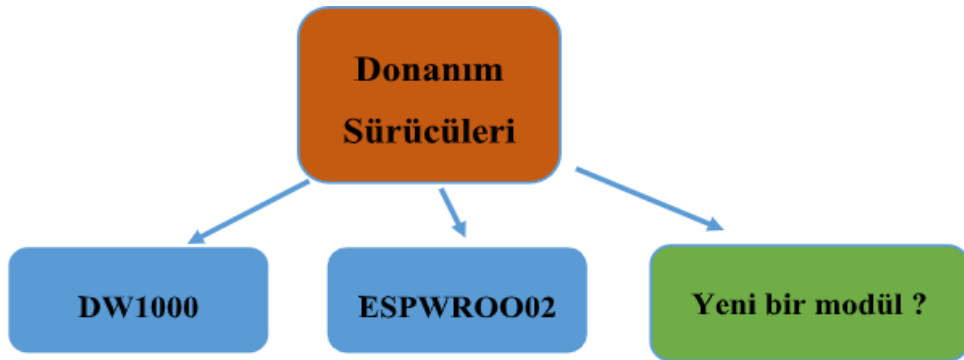
Şekil 4.28: AFSUAM Modüler Gömülü Yazılım Mimarisi

### 4.3.2 Donanım Sürücüleri Katmanı

Mimarinin bu katmanı haberleşme ortamında kullanılacak entegre devreleri kontrol edebilmek amacıyla tasarlanmıştır. Ağ geçidi için DWM1000 UWB entegre devresi ve ESP-WROOM-02 kablosuz ağ entegre devrelerine ait donanım sürücüleri bu katmanda bulunmaktadır. Vagon sistemleri için DWM1000 UWB entegre devresine ait donanım sürücüsü bu katmanda bulunmaktadır.

Donanım sürücüleri katmanı çift yönlü olarak Kuyruklama katmanı ile mantıksal haberleşme sağlamaktadır. Kuyruklama katmanından alınan veri paketleri, verinin gönderilmek istendiği haberleşme ortamına bakılarak, ilgili donanım sürücüsü aracılığıyla gönderilmektedir. Kuyruklama katmanında verinin gönderileceği haberleşme ortamına ait bazı donanım tabanlı parametreler de tutulmaktadır. Örnek olarak, mesajın hangi veri hızı ile gönderileceği, hangi radyo kanalı üzerinden gönderileceği ve mesajın gönderilmesi istenen yayın gücü gibi bilgiler verilebilir.

Donanım sürücülerinin her biri aynı zamanda, kendi kontrol ettiği haberleşme ortamından gelen veri paketlerini de Kuyruklama katmanına iletmektedir. İletimi yaparken, veri paketinin hangi haberleşme ortamından geldiği de Kuyruklama katmanına bildirilmektedir. Bunun yanı sıra ilgili haberleşme donanımından okunan bazı özel bilgiler de kuyruklama katmanına iletilmektedir. UWB haberleşmesini sağlayan DWM1000 entegre devresi için, mesajın alındığı andaki zaman damgası bilgisi, mesajın alındığı sinyal gücü göstergesi verilebilir.



Şekil 4.29: Donanım Sürücüler Katmanı

Sisteme genişleme portları aracılığıyla yeni bir haberleşme ortamı eklendiğinde, Kuyruklama katmanı ile mantıksal haberleşme kurabilen bir donanım sürücüsünün gömülü yazılıma dahil edilmesiyle, bu ortam üzerinden de gerekli haberleşme sağlanabilmektedir. Anlaşılacağı üzere modüler yapı sayesinde, sisteme yeni eklenecek bir haberleşme donanımı için, sadece Donanım Sürücüler katmanı seviyesinde geliştirme yapılması yeterli olmaktadır.

### 4.3.3 Kuyruklama Katmanı

Kuyruklama katmanı Donanım Sürücüler ile Çerçeveleme Katmanı arasında yer almaktadır. Bu katman bahsedilen 2 diğer katman ile çift yönlü mantıksal haberleşme yapmakta ve donanım Sürücüler katmanının elde ettiği veri paketlerini kendi belleğinde depolamaktadır. Depolanan veri paketleri mantıksal bir sıra ile Çerçeveleme Katmanı'na iletilmektedir. Kuyruklama Katmanı, Çerçeveleme Katmanı ile kurduğu mantıksal iletişim çerçevesinde, Çerçeve Katmanı tarafından iletilen veri paketlerini kendi belleğinde depolamakta ve mantıksal bir sıra ile Donanım Sürücüler Katmanına iletmektedir.

Alınan ve gönderilecek mesajları depolamak için 2 ayrı depolama değişkeni kullanmaktadır. Bu değişkenler dizi veri yapısı şeklindedir. Diziler içerisindeki her bir indekste, ilgili mesajın verisi, boyutu ve haberleşme ortamı ile ilgili özel veriler saklanmaktadır.

Mesaj depolama ve deşarj etme işlemi iki yönlü olarak gerçekleştirilmektedir. Çerçeveleme Katmanı tarafından gelen mesajlar burada depolanmakta ve Donanım Sürücüler katmanına doğru deşarj edilmektedir. Donanım Sürücüler katmanı tarafından gelen mesajlar burada depolanmakta ve Çerçeveleme Katmanı'na doğru deşarj edilmektedir. Depolama tamponları İlk Giren İlk Çıkar(FIFO) mantığı ile çalışmaktadır. İki ayrı depolama alanının isimlerini Gönderim Tamponu ve Alım Tamponu şeklinde belirtebiliriz. Her tamponun bir maksimum mesaj saklama kapasitesi bulunmalıdır. FIFO yapısı kurulacağından, her tampon için sıradaki Giriş İndisi bilgisi ve Çıkış İndisi bilgisi tutularak, kuyruk yönetimi sağlanmalıdır. Tamponların her ikisinin de boyutunu 8 olarak düşündüğümüzde, yapı aşağıda anlatıldığı şekilde çalışmaktadır. Tamponlar içerisinde her indis için veri saklanmayan durum Beyaz, veri saklanan durum Gri arka plan rengi ile ifade edilmiştir.

	0 nolu indis			0 nolu indis			0 nolu indis				
	1 nolu indis			1 nolu indis			1 nolu indis				
	2 nolu indis			2 nolu indis			2 nolu indis				
	3 nolu indis			3 nolu indis			3 nolu indis				
	4 nolu indis			4 nolu indis			4 nolu indis				
	5 nolu indis			5 nolu indis			5 nolu indis				
	6 nolu indis			6 nolu indis			6 nolu indis				
	7 nolu indis			7 nolu indis			7 nolu indis				
Tamponda	hiç	veri	Tamponda	0.indis	dolu.	Tamponda	0. Ve 1.indis	dolu.			
Giriş	İndisi	:	0	Giriş	İndisi	:	1	Giriş	İndisi	:	2
Çıkış	İndisi	:	0	Çıkış	İndisi	:	0	Çıkış	İndisi	:	0

- Tamponda hiç veri bulunmazken, Giriş İndisi ve Çıkış İndisi bilgisi 0 değerindedir.
- Tampona yeni veri eklendiğinde Giriş İndisi'nde işaret edilen indis doldurulur. Giriş İndisi 1 artırılır.
- Tampondan veri çıkışı olduğunda, Çıkış İndisi'nin işaret ettiği indis boşaltılır. Çıkış İndisi değeri 1 artırılır.
- Giriş İndisi değeri tamponun en yüksek indis değerinden yüksek olmamalıdır. Tampon tam kapasite ile dolduğunda, Giriş İndisi değeri 7 olacaktır.
- Giriş İndisi değeri en yüksek değerine ulaştığında tampon yeni veri eklenmesine izin verilmez.
- Giriş İndisinin Çıkış İndisinden büyük olması, transfer edilmemiş veriler olduğunu ifade ederken, eşit olması kuyruktaki tüm verilerin transfer edildiğini gösterir.
- Tamponda hiç veri olmadığında Giriş ve Çıkış İndisi değerleri 0'a eşitlenmektedir.

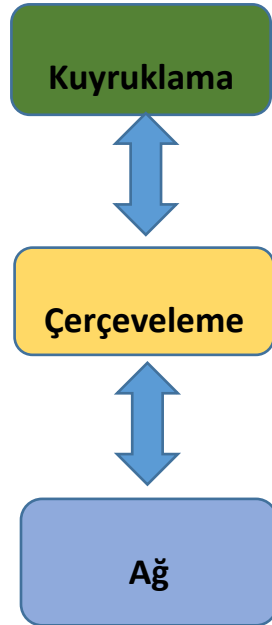
0 nolu indis	0 nolu indis	0 nolu indis
1 nolu indis	1 nolu indis	1 nolu indis
2 nolu indis	2 nolu indis	2 nolu indis
3 nolu indis	3 nolu indis	3 nolu indis
4 nolu indis	4 nolu indis	4 nolu indis
5 nolu indis	5 nolu indis	5 nolu indis
6 nolu indis	6 nolu indis	6 nolu indis
7 nolu indis	7 nolu indis	7 nolu indis
Tamponda 3 adet veri mevcuttur.	0 nolu indisdeki veri transfer edilmiştir.	1 nolu indisteki veri transfer edilmiştir.
Giriş İndisi : 3 Çıkış İndisi : 0	Giriş İndisi : 3 Çıkış İndisi : 1	Giriş İndisi : 3 Çıkış İndisi : 2

#### 4.3.4 Çerçeveleme Katmanı

Çerçeveleme Katmanı, Ağ Katmanı ile Kuyruklama Katmanı arasında yer almaktadır. Bu katmanlar ile mantıksal haberleşmesi bulunmaktadır. AFSUAM protokolü başlığında da anlatıldığı üzere, sisteme dahil olan cihazlar arasında gönderilen veri paketlerinin belirli bir formatı bulunmaktadır.

Çerçeveleme katmanı, Ağ Katmanı'ndan alınan veriye, Başlangıç İşareti, Bitiş İşareti ve AFS Doğrulama değerini eklemektedir. Ağ Katmanı'ndan iletilen verinin büyüklüğü bilgisi de Uzunluk değeri olarak eklenmektedir. AFS Doğrulama değeri Çerçeveleme Katmanı'nda hesaplanmaktadır.

Bu katman Kuyruklama Katmanı'ndan elde ettiği veri paketinde ilgili kontrolleri yapar. Veri paketinin Başlangıç ve Bitiş İşaretlerini içermesi, AFS Doğrulama değerinin eşitliği kontrolleri bu katmanda sağlanmaktadır. Bu kontrollerden başarı ile geçen veri paketleri Ağ Katmanı'na iletilmektedir.



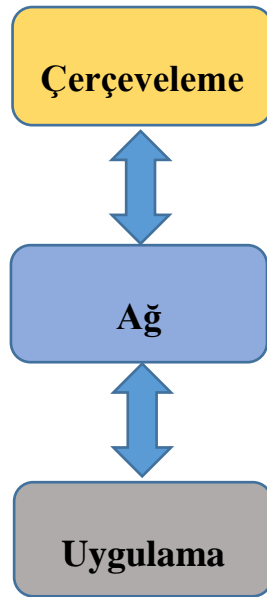
Şekil 4.30: Çerçeveleme Katmanının Topolojik Konumu

### 4.3.5 Ağ Katmanı

Ağ Katmanı, Çerçeveleme Katmanı ve Uygulama Katmanı arasında yer almaktadır. Bahsedilen 2 katmanla da mantıksal haberleşmesi mevcuttur. Bu katman gönderilen mesajların kimlik ve hedef bilgilerini saklamak için kullanılmaktadır.

Her bir mesajın kimliğini ve hedefini belirlemek için Kaynak Adres, Hedef Adres ve Mesaj Numarası bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler, Ağ Katmanı sorumluluğunda olan bilgilerdir. Çerçeveleme Katmanı tarafından alınan veri paketi içerisinde, Hedef Adres kontrolü yapılmaktadır. Eğer hedef adres, veri paketini alan cihazın kimlik adresi ile eşitse, kaynak adres ve mesaj numarası bilgisi ile beraber, veri paketi uygulama katmanına iletilmektedir. Ağ Geçidi için sunucudan gelen mesaj paketinde hedef adresin ağ geçidinin kendi adresi olmadığı durumda, bu mesaj radyo üzerinden tekrar yayınlanmaktadır.

Uygulama Katmanı tarafından veri paketi gönderilirken, mesajın ulaşması gereken Hedef Adres bilgisi de Ağ Katmanına bildirilmektedir. Ağ Katmanı, uygulama katmanının verisinin yanı sıra, gönderici cihazın kimlik adresini, Kaynak Adres olarak veri paketine ekler. Mesaja bir mesaj numarası verir. Uygulama Katmanı tarafından iletilen Hedef Adres bilgisi de veri paketine eklenir. Bu hali ile veri paketi kuyruklama katmanına iletilmektedir.



Şekil 4.31: Ağ Katmanının Topolojik Konumu

### 4.3.6 Uygulama Katmanı

Uygulama Katmanı, katman piramitinin en altında yer almaktadır. Bu Katman Ağ Katmanı ile çift yönlü mantıksal haberleşme gerçekleştirmektedir.

Ağ Katmanı tarafından, ilgili cihazın hedef olduğuna karar verilen veri paketleri, Kaynak Adres ve Mesaj Numarası bilgisi ile Uygulama Katmanı'na iletilmektedir. Uygulama Katmanı bir mesaja cevap verme kararı verebilir. Mesaja cevap verirken, Hedef Adres olarak mesajı gönderen kişinin Kaynak Adres bilgisini Ağ katmanına bildirmektedir. Mesaj numarası bilgisi de, cevap verilen mesajı nitelemek amacıyla Ağ Katmanı'na bildirilmektedir.

Uygulama Katmanı kendisi herhangi bir cevap ihtiyacı oluşmadan da mesaj gönderme kararı verebilmektedir. Bu durumda ilgili uygulama mesajının içeriği bu katmanda hazırlanır. Mesajın ulaştırılması istenen Hedef Adres, uygulama verileri ve uzunluğu, mesaj numarası bilgileri Ağ Katmanı'na iletilir. Uygulama Katmanı'na gelen veri paketinin ilk byte'ı uygulamanın tipini, sıradaki byte'lar ise ilgili uygulama tipine ait verileri temsil etmektedir. Uygulama tipi bilgisi çoğaltılarak farklı uygulamalar bu katmanda gerçekleştirilebilir.

AFSUAM Akıllı Transfer Sistemi'nde, İki Yönlü Ölçüm Metodu Hakkında Yapılan Laboratuar Çalışmaları ve Bulgular bölümünde detayları verilen TWR uygulaması bu katmanda yapılan gömülü yazılım geliştirmesi ile yapılmıştır. Analizi "İhtiyaç Analizinin Gerçekleştirilmesi" bölümünde yapılan uygulama da yine bu katmanda gerçekleştirilmiştir.

### 4.3.7 Palet Transfer Uygulaması Gömülü Yazılım Tasarımı

"İhtiyaç Analizinin Gerçekleştirilmesi" bölümünde kurgusu anlatılan senaryo için hem taşıyıcı vagon, hem de transfer vagonu için gömülü yazılım tasarımı yapılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sistemin çalışma prensibi aşağıda anlatılmıştır.

Sistemde beklenen hareketler :

1. Yarı Mamül Hattı'ndan çıkan Yarı Mamüllerin, Yarı Mamül istasyonlarına yerleştirilmesi.



2. Yarı Mamül istasyonlarına yerleştirilmiş yarı mamüllerin, Son Ürün Hattı'na taşınması.
3. Son Ürün Hattı'ndan çıkan ürünlerin Son Ürün İstasyonları'na yerleştirilmesi. Sistemde vagon sisteminin hareket alanının YM1 tarafındaki ucunda bulunan ağ geçidi ile, vagon sisteminin pozisyonu belirlenecektir. Sistemde beklenen hareketlerin gerçekleştirilebilmesi için sunucu üzerinden ağ geçidi yardımı ile Taşıyıcı Vagon'a mesajlar gelmesi gerekmektedir.

YARI\_MAMUL\_HAZIR mesajı gelmesi senaryosu :

- Mesaj içerisinde Yarı Mamül Çıkışı'nda bulunan taşıyıcı vagon'un uç birim kimliği bulunur.
- Mesajın alınma anında hafızadaki boş YM istasyon bilgisi kontrol edilir. Boş istasyon bulunmuyorsa, mesaj dikkate alınmaz.
- Mesaj alındığı anda transfer vagonu ağ geçidi ile olan mesafesini bilmektedir.
- Mesajı alan transfer vagonu ön tanımlı şekilde Yarı Mamül Çıkışı'nın ağ geçidi ile olan mesafesini bilmektedir.
- Hedef nokta Yarı Mamül çıkışı olduğundan, transfer vagonu kendi bulunduğu konuma göre ileri yada geri hareket edecektir.
- Hedeflenen mesafeye geldiğini ağ geçidi ile sürekli yaptığı mesafe ölçümleri ile algılayacak, mekanik anahtar ile de doğrulama yaparak duracaktır.
- Duran transfer vagonu, uç birim kimliğini bildiği taşıyıcı vagona SOLA\_HAREKET mesajı gönderecektir.
- Taşıyıcı vagon üzerinde Yarı Mamül ile beraber sola doğru harekete geçecektir.
- Taşıyıcı vagonun hareketi süresince, transfer vagonu gerekli mekanik anahtarı kontrol edecek, anahtar kapalı konuma geldiğinde, taşıyıcı vagona DUR mesajı gönderecektir.
- Taşıyıcı vagon duracak, kısa bir süre sonra transfer vagonu en küçük numaralı boş YM istasyonuna doğru hareket edecektir. Tüm YM istasyonların mesafe bilgileri taşıyıcı vagon tarafından bilinmektedir.
- Hedef YM istasyonuna ulaşıldığında taşıyıcı vagona SAGA\_HAREKET\_MEKANIK\_ANAHTAR mesajı gönderilecektir.

- Taşıyıcı vagon kendi üzerinde yer alan mekanik anahtarı okuyarak sağa doğru harekete başlayacaktır.
- Mekanik anahtarından sinyal alan taşıyıcı vagon duracaktır. Böylece yarı mamül istasyona yerleşmiştir.
- Transfer vagonu kendi belleğinde yer alan YM\_Istasyonları dizisinde gidilen istasyonu dolu olarak işaretleyecektir. Her işaretlenen istasyona, yerleştirilen taşıyıcı vagonun uç birim kimliği kaydedilecektir.

YARI\_MAMUL\_ISTEK mesajı gelmesi senaryosu :

- Mesaj alındığında bellekteki YM\_Istasyonları bilgisi kontrol edilir. Hiç dolu istasyon yoksa mesaj dikkate alınmaz.
- Mesafesi ön tanımlı olan en küçük numaralı YM istasyonuna doğru mesafe ölçülerek hareket edilir ve durulur.
- İlgili YM istasyonundaki uç birim kimliği bilinen taşıyıcı vagona SOLA\_HAREKET mesajı gönderilir.
- Taşıyıcı vagon üzerinde Yarı Mamül ile beraber sola doğru harekete geçecektir.
- Taşıyıcı vagonun hareketi süresince, transfer vagonu gerekli mekanik anahtarı kontrol edecek, anahtar kapalı konuma geldiğinde, taşıyıcı vagona DUR mesajı gönderecektir.
- Taşıyıcı vagon duracak, kısa bir süre sonra mesafesi ön tanımlı bulunan Yarı Mamül Girişi'ne doğru hareket edecek ve duracaktır.
- Durulan noktada, transfer vagonuna SOLA\_HAREKET\_MEKANIK\_ANAHTAR mesajı gönderilecektir.
- Transfer vagonu ilgili sınır anahtarını kontrol ederek, sola doğru hareket edecek ve duracaktır. Böylece ürün Yarı Mamül Girişi'ne taşınmış olacaktır.

SON\_URUN\_YERLESTIR mesajı gelmesi senaryosu : YARI\_MAMUL\_HAZIR senaryosunda anlatılan işlemin aynısı vagonların Son Ürün (SÜ) istasyonlarına hareket etmesi şeklinde gerçekleştirilecektir.

Tasarlanan protokol ve uygulama mimarisi sayesinde, taşıyıcı ve transfer vagonları gerekli ön tanımlı bilgilere sahip olup, tamamladıkları işlemler sonucu bazı yazmaçlarda kayıtlar tutmaktadır. Bu sayede vagon sistemleri sunucudan gelen tek bir mesaj paketi ile kendi aralarında haberleşerek, gerekli görevi icra etmektedirler.

Vagon sistemleri ilgili mesajı aldıktan sonra sunucudan bağımsız olarak işlevlerini gerçekleştirmektedirler. Sunucu bağımsız bu sistemde, veri trafiğinin az olmasının yanı sıra, karar aşaması sunucu tarafında gerçekleşmediğinden, kısa sürede aksiyon sağlanabilmektedir.

## Bölüm 5

### Gerçek Zamanlı Konumlama

### Destekli Nesnelerin İnterneti Ağ

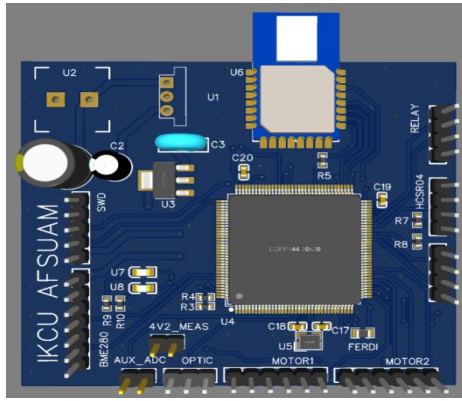
### Geçidi Entegrasyon ve Saha Testleri

Bu bölümde Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi'nin AFSUAM Model fabrikası üzerinde yapılmış saha testleri anlatılmıştır. Tüm sistem testleri, AFSUAM sensor kartı destekli taşıma ve transfer vagonlarıyla yapılmıştır. Testler esnasında vagonlar nesnelerin internet ağ geçidi ile haberleşmiş, mesafe ölçümleri yapmış ve ağ geçidi üzerinden iletilen emirleri, mesafe ölçümlerine göre uygulamışlardır. Emirler doğrultusunda gerekli istasyonlarda operasyonları tamamlamak için taşıma ve transfer vagonu arasında da haberleşmeler gerçekleşmiştir.

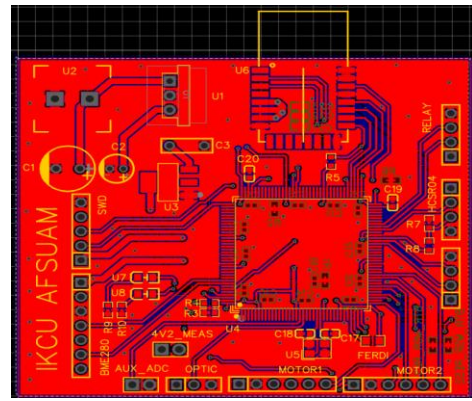
Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi, farklı bağlantı özellikleri olan bir akıllı fabrika bileşenidir. Üzerinde yer alan Wi-Fi modülü sayesinde, bulut ortamına bağlantı kurabilir. Ağ geçidi üzerinde DWM1000 modülü sayesinde UWB ortamında haberleşme ve konumlama/mesafe ölçümü yapılabilir. Bulut ortamına bağlı durumda olan ağ geçidi, UWB üzerinden haberleştiği cihazlar ile bulut ortamı arasında köprü vazifesi görebilir. Bunun yanı sıra, programcı tarafından tasarlanan gömülü yazılım doğrultusunda herhangi bir ortamdan aldığı verileri yorumlayarak bazı çıktılar üretebilir. Bulut ortamından bağımsız olarak UWB ortamındaki cihazlarla mesafe ölçümü yapabilir. UWB ortamındaki kablosuz sensor düğümlerinin verilerini bulut ortamına taşıyabilir.

AFSUAM Sensör kartı ise üzerinde UWB haberleşme olanağı olan, genişleme portları olan bir modüldür. Bu modül üzerinde yer alan genişleme portlarıyla harici bir üniteyle haberleşebilir, röle açıp kapatabilir yada motor kontrol edebilir. UWB

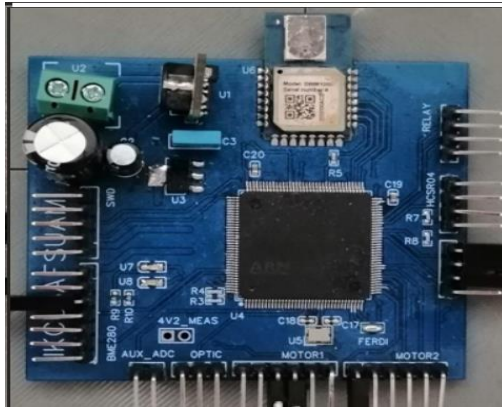
Haberleşme olanağı sayesinde Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi ile haberleşebilir, diğer AFSUAM düğümleriyle haberleşerek işbirlikli çalışma gerçekleştirebilir. Tez kapsamında yapılan uygulamada AFSUAM Sensör Kartı bulunduran transfer vagonu, Nesnelerin İnterneti Ağ geçidi ile haberleşerek bulut ortamından gelen emirleri almakta ve mesafe ölçmektedir. Elde ettiği mesafe bilgisine göre motor kontrol ederek, kendi hareketini tayin etmekte, hedef istasyonlarda diğer bir AFSUAM Sensör Kartı taşıyan taşıma vagonu ile haberleşerek emrin gereklerini yerine getirmektedir. Tüm saha testleri bu nesnelerin interneti tabanlı ağ geçidi ve vagonlar ile gerçekleştirilmiştir.



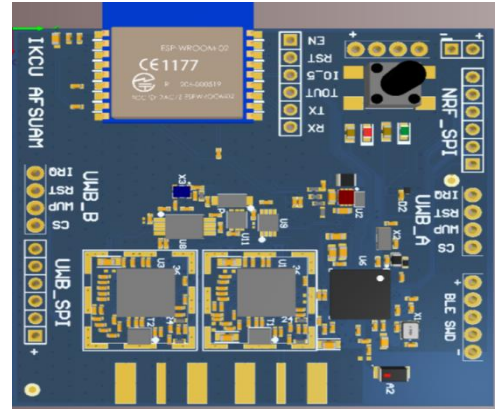
(a)



(b)

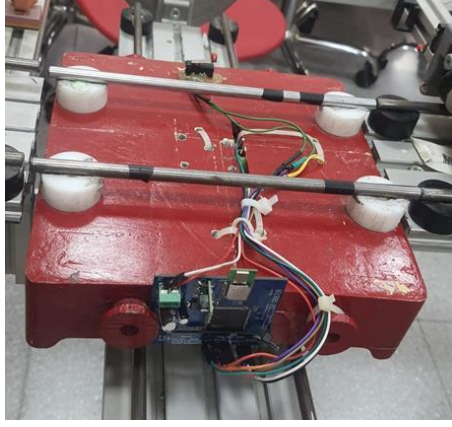


(c)



(d)

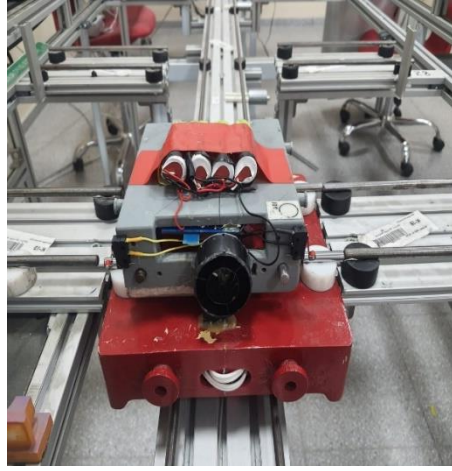
Şekil 5.1: (a) AFSUAM Sensör Kartı 3D Tasarım Görünümü (b) AFSUAM Sensör Kartı PCB Tasarım Görüntüsü (c) AFSUAM Sensör Kartı Üstten Görünümü (d) IoT Gateway PCB 3D Tasarım Görüntüsü



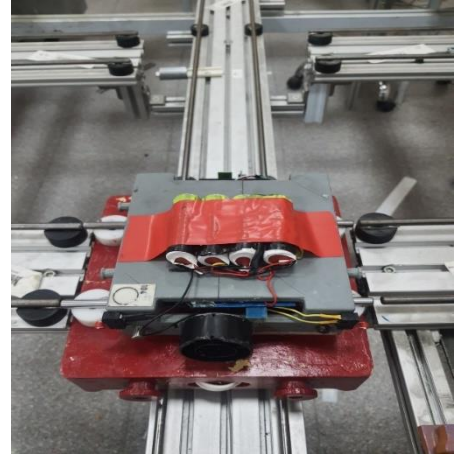
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.2: (a) Transfer Vagonu ve AFSUAM Sensör Kartı Görünümü (b)(c)(d) Transfer ve Taşıma Vagonu Görünümü

## 5.1 Kablosuz Haberleşme Testleri

Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi, bulut ortamına Wi-Fi medyası üzerinden bağlantı kurmaktadır. Bu sebeple sistemin bulut ortamına bağlantı sürekliliği açısından, Wi-Fi bağlantı verimliliği önem taşımaktadır. Duvar ve metal materyaller erişim noktası ile ağ geçidi arasında haberleşme engeli oluşturan bariyerlerdir.

Wi-Fi modülüne seri port üzerinden gönderilen bir komutla hedef erişim noktası ile haberleşme kalitesi RSSI olarak görülebilmektedir. Ağ geçidinin kısıtlarını tespit edebilmek amacıyla farklı engeller ve mesafeler ile testler yapılmış ve tablo haline getirilmiştir.

Ağ geçidinin diğer haberleşme olanağı UWB üzerinden sağlanabilmektedir. Ağ Geçidinin Akıllı fabrika kapsamında hizmetini gerçekleştirebilmesi için UWB Sensör Düğümleri ile verimli haberleşmeye ihtiyacı vardır. Fabrika ortamlarında özellikle metal bariyerler UWB ile haberleşmeye engel olabilmektedir. Ağ Geçidinin UWB düğümleri ile haberleşme kısıtları bilindiğinde, endüstriyel bir ortamda ağ geçidi ve diğer düğümlerin yerleşimlerini kısıtlara uygun şekilde yaparak başarılı bir haberleşme ortamı sağlanabilir. Bu sebeple farklı materyaller ile bariyerler oluşturarak ölçümler alınmıştır.

Tablo 5.1: ESPWROOM02 Modülü Sinyal Seviye Testleri

<b>Engelin Tipi</b>	<b>Çıkış Gücü (dBm)</b>	<b>Ortalama RSSI(dBm)</b>
Duvar	14	-85
Tahta	14	-79
Metal Levha	14	-87
İnsan Vücudu	14	-81
Engel yok	14	-75

Tablo 5.1’de sonuçları verilen testlerde görüldüğü üzere, « Metal Levha» engeli haberleşme için oldukça yüksek risk içermektedir. İki iletişim noktası arasında metal ve duvar engellerin en az seviyede olması önem arz etmektedir.

Tablo 5.2: DWM1000 Modülü Sinyal Seviye Testleri

<b>Engelin Tipi</b>	<b>Çıkış Gücü (dBm)</b>	<b>Ortalama RSSI(dBm)</b>
Duvar	33.5	-90
Tahta	33.5	-75
Metal Levha	33.5	-87

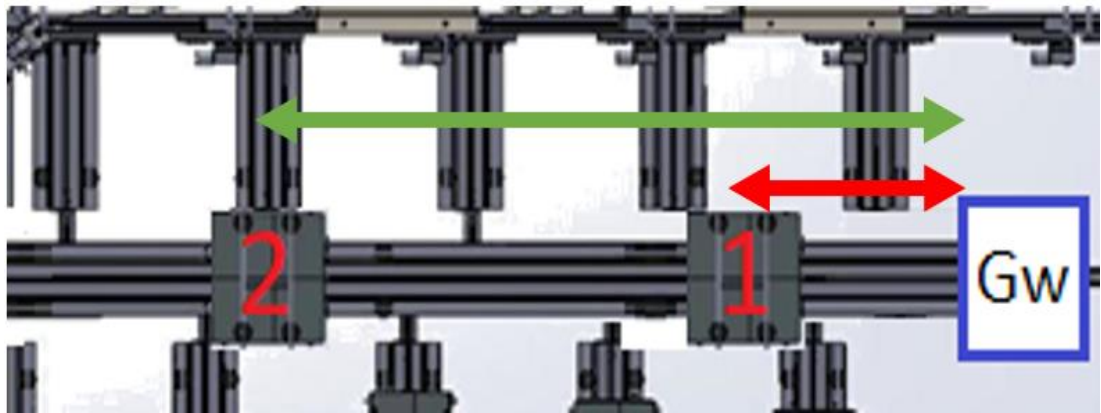
İnsan Vücudu	33.5	-86
Engel yok	33.5	-72

Ağ Geçidi UWB üzerinden veri haberleşmesinin yanında mesafe ölçümü yaparak da sistemin işleyişine destek vermektedir. Endüstriyel ortamlarda bariyerler mesafe ölçümlerinin hatalı olmasına engel olmakta, bazen bir UWB düğümünün yanında bulunan ve bariyer olmayan bir metal nesne bile mesafe ölçümünün hatalı olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple 5.2 bölümünde gerekli ölçümler alınarak testler ve geliştirmeler yapılmıştır.

## 5.2 Transfer Vagonunun Hedef Noktaya Ulaşması ile İlgili Çalışmalar ve Çözümler

AFSUAM Akıllı Fabrika Transfer ve Taşıma sisteminde yer alan transfer robotu, gideceği yönü ve durması gereken noktayı tayin ederken, UWB üzerinden elde ettiği TWR ölçümlerini kullanmaktadır. Gerçeklenen senaryo kapsamında DWM1000 modülü ile yapılan ölçümlerde dikkat edilmesi gereken 2 önemli husus bulunmaktadır :

- DWM1000 modülü ile yapılan mesafe ölçümlerinde hassasiyet 10 cm seviyesindedir.
- UWB Sinyalleri çoklu yok(multipath) oluşturmaya müsait olup, yansımalar sonucu hatalı mesafe ölçümler elde edilebilmektedir.



Şekil 5.3: AFSUAM Fabrika Modeli Üzerinde Transfer Vagonu Hareketi

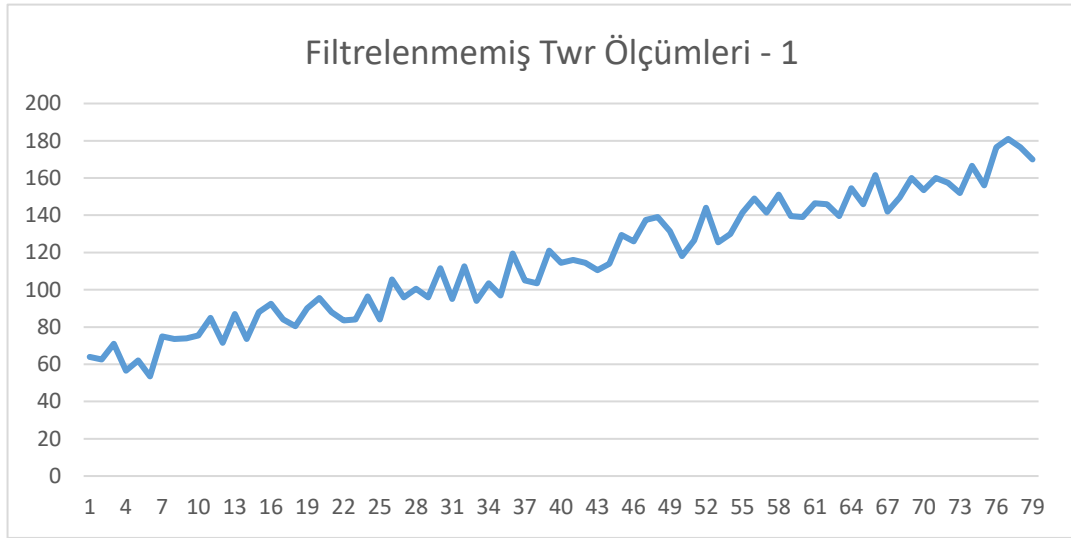


AFSUAM Fabrika modeli, gerçek bir fabrika uygulamasının simülasyonu ve minyatürüdür. Model üzerinde istasyonlar, gerçek bir istasyona göre ölçeklenerek küçültülmüştür. Bu sebeple transfer vagonunun istasyon hizasında durması kritik önem taşımaktadır. Ölçümlerin 10 cm hassasiyetle yapılabiliyor olması, transfer vagonunun istasyon hizasında durması açısından risk faktörü oluşturmaktadır. Riskin elimine edilmesi için UWB üzerinden alınan ölçümler, mekanik sınır anahtarı verisi ile birleştirilerek durma ve hareket etme kararları verilmektedir. Transfer vagonunun donanımı ve gömülü yazılımı bu doğrultuda tasarlanmış ve gerçekleşmiştir. Transfer vagonu hedef istasyona giderken, istasyona olan yakınlığını TWR ile yaptığı ölçümlerden elde etmekte, hedef mesafeye gelindi ise, mekanik sınır anahtarını kontrol etmektedir. Böylece transfer vagonu tam istasyon hizasında durabilmektedir.

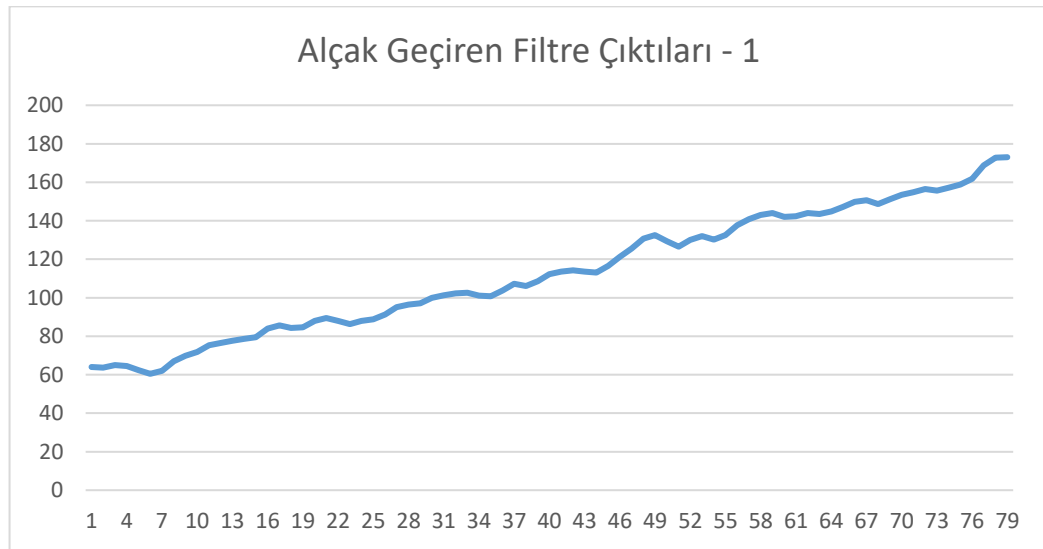
Şekil 5.3'teki örnek uygulamada transfer vagonu 1 nolu konumda bulunmakta ve IoT Gateway ile olan mesafesi kırmızı ok ile temsil edilmektedir. Kırmızı ok 53 cm mesafeyi ifade etmektedir. Tasarlanan gömülü yazılım marifetiyle, robotun ulaşması istenen tüm istasyonların mesafeleri, gömülü sistemin bellek alanında kayıtlı bulunmaktadır. Transfer vagonunun IoT Gateway üzerinden gelen emir mesajıyla 2 nolu konuma ulaşması ve IoT Gateway'e uzaklığı yeşil ok ile ifade edilen istasyonun tam hizasında durması hedeflenmektedir. Yeşil ok 162 cm mesafeyi ifade etmektedir. IoT Gateway kendisine tanımlanan transfer vagonuna 250 ms sıklıkta Twr isteği göndermekte ve ölçüm yapmaktadır. Gerçekleştirilen Twr'ler sayesinde transfer vagonu, referans noktası olan IoT Gateway'e olan uzaklığını bilmektedir. 1 nolu konumda durmakta iken 53 cm mesafede olduğunu da bilen robot, kendisine gelen emir paketi ile gidilmek istenen istasyonun mesafesini kayıtlı bellek bölgesinden almaktadır. Yapılan kıyaslam sonucu, transfer robotu hareket yönünü ileri olarak tayin eder ve 250 ms'de bir ölçüm yaparak hareketine devam eder. İstenen istasyonun tam hizasında durabilmesi için 140 cm mesafesine geldikten sonra, kendi altında bulunan mekanik sınır anahtarını kontrol etmeye başlar. Mekanik sınır anahtarının kontak kurabilmesi için, 2 nolu istasyonunun hemen yanında takoz bulunmaktadır. 140 cm ve üstünde ölçüm yapan transfer vagonu, sınır anahtarının da temas etmesiyle, hedeflenen istasyonun tam hizasında durabilmektedir. Bu sayede DWM1000 ile yapılan ölçümlerdeki 10 cm hata payı elimine edilmektedir.

Çoklu yol etkisi sebebiyle TWR ölçümleri yapılırken zaman zaman direk yoldan gelen sinyal yerine farklı bir sinyal ilk yol sinyali olarak seçilmekte ve bu sebeple gerçek

ölçümden daha yüksek ölçümler elde edilebilmektedir. Yansıma etkisini elimine edebilmek amacıyla bir filtre tasarımı yapılmasına ihtiyaç olacaktır. Bu sebeple senaryoyu gerçekleştirmek üzere tasarlanan gömülü yazılımda, bir de yazılımsal filtre tasarımı yapılmıştır. Mesafe eşiklerinin doğru belirlenebilmesi, yansımali sinyallerin etkisinin en düşük seviyeye indirilebilmesi için AFSUAM Model Fabrika Üzerinde farklı noktalarda transfer vagonu ile ağ geçidi arasında yapılan TWR ölçümleri incelenmiştir.



Şekil 5.4: Filtre edilmemiş Twr Ölçümleri - 1

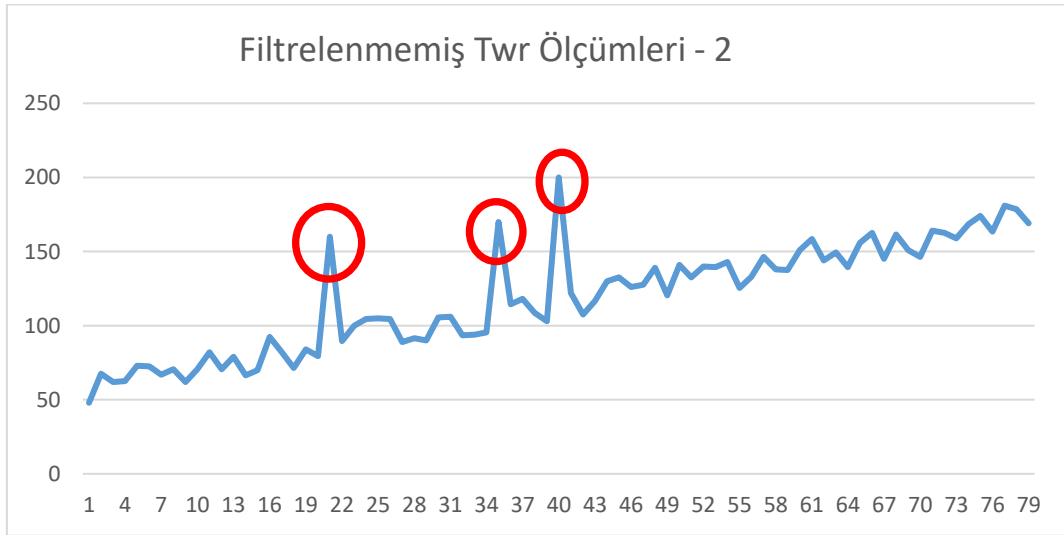


Şekil 5.5: Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Twr Ölçümleri – 1

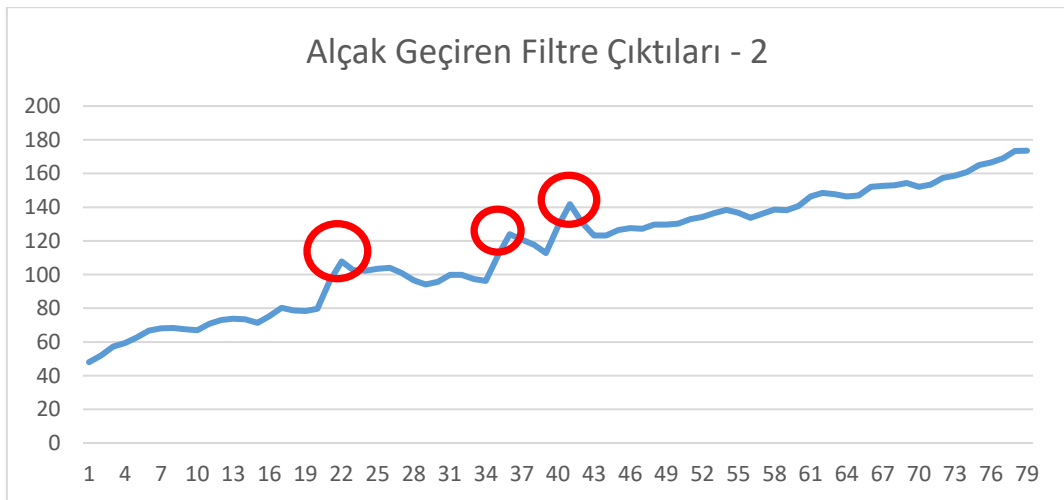
Yapılan ölçümler sonucunda, saf ölçümün gürültü oranının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu şekilde alınan ölçümler kritik noktalarda, işletim mantığının

hatalı dallanmasına sebep olabilir. Bu sebeple saf ölçümler alçak geçiren filtreden geçirilmiş ve tekrar incelenmiştir. Alçak geçiren filtre sonucunda ölçüm kalitesi artmıştır. Filtre öncesi saf ölçümlerdeki birim değişiminin standard sapması 10.356 iken, filtrelenmiş verideki birim değişiminin standart sapması 2.102 olmuştur.

Aynı koşullarda yapılan testlerde, zaman zaman çoklu yol etkisinden kaynaklı idealden yüksek değerli ölçümler alındığı görülmüştür. Bu ölçümler alçak geçiren filtreden geçirilse bile, yeterince filtrelenememiştir. Daha iyi filtrelenebilmesi için alçak geçiren filtrenin kesim frekansını çok düşük değerlere almak gerekmektedir. Bu işlem tüm ölçümlerde kesim etkisi oluşturduğundan, alçak geçirenin kesim frekansının değiştirilmesi tercih edilmemiştir. Bunun yerine farklı bir yaklaşımla “ani yükseliş filtresi” tasarlanmıştır.



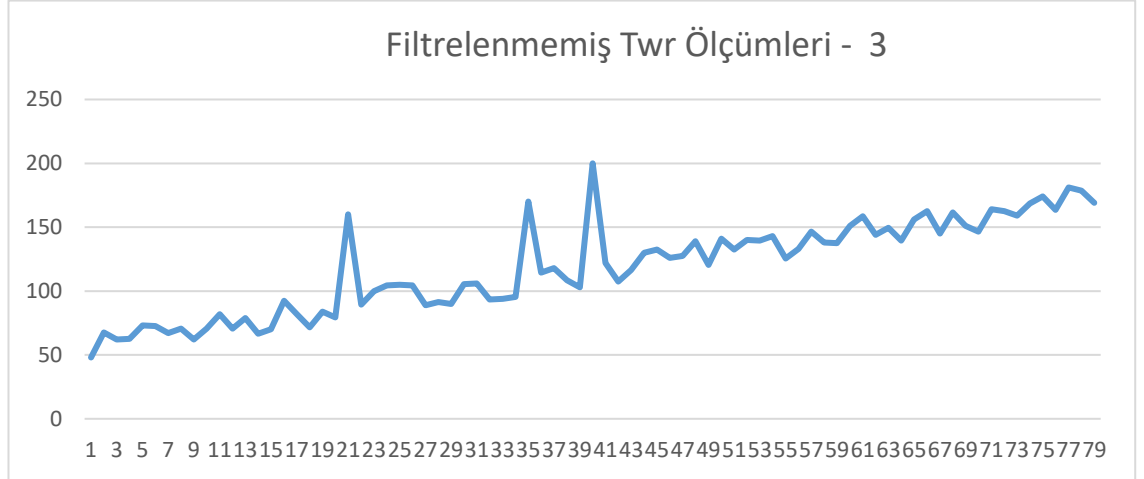
Şekil 5.6: Filtre Edilmemiş Twr Ölçümleri - 2



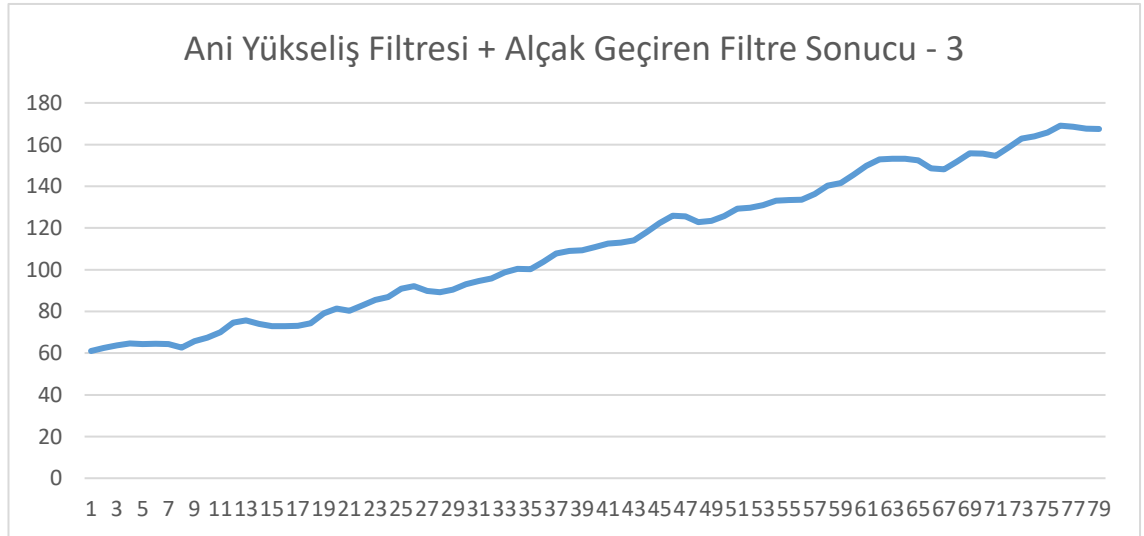
Şekil 5.7: Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Twr Ölçümleri – 2

Ani yükseliş filtresi aşağıda açıklanan prensiplerle çalışmaktadır.

- Alçak geçiren filtreden çıkan mesafeler kullanılarak, hız bilgisi hesaplanır. Her yeni ölçümde hız bilgisi yenilenir. (Nominal hız)
- Yeni ölçüm geldiğinde, bir önceki ölçümün değeri ve zaman bilgisi ile yeni ölçümün değeri ve zaman bilgisi ile 2 ölçüm arasındaki hız hesaplanır. (Anlık hız)
- Anlık hız değeri, aracın maksimum hızından yüksek ise, Nominal Hız değeri kullanılarak, aradan geçen zamanı da dikkate alarak bir mesafe tahmini yapılır.
- Elde edilen mesafe, alçak geçiren filtreye girer olarak verilir.
- Zaman aşımı süresi kadar (2 sn) yeni ölçüm elde edilmez ise, filtre başlangıçtaki konumuna alınır.



Şekil 5.9: Filtre Edilmemiş Twr Ölçümleri - 3



Şekil 5.8: Ani Yükseliş ve Alçak Geçiren Filtreden Geçirilmiş Ölçüm Sonuçları - 3

Yapılan filtre tasarım ve geliştirmeleri sonucunda sistem tüm özellikleri ile senaryo testleri yapılmıştır. İlgili test sonuçları 5.3 başlığı altında ifade edilmektedir.

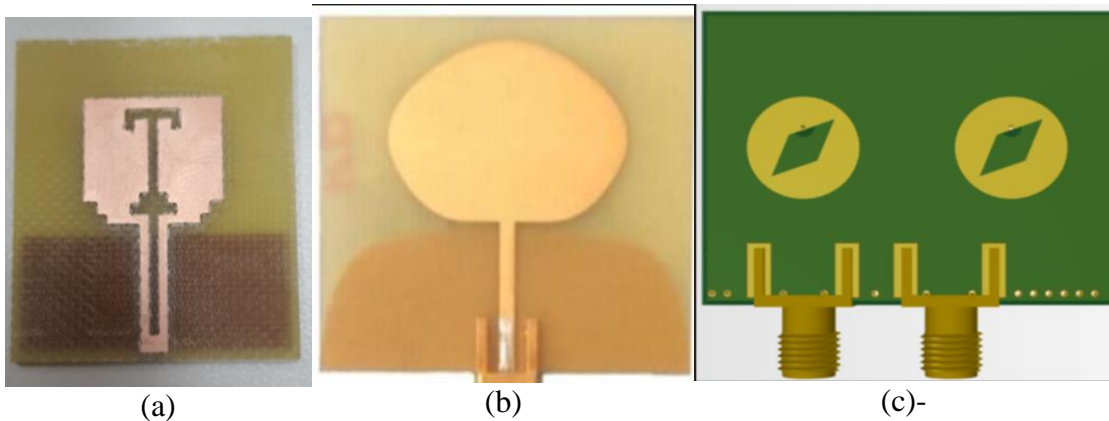
### 5.3 TDoA Metodu İle Bölge Tespit Çalışmaları

Tez kapsamında donanım ve gömülü yazılım tasarım ve uygulaması tamamlanan IoT Gateway ile, transfer robotunun hat içindeki mesafesi, herhangi bir mobil vericinin IoT Gateway'e olan mesafesi tespit edilebilmektedir. Bunun yanı sıra bölüm 4.1.2.'de çalışmaları yapılan TDoA metodu ile mobil vericinin veya transfer vagonunun bulunduğu yere bağlı olarak antenlere varış zamanları farkı da bulunabilmektedir. Bu farktan yararlanılarak açı veya bölge tespiti yapılması mümkün olmaktadır.

IoT Gateway kullanılarak mesafe, açı ve bölge tahminleri yapılması sayesinde, birden çok sabit düğüm yerine, tek bir düğüm ile konum tespiti yapılabilmesi sağlanabilmektedir. Bu bölümde AFSUAM laboratuvarı içinde farklı konumlara yerleştirilmiş mobil vericinin bölge tespiti ile ilgili testlere yer verilmektedir.

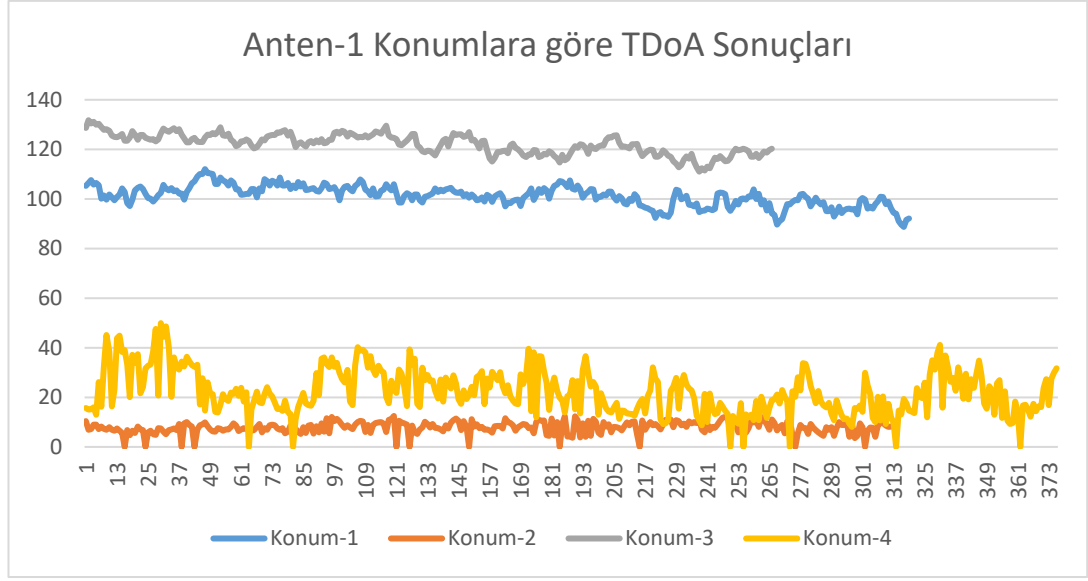
AFSUAM laboratuvarı içerisinde TDoA metodu kullanılarak yapılan bölge tespit çalışmalarında, 3 farklı anten yapısı ayrı ayrı test edilerek, en iyi sonucu sağlayan antenin sečilmesi sağlanmıştır.

Laboratuvar içerisinde 5 ayrı konumda, bunun yanı sıra IoT Gateway'in tam karşısında ve aynı hizada olan 3 ayrı noktada da açı tespit amaçlı testler yapılmıştır.

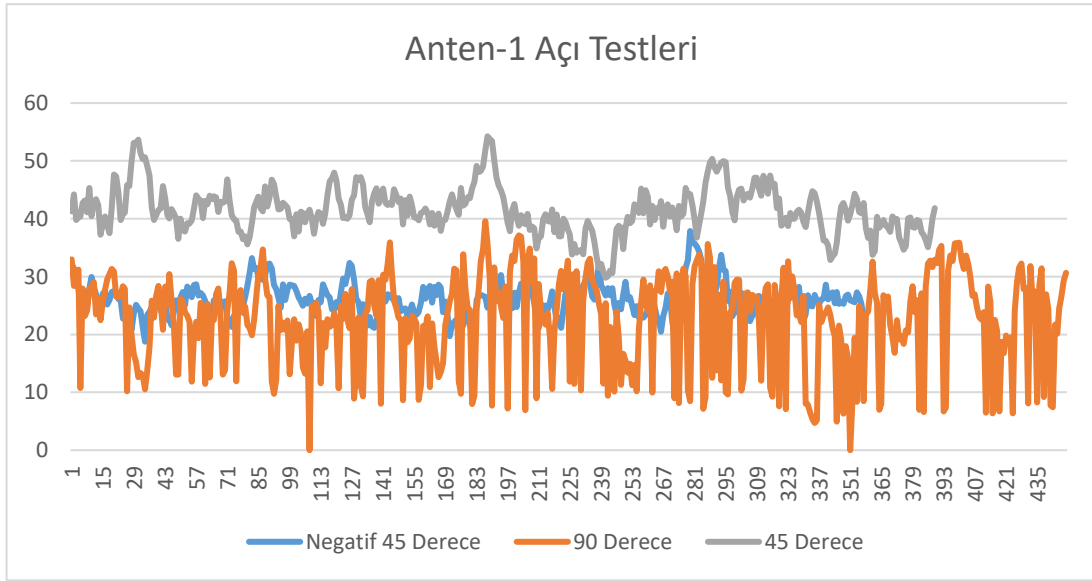


şekil 5.10: Testlerde kullanılan antenler (a) Anten-1 (b) Anten-2 (c) Anten-3

## Anten – 1 ile yapılan testler



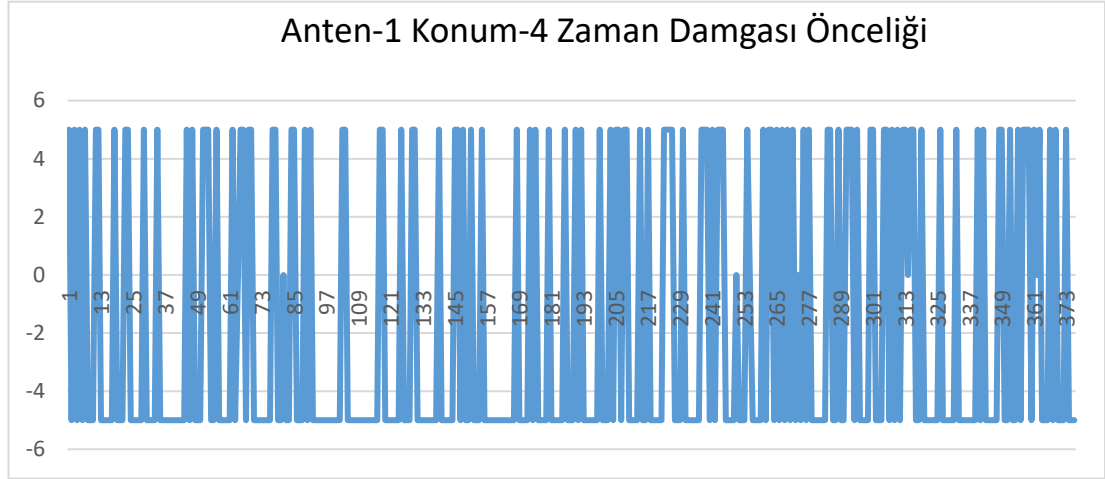
Şekil 5.11: Anten-1 ile yapılan TDoA Bölge Testleri



Şekil 5.12: Anten-1 ile yapılan TDoA Açı Testleri

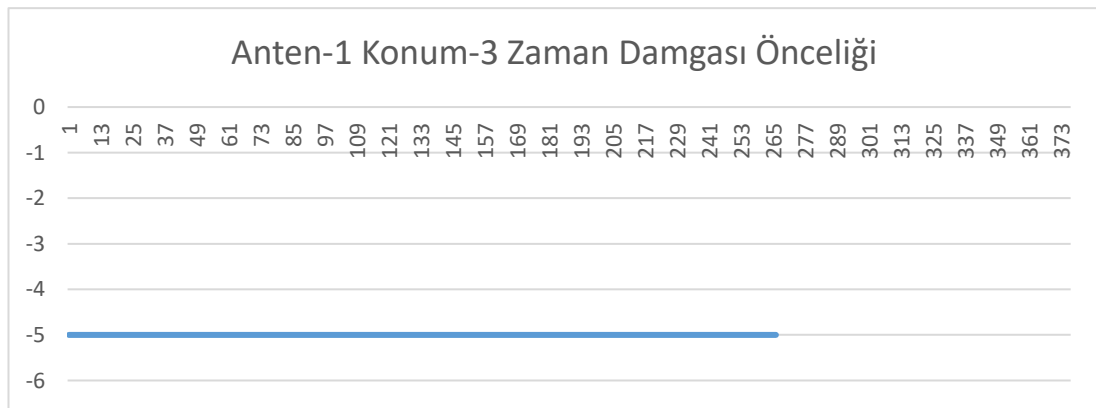
Anten-1 ile yapılan testte Konum-4 bölgesindeki ve 90 derece’de sapma miktarları bölgenin tespitini imkansız hale getirmiştir. Her bir sabit noktada, 2 antenden birinin her zaman diğerine göre önce alım yapması ve önce alım yapan antenin değişim göstermemesi beklenir. Öncelik durumu DW1000 entegresi tarafından üretilen zaman damgasının önceliği ile belirlenmektedir. Yansıma ve sinyal seviyesinin gürültü seviyesi altında kalması durumlarında zaman damgaları hatalı oluşmakta olup, önce alım yapan anten değişmiş gibi sonuç verebilmektedir. Aslında burada sorun zaman damgasının hatalı oluşması; doğurduğu sonuç ise TDoA değerinin sapsmalı bir şekilde

hesaplanmasıdır. Şekil 5.13’de Anten-1 ile Konum-4’de yapılan testte, zaman damgası önce olan antenin sürekli değiştiği görülmektedir. Pozitif değer 2 antenden sağda olan için, negatif değer ise 2 antenden solda olan anten için daha erken zaman damgası oluşturulduğunu göstermektedir. Bu testte beklenen, zaman damgası önceliği olan antenin sabit olması, yani Şekil 5.13’de sürekli pozitif veya negative değer görülebilmüş olmasıdır. Zaman damgasının çevresel etkenler sebebiyle hatalı oluşması sebebiyle bu durum oluşmakta ve bölge tespitinin yapılamamasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.13: Anten-1 Konum-4 Zaman Damgası Önceliği

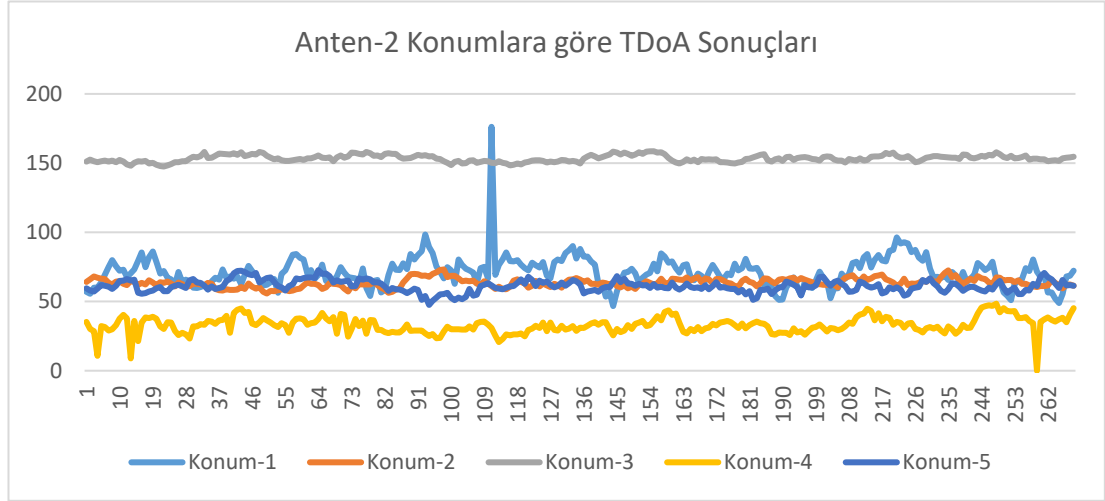
Şekil 5.11’de Konum-3 için verilen TDoA değerlerinin Konum-4 için verilen TDoA değerlerine göre daha stabil olduğu görülebilmektedir. Konum-3 için alınan TDoA değerlerindeki anten zaman damgası önceliği incelendiğinde, her zaman aynı antenin daha erken zaman damgası oluşturduğu Şekil 5.14’de görülmektedir.



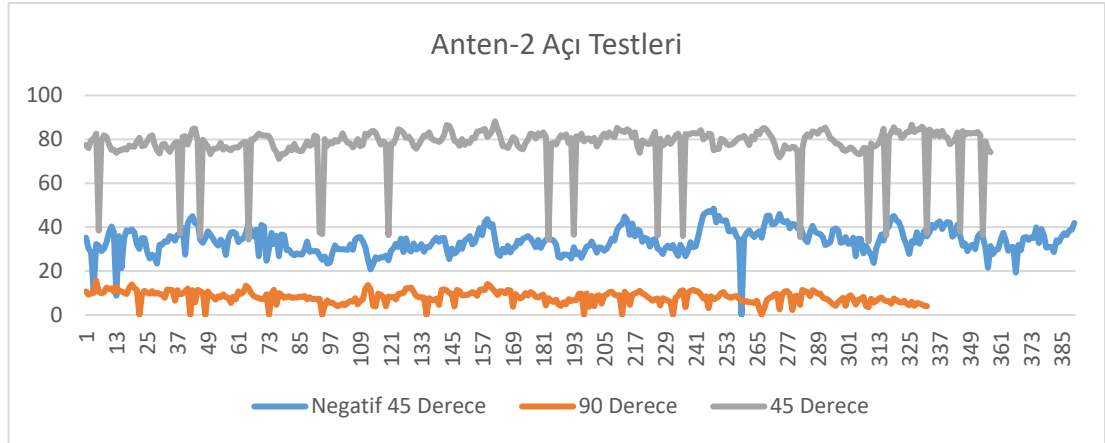
Şekil 5.14: Anten-1 Konum-3 Zaman Damgası Önceliği

Anten-1 ile yapılan testlerde görülen zaman damgasının hatalı oluşumu ile ilgili bulgu, diğer hatalı TDoA ölçümlerinde de görüldüğünden, zaman damgası önceliği grafiği diğer testlerde tekrar eklenmemiştir.

### Anten-2 ile yapılan testler



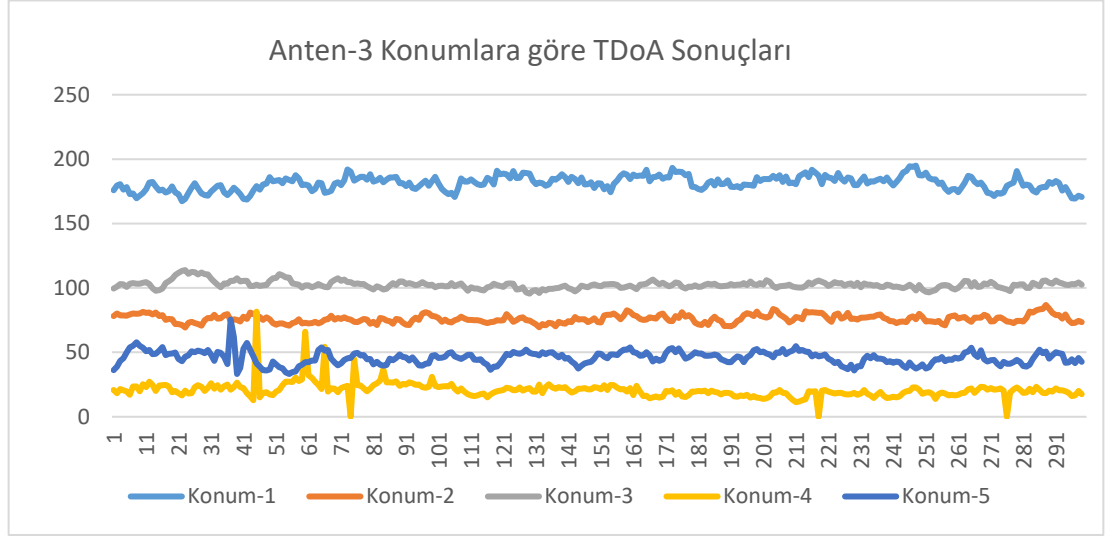
Şekil 5.15: Anten-2 ile yapılan TDoA Bölge Testleri



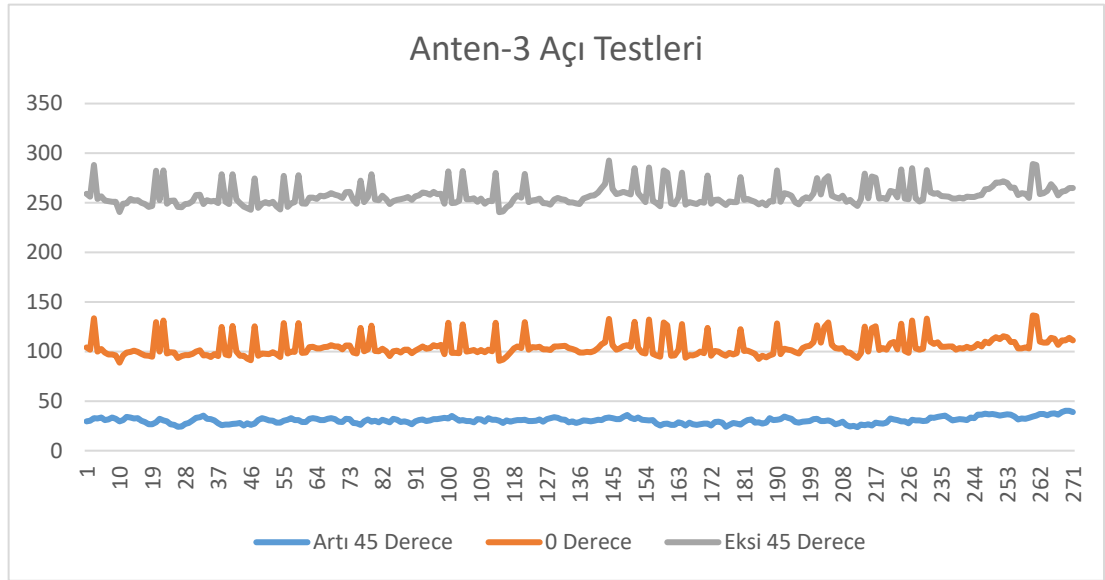
Şekil 5.16: Anten-2 ile yapılan TDoA Açı Testleri



## Anten-3 ile yapılan testler



Şekil 5.17: Anten-3 ile yapılan TDoA Bölge Testleri



Şekil 5.18: Anten-3 ile yapılan TDoA Açı Testleri

Anten-3 ile yapılan bölge ve açı testlerinde Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'teki grafiklerden de görüleceği üzere, birbirinden ayırt edilebilir TDoA değerleri elde edilmiştir. Bu durum Anten-3 ile bölge tespiti yapılabileceğini göstermektedir.

## 5.4 AFSUAM Akıllı Taşıma Transfer Sistemi Senaryo Testleri

Ülkemizin Dünya pazarlarında rakipleri karşısında ön plana çıkabilmesini ve dış ticarete daha aktif olmasını sağlayabilecek endüstri dallarından birisi de doğal taş sektörüdür. Uluslararası rekabet ortamında başarılı olabilmek için, ülkemizin ve ilgili sektörün olumlu yanlarını aktif halde kullanarak stratejik planlamalar yapılabilmektedir. Stratejik planlamaların içerisine dijital dönüşüm entegrasyonunun dahil edilmesi, rekabetçi bir performans sürdürülebilmesi yönünde olumlu etki yaratacaktır.

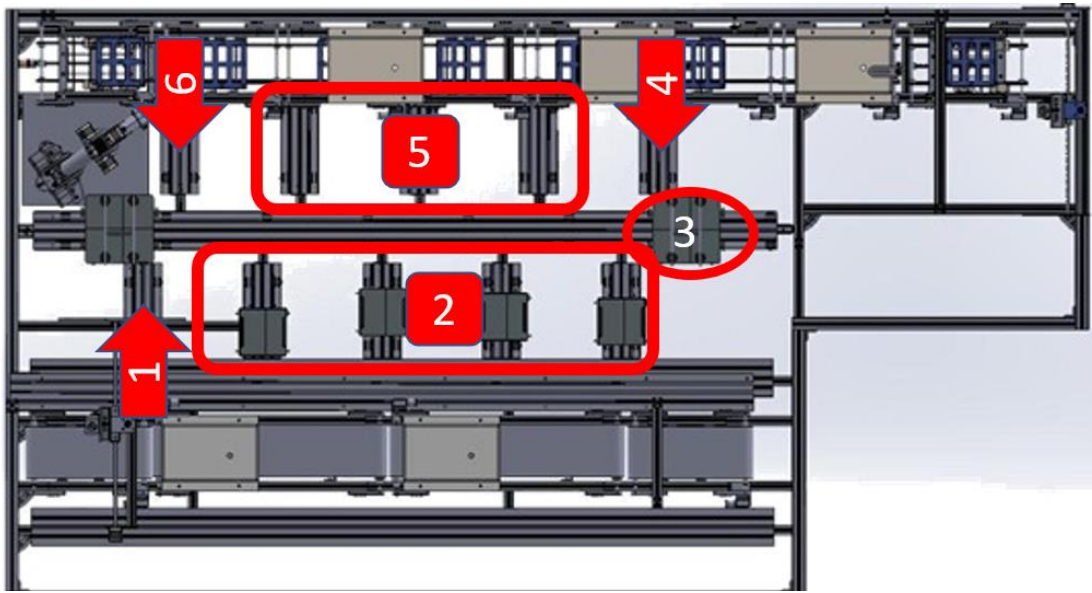


Şekil 5.19: AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli Görünümü

Bu olumlu etkileri en iyi seviyede elde edebilmek amacıyla AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi modeli üzerinde kurgulanan senaryolar, gerçek bir mermer fabrikasında oluşan senaryoları dikkate alarak belirlenmiştir. Hedeflenen senaryoların gerçekleştirilmesinde, dış faktörlerin sistemin çalışmasını etkileme ihtimalini en aza düşürecek teknoloji ve metotların kullanılmasına özen gösterilmiştir. Örneğin, enkoder kullanımı yerine UWB ile mesafe ölçüldüğünden robotlar herhangi bir bantta aktif çalışırken başlangıç pozisyonuna giderek sıfırlama işlemi yapma ihtiyacı olmadan bulunduğu konumda, sunucudan gelecek emir mesajına göre görevini gerçekleştirebilecektir. Bunun yanı sıra, mekanik kaymalardan kaynaklı enkoder hataları da kapsam dışında kalmış olacaktır. Ek olarak optik sensör kullanımı da fiziki engellerle karşılaşıldığında hatalı sonuçlar üretebileceğinden tercih edilmemiştir.

Üretim departmanı, kalite kontrolünü içeren bir iş akış şemasının yanı sıra dört iş istasyonu ve alt birimden oluşmaktadır. Üretim sürecinde kimyasal konsolidasyon için fırın hatları kullanılmaktadır. Yarı mamuller hatların çıkışında boşaltma üniteleri tarafından istiflenir ve buldukları yerden alınarak bu hatlar üzerinde gerekli

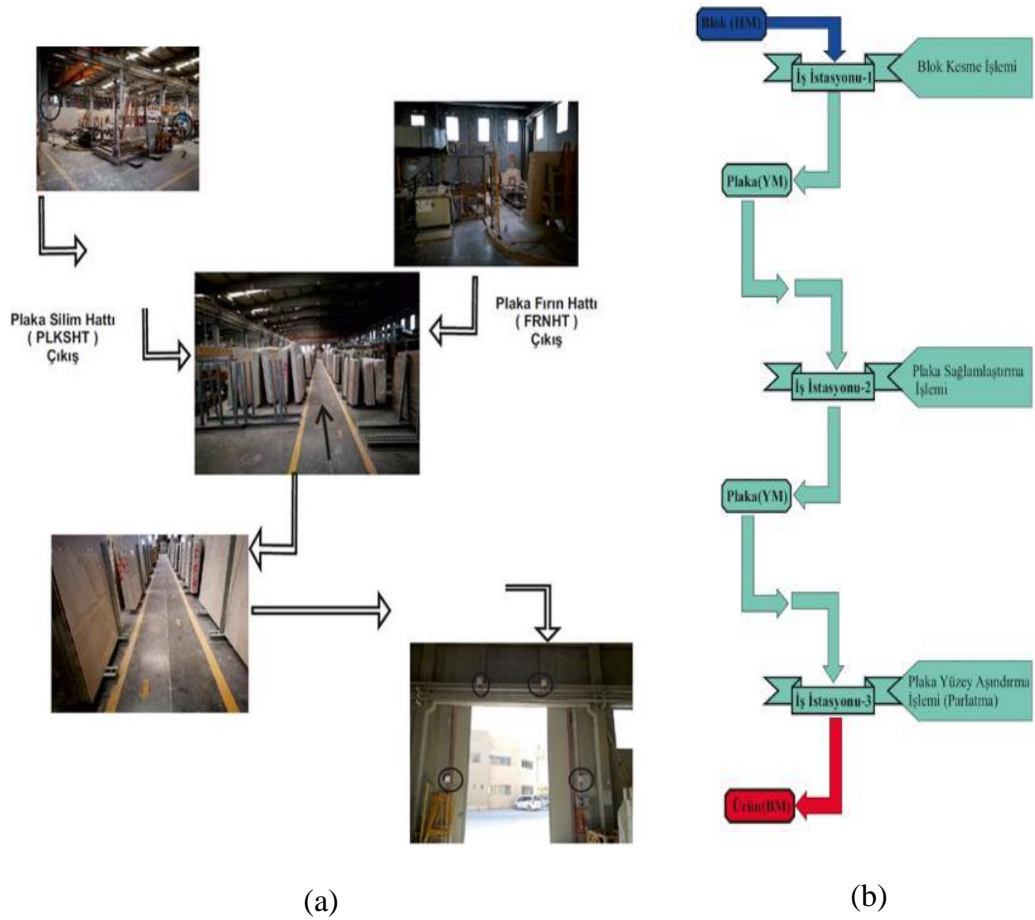
uygulamalar yapıldıktan sonra yüzey işlemleri için yarı mamul (YM) depo alanında depolanır. Üretim birimi, bir sonraki faaliyet alanında yüzeyi işlem göreceği bitmiş levhaları bu alanda belirli bir süre tutar. Akabinde yarı mamuller çıkarılarak cilalanmak üzere polisaj hatlarına gönderilir. Cilalı ürünler artık mamul olarak müşteriye pazarlanmak üzere boşaltma istasyonundan istiflenmekte ve buradan alınarak mamul depo alanlarında depolanmaktadır. Bir mermer fabrikasının levha üretim faaliyetleri, iş akışına ve iş süreçlerine uygun olarak model fabrika gibi bir tablo üzerinde modellenir. Şekil 5.20 model fabrika raylı ulaşım sistemi şemasını göstermektedir.



Şekil 5.20: AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli Kısımları

1 nolu istasyondan, FIRIN HATTI'ndan çıkmış yarı mamül ürünler elde edilir. Burada bir taşıma vagonu bulunmakta, FIRIN HATTI'ndan çıkan yarı mamüller, bu taşıma vagonu üzerine bindirilmektedir. Taşıma vagonu üzerine yarı mamül yüklemesi yapıldığında, 3 numara ile gösterilen transfer vagonu gelerek, üzerine yarı mamül bulunan taşıma vagonunu teslim alır. Transfer vagonu, üzerindeki taşıma vagonu ile birlikte 2 numara ile belirtilen YARI MAMÜL depolama istasyonlarından birisine doğru hareket eder. İlk boş olan istasyonu belirleyerek hareketini ve duracağı istasyonu tayin eder. Hedef YARI MAMÜL istasyonuna gelindiğinde, transfer vagonu üzerindeki taşıma vagonu yüküyle beraber hedef istasyona bindirilerek beklemeye geçer. 4 nolu istasyon ile 6 nolu istasyon arasında YARI MAMÜL ürünler BİTMİŞ MAMÜL(TAM MAMÜL) haline getirilmektedir. Bu işlemlerle ilgili prosesler bu iki istasyon arasında yürütülmektedir. Sistemde YARI MAMÜL talebi olduğunda,

transfer vagonu yüklü olan YARI MAMÜL istasyonlarından birisine giderek, oradaki taşıma vagonunu kendi üzerine yükler. Yüküyle beraber 4 nolu istasyona hareket eder ve üzerindeki taşıma robotunu 4 nolu istasyona yükler. Yüklenen YARI MAMÜL'ler son üretim proseslerine dahil olurlar. BİTMİŞ ÜRÜN olarak 6 nolu istasyondan dışarıya sürülürler. Bu istasyonda da bir taşıma robotu bulunur ve bitmiş mamül bu robot üzerine deşarj edilir. Transfer vagonu 6 nolu istasyona gelerek, buradaki bitmiş mamülü 6 numarada gösterilen BİTMİŞ ÜRÜN istasyonlarından birisine depolar.



Şekil 5.21: (a)(b) Gerçek bir mermer fabrikasında iş akışları

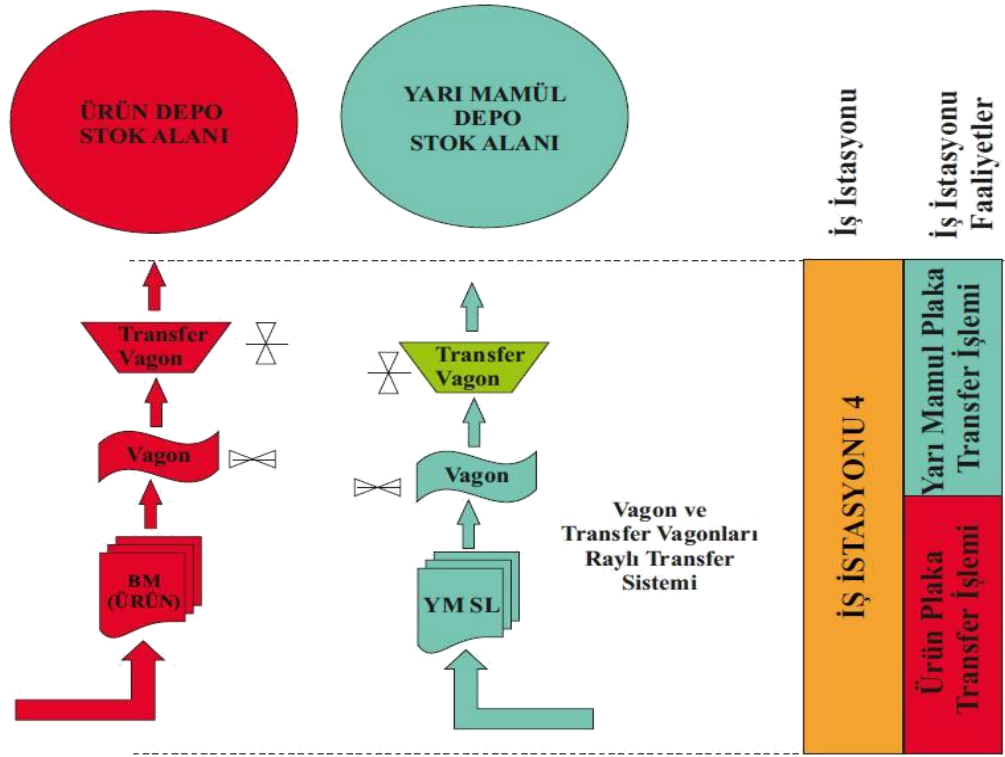
AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli üzerinde bir mermer fabrikasındaki iş akışları imajine edilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Gerçek bir mermer fabrikasındaki iş akışları Şekil 5.21'de gösterilmiştir. AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi olarak, iş istasyonu-4 altında senaryolaştırılan bu yeni otonom entegrasyonla daha kaliteli daha verimli bir üretim yaparken kendini geliştiren bir fabrika iş istasyonu süreci oluşturulmuştur. Kendi aralarında işbirliği yapan sistemler sayesinde, sunucuya binen yükün ve fiziki

insan gücüne dayalı ihtiyacın azalması sayesinde, iş gücü açısından efektif bir sistem olmuştur. Gerçek bir mermer fabrikasındaki mamül transfer ve depolama proses ve görselleri 5.23 ve 5.24'te gösterilmiştir. Üretim prosesi tamamlanmış olan bitmiş mamüller (BM)ü ilgili hat çıkışında boş taşıma vagonu üzerine yerleştirilir ve transfer vagonuna bir mesaj ile haber verilir. B depolama alanında 5 adet depolama istasyonu bulunmaktadır. Mesajı alan transfer vagonu, hafızasındaki istasyonların doluluk durumunu kontrol eder. Boş bir istasyon olması halinde, mesajdaki komutu icra etme kararı alır. Hat çıkışındaki taşıma vagonunu makineler arası iletişim ile kendi üstüne alır. Taşıma vagonu ile beraber B alanındaki ilk boş istasyona hareket eder ve bitmiş mamülü taşıma vagonu ile beraber yerleştirir. Ürünün yerleştirildiği istasyon, transfer vagonunun hafızasında dolu olarak işaretlenir. Gerçek bir mermer fabrikasındaki depo alanları ve istasyonlar şekil 5.22'de gösterilmiştir.



Şekil 5.22: Gerçek bir mermer fabrikasındaki taşıma/transfer vagonları ve istasyonlar

BM depo alanından bir istasyon boşaltılırsa, fiili sevkiyat mantığına göre, ürünün transfer vagonu ile çıkış yapacağı transfer alanından ürünü taşıyacak bir vagona robotla yüklenecektir. Ana aktarma hattında on adet taşıma vagonu ve iki adet aktarma vagonu bu hareketleri sağlayacaktır.



Şekil 5.24: Gerçek Bir Mermer Fabrikasında Mamül ve Depo İş Akışları Diyagramı



Şekil 5.23: Gerçek bir mermer fabrikasındaki depo alanları ve istasyonlar

## Bölüm 6

# Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, ağ geçidi ile haberleşerek bulut ortamından gelen emirleri alan, aynı zamanda ağ geçidi ile haberleşmesi sayesinde kendi konumunu bulan, konum ve emir doğrultusunda kendi aksiyonunu otonom olarak belirleyebilen, gerekli durumlarda işbirlikli çalışma sistemini aktif edebilen bir sistemin gömülü yazılımının yazılması hedeflenmiştir.

Gerekli hedefi gerçekleştirebilmek için, bir araştırma-geliştirme departmanında benimsenen tasarım ve geliştirme aşamaları izlenmiştir. İhtiyaç doğrultusunda gerekli mimari yapının tasarımı yapılmış, sonrasında uygulamasına geçilmiştir. Son aşamada testler yapılmıştır. Bir amaca hizmet etmesi gereken bir sistem için gerekli ihtiyaç analizler yapılmıştır. Bir haberleşme sistemi içerisinde gerekli ölçüm ve haberleşmeleri sağlayarak otonom ve işbirlikli şekilde taşıma ve transfer sürecini tamamlayan bir siber-fiziksel sistem yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bulut ortamı ile haberleşme, UWB ile haberleşme, mesafe ölçümü, aktüatör kontrolü, haberleşme protokolü tasarımı ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Sistemde ağ geçidi bulut ile TCP/IP üzerinden haberleşebilmeli, vagon sistemleri ile bulut sistemi arasındaki gerekli köprü vazifesini sağlayabilmelidir. Aynı zamanda ağ geçidi ile vagon sistemleri arasında mesafe ölçümünün yapılması ihtiyacı da bulunmaktadır. Bir yandan da farklı vagonlar kendi aralarında haberleşerek işbirlikli çalışma modeli sergileyebilmelidir. Her bir vagon aktüatör kontrolü yaparak, raylar üzerinde gerekli hareketleri yapabilmelidir.

Tasarım aşamasında, öncelikle üst seviyeli blok diyagramlar ile her bir ihtiyacın karşılanma şekli belirlenmiştir. Bu kısımlar Bölüm 4’de oldukça detaylı açıklanmıştır. Üst seviyeli blok diyagramlar sonrasında somut olarak kullanılması gereken bileşenler belirlenmiş, uygulama mantığına uygun algoritma tasarımları yapılmıştır. Algoritma tasarımı sonrası gerekli programlama dilleri kullanılarak yazılımın kodlanması sağlanmıştır. Görülen lüzum üzerine bir haberleşme protokolü tasarlanmıştır.

Bu protokol tasarlanırken, bir haberleşme paketi içerisinde yer alacak bilgiler mantıksal bir düzende sıralanmıştır. Daha sonra her bilginin işlevine göre bazı katmanlar belirlenmiştir. Yapılan protokol tasarımı doğrultusunda katmanlı bir şekilde gömülü yazılım mimarisi çıkarılmış ve kodlanması gerekli programlama dilinde gerçekleştirilmiştir.

Tüm tasarım ve kodlamalar tamamlandıktan sonra, prototipler model fabrika üzerinde test edilmeye başlanmıştır. Test aşamasında yazılımda görülen hata ve eksiklikler tespit edilmiş, gerekli bölümler tekrar kodlanarak hedeflenen çalışma sağlanmıştır.

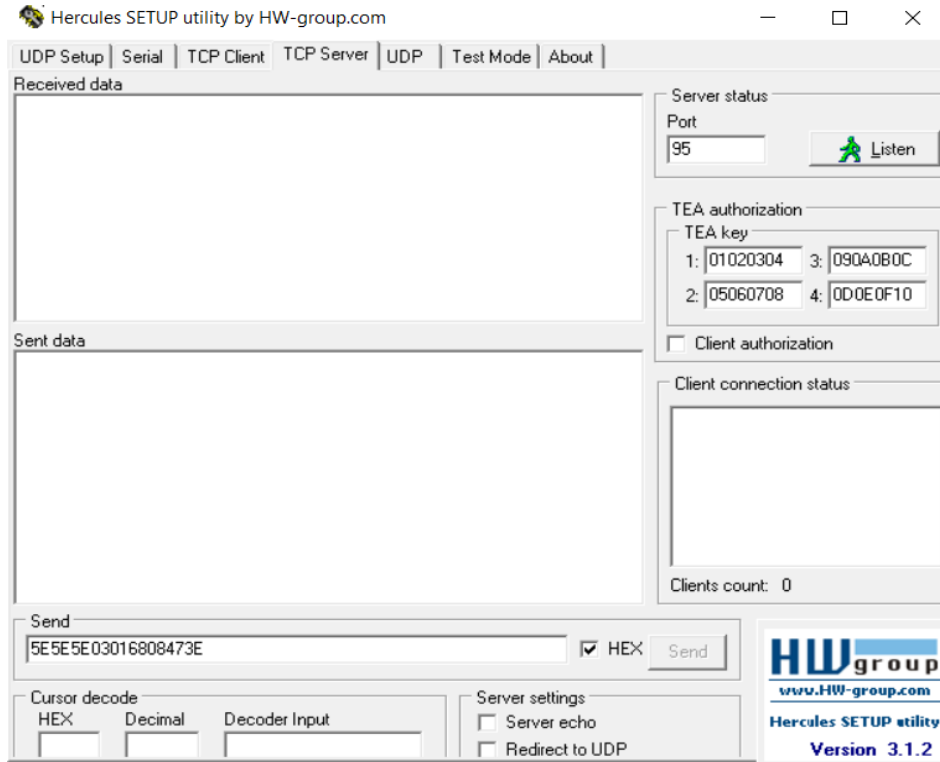
11. Kalkınma Planı incelenmiştir. 2.2.1.1.7 ArGe ve Yenilik başlığı altında «İmalat sanayinin katma değerli üretim yapabilmesi ve yenilikçi ürün geliştirme kapasitesinin artırılması yönünde ArGe ve yenilik kabiliyetinin güçlendirilmesi ve yeniliği esas alan bir yapıya kavuşturulması temel amaçtır.» ifadesi görülmüştür. 2.2.1.1.6 Dijital Dönüşüm başlığı altında «Dijital dönüşümün hızlandırılması yoluyla öncelikli sektörlerde üretkenliğin ve rekabet gücünün artırılması temel amaçtır.» ifadesi görülmüştür. Yapılan çalışmaların bu başlıklar altında verilen ifadelere hizmet ettiği düşünülmektedir. Kalkınma planında 2.2.1.2.3 Elektronik başlığı altında, elektronik sektöründe ArGe odaklı rekabetçi üretim ve ihracatın artırılması hedeflenmiş, tüm sektörlerde M2M ve IoT ekosisteminde kullanılan donanım ve yazılım ürünlerinin yerli imkanlar ile üretilmesinin destekleneceği belirtilmiştir. Yapılan çalışma Kalkınma Hedeflerinde irdelenen bazı başlıklara hitap etmektedir. Fabrikalarda Dijital Dönüşüm için elverişli bir tasarım yapılmıştır. Ayrıca yenilikçi yönleri bulunan bu proje, gerek yazılım mimarisi, gerekse de donanım topolojisi olarak yeni çalışmalar yapmak için geleceğe bir kapı aralamaktadır. Tamamlanan çalışma gerekirse bazı akademik dersler için eğitim seti olarak da kullanılabilir. Bu sebeple gömülü sistem , IoT gibi başlıklarda kendi know-how'ına sahip mühendislerin yetişmesi sayesinde, ilgili sektörlerde rekabetçi iş gücünün artmasına da katkı sağlayacaktır.

Bu tez kapsamında, geliştirilen gömülü yazılım ve AFSUAM haberleşme protokolü katmanlı yazılım mimarisine uygun şekilde geliştirilmiştir. Bu sebeple yazılımın bakımı oldukça kolay, yeni özellik eklenme konusunda da önü son derece açıktır. Başka bir akademik çalışmada tasarlanan protokole yeni veri kısımları eklenerek, protokolün farklı senaryolar için istendiği gibi şekilde çalışması sağlanabilir. Ağ geçidi ve sensor kartı üzerinde genişleme yuvaları bulunmaktadır. Bu yuvalara farklı haberleşme yollarını destekleyen modüller ve sensörler takılarak, sadece yazılım



geliştirmek suretiyle mevcut sisteme yeni özellikler katılabilir veya yeni sistemler geliştirilebilir.

Tez kapsamında yapılan çalışma kapsamında, sistemde ilgili mesajların gönderimi TCP/IP protokolü üzerinden sağlanmıştır. Burada sunucu bilgisayardan bir terminal yazılımı ile AFSUAM protokolü formatında hazırlanan mesajlar gönderilmiştir. Böylece sistemin akışı sağlanmıştır.



Şekil 6.1: HERCULES Tcp Sunucu Terminal Ekranı

Kullanılan terminal yazılımı, çalıştığı bilgisayar üzerinde sunucu görevi görmektedir. Port kısmına yazılan port numarası, IoT Gateway'in bağlanması gereken port numarasını ifade etmektedir. Bilgisayar içinde bulunduğu kablosuz ağdan bir IP adresi edinmektedir. IoT Gateway'e bu IP adresinin ve Port numarasının tanımlanması sayesinde, IoT Gateway sunucu olan terminal yazılımına TCP İstemci bağlantısı kurmaktadır. Send kısmına yazılan protokol mesajının gönderilmesiyle, mesaj IoT Gateway'e ulaşmakta ve gateway üzerinden gerekli vagona mesaj iletilmektedir.

Kullanılan terminal yazılımı sistemin akışını sağlayabilmek amaçlıdır. Yapılan taşıma transfer sisteminde, bölge tespiti ve mesafe ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra vagonlar istasyonlar arasında hareket etmekte, Yarı Mamül ve Tam Mamül aktarımları yapılmaktadır. Yapılan aktarımlar sonucunda istasyonların doluluk ve boşluk durumları değişim göstermektedir. İşte bu mesafe, bölge ve istasyon bilgileri

kullanılarak gelecek çalışmalarda kapsamlı bir Grafik Tabanlı Kullanıcı Arayüzü yapılması fayda sağlayacaktır. Böylece vagonlara iletilen emir mesajları da bu arayüz üzerinden gönderilebilecek, hatta yapılan bilgisayar yazılımının dış birimlerle haberleşmesi sonucu, istasyon ve vagonlardan toplanan bilgilerin ışığında mesaj gönderim işlemleri otomatize edilebilecektir.

Son zamanlarda çeşitli akıllı fabrikaların fiziksel varlıkları dijital ikizler olarak inşa edilmeye başlandı. Endüstriyel tesislere yeni özellikler eklendikçe, yeni üretim hatları oluştuğunda ve mevcut üretim hatlarındaki proseslerin çeşitleri arttıkça, sistem karmaşıklığı artmaktadır. Bu sebeple sağlıklı kontrol ve analizin sağlanabilmesi için dijital ikizlerin oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Örneğin, sisteme yeni bir varlık veya süreç eklendiğinde, gerçek varlık veya süreç dijital ikiz olarak tanımlanırsa, önceden tanımlı varlıklar ile yeni varlık arasındaki aksiyonlar görsel olarak daha rahat gözlemlenebilir, bu varlıkların süreç içinde karşılaştığı başarı, hata veya duraksama durumları takip edilebilir.

Yapılan akademik çalışma kapsamında gerçekleştirilen projede, bulut ortamına bağlanabilen bir IoT Gateway bulunmaktadır. Ancak mevcut durumda ana hedef AFSUAM Model Fabrika üzerinde belirlenen senaryoların hizmete hazır hale getirilmesi olduğundan, dijital arayüz kısmında bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Tasarlanacak bir arayüz ile IoT Gateway'den elde edilen bilgiler görselleştirilebilir. Bu sayede AFSUAM Model Fabrika üzerindeki tüm aksiyonlar dijital ortamdan takip edilebilir. Sistemde transferi ve taşınması yapılan mermer blokların, transfer ve taşıma vagonlarının, istasyonların dijital ikizleri çıkarılarak, ürünlerin ve robotların hangi istasyonlarda buldukları gözlemlenebilir. Bunun yanı sıra, hedef istasyona ulaşmamış olan vagonların mevcut hareket durumları dijital ikizleri sayesinde canlı olarak takip edilebilir.

Yapılan akademik çalışma kapsamında gerçekleştirilen proje akıllı fabrikaların yapı taşı olan nesnelere interneti konseptini kapsamaktadır. Tasarlanan gömülü yazılım ve donanımların modüler olması, kullanılan protokolün ihtiyaca göre modifiye edilebilir olması, ağ geçidi üzerinden sunucu bağlantısı sağlanabilmesi gelecek çalışmalar için birçok fırsat oluşturmaktadır.

# Kaynaklar

- [1] S. Nizetic ve P. Solic, «Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a small and sustainable future,» *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [2] R. S. Kanitkorn Khanchuea, «A Multi-Protocol IoT Gateway and WiFi/BLE Sensor Nodes for Smart Home and Building Automation: Design and Implementation,» %1 içinde *10th International Conference of Information and Communication Technology for Embedded Systems (IC-ICTES)*, 2019.
- [3] I. Karabegović, E. Karabegovic, M. Mahmic ve E. Husak, «The Role of Smart Sensors in Production Processes and the Implementation of Industry 4.0,» *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES*, cilt Issue 2, no. Volume 6, 2019.
- [4] S. Rao ve R. Prasad, «Impact of 5G Technologies on Industry 4.0,» *Wireless Pers Commun*, no. 100, pp. 145-159, 2018.
- [5] S. Thiede, B. Sullivan, R. Damgrave ve E. Lutters, «Real-time locating systems (RTLS) in future factories: Technology review, morphology and application potentials,» %1 içinde *54 th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2021.
- [6] S. Thiede, B. Sullivan ve R. Damgrave, «Real-time locating systems (RTLS) in future factories: technology review, morphology and application potentials,» *Procedia CIRP*, cilt 104, pp. 671-676, 2021.
- [7] A. Rácz-Szabó, T. Ruppert ve L. Bántay, «Real-time locating system in production management,» *Sensors*, cilt 20, no. 23, 2020.

- [8] X. Ma ve T. Liu, «The Application of Wi-Fi RTLS in Automatic Warehouse Management System,» %1 içinde *International Conference on Automation and Logistics*, 2011.
- [9] T. R. Peabody, «RFID TECHNOLOGY SELECTION AND ECONOMIC JUSTIFICATION FOR HEALTHCARE ASSET TRACKING,» California Polytechnic State University, 2013.
- [10] D. Ni, O. A. Postolache, C. Mi, M. Zhong ve Y. Wang, «UWB Indoor Positioning Application Based on Kalman Filter and 3-D TOA Localization Algorithm,» %1 içinde *THE 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING*, 2019.
- [11] D. Ltd, «Qorvo,» 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.qorvo.com/products/d/da007967>. [Erişildi: Ekim 2022].
- [12] V. Djaja-Josko, J. Kolakowski ve J. Modelski, «TDOA Estimation Using a Pair of Synchronized DW1000 Based Anchor Nodes,» %1 içinde *22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON)*, 2018.
- [13] I. Dotlic, A. Connell, H. Ma ve J. Clancy, «Angle of Arrival Estimation Using Decawave DW1000 Integrated Circuits,» %1 içinde *14th Workshop on Positioning, Navigation and Communications (WPNC)*, 2017.
- [14] Halawa, Farouq & Dauod, Husam & Lee, In Gyu & Li, Yinglei & Yoon, Sang Won & Chung ve Sung., «Introduction of a Real Time Location System to Enhance the Warehouse Safety and Operational Efficiency,» *International Journal of Production Economics*, 2019.

- [15] T. Batori ve P. Tamas, «APPLICATION POSSIBILITIES OF RTLS SYSTEM IN PRODUCTION LOGISTICS,» *Journal of Production Engineering*, no. 24, 2021.
- [16] B. P. Sullivan, Poorya Ghafoorpoor Yazdi, Akshay Suresh ve Sebastian Thiede, «Digital Value Stream Mapping: Application of UWB Real Time Location Systems,» 2022.
- [17] S. Š. Brigita Gajšek, «RTLS POTENTIAL FOR CHANGES IN THE TOOLING INDUSTRY BUSINESS MODEL TOWARDS SMART FACTORY,» %1 içinde *21st international scientific conference Business Logistics in Modern Management*, 2021.
- [18] D. Grau, C. Caldas, C. Haas, P. Goodrum ve J. Gong, «Assessing the impact of materials tracking technologies on construction craft productivity,» %1 içinde *Autom. Constr.* 18, 2009.
- [19] W. Jang ve M. Skibniewski, «Embedded system for construction asset tracking combining radio and ultrasound signals,» %1 içinde *J. Comput. Civ. Eng.* 23, 2009.
- [20] M. Wolf, M. Rantschl ve E. Auberger, «Real Time Locating Systems for Human Centered Production Planning and Monitoring,» *IFAC-PapersOnLine*, cilt 2, no. 55, pp. 366-371, 2022.
- [21] W. Wang, Z. Zeng, W. Ding, H. Yu ve H. Rose, «Concept and Validation of a Large-scale Human-machine Safety System Based on Real-time UWB Indoor Localization,» %1 içinde *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2019.

- [22] J. Petzold, A. Pietzowski, F. Bagci, W. Trumler ve T. Ungerer, «Prediction of indoor movements using Bayesian networks,» %1 içinde *Location-and Context-Awareness*, Springer, 2005, pp. 211-222.
- [23] T. Nikhil, A. Reddy ve N. D. Ch, «Social Distance Alert System to Control Virus Spread using UWB RTLS in Corporate Environments,» %1 içinde *IEEE International Conference on Advent Trends in Multidisciplinary Research and Innovation (ICATMRI)*, 2020.
- [24] C. T. Nguyen, Y. M. Saputra, S. Chatzinotas ve B. Ottersten, «A Comprehensive Survey of Enabling and Emerging Technologies for Social Distancing—Part I: Fundamentals and Enabling Technologies,» *IEEE Access*, cilt 8, pp. 153479-153507, 2020.
- [25] L. ZAMORA ve I. VELEZ, «UWB-Based Safety System for Autonomous Guided Vehicles Without Hardware on the Infrastructure,» ICT Division of CEIT, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), 20018 San Sebastian, Spain, 2017.
- [26] M. & B. Delamare, Rémi & Savatier ve Xavier & Iriart, «Static and Dynamic Evaluation of an UWB Localization System for Industrial Applications,» 2020.
- [27] Y. Huang, A. Hammad ve Z. Zhu, «Providing Proximity Safety Alerts to Workers on Construction Sites Using Bluetooth Low Energy RTLS,» %1 içinde *Proceedings of the Creative Construction e-Conference*, 2020.
- [28] J. Slovák, P. Kurčová, J. Vachálek ve I. Fiřka, «Navigation of the mobile robots using the RTLS technology implemented in the ROS,» %1 içinde *Cybernetics & Informatics (K&I)*, 2020.

- [29] G. Beniwal ve A. Singhrova, «A systematic literature review on IoT gateways,» *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2021.
- [30] T. L. Olsen ve B. Tomlin, «Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management,» %1 içinde *Manufacturing & Service Operations Management* 22, 2019.
- [31] H. I. AL-Salman, ve M. H. Salih, «A review Cyber of Industry 4.0 (Cyber-Physical Systems(CPS), the Internet of Things (IoT) and the Internet of Services (IoS)): Components, and Security Challenges.,» %1 içinde *2nd International Conference on Advance & Scientific Innovation*, 2019.
- [32] S. GRABOWSKA, «SMART FACTORIES IN THE AGE OF INDUSTRY 4.0,» *Management Systems in Production Engineering*, cilt 2, no. 28, pp. 90-96, 2020.
- [33] Z. Shi, Y. Xie, W. Xue, Y. Chen, L. Fu ve X. Xu, «Smart factory in Industry 4.0,» *Systems Research and Behavioral Science, Wiley Blackwell*, cilt 4, no. 37, pp. 607-617, 2020.
- [34] M. & P. Hermann, Tobias & Otto ve Boris, «Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.,» 2015.
- [35] E. Lee, «Cyber Physical Systems: Design Challenges,» %1 içinde *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 2008.
- [36] D. Giusto, A. Iera, G. Morabito ve L. Atzori, *The Internet of Things*, 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications, 2010.

- [37] Lucke, Dominik & Constantinescu,, Carmen & Westkämper ve Engelbert, «Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing,» 2008.
- [38] A. Gilchrist, Introducing Industry 4.0. In: Industry 4.0, Berkeley, CA.: Apres, 2016.
- [39] G. C. Priyanka Gaba, «Child Safety System using RTLS,» *International Journal of Recent Research Aspects*, cilt 1, no. 5, pp. 147-151, 2018.
- [40] Z. Fang, S. Cui, Q. Su ve S. Wang, «An Implementation and Optimization Method of RTLS Based on UWB for Underground Mine,» %1 içinde *2021 IEEE 20th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, 2021.
- [41] J. Moreau, S. Ambellouis ve Y. Ruichek, «Fisheye-Based Method for GPS Localization Improvement in Unknown Semi-Obstructed Areas,» 2017.
- [42] Yu, Han-Yen & Chen, Jiann-Jone & Hsiang ve Tien-Ruey, «Design and Implementation of a Real-Time Object Location System Based on Passive RFID Tags,» *IEEE Sensors Journal*, Cilt %1 / %21-1, no. 15, 2015.
- [43] M. Lu, W. Chen, X. Shen, H.-C. Lam ve J. Liu, «Positioning and tracking construction vehicles in highly dense urban areas and building construction sites.,» *Automation in Construction*, 2007.
- [44] N. Pradhananga ve J. Teizer, «Automatic spatio-temporal analysis of construction site,» *Autom. Constr.*, 2013.



- [45] M. Saeki ve M. Hori, «Development of an accurate positioning system using low-cost L1 GPS receivers, *Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 21,» 2006.
- [46] J. Willems, *Indoor Real-Time Locating System (RTLS) based on Bluetooth Low Energy (BLE)*, Zurich, Switzerland: University of Zurich, 2021.
- [47] L. Barbieri, M. Brambilla, A. Trabattoni, S. Mervic ve M. Nicoli, «UWB Localization in a Smart Factory: Augmentation Methods and Experimental Assessment,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, no. 70, pp. 1-18, 2021.
- [48] S. Ingram, D. Harmer ve M. Quinlan, «Ultra wideband indoor positioning systems and their use in emergencies,» içinde *osition Location and Navigation Symposium, PLANS 2004IEEE 2004*, 2004.
- [49] J. Kolakowski, V. Djaja-Josko, M. Kolakowski ve K. Broczek.
- [50] S. Kumar, S. Dalal ve V. Dixit, «THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS,» *International Journal of Computer Science and Information Technology Research*, cilt 3, no. 2, pp. 461-466, 2014.
- [51] P. N. Advisor, «Understanding The OSI 7-Layer Model,» 2000.
- [52] L. Parziale, D. T. Britt ve C. Davis, «TCP/IP Tutorial and Technical Overview,» IBM, 2006.

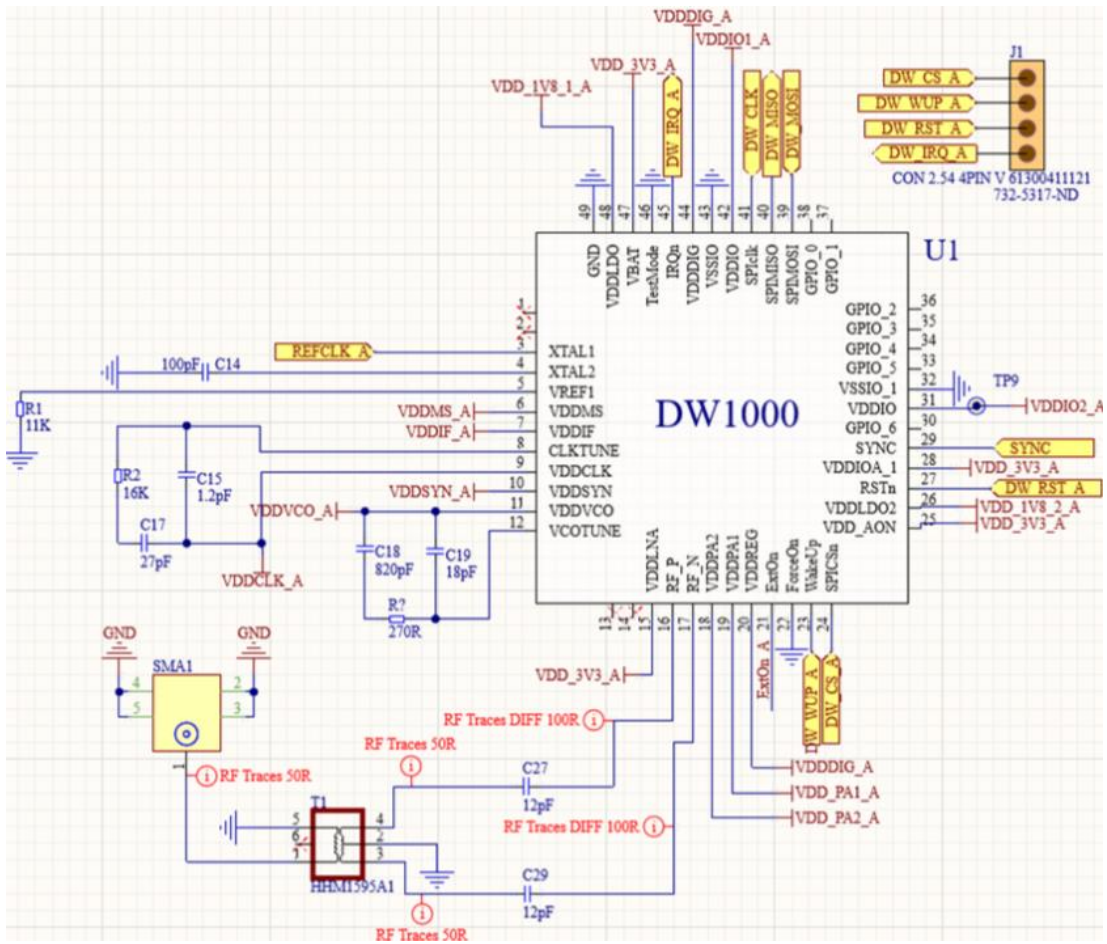
- [53] Techtarget, «Techtarget,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/TCP-IP>. [Erişildi: 2022].
- [54] GeeksForGeeks, «GeeksForGeeks,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/tcp-ip-model/>. [Erişildi: 11 2022].
- [55] O'Reilly, «O'Reilly,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.oreilly.com/library/view/windows-nt-tcpip/1565923774/ch01s04.html#:~:text=The%20Network%20Access%20Layer%20is,to%20transmit%20an%20IP%20datagram..> [Erişildi: 11 2022].
- [56] LinuxHint, «LinuxHint,» [Çevrimiçi]. Available: <https://linuxhint.com/tcp-ip-layers-and-functions/>.
- [57] E. Al-Masri, K. R. Kalyanam, J. Batts, J. Kim ve S. Singh, «Investigating Messaging Protocols for the Internet of Things (IoT),» 2020.
- [58] C. H. Chuan, «NTU,» [Çevrimiçi]. Available: [https://www3.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/webprogramming/http\\_basics.html](https://www3.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/webprogramming/http_basics.html). [Erişildi: 11 2022].
- [59] R. Atmoko, R. Riantini ve M. K. Hasin, «IoT real time data acquisition using MQTT protocol,» %1 içinde *Journal of Physics*.
- [60] Y. Lu, «Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research,» *Journal of Industrial Information Integration*, pp. 1-10, 17 4 2017.

- [61] GeeksForGeeks, «GeeksForGeeks,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/user-datagram-protocol-udp/>. [Erişildi: 11 2022].
- [62] N. Naik, «Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP,» 2017.
- [63] M. A. Al-Khedher, «Hybrid GPS-GSM Localization of Automobile Tracking System,» *International Journal of Computer Science & Information Technology*, cilt 3, no. 6, 2011.
- [64] Qorvo, «DW1000 Application Note 006,» Qorvo, 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.qorvo.com/products/d/da008440>.

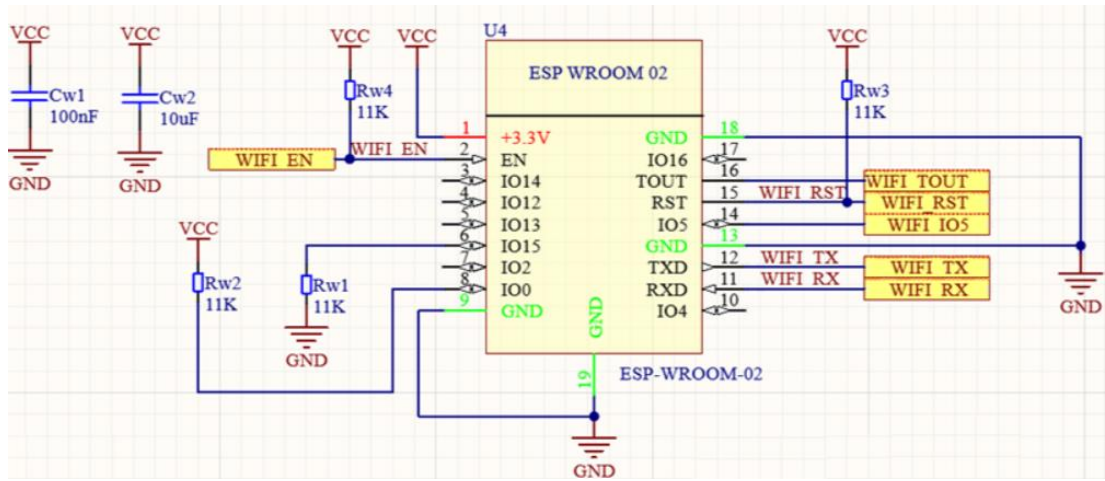
Ekler

Ek A

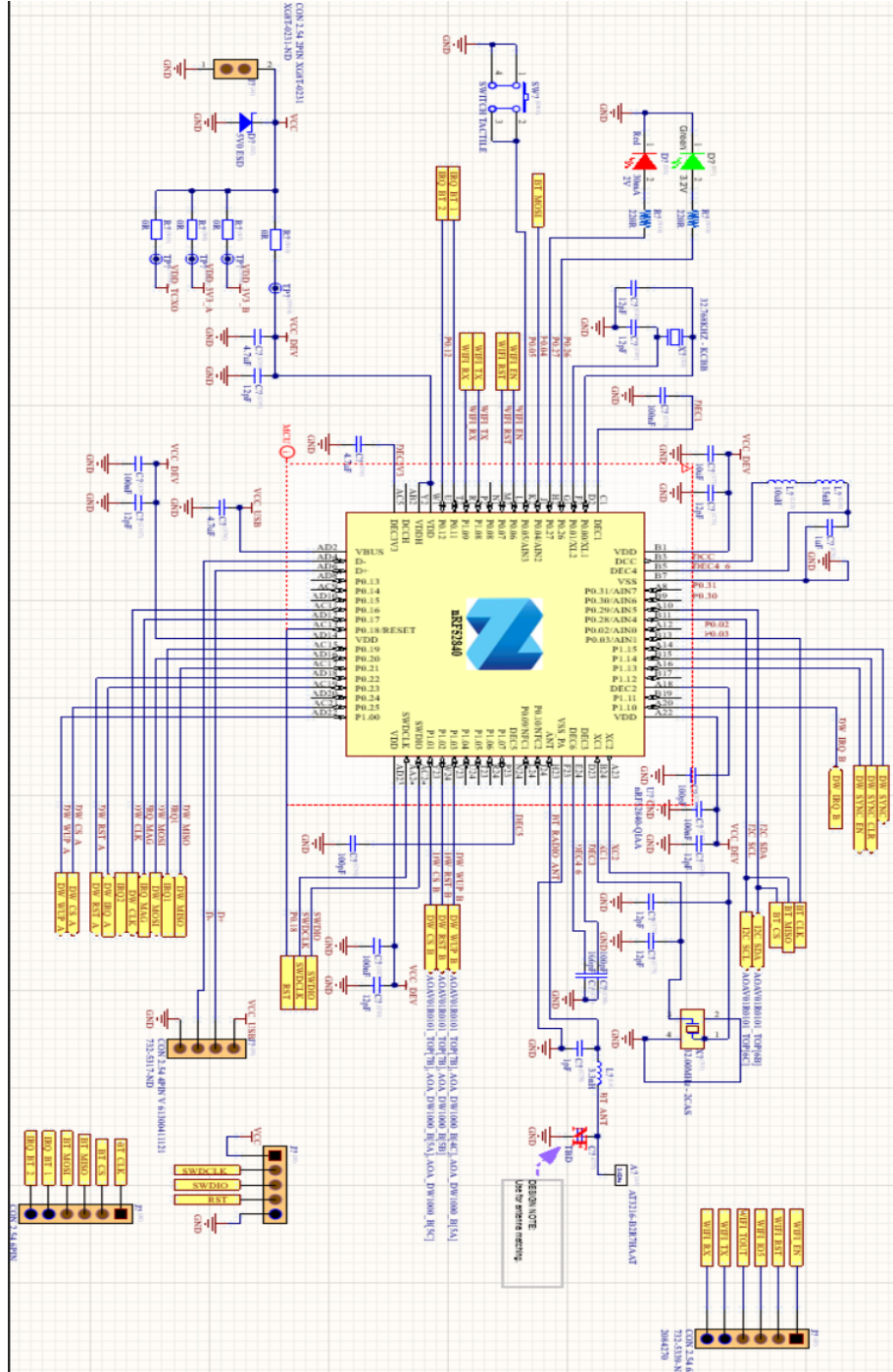
# IoT Gateway UWB Haberleşme Bloğu Kavramsal Şeması



# IoT Gateway Wi-Fi Haberleşme Bloğu Kavramsal Şeması

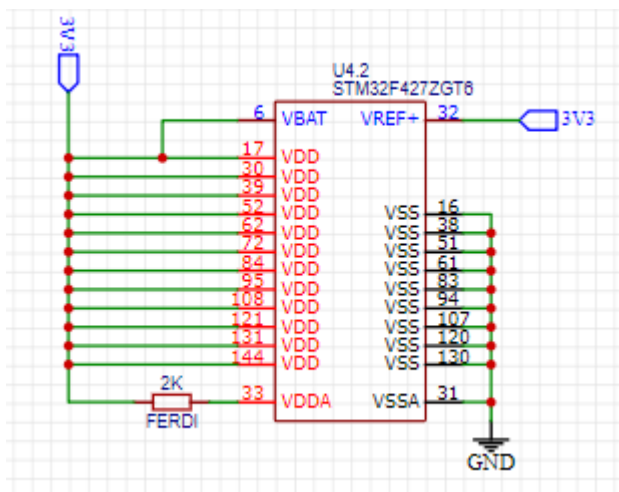
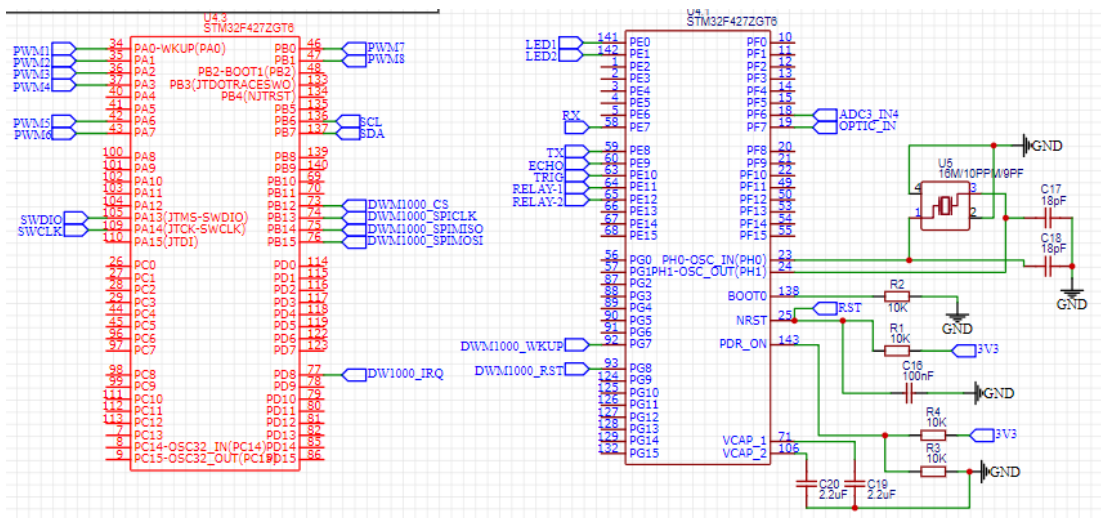


# IoT Gateway Mikrodenetleyici Bloğu Kavramsal Şeması



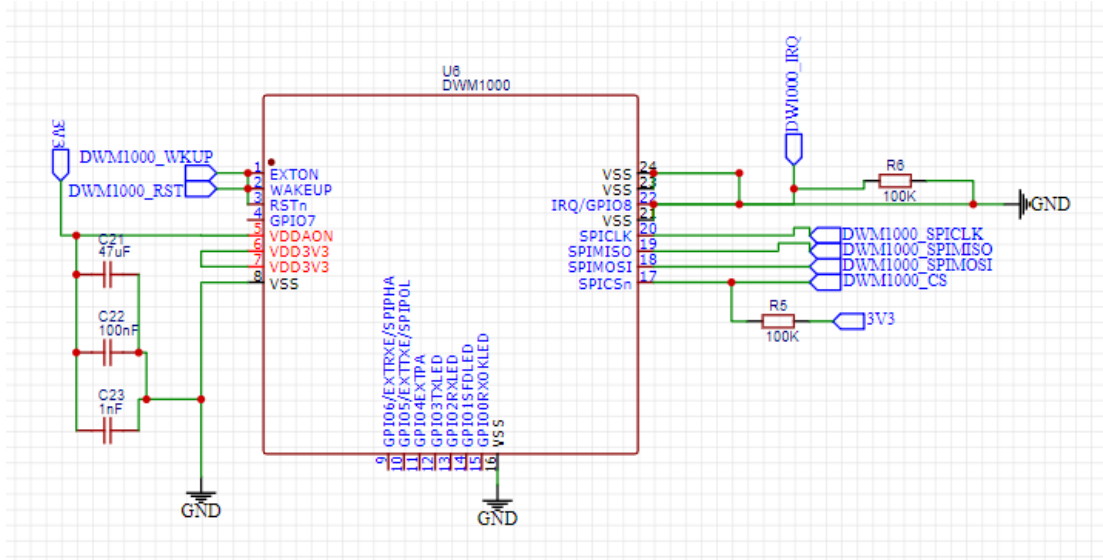
# Ek B

## AFSUAM Akıllı Sensör Kartı Mikrodenetleyici Bloğu Kavramsal Şeması

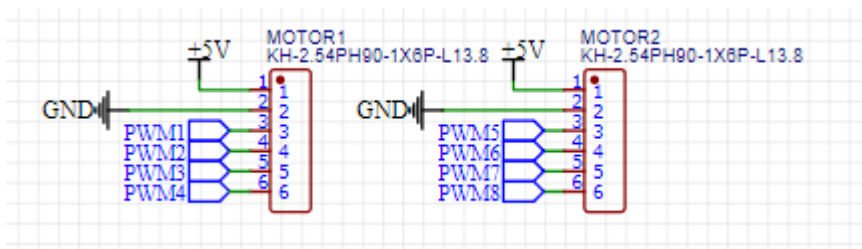




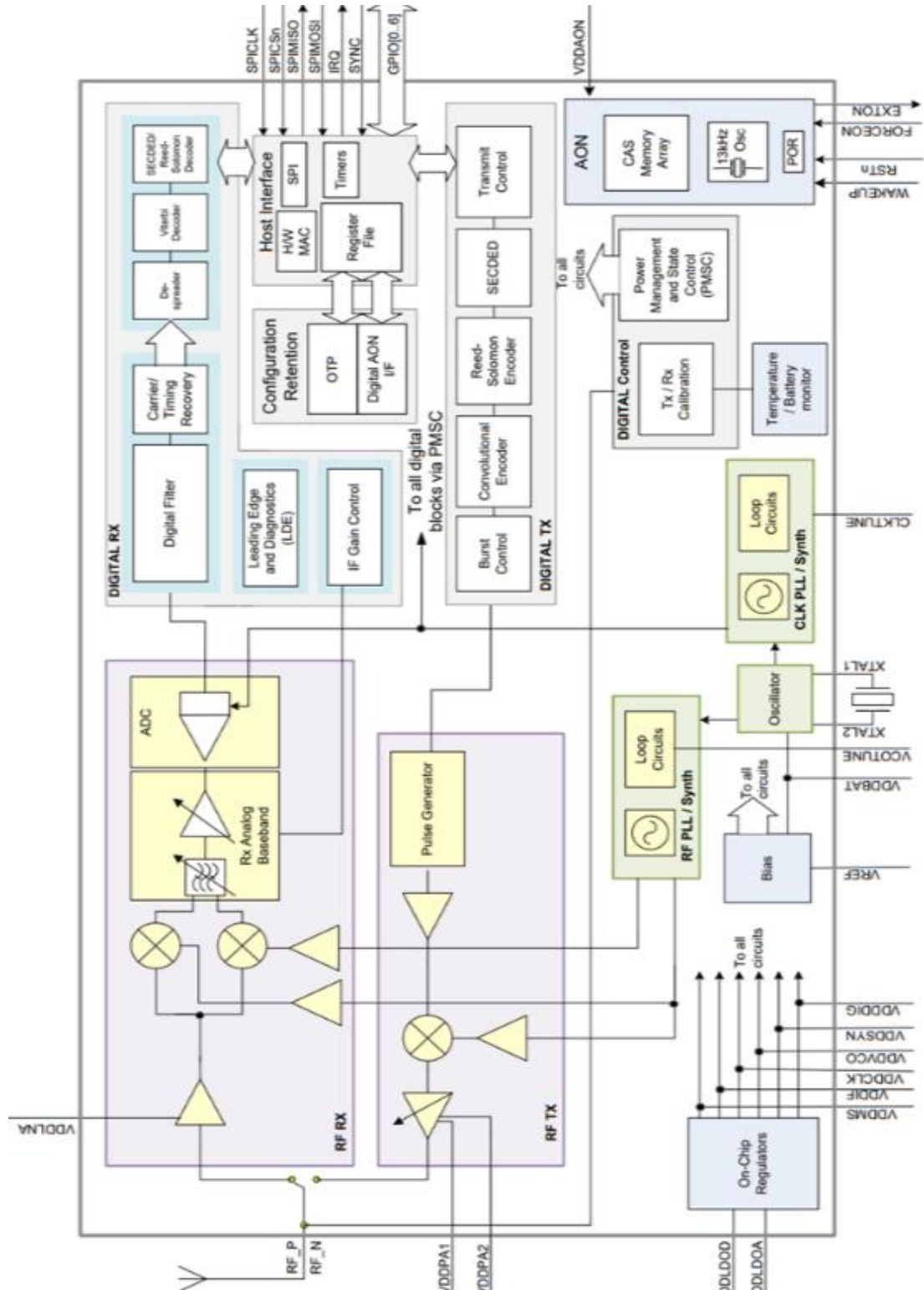
# AFSUAM Akıllı Sensör Kartı DWM1000 Modülü Bağlantı Şeması



# AFSUAM Akıllı Sensör Kartı Motor Sürücü Bağlantı Noktaları



# Ek C DW1000 Entegre Devresi Yapısal Blok Diyagramı



# Özgeçmiş

Adı Soyadı: Çağatay KAYNAK

## Eğitim:

2019–2023 Yüksek Lisans:

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh.(Yüksek Lisans)

2014–2015 Lisans :

Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Tamamlama)

2008–2012 Lisans :

Marmara Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Öğretmenliği (İngilizce)

## İş Deneyimi:

2020 – 2023 Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş – Kıdemli Gömülü Yazılım Müh.

2019 –2020 Ericsson Araştırma Geliştirme A.Ş – Kıdemli Yazılım Mühendisi

2017 – 2019 Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş – Gömülü Yazılım Mühendisi

2012 –2017 Manisa Org. San. Bölgesi Teknik Lisesi – Elektronik Öğretmeni

2011 – 2012 Dijikom Komünikasyon Ltd. Şti. – Teknik Destek Mühendisi

## Yayınlar :

1. Akıllı Fabrikalara Yönelik UWB Tabanlı Çarpışma Önleme Sistemlerinde Ölçüm Performansını Arttırma Amaçlı Gömülü Sistemlerde Gerçek Zamanlı Çalışmaya Uygun Yeni Bir Algoritma Tasarımı (1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences - 2022)
2. Gerçek Zamanlı Konumlandırma Teknolojilerinin Evrimsel Gelişimi ile Hassasiyetin Arttırılması (UYMS 2019 Turkish National Software Engineering Symposium)