MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI KARGO TAKİP VE GÜVENLİK SİSTEMİ

İLYAS BAŞARAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

İSTANBUL, 2024

AKILLI KARGO TAKİP VE GÜVENLİK SİSTEMİ

İLYAS BAŞARAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

İSTANBUL, 2024

MARMARA
ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi İlyas BAŞARAN'ın "Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi" başlıklı tez çalışması, 25.06.2024 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından …… bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ (Danışman)
Marmara Üniversitesi .....(İMZA)

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI (Üye)
İstanbul Ticaret Üniversitesi .....(İMZA)

Dr. Öğr. Üyesi V. Gökhan BÖCEKÇİ (Üye)
Marmara Üniversitesi .....(İMZA)

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …….. tarih ve …… sayılı kararı ile İlyas BAŞARAN'ın Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent Ekici

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen, beni sürekli yönlendiren ve teşvik eden, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Laboratuvar olanakları ve donanım geliştirilmesi konularında yardımlarını esirgemeyen Muhammed Fatih ÜNAL'a ve Zebra Elektronik A.Ş'ye teşekkür ederim.

Her zaman yanımda duran ve bana destek olan eşim Sena Nur BAŞARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... İ

İÇİNDEKİLER ..... İİ

ÖZET ..... İV

ABSTRACT ..... Vİ

SEMBOLLER ..... Vİİİ

KISALTMALAR ..... İX

ŞEKİL LİSTESİ ..... Xİİ

TABLO LİSTESİ ..... XİV

1 GİRİŞ VE AMAÇ 1

1.1 Giriş 1

1.2 Amaç ve Önem 3

2 GENEL BİLGİLER VE BENZER ÇALIŞMALAR 4

2.1 Lojistik 4

2.2 Kargo 5

2.3 Akıllı Lojistik 6

2.3.1 Lojistikte IoT 7

2.3.2 Lojistikte RFID 8

2.4 Lojistik Güvenliği 9

2.5 Benzer Çalışmalar 10

3 CARGOSENTRY MODÜLÜ TASARIMI 17

3.1 Sistem Mimarisi 17

3.2 Sistem Akış Şeması 19

3.3 Donanım Bileşenleri 23

3.3.1 Mikro Denetleyici 23
3.3.2 NFC RFID Etiketi ve Veri Yazma-Okumanın Gerçekleştirilmesi 24
3.3.3 İvme Ölçer ve Darbe Tespiti 27
3.3.4 Mikrofon ve Ses Şiddeti Ölçümü 30
3.3.5 Optik Ortam Algılayıcısı ve Işık Şiddeti Ölçümü 33
3.3.6 Hava Kalite Algılayıcısı ve Ölçümü 36
3.3.7 Sesli İkaz Modülü ve Kullanımı 38
3.3.8 Sıcaklık, Nem ve Basınç Algılayıcısı ve Ölçümü 40
3.3.9 Manyetik Alan Algılayıcısı ve Ölçümü 43
3.3.10 Şarj Devresi ve Batarya Ölçümü 45
3.4 Yazılım Geliştirilme ve Kullanılan Programlar 47
3.4.1 Cihaz Yazılımının Tasarımı ve Geliştirilmesi 47
3.4.2 Mobil Uygulama Tasarımı ve Geliştirilmesi 48
3.5 Modül Tasarımı ve Montajı 58
3.5.1 PCB Tasarımı ve Dizgisinin Yapılması 59
3.5.2 Kutu Tasarımı ve Baskısı 64
3.6 Güç Tüketimi Hesabı 66
4 TEST AŞAMALARI 68
5 SONUÇLAR 71
KAYNAKLAR 73
ÖZGEÇMİŞ 82

ÖZET

AKILLI KARGO TAKİP VE GÜVENLİK SİSTEMİ

Bu tezin amacı, göndericinin bir paketi kargo firmasına teslimatından itibaren alıcının eline ulaşana kadar geçen sürede, paketin niteliklerine bağlı olarak taşıyıcı firma tarafından kaynaklanan sorunları ortadan kaldırabilmek için bir sistem geliştirmektir. Bu sorunlar; paketin açılması, paketin darbe alması, paketin istenilen taşıma sıcaklık, nem, basınç ve ışık şiddeti gibi koşul değerlerinin dışında olması şeklinde sayılabilir. Tez çalışması sürecinde, bu ve benzeri sorunları algılayabilecek, sorunları zamana bağlı olarak kayıt altına alabilecek ve taşıma sonunda geliştirilen uygulama üzerinden mobil cihaz ile iletişim kurabilecek; pil ile çalışan bir cihaz donanımı ve yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen cihazın hem donanım tasarımı hem de yazılım tasarımında minimum güç tüketimi ve minimum maliyet göz önünde bulundurulmuştur. Cihaz için, paketler ile birlikte taşınmasını sağlayacak, algılayıcıların çalışmasını engellemeyecek ve son kullanıcı tarafından pilinin değiştirilmesine izin verilmeyecek bir kutu tasarım yapılmıştır. Diğer taraftan bu cihaz ile kablosuz iletişim kurabilecek ve tüm kullanıcılara (gönderici, alıcı, taşıyıcı) gerektiğinde bilgi verebilecek bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Böylelikle geliştirilen cihaz ve mobil uygulama sayesinde kargo paketlerin istenilen koşullar altında taşınıp taşınmadığı paket alıcıya ulaştığında izlenebilmektedir. Böylelikle paketlerin başına gelecek olan zarar minimize edilerek; sosyal, hukuki ve ekonomik anlamda kazanımlar sağlanabileceği ön görülmektedir. Sistemin kullanıma geçmesi ile kargo firmasındaki çalışanların kurallara uygun taşıma disiplini edineceği, bu sebeple taşınan paketlerin hasarsız bir şekilde hedefe ulaştırılma oranının yükselmesi beklenmektedir. Dolayısıyla müşteri memnuniyeti artarak, kargo firması ile müşteri arasında anlaşmazlıkların azalması, diğer taraftan ürün zayiatının düşmesi gibi kazanımlar da elde edilmesi beklenmektedir.

Günümüzde uluslararası alanda genel olarak kargo güvenliğini sağlamak amacıyla kargoların taşındığı araç veya konteynerin konum takibi, içerisindeki sıcaklık ve nem bilgileri algılayan sistemler zaten mevcuttur. Bu tezde geliştirilen sistemde bundan farklı olarak her bir kargo paketi için ayrı bir cihaz kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Örneğin kırılacak eşyalar için sarsıntı veya darbe algılama; aşı veya organ gibi hayati önem taşıyan

ürünler için sıcaklık, nem, ışık şiddeti gibi saklama koşulları algılama vb. durumlar takip edilerek olası olumsuz koşullar öncelikle bir hoparlör ile taşıyıcıya ses ile uyarı verilerek ve paket alıcıya ulaşana kadar kaydedilen tüm olumsuz koşullar mobil uygulama yardımı ile alıcıya gösterilmektedir. Teslimat sırasında mobil uygulama üzerinden paketin sorunsuz bir şekilde alıcıya ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilebilmektedir.

ABSTRACT

SMART CARGO TRACKING AND SECURITY SYSTEM

The main aim of this thesis is to develop a system to eliminate the problems caused by the cargo company depending on the characteristics of the package starting from the time the sender delivers a package to the cargo company until it reaches the recipient. These problems can be counted as follows: opening the package, the package being hit, the package being outside the desired transportation conditions such as temperature, humidity, pressure and light intensity etc. In this thesis, a battery-powered device with hardware and software components has been developed that can detect these problems, record the problems over time, and communicate with a mobile device via an application developed at the end of transportation. Minimum power consumption and minimum cost were taken into consideration in both during the hardware and software design. In additon, a box has been designed for the device that will allow it to be transported with the packages, will not interfere with the operation of the sensors and will not allow the battery to be replaced by the end user. On the other hand, a mobile application has been developed that can communicate wirelessly with this device and provide information to all users (sender, receiver, carrier) when necessary. Thus, thanks to the developed device and mobile application, it can be monitored whether the packages are transported under the desired conditions when the package reaches the recipient. In this way, the damage to the packages is minimized and social, legal and economic gains are realized.

Today, in order to ensure cargo security in general in the international arena, there are already systems can detect the position tracking of the vehicle or container in which the cargo is transported and the temperature and humidity information inside. The system developed in this thesis differs them. It acquires from the sensors mounted on each packages in the container instead of monitoring the container. For example, shaking or impact detection for fragile items; detection of storage conditions such as temperature, humidity, light intensity for vital products such as vaccines or organs, etc. Possible adverse conditions are first warned to the carrier with a loudspeaker and all adverse conditions recorded until the package reaches the recipient. All recorded data can be monitored at the end of the transportation process by the recipient with the help of the

developed mobile application.

SEMBOLLER

% : Yüzde İşareti (Percent Sign)
~ : Yaklaşık Olarak (Approximately)
ºC : Santigrat Derece (Degrees Celsius)
V : Volt (Volt)
µA : Mikro Amper (Microampere)
mA : Miliamper (Milliampere)
A : Amper (Ampere)
g : Yerçekimi (Gravity)
mg : Mili Yerçekimi (Milli Gravity)
digit : Birim
KB : Kilobayt (Kilobyte)
kHz : Kilohertz (Kilohertz)
dB(A) : Ortalama Ses Düzeyi (A-weighted Decibels)
lux : Lüks (Lux)
nm : Nanometre (Nanometer)
ms : Milisaniye (Millisecond)
Hz : Hertz (Hertz)
cd : Kandela (Candela)
lm : Lümen (Lumen)
sr : Steradyan (Steradian)
hPa : Hektopaskal (Hectopascal)
ppm : Parça başına milyon (Parts per million)
mT : MiliTesla (Millitesla)
mAh : Miliamper saat (Milliampere hour)
MHz : Megahertz (Megahertz)
$: Dolar (Dollar)

KISALTMALAR

ADC : Analog Dijital Çevirici (Analog to Digital Converter)

API : Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface)

BCLK : Bit Saati (Bit Clock)

BLE : Bluetooth Düşük Enerji (Bluetooth Low Energy)

BMS : Batarya Yönetim Sistemi (Battery Management System)

BR : Temel Hız (Basic Rate)

BİT : Bilgi ve İletişim Teknolojileri

CAN : Denetleyici Alan Ağı (Controller Area Network)

CLK : Saat (Clock)

CO : Karbon Monoksit (Carbon Monoxide)

CO^2 : Karbondioksit (Carbon Dioxide)

DAC : Dijital Analog Çevirici (Digital to Analog Converter)

DC : Doğru Akım (Direct Current)

DIN : Veri Girişi (Data IN)

EDR : Gelişmiş Veri Hızı (Enhanced Data Rate)

e-Ticaret : Elektronik Ticaret

FIFO : İlk Giren İlk Çıkar (First In, First Out)

GND : Toprak (Ground)

GPIO : Genel Amaçlı Giriş/Çıkış (General Purpose Input/Output)

GPO : Genel Amaçlı Çıkış (General Purpose Output)

GPRS : Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)

GPS : Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)

GSM : Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)

ID : Kimlik (Identity)

IDE : Tümleşik Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)

I2C : İki Yollu Seri Veri İletişimi (Inter-Integrated Circuit)

I2S : Tümleşik Devreler Arası Ses (Inter-IC Sound)

IO : Giriş/Çıkış (Input/Output)

IoT : Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)

LED : Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)

LE : Düşük Enerji (Low Energy)

Li-Po : Lityum Polimer (Lithium Polymer)

MCU : Mikrodenetleyici Ünitesi (Microcontroller Unit)

M2M : Makine ile Makine (Machine to Machine)

MEMS : Mikro Elektromekanik Sistemler (Micro Electro Mechanical Systems)

OUT : Çıkış (Output)

PD : Fotodiyot (Photodiode)

PCB : Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)

PWM : Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)

p-MOSFET: P-Kanal Metal-Oksit-Yarıiletken Alan Etkili Transistör (P-Channel Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)

QR : Hızlı Yanıt (Quick Response)

RF : Radyo Frekansı (Radio Frequency)

RFID : Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification)

RGB : Kırmızı, Yeşil, Mavi (Red, Green, Blue)

ROM : Sadece Okunabilir Bellek (Read-Only Memory)

RTC : Gerçek Zaman Saati (Real-Time Clock)

SD : Güvenli Dijital (Secure Digital)

SCL : Saat Hattı (Serial Clock Line)

SDA : Seri Veri Hattı (Serial Data Line)

SDIO : Güvenli Dijital Giriş/Çıkış (Secure Digital Input Output)

SI : Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Units)

SIM : Abone Kimlik Modülü (Subscriber Identity Module)

SNR : Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio)

SPI : Seri Çevresel Arayüz (Serial Peripheral Interface)

SRAM : Statik Rastgele Erişim Belleği (Static Random Access Memory)

TWAI : İki Telli Otomotiv Arayüzü (Two-Wire Automotive Interface)

UART : Evrensel Senkron Olmayan Alıcı/Verici (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)

USB : Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)

UHF : Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)

VBAT : Pil Gerilimi (Battery Voltage)

VCC : Kolektör Gerilimi (Voltage at the Collector Collector)

VDD : Drenaj Gerilimi (Voltage at the Drain Drain)

VDDIO : Giriş/Çıkış için Gerilim (Voltage for Input/Output)

VHEAT **:** Isıtma için Gerilim (Voltage for Heating)

VOUT **:** Çıkış Gerilimi (Output Voltage)

VSS **:** Kaynak Gerilimi (Voltage at the Source Source)

WS **:** Kelime Seçimi (Word Select)

WLAN **:** Kablosuz Yerel Alan Ağ (Wireless Local Area Network)

WSN **:** Kablosuz Algılayıcı Ağı (Wireless Sensor Network)

3D **:** Üç Boyutlu (Three-Dimensional)

3G **:** Üçüncü Nesil (Third Generation)

4G **:** Dördüncü Nesil (Fourth Generation)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Sistem Mimarisi 18
Şekil 3.2 Sistem Akış Şeması 21
Şekil 3.3 ST25DV NFC RFID Etiketinin Blok Şeması 25
Şekil 3.4 ST25DV NFC RFID Etiketinin Bağlantı Şeması 26
Şekil 3.5 LIS2DH12 İvme Algılayıcısının Blok Diyagramı 29
Şekil 3.6 LIS2DH12TR İvme Algılayıcısının Bağlantı Şeması 29
Şekil 3.7 SPH0645LM4H-B Mikrofonunun Blok Diyagramı 32
Şekil 3.8 SPH0645LM Mikrofonunun Bağlantı Şeması 32
Şekil 3.9 BH1750FVI-TR Optik Ortam Algılayıcısının Blok Diyagramı 35
Şekil 3.10 BH1750 Optik Ortam Algılayıcısının Bağlantı Şeması 35
Şekil 3.11 MP503 Hava Kalite Algılayıcısının Bağlantı Şeması 37
Şekil 3.12 Buzzer Bağlantı Şeması 39
Şekil 3.13 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Blok Diyagramı 42
Şekil 3.14 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Bağlantı Şeması 42
Şekil 3.15 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Blok Diyagramı 44
Şekil 3.16 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Bağlantı Şeması 45
Şekil 3.17 Şarj Devresi Bağlantı Şeması 46
Şekil 3.18 Mobil Uygulama Sayfa Tasarımları a) Giriş sayfası b) Cihaz bulunamadı sayfası c) Ana menü sayfası d) Kullanıcı adı veya şifre yanlış sayfası e) Parametre okuma sayfası f) Parametre yazma sayfası g) Parametre grafik sayfası 49
Şekil 3.19 Mobil Uygulama Giriş Sayfası Tasarımı 50
Şekil 3.20 Mobil Uygulama Cihaz Bulunamadı Sayfası Tasarımı 51
Şekil 3.21 Mobil Uygulama İsim veya Şifre Yanlış Sayfası Tasarımı 52
Şekil 3.22 Mobil Uygulama Ana Sayfası Tasarımı 54
Şekil 3.23 Mobil Uygulama Parametre Okuma Sayfası Tasarımı 55
Şekil 3.24 Mobil Uygulama Parametre Grafik Sayfası Tasarımı 56
Şekil 3.25 Mobil Uygulama Parametre Yazma Sayfası Tasarımı 57
Şekil 3.26 Cihaz Blok Diyagramı 59
Şekil 3.27 Mikrodenetleyici Şematik Tasarımı 60
Şekil 3.28 Cihazın Altiumdaki PCB Düzeninin Ön (a) ve Arka (b) Yüzleri 61
Şekil 3.29 Cihazın Altiumdaki Üç Boyutlu Ön (a) ve Arka (b) Yüzleri 62
Şekil 3.30 PCB Üzerine Komponentlerin Yerleştirilmesi 63
Şekil 3.31 Cihazın Dizgi Sonrası Gerçek Görünümü 64
Şekil 3.32 Kutu Tasarımı 65

Şekil 3.33 Kutunun 3D Yazıcı ile Basım Anı 65
Şekil 4.1 Test Aşamaları a) Yüksek ortam sıcaklığına maruz bırakma b) Yüksek ses şiddetine maruz bırakma c) Aşırı ışık şiddetine maruz bırakma d) Darbe testi f) Mıknatıs ile manyetik alan uygulama d) Teslimat aşamasında mobil uygulama üzerinden kontrol..... 68
Şekil 4.2 Test Sonuç Grafikleri..... 69
Şekil 4.3 Test Esnasındaki Sistem Kaydı..... 69

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İlgili Çalışmaların Önerilen Ürün ile Karşılaştırılması.....13
Tablo 3.1 ESP32-WROOM-32E-N4 Mikro Denetleyicinin Genel Özellikleri 24
Tablo 3.2 LIS2DH12 İvme Algılayıcısının Özellikleri 28
Tablo 3.3 SPH0645LM4H-B Mikrofonunun Özellikleri 31
Tablo 3.4 BH1750FVI Optik Ortam Algılayıcısının Özellikleri 34
Tablo 3.5 MP503 Hava Kalite Algılayıcısının Özellikleri 37
Tablo 3.6 Buzzer QMB-09B-03 Genel Özellikleri 39
Tablo 3.7 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Genel Özellikleri 41
Tablo 3.8 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Genel Özellikleri 43
Tablo 3.9 Güç Tüketimi.....67
Tablo 4.1 Cihaz Maliyet Tablosu.....70

1 GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Günümüzde global firmaların endüstriyel üretim süreçlerinde ürün tedariğinden bireylerin alışveriş süreçlerine kadar pek çok alanda kargo şirketleri, üretim, dağıtım, hizmet sunumu ve müşteri memnuniyeti açısından büyük bir rol oynamaktadır. Ayrıca, bu işlevlerin birleşim noktasını oluşturan lojistik kavramı da giderek daha fazla önem kazanmaktadır [1].

Kargo işletmeleri, lojistik sektöründe tedarik zinciri yönetiminin önemli bir parçasıdır. Bu şirketler, sürecin bütünleşmiş bir şekilde devam etmesi açısından ulaştırma işini yapmaktadır [2]. Kargo şirketleri, lojistik faaliyetlere uygun olarak günün gereksinimlerine cevap veren, kaliteden ve müşteri memnuniyetinden taviz vermeyen önemli görevleri yerine getirmek durumundadır [3].

Her gün yurt içi ve yurt dışına çok sayıda gönderi taşınmaktadır. Bir gönderi taşınırken, taşınan ürünün çevresel koşullara duyarlılığına bağlı olarak çeşitli türde hasarlara maruz kalma riski vardır. Bu, taşınan ürünün çevreye olan hassasiyetine bağlıdır. Bu eşyalara zarar verebilecek en yaygın faktörler arasında aşırı sıcaklık, yüksek nem seviyeleri ve yoğun ışık bulunmaktadır. Gıda, emtia ve farmasötik ilaçlar gibi önemli sayıda öğe nakliye sırasında hasar görmeye eğilimlidir. Bunun nedeni uygunsuz saklama koşulları, hava veya güneş ışığına maruz kalma gibi çeşitli nedenlerdir. Hastaya nakil amaçlı taşınan organlar, aşılar, kimyasallar, et ve süt ürünleri vb. gibi hassas ürünleri taşımak için özel konteynerler kullanılmaktadır. Bu taşıma birimlerinin kötü ve yanlış paketlenmesi, kargo hasar taleplerinin % 65'ine katkıda bulunur. Ek olarak, esnek ve güvenilir kapların bütünlüğü, açılması, ciddi titreşimlere veya şok hareketlerine maruz kalması durumunda yine de tehlikeye girebilmektedir [4].

Günümüzde, yüksek fiyatlı ve kırılabilir malların elektronik ticaret (e-ticaret) yoluyla satın alınması çoğu tüketici tarafından benimsenmiştir. Ancak mevcut lojistik şirketlerinin dikkate alması gereken en büyük sorunlardan biri de bu tür yüksek fiyatlı veya kırılgan malların güvenli teslimatının nasıl sağlanacağıdır [5].

Lojistik sektörü için önemli olan bir diğer husus, ürünlerin taşınması süreci boyunca maruz kaldığı gerçek koşullar (örn. sıcaklık, nem, titreşim, şok vb.) hakkında bilgi

almaktır. Örneğin, paydaşlar (son kullanıcılar dahil) taşınan malların taşıma sırasında herhangi bir termal şoka veya aşırı titreşime maruz kalıp kalmadığını bilmek istemektedir ve bu tür bilgi, taşınan ürüne gerçek değer katmak açısından da değerli olabilmektedir[6].

Gelinen noktada, yapılan uygulamalarda Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları ve bu teknoloji sayesinde üretilen veriler, lojistik sektörü için çeşitli avantajları beraberinde getirmiştir. Bu teknoloji, yüksek verimlilik sağlama amacıyla kullanılarak taşıma sistemlerinde şeffaflığı ve görünürlüğü sağlamakta, gönderi takibini iyileştirerek hizmetin kalitesini artırmaktadır. Lojistik sektörü, bu teknolojik gelişmelerin ışığında önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Otomasyon ve robotlaşma, sektörde verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek adına giderek daha fazla benimsenen yöntemlerdir. Ayrıca, bu teknolojik ilerlemeler, artan müşteri taleplerini karşılamak ve rekabet avantajı sağlamak adına lojistik süreçlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır [7].

Kargo firmaları, diğer taşımacılık sektöründeki işletmelerden ayrışarak, çeşitli sektörlerde faaliyet gösteren şirketlerin veya bireylerin üretim alanlarından ihtiyaç duydukları ürünleri, malzemeleri gerekli noktalara ulaştırmada özel bir rol üstlenmektedir. Kargo firmalarının sunduğu hizmetin kalitesinin belirlenmesi, iyileştirilmesi ve uygulanması, müşteri memnuniyetini sağlama amacına yönelik önemli adımlardır. Bu sektördeki yoğun rekabet ortamında, müşteri memnuniyetini sağlamak, bir şirketin geleceğini belirlemede kritik bir unsur olmaktadır. Firma itibarı, paydaşların şirketle ilgili değerlendirmelerini yansıtan bir kavramdır ve kargo sektöründeki bu rekabetçi ortamda özel bir öneme sahiptir [8].

Yeni teknoloji, pazara yeni girenler, yeni iş modelleri ve yeni müşteri beklentileri, lojistik sektörünün hem risk hem de fırsat getiren büyük bir değişimle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır [9]. Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID), IoT ve büyük veri gibi yeni teknolojiler, lojistik sürecini büyük ölçüde kolaylaştırmakta ve verimliliğini artırmaktadır. Müşteriler, ürünleri daha hızlı, daha güvenli ve daha fazla esneklikle, düşük teslimat maliyetiyle veya hiç teslimat maliyeti olmadan elde etmeyi beklenmektedir. Yukarıdaki yenilikler verimliliği ve müşteri memnuniyetini artırır ancak daha şiddetli bir rekabete de neden olmaktadır. Geleneksel lojistik firmaları mevcut lojistik sistemlerini geliştiremedikleri takdirde iflas edebilmektedirler [10]. Yeni teknolojilere dayalı akıllı

lojistik oluşturmak, yeniliğe ayak uydurmak için etkili bir çözümdür [9].

Günümüz işletmelerinin öncelikli hedefleri arasında yer alan "düşük maliyet" ve "müşteri beklentilerini karşılama," lojistik sektörünü doğrudan etkileyen kritik unsurlardır. Lojistik süreçlerin bütünleşmiş bir şekilde yürütüldüğü tedarik zinciri yönetimi, herhangi bir anda ve herhangi bir yerden ürünle ilgili kapsamlı bilgilere ulaşma gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu durum, işletmeye olası sorunlara anında müdahale etme ve etkin çözümler üretme yeteneği sağlamaktadır. Eş zamanlı yapılan müdahaleler, değişken ve karmaşık süreçlerde karşılaşılabilecek belirsizliklerle, beklenmeyen durumlarla başa çıkma konusunda önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu, olası sorunları önceden tahmin edebilme ve operasyonel etkinliği artırabilme anlamına gelmektedir. Bu hızlı ve etkili müdahaleler, maliyetleri minimize etme ve müşteri memnuniyetini sağlama açısından önemli bir stratejidir. Bütün bunlar, tedarik zinciri yönetiminde bilişim teknolojilerinin kullanımı sayesinde gerçekleştirilebilmektedir [11].

1.2 Amaç ve Önem

Bu tez çalışmasında bir Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi geliştirilmiştir ve bu sistemin lojistik sektörüne katkıları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle, kargo paketlerinin taşınma sürecinde karşılaşabilecekleri çeşitli riskler ve bu risklerin nasıl azaltılabileceği üzerinde durulmuştur. Sistemin, kargo paketlerinin taşınması sırasında karşılaşılabilecek sıcaklık, nem, darbe gibi faktörlere karşı duyarlılığının ve bu faktörlerin paketler üzerindeki etkilerinin izlenmesini sağlayacak teknolojik altyapısı detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca, sistemin nasıl çalıştığı, hangi teknolojileri kullandığı ve bu teknolojilerin lojistik süreçlerde nasıl bir verimlilik ve güvenlik sağladığı konuları da irdelenmiştir. Bu bağlamda, IoT teknolojisinin lojistik süreçlerde nasıl etkin bir rol oynadığı, taşıma sırasında gerçekleşebilecek olası problemleri önceden tespit edebilme ve bu sayede müşteri memnuniyetini artırma potansiyeli üzerinde durulmuştur. Ayrıca, bu sistem sayesinde kargo firmalarının müşteri taleplerine daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verme yeteneğinin nasıl artırıldığı, lojistik süreçlerin daha şeffaf ve izlenebilir hale gelmesinin sektördeki rekabet dinamiklerini nasıl değiştirdiği ve tedarik zinciri yönetimindeki operasyonel verimliliğin nasıl optimize edildiği üzerinde durulmuştur. Bu tez çalışması ile kargo taşımacılığı sektöründeki zorluklara yenilikçi çözümler sunarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2 GENEL BİLGİLER VE BENZER ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, tez konusu ile ilgili terimler açıklanmış ve çeşitli bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın teorik çerçevesini oluşturan bu bölüm, literatürdeki mevcut bilgi birikimiyle nasıl ilişkilendirildiğini göstermektedir. Lojistik ve kargo süreçlerinin işleyişi, akıllı teknolojilerin lojistik sektörüne entegrasyonu ve güvenlik önlemleri gibi konular, bu çalışmanın amaçlarına ulaşmada kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda, IoT ve RFID gibi yenilikçi teknolojilerin lojistik süreçlerdeki uygulamaları ve bu teknolojilerin sağladığı avantajlar vurgulanarak çalışmanın özgün katkıları ve farklılıkları ortaya konulmuştur. Kapsamlı bir literatür araştırması sonucunda, benzer kargo ile ilişkili veri toplama ve izleme sistemlerinin detayları açıklanmıştır.

2.1 Lojistik

Lojistik terimi, ilk kez 1905 yılında askeri bir terim olarak ortaya çıkmış ve o dönemde orduların hareketleri, gereksinimlerin temini, malzeme ve personelin taşınması, bakımı ve yenilenmesi gibi askeri faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir [12]. Ancak günümüzde lojistik, sadece askeri faaliyetlerle sınırlı kalmayıp, ulusal ve uluslararası düzeyde kültürel, ekonomik ve sosyal hayatta da etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Lojistik sektöründeki hızlı değişimler ve teknolojideki ilerlemeler, lojistik faaliyetlerin önemini ve gelişimini artırmıştır. Özellikle hizmet sektörü, tüketicilerin taleplerine uygun kaliteli ve zaman tasarrufu sağlayan müşteri memnuniyeti odaklı bir yaklaşım benimsemektedir. Bu yaklaşım, rekabet ortamını etkileyerek işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine olanak tanımaktadır. Lojistik, günümüzde sadece malzeme taşıma ve tedarik zinciri yönetimi ile sınırlı kalmayıp, geniş bir yelpazede sektörler arası etkileşimde bulunan bir stratejik unsurdur [12]. Yeterli lojistik hizmetinin bulunmasının, yurt dışı yatırımların herhangi bir yeni lokasyona çekilmesi için kritik bir gereklilik olduğu artık inkâr edilememektedir. Küresel üretim stratejilerinin, katma değerli birincil lojistik operasyonları ile iyi bir şekilde desteklendiğinde en büyük agresif avantajı sağladığı öne sürülmektedir [13]. Lambert'e göre: "Lojistik kadar kapsamlı bir varoluş üzerinde etkiye sahip çok az araştırma alanı vardır." Üretkenliği, dağıtım verimliliğini, hobi oranlarını, kullanılabilirliği ve enerji maliyetlerini etkilediği için ülkenin geniş ekonomisini etkiler. Birçok gelişmiş uluslararası lokasyon, lojistiğin önemini tespit etmiş ve uzun süredir bu

yönetim işlevini üstlenmiştir [14]. Daha önce lojistik, "ekonominin kara kıtası ve Amerika Birleşik Devletleri şirketlerinin en çok dikkat çeken bölümü" olarak kabul edilmekteydi. Uluslararası tedarik zincirlerinin ilk üç itici gücü lojistik özelliğinin temel iş yeterliliği, maliyet-hizmet oranı ve bilgi ve konuşma sistemleri açısından merkezi öneme sahip olmasıdır; bu unsurlar satıcı çözümleri üzerinde üçte bir etkiye sahiptir [15]. İyi bir lojistik yönetimi, şirketin ürünlerini tüketicilerin gereksinimlerine uygun olarak doğru zamanda doğru yere dağıtacak, birbirine bağlı iki ağın çevre dostu ve etkili bir konfigürasyonunun geliştirilmesini içermektedir [16].

İşletmeler, gelişen talebi ve zorlukları karşılamak için acilen bilim yatırımları istemektedir [18].Ayrıca Facebook, Twitter, Google çevreleri vb. sosyal ağların, cep telefonlarının ve bulut bilişimin artması, lojistik işletmelerini önemli ölçüde etkilemektedir [16].

2.2 Kargo

Türk Dil Kurumunda "kargo" kelimesi: "Yük veya posta taşıyan, özellikle uçak veya gemi gibi taşıtlar üzerinden bu işi yapan bir şirket, bu taşıtların taşıdığı eşya veya yük, ya da bu tür bir şirketin bir noktadan diğerine taşıdığı yük veya posta" şeklinde tanımlanmıştır. Aynı zamanda hamule olarak da kullanılan "kargo" kelimesi, lojistik ve taşımacılık sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılan bir terimdir. Taşımacılıkta "kargo" olarak adlandırılan mal veya eşyalar, genellikle kaplanmış ve paketlenmiş, toplam ağırlığı 100 kilogramı geçmeyen, belirli bir büyüklükteki nesneleri ifade etmektedir. Bir nesnenin kargo olarak sınıflandırılabilmesi için, belli bir boyut ve ağırlık özelliklerine sahip olması gerektiği anlaşılmaktadır [19]. Kargo taşımacılığı, geniş bir ürün yelpazesi taşıma esnekliği sayesinde müşterilere hizmet sunabilen ve günümüzde insanlar için vazgeçilmez bir sistemdir [20]. Kargo hizmetleri, temelde lojistik eylemleri kapsayan bir sistem olarak değerlendirilebilir [21].

Kargo pazarı, son zamanlarda küresel düzeyde hızla evrilen dinamik bir yapıya sahiptir. Kargo hizmet sağlayıcıları, sadece işletmeler için değil, aynı zamanda bireysel müşteriler için de talep edilen bir sektör konumuna gelmiştir. Bu sağlayıcılar, müşterilere hızlı, takip edilebilir, taahhütlü, güvenilir ve esnek lojistik hizmetleri sunarak, talepleri karşılayabilmekte ve kargo sektörünün genişlemesine öncülük etmektedirler [17].

Günümüzde, çoğu il, ilçe ve semtte birden fazla kargo firmasına ait şubeler mevcuttur. Bu kargo şubeleri, gün sonunda gönderilecek kargoları çeşitli araçlar kullanarak transfer merkezlerine yönlendirmektedir. Ancak, transfer merkezleri yurt içinde her ilde bulunmamaktadır. Genellikle belirli bölgelerde transfer merkezleri bulunmakta ve çevre illerdeki kargo şubeleri, paketleri bu transfer merkezlerine iletmektedir. Çevre illerden transfer merkezlerine gönderilen kargolar, hava veya karayolu gibi ilgili bölgelerdeki transfer merkezlerine taşınmaktadır. Bu transfer merkezlerine ulaşan paketler, kargo şubelerine göre sınıflandırılarak kamyonetler aracılığıyla şubelere gönderilmektedir. Bu aşamadan sonra şubelere ulaşan paketler, alıcılara teslim edilmektedir. Kargonun gönderilmesi ve teslim edilmesi sürecindeki her adımda barkod veya kare kod etiketleri taranarak sisteme kaydedilmektedir. Bu sayede gönderici ve alıcılar, paketleri hakkında bilgi alabilmektedir [20].

Cronin ve Taylor'a (1992) göre, kargo hizmet kalitesinin geliştirilmesi, rekabet avantajı elde etmek için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Paket teslimat hizmetlerinde, hizmet kalitesinin artırılmaması, hizmet sağlayıcıları için rekabetçi dezavantajlara yol açabilmektedir [22]. Bu sebeple, etkili hizmet kalitesine odaklanan bir yaklaşım, kargo hizmet sağlayıcıları dahil olmak üzere tüm hizmet sektörleri için müşteri memnuniyeti kazanmanın önemli bir adımıdır [23]. Firmaların sunduğu kargo hizmetinin kalitesi, müşteri tatmini, tüketicilerin tekrar satın alma davranışları [24], müşteri memnuniyeti [25] ve marka sadakati üzerinde de etkiye sahiptir. Bu bağlamda, kargo firmalarının yüksek rekabet koşullarında başarılı olabilmeleri için müşterilerin algıladığı hizmet kalitesini sürekli olarak iyileştirmeleri gerekmektedir [17].

2.3 Akıllı Lojistik

Akıllı lojistiğin tanımı oldukça farklıdır ve şu ana kadar üzerinde ortak bir sonuca varılamamıştır. Ancak akıllı lojistik genellikle taşıma, depolama ve müşteri hizmetleri gibi geleneksel çözümlere göre daha akıllı bir şekilde planlanan, yönetilen ve kontrol edilen farklı lojistik operasyonlarını ifade etmektedir. Zekanın türü ve düzeyi uygulamalara ve odaklara göre değişmektedir. Otonom lojistik [26], akıllı ulaşım sistemi [27], fiziksel internet [28], akıllı yük [29] ve müşteri odaklı akıllı lojistik [30] tipik akıllı lojistik uygulamalırıdır. Akıllı lojistiğin öncelikleri nedeniyle çeşitli türleri olmasına rağmen hepsi Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) uygulamalarına bağlıdır.

Akıllı lojistikte; lojistik süreçleri yani yük taşıma, depolama ve teslimat süreçleri, IoT, büyük veri, bulut bilişim ve yapay zekâ ile ileri düzey yönetimden yararlanarak bilgi paylaşımı, hızlı yanıt ve kaynak entegrasyonuna dönüşebilmektedir. İşbirliğine dayalı gelişim, akıllı lojistiği iş birliğine dayalı ve bütünleşmiş bir sistem haline getirmektedir. Ayrıca lojistik operasyonlarını geleneksel yönteme göre daha akıllı hale getirmektedir. Sonuç olarak, akıllı lojistik, lojistik sistemini işbirlikçi, akıllı ve bütünleşmiş hale getirmektedir. Gelişmiş BİT ve yönetimin benimsenmesiyle lojistik sürecinde bilgi paylaşımı, hızlı yanıt ve kaynak entegrasyonunu sağlamaktadır. Müşteriler açısından bakıldığında akıllı lojistik, daha verimli, esnek, doğru ve daha güvenli lojistik hizmetleri sağlamaktadır.

Akıllı lojistik süreçleri geliştirmenin anahtarı, en son teknolojilerden etkin bir şekilde yararlanmaktır. Bunlar arasında IoT teknolojisi en yaygın olarak lojistik süreçlerde uygulanmıştır [31–33]. IoT, internete dayalı bir bilgi ve iletişim teknolojisidir [34]. RFID, Kablosuz Algılayıcı Ağlar (WSN) ve makineden makineye (M2M) gibi çeşitli bilgi algılama teknolojilerini kullanır ve gömülü sistemleri benimser; ayrıca ağ iletişim teknolojisini birleştirerek nesneler arasında benzersiz tanımlayıcılarla veri iletişimi, değişim ve kontrol sağlamaktadır. IoT, sanal internetten fiziksel dünyaya genişlemeye kararlıdır [35] ve gelişiminin temel dayanağı kendini tanımlama, bilgi aktarımı ve nesneler arasında etkileşimli işlemdir [36]. IoT uygulamaları M2M ve insan-makine etkileşimlerini mümkün kılmaktadır [9].

Akıllı lojistik araştırmalarıyla en çok ilgilenen kıta Asya olurken, onu Avrupa ve Kuzey Amerika takip etmektedir. Gelişmekte olan en büyük ülke olarak Çin, büyük bir ticaret pazarına, eksiksiz bir endüstriyel sisteme ve güçlü bir bilim ve teknoloji uygulamasına sahiptir ve bu da akıllı lojistiğin araştırmasını ve uygulamasını büyük ölçüde teşvik etmektedir. Çin dışında geri kalan ülkeler oldukça gelişmiş olup, gelişmekte olan ülkelerin büyük çoğunluğunda akıllı lojistik araştırma ve uygulama eksikliğini göstermektedir [9].

2.3.1 Lojistikte IoT

IoT, çeşitli algılayıcılar ve cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı veri algılama, toplama ve paylaşım yeteneği sağlayan bir dijital evrim sürecidir. Bu teknoloji, internet aracılığıyla

iletişim kurabilen ve sayıları milyarları bulan cihazları bir araya getirerek, fiziksel dünyanın izlenmesini, veri alışverişini ve bu verilere dayalı olarak otomatik eylemlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır [37]. IoT'nin, lojistikten sağlığa, ulaşımdan üretime ve turizme kadar çeşitli alanlardaki uygulamaları, toplumlar ve ekonomiler üzerinde önemli değişimler yaratmaktadır. Bu geniş kapsamlı entegrasyon, birçok sektördeki işleyiş biçimini kökten değiştirmekte ve yeni verimlilikler sunmaktadır [38]. Haziran 2021'de Statista Online Services tarafından yapılan bir rapora göre, global ölçekte IoT cihazlarının sayısı 2020'de 8,74 milyar olarak kaydedilmiş ve 2030'a kadar bu sayının 23,4 milyarı geçmesi beklenmektedir. Endüstriyel alanda ise, IoT cihazları özellikle elektrik, gaz, buhar ve su tedariki gibi alanlarla birlikte perakende, toptan satış, taşımacılık ve depolama sektörlerinde aktif olarak kullanılmakta ve 2030 yılı itibarıyla endüstriyel kullanımdaki IoT cihaz sayısının 8 milyarı aşacağı öngörülmektedir [39].

İşletmeler, çeşitli sektörlerde rekabet güçlerini artırmak ve verimliliklerini yükseltmek için IoT gibi yenilikçi teknolojilere başvurmaktadır. Bu teknolojileri kullanarak, dijital dönüşüm süreçlerine uyum sağlamakta ve bu sayede rakiplerine karşı üstünlük kazanmaktadır. Özellikle lojistik alanı, teknolojik imkanların en etkin şekilde değerlendirildiği ve bu yeniliklerin lojistiğin evriminde kritik bir rol oynadığı bir sektör olarak öne çıkmaktadır [40]. IoT teknolojisi, lojistik sağlayıcılarına müşterilerin takibi, yönlendirilmesi ve malların teslim edilmesi konusunda önemli bir destek sunmaktadır. IoT ile donatılmış lojistik operasyonlar, ürünlerin göndericiden alıcıya kadar olan yolculuğunu otonom ve kendi kendine yöneten bir biçimde gerçekleştirmektedir. Bu durum, geleneksel lojistik işlemlerinde karşılaşılan uzun yanıt sürelerini önemli ölçüde azaltarak, birkaç güne indirgemektedir. Bu gelişme, lojistik sağlayıcıların rekabetçiliklerini artırarak, rakipleri karşısında belirgin bir avantaj elde etmelerini sağlamaktadır [41]. Bu teknoloji sayesinde, işletmeler ve genel olarak tüm tedarik zinciri, pazarın karmaşık ve değişken taleplerine hızlı, zamanında ve doğru bilgi akışı ile yanıt verebilme kapasitesine sahip olmaktadır [42]. Sonuç olarak teknolojik yenilikler, özellikle IoT, lojistik sistemlerinde veri erişilebilirliğini ve miktarını önemli ölçüde genişletmiştir [43].

2.3.2 Lojistikte RFID

RFID teknolojisi, IoT destekli akıllı lojistik sistemlerin kritik bir bileşenidir ve lojistik

bilgilerinin gerçek zamanlı olarak takip edilmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda, iç mekanlarda ürünlerin yönetimini ve yerleştirilmesini daha verimli hale getirerek, kesin konum tespiti yapılmasını da sağlamaktadır [16]. RFID sistemi, radyo dalgalarını kullanarak, etiketlerde bulunan mikro işlemcilerin eşsiz kimliklerini saptayabilen bir teknolojidir. 1948'den itibaren var olan bu teknoloji, IoT ve Akıllı Şehirler gibi modern kavramların ortaya çıkışıyla daha da geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. RFID etiketleri, içlerindeki mikro işlemciler aracılığıyla, bağlı oldukları nesneler hakkında detaylı verileri saklayabilmektedir. Bu sistem, diğer tanımlama yöntemleri olan parmak izi, barkod ve hızlı yanıt (QR) kodlar gibi teknolojilerin temelini oluşturmaktadır. RFID altyapısı üç temel bileşene dayanmaktadır. Bunlar: Veri saklama özelliğine sahip RFID etiketi (transponder), bu verileri talep eden ve işleyen RFID okuyucusu (alıcı-verici) ve toplanan verileri analiz edip depolayan bir sunucudur. Sistemin çalışma prensibi, RFID anteninden yayılan radyo frekans dalgalarının, etiketin antenine ulaşarak mikroçipe aktarılması ve bu mikroçipin aktive olup, sakladığı bilgileri geri antene göndermesidir. Daha sonra bu bilgiler, okuyucu vasıtasıyla bir bilgisayar ya da sunucu sistemine aktarılır. Barkodlar, QR kodlar, optik karakter tanıma sistemleri ve akıllı kartlarla kıyaslandığında, RFID'nin uygulama alanlarına bağlı olarak belirgin avantajları bulunmaktadır [20]. RFID etiketleri, izleme amaçları için ekonomik bir alternatif olarak kullanıma uygun bulunmuştur [44].

2.4 Lojistik Güvenliği

İnternet teknolojisinin gelişimi, e-ticaret sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır. E-ticaret aracılığıyla alınan ürünler çoğunlukla kargo şirketleri aracılığıyla tüketicilere gönderilmektedir. Bu aşamada tüketiciler, ürünlerinin yerini ayrıntılı olarak bilmek ve sürekli olarak güncellemeler almak istemektedir. Ancak kargo şirketleri bu beklentileri her zaman yerine getiremeyebilmektedir. Bu sorunun temel sebeplerinden biri, taleplerdeki artışa bağlı olarak kargo şirketlerinin yaşadığı aşırı yoğunluk ve bu yoğunluğun neden olduğu ürün kaybı, gecikmeler gibi teslimat problemleridir [45–47]. Günümüzde, kargo şirketleri hem maliyetleri düşürmek hem de müşteri memnuniyetini artırmak için nakliye yönetim sistemlerini geliştirmeye yönelik yoğun çalışmalar yapmaktadır. Gönderi yönetim sistemlerindeki takip ve izleme özellikleri, gönderilen paketlerin güvenliğinin sağlanmasında kritik bir role sahiptir. Bu özellikler, kargoların

durumunun sürekli olarak gözlemlenmesini ve yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Sevkiyat yönetim sistemlerinde güvenlik ile takip ve izlenebilirlik özellikleri oldukça önem taşımaktadır. Bu sistemler, paketlerin güvenli bir şekilde ulaştırılmasını ve süreç içindeki hareketlerinin detaylı olarak izlenmesini sağlamaktadır [44].

2.5 Benzer Çalışmalar

IoT teknolojisinin hızlı gelişimi ile, lojistik sektöründe WSN geniş bir şekilde benimsenmiştir. Becker, Zhang ve arkadaşları [48,49] çalışmalarında algılayıcı bilgileri depo, kamyon gibi ortamlarda kurulan ağ geçitleri aracılığıyla bir ağ platformuna aktardıkları belirtilmiştir. Papatheocharous ve Gouvas [50] tarafından önerilen eTracer isimli kargo bilgi yönetim sistemi, çeşitli algılayıcıları kablosuz ağlarla birleştirerek lojistik operatörleri için sistemli bir kargo bilgi yönetimi sağlamıştır.

Diğer yandan, kargo taşımacılığının güvenliğini sağlamak için lojistik zincirlerinde RFID ve küresel konumlandırma sistemi (GPS) teknolojileri de yaygın olarak kullanılmıştır. Lian ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [49], lojistik sektöründe depo yönetimi için RFID tabanlı bütünleşmiş bir donanım/yazılım sistemini sunulmuştur. Bu sistemde, depodaki malların giriş ve çıkışlarını yönetmek için RFID etiketleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bu sistem malların depoya girip girmediğini ağa bağlı lojistik platform aracılığıyla kontrol ederek otomatize mal yönetimi kolaylaştırılmıştır.

RFID, kargo izleme için farklı algılayıcı türleriyle de birleştirilebilmektedir. Örneğin, Gomes ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [51], taşıma işlemleri sırasında dondurulmuş ürünlerin (gıda, aşı, ilaç veya kan gibi) sıcaklığını gerçek zamanlı olarak izlemek için düşük güçlü bir sıcaklık algılayıcı modülü ile RFID'yi entegre ettikleri bildirilmiştir.

Lin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [52], kamyonların konumunu belirlemek ve soğutulmuş kargonun durumunu izlemek için Google uygulama programlama arayüzlerinin (API) kullanıldığı bir soğutulmuş kargo takip sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde, çevre sıcaklığını izlemek için yerleşik bir sıcaklık algılayıcı çipi kullanılmıştır. Sıcaklık algılayıcısı verileri Bluetooth (BLE) aracılığıyla mobil cihazlara gönderilmiş ve donmuş ürünlerin sevkiyat durumunu izlemek için çevrimiçi bir veri tabanına eş zamanlı olarak gönderilmiştir. Wang, Yang ve arkadaşları [53,54] gıda ürünlerinin sevkiyat

durumunu izlemek ve bozulmayı önlemek için RFID'nin kullanıldığını bildirmiştir. Bu çalışmalarda, gıda taşıması sırasında oluşabilecek bozulma sorununa çözüm bulmak için RFID teknolojisi ve gaz algılayıcıları ağ iletişim teknolojisi ile birleştirilmiştir.

Yang ve arkadaşları tarafından [55], kargo konumlandırma sistemleri üzerine yapılan ilgili araştırmada, kargonun izlenmesi ve yerinin belirlenmesi için sürekli bir takip sağlayan hibrit bir lojistik takip sistemi önerilmiştir. Bu çalışmada, altyapı tabanlı yöntemler (GPS, varış zamanı [56] , varış zamanı farkı teknikleri) ve altyapısız yöntemler tartışılmıştır [57]. Bu sistem GPS, Genel Paket Radyo Servisi (GPRS), Wi-Fi ve ZigBee gibi çeşitli arayüzlerle kesintisiz ve sürekli kargo takibi sağlayabilmektedir.

Bu sisteme dayanarak, fabrikada iç paketleme yapıldıktan sonra kara ve deniz taşımacılığı ile müşteriye teslim edilebilecek bir kargo kutusu ile takip ekipmanı birleştirilmiştir. Diğer bir deyişle, bu çalışma, düşük maliyetli ve düşük güç tüketimli bir hibrit lojistik takip sistemi gerçekleştirmek için iki farklı konumlandırma teknolojisini entegre edilmiştir.

Prasannaa ve Hemalathab çalışmalarında [58], teslimat hatalarını izlemek için RFID kullanılmıştır. Ayrıca, kamyonların aşırı yüklenmesi ve teslimat hataları gibi sorunları ele almak için kamyonların konumlarını gerçek zamanlı olarak izlemek için GPS ve küresel mobil iletişim sistemi (GSM) de kullandıkları bildirilmiştir. Bu sistemde, gönderilen malların detaylı bilgileri düzenli olarak tedarikçiye raporlanabilir şekilde geliştirilmiştir. Kamyonlardaki RFID etiketlerinden ağırlık algılayıcısı ile aşırı yük tespit edilebilir ve sürücü uyarılabilir şekilde oluşturulmuştur.

Sun [59], RFID, GPS ve GPRS teknolojilerini birleştiren, malların sevkiyatını etkili bir şekilde yöneten ve kamyonların yerini belirleyerek mal teslimat kalitesini artıran, böylece işletme maliyetlerini azaltan IoT tabanlı bir lojistik yönetim sistemi önermiştir. Önerilen IoT tabanlı sistem, otomatik bir terminal ve uzaktan kontrol merkezi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Otomatik terminal, GPS, GPRS ve RFID modüllerinden oluşmaktadır. GPS modülü tarafından toplanan paket verileri analiz edilerek aracın mevcut enlem ve boylamı, hızı, sürüş yönü ve zamanı elde edilebilmektedir. RFID modülü kullanılarak, araçtaki mallar düzenli olarak taranmakta ve kontrol edilmaekte, ardından ilgili bilgiler, araç bilgileriyle birlikte GPRS modülü aracılığıyla uzaktan kontrol merkezine gönderilmekte ve lojistik yönetim sistemi için temel oluşturmaktadır.

Oliveira ve arkadaşları [59, 60] RFID teknikleri ve coğrafi sınırlandırma (geofencing) algoritmalarına dayanan akıllı bir lojistik yönetim modeli sunmuştur. GPS ile coğrafi sınırlandırma algoritmaları, rota sapmalarının öngörülmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, tüm sevkiyat süreci izlenebilir. Bunun yanı sıra, taşıma işlemleri sırasında kargonun çeşitli aşamalarında izlenmesi ve tanınması için RFID'ler kullanılmıştır.

Yukarıda incelenen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, birçok ilgili çalışmada lojistik sektöründe kullanılmak üzere çeşitli konumlandırma ve WSN teknolojileri önerilmektedir. Ancak önceki çalışmalar yalnızca genel kargo bilgileri, konumlandırma veya kargo izleme için soğutulmuş lojistiğe odaklanmış; taşıma işlemleri sırasında yüksek fiyatlı ve kırılgan kargo sevkiyatlarının izlenmesi konusu ele alınmamıştır. Bu tezde bahsedilen sorunlara çözüm sunmak üzere yüksek fiyatlı, kırılgan malların veya belli bir önem arz eden hassas ürünlerin içinde yer aldığı kargo kutularında kullanılabilecek, *CargoSentry* adında akıllı bir cihaz önerilmiştir. Önerilen cihaz *CargoSentry,* RFID sayesinde mobil uygulama ile haberleşebilmekte, böylece taşıma işlemleri sırasında meydana gelebilecek olumsuz durumları taşıma sonunda alıcıya bildirebilmektedir Son olarak, ilgili çalışmalarla önerilen CargoSentry arasında yapılan karşılaştırma, Tablo 2.1’de özetlenmiştir

Tablo 2.1 İlgili Çalışmaların Önerilen Ürün ile Karşılaştırılması

Benzer Çalışmalar	Kullanılan Algılayıcılar	Haberleşme Teknolojisi	Sunulan Çözüm Önerisi	Gerçek Zamanlı Takip Edilebilirlik	Bildirim Yöntemleri	Pil Ömrü	Yeniden Kullanılabilirlik	Maliyet
[50]	-	GPS, GPRS, WLAN, RFID	(a)	Var	ERP Sistemi	-	Var	-
[62]	-	Ethernet, RFID	(b)	Var	-	-	Yok	-
[51]	Sıcaklık Algılayıcı	RFID	(c)	Yok	-	90 gün	Var	-
[52]	Sıcaklık Algılayıcı	GPS, GPRS, BLE	(d)	Var	Mobil Uygulama	-	Yok	-
[53]	Gaz Algılayıcı	RFID	(e)	Yok	-	-	Yok	-
[54]	Sıcaklık Algılayıcı, nem Algılayıcı	GPS, GPRS	(f)	Var	Masaüstü Uygulama	-	Var	-
[55]	-	WiFi, ZigBee, RFID, GSM/3G	(g)	Var	-	30 gün	Var	43 $
[58]	Ağırlık Algılayıcı	GPS, GSM, RFID	(h)	Var	-	-	Var	-
[59]	-	GPS, GPRS, RFID	(i)	Var	Araç içi Monitör	-	Yok	-

[60]	-	UHF, BLE, RFID	(j)	Var	Web Sitesi	43 dakika	Var	26 $
[63]	Piezoelektrik basınç Algılayıcı	GPS, BLE, 3G/4G	(k)	Var	Araç içi Monitör ve Web Sitesi	-	Var	-
[64]	Piezoelektrik basınç Algılayıcı	GPS, BLE, 3G/4G	(l)	Var	Araç içi Monitör ve Web Sitesi	-	Var	-
Önerilen Çalışma	Sıcaklık, Nem, Basınç, Darbe Tespiti, Işık Şiddeti, Ses Şiddeti, Manyetik Alan Şiddeti, Hava Kalitesi Ölçümü	RFID	(m)	Yok	Mobil Uygulama	529 gün	Var	17.3 $

Tablo 2.1 de harf kodu şeklinde verilen sunulan çözüm önerileri aşağıda açıklanmıştır:

(a) Ürünler ve kargolar otomatik olarak izlenir, yüklenir ve boşaltılır. Araç konumunun gerçek zamanlı gösterimi ile kargonun mevcut sevkiyat durumu interaktif bir haritada izlenebilmektedir.

(b) Bu çalışma depolama, depo teslimatı, malların bilgi işlenmesi, bilgi depolanması, bilgilerin yerel olarak gösterilmesi, depo silme ve ekleme, depo operatör yönetimi, depo işlem yönetimi, müşteri bilgi sorgulama işlemlerini gerçekleştirebilmektedir.

(c) Soğuk ortamda bulunması gereken ürünlerin (gıda, aşılar, ilaçlar ve kan gibi) sıcaklığını gerçek zamanlı izlemek için düşük güç tüketen bir sıcaklık algılayıcısı ile RFID kullanılmaktadır.

(d) Ortam sıcaklığını izlemek için dahili bir sıcaklık algılayıcı çipi kullanılmaktadır. Kamyonların yerini belirlemek ve soğutulmuş kargonun durumunu takip etmek için Google map API kullanılmaktadır. Soğutulmuş kargonun algılanan sıcaklığı ve GPS bilgileri BLE aracılığıyla mobil cihaza gönderilmekte ve ardından çevrimiçi bir veri tabanına yüklenmektedir.

(e) Lojistik zinciri boyunca gıdaları izlemek için esnek bir etiket geliştirilmektedir.

(f) Çevresel koşullar gerçek zamanlı olarak izlenmekte, sıcaklık, nem veya diğer faktörler güvenlik sınırını aştığında uyarı vermektedir. Kullanıcının soğuk zincirde değer kaybını önlemek için kararlarını zamanında ayarlamasına yardımcı olmaktadır.

(g) Kargoların tüm işleme süreci boyunca içeriden dışarıya kesintisiz ve sürekli konumlandırılması sağlanmaktadır.

(h) Kamyonun konumu GPS ve GSM kullanılarak belirlenir ve kargoların tanınması için RFID kullanılmakta, böylece teslimat hataları önlenmektedir. Ayrıca, kargonun aşırı yüklü olup olmadığını tespit etmek için kamyonlara ağırlık algılayıcı monte edilmektedir.

(i) Kargo dağıtımının doğruluğunu etkin bir şekilde yönetmek için RFID, GPS ve GPRS birleştirilmektedir. Kamyon konumlandırması, kargo teslimat kalitesinin artırılmasını sağlamaktadır.

(j) Geofencing algoritmaları GPS ile kullanılarak rota sapma olaylarının öngörülmesi sağlanır. Tam sevkiyat prosedürleri izlenebilmektedir. RFID'ler, taşıma prosedürleri

sırasında kargo taşıma aşamalarında takip ve tanıma için kullanılmaktadır.

(k) Bir kutunun sevkiyat sırasında açılıp açılmadığı veya hasar gördüğü durumu algılamak için düşük maliyetli yama tipi piezoelektrik algılayıcı geliştirilmiştir.

(l) Kargo ciddi şekilde düşürüldüğünde veya çalındığında (bant yırtılmasıyla ilgili) hemen tespit edebilen düşük maliyetli yama tipi piezorezistif basınç algılayıcısı kullanılmıştır.

(m) Farklı türdeki kargoların başına gelebilecek olumsuz koşulları kayıt altına alacak birçok algılayıcıya sahiptir. RFID kullanılarak kayıt altına alınan bilgiler mobil uygulamaya aktarılmıştır.

3 CARGOSENTRY MODÜLÜ TASARIMI

Bu bölümde tez çalışmasında önerilen *CargoSentry* isimli ürünün donanım ve yazılım bileşenleri, bu bileşenlerin tasarımdaki önemi ve neden kullanıldıkları hakkında bilgiler verilmiştir.

CargoSentry, kargo taşımacılığında güvenlik ve izlenebilirlik sağlamak amacıyla geliştirilmiş yenilikçi bir sistemdir. Bu sistem, kargoların taşınma sürecindeki çevresel ve fiziksel koşulları sürekli olarak izleyerek, herhangi bir olumsuz durumu kullanıcıya bildirmektedir.

CargoSentry, geniş bir algılayıcı ağı ve güçlü bir mikrodenetleyici ile donatılmıştır. Bu algılayıcılar arasında ivme ölçer, optik ortam algılayıcı, NFC anten, şarj devresi, RGB LED, sesli ikaz cihazı, hava kalite algılayıcı, manyetik alan algılayıcı, mikrofon ve sıcaklık, nem, basınç algılayıcısı bulunmaktadır. Bu bileşenler, kargonun taşınma esnasında maruz kaldığı her türlü durumu hassas bir şekilde izleyerek veri toplamakta ve analiz etmektedir.

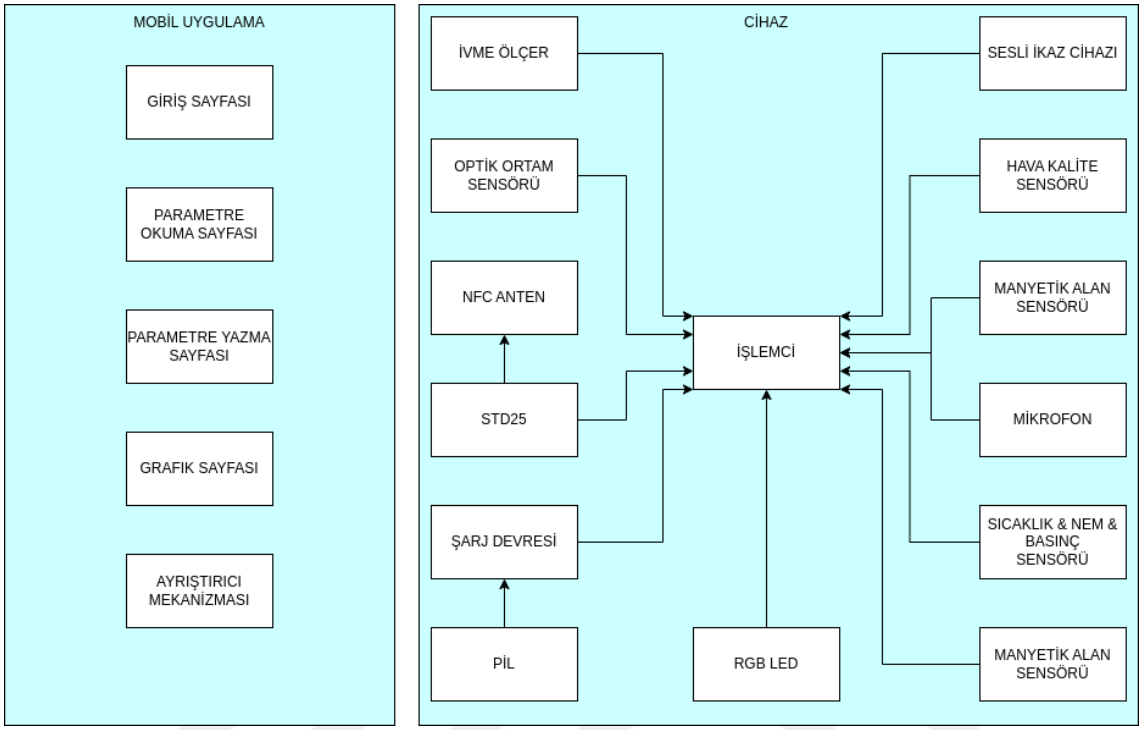
Sistemin kalbinde, Espressif System firmasının geliştirdiği ESP32-WROOM-32E-N4 mikrodenetleyicisi yer almaktadır. Bu mikrodenetleyici, düşük enerji tüketimi ve yüksek performans özellikleriyle öne çıkmaktadır. Mikrodenetleyici, algılayıcılardan gelen verileri işleyerek, gerekli durumlarda kullanıcıya bilgi aktaran ve sistemi yöneten bir merkez olarak görev yapmaktadır.

CargoSentry'nin mobil uygulama bileşeni, kullanıcıların sisteme kolayca erişmesini, kargo paketlerinin mevcut ve geçmiş durumlarını incelemesini ve sistem parametrelerini ayarlamasını sağlamaktadır. Kullanıcı dostu arayüzü ve güçlü fonksiyonelliği ile mobil uygulama, kullanıcı deneyimini ön planda tutmaktadır. Bu uygulama, Figma gibi güçlü bir tasarım aracı kullanılarak tasarlanmış ve Android Studio ile Flutter programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

3.1 Sistem Mimarisi

Tez çalışmasının Şekil 3.1'de sistem mimarisine dair sunulan diyagram, mobil uygulama ve izleme cihazının donanım bileşenlerinin entegre bir şekilde nasıl çalıştığını göstermektedir. Bu mimari, kullanıcı dostu bir arayüz ve gelişmiş donanım modüllerinin

bir araya getirilmesiyle, kargo paketlerinin taşınma sürecinde karşılaşabileceği olası sorunları etkin bir şekilde izlemeyi, kaydetmeyi ve ilgili taraflarla bu bilgileri paylaşmayı hedeflemektedir.



Şekil 3.1 Sistem Mimarisi

Şekil 3.1'de verilen sistem mimarisininde kullanıcı etkileşimi için tasarlanmış mobil uygulamanın çeşitli arayüzleri bulunmaktadır. Bu arayüzler kullanıcıların sisteme kolayca erişmesini, kargo paketlerinin mevcut ve geçmiş durumlarını incelemesini, sistem parametrelerini uzaktan ayarlamasını ve algılayıcı verilerini grafiksel olarak analiz etmesini sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcı arayüzü ile sistem arasındaki veri akışını düzenleyen ve yönlendiren bir ayırıcı mekanizma da yer almaktadır. Bu mekanizma, mobil uygulama ve izleme cihazı arasında sorunsuz bir veri alışverişini gerçekleştirmektedir.

Şekil 3.1'de verilen sistem mimarisinde, kargo paketlerinin çevresel ve fiziksel durumunu izleyen çeşitli algılayıcılar ve bunları destekleyen donanım bileşenleri gösterilmiştir. Bu bileşenlerin merkezinde, tüm algılayıcılardan gelen verileri işleyen ve bu verilere dayalı olarak kararlar alan bir işlemci yer almaktadır. İşlemci, mobil uygulamaya veri aktarımının yanı sıra, algılayıcıların enerji tüketimini optimize ederek pilin ömrünü

uzatma görevini de üstlenmektedir. İvme ölçer, optik ortam algılayıcı, NFC anten, şarj devresi, Kırmızı, Yeşil, Mavi Işık Yayan Diyot (RGB LED), sesli ikaz cihazı, hava kalite algılayıcı, manyetik alan algılayıcı, mikrofon ve sıcaklık, nem, basınç algılayıcısı gibi donanım modülleri, paketin taşınma esnasında karşılaşabileceği olası durumları değerlendirmek ve gerektiğinde kullanıcıları bilgilendirmek için sürekli olarak çalışmaktadır.

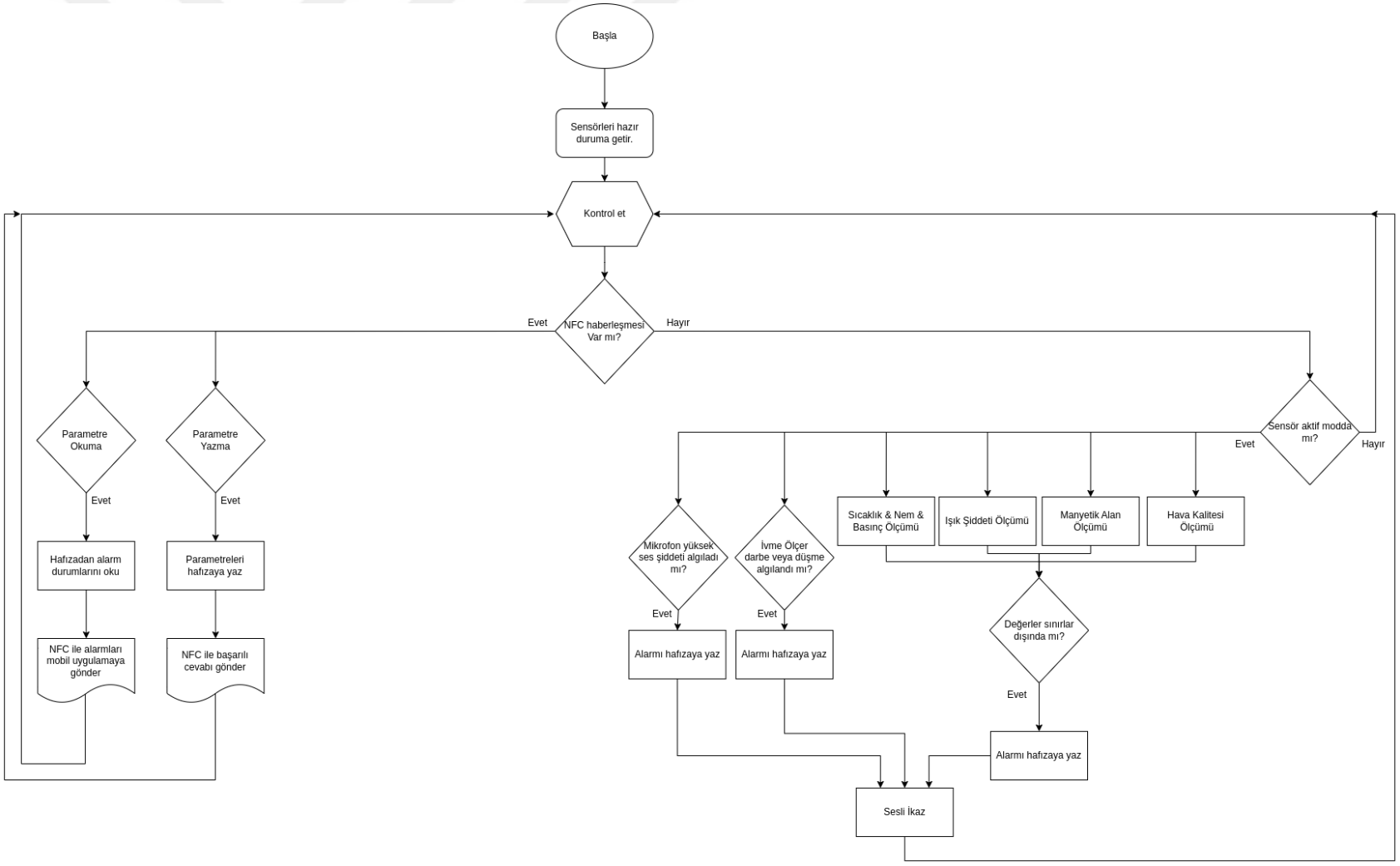
Bu donanım modülleri, sadece çevresel koşulları izlemekle kalmaz, aynı zamanda taşıyıcıya anlık geri bildirimde bulunarak, herhangi bir sorunun hemen fark edilmesini ve müdahale edilmesini sağlamaktadır. Örneğin, bir darbe veya düşme algılandığında, sesli ikaz cihazı derhal bir uyarı yayınlayarak taşıyıcının dikkatini çekmektedir. Benzer şekilde, RGB LED, cihazın çalışma durumunu görsel sinyaller aracılığıyla göstermekte, böylece taşıyıcı veya kullanıcı, cihazın durumu hakkında kolayca bilgi sahibi olmaktadır.

Bu sistem mimarisi, kargo paketlerinin taşınma sürecinde karşılaşabileceği olası riskleri azaltma kapasitesine sahip bir yapı sunmaktadır. Geliştirilen mobil uygulama ile kullanıcılar, paketin güvenliğini ve taşıma sırasında uygun prosedürlerin izlenip izlenmediğini kontrol edebilmektedirler. Bu, kargo şirketi çalışanlarının taşıma sırasında uygun prosedürleri izlemelerini teşvik etmekte ve müşteri memnuniyetini artırırken, kargo şirketi ile müşteri arasındaki anlaşmazlıkları azaltmakta ve ürün kaybını en aza indirgemektedir. Bu kapsamlı mimari, paketlerin hasarsız bir şekilde taşınmasını sağlamanın yanı sıra, sosyal, hukuki ve ekonomik kazanımlar sağlamak için de önemli bir adım olmaktadır.

3.2 Sistem Akış Şeması

Şekil 3.2'deki akış şeması, bir kargo paketinin taşıma süreci boyunca çeşitli koşullar altında izlendiğini ve bu sürecin nasıl yönetildiğini ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Sistem, paketin göndericiden alıcıya ulaşana kadar olan yolculuğunda karşılaşabileceği sorunları belirlemek, kaydetmek ve ilgili taraflara iletmek üzere geliştirilmiş bir cihaz donanımı ve yazılımını temsil etmektedir. Akış şemasının başlangıcında, sistem ilk olarak "Başla" noktasıyla aktive edilmektedir. Bu noktadan itibaren, algılayıcılar çalışmaya hazır hale getirilir, bu da paket üzerine yerleştirilen cihazın çeşitli algılayıcıların başlatılması ve ilk verilerin okunması anlamına gelmektedir. Algılayıcıların aktif

edilmesi, paketin farklı parametreler altında doğru bir şekilde izlenmesi için kritik öneme sahiptir. Bu parametreler arasında sıcaklık, nem, basınç, ışık şiddeti, darbe ve hava kalitesi gibi kargo paketinin bütünlüğü ve içeriklerinin güvenliği için önemli olan değişkenler yer almaktadır.



Şekil 3.2 Sistem Akış Şeması

Sistem daha sonra kendisini bir kontrol mekanizmasına yönlendirmektedir. Bu kontrol, sistemin sürekli olarak çalışıp çalışmadığını belirleyen bir döngüdür ve bu döngü içerisinde, cihazın sürekli olarak aktif olduğu ve gerekli izlemeleri yaptığı varsayılmaktadır. Akışın bu kısmı, cihazın ve onun algılayıcılarının kesintisiz bir şekilde faaliyet göstermesini sağlamak için oldukça önemlidir. Sürekli kontrol döngüsünün ilk adımı, yakın alan iletişimi (NFC) aracılığıyla mobil cihazlarla haberleşme imkanının bulunup bulunmadığını belirlemektir. Eğer NFC üzerinden bir haberleşme talebi varsa, sistem iki ana işlem dalına ayrılmaktadır; parametre okuma ve parametre yazma. Parametre okuma işlemi, daha önceden algılayıcılar tarafından toplanmış ve hafızaya kaydedilmiş verilerin okunarak mobil uygulama aracılığıyla ilgili taraflara iletilmesini içermektedir. Parametre yazma işlemi ise, yeni alınan komutların veya ayarların hafızaya kaydedilmesini ve bu işlemin sonucunun yine NFC aracılığıyla mobil uygulamaya başarılı ya da başarısız olarak bildirilmesini kapsamaktadır.

Bunun yanı sıra, sistemde yer alan çeşitli algılayıcılar, paketin fiziksel ve çevresel durumunu sürekli olarak izlemektedir. Mikrofonlar, yüksek ses seviyelerini algılayarak paketin zarar görebileceği olası tehlikeli durumları tespit etmektedir. İvme ölçerler, paketin darbelere maruz kalıp kalmadığını veya istenmeyen hareketlerle taşınıp taşınmadığını izlemektedir. Sıcaklık ve nem algılayıcıları, paketin içerisindeki ürünlerin bozulmaması için gerekli olan iklim koşullarının sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmektedir. Işık şiddeti ölçerler, paketin ışığa duyarlı maddeler içerip içermediği ve bu maddelerin maruz kaldıkları ışık miktarını ölçmektedir. Manyetik alan ve hava kalitesi algılayıcıları ise, paketin güvenliğini ve içerisindeki ürünlerin bütünlüğünü etkileyebilecek diğer faktörleri izlemektedir.

Her bir algılayıcı, paketin taşıma esnasında karşılaşabileceği olası durumları değerlendirmek için belirli aralıklarla ölçüm yapmaktadır. Eğer bir algılayıcı tarafından toplanan veriler önceden belirlenen güvenli sınırların dışına çıkarsa, sistem bir alarm durumu tespit etmekte ve hafızaya kaydetmektedir. Bu alarm durumu, taşıyıcıya sesli bir ikaz verilerek anında müdahale edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, tüm bu veriler ve meydana gelen olaylar, paketin alıcıya ulaştığı ana kadar kaydedilmektedir ve mobil uygulama aracılığıyla paketin alıcısına iletilmektedir. Bu bilgiler, paketin taşıma sürecinde karşılaştığı koşulların ve olası problemlerin bir kaydını oluşturmaktadır. Bu hem paketin güvenliğini artırmak hem de kargo şirketi çalışanlarının taşıma sırasında

uygun prosedürleri izlemelerini teşvik etmek için önemlidir.

Akış şemasındaki her bir adım, sistemin karmaşıklığını ve paketlerin taşınması sırasında karşılaşabileceği olası riskleri azaltma kapasitesini göstermektedir. Ayrıca, bu tasarımın uygulanması, paketlerin hasarsız bir şekilde taşınmasının sağlanmasına yardımcı olmakta ve bu da müşteri memnuniyetini artırmakta, kargo şirketi ile müşteri arasındaki anlaşmazlıkları azaltmakta ve ürün zayiatını minimize edecek sosyal, hukuki ve ekonomik kazanımlar sağlamaktadır.

3.3 Donanım Bileşenleri

Geniş çaplı yapılan literatür taraması sonucunda, tez konusuyla ilgili önceden yapılmış çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Söz konusu çalışmaların getirdiği yararlar ve potansiyel sınırlılıklar dikkatlice değerlendirilmiş, bu analizler ışığında tez sürecinde yürütülecek araştırmanın özellikleri netleştirilmiştir. Tezin hedeflerine ulaşmak adına seçilecek bileşenler üzerinde karar verilirken, maliyetin mümkün olduğunca düşük tutulması ve sistem enerji tüketiminin minimal seviyelerde olması öncelikli kriterler arasında yer almıştır. Bu parametreler, projenin hem ekonomik açıdan verimliliğini hem de enerji kullanımı açısından sürdürülebilirliğini maksimize etmek amacıyla özenle seçilmiştir.

3.3.1 Mikro Denetleyici

Mikro denetleyici seçerken kullanılacak olan çevre birimlerin sahip olduğu haberleşme türü, enerji tüketimi az olan, çevre birimler ile kullanmak için gerekli olan kütüphanelerin bulunurluğunun kolay olması, örneklerin fazla olması ve literatür çalışmalarına dayanılmıştır. Cihazda Espressif System firmasının geliştirdiği ESP32-WROOM-32E-N4 mikrodenetleyicisi seçilmiştir. Mikrodenetleyicinin I2C (İki Yollu Seri Veri İletişimi) haberleşme protokolüne sahip olması çevre birimleri ile olan haberleşmenin gerçekleştirilmesinde büyük rol oynamaktadır. Mikrodenetleyiciye ait bazı önemli özellikler Tablo 3.1'de verişmiştir.

Tablo 3.1 ESP32-WROOM-32E-N4 Mikro Denetleyicinin Genel Özellikleri [65]

Özellik	**Açıklama**
Mikrodenetleyici	Xtensa çift çekirdekli 32-bit LX6 mikrodenetleyici, maksimum 240 MHz frekansta çalışır
ROM	448 KB
SRAM	520 KB
RTC içinde SRAM	16 KB
Wi-Fi Standartları	802.11b/g/n
BLE	Bluetooth V4.2 BR/EDR ve Bluetooth LE
Desteklenen ara birimler ve özellikler	SD kart, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, kapasitif dokunma algılayıcısı, Analog Dijital Çevirici (ADC), Dijital Analog Çevirici (DAC), TWAI (CAN Specification 2.0'ye uyumlu)
Anten	PCB anten
Çalışma Voltajı	3.0 ~ 3.6 V

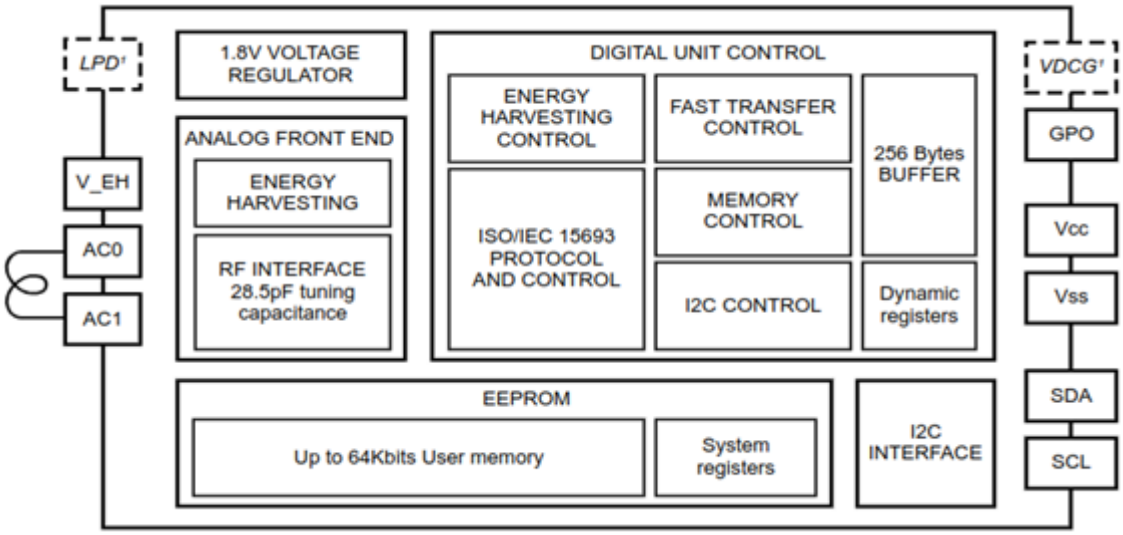
3.3.2 NFC RFID Etiketi ve Veri Yazma-Okumanın Gerçekleştirilmesi

ST25DV NFC etiketleri, tez kapsamında kullanılmıştır çünkü sundukları özelliklerle çeşitli uygulama alanlarında etkili bir şekilde kullanılabilecek güçlü bir çözüm sunmaktadır. Bu etiketler, I2C ve RF arabirimleri aracılığıyla veri transferini hızlı ve güç tüketimi açısından verimli bir şekilde gerçekleştirebilme yeteneği ile öne çıkmaktadır. Bu çipi diğerlerinden ayıran en önemli özellik ise yazma ve okuma yapabiliyor olmasıdır.

NFC için seçilen arayüz, silinebilir programlanabilir salt okunur belleğe sahip olmanın yanı sıra, talep üzerine mesaj başına 256 bayta kadar iletebilen bir bellek sistemi aracılığıyla da iletişim kurabilen ST25DV çip aktarıcısıdır [66].

Bu çip aynı zamanda NFC okuyucuyla pilsiz olarak da iletişim kurabilmektedir. Bu, sistemin kapanma modunda olabileceği ve hala komutlara yanıt verebileceği anlamına

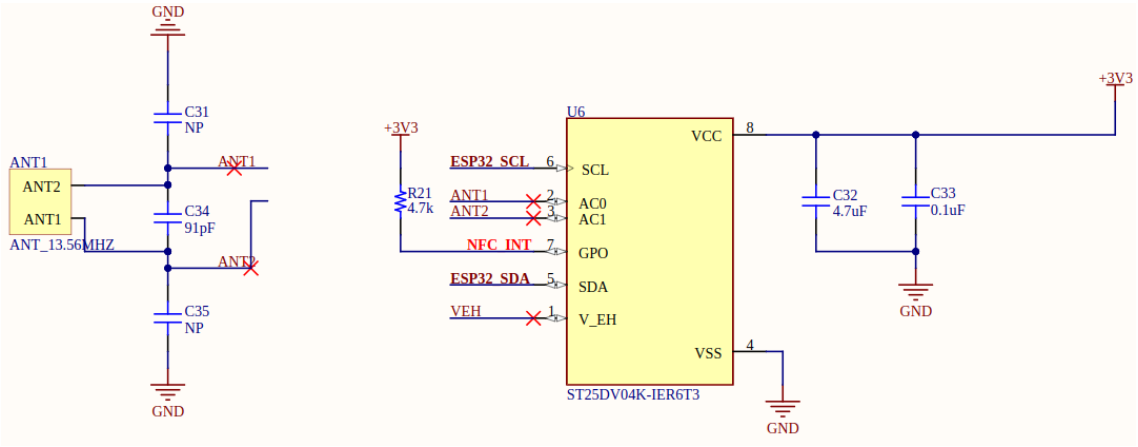
gelmektedir [67]. NFC etiketi ayrıca kesme darbelerini ve enerji toplama özelliklerini uygulamak için bir genel amaçlı çıkış (GPO) pini sağlamaktadır [68]. Önceki spesifikasyonlar Şekil 3.3'teki çip blok şemasında tam olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3 ST25DV NFC RFID Etiketinin Blok Şeması [69]

NFC (Yakın Alan İletişimi) teknolojisi, mobil uygulamalar ve akıllı cihazlar aracılığıyla veri transferi gerçekleştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, basit bir dokunuşla iki cihaz arasında veri alışverişi yapılmasına olanak tanımakta, bu da kullanım kolaylığı ve hızlı veri transferi sağlamaktadır. Tez çalışmasında, NFC teknolojisi kullanılarak veri yazma ve okuma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler, bir mobil uygulama aracılığıyla yönetilmekte ve izlenmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan mobil uygulama, NFC teknolojisi aracılığıyla cihazlardan veri okuma ve bu cihazlara veri yazma yeteneğine sahiptir. Bu işlemler, algılayıcıların topladığı verilerin mobil cihazlar aracılığıyla kolayca erişilebilir ve yönetilebilir olmasını sağlamaktadır. Mobil uygulama, kullanıcılara cihazlardan alınan verileri görsel bir formatla sunmakta ve bu veriler üzerinde analiz yapma imkânı tanımaktadır.



Şekil 3.4 ST25DV NFC RFID Etiketinin Bağlantı Şeması

Şekil 3.4'de gösterilen, NFC entegresi ve anten bağlantı düzeni, bir NFC iletişim sisteminin temel bileşenlerini ve bu bileşenlerin nasıl birbirine bağlandığını göstermektedir. Şemada, ST25DV04K-IER6T3 modeli bir NFC entegresi, ESP32 mikrodenetleyici ile iletişim kurmak için kullanılmıştır. Entegre, I2C protokolü üzerinden ESP32 ile veri alışverişi yapacak şekilde yapılandırılmıştır; bu durum Saat hattı (SCL) ve Seri Veri Hattı (SDA) pinlerinin ESP32 ile bağlantısından anlaşılmaktadır.

NFC entegresi, Kolektör Gerilimi (VCC) pinine uygulanan +3V3 voltaj ile çalışmaktadır ve GND pinine yer bağlantısı yapılmaktadır. Entegrenin Kaynak Gerilimi (VSS) pininin de yer bağlantısı olduğu görülmektedir, bu genellikle entegrenin güç sistemine bağlı bir toprak noktasıdır. Entegre, ayrıca bir çift harici kapasitör (C32 ve C33) ile filtrelenmiş güç almaktadır. Bu kapasitörler, güç hattındaki gürültüyü azaltmaya ve sistem stabilitesini artırmaya yardımcı olmaktadır.

Anten bağlantısı ise ANT1 ve ANT2 pinleri üzerinden yapılmıştır. Şemada ANT1 ve ANT2 etiketli iki bağlantı noktası göze çarpmaktadır ve bu pinler, NFC sinyallerinin alınıp gönderilmesi için antenlere bağlanmaktadır. R21 direnci ve ANT bağlantı noktaları arasında, NFC sinyallerini uygun şekilde eşleştirmek için kullanılan bağlantı noktaları (ANX1 ve ANX2) bulunmaktadır. Burada, antenin doğru frekansta (13.56 MHz) çalışmasını sağlamak için kullanılan eşleştirme kondansatörleri (C31 ve C34) gözlemlenebilmektedir. Bu sinyal eşleştirmesi, antenin NFC entegresi ile en iyi şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli görülmüştür.

Ayrıca, NFC_INT pininin ESP32 mikrodenetleyicisine bağlandığı ve bu bağlantının,

NFC entegresinden gelen kesmeleri (interrupts) işlemek için kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu şematik, NFC teknolojisinin temel bağlantı ve yapılandırma prensiplerini temsil etmekte ve bir cihazın, dokunmatik iletişim için gerekli olan donanım bileşenlerini nasıl içereceğini açıklamaktadır.

NFC entegresinin etkin kullanımı için geliştirilmiş olan STM32duino kütüphanesinden faydalanılmıştır. ST25DV'nin kesme pinine gelen yükselen kenar tetiklemesi sayesinde, okuma operasyonunun ne zaman yapılması gerektiği algılanabilmektedir. Kesme tabanlı bu yaklaşım, entegrenin yalnızca gerekli olduğunda çalışmasını sağlayarak düşük güç tüketimine olanak tanımaktadır.

Kütüphane ayrıca, çeşitli protokoller aracılığıyla veri alışverişini mümkün kılmakta; bu, cihazın ve ilgili mobil uygulamanın, önceden tanımlanmış bir haberleşme protokolüne göre veri okuma ve yazma işlemlerini yapabilmesini sağlamaktadır. Okuma ve yazma işlemlerinin türüne bağlı olarak algoritma akışı belirlenmekte ve bu, sistem etkileşimlerinin verimli bir şekilde yönetilmesine imkân vermektedir. Bu sayede, NFC entegresinin işlevselliği ve iletişim verimliliği maksimize edilmiş olmaktadır.

3.3.3 İvme Ölçer ve Darbe Tespiti

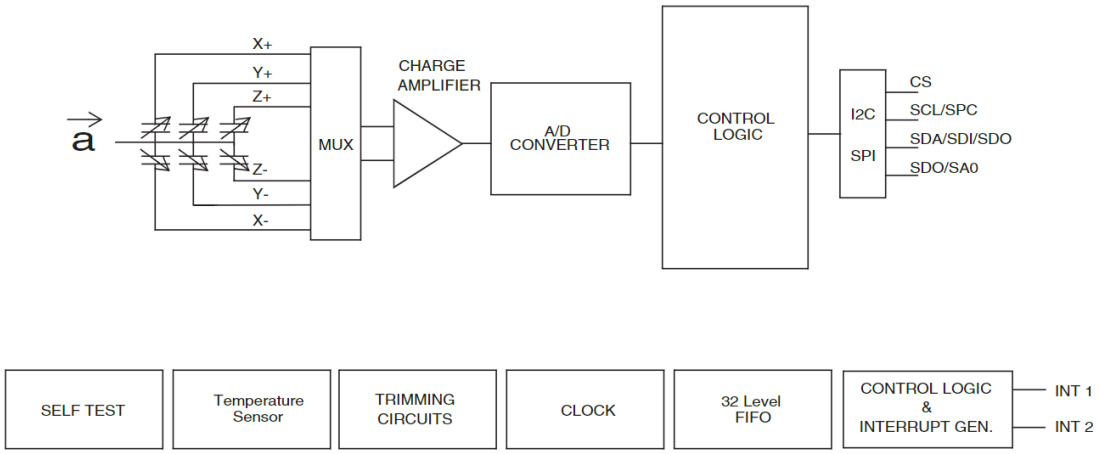
Titreşim, darbe veya düşme gibi durumları algılamak için LIS2DH12 algılayıcısı, ultra düşük güç tüketimi ve yüksek performans özellikleriyle dikkat çeken 3 eksenli bir "femto" ivmeölçeri kullanılmasına karar verilmiştir. Bu ivme ölçerin önemli özelliklerine Tablo 3.2’de yer verilmiştir.

Tablo 3.2 LIS2DH12 İvme Algılayıcısının Özellikleri [70]

Göstergeler	**Parametreler**
Voltaj besleme aralığı	1.71 V ila 3.6 V
Çalışma sıcaklığı	-40 °C ~ +85 °C
Çıkış arayüzü	I2C/SPI
En düşük güç tüketimi	2 μA
İsteğe bağlı tam ölçekli aralık	±2g/±4g/±8g/±16g
Çözünürlük	1-192 mg/digit
Bağımsız programlanabilir kesme sayısı	2

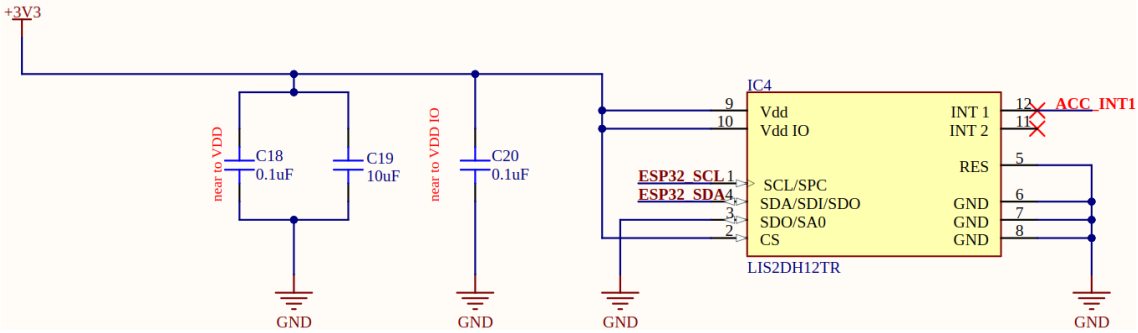
Bu algılayıcı daha fazla gömülü sistem uygulamasına uyum sağlamak için geniş bir çalışma voltajına, endüstri standartlarını karşılayan bir çalışma sıcaklığı aralığına, 2 μA kadar düşük bir güç tüketimine, 1 mg/digit'e kadar çözünürlüğe ve mikrodenetleyici ünitesi (MCU) iletişimi için I2C/SPI arayüzlerine sahiptir. Bunlar arasında, algılayıcının iki farklı veri birleştirme durumunu aktif olarak MCU'ya raporlamasına olanak tanıyan ve böylece MCU'nun ek algılayıcı bilgileri edinmesini kolaylaştıran, algılayıcının iki bağımsız programlanabilir kesme arayüzü bulunmaktadır [56].

LIS2DH12 algılayıcısının blok diyagramı, X, Y ve Z eksenlerindeki ivmeleri algılamak için girişlere, bu sinyalleri dijital verilere dönüştüren bir Analog-Dijital (A/D) dönüştürücüye ve Seri Çevresel Arayüz (SPI) ve I2C gibi iletişim arayüzlerine sahip kontrol mantığına işaret etmektedir. Ayrıca, algılayıcıda kendini test etme ve sıcaklık algılayıcı ayar devreleri, veri yönetimi için 32 seviyeli ilk giren ilk çıkar (FIFO) tamponu ve belirli koşullara göre uyarı tetikleyebilen bir kesme üreteci bulunmaktadır. Bu özellikler, algılayıcının hareket algılama, yönlendirme takibi ve darbe izleme gibi uygulamalarda nasıl işlediğini anlamak için kritik öneme sahiptir. Algılayıcının blok diyagramı Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 LIS2DH12 İvme Algılayıcısının Blok Diyagramı [71]

Seçilen LIS2DH12TR ivme ölçer algılayıcısı sayesinde kargo kutusun da oluşabilecek darbe tespit edilebilecektir. Algılayıcı yapılan konfigürasyonlar ile bir darbe oluştuğunda kesme oluşturmaktadır. Bu sebeple çok düşük güç tüketimine sahiptir.



Şekil 3.6 LIS2DH12TR İvme Algılayıcısının Bağlantı Şeması

Şekil 3.6'da ivme ölçerin ESP32 ile olan bağlantı şeması gösterilmektedir. İvme ölçer, ESP32'ye güç sağlamak için Drenaj Gerilimi (Vdd) ve Giriş/Çıkış için Gerilim (Vdd IO) pinlerine bağlıdır. Bu pinler, entegrenin işlemci ve giriş/çıkış işlevleri için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Vdd genellikle entegrenin iç devrelerini, Vdd IO ise giriş/çıkış hatlarını çalıştırmak için kullanılmaktadır. Besleme voltajını stabilize etmek ve elektriksel gürültüyü azaltmak için üç adet kapasitör (C18, C19 ve C20) devreye dâhil edilmiştir. C18 ve C20'nin düşük kapasite değerleri, yüksek frekanslı gürültüleri azaltırken, C19'un daha yüksek kapasitesi, düşük frekanslı dalgalanmaları dengelemektedir. Bu kapasitörler, entegrenin hassas ölçüm yapmasını sağlamak için güç hattındaki potansiyel

dalgalanmaları minimize etmektedir.

ESP32, algılayıcının SCL ve SDA pinleri ile I2C haberleşme protokolü üzerinden iletişim kurmaktadır. Bu protokol, mikrodenetleyici ve algılayıcı arasında seri veri alışverişi sağlamakta ve sistemde birden fazla algılayıcı bulunması durumunda adresleme yaparak iletişim ağını genişletmeye olanak vermektedir. INT1 ve INT2 pinleri, ivme ölçer tarafından belirli bir hareket veya darbe algılandığında ESP32'ye kesme sinyali göndermektedir. Bu kesme mekanizması sayesinde mikrodenetleyici, anlık olarak algılayıcılardan gelen verilere tepki vererek, gerekli işlemleri zamanında gerçekleştirebilmektedir.

Tezde, SparkFun LIS2DH12 Arduino Kütüphanesi kullanılmaktadır, bu kütüphane ivme ölçer ile etkileşim kurmak için zengin bir API seti sunmaktadır. Öncelikle, kütüphanenin init fonksiyonu ile algılayıcı başlatılmış ve temel ayarlar yapılmıştır. Bu işlem, algılayıcının çalışmaya hazır hale gelmesi sağlanmıştır ve ilk veri toplama işlemleri için gerekli zemini hazırlanmıştır.

Ardından, tap detection özelliği konfigüre edilmiştir. Bu, algılayıcının darbeleri algılamasını sağlayan bir özelliktir. Tap detection için eşik değer, yani darbe algılama hassasiyeti, mobil uygulama üzerinden dinamik olarak ayarlanabilmektedir. Bu esneklikle, farklı kullanım senaryoları ve ortamlar için ideal bir ayarlama imkânı tanınmıştır.

Agılayıcı, ayarlanan eşik değeri üzerinde bir darbe algıladığında, bir kesme (interrupt) sinyali üretmektedir. Bu kesme, ESP32 mikrodenetleyici tarafından algılanır ve yazılım tarafından ilgili işlemler tetiklenmiştir. Kesme anında oluşan zaman damgası ve tap detection olayı, kayıt altına alınmıştır. Bu bilgiler, mobil uygulamaya aktarılırken kullanılmıştır.

3.3.4 Mikrofon ve Ses Şiddeti Ölçümü

Ortamdaki sesin şiddetini ölçmek için SPH0645LM4H-B dijital mikrofonu kullanılmasına karar verilmiştir. Bu mikrofonu diğer mikrofonlardan ayıran en önemli özellikleri, düşük güç tüketimi (tipik olarak 600μA) ve yüksek sinyal-gürültü oranı (SNR) değeri olan 65dB(A) olmasıdır. Çoklu performans modları (uyku, düşük güç, standart mod), düşük güçlü, yüksek SNR algılama moduna girerek sesle tetiklenen uygulamaları

optimize etmektedir [72]. Bu mikrofonun önemli özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

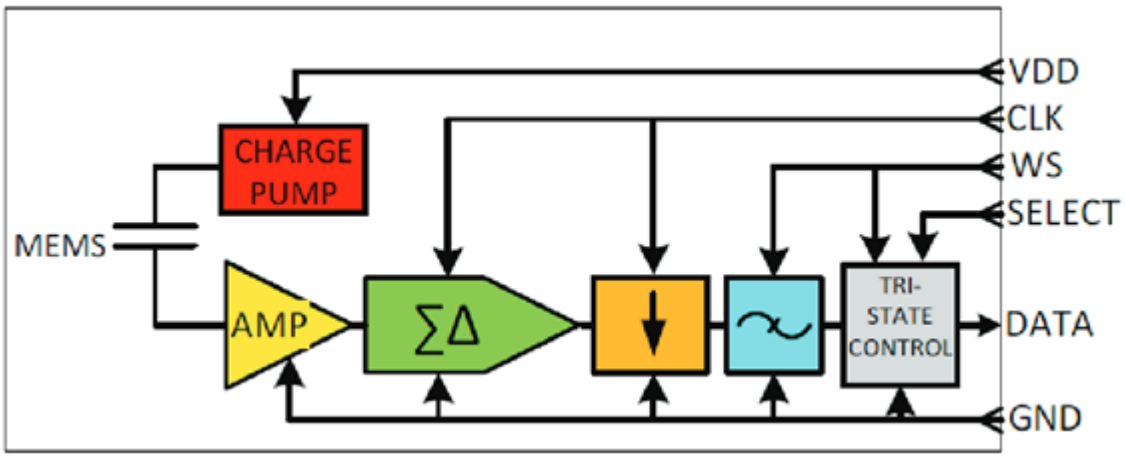
Tablo 3.3 SPH0645LM4H-B Mikrofonunun Özellikleri [73]

Göstergeler	**Parametreler**
Tip	Mini boyutlu, düşük güç tüketimli, alt portlu mikrofon, I2S dijital çıkışlı
Çalışma gerilimi	1.8V
SNR	65dB(A)
Akım Tüketimi	Tipik 600µA, Uyku modunda <1kHz 3µA
Çıkış Arabirimi	I2S Çıkışı: Doğrudan mikroişlemcilere bağlanabilir
Çalışma Modları	Çoklu modlar: standart >1MHz, uyku <1kHz
Çift Mikrofon Desteği	Var
Frekans Tepkisi	Düz Frekans Tepkisi
Kutup Deseni	Yönsüz

SPH0645LM4H-B mikrofonu, I2S dijital çıkışa sahip ve mini olmasıyla dikkat çekmektedir. Mikrofonun doğrudan mikroişlemcilere bağlanabilen I2S çıkışı, ek ses kodeği ihtiyacını ortadan kaldırarak sistem entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Yüksek ses kalitesi ve düşük güç tüketimi, sesle ilgili uygulamalarımızda verimliliği ve performansı maksimize etmeye yardımcı olması tercih edilmesinin ana sebepleridir. Mikrofonun küçük boyutu ve RF kalkanlaması da karmaşık elektronik ortamlarda kullanım için uygunluğunu artırmaktadır.

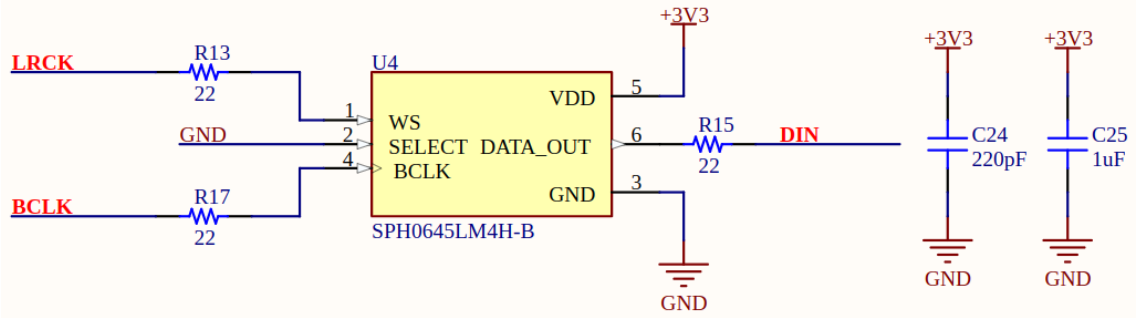
SPH0645LM4H-B mikrofonunun blok diyagramı, bir mikro elektromekanik sistemler (MEMS) alıcı, bir Şarj Pompası, bir Yükselteç, bir Sigma Delta Dönüştürücü, bir Decimator, bir Alçak Geçiş Filtresi ve Üç-durumlu Kontrol biriminden oluşmaktadır. Bu bileşenler, alınan ses sinyalini dijital bir formata dönüştürmek ve I2S arayüzü üzerinden iletimini sağlamak için birlikte çalışmaktadır. Mikrofonun bu karmaşık iç yapısı, yüksek performanslı ses işleme ve verimli veri iletimini mümkün kılmaktadır. Mikrofonun blok

diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 SPH0645LM4H-B Mikrofonunun Blok Diyagramı [73]

Seçilen SPH0645 mikrofon modülü sayesinde ortamdaki ses şiddeti ölçülmektedir. Bu sayede içeriğinde akustik enstrümanlar, laboratuvar ekipmanları, elektronik cihazlar, veri depolama cihazları ve optik aletler gibi ürünler bulunduğu kargoların hasar almasının önüne geçebilmektedir.



Şekil 3.8 SPH0645LM Mikrofonunun Bağlantı Şeması

Şekil 3.8'de mikrofon modülünün bağlantı şeması gösterilmektedir. ESP32 mikrodenetleyiciye bağlı dijital bir mikrofon modülü görülmektedir. Şematikte görünen SPH0645LM4H-B, I2S protokolü üzerinden yüksek kaliteli ses verilerini dijital olarak aktarabilen düşük güç tüketimine sahip bir mikrofondur.

Şematikte, mikrofon modülünün güç beslemesi VDD pininden sağlanmakta ve güç kaynağı olarak +3V3 kullanılmaktadır. Modülün toprak bağlantısı GND pininden gerçekleştirilmekte olup, ortak referans potansiyeli oluşturmaktadır.

Ses verisinin zamanlaması ve senkronizasyonu için I2S protokolünün gerektirdiği üç ana sinyal hattı bulunmaktadır: Word Select (WS), Bit Clock (BCLK) ve Data In (DIN). WS, mikrofonun hangi kanalın (sol veya sağ) aktif olduğunu belirlemek için kullanılmıştır. BCLK, ses verisinin bit düzeyinde ne zaman okunacağını ve yazılacağını kontrol etmektedir. DIN ise mikrofonun ürettiği dijital ses verilerini ESP32'ye iletmek için kullanılmıştır.

WS ve BCLK hatlarına bağlı olan R13 ve R17 dirençleri, sinyal bütünlüğünü korumak ve hat üzerindeki gürültüyü azaltmak için bulunmaktadır. DIN hattı üzerindeki R15 direnci ise benzer bir işlev görerek, veri hattının empedans eşleşmesini sağlamaktadır.

Ayrıca, güç hattındaki gürültüyü azaltmak ve besleme voltajını düzeltmek için C24 ve C25 gibi filtreleme kapasitörleri devreye dâhil edilmiştir. Bu devre tasarımında, ESP32 kullanılarak ses seviyesinin algılanması ve analiz edilmesi için temel bir yapı sağlanılmıştır.

Adafruit I2S MEMS Mikrofon breakout kullanılarak ESP32 ile ses şiddetini ölçmek için Arduino IDE'de I2S kütüphanesinden yararlanılmıştır. Oluşturulan algoritma önce mikrofonu I2S protokolü üzerinden belirli bir örnekleme hızı ve bit derinliği ile başlatmıştır. Ardından ses örnekleri okunmuş ve ses dalgalarının şiddetini anlamlandırmıştır. Sonunda mobil uygulama aracılığıyla belirlenen ses şiddeti eşik değerini geçip geçilmediği kontrol edilmiştir.

3.3.5 Optik Ortam Algılayıcısı ve Işık Şiddeti Ölçümü

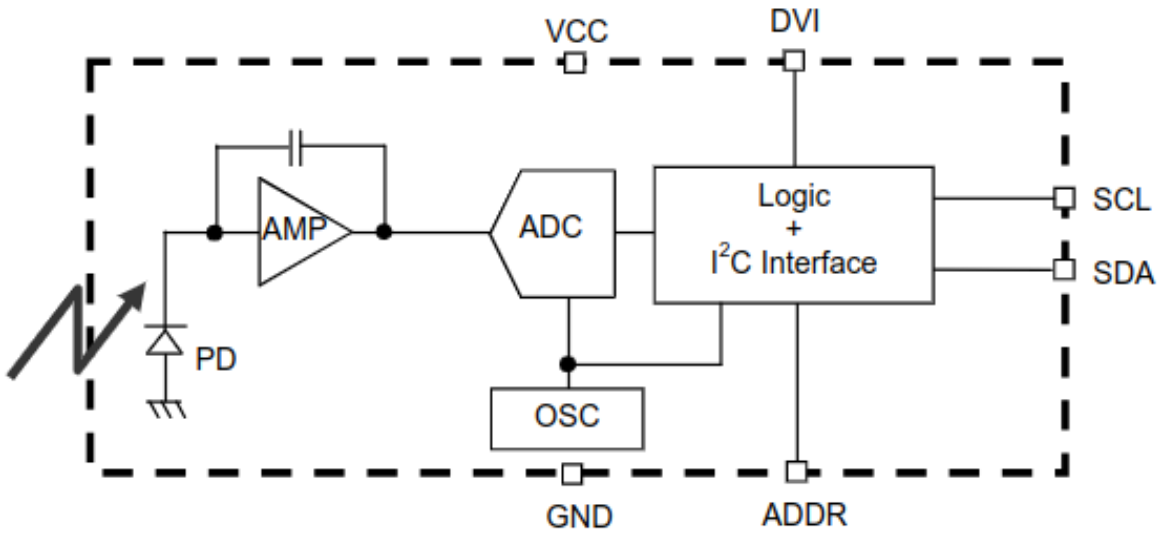
BH1750FVI, I2C bus arayüzüne sahip dijital bir ortam ışığı algılayıcısıdır ve yüksek çözünürlüğüne (1'den 65535 lux'a) sahiptir [74]. Dolayısıyla hassas ortam ışığı algılama imkânı sunmaktadır.

Düşük güç tüketimi ve güçlü ışık gürültüsü reddetme yeteneği, çeşitli uygulamalarda kullanışlılığını artırmaktadır. Diğer algılayıcılara kıyasla, dış parçalara ihtiyaç duymamakta, minimal ışık kaynağı bağımlılığı sunmakta ve ayarlanabilir ölçüm sonuçları ile esneklik ve güvenilirlik sağlamaktadır. Spektral yanıtı insan gözüne yakın olduğu için, kullanıcı arayüzlerinde görsel konfor sağlama konusunda kritik bir avantaj sunmaktadır [75]. Bu algılayıcının önemli özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 BH1750FVI Optik Ortam Algılayıcısının Özellikleri [76]

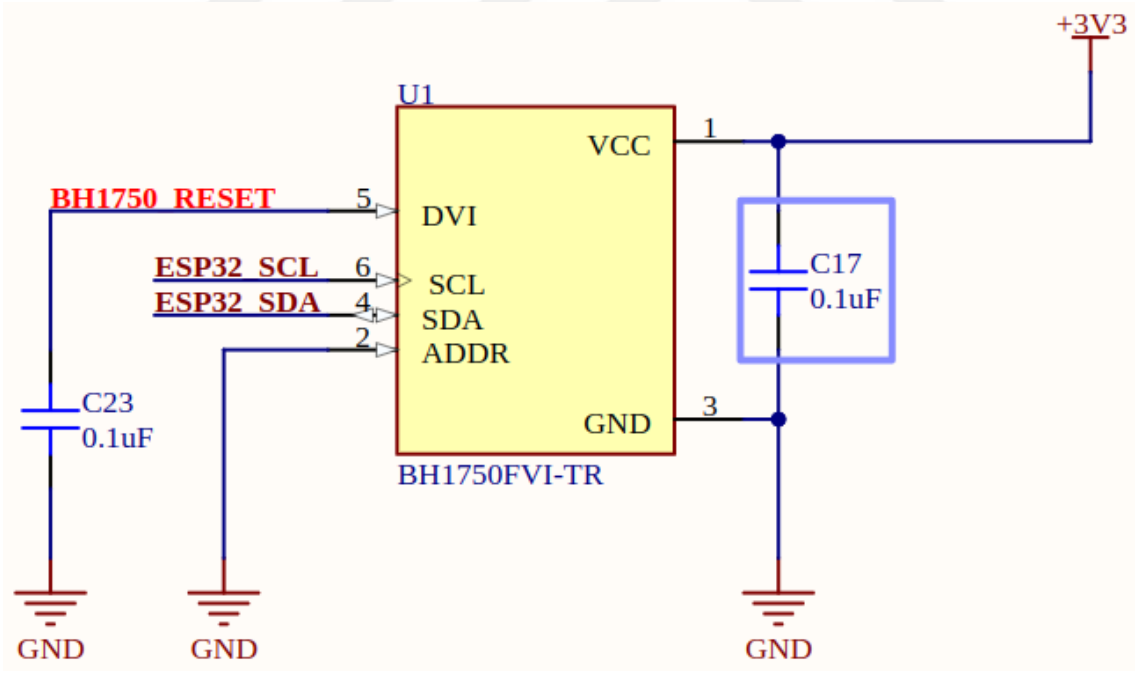
Göstergeler	**Parametreler**
Arayüz	I2C
Çözünürlük	400-700nm
Güç Tüketimi	Düşük
Ölçüm Aralığı	Geniş
Çalışma Voltajı	2.4V - 3.6V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40°C - 85°C
Veri Formatı	16-bit dijital çıktı
Arayüz	I2C

BH1750FVI algılayıcısının blok diyagramı Şekil 3.9'de gösterilmiştir. Algılayıcının çalışma prensibi, ışık ölçüm sürecini bir fotodiyot (PD) ile başlatarak insan gözünün hassasiyetine yakın bir duyarlılık sağlamaktadır. Bu sinyal, bir operasyonel amplifikatör ile güçlendirilir ve ardından analogdan 16-bit dijital sinyale (ADC) dönüştürülmektedir. Süreç, iç osilatörü (CLK olarak görev yapar) kullanan I2C mantığı ile sona ermektedir. Bu işlemin süresi, istenilen okuma doğruluğuna bağlıdır; 0.5lx, 1 lx veya 4 lx doğruluk sağlayan üç olasılık bulunmaktadır ve süre sırasıyla 120ms, 120ms ve 16ms'dir. Uzun süreli ölçümler sayesinde, bazı gürültüler (50Hz/60Hz gürültüsü dahil) ortadan kaldırılmış, böylece doğru sonuçlar elde edilmiştir. Lux (lx), aydınlatma ölçümü için uluslararası birimler sistemi (SI) birimidir ve bir lümenin metrekare başına düşen miktarıdır. Candella (sembol: cd) ise lümenin steradian başına düşen miktarı olarak tanımlanır (cd = lm/sr). Güneş ışığının doğrudan verdiği ışıkla karşılık gelen ölçümlerin çözünürlüğü 10k lux'a kadar artırılabilmektedir [77].



Şekil 3.9 BH1750FVI-TR Optik Ortam Algılayıcısının Blok Diyagramı [78]

Seçilen BH1750 optik ortam algılayıcısı ile ışık şiddeti ölçümü sağlanmıştır. Bu algılayıcı, ölçtüğü ışık miktarını dijital veri olarak sunmaktadır, bu sayede mikrodenetleyici ile kolayca entegre edilmiştir.



Şekil 3.10 BH1750 Optik Ortam Algılayıcısının Bağlantı Şeması

Şekil 3.10'da görülen, ESP32 mikrodenetleyici ile BH1750 ortam ışık şiddeti algılayıcısı arasındaki bağlantıyı göstermektedir. ESP32'nin SCL ve SDA pinleri, I2C protokolü

kullanarak algılayıcı ile haberleşmektedir. Algılayıcının VCC pini, güç kaynağı olarak +3V3 ile beslenirken, GND pini devrenin toprak noktasına bağlanmaktadır. C23 ve C17 kapasitörleri ise devrenin güç hattında yer almaktadır. Sinyal bütünlüğünü sağlamak ve güç kaynağındaki gürültüyü filtrelemek için kullanılmaktadır. Bu bağlantı düzeni, ışık şiddeti ölçümlerinin güvenilir ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır.

BH1750 optik ortam ışık şiddeti algılayıcısının kullanımı, 'claws/BH1750' Arduino kütüphanesi ile kolaylaştırılmıştır. Bu kütüphane, ESP32 mikrodenetleyici üzerinde çalışan yazılımı aracılığıyla, ışığın gücünü lüks cinsinden ölçme yeteneği sağlamaktadır. Kütüphane, I2C protokolü kullanarak algılayıcıdan veri okuma işlevselliği içermektedir ve geliştiricilere ışık şiddeti verilerini basit komutlarla alabilme konforunu sunmaktadır. Algoritma bu algılayıcıyı kullanarak ortamdaki ışık şiddetini ölçmekte ve mobil uygulama tarafından belirlenen eşik değerlerin dışında olup olmadığını kontrol etmektedir. Eşik değer dışında olduğu durumlarda bilgiler hafızaya kaydedilmektedir.

3.3.6 Hava Kalite Algılayıcısı ve Ölçümü

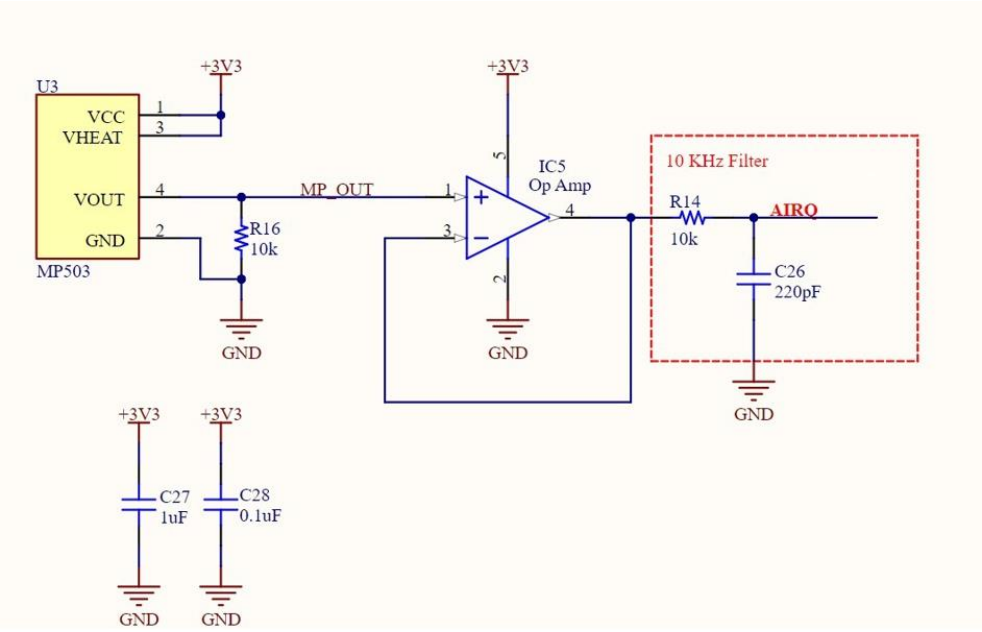
MP503, hava içindeki karbon monoksit (CO) gazını algılamak için sıklıkla kullanılan bir yarı iletken gaz algılayıcısıdır [79]. Yüksek alkol, duman, izo-bütan ve metanal hassasiyeti; hızlı tepki ve toparlanma süresi; düşük güç tüketimi; basit algılama devresi; iyi stabilite ve uzun ömür gibi özelliklere sahiptir. Gaz konsantrasyonundaki değişiklikler, algılayıcının iletkenliğindeki değişikliklerle doğrudan ilişkilidir [80].

Bu algılayıcı, çok katmanlı kalın film teknolojisi ile üretilmektedir ve hedef gazın konsantrasyonuna bağlı olarak değişen bir iletkenliğe sahiptir. Isıtıcı ve metal oksit yarı iletken malzemesi, algılayıcının gazlara duyarlılığını sağlamaktadır. Gaz konsantrasyonundaki artış, algılayıcının iletkenliğini artırmaktadır, bu da gaz konsantrasyonuna karşılık gelen bir çıkış sinyaline dönüştürülebilmektedir. Bu algılayıcılar, alkol, duman, izo-bütan ve metanal gibi gazlara yüksek duyarlılık göstermektedir ve hızlı tepki ve toparlanma süresine sahiptir. Algılayıcının önemli özellikleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 MP503 Hava Kalite Algılayıcısının Özellikleri [80]

Göstergeler	**Parametreler**
Hedef Gazlar	CO, Alkol, Duman, İzo-bütan, Metanal
Çalışma Voltajı	5V DC
Çalışma Akımı	90 mA
Algılama Aralığı	10 ppm'den 500 ppm'e kadar CO
Çalışma Sıcaklığı	-10°C ila 50°C
Nem Aralığı	%95
Önceden Isıtma Süresi	Yaklaşık 1 dakika
Çıkış Voltajı Aralığı	Analog voltaj, gaz konsantrasyonuna orantılı

Seçilen MP503 gaz algılayıcısı ile hava kalitesi izlenilmesi amaçlanmaktadır. MP503 gaz algılayıcısı kullanılarak yapılan hava kalitesi ölçümü, çeşitli zararlı gazların seviyelerini belirleme yeteneği ile çevresel veri toplamanın önemli bir parçasıdır. ESP32 mikrodenetleyici ile entegre edildiğinde, MP503'ten gelen verileri toplayabilmekte, analiz edebilmekte ve gerçek zamanlı olarak hava kalitesi hakkında bilgi sağlayabilmektedir.



Şekil 3.11 MP503 Hava Kalite Algılayıcısının Bağlantı Şeması

Şekil 3.11’de MP503 ile ESP32’nin bağlantı şeması gösterilmektedir. MP503 gaz kalite algılayıcısının, gaz seviyelerini ölçmek için bir operasyonel amplifikatör (Opamp) ile nasıl entegre edildiğini göstermektedir. Algılayıcı, VCC ve GND pinleri aracılığıyla +3V3 voltaj ile beslenmektedir. Isıtma için Gerilim (VHEAT) pini, algılayıcının ısıtıcı elemanını kontrol etmekte ve doğru çalışması için gerekli olan sıcaklığa ulaşmasını sağlamaktadır. Algılayıcının çıkış pininden (VOUT) gelen gaz konsantrasyonuna bağlı voltaj, R16 direnci ile bir voltaj bölücü olarak kullanılmaktadır ve bu sinyal Opamp'ın pozitif girişine gönderilmektedir. Opamp, sinyali güçlendirir ve sinyal, filtrelenmek üzere Opamp'ın çıkışından alınmaktadır. Filtre devresi, gaz algılayıcısının sinyalinden istenmeyen yüksek frekanslı gürültüyü azaltmak için tasarlanmıştır ve çıkış, ESP32'ye okunmak üzere gönderilmiştir. C27 ve C28 kapasitörleri ile, besleme hattı üzerindeki gürültüyü azaltmaya yardımcı olunmuştur. Bu devre, hava kalitesini izlemek ve ESP32 üzerinde işlenmek üzere doğru veri sağlamak için özenle tasarlanmıştır.

Kullanılan seeed-studio/Grove - Air quality algılayıcı kütüphanesi, ESP32 mikroişlemci ile Grove hava kalite algılayıcısından alınan verilerin okunmasını ve işlenmesi kolaylaştırılmıştır. Bu kütüphane, algılayıcının donanımsal karmaşıklıklarını soyutlar ve hava kalitesi verilerini toplamak için basit fonksiyon çağrıları sağlamaktadır. Algılayıcı, çevredeki zararlı gazların yoğunluğunu algılayarak hava kalitesi hakkında anlık bilgi sunmaktadır ve bu bilgi mikroişlemci tarafından değerlendirilip uygun çıktılar üretilmesine olanak tanımaktadır.

3.3.7 Sesli İkaz Modülü ve Kullanımı

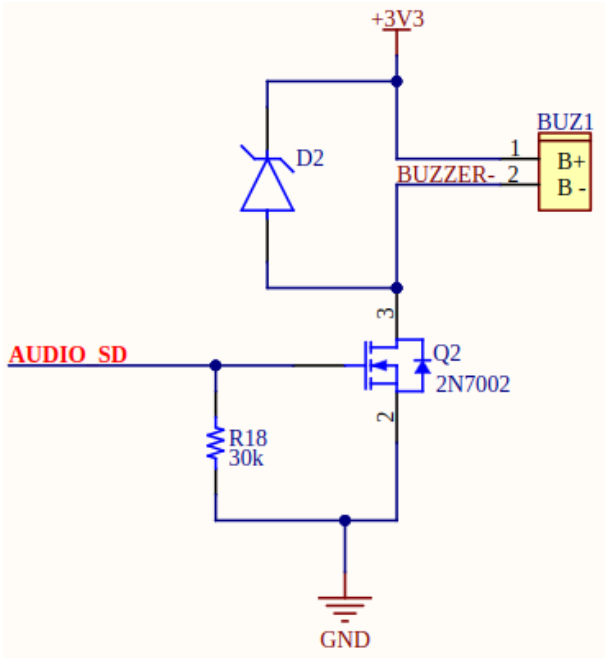
Jiangsu Huawha Electronics tarafından üretilen QMB-09B-03 modelidir. Bu buzzer, 3 V nominal voltajla çalışmaktadır ve 1.5 ile 5V arasında bir işletim voltajına sahiptir.

En dikkate değer özelliklerinden biri, minimum 80dB ses basıncı seviyesi sunması olmaktadır, bu da yüksek ses çıkışı gerektiren uygulamamız için idealdir. 2700±300HZ osilasyon frekansı ile oldukça belirgin bir ses tonu üretilmektedir, bu da belirli frekans aralıklarında duyulabilirliği artırmaktadır. Buzzerin genel özelliklerinden Tablo 3.6’da bahsedilmiştir.

Tablo 3.6 Buzzer QMB-09B-03 Genel Özellikleri [81]

Göstergeler	**Parametreler**
Nominal Gerilim	3.0 V
Çalışma Gerilimi	1.5~5V
Ses Basıncı Seviyesi	Min 80dB
Akım	Max 50mA
Osilasyon Frekansı	2700±300HZ
Çalışma Sıcaklığı	-20～+70℃

Alarm durumlarında kullanıcıları uyarmak için seçilen QMB-09B-03 ses ikaz modülü, çeşitlendirilmiş melodi seçenekleriyle dikkat çekici ikazlar sunmaktadır. Modül, özelleştirilebilen tonlarla gelişmiş bir uyarı sistemini temsil etmektedir ve bu sayede farklı uyarı gereksinimlerine uyum sağlayabilmektedir. Kullanıcıya sesli bildirimde bulunarak, potansiyel tehlikeler ya da dikkat gerektiren durumlar hakkında hızlı bir şekilde bilgilendirme yapmaktadır. Modülün esnekliği ile, uyarı sinyallerinin ortama ve duruma göre özelleştirilmesine olanak tanıyarak, etkili bir iletişim aracı olarak işlev görmektedir.



Şekil 3.12 Buzzer Bağlantı Şeması

Şekil 3.12’de gösterilen devre, bir ses ikaz modülünün (buzzer) kontrol edilmesi için tasarlanmıştır. Bu devrede AUDIO_SD sinyali, transistörü kontrol etmek için kullanılmıştır; böylece sinyal aktif olduğunda buzzer'a akım geçer ve ses üretmektedir. Bu basit devre tasarımı, sesli uyarı ihtiyaçları için mikrodenetleyici üzerinden kolayca kontrol edilebilmektedir.

Projede kullanılan 'arduinogetstarted/ezBuzzer' kütüphanesi ile, alarm durumlarında sesli ikaz yapılması sağlanmıştır. Kütüphane, buzzer'ı farklı frekanslarda ve sürelerde ses çıkarmak için programlamak için fonksiyonlar sağlamaktadır. Kütüphaneyle, buzzer'ın ne zaman ve ne kadar süreyle aktif olacağını kolayca ayarlayabilmektedir. Bu kütüphane kullanılarak alarm durumlarında ikaz sesi oluşturulmuştur.

3.3.8 Sıcaklık, Nem ve Basınç Algılayıcısı ve Ölçümü

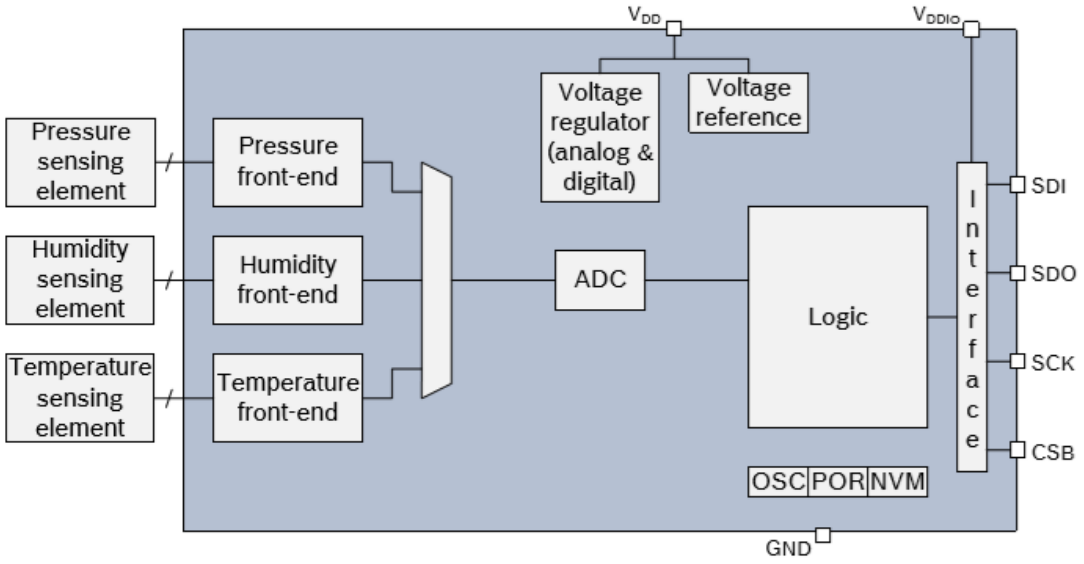
BME280 algılayıcısı Bosch Sensortec tarafından geliştirilen, nem, basınç ve sıcaklık ölçüm yeteneklerini bir araya getiren gelişmiş bir çevresel algılayıcıdır.

Bu seçim, kompakt boyutu, düşük güç tüketimi ve yüksek doğruluğu ile ideal kılmaktadır. -40 ile +85°C sıcaklık, 0 ile 100% bağıl nem ve 300 ile 1100 hPa basınç aralıklarında hassas ölçümler yapabilme yeteneği, çeşitli çevresel koşullarda güvenilir veri sağlamaktadır. Uyku modunda sadece 0.1 µA gibi düşük bir enerji tüketimi ile enerji verimliliğini maksimize ederken, I2C ve SPI gibi esnek iletişim seçenekleri sayesinde farklı mikrokontrolörlerle kolay entegrasyon sunmaktadır. Bu özellikler, tezde kapsamlı ve enerji verimli çevresel izleme uygulamalarını mümkün kılmaktadır [82]. Algılayıcısının genel özellikleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Genel Özellikleri [83]

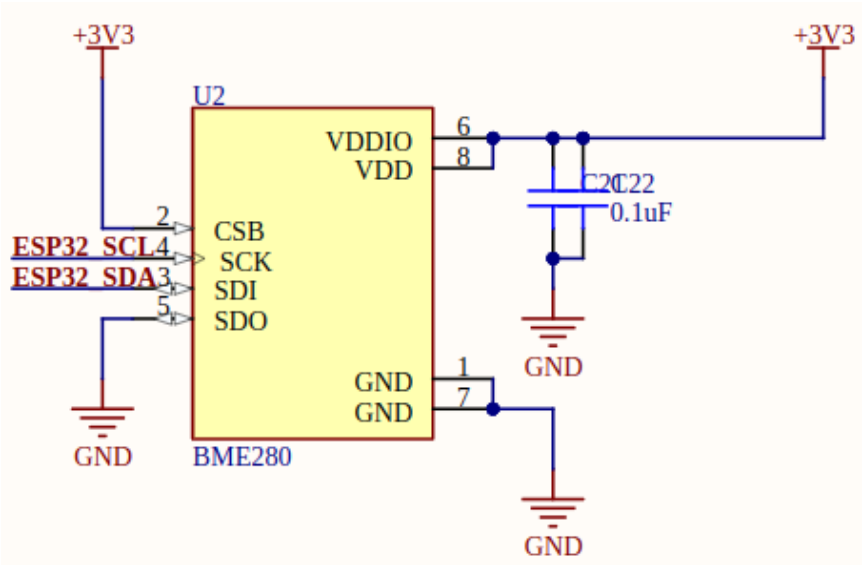
Göstergeler	**Parametreler**
Besleme Gerilimi	1.71 - 3.6 V
Uyku Akımı	0.1 - 0.3 µA
Bekleme Akımı	0.2 - 0.5 µA
Nem Ölçümü Sırasındaki Akım	2.9 µA
Sıcaklık Ölçümü Sırasındaki Akım	0.8 µA
Basınç Ölçümü Sırasındaki Akım	0.3 µA
Maksimum Çalışma Akımı	1.12 mA
Arayüz	I²C, SPI
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ile +85 °C
Veri Yenileme Hızı	1 Hz

BME280 algılayıcısının blok diyagramı Şekil 3.13'de, çeşitli algılayıcı elemanları ve bu elemanlardan elde edilen sinyallerin işlenme süreci gösterilmiştir. Diyagram, basınç, nem ve sıcaklık ölçüm elemanlarını, bu elemanlara ait ön uçları (front-ends), ADC, voltaj regülatörünü ve dijital işlemcileri içermektedir. Çalışma prensibi, ölçüm elemanlarından elde edilen analog sinyallerin, ilgili ön uçlar aracılığıyla işlenip, ADC ile dijital verilere dönüştürülmesine dayanmaktadır. Dijital sinyaller, sıcaklık, basınç ve nem değerlerinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu süreç, algılayıcının hassas ve doğru çevresel veri toplamasını sağlamaktadır. Voltaj regülatörü, algılayıcının hem analog hem de dijital bileşenlerini beslerken, entegre devre içindeki mantık, veri işleme ve algılayıcı modlarının yönetimini üstlenmektedir. Son olarak, I2C ve SPI gibi arayüzler, algılayıcının, mikrokontrolörlerle ve diğer harici devrelerle veri alışverişini yapmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 3.13 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Blok Diyagramı [84]

BME280 algılayıcısı kullanarak yapılan sıcaklık, nem ve basınç ölçümleri, kargoların korunması gereken kritik çevresel koşullar altında nasıl taşındığını izlemek için hayati öneme sahiptir. Bu çok işlevli algılayıcı, kargonun taşıma sürecinde maruz kaldığı çevresel değişiklikleri hassas bir şekilde kaydederek, kritik sınırların aşılmadığından emin olunmasını sağlamaktadır. Düzenli aralıklarla yapılan bu ölçümler sayesinde, kargo içeriğinin stabil bir ortamda seyahat ettiği garanti altına alınmaktadır ve bu da özellikle sıcaklık ve neme duyarlı malzemelerin kalitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.14 BME280 Sıcaklık-Nem-Basınç Algılayıcısının Bağlantı Şeması

Şekil 3.14’de BME280 çevresel algılayıcısının ESP32 mikroişlemciye bağlanışını göstermektedir. Algılayıcı, I2C ya da SPI protokolleri üzerinden ESP32 ile iletişim kurabilmektedir. Algılayıcının VDD pinine güç sağlamak için +3V3 voltaj uygulanırken, VDDIO pinine de ESP32'den güç verilmiştir. C22 kapasitörü güç hattında gürültüyü azaltmak için yer almaktadır. Adafruit BME280 kütüphanesi aracılığıyla ESP32, belirli aralıklarla sıcaklık, nem ve basınç ölçümleri yapmakta ve bu değerler, belirlenen eşiklerin dışına çıktığında bir ikaz sesi oluşturmakta ve bu bilgileri hafızaya kaydetmektedir.

3.3.9 Manyetik Alan Algılayıcısı ve Ölçümü

Hall etkisi algılayıcıları, manyetik alanın varlığını ve yönünü doğrudan algılayabilen, hassas araçlardır [85]. Bu özellik; pozisyon, hız ve manyetik alan ölçümü gibi çeşitli uygulamalarda kullanışlıdır. Tezde ise DRV5053 analog Hall etkisi algılayıcısı kullanılmıştır.

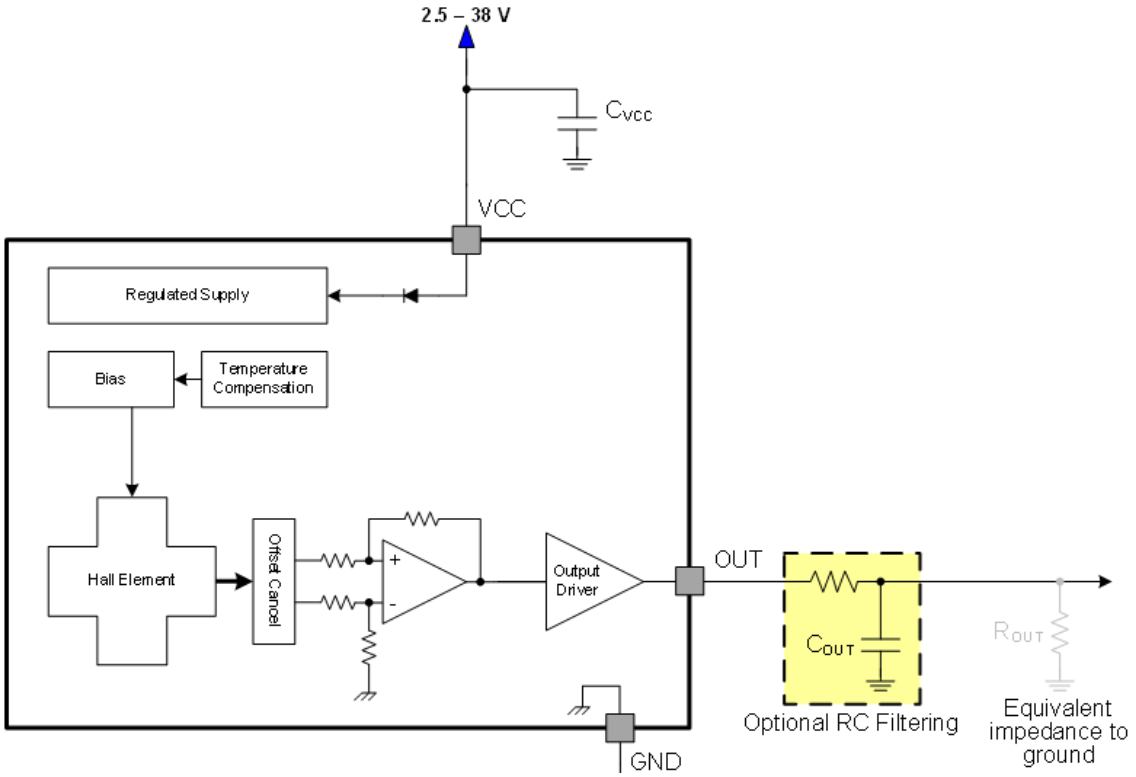
Bu algılayıcının tercih edilmesinin ana sebebi, yüksek hassasiyet seçenekleri ve geniş çalışma sıcaklık aralığında olmasıdır. Bu özellikler, algılayıcıyı hem hassas manyetik alan ölçümleri hem de çeşitli çevresel koşullarda güvenilir kullanım için ideal kılmaktadır. Algılayıcının genel özellikleri Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Genel Özellikleri [86]

Göstergeler	**Parametreler**
Tür	Bipolar
Hassasiyet	-90, -45, -23, -11, 23, 45 V/mT
Doğruluk	%70
Bant Genişliği	20 kHz
Besleme Gerilimi	3.8 V
İşletim Sıcaklık Aralığı	-40 +125 °C

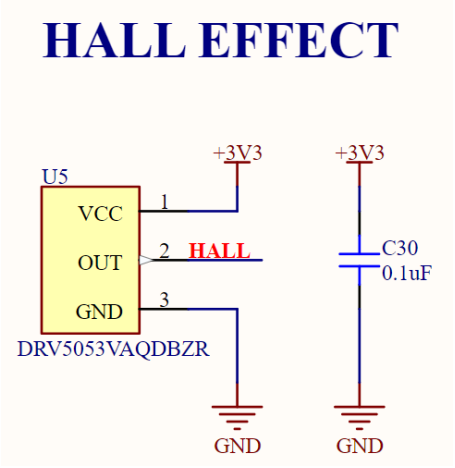
DRV5053 analog Hall etkisi algılayıcısının işlevsel blok diyagramı Şekil 3.15’de verilmiştir. Diyagramda, sabit bir voltaj aralığı (2.5V - 3.8V) sağlayan düzenlenmiş bir besleme kaynağı bulunmaktadır. Bu, Hall elemanının doğru bir şekilde beslenmesini

sağlamaktadır. Hall elemanı, üzerine uygulanan manyetik alanı algılamakta ve bu bilgiyi sıcaklık telafisi ve ofset iptali içeren bir işlem bloğuna iletmektedir. Bu işlemler, algılayıcı çıkışının sıcaklık değişimlerinden etkilenmeden stabil kalmasını sağlamaktadır. Son olarak, çıkış sürücüsü, algılanan manyetik alanın gücüne bağlı olarak lineer bir voltaj çıkışı üretmektedir (0.2V - 1.8V). Bu çıkış, doğrudan manyetik alanın büyüklüğüyle orantılıdır ve algılayıcının bipolar özelliği, hem kuzey hem de güney manyetik kutuplarına yanıt verebilmesini sağlamaktadır [87].



Şekil 3.15 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Blok Diyagramı [88]

DRV5053 manyetik alan algılayıcısı kullanılarak, hassas manyetik alanlara duyarlı kargoların güvenliğini sağlamak amacıyla detaylı manyetik alan şiddeti ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bu ölçümler, kargoların güzergâh boyunca maruz kaldıkları manyetik alanların şiddetini belirlemek için düzenli aralıklarla yapılması planlanmıştır. Algılayıcının yüksek hassasiyeti, manyetik alan değişikliklerinin kesin bir şekilde saptanmasını sağlamakta, bu sayede kargonun taşınma koşullarının önceden belirlenen güvenlik standartlarına uygunluğu sürekli olarak izlenebilir ve kontrol edilebilir olmaktadır.



Şekil 3.16 DRV5053 Manyetik Alan Algılayıcısının Bağlantı Şeması

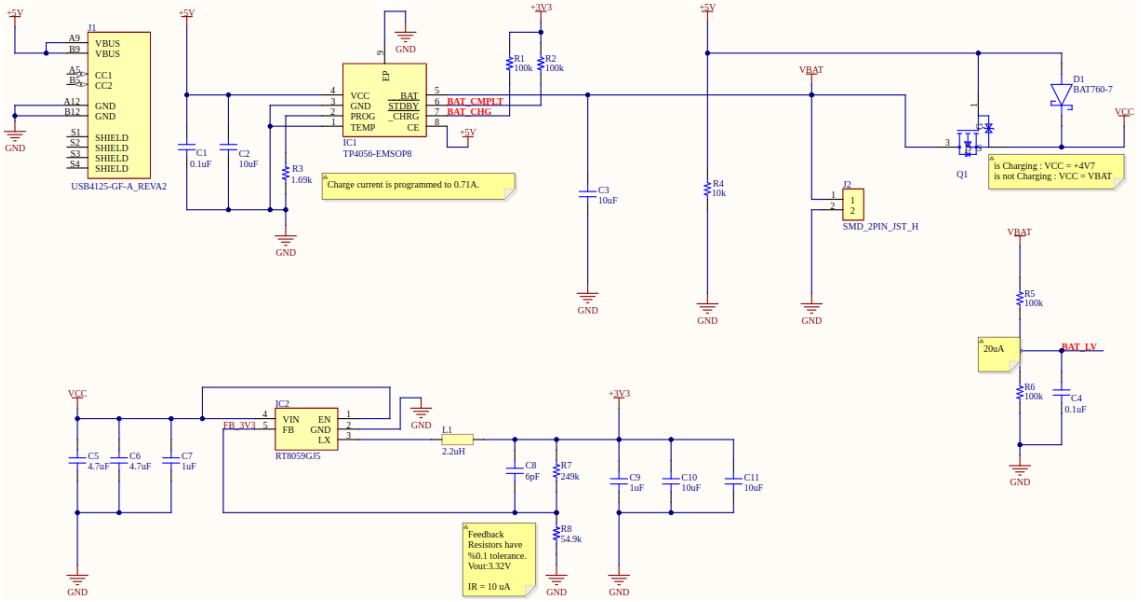
Şekil 3.16'da bağlantı şeması gösterilen DRV5053 manyetik alan algılayıcısı, manyetik alanların şiddetini ölçmek için kullanılan bir Hall etkisi algılayıcısıdır. Algılayıcı, VCC ve GND pinleri aracılığıyla +3V3 voltaj ile beslenmektedir. Algılayıcının çıkış pininden (OUT) elde edilen analog sinyal, manyetik alan şiddetinin bir ölçüsüdür. C30 kapasitörü, besleme hattında oluşabilecek gürültüyü filtrelemek için kullanılmaktadır ve daha temiz bir sinyal alımı sağlamaktadır. Soldered Hall Effect kütüphanesi kullanılarak, bu algılayıcı aracılığıyla elde edilen veriler işlenilmiş ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır.

3.3.10 Şarj Devresi ve Batarya Ölçümü

Bu çalışmanın ana amaçlarından biri, cihazın uzun süreli çalışabilmesini ve dış müdahaleye gerek kalmadan tekrar şarj edilebilmesidir. Bu amaçla, sistem üzerine entegre edilen şarj edilebilir pil, bir adaptör aracılığıyla şarj olacak şekilde tasarlanmıştır. Pilin şarj sürecini yönetmek için bir Batarya Yönetim Sistemi (BMS) geliştirilmiştir. Bu sistemde, TP4056 model şarj kontrol entegresi kullanılmıştır. TP4056 pil koruma modülü, tek hücreli lityum iyon piller için sabit akım ve sabit voltajlı doğrusal şarj cihazıdır [89]. Şarj akımı, entegreye bağlı dirençler aracılığıyla ayarlanabilmektedir. Şarj devresinde, BMS'nin şarj akımı 5V giriş gerilimi ile 0,5 A olarak belirlenmiştir. Enerji depolama bileşeni olarak, 3,7 V ve 1170 mAh kapasiteli bir lityum polimer (Li-Po) pil kullanılmıştır.

ESP32 mikrodenetleyicisinin genel amaçlı giriş/çıkış pinleri (GPIO), pil voltajının

izlenmesinde kullanılmıştır. Bu sayede, cihazın enerji kullanımı hakkında değerli veriler elde edilmiştir. Elde edilen pil durumu verileri, NFC teknolojisi aracılığıyla mobil uygulamaya aktarılmıştır.



Şekil 3.17 Şarj Devresi Bağlantı Şeması

Şekil 3.17'de ESP32 mikrodenetleyiciye bağlı bir şarj devresinin detayları gösterilmiştir. Devre, bir TP4056 mikro Evrensel Seri Veriyolu (USB) şarj ve koruma modülü kullanarak lityum pillerin güvenli bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır. Modül, pilin şarj durumunu gösteren LED göstergeler ve şarj akımını programlayabilme özelliğine sahiptir. Batarya voltajı, bir P-Kanal Metal-Oksit-Yarıiletken Alan Etkili Transistör (p-MOSFET) kullanılarak pil gerilimi (VBAT) ve VCC arasında otomatik olarak anahtarlanır, bu sayede cihaz şarj olurken sistem beslemesini doğrudan USB üzerinden alırken, şarj olmadığında bataryadan almaktadır. Şarj devresi, stabiliteyi artırmak ve gürültüyü azaltmak için birden fazla kondansatörle filtrelenmiştir. Batarya seviyesi izleme ise, ESP32'nin bir analog girişine bağlı bir voltaj bölücü devresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan rlogiacco/Battery Sense kütüphanesi, lityum pillerin şarj seviyesini yüzde olarak tahmin etme işlevselliği sunmaktadır. ESP32 mikrodenetleyici ile entegre edilen bu kütüphane, pil voltajını okumakta ve algoritmik bir yaklaşımla gerçek zamanlı pil yüzdesini hesaplamaktadır. Bu bilgi, sistem kullanıcılarının pilin ne kadar süre daha

dayanabileceği hakkında bilgi edinmesine ve enerji yönetimi stratejilerini buna göre düzenlemesine olanak tanımaktadır. Kütüphane ayrıca, pil ömrünün ve cihazın genel çalışma süresinin uzatılmasına yardımcı olan düşük güç tüketimi yönetimi ile de öne çıkmaktadır.

3.4 Yazılım Geliştirilme ve Kullanılan Programlar

Tez çalışması sürecinde çeşitli araç ve yazılımlardan yararlanılmıştır. ESP32-WROOM-32E mikrokontrollür ünitesinin kodlanmasında, Arduino Tümleşik Geliştirme Ortamı (IDE) yazılım geliştirme platformu tercih edilmiş ve programlama basit C dilinde gerçekleştirilmiştir. PCB (Baskılı Devre Kartı) tasarım sürecinde, ileri düzey özelliklere sahip Altium Designer programından faydalanılmıştır. Mobil uygulama geliştirme kısmında ise Android Studio kullanılarak, Flutter programlama dili ile kodlama yapılmıştır.

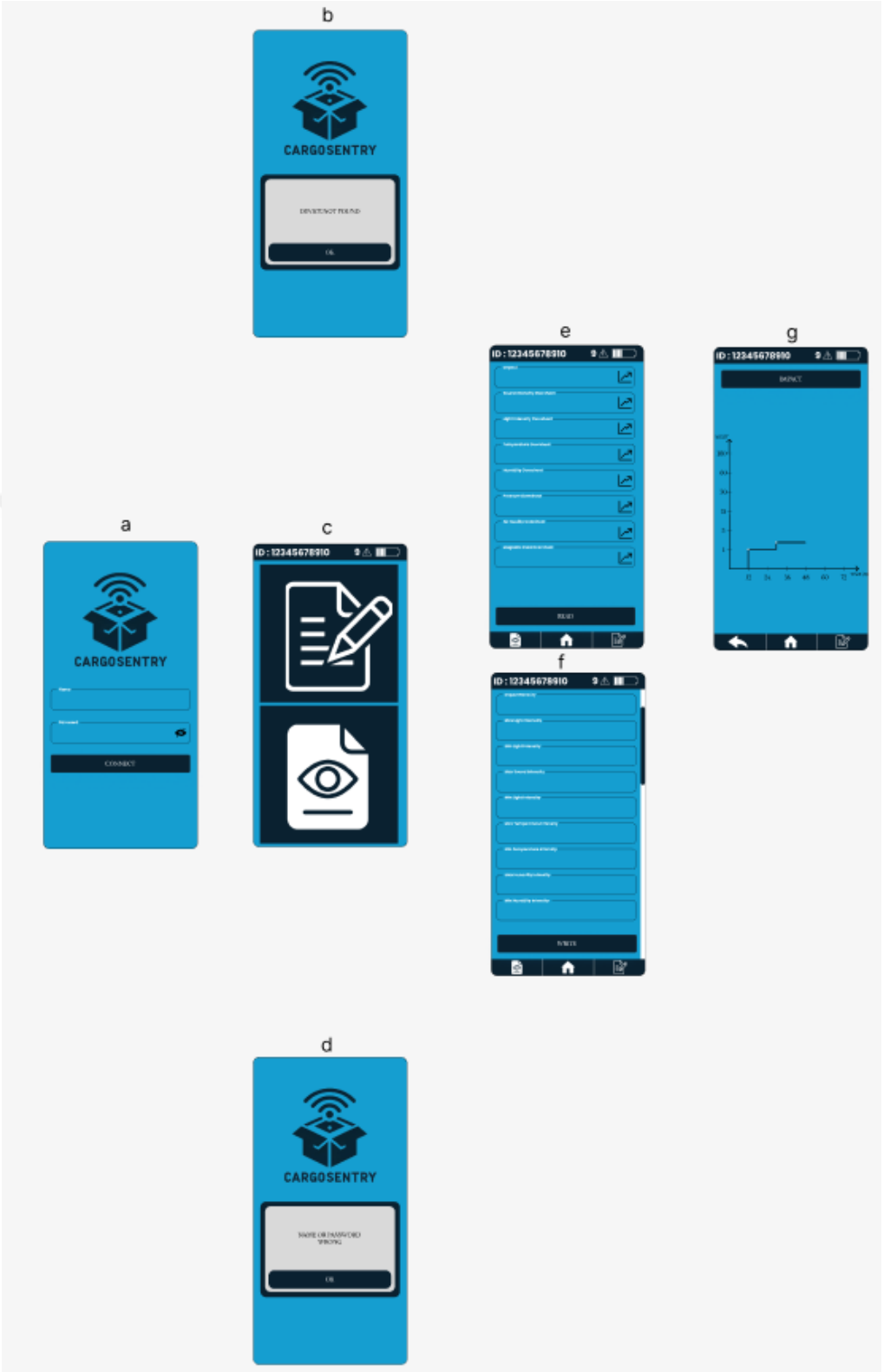
3.4.1 Cihaz Yazılımının Tasarımı ve Geliştirilmesi

Geliştirilen Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi, entegre algılayıcılar ve sofistike yazılım algoritmaları sayesinde kargo sektörüne yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Sistemin merkezinde güçlü işlem kabiliyetine sahip ESP32 mikrodenetleyici bulunurken, bu mikrodenetleyici üzerinden bağlı çeşitli algılayıcılar aracılığıyla gerçek zamanlı veri toplama işlevi görmektedir. Sistem, modüler bir mimariye sahiptir ve GitHub ile GitLab gibi kod paylaşım platformlarından edinilen özelleştirilmiş kütüphanelerle donatılmıştır. Bu kütüphaneler, algılayıcılardan veri okuma ve işleme süreçlerini basitleştiren, geliştirme sürecini hızlandıran ve kodun bakımını kolaylaştıran yapı taşları olarak hizmet eder. Geliştirme sürecinde kullanılan Visual Studio Code ve PlatformIO eklentisi, yazılım geliştirmeyi daha verimli bir hale getirirken, kodun düzenlenmesi ve yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Algılayıcılar haberleşme ve veri işleme algoritmaları, sistem mimarisi akış şemasına uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Bu, tüm bileşenlerin birbiriyle uyum içinde çalışmasını ve sistemin genel performansının optimize edilmesini sağlamaktadır. Kullanılan her algılayıcının bağımsız olarak test edilmesi ve doğrulanması, sistemin güvenilirliğini artırırken, mobil uygulama üzerinden yapılan testler sayesinde kullanıcı deneyimi ve arayüz tasarımı da geliştirilmiştir. Düşük güç tüketimi prensibi, yazılımın her aşamasında dikkate alınmıştır, böylece cihazın enerji

verimliliği optimize edilmiştir. Tüm yazılımın ek olarak GitHub'da bulunması, projenin yedeklenmesini ve kolaboratif çalışmayı kolaylaştırarak sürecin şeffaflığını ve ulaşılabilirliği artırılmıştır.

3.4.2 Mobil Uygulama Tasarımı ve Geliştirilmesi

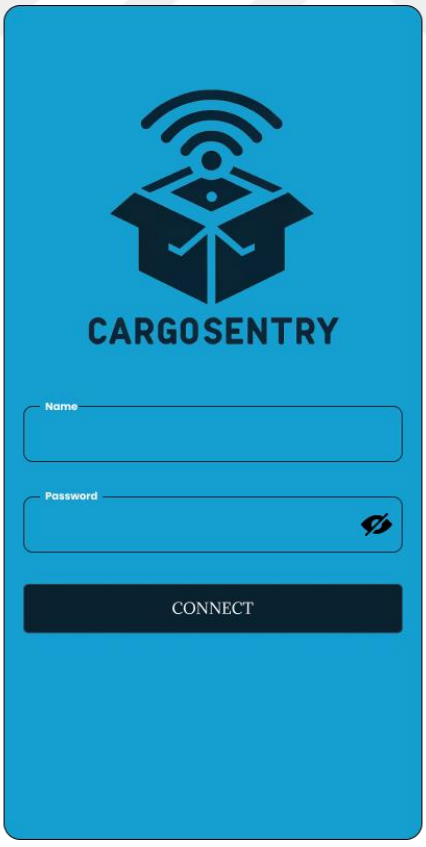
Yazılım tasarım sürecinde, özellikle mobil uygulamalar için, kodlamadan önce tasarımın yapılması hayati önem taşımaktadır. Mobil uygulamanın tasarımı Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Bu aşama, uygulamanın kullanıcı arayüzü ve deneyiminin temelini oluşturmaktadır ve yazılımın genel başarısını doğrudan etkilemektedir. Figma gibi güçlü bir tasarım aracını kullanmak, tüm tasarım sürecini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, renk seçimi de kullanıcıların uygulamayı nasıl algıladığı üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Mavi renk, özgüven, güvenilirlik ve rahatlatıcı bir etki yaratma eğiliminde olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu proje için mavi, yalnızca bu psikolojik etkileri nedeniyle değil, aynı zamanda teknoloji ve inovasyon ile güçlü bir bağlantıya sahip olduğu için seçilmiştir. Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi tasarımında mavi renk kullanımı, uygulamanın güvenilir ve kullanıcı dostu algısını pekiştirmek için stratejik bir karar olmaktadır. Tasarımın her aşaması dikkatlice düşünülmüş, projenin genel amacını destekleyecek şekilde; kargoların teslimat sürecini optimize etmek, zararları en aza indirmek ve kullanıcı memnuniyetini maksimize etmek planlanmıştır. Tasarım ve planlamanın bu detaylı düzeyde ele alınması, uygulamanın başarılı bir şekilde geliştirilmesinin ve pazarda kabul görmesinin anahtar faktörlerinden olmaktadır.



Şekil 3.18 Mobil Uygulama Sayfa Tasarımları a) Giriş sayfası b) Cihaz bulunamadı sayfası c) Ana menü sayfası d) Kullanıcı adı veya şifre yanlış sayfası e) Parametre okuma sayfası f) Parametre yazma sayfası g) Parametre grafik sayfası

Mobil uygulamanın giriş sayfası tasarımı Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Arka planın mavi rengi, marka renkleriyle uyumlu olarak seçilmiş ve daha önce bahsettiğimiz gibi güven ve profesyonellik hissi uyandırmaktadır. Sayfanın üst kısmında, bir paketin üzerine yerleştirilmiş bir kablosuz iletişim sembolü içeren bir logo bulunmaktadır. Bu, uygulamanın, kargoların takibi ve güvenliği ile ilgili olabileceğine işaret edilmiştir.

Kullanıcı adı ve şifre giriş alanları basit ve anlaşılır bir biçimde düzenlenmiştir. Her ikisi de etiketli metin kutuları olarak gösterilmiştir; "Name" ve "Password" yazan alanlar kullanıcının giriş bilgilerini yazması için ayrılmıştır. Bu alanlar, kullanıcıların ne tür bilgi girmesi gerektiğini kolayca anlayabilmesini sağlamak için etiketlenmiştir. Şekil 3.19 daki resimde "CONNECT" yazan geniş bir buton bulunmaktadır. Bu buton yardımı ile kullanıcının NFC ile cihaza bağlanması sağlanılmıştır. Butonun tasarımı, uygulamanın genel teması ile uyumlu ve göze çarpan bir görünüme sahiptir. Giriş ekranı, genel olarak sade ve fonksiyonel bir tasarıma sahiptir. Kullanıcı deneyimini ön planda tutarak, gerekli bilgilerin hızlı ve etkili bir şekilde girilmesine olanak tanımaktadır. Tasarımın minimalizmi uygulamanın pratik kullanımını vurgulamak için tercih edilmiştir.



Şekil 3.19 Mobil Uygulama Giriş Sayfası Tasarımı

Mobil uygulamanın "DEVICE NOT FOUND (CİHAZ BULUNAMADI)" sayfası Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Bu sayfada bir hata mesajı ekranını gösterilmiştir. Arka planda yine markaya özgü mavi renk kullanılmıştır ve uygulamanın tanımlayıcı logosu ekranın üst kısmında yer almaktadır. Ekranda ortalanmış bir diyalog kutusu bulunmakta ve bu, "DEVICE NOT FOUND (CİHAZ BULUNAMADI)" metniyle bir hata durumunu bildirmektedir. Bu, kullanıcının bağlantı kurmayı denediği cihazın bulunamadığını veya tanımlanamadığını göstermektedir. Hata mesajı, kullanıcıyı durum hakkında bilgilendirirken, aynı zamanda bir sonraki adım için yönlendirme de sağlamaktadır. Diyalog kutusunun altında "OK" butonu yer almaktadır, bu da kullanıcının mesajı okuduğunu onaylaması ve hata mesajı ekranından çıkması için bir mekanizma sağlamaktadır. Kullanıcı bu butona tıkladığında, hata mesajı ekranından çıkabilir ve önceki ekrana geri dönebilmektedir. Bu butonun tasarımı, uygulamanın genel kullanıcı arayüzü ile uyumlu ve basit bir şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.20 Mobil Uygulama Cihaz Bulunamadı Sayfası Tasarımı

Mobil uygulamanın *"NAME OR PASSWORD WRONG (İSİM VEYA ŞİFRE YANLIŞ)"* sayfası Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Bu sayfa kullanıcı adı veya şifre hatası bildiren bir ekranını göstermektedir. Bu ekran, kullanıcının giriş bilgilerinin yanlış girildiği durumda karşılaşacağı bir hata mesajı içermektedir. Arka plan, uygulamanın görsel kimliğiyle uyumlu bir mavi tonunda ve ekranın üst kısmında logo bulunmaktadır. Ekranın orta kısmında yer alan diyalog kutusunda *"NAME OR PASSWORD WRONG (İSİM VEYA ŞİFRE YANLIŞ)"* mesajı yer almakta, bu da kullanıcının giriş yapmaya çalışırken yanlış bilgi girdiğini belirtmektedir. Bu tür hata mesajları, kullanıcıya giriş bilgilerini kontrol etmesi ve yeniden denemesi gerektiğini hatırlatmaktadır. Diyalog kutusunun alt kısmında "OK" yazan bir buton bulunmaktadır. Bu buton, kullanıcının mesajı gördüğünü ve kabul ettiğini belirten bir onay mekanizması olarak işlev görmektedir. Kullanıcı bu butona tıkladığında, hata mesajı ekranından çıkabilir ve giriş bilgilerini düzeltmek için önceki ekrana geri dönebilmektedir.



Şekil 3.21 Mobil Uygulama İsim veya Şifre Yanlış Sayfası Tasarımı

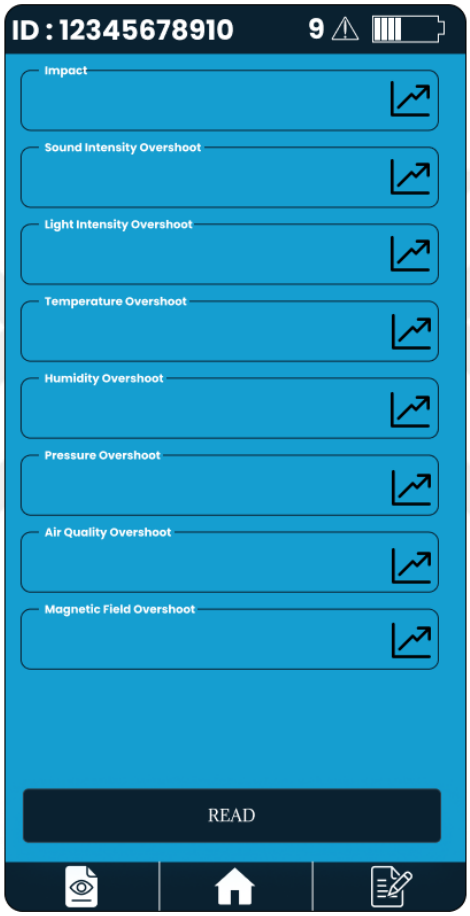
Mobil uygulamanın ana sayfası Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Bu sayfa, NFC teknolojisini kullanarak cihaza parametre yazılabilen veya okunabilen bir mobil uygulamanın ana menüsünü göstermektedir. Giriş başarılı olduğunda kullanıcıyı karşılayan bu ana menü, iki temel işlevi olan ikonlar içermektedir. Üstte, bir kâğıt ve kalem ikonu bulunmaktadır. Bu ikon, genellikle düzenleme veya yazma işlevini temsil etmektedir ve bu bağlamda, kullanıcının cihaza parametre yazmasını sağlayacak sayfayı açmak için kullanıldığını ima edebilmektedir. Kullanıcılar bu ikona tıkladığında, NFC aracılığıyla cihaza yazmak istedikleri parametreleri girebilecekleri bir arayüze yönlendirilmeleri planlanılmıştır. Altta, bir göz ikonu yer almaktadır. Bu genellikle okuma veya inceleme işlevini temsil etmektedir ve kullanıcının cihazından parametreleri okuyabileceği sayfayı açmak için kullanılmaktadır. Bu ikon, kullanıcıya cihazdan veri almanın ve mevcut parametreleri gözden geçirmenin bir yolunu sunmaktadır. Her iki ikon da büyük ve açıkça tanımlanmış, kullanıcının hangi işlevi seçmek istediğini kolayca anlamasını sağlamaktadır. Arka plan mavi renkte tutularak, uygulamanın genel tasarım diline uygunluk sağlanmıştır. Sayfanın en üstünde, sol üst köşede, bir ID numarasını gösteren bir alan bulunmaktadır: "ID: 12345678910". Bu, genellikle kullanıcının veya cihazın benzersiz bir tanımlayıcısı olarak kullanılmaktadır. Bu durumda, kullanıcıya veya cihaza özgü bir NFC cihazın kimliğini gösteriyor olabilmektedir. Pil ikonu ile haberleşmiş olduğu cihazın batarya gücünü göstermektedir. Üçgen içerisindeki ünlem ikonu ve onun yanındaki sayı ise cihazın kargo taşımacılığı boyunca kaydetmiş olduğu alarm sayısını göstermektedir. Bu görsel öğeler, kullanıcıya uygulama ve bağlantılı cihaz hakkında önemli bilgiler sunarak, kullanıcı deneyimini zenginleştirmekte ve uygulamanın işlevselliğini artırmaktadır. Ayrıca, bu tür bilgilendirici ikonlar kullanıcıya uygulamanın mevcut durumu hakkında anlık geri bildirim sağlayarak, kullanıcının gerekli işlemleri daha bilinçli ve etkin bir şekilde yapmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 3.22 Mobil Uygulama Ana Sayfası Tasarımı

Mobil uygulamanın parametre okuma sayfası Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Bu sayfa NFC teknolojisi kullanılarak cihazından alınan parametreleri gösteren bir mobil uygulamanın okuma sayfasını yansıtmaktadır. Uygulama arayüzünde, kullanıcının çeşitli parametreleri görebileceği ve yönetebileceği bir dizi seçenek sunulmuştur. Üst bölümde, cihazın ID numarası "ID: 12345678910" olarak görünmektedir, bu da kullanıcının hangi cihazın bilgilerine bakmakta olduğunu kolayca tanımlamasını sağlamaktadır. Ayrıca, üst kısımda pil seviyesini, potansiyel uyarıları gösteren simgeler bulunmaktadır, bu da kullanıcının cihazın mevcut durumu hakkında hızlı bir bakış elde etmesine olanak tanımaktadır. Ana içerik alanında, farklı parametrelerin listesi bulunmaktadır: "Impact", "Sound Intensity Overshoot", "Light Intensity Overshoot", "Temperature Overshoot", "Humidity Overshoot", "Pressure Overshoot", "Air Quality Overshoot", ve "Magnetic Field Overshoot". Her parametre, sağ tarafta bir grafik simgesiyle birlikte kendi satırına sahiptir. Kullanıcı bu simgelere tıkladığında, ilgili parametrenin zaman içindeki

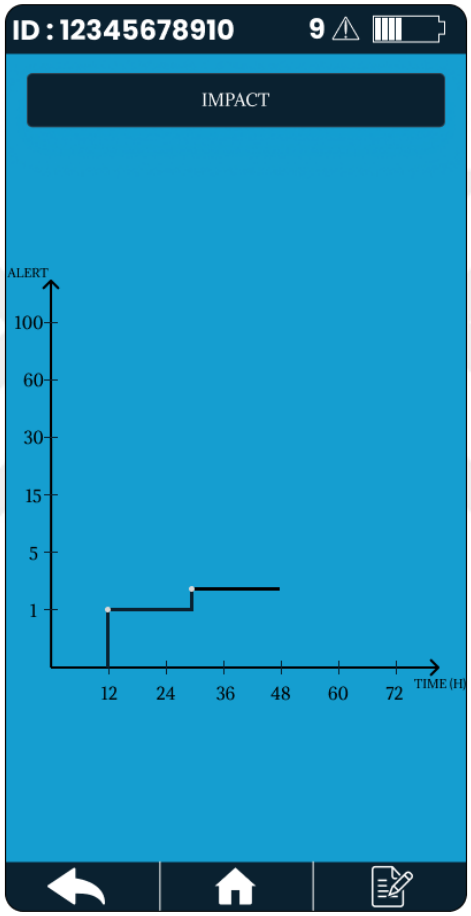
değişimini gösteren grafiksel bir görünüme yönlendirilmiştir. Bu özellik, kullanıcıya parametrelerin belirli bir zaman diliminde nasıl değiştiğini anlamada yardımcı olmaktadır. Alt kısımda "READ" olarak etiketlenmiş bir buton bulunmaktadır. Bu buton, kullanıcının cihazdan en güncel verileri okumasını tetiklemektedir. Butonun konumu ve tasarımı, kullanıcıya ne zaman ve nereden veri okuyabileceğini açıkça göstermektedir. Genel olarak, bu ekranın tasarımı, kullanıcıların cihazdan alınan verileri etkili bir şekilde gözlemlemeleri ve yönetmeleri için düzenli ve sezgisel bir arayüz olarak sunulmuştur.



Şekil 3.23 Mobil Uygulama Parametre Okuma Sayfası Tasarımı

Mobil uygulamanın parametre grafik sayfası Şekil 3.24'de gösterilmiştir. Bu sayfa parametre okuma sayfasındaki grafik simgesine tıklanarak erişilen bir parametre grafiğini göstermektedir. Bu durumda, grafik simgesine tıklanan parametrenin zaman içindeki değişimini izleyen bir grafik görüntülenmektedir. Ekranın üst kısmında, cihazın ID numarası "ID: 12345678910" yer almakta ve yanında batarya durumu ve bir uyarı ikonu bulunmaktadır. Bu, kullanıcının hangi cihazın verilerini görüntülediğini ve cihazın genel

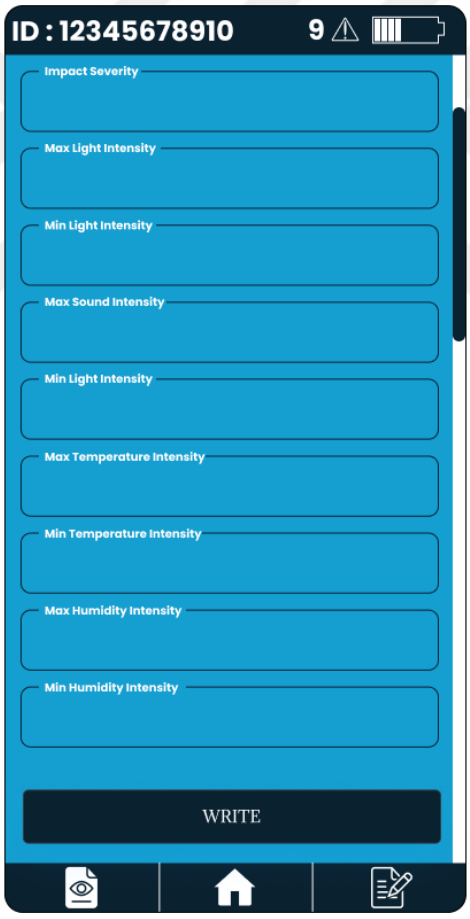
durumunu hızlı bir şekilde anlamasını sağlamaktadır. Grafik yatay eksende zamanı (saat cinsinden) ve dikey eksende "ALERT" seviyesini temsil eden bir ölçeği göstermektedir. Dikey eksen logaritmik bir ölçek kullanmaktadır, bu da düşük seviyelerden yüksek seviyelere doğru değişimlerin daha belirgin hale gelmesini sağlamakta ve çeşitli etki şiddetlerini kolayca karşılaştırılabilir kılmaktadır. Ekranın alt kısmında, kullanıcının önceki ekrana dönebileceğini veya ana menüye gidebileceğini gösteren iki gezinme butonu bulunmaktadır. Sol altta bir "geri" oku ve sağ altta bir "ev" simgesi yer almaktadır.



Şekil 3.24 Mobil Uygulama Parametre Grafik Sayfası Tasarımı

Mobil uygulamanın parametre yazma sayfası Şekil 3.25'de gösterilmiştir. Bu sayfa, NFC teknolojisi aracılığıyla cihaza parametrelerin girildiği bir mobil uygulamanın yazma sayfasını göstermektedir. Kullanıcılar, bu ekranda cihazın izlemesi gereken çeşitli eşik değerlerini belirleyebilmektedir. Ekranın üst kısmında, cihazın ID numarası "ID: 12345678910" gösterilmekte, bu da kullanıcının hangi cihaza parametre yazacağını açıkça anlamasını sağlamaktadır. Üst kısmındaki simgeler, pil durumu ve uyarılar gibi

cihazın mevcut durumunu hızlıca gözden geçirme imkânı vermektedir. Ana içerik alanında, kullanıcı tarafından ayarlanabilecek çeşitli parametreler için giriş alanları bulunmaktadır: "Impact Severity", "Max Light Intensity", "Min Light Intensity", "Max Sound Intensity", "Min Sound Intensity", "Max Temperature Intensity", "Min Temperature Intensity", "Max Humidity Intensity", ve "Min Humidity Intensity". Her bir parametre için ayrı bir metin kutusu bulunmakta ve bu alanlar, cihazın hangi koşullarda uyarı vermesi gerektiğini belirlemek için kullanılmaktadır. Ekranın altında yer alan "WRITE" butonu, kullanıcının girdiği parametre değerlerinin cihaza yazılmasını tetiklemektedir. Bu işlem, kullanıcıların cihazı belirli bir kullanım senaryosuna uygun olarak yapılandırmasını sağlamaktadır. Örneğin, bir paketin taşınması sırasında belirli bir ışık veya ses seviyesinin üzerine çıkılmaması gerekebilmektedir.



Şekil 3.25 Mobil Uygulama Parametre Yazma Sayfası Tasarımı

Bu süreçte, Android Studio ve Flutter gibi modern geliştirme araçlarından yararlanılmıştır. Uygulamanın tasarımı ve işlevselliği, kullanıcı deneyimini

önceliklendirerek şekillendirilmiştir. NFC özelliklerinin entegrasyonu, GitHub ve GitLab'da bulunan çeşitli açık kaynak kod örnekleri sayesinde kolaylaştırılmış ve bu platformlar uygulama geliştirme sürecinde önemli bir kaynak olarak kullanılmıştır.

Uygulama tasarımı aşamasında Figma kullanılmış ve bu platform üzerinde oluşturulan arayüz tasarımları, geliştiricilere net bir yol haritası sunmaktadır. Sistem mimarisi ve akış şemasına sadık kalınarak yapılan geliştirme, uygulamanın bütünsel bir yapıda ilerlemesini sağlamış ve modüler bir kod yapısı oluşturulmuştur. Uygulamadaki sayfalar arasındaki benzer yapılar için oluşturulan sınıflar, tekrar kullanılabilir kod parçalarını ve genel bir tutarlılığı garanti altına almaktadır.

Mobil uygulamanın kod geliştirme sürecinde, kodun yönetimi ve versiyon kontrolü için GitHub platformu aktif olarak kullanılmıştır. Ayrıca, cihaz ile mobil uygulama arasındaki haberleşme yapısı dikkatli bir şekilde planlanmış ve NFC haberleşmesi için özel bir paket yapısı implemente edilmiştir. Bu yapı, kargoların güvenlik ve takip bilgilerinin, mobil uygulamaya verimli bir şekilde aktarılmasını sağlamıştır.

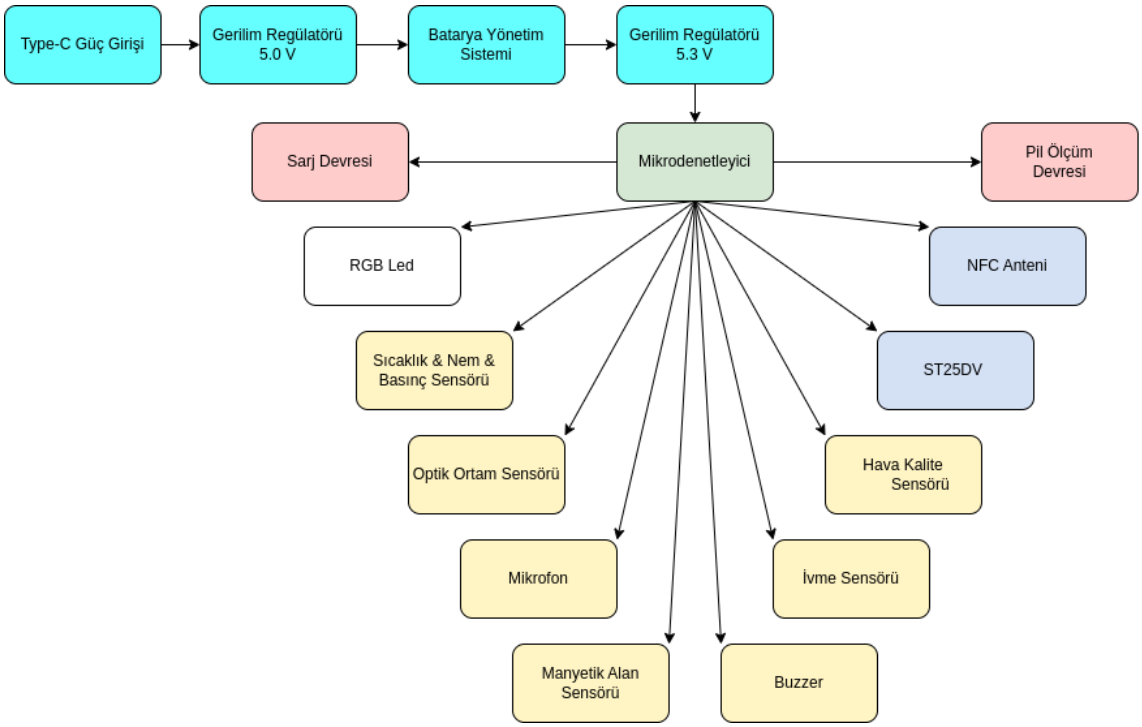
Sonuç olarak, bu gelişmiş mobil uygulama, kullanıcıların kargo takip deneyimini zenginleştirmek ve kargo taşıma süreçlerinde güvenlik ve izlenebilirliği maksimuma çıkarmak için tasarlanmıştır. Kullanıcı dostu arayüzü, güçlü fonksiyonelliği ve sofistike haberleşme mekanizmaları ile bu uygulama, Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi'nin önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır.

3.5 Modül Tasarımı ve Montajı

PCB tasarımı ve dizgisi, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu ve hassasiyetini doğrudan etkileyen kritik bir adımdır. Bu süreçte, iletim ve yalıtım özelliklerinin tam kapasitede çalışabilmesi için devre tasarımının önemi büyüktür. Devrenin sabit ve güçlü bir yapıya sahip olması, cihazların kargo kutularına sorunsuz bir şekilde yerleştirilebilmesini sağlamaktadır. Tasarım sürecinin başlangıcında, devrenin genel yapısını gösteren bir blok diyagramı hazırlanmış ve bu diyagram, devrenin farklı bölümlerinin tanımlanması ve anlaşılması sağlanmıştır. Bu sayede, şematik ve PCB çizimlerinin planlaması daha verimli hale getirilmiştir.

3.5.1 PCB Tasarımı ve Dizgisinin Yapılması

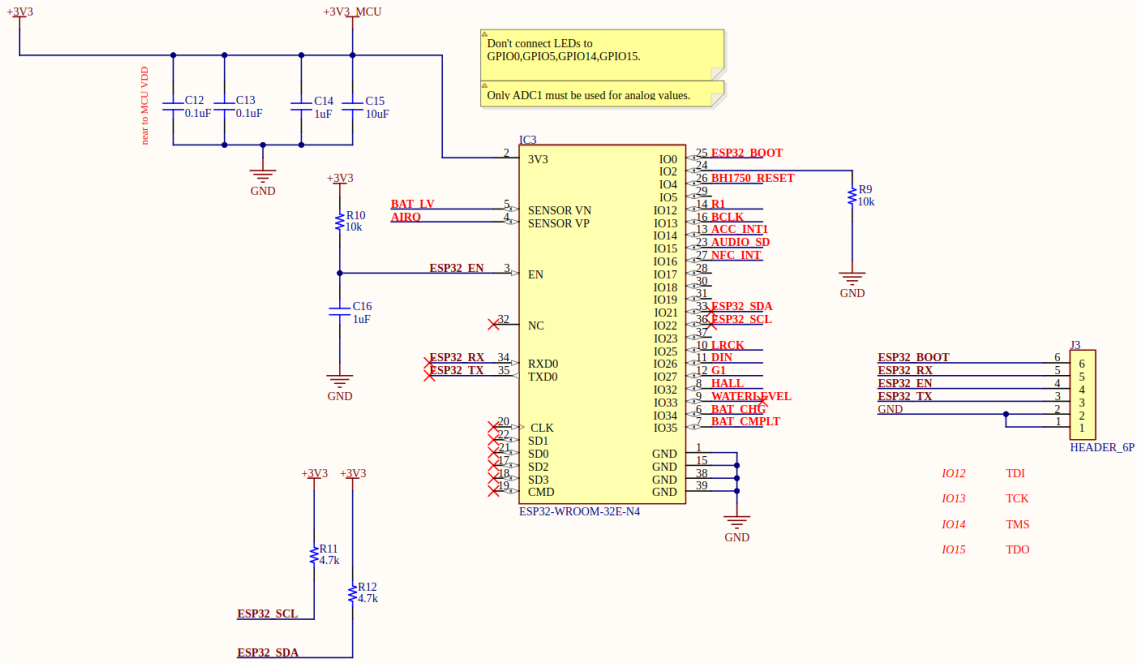
Ölçüm sonuçlarının doğruluğunu ve hassasiyetini etkileyebilecek herhangi bir sorun olmadan, iletim ve yalıtım özellikleri tam kapasitede çalışacak bir devre tasarımının önemi büyüktür. Bu gereklilikler göz önünde bulundurularak, devrenin baskı devre kartı (PCB) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımına geçilmeden önce, devrenin genel yapısını gösteren bir blok diyagramı hazırlanmıştır. Şekil 3.26, hazırlanan cihazın diyagramını içermektedir. Blok diyagramının oluşturulması, devrenin farklı bölümlerinin tanımlanması ve anlaşılmasında kritik bir adımdır ve bu sayede şematik ve PCB çizimlerinin planlaması daha verimli hale gelmiştir.



Şekil 3.26 Cihaz Blok Diyagramı

Devre tasarımının ikinci aşamasında, devre şematikleri hazırlanmıştır. Mevcut bileşenler için kütüphanelerden yararlanılmış, mevcut olmayanlar ise el ile çizilerek projeye dahil edilmiştir. Komple ölçüm devresi, birçok farklı bileşenden meydana geldiğinden, şematik çizim aşamasında her bir bileşenin 'parametreler' bölümüne, söz konusu bileşenin Üretici Parça Numarası eklenmiştir. Böylece PCB tasarım süreci tamamlandığında, Altium Designer yazılımı kullanılarak oluşturulan ve tüm bileşenlerin detaylıca sıralandığı Malzeme Listesi dosyası, ürünlerin tedarik sürecinde büyük bir kolaylık sunmaktadır.

Algılayıcıların ve regülatör devrelerinin şematik tasarımı bitirildikten sonra, bu bileşenlerin mikrodenetleyici ile olan bağlantıları kurulmuştur. Bu bağlantılar, kullanılan pinlerin analog veya dijital özellikleri, SPI, I2C ve I2S gibi haberleşme protokolleri ve diğer özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Baskı devre kartının (PCB) tasarlanması esnasında, iletken yolların çekilmesini kolaylaştırmak amacıyla bazı pin atamaları yeniden düzenlenmiştir. Mikrodenetleyicinin şematik tasarımı, Şekil 3.27'de belirtildiği üzere tamamlanmıştır.



Şekil 3.27 Mikrodenetleyici Şematik Tasarımı

Şematik tasarımların tamamlanmasının ardından, süreç Altium Designer programında PCB düzenlemeye başlanmıştır. Bu aşamada, şematik tasarımda kullanılan bileşenlerin PCB çizimleri, yazılımın sağladığı otomatik araçlar sayesinde PCB düzenleme sayfasına aktarılmıştır.

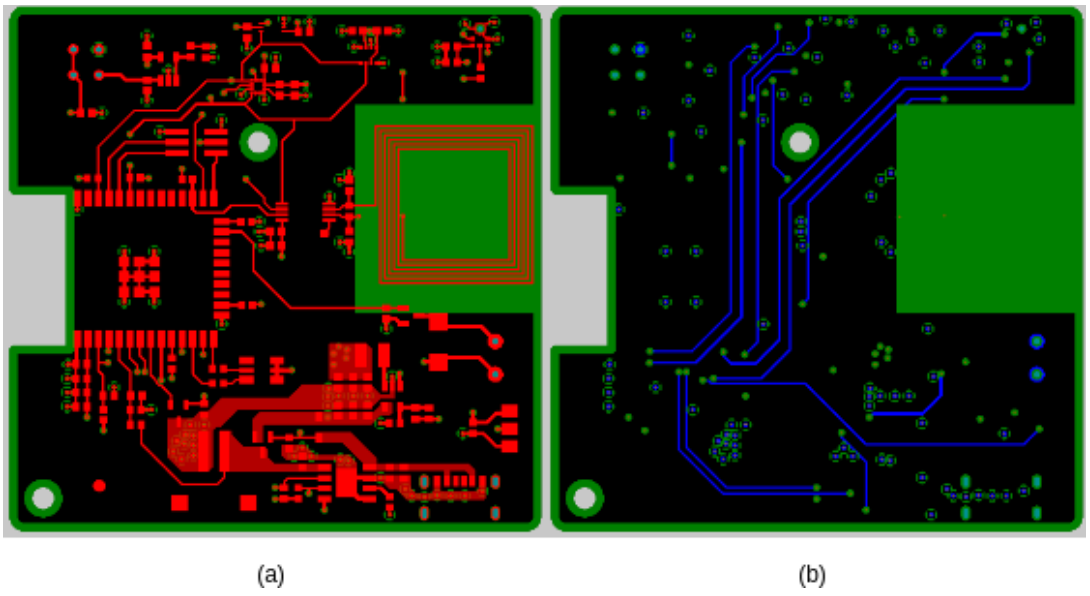
PCB tasarımında, sinyal bütünlüğü ve parazit minimizasyonu ön planda tutularak stratejik yerleşimler yapılmıştır. Özellikle ortam algılayıcıları, PCB'nin bir yüzünde merkezileştirilerek gruplandırılmıştır. Bu düzenleme, algılayıcılar arası etkileşimi azaltmak ve okumaların doğruluğunu artırmak amacıyla önemlidir. NFC anteni ile pilin aynı tarafta bulunmamasına özellikle dikkat edilmiştir; bu ayrım, elektromanyetik parazitin azaltılmasına katkıda bulunmakta ve enerji yönetimi için daha stabil bir ortam

sağlamaktadır.

Devre tasarımında etkin bir gürültü kontrolü sağlamak için, PCB'nin boş alanları bilinçli olarak referans noktası olan GND ile kaplanmıştır. Bu yaklaşım, devrede istenmeyen sinyal yansımalarını ve gürültüyü önemli ölçüde düşürmektedir. Aynı zamanda, bu GND katmanı, elektromanyetik uyumluluğu iyileştiren bir ekranlama görevi görerek, cihazın dış etkenlerden kaynaklanan rahatsız edici gürültülere karşı daha dirençli olması sağlanmıştır.

Kullanım kolaylığı da tasarımın önemli bir parçası olmaktadır. Tüm konnektörler, kullanıcıların cihaza kolay erişim sağlayabilmesi için PCB'nin kenar bölgelerine yerleştirilmiştir. Bu hem montaj sırasında hem de sonrasında bakım veya yükseltme işlemleri için büyük kolaylık sunmaktadır. Ayrıca, konnektörlerin kenarlarda olması, kablo yönetimini de kolaylaştırmakta ve bu da sistemin genel düzenini ve estetiğini iyileştirmektedir.

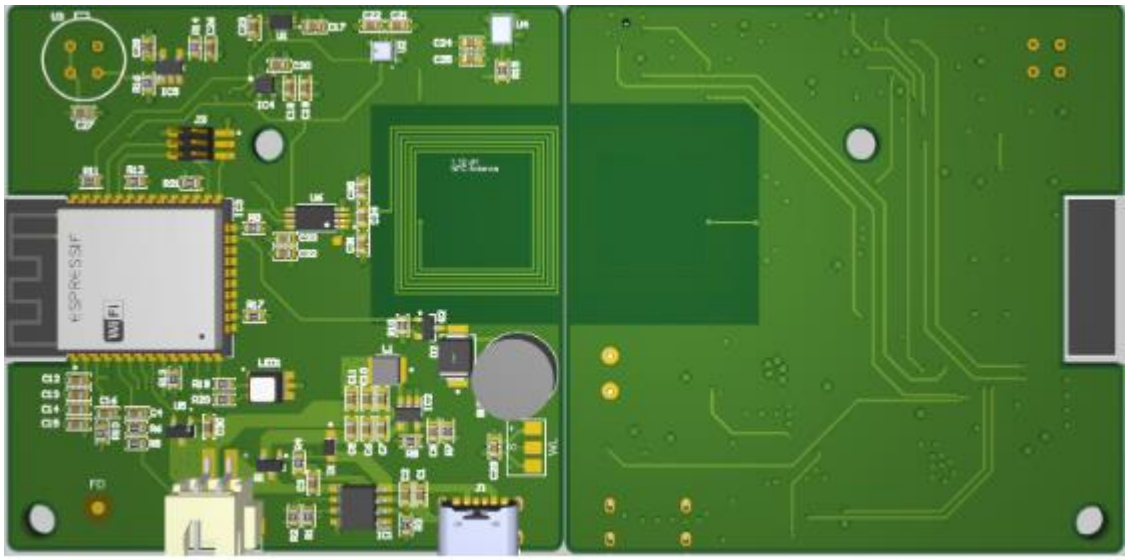
Tasarım sürecinde ayrıca, PCB'nin termal yönetimi de göz önünde bulundurulmuştur. Yüksek güç tüketen bileşenlerin ısı dağılımı optimize edilerek, aşırı ısınma riski en aza indirgenmiştir. Isı yönetim stratejileri, devre ömrünü uzatmaktadır ve cihazın güvenilirliğini maksimize etmektedir. Böylece, tasarımın her yönü, devrenin etkinliği ve kullanıcı deneyimi üzerinde düşünülerek entegre edilmiştir. Şekil 3.28, Altium Designer kullanılarak hazırlanan PCB düzeninin ön (a) ve arka (b) yüzlerini göstermektedir.



Şekil 3.28 Cihazın Altiumdaki PCB Düzeninin Ön (a) ve Arka (b) Yüzleri

Ölçüm devresinin tasarımı, ekonomik ve fiziksel etkinlik göz önünde bulundurularak, 5 cm x 5 cm ebatlarında ve iki katmanlı bir yapıda gerçekleştirilmiştir. Cihazın yüksekliği ise yaklaşık 1,5 cm olarak belirlenmiştir. PCB'nin üç boyutlu modeli hem üst hem de alt katmanların detaylı bir görselini sunmaktadır ve bu, Şekil 3.29'da görülebilmektedir. Bu görselleştirme, tasarım sürecinin hem maliyet hem de boyut optimizasyonunun yanı sıra estetik ve fonksiyonelliği de dikkate aldığını açıkça ortaya koymaktadır.

Tasarım sürecinin bitirilmesiyle birlikte, PCB layout'unun proje dosyaları hazırlanıp baskıya gönderilmek üzere ilgili üretici firmaya iletilmiştir. PCB panellerinin baskıdan çıkan ilk durumu, Şekil 3.29'da ön (a) ve arka (b) yüzleriyle birlikte sunulmuştur.

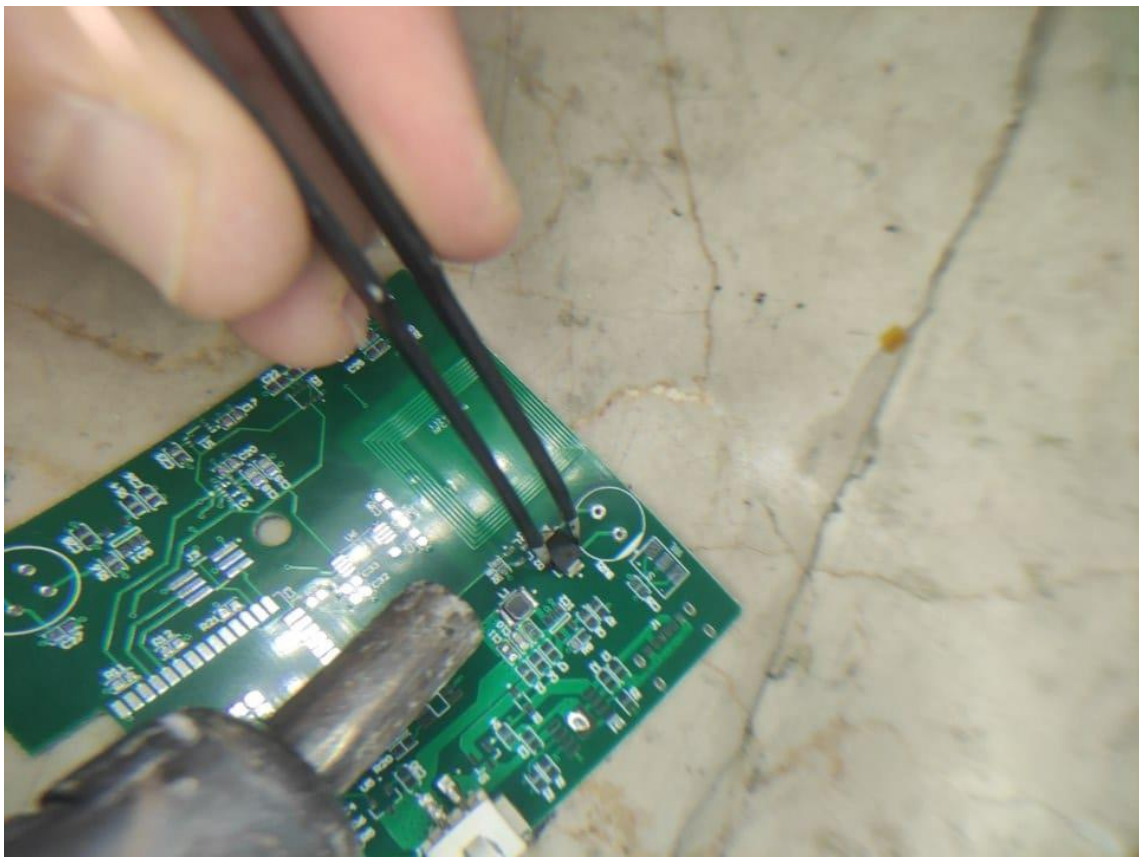


Şekil 3.29 Cihazın Altiumdaki Üç Boyutlu Ön (a) ve Arka (b) Yüzleri

Devre yollarının performansını doğrulamak adına yapılan kapsamlı testler, iletim ve yalıtım konusunda uygulanmıştır. Bu testler, devre yollarının beklenen standartlarda çalıştığını onaylamıştır ve herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır. Gerekli tüm bileşenlerin teslim alınmasının ardından, kart üzerindeki montaj işlemine geçilmiştir.

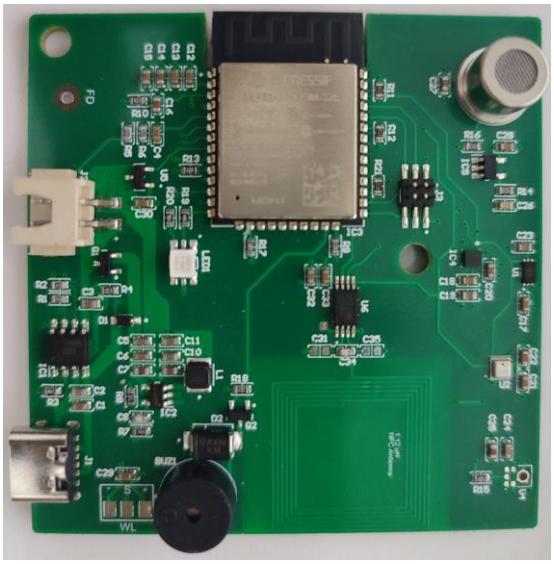
Montaj sürecinde özellikle lehimleme konusunda bir dizi önlem alınmıştır. Küçük ölçekli bileşenlerin kullanıldığı durumlarda, komponent bacakları arasındaki dar mesafeler lehimleme işlemini zorlaştırabilmektedir. Bu zorlukları aşmak için, ilk etapta havya ve sıcak hava tabancası kullanılarak PCB'nin belirli bölgelerine lehim malzemesi önceden uygulanmıştır. Böylece lehimleme işlemi sırasında, sıcak hava tabancası ile bu bölgeler

ısıtılarak, cımbız ile komponentlerin hassas bir şekilde yerleştirilmesine olanak sağlanmıştır.



Şekil 3.30 PCB Üzerine Komponentlerin Yerleştirilmesi

Bu işlemlerin görsel ayrıntıları, Şekil 3.30'de sergilenmiştir. Montaj işlemi esnasında, devrenin farklı fonksiyonel kısımları (güç yönetimi, batarya yönetim sistemi, algılayıcılar gibi) aşama aşama ele alınmıştır. Her bir bölüm monte edildikten sonra, potansiyel sorunların erken tespiti için bir multimetre kullanılarak detaylı testler yapılmıştır. Bu yaklaşım, montajın tamamlanmasını takiben ortaya çıkabilecek hataların belirlenmesi ve düzeltilmesi sürecini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır, zira sonrasında hata teşhis süreci çok daha zahmetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Montaj işlemi tamamlandığında, cihazın nihai durumu Şekil 3.31'de belgelenmiştir. Bu metodoloji, her adımda kalite kontrolün sağlanmasına ve son ürünün güvenilirliğinin maksimize edilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 3.31 Cihazın Dizgi Sonrası Gerçek Görünümü

Montaj sürecinin bitirilmesiyle birlikte, devrenin performansını doğrulamak amacıyla genel bir test sürecine geçilmiştir. Bu aşamada, devreye güç uygulanarak temel işlevlerin yanı sıra, çeşitli bileşen ve algılayıcıların doğru çalışıp çalışmadığı kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle Li-Po batarya bağlantısı aracılığıyla devrenin enerji alıp almadığı ve beklenen fonksiyonları yerine getirip getirmediği kontrol edilmiştir.

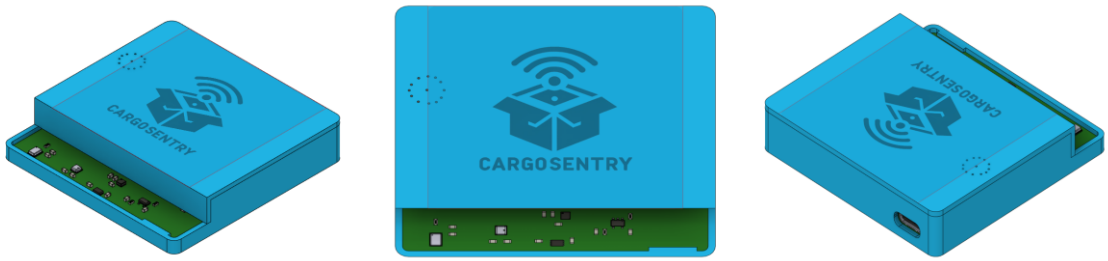
Her bir komponentin ve algılayıcıların ayrı ayrı test edilmesiyle, donanımın bütün olarak uyum içinde çalıştığı teyit edilmiştir. Bu testler sırasında, güç değerlerinin doğruluğu da ölçülmüş ve devrenin tasarlandığı parametrelere uygun olarak çalıştığı doğrulanmıştır.

Bu detaylı test süreci sayesinde, devrenin herhangi bir hata içermediği ve tüm bileşenlerin beklendiği gibi performans gösterdiği anlaşılmıştır. Bu kapsamlı doğrulama, devrenin güvenilirliğini artırmış ve sonraki aşamalara geçmeden önce gerekli tüm ayarlamaların yapıldığından emin olunmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım, devrenin uzun vadede sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir.

3.5.2 Kutu Tasarımı ve Baskısı

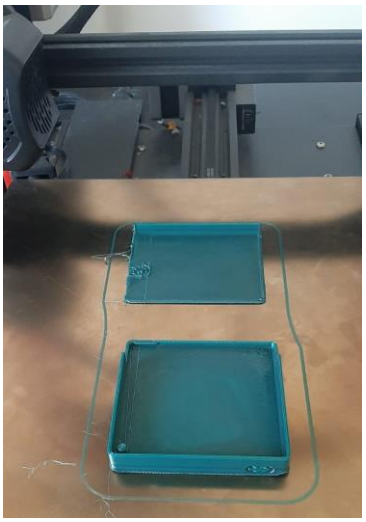
Tasarım ve baskı aşamaları, sistem mimarisinin her bir bileşeninin sorunsuz ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için dikkatlice gerçekleştirilmiştir. Kutu tasarımı sırasında, öncelikle devre kartının boyutları dikkate alınarak kutunun ebatları belirlenmiştir. Bu, içerideki bileşenlerin sıkı bir şekilde oturmasını ve hareket etmemesini sağlamak için

önemli bir adımdır. Ayrıca, küçük ve hafif bir tasarım, taşıma kolaylığı ve maliyet etkinliği açısından kritik faktörlerdendir. Kutu, dayanıklı malzemeler kullanılarak üretilmiş olup, dış etkenlere karşı koruma sağlamak ve uzun vadeli bir dayanıklılık sunmak amacıyla sağlam bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Kutu tasarımı Şekil 3.32'de gösterilmektedir.



Şekil 3.32 Kutu Tasarımı

Kutunun tasarımında, ortam algılayıcılarının yerleştirildiği açık bölge özellikle dikkat çekmektedir. Bu, algılayıcıların doğru ve etkili bir şekilde çevresel verileri toplayabilmesi için önemlidir. Tasarımın yapılması esnasında AutoCAD uygulamasının avantajlarından faydalanılmıştır. Üç Boyutlu (3D) yazıcıda üretilen prototip ise, tasarımın fiziksel olarak test edilmesini ve gerekli ayarlamaların yapılmasını sağlamaktadır. 3D baskı teknolojisi, hızlı prototipleme avantajı sunarak, tasarım sürecini hızlandırır ve ürün geliştirme maliyetlerini düşürmektedir. Şekil 3.33'de tasarlanmış kutunun 3D yazıcı ile basılması gösterilmektedir.



Şekil 3.33 Kutunun 3D Yazıcı ile Basım Anı

Kutu tasarımı tamamlandıktan sonra, kutunun içerisine cihaz ve pil yerleştirilmiştir. CargoSentry cihazının ağırlığı 92 gram olarak ölçülmüştür. Bu düşük ağırlık, cihazın kargolarla taşınmasında ek bir yük oluşturmayacağını ve lojistik operasyonlar sırasında herhangi bir ağırlık sorunu yaratmayacağını göstermektedir. Bu sayede, kargo taşımacılığında verimlilik korunurken cihazın sağladığı güvenlik ve takip avantajlarından faydalanmak mümkün olacaktır.

3.6 Güç Tüketimi Hesabı

CargoSentry cihazının kaç gün çalışabileceği, cihazın kullanılabilirliği açısından en önemli faktörlerden biridir. Cihazın 1 saat içinde gerçekleştirdiği işlemlerin güç tüketimi kullanılan donanımların veri tablolarındaki değerler referans alınarak hesaplanmıştır. Kesintisiz (interrupt pinine bağlı olmayan) çalışan sensörler için ölçüm periyotları sabittir, ancak kesmeye bağlı çalışan sensörlerin ölçüm aralıkları değişkenlik gösterebilir, bu nedenle bu sensörler için tahmini değerler kullanılmıştır. Tablo 3.9 da cihazın 1 saatlik bir periyotta hangi işlemleri gerçekleştirdiğini, bu işlemleri kaç kez yaptığını (kesme ile çalışan donanımlar için bu sayı temsili verilmiştir.) ve her bir işlemin güç tüketimi verilmiştir.

CargoSentry cihazının çalışma süresini hesaplamak için, kullanılan pil kapasitesi ve güç tüketimi bilgileri de önemlidir. Cihaz da 3.3 Volt, 900 mAh kapasiteli bir Li-on pil kullanılmıştır.

Bir saatlik periyotta cihazın toplam güç tüketimi, Tablo 3.9 da görüldüğü gibi 0.07086779 mAh olarak hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak cihazın toplam çalışma süresi aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$Çalışma\ Süresi\ (saat) = \frac{Pil\ Kapasitesi\ (mAh)}{\text{Toplam Akım Tüketimi (mAh)}} = \frac{900}{0.07086779} = 12698$$

$$Çalışma\ Süresi\ (gün) = \frac{\text{Çalışma Süresi (saat)}}{24\frac{\text{saat}}{\text{gün}}} = \frac{12698}{24} = 529.11 \text{ gün}$$

Bu hesaplamalar sonucunda, cihazın belirlenen Li-on pil ile kesintisiz olarak yaklaşık 529 gün çalışabileceği belirlenmiştir. Bu süre, cihazın düşük güç tüketimi ve pil verimliliği açısında oldukça uzundur, bu da uzun vadeli izleme ve güvenlik uygulamaları için idealdir.

Tablo 3.9 Güç Tüketimi

İşlem	**Zaman (Saniye)**	**Tekrar**	**Akım(mA)**	**Toplam Akım (mAh)**
Mikro Denetleyici Uyku Modu	3600	1	0.01	0.01
Sıcaklık Ölçümü	0.0015	60	0,35	0.00000875
Nem Ölçümü	0.0015	60	0.34	0.00000850
Basınç Ölçümü	0.0015	60	0.714	0.00001785
BME280 Uyku Modunda	3600		0.0003	0.000300
Hava Kalitesi Ölçümü	0.01	60	24.0	0.004000
MP503 Uyku Modunda	3600	1	0.00001	0.000010
Manyetik Alan Şiddeti Ölçümü	0.001	60	2.7	0.000045
DRV5053 Uyku Modunda	3600	1	0.00001	0.000010
Işık Şiddeti Ölçümü	0.01	60	0.16	0.000027
BH1750FVI Uyku Modunda	3600	1	0.00001	0.000010
Ses Şiddeti Ölçümü	0.01	1	0.06	0.000000167
SPH0645LM Uyku Modunda	3600		0.003	0.003000
Darbe Ölçümü	0.01	1	0.01	0.0000000278
LIS2DH12 Uyku Modunda	3600		0.002	0.002000
NFC Okuma Operasyonu	0.05	3	0.1	0.00000417
NFC Yazma Operasyonu	0.05	3	10	0.000417
NFC Uyku Modunda	3600		0.001	0.001000
Sesli İkaz	3	2	30	0.050000
QMB-09B-03 Uyku Modunda	3597	1	0.00001	0.00000999
Toplam Tüketim				0.07086779

4 TEST AŞAMALARI

Çalışmanın bu kısmında oluşturulan sistemin çalışma performansı incelenmiştir ve sunulmuştur. Örnek olarak iki gün boyunca alınan veriler Mobil uygulama vasıtasıyla detaylı grafikler üzerinden gösterilmiştir.

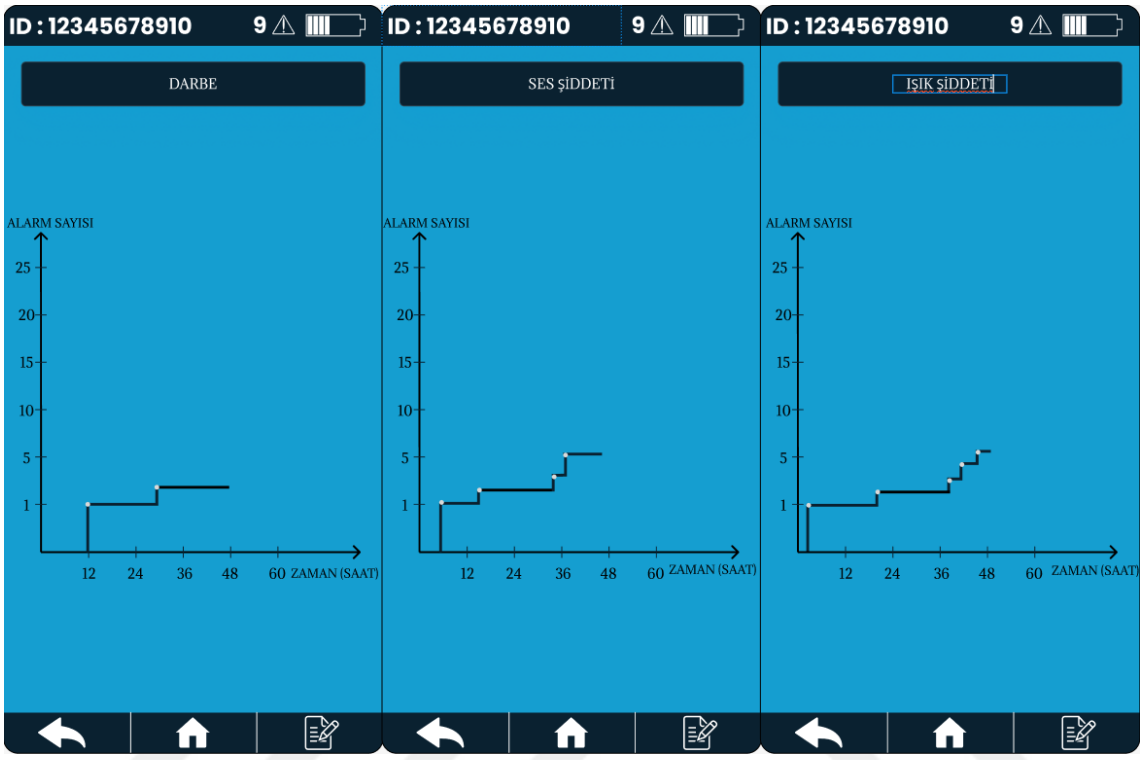
Geliştirilen sistem 15.03.2024 ve 17.03.2024 tarihleri arasında bir kargo paketine takıldığı varsayılarak belirli aralıklarla ölçümler yapılmış ve bu değerlerin mobil uygulama üzerinden girilen eşik değerlerinin üzerine çıktığı durumlarda cihazın hafızasına kaydedilmiştir. Bu kaydedilen verilere test süresi sonunda mobil uygulama yardımı ile ulaşılmıştır. Daha sonrasında üzerinde cihaz bulunan kargo kutusu belirli aralıklarla darbe testi, ışık şiddeti testi, ses şiddeti testi, sıcaklık testi, manyetik alan testine tabi tutulmuştur. Bu testlerin yapılış şekilleri Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Test Aşamaları a) Yüksek ortam sıcaklığına maruz bırakma b) Yüksek ses şiddetine maruz bırakma c) Aşırı ışık şiddetine maruz bırakma d) Darbe testi f) Mıknatıs ile manyetik alan uygulama d) Teslimat aşamasında mobil uygulama üzerinden kontrol

Bu testler sonucunda Şekil 4.2'de gösterilen grafikte sonuçlar ve ne zaman gerçekleştiği net bir şekilde gösterilmiştir. Her bir testin nasıl yapıldığı ve elde edilen sonuçlar, detaylı grafikler ve şekillerle gösterilerek, sistemin performansının zaman içinde nasıl değiştiği

ve hangi koşullarda optimum performans sergilediği belirlenmiştir. Bu bilgiler, sistem hakkında kapsamlı bir anlayış sunarak, gelecekteki iyileştirmeler için değerli içgörüler sağlamaktadır.



Şekil 4.2 Test Sonuç Grafikleri

Bu testler sırasında serial port üzerinde elde edilen bazı sistem kaydı Şekil 4.3'de verilmiştir.

```
[1710494350] : ERROR : Yüksek ses şiddeti alarmı oluştu.
[1710494351] : DEBUG : Sesli ikaz oluşturuldu.
[1710494351] : DEBUG : Alarm hafızaya kayıt edildi.
[1710494950] : ERROR : Yüksek manyetik alan alarmı oluştu.
[1710494951] : DEBUG : Sesli ikaz oluşturuldu.
[1710494951] : DEBUG : Alarm hafızaya kayıt edildi.
[1710496150] : ERROR : Yüksek sıcaklık alarmı oluştu.
[1710496151] : DEBUG : Sesli ikaz oluşturuldu.
[1710496151] : DEBUG : Alarm hafızaya kayıt edildi.
[1710503530] : ERROR : Yüksek ışık şiddeti alarmı oluştu.
[1710503531] : DEBUG : Sesli ikaz oluşturuldu.
[1710503531] : DEBUG : Alarm hafızaya kayıt edildi.
```

Şekil 4.3 Test Esnasındaki Sistem Kaydı

Geliştirilen sistemin toplam maliyeti Tablo 4.1'de verilmiştir. Toplu ürün alımlarında fiyatlar daha düşük olması planlanmıştır.

Tablo 4.1 Cihaz Maliyet Tablosu

Komponent	**Fiyat ($)**
ESP32	2,7
BME280	3,33
DRV5053	0,45
MP503	1,7
QMB-09B-03	0,12
LIS2DH12TR	0,42
ST25DV	0,76
BH1750	0,92
Diğer Komponentler (Direnç, Bobin, C-Types, Pil ve JTAG konnektörleri, Güç devresi vs.)	5,6
PCB Baskı	1,3
Toplam	17,3

5 SONUÇLAR

Sonuç olarak, tez çalışmasında, lojistik sektörünün ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanmış özel niteliklere sahip bir cihaz ve mobil uygulama geliştirilmiştir. Sistem, kargoların taşınma sırasındaki durumunu anlık olarak izleyebilen, entegre algılayıcılar ve gelişmiş yazılım algoritmaları ile donatılmıştır. Cihaz, yüksek güvenlik ve verimlilik gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış olup, mobil uygulama üzerinden kullanıcı dostu bir arayüzle etkileşim kurabilme yeteneğine sahiptir. ESP32 mikrodenetleyici tabanlı bu sistem, enerji verimliliği ve uzun pil ömrü göz önünde bulundurularak optime edilmiş, bu sayede uzun süreli ve sürdürülebilir kullanım sunmuştur. Geliştirme sürecinde, sistem mimarisi ve iş akışına uygun, modüler ve genişletilebilir bir yazılım mimarisi benimsenmiş; böylece gelecekteki potansiyel geliştirmeler için sağlam bir temel oluşturulmuştur.

Geliştirme süreci boyunca elde edilen deneyimler, sistemin tasarımı ve uygulaması konusunda değerli içgörüler sağlamıştır. Bu bölümde, kazanılan bilgi birikiminin ışığında, ileriye dönük tavsiyeler ve geliştirme yönleri detaylandırılmıştır.

Akıllı Kargo Takip ve Güvenlik Sistemi'nin geliştirilmesi sürecinde üzerinde durulan bir dizi öneri mevcuttur. Bu sistem, daha etkili ve kullanışlı bir lojistik yönetimi için geliştirilebilir. Öncelikle, sistemde kullanılan kartların boyutları daha da küçültülebilmekte; bu sayede kargolar için ayrılan alan daha verimli kullanılabilmekte ve taşıma sürecindeki fiziksel yük azaltılabilmektedir.

Mobil uygulamaya entegre edilebilecek kullanıcı geri bildirim mekanizmaları, kargo şirketlerinin sunduğu hizmet kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için faydalı olabilmektedir. Kullanıcılar tarafından verilen puanlar ve yorumlar, şirketlerin performansını artırma yolunda bir motivasyon kaynağı olarak hizmet edebilmektedir.

Mobil uygulama aynı zamanda, kullanıcıların kargo paketlerine eşlik edecek algılayıcıların ve eşik değerlerin seçimine yardımcı olacak bir araç haline getirilebilmektedir. Bu özelleştirme işlemi, yapay zekâ destekli algoritmalar kullanılarak otomatize edilebilir; böylece kullanıcılar, paketin fotoğrafını çektiklerinde sistem, içerik hakkında önerilerde bulunabilmektedir.

Kutu tasarımı, estetik açıdan daha tatmin edici bir görünüm elde etmek için plastik

kalıplar kullanılarak geliştirilebilir. Ürünün markalaşmasını desteklemek amacıyla kutulara logo eklenebilir. Ayrıca, kargo paketinin mevcut durumunu kullanıcılara görsel olarak da iletebilmek için kutu üzerine LED indikatörler eklenmesi değerlendirilebilir.

NFC okuma ve yazma işlemleri için gelişmiş şifreleme teknikleri devreye sokularak veri güvenliğini artırmak mümkündür. Modüler kart tasarımı, farklı kargo türleri için özelleştirilebilen cihazların geliştirilmesine imkân tanırken, aynı zamanda düşük güç tüketimi veya maliyeti daha uygun algılayıcıların araştırılması da maliyet verimliliğini artırabilmektedir.

Sistemde kullanılan ESP32 yerine, daha uygun maliyetli mikroişlemcilerin kullanımı da maliyetleri düşürebilmektedir. SIM kart modülü entegrasyonu ile anlık veri alışverişi sağlanabilir ve NFC'nin alternatifi olarak Bluetooth Düşük Enerji (BLE) haberleşmesi de kullanılabilmektedir.

Daha modüler bir devre kartı tasarımı ile, farklı kargo türlerine göre özelleştirilebilen kartlar geliştirilebilmektedir. Bu modüler kartlar, belirli kargo ihtiyaçlarına yönelik algılayıcılar donatılarak daha etkili bir izleme çözümü sunmaktadır. Bunun yanı sıra, kullanıcılar ihtiyaç duydukları sensörleri aktif veya deaktif edebilir, böylece sadece gerekli verileri toplayarak enerji verimliliğini artırabilir ve gereksiz veri karmaşasından kaçınabilirler. Daha düşük güç tüketimi veya maliyeti daha uygun algılayıcıların araştırılması ve entegrasyonu, sistemin hem enerji verimliliğini hem de maliyet etkinliğini artırabilmektedir. ESP32'nin yerine, belki daha düşük maliyetli ancak benzer işlevselliğe sahip alternatif mikroişlemcilerin kullanılması maliyetleri düşürebilmektedir. Kargoların anlık konum bilgisinin paylaşılması için GPRS teknolojisi devreye alınabilmektedir. Sisteme sıvı temasını algılayan, Karbon dioksit veya oksijen gibi farklı algılayıcılar ekleyerek kargo izleme kapasitesini genişletmek de mümkündür. İvme ölçer ile kargonun eksen değişiklikleri takip edilebilir ve kilit mekanizmaları sayesinde kargoların güvenliği artırılabilmektedir. Buna ek olarak, ivme ölçer kullanarak farklı hassasiyet seviyelerinin kullanıcı tarafından seçilebilmesini sağlayacak şekilde geliştirmeler yapılmalıdır. Bu sayede, kullanıcılar kargo türüne ve ihtiyaçlarına göre uygun hassasiyet seviyesini seçerek daha özelleştirilmiş ve güvenli bir izleme deneyimi elde edebilirler. Bu öneriler, sistemin kullanılabilirliğini ve güvenliğini önemli ölçüde geliştirmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Sungur M. Kargo Hizmetlerinde Kalitenin Müşteri Memnuniyetine Olan Etkisi: Kargo Şirketlerine Yönelik Bir Uygulama. The Journal of Academic Social Science Yıl 2019:461–75.

[2] Tanyaş M, Hazır K. Lojistik Temel Kavramlar. Birinci Baskı, Mersin, Çağ Üniversitesi Yayınları, No: 5.: 2011.

[3] Genç A. Hava Kargo Operasyonlarının Etkin Yönetimi İçin Bir Model. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , 2013.

[4] Alkhoori O, Hassan A, Almansoori O, Debe M, Salah K, Jayaraman R, et al. Design and Implementation of CryptoCargo: A Blockchain-Powered Smart Shipping Container for Vaccine Distribution. IEEE Access 2021;9:53786–803. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070911.

[5] Chang WJ, Chen LB, Su JP. Design and Implementation of Intelligent Tape for Monitoring High-Price and Fragile Cargo Shipments during Transport Procedures. IEEE Sens J 2020;20:14521–33. https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3009322.

[6] Sergi I, Montanaro T, Benvenuto FL, Patrono L. A smart and secure logistics system based on IoT and cloud technologies. Sensors 2021;21. https://doi.org/10.3390/s21062231.

[7] Turgut M. Lojistikte Yeni Yönler Ve Trend Uygulamalar. Eğitim Yayınevi; 2022.

[8] Hume M. Understanding core and peripheral service quality in customer repurchase of the performing arts. Managing Service Quality: An International Journal 2008;18:349–69. https://doi.org/10.1108/09604520810885608.

[9] Ding Y, Jin M, Li S, Feng D. Smart logistics based on the internet of things technology: an overview. International Journal of Logistics Research and Applications 2021;24:323–45. https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1757053.

[10] Soon, Most Logistics Companies May Go out of Business Due to Technology n.d. https://www.morethanshipping.com/soon-most-logistics-companies-may-go-out-of-business-due-to-technology/ (accessed January 30, 2024).

[11] Özgün Sarıoğlu D, Özdemir M. Lojistik Süreçte Yeni Bir Uygulama ve Sektörün

Bakışı: Akıllı Konteyner. Adnan Menderes Üniversitesi Akademik Bilişim Konferansı 2016;1.

[12] Dergis B, Alp M, Köleoğlu N, Çinar B. Kargo Firmalarının İtibarının Müşteri Memnuniyetine Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2019;60:1–13.

[13] Fawcett SE, Birou L, Cofield Taylor B. Supporting Global Operations through Logistics and Purchasing. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 1993;23:3–11. https://doi.org/10.1108/09600039310041464.

[14] Lambert DM, Stock JR. Strategic Logistics Management. vol. 3rd ed. 1993.

[15] Rao K, Young RR. Global Supply Chains: Factors Influencing Outsourcing of Logistics Functions. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 1994;24:11–9. https://doi.org/10.1108/09600039410066141.

[16] Mahmood S, Hasan R, Ullah A, Sarker KU. SMART Security Alert System for Monitoring and Controlling Container Transportation 2019.

[17] Çullu B, Okursoy A. Investigation of Cargo Companies' Service Quality Using Text Mining. Anadolu University Journal of Social Sciences 2023;23:399–422.

[18] Flint DJ, Larsson E, Gammelgaard B, Mentzer JT. Logistics Innovatıon: A Customer Value-Orıented Socıal Process. Journal of Business Logistics 2005;26:113–47. https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2005.tb00196.x.

[19] Karagöz Y, MUTLU H, SAĞIR S, CELİL M. Kargo Şirketi Seçimini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçek Geliştirilmesi :Sivas Örneği. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt 15, Yıl 15, Sayı 2 2019.

[20] Yaman O, Bayğın M. UHF-RFID Based Smart Cargo Management and Real Time Tracking Approach. Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications 2020:38–45. https://doi.org/10.38016/jista.762685.

[21] Van Thai V, Grewal D. Selecting the location of distribution centre in logistics operations: A conceptual framework and case study. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics 2005;17:3–24.

https://doi.org/10.1108/13555850510672359.

[22] Fabien L. Design and implementation of a service guarantee. Journal of Services Marketing 2005;19:33–8. https://doi.org/10.1108/08876040510579370.

[23] Parasuraman A, Zeithaml VA, Berry LL. A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. Source: Journal of Marketing 1985;49:41–50.

[24] Büyükkeklik A, Özoğlu B, Bülbül H. Kargo Hizmet Sağlayıcılarında Kalitenin Tüketici Davranışına Etkisi: Bireysel Tüketici Araştırması *. Selcuk University Journal of Institute of Social Sciences Special Edition 2014:33–43.

[25] Songur G, Büyükkeklik A. Kargo Hizmet Sağlayıcılarında Hizmet Kalitesi Ve Kurumsal Müşteri Memnuniyeti: Konya İli Örneği. Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 2016:103–19.

[26] Windt K, Hülsmann M. Changing Paradigms in Logistics-Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer 2007:1–16.

[27] Evans D. The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Cisco Blog 2011.

[28] Montreuil B, Meller RD, Ballot E. Physical Internet Foundations. Studies in Computational Intelligence 2013;472:151–66. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35852-4_10.

[29] Sternberg H, Hagen A, Paganelli P, Lumsden K. Intelligent cargo - enabling future's sustainable and accountable transportation system. World Journal of Science, Technology and Sustainable Development 2010;7:253–62. https://doi.org/10.1108/20425945201000016.

[30] McFarlane D, Giannikas V, Lu W. Intelligent logistics: Involving the customer. Comput Ind 2016;81:105–15. https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.10.002.

[31] Chow HKH, Choy KL, Lee WB, Lau KC. Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations. Expert Syst Appl 2006;30:561–76. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.023.

[32] Xiao X, He Q, Fu Z, Xu M, Zhang X. Applying CS and WSN methods for improving efficiency of frozen and chilled aquatic products monitoring system in cold chain logistics. Food Control 2016;60:656–66. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.09.012.

[33] Sharma V, You I, Pau G, Collotta M, Lim JD, Kim JN. LoRaWAN-based energy-efficient surveillance by drones for intelligent transportation systems. Energies (Basel) 2018;11. https://doi.org/10.3390/en11030573.

[34] Xia F, Yang LT, Wang L, Vinel A. Internet of Things. International Journal of Communication Systems 2012;25:1101–2. https://doi.org/10.1002/dac.2417.

[35] Uckelmann D, Harrison M, Michahelles F. An Architectural Approach Towards the Future Internet of Things. Architecting the Internet of Things 2011:1–24. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19157-2_1.

[36] Miorandi D, Sicari S, De Pellegrini F, Chlamtac I. Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks 2012;10:1497–516. https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016.

[37] Fizza K, Banerjee A, Mitra K, Jayaraman PP, Ranjan R, Patel P, et al. QoE in IoT: a vision, survey and future directions. Discover Internet of Things 2021;1. https://doi.org/10.1007/s43926-021-00006-7.

[38] Delgosha MS, Hajiheydari N, Talafidaryani M. Discovering IoT implications in business and management: A computational thematic analysis. Technovation 2022;118. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102236.

[39] IoT connected devices worldwide 2019-2030 n.d. https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected- devices-worldwide/ (accessed February 1, 2024).

[40] Song Y, Yu FR, Zhou L, Yang X, He Z. Applications of the Internet of Things (IoT) in Smart Logistics: A Comprehensive Survey. IEEE Internet Things J 2021;8:4250–74. https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3034385.

[41] Golpîra H, Khan SAR, Safaeipour S. A review of logistics Internet-of-Things: Current trends and scope for future research. J Ind Inf Integr 2021;22. https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100194.

[42] Yılmaz Ü, Kuvat Ö. Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri. European Journal of Science and Technology 2021:746-754,. https://doi.org/10.31590/ejosat.1004953.

[43] Jagtap S, Duong L, Trollman H, Bader F, Garcia-Garcia G, Skouteris G, et al. IoT technologies in the food supply chain. Food Technology Disruptions 2021:175–211. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821470-1.00009-4.

[44] Baygin M, Yaman O, Baygin N, Karakose M. A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID. Expert Syst Appl 2022;188. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116030.

[45] Hewa T, Ylianttila M, Liyanage M. Survey on blockchain based smart contracts: Applications, opportunities and challenges. Journal of Network and Computer Applications 2021;177. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102857.

[46] Kamran R, Khan N, Sundarakani B. Blockchain technology development and implementation for global logistics operations: a reference model perspective. Journal of Global Operations and Strategic Sourcing 2021;14:360–82. https://doi.org/10.1108/JGOSS-08-2020-0047.

[47] Tian Z, Zhong RY, Vatankhah Barenji A, Wang YT, Li Z, Rong Y. A blockchain-based evaluation approach for customer delivery satisfaction in sustainable urban logistics. Int J Prod Res 2021;59:2229–49. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1809733.

[48] Becker M, Wenning B-L, Görg C, Jedermann R, Timm-Giel A. Logistic applications with Wireless Sensor Networks. n.d.

[49] Zhang Z, Chen Q, Bergarp T, Norman P, Wikström M, Yan X, et al. Wireless sensor networks for logistics and retail. 2009 Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS), 2009, p. 1–4.

[50] Papatheocharous E, Gouvas P. ETracer: An innovative near-real time track-and-trace platform. Proceedings - 2011 Panhellenic Conference on Informatics, PCI 2011, 2011, p. 282–6. https://doi.org/10.1109/PCI.2011.54.

[51] Gomes F, Paula L de. A Low-Power RFID Enabled Temperature Sensor for Cold Chain Management. IEEE International Symposium on Circuits and Systems

(ISCAS) 2015.

[52] Lin J-Y, Do T-A, Yang B-K, Huang Y-F. Design of Refrigerated Cargo Tracking Systems. 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing 2013:400–6.

[53] Abad E, Zampolli S, Marco S, Scorzoni A, Mazzolai B, Juarros A, et al. Flexible tag microlab development: Gas sensors integration in RFID flexible tags for food logistic. Sens Actuators B Chem 2007;127:2–7. https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.07.007.

[54] Wang L, Kwok SK, Ip WH. A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food. J Food Eng 2010;101:120–9. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.020.

[55] Yang G-H, Xu K. Hybrid Cargo-Level Tracking System for Logistics. IEEE 71st Vehicular Technology Conference 2010.

[56] Guo J, Wang K, Sun J, Jia Y. Research and Implementation of Low-Power Anomaly Recognition Method for Intelligent Manhole Covers. Electronics (Switzerland) 2023;12. https://doi.org/10.3390/electronics12081926.

[57] Zhang Y, Duan Z, Zhou S, Cao G. Development of Real-time Condition Monitoring System of Transportation Equipment for Hazardous Chemicals. Nucleic Acids Res 2007:106–8. https://doi.org/10.1093/nar/gkad1072.

[58] Prasanna KR, Hemalatha M. RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism. Procedia Eng 2012;30:726–9. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.920.

[59] Jianli S. Design and Implementation of lOT-Based Logistics Management System. IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering 2012.

[60] Oliveira RR, Noguez FC, Costa CA, Barbosa JL, Prado MP. SWTRACK: An intelligent model for cargo tracking based on off-the-shelf mobile devices. Expert Syst Appl 2013;40:2023–31. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.10.021.

[61] Oliveira RR, Cardoso IMG, Barbosa JLV, Da Costa CA, Prado MP. An intelligent model for logistics management based on geofencing algorithms and RFID

technology. Expert Syst Appl 2015;42:6082–97. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.001.

[62] Lian X, Zhang X, Weng Y, Duan Z. Warehouse Logistics Control and Management System Based on RFID *. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics 2007.

[63] Chuang C-H, Lee D-H, Chang W-J, Weng W-C, Shaikh MO, Huang C-L. Real-Time Monitoring via Patch-Type Piezoelectric Force Sensors for Internet of Things Based Logistics. IEEE Sens J 2017;17:2498–506. https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2665653.

[64] Chang WJ, Chen LB, Su JP. Design and Implementation of Intelligent Tape for Monitoring High-Price and Fragile Cargo Shipments during Transport Procedures. IEEE Sens J 2020;20:14521–33. https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3009322.

[65] ESP32WROOM32E Datasheet n.d. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf (accessed January 28, 2024).

[66] STSW-ST25SDK001—Software Development Kit for ST25 Tags and Dynamic Tags—STMicroelectronics 2021. https://www.st.com/en/embedded-software/stsw-st25sdk001.html (accessed May 31, 2021).

[67] Peres C, Emam M, Jafarzadeh H, Belcastro M, O'flynn B. Development of a low-power underwater nfc-enabled sensor device for seaweed monitoring. Sensors 2021;21. https://doi.org/10.3390/s21144649.

[68] Larke M. Provisioning embedded systems with dual-interface NFC tags. Metropolia University of Applied Sciences, 2022.

[69] ST25DV Datasheet n.d. https://www.st.com/resource/en/datasheet/st25dv04k.pdf (accessed January 28, 2024).

[70] LIS2DH12 Datasheet n.d. chrome-extension://hmigninkgibhdckiaphhmbgcghochdjc/pdfjs/web/viewer.html?file=file%3A%2F%2F%2Fhome%2Filyas%2FDesktop%2FIlyasBasaran%2FThesis%2FSmartCargo%2FDatasheet%2Flis2dh12.pdf (accessed January 30, 2024).

[71] LIS2DW12 Block Diagram n.d. https://www.lisleapex.com/blog-lis2dw12-vs-lis2dh12-what-are-differences-and-how-to-choose (accessed June 6, 2024).

[72] SiSonic™ Surface Mount MEMS Microphones n.d. https://www.knowles.com/subdepartment/dpt-microphones/subdpt-sisonic-surface-mount-mems (accessed January 31, 2024).

[73] SPH0645LM4H-B Rev C Datasheet n.d. https://www.mouser.com.tr/datasheet/2/218/ph0645lm4h_b_datasheet_rev_c-1525723.pdf (accessed January 31, 2024).

[74] Uğur D. Mamdani Tip Bulanık Mantık Tabanlı Sera İklim Denetim Sistemi Tasarımı. KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ, 2021.

[75] BH1750FVI-TR Datasheet n.d. https://www.farnell.com/datasheets/1813320.pdf (accessed February 1, 2024).

[76] Okur KE, Bilir S, Karahan B, Çaliş E, Öztürk S. Ev Tipi Fototerapi Ve Bilirubinmetre Cihazı. 2. Ulusal Biyomedikal Cihaz Tasarımı ve Üretimi Sempozyumu, 2017.

[77] Barai S, Bin F. Smart Weather Station 2018.

[78] BH1750 Block Diagram n.d. https://www.14core.com/wp-content/uploads/2016/10/BH1750-Block-Diagram-Light-Sensor.jpg (accessed February 1, 2024).

[79] Norizah T, Ishak BM. Smart Air Quality Monitoring System With Nextion Display. Conference LIS 2023, 2023, p. 2985–4393.

[80] Air Quality Sensor MP503 Manual n.d. https://www.winsen-sensor.com/d/files/mp503-(ver1_5)---manual(1).pdf (accessed February 1, 2024).

[81] QMB-09B-03 Buzzer Datasheet n.d. https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2104011834_Jiangsu-Huaneng-Elec-QMB-09B-03_C96256.pdf (accessed February 8, 2024).

[82] BME 280 Datasheet n.d. https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf (accessed February 8, 2024).

[83] Humidity Sensor BME280 | Bosch Sensortec n.d. https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/ (accessed February 8, 2024).

[84] BME 280 Block Diagram n.d. https://www.electronicwings.com/storage/ComponentSection/Components/BME280_Humidity_Pressure_Sensor/BME280%20Block%20Diagram.PNG (accessed February 8, 2024).

[85] Caruso MJ, Smith CH, Bratland T, Honeywell RS. A New Perspective on Magnetic Field Sensing 1999.

[86] DRV5053 data sheet, product information and support | TI.com n.d. https://www.ti.com/product/DRV5053 (accessed February 8, 2024).

[87] DRV5053 Hall Effect Datasheet n.d. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5053.pdf?ts=1707376503721&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (accessed February 8, 2024).

[88] DRV5053 Hall Effect Block Diagram n.d. https://www.ti.com/ds_dgm/images/fbd_slis153d.gif (accessed February 8, 2024).

[89] Cameron N. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices 2020:1–697. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6336-5.

ÖZGEÇMİŞ

İlyas Başaran, Marmara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesine sahiptir. Çeşitli şirketlerde gömülü yazılım geliştirici olarak çalışan yazar şu an Zebra Elektronik firmasında gömülü yazılım geliştirici olarak çalışmaktadır. Ayrıca, Prosis Elektronik, Sis Mühendislik, Kontrolmatik, GOHM Elektronik, BuyBuddy Elektronik ve DTSis Elektronik gibi firmalarda staj ve iş deneyimleri edinmiştir.

İlyas'ın teknik becerileri arasında C, Python ve Assembly programlama dilleri; Code Composer Studio, Keil uVision ve AutoCAD gibi yazılım araçları yer almaktadır. Öğrencilik yıllarında hidrojenle çalışan bir araç prototipi ve uzaktan kontrol edilebilen bir hava durumu istasyonu projelerinde yer almıştır.