



Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Hüseyin ÖZDİL

ORCID 0009-0003-5523-9449

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan Kaya

Nisan 2023

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Hüseyin Özdil** tarafından hazırlanan **Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı** 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. Adnan Kaya**
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 Çetin
Ege Üniversitesi

Savunma Tarihi: 25.04.2023

Yazarlık Beyanı

Ben, **Hüseyin Özdil**, başlığı **Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı** olan bu tezin 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 Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı

Öz

Akıllı fabrikalar, otomasyon ve verimlilik açısından büyük bir potansiyele sahiptirler. Ancak bu fabrikaların başarısı üretim süreçlerinin izlenmesi, yönetilmesi ve optimize edilmesi için doğru bilgilere dayanır. Bu nedenle, gerçek zamanlı konumlama sistemleri (RTLS), akıllı fabrikaların ihtiyaç duyduğu doğru verileri toplamak ve analiz etmek için önemli bir rol oynarlar. Konumlama sistemleri, fabrikadaki çalışan, ekipman, araçlar ve malzemeler gibi varlıkların konumlarını ve hareketlerini takip edebilirler. Bu veriler, üretim süreçlerinin analiz edilmesi, işgücü verimliliğinin artırılması, iş sağlığının artırılması ve üretim hatalarının azaltılması için kullanılabilir. Konumlama sistemleri, bu bilgileri sağlamak için önemli bir araçtır ve akıllı fabrikaların verimliliğini artırmak için vazgeçilmez bir unsurdur. Bu makale, akıllı fabrikalar için gerçek zamanlı konumlama sistemi destekli nesnelerin interneti (IOT) ağ geçidinin donanım tasarımını ele almaktadır. Bu cihaz, sensörlerden gelen verileri toplar ve analiz eder, ardından bu verileri bulut tabanlı hizmetlerle paylaşır. Böylece, fabrika yöneticileri ve çalışanları, üretim süreçlerini daha iyi anlayabilir ve geliştirebilirler. Bu tez çalışmasında önerilen donanım tasarımının muadillerine göre fiziksel boyut ve maliyet açılarından avantaj sağlaması hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı fabrika, nesnelerin interneti (IOT), gerçek zamanlı konumlama sistemi (RTLS), ultra geniş band (UWB)

Hardware Design of Real Time Positioning System Supported IoT Gateway for Smart Factories

Abstract

Smart factories have great potential in terms of automation and efficiency. However the success of these factories depends on having the right information to monitor, manage and optimize production processes. Therefore, real-time positioning systems (RTLS) play an important role in collecting and analyzing the accurate data needed in smart factories. Positioning systems can track the positions and movements of assets such as workers, equipment, tools, and materials in the factory. These data can be used to analyze production processes, increase labor productivity, improve workplace health and reduce production errors. Positioning systems are an important tool for providing this information and an indispensable element for increasing the efficiency of smart factories. This thesis focuses on the hardware design of real-time positioning system powered internet of things (IOT) gateway for smart factories. This device collects and analyzes data from sensors, then shares this data with cloud-based services. Thus, factory managers and employees can better understand and improve their production processes. In this thesis, we aim that the proposed hardware design will provide advantages in terms of physical size and cost compared to its equivalents.

Keywords: Smart factory, internet of things (IOT), real time localization system (RTLS), ultra wide band (UWB)



Aileme . . .

Teşekkür

Bu çalışmanın tamamlanmasında tecrübelerini benimle paylaşmaktan hiçbir zaman kaçınmayan danışman hocam Prof. Dr. Adnan KAYA'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim hayatımdaki katkıları ve destekleri için sayın Doç. Dr. Merih PALANDÖKEN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Annem, babam, kız kardeşim ve eşim Gizem Gözde'ye her anımda yanımda olarak; bana sundukları destekleri ve beni cesaretlendirdikleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü katkı ve destekleri için Litum Bilgi Teknolojilerine, iş ve okul arkadaşım Çağatay KAYNAK'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje no: 2021-TYL-FEBE-0005 tarafından desteklenmiştir.

PCB ve şematik tasarımını açık kaynaklı olarak paylaşım sağlayan easyEDA'ya, mobil uygulama tasarımı için Android Studio'a gömülü yazılım geliştirme sürecinde

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	1
1.2 Literatür Araştırması İle İlgili Çalışmalar	2
1.3 Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları.....	7
1.4 Çalışmanın Katkıları, Özgün Değeri	9
Bölüm 2 Endüstri 4.0 Akıllı Üretim ve Akıllı Fabrikalar	10
2.1 Endüstri 4.0 Sanayi Devrimi	10
2.2 Endüstri 4.0'ın Endüstriyel Tesislerdeki Rolü	11
Bölüm 3 Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Uygulamaları için Teorik Arkaplan	13
3.1 Konumlama Metodu Yaklaşımları	16
3.1.1 Mobil Düğüm Tabanlı Konumlama	16
3.1.2 Referans Düğüm Tabanlı Konumlama.....	17
3.1.3 Hareket Ölçüm Birimi Tabanlı Konumlama Yaklaşımı.....	17
3.1.4 Yakınlık Tabanlı Algılama.....	17
3.2 Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Metodları.....	18
3.2.1 Zaman Tabanlı Konumlandırma Metodları	18
3.2.2 Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma Metodları	20
3.2.3 Yön Tabanlı Konumlandırma Metodları	21

3.3	Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemlerinde Donanımsal Birimler.....	22
3.4	Gerçek Zamanlı Konumlama Uygulamalarında Kullanılan Antenler.....	23
Bölüm 4 Materyal ve Metod		25
4.1	Kapalı Alan Gerçek Zamanlı Konum Takip Sistemi İhtiyaç Analizi.....	25
4.2	Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemi Tasarım Girdilerinin Oluşturulması.....	29
4.3	IOT Gateway Donanım Tasarımı	31
4.3.1	Güç Katmanı Tasarımı	31
4.3.2	Kontrol Katmanı Tasarımı.....	33
4.3.3	UWB Haberleşme Katmanı Tasarımı	34
4.3.4	WiFi Haberleşme Katmanı Tasarımı	38
4.3.5	Anten Seçimi ve Entegrasyonu.....	40
Bölüm 5 Sistem Entegrasyonu ve uçtan uca Testler		44
5.1	AFSUAM Akıllı Transfer Laboratuar Uygulaması.....	46
5.2	Bölge Tespit Çalışmaları	50
Bölüm 6 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar		53
Kaynaklar.....		54

Şekiller Listesi

Şekil 1.1. IOT Ağ Geçidi Referans Modeli [10].....	6
Şekil 1.2 IOT Mimarisinde Ağ Geçidinin Konumlandırılması [12].	7
Şekil 2.1. Endüstri Devrimleri ve Önemli Gelişmeler [4].	10
Şekil 2.2. Akıllı Fabrikaların Hiyerarşik Mimarisi [13].	12
Şekil 3.1. Kapalı Alan Konumlandırma Sistemlerinin Performanslarının Karşılaştırılması [17].....	14
Şekil 3.2. Doğrudan Alınan ve Yansıma ile Alınan Sinyaller [36].....	15
Şekil 3.3. Mobil Düğüm ve Referans Düğümlerin (a) Sistem İçerisinde Konumlandırılması, (b) sinyal akışlarının gösterilmesi [19].	16
Şekil 3.4. (a) DW1000 Geliş Fazları Farkı Uygulama Prensipleri (b) DW1000 Geliş Fazları Farkı Reel ve İmajiner Kısım Ölçümleri [30].....	20
Şekil 3.5. (a) Dairesel Monopol Anten Temel Geometrisi, (b) üretilmiş hali [40]....	24
Şekil 4.1 AFSUAM akıllı fabrika modelinde (a) RTLS sistem bileşenleri (b) gerekli donanımların yerleşimi.....	25
Şekil 4.2. Raylı Transfer Sistemi Taşıma ve Transfer Vagonları	26
Şekil 4.3. (a) Transfer Vagonu (b) Taşıma Vagonu.....	27
Şekil 4.4. AFSUAM Akıllı Transfer Sistemi Akış Diyagramı	28
Şekil 4.5 AFSUAM Raylı Akıllı Taşıma Sistemi Fabrika Modeli	30
Şekil 4.6 Ağ Geçidi Sistem Blok Diyagramı	31

Şekil 4.7 Güç Kontrol Devresi	32
Şekil 4.8. Nordic NRF52840 Sistem Blok Diyagramı [41].	33
Şekil 4.9. DW1000 Üst Seviye Blok Şeması [34].	34
Şekil 4.10. UWB Haberleşme Bloğu Devre Şeması	35
Şekil 4.11. Senkronizasyon Devresi Mantıksal Gösterimi.....	36
Şekil 4.12. NAND Mantıksal Kapısı Tedarikçi Bilgi Ekranı [43].	37
Şekil 4.13. D Tipi Flip Flop Tedarikçi Bilgi Ekranı [44].....	37
Şekil 4.14. WiFi Alıcı - Verici Modülü ESP-WROOM-02 a) Üstten Görünüm b) Alttan Görünüm	39
Şekil 4.15. WiFi Haberleşme Katmanı Elektronik Devre Şeması	39
Şekil 5.6. Eliptik Monopol Anten (a) üstten (b) alttan görünümü, T yarıklı Kare Monopol Anten (c) alttan (d) üstten görünüm, Elmas Yarıklı Dairesel Dizi Anten (e) üstten (f) alttan görünüm.....	40
Şekil 5.7. RF Performans Test Düzeneği	41
Şekil 5.8. (a) Eliptik Monopol Anten ve (b) T yarıklı Kare Monopol Anten Test Düzeneği	41
Şekil 5.9. Eliptik Monopol Anten ile Açık Tespit Test Verileri	42
Şekil 5.10. T Yarıklı Kare Monopol Anten ile Açık Tespit Test Verileri	42
Şekil 5.11. Elmas Yarıklı Dairesel Dizi Anten Açık Tespit Test Verileri	43
Şekil 4.17. UWB PDOA Dairesel Monopol Dizi Anten a) Üstten görünüm b) Alttan görünüm	Error! Bookmark not defined.
Şekil 4.18. (a) Mevcut Sistemde Kullanılan Ağ Geçidi ve (b) Yeni Tasarlanan Ağ Geçidi Fiziksel Boyutlarının Karşılaştırılması.....	Error! Bookmark not defined.

Şekil 5.1. AFSUAM Modeli Üzerinde Aktif Haberleşme Alanı ve Metal Yoğunluğu Az Olan Ortam	45
Şekil 5.2. Gerçek bir mermer fabrikasındaki taşıma / transfer vagonları ve istasyonlar	46
Şekil 5.3. Gerçek bir mermer fabrikasındaki depo alanları ve istasyonlar	47
Şekil 5.4. Gerçek bir mermer fabrikasında mamül transfer ve depolama süreç akışları	48
Şekil 5.5. AFSUAM Akıllı Fabrika Modelinin Laboratuvardaki Görüntüsü	49
Şekil 5.12. Laboratuvar Ortamında Mobil Etiketin Konum Tespiti Testlerinin Yapıldığı Bölgeler	50
Şekil 5.13. Eliptik Monopol Anten ile Bölge Tespit Test Verileri	51
Şekil 5.14. T Yarıkli Kare Monopol Anten ile Bölge Tespit Test Verileri.....	51
Şekil 5.15. Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten Bölge Tespit Test Verileri	52

Tablolar Listesi

Tablo 3.1. Ultra Geniş Bant Yama Antenlerin Karşılaştırılması.**Error! Bookmark not defined.**

Tablo 4.1. Proje Girdilerine Uygun WiFi Modüllerin Karşılaştırılması..... 38



Kısaltmalar Listesi

AFSUAM	Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
IoT	Nesnelerin interneti
UWB	Ultra Geniş Band
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PC	Kişisel Bilgisayar
LPWAN	Düşük Güç Geniş Alan Ağı
LoRa	Uzun Menzil
PDOA	Varış Fazları Farkı
TWR	İki Yönlü Ölçüm
BT	Bilgi Teknolojileri
AI	Yapay Zeka
WSN	Kablosuz Sensör Ağları
EIRP	İzotropik Etkin Güç
CPS	Siber-Fiziksel Sistem
CPPS	Siber-Fiziksel Üretim Sistemi
SNR	Sinyal-Gürültü Oranı
TDOA	Varış Zamanları Farkı
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
RTLS	Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi
TOF	Uçuş Zamanı
RSSI	Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
TOA	Varış Zamanı

RF	Radyo Frekansı
FP	İlk Yol İndeksi
SFD	Senkronizasyon Çerçevesi Sınırlayıcı
LOS	İki Nokta Arasında Görünürlük Analizi
SPI	Seri Çevre Birimi Arayüzü
I2C	Entegre Devreler Arası
UART	Evrensel Senkron ve Asenkron Alıcı Verici
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
DC	Doğru Akım
NTC	Negatif Sıcaklık Katsayısı
TTL	Transistör-Transistör Mantığı
CMOS	Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken
MAC	Medya Erişim Kontrolü
PWM	Darbe Genişliği Modülasyonu
SD	Güvenli Dijital Hafıza Kartı
RFID	Radyo Frekans Tanımlama
CPU	Merkezi İşlem Birimi
PCB	Baskılı Devre Kartı
CAD	Bilgisayar Destekli Grafik Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim

Semboller Listesi

μS	Mikro Saniye
dBi	Desibel İzotropik
dB	Desibel
dBW	Desibel milliwatt
Hz	Hertz
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

Bölüm 1

Giriş

Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti kavramları günümüz akıllı fabrika sistemleri için oldukça önem kazanmış ve bu önem her geçen gün hızlanarak artmaktadır. Bu kavramlar ile birlikte uzaktan izleme, uzaktan kontrol ve veri analizi gibi ihtiyaçlar karşılanarak üretim yetenekleri arttırılmaktadır [1]. Akıllı fabrikalar için gerekliliklerin yerine getirilebilmesi için nesnelerin birbirleri ile haberleşmesi büyük önem arz etmektedir, bu noktada Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IOT) kavramı büyük önem kazanmaktadır [2].

Çalışma kapsamında endüstri 4.0 altyapısını oluşturan bu teknolojiler model fabrika üzerinde uygulamayı sağlayacak olan Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı gerçekleştirilmiştir.

1.1 Motivasyon

Akıllı Fabrikalarda hareketli sistemlerin sayısındaki artış ile birlikte bu sistemlerin konumlarının gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışma kapsamında fabrika ortamlarında gerçek zamanlı konum takibi yapabilmek için gerekli donanımsal yapılar incelenmiş olup çeşitli senaryolar için optimum donanım tasarım yaklaşımları ile sistemin genel verimliliğinin arttırılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında Ultra Geniş Bant (Ultra Wide Band - UWB) frekansında haberleşen Radyo Frekans vericilerinden gönderilen sinyali yorumlayarak Wi-Fi kablosuz haberleşme modülü üzerinden verileri internet ortamına aktarabilen ağ geçidi donanımı ve anten tasarımının yapılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın tamamlanması sonucunda Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (AFSUAM) akıllı taşıma-transfer sistemi ile entegre olarak çalışabilen, kablosuz sensör birimlerinden ve UWB vericilerden alınan sinyallerin

yorumlanarak fabrika ortamında çalışan personel, iş makinesi, robot, mamül, yarımamül, hammadde gibi hareket etmesi olası tüm ünitelerin konumlarının merkezi bir sistem tarafından kontrol edilerek iş güvenliği ve sağlığı açısından katkı sağlanması ve verimliliğe olumlu anlamda katkı sağlanması beklenmektedir.

1.2 Literatür Araştırması İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde Endüstri 4.0 Akıllı Fabrikalar, kapalı alanlarda konumlama sistemleri ve Konumlandırma sistemlerinde kullanılan antenler hakkında literatür taramasında karşılaşılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Yang Lu yaptığı çalışmada, Sanayi devrimlerindeki gelişimlerden son dönemde oldukça büyük ilgi gören Endüstri 4.0 sanayi devrimi hakkında incelemeler yapmıştır. Literatürde konu hakkında çok sayıda çalışma olmasına karşın Endüstri 4.0 üzerine yapılan akademik çalışmaları kapsamlı ve sistematik bir şekilde inceleyen çalışmaya rastlamadığını eksiklik olarak görüp konu hakkında 88 makaleyi 5 araştırma kategorisine bölerek incelemiştir [3]. Ek olarak Endüstri 4.0 ekosisteminde birlikte çalışabilirlik üzerine öneriler sunmaktadır. Aynı zamanda Endüstri 4.0 için kullanılan teknolojiler ve uygulamalarından bahsetmiştir. Gelecek araştırmalara ışık tutmak amacı ile zorluklar ve eğilimler konusunda da tartışılmıştır. Aytaç Yıldız çalışmasında Endüstri 4.0 sanayi devrimine kadar olan sanayi devrimlerinden ve gelişim süreçlerinden bahsederek Endüstri 4.0'ın üretim tesislerinde getirdiği yenilikler ve sağladığı avantajlardan bahsetmiştir. Endüstri 4.0 ile doğrudan bağlantılı olan Akıllı Fabrika, Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IOT) ve Siber Fiziksel sistem kavramlarını açıklamıştır [4]. Ek olarak Almanya, Amerika, Çin ve Finlandiya gibi ülkelerin Endüstri 4.0 alanında stratejik ilerlemelerine ve yatırımlarına değinmiştir .

Keliang Zhou, Taigang Liu ve Lifeng Zhou yaptıkları çalışmada Endüstri 4.0 sanayi devriminin terminolojik gelişim süreçlerinden, Endüstri 4.0 stratejik yapısı ve bileşenlerinden bahsetmişlerdir. Çalışmanın devamında Siber Fiziksel Üretim Sistemi (Cyber-Physical Production Systems - CPPS), Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim Teknolojileri, Büyük Veri gibi Endüstri 4.0 Akıllı Üretim Sistemleri'ni oluşturan temel teknolojileri açıklamışlardır [5]. Endüstri 4.0 uygulamalarındaki zorluklarda çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Sonuç bölümünde Çin hükümetinin Endüstri 4.0 stratejisi hakkında tartışmalar ve öngörüler de yer almaktadır. Tava Lennon Olsen ve

Brian Tomlin yapmış oldukları çalışmada Endüstri 4.0'I oluşturan teknolojiler ile bu alandaki çalışmaların fırsatlarını ve zorluklarını incelemektedir. Söz edilen temel teknolojilerden bazıları eklenmeli üretim, nesnelerin interneti, blok zinciri, gelişmiş robotik ve yapay zekadır [1]. Morteza Ghobakhloo yapmış olduğu çalışmada Endüstri 4.0'ın ilkelerini, teknoloji trendlerini ve mimari tasarımını tanıtmaktadır. Çalışmada ayrıca sürdürülebilirlik, çevresel sorumluluk kapsamında karbon gazı emisyonunun azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi gibi konularda, Endüstri 4.0 paydaşlarına, liderlere ve sanayicilere faydalı olabilecek bilgiler sağlamıştır [5].

Sandro Nizetic, Petar Solic ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, IoT'nin temel amacının, farklı alanlardaki süreçleri basitleştirmek, sistemlerin daha verimli olmasını sağlamak ve yaşam kalitesini iyileştirmek olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada IOT teknolojilerinin çevresel etkileride incelenmiştir. IoT'nin endüstride kullanımı ile birlikte insan – makine ve makine – makine etkileşimi açısından verimliliğe olan olumlu etkilerden bahsedilmiştir. IoT'nin diğer alanlarda uygulanmasının da faydalarından bahsedilir, blok diyagramdan, teknik uygulama seviyesine kadar farklı IoT veri toplama uygulamalarından örnekler veriler [3]. Kanitkorn Khanchuea ve Rawat Siripokarpirom yaptıkları çalışmada, çok protokolü destekleyen ve akıllı ev/bina uygulamalarında kullanılmak üzere tasarladıkları nesnelerin interneti ağ geçidi hakkında bilgi vermişlerdir. 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 kullanılabilecek 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 tanımlanır. Uygun ağ topolojisinin sağlanabilmesi için gerekli teknolojik altyapıdan bahsedilir.

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 [6]. Sebastian Thiede, Brendan Sullivan, Roy Damgrave ve Eric Lutters, yaptıkları çalışmada endüstriyel nesnelerin interneti

uygulamaları için , fabrika içinde bulunan nesnelerin gerçek zamanlı konumlarının takip edilmesinin önemli olduğunu belirtmektedir. Gerçek zamanlı konumlama sistemlerini (Real Time Location Systems – RTLS) mobil verici ve sabit konumlu alıcıların oluşturduğu yapı açısından incelemişlerdir. Sabit alıcılar koordinatları bilinen noktalara yerleştirilir, mobil vericiler ise sabit alıcılarla haberleşir. Bu şekilde mobil vericinin konumu belirlenir. İhtiyaca göre mobil vericiler personel, forklift, makine takibi için kullanılabilir, lojistik süreçleri desteklemekte fayda sağlanabilir. Bir fabrika içinde hem firma içinden, hem de farklı paydaşlardan çeşitli kademelerdeki çalışan ve yöneticiler bulunabilmektedir. RTLS ile her kademedeki personelin anlık bölgesel durumları, çalışma ve mola bilgileri takip edilebilir. 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 kullanırlılığı oldukça düşük kalmaktadır. UWB ve Bluetooth birlikte incelendiğinde, Bluetooth doğruluk ve iletişim menzili açısından UWB'ye karşı olumsuz yönler içermektedir [7].

Yapılan araştırma sonucu DW1000 isimli entegre devrenin RTLS uygulamalarında çokça kullanıldığı görülmüştür. DW1000 entegre devresi TWR metodunda +/- 10 cm hassasiyetiyle mesafe ölçümü yapılabilmesini sağlamakta, çok yollu radio frekans bileşenlerinin bulunduğu ortamlarda iyi derecede direk yol bulunmasına ortam yaratır. İlgili entegre devrenin üretici dökümanları incelendiğinde, iki yönlü ölçüm metodunda hassasiyet sağlamanın en önemli sebebi 15.65 ps mertebesinde zaman damgası oluşturabilmesi olarak görülmüştür.

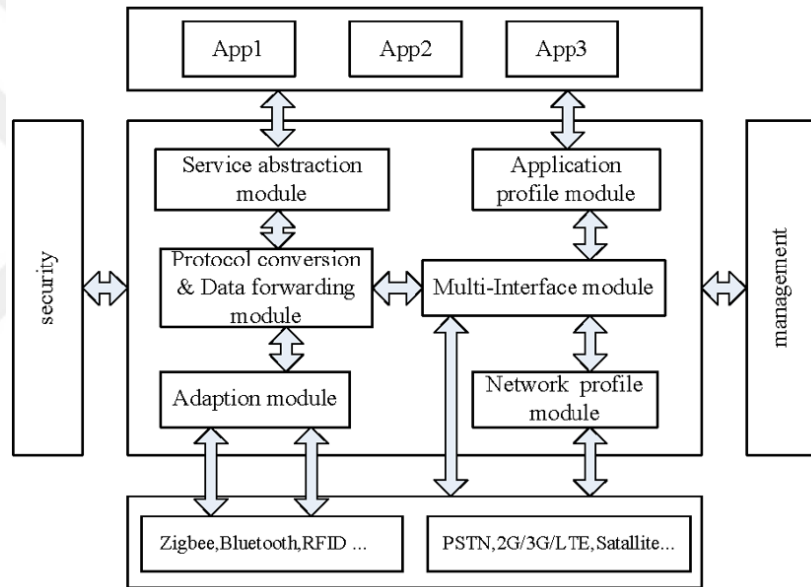
İlgili entegre devre farklı kanallarda radio frekans haberleşmesini destekleyerek, farklı sistemler arasında girişim riskinin oluşmasına engel olmakta, desteklediği frekanslar ile mikrodalga sinyalin engeller içerisinden geçmesine olanak sağlamaktadır. Haberleşme hızları incelendiğinde, yüksek hızlı haberleşme ile birim veri paketinin havada kısa sürede transfer edilebilmesine olanak sağladığı görülmüştür [8].

Igor Dotlic, Andrew Connell, Hang Ma, Jeff Clancy, Michael McLaughlin yaptıkları çalışmada DW1000 entegre devresi ile varış açısı bulma metodunu anlatmışlardır. Yapılan akademik çalışma içerisinde, DW1000 entegre devresi ile yapılabilen TWR, TDOA, PDOA metodlarından özetle bahsedilmiştir. DW1000 entegre devresi kullanılarak TDOA ve PDOA metodlarının kullanımı ile varış açısı hesabı yapılabildiği, en iyi yöntemin PDOA olduğundan söz edilmiştir. DW1000 entegre devresi LDE isimli algoritmaya sahiptir. Bu algoritma sayesinde alınan bir UWB sinyalinin ilk geliş yolunun genliği elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada 2 adet DW1000 entegre devresi kullanılmıştır. Mobil bir vericinin göndermiş olduğu sinyal 2 entegre devre tarafından eş zamanlı olarak alınır ve ilk geliş yolunun 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 oluşturulmalıdır. Bu uygulamanın yapılmasında en kritik noktalardan biri 2 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 [8]. Jehn-Ruey Jiang yapmış olduğu çalışmada siber-fiziksel sistemlerin Endüstri 4.0 akıllı Fabrikalara entegrasyonu için gerekli mimarilere değinmiştir. ISA95 , 3C, 5C gibi mimarilerden bahsettikten sonra 5C mimarisine 3C yönleri ekleyerek 8C mimarisini önermiştir. Bu mimarinin akıllı fabrika sistemleri oluşturmak için faydalı bir kılavuz olduğunu belirtmektedir. Jehn-Ruey Jiang önermiş olduğu 8C mimarisi temeli ile bir Endüstriyel Nesnelerin İnterneti ağ geçidi ve bulut ortamında çalışan bir akıllı fabrika veri merkezi dahil olmak üzere akıllı bir fabrika siber-fiziksel sistemi tasarlama ve geliştirmenin bir örneğini göstermiştir

Çalışmada CHMER tarafından üretilen WEDM akıllı fabrikası için 8C mimarisine dayalı bir Siber fiziksel sistem (Cyber Physical System CPS) tasarımı ve geliştirilmesi de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında RFID ve BLE teknolojilerini kullanan konumlandırma sisteminin kullanımı ile ürünlerin kapalı alan içerisinde konumlarının bilinmesi, doğru şekilde depolanması ve nakliye edilmesi sağlanmıştır. MQTT ve OPC UA gibi birçok protokol ve MES, PIMS, WMS, CMMS, SCM, ERP ve AR gibi

sistemler CPS'ye entegre edilmiştir veya entegre edilecektir. Akıllı fabrikalarda kullanılan CPS'lerde gizlilik, güvenlik ve saldırılara karşı dayanıklılık için CPS mimarisine 9. C nin yani gizliliğin eklenmesi planlanmıştır [9].

Hao Chen ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Personal Area Network – PAN, Vehicle Network ve Home Network olmak üzere IOT mimarisinde yer alan üç tipik ağ yapısını tanımlamışlardır. Algılama katmanı ile Ağ katmanını birbirlerine bağlayan önemli bir bileşen olan IOT ağ geçidinin genel özelliklerinden bahsetmişlerdir. Multiple Interfaces, Protocol Conversion ve Manageability olmak üzere üç temel özellik üzerinde durulmuştur. Çalışmanın sonunda IOT Gateway modeli için aşağıda gösterilen referans modelde paylaşılmıştır.

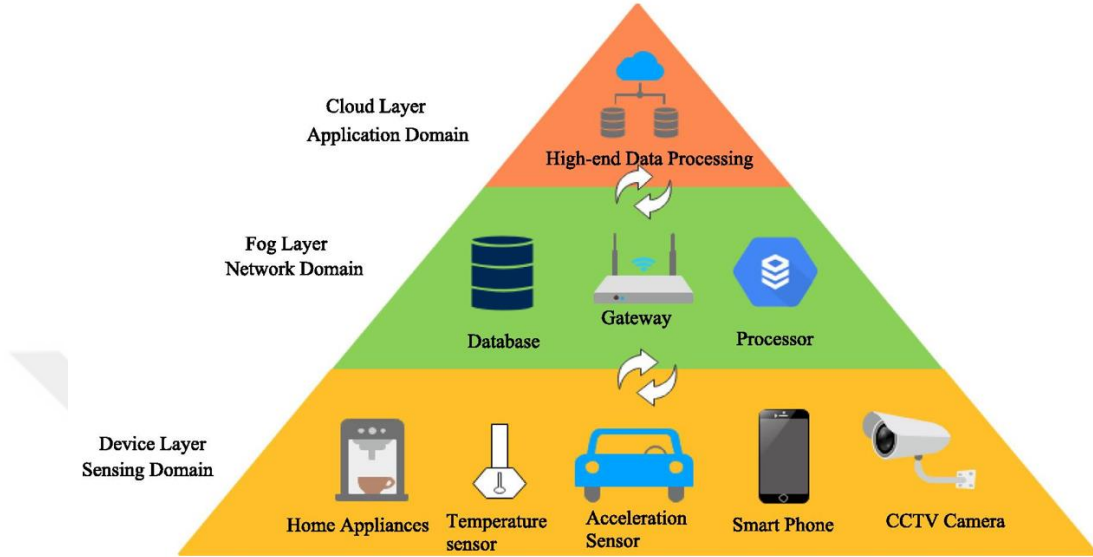


Şekil 1.1. IOT Ağ Geçidi Referans Modeli [10]

Referans modelde paylaşılan, hizmet soyutlama modülü, güvenlik modülü, yönetim modülü ve kablosuz iletişim modülü gibi önemli birimler açıklanmıştır. Algılama katmanı ve haberleşme katmanı arasındaki entegrasyonu çözmenin yolunun IOT Ağ geçidinden geçtiğini vurgulamışlardır [11].

Gunjan Beniwal ve Anita Singhrova Nesnelerin İnterneti Ağ Geçidi konusunda sistematik bir literatür taraması gerçekleştirmişlerdir. Ağ geçitlerini araştırdıkları sırada Nesnelerin İnterneti (IOT) ağ geçitlerinin işleyişini ve işlevlerini

detaylandırabilecek kapsamlı bir incelemeye ihtiyaç duymuşlardır. Çalışmalarında IOT ağ geçitleri hakkında inceleme yapmalarının ardından akıllı ağ geçitleri hakkında sistematik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında IOT mimarisinde ağ geçidinin konumlandırılmasını aşağıdaki görsel ile açıklamışlardır.



Şekil 1.2 IOT Mimarisinde Ağ Geçidinin Konumlandırılması [12].

Gunjan Beniwal ve Anita Singhrova Akıllı Ağ Geçitlerini pasif ağ geçitleri, yarı otomatik ağ geçitleri ve tam otomatik ağ geçitleri olmak üzere üç ana kategoride incelemişlerdir [12].

1.3 Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları

Endüstri 4.0 devrimi sonrasında üretim tesislerindeki veri toplama, uzaktan izleme, uzaktan kontrol, kablosuz haberleşme gibi ihtiyaçların hızla artması sonucunda sensör birimleri, kontrol birimleri ve ağ geçitleri gibi birçok donanım birimine duyulan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur. Artan donanım birimleri ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda doğru orantılı olarak donanım maliyetleri, kurulum maliyetleri, bakım – onarım maliyetleri, donanımların monte edileceği fiziksel alan kısıtları, sistemlerin karmaşıklaşması da hızla artmıştır. Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikaları oluşturan teknolojilerin avantajlarına karşın bu dezavantajların varlığı gözardı

edilemez. Bu çalışmada endüstri 4.0 akıllı fabrikalar ve bu fabrikalarda kullanılan güncel teknolojiler analiz edilmiş ve güncel teknolojilerin endüstri 4.0 akıllı fabrikalara entegrasyonu sırasında ortaya çıkan dezavantajlar ele alınmıştır. Çalışmanın hedeflerinden biri çalışmaya ait testlerin gerçekleştirildiği AFSUAM model fabrika ortamındaki ağ geçidi donanımının tasarım girdilerini incelemek, modele uygun teknoloji altyapılarını araştırmak ve karşılaştırmak, kapalı alanlarda gerçek zamanlı konum takip sistemini ağ geçidi donanımına entegre etmek ve bu ağ geçidi ile birlikte kullanılmak üzere uygun anten yapılarını incelemek ve geliştirmektir. Bu tez çalışmasına ait araştırma soruları aşağıda listelenmiştir;

- Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikalar için nesnelerin interneti tabanlı ağ geçidi donanımlarının sahip olması gereken teknoloji altyapıları ve sistem gereksinimleri nelerdir ?
- Akıllı fabrika ortamlarında kullanılan kapalı alanlarda gerçek zamanlı konum tespit yöntemleri nelerdir ve birbirlerine göre farkları nelerdir ?
- Kapalı alanlarda gerçek zamanlı konumlama sistemlerinde donanım ve kurulum maliyetlerini düşürmenin optimum yöntemleri nelerdir ?
- Akıllı fabrikalara yönelik IOT tabanlı ağ geçidi donanımlarına entegre olarak çalışan gerçek zamanlı konumlandırma sistemlerinde kullanılan kablosuz haberleşme Teknolojileri nelerdir birbirlerine göre avantajları – dezavantajları nelerdir ?
- Tez kapsamında sistem entegrasyonunun gerçekleştirildiği model fabrika için en verimli konumlandırma teknolojisi hangisidir ? Belirlenen teknoloji için kullanılacak olan radyo frekans katmanında kullanılabilecek uygun anten yapıları nelerdir ? Yapılan çalışmalar sonucunda akıllı fabrika modeli iş güvenliği, sistem verimliliği, maliyet, üretim hızı gibi farklı açılardan değerlendirildiğinde çalışma kapsamında geliştirilen sistemin sunduğu avantajlar nelerdir ?

1.4 Çalışmanın Katkıları, Özgün Değeri

Endüstri 4.0 devrimi ile hızla gelişen akıllı fabrikalarda iş verimliliğini arttırmak, iş sağlığı ve güvenliğini iyileştirmek için gerçek zamanlı konumlama sistemlerine duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak üzere üretim tesislerine çok sayıda donanım entegre edilmektedir. Bu çalışmada akıllı fabrikalar ile uyumlu çalışabilecek gerçek zamanlı konum takip özellikli Ultra Geniş Bant tabanlı ve AOA destekli IOT ağ geçidi donanım tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen ağ geçidi donanımı uygulamanın gerçekleştirileceği model fabrika üzerinde kullanılan AFSUAM sensör kartları ile UWB teknolojisi ile haberleşerek taşıyıcı vagonların konumlarını tespit edebilecek, sensör bilgilerini okuyabilecek ve UWB teknolojisi ile topladığı bilgileri WiFi teknolojisini kullanarak kablosuz olarak internet ortamına iletebilecektir. Tüm bu işlemler tek bir ağ geçidi ile gerçekleştirileceği için donanım maliyetleri ve kurulum maliyetleri minimize edilmiştir. Çalışma kapsamında uygulama testlerinin gerçekleştirildiği AFSUAM model fabrikasından yararlanılarak sektörde faaliyetleri bulunan doğal taş işleme fabrikası referans alınmıştır. Doğal taş sektörü ülkelerin dünya pazarında rekabeti açısından paylarını arttıracak önemli bir pazardır. Bu payların arttırılabilmesi için Endüstri 4.0 endüstri devrimi ile gelişmeye başlayan teknolojilerin işletmelere entegrasyonu ve bu teknolojilerin yakından takip edilmesi oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında örnek bir mermer işleme fabrikasını Endüstri 4.0 uyumlu hale getirmek için gerekliliklerden biri olan kablosuz ağ geçidi tasarımı gerçekleştirilmiş ve model fabrikaya entegre edilmiştir. Bu sayede iş güvenliği ve iş verimliliği açısından fabrikaya fayda sağlayacak olan sistem tasarımı başarılı bir şekilde model fabrika üzerinde simüle edilmiştir. Sonuç olarak çalışma kapsamında geliştirilen UWB tabanlı kablosuz ağ geçidi donanımı farklı sektörlerde gelecekte, iş güvenliği, verimlilik, uzaktan takip ve uzaktan kontrol konularında katkı sağlayacaktır.

Bölüm 2

Endüstri 4.0 Akıllı Üretim ve Akıllı Fabrikalar

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 Sanayi Devrimi

Hızlı gelişen teknolojik altyapı ile birlikte sanayi devrimlerindeki ilerleme her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Sanayi devrimlerini yakın takip ederek üretim faaliyetlerini bu gelişmelere uyarlama kabiliyetlerine bağlı olarak ülkeler ekonomik anlamda etkileri büyük oranda hissetmişlerdir [6]. Tarihte gerçekleşen 4 endüstri devrimi ve teknolojik gelişmeler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [4].



Şekil 2.1. Endüstri Devrimleri ve Önemli Gelişmeler [4].

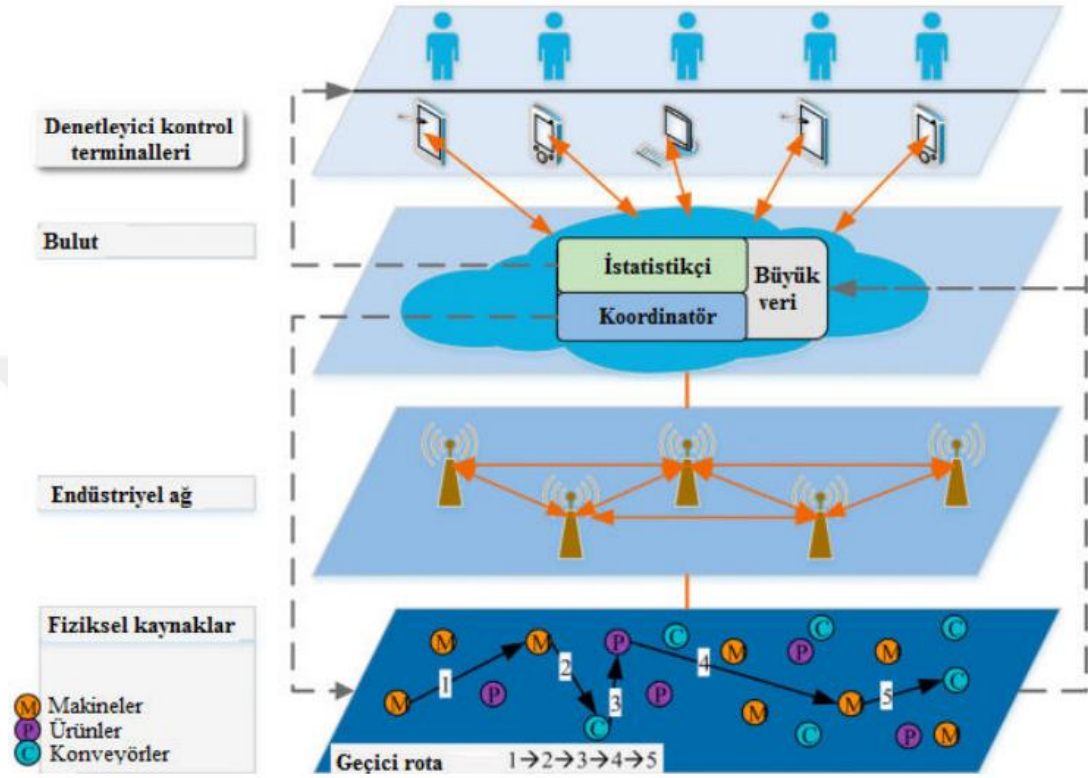
Tarihte gerçekleşmiş sanayi devrimlerini ve gelişmeleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

1. Sanayi Devrimi 1.0; Buhar gücünün James Watt tarafından hareket enerjisine dönüştürölmesi ilk sanayi devriminin başlangıcı olarak kabul edilir ve bilinir [2], [11].
2. Sanayi Devrimi 2.0; Montaj hattından çıkan ilk otomobili üreten Henry Ford ikinci sanayi devriminin başlangıcını tetiklemiştir [9]. Model T isimli araç montaj hattından çıkan ilk otomobildi ve üretim maliyetleri açısından büyük katkı sağlayacak bir girişim olma niteliğini kazanmıştı.
3. Endüstri Devrimi 3.0; Bu dönemin başlangıcı ile birlikte işgücünün sahip olduğı önem bilgisayar sistemlerinin sahip olduğı öneme göre arka planda kalmıştır. Bilgisayar sistemlerinin arayüz olarak kullanıldığı makineler ile etkileşimin büyük oranda önem kazandığı yeni bir çağ başlamıştır [6].
4. Endüstri Devrimi 4.0; Fiziksel sistemlerin internet ortamı ile etkileşiminin büyük oranda önem kazandığı Siber–Fiziksel Sistemler üretim tesislerinin güncel teknolojik altyapılara entegre olabilmesi için büyük önem taşıır [11]. Bu teknoloji sayesinde insan ve makine arasındaki iletişim gelişmiş ve birçok verinin uzaktan izlenebilmesi ve nesnelerin uzaktan kontrol edilebilmesi sağlanmıştır.

2.2 Endüstri 4.0'ın Endüstriyel Tesislerdeki Rolü

Endüstri 4.0 kavramı temelde üretim tesislerindeki tüm işleyişi ve verileri dijital ortamda toplayıp işleyerek verileri ilgili birimlere aktarmayı ve dijital ortamda gerçekleşen senaryoyu fiziksel nesnelere aktararak tüm dijital ortam ile fiziksel dünyayı birbirine bağlamayı hedeflemektedir [1], [11], [9]. Bu doğrultuda üretim tesisinde fiziksel anlamda yer alan bir çok farklı bilgi takip edilebilir yorumlanabilir ve uzaktan kontrol edilebilir olmaktadır [9]. Akıllı fabrika genel olarak üç kısımdan oluşturan bir mühendislik disiplindir. 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. Akıllı fabrika, çift kapalı çevrimli bir sistem olarak görülebilir. Bir döngü fiziksel kaynaklardan ve buluttan oluşurken, diğer döngüler denetleyici kontrol terminallerinden ve buluttan oluşmaktadır



Şekil 2.2. Akıllı Fabrikaların Hiyerarşik Mimarisi [13].

Şekilde, fiziksel kaynak katmanı, endüstriyel ağ katmanı, bulut katmanı ve denetleyici kontrol terminal katmanı olmak üzere dört somut katmandan oluşan akıllı fabrika çerçevesini özetlenmektedir. Fiziksel kaynaklar, birbirleriyle iletişim kuran akıllı varlıklar olarak açıklanır. Entegre bilgi sistemi, fiziksel kaynak katmanından büyük miktarda veri toplayan ve denetleyici kontrol terminalleri aracılığıyla insanlarla etkileşime giren bulut sisteminde bulunur [13]. Böylece somut çerçeve, soyut bilgilerin serbestçe akması için ağ bağlantılı bir dünya sağlar. Bu aslında fiziksel nesnelerin ve bilgi varlıklarının birleştiği bir Siber Fiziksel Sistem (CPS)'i oluşturur. Endüstri 4.0 konseptinin akıllı fabrikalarda uygulanması sayesinde, üretim aşamaları esnetilebilir ve ihtiyaca göre uyarlanabilir. Yapay zeka sayesinde, bazı kararlar insan dehasına ihtiyaç olmadan yapılan analizlerle verilir. Sanal gerçeklik sayesinde, üretim süreçleri bilgisayar ortamında sanallaştırılır. [11].

Bölüm 3

Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Uygulamaları için Teorik Arkaplan

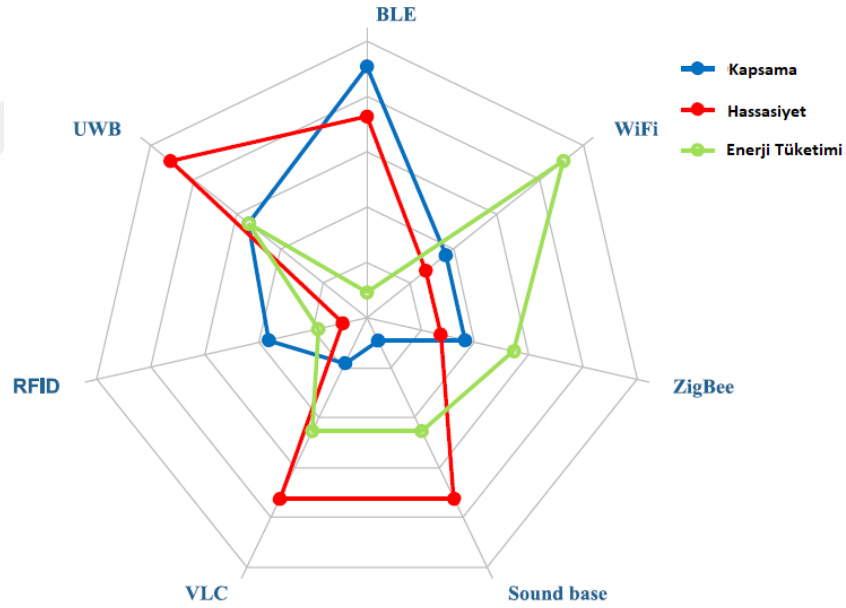
Günümüzde akıllı fabrikalarda insanların ve nesnelerin pozisyon bilgilerinin takip edilebilirliği hem iş sağlığı ve güvenliği açısından hemde verimlilik açısından oldukça önem kazanmıştır. Yaygın bir paradigma olarak Nesnelerin İnterneti (IoT), son yıllarda teknoloji endüstrisinin ve akademik araştırmanın ayrılmaz bir parçası haline geliyor [14], [15]. IOT insanları ve nesneleri birbirine bağlayan ve her yerde bulunan heterojen bir ağ oluşturur. Temelde sensörler aracılığıyla uzaktan akıllı yönetim ile ortamdan veri elde etmektedir [16]. IoT hizmet sağlayıcıları için zaman ve yer işlevsel parametrelerdir. IoT senaryolarının çoğu iç mekanlarda olduğundan ve GPS bunları tam olarak kapsamadığından, bir iç mekan konumlandırma sistemi (IPS) uygulamak gereklidir [17]. Kapalı alan gerçek zamanlı konumlandırma sistemleri, kapalı ortamlarda nesnelerin veya kişilerin konumlarını belirlemek için tasarlanmıştır. Bu sistemler, farklı teknolojileri kullanarak çalışabilirler. Endüstride IPS altyapısını sağlamak amacı ile yaygın olarak kullanılan başlıca teknolojiler aşağıda listelenmiştir.

- **RFID (Radyo Frekansı Tanımlama) Teknolojisi:** RFID, nesnelerin kimliklerini tanımlamak ve takip etmek için kullanılan bir teknolojidir. RFID etiketleri, bir RFID okuyucu tarafından taranarak, nesnelerin konumları belirlenebilir. Ancak, bu teknoloji yalnızca etiketlerin okunabileceği bir mesafede çalışır ve yüksek doğruluk sağlamak için birden fazla okuyucu gerektirir.
- **UWB (Ultra Geniş Bant) Teknolojisi:** UWB, yüksek doğruluklu kapalı alan konumlandırma için tasarlanmış bir teknolojidir. Geniş bir bant genişliği kullanarak, nesnelerin konumları hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. UWB, çoklu antenler ve zamanlama işlemleri kullanarak, nesnelerin konumunu doğru bir şekilde belirleyebilir.
- **BLE (Bluetooth Low Energy) Teknolojisi:** BLE, düşük güç tüketimi ve kolay kullanımı ile kapalı alan konumlandırma için idealdir. BLE, akıllı

telefonlar ve diğer mobil cihazlar ile etkileşim kurarak, nesnelerin konumlarını belirleyebilir. Ancak, BLE teknolojisi, yalnızca yakın mesafelerde doğru konumlandırma sağlar ve nesnelerin konumlarını gerçek zamanlı olarak izlemekte sınırlıdır.

- **Wi-Fi Teknolojisi:** Wi-Fi, kapalı alan konumlandırma için kullanılabilecek bir başka teknolojidir. Wi-Fi ağları, çok sayıda erişim noktası aracılığıyla kapsama alanı sağlar ve nesnelerin konumlarını belirlemek için sinyalleri analiz edebilir. Ancak, bu teknoloji, Wi-Fi ağının yoğunluğu ve sinyal gürültüsü gibi faktörler nedeniyle doğruluğu etkileyebilir.

Bu teknolojilerin her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır ve uygulamanın ihtiyaçlarına göre en uygun olan seçilmelidir. Aşağıdaki grafikte çeşitli teknolojilerin kapsama, hassasiyet ve enerji tüketimleri açısından karşılaştırılması görselleştirilmiştir [17].



Şekil 3.1. Kapalı Alan Konumlandırma Sistemlerinin Performanslarının Karşılaştırılması [17].

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi kapalı alanlarda konumlandırma uygulamaları için yüksek hassasiyet ihtiyacı olan senaryolar için UWB teknolojisinin tercih edilmesi avantaj sağlamaktadır.

Yayılma Analizi: Teorik olarak açıklanan durumlarda, verici ve alıcı arasındaki farklı çevresel koşullar dikkate alınmaz. Bununla birlikte, gerçek hayatta yayılmanın

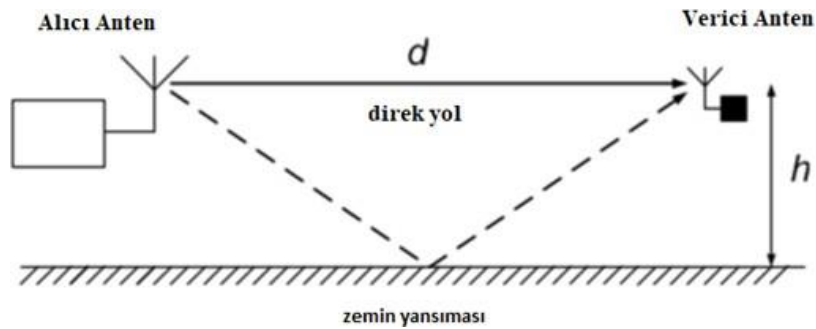
ilerlemesi çok farklıdır. Gerçek koşullarda, bir konumlama sisteminde verici antenden yayılan elektromanyetik dalga, alıcı antenin yanı sıra birçok başka nesne ile etkileşime girer [35]. Doğal olarak, antenin yaydığı elektromanyetik dalga, hedef antene olduğu gibi ulaşmaz. Gerçek hayatta yayılımı daha iyi anlamak için yol kaybı ve verici alıcı bağlantısı gibi konuları anlamak gerekir.

$$Pa = \frac{Pv * Ka * Kv * \lambda^2}{(4 * \pi * d)^2} \quad (3.1)$$

Yol Analizi: Yol kaybı, iki iletişim anteni arasındaki yayılma ortamına bağlı olan ve elektromanyetik dalganın uzayda zayıflamasını gösteren önemli bir parametredir. Kablosuz iletişim teknolojilerinde geniş bir araştırma alanıdır ve literatürde ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [35]. Çok sayıda tek yansıma ve görüş hattı içeren çok yollu bir durum için, verici ve alıcı antenleri arasındaki yol kaybı Denklem 3.2'de ifade edilmiştir.

$$Pr = \frac{Pt * Dr * Dt * \lambda^2}{(4 * \pi * d)^2} \quad (3.2)$$

Denklem 3.1'de doğrudan ışın yolu uzunluğunu, Γ_n ve dn yansıma katsayısını ve yansıyan ışın yolu uzunluğunu temsil eder, burada n toplam yansıma sayısıdır. Elektromanyetik olarak karmaşık bir ortamda, yol kaybı genellikle d - n ile orantılıdır. Boş uzayda 2 olan n değeri 1 ile 4 arasında değişebilir. Şekil 3.1, belirli bir h yüksekliğinde anten iletimlerinin klasik iki ışınlı zemin yansımasını göstermektedir [35].



Şekil 3.2. Doğrudan Alınan ve Yansıma ile Alınan Sinyaller [36].

Zemin yansımasının büyüklüğü ve fazı, gösterilen iki ışınlı zemin yansıması durumunda birçok parametreye bağlıdır. Dalga polarizasyonu, geliş açısı ve zemin

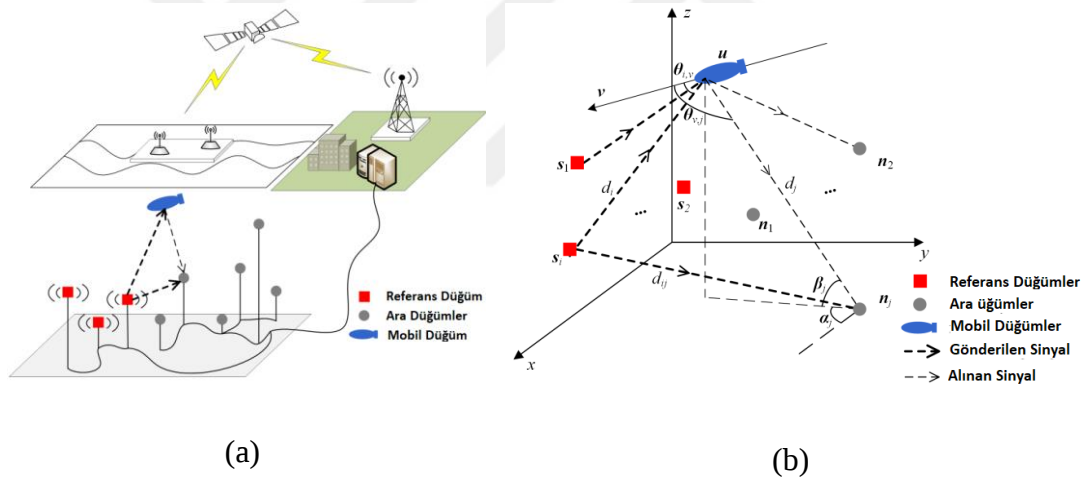
özellikleri bu parametrelerdir. Yerden yansımaların ideal olduğu ve antenin izotropik olduğu varsayılarak, 2 ışınlı zemin yansıma modeli için yol kaybı Denklem 3.2 [36] olarak ifade edilebilir:

3.1 Konumlama Metodu Yaklaşımları

Konumlama metotları, nesnelerin veya kişilerin konumlarını belirlemek için kullanılan farklı yaklaşımları ifade eder. Verilerin toplanma ve işleme şekillerine göre dört ana konumlama metodu bulunmaktadır [18].

3.1.1 Mobil Düğüm Tabanlı Konumlama

Bu topolojide mobil düğüm, çevresindeki referans düğümlere ilişkin konumunu elde eder. Navigasyon sistemleri genellikle bu yöntemi temel alır.



Şekil 3.3. Mobil Düğüm ve Referans Düğümlerin (a) Sistem İçerisinde Konumlandırılması, (b) sinyal akışlarının gösterilmesi [19].

Bu durumda mobil düğüm başlatıcıdır ve referans düğümlerden sinyalleri alır ve lokalizasyon sürecini yönetir [20]. Dezavantajları; mobil tarafta enerji, süreç ve depolama sınırlamaları. Ayrıca IoT kaynak kısıtlanmalı cihazlarda temel bir faktördür. Ancak konumlandırma ve analiz görevlerini yerel bir uca (Sis ve Cloudlet dahil) veya bulut sunucusuna aktarabilir. Ham verileri bir sis veya yerel sunucuya yükleyerek ve kullanıcının konumunu alarak mobil düğümlerin süreç kısıtlamalarının üstesinden gelebilir ve sistem verimliliğini önemli ölçüde artırabiliriz (enerji tasarrufu ve gecikme

azaltma). Mobil düğüm tabanlı yerleştirme sistemlerinin avantajı, tüm işlemlerin mobil düğüm tarafında olması, dolayısıyla referans düğümlerde trafik sıklığı ve sinyal girişimi olmamasıdır; bu, çok sayıda mobil nesnenin olduğu senaryolar için uygun bir seçenektir [20]. Akıllı telefonlar, yüksek kullanılabilirlik ve yeterli işleme kapasitesi ile bu topolojide en yaygın seçenektir.

3.1.2 Referans Düğüm Tabanlı Konumlama

Bu topoloji, kendileriyle ilgili bir mobil düğümün konumunu elde eden bir dizi referans düğümden oluşur. İzleme sistemleri, bu topolojide en yaygın kullanım durumlarıdır. Bu topolojide, referans düğümler başlatıcılardır [20]. Mobil düğümlerden gelen sinyalleri toplarlar, ardından bunları yerleştirme için bir sunucuya aktarırlar. Ana fayda, tüm işlemlerin ve depolamanın referans düğüm tarafında gerçekleşmesidir, bu nedenle işlem ve güç sınırlamaları yoktur. Ana sorun, veri alımında bir çakışmaya neden olabilecek, referans düğümlerde isteklerin tıkanmasıdır. Bu topoloji, sınırlı güce sahip bileklikler, rozetler, kartlar ve etiketler gibi giyilebilir cihazlar için uygundur.

3.1.3 Hareket Ölçüm Birimi Tabanlı Konumlama Yaklaşımı

Bu yöntemde, yerleştirme işlemi kullanıcının cihazında üç sensörle yapılır: 1) jiroskop; 2) manyetometre; ve 3) ivmeölçer. Jiroskoplar, yönelimleri sapma, yunuslama ve yuvarlanma olmak üzere üç parametreyle algılar. Manyetometre, pusulayı dünyanın manyetik alanına göre belirler ve ivmeölçer, x, y ve z olmak üzere üç ekseninde ivme kuvvetini ölçer. Bu sistem, hareketin geri kalanının buna bağlı olarak ölçülebilmesi için başlangıç değeri olarak bir başlangıç noktasına ihtiyaç duyar. IMU birikmiş hatalara açıktır ve bunları düzeltmek için bazı algoritmalara ihtiyaç duyar. Bu yaklaşım diğer bazı topolojileri tamamlayıcı olarak benimsenmiştir [21]. Sporcular gibi insanların hareketlerini ölçmek, davranışlarını analiz etmek için kullanılır [22].

3.1.4 Yakınlık Tabanlı Algılama

Yakınlık tabanlı sistemler, nesne ile PoI arasındaki mesafeyi tahmin eder. Bir nesne belirli bir çevreyi kapattığında, sistem onu algılar. Bu sistem ağırlıklı olarak insan tabanlı senaryolarda uygulanmaktadır. Yakınlık tabanlı hizmetler (PBS'ler), reklam,

alışveriş ve lojistik gibi bağlam farkındalığı hizmetleri için enerji açısından verimli, güvenilir ve uygun maliyetli çözümlerdir. Bu sistem izleme ve navigasyon uygulamaları için önerilmez. Nesnenin tam konumu gereksizse, bölge tabanlı kullanım durumları için kullanılacaktır [23]. Bluetooth, COVID-19.0 sosyal mesafe ölçümü gibi birçok durumda PBS'lerde baskın teknolojidir [24].

3.2 Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Metodları

Konumlandırma sisteminin ana sorunlarından biri, mobil düğümlerin referans düğümlere göre yaklaşık konumunu bulmaktır. Zamana, sinyal gücüne ve yayılan sinyallerin yönüne dayanan birçok algoritma önerilmiştir. Bu bölümdeki iki ana bileşen, sabit ve bilinen referans düğümler ve bilinmeyen konumlu mobil düğümlerdir. Bu teknikler zamana, sinyal gücüne ve yön açılarına göre sınıflandırılır [25].

3.2.1 Zaman Tabanlı Konumlandırma Metodları

Zaman tabanlı konumlandırma sistemlerinde yaygın olarak üç temel metod kullanılmaktadır, bu metodlar aşağıda açıklanmıştır;

Varış Zamanı Tabanlı Konumlandırma Metodu: Uçuş Süresi (ToF) olarak da bilinen ToA algoritması, verici ve alıcı arasındaki yayılma süresine dayalı olarak nesnenin konumunu hesaplar. Ardından, ölçülen mesafeler, nesnenin konumunu belirlemek için konumlandırma yöntemiyle kullanılır. Bu ana dezavantaj, verici ve alıcı arasında bir zaman senkronizasyon mekanizmasına duyulan ihtiyaçtır. Bazı durumlarda, zamanı senkronize etmek için paketler aracılığıyla bir zaman damgası gönderilir. Bant genişliği ve örnekleme oranları, sistemin doğruluğunu etkileyen temel faktörlerdir [26], [8]. Varış Zamanı Farkı: TDoA algoritması yalnızca bağlantı düğümlerindeki varış zamanı arasındaki farkın ölçülmesini gerektirir. ToA'dan farklı olarak, bu algoritma yalnızca çapalar arasında doğru senkronizasyona ihtiyaç duyar. Alıcının kesiştiği noktadaki tam yerini bulmak için en az üç RN gerekir. Sinyal bant genişliğinin ve örnekleme hızının rolü ToA ile aynıdır. Bu teknikte ankrajlar önceden tanımlanmış LoS konumlarında olmalıdır [27], [28].

Gidiş-dönüş uçuş süresi Tabanlı Konumlandırma Metodu: Varış Zamanı (RToA) veya iki yönlü aralık olarak da bilinen RTT, bir vericiden alıcıya bir sinyal aktarımını alıp geri dönen süreyi ölçer. Hassas zaman ölçümü (FTM) mesajları ve onayına verilen yanıtları yayınlar. Önceki iki yaklaşımın aksine, bu yöntem düğümler arasında zaman senkronizasyonuna ihtiyaç duymaz. Sadece hesaplama için kesin bir saate ihtiyaç duyar [29]. Literatür araştırması sonucu iki yönlü ölçüm metodu için DW1000 entegre devresinin kullanılması uygun bulunmuştur. İki adet DW1000 entegre devresi içeren düğüm ile TWR yöntemi aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır.

- Düğüm-1 üzerinden 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. $(T_{m2rx} - T_{m1rx})$ değeri sabit olmakta ve Düğüm-1 içerisinde tanımlıdır.
- İki düğüm arasındaki propogasyon süresi (Time of flight – ToF) şu şekilde hesaplanır.

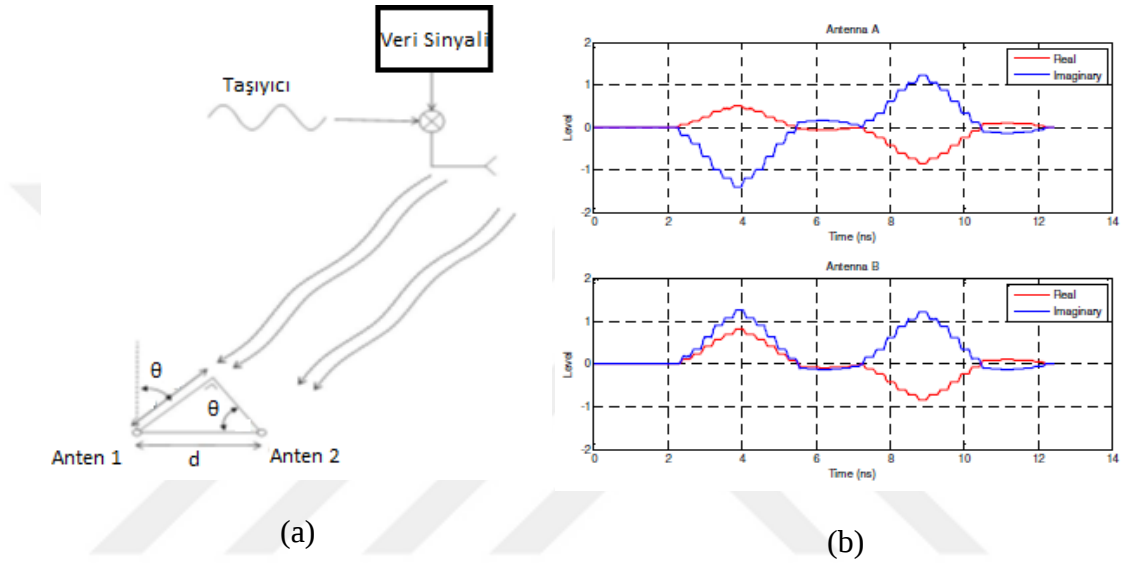
$$ToF = \frac{(T_{m2rx} - T_{m1tx}) - (T_{m2tx} - T_{m1rx})}{2} \quad (3.3)$$

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

$$Mesafe = c * ToF \quad (3.4)$$

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.

Varış Fazı Tabanlı Konumlandırma Metodu: PoA, verici ve alıcı arasındaki mesafeyi tahmin etmek için gelen taşıyıcı sinyalinin fazını ölçer. Doğruluğu ve performansı artırmak için ToA, TDoA ve RSSI ile tamamlayıcı bir yöntem olarak uygulanabilir. Şeıl 3.4'te 2 antenli bir konumlama sisteminde faz farklarından yararlanarak alınan sinyalin reel ve imajiner komponentlerinin tespiti görselleştirilmiştir.



Şeıl 3.4. (a) DW1000 Geliş Fazları Farkı Uygulama Prensibi (b) DW1000 Geliş Fazları Farkı Reel ve İmajiner Kısım Ölçümleri [30].

Bu yöntem, daha iyi doğruluk ve çok yollu yayılma bozukluğunun azaltılması içindir [31], [32]. Varış Aşaması Farkı (PDoA), dönüş aşamasına benzer bir yöntemdir.

3.2.2 Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma Metodları

Bu algoritma temel olarak alınan sinyallerin açısına dayanır. Bu nedenle, verici ve alıcı arasındaki açıyı belirlemek için referans düğümler (Anchor) gerekir.

Varış Açısı Tabanlı Konumlandırma Metodu: Bu algoritma, birden fazla etkinin keşişiminin belirlenmesiyle alınan sinyalin açısına dayanmaktadır. Bu amaçla referans düğümün konumu belirlenmeli ve sistem maliyetlerini artıran yönlü antenlerle donatılmalıdır. Bu teknik herhangi bir zaman senkronizasyonuna ihtiyaç duymaz. Diğer bir avantajı da 2 boyutlu ortam için sadece iki referans düğüme ihtiyaç duymasındır. Alıcı ve verici arasındaki mesafe kısa olduğunda doğru bir tahmine

sahiptir. Karmaşık donanım ve hassas kalibrasyon gerektirir. Doğruluk, açıdaki hafif bir sapmanın büyük bir hataya yol açabileceği mesafenin artmasından etkilenebilir. VLC ve UWB, doğru konumlandırma için AoA tekniklerini kullanan iki temel teknolojidir. Son zamanlarda, Bluetooth 5.1, AoA ve Ayrılma Açısı (AoD) tekniklerine dayalı gelişmiş konum hizmetleri [33], [7].

3.2.3 Yön Tabanlı Konumlandırma Metodları

Bu yaklaşım, iç mekan konumlandırma senaryolarında en basit ve en sık kullanılan yaklaşımdır. Alınan sinyallerin gücüne ve kuvvetine dayanır.

Alınan Sinyal Gücü RSS: Basitliği ve konumlandırma uygulamalarında geniş kullanımı ile bilinir. Bu yöntemdeki ölçüm birimi desibel mili watt'tır (dBm), bu, daha yüksek dBm'nin verici ve alıcı arasındaki mesafenin daha kısa olduğu anlamına gelir. RSSI, birçok şirketin ürünleri için kullandığı göstergedir. Tx ve Rx arasındaki mesafe, RSSI ve sinyal yol kaybı yayılma modelleri tarafından tahmin edilmektedir. RSSI'den mesafeyi hesaplamak için, sinyal gücünün mesafeyle ilişkisini gösteren birçok formül vardır. En yaygın formül, Friis denkleminin genel biçimi olan log-normal yol kaybıdır. RSSI, Trilaterasyon, sahne analizi ve yakınlık yöntemleri ile uygulanabilir. Trilaterasyon yönteminde, RN'ler ile ilgili nesnelerin konumunu belirlemek için RN'ler ve MN'ler arasındaki mesafeyi tahmin etmek için RSSI kullanılabilir. Yakınlık tabanlı yöntem, bir nesnenin yakınına girdiğinde algılanması için bir coğrafi sınır oluşturmak üzere RSSI değerlerini kullanır [34], [35].

Kanal Başlatıcı Bilgileri: RSSI algoritması, basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılır, ancak çok yönlü sorunlara karşı hassastır. Kanal başlatıcı bilgisi (CSI), verici ve alıcı arasındaki kanalların hem genliğini hem de kanal durumu yanıtını (CSI) yakalayarak RSS'den daha yüksek doğruluğa sahiptir. RSS değerlerindeki yüksek varyans ve hata nedeniyle FP gibi konumlandırma yöntemleri için doğru ve güvenilir bir ölçüm değildir. CSI, iki iletişim uç noktası arasında RSSI'den daha yüksek kararlılık ve doğruluğa sahip ince taneli bir fiziksel katmandır. Bu nedenle FP haritalaması için uygundur. CSI, erişim noktalarının kalibrasyonu nedeniyle saha araştırmasında emek yoğunudur, bu nedenle her durum için uygun değildir [36], [37].

Referans Sinyal Kalitesi: PSRP ve PSRQ, 4G LTE hücresel ağların sinyal gücünü ve kalitesini temel alır. Bu algoritmalar, BTS kulelerine yayılmış LTE referans sinyallerinin gücünü ve kalitesini ölçer. Sinyal gürültü oranı, güce kıyasla daha iyi bir kriter olan taşıyıcı gücün girişim gücüne oranıdır. PSRP düşük olsa bile daha yüksek PSRQ'lu bir bağlantı tercih edilir, bu da daha kaliteli bir sinyal anlamına gelir [38].

3.3 Kapalı Alanlarda Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemlerinde Donanımsal Birimler

Bu tez çalışmasında Ultra Wideband (UWB) teknolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. UWB yüksek hassasiyetli konumlandırma sağlayan bir teknolojidir. Bu teknolojinin kullanıldığı RTLS sistemleri için kullanılan donanımları şu şekilde sıralayabiliriz:

Mobil Etiket: Mobil Etiketler, nesnelerin veya kişilerin konumunu belirlemek için kullanılan ve genellikle küçük boyutlu olarak tasarlanan cihazlardır. Bu etiketler, UWB teknolojisini kullanarak, yüksek hassasiyetli konumlandırma bilgileri sağlar. Aktif ve pasif olmak üzere temelde iki tip etiket donanımı mevcuttur, Pasif RFID etiketler: kendilerine gönderilen bir elektromanyetik sinyali alarak, içlerindeki anten yardımıyla sinyali toplarlar ve etiket üzerindeki verileri okuyucuya geri gönderirler. Pasif RFID etiketler, okuyucu tarafından gönderilen elektromanyetik sinyalleri toplamak için enerji kullanmazlar. Bunun yerine, okuyucudan gelen elektromanyetik sinyalleri antenleri aracılığıyla yakalarlar ve bu sinyalleri modüle ederler. Modülasyon işlemi, etiket üzerinde depolanmış verilerin okuyucuya geri gönderilmesini sağlar. Pasif RFID etiketler, içerisinde bir batarya veya enerji kaynağı bulundurmazlar için küçük, hafif ve ucuzdur. Bu etiketler genellikle ambalaj, lojistik, envanter takibi, kimlik doğrulama gibi uygulamalarda kullanılırlar. Ancak, pasif RFID etiketlerin okuma mesafesi sınırlı olduğu için uzak mesafelerde kullanılmaları pek mümkün değildir. Aktif RFID etiketler, pasif RFID etiketlerden farklı olarak bir batarya veya enerji kaynağı içerirler ve bu sayede daha uzun okuma mesafelerine sahiptirler. Bu etiketlerin çalışma prensibi şu şekildedir: Aktif RFID etiketleri, etiket içerisinde bulunan batarya veya enerji kaynağı sayesinde kendi sinyallerini yayabilirler. Okuyucu cihazı, bu sinyalleri alarak etiketin konumunu tespit edebilir. Aktif RFID etiketleri, pasif RFID etiketlere göre daha uzun okuma mesafelerine sahiptir ve daha yüksek okuma hızlarına ulaşabilirler. Aktif RFID etiketler, sabit varlıkların izlenmesi,

malzeme takibi, lojistik yönetimi, insan ve hayvan takibi gibi birçok uygulamada kullanılırlar. Ancak, pasif RFID etiketlere göre daha pahalıdırlar ve bataryalarının ömrü sınırlıdır. Batarya ömrü bittiğinde etiket değiştirilmesi gerekebilir.

Sabit Okuyucu: Mobil etiketlerin konumlarını belirlemek için kullanılan ve önceden belirlenmiş konumlara monte edilerek sabit kalan cihazlardır. Bu cihazlar, UWB teknolojisi kullanarak, yüksek hassasiyetli konumlandırma sağlar. Anchor'lar, RTLS sistemlerinde genellikle en az üç adet kullanılır.

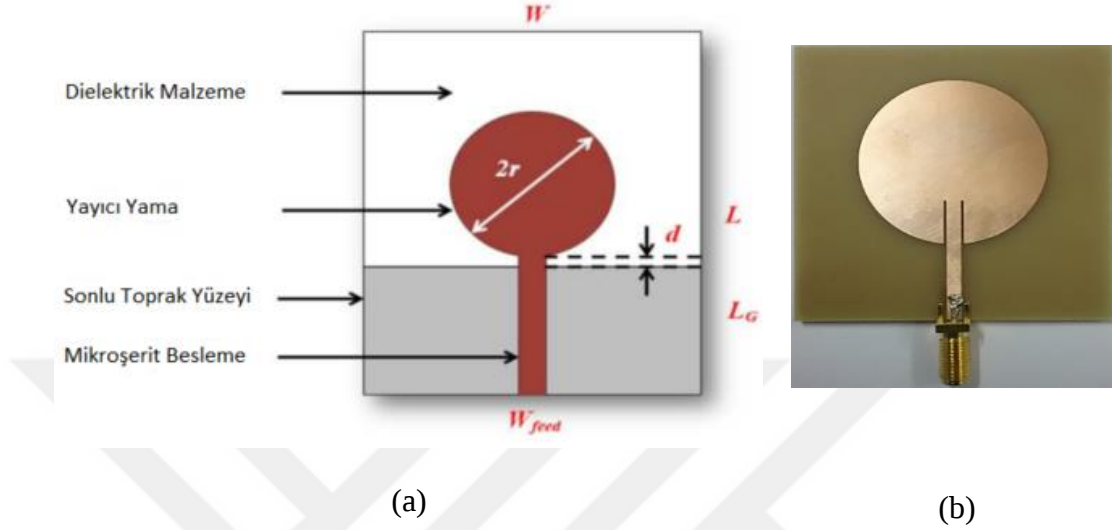
Ağ Geçidi: Ağ geçitleri, sabit okuyucuların verilerini toplayan ve işleyen cihazlardır. Bu cihazlar, RTLS sistemlerindeki veri toplama ve yönetim sürecini kolaylaştırır.

UWB Anten: UWB antenleri, RTLS sistemlerinde UWB sinyallerini yakalamak ve iletmek için kullanılır. Bu antenler, RTLS sistemlerinin güvenilir ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar.

3.4 Gerçek Zamanlı Konumlama Uygulamalarında Kullanılan Antenler

Ultra geniş bant tabanlı kapalı alan konumlandırma sistemlerinde konum verilerinin hesaplanması açısından Antenler en önemli donanımsal birimlerden biridir. kapalı alan UWB RTLS antenleri, yüksek frekanslı sinyalleri verimli bir şekilde yaymak ve almak için tasarlanmıştır. Bu antenler, kapalı alanlarda kullanılan RTLS sistemleri için özel olarak tasarlanır ve daha yüksek doğruluk, hassasiyet ve etkili mesafe sağlamak için kullanılır. UWB RTLS antenleri, genellikle planar tipi antenlerdir ve birçok farklı şekle sahip olabilirler. Bunlar arasında dipol antenler, patch antenler, spiral antenler ve daha karmaşık anten yapıları gibi çeşitli tipler bulunur. UWB RTLS antenlerinin en önemli özellikleri, geniş bir bant genişliği, yüksek kazanç ve yüksek verimliliklerdir. Ayrıca, yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlamaları için, çok yönlü bir yayılım karakteristiğine de sahip olmaları gerekir. UWB RTLS antenleri, kapalı alanlarda kullanılan RTLS sistemlerinde yaygın olarak kullanılır ve bu sistemlerin doğruluğunu ve etkinliğini artırmaya yardımcı olur. UWB RTLS sistemlerinde yama antenler maliyet avantajı ve performans açısından çokça tercih edilmektedir. Baskılı disk monopol antenler, basit bir yapıya, kolay imalata, geniş bant özelliklerine ve çok yönlü radyasyon modellerine sahip oldukları için UWB uygulamaları için iyi adaylar olarak

kabul edilir [39]. Referans baskılı dairesel disk tek kutuplu antenin geometrisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Basılı dairesel disk tek kutuplu antenin başlangıç parametrelerini belirlemek için önce bunların çalışma mekanizmalarını anlamalıyız.



Şekil 3.5. (a) Dairesel Monopol Anten Temel Geometrisi, (b) üretilmiş hali [40].

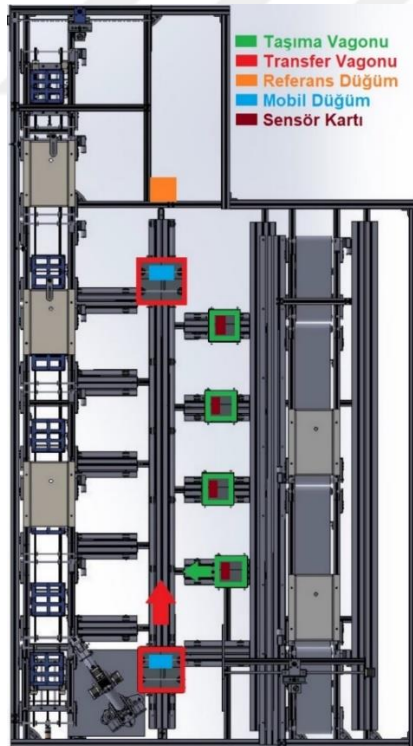
Sonlu bir zemin düzlemine sahip disk monopollerinin, tam bir zemin düzlemi üzerinde yalnızca bir rezonans modu (geleneksel dairesel yama anteninde olduğu gibi) yerine çoklu rezonans modlarını destekleyebildiği gösterilmiştir [29]. Örtüşen yakın aralıklı çoklu rezonans modları ($f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$), geniş bir bant aralığı sağlayabilir ve dairesel disk tek kutuplu antenlerin UWB bant genişliğinin arkasındaki fikir budur. Birinci rezonans modunun frekansı, dairesel diskin boyutu ile belirlenebilir. İlk rezonans f_1 'de, disk anten çeyrek dalga boyunda tek kutuplu bir anten gibi davranma eğilimindedir, yani $\lambda/4$. Bu, birinci rezonans frekansında dairesel diskin çapının $2r = \lambda/4$ olduğu anlamına gelir.

Bölüm 4

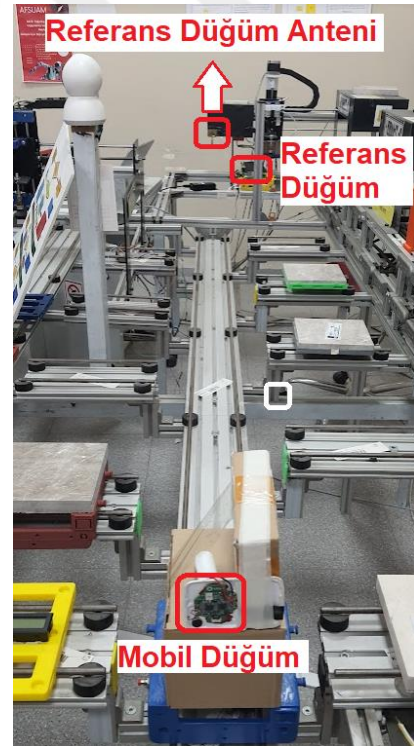
Materyal ve Metod

4.1 Kapalı Alan Gerçek Zamanlı Konum Takip Sistemi İhtiyaç Analizi

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar AFSUAM fabrika modeli üzerine entegre edilerek gerekli geliştirmeler ve entegrasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Akıllı fabrika modeli, sektörde faaliyetleri aktif olarak devam eden mermer işleme fabrikasında bulunan üretim, işleme ve transfer hatlarının birebir düşünüldüğü küçük ölçekli modelidir. Bu model üzerinde yapılan çalışmalar tamamlandığında gerçek fabrika üzerine entegrasyon öncesinde tüm seneryalar test edilmiş olacaktır. AFSUAM akıllı fabrika modeli aşağıdaki görselde gösterilmiştir.



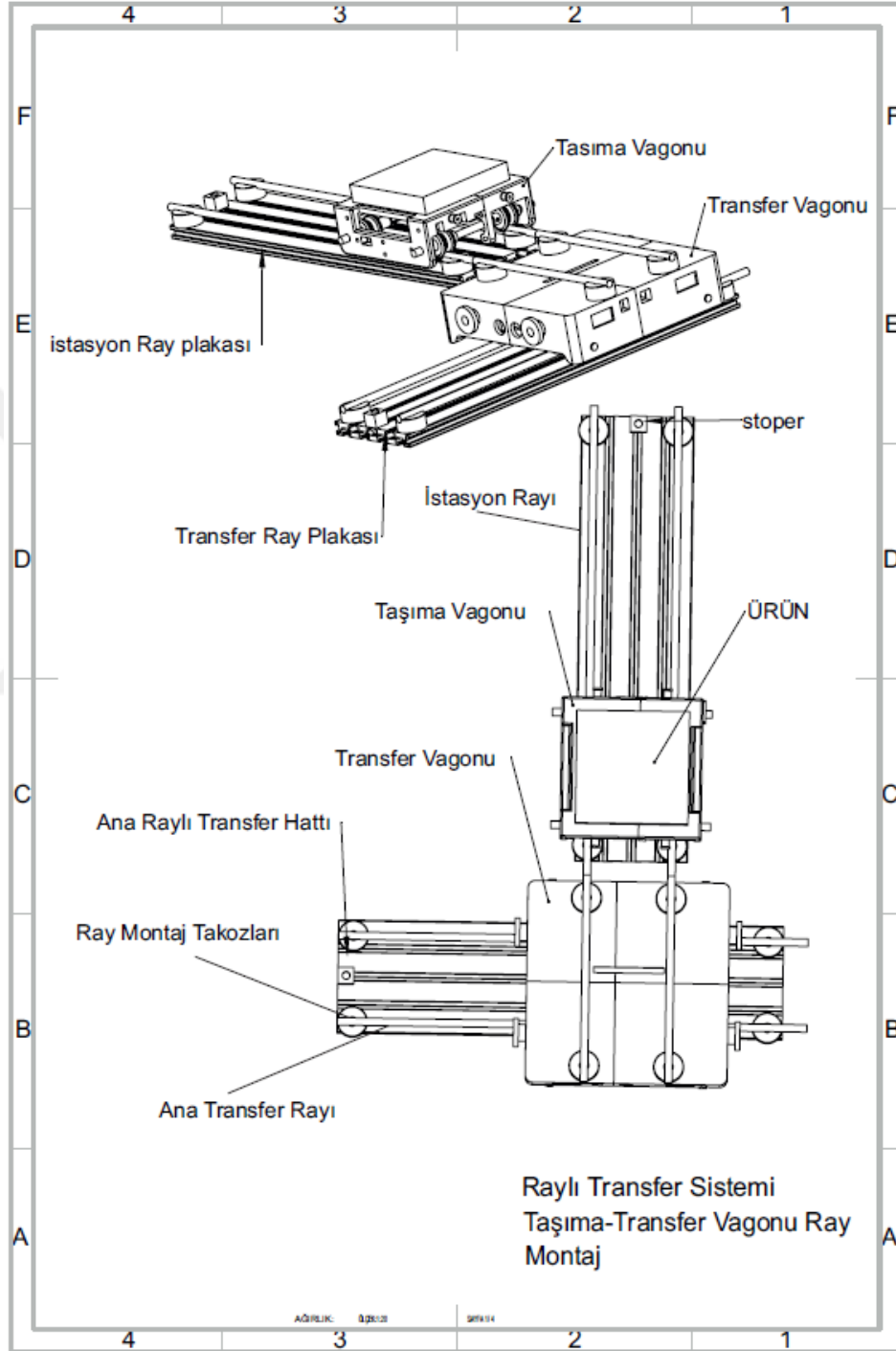
(a)



(b)

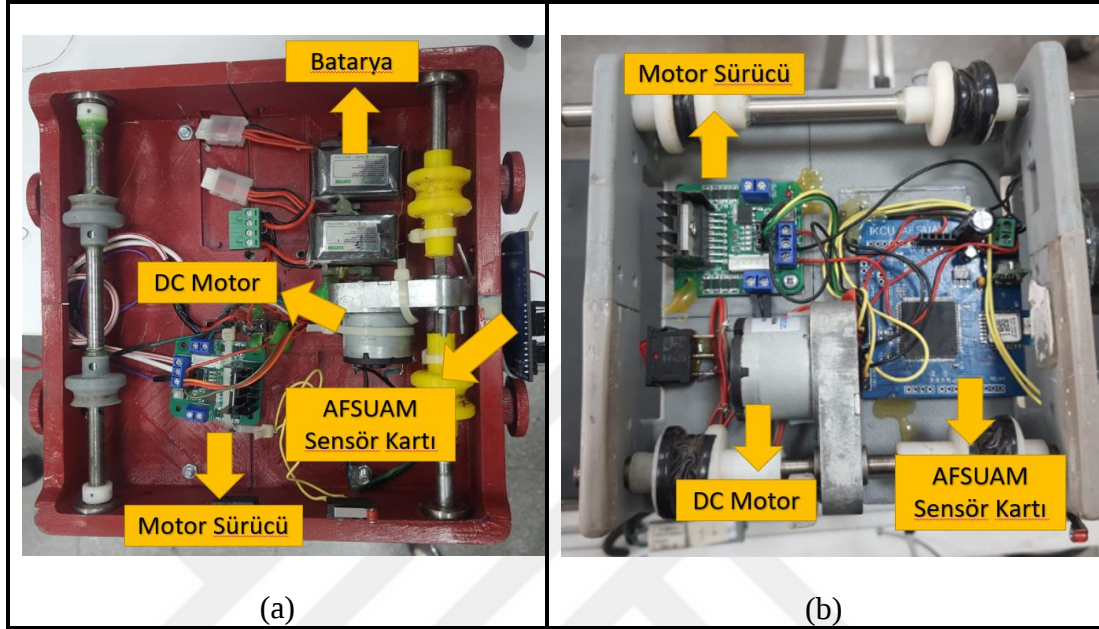
Şekil 4.1 AFSUAM akıllı fabrika modelinde (a) RTLS sistem bileşenleri (b) gerekli donanımların yerleşimi.

Şekil 4.1 de gösterildiği gibi üretim hattı boyunca uzanan transfer vagonu rayları ve bu hattın sağ ve solunda bulunan yarımamül ve mamül stoklama alanlarına geçiş için gerekli raylar bulunmaktadır. Bu ray sistemine ait Teknik çizimler aşağıdaki görselde paylaşılmıştır.



Şekil 4.2. Raylı Transfer Sistemi Taşıma ve Transfer Vagonları

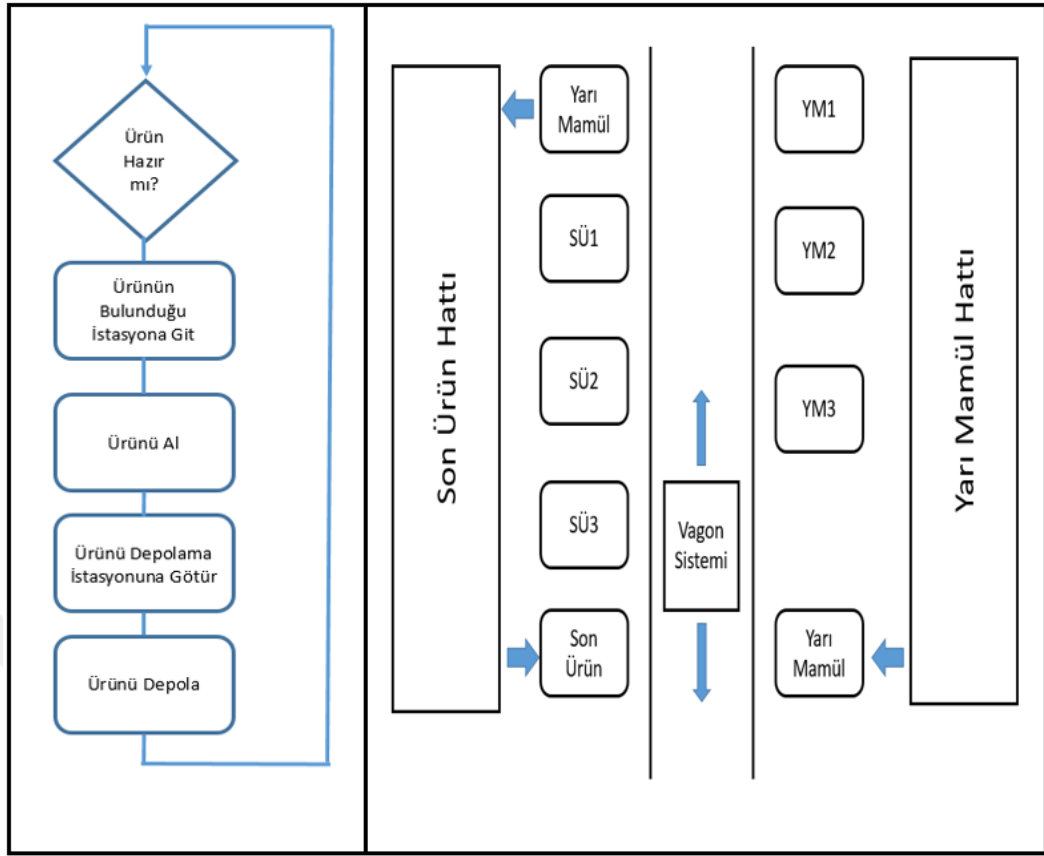
Şekil 4.2. de görüldüğü gibi transfer rayı plakası üzerinde seyreden transfer vagonu istasyon ray plakası hizasına geldiğinde üzerindeki taşıma vagonu istasyon rayı üzerine doğru ilerler ve stoper hizasına geldiğinde taşıma vagonu durdurulur. Şekil 4.3'te transfer vagonu ve taşıyıcı vagona ait temel birimler gösterilmiştir.



Şekil 4.3. (a) Transfer Vagonu (b) Taşıma Vagonu

Donanımsal olarak her iki vagona aynı elektronik kontrol ünitelerine sahip olup yalnızca seyrettikleri raylar dolayısı ile farklı mekanik özelliklere ve sınır anahtarlarına sahiptirler.

Bu tez çalışmasındaki tüm çalışmalar AFSUAM akıllı fabrika modeli üzerine entegre edilmiştir. Gerçek bir fabrika içerisinde uygulanan iş akış şeması simule edilmiştir. İş akış diyagramı ve taşıma – transfer vagonlarının hareket edebilecekleri güzergahlar ile birlikte tüm istasyonlar Şekil 4.4'te tanımlanmıştır.



Şekil 4.4. AFSUAM Akıllı Transfer Sistemi Akış Diyagramı

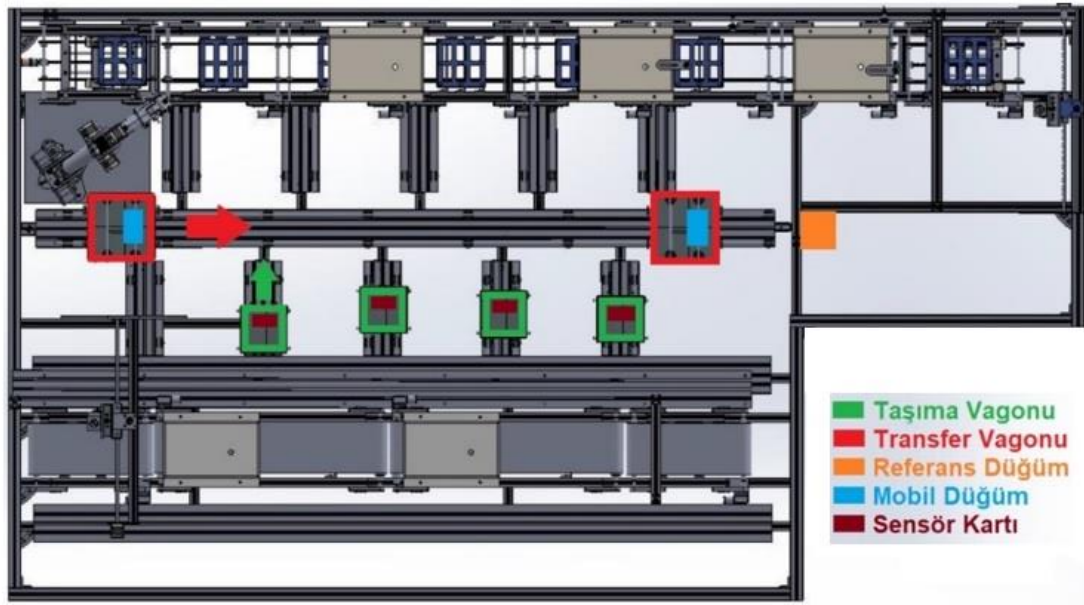
Hammaddeler yarımamül hattında işlenerek çıkan yarı mamüller Yarı Mamül isimli standda yerleştirilir. Yarı Mamül istasyonuna ürünün yerleşmesi sonucu, Vagon Sistemi harekete geçerek Yarı Mamül istasyonuna kadar hareket eder. Yarı Mamül istasyonuna ulaşan Vagon Sistemi bu noktada bekleyerek taşıma vagonunun kendi üzerine yüklenmesini bekler, ürünü üzerinde taşıyan taşıma vagonu ürün ile birlikte taşıma vagonu üzerine bindikten sonra beklemede kalır ve taşıma vagonuna sağlıklı bir şekilde bindiğini haber verir. Yarı Mamül standından teslim alınan ürünler, sırası 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 işlemlerden 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. 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.

4.2 Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemi Tasarım Girdilerinin Oluşturulması

Akıllı fabrika modeli incelendiğinde transfer vagonu hareket doğrultusunda vagonu hat boyunca doğrudan görebilecek olan noktaya referans düğüm olarak çalışacak olan ağ geçidinin konumlandırılması uygun görülmüştür. Sinyali referans düğüme ulaşan mobil düğümün iki ayrı transfer hattından hangisinde hareket halinde olduğunun tespiti için ya ayrı bir referans düğüme ihtiyaç duyulmakta ya da kullanılacak olan referans düğüm ile mesafe ile birlikte açı bilgisinin tespiti gerekmektedir. Açı bilgisinin edinilmesi aynı zamanda fabrika içerisinde diğer hareketli nesneler, iş makineleri ve personellerinde üretim bandına göre yaklaşım açılarının takibini sağlayarak kazaları önleyerek iş sağlığı ve güvenliğine katkıda bulunacaktır. Hareketli nesneler üzerine konumlandırılacak olan mobil düğümlerin tümünden gelen bilgiler referans düğüm üzerinde toplanıp konum bilgileri referans düğüm üzerinde oluşturulup sunucu ile paylaşılacağından konumlama metodu yaklaşımı olarak referans düğüm tabanlı konumlandırma yaklaşımı tercih edilmiştir. Sistemde hem mesafe hem açı bilgisine ihtiyaç duyulduğu için yön tabanlı konumlandırma tekniği

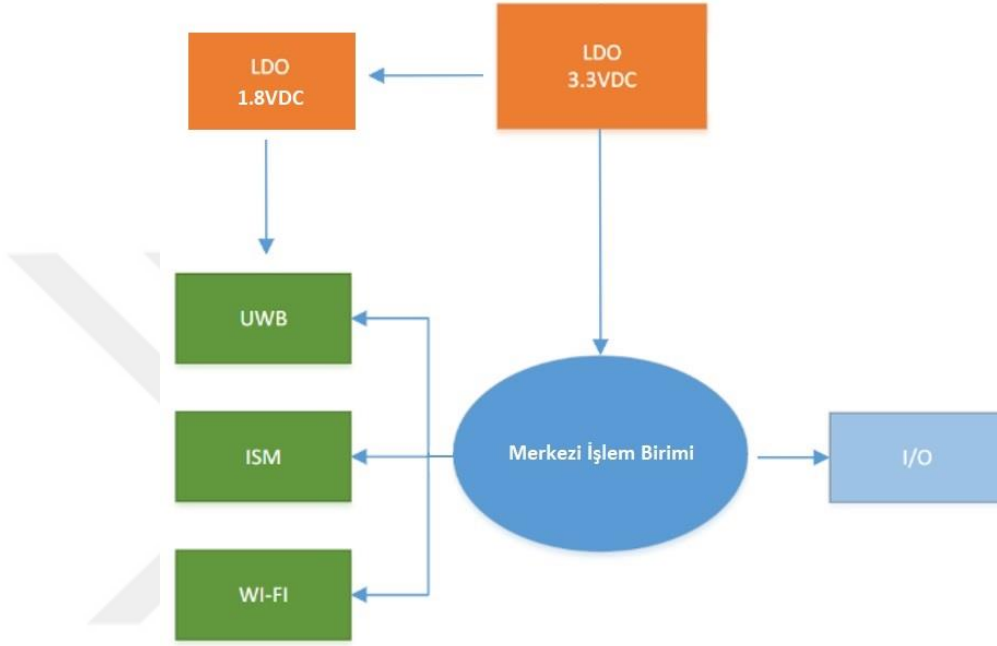
tercih edilmiştir. Aşağıdaki görselde model fabrika üzerinde çalışılacak birimler gösterilmiştir. Yeşil renk ile gösterilmiş vagonlar taşıma vagonları ve bulundukları raylar ise istasyon rayları olarak tanımlanmıştır. Kırmızı renk ile gösterilmiş vagonlar ise transfer vagonu olarak tanımlanmış ve hareket güzergahlarında bulunan raylara ise transfer rayları denilmiştir. Her iki vagona elektrik motorları, motor sürücüleri, mikrokontrolcü, sensör ve kablosuz haberleşme birimleri ile donatılarak otonom hale getirilmiştir. Çalışmada AFSUAM model fabrikası üzerinde gerçekleştirilmesi planlanan senaryoda transfer vagonuna ait pozisyon bilgisi, taşıma vagonlarının doluluk bilgileri gibi verilerin Ultra Geniş Bant frekansında haberleşen DW1000 isimli RF alıcı verici üzerinden alınarak bu bilgilerin WiFi aracılığı ile kablosuz olarak internet ortamına aktarılması hedeflenmiştir. Çalışmanın odağı bu işlevleri yerine getirmek için gerekli donanım birimlerine sahip olan ultra geniş bant gerçek zamanlı konumlama destekli nesnelerin interneti ağ geçidi donanımını geliştirmektir.



Şekil 4.5 AFSUAM Raylı Akıllı Taşıma Sistemi Fabrika Modeli

4.3 IOT Gateway Donanım Tasarımı

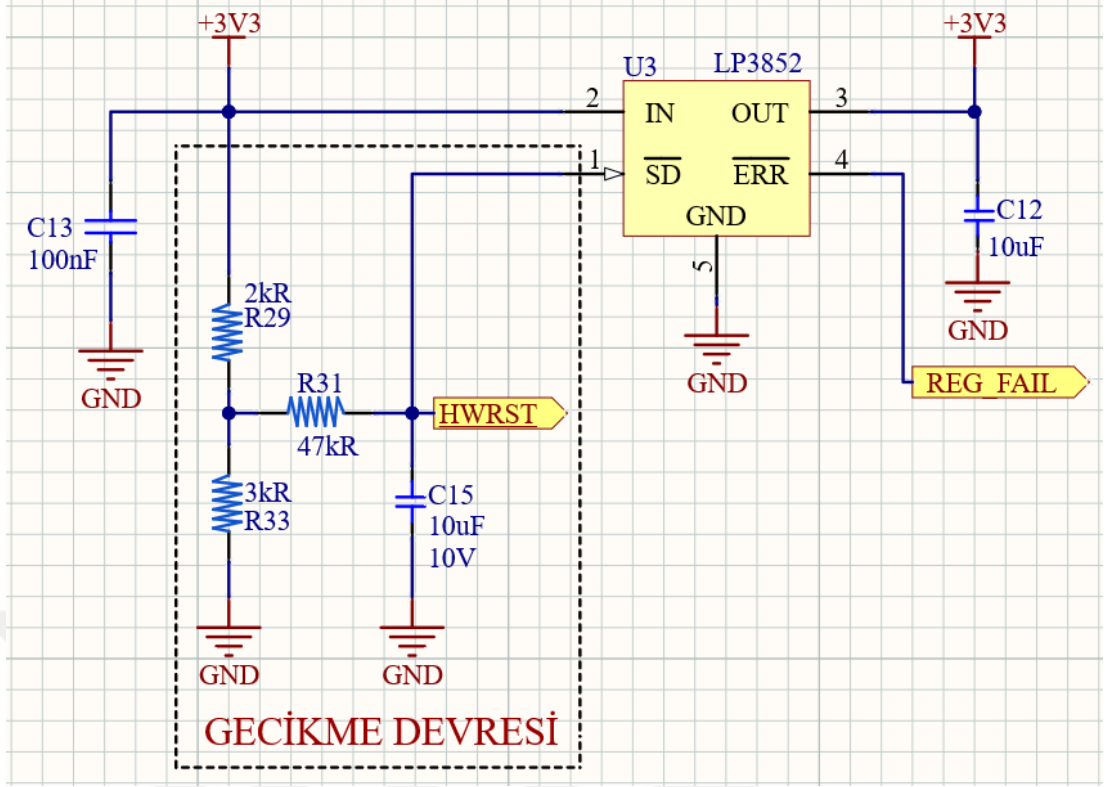
Sistem temelde UWB, BLE (ISM) ve WiFi olmak üzere üç farklı radyo frekansı haberleşme teknolojisini içermektedir. Tüm bu çevre birimlerin ihtiyaç duyduğu akımları karşılamak için 1A'lık kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.6 Ağ Geçidi Sistem Blok Diyagramı

4.3.1 Güç Katmanı Tasarımı

Sistem 5V DC gerilim ile beslenecek olup çevre birimlerin çalışması için gerekli olan 3.3V DC gerilimi elde etmek için linear regülatör kullanılacaktır. Ağ geçidinin donanımsal olarak resetlenmesine ihtiyaç duyulabilecek senaryolar muhtemel olduğundan sistemde kullanılacak olan regülatörü aktif / pasif hale getirmek için kontrol pinine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kontrol pini zaman gecikme devresi ile kullanıldığında regülatöre kapanma sinyali gönderildikten belirli bir süre sonra sistemin açılması sağlanacaktır.



Şekil 4.7 Güç Kontrol Devresi

Güç kontrol pini bulunan regülatöre kapatma sinyali uygulandığında zaman gecikmesi ile başlamayı sağlayacak RC devresi eklenmiştir. Sistem içerisindeki çıkış kapasitörlerinin yeterli seviyede deşarj olarak entegre devrelerin enerjisinin kesilmesini sağlamak sistemin sağlıklı şekilde resetlenmesi için önemlidir. Bu süre 470 mili saniye olarak belirlenmiştir. Zaman sabitesi formül 3.3 te gösterilmiştir.

$$T = R * C \quad (3.3)$$

T: Zaman Sabitesi (Sn)

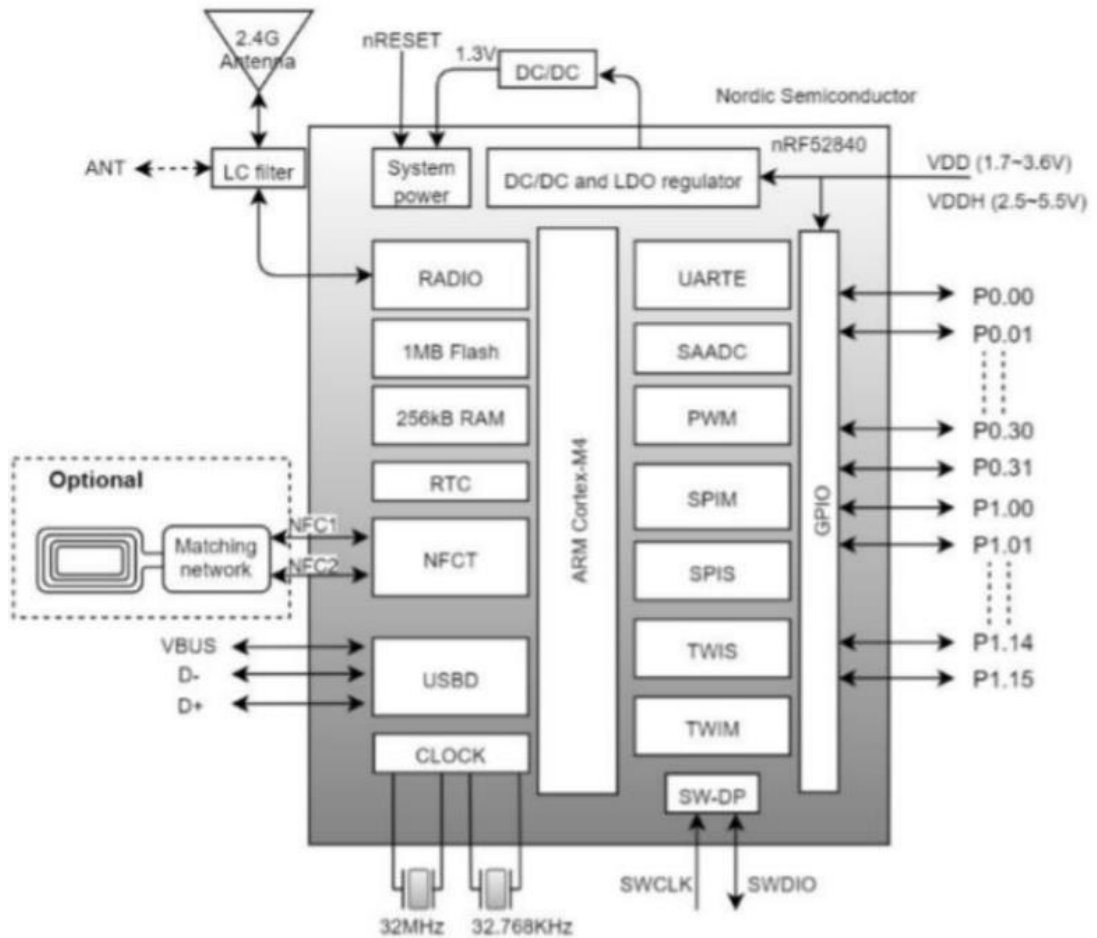
R: Direnç (Ohm)

C: Kapasitans (Farad)

470 Mili Saniye şarj süresini sağlayacak olan RC devresi için , kapasitans 10uF direnç değeri 47K Ohm olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Kontrol Katmanı Tasarımı

Üç farklı radyo frekans haberleşme biriminin kontrolü ve çevresel haberleşme portları ihtiyaçları için yeterli giriş / çıkış pini ihtiyacını karşılayabilecek işlemciye ihtiyaç duyulmuştur. Proje kapsamında fiziksel boyutlar ve maliyet açısından avantaj sağlaması sebebi ile dahili Bluetooth alıcı – verici entegre devresini içeren bir işlemci tercih edilmiştir. NRF52840, Nordic Semiconductor tarafından geliştirilen bir Bluetooth Low Energy (BLE) çipidir. Bu çip, düşük güç tüketimi, yüksek performans ve geniş bir yelpazede kullanım özellikleri ile öne çıkmaktadır. NRF52840, ARM Cortex-M4F işlemciye sahiptir ve 1 MB flaş belleği, 256 KB RAM'i NRF52840, ARM Cortex-M4F işlemciye sahiptir ve 1 MB flaş belleği, 256 KB RAM'i ve dahili olarak BLE, Bluetooth 5, NFC, ANT ve 802.15.4 protokollerini destekleyen bir radyo modülü bulunmaktadır. Ayrıca, USB, UART, SPI, I2C ve PWM gibi çeşitli arabirimler de mevcuttur.

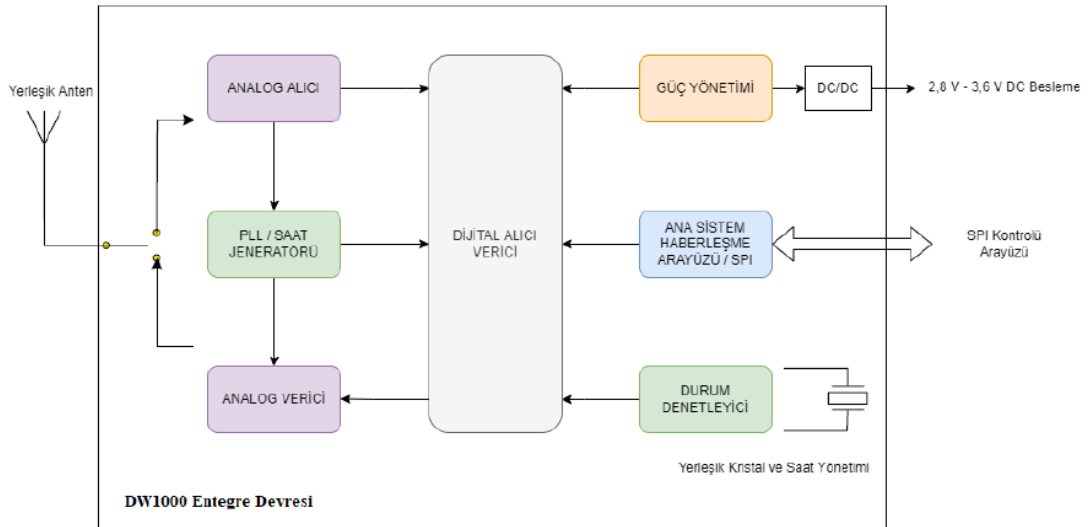


Şekil 4.8. Nordic NRF52840 Sistem Blok Diyagramı [41].

NRF52840, düşük güç tüketimi modlarında çalışabilir ve bu nedenle pil ömrü uzayacaktır. Dahili olarak birçok sensör ve arabirim özelliği içerir. Bu özellikler arasında ADC (Analog-Digital Converter), UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit), PWM (Pulse Width Modulation), NFC (Near Field Communication) ve USB (Universal Serial Bus) bulunur. NRF52840, BLE protokolüne tam olarak uymakta ve dahili olarak BLE, Bluetooth 5, NFC, ANT ve 802.15.4 protokollerinin tümünü destekler. Ayrıca, çeşitli diğer arayüzler ve sensörler için harici arabirimlere sahiptir.

4.3.3 UWB Haberleşme Katmanı Tasarımı

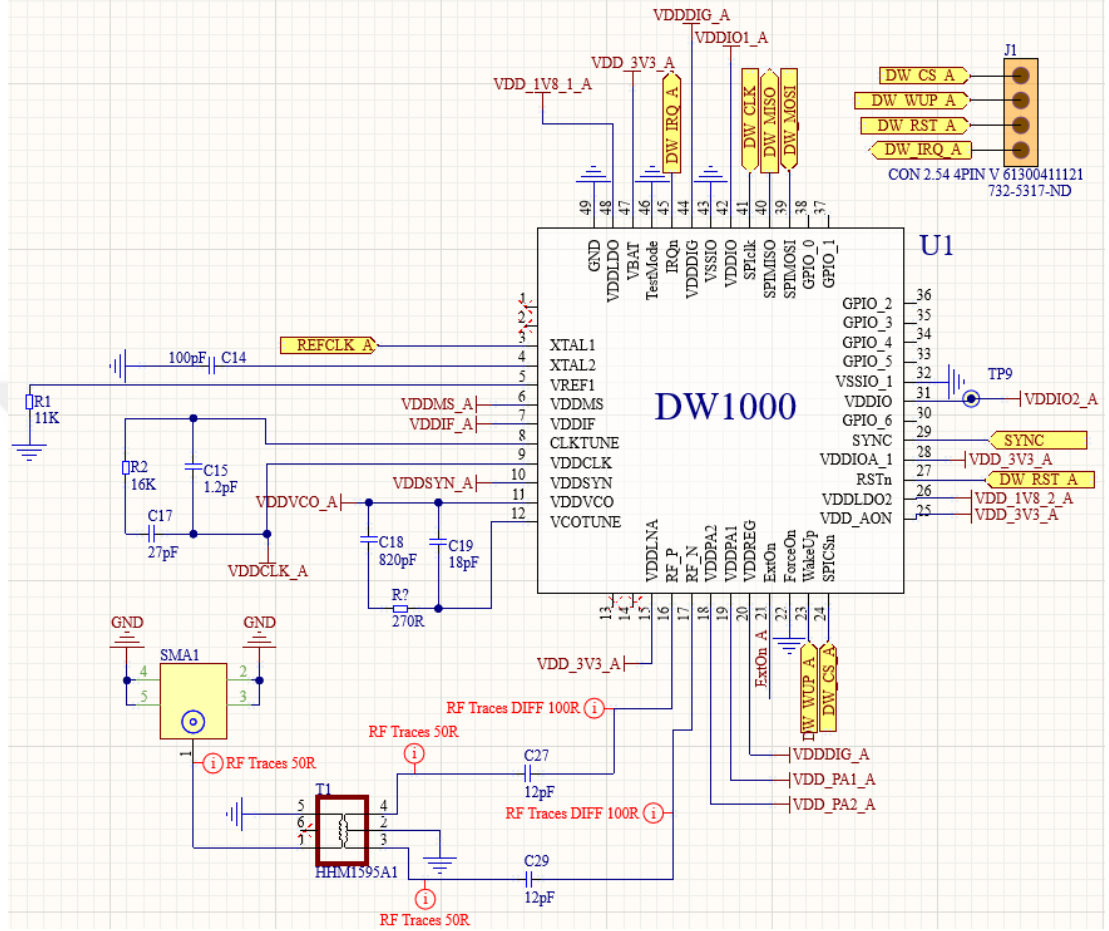
Bu tez çalışmasının entegre edildiği akıllı fabrika modeli üzerinde yapılan ihtiyaç analizine göre yüksek konum hassasiyetine sahip bir kapalı alan konulandırma sistemine ihtiyaç duyulmuştur, dolayısı ile literatürde bu ihtiyaçları 10cm konum hassasiyeti ile karşılayabilen Decawave isimli üreticiye ait DW1000 kodlu transceiver ile yapılmış çokça çalışma bulunmaktadır. Sağladığı performans dolayısı ile bu çalışmada da DW1000 UWB transceiver olarak tercih edilmiştir [42].



Şekil 4.9. DW1000 Üst Seviye Blok Şeması [34].

Şekil 4.8.' de gösterilen DW1000 blok şemasında görüleceği üzere entegre devreyi besleyip kontrolü için SPI protokolü üzerinden merkezi işlem birimine bağlamak

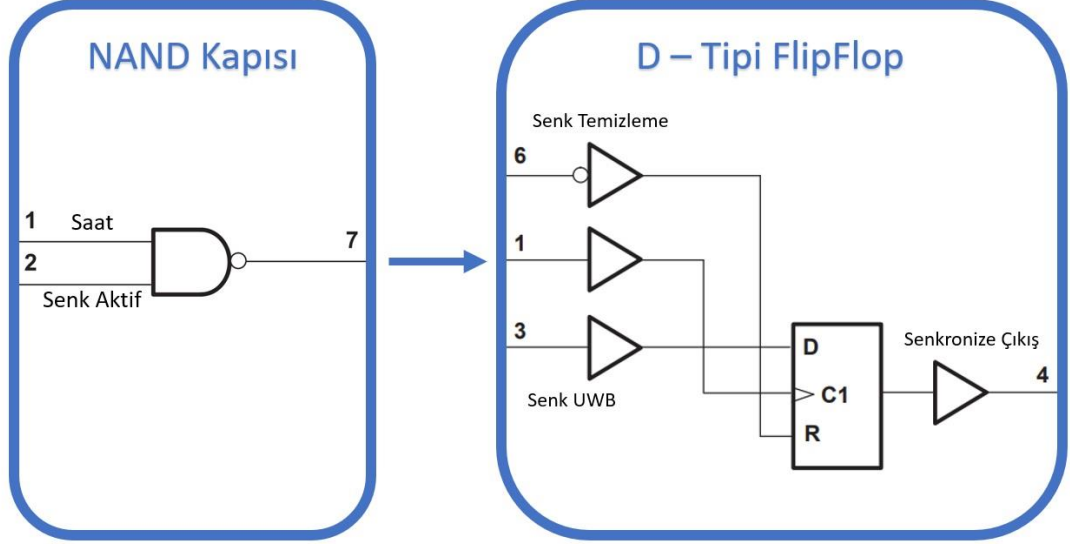
gerekmektedir. Üretilen radyo frekans dalgalarının iletimi için ise harici antene ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 4.10. UWB Haberleşme Bloğu Devre Şeması

Yukarıda devre şeması paylaşılmış olan UWB Haberleşme bloğundan iki adet kullanılmaktadır. Saat üreticisinden gelen sinyal ile her iki bloğunda birbirleri ile senkronize bir şekilde çalışması için senkronizasyon devresine ihtiyaç duyulmuştur.

İhtiyaç duyulan senkronizasyon devresine ait lojik gösterim aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Yapı, saat girişi NAND mantıksal kapısından tetiklenen D tipi FlipFlop ile kurulmuştur.



Şekil 4.11. Senkronizasyon Devresi Mantıksal Gösterimi

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 darbede 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 yapılabilir.

Yukarıda mantıksal gösterimi paylaşılan senkronizasyon devresinin oluşturulması için gerekli iki ana bileşen NAND kapısı ve D – Tipi FlipFlop’tur, seçilmiş olan mantıksal kontrolcü entegre devreler Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

SN74LVC2G00DCUR

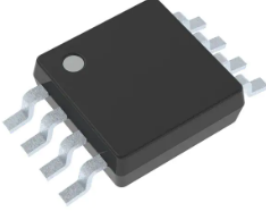


Image shown is a representation only. Exact specifications should be obtained from the product data sheet.

Digi-Key Part Number	296-13258-2-ND - Tape & Reel (TR) 296-13258-1-ND - Cut Tape (CT) 296-13258-6-ND - Digi-Reel®
Manufacturer	Texas Instruments
Manufacturer Product Number	SN74LVC2G00DCUR
Description	IC GATE NAND 2CH 2-INP 8VSSOP
Manufacturer Standard Lead Time	6 Weeks
Detailed Description	NAND Gate IC 2 Channel 8-VSSOP
Customer Reference	Customer Reference
Datasheet	 Datasheet

Şekil 4.12. NAND Mantıksal Kapısı Tedarikçi Bilgi Ekranı [43].

SN74LVC1G175DCKR

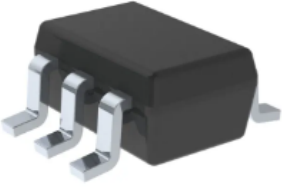


Image shown is a representation only. Exact specifications should be obtained from the product data sheet.

Digi-Key Part Number	296-16998-2-ND - Tape & Reel (TR) 296-16998-1-ND - Cut Tape (CT) 296-16998-6-ND - Digi-Reel®
Manufacturer	Texas Instruments
Manufacturer Product Number	SN74LVC1G175DCKR
Description	IC FF D-TYPE SNGL 1BIT SC70-6
Manufacturer Standard Lead Time	6 Weeks
Detailed Description	Flip Flop 1 Element D-Type 1 Bit Positive Edge 6-TSSOP, SC-88, SOT-363
Customer Reference	Customer Reference
Datasheet	 Datasheet

Şekil 4.13. D Tipi Flip Flop Tedarikçi Bilgi Ekranı [44].

4.3.4 WiFi Haberleşme Katmanı Tasarımı

WiFi Haberleşmesinin sağlanabilmesi için fiziksel boyut anlamında avantaj sağlayan dahili IFA antene sahip ve temel çevrebirimlerini dahili olarak içeren modüller incelenmiştir. Seri üretim süreçlerine uygunluk açısından yüzey montajına uygun tipteki modüller tercih edilmiştir.

Tablo 4.1. Proje Girdilerine Uygun WiFi Modüllerin Karşılaştırılması

WiFi MODÜLÜ ÜRETİCİ VE ÜRÜN KODU	ESPRESSIF ESP WROOM 02	SEEDSTUDIO 113990294	WIZNET WIZFI360-PA	MICROCHIP ATWINC1500- MR210PB1172
				
Besleme Gerilimi	2.7V - 3.6V	3.3V	3V - 3.6V	2.7V – 3.6V
Akım Tüketimi	170mA	200mA	230mA	265mA
Veri Hızı	72 Mbps	150 Mbps	72 Mbps	72 Mbps
Radio Çıkış Gücü	20dBm	17dBm	19dBm	18.5dBm
Fiyat	1.75 USD	3.69 USD	3.52 USD	10.6 USD

Tablo 4.1.’deki veriler incelendiğinde sistem çekirdeği gerilim seviyesi olan 3.3V gerilim seviyesine tüm modüller uygun görünmektedir. Veri hızı açısından tüm modüller proje girdilerini karşılamak için yeterli seviyededir.

Veri gönderme anında 170mA akım tüketimi ve 20dBm radyo çıkış gücü açısından avantajlarının yanında alternatif modüller ile karşılaştırıldığında maliyet avantajıda sağlayan ESP-WROOM-02 kodlu modül tercih edilmiştir [45].



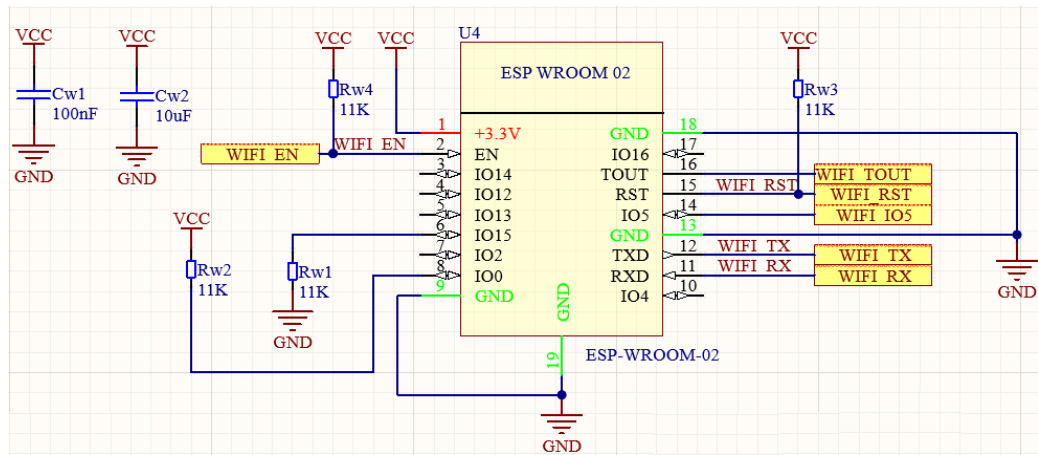
a)



b)

Şekil 4.14. WiFi Alıcı - Verici Modülü ESP-WROOM-02 a) Üstten Görünüm b) Altan Görünüm

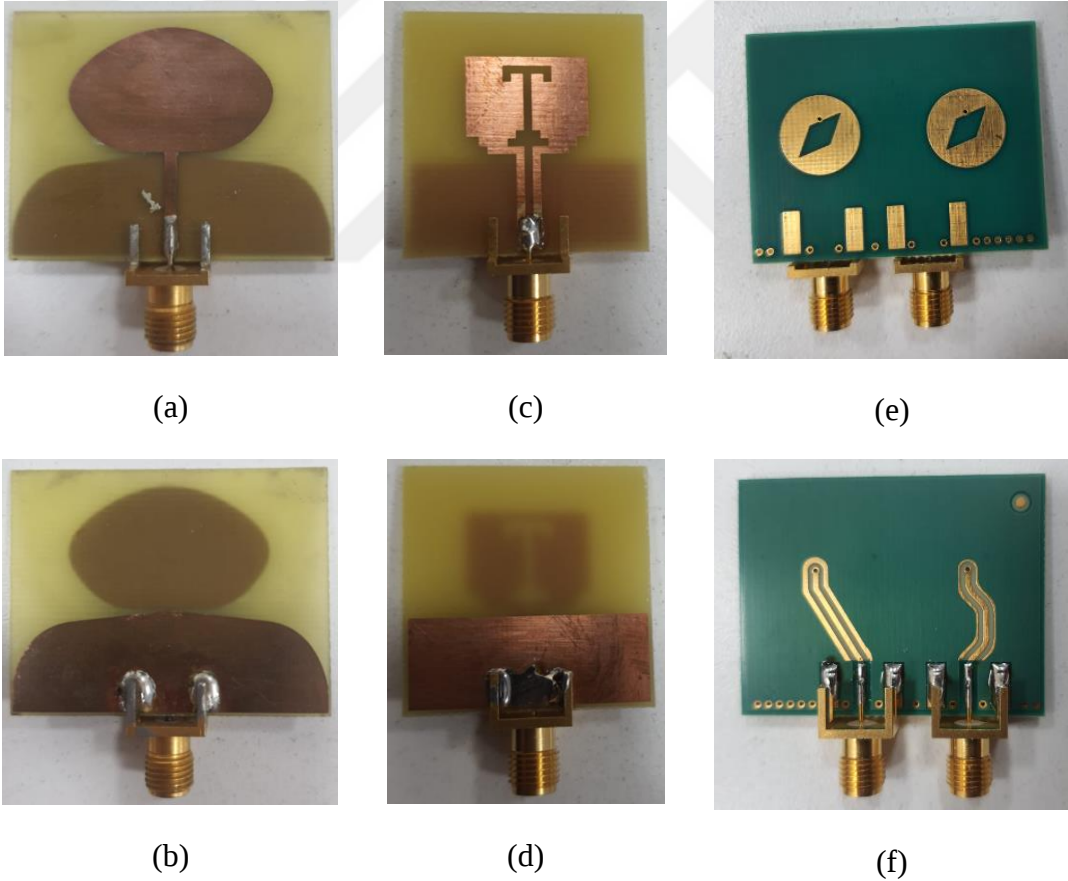
ESP-WROOM-02 WiFi Modülü çok az sayıda çevresel komponent gereksinimi sayesinde elektronik kart tasarımında yer kazandırmanın yanısıra elektronik komponent maliyetlerini azaltmaktadır. Şekil 4.15'te WiFi haberleşme katmanına ait elektronik devre topolojisine ait şema gösterilmektedir.



Şekil 4.15. WiFi Haberleşme Katmanı Elektronik Devre Şeması

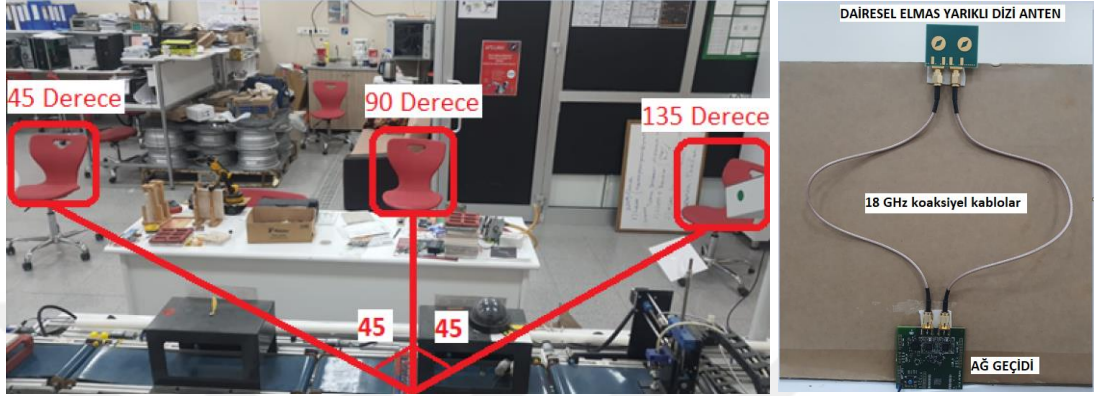
4.3.5 Anten Seçimi ve Entegrasyonu

Omnidirectional antenler yansımaları ve farklı yönlerden gelen farklı vericilere ait sinyalleri, yönlü antenlere nazaran daha yüksek seviyede almaya müsaittir, yönlü antenler ile belirli bir açı aralığında kayıpların ve hata oranlarının minimize edilebildiği ve toplam gücün daha dar bir açıya yayılması sayesinde verimli çalışma mesafesinin arttırılabildiği yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür [1]. Yönlü antenin bu özellikleri dolayısı ile sistemimize uygun olduğu düşünülmüş olup literatürde yer alan UWB yönlü anten örnekleri incelenmiştir. Testler bu tez çalışması kapsamında geliştirilen ve üretilen IOT Ağ Geçidi Donanımı ile gerçekleştirilmiştir. Testlerin gerçekleştirilmesi için tez çalışması kapsamında üretilen 3 farklı anten kullanılmıştır. Kullanılan antenlere ait görseller Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



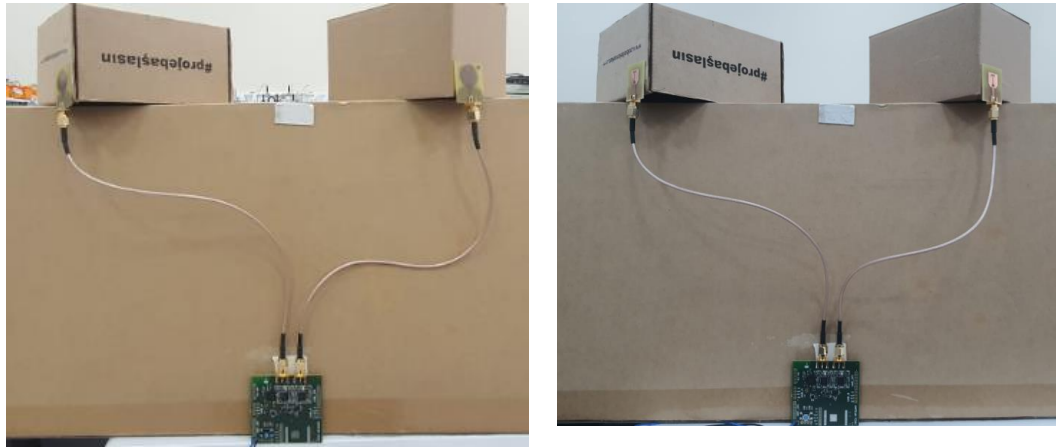
Şekil 4.16. Eliptik Monopol Anten (a) üstten (b) alttan görünümü, T yarıkli Kare Monopol Anten (c) alttan (d) üstten görünüm, Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten (e) üstten (f) alttan görünüm.

Antenler konumu tespit edilecek olan mobil düğümün hareket güzergahına dik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Mobil düğüm için sabit 3 nokta belirlenmiş olup belirlenen 3 noktanın referans düğümün antenine göre açılması sırası ile 45 Derece, 90 Derece ve 135 Derece olacak şekilde hazırlanmıştır. Bahsedilen düzeneğin laboratuvar ortamına entegrasyonu Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. RF Performans Test Düzeneği

Şekil 5.7’de gösterilen düzeneğe Dairesel Elmas Yarıklı Dizi Anten ile birlikte 3 farklı anten tipi entegre edilerek testler gerçekleştirilmiştir.



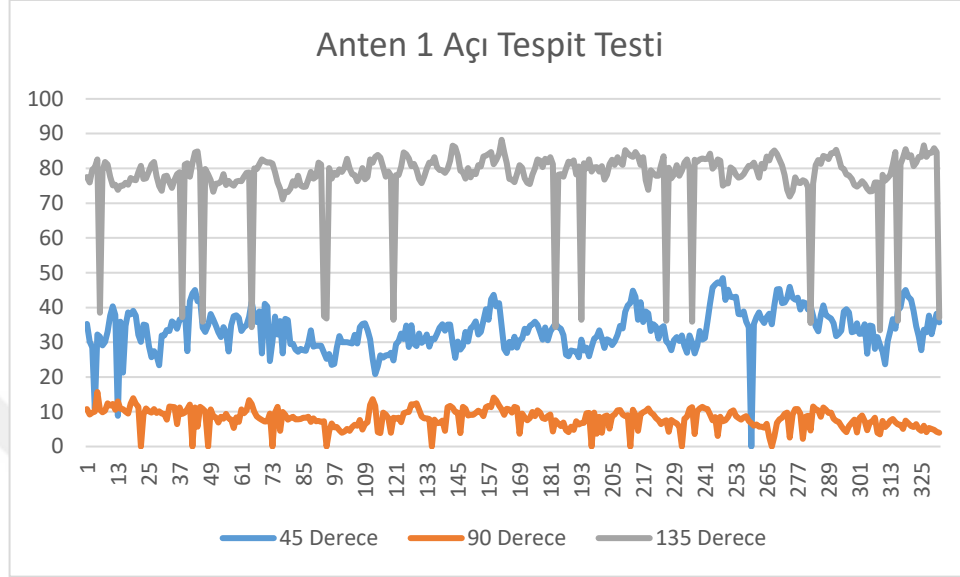
(a)

(b)

Şekil 4.18. (a) Eliptik Monopol Anten ve (b) T yarıklı Kare Monopol Anten Test Düzeneği

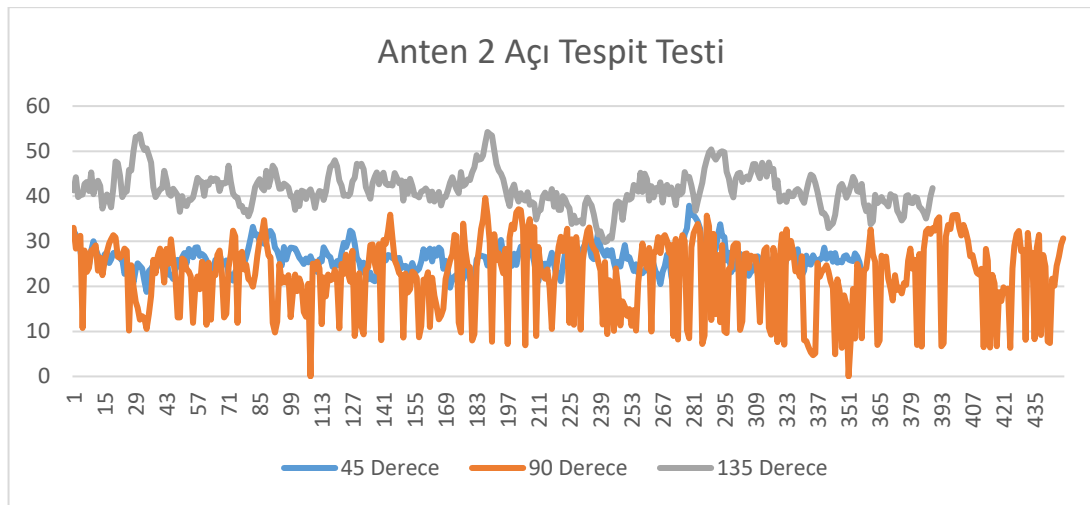
Şekil 5.8’ de gösterildiği gibi Eliptik Monopol Anten ve T yarıklı Kare Monopol Antenler için hassasiyetin artırılması için antenlere sinyalin varış zamanı farkının artırılması gerektiğinden antenler arasındaki fiziksel mesafede mümkün olduğunca uzun tutulmuştur. Dairesel Elmas Yarıklı Dizi Anten’de ise Dizi anten yapısından

kaynaklı olarak antenlerin birbirlerine göre fiziksel mesafeleri değişmezdir. Bu yapıda fiziksel boyut anlamında avantaj sağlamak ve her iki anten hücresinin hedefi görüş açılarının stabil olması hedeflenmiştir. 1 Numaralı anten olan Eliptik Monopol Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



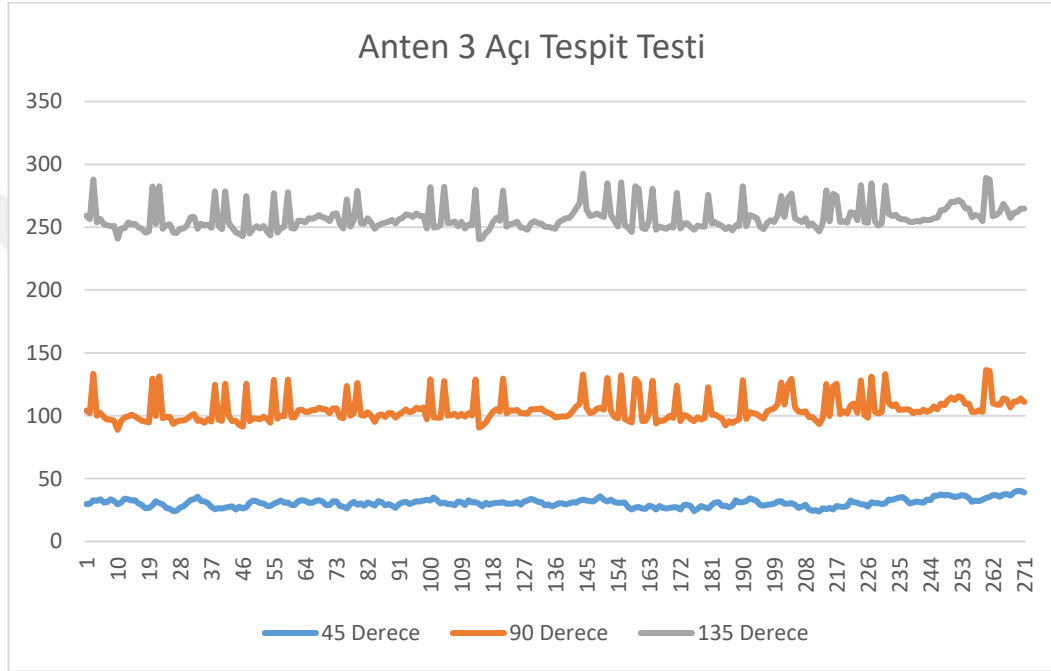
Şekil 4.19. Eliptik Monopol Anten ile Açık Tespit Test Verileri

Grafik incelendiğinde 135 Derecede yapılan testlerde oluşan gürültüler dikkat çekmektedir. Bununla birlikte 45 derece ve 90 derecede yapılan testler sonucunda elde edilen grafik 3 farklı noktada kesişmektedir. 2 Numaralı anten olan T Yarıkli Kare Monopol Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.20. T Yarıkli Kare Monopol Anten ile Açık Tespit Test Verileri

T Yarıkli Kare Monopol Anten ile yapılan testler sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Grafiğe göre 45 derece ve 90 derece açılarda alınan ölçüm sonuçları birbirleri ile içiçe olduğundan mobil düğümün pozisyonunun belirlenmesi açısından veriler ayırt edici olarak belirlenememiştir. Yalnızca mobil düğümün 135 derece pozisyonunda bulunduğu bilgisi diğer pozisyonlara göre ayırt edilebilir olarak yorumlanmıştır. 3 Numaralı anten olan Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



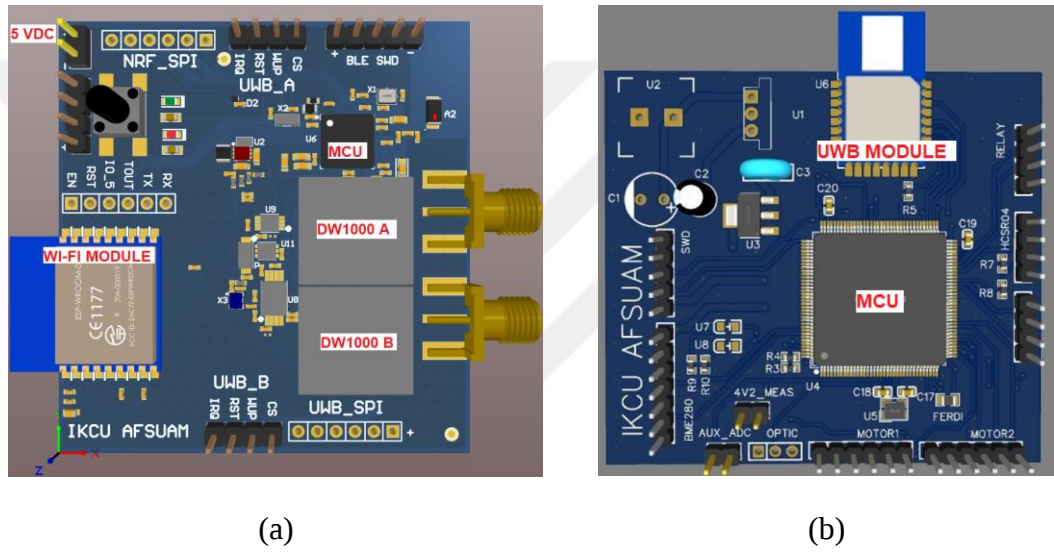
Şekil 4.21. Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten Açı Tespit Test Verileri

Grafik yorumlandığında 45 derece, 90 derece ve 135 derece olmak üzere her üç bölgedede verilerin birbirlerinden farklılaştığı ve bu veriler ışığında bölge tespiti yapılabilceği analiz edilmiştir.

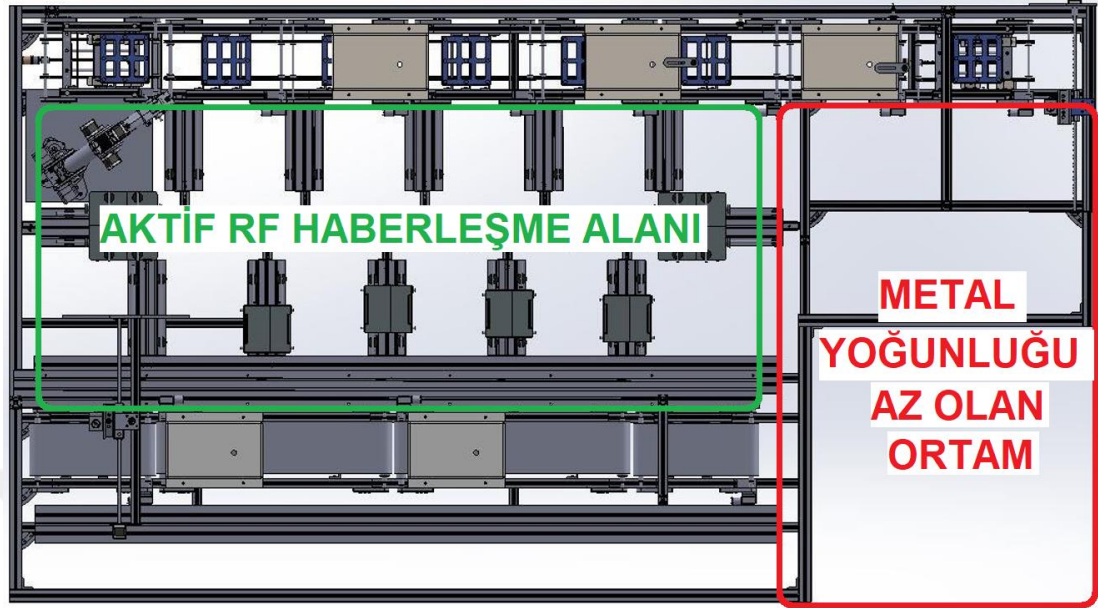
Bölüm 5

Sistem Entegrasyonu ve uçtan uca Testler

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilmiş olan IOT Ağ Geçidi donanımının AFSUAM model fabrikasına entegrasyonundan ve testlerinden bahsedilmiştir. Sistem üzerinde takibi sağlanacak olan tüm ekipmanlara mobil düğüm işlevini yerine getirmesi amacı ile AFSUAM sensör kartları entegre edilmiştir.



olduğunca açık alanda doğrudan rahatça görebilecek kısım ise aşağıdaki görselde kırmızı ile işaretlenmiştir.



Şekil 5.1. AFSUAM Modeli Üzerinde Aktif Haberleşme Alanı ve Metal Yoğunluğu Az Olan Ortam

IOT Ağ geçidi donanımı ile birlikte kullanılacak olan antenin ışıma karakteristiklerinin en güçlü olduğu alan aktif haberleşme alanını kapsayacak şekilde konumlandırılmıştır. AFSUAM sensör kartları ile IOT Ağ Geçidi Donanımları birbirleri ile UWB frekanslarında haberleşmektedirler. UWB Haberleşmesi AFSUAM sensör kartları üzerinde bulunan DWM1000 RF Modülleri ve IOT Ağ Geçidi Donanımları üzerinde bulunan DW1000 RF Alıcı – Verici çipleri sayesinde gerçekleştirilmektedir. UWB frekansında gerçekleştirilen TWR ve AOA gibi konumlama yöntemleri ile tüm birimlere ait konum verileri hesaplandıktan sonra toplanan bütün veriler IOT Ağ Geçidi Donanımı üzerinde bulunan ESP WROOM 02 kodlu Wi-Fi modülü üzerinden belirlenen IP adresinin ilgili portuna TCP protokolü ile internet ortamına dolayısı ile bulut sistemine bağlantı kurabilmektedir.

5.1 AFSUAM Akıllı Transfer Laboratuar Uygulaması

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın yayınlamış olduğu on birinci kalkınma planının ikinci bölüm kısım 2.2. de bahsedilen rekabetçi üretim ve verimlilik kriterlerine dayanarak Dijital Dönüşüm ile Ar-Ge ve yenilik konularının ülkemizin kalkınması için yüksek değere sahip olduğunu görebilmekteyiz. Bu sebeple ülkemizin dünya pazarındaki rekabet gücünü arttırmak açısından oldukça önemli sektörlerden biri olan doğal taş sektörü alanında faaliyet gösteren gerçek bir mermer fabrikasının dijital dönüşümünü sağlamak ve fabrikadaki tüm senaryoları simüle edebilmek amacı ile fabrikanın küçük ölçekteki modeli oluşturulmuştur. Üretim bölümü temelde 4 iş istasyonu ve alt üniteleri ile kalite kontrol içeren iş akış şeması barındırır. İmalat tekniği içerisinde kimyasal sağlamlaştırma yapmak için Fırın hatları (iş istasyonu-2) kullanılır. Bu hatlardan gerekli uygulamalar ile işleme tabi olan yarı mamul ürünler, hatların çıkışında boşaltma üniteleri vasıtası ile istiflenerek bulundukları yerden alınırlar ve yüzey işlemi yapılmak üzere yarı mamul (YM) depo alanında depolanır.



Şekil 5.2. Gerçek bir mermer fabrikasındaki taşıma / transfer vagonları ve istasyonlar

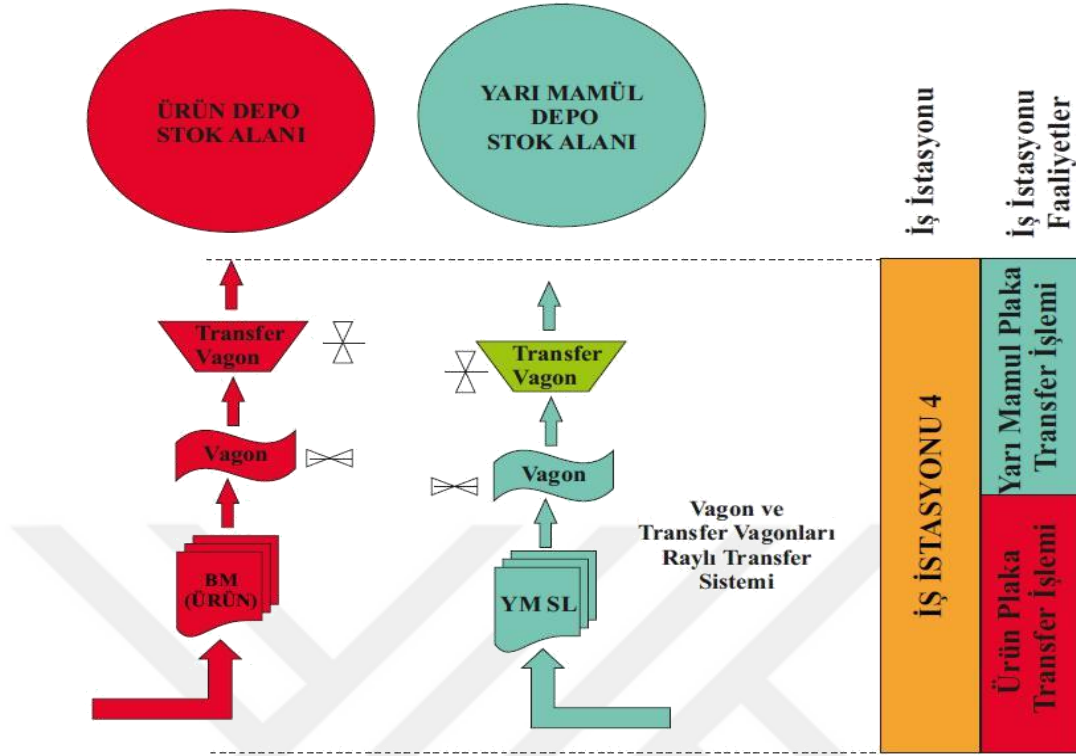
Bir sonraki faaliyet alanında yüzey işlemi yapılacakları mamul plakalar üretim birimi tarafından belirli bir süre bu alanda bekletilirler. Daha sonra buradan yarı mamul ürünler alınarak yüzeyleri parlatılmak üzere silim hatlarına (İş İstasyonu-3) gönderilir. Plaka yüzeyine işlem yapılarak parlatılan ürünler artık bitmiş ürün olarak müşteriye

pazarlanmak üzere boşaltma istasyonundan istiflenir ve buradanda alınarak bitmiş mamul depo alanlarında stoklanır.



Şekil 5.3. Gerçek bir mermer fabrikasındaki depo alanları ve istasyonlar

Bir mermer fabrikasının plaka üretim faaliyetleri, iş akış ve iş süreçlerine uygun olarak model fabrika olarak bir masa üzerinde modellenmiştir. Model fabrika raylı taşıma sistemi şematığı Şekil 5.3' te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Gerçek bir mermer fabrikasında mamül transfer ve depolama süreç akışları

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 mamül taşıma vagonu ile beraber yerleştirir. Ürünün yerleştirildiği istasyon, transfer vagonunun hafızasında dolu olarak işaretlenir AFSUAM Akıllı Fabrika Modeli üzerinde gerçek fabrikada uygulanan tüm senaryolar test edilebilmektedir. Bu model , fabrikanın dijital dönüşümü için entegre edilecek olan yeni teknolojilerin tümünün simüle edilerek fabrikanın dijital dönüşümüne büyük katkılar sağlayacaktır.



Şekil 5.5. AFSUAM Akıllı Fabrika Modelinin Laboratuvardaki Görüntüsü

AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi vagon tasarımının ana parçası olarak; ucuz, kontrolü kolay ve yüksek tork verimlilik özelliklerinden dolayı DC motorlar tercih edilmiştir. Doğru a kım (DC) motoru, elektrik enerjisinin doğru akımını mekanik enerjiye dönüştüren dönen bir elektrikli cihazdır. DC motorun içindeki bir bobin terminaline DC voltajı uygulandığında dönme hareketi oluşturan bir manyetik alan üretilmektedir. Motorun içinde bir tel bobine sarılmış demir bir shaft bulunmaktadır. Bu shaft, her iki tarafta hem itici hem de çekici bir kuvvete neden olan ve tork üreten iki sabit mıknatıs içermektedir. AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi performansını arttırmak amacı ile redüktörlü 12 volt, dakikadaki 30 devir sayısına sahip redüktörlü bir DC motor ile hareket ettirilmiştir. Kullanılan motor, bir redüktörlü motor, bir motor ve dişli kutusunun hepsi bir arada birleşimidir. Bir motora bir dişli kafasının eklenmesi, tork çıkışını artırırken hızı azaltmaktadır. DC motorun hız kontrolü, darbe genişlik modülasyonu kullanılarak yapılmıştır. darbe genişlik modülasyonu, mikrodenetleyiciden dijital çıkış ile analog devreleri kontrol etme tekniğidir. Bir analog sinyal, değeri zamanla sürekli değişen sinyaldir, dijital sinyaller ise yalnızca yüksek voltaj seviyesi veya düşük voltaj seviyesi olabilir. PWM, dijital bir kaynak kullanarak analog bir sinyal üretmek için kullanılır. PWM, görev döngüsü ve frekans olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Görev döngüsü, sinyalin yüksek durumda olduğu toplam sürenin yüzdesi olarak bir döngüyü tamamlamak için geçen süreyi tanımlar. Frekans, PWM'nin bir çevrimi ne kadar hızlı tamamladığını ve

dolayısıyla yüksek voltaj seviyesi ve düşük voltaj seviyesi arasında ne kadar hızlı geçiş yaptığını tanımlar. Dijital bir sinyali yeterince hızlı bir hızda ve belirli bir görev döngüsünde açık ve kapalı konuma getirerek, çıkışı sabit voltajlı bir analog sinyal gibi görünecektir.

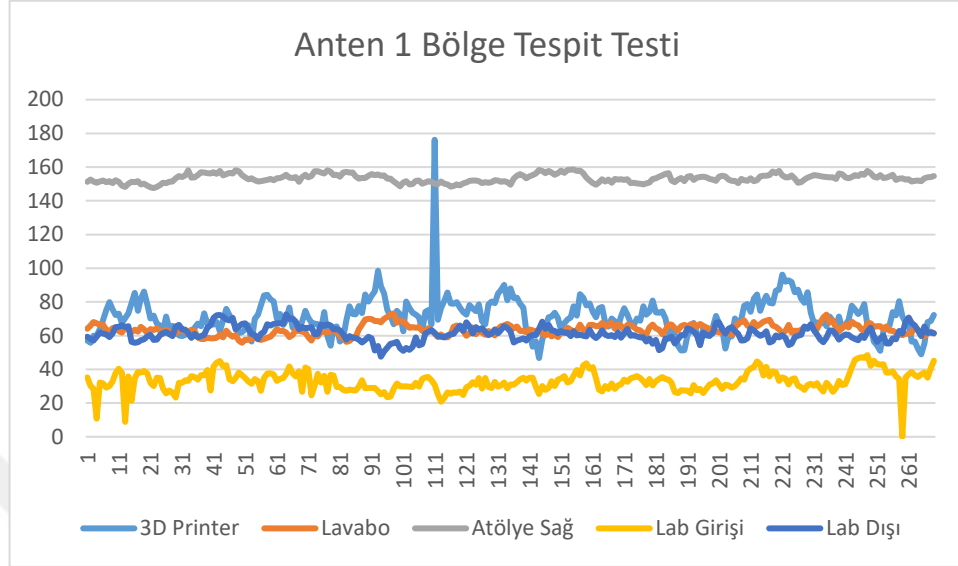
5.2 Bölge Tespit Çalışmaları

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 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 referans 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 seçilmesi sağlanmıştır. Laboratuar içerisinde 5 ayrı konumda, açı tespit amaçlı testler yapılmıştır.



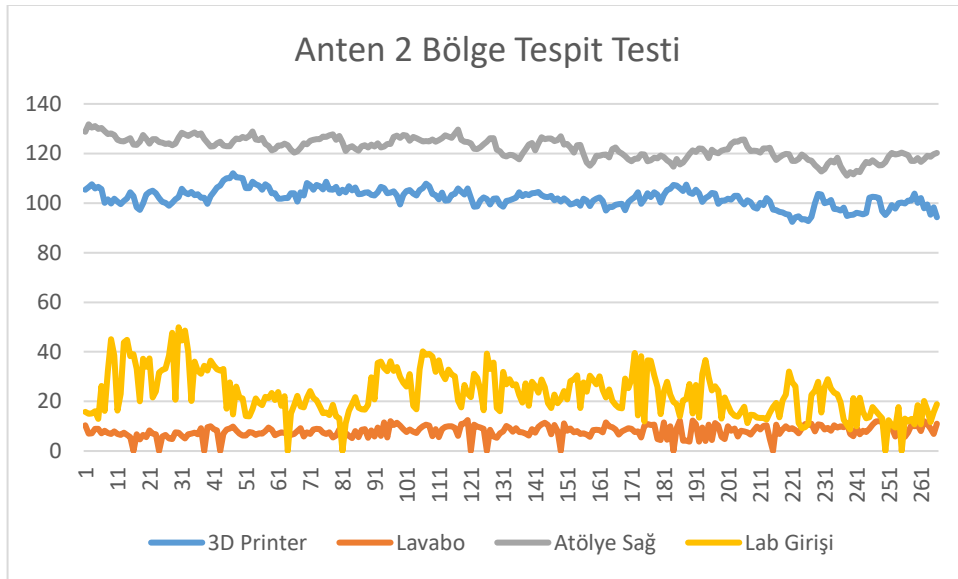
Şekil 5.6. Laboratuvar Ortamında Mobil Etiketin Konum Tespiti Testlerinin Yapıldığı Bölgeler

Şekil 5.12’de gösterilen bölgeler dışında 5. Bölge olarak laboratuvar giriş kapısının dışı belirlenmiştir. 1 Numaralı anten olan Eliptik Monopol Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



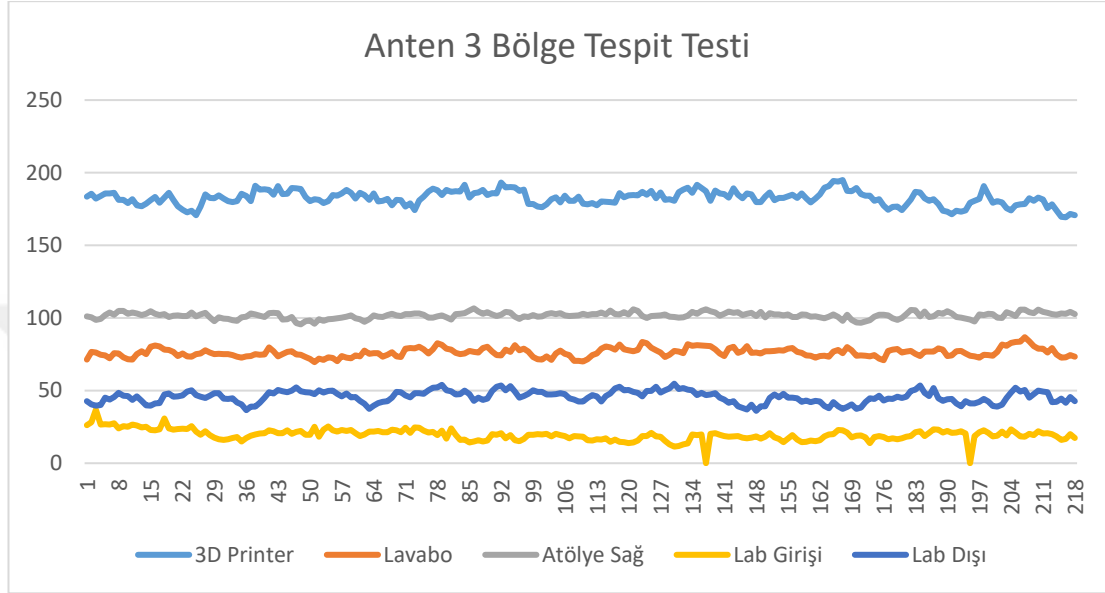
Şekil 5.7. Eliptik Monopol Anten ile Bölge Tespit Test Verileri

Grafik yorumlandığında 3D Printer Lavabo ve Lab Dışı konumlarındaki veriler birbirleri ile yüksek oranda benzeşmekte dolayısı ile bu üç bölge özelinde mobil düğümün konumu ayırt edilememektedir. 2 Numaralı anten olan T Yarıklı Kare Monopol Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.8. T Yarıklı Kare Monopol Anten ile Bölge Tespit Test Verileri

Şekil 5.14'te gösterilen grafik yorumlandığında Lavabo ve Lab Girişi olarak tanımlanan iki bölgedeki sonuçlar birbirleri ile farklı noktalarda benzeşmektedir. Dolayısı ile Atölye Sağ ve 3D Printer bölgeleri dışında sistem veriminin düşük olacağı gözlemlenmiştir. 3 Numaralı anten olan Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten ile gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Elmas Yarıkli Dairesel Dizi Anten Bölge Tespit Test Verileri

3 Numaralı anten olan Elmas Yarıkli Dairesel Anten ile gerçekleştirilen testlerde ise grafiklerin herhangi bir kesişme göstermediği ve farklı parametrelerde yüksek kararlılık ile değer üretme potansiyelinin bulunduğu kanıtlanmıştır.

Bölüm 6

Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında Akıllı Fabrikalara Yönelik Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi Destekli IoT Ağ Geçidinin Donanım Tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ağ geçidi donanımı ile uyumlu çalışabilecek Anten geliştirilerek sisteme entegre edilmiştir. Geliştirilen donanımın sisteme entegrasyonu ile model fabrika üzerinde iş verimliliği ve iş güvenliği açısından sisteme katkı sağlanmıştır. Yalnızca bir referans düğüm ile mobil düğüm konumunu hesaplayabilen yapı kullanıldığı için kurulum maliyetleri büyük oranda düşürülmüştür. Mevcut sistemlere göre daha küçük fiziksel boyutlar sağlanmıştır.

Sistem üzerindeki MCU BLE özellikli seçilmiş olup gelecek çalışmalara yönelik kullanıma hazırdır. Dahili çip anten kullanan BLE bloğu herhangi bir ek komponent gerektirmeden yazılım geliştirmesi ile devreye alınabilir.

Kaynaklar

- [1] B. T. Tava Lennon Olsen, "Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management," *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 22, no. 1, pp. 113-122, 2020.
- [2] L. Barreto, A. Amaral and T. Pereira, "Industry 4.0 implications in logistics: An overview," *Procedia Manuf*, vol. 13, pp. 1245-1252, 2017.
- [3] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research," *Journal of Industrial Information Integration*, pp. 1-10, 17 4 2017.
- [4] A. Yıldız, "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 22, no. 2, pp. 546-556, 2018.
- [5] K. Zhou, T. Liu and L. Zhou, "Industry 4.0: Towards Future Industrial," *12th Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, pp. 2147-2152, 2015.
- [6] S. Grabowska, "Smart Factories in the Age of Industry 4.0," *Management Systems in Production Engineering*, vol. 28, pp. 90-96, 2020.
- [7] R. F. Brena, J. P. García-Vázquez, C. E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales and J. Fangmeyer, "Evolution of indoor positioning technologies: A survey," *J. Sens.*, vol. 2017, no. Art. no. 2630413, 2017.
- [8] J. M. Pak, C. K. Ahn, P. Shi, Y. S. Shmaliy and M. T. Lim, "Distributed hybrid particle/FIR filtering for mitigating NLOS effects in TOA-based localization

using wireless sensor networks," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 6, pp. 5182-5191, 2017.

- [9] D. G. Pivoto, L. F. Almeida, R. Rosa Righi, J. P. Rodrigues and A. B. Lugi, "Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 176-192, 2021.
- [10] H. Chen, X. Jia and H. Li, "A Brief Introduction to IOT Gateway," in *IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011)*, Beijing, 2011.
- [11] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee and B. Yin, "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 6, no. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2783682., pp. 6505-6519, 2018.
- [12] A. S. Gunjan Beniwal, "A systematic literature review on IoT gateways," *Journal of King Saud University*, vol. 34, no. 10, pp. 9541-9563, 2021.
- [13] S. Fawzy and Y. M. A, "Internet-based e-commerce and its impact on manufacturing and business operations," *Industrial Management and Data Systems*, vol. 103, no. 8-9, pp. 546-552, 2003.
- [14] S. Guoqiang, C. Yanming and Z. Chao, "Design and Implementation of a Smart IoT Gateway," in *IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, 2013.
- [15] C. Y. Shang Guoqiang, "Design and Implementation of a Smart IoT Gateway," in *IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, 2013.

- [16] P. S. Sandro Nizetic, "Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards," in *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [17] P. S. Farahsari, A. Farahzadi and J. Rezazadeh, "A Survey on Indoor Positioning Systems for," in *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, 2022.
- [18] F. DwiYasa and M. H. Lim, "A Survey of Problems and Approaches in," *2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 4-7, 2016.
- [19] K. Hao and Q. Xue, "A Hybrid Localization Algorithm Based on Doppler Shift and AOA for an Underwater Mobile Node," *IEEE Access* 8:181662-181673, 2020.
- [20] H. Mura and K. Hirano, "Indoor Localization for Mobile Node Based on RSSI," *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 1065-1072, 2007.
- [21] X. Li, Y. Wang and K. Khoshelham, "A robust and adaptive complementary Kalman filter based on Mahalanobis distance for ultra wideband/inertial measurement unit fusion positioning," *Sensors*, vol. 18, no. 10, p. 3435, 2018.
- [22] X. L. a. J. Z. Y. Wang, "A foot-mounted inertial measurement unit (IMU) positioning algorithm based on magnetic constraint," *Sensors*, vol. 18, no. 3, p. 741, 2018.
- [23] F. Zafari, I. Papapanagiotu, M. Devetsikiotis and T. Hacker, "An iBeacon based proximity and indoor localization system," *arXiv:1703.07876*, 2017.

- [24] M. Fazio, A. Buzachis, A. Galletta, A. Celesi and A. Villari, "A proximity-based indoor navigation system tackling the COVID-19 social distancing measures," *Proc. IEEE Symp. Comput. Commun.*, pp. 1-6, 2020.
- [25] T. K. Geok, "Review of indoor positioning: Radio wave technology," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 1, p. 279, 2021.
- [26] A. Kireev, G. Fokin and A. H. Al-odhari, "TOA measurement processing analysis for positioning in NLoS conditions," *Proc. Syst. Signals Gener. Process. Field Board Commun.*, pp. 1-4, 2018.
- [27] J. Chen, T. Shi, Y. Liu and S. Wu, "A time-compensation TDOA-based wireless positioning method for multi-level IoT positioning," *Proc. 15th Int. Wireless Commun. Mobile Comput. Conf. (IWCMC)*, pp. 1731-1736, 2019.
- [28] T. K. Le and N. Ono, "Closed-form and near closed-form solutions for TDOA-based joint source and sensor localization," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 65, no. 5, pp. 1207-1221, 2017.
- [29] M. Van Eeckhaute, E. Gottlob, P. D. Doncker and F. Horlin, "Iterative RToF-based localisation and time synchronisation in WLAN-like systems," *Electron. Lett.*, vol. 54, no. 24, pp. 1386-1387, 2018.
- [30] I. Dotlic, A. Connell, H. Ma and J. Clancy, "Angle of arrival estimation using decawave DW1000 integrated circuits," *14th Workshop on Positioning, Navigation and Communications*, 2017.
- [31] M. Khalaf-Allah and O. Michler, "Utilization of nuisance parameter to increase positioning accuracy," *Proc. Eur. Navig. Conf. (ENC)*, pp. 1-4, 2019.

- [32] Á. De-La-Llana-Calvo, J. L. Lázaro-Galilea, A. Gardel-Vicente, D. Rodríguez-Navarro, I. Bravo-Muñoz and F. Espinosa-Zapata, "Characterization of multipath effects in indoor positioning systems by AoA and PoA based on optical signals," *Sensors*, vol. 19, no. 4, pp. 917-2019, 2019.
- [33] H. Steendam, "A 3-D positioning algorithm for AOA-based VLP with an aperture-based receiver," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 36, no. 1, pp. 23-33, 2018.
- [34] W. Xue, W. Qiu, X. Hua and K. Yu, "Improved Wi-Fi RSSI measurement," *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 76, pp. 2224-2230, 2017.
- [35] R. Liu, C. Yuen, T. N. Do and U. X. Tan, "Fusing similarity-based sequence and dead reckoning for indoor positioning without training," *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 13, pp. 4197-4207, 2017.
- [36] W. Liu, "Survey on CSI-based indoor positioning systems and recent advances," *Proc. Int. Conf. Indoor Position. Indoor Navig.*, pp. 1-8, 2019.
- [37] H. Liu, N. Xia, D. Guo and P. Qing, "CSI-based indoor tracking with positioning-assisted," *Proc. Ubiquitous Position. Indoor Navig. Location Based Services (UPINLBS)*, pp. 1-8, 2018.
- [38] D. D. Mullahmetov, V. A. Fadeev, A. K. Gaysin and A. F. Nadeev, "Empirical analysis of LTE network coverage quality," *Proc. Syst. Signal Synchronization Gener. Process. Telecommun. (SYNCHROINFO)*, pp. 1-4, 2018.
- [39] O. E. Ahmed, "Design of Half Elliptical Ring Mo-," *Microwave and Optical Technology Letters.*, vol. 54, no. 1, pp. 181-187, 2012.

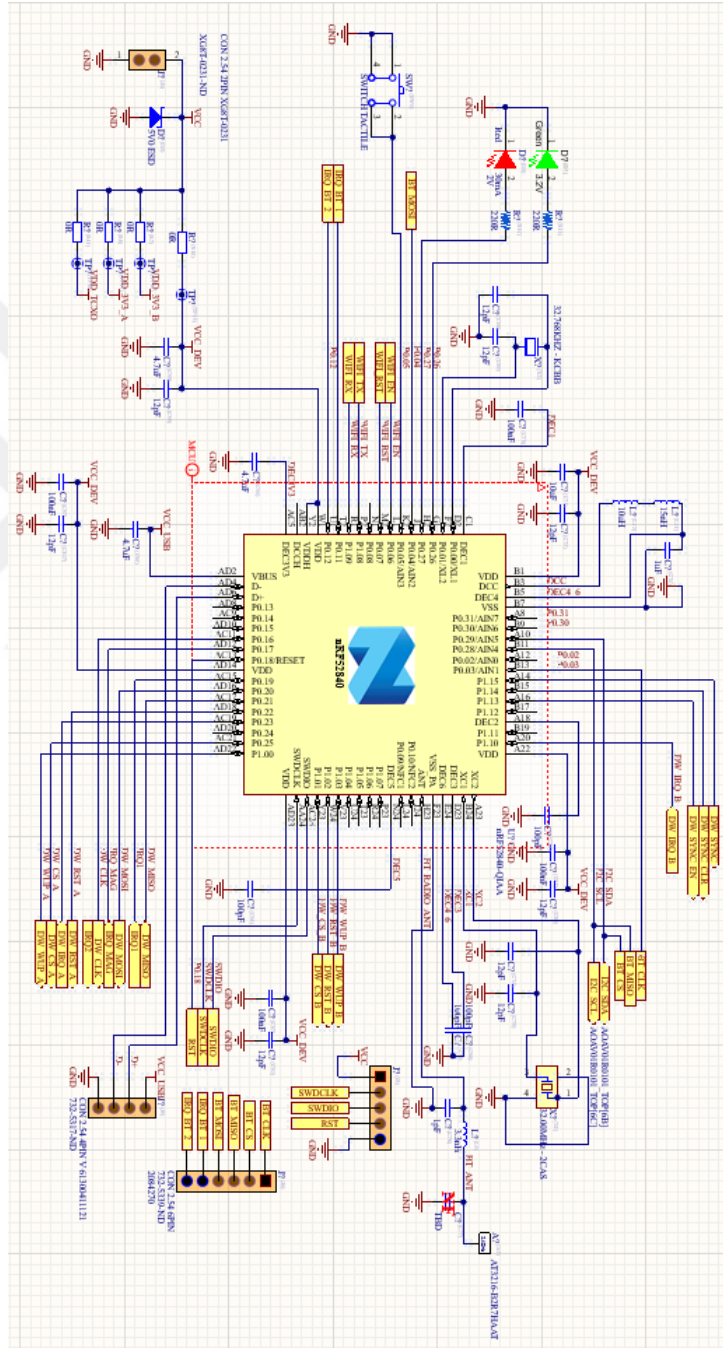
- [40] O. Haraz and A. R. Sebak, UWB Antennas for Wireless Applications, intechopen, 2013.
- [41] "NRF52840 BLE Modülü Teknik Dökümanı," Nordic, [Online]. Available: https://www.minew.com/uploads/MS88SF3_V1.1-nRF52840-Datasheet.pdf.
- [42] Decawave, "DW1000 Teknik Veri Sayfası V2.12," [Online]. Available: <http://decawave.com/>.
- [43] DigiKey, "NAND Mantıksal Kapısı Tedarikçi Bilgi Ekranı," 2023. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/products/detail/texas-instruments/SN74LVC2G00DCUR/484852>.
- [44] DigiKey, "D Tipi Flip Flop Tedarikçi Bilgi Ekranı," 2023. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/products/detail/texas-instruments/SN74LVC1G175DCKR/656526>.
- [45] "ESPWROOM-02D Teknik Veri Sayfası," [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.
- [46] J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang and W. Zhao, "A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1125-1142, 2017.

Ekler



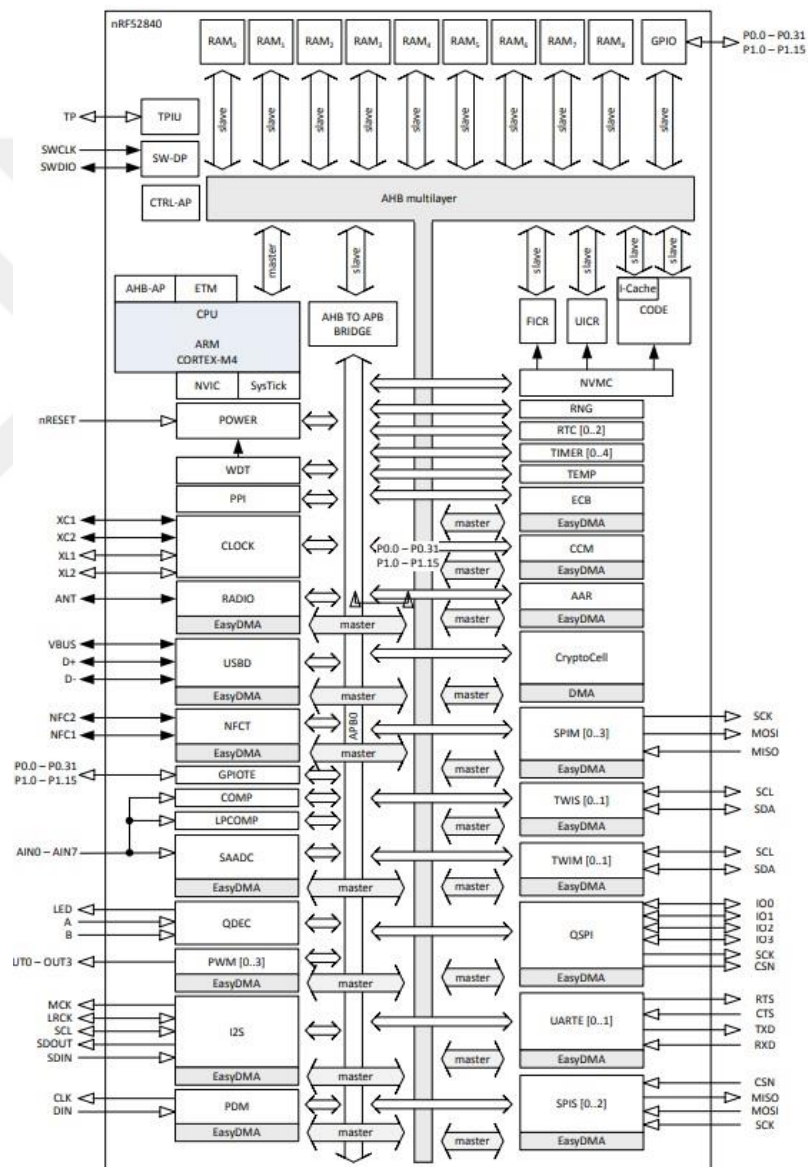
Ek A

Merkezi İşlem Birimi Devre Şeması



Ek B

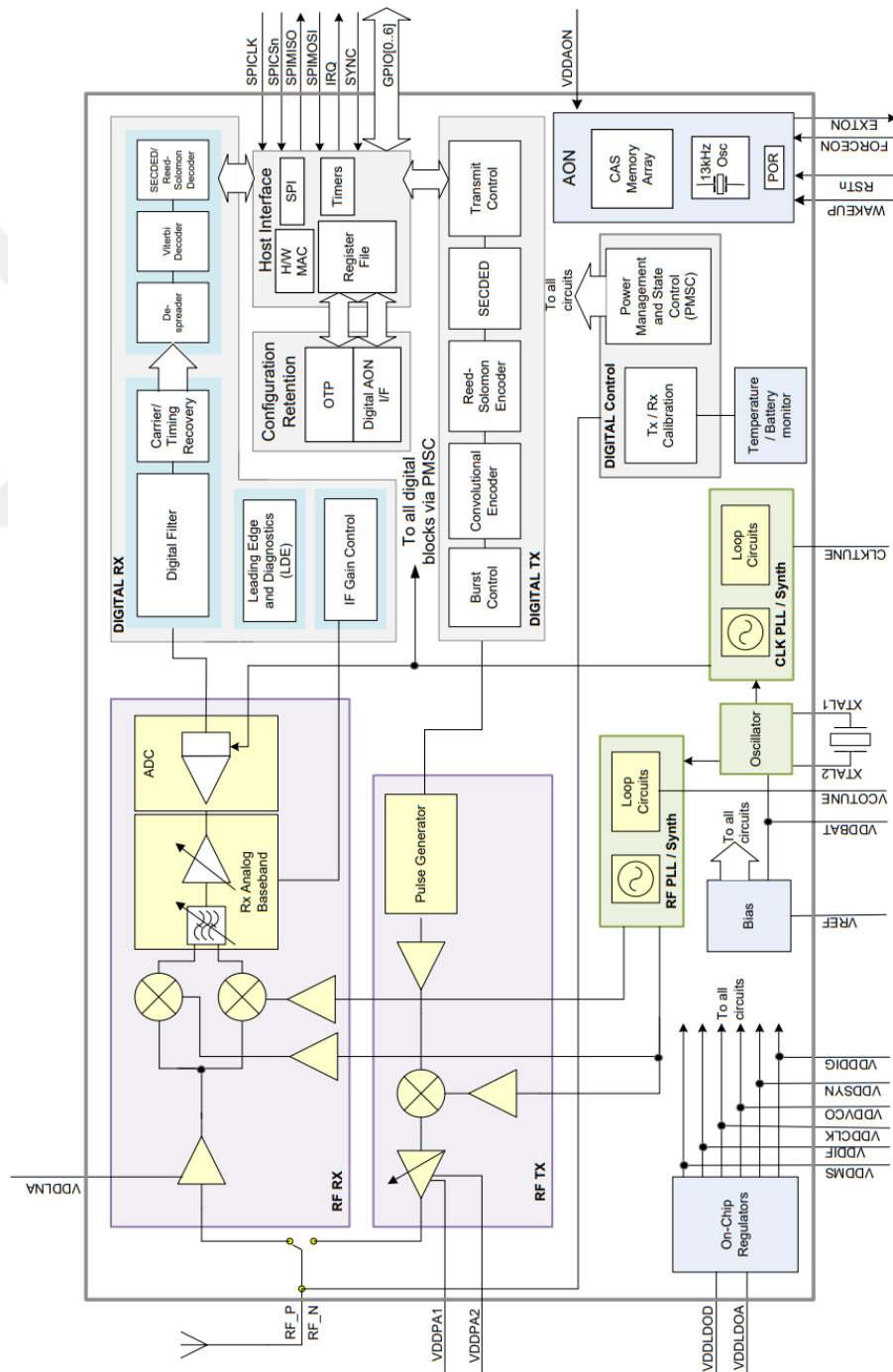
NRF52840 MCU Sistem Blok Diyagramı



Ek C

DW1000 Sistem Kavramsal Blok

Şeması



Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. Ultra Wideband (UWB) L Grounded Extended Radiator Disc Antenna Design and Analysis for Positioning Systems in Smart Factories (4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences on 10-13 November 2022 at Konya/Turkey)



Özgeçmiş

Adı Soyadı: Hüseyin Özdil

E-mail (1):

E-mail (2):

Eğitim:

2011–2016 Lefke Avrupa Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Müh. Lisans

2019–2023 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Müh. Y.Lisans

İş Deneyimi:

2016 – 2018 Neta Elektronik A.Ş, Donanım Tasarım Mühendisi

2018 – 2021 Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş, ARGE Donanım Tasarım Mühendisi

2021 – 2022 Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş, ARGE Uygulama Takım Lideri

2022 – 2023 Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş, ARGE Donanım Takım Lideri

Yayınlar :

1. Ultra Wideband (UWB) L Grounded Extended Radiator Disc Antenna Design and Analysis for Positioning Systems in Smart Factories (4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences on 10-13 November 2022 at Konya/Turkey)