



Endüstri 4.0 Tabanlı Akıllı Fabrikalar için UWB Üzerinden Konumlamaya Yönelik Sensör Kartı Tasarımı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Burak Yaşar Çoldaş
ORCID 0000-0002-3951-7758

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan Kaya

Haziran 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Burak Yaşar ÇOLDAŞ** tarafından hazırlanan **Endüstri 4.0 Tabanlı Akıllı Fabrikalar için UWB Üzerinden Konumlamaya Yönelik Sensör Kartı 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

Doç. Dr. Merih Palandöken
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bilge Kartal Çetin
Ege Üniversitesi

Savunma Tarihi: 30.06.2022

Yazarlık Beyanı

Ben, Burak Yaşar ÇOLDAŞ, başlığı **Endüstri 4.0 Tabanlı Akıllı Fabrikalar için UWB Üzerinden Konumlamaya Yönelik Sensör Kartı Tasarımı** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

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

İmza:

Tarih:

30.06.2022

Endüstri 4.0 Tabanlı Akıllı Fabrikalar için UWB Üzerinden Konumlamaya Yönelik Sensör Kartı Tasarımı

ÖZ

Son zamanlarda, Endüstri 4.0 tabanlı üretim süreçleri, üretim endüstrisinde sürdürülebilirlik, organizasyon yapısı, yalın üretim, ürün geliştirme ve stratejik yönetim gibi farklı alanlara odaklanarak, araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür.

Farklı optimal kontrol modelleri ile Endüstri 4.0 tabanlı bir akıllı fabrika sistemi arasındaki ilişki araştırılmaya başlanmış, akıllı fabrikaların uygulanmasıyla ilgili faydaları, zorlukları ve riskleri analiz etmek için kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Endüstri 4.0 şeffaflık, izleme, bağlanabilirlik ve esneklik ile ilgili nesnelerin interneti (Internet of Things) (IoT)'nin katkılarına odaklanmaktadır. Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikalar, fiziksel ve siber teknolojileri birleştirerek ilgili teknolojileri daha karmaşık ve daha doğru hale getiriyor. IoT, çağında üretim süreçlerinin şeffaflığını, kontrol edilebilirliğini ve performansını geliştirmek; gelişmiş düşük maliyetli sensör teknolojileri ile veri toplamak ve bunları üretim şirketleri ve tedarik zincirleri tarafından etkin performans için kullanmak kaçınılmaz olmuştur. Bu çalışmada IoT, akıllı sensörler, elektronik cihazların kablosuz haberleşmesi tabanlı hizmetler gibi farklı teknolojilerin kullanımı ile endüstriyel ortamlarda geleneksel metotlardan dijital dönüşüme geçiş için katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Çalışmanın merkezinde, mermer fabrikaları başta olmak üzere birçok endüstriyel ortamda çalışabilecek sistem tasarımları bulunmaktadır. Geleneksel üretim yapan endüstriyel ortamlarda teknolojik gelişmelerin uygulanabilmesi için; Bu tez çalışmasında, gerçek zamanlı konum takip sistemi, için alt yapı oluşturulmuştur. Çeşitli sensörlerden veri alan bu verileri işledikten sonra, işçiler için çevresel koşulları korumak ve bir akıllı fabrika ortamında mamül, yarı mamül ürünlerini taşıma-transfer işlemini gerçekleştiren AFSUAM akıllı taşıma-transfer sisteminde vagonları kontrol eden bir elektronik kart ve bu kartın gömülü yazılım tasarımı hedefleri gerçekleştirilmiştir.

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

Sensor Board Design for Localization via UWB for Industry 4.0 Based Smart Factories

Abstract

Now, Industry 4.0-based production operations have interested great care by researchers, focusing areas for example maintainability in the manufacturing industry, organizational structure, lean manufacture, product improvement.

The connection between different best supervision models and Industry 4.0-based smart factories started to be explored and extensive studies have been performed to analyze the benefits, challenges, and risks associated with the implementation of smart factories. It focuses on the contributions of the Internet of Things (IoT) related to transparency, monitoring, connectivity, and flexibility within Industry 4.0. Industry 4.0-based smart factories combine physical and cyber technologies, making related technologies more complicated and more correct. To improve the transparency, controllability and performance of production processes in the age of IoT; It has been become inevitable to collect data with improved low-cost sensor technologies and use them for effective performance by manufacturing companies and supply chains. In this study, it is purpose to contribute to the transition from traditional methods to digital transformation in industrial environments with the use of different technologies such as IoT, smart sensors, wireless communication-based services of electronic devices.

In the center of the study, there are system designs that can work in many industrial environments, especially marble factories. To apply technological developments in

traditional production industrial environments; Infrastructure has been created for real-time location tracking system. Then, an electronic card that controls the wagons and the embedded software of this card were designed in the AFSUAM intelligent transport-transfer system, which receives data from various sensors and processes these data, protects the environmental conditions for the workers and carries out the transport-transfer process of finished and semi-finished products in a smart factory environment.

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

Aileme...

Teşekkür

Bu çalışmanın tamamlanmasında tecrübelerini benimle paylaşmaktan hiçbir zaman kaçınmayan danışman hocam Prof. Dr. 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, erkek kardeşim ve Hande ÖZENÇ'e 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 arkadaşlarım Çağatay KAYNAK ve Hüseyin ÖZDİL'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje no: 2021-TYL-FEBE-0006 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
Abstract	v
Teşekkür	viii
Şekiller Listesi	xi
Tablolar Listesi	xiii
Kısaltmalar Listesi	xiv
Semboller Listesi	xvi
1 Giriş	1
1.1 Motivasyon	2
1.2 Literatür Araştırması ve İlgili Çalışmalar	2
1.3 Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları	6
1.4 Çalışmanın Geri Kalan Bölümlerinin İçerikleri	7
1.5 Çalışmanın Katkıları, Özgün Değeri	8
2 Akıllı Fabrika Sistemleri.....	11
2.1 Sanayi Devrimleri ve Endüstri 4.0.....	11
2.2 Geleneksel Fabrikalar ve Akıllı Fabrikaların Karşılaştırılması	13
2.3 Akıllı Fabrikalar İçin Genel Bilgiler	15
2.4 Akıllı Fabrikalar, Nesnelerin İnterneti ve Sensörler Arasındaki İlişki ..	16
3 Akıllı Fabrika Sistemleri için Teorik Arkaplan	20
3.1 UWB Haberleşme Temelli Konumlandırma Sistemi Analizi.....	20
3.1.1 Yayılma Analizi.....	20
3.1.2 Yol Analizi	21

3.1.3	Bağlantı Bütçeleme ve Bağlantı Sınırı	22
3.2	Gerçek Zamanlı Konumlama Algoritmaları	24
3.2.1	Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi	24
3.2.2	Sinyal Geliş Fazları Yöntemi ile Açık Bulma Algoritması.....	26
3.2.3	İki Yönlü Ölçüm Yöntemi ile Mesafe Bulma Algoritması	28
4	Materyal ve Metod	30
4.1	AFSUAM Sensör Kartı Donanım Tasarımı	30
4.1.1	Güç Katmanı.....	31
4.1.2	Sensörler, Diğer Çevre Birimleri ve Programlayıcı	32
4.1.3	Kılıf Tasarımı, Komponent Yerleştirilmesi ve Yönlendirme.....	40
4.1.4	AFSUAM Sensör Kartı Üretim ve Dizgisi.....	43
4.2	AFSUAM Sensör Kartı Gömülü Yazılım Tasarımı	45
4.2.1	Sensör Sürücü Yazılımları.....	46
4.3	AFSUAM Akıllı Taşıma-Transfer Sistemi	49
5	Akıllı Fabrika Sistemi Gerçek Zamanlı Modül Entegrasyonu ve Saha Testleri	53
5.1	AFSUAM Akıllı Taşıma-Transfer Sistemi Testleri	55
5.2	Kablosuz Haberleşme Testleri	66
5.3	Sensör Verileri Okuma Testleri	68
6	Sonuç ve Gelecek Çalışmalar	70
	Kaynaklar.....	72
	Ekler	78
	Ek A Kaynak Kodları	78
	Ek B Şematik Sistem Tasarımı.....	84
	Ek C Tezden Üretilmiş Yayınlar	86
	Özgeçmiş.....	87

Şekiller Listesi

Şekil 1.1	AFSUAM sensör kartı akış diyagramı	10
Şekil 3.1	İki ışınlı zemin yansıması.....	21
Şekil 3.2	İki cisim arasındaki mesafenin bulunması	25
Şekil 3.3	Tipik bir görüş alanında olmayan iki nokta arasında görünürlük analizi (LOS), UWB sinyali senaryosundan örnek akümülatör.....	28
Şekil 3.4	TWR yönteminde, ToF hesaplaması için verici ve alıcı arasındaki mesajlaşmalar.....	29
Şekil 4.1	AFSUAM Sensör kartı güç katmanı şematik.....	31
Şekil 4.2	DHT11 sıcaklık ve nem sensörü (a) Şematik, (b) Bağlantı Pinleri.....	32
Şekil 4.3	HC SR04 mesafe sensörü (a) Şematik, (b) Bağlantı Pinleri	34
Şekil 4.4	DWM1000 üst düzey blok şeması	36
Şekil 4.5	DWM1000 devre şematığı	36
Şekil 4.6	DWM1000 UWB modülü ve mikrodenetleyici SPI bağlantısı.....	37
Şekil 4.7	AFSUAM Akıllı taşıma ve transfer vagonları DC motor sürücüleri bağlantı şematığı	37
Şekil 4.8	Modüler kullanım için I2C devre şematığı	38
Şekil 4.9	Modüler kullanım için SPI devre şematığı.....	39
Şekil 4.10	Modüler kullanım için UART devre şematığı.....	39
Şekil 4.11	Programlayıcı devre şematığı.....	40
Şekil 4.12	Kılıf tasarım görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman	40
Şekil 4.13	Komponent yerleştirme için baskı katmanı tasarım görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman.....	41
Şekil 4.14	Yollandırma (a) Üst katman yönlendirme, (b) Alt katman yönlendirme	42
Şekil 4.15	Üç boyutlu görünüm. (a) Üst katman üç boyutlu görüntü, (b) Alt katman boyutlu görüntü	43
Şekil 4.16	Gerber dosyaları görüntüleri (a) Üst katman ve lehim maskesi, (b) Alt katman ve lehim maskesi	44

Şekil 4.17	Dizgiye hazır PCB görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman.....	44
Şekil 4.18	Programlamaya hazır dizili PCB görüntüsü.....	45
Şekil 4.19	HC-SR04 ultrasonik sensor çalışma mekanizması.....	48
Şekil 4.20	HC-SR04 sensör datası okuma zaman diyagramı	48
Şekil 4.21	Yankı pini çıkışında oluşan kare dalga	49
Şekil 4.22	Akıllı taşıma vagonu ana bileşenleri (a) Redüktörlü DC motor, (b) L298N voltaj regülatörlü motor sürücü kartı.....	50
Şekil 4.23	AFSUAM taşıma-transfer sistemi şematiği	51
Şekil 4.24	Akıllı transfer vagonu tasarım aşamaları (a) Üç boyurlu tasarım, (b) DC motor, motor sürücü ve AFSUAM sensor kartı yerleşimi, (c) sensörler ve batarya yerleşimi, (d) Akıllı transfer vagonu kullanıma hazır halı	52
Şekil 5.1	HC-06 Bluetooth modülü (a) Modül enerjisiz görünüm, (b) Modül enerjili ve bağlantı kurulmuş görünüm.....	54
Şekil 5.2	Android mobil uygulama arayüzü.....	55
Şekil 5.3	Gerçek bir mermer fabrikası İş istasyonu-4 iş süreci.....	56
Şekil 5.4	Model fabrika raylı akıllı taşıma sistemi.....	57
Şekil 5.5	Model fabrika raylı akıllı taşıma sistemi şematiği	58
Şekil 5.6	İş merkezi üretim akış diyagramı	59
Şekil 5.7	Mermer fabrikası iş istasyon süreçleri	60
Şekil 5.8	İş istasyonu-4 AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi diyagramı	61
Şekil 5.9	Mermer fabrikasında transfer hattında çalışan taşıma, transfer vagonları	61
Şekil 5.10	AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi, (a) İş istasyonu-2 den çıkan yarı mamülün taşıma vagonuna alınması, (b) taşıma vagonunun transfer vagonuna yerleşmesi, (c) Taşıma vagonu ile yarı mamül stok alanına giden transfer vagonu, boş taşıma vagonunun iş istasyonu-2 den ürün almak için istasyon 1'e getirilmesi.....	63
Şekil 5.11	Taşıma vagonu yüklü ve yüksüz görüntüleri	64
Şekil 5.12	Transfer vagonu görüntüsü.....	64
Şekil 5.13	Model fabrika raylı taşıma sistemi, taşıma ve transfer vagonları	65
Şekil 5.14	Anten testlerinde kullanılan mermer çeşitleri, (a) Mermer 1 Emperador, (b)Mermer 2 Mersin Gri.....	66
Şekil 5.15	Gerçek zamanlı sensör verileri.....	69

Tablolar Listesi

Tablo 4.1	DHT11 sıcaklık, nem sensörü genel özellikleri	32
Tablo 4.2	DHT11 sıcaklık, nem sensörü detaylı ölçüm parametreleri	33
Tablo 4.3	HC SR04 mesafe sensörü genel özellikleri	34
Tablo 4.4	DWM1000 UWB kablosuz haberleşme modülü genel özellikleri.....	35
Tablo 5.1	Farklı mesafede aynı güç seviyelerinde ölçüm sonuçları.....	67
Tablo 5.2	Aynı mesafede farklı güç seviyelerinde ölçüm sonuçları	68

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
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	Arası Entegre Devre
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
BN	Bağıl Nem

Semboller Listesi

μs	Mikro Saniye
dBi	Desibel İzotropik
dB	Desibel
dBW	Desibel milliwatt

Bölüm 1

Giriş

“Endüstri 4.0” ve nesnelerin İnterneti, endüstriyel otomasyon ve kontrolde görülen mevcut teknolojik yenilikler için iki önemli terimdir. Bu kavramlar ile birlikte her şey daha akıllı hale geliyor ve üretim sürecinin tüm seviyelerinde üretilen veriler, ürün kalitesini, esnekliği ve üretkenliği artırmak için kullanılıyor [1].

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

1. Fabrikalarda, üretimde insan hata oranının azalması,
2. Üretim sürecinin hızlandırılması ve üretim hattında maksimum esneklik elde etmek,
3. Üretici ve tüketici arasındaki iletişim kanallarını arttırmak.
4. Sipariş sürecinin bekleme süresinde takip yeteneği oluşturmak.

İmalat sanayi, küresel talepler nedeniyle önemli bir yapısal geçişle ilgilidir. Bu geçiş endüstri 4.0'ın devam eden ve gittikçe çeşitlenen birçok gelişiminin bütünüdür; bulut bilişim, gelişmiş analitik, mobil bilgi işlem, makineden makineye iletişim, gelişmiş robotik, 3 boyutlu baskı, optik teknolojiler, mikrosistem teknolojisi, nanoteknoloji, biyoteknoloji bu gelişimin içindeki bazı alt başlıklardır [2]. Bu nedenle, yeni ortaya çıkan, birbirine bağlı değer zincirleri, dördüncü sanayi devriminin tüm üretim ortamı için inanılmaz potansiyeli nedeniyle geleneksel iş modellerini ve organizasyon yapısını değiştirmiştir. Bunun üzerine teknoloji, modern yaşam ve yüksek teknoloji üreticisi olmayı hedefleyenler için yepyeni bir anlam kazanmıştır.

Bir diğerk ana kavram olan IoT, cihazların birbirleriyle konuşmalarını, bilgi paylaşmalarını ve bildirimleri senkronize etmelerini sağlayarak nesnelere görme, duyma, düşünme ve iş yapma konusunda güçlendirir. IoT, hemen her yerde bulunan; bilgi işlem, gömülü cihazlar, iletişim teknolojileri, sensör ağları, protokoller ve uygulamalar gibi temel teknolojilerini manipüle ederek bu nesnelere geleneksel olmaktan çıkartıp akıllı hale getirir [3].

1.1 Motivasyon

Günümüzde, kablosuz iletişimde ve endüstri alanında yaşanan tüm gelişmeler göz önüne alındığında, bu tez kapsamında IoT, sensörler, elektronik cihazların kablosuz haberleşmesi, gerçek zamanlı nesne ve insan takibi gibi farklı teknolojilerin endüstriyel ortamlarda geleneksel metotlardan dijital dönüşüme geçiş için katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Çalışmanın merkezinde, mermer fabrikaları başta olmak üzere birçok endüstriyel ortamda çalışabilecek sistem tasarımları bulunmaktadır. Geleneksel üretim yapan endüstriyel ortamlarda fiziksel bilgileri elde edebilmek için; kablosuz sensör kartlarını gömülü sistem tasarımı ile gerçekleştirip; toplanan sensör verilerini ultra-geniş band (Ultra-Wide Band) (UWB), teknoloji ile kablosuz olarak ağ geçidine iletmek ve yine aynı şekilde sunucu üzerinden ağ geçidine gelen komutları, UWB teknolojisi ile kablosuz sensör kartına ileterek fabrika ortamında dijital dönüşüme katkıda bulunmak hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında; çeşitli sensörlerden veri alan ve bu verileri işledikten sonra, işçiler için çevresel koşulları korumak ve bir akıllı fabrika ortamında mamül, yarı mamül ürünlerini taşıma-transfer işlemini gerçekleştiren Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulamave Araştırma Merkezi (AFSUAM) akıllı taşıma-transfer sisteminde vagonları kontrol eden bir elektronik kart ve bu kartın gömülü yazılım tasarımı hedefleri bulunmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması ve İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, IoT, sensörler ve elektronik cihazların kablosuz haberleşmesi için kullanılan farklı metotlar ile alakalı literatürde yapılmış ilgili, benzer çalışmalardan bahsedilmiştir.

Changhong Liu ve Ray Y. Zhong yaptıkları çalışmada, Nesnelerin İnterneti (IoT), kavramını “fiziksel nesnelerin bilgi ağına sorunsuz bir şekilde entegre edildiği ve fiziksel nesnelerin iş süreçlerinde aktif katılımcılar haline gelebildiği bir dünya” olarak tanımlanmışlardır. Çalışma, IoT özellikli üretimin fabrikalarda tüm mevcut bilgilerin gerçek zamanlı olarak yakalandığı, görünür bir şekilde yapıldığı ve eyleme geçirilebilir içgörülere dönüştürüldüğü bir ortam yaratmakla ilgili olduğu Endüstri 4.0 bağlamında üretim için mevcut Nesnelerin İnterneti'ni gözden geçirmektedir. Bazı önemli teknolojiler ve dünya çapındaki uygulamalar gözden geçirilir, böylece bazı kritik içgörüler ve dersler alınabilir. Bu tür önemli bilgiler, Endüstri 4.0'ın gelişmesi nedeniyle yakın gelecekte uygulama ve araştırmalarında uygulayıcılara ve akademiye rehberlik etmek için kullanılabilir [2].

Tiago Coito ve arkadaşları, sensörlerden gelen bilgilerin iş verileriyle eşzamanlı entegrasyonu ve değerli bilgilerin nasıl elde edileceği görüşü üzerinden yola çıkarak, çalışmalarında sensörlerden ve iş verilerinden gelen bilgilerin eşzamanlı entegrasyonu üzerine yoğunlaşmışlardır. Üç seviyeli bir mimaride programlanabilir mantıksal denetleyici (Programmable Logic Controller) (PLC) ve kişisel bilgisayar (Personal Computer) (PC) platformlarının bir kombinasyonunu kullanarak akıllı sensörleri ve gerçek zamanlı karar vermeyi entegre eden endüstriyel bir uygulama yapmışlardır. Otomatik tanımlama ile akıllı sensörleri, dinamik bir zamanlama aracının karar verme sürecini iyileştirmek için kullanmışlardır. Önerilen platform, analitik kalite kontrol laboratuvarlarında, dinamik bir zamanlama aracının karar verme sürecini iyileştirmek için ve otomatik tanımlama için akıllı sensörleri kullanmıştır. Akıllı sensörlerin entegrasyonunun görevlerin çevrimiçi zamanlamasını nasıl iyileştirebileceğini göstermişlerdir. Çalışmalarında sistem işleme sürelerine ilişkin tahminlerin %30'un üzerinde azaldığı raporlayarak, önerilen çözüm ile, kestirimci bakım ve üretim için kritik faktörler olduğu, başta kimya endüstrisi olmak üzere diğer sektörler için diğer uygulamalara genişletilebilirliğini savunmuşlardır [1].

Chetna Nagpal ve arkadaşları, endüstriyel ağ, bulut ve çeşitli kontrol terminallerini konveyör, ürün ve makine gibi çeşitli iş parçalarıyla birleştiren akıllı bir fabrika çerçevesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, bulut bağlanabilirlik özelliğine sahip olduğu için tüm üretimi kontrol etmek için bir kontrolör olan 'Kontrol mega' kullanılmıştır. 'Kontrol mega' otomasyonda endüstriyel kullanımlar, kontrol ve izleme için IoT Arduino uyumlu açık kaynaklı bir PLC cihazıdır. Bu, tüm üretim sürecini

gerçek zamanlı olarak kontrol etmeyi ve izlemeyi kolaylaştırmak için üretim hattının ayrı bölümlerinin iletişim kurmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, eskiden bir fabrikanın görünüşünü ve varlığını değiştirecek birçok yeni özellik ve işlevsellik dahil edilmiştir. Akıllı sensörler kullanan kablosuz iletişim, sensörler ve aktüatörler gibi cihazların ana kontrol merkezine bağlı olmak yerine akıllıca çalıştığını göstermek için kullanılmıştır. Bu cihazların, harekete geçtiği kendi mikro denetleyicileri olacaktır. Fabrikaların duruş sorunları yaşamak yerine üretime devam etmelerine yardımcı olacak bir çözüm geliştirmişlerdir [3].

Chin-Chi Cheng ve Dasheng Lee, çalışmalarında akıllı klima kontrolünü sağlamak için giyilebilir cihazlar için akıllı sensörler olarak sıcaklık ve insan hareket dedektörleri ve cep telefonlarını entegre etmişlerdir. Akıllı sensörler, insan vücuduna yerleştirilen cep telefonlarından ve giyilebilir cihazlardan, özellikle yolcuların bilgileri olmak üzere geri bildirim alır. Bilgi, klimaları insanların niyetlerine göre önceden ayarlamak için kullanılabilir. Deneysel sonuçlar, iç ortam sıcaklığının $\pm 0,1$ °C'den daha düşük hatalarla doğru bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermektedir. Yolcular bir odaya girdikten sonra optimize edilmiş iç mekan kapasitesine 2 dakika içinde hızlı soğuma sağlanabilir. Giyilebilir cihazlara sahip akıllı klima, uyku durumunu belirlemek ve uyku fonksiyonunu esnek bir şekilde ayarlamak için uyku sırasında insan sıcaklığını ve aktivitesini algılayabilir. Giyilebilir cihazlara sahip akıllı klima ile optimize edilen uyku fonksiyonu, enerji tüketimini %46,9'a kadar azaltmıştır. Sonuç olarak akıllı klima, rahat bir ortam sağlayabilir ve enerji tasarrufu ve çevre koruma hedeflerine ulaşabilir [4].

Lütfi Apilioğulları tarafından yapılan çalışmada, düşük güçlü geniş alan ağı (Low-Power Wide-Area Network) (LPWAN) olarak tanımlanan teknolojinin özellikleri, IoT ağlarında kullanılan diğer teknolojilerden farklılıkları ve uzun menzilli (Long Range) (LoRa) sensörlerin güç optimizasyon teknikleri incelenmiştir. LPWAN protokolünün en önemli avantajı pil ve düşük enerji tüketimi ile çalışabilmesiyle, özellikle kırsal alanlar veya IoT sensör bakım/onarımının çok sık yapılmasının mümkün olmadığı uygulamalar için çalışmalarda bulunulmuştur [5].

Hakan Öcal ve arkadaşlarının çalışmasında IoT'ye dayalı alışlagelmiş yöntemlerle yapılan çalışmalar ve akıllı sistem çalışmalarını ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışmaların kardiyovasküler sistem uygulamalarına odaklandığı gözlemlenmiştir. Giyilebilir

sistemlerde akıllı uygulamalar kullanılarak sağlık sunucularının ve sistemlerinin iş yükü, enerji verimliliği ve sistemlerin güvenliği gibi sorunlara çözüm getirilmeye çalışılmıştır [6].

Batın Demircan, yüksek lisans tezinde IoT ve bulut bilişim alanında elektrik üreten bir jeneratör üzerinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir. PLC ve jeneratörün haberleşmesi ve birlikte çalışabilirliği sağlanarak bir sistem kurulmuştur. PLC ve Raspberry Pi ile kişisel bir bilgisayar arasında ayrı ayrı iletişim sağlanarak veri alışverişi gerçekleştirilmiştir. Kişisel bilgisayarlara ayrı bir görüntüleme yazılımı yapılarak sistemin farklı bir platformda izlenmesi sağlanmıştır. Raspberry Pi ve kişisel bilgisayar için grafik arayüzleri tasarlanmıştır. Jeneratör için özel olarak alınan birçok ölçüm ile fiziksel parametreler arasındaki ilişki incelenmiştir. [7].

T. Nagayama ve arkadaşları bu çalışmada, senkronizasyon doğruluğu ve iletişim güvenilirliği ile ilgili gereksinimleri açıklığa kavuşturmayı amaçlayan zaman senkronizasyon hatası ve veri kaybının etkilerini araştırmışlardır. Yapılara yoğun bir şekilde dağılmış akıllı sensörler, yerleşik kablosuz iletişim ve hesaplama yeteneklerini kullanarak yapısal izleme için zengin bilgiler sağlayabilir. Ancak, zaman senkronizasyon hatası, veri kaybı ve büyük miktarda toplanan veriyle uğraşmak gibi sorunlar, tam teşekküllü sistemlerin uygulanmasını sınırlamıştır. Sınırlı ağ kaynakları (örn. pil gücü, depolama alanı, bant genişliği vb.) bu sorunları oldukça zorlaştırır. Sonuç olarak, koordineli bilgi işlem daha sonra büyük miktarda veriyi yönetmenin bir yolu olarak incelenmiştir [8].

Andreas ve Nikolai'nin yaptıkları çalışmada, karmaşık sistemlerin akıllı kararları, ortam koşullarına ve sensörler tarafından yüksek doğrulukla ortamdaki alınan veriler ile sağlanabileceğini ortaya atmışlardır. Endüstri 4.0 için sensörlerin, ölçüm biliminin ve akıllı değerlendirilmenin öneminden bahsetmişlerdir. Üretim sürecinin tüm seviyelerinde üretilen veriler, ürün kalitesini, esnekliğini ve üretkenliği artırmak için kullanılıyor. Bu durumun daha fazla işlevselliğe izin veren akıllı sensörler olmadan gerçekleşemeyeceği görüşünde bulunmuşlardır [9].

Deepti Sehrawat ve Nasib Singh Gill çalışmalarında, IoT'nin etkin olduğu akıllı ortamlardaki çeşitli sensör türlerini sunmaktadır. IoT sensörleri sağlık, su, ulaşım, ev aletleri, çöp, tarım, sığır vb. için etkin bir şekilde kullanılabilir. Herhangi bir akıllı

uygulamada, IoT, birbirleriyle akıllıca ve uzaktan iletişim kurma yeteneğine sahip çeşitli sensör türlerini entegre etmektedir. Bu çalışma, farklı IoT sensörlerini ve sensör tabanlı IoT uygulamalarını analiz etmiş ve farklı IoT uygulamalarında hangi sensörlerin kullanıldığını anlatmıştır [10].

1.3 Çalışmanın Nihai Hedefleri ve Araştırma Soruları

Akıllı fabrika, fiziksel teknoloji ile güncel teknolojinin birleşimini benimser ve daha önce bağımsız olan ayırık sistemleri derinlemesine entegre ederek ilgili teknolojileri şimdi olduğundan daha karmaşık ve hassas bir hale getirir. Yeni zorluklar nedeniyle, geleneksel imalat endüstrilerinin avantajları giderek azalmaktadır. Sonuç olarak, akıllı üretim teknolojisi, sanayileşmiş ülkelerin en fazla önem verdiği yüksek teknoloji alanlarından biridir. Ağ teknolojileri ve üretim de elde edilen verilere dayanan gelişmiş ve dijitalleştirilmiş üretim elde etmek için akıllı fabrika kavramı önem kazanmıştır. Gelişmiş düşük maliyetli sensör teknolojileri, veri toplamak ve bu verileri üretim şirketleri ve tedarik zincirleri tarafından performansını arttırmaya yönelik kullanım için gereklidir. Farklı düşük güçlü/düşük maliyetli sensör türleri, üretim süreçlerinde farklı cihazlarda büyük ölçüde genişletilmiş veri toplamaya olanak tanır. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak, bu çalışmada IoT, sensörler, elektronik cihazların kablosuz haberleşmesi tabanlı hizmetler gibi farklı teknolojilerin kullanımı ile endüstriyel ortamlarda geleneksel metotlardan dijital dönüşüme geçiş için katkıda bulunmak hedeflenmektedir. Çalışmanın merkezinde, mermer fabrikaları başta olmak üzere endüstriyel bütün ortamlarda çalışabilecek sistem tasarımları bulunmaktadır.

Geleneksel üretim yapan endüstriyel ortamlarda teknolojik gelişmelerin uygulanabilmesi için; IoT, gerçek zamanlı konum takip sistemi, cihazların birbiriyle haberleşmesi ile internet ortamından kontrol sağlanarak insandan bağımsız önceden belirlenmiş kurallar ile akıllı yönetim uygulamaları ayrı ayrı gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışmasına ait araştırma soruları aşağıda listelenmiştir.

Akıllı fabrikalar için nesnelerin internet çağında üretim süreçlerinin performansını, kalitesini, kontrol edilebilirliğini, yönetimini ve şeffaflığını geliştirmek mümkün müdür?

Akıllı fabrikalar için farklı düşük güçlü/düşük maliyetli sensör türleri, üretim süreçlerinde farklı cihazlarda büyük ölçüde genişletilmiş veri toplamaya olanak tanır mı?

Endüstriyel ortamda elektronik cihazların birbirleri ile kablolu/kablosuz haberleşmesi ile gerekli kural mekanizmaları uygulanarak insan gücüne daha az ihtiyaç duyularak üretimin gerçekleştirilmesi mümkün olabilir mi?

Akıllı fabrikalarda, raylı transfer sistemi tasarımı ile, bir iş-istasyonu kurarak yeni otonom ve dijital entegrasyonla daha kaliteli daha verimli bir üretim yapılabilir mi?

Akıllı fabrika, akıllı taşıma vagonu tasarımının parçası ucuz, kontrolü kolay, yüksek tork ve verimlilik özelliklerine sahip bir yapı ile kendini geliştiren bir üretim süreci oluşturulabilir mi?

Tüm akıllı fabrika bileşenleri bir gömülü sistem mimarisi olarak tasarlanıp, özgün bir donanım ile ihtiyaca uygun bir şekilde modüler olarak tak çıkar mantığı ile birçok amaca birden hizmet edebilir mi?

Akıllı fabrikalar gibi metal yoğunluğu yüksek olan endüstriyel ortamlarda envanter ve personel takibi gerçek zamanlı ve konum hassasiyeti yüksek bir şekilde yapılabilir mi? Potansiyel iş kazaları bu sistem ile engellenebilir mi?

Akıllı fabrikalardaki dijital dönüşümü arttırmak için geliştirilen tüm bu metodlar uygulanabilirlik ve optimizasyon açısından akıllı fabrikaları daha verimli bir hale getirir mi?

1.4 Çalışmanın Geri Kalan Bölümlerinin İçerikleri

Bölüm 2’de akıllı fabrika sistemleri, detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölümde sanayi devrimlerinin tarihsel gelişimi incelendikren sonra, geleneksel fabrikalar ve akıllı fabrikaların karşılaştırılması yapılmıştır. Akıllı fabrikalar genel hatları ile ele alınıp, nesnelerin interneti ve sensörler ile olan ilişkisi irdelenmiştir.

Bölüm 3’te Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikalarda üretim süreçlerinin performansını, kalitesini, kontrol edilebilirliğini, yönetimini, şeffaflığını geliştirmek, gelişmiş düşük maliyetli sensör teknolojileri ile veri toplamak, bu verileri üretim şirketleri ve tedarik

zincirleri tarafından etkin performans için kullanmak, artan demirbaş ve personel takibini yapabilmek ve iş güvenliği riskleri azaltmak için geliştirilen varış fazları farkı (Phase Difference of Arrival) (PDOA), iki yönlü ölçüm (Two Way Ranging) (TWR) tabanlı gerçek zamanlı konumlama sistemi teorik olarak incelenmiştir.

Bölüm 4'te tasarlanan modüler sensör kartına, çeşitli seri haberleşme protokolleri ile bağlanabilen sıcaklık, nem, mesafe gibi birçok niceliği endüstriyel ortamlardan okuyabilen donanım, gömülü yazılım tasarım ve akıllı taşıma vagonu tasarımının gerçekleştirilmesi sunulmuştur.

Bölüm 5'te Elektronik bileşenlerin, sensörlerin ve mikrodenetleyicinin son aşamada geliştirilen kod kullanılarak baskılı devre kartı monte edilmiş ve programlanmıştır. Daha sonra çeşitli test teknikleri kullanılarak ürünün çalışması, laboratuvar ortamında model akıllı fabrika sistemi üzerinde Akıllı Fabrika Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi akıllı taşıma-transfer sistemi kullanılarak testleri gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6'da çalışma sonucu elde edilen nihai sonuçların bütünü ve gelecek zamanda yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

1.5 Çalışmanın Katkıları, Özgün Değeri

Endüstri 4.0 tabanlı fabrikalarda, personel sayısının artması ile iş güvenliği riskleri artmıştır ve iş geliştirme süreçlerini büyük ölçüde zorlaştırmıştır. Bu problemlere çözüm olarak akıllı fabrikalarda konumlama sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu özellikleri akıllı fabrika sistemine entegre edebilmek amacıyla, proje kapsamında farklı veri çıkış tipine sahip sensörleri okuyabilen ve aynı zamanda gerçek zamanlı konumlama özelliğine sahip sensör kartı tasarlanmıştır.

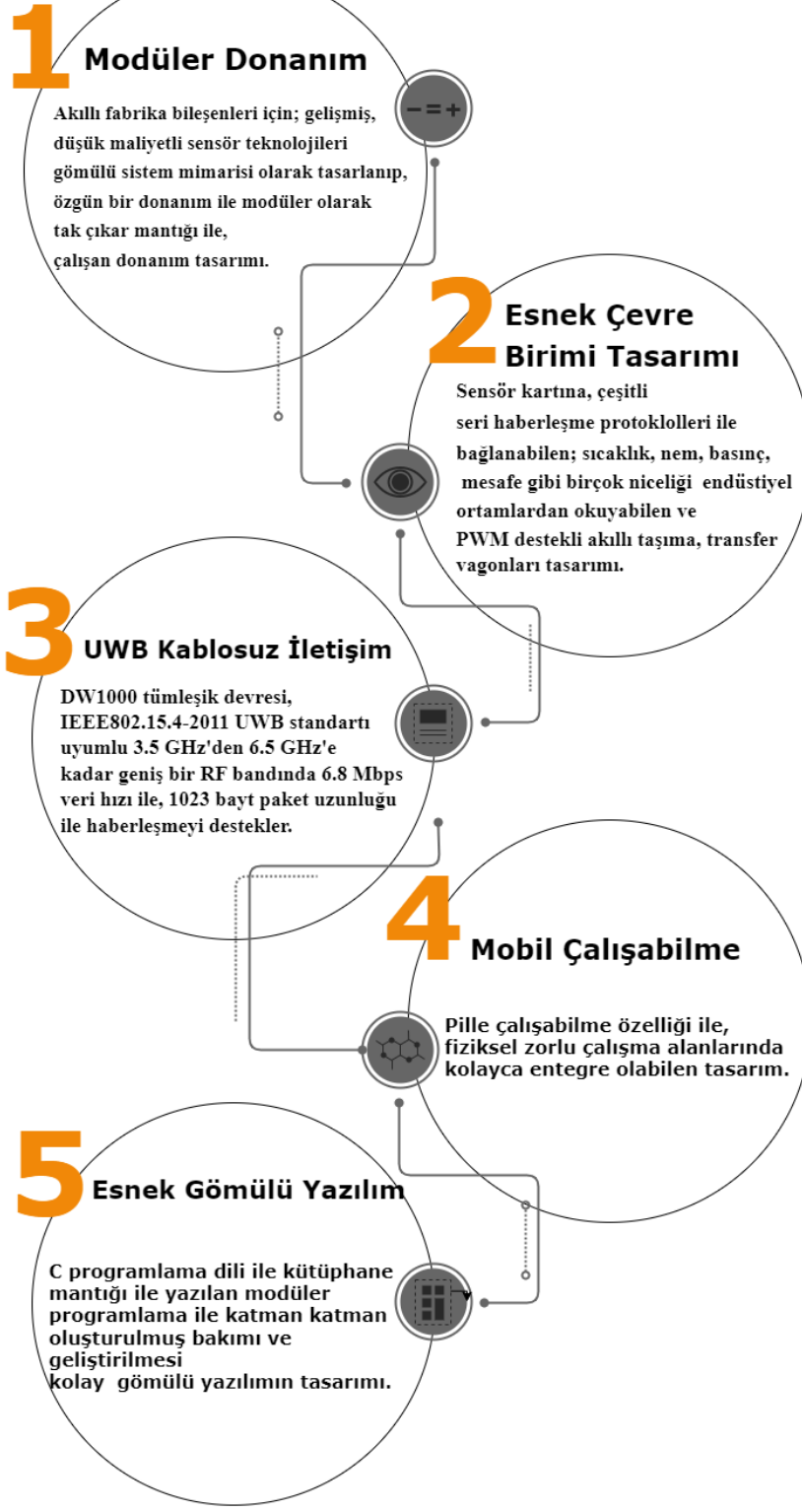
Bu sensör kartı, akıllı fabrika ağ geçiti ile senkronize çalışabilecektir. UWB üzerinden haberleşebilen kablosuz sensörler kolayca monte edilerek mobil ve sabit bir çok noktadan çalışabilme kabiliyeti ile sisteme kolayca entegre edilebilmektedir. Sensörler küçük boyutları, düşük güç tüketimleri ve pil ile çalışabilmeleri sayesinde endüstriyel ortamlarda kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Sensörler, endüstriyel ortamlarda gerçek zamanlı olarak veri topladıkça, büyük miktarlarda veri üretilecektir. Bu verilerden en iyi şekilde yararlanmak için, veriye

dayalı kararlar üretmek için büyük veri analitik araçları kullanılmalıdır. Bu sebeble toplanan verileri akıllı fabrika nesnelerin interneti ağ geçiti üzerinden, bulut ortamına aktararak performans iyileştirici çözümler sunulabilecektir.

Tez çalışmasının odak noktasında bulunan doğal taş sektörü ülkemizin dünya pazarında rekabet gücünü arttıracak ve uluslararası ticaretten daha fazla pay almasını sağlayacak bir endüstri dalıdır. Küresel rekabet ortamında işletme sektör ve ülke düzeyinde sahip olunan avantajlar bir araya getirilerek gelişmelere paralel stratejiler oluşturabilmektedir. Bu durumda üstün bir rekabetçi performans ile sürdürülebilir rekabet gücü elde edilmek, fabrikalarda akıllı raylı transfer sistemi tasarımı ile, yeni bir iş-istasyonu kurarak otonom ve dijital entegrasyonla daha kaliteli daha verimli bir üretim yapılabilecektir. Sonuç olarak pek çok konuda sektöre katkı sağlamak ancak dijital dönüşüm entegrasyonlarının sağlanmasıyla mümkün olacaktır.

AFSUAM Sensör Kartı



Şekil 1.1: AFSUAM sensör kartı akış diyagramı

Bölüm 2

Akıllı Fabrika Sistemleri

Otomasyon, fabrikanın çok önemli bir parçası haline gelmiş olsa da, yenilikçi üreticiler, IoT, yapay zeka, fiziksel makineler ve iş uygulamaları yoluyla otomasyonu tamamen yeni bir düzeye taşıma fırsatını yakalamışlardır. İş süreçleri, geleneksel olarak insanlar tarafından verilen karmaşık optimizasyon kararlarına yol açmak için otomasyonla birleşmiştir [5,11]. Bu, üreticilerin zemin kararlarını ve algılarını tedarik zinciriyle entegre etmelerini sağlayarak şimdi akıllı fabrika dediğimiz kavramı doğurmuştur. Mekanik imalat ekipmanlarının tanıtılması, ilk sanayi devrimini işaret etti, ardından seri mal üretiminin gelişmesi izlemiştir [12]. Dijital devrim, elektronik ve bilgi teknolojilerini (BT), kullanarak üretim süreçlerinde artan otomasyon ve kontrolün benimsenmesi olarak kabul edilmiştir [13]. Bu süreçlerde IoT' nin benimsenmesi, merkezi fabrika sisteminin merkezi olmayan bir sisteme sapmasına yol açmıştır [3, 12-14]. Bu teknoloji, makinelerin ve endüstrilerin davranışlarını siparişlerdeki ve çalışma koşullarındaki değişikliklere uyarlamak için kendi kendini optimize etme ve yeniden yapılandırma sürecinden geçmesini sağlamıştır [15,16]. Akıllı fabrikaların özü, veri toplamayı mümkün kılan teknolojidir. Bu teknoloji, imalat endüstrisinin üretim ve montaj hatlarında kullanılan sensörleri, motorları ve robotları içerir [16].

2.1 Sanayi Devrimleri ve Endüstri 4.0

Ekonomik gelişmelere hayati bir kapasite kattığı için sanayi devrimi'ni incelemekte fayda vardır. Geleneksel üretim endüstrileri, katlanarak büyüyen teknolojilerle günümüz dijital üretim sisteminin itici gücüdür. Her dönemde farklı türde teknolojik buluşlar ülkelerin ekonomik gelişmelerinde veya gerilemelerinde etkili olmuştur. Teknoloji geliştirme faaliyetleri, işgücü verimliliğini artırarak ekonomik kalkınmaya yol açmıştır ve yeni teknolojiler, her çalışanın daha önemli sayıda çıktı ve hizmete

katkıda bulunmasını sağlamaktadır. Geçmişten günümüze sanayi de yaşanan gelişmeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [17].

Sanayi Devrimi 1.0; James Watt'ın buhar gücünün icadı, dünya tarihinde Endüstri Devrimi 1.0'in bir göstergesi veya başlangıç noktası olarak açıkça temsil edilir ve bu dönem hakkında en çok bilinen bilgidir [18]. Sanayi Devrimi 2.0; Henry Ford'un montaj hattı, üretim sürecinin tarihinde paradigma değişikliğini tetikledi. Model T, montaj hattındaki ilk otomobildi, böylece dünyaya daha ucuz arabalar üretti ve piyasada daha yüksek ücretli işler ortaya çıkardı. Endüstri Devrimi 3.0; Bilgisayar teknolojisinin bir arayüz olarak kullanıldığı tamamen farklı bir dönemdir. Bu dönemde insan gücünün önemi azalmış, bilgisayar sistemleri aracılığıyla üretim hızı önemli ölçüde artmıştır. Endüstri Devrimi 4.0; Siber-Fiziksel-Sistemler, bilgi işlem, iletim ve depolama kapasitesinin kontrol edilemeyen artışıyla harmanlanarak bilgi ve bilgi sisteminin sürekli gelişimi ile ilgilidir [17, 18]. Bu gelişim güçlü, birbirine bağlı yeni teknolojik operasyonların evrimini kolaylaştırır. Bu yeni yetenek sayesinde cihazlar, insanların şu anda "siber-fiziksel üretim sistemi" olarak tanımladıkları her şeyi gerçekleştirmek için diğer makinelerle ve insanlarla iletişim kurabilir.

Modern toplumların ve gelişmelerin her şeyi sanayi devrimlerine borçlu olduğu tartışılmazdır. Dördüncü sanayi devrimi, "siber-fiziksel sistemlerin" ortaya çıkışı olarak etiketlenebilir, dördüncü dalganın bu gelişme simgesinin insanlar ve makineler için tamamen yeni yetenekler içerdiğini söylemek yanlış olmaz. Güçlü, birbirine bağlı yeni teknolojik operasyonların evrimini kolaylaştırır. Bu yeni yetenekli cihazlar, siber-fiziksel üretim sistemlerinin tanımladıkları her şeyi gerçekleştirmek için diğer tüm makine ve üreticilerle iletişim kurabilir [19]. Gömülü sistemler, üretim, lojistik, mühendislik, koordinasyon ve yönetim süreçlerinin yanı sıra sensörler aracılığıyla doğrudan fiziksel veri toplayan ve aktüatörleri kullanarak fiziksel prosedürleri etkileyen internet hizmetlerini içerir. Bilgi ve iletişim teknolojileri çağındaki hızlı değişimler, günümüz dünyası arasındaki görünmez sınırları ortadan kaldırmıştır. Endüstri 4.0'ın arkasındaki temel kavram, makinelerin aynı anda birkaç başka makineyle iletişim kurmasını sağlayan her yerde bir sosyal ağ oluşturmaktır. Bütün bu gelişmeler, üreticilerin gerçek emek odaklı sistemi sanal bir sisteme, yapay zekaya entegre etmesine ve kuruluşların dinamik geçerli veriler toplamasına, yorumlamasına ve hatta beklenmedik olaylara dayalı kararlar almasına yardımcı olur. Bu dönüşüm, üretim teknolojisinde, toplumsal yaşamda, ekonomide ve eğitim sisteminde değişiklik

yapmak için söz söylemeye mecburdur. Ayrıca, yeni akıllı üretim geliştirmesi kapsamında, Endüstri Devrimi 4.0, üretim ortamlarında kendi sloganı olan “akıllı düşünme” yaklaşımını yaratmaktadır [21]. Akıllı fabrika konseptiyle, nesnelerin ve hizmetlerin interneti üzerinde kurulan birbirine bağlı bir dünya, akıllı altyapılara ve gezegenlere dönüşen hayati ekonomik aktörler olacaktır.

2.2 Geleneksel Fabrikalar ve Akıllı Fabrikaların Karşılaştırılması

Endüstri 4.0, üretimin bilgisayarlaştırılmasını teşvik eden küresel bir dünyanın anında odak noktası haline gelmiştir [17]. Endüstri 4.0, dijital bağlantı yoluyla birbirleriyle iletişim kuran makineler ve cihazlar kullanarak akıllı üretim vaat eden kendi kendine yeterli üretim süreçlerine yol açarak üretim sürecinde devrim yaratmıştır [2,3]. Nesnelerin internet, siber-fiziksel sistemler ve yapay zeka gibi Endüstri 4.0'ın tasarım felsefelerinin ve teknolojilerinin çoğu halihazırda kullanımda olmasına rağmen, çoğu firma tarafından sunulan geniş teknolojiler kümesi hakkında bilgi sahibi değildir. Endüstri 4.0, cihazlara sorunsuz bağlantı, birlikte çalışabilirlik, görünürlük ve zeka yetenekleri sağlar.

Geleneksel üretimdeki uygulamalar tek başına, ve ayrı ayrıdır [4]. Otomatik izleme ve kontrol yeteneklerinden yoksundur [5]. Pazarlama, ürün geliştirme, üretim ve müşterilere dağıtım dahil olmak üzere bir dizi farklılıkları ve birbirinden bağımsız adımları vardır [17]. Sonuç olarak, geleneksel üretimde sistemlerin yeniden kullanımı ve dijital sistemlerin entegrasyonu zayıftır [6]. Akıllı imalat, esnek imalat ve çevik imalat gibi bazı gelişmiş imalat stratejileri, geleneksel imalatın dezavantajlarının üstesinden gelme potansiyeline sahiptir [7-9]. Bu üretim şemaları, makinelerin ve ürünlerin insan kontrolü olmadan veya minimum düzeyde insan kontrolü ile etkileşime girdiği Endüstri 4.0 akıllı üretiminin öncüleridir [4,6].

İmalat endüstrisi, modern toplumun evriminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı fabrikaların öncüsü olan Endüstri 4.0, büyük veri analitiği, yapay zeka, gelişmiş robotik, 3D baskı ve bulut bilişim gibi çeşitli ileri teknolojilere erişim sağlar [1,3]. Bilgisayarlı sayısal kontrolün ve endüstriyel robotların geniş uygulaması, üretim sistemleri [10–12]; bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli işleme planlaması

ise bilgisayarla bütünleşik üretimi pratik hale getirmiştir [13,14]. IoT'nin fiili kullanımları, üreticilerin verimli üretkenlik, otomasyon, müşteri odaklılık, rekabet avantajları ve hızlı getirileri artırma gibi farklı beklentilerden dijital dönüşümleri benimsemelerini sağlamıştır [16,17].

Geleneksel fabrikalar, özelleştirilmiş ürünlerin verimli bir şekilde üretilmesini sağlamak için otomatik ve karmaşık üretimi izlemelerine ve kontrol etmelerine izin veren yeteneklerden yoksundur [22]. Geleneksel fabrikalar, üretim sistemi, ürün yaşam döngüsü ve değer zincirinin daha az entegrasyonu ile bağımsız ve ayrılmış uygulamalara sahiptir. Sonuç olarak, geleneksel bir kurulumda sistemlerin yeniden kullanımı zayıftır. Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrika modeli Şekil 2.1'de görülebilir.



Şekil 2.1: Akıllı fabrikanın genel konsepti [23]

Akıllı fabrika, yüksek düzeyde bağlantılı operasyonlar ve değişen talepleri öğrenebilen ve bunlara uyum sağlayabilen üretim sistemleri aracılığıyla sürekli bir veri akışı oluşturur [23,24]. Bu fabrikalar, imalat, bakım, envanter takibi, operasyonların sayısallaştırılması ve imalat sistemlerindeki diğer faaliyetleri yürütmek için fiziksel, operasyonel ve insan varlıklarından gelen verileri özümseyebilir [23]. Akıllı fabrikaların temel amacı, üretim tesislerinin başarılı ve birbirine bağlı olarak

uygulanması için akıllı üretim sistemlerini ve uygun mühendislik yöntemlerini kullanmaktır [24].

Akıllı fabrikalardaki birbirine bağlı cihazlar, bilgi alışverişine, birbirlerini tanımaya, durumları değerlendirmeye izin verir ve fiziksel dünyayı dijital dünyayla bütünleştirir [25]. Başka bir deyişle, akıllı fabrika, fiziksel ve siber teknolojileri entegre eder ve ilgili teknolojileri daha doğru hale getirerek üretim süreçlerinin performansını, kalitesini, kontrol edilebilirliğini, yönetimini ve şeffaflığını artırır. Böylesine akıllı bir fabrika ortamında üretici, makinelerin ürün özelliklerini ve diğer ayarlarını son dakikada değiştirerek müşteri gereksinimlerini karşılayabilme yeteneğine sahiptir.

Bu yetenek geleneksel fabrikalarda mevcut değildir. Akıllı fabrikanın gerçek özelliği, organizasyonun artan ihtiyaçları ile birlikte yeniden uyum sağlama ve gelişme yeteneğinde yatmaktadır [26]. Bu ihtiyaçlar, değişen müşteri talepleri, yeni pazarların ortaya çıkışı, yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi, operasyonlara yönelik gelişmiş üretken yaklaşımlar ve bakım süreçlerinde ileri teknolojilerin kullanımı olarak kategorize edilebilir. Gerçek zamanlı verileri uyarılama ve onlardan öğrenme yeteneği, akıllı fabrikaları operasyonel duruş süresini ve süreçlerdeki diğer olası arızaları önlemek için daha akılcı ve tahmine dayalı hale getirir [27].

2.3 Akıllı Fabrikalar İçin Genel Bilgiler

Akıllı bir fabrika dört akıllı özellikle karakterize edilir;

Sanal gerçeklik teknikleri: Akıllı fabrikaların üst düzey bileşenlerinden biri olan sanal gerçeklik, bilgisayarlar, sinyal işleme, animasyon teknolojisi, akıl yürütme, tahmin, simülasyon ve multimedya teknolojileri kullanarak üretim süreçlerini sanallaştırarak insan-makine entegrasyonunu kolaylaştırır.

Entegrasyon: Robotlar ve yapay zeka (Artificial Intelligence) (AI), akıllı fabrikaların süreçler arasında yüksek düzeyde entegrasyona sahip olmasını sağlar. Yapay zeka, insanın entelektüel yeteneklerinin entegrasyonu ile birlikte fabrikaların analiz ve karar verme yeteklerine sahip olmasını sağlar [28].

Birlikte çalışabilirlik: Farklı cihazlar arasındaki ara bağlantı yoluyla, üretim sisteminin yapılandırma protokollerinde esneklik sağlayarak aralarındaki koordinasyon geliştirilebilir.

Sensörler: Davranışları ve yetenekleri analiz etmek için çevresel bilgileri kendi kendine organize etme, öğrenme ve sürdürme yeteneğine sahip cihazlardır. Bu nedenle sensörler, ortamdaki değişikliklere uyum sağlamalarını sağlayan kararlar alabilir.

2.4 Akıllı Fabrikalar, Nesnelerin İnterneti ve Sensörler Arasındaki İlişki

IoT'nin imalat endüstrisinde verimli kullanımını anlamak için, farklı teknolojileri, özellikle de imalat firmalarının Endüstri 4.0'ı kullanma performansını verimli kılan sensörleri tanımak zorunludur. IoT aracılığıyla günlük nesnelere internete bağlı cihazlarla birleştirilerek bilgi toplamak, analiz etmek ve süreçlerden öğrenen bir eylem oluşturmak mümkündür [29]. Endüstri 4.0 kavramının odak amacı, farklı cihazlar arasındaki bilgi akışının çok sınırlı insan müdahalesi olan bir ortamda kontrol edildiği, yüksek düzeyde dijitalleştirilmiş üretim süreçlerini karakterize etmektir [30]. Bulut tabanlı IoT platformları, gerçek dünyayı sanal dünyaya bağlama yeteneğine sahiptir ve şirketlerin IoT cihaz bağlantısını ve esnekliğini yönetmesini sağlar [31]. Ek olarak, IoT mimarisi, farklı kablosuz protokolleri çalıştıracak ve yeni sensör girişlerinin eklenmesini barındıracak kadar esnek olmalıdır. Bu, giyilebilir cihazlar, taşıma cihazları, pil kullanımı vb. gibi fiziksel esneklik açısından da kabul edilebilir [32]. Sensörlerin kullanımı bunu başarılabilir hale getirir.

Akıllı fabrikalar, üretim süreçlerinin hayati parametrelerini izleyen akıllı makineler, cihazlar ve kontrol ekipmanlarından oluşur. Bu iyileştirmeler, yalnızca fabrika zemini altyapısını değiştirerek makineler arasında istikrarlı ve kesin işbirliğini teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda makine gereksinimlerini değiştirerek güvenilir sensörlere olan talebi artırır [33].

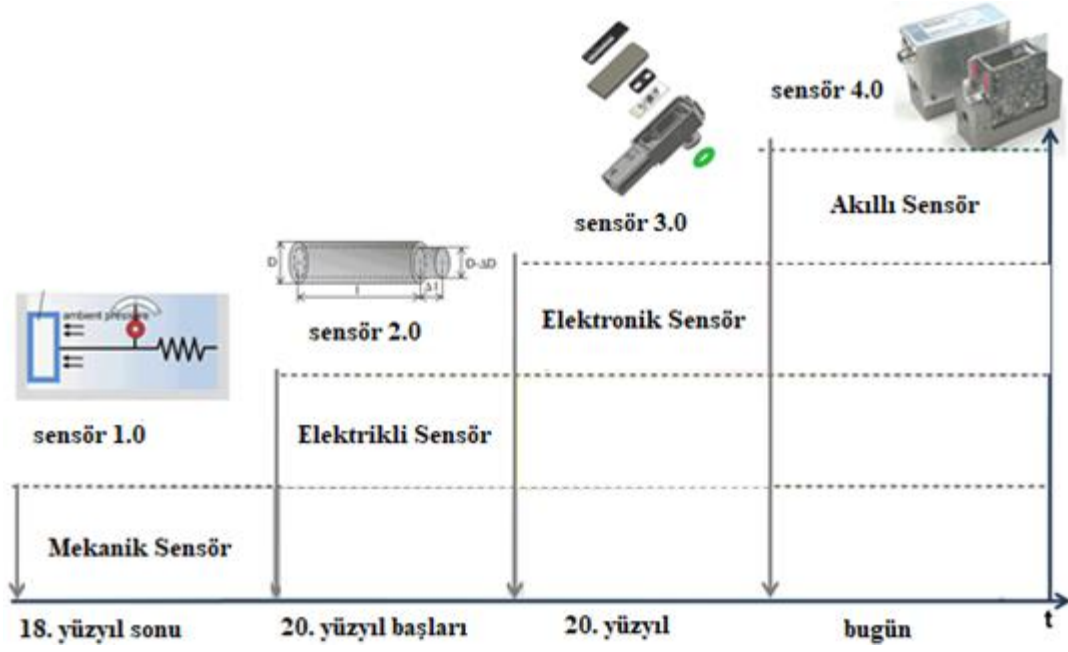
Farklı düşük güç/düşük maliyetli sensör türleri, üretim süreçleri boyunca farklı cihazlarda büyük ölçüde genişletilmiş veri toplamaya olanak tanır. Akıllı fabrikaların performansını, süreçlerini ve uygulamasını analiz etmeye odaklanan çok sayıda

araştırma yapılmış olsa da, çoğu firma hala geleneksel ve akıllı fabrika sistemleri arasındaki farkın yanı sıra geniş bir sistem yelpazesine ilişkin derinlemesine bilgidен yoksundur.



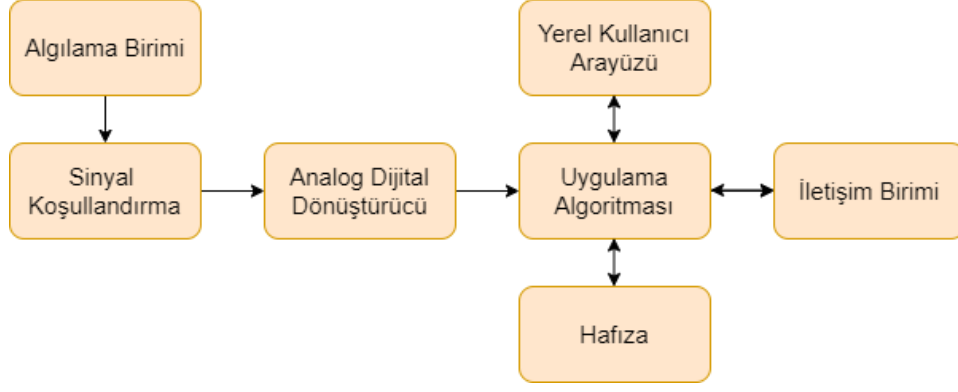
Şekil 2.2: Sensörlerden alınan veriler ve işlenmesi süreci [18]

Teknolojideki diğer son gelişmelerin yanı sıra, sensörler, potansiyel önemi ve geniş uygulama alanları açısından ilgi odağı olmuştur. Bilişim ve IoT'nin endüstriyel süreçlere entegrasyonu ile sıradan sensörler, onlarla toplanan verilerle karmaşık hesaplamalar yapma yetenekleri sağlayan sensörlere dönüştürülmüştür [37,40]. Artan yeteneklerin yanı sıra, sensörler de dikkate değer ölçüde küçülmüş, aşırı derecede esnek hale gelmiş ve hacimli makineleri yüksek teknolojiye istihbarata dönüştürmüştür. Sinyal koşullandırma, gömülü algoritmalar ve dijital arayüzlerle donatılmış sensörler, algılama ve öz-farkındalık özelliklerine sahip cihazlar haline gelmiştir [25,27].



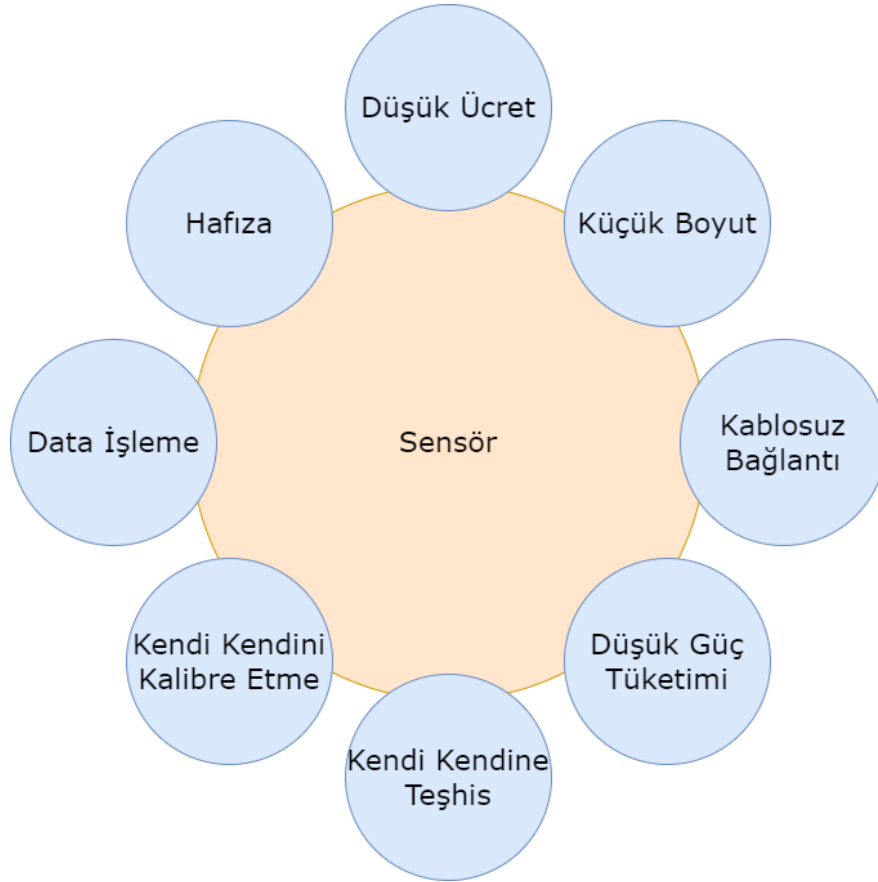
Şekil 2.3: Sensör teknolojisinin tarihsel gelişimi [23]

Sensörler, gerçek zamanlı bilgileri bir ağ geçidine iletilebilen dijital verilere dönüştüren IoT bileşenleri olarak inşa edilmeye başlanmıştır [30]. Bu yetenekler, sensörlerin gerçek zamanlı senaryoları tahmin etmesine ve izlemesine ve anında düzeltici önlemler almasına olanak tanımaktadır. Ham veri toplama, hassasiyet ayarlama ve filtreleme, hareket algılama, analiz ve iletişim gibi karmaşık çok katmanlı işlemler sensörlerin temel işlevleridir [34]. Örneğin, kablosuz sensör ağları (Wireless Sensor Network) (WSN), düğümleri bir veya daha fazla sensör ve sensör hub'ına bağlı olan ve bir tür iletişim teknolojisi oluşturan sensörlerin uygulamalarından biridir. Ek olarak, mevcut bir sorun hakkında sonuçlar çıkarmak için birden fazla sensörden gelen bilgiler birleştirilebilir; örneğin, sıcaklık ve nem sensörü verileri, mekanik bir arızanın başladığını anlamak için kullanılabilir.



Şekil 2.4: Sensör yapı taşları [23]

Sensörler, gelişmiş bağlantı ve toplanan verilerin kullanımı ile işletmelere ve topluluklara neredeyse sınırsız fırsatlar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu teknolojilerin yardımıyla, müşteri taleplerine göre nihai bir ürün geliştirmek için ortaklar, tedarikçiler ve müşteriler ile kuruluşlar arasında veri akışı entegre edilir. Bu nedenle, akıllı fabrika için gelişen bir trend, insan-makine işbirliğidir.



Şekil 2.5: Sensörün özellikleri [23]

Bölüm 3

Akıllı Fabrika Sistemleri için Teorik

Arkaplan

Hızlı gelişen bilgi teknolojileri karşısında geleneksel imalat sanayilerinin verimlilikleri giderek azalmaktadır. Kablosuz iletişim ile gerçek zamanlı konum tespiti, Endüstri 4.0 tabanlı akıllı fabrikalarda üretim süreçlerinin performansını iyileştirmek için kullanılan en önemli teknolojilerden biridir. Bu teknoloji bir vericinin, alıcıya göre hangi konumda olduğunu tahmin etmek için kullanılabilir.

3.1 UWB Haberleşme Temelli Konumlandırma Sistemi Analizi

3.1.1 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.

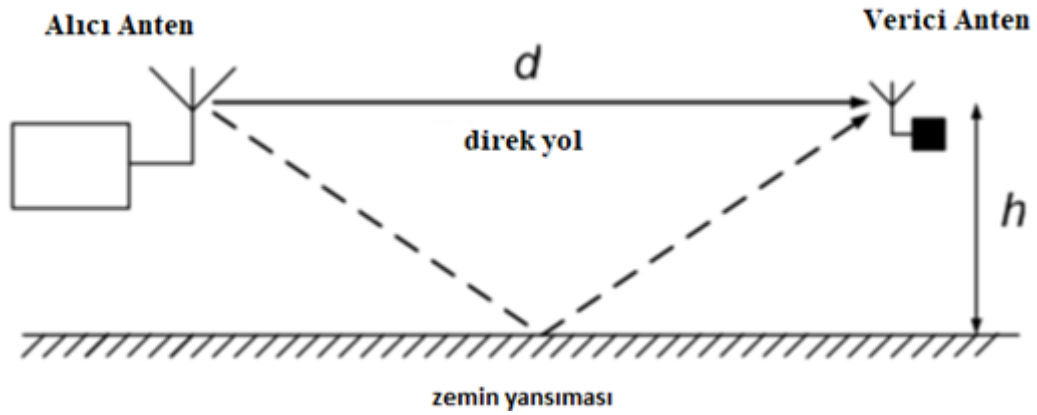
3.1.2 Yol Analizi

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 yönlü bir durum için, verici ve alıcı antenleri arasındaki yol kaybı Denklem 3.1'de ifade edilir:

$$L_{yol} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \left|1 + \Gamma_n \frac{d}{d_n} e^{-jk(d_n - d)}\right|^2 \quad (3.1)$$

$$L_{yol} = \text{Yol kaybı}$$

Denklem 3.1'de d doğrudan ışın yolu uzunluğunu, Γ_n ve d_n 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 3.1: İki ışınlı zemin yansıması [36].

Zemin yansımasının büyüklüğü ve fazı, gösterilen iki ışınlı zemin yansıması durumunda birçok parametreye bağlıdır. Dalganın 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:

$$L_{yol} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \left|1 - \frac{d}{d_1} e^{-jk(d_1 - d)}\right|^2 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de d , görüş hattından verici antene olan mesafeyi, $d_1 = \sqrt{d^2 + (2h)^2}$ ise yansıyan ışın yolu uzunluğudur.

L_{yol} ile Denklem 3.2'de verilen değer ve iletilen sinyal gücü Denklem 3.3 olarak elde edilebilir:

$$P_{verici} = P_t G_t L_{yol} \quad (3.3)$$

$$P_t = \text{İletim gücü}$$

$$G_t = \text{Verici anten kazancı}$$

Denklem 3.3'de P_t , vericinin çıkış gücüne eşittir ve G_t , verici antenin kazancıdır. Bu iki değer çarpılarak iletilen izotropik etkin güç (Effective Isotropic Radiated Power) (EIRP), değeri elde edilir ($P_t G_t$). Verici konumundaki sinyal yoğunluğu, 0 desibel izotropik (dBi) anten ile eşleşen alıcı tarafından emilen güç olarak algılanabilir [37].

$$P_r = G_t L_{yol} \Delta EIRP \quad (3.4)$$

$$P_r = \text{Alınan Güç}$$

3.1.3 Bağlantı Bütçeleme ve Bağlantı Sınırı

Bir bağlantı bütçesinde, yukarıda bahsedilen Friis formülündeki farklı terimler normalde ayrı ayrı değerlendirilir ve tablo haline getirilir; bu değişkenlerin her biri, elde edilen güç üzerindeki net etkileri açısından ayrı ayrı değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra, hat kayıpları, empedans uyumsuzluğu, atmosferik zayıflama ve polarizasyon uyumsuzluğu dahil olmak üzere bağlantı bütçesine ekstra kayıp faktörleri dahil edilebilir [38]. Bağlantı bütçesindeki önemli terimlerden biri, daha önce bahsedilen ve verici ile alıcı arasındaki mesafe ile sinyal gücündeki azalmayı açıklayan yol kaybıdır. Yol kaybı, mesafe birimleri için normalizasyon olan dalga boyuna (frekansa) bağlıdır. Friis denklemini kullanarak, bir kablosuz sistem için bağlantı bütçesi hesaplanabilir.

Tüm terimlerin desibel (dB) veya desibel milliwatt (dBW) cinsinden olduğunu varsayarsak, alınan güç Denklem 3.5'te gösterilmiştir.

$$P_r(dBm) = P_t - L_t + G_t - L_p - L_A + G_r - L_r \quad (3.5)$$

$(-L_t = \text{Verici anten hat kaybı}$

$G_t = \text{Verici anten kazancı}$

$(-L_A = \text{Atmosferik zayıflama}$

$G_r = \text{Alıcı anten kazancı}$

$(-L_r = \text{Alıcı anten hat kaybı}$

G_t değeri, okuyucu anten kazancını, G_r değeri etiketi anten kazancını, L_t ve L_r kablo kaynaklı kayıpları, L_A atmosferik kaybını ve L_{yol} yol kaybını gösterir. Alıcı ve verici anten arasındaki mesafeyi etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması için antenlerin duyarlılığı ile birlikte bu değerler de dikkate alınmıştır. Teorik örnek bir hesaplamada, $P_t -26.92$ dBm, G_t 3 dBi (İzotropik antene oranla çalışma frekansında anten kazancı), G_r 3 dBi, L_t ve L_A 0 dB, L_p 76.68 dB olarak alındığında ($d = 50$ m mesafesinde, frekans 6.5 GHz ve sabit kazançlı antenler ile boş alan yolu kaybı, $20 \times \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10}(4\pi / c) - G_t - G_r$ alınarak hesaplanmıştır), alınan güç için hassasiyet değeri -97.6 dBm olarak hesaplanmıştır.

Verici-alıcı arasındaki maksimum güç aktarımı, her iki antenin de aynı şekilde polarize edilmesini gerektirdiğinden, verici ve alıcı antenlerin polarizasyon uyumu, bağlantı bütçesine bir başka potansiyel giriştir. Örneğin, bir verici anten dikey olarak polarize ise, maksimum güç yalnızca dikey olarak polarize bir alıcı antene iletilirken, yatay olarak polarize bir alıcı antene sıfır güç iletilir ve mevcut gücün yarısı dairesel olarak polarize bir alıcı antene iletilir [35].

Elde edilen güç seviyesi, iletişim sistemlerinde kabul edilebilir minimum hizmet standardı genellikle sinyal-gürültü oranı (Signal to Noise Ratio) (SNR), olarak ifade edilir için gereken eşikten daha yüksek olmalıdır. Bağlantı marjı, alınan güç için bu tasarım payı olarak adlandırılır ve alınan gücün tasarım değeri ile alıcı gücün minimum eşik değeri arasındaki fark olarak Denklem 3.6 olarak ifade edilebilir:

$$\text{Bağlantı Bütçesi (dB)} = LM = P_r - P_r(\text{min}) > 0 \quad (3.6)$$

Link marjı 3-20 dB arasında değişen pozitif bir değer olmalıdır. Uygun bir bağlantı marjına sahip olmak, hava, cep telefonu kullanıcıları, çok yönlü yayılımlarla ilgili sorunlar ve sistemin performansını düşürebilecek diğer öngörülemeyen faktörler nedeniyle sinyal zayıflamasına karşı kritik öneme sahiptir [36]. Solma etkilerini

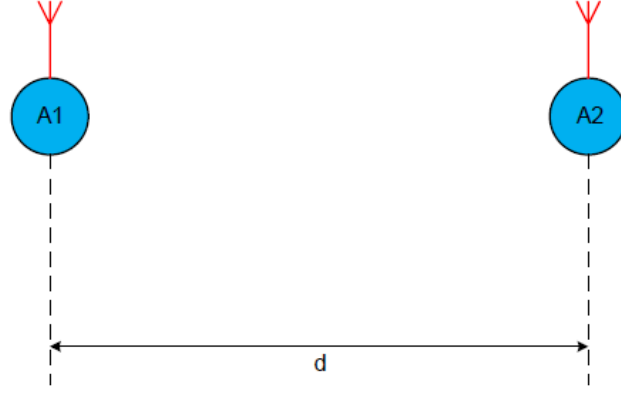
hesaba katmak için kullanılan Bağlantı marjına bazen solma marjı denir. Bağlantı bütçesi ve bağlantı marjı, alınan gücü artırarak veya eşik gücünü azaltarak geliştirilebilir.

3.2 Gerçek Zamanlı Konumlama Algoritmaları

Literatürde kullanılan iki yönlü ölçüm TWR, varış zamanları farkı (Time Difference of Arrival) (TDOA), PDoA yöntemleri uygulanarak birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiş olup varış açısı AoA metodu için performansı arttırıcı yeni bir algoritma ile özgün bir tasarım geliştirilmiştir.

3.2.1 Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi

İnsanların ve nesnelerin anlık konumlarının bilinme isteği nedeniyle konum takip sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda kablosuz konum bulma sistemleri hayatımızda giderek önem kazanmaktadır [39]. Belki de kablosuz konumun özü, küresel konumlama sisteminin küresel konumlama sistemi (Global Positioning System) (GPS), en önemli örneği olduğu küresel navigasyon uydu sistemidir küresel navigasyon uydu sistemi (Global Navigation Satellite Systems) (GNSS). GNSS, çok uzun mesafeli kablosuz bağlantılar aracılığıyla yüksek konumlandırma doğruluğu sağlar. Ancak, herkes için bir çözüm değildir. Ayrıca, GNSS performansı iç mekan kullanımında ve kentsel ortamlarda kötüleşir [40]. Bu nedenle gerçek zamanlı konumlama sistemi (Real Time Location System) (RTLS), gereksinimlerini karşılamak ve çözümler sunmak araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Santimetre hassasiyetine sahip RTLS, son zamanlarda ultra geniş band UWB teknolojisi kullanılarak geliştirilmeye başlandı. Geliştirmelerden bir tanesi DW1000, bir verici ve alıcı arasındaki mesafeyi doğru bir şekilde tahmin etmek için uçuş süresi uçuş zamanı (Time of Flight) (TOF), ölçüm tekniğini kullanmayı sağlayan UWB entegre devresidir [41]. En basit ifade ile Şekil 3.2’de görülen A_1 ve A_2 arasındaki mesafeyi hesaplamak için Bu TOF değeri ile ışık hızı çarpılmalıdır.



Şekil 3.2: İki cisim arasındaki mesafenin bulunması

$$d = c * \text{ToF} \quad (3.7)$$

Kablosuz konum belirleme yapılabilmesi için; alıcı ve verici arasında mesafe tahmini yapılması gerekir [41]. Bu tahmin literatürde var olan çalışmalarda, alınan sinyal gücü göstergesi alınan sinyal gücü göstergesi (Receive Signal Strength Indicator) (RSSI), TOF, varış zamanı (Time of Arrival) (TOA), PDoA, TDOA ve AOA yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir [42]. RSSI yöntemi, verici ve alıcı arasındaki sinyal gücünü kullanır. Verici ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça sinyal gücü azalır. Bu nedenle, RSSI bir konumlandırma parametresi olarak sınıflandırılabilir. Öte yandan, yansıma, saçılma ve kırınım gibi fiziksel etkenler nedeniyle RSSI değeri dalgalanır. Bu nedenle, RSSI tabanlı bir mesafe ölçüm sistemi konum hassasiyeti bakımından diğer yöntemlerin gerisinde kalır.

Diğer bir mesafe tahmin tekniği olan ToA yöntemi, sinyal varış zamanı için alıcı cihaz tarafında zaman damgası oluşturulmasıyla çalışır [43, 44-46]. DW1000 entegre devresi 15.65 ps hassasiyetinde zaman damgalaması yaptığından TOA uygulamaları için uygun görülmektedir. Bu yöntemin en popüler uygulama alanı olan TWR; verici ve alıcı cihazların aralarında mesaj alışverişinde bulunduğu ve bu mesajların iletim ve alım zaman damgalarına dayanarak, aralarındaki mesafenin hesaplanabildiği yöntemdir [45, 46]. Ancak bu yöntem ile konum hesabı yapabilmek için vericinin mesajlaşmayı en az 3 alıcı ile gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu alıcıların koordinatlarının bilinmesi sayesinde, her alıcıya olan mesafe bilgileri kullanılarak konum hesaplanmaktadır.

Bunun yerine tek bir konumu bilinen alıcı ve vericiyle arasında olan mesafe ve açı bilinirse [43], tek bir alıcı ile de konum tahmini yapılabilecektir. Açının bulunması için AoA yöntemi kullanılacaktır. AOA tahmini için PDOA ölçümü yaygın olarak kullanılmaktadır. Decawave entegre devresi, PDOA ile geliş açısını tahmin etmek için bir teknik önermiştir. Bu teknikte 2 adet DW1000 kullanılma ihtiyacı bulunmaktadır [43]. Bunun yerine, verici cihazdan gönderilen mesaj paketi sayısı atırılarak ve alıcı cihazda bulunan yüksek hızda anahtarlanabilen yönlü anten sistemi ile bir adet DW1000 kullanılarak her antenden alınan sinyaller arasındaki faz farkı (ve dolayısıyla varış açısı) hesaplanabilir.

Bu çalışmanın amacı akıllı fabrikalarda kullanılmak üzere; düşük güç tüketimli, düşük maliyetli, kurulumu kolay ve hassas sistemler oluşturmaktır. Açı bulma işlemi için geliştirilen PDOA yapısı ve mesafe bulma işlemi için geliştirilen TWR yapısı kullanılarak tek bir alıcı cihazda bulunan yüksek hızda anahtarlanabilen yönlü anten sistemi ile konum tespiti yapılmıştır.

3.2.2 Sinyal Geliş Fazları Yöntemi ile Açı Bulma Algoritması

Konum belirleme işlemi için, sistem ana bileşenleri mobil olarak çalışabilen verici cihaz ve konumu sabit alıcı cihazlardan oluşmaktadır. Bir verici ve alıcı cihaz arasındaki haberleşme sinyalleri UWB teknolojisini kullanan DW1000 tümleşik devresi ile sağlanmaktadır. DW1000 tümleşik devresi, IEEE802.15.4-2011 UWB standardı uyumlu 3.5 GHz'den 6.5 GHz'e kadar geniş bir radyo frekansı (Radio Frequency) (RF) bandında 6.8 Mbps veri hızı ve 1023 bayt paket uzunluğu ile haberleşmeyi destekler [41]. Verici cihazın gönderdiği UWB sinyali, alıcı tarafından algılandıktan sonra, cihaz içerisindeki güçlü bir mikrodenetleyici ile gerekli matematiksel işlemler ile mesafe verisini hesaplayabilmektedir.

Verici cihazın gönderdiği sinyalin iki anten tarafından da seçilebilir anten destekli DW1000 yapısı kullanılarak ayrı ayrı alınması gerekecektir. Her anten için ilk yol indeksini (First Path) (FP), ve senkronizasyon çerçevesi sınırlayıcı (Start Frame Delimiter) (SFD) açılarının elde edilmesine, zaman damgası bilgilerinin alınmasına ihtiyaç vardır [41]. DW1000 aynı anda tek bir antene hizmet edebilecektir. Ve ihtiyaç olan bilgiler alınan her mesaj için bir kere oluşabilmektedir. Bu sebeple vericinin 10

ms gibi kısa bir süre sabit kaldığı düşünölmüş ve vericiden her antenin iletimde kaldığı süreç boyunca ayrı sinyaller gönderilmiştir.

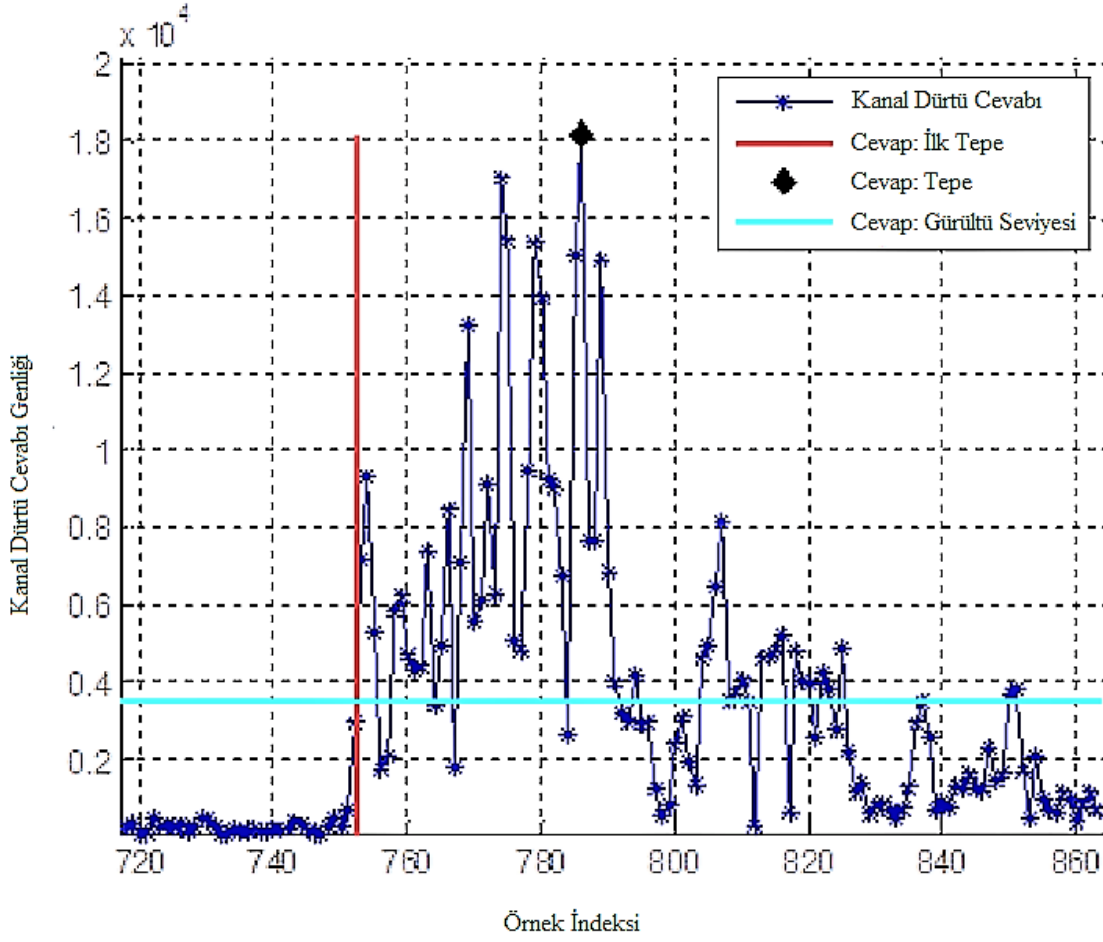
Bu yöntemin matematisel ve algoritmik açılımı aşağıdaki gibi olmaktadır [41].

1. Bir mesaj paketi alındığında, her anten için DW1000'den (A ve B) ilk FP indeksini en yakın tam sayıya yuvarlanmıştır ve (First Path) FP indeksindeki akümülatörden gelen karmaşık sayı örnekleme okunmuştur.
2. Sırasıyla her bir anten için ϕ_A ve ϕ_B ile ifade edilen ilk yol indeksini ilgili akümülatörden okunur.
3. Sırasıyla her bir anten β_A ve β_B ile ifade edilen SFD açıları ilgili akümülatörden okunur. $[-\pi, +\pi]$ aralığında α değeri denklem 3.9'da yerine konarak hesaplanır.

$$\alpha = ((\phi_A - \beta_A - \phi_B + \beta_B + \pi) \bmod 2\pi) - \pi \quad (3.9)$$

Son olarak α değeri kullanılarak, θ değeri hesaplanabilir:

$$\theta = \frac{1}{0.95} \arcsin \frac{\alpha}{\pi} \quad (3.10)$$

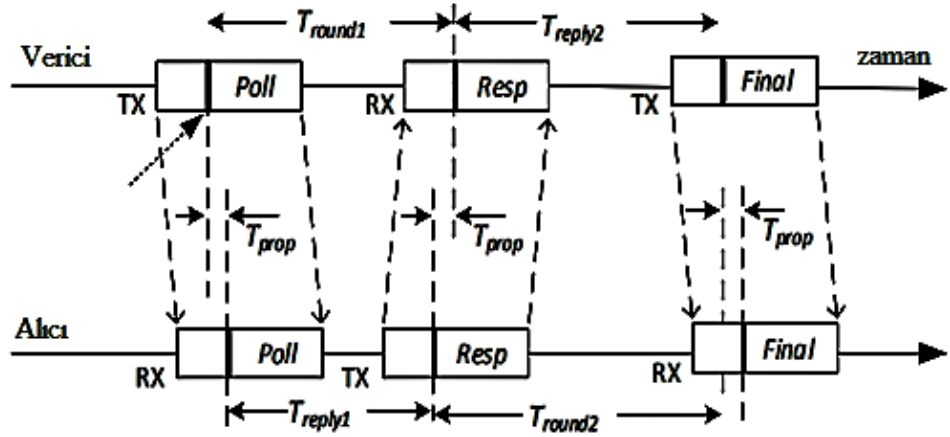


Şekil 3.3: Tipik bir görüş alanında olmayan iki nokta arasında görünürlük analizi (LOS), UWB sinyali senaryosundan örnek akümülatör [50]

Bahsedilen işlem basamakları sayesinde gerçekleştirilen yöntem ile, konum bilgisinin iki bileşeninden biri olan açı bilgisi elde edilmiştir. Mesafe bilgisinin elde edilebilmesi için TWR yöntemi tercih edilmiştir.

3.2.3 İki Yönlü Ölçüm Yöntemi ile Mesafe Bulma Algoritması

Alıcı ve verici cihaz, şekilde görülen mesajlarla haberleşerek, zaman damgalaması koyar ve aşağıdaki formül ile sinyalin uçuş süresi (T_{prop}) bulunarak mesafe elde edilmiştir. Bir verici ile alıcı arasındaki mesafe, iletilen sinyalin uçuş süresi veya elektromanyetik yayılma süresi ile ışık hızı olan yayılma hızının çarpımına eşittir [44]. DW1000 entegre devresi ps mertebesinde zaman damgası oluşturduğu için [50], T_{prop} ifadesinin saniye mertebesine çevrilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4: TWR yönteminde, ToF hesaplaması için verici ve alıcı arasındaki mesajlaşmalar [50]

TWR yönteminde, ToF hesaplaması için verici ve alıcı arasındaki mesajlaşmalar ve mesafeyi bulmak için kullanılan formül [50]:

$$Tuçuş = \frac{T_{round1} \times T_{round2} - T_{reply1} \times T_{reply2}}{T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2}} \quad (3.11)$$

$$(Mesafe) \times x = (3 * 10^8) \times (Tuçuş * 10^{-12}) \quad (3.12)$$

Bölüm 4

Materyal ve Metod

Bu bölümde; donanım tasarımı ve gömülü yazılım geliştirme adımlarından bahsedilmiştir: İlk aşamada ürünün gereksinimleri belirlenmiştir. Bu projede çeşitli sensörlerden sıcaklık, nem, mesafe ölçümlerini alan, bu aldığı değerleri kablosuz bir şekilde UWB üzerinden ağ geçidine ulaştırarak, üzerindeki motorlar ile akıllı taşıma, transfer vagonlarını kontrol eden ve sunucudan ağ geçiti vasıtasıyla yine kablosuz olarak sensör kartına ulaşan mesajlarla aksiyon olarak çeşitli çıkışların kontrol edildiği bir elektronik kart, bilgisayar destekli tasarım yazılımı EasyEDA kullanılarak geliştirilmiştir. Daha sonra gerber dosyaları oluşturulmuş ve baskılı devre kartı üreticisine gönderilmiştir. Sonraki aşamada, C programlama dili kullanılarak kodlamalar yapılmıştır.

4.1 AFSUAM Sensör Kartı Donanım Tasarımı

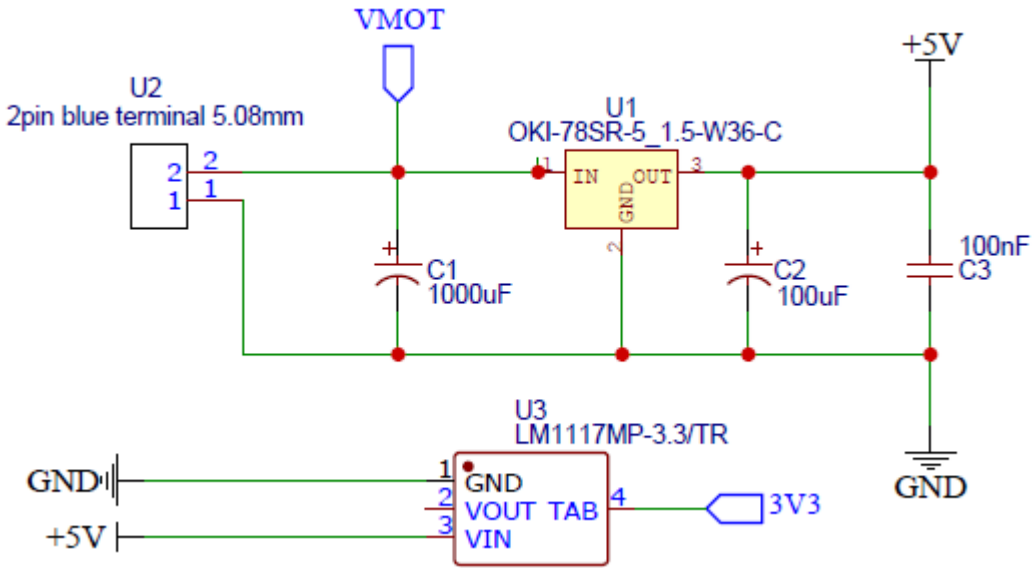
Bu bölümde tasarlanan AFSUAM sensör kartının donanımsal özellikleri anlatılmıştır. AFSUAM sensör kartı, baştan sona akıllı fabrikalar için özel tasarlanmış bir gömülü sistem tasarımıdır. Bu tasarımın en önemli kısımlarından bir tanesi de donanımsal süreçtir. Bu tasarım; güç katmanı, sensör haberleşmeleri, modülerliği sağlamak amacıyla seri çevre birimi arayüzü (Serial Peripheral Interface) (SPI), arası entegre devre (Inter-Integrated Circuit) (I2C), evrensel senkron ve asenkron alıcı verici (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) (UART) gibi çeşitli seri iletişim protokolleri, analog digital dönüştürücü (Analog to Digital Converter) (ADC), kablosuz haberleşme birimi ve gömülü yazılım hata ayıklama ve nihai yazılım yüklemek amacıyla programlama kısımlarından oluşmaktadır.

4.1.1 Güç Katmanı

AFSUAM sensör kartı ana beslemesi 12V olarak tasarlanmıştır. Böylece 12V besleme özelliği olan motorları kullanabilmek için uygun hale gelmiştir. 12V ana beslemeden 5V regülasyon devresi elde etmek için şekil 4.1’de gösterildiği gibi bir tasarım yapılmış ve OKI-78SR-5_1.5-W36-C voltaj regülatörü kullanılmıştır. Yine devrenin tasarımında kullanılan STM32F407ZG mikrodenetleyici gibi, 3.3V ana beslemeye ihtiyaç duyan kısımlarını doğru voltaj değeri ile beslemek amacıyla LM1117MP-3.3 regülatörü, 5V’dan 3.3V almak için kullanılmıştır.

Devredeki ana voltaj kaynağı çeşitli nedenlerle dalgalanmalara sahip olabilir. Bu ani dalgalanmalar devreye kalıcı istenmeyen zararlar verabilir. Voltaj regülatörü, çıkış voltajını sabit bir değerde tutmaktadır.

Ayrıca, besleme voltajındaki ve çıkış voltajındaki doğru akım (Direct Current) (DC), gerilimdeki dalgalanmaları azaltmak için regülatörden önce ve sonra kondansatörler kullanılmıştır.



Şekil 4.1: AFSUAM Sensör kartı güç katmanı şematik

4.1.2 Sensörler, Diğer Çevre Birimleri ve Programlayıcı

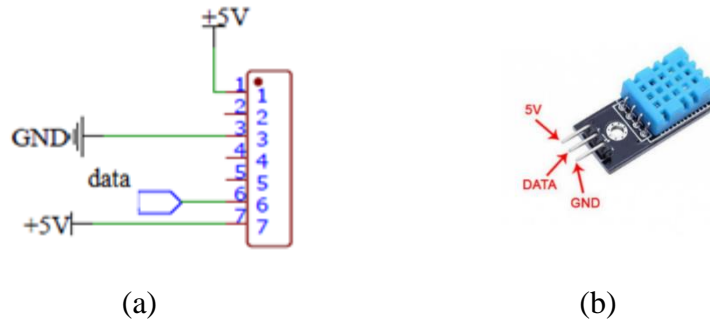
Bu bölümde, AFSUAM sensör kartında kullanılan; sensörlerin bağlantısı için, kartın çok amaçlı kullanımı sağlamak için SPI, I2C, UART seri haberleşme pinleri, analog değerleri okuyabilmek için ADC birimi, dijital giriş-çıkışlar ve kart üzerindeki mikrodenetleyiciyi programlamak, hata ayıklamak için kullanılan programlayıcı tasarımlarından bahsedilmiştir. Sensörlerle ilgili bilgiler bu bölümde verilmiştir.

DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü, bulunduğu ortamın sıcaklık ve nem değerlerini, bir mikrodenetleyici ile sinyal çıkışlarından okunulabildiği bir sensördür. Özel dijital sinyal toplama tekniği ile sıcaklık ve nem algılama teknolojisini kullanarak, yüksek güvenilirlik ve uzun vadeli kararlılık sağlar [51].

Tablo 4.1: DHT11 sıcaklık, nem sensörü genel özellikleri [51]

Ölçüm Aralığı	Nem Doğruluğu	Sıcaklık Doğruluğu	Çözünürlük	Paket
%20-90 BN 0-50 °C	% ±5 BN	±2°C	1	4 Pin Tek Sıra

Bu sensör, dirençli tipte bir nem ölçüm bileşeni ve bir negatif sıcaklık katsayısı (Negative Temperature Coefficient) (NTC), sıcaklık ölçüm bileşeni içerir ve yüksek performanslı bir mikro denetleyiciye bağlanarak kaliteli, hızlı yanıt, parazit önleme özelliği ve düşük maliyet etkinliği sunar.



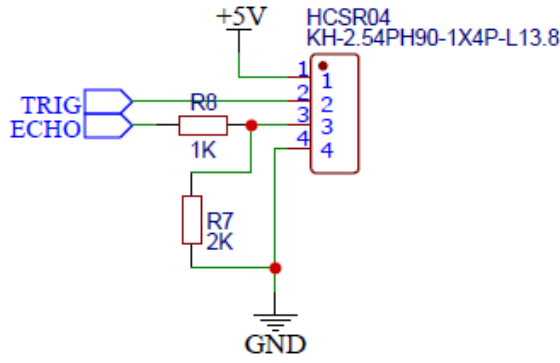
Şekil 4.2: DHT11 sıcaklık ve nem sensörü (a) Şematik, (b) Bağlantı Pinleri

DHT11 sıcaklık ve nem sensörü ile alakalı detaylı ölçüm parametreleri, çevresel etmenlere göre maksimum minimum ve normal değerler tablo 4.2’de gösterilmiştir.

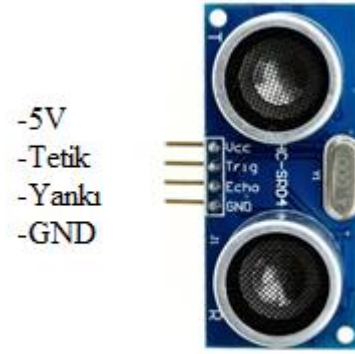
Tablo 4.2: DHT11 sıcaklık, nem sensörü detaylı ölçüm parametreleri [51]

Parametreler	Koşullar	Minimum	Normal	Maksimum
Nem				
Çözünürlük		%1 BN	%1 BN	%1 BN
			8 bit	
Tekrarlanabilirlik			± %1 BN	
Doğruluk	25°C		± %4 BN	
	0 - 50°C			± %5 BN
Değiştirilebilirlik	Tamamen Değiştirilebilir			
Ölçüm Aralığı	0°C	%30 BN		%90 BN
	25°C	%20 BN		%90 BN
	50°C	%20 BN		%80 BN
Sıcaklık				
Çözünürlük		1°C	1°C	1°C
		8 bit	8 bit	8 bit
Tekrarlanabilirlik			± 1°C	
Doğruluk		± 1°C		± 2°C
Ölçüm Aralığı		0°C		50°C

HC SR04 Mesafe Sensörü, ultrasonik mesafe modülü HC-SR04, 2cm - 400cm temassız ölçüm işlevi sağlar, aralık doğruluğu 3 mm'ye ulaşabilir. Modüller ultrasonik vericileri, alıcıları ve kontrol devrelerini içerir. Temel çalışma prensibi olarak tetik pini en az 10 us yüksek seviyeli sinyal ile tetiklenmelidir. Bu şart sağlandığında, modül otomatik olarak sekiz adet 40 kHz sinyal gönderir. Daha sonra yankı pinini yüksek gerilim seviyesine çeker ve bir darbe sinyalinin bir cisme çarpıp, geri gelip gelmediğini tespit eder. Yankı pini, sinyal seviyesi yüksek voltaj durumundan, düşük seviyeli voltaj durumuna geçmesi sonucu oluşan kare dalganın uzunluğu ise, ses sinyalinin cisme gidip, geri dönüşe kadar geçen süredir.



(a)



(b)

Şekil 4.3: HC SR04 mesafe sensörü (a) Şematik, (b) Bağlantı Pinleri

Tablo 4.3: HC SR04 mesafe sensörü genel özellikleri [52]

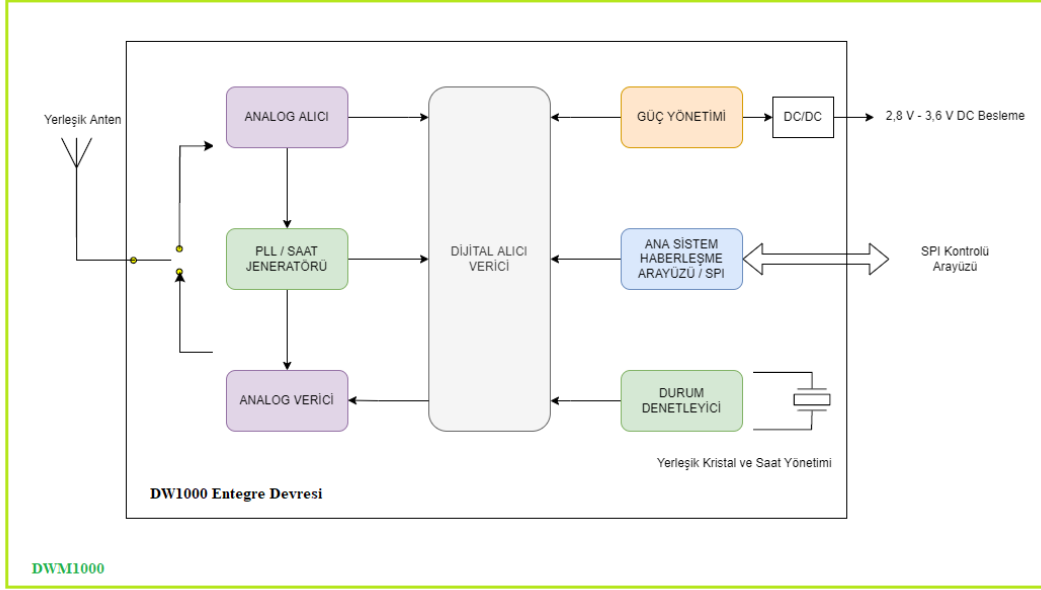
Özellik	Değer
Çalışma gerilimi ve akımı	DC 5 V-15mA
Çalışma frekansı	40Hz
Minimum- maksimum ölçüm değeri	2cm-4m
Tetik giriş sinyali	10uS Transistör-Transistör Mantığı (TTL) sinyal
Yankı çıkış sinyali	Giriş TTL seviye sinyali ile orantılı
Boyut	45x20x15mm

UWB Kablosuz Haberleşme Modülü, Decawave'in DW1000 Ultra Geniş Bant (UWB) alıcı-verici entegre devresini temel alır. Anteni, tüm RF devrelerini, güç yönetimini ve saat devrelerinin tek bir modülde toplanmış halidir. Cisimleri 10 cm hassasiyetle konumlandırmak için 2 yönlü menzil veya TDOA konum sistemlerinde. DW1000, IEEE 802.15.4-2011 UWB standardı ile uyumlu, tamamen entegre, düşük güçlü, tek çipli bir bütünleyici metal oksit yarı iletken (Complementary Metal Oxide Semiconductor) (CMOS), radyo alıcı-verici entegre devresidir.

Tablo 4.4: DWM1000 UWB kablosuz haberleşme modülü genel özellikleri [48]

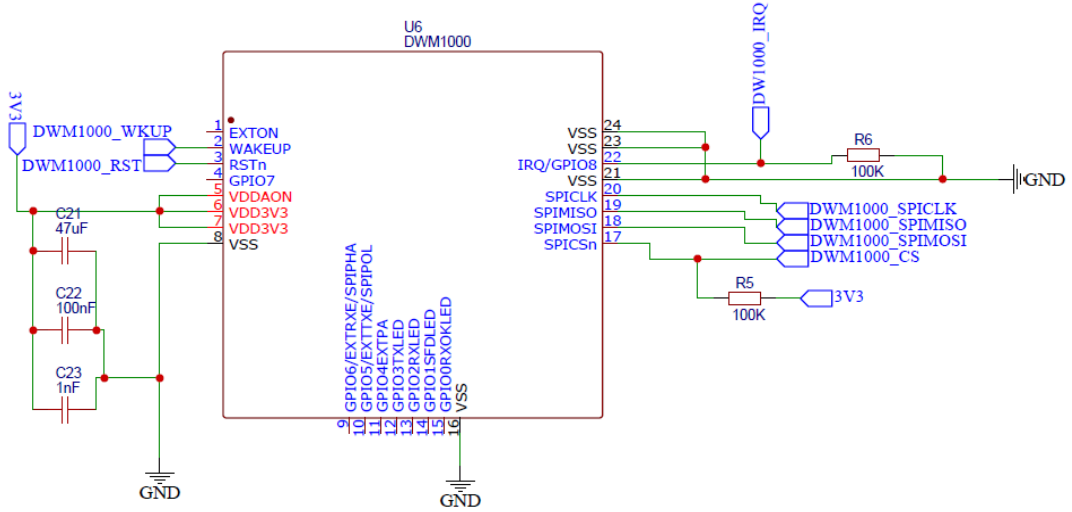
Özellik	Açıklama
IEEE standartı	IEEE 802.15.4-2011 UWB uyumlu
Çalışma frekansı	3.5 GHz'den 6.5 GHz'e kadar 4 RF bandını destekler
Çıkış gücü	Programlanabilir verici çıkış gücü
Çalışma gerilimi	2,8 V- 3,6 V
Veri hızı	110 kbps, 850 kbps, 6.8 Mbps
Uygulama	Entegre Medya Erişim Kontrolü (MAC), destek özellikleri
Seri iletişim	TWR ve TDOA'yı destekler Mikrodenetleyici haberleşmesi için SPI arayüzü
Boyut	23 mm x 13 mm x 2,9 mm

Elektronik devre ile entegrasyonu basitleştirir, RF tasarımı gerekmez. Nesnelerin çok hassas konumu bulmayı, verimlilik kazanımları ve maliyet düşüşleri sağlar. Düşük maliyet, çözümlerin uygun maliyetli bir şekilde uygulanmasına olanak tanır. Düşük güç tüketimi, pil değiştirme ihtiyacını azaltır ve sistem ömrü maliyetlerini düşürür. Yüksek veri hızları, yayın süresini kısa tutmasına ve böylece güç tasarrufu yapmasına ve pil ömrünü uzatmasına olanak tanır. Yüksek oranda yansıtıcı RF ortamları için ideal çalışma performansına sahiptir. DW1000, bir alıcı ve verici içeren bir analog ön uçtan (hem RF hem de temel bant) ve bir ana işlemciye arayüz oluşturan, analog ön uç kontrol eden, iletim için mikrodenetleyiciden veri kabul eden bir dijital arka uçtan oluşur ve endüstri standardı bir SPI arabirimi üzerinden ana mikrodenetleyiciden alınan verileri sağlar. Alıcı-verici performansını korumak ve optimize etmek için çeşitli kontrol şemaları uygulanmaktadır.



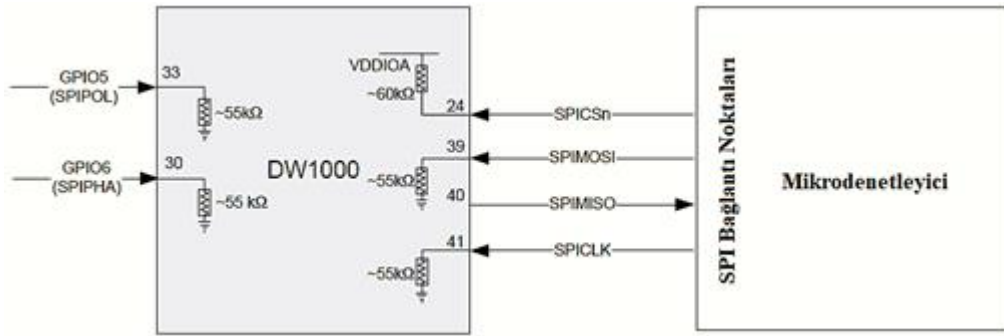
Şekil 4.4: DWM1000 üst düzey blok şeması [48]

Şekil 4.4’de detaylı bir şekilde iç yapısı gösterilen DWM1000 UWB kablosuz haberleşme modülü AFSUAM sensor kartında mikrodenetleyiciye SPI çevre birimi ile bağlanmıştır.



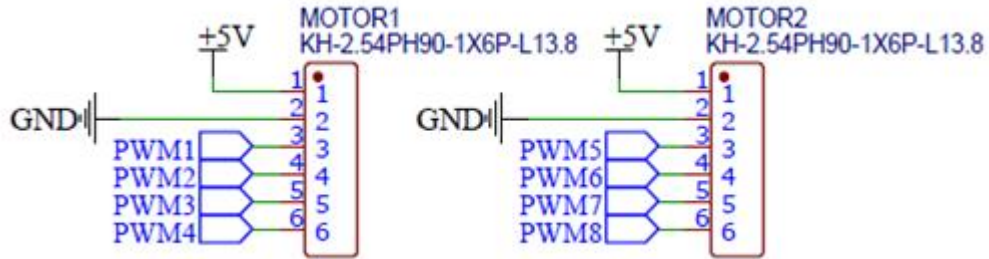
Şekil 4.5: DWM1000 devre şematığı

Mikrodenetleyici, DWM1000 ile iletişim kurmak için bir ana SPI veri yolu kullanır. Ana sistem, DWM1000 kayıtlarını SPI aracılığıyla okur ve yazar.



Şekil 4.6: DWM1000 UWB modülü ve mikrodenetleyici SPI bağlantısı [40]

Motor Kontrol Blokları, mikrodenetleyici ile AFSUAM akıllı taşıma ve transfer vagonlarının kontrolünü elektronik olarak sağlar. Bu bloklar darbe genişliği modülasyonu (Pulse Width Modulation) (PWM), tekniği ile motor sürmeye olanak sağlamak için mikrodenetleyicinin PWM destekli zamanlayıcı çevre birimlerini kullanarak tasarlanmıştır. Taşınacak metaryellerin yoğunluğuna göre birden fazla motor ihtiyacının olabileceği senaryolar için birbirinden bağımsız iki ayrı motor kontrol birimi tasarlanmıştır.

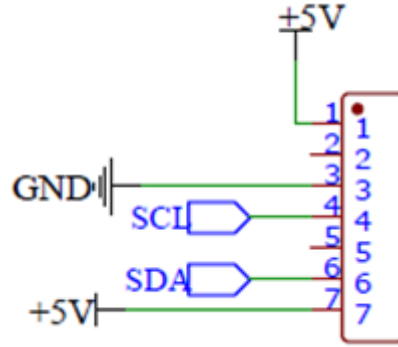


Şekil 4.7: AFSUAM Akıllı taşıma ve transfer vagonları DC motor sürücülerinin bağlantı şemaları

Günümüzde protokoller gömülü sistem tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. İki sistem arasında veri aktarımı için kullanılan I2C, SPI, USART gibi farklı veri yolu protokolleri mevcuttur. İki veya daha fazla cihaz arasında bilgi iletmek ve almak, veri yolu sistemi adı verilen bir iletişim yolu gerektirir.

AFSUAM sensor kartı üzerinde bulunan I2C hattı modüler sensor bağlantıları ve diğer I2C arayüzü olan birçok entegre devreyi kontrol etmek için oluşturulmuştur. Bir I2C

veri yolu, verileri entegre devreler arasında taşımak için kullanılan çift yönlü, iki telli bir seri iletişim veri yoludur. I2C veri yolu, standart, hızlı mod ve yüksek hızlı mod gibi üç veri aktarım hızından oluşur. I2C veri yolu, 7 bitlik ve 10 bitlik adres alanı aygıtını destekler ve çalışması düşük voltajlarda farklılık gösterir.

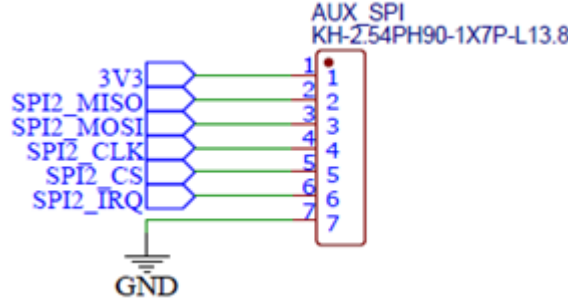


Şekil 4.8: Modüler kullanım için I2C devre şematığı

I2C, cihazlarla haberleşmek için kullanılan SCL ve SDA hatları gibi iki sinyal hattından oluşan bir seri veri yolu protokolüdür. SCL, bir "seri saat hattı" anlamına gelir ve bu sinyal her zaman "ana cihaz" tarafından sürülür. SDA, "seri veri hattı" anlamına gelir ve bu sinyal, ana veya I2C çevre birimleri tarafından sürülür.

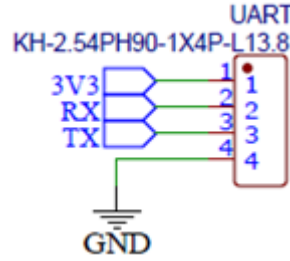
AFSUAM sensor kartı üzerinde bulunan SPI hattı modüler sensor bağlantıları ve diğer SPI arayüzü olan birçok entegre devreyi kontrol etmek için oluşturulmuştur.

Seri arayüzlerin paralel arayüzlere göre belirli avantajları vardır. En önemli avantaj, daha basit kablolamadır. Ayrıca seri arabirim kabloları, kablodaki iletkenler arasında çok daha az etkileşim (crosstalk) olduğundan, paralel arabirim kablolarından daha uzun olabilir. Kaydırma yazmaçları, bellek yongaları, bağlantı noktası genişleticiler, görüntü sürücüler, veri dönüştürücüler, yazıcılar, veri depolama aygıtları, sensörler ve mikro işlemciler dahil olmak üzere birçok aygıt türü bir SPI tarafından kontrol edilebilir. Veriler bir kablo üzerinden seri olarak aktarılır, bir kaydırma yazmacına girilir ve paralel işleme yoluyla her bir alt sistem içinde aktarılır.



Şekil 4.9: Modüler kullanım için SPI devre şematığı

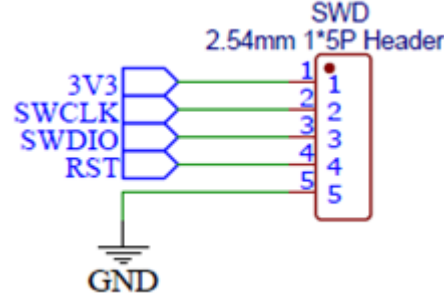
AFSUAM sensor kartı üzerinde gömülü yazılım geliştirmeleri yaparken, sensor verilerini bilgisayardan okumak, kart üzerinde bilgisayar aracılığı ile çeşitli manüpülasyonlar yapabilmek UART birimi kullanılmıştır.



Şekil 4.10: Modüler kullanım için UART devre şematığı

UART iletişimde, iki UART birbiriyle doğrudan iletişim kurar. Verici UART, merkezi işlem birimi (Central Processing Unit) (CPU), gibi bir kontrol cihazından gelen paralel verileri seri forma dönüştürür ve seri olarak alıcı UART'a iletir, daha sonra seri verileri alıcı cihaz için tekrar paralel verilere dönüştürür. İki UART arasında veri iletmek için sadece iki kablo gereklidir. Veri, ileten UART'ın iletim (Tx), pininden alıcı UART'ın alıcı (Rx) pinine akar:

Programlayıcı, baskı devre kartı üzerindeki mikrodenetleyiciyi programlamak için harici bir programlama cihazına ihtiyaç vardır. Programlama cihazı, programlayıcı konektörüne bağlanarak programlama sürecinde hata ayıklama işlemleri ve karta nihai yazılım yüklemesi yapılabilir. Konektörün pinleri beslemeye ve toprağa bağlanır. Diğer pinler mikrodenetleyicinin SWCLK, SWDDIO ve Reset'ine bağlanır.

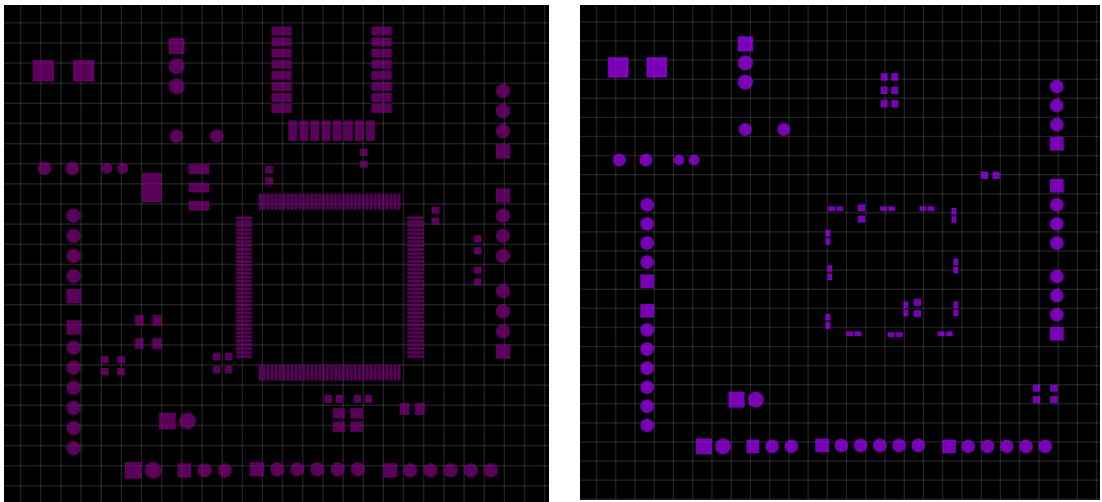


Şekil 4.11: Programlayıcı devre şematığı

4.1.3 Kılıf Tasarımı, Komponent Yerleştirilmesi ve Yönlendirme

EasyEDA üzerinde projenin şematik tasarımı yapıldıktan sonra elektronik bileşenlerin kart üzerine monte edilmesi için bir baskılı devre kartının tasarlanması gerekmektedir. EasyEDA, bir baskılı devre kartı (printable circuit board) (PCB), düzeni oluşturmaya izin verir.

PCB Tasarımının ilk ve en önemli adımı, projede kullanılacak tüm bileşenlerin ayak izlerini tasarlamaktır. EasyEDA, çok yaygın olarak kullanılan bileşenlerin çoğunun ayak izlerini içeren kapsamlı bir kitaplığa sahiptir. Bileşenlerin veri sayfasında, ayak izleri boyutlar cinsinden tanımlanır. Bileşenin ayak izleri kitaplıklarda yoksa, manuel olarak tasarlanmaları gerekir. EasyEDA yeni kılıf tasarlandığı bir ayak izi düzenleyici bölümü bulunmaktadır. Bu projede kullanılan kılıf aşağıdaki şemada gösterilmiştir.

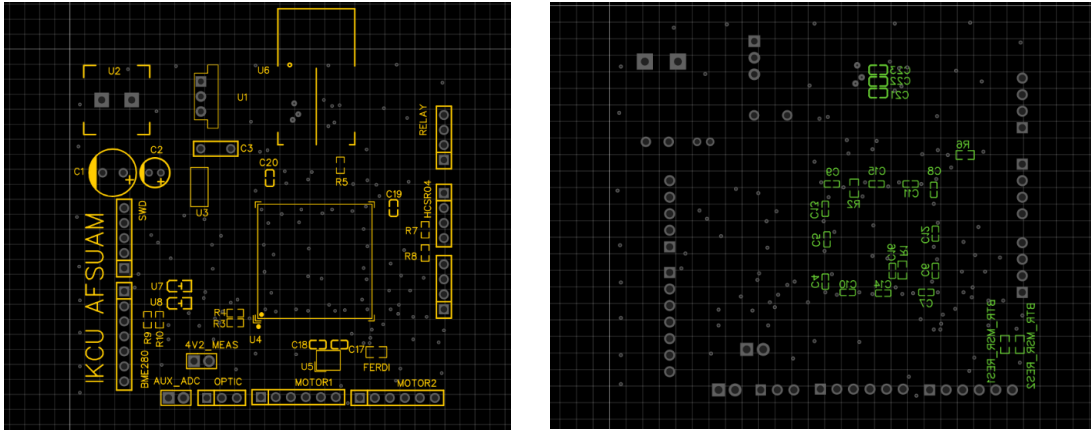


(a)

(b)

Şekil 4.12: Kılıf tasarım görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman

Bileşenlerin boyutu analiz edildikten sonra, bu projede kullanılan pano boyutu 66.17mm x 59.56 mm'dir. Bileşenler, EasyEDA şematik üzerine kurulu şematik yapı göz önünde bulundurularak PCB üzerine yerleştirilmiştir. Bileşeni yerleştirirken dikkat edilen bir diğer önemli faktör de yönlendirme bağlantılarıdır. Yönlendirme için bileşenler arasında yeterli boşluk olmalıdır. Genel kural, bileşenlere yapılan bağlantıların çoğu denetleyiciden geldiğinden, mikro denetleyicinin kartın merkezinde olması gerektirir.



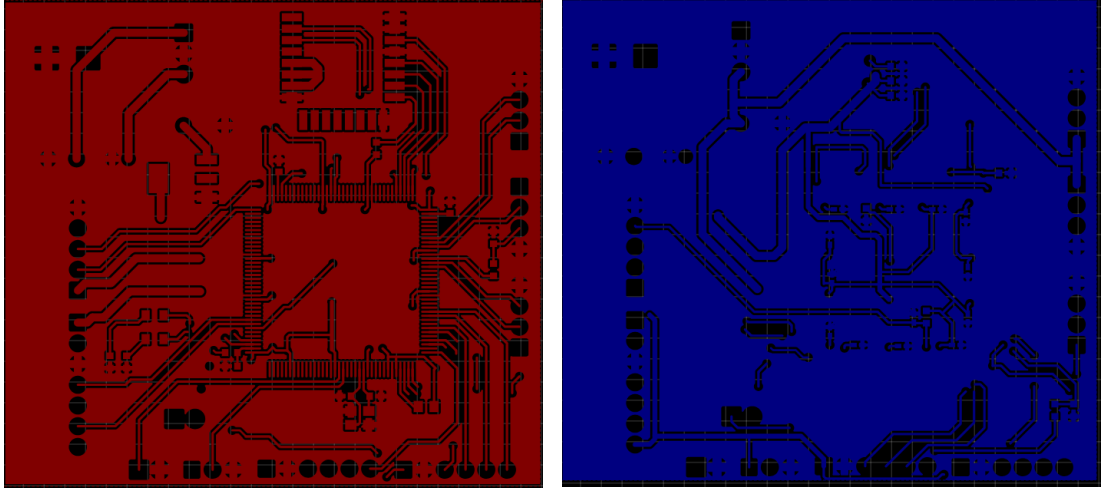
(a)

(b)

Şekil 4.13: Komponent yerleştirme için baskı katmanı tasarım görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman

Tüm sensör konektörleri kartın kenarlarına yerleştirilmiştir. Her konektörün sağ tarafında, kartın ortak bağlantıları ve estetik görünümü göz önünde bulundurularak ilgili bileşenleri yerleştirilmiştir. Kartın merkezinde, STM mikrodenetleyicisi bulunmaktadır.

Bileşenler PCB'ye yerleştirildikten sonraki adım, bağlantıları yönlendirmektir. Sarf malzemeleri dışındaki bağlantılar yapıldıktan sonra, malzemeler belirli bölgelere doğrudan, doğrudan bağlantının mümkün olmadığı yerlerde ise vialar aracılığıyla bağlanmıştır. Zemin pano boyunca yaygın olduğu için alt ve üst taraflar tamamen toprakla doldurulmuştur ve bu nedenle tüm topraklama bağlantıları doğrudan ve panonun alt tarafına vialar yoluyla yapılmıştır.



(a)

(b)

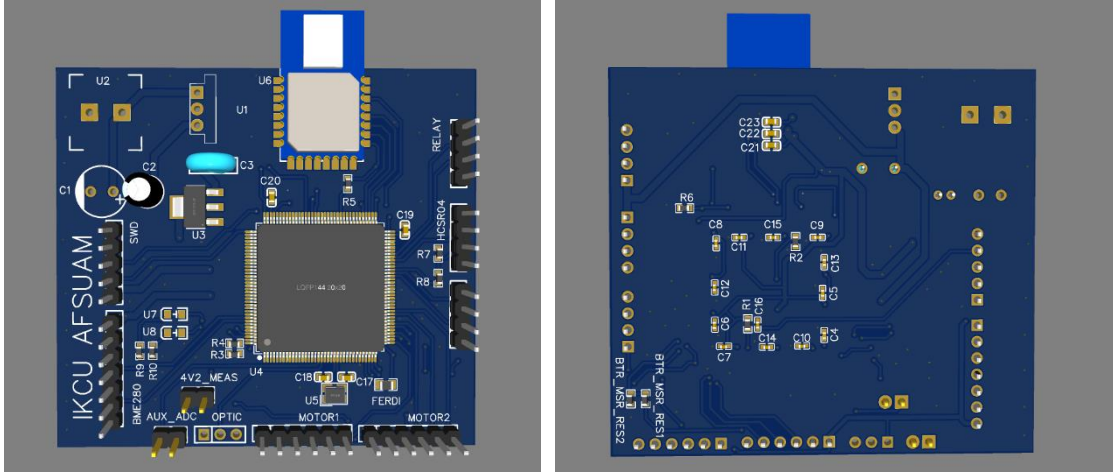
Şekil 4.14: Yollandırma (a) Üst katman yönlendirme, (b) Alt katman yönlendirme

Yukarıdaki şema, çeşitli pedler arasındaki bakır bağlantıları (Kırmızı) gösteren kartın ön tarafıdır. Bakır bağlantılar her etiket için ayrıdır. Normal bağlantılar dışında diğer tüm kırmızı kısımlar topraklanmıştır. Bağlantılar her zaman 90 dereceden farklı bir açıyla yapılmıştır. Unutulmaması gereken bir diğer önemli nokta da, bilgisayar destekli grafik tasarım (Computer Aided Design) (CAD) yazılımı olmasına izin verilse bile iki ardışık ped arasında rota yapılmamasıdır.

Şekil 4.15'de baskılı devre kartının arka yüzü gösterilmektedir. Mavi renk bakır bağlantılarını gösterir. Kartın bir tarafını diğer tarafına bağlayan via'lar mevcuttur. Vialar kullanımı yönlendirme karmaşıklığını azalttığı için çok önemlidir ve estetik açıdan board daha şık görünür. Daha önce de belirtildiği gibi hem üst hem de alt taraf topraklanmış bakır ile doldurulur, bu nedenle bileşen ve sarf malzemelerinin bağlantıları dışındaki tüm mavi bağlantılar topraklanır.

4.1.4 AFSUAM Sensör Kartı Üretim ve Dizgisi

EasyEDA baskılı devre kartını gerçek dünyada görüldüğü gibi görüntülemeyi sağlayan bir özellik mevcuttur. Buna üç boyutlu görüntüleyici denir. PCB tasarlarken bu özellik çok kullanışlıdır, çünkü tasarımı gerçek bileşenlerin yerleştirildiği gibi göstermektedir. Bu nedenle, bileşen doğru yerde değil gibi görünüyorsa, daha zarif görünmesi için konumunu değiştirebilir.

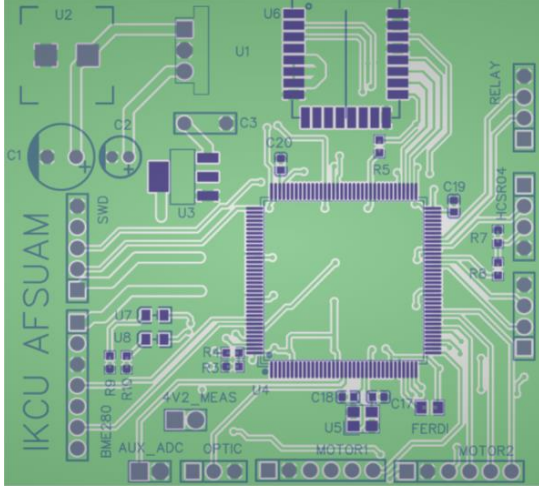


(a)

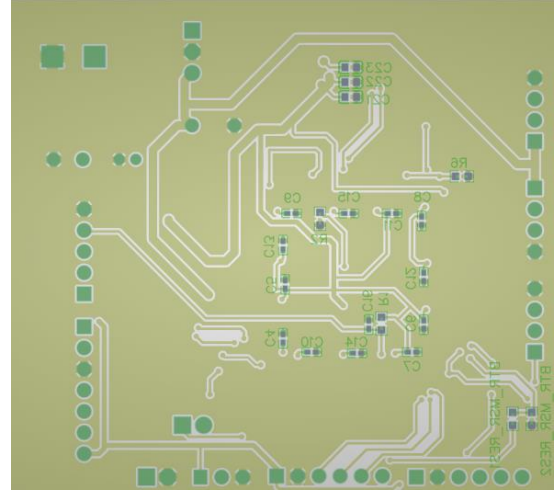
(b)

Şekil 4.15: Üç boyutlu görünüm. (a) Üst katman üç boyutlu görüntü, (b) Alt katman boyutlu görüntü

Gerber formatı, baskılı devre kartı tasarımları için açık bir ASCII vektör formatıdır. Baskılı devre kartı görüntülerini tanımlamak için PCB endüstri yazılımı tarafından kullanılan fiili standarttır: bakır katmanlar, lehim maskesi verileri PCB üretim verilerinde kullanılır. PCB'ler, CAD sistemi üzerinde tasarlanmıştır. CAD sistemleri, kartın üretimine izin vermek için PCB üretim verilerini verir. Bu veriler tipik olarak her görüntü katmanı için bir Gerber dosyası içerir (bakır katmanlar, lehim maskesi). Tipik olarak, tüm bu dosyalar, PCB çıplak kart imalathanesine gönderilen tek bir arşive "sıkıştırılır". Üretici, PCB üretim sürecinin her adımı için veri hazırlamak üzere bunları bir bilgisayar destekli üretim (Computer Aided Manufacture) (CAM) sistemine yükler. Aşağıda çeşitli gerber dosyaları bulunmaktadır.



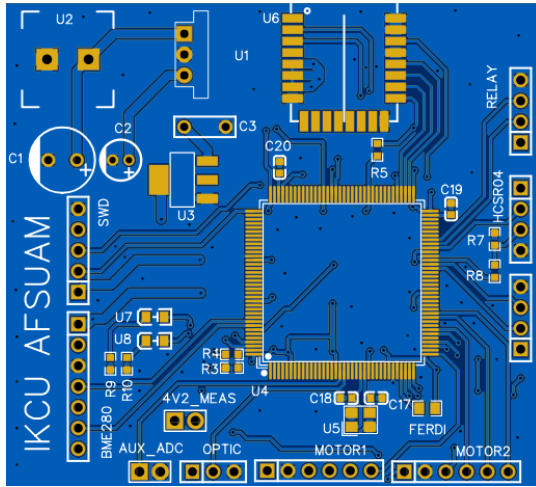
(a)



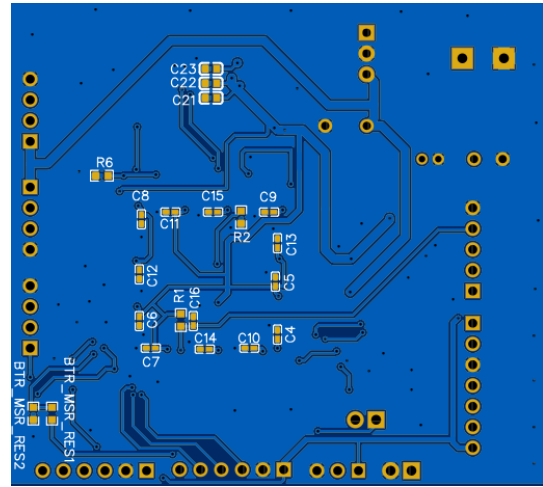
(b)

Şekil 4.16: Gerber dosyaları görüntüleri (a) Üst katman ve lehim maskesi, (b) Alt katman ve lehim maskesi

Gerber dosyaları üreticiye gönderildikten iki hafta sonra baskılı devre kartı hazır hale gelir. İmalattan sonra gerçek PCB resimleri aşağıdadır:



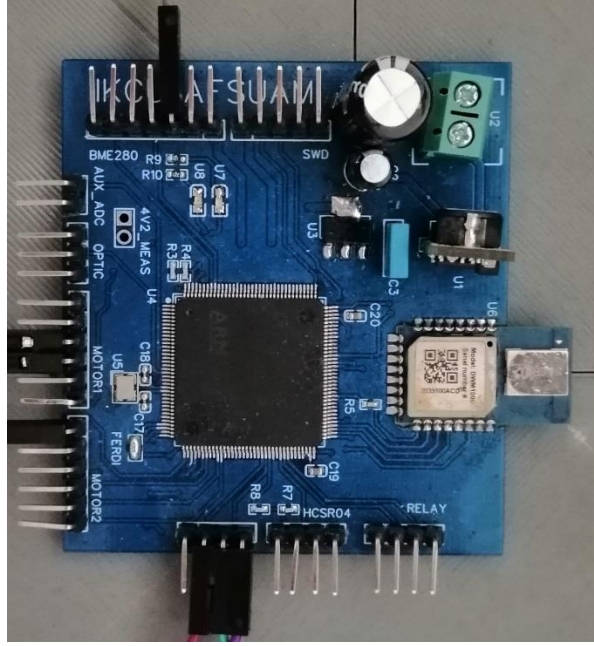
(a)



(b)

Şekil 4.17: Dizgiye hazır PCB görüntüleri (a) Üst katman, (b) Alt katman

Baskılı devre kartı üreticiden geldiğinde, sıra proje bileşenlerini panoya monte etmektir. Montajdan sonraki son devre görünümü aşağıdadır.



Şekil 4.18: Programlamaya hazır dizili PCB görüntüsü

4.2 AFSUAM Sensör Kartı Gömülü Yazılım Tasarımı

C dili kullanılarak aşağıda maddelenen kodlamalar yapılmıştır:

- 1) Ürünün gereksinimleri doğrultusunda sensörlerin sürücü algoritmaları geliştirilmiştir.
- 2) Sistemin önemli bir birimi olan akıllı taşıma sistemi, PWM tekniği ile sürülen motorların kontrol algoritmaları kodlanmıştır.
- 3) Ultra geniş band kablosuz haberleşme modülü sürücü algoritması geliştirilmiştir.
- 4) Elektronik bileşenlerin, sensörlerin ve mikrodenetleyici bileşenlerinin bulunduğu baskılı devre kartı programlanmıştır.

4.2.1 Sensör Sürücü Yazılımları

DHT11 Sıcaklık-Nem Sensörü, VCC, GND, data pin olmak üzere üç adet pin bulunur. Veri pinini yüksek voltaj seviyesinde tutmak ve Tek veri yolu iletişimini sağlamak için 5K Ohm'dan 10K Ohm'a kadar bir çekme direnci gereklidir. DHT11, ortama dair bağıl nem oranını tespit etme bileşeni, bir sıcaklık sensörü ve sensörün arka tarafında bir entegre devreden oluşmaktadır [51].

Ortamın bağıl nem oranını ölçmek için, iki elektrot içeren nem algılama bileşenini kullanır. Ortamın nem değeri değiştiğinde, bu iki elektrot arasındaki direnç değeri değişir. Dirençteki bu değişiklik entegre devre tarafından ölçülür ve işlenir, bu da onu bir mikro denetleyici tarafından okunmaya hazır hale getirir.

Ortamın sıcaklık seviyesini ölçmek için termistör kullanılabilir. Termistör direnci sıcaklığa göre değişebilen bir dirençtir.[51]. Bu sensörler, küçük değişiklikler olsa bile direnç değerlerinde büyük değişiklikler oluşturabilmek için için seramik gibi yarı iletken malzemelerin kullanılması ile yapılmaktadır. “NTC” terimi, “Negatif Sıcaklık Katsayısı” anlamına gelir, bu da sıcaklığın artmasıyla direncin azalması anlamına gelir [51].

Tek veri yolu (one-wire), mikrodenetleyici ve DHT11 sensörü arasında iletişim ve senkronizasyon için kullanılır. Bir iletişim süreci yaklaşık 4 ms'dir. Mikrodenetleyici bir başlatma sinyali gönderdiğinde, DHT11 düşük güç tüketimi modundan çalışma moduna geçerek MCU'nun başlatma sinyalini tamamlamasını bekler. Tamamlandığında, DHT11, MCU'ya bağıl nem ve sıcaklık bilgilerini içeren 40 bitlik bir veri yanıt sinyali gönderir. Mikrodenetleyiciden başlatma sinyali olmadan DHT11, MCU'ya yanıt sinyali vermez. Veri toplandıktan sonra DHT11, mikrodenetleyiciden tekrar bir başlatma sinyali alana kadar düşük güç tüketimi moduna geçecektir. Mikrodenetleyici ve DHT11 sensörü arasında tek veri yolu iletişimi şu şekildedir:

- 1) Tek veriyolu serbest durumu yüksek voltaj seviyesindedir. mikrodenetleyiciden ve DHT11 arasındaki iletişim başladığında, MCU programı tek veri yolu voltaj seviyesini yüksekte düşüğe ayarlayacaktır ve bu işlem DHT11'in mikrodenetleyici sinyalini algılamasını sağlamak için en az 18

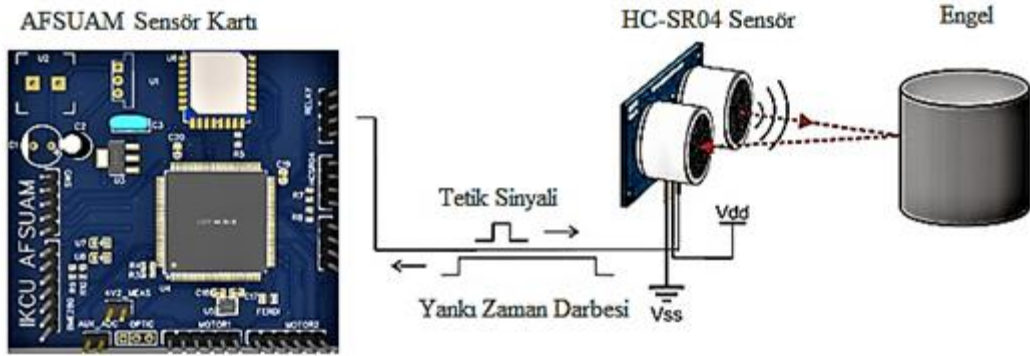
ms sürmelidir, ardından DHT11'nin yanıtı için mikrodenetleyici voltajı yükseltecek ve 20-40µs bekleyecektir.

- 2) DHT11, başlatma sinyalini algıladığında, 80µs süren düşük voltaj düzeyinde bir yanıt sinyali gönderir. Daha sonra DHT11, veri yolu voltaj seviyesini düşükten yükseğe ayarlar ve DHT11'nin veri göndermeye hazırlanması için 80µs bu seviyede tutar. Data pini düşük voltaj seviyesinde olduğunda, bu DHT11'in yanıt sinyali gönderdiği anlamına gelir. DHT11 yanıt sinyalini gönderdikten sonra pini yüksek voltaj seviyesine çeker ve 80µs bu seviyede tutar ve veri iletimi için hazırlanır. DHT11, mikrodenetleyiciye veri gönderirken, her veri bit için data pinini 50µs düşük voltaj seviyesi ile başlatır ve takip eden yüksek voltaj seviyesi sinyalinin uzunluğu, veri bitinin "0" veya "1" olduğunu belirtir.
- 3) DHT11'den gelen yanıt sinyali her zaman yüksek voltaj seviyesindeyse, DHT'nin düzgün yanıt vermediğini gösterir, bu durum gözlemlendiğinde fiziksel pin bağlantıları kontrol edilmelidir. Son veri biti iletilindiğinde, DHT11 voltaj seviyesini aşağı çeker ve 50µs bu seviyede tutar. Ardından voltajı, serbest duruma geri döndürmek için modül üzerindeki direnç tarafından yüksek voltaj seviyesine çekilecektir.

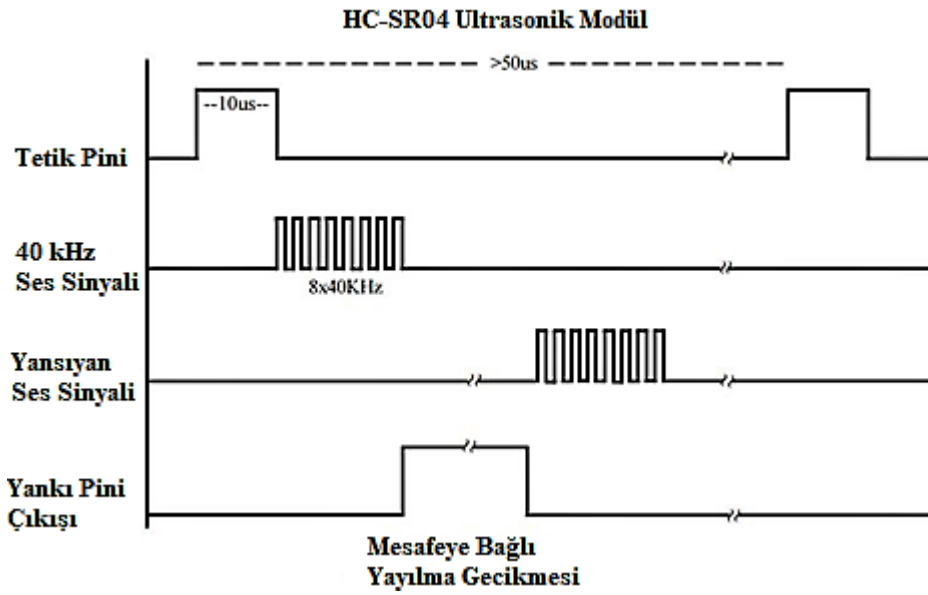
HCSR04 Mesafe Sensörü, çalışması esas olarak ultra ses dalgalarına bağlıdır. Bir nesnenin ses dalgasının kaynağına ne kadar yakın olduğunu söylemek için nesnelere geri yansıtacak bazı ses dalgaları gönderilir. Sensör ultrasonik ses dalgaları gönderir ve onları geri alır, ardından sesin kaynaktan hedefe ulaşması için geçen süreyi hesaplar. Böylece, hedefin sensörden ne kadar uzakta olduğunu hesaplanabilecektir. Tüm süreci daha teknik olarak formüle etmemiz gerekirse:

Ultrasonik sensörün tetik pinine, mikrodenetleyiciden 10µS lik bir kare dalga göndererek sensör aktif hale getirilmelidir. Daha sonra sensör bir şeye çarpana kadar havada hareket edecek bir ultra ses dalgası gönderecektir. Ses dalgası bir şeye çarparsa, sensöre geri yansır. Böylelikle, ses dalgasının ileri geri seyahat etmesinin ne kadar sürdüğünü belirlenecektir. Sensörün echo pini ses dalgası yayıldıktan sonra yüksek seviye geçecektir. Sinyal bir cisme çarpıp geri geldiğinde ise echo pini düşük voltaj seviyesine geçerek bir kare dalga oluşturacaktır. Bu kare dalganın genişliğini

hesapladıktan sonra aşağıdaki formülü kullanarak sensör ile hedef arasındaki mesafeyi kolaylıkla bulabiliriz.



Şekil 4.19: HC-SR04 ultrasonik sensör çalışma mekanizması



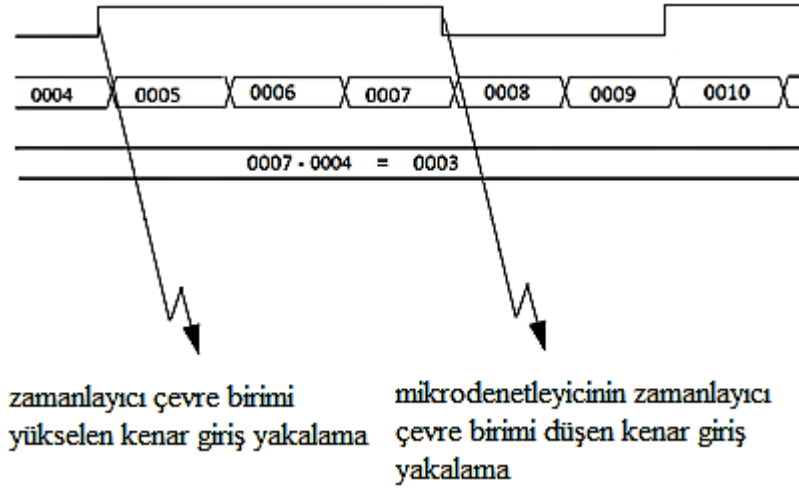
Şekil 4.20: HC-SR04 sensör datası okuma zaman diyagramı [52]

Yankı darbesinin yüksek ve düşük olduğu zamanı yakalamak için ilk önce mikrodenetleyicinin zamanlayıcı çevre birimi yükselen kenar giriş yakalama modunda bir kesme olarak ayarlanmıştır. Yankı pininde, kare dalganın yükselen kenar değerini yakalandığında bu değer T_1 olarak kaydedilir ve mikrodenetleyicinin zamanlayıcı çevre birimi düşen kenar giriş yakalama modunda yine bir kesme olarak ayarlanır. Yankı sinyali sensöre geldiğinde, bu değer T_2 olarak kaydedilir

Dolayısıyla kare dalganın, darbe genişliği $T = T_2 - T_1$ olarak hesaplanmış ve sesin havada yayılma hızı olan (340m/sn) sabitini ile kullanılarak mesafe hesaplanmıştır. Bulunan mesafede, ses dalgasının genişliği sensör ile nesne arasında gidip gelmesi için geçen süredir, bu nedenle sonucun yarısı alınarak nihai mesafe elde edilmelidir.

Basit manipülasyonlardan sonra, dönüşüm ve zamanlayıcı çıkışı T değerini Denklem 4.1'de $T_2 - T_1$ değeri ile ilişkilendirilmiştir. Ve bu, ultrasonik sensör için ürün gömülü yazılım kodunu yazarken kullanacağımız denklemdir.

$$mesafe = (T_2 - T_1) \times 0.034 / 2 \quad (4.1)$$



Şekil 4.21: Yankı pini çıkışında oluşan kare dalga [52]

4.3 AFSUAM Akıllı Taşıma-Transfer Sistemi

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.

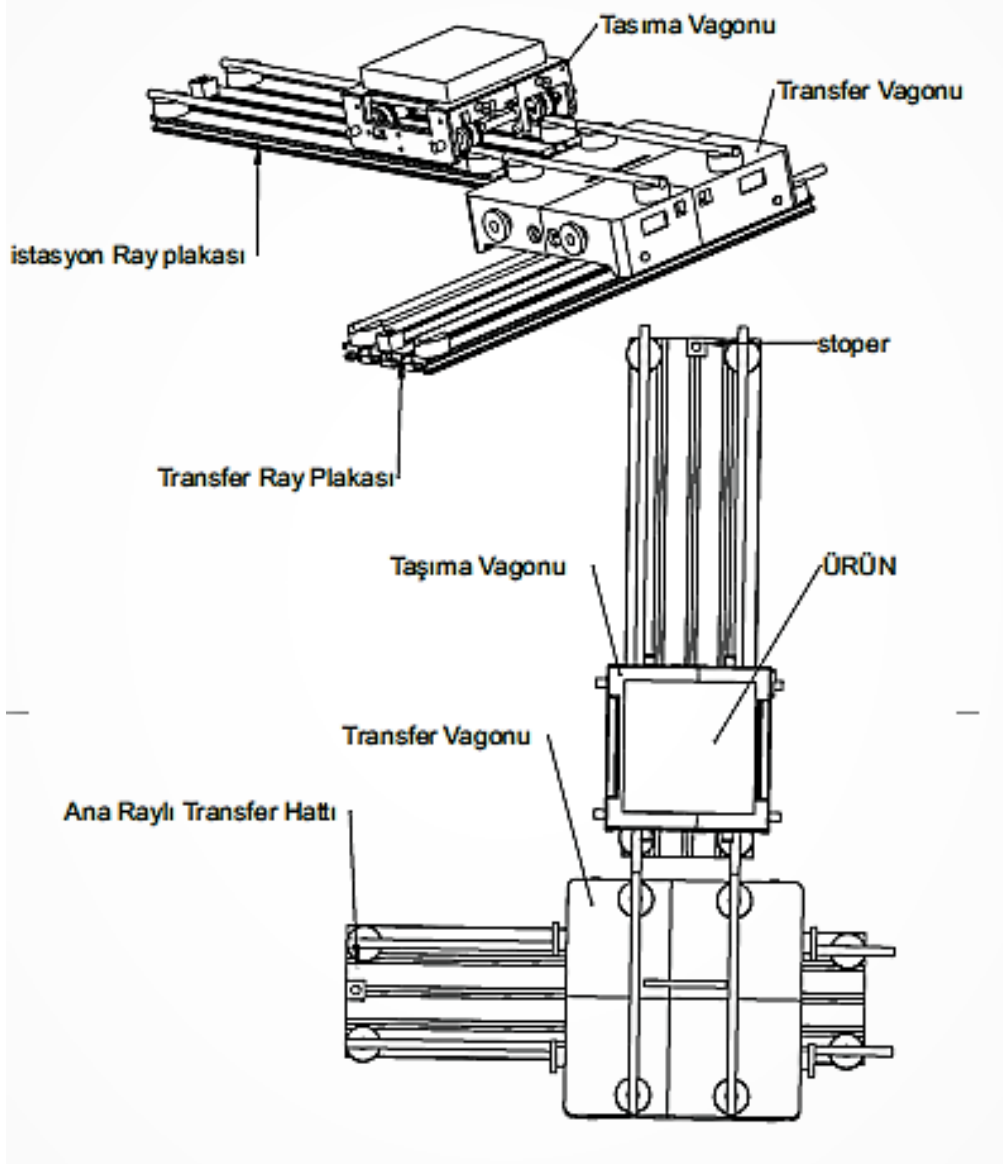
Görev döngüsü, sinyalin yüksek durumda olduğu toplam sürenin yüzdesi olarak bir döngüyü tamamlamak için geçen süreyi tanımlar. Frekans, PWM'nin bir çevrimi ne kadar hızlı tamamladığını ve dolayısıyla yüksek voltaj seviyesi ve düşük voltaj seviyesi arasında ne kadar hızlı geçiş yaptığını tanımlar. Dijital bir sinyali yeterince hızlı bir hızda ve belirli bir görev döngüsünde açık ve kapalı konuma getirerek, çıkışı sabit voltajlı bir analog sinyal gibi görünecektir. Şekil 4.22 (a)'da görülen redüktörlü DC motor, Şekil 4.22'de gösterilen L298N motor sürücü ile kontrol edilmiştir.



Şekil 4.22: Akıllı taşıma vagonu ana bileşenleri (a) Redüktörlü DC motor, (b) L298N voltaj regülatörlü motor sürücü kartı

AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi vagonlarının mekanik kısımları üç boyutlu yazıcı kullanılarak tasarlanmıştır. Transfer ray plakası üzerinde hareket edecek olan akıllı transfer vagonu, istasyon ray plakası kısmında ise akıllı taşıma vagonu olarak

kullanılacaktır. Uç ve arka kısımlarında bulunan raylara bağlanacak aparatlar ile ray üstünde kolay hareket ederek ürünlerin iş istasyonları arasında kolayca transfer edimesine olanak sağlamaktadır.

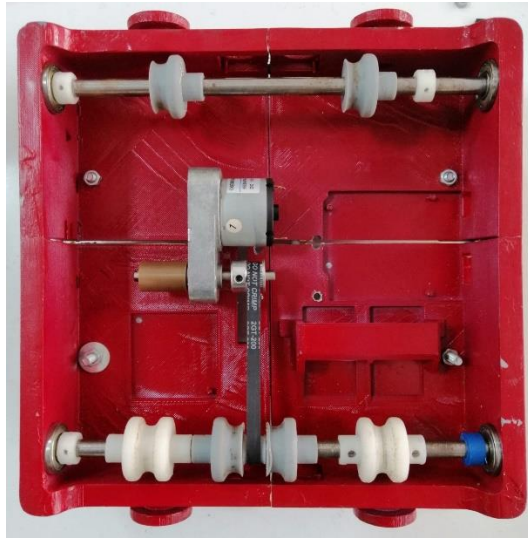


Şekil 4.23: AFSUAM taşıma-transfer sistemi şematığı

Şekil 4.23'de model fabrika için tasarlanmış taşıma-transfer sistemi şematığı gösterilmiştir. Bu sistem sayesinde akıllı fabrika ortamında yapılacak çalışmalar, gerçek senaryolara benzer bir şekilde test edilerek simüle edilmiştir.

Akıllı transfer vagonu mekanik tasarımı Şekil 4.24'de adım adım gösterilmiştir. Şekil 4.24 (a)'da üç boyutlu yazıcıdan alınan boş mekanik tasarım gösterilmiştir. Şekil 4.24 (b)'de redüktörlü DC motor, L298N motor sürücü ve AFSUAM sensor kartı

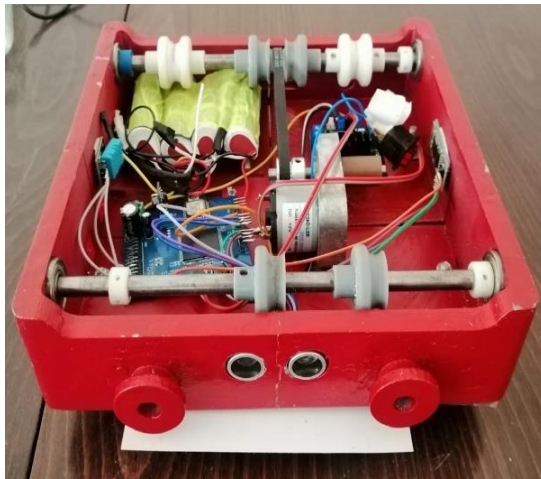
yerleştirilmesi gösterilmiştir. Şekil 4.24 (c)'de akıllı transfer vagonu tamamen kablosuz ve mobil çalışacağı için batarya hücreleri yerleştirilmesi ve sensörleri yerleştirilmesi gösterilmiştir. Son olarak Şekil 4.24 (d)'de akıllı transfer vagonunun, model fabrika AFSUAM taşıma-transfer sistemi üzerindeki kullanıma hazır son hali gösterilmiştir.



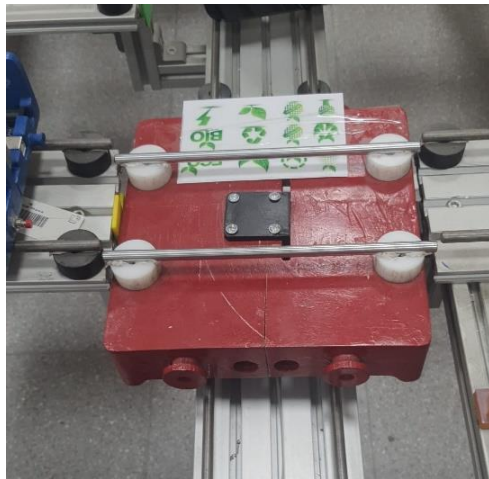
(a)



(b)



(c)



(d)

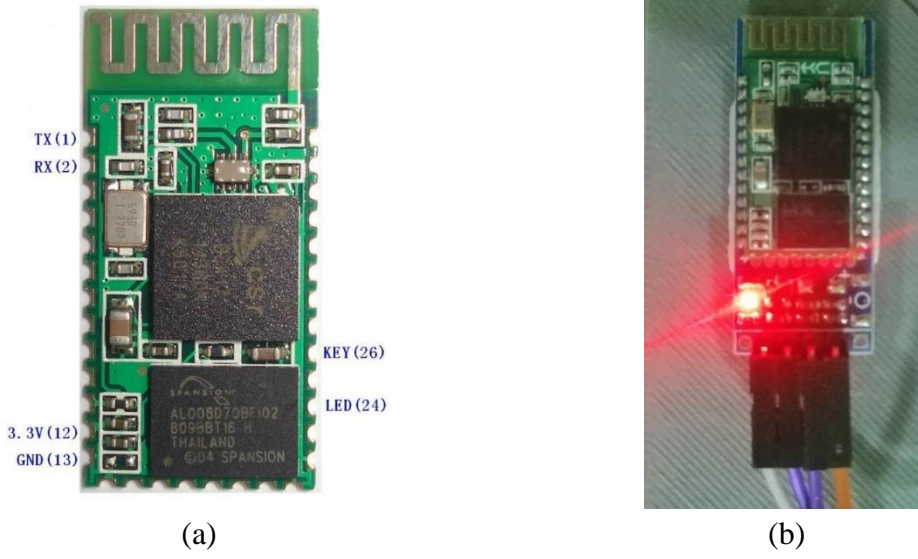
Şekil 4.24: Akıllı transfer vagonu tasarım aşamaları (a) Üç boyurlu tasarım, (b) DC motor, motor sürücü ve AFSUAM sensor kartı yerleşimi, (c) sensörler ve batarya yerleşimi, (d) Akıllı transfer vagonu kullanıma hazır hali

Bölüm 5

Akıllı Fabrika Sistemi Gerçek Zamanlı Modül Entegrasyonu ve Saha Testleri

Bu bölümde AFSUAM sensör kartının model fabrika üzerinde yapılmış saha testleri anlatılmıştır. Tüm sistem testleri android mobil bir uygulama üzerinden gerçekleştirilmiştir. AFSUAM sensör kartı, HC-06 Bluetooth modülü kullanılarak tez kapsamında geliştirilen mobil uygulamanın yüklü olduğu herhangi bir android akıllı telefon ile kullanılabilir.

HC-06 Bluetooth modülü, kablosuz seri iletişim için tasarlanmış bir bağımlı Bluetooth modülüdür. HC-06 Bluetooth modülü, bir ana Bluetooth cihazından seri veri gönderildiğinde seri veri alabileceği anlamına gelen bir bağımlı modüldür (hava yoluyla seri veri gönderebilen cihaz: akıllı telefonlar, PC). Modül kablosuz veriyi aldığı anda, aynen alındığı gibi seri arayüz üzerinden gönderilir. AFSUAM akıllı sensör kartı üzerinde bulunan sensorlerden okunan veriler HC-06 Bluetooth modülü, kullanılarak; tez çalışmaları kapsamında geliştirilen mobil uygulama ile herhangi bir Android telefon kullanılarak görüntülenebilir. HC-06 Bluetooth modülü, ASUAM sensör kartı ile UART çevre birimi üzerinden haberleştirilmiştir. Modül eşleştirilmiş durumda olmadığında, modül üzerindeki LED hızla yanıp sönerken, telefondaki uygulama ile eşleştirildiğinde modül üzerindeki LED sabit kırmızı renkte yanmaktadır. Şekil 5.1’de tasarlanan mobil uygulama arayüzü, HC-06 Bluetooth modülü arasında eşleştirme gerçekleştirildiğinde kullanıcıların görüntüleyici mobil uygulama arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 5.1: HC-06 Bluetooth modülü [53] (a) Modül enerjisiz görünüm, (b) Modül enerjili ve bağlantı kurulmuş görünüm

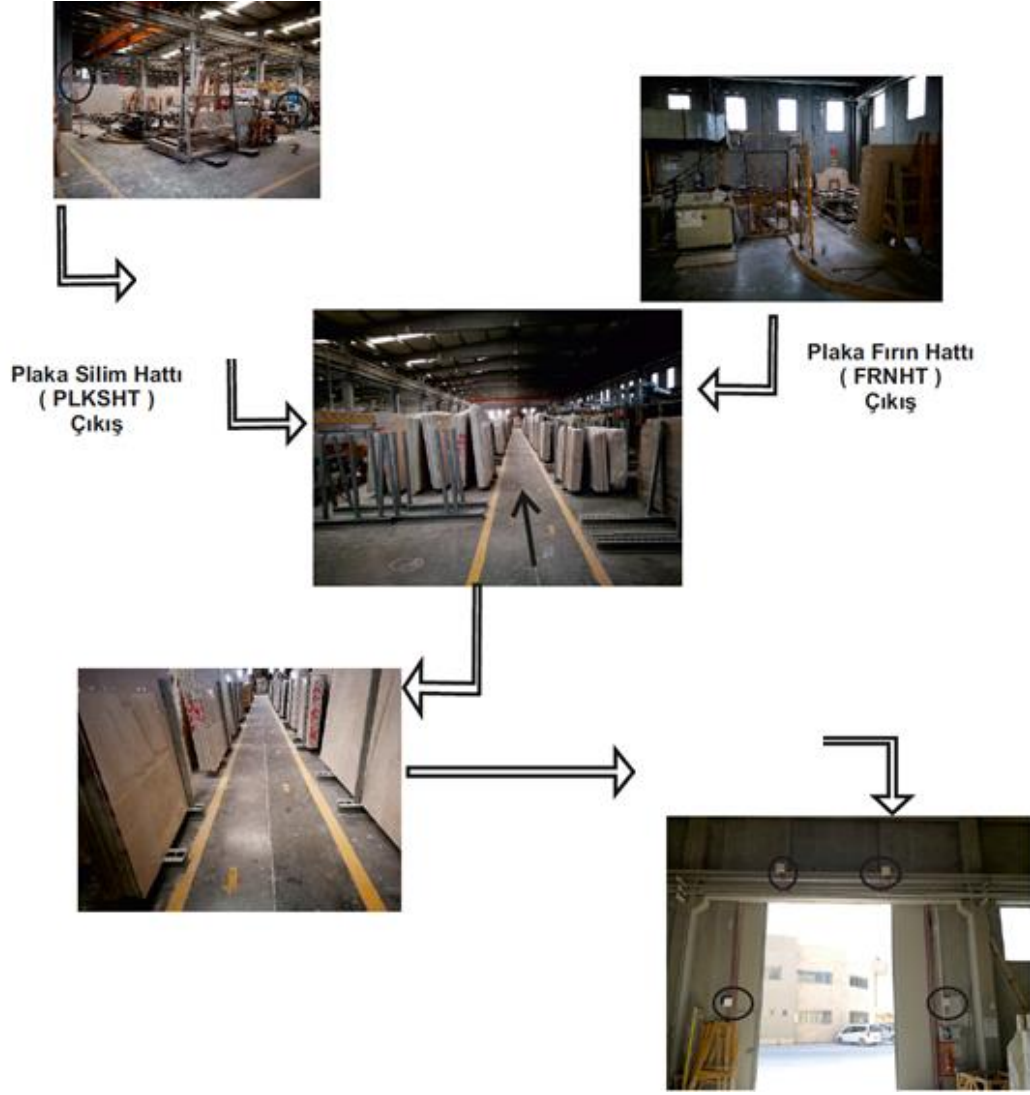
Öte yandan kullanıcıların görüntüleyici mobil uygulama arayüzünden, AFSUAM sensor kartının önemli özelliklerinden akıllı taşıma vagonu kontrolüde sağlanabilmektedir. Şekil 5.2’de görülen ‘ileri’, ‘geri’ ve ‘dur’ butonları ile herhangi bir akıllı android telefon kullanılarak AFSUAM sensor kartı üzerinde bulunan Bluetooth modül ile bağlantı kurulduktan sonra, akıllı taşıma vagonu hareketini sağlayan DC motor kontrolü yapılabilmektedir. Tüm saha testleri bu uygulama kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2: Android mobil uygulama arayüzü

5.1 AFSUAM Akıllı Taşıma-Transfer Sistemi Testleri

Doğal taş sektörü ülkemizin dünya pazarında rekabet gücünü arttıracak ve uluslararası ticaretten daha fazla pay almasını sağlayacak bir endüstri dalıdır. Küresel rekabet ortamında işletme sektör ve ülke düzeyinde sahip olunan avantajlar bir araya getirilerek gelişmelere paralel stratejiler oluşturabilmektedir. Bu durumda üstün bir rekabetçi performans ile sürdürülebilir rekabet gücü elde edilmek ve pek çok konuda sektöre katkı sağlamak ancak dijital dönüşüm entegrasyonlarının sağlanmasıyla mümkün olacaktır.



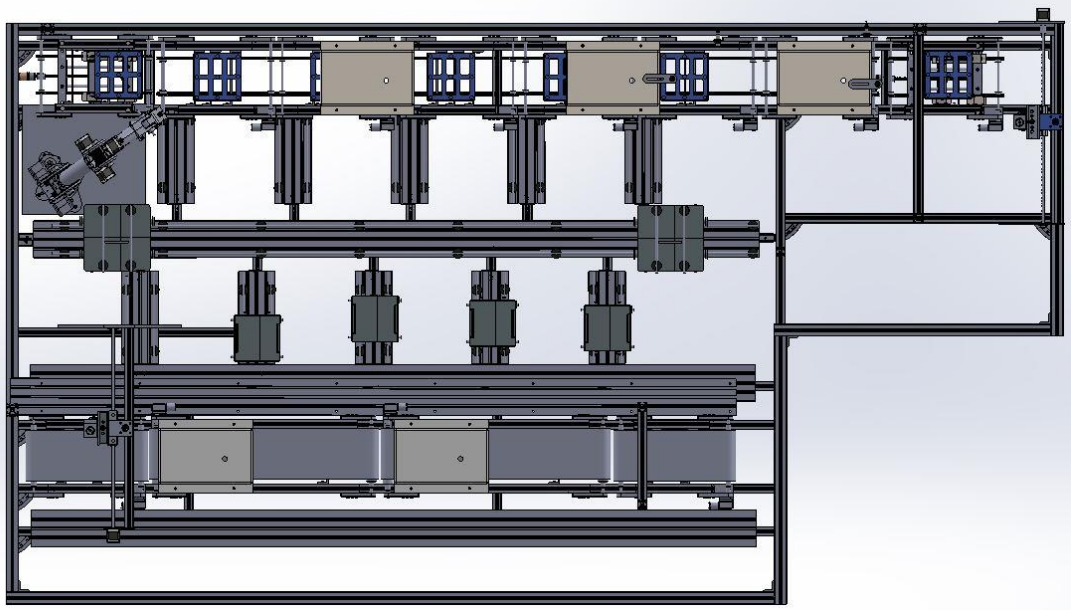
Şekil 5.3 Gerçek bir mermer fabrikası İş istasyonu-4 iş süreci [54]

Bu nedenlerle AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi kullanıma hazır son haline getirildikten sonra model fabrikada bir mermer fabrikasında çalışabilecek tüm senaryolar düşünülerek test edilmiştir. Şekil 5.3'te bir mermer fabrikasında iş istasyonları arasında taşıma, transfer vagonların çalıştığı kısımlar gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Model fabrika raylı akıllı taşıma sistemi

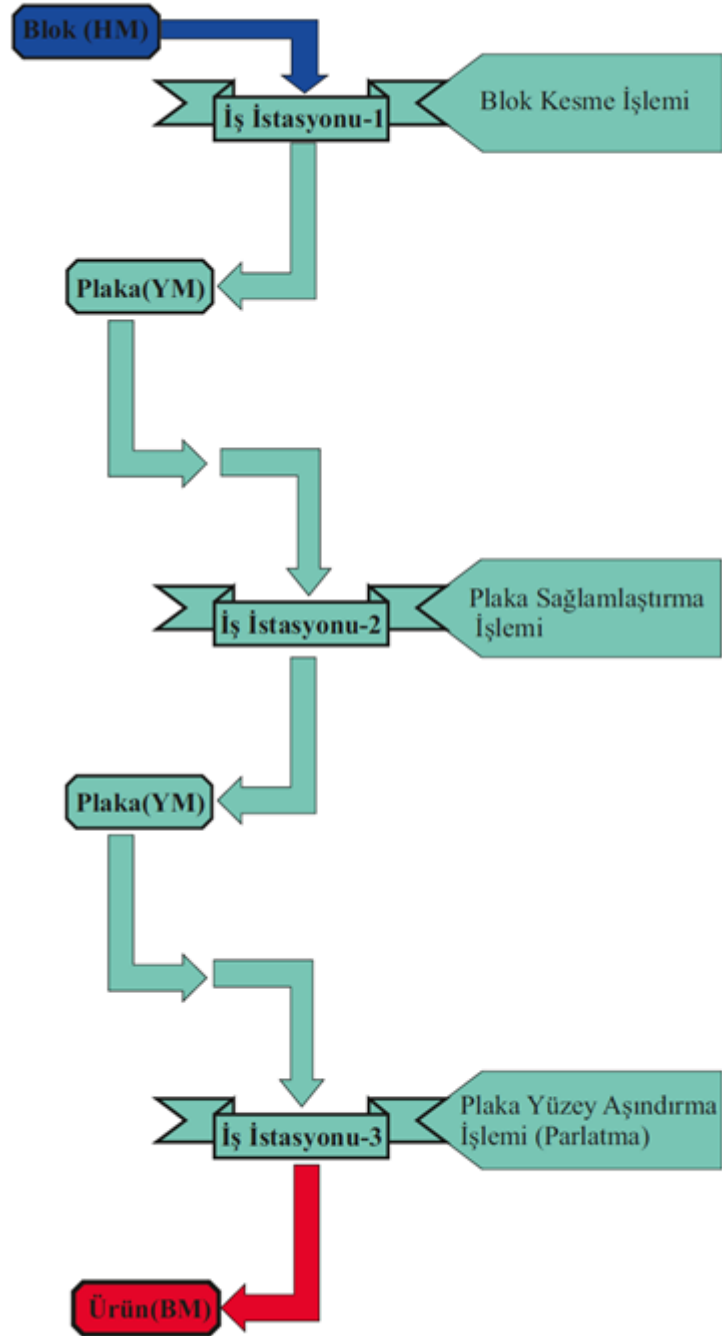
Üretim bölümü temelde 4 iş istasyonu ve alt üniteleri ile kalite kontrol içeren iş akış şeması barındırır. İmalat tekniği içerisinde kimyasal sağlamlaştırma yapmak için Fırın hatları (iş istasyonu-2) kullanılır. Bu hatlardan gerekli uygulamalar ile işleme tabi olan yarı mamul ürünler, hatların çıkışında boşaltma üniteleri vasıtası ile istiflenerek buldukları yerden alınırlar ve yüzey işlemi yapılmak üzere yarı mamul (YM) depo alanında depolanır. 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 buradan da alınarak bitmiş mamul depo alanlarında stoklanır. Tüm bu adımlar Şekil 5.5’de akış diyagramı olarak gösterilmiştir. 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 şematiği Şekil 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Model fabrika raylı akıllı taşıma sistemi şematığı [54]

Model fabrika masası üzerinde iş istasyonu-2 ve iş istasyonu-3 arasında 5 adet A istasyon alanında, 5 adet B istasyonu alanında olmak üzere toplamda 10 istasyon ile bir raylı sistem mekanizmasını, gerçekte var olan plaka hareketi yoğunluğunu düşünerek (AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi) iş istasyonu-4 altında senaryolaştırılmıştır. Masa üzerinde iş istasyonu-2 den çıkan yarı mamül ürünler boşaltma robotu ile taşıma vagonunun üzerine konularak, buradan da A depolama alanındaki 5 adet istasyondan boş olan istasyona, transfer vagonu ile taşıma vagonu üzerindeki ürün birlikte götürülecektir. Bu işlemin, gerçek bir mermer fabrikasına ait görüntüsü Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Yeterli bekleme sağlanmış ve/veya planlama ile talimata uygun ürün tipinin bulunduğu taşıma vagonu üzerindeki ürünler istasyonun karşısına gelen transfer vagonu üzerinde iş istasyonu-3'e gidecektir. Taşıma vagonu üzerindeki ürün besleme robotu ile alınacak ve boş vagon tekrar transfer vagonu ile herhangi bir boş istasyona veya direk üzerine yeni ürün almak için besleme alanlarına gidecektir.



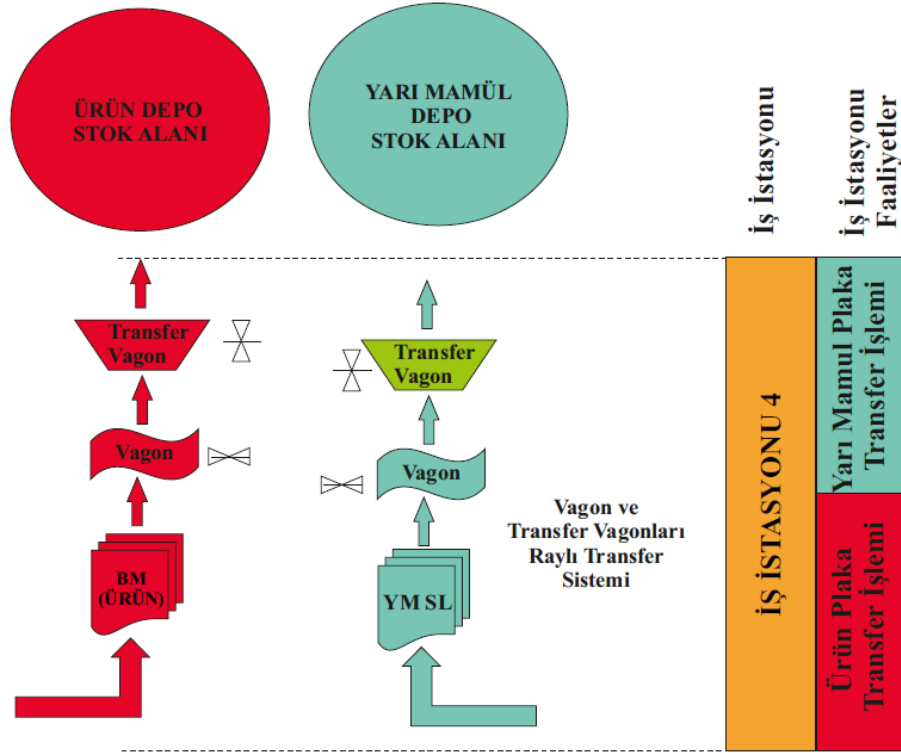
Şekil 5.6: İş merkezi üretim akış diyagramı [54]

AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi olarak, iş istasyonu-4 altında senaryolaştırılan bu yeni otonom entegrasyonla daha kaliteli daha verimli bir üretim yaparken kendini geliştiren bir fabrika iş istasyonu süreci oluşturulmuştur.



Şekil 5.7: Mermer fabrikası iş istasyon süreçleri

İş istasyonu-3' ten çıkan bitmiş mamül (BM) ürünler çıkışta bekleyen boş taşıma vagonu üzerine alınır. B depolama alanındaki 5 adet istasyon alanında boş alan varsa transfer vagonu BM ürünün üzerinde bulunduğu taşıma vagonunu üzerine alarak boş istasyona transfer eder.



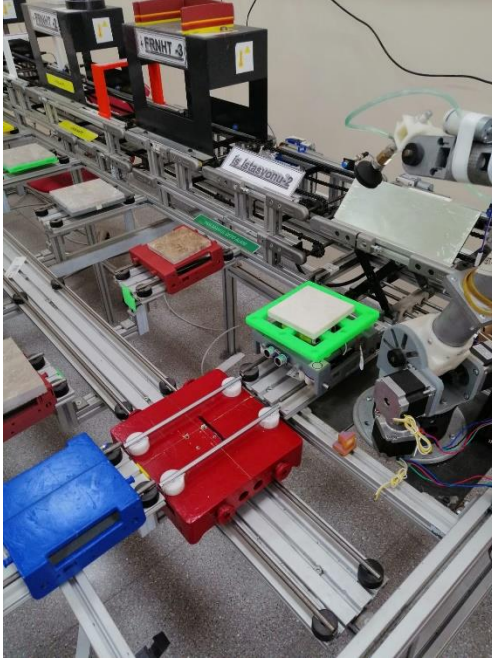
Şekil 5.8: İş istasyonu-4 AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi diyagramı [54]

BM depo alanından bir istasyonun boşalması ise gerçekte yapılan sevkiyat mantığı çevresinde, transfer vagonu ile ürünün çıkışının sağlanacağı transfer alanından taşıyacak vagona robot ile yüklenecektir. Bu hareketler sistem üzerinde 10 adet taşıma vagonu ve 2 adet ana transfer hattında çalışan transfer vagonları ile sağlanacaktır.

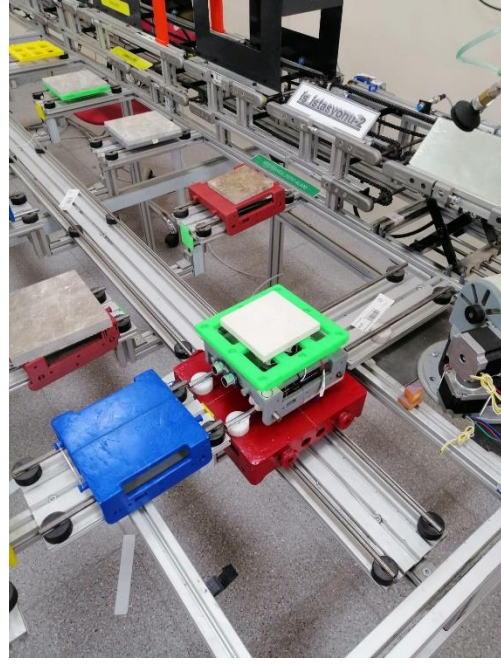


Şekil 5.9: Mermer fabrikasında transfer hattında çalışan taşıma, transfer vagonları

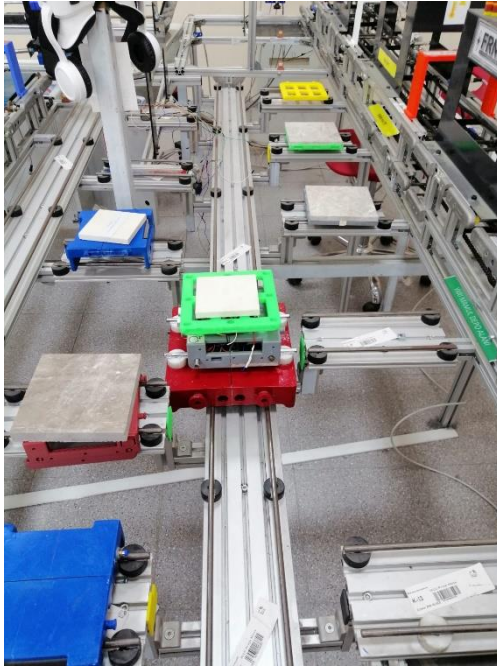
Model fabrikada bulunan robot kol, iş istasyonu-2 den çıkan mermeri taşıma vagonuna koyar.Sistemde 2 adet transfer vagonu vardır. Transfer vagonları üzerlerinde bulunan HC-SR04 mesafe sensörlerinden alınan mesafe bilgilerini kullanarak birbirlerine çarpmadan ve etkilemeden kendilerine atanan görevleri otonom olarak yapmaktadırlar. Bir tanesi sürekli hattı beslerken, bir diğeri ise iş istasyonu-2 den iş istasyonu-3 e taşıma yapar. İş istasyonu-2 den robot kol ile taşıma vagonu üzerine alınır. Taşıma vagonu, içerisine gömülü yazılımda bildirilmiş mesafe kadar hareket ederek taşıma vagonunun üzerine otonom bir şekilde yerleşir. Sistemin bağlı olduğu PC yazılımı Şekil 5.6’da gösterilen 5 adet istasyondan (yarı mamül depo alanı A) boş olanını transfer vagonuna bildirir. Transfer vagonu yine içersinde önceden tanımlı mesafe bilgilerini kullanarak boş istasyonun hizasına gelecek şekilde otonom hareketini gerçekleştirir. İlgili boş istasyona geldikten sonra taşıma vagonu, transfer vagonununundan otonom bir şekilde ayrılarak boş istasyona yerleşir. Taşıma vagonunun istasyona yerleştikten sonra. Boş olan herhangi bir taşıma vagonu robot kol üzerinden mermer alabilmek için transfer vagonu ile mermeri almak için hazırlanır. Tüm istasyonların dolu olduğu senaryoda transfer vagonu, 5 adet dolu istasyondan ilk olarak doldurulan istasyondaki taşıma vagonunu alarak yine otonom bir şekilde iş istasyonu-3 e götürür. İş istasyonu-3 den çıkan ürünler ise robot kol yardımıyla boş taşıma vagonuna alınır. Yüklü taşıma vagonu, transfer vagonu ile Şekil 5.6’da gösterilen 5 adet istasyondan (bitmiş mamül depo alanı B) boş olanına götürülür. Buradaki senaryo iş istasyonu-2 de anlatılan ile çok benzerdir.İş istasyonu-3 den çıkan ürünler ise artık üretimi tamamlanmış hazır ürünlerdir. Daha sonra sevkiyat hattından müşteriye gönderilmek üzere yükleme yapılır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.10 AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi, (a) İş istasyonu-2 den çıkan yarı mamülün taşıma vagonuna alınması, (b) taşıma vagonunun transfer vagonuna yerleşmesi, (c) Taşıma vagonu ile yarı mamül stok alanına giden transfer vagonu, boş taşıma vagonunun iş istasyonu-2 den ürün almak için istasyon 1'e getirilmesi

Taşıma vagonu



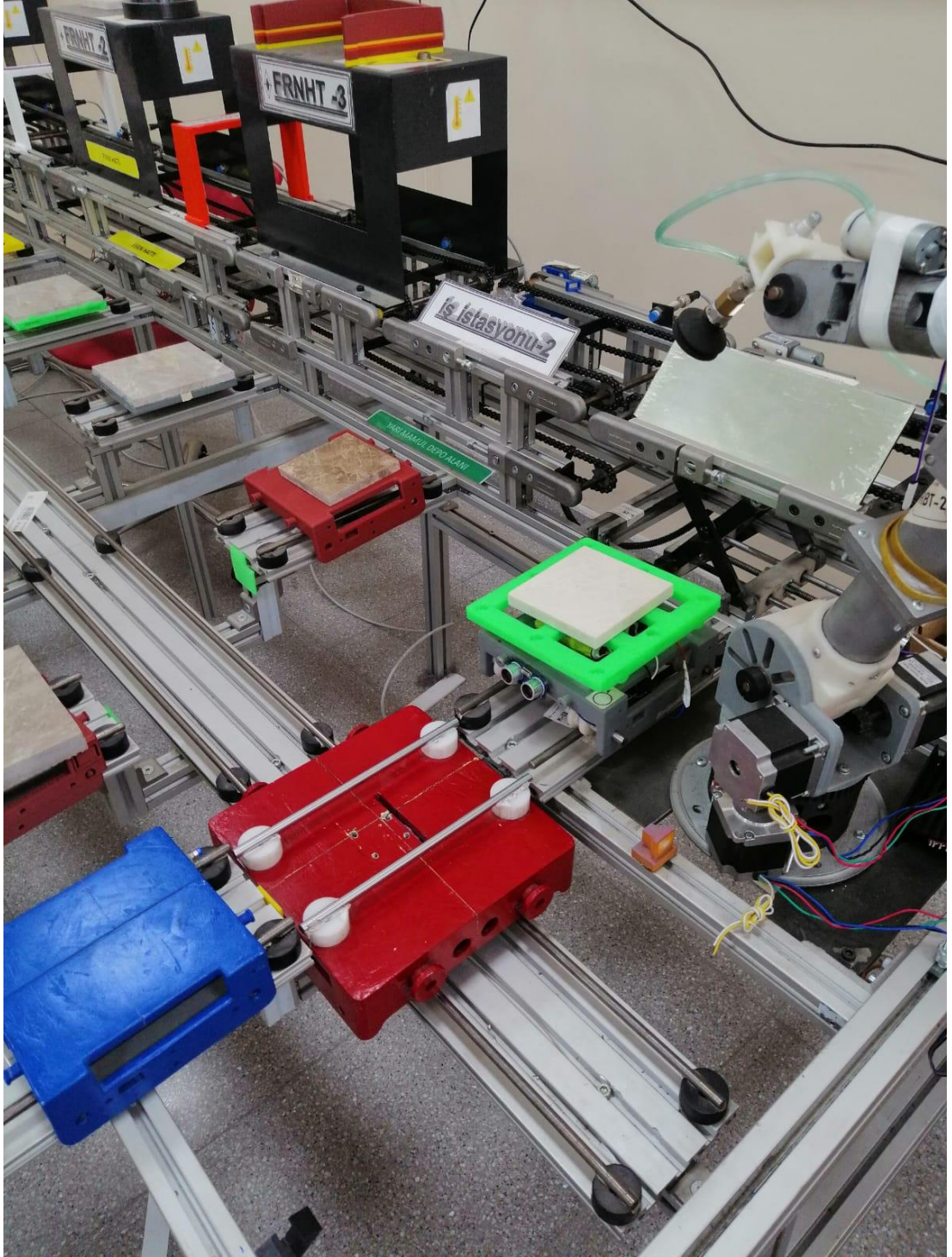
Şekil 5.11: Taşıma vagonu yüklü ve yüksüz görüntüleri

Transfer vagonu



Şekil 5.12: Transfer vagonu görüntüsü

AFSUAM akıllı taşıma-transfer sistemi mekanizması üzerinde bütün vagonların hareketi kablosuz ve uzaktan komutlanabilir olarak tasarlanmıştır. Ayrıca android aklılı telefonlar için geliştirilen mobil uygulama ile de Bluetooth üzerinden kontrol sağlanabilmektedir. Bütün bu kontrol sistemleri ile, tasarlanan sistem istenilen ürünü istenildiği an transfer veya taşıma işlemine alabilmektedir.



Şekil 5.13: Model fabrika raylı taşıma sistemi, taşıma ve transfer vagonları

Gerçek zamanlı konumlama sistemi uygulanarak konumları da bilinecek akıllı taşıma vagonları, program doğrultusunda hareket ettirilebilmektedir. Bu aşamada yapılacak gelecek zaman sistem tasarımları bu doğrultuda değerlendirilecektir. İşletmelerin yönetim süreçlerine ve üretim planlama süreçlerine uygun olacak şekilde model üzerinde geliştirilecek ana program üzerinden hazırlanacak yazılım, sunucudan internet aracılığı atanacak kurallar akıllı taşıma vagonunu daha otonom ve daha akıllı hale getirecektir.

5.2 Kablosuz Haberleşme Testleri

UWB antenlerini test etmek ve kıyaslamak için laboratuvarında farklı senaryolar uygulanmıştır. UWB sistemi, çevresel ve malzeme koşullarından etkilenebilen bir sistemdir. Farklı malzemelerin tanımlanabilmesi için farklı sistemlerin kullanılması gerekir. Metal ortamlar, özelliklerinden dolayı elektromanyetik olarak karmaşık ortamlardır. Elektromanyetik dalgalar metal ortamlardan yansır. Bu yansıma parazitlere neden olur ve tanımlanmak istenen nesne yansıma nedeniyle tanımlanamaz. Bu, UWB sistemlerinde çözülmesi gereken bir sorundur, bu nedenle UWB anteni mermer bloklar için test edilmiştir. Mermer bir dielektrik malzemedir,



(a)

(b)

Şekil 5.14: Anten testlerinde kullanılan mermer çeşitleri, (a) Mermer 1 Emperador, (b) Mermer 2 Mersin Gri

Mermer üzerinde UWB sistem davranışlarını test etmek için mermerin malzeme özelliklerinin bilinmesi gerekir. Dielektrik sabiti, bir elektrik alanının etkisi altında

belirli bir malzeme hacminde depolanan indüklenmiş polarizasyon biçimindeki elektrik potansiyel enerjisi miktarının bir ölçüsüdür. Bu nedenle mermerin dielektrik özellikleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda dielektrik sabitinin mermerin cinsine ve kuru veya yaş özelliğine göre farklı olduğu sonucuna varılmıştır [35]. Ancak farklı mermer türleri için bu değer değişeceğinden, farklı mermerler kullanıldığında ölçüm sonuçları da farklı olacaktır. Alıcı cihazından alınan ölçüm sonuçları .text dosyalarına kaydedilmiş ve daha sonra tablo haline getirilmiştir.

Tablo 5.1: Farklı mesafede aynı güç seviyelerinde ölçüm sonuçları

Mermer Çeşiti	Ortalama RSSI (dBm)	Mesafe (cm)
Emperador	-73.1	1000
Emperador	-72.5	700
Emperador	-71.7	300
Mersin Gri	-72.8	1000
Mersin Gri	-71.9	700
Mersin Gri	-70.10	300

Aynı güç seviyelerinin farklı mesafede, farklı mermerler için ölçüm etkisi üzerine ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Tablo 5.1 iki farklı mermer ile alıcı antenden RSSI değerlerini okuma çalışmaları gösterilmiştir. Elektromanyetik dalgalar bir dielektrik malzeme olan mermerden geçerken zayıflarlar. Ayrıca ölçüm sonuçları incelendiğinde RSSI değerinin mesafeye bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Fiziksel nedenlerden dolayı, UWB sinyalinin alıcı cihaza ulaşmadığı durumlarda, verici cihazda durum tespiti yapıp aynı sinyalin tekrar gönderilmesi işlemi yapılmaktadır.

Tablo 5.2: Aynı mesafede farklı güç seviyelerinde ölçüm sonuçları

Mermer Çeşiti	Ortalama RSSI (dBm)	Çıkış Gücü (dBm)
Emperador	-71.14	33.5
Emperador	-74.53	14
Emperador	-78.38	6
Mersin Gri	-72.82	33.5
Mersin Gri	-76.49	14
Mersin Gri	-80.71	6

Farklı mesafelerin tanımlamaya etkisi gözlemlendikten sonra, aynı mesafede farklı güç seviyelerinin farklı mermerler için ölçüm etkisi üzerine ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Tablo 5.1 dört farklı mermer ile alıcı ve verici anten arasında 150 cm mesafe olacak şekilde ve farklı güç seviyesinde alıcı antenden RSSI değerlerini okuma çalışmaları gösterilmiştir. Güç seviyesi ve mesafe etkisinin yanında mermer çeşitlerinin de RSSI değerini etkilediği görülmüştür. Aynı koşullarda yapılan ölçümlerde RSSI değerleri farklı çıkmıştır Tablo 5.2’de görüldüğü gibi güç seviyesi ile RSSI değeri arasında bir ilişki vardır.

Sonuçlar incelendiğinde antenin akıllı fabrika ortamlarını kullanmak için yeterli performansa sahip olduğu görülmektedir. Ancak özetlenen sonuçlar için, dairesel polarizasyonu ve yeterli uzak alan sonuçları nedeniyle birçok ortam için kullanılabilir.

5.3 Sensör Verileri Okuma Testleri

Sıcaklık-Nem Sensörü: Özellikle endüstriyel fırın uygulamalarının bulunduğu fabrikalarda, bu fırının sıcaklık, nem takibi ürünler için son derece önemlidir. Bahsedilen sıcaklık ve nem sensörleri içerisinde, uygulama bir fabrikaya yapılacaksa seçimin önemi de artmaktadır. Fabrikanın günlük üretim işleyişi için hassas standartlar

gerekmektedir ve seçilecek olan sensörün bu minvalde gerekli standartları karşılayan bir sensör olması gerekmektedir.

Mesafe Sensörü: Hareket içeren tüm süreçlerde en yoğun olarak kullanılan sensör çeşididir. Günlük hayatta, endüstrinin özellikle seri üretim ve otomasyonlu üretim alanlarında vazgeçilmez elemanlardan biridir.

Şekil 5.2'nin sol üst köşesinde bulunan Bluetooth simgesine dokunulduğunda HC-06 Bluetooth modülü ile mobil uygulama arasında eşleşme sağlanacaktır. Sonrasında ise kullanıcı 'data:' belirtilen ifadenin karşısında AFSUAM sensor kartından gelen sıcaklık, nem ve mesafe sensor verilerini gerçek zamanlı olarak görüntüleyebilecektir. Şekil 5.2'de android işletim sistemine sahip akıllı bir telefon ile AFSUAM sensor kartının Bluetooth bağlantısı başarılı bir şekilde sağlanmış ve sensor verilerinin görüntülediği örnek bir resim bulunmaktadır. Ortamın sıcaklık değeri santigrat olarak okunmuş ve gösterilmiştir. Ortamın nem değeri bağıl nem olarak okunmuş ve yüzde olarak gösterilmiştir. Mesafe sensörü AFSUAM sensör kartının konumuna göre ona en yakın nesnenin uzaklığını okumuş ve santimetre cinsinden gösterilmiştir. Yine ileri zaman ihtiyaçlarına göre, gelecek geliştirmeler ile AFSUAM sensör kartına modüler seri iletişim pinleri ile eklenecek olan herhangi bir sensörden alınacak veriler tez kapsamında geliştirilen android mobil uygulama da bir gelişme sisteme entegre edilebilecektir.



Şekil 5.15: Gerçek zamanlı sensör verileri

Bölüm 6

Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, çeşitli sensörlerden veri alan ve bu verileri işledikten sonra, işçiler için çevresel koşulları korumak ve bir akıllı fabrika ortamında mamül, yarı mamül ürünlerini taşıma-transfer işlemini gerçekleştiren AFSUAM akıllı taşıma-transfer sisteminde vagonları kontrol eden bir elektronik kart ve bu kartın gömülü yazılım tasarımı hedefleri gerçekleştirilmiştir.

Bu hedeflere ulaşmak için standart elektronik geliştirme projesi adımları takip edilmiştir. Bu adımlar, gereksinim belirtim, tasarım, kodlama ve testleri içermektedir.

Gereksinim belirtimi aşamasında tüm hedefler tanımlanmıştır. Bu hedefler, hem dijital sıcaklık ölçümleri, nem ölçümü, mesafe ölçümü, UWB kablosuz haberleşme, akıllı taşıma vagonu kontrolünü içerir. Daha sonra tüm sensor ölçümleri ve verileri gerçek zamanlı olarak kontrol edilmelidir. Akıllı taşıma vagonu kullanıcı tarafından kablosuz hareket ettirilebilmeli, kullanıcıdan bağımsız bir mesafe sensöründen olduğu bilgiye göre tehlikeli mesafe olarak algıladığı alanda otonom durabilmelidir. Tüm sonuçlar mobil uygulama arayüzünde görüntülenmelidir ve ledler sensörlerin ve kontrol cihazlarının durumlarını göstermektedir.

İlk olarak tasarım aşamasında, tanımlanan hedeflere ulaşmak için tüm şemalar geliştirilmiştir. Bu aşamada kullanılacak elektronik entegreler, voltaj regülatörleri, direnç ve kapasitör değerleri hesaplanmış ve tanımlanmıştır. Ayrıca elektriksel özelliklere göre sensörler, kontrol cihazları ve mikrodenetleyici seçilmiştir. Şematiklerin tamamlanmasından sonra cihazların tüm ayak izleri manuel olarak veya easyEDA kütüphaneleri kullanılarak geliştirilmiştir. PCB tasarımı tamamlandıktan sonra gerber dosyaları oluşturulmuş ve PCB üreticisine gönderilmiştir. PCB üretici tarafından iade edildikten sonra şematik bileşenlerle birleştirilmiş ve kartın dizgisi

tamamlanmıştır. Elektriksel testleri yapılan AFSUAM akıllı sensor kartı için gömülü yazılım çalışmalarına başlanmıştır.

Kodlama aşamasında tüm cihazlar, cihazların veri sayfaları ve mikrodenetleyici STM32F427ZG kullanılarak konfigüre edilmiştir. Bu konfigürasyonlar, mikrodenetleyicinin kullanılan genel amaçlı giriş çıkış pinleri başlatma, kullanılan zamanlayıcı çevre birimlerinin başlatma fonksiyonları, kullanılan UART çevre birimi başlatma fonksiyonları ve DHT11 sensörünün başlatılması fonksiyonlarını içermektedir. Bu konfigürasyonlardan sonra DHT11 sıcaklık-nem sensörü HC-SR04 mesafe sensörü okuma algoritmaları, DC motor kontrol algoritmaları, ledlerden durum göstergelerini vermek için algoritmalar ve sonuçları, durumları mobil uygulamaya gönderen ve DC motor kontrolünü sağlamak için gerekli komutları alan, işleyen algoritmaları içermektedir.

Test aşamasında, kod elektronik kart üzerinde programlanarak model fabrika üzerinde test edilmiştir. Çeşitli test durumları tanımlanmış ve projenin ilk aşamasında belirtilen istenilen hedeflere göre sonuçlar doğrulanmıştır.

Bu tez çalışmasının, gelecek zaman çalışmalarında üzerinde bulunan UWB modülü ile kablosuz haberleşebileceği bir ağ geçiti ile sunucu ortamından gelen komutlarla kontrol edilmesi, önceden atanmış kurallar ile ortamdan alınan sensor verileri kullanılarak insandan bağımsız aksiyonlar alabilme kabiliyeti kazandırılabilir.

Bir başka gelecek zaman çalışması ise AFSUAM sensör kartı üzerinde ADC birimi ile pil seviyesi ölçülüp, düşük pil seviyesinde akıllı taşıma vagonunu gerçek zamanlı konumlama algoritmaları desteğiyle şarj istasyonuna otonom hareketi sağlanabilecektir.

Son olarak kartın tasarım amacı doğrultusunda modüler olarak gerçekleştirilen genişleyici çevre birimleri sayesinde çeşitli sensörlerin entegrasyonu kolayca sağlanabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Coito T, Firme B, Martins, Vieira S, Figueiredo J, Sousa J. Intelligent Sensors for Real-Time Decision-Making. *Automation* 2021; 2, 62–82. <https://doi.org/10.3390/automation2020004>
- [2] Changhong L, Ray Z. Internet of Things for Manufacturing in the Context of Industry 4.0. *Transdisciplinary Engineering: A Paradigm Shift* C. Chen et al. 2017; <https://doi:10.3233/978-1-61499-779-5-1013>
- [3] Chetna N, Prabhat U, Syed H, Annanya B, Shubham J. IIoT Based Smart Factory 4.0 over the Cloud. *International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy* 2019; 978-1-7281-3778-0/19
- [4] Chin-Chi Cheng and Dasheng Lee, *Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0*. *Sensors* 2014; 14, 11179-11203. [doi:10.3390/s140611179](https://doi.org/10.3390/s140611179)
- [5] Apilioğulları L. Lpwan sensörlerin özellikleri ve iot uygulamalarına etkileri 3D Printing Tech. *Dig. Ind.* 2021; 4(2): 152-160. [doi: 10.46519/ij3dptdi.725120](https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.725120)
- [6] Öcal H, Doğru A, Barışçı N. Akıllı ve geleneksel giyilebilir sağlık cihazlarında nesnelerin interneti. *Politeknik dergisi* 2019; 22(3): 695-714.
- [7] Batın D. Endüstriyel Tabanlı Sistem için Bulut Bilişim Tabanlı Nesnelerin İnterneti Uygulaması (yüksek lisans tezi), Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi; 2019. <https://tez.yok.gov.tr>
- [8] Tomonori N, Sung-Han S, Yasunori M, Billie F. Issues in structural health monitoring employing smart sensors. *Smart structures and systems* 2007; [doi: 10.12989/sss.2007.3.3.299](https://doi.org/10.12989/sss.2007.3.3.299)
- [9] Andreas S, Nikolai H, Tizian S. *Sensors 4.0 – smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0*. *J. Sens. Sens. Syst.* 2018; 7, 359–371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>

- [10] Deepti S, Nasib G. Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. Proceedings of the Third International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI 2019); 2019 IEEE Xplore Part Number: CFP19J32-ART
- [11] Ziouche K, Lejeune P, Bougrioua Z., D. Leclercq. Dispersion of Heat Flux Sensors Manufactured in Silicon Technology. Sensors; 2016, pp. 853.
- [12] William P, The 4th Industrial Revolution – A Smart Factory Implementation Guide. International Journal of Advanced Robotics and Automation (IJARA) June; 2017.
- [13] Wollschlaeger M, Sauter T, Jasperneite J. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0., IEEE industrial electronics magazine. 2017 Mar 21; 11(1):17-27.
- [14] Nayyar N. and Puri V. Smart farming: IoT based smart sensors agriculture stick for live temperature and moisture monitoring using Arduino, cloud computing & solar technology. In: Proc. of The International Conference on Communication and Computing Systems (ICCCS-2016), 2016; doi:10.1201/9781315364094-121
- [15] Zhao K, Liu X, Zhang T, Jiang Y, Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building. Energy Build 2011, 43, 1895–1903.
- [16] Kwaaitaal T. The fundamentals of sensors. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 39, No. 2, 1993, pp. 103-110.
- [17] Lu Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration. Elsevier B.V. 2017; 1–10.
- [18] Gürkan Ç. Endüstri 4.0 ve Dijital Dönüşüm Teknolojileri ile Desteklenen Akıllı Fabrika Yönetim ve Bilişim Sisteminin Geliştirilmesi (yüksek lisans tezi). İzmir: İzmir Katip Çelebi Üniversitesi; 2021. <https://tez.yok.gov.tr>
- [19] Stock T, Seliger G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. In: Procedia CIRP. 2016; 536–41. 126

- [20] Jameel F, Javaid U, Khan WU, Aman MN, Pervaiz H, Jäntti R. Reinforcement learning in blockchain-enabled IIoT networks: A survey of recent advances and open challenges. *Sustainability (Switzerland)*. 2020.
- [21] Wollschlaeger M, Sauter T, Jasperneite J. “The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0.”, *IEEE industrial electronics magazine*. 2017; 11(1):17-27.
- [22] Chen, C.-S.; Lee, D.-S. Energy saving effects of wireless sensor networks: A case study of convenience stores in Taiwan. *Sensors* 2011; 11, 2013–2034.
- [23] Tahera K, Naeem R, Shehzad A. ve Masood U. Advances in Sensor Technologies in the Era of SmartFactory and Industry 4.0, *Sensors* 2020; 20, 6783; doi:10.3390/s20236783
- [24] Tanyingyong V, Olsson R, Cho H, Sjodin P. IoT-Grid: IoT Communication for SmartDCGrids. In *Proceedings of the 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Washington, DC, USA, 4–8 December 2016; pp. 1–7.
- [25] A. N. Ansari, M. Sedky, N. Sharma, and A. Tyagi. An Internet of things approach for motion detection using Raspberry Pi, In: *Proc. Of International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things*, IEEE, pp. 131-134, 2015. doi:10.1109/ICALT.2015.7111554
- [26] Hogenbirk E, Verhoeven H, ve Huijsing J. “An integrated smart sensor for flow and temperature with I2C bus interface: FTS2,” in *Proc. Int. Sym. Circuits Systems*, 1995, pp. 2225–2228.
- [27] Lightfoot, H, Baines T Smart P. The servitization of manufacturing: A systematic literature review of interdependent trends. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 2013; 33, 1408–1434.
- [28] Patil P. Smart IoT Based System For Vehicle Noise And Pollution Monitoring Piyush, In: *Proc. of International Conference on Trends in Electronics and Informatics* 2017; pp. 322–326. 1109/ICOEI.2017.8300941

- [29] Lorenzo B, Industry 4.0: hope, hype or revolution. Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), IEEE 2017.
- [30] Casciati, F, Faraveli L, Borghetti F. Wireless Links between Sensor-Device Control Stations in Long Span Bridges, Smart Structures and Materials 2003. Smart Systems and Nondestructive Evaluation for Civil Infrastructures, Proceedings of the SPIE, Vol. 5057, San Diego, CA, pp. 1-7
- [31] Wang J, Li D, Zhang C. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks 2016; doi 10.1155/2016/3159805.
- [32] Castelo B, Cruz J, Oliveira T. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing. Evidence for the European Union. Comput. Ind. 2019; 107, 22–32.
- [33] Cimini C, Pirola F, Pinto R, Cavalieri S. A human-in-the-loop manufacturing control architecture for the next generation of production systems. J. Manuf. Syst. 2020, 54, 258–271.
- [34] Mehami J, Nawi M, Zhong Y. Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. Procedia Manuf. 2018; 26, 1077–1086
- [35] Akdağ İ. Integration and Testing of the RFID-Enabled Smart Factory (yüksek lisans tezi). İzmir: İzmir Katip Çelebi Üniversitesi; 2021. <https://tez.yok.gov.tr>
- [36] Ukkonen L, Sydänheimo L, Kivikoski M. Read range performance comparison of compact reader antennas for a handheld UHF RFID reader 2007; IEEE Int Conf RFID, IEEE RFID 2007. 2007;63–70.
- [37] Blanchi C, Sivaprasad K. A channel model for multipath interference on terrestrial line-of-sight digital radio. IEEE Trans Antennas Propag. 1998;46(6):891–901.
- [38] Liu H, Zeng Y, Li R, Huang H, A high-accuracy indoor positioning system based on uwb. In Materials Science, Engineering and Chemistry Web of Conferences. 2018, p. 01021.

- [39] Gianni G, Alessandro C, Member, Sandeep S. Gupta, Gianfranco M, Single-Anchor Indoor Localization Using a Switched-Beam Antenna. IEEE Communication letters, 2009
- [40] DW1000 User Manual V2.12 Decawave. [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <http://decawave.com/>
- [41] Igor D, Andrew C, Hang M, Jeff C, Michael M. Angle of Arrival Estimation Using Decawave DW1000 Integrated Circuits. Decawave Ltd., Adelaide Chambers, Peter Street, Dublin 8, Ireland. [Çevrimiçi] Erişim Adresi: https://www.decawave.com/sites/default/files/angle_of_arrival_estimation_using_dw1000_online.pdf
- [42] V. Djaja-Josko and J. Kolakowski. A new method for wireless synchronization and tdoa error reduction in uwb positioning system. In 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications, 2016, pp. 1–4.
- [43] Chantaweesomboon W, Suwatthikul C, Manatrinon S, Athikulwongse K, Kaemarungsi K, Ranron R, Suksompong P. On performance study of uwb real time locating system. In 7th International Conference of Information and Communication Technology for Embedded Systems, 2016, pp. 19–24.
- [44] Thomas R. Chair for Data Processing IR-UWB-based localization for indoor applications: Principles and challenges. TUM Department of Electrical and Computer Engineering, Technical University of Munich
- [45] Bernhard G, Michael R, Josef K, Mustafa S, Carlo B, Klaus W, Kay R. Single-Anchor Indoor Localization with Decawave DW1000 and Directional Antennas. Faculty of Electrical and Information Engineering, Graz University of Technology, Austria
- [46] Kolakowski M, Djaja V. Tdoa-twr based positioning algorithm for uwb localization system. In 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications, 2016, pp. 1–4.

- [47] Joshua A, Lee P. Sensor Network Localization via Received Signal Strength Measurements with Directional Antennas. Dept. of Electrical and Computer Engineering, The Ohio State University 2015 Neil Avenue, Columbus, OH 43210
- [48] DW1000 Teknik Veri Sayfası V2.12 Decawave. [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <http://decawave.com/>
- [49] DW1000 Uygulama Notu 006 [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <http://decawave.com/>
- [50] DW1000 Uygulama Notu 011 [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <http://decawave.com/>
- [51] DHT11 Teknik Veri Sayfası [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
- [52] HCSR04 Teknik Veri Sayfası [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [53] HC-06 Teknik Veri Sayfası [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>
- [54] [Çevrimiçi] Erişim Adresi: <https://akillifabrikasistemleri.ikcu.edu.tr/>

Ekler

Ek A

Kaynak Kodları

```
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

void GPIO_Cıkıs_Ayarlama (GPIO_TypeDef *GPIOx, uint16_t GPIO_Pin);
void GPIO_Giris_Ayarlama(GPIO_TypeDef *GPIOx, uint16_t GPIO_Pin);
void DHT11_Baslatma(void);
uint8_t DHT11_Cevap_Kontrol(void);
uint8_t DHT11_Okuma(void);

void GPIO_Cıkıs_Ayarlama (GPIO_TypeDef *GPIOx, uint16_t GPIO_Pin)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure = {0};
    GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_Pin;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStructure.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    HAL_GPIO_Init(GPIOx, &GPIO_InitStructure);
}

void GPIO_Giris_Ayarlama(GPIO_TypeDef *GPIOx, uint16_t GPIO_Pin)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure = {0};
    GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_Pin;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
    GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_PULLUP;
    HAL_GPIO_Init(GPIOx, &GPIO_InitStructure);
}

void DHT11_Baslatma(void)
{
```

```

Set_Pin_Output (DHT11_GPIO_Port, DHT11_Pin);
HAL_GPIO_WritePin(DHT11_GPIO_Port,DHT11_Pin,GPIO_PIN_RESET);
Timer_Delay_us (18000); // wait for 18ms
HAL_GPIO_WritePin (DHT11_GPIO_Port, DHT11_Pin, GPIO_PIN_SET);
Timer_Delay_us (20); // wait for 20us
Set_Pin_Input(DHT11_GPIO_Port, DHT11_Pin); // set as input
}

uint8_t DHT11_Cevap_Kontrol(void)
{
    uint8_t Cevap = 0;
    Timer_Delay_us (40);
    if (!(HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_GPIO_Port, DHT11_Pin)))
    {
        Timer_Delay_us (80);
        if ((HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_GPIO_Port, DHT11_Pin)))
        {
            Cevap = 1;
        }
        else
        {
            Cevap = -1; // 255
        }
    }
    while ((HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_PORT, DHT11_PIN)));
    return Cevap;
}

uint8_t DHT11_Okuma(void)
{
    uint8_t i,j;
    for (j=0;j<8;j++)
    {
        while (!(HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_PORT, DHT11_PIN)));
        Timer_Delay_us (40); // wait for 40 us
        if (!(HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_PORT, DHT11_PIN)))
        {
            i&= ~(1<<(7-j)); // write 0
        }
        else
        {
            i|= (1<<(7-j)); // if the pin is high, write 1
        }
        while ((HAL_GPIO_ReadPin (DHT11_PORT, DHT11_PIN)));
    }
    return i;
}

```



```

void DC_Motor_Ileri(void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET); // IN1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_RESET); // IN2
}

void DC_Motor_Geri(void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_RESET); // IN1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_SET); // IN2
}

void DC_Motor_Durus(void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_RESET); // IN1
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_RESET); // IN2
}

#define TRUE 1
#define FALSE 0

uint8_t yukselen_Kenar = FALSE;
uint32_t sinyal_Uzunluk = 0;

void HCSR04_Okuma (void);

void HCSR04_Okuma (void)
{
    HAL_GPIO_WritePin(HCSR_TRIG_GPIO_Port, HCSR_TRIG_Pin,
        GPIO_PIN_SET);
    Timer_Delay_us(10);
    HAL_GPIO_WritePin(HCSR_TRIG_GPIO_Port, HCSR_TRIG_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    __HAL_TIM_ENABLE_IT(&htim1, TIM_IT_CC1);
}

void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    if (htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1)
    {
        if (yukselen_Kenar == FALSE)
        {
            IC_Val1=HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_1);
            yukselen_Kenar = TRUE;
            __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_1, TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_FALLING);
        }
    }
}

```

```

else if (yukselen_Kenar == TRUE) // if the first is already captured
{
    IC_Val2=HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim,TIM_CHANNEL_1);
    __HAL_TIM_SET_COUNTER(htim, 0); // reset the counter
    if (IC_Val2 > IC_Val1)
    {
        sinyal_Uzunluk = IC_Val2-IC_Val1;
    }
    else if (IC_Val1 > IC_Val2)
    {
        sinyal_Uzunluk = (0xffff - IC_Val1) + IC_Val2;
    }

    Distance = (U8)(sinyal_Uzunluk * .034/2);
    yukselen_Kenar = FALSE;
    __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim,
    CHANNEL_1,TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING;
    __HAL_TIM_DISABLE_IT(&htim1, TIM_IT_CC1);
}
}
}
}

```

```

float sıcaklik = 0;
float nem = 0;
uint8_t nem_byte1 = 0;
uint8_t nem_byte2 = 0;
uint8_t geciciTut_byte1 = 0;
uint8_t geciciTut_byte2 = 0;

```

```

void DC_Motor_Kontrol(void)
{
    if(DCMotorYon == 0)
    {
        DC_Motor_Durus();
    }
    else if(DCMotorYon == 1)
    {
        DC_Motor_Ileri();
    }
    else if(DCMotorYon == 2)
    {
        DC_Motor_Geri();
    }
}

```

```

void DHT11_Kontrol(void)
{
    DHT11_Start();
    DHT11_Cevap_Kontrol();
    nem_byte1 = DHT11_Read ();
    nem_byte1 = DHT11_Read ();
    geciciTut_byte1 = DHT11_Read ();
    geciciTut_byte1 = DHT11_Read ();
    sıcaklık = (float) Temp_byte1;
    nem = (float) nem_byte1;
}

void Main_Handler(void)
{
    if(Timer_Enabled(&DHT11Timer))
    {
        if(Timer_Expired(&DHT11Timer))
        {
            Timer_Kill(&DHT11Timer);
            DHT11_Kontrol();
            HCSR04_Okuma();
        }
    }
    else
    {
        Timer_Set(&DHT11Timer, DHT11time);
    }

    if(Timer_Enabled(&LedTimer))
    {
        if(Timer_Expired(&LedTimer))
        {
            Timer_Kill(&LedTimer);
            HAL_GPIO_TogglePin(LED_1_GPIO_Port, LED_1_Pin);

            msgLen = sprintf((char*)&uartSend[0], "sic=%02d*C\r -
            nem=%%%02d\r - mes=%03dcm
            \n",(U8)Temperature,(U8)Humidity, Distance);

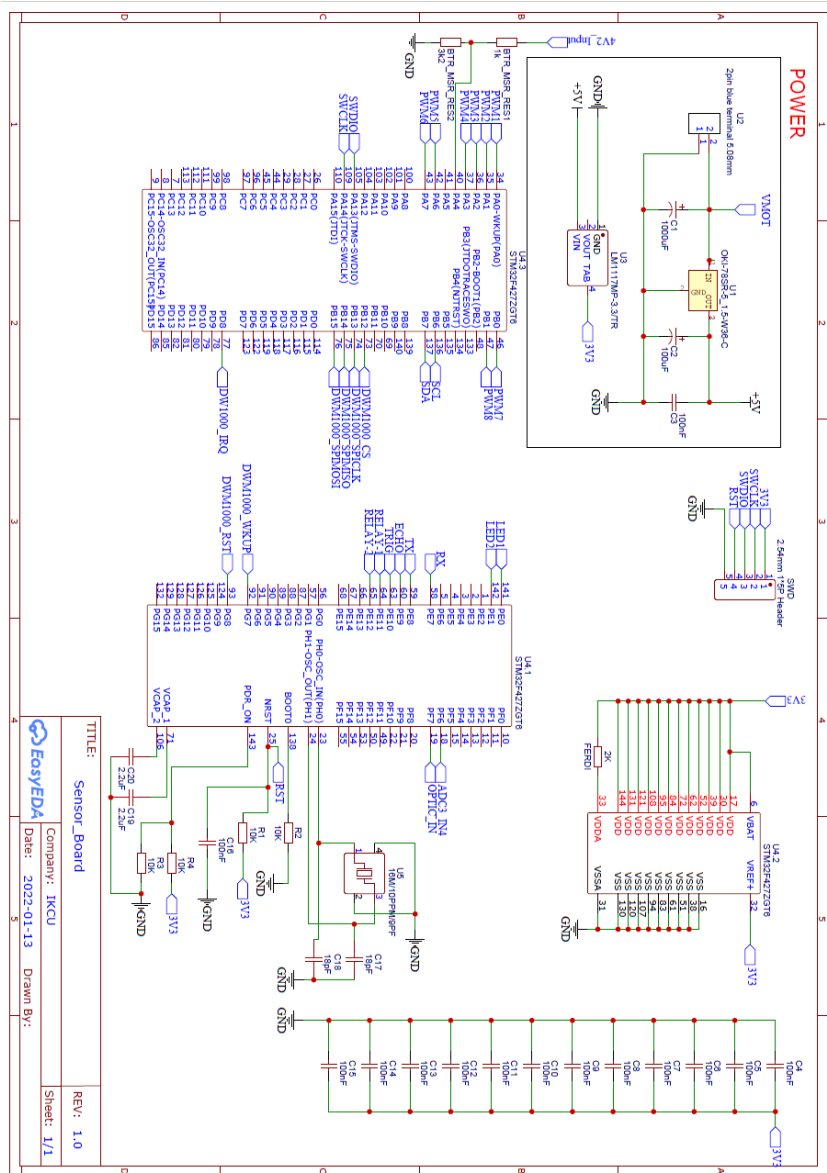
            if(Uart_Is_Free(UART_UART7))
            {
                Uart_Write(UART_UART7, &uartSend[0], msgLen);
            }
        }
    }
    else
    {

```

```
    Timer_Set(&LedTimer, 1000);  
}  
  
if(Uart_Read(e_BSP_UART_UART7, &tempdata, 1))  
{  
    if(tempdata != 0x0A)  
        DCMotorYon = tempdata - 0x30;  
}  
  
    DC_Motor_Kontrol();  
}
```

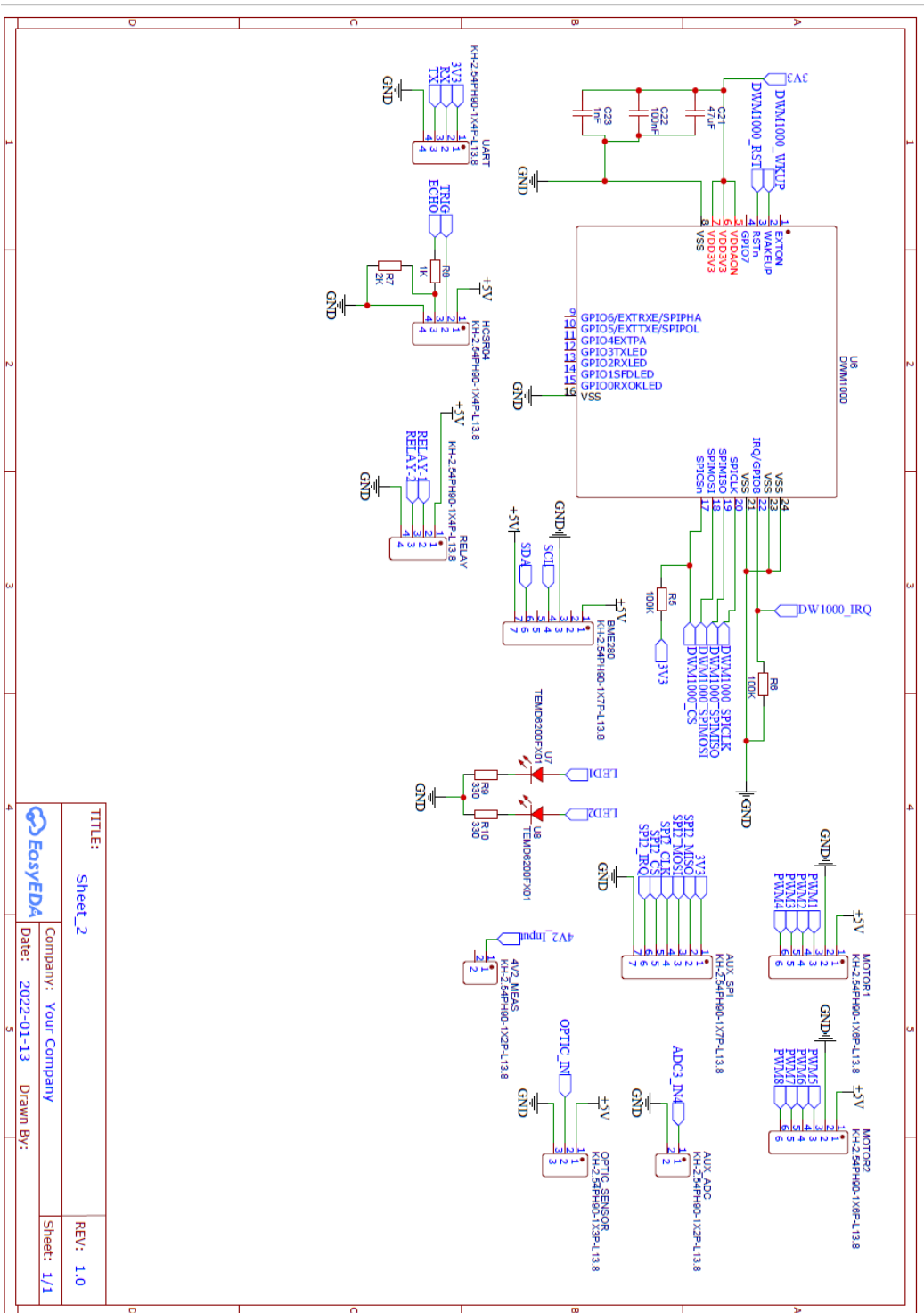
Ek B

Şematik Sistem Tasarımı



TITLE: Sensor_Board
Company: IKCU
Date: 2022-01-13
Drawn By: EasyEDA

REV: 1.0
Sheet: 1/1



TITLE:	Sheet_2	REV:	1.0
Company:	Your Company	Sheet:	1/1
Date:	2022-01-13	Drawn By:	

Ek C

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. Burak Yaşar ÇOLDAŞ and Adnan KAYA PDOA/TWR Based Real-Time Localization System for Smart Factories, 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, March 10-13, 2022, Konya, Turkey <https://drive.google.com/file/d/1GjCgYCvjlRdXBCmSZb8WE52ZMnZyIkcR/view> (pages 430-435)

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Burak Yaşar Çoldaş

Eğitim:

2014–2019 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh.
Bölümü, Lisans

İş Deneyimi:

2019 – Halen Litum Teknoloji, Elektronik Ar-Ge Gömülü Yazılım
Mühendisi

Yayımlar:

1. B.Y. ÇOLDAŞ¹ and M. PALANDÖKEN¹ Raspberry Pi Based Personalized Encoding ID System Inspired by the Quick Response Code Software and Hardware Design, International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science, 26-28 Apr 2019 /Alanya, Turkey http://muh.karabuk.edu.tr/bilgisayar/icatces/proceeding_book_2019.pdf (pages 168-172)
2. Burak Yaşar ÇOLDAŞ and Adnan KAYA PDOA/TWR Based Real-Time Localization System for Smart Factories, 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, March 10-13, 2022, Konya, Turkey <https://drive.google.com/file/d/1GjCgYcVjIRdXBCmSZb8WE52ZMnZyIkcR/view> (pages 430-435)