**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# KAPALI ALAN TAKİP SİSTEMLERİ İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR BİR ÇÖZÜM GELİŞTİRİLMESİ: MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ

**GAFUR HAYYTBAYEV**

**KOCAELİ 2025**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# KAPALI ALAN TAKİP SİSTEMLERİ İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR BİR ÇÖZÜM GELİŞTİRİLMESİ: MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ

**GAFUR HAYYTBAYEV**

| | |
|---|---|
| **Prof. Dr. Kerem KÜÇÜK**<br>**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** | ..... |
| **Dr. Mahmut ÇAVUR**<br>**Eş Danışman, Kadir Has Üniversitesi** | ..... |
| **Dr. Öğr. Üyesi Meltem KURT PEHLİVANOĞLU**<br>**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** | ..... |
| **Dr. Öğr. Üyesi Yunus ÖZEN**<br>**Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi** | ..... |
| **Doç. Dr. Alev MUTLU**<br>**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** | ..... |

**Tezin Savunulduğu Tarih: 23.01.2025**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

■ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Minesoft Bilişim Ltd Şti tarafından 072443 no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gafur HAYYTBAYEV

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.
Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.
Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

■ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Gafur HAYYTBAYEV

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Teknolojinin hızla ilerlemesi, iletişim sistemlerinde yenilikçi çözümler sunarken, bu sistemlerin tasarımı, yönetimi ve optimizasyonunu daha karmaşık hâle getirmiştir. Özellikle kapalı alan takip sistemleri, zorlu çevresel koşullar altında doğru ve verimli izleme ihtiyacının arttığı kritik uygulamalar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, madencilik gibi tehlikeli ve erişimi güç ortamlarda güvenli, ölçeklenebilir ve etkin bir takip sisteminin geliştirilmesi, mevcut teknolojik imkânların daha verimli şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tez çalışması, maden ocakları gibi kapalı alanlarda çalışan bir takip sisteminin mikroservis mimarisi kullanılarak nasıl geliştirilebileceğine yönelik kapsamlı bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın her aşamasında, bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, akademik yönlendirmeleri ve kıymetli katkılarıyla çalışmama büyük değer katan danışman hocam Prof. Dr. Kerem KÜÇÜK'e en derin şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tez sürecinde sunduğu değerli katkılar ve bilimsel desteklerinden dolayı Dr. Mahmut ÇAVUR'a içten teşekkür ederim.

Tez savunmam sırasında yapıcı değerlendirmeleri ve kıymetli geri bildirimleriyle çalışmamın gelişimine katkı sağlayan jüri üyeleri Dr. Yunus ÖZEN, Doç. Dr. Alev MUTLU ve Dr. Meltem KURT PEHLİVANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesine önemli katkılar sunan ÇAN-KAYA KAYA TUZU TAAHHÜT TİCARET VE SANAYİ ANONİM ŞİRKETİ'ne özellikle teşekkür etmek isterim. Test, deney ve geliştirme süreçleri için sunduğu imkânlar, bu bilimsel çalışmanın başarıyla tamamlanmasına büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Ülkemizde bu alanda yüksek öneme sahip sistemlerin etkin kullanımına yönelik çalışmalara liderlik eden bir firma olarak, bilimsel araştırmalara verdiği destekten dolayı ÇAN-KAYA firmasının İşletme Müdürü Murat Danacı'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu bilimsel çalışma kapsamında altyapı, cihazlar ve seyahat masrafları dâhil tüm giderleri karşılayan ve araştırmamın her aşamasında sağladığı destekle sürecin sorunsuz ilerlemesine katkıda bulunan Minesoft Bilişim İnş. Enerji Mad. Dan. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarım süresince sabır ve destekleriyle daima yanımda olan sevgili eşim ve aileme gönülden teşekkür ederim. Onların varlığı, bu süreci başarıyla tamamlamamda en büyük motivasyon kaynağı olmuştur.

Ocak – 2025 Gafur HAYYTBAYEV

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ ..... i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ..... ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... iii
İÇİNDEKİLER ..... iv
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... vi
TABLOLAR DİZİNİ ..... vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... viii
ÖZET ..... x
ABSTRACT ..... xi
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Araştırma Konusunun Tanıtımı ..... 1
1.2. Problem Tanımı ..... 1
1.3. Araştırmanın Amacı ve Önemi ..... 3
1.4. Tezin Kapsamı ve Katkıları ..... 3
1.5. Tezin Organizasyonu ..... 5
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ ..... 7
2.1. Kapalı Alan Takip Sistemleri ..... 7
2.1.1 Kullanım Alanları ..... 7
2.1.2 Avantajları ve Zorluklar ..... 8
2.2. RFID Teknolojisi ..... 9
2.3. Mikroservis Mimarisi ..... 11
2.4. Mevcut Çözümler ve Literatür Taraması ..... 12
2.4.1 Kapalı Alan Takip Sistemleri ..... 12
2.4.2 RFID Tabanlı Konum Belirleme Sistemleri ..... 13
2.4.3 Mikroservis Mimarisi ile Entegre Takip Sistemleri ..... 13
2.4.4 Literatürdeki Eksiklikler ve Katkılar ..... 14
3. TEKNOLOJİ, ALTYAPI VE YÖNTEM ..... 16
3.1. Kullanılan Donanım ve Yazılım ..... 16
3.1.1 Donanım Bileşenleri ..... 16
3.1.2 Yazılım Bileşenleri ..... 21
3.2. Kullanılan Teknolojiler ..... 22
3.2.1 Spring Framework ..... 22
3.2.2 Eureka ve Mikroservis Yönetimi ..... 24
3.2.3 RabbitMQ ve Mesajlaşma Mimarisi ..... 25
3.2.4 RxJava ..... 26
3.2.5 PostgreSQL ile Veri Yönetimi ..... 28
3.2.6 Liquibase ..... 29
3.2.7 Docker ile Konteynerleştirme ..... 31
3.2.8 JUnit ile Test Yazımı ..... 32
3.2.9 Geotools ..... 33
3.3. Kullanılan Yöntemler ..... 34
3.3.1 RFID Tabanlı Takip Sistemi ..... 34
3.3.2 Konum Belirleme Algoritmaları: Fingerprinting Yöntemi ..... 35
3.3.3 Konum Belirleme Algoritmaları: Medyan Yöntemi ..... 36
3.3.4 Veri Toplama ve İşleme Süreci ..... 37
3.4. 2.4GHz RFID Okuyucu İletişim Protokolü ..... 37

3.4.1 Haberleşme Katmanları ... 37
3.4.2 Komut Kümeleri ... 40
3.4.3 Kullanım Alanları ... 40
3.5. Sistem Mimarisi ve Bileşenleri ... 40
3.5.1 Servisler Arası İletişim Altyapısı ... 44
3.5.2. Sistem Çalışma Prensibi ve Veri Akışı ... 45
3.5.3. TCP İletişim Bileşeni ... 46
3.5.4. Kullanıcı Arayüzü ... 46
3.6. Konumlandırma Süreci ... 49
3.6.1. Girdi Bileşenleri ... 49
3.6.2. Çıktı Bileşeni ... 50
3.6.3. Konum Belirleme Süreci ... 51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ... 53
4.1. Konumlandırma Sonuçları ... 53
4.2. Sistem Performansı ve Ölçeklenebilirlik ... 54
4.3. Test Sonuçları ve Değerlendirme ... 55
4.3.1. Test Alanı ve Yapılandırma ... 56
4.3.2. Test Yöntemi ... 56
4.3.3. Test Sonuçları ... 56
4.3.4. Değerlendirme ve Sonuçlar ... 60
4.4. Sistem Hataları ve Zayıflıklar ... 61
4.5. Kullanıcı Arayüzü ve Deneyimi ... 63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ... 65
KAYNAKLAR ... 68
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER ... 70
ÖZGEÇMİŞ ... 71

## ŞEKİLLER DİZİNİ


Şekil 3.1. Donanım Bileşenleri ..... 17
Şekil 3.2. Spring Framework Mimarisi ..... 23
Şekil 3.3. RabbitMQ Mimarisi ..... 25
Şekil 3.4. RxJava'da map operasyon örneği ..... 26
Şekil 3.5. Fingerprinting Algoritması ..... 35
Şekil 3.6. Haberleşme Katmanları ..... 38
Şekil 3.7. Sistem Tasarımı ..... 41
Şekil 3.8. Kapalı Alan Takip Sistemi: Donanım ve Yazılım Bileşenleri ..... 41
Şekil 3.9. Sistem Mimarisi ve Bileşenleri ..... 42
Şekil 3.10. TCP İletişim Bileşeni ..... 46
Şekil 3.11. Sistemin Ana Arayüzü ..... 48
Şekil 3.12. RFID Okuyucu ..... 50
Şekil 3.13. Referans Noktası ..... 50
Şekil 3.14. İki ve daha fazla okuyucu ile konumlandırma ..... 52
Şekil 4.1. RFID Okuyucuları ve Etiket Yerleşimi ile Test Alanı Düzeni ..... 55

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. RFID Okuyucunun Teknik Özellikleri ..... 18
Tablo 3.2. Seri-Ethernet Adaptörü Teknik Özellikleri ..... 19
Tablo 3.3. RS485 Kablosu Teknik Özellikleri ..... 20
Tablo 3.4. Fiziksel Katman Özellikleri ..... 39
Tablo 3.5. Arayüz Katmanı ..... 39
Tablo 4.1. Gerçek Konum ..... 57
Tablo 4.2. RSSI Sinyaller ..... 58
Tablo 4.3. Ortalama RSSI Değerleri ..... 59
Tablo 4.4. Gerçek ve Sistem Konumlarının Karşılaştırılması ..... 60

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

| | | |
|---|---|---|
| ACID | : | Atomicity, Consistency, Isolation, Durability (Atomiklik, Tutarlılık, İzolasyon, Kalıcılık) |
| AMQP | : | Advanced Message Queuing Protocol (Gelişmiş Mesaj Kuyruğu Protokolü) |
| AOP | : | Aspect-Oriented Programming (Yönelimli Programlama) |
| API | : | Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü) |
| ARP | : | Address Resolution Protocol (Adres Çözümleme Protokolü) |
| AoA | : | Angle of Arrival (Varış Açısı) |
| BLE | : | Bluetooth Low Energy (Düşük Güçlü Bluetooth) |
| CI | : | Continuous Integration (Sürekli Entegrasyon) |
| CD | : | Continuous Delivery (Sürekli Teslimat) |
| CRC16 | : | Cyclic Redundancy Check 16-bit (Çevrimsel Yedeklilik Kontrolü 16-bit) |
| CRUD | : | Create, Read, Update, Delete (Oluşturma, Okuma, Güncelleme, Silme) |
| CTS | : | Clear To Send (Gönderme İçin Hazır) |
| DC | : | Direct Current (Doğru Akım) |
| DHCP | : | Dynamic Host Configuration Protocol (Dinamik Ana Makine Yapılandırma Protokolü) |
| DNS | : | Domain Name System (Alan Adı Sistemi) |
| E2E | : | End-to-End (Uçtan Uca) |
| ERP | : | Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlama) |
| ESB | : | Enterprise Service Bus (Kurumsal Servis Yönlendirme) |
| ESD | : | Electrostatic Discharge (Elektrostatik Deşarj) |
| GFSK | : | Gaussian Frequency-Shift Keying (Gauss Frekans Kaydırmalı Anahtarlama) |
| GIS | : | Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi) |
| GND | : | Ground (Toprak) |
| GPS | : | Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi) |
| HDOP | : | Horizontal Dilution of Precision (Yatay Doğruluk Seyreltilmesi) |
| HF | : | High Frequency (Yüksek Frekans) |
| HTTP | : | Hypertext Transfer Protocol (Hiper Metin Transfer Protokolü) |
| HTTPD | : | Hypertext Transfer Protocol Daemon (Hiper Metin Transfer Protokolü Daemon'u) |
| ICMP | : | Internet Control Message Protocol (İnternet Kontrol Mesajı Protokolü) |
| IP | : | Internet Protocol (İnternet Protokolü) |
| IoT | : | Internet of Things (Nesnelerin İnterneti) |
| JDBC | : | Java Database Connectivity (Java Veritabanı Bağlantısı) |
| JMS | : | Java Message Service (Java Mesaj Servisi) |
| JVM | : | Java Virtual Machine (Java Sanal Makinesi) |
| LED | : | Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot) |
| LF | : | Low Frequency (Düşük Frekans) |
| LIFI | : | Light Fidelity (Işık Bağlantı Teknolojisi) |
| MVC | : | Model-View-Controller (Model-Görünüm-Denetleyici) |
| ORM | : | Object-Relational Mapping (Nesne-İlişkisel Eşleme) |

| | | |
|---|---|---|
| OXM | : | Object XML Mapping (Nesne XML Eşlemesi) |
| REST | : | Representational State Transfer (Temsili Durum Transferi) |
| RF | : | Radio Frequency (Radyo Frekansı) |
| RFID | : | Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama) |
| RS-485 | : | Recommended Standard 485 (Tavsiye Edilen Standart 485) |
| RSSI | : | Received Signal Strength Indicator (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) |
| RTS | : | Ready To Send (Gönderilmeye Hazır) |
| Rx | : | Reactive Extensions (Reaktif Uzantılar) |
| SOA | : | Service-Oriented Architecture (Servis Yönelimli Mimari) |
| SQL | : | Structured Query Language (Yapılandırılmış Sorgu Dili) |
| TCP | : | Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü) |
| ToF | : | Time of Flight (Uçuş Zamanı) |
| UDP | : | User Datagram Protocol (Kullanıcı Veri Paket Protokolü) |
| UHF | : | Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans) |
| UWB | : | Ultra-Wideband (Ultra Geniş Bant) |
| UX | : | User Experience (Kullanıcı Deneyimi) |
| WIFI | : | Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı) |
| WPN | : | Wireless Personal Network (Kablosuz Kişisel Ağ) |
| Web | : | World Wide Web (Dünya Çapında Ağ) |

# KAPALI ALAN TAKİP SİSTEMLERİ İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR BİR ÇÖZÜM GELİŞTİRİLMESİ: MADEN OCAĞI ÖRNEĞİ

## ÖZET

Kapalı alan takip sistemlerine olan talep, özellikle maden ocakları gibi zorlu çevresel koşullarda sürekli artış göstermektedir. GPS, açık alanlarda konum tayini açısından yüksek doğruluk sunan bir teknoloji olmasına karşın, kapalı alan konumlandırma sistemleri; donanımsal gereksinimler, konum kestirim algoritmaları, sistem mimarisi ve altyapı tasarımı bakımından kendine özgü teknik zorluklar barındırmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla birçok araştırmacı, algoritma ve donanım tabanlı çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında, farklı platformlarla uyumlu çalışabilen, ölçeklenebilir, esnek ve arıza durumlarında işlevselliğini sürdürebilen bir kapalı alan konumlandırma çözümü geliştirilmiştir. RFID tabanlı konum izleme yeteneğine sahip olan sistemde, toplanan veriler PostgreSQL veri tabanında saklanarak yönetilmektedir. Sistem mimarisi, Spring Framework ve RabbitMQ üzerine inşa edilmiş olup, Java programlama dili ile geliştirilmiştir.

Önerilen sistem, farklı maden sahalarında test edilmiştir. Çankırı'daki tuz madeninde gerçekleştirilen testlerde, ortalama konumlandırma hatası 12,14 metre olarak ölçülmüştür. Sistem, çoklu platform desteği sayesinde web, masaüstü ve mobil uygulama geliştirmelerini mümkün kılmakta olup; Windows, Linux ve MacOS işletim sistemleriyle sorunsuz entegrasyon sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kapalı Alan Konumlandırma, Kapalı Alan Takip Sistemleri, Lokasyon Tabanlı Hizmetler, Mikroservisler, RFID.

**DEVELOPMENT OF A SCALABLE SOLUTION FOR INDOOR TRACKING SYSTEMS: A MINING EXAMPLE**

## ABSTRACT

The demand for indoor tracking systems, particularly in challenging environmental conditions such as mining sites, has been steadily increasing. While GPS technology offers high accuracy for outdoor location determination, indoor positioning systems present unique technical challenges in terms of hardware requirements, location estimation algorithms, system architecture, and infrastructure design. To address these challenges, numerous researchers have focused on developing algorithmic and hardware-based solutions.

This study presents a scalable, flexible, and fault-tolerant indoor positioning solution capable of operating across multiple platforms. The RFID-based tracking system stores collected data in a PostgreSQL database. The system architecture is built on the Spring Framework and RabbitMQ, developed using the Java programming language.

The proposed system was tested in various mining sites. In tests conducted at the salt mine in Çankırı, the average positioning error was measured at 12.14 meters. The system, with multi-platform support, enables the development of web, desktop, and mobile applications and provides seamless integration with Windows, Linux, and macOS operating systems.

**Keywords:** Indoor Positioning, Indoor Tracking Systems, Location-based Services, Microservices, RFID.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Araştırma Konusunun Tanıtımı

Kapalı alan takip sistemleri, teknolojinin hızlı ilerleyişiyle birlikte çok çeşitli sektörlerde kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür sistemler, maden ocaklarından lojistik tesislere, hastanelere kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır ve bu kullanımda amaç, insanların ve ekipmanların konumlarını izleyerek güvenliği ve verimliliği artırmaktır. Özellikle yeraltı maden ocaklarında, çalışanların güvenliği için gerçek zamanlı takip kritik bir önem taşımaktadır.

Kapalı alanlarda GPS teknolojisinin etkili olamaması nedeniyle alternatif konumlandırma sistemleri geliştirilmiştir. RFID, Bluetooth, Wi-Fi ve UWB gibi teknolojiler bu bağlamda en yaygın kullanılan seçeneklerdir. Ancak her teknolojinin kendine has avantajları ve zorlukları bulunmaktadır. RFID, düşük maliyetli ve yüksek güvenilirlik sağlayan bir çözüm olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bununla birlikte, kapalı alanlarda RFID'nin etkinliği, sinyal kayıpları ve çevresel engeller nedeniyle sınırlı olabilir. Bu sebeple, RFID tabanlı sistemlerin geliştirilmesinde çeşitli inovasyonlar ve optimizasyonlar yapılması gerekmektedir.

Literatürde kapalı alan takip sistemlerine dair birçok çözüm bulunmasına rağmen, mevcut sistemlerin çoğu belirli alanlara özgü olup genellikle tek bir teknoloji, altyapıyı ve yaklaşımı kullanmaktadır. Bu durum, daha geniş ölçekli ve esnek çözümler geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Örneğin, mevcut sistemler çoğunlukla donanım ya da yazılım odaklı çözümler sunarken, bütüncül bir yaklaşım, platform, altyapı ve teknoloji bağımsızlığı genellikle göz ardı edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu eksiklikleri giderecek, esnek, performans odaklı, bağımsız ve entegre bir sistem geliştirmektir.

## 1.2. Problem Tanımı

Kapalı alan takip sistemleri, günümüzde çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Ancak, kapalı alanlarda konumlandırma ve takip yapmak, özellikle GPS gibi geleneksel açık alan teknolojilerinin etkisiz olduğu ortamlarda, önemli zorluklar sunmaktadır. Bu tür zorluklar, çevresel faktörler, altyapı eksiklikleri ve teknolojik sınırlamalar nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir. Bu problemler,

özellikle maden ocakları gibi kapalı ve geniş alanlarda çalışan insanların güvenliği ve verimliliği için kritik bir önem taşır.

Kapalı alanlarda konumlandırma, çevresel engeller ve sinyal kayıpları gibi sorunlar nedeniyle düşük doğrulukla gerçekleşebilmektedir. Örneğin, madenlerde metal yapılar, kayaçlar ve diğer engeller, sinyallerin zayıflamasına veya tamamen kaybolmasına yol açabiliyor. Ayrıca, mevcut sistemlerin çoğu, belirli alanlar için optimize edilmiş olup, genel kullanım için esnek ve ölçeklenebilir çözümler sunmakta yetersiz kalmaktadır. Bu da bu tür sistemlerin büyük ölçekli ve çok farklı endüstriyel alanlarda uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Bir diğer önemli problem, kapalı alan takip sistemlerinin entegrasyonu ve sürdürülebilirliği ile ilgilidir. Mevcut çözümler genellikle tek bir teknolojiye dayanmaktadır (örneğin sadece Wi-Fi), ancak bu tür sistemler çevresel değişkenlikler karşısında zayıf kalabilir. Dolayısıyla, bu tür sistemlerin daha dayanıklı, hata toleranslı ve çok platformlu olması gerekmektedir. Ayrıca, farklı donanım ve yazılım bileşenlerinin uyum içinde çalışması hem maliyetleri hem de sistem yönetimini etkileyebilmektedir.

Kullanılan teknolojilerin standartlaşması konusunda yaşanan sorunlar, daha esnek ve uyarlanabilir bir çerçeveye duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Örneğin, RFID teknolojisinin kullanıldığı bir sistemde, farklı bir üreticiye ait RFID cihazlarının entegrasyonu söz konusu olduğunda, tüm iletişim protokollerinin değiştirilmesi ve sistemin baştan tasarlanması gerekmektedir. Bu tür sorunlarla karşılaşmamak adına, daha modüler bir yapıya sahip ve yalnızca değişen bileşen üzerinde müdahale, iyileştirme veya düzeltme yapmayı mümkün kılan bir çerçeve, sistemin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür bir yaklaşım hem maliyetleri düşürmekte hem de sistemin sürdürülebilirliğini artırmaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmada ele alınan temel problem, kapalı alanlarda yüksek doğrulukla konumlandırma yapabilen, çevresel zorluklara dayanıklı ve farklı endüstriyel ortamlarla uyumlu bir takip sistemi tasarlamaktır. Geliştirilecek bu sistemin, maden ocaklarında ve benzeri kapalı alanlarda güvenlik, verimlilik, sürdürülebilirlik ve ölçeklenebilirlik açısından nasıl bir çözüm sunduğunun analiz edilmesi hedeflenmektedir. Mevcut çözümlerle karşılaştırıldığında, önerilen sistemin doğruluk, esneklik ve sürdürülebilirlik

gibi kriterlerde ne gibi iyileştirmeler sunduğu belirlenerek, bu problemlere yenilikçi bir çözüm getirilmesi amaçlanmaktadır.

### 1.3. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın ana amacı, kapalı alan takip sistemlerinde karşılaşılan zorlukları aşmak için mikro hizmet tabanlı bir çözüm geliştirmektir. Sistem hem konumlandırma doğruluğu hem de ölçeklenebilirlik açısından iyileştirmeler sunmayı hedeflemektedir. Çalışmanın odak noktası, kapalı alanlarda RFID tabanlı bir takip sisteminin etkinliğini artırmak ve bu sistemin gerçek dünya koşullarında test edilmesidir. Bu amaçla, maden ocakları gibi farklı fiziksel koşullara sahip alanlarda testler yapılmıştır.

Araştırmanın önemi, kapalı alan takip sistemlerinin geniş bir endüstri yelpazesinde uygulanabilirliğini artırmayı hedeflemesinden kaynaklanmaktadır. Geliştirilen sistem, yalnızca teknik açıdan sağlam bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda işletmelerin operasyonel verimliliklerini artırmalarına ve çalışan güvenliğini sağlamak adına önemli bir katkı sunmaktadır. Özellikle maden ocaklarında, çalışanların güvenliğini sağlamak için takip sistemlerinin uygulanabilirliği kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, güvenlik, verimlilik ve esneklik açısından önemli bir çözümdür.

Kapalı alan takip sistemlerinin geliştirilmesi, özellikle büyük işletmeler ve endüstriler için önemli bir gereklilik olmuştur. Bu araştırma, geliştirdiği çözüm ile yalnızca akademik alanda katkı sağlamakla kalmayıp, gerçek dünya uygulamalarında da işlevsel bir çözüm sunmaktadır. Araştırma, endüstriyel alandaki veri akışını optimize ederek, bu tür sistemlerin daha verimli, güvenilir ve düşük maliyetli olmasına olanak tanıyacaktır. Ayrıca, literatürde eksik olan bir boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve gelecekteki çalışmalara da ışık tutmayı hedeflemektedir.

### 1.4. Tezin Kapsamı ve Katkıları

Bu tez, kapalı alan takip sistemlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanarak, özellikle maden ocaklarında çalışan insanların güvenliğini artırmayı hedefleyen bir çözüm sunmaktadır. Geliştirilen sistem, RFID teknolojisi ile konumlandırma yapmayı amaçlamakta olup, mikroservis mimarisi ve modern yazılım teknolojileri kullanılarak esnek, ölçeklenebilir ve dayanıklı bir çözüm oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, sistemin hem yazılım

altyapısı hem de donanım bileşenleri ele alınarak, çeşitli testler gerçekleştirilmiş ve sistemin etkinliği ölçülmüştür.

Tezin kapsamı, aşağıdaki temel alanları içermektedir:

- Kapalı Alan Takip Sistemlerinin Tasarımı: Bu çalışmada, kapalı alanlarda konumlandırma yapabilen bir takip sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem, özellikle zorlu çevresel koşullarda etkin çalışabilecek şekilde yapılandırılmıştır.
- RFID Teknolojisinin Kullanımı: Kapalı alan takip sistemlerinde RFID'nin kullanımı, sistemin doğruluğunu artırmak ve maliyetleri düşürmek için tercih edilmiştir. RFID'nin etkinliği, testlerde ve analizlerde detaylı bir şekilde ele alınmıştır.
- Mikroservis Mimarisi: Sistem, modüler bir yapıya sahip olacak şekilde mikroservis mimarisi ile tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, sistemin esnekliğini ve ölçeklenebilirliğini sağlamaktadır.
- Testler ve Uygulama: Sistem, Türkiye'nin en büyük yer altı tuz madeni ortamında test edilmiştir: Çankırı'daki ÇANKAYA Tuz firmasına ait tuz madeninde 3 RFID okuyucu ve 21 RFID etiket kullanılarak performans değerlendirilmiştir.

Tezin katkıları şu şekilde sıralanabilir:

- Yeni Bir Takip Sistemi Tasarımı: Bu tez, kapalı alanlarda yüksek doğrulukla çalışan, çevresel engellere dayanıklı ve ölçeklenebilir bir takip sistemi önererek mevcut literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.
- Mikroservis Tabanlı Çözüm: Sistem, mikroservisler kullanarak modern yazılım mühendisliği uygulamalarını içermektedir. Bu, sistemin esnekliğini artırmakta ve farklı platformlarla entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır.
- Gerçek Ortam Testleri: Sistem, gerçek ortam koşullarında (maden ocakları gibi zorlu ortamlarda) test edilerek, teorik bir çözümün pratikte nasıl çalıştığı gösterilmiştir.
- Çoklu Platform Desteği: Geliştirilen sistem, web, masaüstü ve mobil platformlar dahil olmak üzere çoklu platform desteği sunarak geniş bir kullanım yelpazesi sağlamaktadır.
- Veri Depolama ve Analiz: PostgreSQL veri tabanı kullanılarak toplanan verilerin analizi, sistemin doğruluğu ve güvenilirliği konusunda önemli veriler sunmuştur.

Tezin bu çalışmalara sunduğu katkılar, sadece akademik anlamda değil, aynı zamanda endüstriyel alanda da geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Kapalı alan takip sistemlerinin daha verimli ve güvenilir hale gelmesi, özellikle maden ocakları gibi tehlikeli iş alanlarında önemli bir gelişme sağlayacaktır.

### 1.5. Tezin Organizasyonu

Bu tez, kapalı alan takip sistemlerinin geliştirilmesi, uygulanması ve test edilmesi üzerine yapılandırılmıştır. Araştırma, mikroservis mimarisi ve RFID teknolojileri kullanarak bu sistemlerin etkinliğini ve ölçeklenebilirliğini incelemektedir. Tez, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

1. Giriş: Bu bölüm, araştırmanın amacını, kapsamını ve motivasyonunu tanıtarak, kapalı alan takip sistemlerine duyulan ihtiyacı ve bu alandaki teknolojik gelişmeleri tartışmaktadır. Ayrıca, araştırmanın temel soruları ve tezde kullanılacak yöntemler hakkında genel bilgiler sunulmaktadır.
2. Literatür İncelemesi: Kapalı alan takip sistemleri, RFID teknolojisi ve mikro hizmet mimarisi gibi temel teknolojiler hakkında geniş bir literatür taraması ve teorik açıklamalar bu bölümde yer almaktadır. Ayrıca, bu teknolojilerin maden ocaklarında nasıl uygulanabileceği ve bu alandaki çözümler ele alınmaktadır.
3. Teknoloji, Altyapı ve Yöntem: Bu bölümde, araştırmada kullanılan malzemeler (donanım ve yazılım), sistemin kurulum süreci ve kullanılan yöntemler detaylı olarak açıklanacaktır. RFID etiketleri, okuyucuları, iletişim yöntemleri PostgreSQL veritabanı, RabbitMQ ve Spring Framework gibi sistem bileşenleri tanıtılacaktır. Ayrıca, mikro hizmet mimarisine dayalı bir çözümün nasıl tasarlandığı ve uygulandığı anlatılacaktır.
4. Bulgular ve Tartışma: Bu bölümde, sistemin test edildiği tuz madenin elde edilen veriler ve bu verilerin analizleri sunulacaktır. Testler sırasında elde edilen doğruluk oranları, sistemin performansı ve ölçeklenebilirliği tartışılacaktır. Ayrıca, sistemin güçlü ve zayıf yönleri üzerinde durulacak ve bulgulara dayalı olarak potansiyel geliştirmeler önerilecektir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar derinlemesine tartışılacak ve literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılacaktır. Sistemle ilgili güçlü ve zayıf yönler analiz edilerek, genel bir değerlendirme yapılacak ve sonuçlar ışığında önerilerde bulunulacaktır.

5. Sonuçlar ve Öneriler: Araştırmanın bulguları özetlenecek ve bu bulguların genel değerlendirmesi yapılacaktır. Çalışmanın katkıları, sınırlamaları ve gelecekte yapılabilecek iyileştirmelere dair öneriler sunulacaktır. Ayrıca, kapalı alan takip sistemlerinin gelecekteki kullanım alanları üzerine görüşler paylaşılacaktır.

# 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

## 2.1. Kapalı Alan Takip Sistemleri

Kapalı alan takip sistemleri, belirli bir alan içinde nesnelerin veya bireylerin konumlarını belirlemek ve izlemek için kullanılan teknolojik çözümlerdir. Bu sistemler, özellikle GPS gibi açık alan konumlandırma sistemlerinin yetersiz kaldığı ortamlarda önemli bir rol oynar. GPS sinyalleri bina, tünel veya maden gibi kapalı alanlarda zayıfladığı veya tamamen kaybolduğu için, alternatif teknolojiler kullanılarak konum takibi gerçekleştirilmelidir.

Kapalı alan takip sistemleri, endüstriyel üretimden sağlık hizmetlerine, akıllı binalardan maden ocaklarına kadar birçok alanda kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemler genellikle RFID, BLE, Wi-Fi, UWB ve LIDAR gibi teknolojiler kullanarak kapalı ortamlarda konum tespiti yapar.

Gelişen sensör teknolojileri, büyük veri analitiği ve yapay zeka destekli çözümlerle birlikte kapalı alan takip sistemleri daha doğru, ölçeklenebilir ve verimli hale gelmiştir. Bu sistemlerin geliştirilmesi, özellikle endüstriyel güvenlik, çalışan sağlığı ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

### 2.1.1. Kullanım Alanları

Kapalı alan takip sistemleri, birçok farklı sektörde uygulanabilir. En yaygın kullanım alanları şunlardır:

Endüstriyel ve Üretim Tesisleri:

- Fabrikalarda çalışanların ve ekipmanların takibi
- Depo yönetiminde envanter takibi ve otomatik stok kontrolü
- Tehlikeli alanlarda çalışan işçilerin izlenmesi ve güvenliğin sağlanması

Sağlık Sektörü:

- Hastanelerde hasta ve tıbbi cihaz takibi
- Sağlık personelinin konumlarının belirlenmesi ve acil durum yönetimi

- Değerli tıbbi ekipmanların kaybolmasını önlemek için takip sistemleri

Akıllı Binalar ve Perakende Sektörü:

- Alışveriş merkezlerinde müşteri hareketlerinin analiz edilmesi
- Akıllı binalarda enerji yönetimi ve güvenlik sistemleri
- Müşterilere yönlendirme ve iç mekân navigasyonu sağlanması

Maden Ocakları ve Yeraltı Çalışmaları:

- Madenlerde işçilerin konumlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi
- Acil durumlarda hızlı tahliye ve kurtarma operasyonlarının sağlanması
- Araç ve ağır makinelerin hareketlerinin optimize edilmesi

Lojistik ve Depolama Sistemleri:

- Büyük lojistik merkezlerinde araç ve konteyner takibi
- Depolarda otomatik yerleştirme ve malzeme yönetimi
- Sevkiyat süreçlerinin optimizasyonu

Bu kullanım alanları, kapalı alan takip sistemlerinin verimlilik, güvenlik ve operasyonel yönetim açısından ne kadar kritik olduğunu göstermektedir.

### 2.1.2. Avantajları ve Zorluklar

Kapalı alan takip sistemlerinin uygulanması birçok avantaj sağlarken, bazı teknik ve operasyonel zorluklarla da karşı karşıya kalınmaktadır.

Avantajlar:

- Gerçek Zamanlı Takip: RFID ve sensör bazlı takip sistemleri sayesinde kapalı alanlarda anlık olarak konum bilgisi alınabilir.
- Güvenlik Artışı: İşçilerin veya ekipmanların konumlarının bilinmesi, acil durumlarda hızlı müdahale edilmesini sağlar.
- Verimlilik ve Optimizasyon: Üretim süreçlerinde çalışanların ve makinelerin hareketleri optimize edilerek zaman ve kaynak israfı önlenebilir.

- Kayıp ve Hırsızlık Önleme: Değerli ekipmanlar, tıbbi cihazlar veya envanter ürünleri takip edilerek kaybolmaları veya çalınmaları önlenebilir.
- Otomatik Veri Toplama ve Analiz: Sistemler büyük miktarda veri üreterek işletmelerin karar alma süreçlerini iyileştirmelerine yardımcı olur.

Zorluklar:

- Sinyal Bozulmaları ve Gürültü: Kapalı alanlarda metal yüzeyler, elektromanyetik parazitler ve sinyal yansımaları nedeniyle konum doğruluğu etkilenebilir.
- Yüksek Kurulum Maliyetleri: Özellikle geniş alanlarda ve karmaşık ortamlarda RFID, Wi-Fi veya UWB gibi sistemlerin kurulumu maliyetli olabilir.
- Veri Gizliliği ve Güvenliği: Kapalı alanlarda çalışanların ve cihazların sürekli izlenmesi, veri gizliliği ve siber güvenlik açısından endişeler doğurabilir.
- Teknolojik Entegrasyon Sorunları: Mevcut altyapılarla entegrasyonun sağlanması bazen zor ve zaman alıcı olabilir.
- Enerji Tüketimi: Kablosuz takip cihazları için batarya ömrü ve enerji yönetimi kritik bir faktördür.

Bu avantajlar ve zorluklar göz önüne alındığında, kapalı alan takip sistemlerinin başarısı, doğru teknolojilerin seçilmesi ve sistemlerin ölçeklenebilir, güvenilir ve ekonomik şekilde tasarlanmasına bağlıdır.

## 2.2. RFID Teknolojisi

RFID teknolojisi, nesneleri veya kişileri radyo dalgaları aracılığıyla tanımlamak ve izlemek için kullanılan bir otomatik tanıma sistemidir. Bu teknoloji, özellikle envanter yönetimi, lojistik, sağlık sektörü ve kapalı alan takip sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. RFID sistemleri, veri okuma ve yazma işlemlerini kablosuz olarak gerçekleştirdiği için hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır.

RFID'nin temel çalışma prensibi, radyo frekansı sinyallerini kullanarak RFID etiketlerin RFID okuyucular tarafından algılanması ve tanımlanması esasına dayanır. RFID sistemi üç ana bileşenden oluşur: etiket, okuyucu ve arka plan yazılımı. Etiketler, benzersiz bir kimlik bilgisi içeren küçük çiplerdir ve pasif, aktif veya yarı-pasif olarak sınıflandırılabilir. Pasif RFID etiketleri, herhangi bir dahili güç kaynağına sahip olmadan

okuyucudan gelen radyo frekansını kullanarak çalışırken, aktif RFID etiketleri kendi bataryalarını kullanarak daha uzun mesafelerde ve daha güçlü sinyallerle iletişim kurabilir. Yarı-pasif RFID etiketleri ise dahili bir bataryaya sahip olup yalnızca çipin çalışmasını sağlamak için enerji kullanır, ancak veri iletimi için okuyucudan gelen sinyallere bağımlıdır.

RFID okuyucuları, etiketlerden gelen verileri alıp merkezi bir sisteme ileten cihazlardır. Bu okuyucular, farklı frekans bantlarında çalışabilir ve kısa mesafeli uygulamalar için 125-134 kHz ve 13.56 MHz kullanılırken, uzun mesafeli uygulamalar için 860-960 MHz tercih edilir. Okuyucu, etiket ile çift yönlü bir iletişim kurarak, verileri işleyip merkezi sistemlere veya bulut tabanlı veri depolama çözümlerine aktarır.

RFID teknolojisinin sunduğu en büyük avantajlardan biri, geleneksel barkod sistemlerine kıyasla daha hızlı ve daha güvenilir veri okuma imkânı sunmasıdır. Barkodlar yalnızca doğrudan görüş hattında taranabilirken, RFID etiketleri fiziksel engellerin arkasında bile okunabilir. Bu özellik, özellikle büyük ölçekli envanter yönetimi ve kapalı alan takip sistemlerinde RFID'nin tercih edilmesini sağlamaktadır. RFID ayrıca çoklu okuma yeteneği ile aynı anda birden fazla etiketi tanıyabilir, böylece operasyonel süreçleri hızlandırır ve insan hatalarını minimize eder.

Bununla birlikte, RFID teknolojisinin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Özellikle metal yüzeyler ve sıvılar, radyo sinyallerini emerek veya yansıtarak okuyucu-etiket iletişimini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, özellikle sanayi tesisleri, hastaneler veya madenler gibi ortamlarda sistemin hassas bir şekilde kalibre edilmesini gerektirir. Ayrıca, RFID sistemlerinin yüksek başlangıç maliyetleri ve güvenlik endişeleri, yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biridir. RFID ile toplanan verilerin yetkisiz erişime karşı korunması için güvenlik protokolleri ve şifreleme yöntemleri uygulanmalıdır.

Sonuç olarak, RFID teknolojisi, kapalı alan takip sistemlerinde güvenilir ve etkili bir çözüm sunarken, sistemin tasarımı ve uygulama alanına bağlı olarak bazı zorluklar barındırmaktadır. RFID'nin avantajlarından tam anlamıyla yararlanmak için uygun etiket türü seçilmeli, çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalı ve veri güvenliği konusunda gerekli önlemler alınmalıdır.

## 2.3. Mikroservis Mimarisi

Mikroservis mimarisi, geleneksel monolitik sistemlerin aksine, yazılım uygulamalarını birbirinden bağımsız çalışan küçük servisler halinde tasarlayan ve yöneten bir mimari yaklaşımdır. Her bir mikroservis, belirli bir işlevi yerine getiren, bağımsız olarak geliştirilebilen, dağıtılabilen ve ölçeklenebilen küçük bileşenlerden oluşur. Bu yaklaşım, özellikle büyük ölçekli sistemlerin yönetimini kolaylaştırmak, ölçeklenebilirliği artırmak ve sistemin hata toleransını yükseltmek amacıyla tercih edilmektedir.

Mikroservis mimarisinin temel prensiplerinden biri, hizmetlerin gevşek bağlamlı ve bağımsız olmasıdır. Her mikroservis, kendi veri yönetimine ve iş mantığına sahip olup, diğer hizmetlerle genellikle hafif API çağrıları üzerinden iletişim kurar. Bu yapı, yazılım geliştirme süreçlerinde çeviklik sağlarken, yeni özelliklerin eklenmesini ve sistem güncellemelerini daha esnek hale getirir.

Mikroservis mimarisinin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri, ölçeklenebilirliği artırmasıdır. Geleneksel monolitik sistemlerde, artan yük karşısında tüm sistemin ölçeklenmesi gerekirken, mikroservis mimarisinde yalnızca yoğun kullanılan bileşenlerin ölçeklendirilmesi mümkündür. Örneğin, kapalı alan takip sistemlerinde veri toplama ve işleme süreçleri yüksek performans gerektiren işlemler olabilir. Mikroservis mimarisi sayesinde, yalnızca bu hizmetlerin ölçeklendirilmesi sağlanarak sistemin kaynak kullanımı optimize edilir.

Bu mimarinin sunduğu bir diğer önemli avantaj ise hata toleransını ve sistem güvenilirliğini artırmasıdır. Monolitik sistemlerde, bir bileşende oluşan hata tüm sistemi etkileyebilirken, mikroservis mimarisinde her hizmet bağımsız olduğu için tek bir serviste meydana gelen hata, sistemin geri kalanını etkilemez. Örneğin, bir kapalı alan takip sisteminde konum verilerini işleyen bir mikroservisin başarısız olması, kullanıcı arayüzüne veri sağlayan hizmetlerin çalışmasını durdurmaz; yalnızca ilgili hizmet tekrar başlatılarak sistem işleyişine devam edebilir.

Mikroservis mimarisi ayrıca teknolojik esneklik sunar. Her bir hizmetin farklı programlama dillerinde ve farklı veri tabanları ile geliştirilmesine olanak tanıyan bu yapı, sistemin gereksinimlerine en uygun teknolojilerin kullanılmasını sağlar. Örneğin, veri

analizi işlemleri için Python tabanlı bir hizmet geliştirilirken, yüksek performans gerektiren işlem bileşenleri Java ile kodlanabilir.

Ancak, mikroservis mimarisinin getirdiği bazı zorluklar da bulunmaktadır. Hizmetler arası iletişim yönetimi, mikroservisler birbirleriyle API'ler aracılığıyla haberleştiği için, ağ trafiği ve gecikmelerin yönetimi kritik bir hale gelir. Ayrıca, hizmetlerin izlenmesi ve hata ayıklama süreçleri, dağıtık bir sistemde daha karmaşık hale gelebilir. Bu nedenle, merkezi bir loglama ve izleme mekanizması kullanılması gerekmektedir.

Genel olarak mikroservis mimarisi, büyük ölçekli ve karmaşık sistemlerin yönetimi için son derece uygun bir yaklaşım sunmaktadır. Kapalı alan takip sistemleri gibi sürekli veri akışının olduğu ve yüksek performans gerektiren uygulamalarda, bağımsız servisler halinde çalışabilen modüler yapı, sistemin esnekliğini, güvenilirliğini ve ölçeklenebilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

## 2.4. Mevcut Çözümler ve Literatür Taraması

Kapalı alan takip sistemleri, RFID teknolojisi ve mikroservis mimarisi ile ilgili mevcut çözümler, farklı disiplinlerde detaylı şekilde incelenmiş ve bu alanlarda çok sayıda akademik çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, ilgili literatür taranarak daha önce gerçekleştirilen çalışmalar, bunların avantajları ve eksiklikleri ele alınmaktadır.

### 2.4.1. Kapalı Alan Takip Sistemleri

Kapalı alan takip sistemleri, çeşitli konum belirleme teknikleri kullanarak nesnelerin veya kişilerin iç mekanlarda hassas bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır (Gu ve diğ., 2009; Liu ve diğ., 2007). Bu sistemlerin temel amacı, GPS'in etkin olamadığı kapalı ortamlarda, nesnelerin konumlarını doğru bir şekilde tespit etmek ve bu bilgiyi ilgili sistemlere entegre etmektir.

Kapalı alan takip sistemlerinde yaygın olarak radyo frekansı tabanlı çözümler kullanılmaktadır. Mautz (2012), kapalı alan konum belirleme teknolojilerinin performansının çevresel faktörlere bağlı olduğunu belirtmiş ve bu faktörlerin sinyal yayılımını önemli ölçüde etkilediğini vurgulamıştır. Çalışmalarda, RSSI tabanlı konum

belirleme tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Eroğlu ve Küçük, 2017; Zafari ve diğ., 2019).

Ancak, RSSI tabanlı yaklaşımlar yansıma ve sinyal zayıflamaları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Küçük, 2014). Bunun sonucunda, hibrit algoritmalar kullanılarak konum belirleme hassasiyetinin arttırılması üzerine çalışmalar yapılmıştır (Küçük, 2017; Çavur ve Demir, 2022). Bu çalışmada da Çavur ve Demir'in (2022) yapmış olduğu yazılım arayüzü ve altyapıdan faydalanılmıştır.

### 2.4.2. RFID Tabanlı Konum Belirleme Sistemleri

RFID teknolojisi, kapalı alan takip sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir diğer çözüm olup, nesnelerin ve bireylerin konumunu belirlemede etkin bir araç olarak görülmektedir (Burns ve diğ., 2016). RFID'nin avantajları arasında düşük maliyet, enerji verimliliği ve kolay entegrasyon bulunmaktadır (Çavur ve Demir, 2017).

Bununla birlikte, RFID teknolojisinin de sınırlamaları vardır. RFID sinyallerinin metal yüzeylerden yansıyarak hatalı konum bilgilerinin oluşması gibi problemler, bu teknolojinin bazı alanlarda doğruluğunu sınırlayabilmektedir (Çavur ve Demir, 2022). Bu nedenle, RFID tabanlı takip sistemleri, sinyal analiz algoritmaları ve hibrit yaklaşımlar ile desteklenerek geliştirilmektedir (Eroğlu ve Küçük, 2017).

### 2.4.3. Mikroservis Mimarisi ile Entegre Takip Sistemleri

Son yıllarda, mikroservis mimarisi kullanılarak konum belirleme sistemlerinin dağıtık yapıda tasarlanması, sistemlerin esnekliğini ve ölçeklenebilirliğini arttırmaktadır (Newman, 2015; Fowler, 2014). Mikroservisler, monolitik mimarilere kıyasla, bireysel servislerin bağımsız çalışmasına olanak tanır ve sistemin hata toleransını yüksek seviyeye çıkarır (Dragoni ve diğ., 2017).

Bu mimari, büyük çapta veri toplayan ve işleyen kapalı alan takip sistemlerinde etkin bir çözüm olarak görülmektedir. Burns ve arkadaşlarının (2016) Kubernetes, Borg ve Omega sistemlerini incelediği çalışmada, mikroservis tabanlı sistemlerin dağıtım ve yönetim kolaylıkları üzerinde durulmuştur. Lee, Kim ve Lee (2024), mikroservis mimarisinin,

bulut ERP sistemlerine olan entegrasyonunu değerlendirmiş ve bu yapının kurumsal çapta dayanıklılık ve esneklik sağladığını vurgulamıştır.

### 2.4.4. Literatürdeki Eksiklikler ve Katkılar

Kapalı alan konum belirleme sistemleri üzerine yapılan mevcut çalışmalar, genellikle RFID tabanlı izleme ve yer belirleme tekniklerine odaklanmaktadır (Çavur ve Demir, 2022; Liu ve diğ., 2007). Bu çalışmaların büyük bir kısmı, kullanılan donanımın performansı, konumlandırma algoritmalarının doğruluğu ve sinyal gücü tabanlı konum belirleme yöntemlerinin iyileştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Gu ve diğ., 2009; Zafari ve diğ., 2019). Ancak, mevcut sistemlerin büyük ölçekli dağıtımlarda karşılaşabileceği ölçeklenebilirlik, hata toleransı ve sürdürülebilirlik gibi konular literatürde yeterince ele alınmamıştır.

Bu tez çalışması, kapalı alan izleme sistemlerinde mikroservis mimarisini kullanarak, ölçeklenebilirlik, esneklik ve hata toleransı açısından mevcut literatüre önemli katkılar sunmaktadır. Mikroservis tabanlı sistemler, büyük ve dinamik ortamlarda daha etkin yönetim sağlarken, sistemin farklı bileşenlerinin bağımsız olarak ölçeklenebilmesine ve bakım süreçlerinin kolaylaştırılmasına olanak tanımaktadır (Dragoni ve diğ., 2017; Newman, 2015). Literatürdeki birçok geleneksel sistem, monolitik veya merkezi yapıdadır ve bu durum, sistemin büyümesiyle birlikte performans darboğazlarına ve yönetim zorluklarına yol açmaktadır (Burns ve diğ., 2016).

Ayrıca, mevcut çalışmaların büyük bir kısmı konumlandırma doğruluğuna odaklanmış, ancak sistem güvenilirliği ve hata toleransı gibi kritik mühendislik prensipleri yeterince değerlendirilmemiştir (Eroğlu ve Küçük, 2017). Gerçek zamanlı izleme gerektiren maden gibi zorlu ortamlar, yalnızca yüksek doğruluk değil, aynı zamanda yüksek hata toleransı gerektirmektedir. Bu tezde önerilen sistem, dağıtık mimari sayesinde bireysel bileşenlerdeki hataların sistemin genel işleyişine etkisini en aza indirerek, yüksek güvenilirlik sağlamaktadır.

Ölçeklenebilirlik açısından, literatürdeki mevcut çalışmalar çoğunlukla küçük ölçekli prototiplerle sınırlı kalmış ve genişletilebilir sistemler üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmamıştır (Mautz, 2012; Lee ve diğ., 2024). Bu tezde geliştirilen sistem,

mikroservislerin sunduğu bağımsız ölçeklenme yeteneği ile farklı büyüklükteki maden ocaklarında test edilmiştir. Çankırı'daki tuz madende 3 RFID okuyucu ve 21 RFID etiketi ile yapılan testler, sistemin geniş ölçekli dağıtımlara uyum sağlayabildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, kapalı alan takip sistemlerinin ölçeklenebilirliği, hata toleransı ve güvenilirliği açısından literatürdeki boşlukları doldurmayı amaçlamakta ve bu alanda yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Mikroservis tabanlı yaklaşım hem teorik hem de pratik düzeyde, kapalı alan konumlandırma sistemlerinin gelecekteki uygulamalarına önemli katkılar sağlamaktadır.

# 3. TEKNOLOJİ, ALTYAPI VE YÖNTEM

Bu bölümde, kapalı alan takip sisteminin tasarımı, kullanılan donanım ve yazılım bileşenleri, sistemin genel mimarisi ve veri işleme süreçleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Çalışmada, RFID tabanlı takip sistemi kullanılarak gerçek zamanlı veri toplama ve konum belirleme gerçekleştirilmiştir. Sistem, mikroservis mimarisi ile tasarlanarak, ölçeklenebilir, esnek ve hata toleransı yüksek bir yapı oluşturulmuştur.

Öncelikle, RFID etiketleri ve okuyucuların donanım özellikleri, sahada nasıl konumlandırıldıkları ve haberleşme yöntemleri açıklanacaktır. Daha sonra, RS-485 tabanlı veri iletim altyapısı ve seri-ethernet dönüştürücülerin kullanımı ile sistemin güvenilir veri aktarımı sağlaması üzerine durulacaktır. Mikroservis tabanlı mimarinin sistem üzerindeki etkileri, bileşenlerin bağımsız olarak nasıl çalıştığı ve sistemin genel işleyişi detaylandırılacaktır.

Ayrıca, kullanılan yazılım bileşenleri olan PostgreSQL veritabanı, RabbitMQ mesaj kuyruğu ve Spring Framework tabanlı sunucu uygulaması anlatılacaktır. Veri akışı, veri filtreleme ve işleme süreçleri açıklanarak, sistemin gerçek zamanlı çalışmasını sağlamak için geliştirilen yöntemler üzerinde durulacaktır. Son olarak, sistemin kullanıcı arayüzü, veri görselleştirme yöntemleri ve saha testleri hakkında bilgiler sunulacaktır.

## 3.1. Kullanılan Donanım ve Yazılım

RFID tabanlı takip sistemleri hem donanım hem de yazılım açısından birbiriyle entegre çalışan bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bağlamda, sistemin sağlıklı ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan RFID etiketleri, okuyucular, iletişim protokolleri ve veritabanı yönetim sistemleri gibi bileşenler ayrıntılı olarak incelenecektir.

### 3.1.1. Donanım Bileşenleri

RFID tabanlı konum belirleme sistemlerinde kullanılan donanım bileşenleri, sistemin genel performansını doğrudan etkileyen kritik unsurlardır. RFID etiketleri ve okuyucuların seçimi, sistemin doğruluğu, kapsama alanı ve enerji verimliliği açısından önemli parametrelerdir.

Geliştirilen kapalı alan takip sistemi, donanım altyapısı ve veri yönetim süreçleri aracılığıyla güvenilir ve yüksek performanslı bir çalışma hedeflemektedir.



Şekil 3.1. Donanım Bileşenleri

Bu çalışmada kullanılan donanım bileşenleri Şekil 3.1'de verilmiştir ve aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

- RFID Etiketleri: Çalışmada kullanılan RFID etiketleri, aktif veya pasif olarak sınıflandırılabilmektedir. Batarya destekli çalışan aktif RFID etiketleri, daha uzak mesafelerden veri iletimi sağlayabilirken; pasif etiketler, enerjilerini okuyucudan aldıkları elektromanyetik sinyaller aracılığıyla elde eder. Uygulama senaryosuna bağlı olarak, özellikle geniş maden sahalarında daha uzun menzilli veri iletimi sağlamak amacıyla aktif RFID etiketleri tercih edilmiştir. Kullanılan etiketlerin dayanıklılığı, maden ortamının zorlu koşullarına uyum sağlaması açısından kritik bir faktördür.
- RFID Okuyucular: RFID okuyucular, etiketlerden gelen sinyalleri algılayan ve bu verileri sistemin merkezi bileşenlerine ileten cihazlardır. Okuyucuların yerleşimi ve konfigürasyonu, sistemin izleme hassasiyetini belirleyen temel unsurlardandır. Bu çalışmada, farklı maden ortamlarında test edilen RFID okuyucularının, sinyal yayılım özellikleri ve veri toplama hızları bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır.
- RS-485 kablosu: Veri iletimi için RS-485 kablosunun tercih edilme nedeni, bu kablonun uzun mesafelerde sinyal kalitesini koruyabilmesi ve endüstriyel ortamlarda yaygın bir çözüm olmasıdır.
- Seri-Ethernet Dönüştürücü: RS-485 kablosu üzerinden, RFID okuyuculardan gelen verileri alarak Ethernet protokolüne dönüştürür. Bu cihaz, verinin ağ tabanlı bir yapıyla taşınarak hedef uygulamalara ya da sistem birimlerine iletilmesini mümkün kılar.

- İletişim Protokolleri ve Veri Transferi: RFID okuyucular tarafından toplanan verilerin merkezi sisteme iletilmesi için çeşitli iletişim protokolleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, TCP/IP tabanlı veri iletim mekanizmaları benimsenmiş olup, düşük gecikme süreleri ve güvenilir veri aktarımı sağlamak amacıyla MQTT ve HTTP protokolleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve analiz edilmesi için kesintisiz ve güvenilir bir iletişim altyapısı oluşturulmuştur.

Ayrıca, sistemin donanım yerleşimi saha koşullarına uygun şekilde tasarlanarak çevresel faktörler dikkate alınmıştır. RS-485 kablosunun düşük gecikmeyle veri iletme kabiliyeti, zorlu madencilik ortamlarında sistemin verimliliğini artırmıştır. Seri-ethernet dönüştürücüler, ağ protokolü uyumluluğunu sağlayarak sistemin genişletilebilirliğini desteklemiştir. Böylece, veri akışı kesintisiz gerçekleşmiş ve toplanan veriler merkezi depolama birimlerine hızlıca iletilmiştir. Ayrıca, sistemin enerji verimliliği ve dayanıklılığı ön planda tutularak uzun süreli ve kesintisiz çalışma sağlanmıştır. RFID okuyucularının teknik detayları Tablo 3.1 içerisinde açıklanmıştır.

Tablo 3.1. RFID Okuyucunun Teknik Özellikleri

| Teknik Özellik | Detaylar |
|---|---|
| İletişim portu | RS232, RS485, WIFI, RJ45, 4G |
| İletişim frekansı | 2.4GHz～2.5GHz (Fabrika ayarı) |
| İletişim hızı | 1Mbits/S |
| Sinyal Kodlaması | GFSK |
| Maksimum alım hassasiyeti | -93dBm |
| Fonksiyonel mod | Sadece okunabilir |
| Polarizasyon | Çok yönlü |
| Mesafe sınırı | > 150 metre |
| Kazanç | 14dBi |
| Gerilim aralığı | 9-24V |
| Çalışma Sıcaklığı | -20 ile +60 ℃ arası |
| Ağırlık | 0.3kg |
| Su geçirmez sınıfı | IP 65 |

Tablo 3.2'deki bilgiler, Seri-Ethernet Dönüştürücüsünün teknik özelliklerini ve desteklediği protokolleri ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. Bu dönüştürücü, farklı

cihazlar arasında ağ üzerinden iletişimi sağlayan bir köprü işlevi görmektedir. Ethernet kablosu bağlantısı için RJ-45 portu üzerinden 10M/100M veri iletim hızlarını destekleyen bu dönüştürücü, aynı zamanda seri iletişim portları için çeşitli baud oranlarında çalışabilme yeteneğine sahiptir.

Bu dönüştürücü, sistemin performansını artırmanın yanı sıra esneklik de sağlamaktadır. Özellikle, farklı baud hızlarının desteklenmesi, çeşitli cihazlarla uyumlu bir yapı sunarak geniş çaplı entegrasyon imkânı tanımaktadır. Seri-Ethernet dönüştürücünün RJ45 bağlantı noktası üzerinden sunduğu yüksek hızlı ağ bağlantısı, veri iletiminde oluşabilecek gecikmeleri minimize etmektedir. Bunun yanı sıra, cihazın kompakt tasarımı ve düşük enerji tüketimi, saha kurulumlarında kolaylık sağlamaktadır.

Tablo 3.2. Seri-Ethernet Adaptörü Teknik Özellikleri

| Teknik Özellik | Detaylar |
|---|---|
| İletişim Hızı | 10/100 Mbps |
| Terminal | 4 pinli RJ45 |
| Protokoller | TCP/IP |
| Arayüz güvenliği | 2KV elektromanyetik izolasyon |
| TX tamponu | 16KB |
| RX tamponu | 16KB |
| RS232 | DB9 erkek |
| RS-485 | A+, B-, GND |
| Baud hızı | 600bps ~ 230.4Kbps |
| Bilgi biti | 8bit |
| Sonlandırma biti | 1, 2 |
| Kontrol biti | Yok, Tek, Çift, İşaret, Boşluk |
| Çalışma voltajı | DC 9V〜24V |
| Güç kaynağı | 5.0 ~ 36.0V (5V önerilir) |
| Donanım akış kontrolü | RTS / CTS |
| İşlem akımı | 5V altında 86.5mA akım tüketim |
| Çalışma sıcaklığı | -40 ~ 85 ° C |
| Depolama sıcaklığı | -40 ~ 105 ° |

Geliştirilen sistemde kullanılan dönüştürücünün bir diğer avantajı, endüstriyel standartlara uygun bir yapıya sahip olmasıdır. Bu hem güvenilirliği artırmakta hem de

uzun süreli kullanımda sistemin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, dönüştürücünün geniş sıcaklık aralığında çalışabilmesi, zorlu çevre koşullarına uyum sağlama kapasitesini göstermektedir.

RFID okuyucularının yüksek doğrulukla uzun mesafe veri iletimi sunabilmesi için genellikle RS485 iletim arayüzü yaygın olarak kullanılır. RS485, yarı-dubleks iletişim özelliği sayesinde çift yönlü iletişim yerine tek yönlü iletişim, sıralı veri iletimi sağlar ve bu sayede veri çakışmalarını engeller. Bu kablo tipi, elektromanyetik parazitlere karşı yüksek dayanıklılık sunar ve uzun mesafelerde güvenli veri iletimi sağlayarak üstünlük kazanır.

Tablo 3.3, bu iletişim ortamının fiziksel ve elektriksel niteliklerini detaylı bir şekilde göstermektedir. RS485 kablosu, 19200 bps gibi yaygın baud hızları ve tek stop biti gibi parametrelerle farklı uygulamalarda kullanılabilir. Ayrıca, veri paketindeki başlık, uzunluk ve doğrulama alanları aracılığıyla hata denetimi gerçekleştirilir.

Tablo 3.3. RS485 Kablosu Teknik Özellikleri

| Teknik Özellik | Detaylar |
|---|---|
| Çalışma Gerilimi | 250V |
| Devre İçi İletkenlik Direnci | 186 Ω/Km |
| Empedans | 120±15 |
| Net Kapasite | 60 nF/Km |
| Çalışma Sıcaklığı | -30 °C- …. +80 °C |
| Yalıtım Direnci | 5000 M.Ω.Km |
| Min. Bükme Yarıçapı | 7,5xD |
| Kesit | 0.22 mm² |
| Test Gerilimi | İki iletken arasındaki dayanım gerilimi 1200 V, iletken ile ekran arasındaki ise 1000 V seviyesindedir. |

Bu donanım bileşenleri, sistem güvenirliğini, performansını ve esnekliği artırırken, mikroservis altyapısının farklı sistemlerle kıyaslanabilmesine de olanak sağlamaktadır.

RFID tabanlı teknolojiler, kapalı alanlarda gerçek zamanlı konum takibi için güçlü bir çözüm sunmaktadır. Çavur ve Demir, (2022), RFID sinyal gücüne dayalı bir hibrit

algoritma önererek, özellikle yeraltı madenciliği gibi karmaşık ve zorlu çevre koşullarında yüksek doğrulukla çalışan bir konumlandırma sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmada, sinyal gücüne dayalı analiz ile takip süreçlerinin güvenilirliği artırılmıştır. Benzer şekilde, bu araştırmada geliştirilen mikroservis çerçevesi, RFID sinyallerinden elde edilen verilerin dinamik bir şekilde işlenmesini ve konumlandırma algoritmalarının etkili bir biçimde uygulanmasını sağlamaktadır. Çavur ve Demir'in önerdiği yöntem, RFID tabanlı sistemlerin doğruluk oranlarını artırmada önemli bir katkı sunmuş ve bu çalışmaya teorik bir temel sağlamıştır.

### 3.1.2. Yazılım Bileşenleri

RFID tabanlı konum belirleme sistemlerinde yazılım bileşenleri, donanımla entegre çalışarak verilerin işlenmesini, depolanmasını ve analiz edilmesini sağlayan temel unsurlardır. Çalışmada kullanılan yazılım bileşenleri, sistemin ölçeklenebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından özel olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan yazılım bileşenleri aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

- Veri Tabanı Yönetim Sistemi: Çalışmada, büyük hacimli verileri işleyebilmek ve uzun süreli veri saklama gereksinimlerini karşılamak amacıyla PostgreSQL tercih edilmiştir. PostgreSQL'in ACID uyumlu yapısı, veri güvenliğini ve bütünlüğünü sağlamak açısından avantaj sunmaktadır. Ayrıca, RFID okuyuculardan gelen büyük veri akışlarının optimize edilmesi amacıyla indeksleme ve veri kümeleme stratejileri uygulanmıştır.
- Mesaj Kuyruğu Mekanizması: Gerçek zamanlı veri akışını yönetmek için RabbitMQ mesaj kuyruğu altyapısı kullanılmıştır. RabbitMQ'nun asenkron iletişim yetenekleri, yüksek hacimli veri transferlerinde sistemin performansını artırmış ve yük dengeleme mekanizmaları sayesinde hata toleransı sağlanmıştır. Mikroservis mimarisine uygun olarak yapılandırılan bu mesajlaşma altyapısı, veri kayıplarını en aza indirerek sistemin güvenilirliğini artırmıştır.
- Uygulama Katmanı: Sistemin iş mantığını yöneten yazılım bileşenleri, Spring Framework kullanılarak geliştirilmiştir. Spring Boot, bağımsız mikro hizmetlerin kolayca yönetilebilmesini sağlarken, Spring Cloud bileşenleri, servis keşfi, yük dengeleme ve merkezi yapılandırma gibi özellikleri destekleyerek sistemin

ölçeklenebilirliğini artırmıştır. API katmanında, RESTful web servisleri kullanılarak RFID okuyucuların merkezi sunucu ile iletişim kurması sağlanmıştır.

## 3.2. Kullanılan Teknolojiler

### 3.2.1. Spring Framework

Spring Boot, mikroservis mimarisiyle uyumlu uygulamaların hızlı ve pratik bir şekilde geliştirilmesini sağlayan, Java diline dayalı ve açık kaynak kodlu bir yazılım çatısıdır. Bu yapı, mikroservislerin birbirinden bağımsız şekilde işleyebilmesini kolaylaştıran hızlı ve esnek bir yapılandırma ortamı sunar ve aynı zamanda düşük düzeyde bağımlılıkla çalışmayı mümkün kılar. Spring Boot, sistemin esnekliğini ve bakımını kolaylaştırarak her bir servisin bağımsız bir şekilde çalışabilmesini ve gerektiğinde ölçeklendirilebilmesini sağlamaktadır (Fowler, 2014).

Kurumsal ölçekli yazılım projelerinde tercih edilen yaygın bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Spring'in mikroservis yaklaşımının benimsenmesiyle, bağımsız çalışan modüllerin/servislerin geliştirilmesine olanak tanımakla birlikte, modüller arası etkileşim, veri işleme, koruma önlemleri ve arıza kontrolü gibi kritik fonksiyonları temin etmek amacıyla güçlü altyapı sağlanmaktadır. Modüler olarak geliştirilen Spring Framework, geliştiricilerin sadece gerek duydukları modülleri ekleyerek kullanım imkânı vererek uygulamanın etkinliğini artırmaktadır.

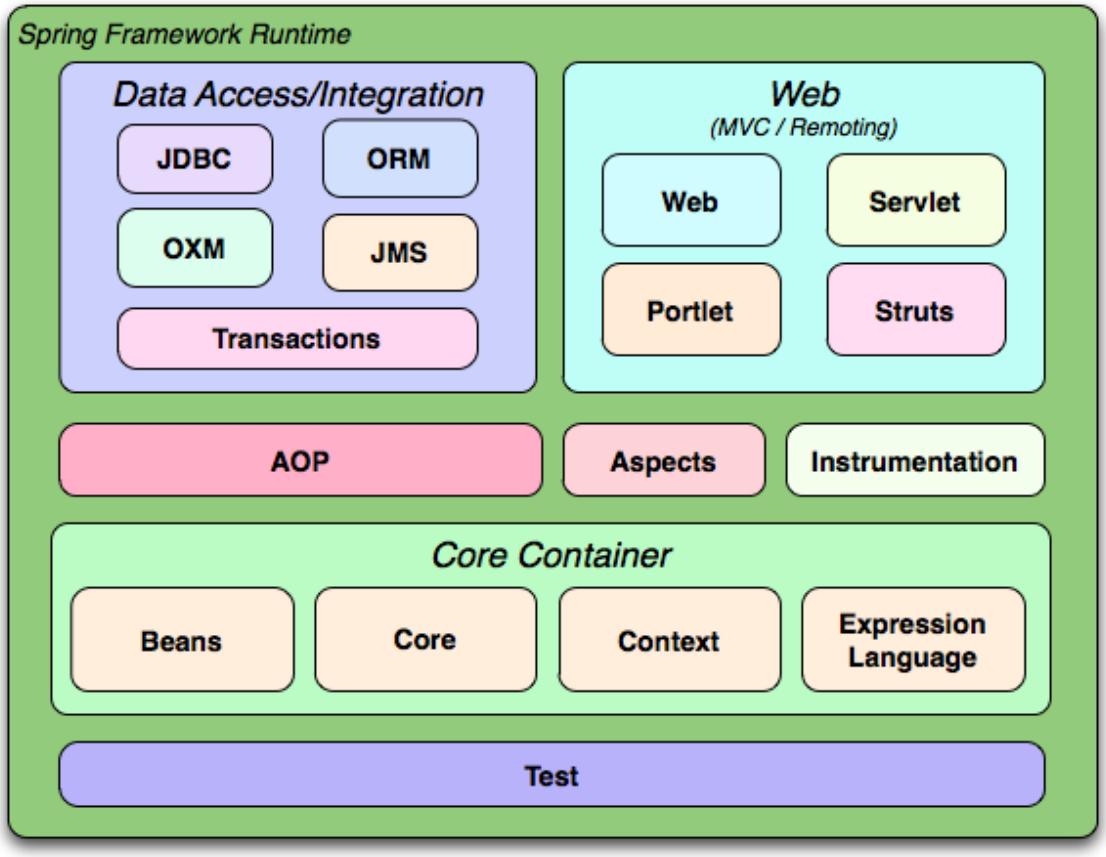
Spring Boot, Spring çatısı altında yapılandırılmış bir sistemdir ve mikroservislerin kısa sürede oluşturulmasına olanak sağlar. Bu platform, her mikroservisin en düşük yapılandırma ile çalışmasına imkân tanıyarak, modüler geliştirme ve güncelleme süreçlerini büyük oranda hız kazandırır. Dahası, dinamik konfigürasyon fonksiyonlarıyla, Spring Boot çoğunlukla bilinen ayarı kendi kendine yapar; dolayısıyla geliştiricilerin verimliliği artırır ve hataları minimize eder. 'Starter' modülleri, uygulamanın bağımlılıklarını kolayca yönetmeyi ve minimum yapılandırma ile entegrasyonu hızlandırır.

Spring Boot'un bir diğer önemli avantajı, gömülü sunucu desteğidir. Bu özellik sayesinde her mikroservis, kendi içinde bir web sunucusu (örneğin Tomcat, Jetty vb.) barındırarak

başka bir yapıya gereke duymadan çalışma yeteneği vardır. Bu sayede, her mikroservis kendi çerçevesinde çalışabilir ve ihtiyaç duyulduğunda hızla ölçeklenebilir.

Ölçeklenebilirlik bakımından, Spring Boot, uygulamanın gereksinimlerine göre sistemin esnek bir şekilde büyütülmesine olanak tanır. Her mikroservis, sadece belirli bir işlevi başaracak şekilde tasarlanıp tasarlanmıştır; bu da her bir hizmetin ihtiyaç duyulduğunda kendi başına ölçeklenmesini imkân tanır.

Spring Boot, etkin takip, arıza takibi ve savunma işlevleri ile servislerin kontrolünü basitleştirirken, üst düzey koruma gereksinimlerinin karşılanmasında önemli bir katkı sağlar. Spring Security altyapısıyla bütünleşmiş servis bileşenleri, sağlam giriş denetimi ve yetki yönetimi sistemleri sunarak riskleri minimize eden çalışma ortamı oluşturur.




Şekil 3.2. Spring Framework Mimarisi (Spring Framework, 2014)

Spring Boot, mikroservis tabanlı mimarilerin hızla geliştirilmesine olanak tanırken, sistemin sürdürülebilirliğini, bakımını ve ölçeklenebilirliğini geliştirir. Spring Framework ve Spring Boot'un entegrasyonu, çerçevenin çok yönlü ve dayanıklı bir

mimarinin inşa edilmesine zemin hazırlar. Bu sayede, her bir bileşen bağımsız şekilde ve etkin biçimde faaliyet gösterirken, genel sistem performansı, emniyet ve uyum yeteneği artırılmış olur (Fowler, 2014).

Şekil 3.2, Spring altyapısının ana tasarım düzeni ve yapı taşlarını görsel olarak verilmiştir. Ana yapı, bağımlılık kontrolü ve uygulama çevresini sunarken, veri ulaşımı, web platformu inşası ve test süreçlerine yardımcı olma gibi projeler, çeşitli proje gereksinimlerine esnek çözüm yolları sağlar.

### 3.2.2. Eureka ve Mikroservis Yönetimi

Eureka, Netflix tarafından geliştirilen ve servis keşfi ile merkezi iletişim sağlayan bir araçtır. Servislerin birbirilerini dinamik bir şekilde keşfetmelerine ve güvenli bir iletişim kurmalarına olanak tanır. Bu özellik, sistemin büyümesiyle birlikte yönetimini kolaylaştırır ve hizmetlerin arızaya karşı dayanıklılığını artırır. Yeni servislerin sisteme entegrasyonu, aynı şekilde hızla gerçekleştirilebilir.

Eureka iki ana bileşenden oluşur:

- Sunucu: Bir merkezi veri saklama işlevini üstlenir. Mikroservisler, sunucuya kendilerini tanımlarlar ve bağlandıkları IP ve iletişim portları gibi verileri sunarlar.
- İstemci: Mikroservisler, İstemci aracılığıyla Sunucu'ya kaydolur ve diğer servislerin konumunu öğrenmek için kullanır. Bir servis, Sunucu'ya kayıt işlemi yapıldığında, periyodik olarak "ben buradayım" sinyalini iletir. Eğer bir servis tanımlı bir süre zarfında göndermesi gereken sinyali iletmezse, sunucu bu servisin Geçerliliğini yitirdiğini varsayar ve kayıtlardan kaldırır.

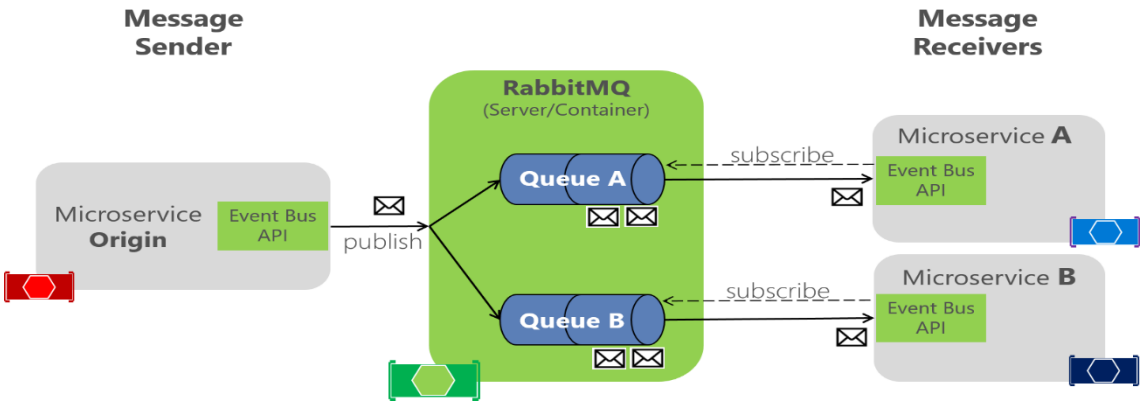
Eureka, servislerin zamanla yenilenen ağ konumlarını merkezi biçimde takip etmeye yarayan bir servis keşif aracıdır. Bu özellik, servislerin dağıtık sistemlerde işlem yaptığı, genişletildiği ve sürekli olarak yenilendiği durumlarda oldukça kullanışlıdır.

Mesela bir mikroservis kapatılıp başka bir sunucuda çalıştırıldığında, adres ya da port bilgisi değişiklik gösterebilir. Böyle bir durumda, sistemdeki diğer servislerin güncellenmiş adres bilgisine erişmesi gerekir. Eureka, adres değişikliklerini sistemden

bağımsız olarak algılayıp yöneterek, servislerin birbirine kesintisiz erişimini mümkün kılar.

### 3.2.3. RabbitMQ ve Mesajlaşma Mimarisi

RabbitMQ, mikroservisler arasındaki mesajların güvenli ve etkili bir şekilde iletilmesini sağlayan gelişmiş bir mesaj kuyruğu sistemidir. Paralel veri aktarımı ve farklı hizmetler arası iletişimde önemli bir görev üstlenen RabbitMQ, mikroservis mimarilerinin daha ölçeklenebilir ve dayanıklı hale gelmesini sağlar. Bu sistem, servislerin birbirinden bağımsız olarak çalışabilmesini mümkün kılarken, yüksek performanslı veri iletimi gerçekleştirilmesine de olanak tanır. RabbitMQ'nun sunduğu mesaj kuyrukları, özellikle yüksek trafikli ve yoğun veri akışına sahip uygulamalarda, sistem performansında herhangi bir darboğaz oluşumunu engeller. Böylece, yüksek işlem hacmine sahip sistemlerde bile verimli ve hızlı bir iletişim sağlanır. RabbitMQ'nun temelini oluşturan AMQP protokolü, mesajların güvenli ve hızlı bir biçimde yönlendirilmesini ve işlenmesini mümkün kılar. Bu protokolün sunduğu esneklik, mesajların doğru sırayla ve hata toleranslı bir biçimde işlenmesini sağlar, bu da özellikle kritik uygulamalarda yüksek erişilebilirlik ve güvenilirlik sağlar. Sonuç olarak, RabbitMQ'nun kullanımı, mikroservis tabanlı sistemlerin performansını artırırken, ölçeklenebilirlik ve güvenilirlik konularında önemli avantajlar sunmaktadır.




Şekil 3.3. RabbitMQ Mimarisi (Microsoft, 2020)

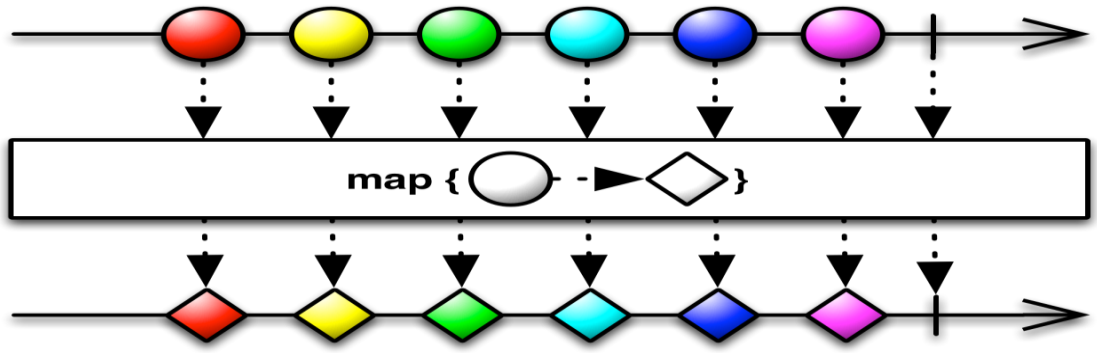
Şekil 3.3'de servisler, RabbitMQ desteğiyle, mesaja dayalı iletişimi sergilemektedir. Mesaj gönderen aracılığıyla hazırlanan veriler, RabbitMQ içerisinde spesifik hedeflenen kuyruk yapısına yayınlanır. Alıcılar, bu kuyruk yapısını dinleyerek bağlantılı verileri elde

eder ve işleme koyar. Bu düzenek, servislerin esnek bağlantısını oluşturarak genişleyebilirlik, arıza direnci yükseklik ve dinamiklik benzer yararlar sağlar. RabbitMQ'nun mesaj kuyruğu temelli yapısı, verilerin risk olmadan gönderilmesini ve bağımsız işlem görmesini sağlar.

### 3.2.4. RxJava

RxJava, olay tabanlı sistemlerdeki bilgi transferlerini asenkron şekilde yönetmeyi sağlayan ve fonksiyonel programlama ilkelerine uygun şekilde geliştirilmiş etkili bir Java kütüphanesidir. Reactive Extensions (Rx) felsefesini temel alan RxJava, Java ekosisteminde asenkron ve paralel işlem gereksinimlerini karşılamak üzere geliştirilmiş ve geniş bir kullanım alanı bulmuştur. RxJava, performans odaklı uygulamaların geliştirilmesinde asenkron veri işleme, hata kontrolü ve akış yönetimi gibi konularda geliştiricilere çeşitli olanaklar temin eder.

RxJava, özünde gözlenen ve gözlemci ilkeleri üzerine inşa edilir. İlgili gözlenen ve gözlemci arasındaki veri iletimi sürekli takip edilir ve meydana gelen olaylara anında yanıt verilir. Gözlenen, veri iletimlerini modelleyen bir yapı olarak görev yaparken, Gözlemci ise bu akışları takip ederek oluşan olaylara uygun tepkiler üretir. Bu metodlar, akan veriler üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirerek, onları filtreleme, dönüştürme ve olası hataları yönetme gibi işlevleri üstlenir. Bu teknikler, reaktif yapıların geliştirilmesine yardımcı olur ve asenkron işlemler ile olay tabanlı veri işleme stratejilerinin verimli bir biçimde kullanılmasını mümkün kılar.




Şekil 3.4. RxJava'da map operasyon örneği (Mosconi, N., 2024)

Şekil 3.4’de RxJava'daki map operatörünün nasıl çalıştığı daha anlaşılır olması için örnek bir görsel sunmaktadır. Map operatörü, veri akışı içerisindeki öğeleri belirli kurallara göre dönüştürerek farklı bir veri yapısına adapte eder. Şekilde, farklı renklere sahip dairesel nesneler belirli bir işleme tabi tutulmakta ve map operatörü yardımıyla, renk bilgileri korunarak farklı bir geometrik yapıya, örneğin elmas formuna, dönüştürülmektedir. Bu tür bir dönüşüm, veri akışlarının işlenmesinde fonksiyonel programlama yaklaşımlarının etkin bir biçimde uygulanmasına olanak tanır. RxJava içerisinde bu operatör kullanıldığında, her veri öğesi belirli bir dönüşüm işleminden geçirilir ve bu işlemin çıktısı yeni bir gözlemlenebilir yapı şeklinde elde edilir. Bu yöntem, verilerin işlenmesini sadeleştirirken, reaktif programlama anlayışıyla uyumlu, okunabilirliği yüksek ve modüler bir kod yapısı kurulmasına katkı sağlar.

Reaktif programlama yaklaşımı, özellikle asenkron veri akışlarını yönetme gereksinimi duyan yazılım sistemlerinde, kontrolü artırarak işlem verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Özellikle de mikroservis mimarisinde, hizmetler arasında mesaj gönderimi çoğunlukla paralel bir şekilde oluşur. Böyle bir durumda RxJava, bilgi alışverişinin kontrol edilmesi ve aşamaların en verimli hale getirilmesinde anahtar bir görevi yerine getirir. Zaman bağımsız bilgi yorumlama ve süre planlaması konularında sağladığı adaptasyon yeteneği sayesinde, sistem bileşenlerinin daha verimli ve hızlı tepki verebilmesine olanak tanır. RxJava, hata durumlarını ele almak için yeniden deneme (retry) gibi mekanizmalar sunarak sistemin kararlılığını artırır ve kesintilere karşı dayanıklı bir yapı oluşturulmasına katkı sağlar.

Özellikle kapalı alanlardaki izleme uygulamalarında, sensör kaynaklı verilerin anlık olarak işlenmesi gerektiğinde RxJava, yüksek performanslı veri yönetimi açısından önemli bir avantaj sağlar. Bu tarz sistemlerde, sensörlerden kesintisiz olarak elde edilen verilerin anlık olarak değerlendirilip anlamlı bilgilere dönüştürülmesi büyük önem taşır. RxJava, veri akışlarını etkin biçimde yönlendirerek sensörlerden gelen bilgilerin gecikme olmaksızın analiz edilmesine olanak tanır; bu da sistemin çevresel değişimlere zamanında ve isabetli tepkiler verebilmesini sağlar. Örneğin, bir sensörden elde edilen sıcaklık, nem ya da konum gibi veriler RxJava kullanılarak gecikmeden analiz edilebilir; bu sayede sistemin değişken koşullara karşı daha esnek ve hızlı tepki üretmesi mümkün hâle gelir.

RxJava'nın sunduğu asenkron işleme, yüksek paralel işlem kapasitesi ve olay odaklı veri yönetimi özellikleri, kapalı alan takip sistemlerinde gerçek zamanlı veri işleme ve etkili kaynak yönetimi sağlamak için önemli avantajlar sunar. Bu özellikler, sistemin verimliliğini ve dayanıklılığını geliştirerek işlem etkinliği en üst düzeye çıkarır.

### 3.2.5. PostgreSQL ile Veri Yönetimi

Güçlü yapısı ve güvenilirliğiyle PostgreSQL, bu proje için uygun bir veritabanı alternatifi olarak öne çıkmaktadır. Yüksek performanslı sorgulama, genişletilebilirlik ve güçlü veri kontrolü özellikleriyle PostgreSQL, kapsamlı veri kümelerinin incelendiği ve denetlendiği iç mekân izleme yapılarında önemli bir görevi yerine getirmektedir. Mikroservis mimarilerinde, bilgilerin güvenli ve tutarlı bir biçimde kontrol edilmesi kritik bir öneme sahiptir; bu noktada PostgreSQL'in ACID uyumluluğu, önemli bir fayda sunmaktadır. Bu fonksiyon, sistemdeki veri tutarlılığını sağlayarak her adımda risk yönetimini temin eder ve veri kaybını önler.

PostgreSQL, kaynak koduna erişilebilir ve oldukça güvenilir bir veri deposu yönetim sistemidir; SQL dilinin farklı fonksiyonlarına, bağlantı referansları, gömülü sorgular, trigger'lar ve özel veri türleri gibi özelliklerle güçlü bir kolaylık sağlar. SQL dilini geliştiren bu veritabanı sistemi, veri işleme yükünü etkili bir biçimde geliştirme ve idare etme alanında birçok avantajlar sunar. Çoğunlukla mobil tabanlı, web tabanlı ve veri analiz araçları için veri kayıt sistemi çözümü olarak tercih edilmektedir.

İç mekân konumlandırma sistemlerinde, çoğunlukla yüksek hacimli sensör verileri işlenir ve bu verilerin hızlıca sorgulanabilmesi kritik öneme sahiptir. PostgreSQL, karmaşık veri ilişkilerini hızlıca çözümleyebilme yeteneği sayesinde veri analiz süreçlerini hızlandırmaktadır. Veritabanı optimizasyonu ve endeksleme gibi gelişmiş özellikler, sorgu performansını artırarak işlemlerin daha hızlı gerçekleşmesini sağlar. Böylece sistem verimli çalışır ve gereksiz zaman kayıplarının önüne geçilmiş olur.

Mikroservisler arasında veri alışverişi gerçekleştiğinde, PostgreSQL'in sunduğu tutarlı veri yönetimi ve güvenlik mekanizmaları sistem açısından kritik bir öneme sahiptir. Mikroservisler birbirlerinden bağımsız çalışabilse de aralarında gerçekleşen veri alışverişinin güvenilir yöntemlerle sağlanması zorunludur. PostgreSQL, mikroservislerin

kendi verilerini izole şekilde yönetmesine imkân tanıyarak, veri uyuşmazlıkları ve olası çakışmaların önüne geçilmesini destekler. Sistemde meydana gelebilecek veri tutarsızlıklarını önlemek adına, dış anahtar kontrolleri, referans bütünlüğü ve veri doğrulama mekanizmaları etkin şekilde rol oynar.

Ayrıca, PostgreSQL'in sağladığı yedekleme ve kurtarma seçenekleri, sistemin sürekliliğini koruyarak bilgi güvenliğinin sağlanmasına katkı sunar. Yüksek erişilebilirlik desteğiyle, herhangi bir sunucu hatası yaşansa bile sistem çalışmaya ara vermeden yoluna devam eder ve bilgiler korunur.

Son olarak, PostgreSQL'in performansını iyileştirmek için kullanılan optimizasyon teknikleri ile dağıtık veritabanı yönetimi özellikleri, veritabanı yönetiminde sağladığı esnekliği artırır. Bu şekilde, sistemin artan veri taleplerini karşılayabilecek bir altyapı oluşturulmuş olur.

Kapalı alan izleme sistemlerinde, sürekli veri akışı, hızlı sorgulama ve anlık veri analizi gereksinimlerini karşılarken, PostgreSQL mükemmel bir çözüm sağlar. Ayrıca, bu veritabanı, mikroservis tabanlı yapılarda, özerk servislerin veri aktarımını korunaklı ve etkili bir şekilde entegre yönetir.

### 3.2.6. Liquibase

Veritabanı değişim sürecini kontrol etmek ve versiyon takibini yapmak maksadıyla tercih edilen kaynak kodu erişilebilir bir çözümdür. Mikroservis yapılarında, her servisin yaygın olarak özel veritabanı yönetim sistemine sahip olması nedeniyle, bu veritabanlarının düzenli olarak aktif ve modern tutulması kritik bir öneme sahiptir. Liquibase, veritabanı değişikliklerinin takibini yapmak, yönetimini sağlamak ve gerektiğinde geri almak için önemli bir araç olup, bu süreçte büyük kolaylık sağlar.

Karmaşık uygulamalarda, özellikle kapalı alan izleme sistemlerinde, veri modellemelerinin belirli aralıklarla güncel tutulması ihtiyaç duyulabilir. Sensörlerden gelen bilgilerin farklı ihtiyaçlara göre değişik formatlarla depolanması veya yeniliklerin dahil edilmesi gerektiğinde, Liquibase bu tür değişimlerin birleştirilmesi kolaylaştırır. Liquibase'in veritabanı değişiklikleri ve otomatik sürüm oluşturma özellikleri,

geliştiricilere büyük bir esneklik sunarak manuel müdahalelerden kaynaklanabilecek hataları minimize eder.

Liquibase'in sağladığı geri alma fonksiyonu, bir veritabanı değişikliği hatalı olduğunda, sistemi güvenli bir şekilde önceki duruma geri getirebilir. Bu fonksiyon, ağırlıklı olarak önemli yapılarda veri bütünlüğünü ve güvenliği sağlamak adına özellikle dikkate değerdir. Bunun yanı sıra, kayıt tutma ve geçmiş sürümleri izleme fonksiyonu vasıtasıyla, her bir düzenlemenin hangi kişi tarafından, hangi zaman diliminde ve hangi nedenlerle yapıldığı detaylı olarak takip edilebilir.

Bu çalışma dahilinde, Liquibase şu faydaları sağlamıştır:

- Versiyon Kontrolü: Veritabanındaki bütün değişiklikler düzenli bir biçimde kaydedilmiş, versiyon kontrolü sağlanmış ve çok sayıda geliştiricinin gerçekleştirdiği güncellemelerin uyumsuzluğu önlenmiştir.
- Entegrasyon: Veritabanı güncellemeleri, manuel yapılandırma gereksinimleri ortadan kaldırarak doğrudan üretim ve geliştirme ortamlarına otomatik olarak entegre edilmiştir.
- Senkronizasyon: Liquibase, veritabanı güncellemelerinin geliştirme, test ve üretim ortamlarında tutarlı bir biçimde uygulanmasını mümkün kılar. Bu sayede, mikroservis tabanlı yapılar içinde farklı servislerin uyumlu bir şekilde çalışmasına olanak sağlanır.
- Platform Bağımsızlığı: PostgreSQL gibi farklı veritabanı platformlarıyla uyumlu bir şekilde çalışarak, platform bağımsızlığı ve esneklik sağlar.

Liquibase, CI/CD iş akışlarına birleştirme işlemini temin ederek, veritabanı güncellemelerini, yazılım dağıtım aşamalarının bir parçası yapar. Bu, uygulama tasarımı hızını artırırken, hata olasılıklarını düşürür.

Liquibase, iç mekân izleme platformlarında mikroservis tabanlı yapıların veritabanı yönetimini otomatik hale getirerek, yapının adaptasyon yeteneğini ve kararlılığını yükselten yardımcı bir platformdur. Hızlı bir şekilde değişen ve dinamik yapıdaki veritabanlarında, Liquibase'in sunduğu araçlar ve işlevler, sistemin sürdürülebilirliği ve stabilitesini sağlamak adına kritik bir öneme sahiptir. Bu sayede, veri şemalarındaki

değişiklikler, sistemdeki tüm bileşenlere güvenli ve hızlı bir şekilde entegre edilerek, operasyonel verimlilik artışı sağlanır.

### 3.2.7. Docker ile Konteynerleştirme

Docker, mikroservislerin izole edilerek çalıştırılmasını, farklı sistemler arasında sorunsuz taşınabilmesini ve geliştirme ile üretim ortamları arasında uyumluluğun korunmasını sağlayan bir konteyner teknolojisidir. Özellikle kapalı alan izleme sistemleri gibi esneklik ve ölçeklenebilirlik gerektiren projelerde, Docker kullanımı sistem performansını artırmış ve uzun vadeli sürdürülebilirliği desteklemiştir.

Docker teknolojisi ile her mikroservis, kendi kapsayıcısı (conteiner) içerisinde çalışacak şekilde izole edilir ve bu kapsayıcılar, ilgili servislerin ihtiyaç duyduğu tüm bağımlılıkları ve yapılandırmaları içinde barındırır. Bu yapı sayesinde, her bir mikroservis kendi çalışma ortamında faaliyet gösterir ve hem diğer mikroservislerden hem de merkezi sistemden bağımsız olarak yatayda ölçeklenebilir. Bu yaklaşım, sistemin dayanıklılığını ve uyarlanabilirliğini önemli ölçüde artırır.

Docker, uygulamaların geliştirme, test ve canlı ortamlarda aynı şekilde çalışmasını sağlayarak taşınabilirlik ve uyumluluk avantajı sunar. Bu durum, farklı ortamlar arasında ortaya çıkabilecek uyumsuzlukları ortadan kaldırır ve "geliştirici ortamında sorunsuz çalışıyor ama canlıda hata veriyor" gibi sık karşılaşılan problemleri önlemeye yardımcı olur.

Her mikroservis, ayrı bir konteynerde izole şekilde çalıştırıldığından, yalnızca kendi çalışma ortamı barındırır. Bu sayede, mikroservisler birbirinin bağımlılıklarından etkilenmeden sorunsuz şekilde işleyebilir. Docker konteynerleri hızlıca oluşturulup dağıtılabildiği için, sistem üzerindeki yük arttığında kolaylıkla ölçeklendirilebilir; bu sayede kapalı alan takip sistemlerinde anlık ve yoğun veri işleme gereksinimlerine etkili çözümler sunar.

Buna ek olarak, Docker konteynerleri, ana işletim sisteminin çekirdeğini doğrudan kullandıklarından, sanal makineler gibi fazladan kaynaklara ihtiyaç duymadan daha yalın bir şekilde çalışabilirler. Bu durum, sistem kaynaklarının daha verimli kullanılmasını

sağlayarak aynı sunucu ortamı içerisinde daha çok konteyner yapısının çalıştırılmasına imkân sağlar.

İç mekân izleme sistemlerine yönelik sunulan mikroservis mimarisi çerçevesinde Docker, servislerin birbirinden bağımsız şekilde geliştirip test edilmesini ve çalıştırılmasını mümkün kılarak hizmet ayrışmasını sağlamıştır. Özellikle sensör verilerinin yoğun olduğu senaryolarda, Docker konteynerlerinin hızlıca ölçeklenebilmesi performans darboğazlarının önüne geçilmesine olanak tanımıştır. Geliştirme, test ve üretim süreçlerinde aynı Docker imajlarının kullanılması, çıktıların kararlı ve önceden tahmin edilebilir olmasını sağlamıştır.

Docker'ın sağladığı Docker Compose aracı, çok sayıda mikroservisin aynı anda başlatılması ve organize bir şekilde yönetilmesi için tercih edilmiştir. Buna ek olarak, konteynerlerin daha etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi amacıyla Kubernetes ile entegrasyon sağlanmıştır.

### 3.2.8. JUnit ile Test Yazımı

JUnit, Java dilinde yazılmış uygulamalarda unit testleri ve entegrasyon testleri uygulamak için genellikle öne çıkan verimli bir test altyapısıdır. İç mekân izleme platformları gibi çok katmanlı yapılarda, mikroservislerin ayrı ayrı test edilerek stabil çalışmasını sağlamak amacıyla JUnit tercih edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, JUnit ile mikroservislerin beklenen davranışları gösterip göstermediğini test eden birim test senaryoları geliştirilmiştir. Ayrıca, servisler arası etkileşimlerin doğru çalıştığını ve sistem bütünlüğünün korunduğunu doğrulamak için sistem çapında entegrasyon testlerine de yer verilmiştir.

Entegrasyon testleri aracılığıyla, servislerin karşılıklı veri alışverişini doğru biçimde gerçekleştirdiği ve sistemin beklendiği şekilde çalıştığı doğrulanmıştır. JUnit, sistemin sağlamlığını ve uzun vadeli işlerliğini destekleyen temel araçlardan biri olmuştur; kapalı alan takip sistemi geliştirme sürecinde kalite standartları korunmuş ve yazılımsal işlev bozukluklarının önüne geçilmiştir. Bu sayede, sistemin her bir bileşeni güvenli bir şekilde entegre olmuş ve yüksek performanslı bir şekilde çalışması garanti altına alınmıştır.

### 3.2.9. Geotools

Kapalı alan takip sistemlerinin performansı, büyük ölçüde konum verilerinin hassas bir şekilde işlenmesine ve analitik yöntemlerle değerlendirilmesine bağlıdır. Bu süreç, sistemin güvenilirliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyen temel bir unsurdur. Geotools, coğrafi veri işleme alanında yaygın olarak tercih edilen açık kaynak kodlu bir kütüphane olup, mekansal verilerin yönetim süreçlerinde, karmaşık coğrafi analizlerin gerçekleştirilmesinde ve CBS tabanlı uygulamaların geliştirilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Geotools kütüphanesi, bina içi mekansal verilerin modellenmesi ve çeşitli sensör sistemlerinden elde edilen lokasyon bilgilerinin harita tabanlı analizinde kritik bir işlev görmektedir. Bu araştırma kapsamında, çeşitli sensör sistemlerinden toplanan işlenmemiş veri setleri, Geotools kütüphanesinin sunduğu mekansal veri işleme modülleri yardımıyla standart coğrafi veri formatlarına dönüştürülmüş ve analize uygun nitelikli veriler elde edilmiştir. Bu sistem sayesinde, kapalı mekanlarda bulunan elektronik cihazlar ve endüstriyel ekipmanların konum değişiklikleri gerçek zamanlı olarak takip edilebilmiştir. Bunun yanı sıra, oluşturulan dijital haritalar üzerinde bu varlıkların anlık pozisyon bilgileri görsel olarak işaretlenerek mekansal dağılımları net bir şekilde ortaya konulmuştur.

Geotools, harita projeksiyonları ve coğrafi dönüşüm işlemlerini destekleyerek bu süreçleri oldukça basitleştirmiştir. Sistem, cihazların ve ekipmanların konumlarındaki anlık değişiklikleri izleyebilmekte ve bu veriler üzerinden analizler yaparak raporlar oluşturabilmektedir. Örneğin, bir cihazın kapalı alan içerisindeki izlediği rota veya belirli alanlarda ne kadar süre kaldığı gibi veriler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Geotools kütüphanesi, çoklu coğrafi veri formatlarıyla uyumlu yapısı sayesinde heterojen kaynaklardan elde edilen mekansal verilerin entegrasyonunu ve analizini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, harita tabanlı görselleştirmelerde konum bilgilerini doğru koordinat dönüşümleriyle işleyerek, kapalı alanlarda hassas ve detaylı konum tespiti yapılmasına önemli katkı sunar. Geotools, büyük hacimli veri kümelerini işleyebilme kapasitesiyle, sistemin ileride genişlemesi ve ölçeklenmesi durumlarına sorunsuz adapte olmasını mümkün kılar.

Geotools'un sisteme dâhil edilmesiyle birlikte, kapalı alan izleme uygulamasında mekânsal veriler verimli biçimde işlenmiş, yorumlanmış ve görsel çıktılarla desteklenmiştir. Bu doğrultuda, cihazlar ile ekipmanların konumları hassas biçimde izlenebilmiş ve sistem, anlık takip ile analiz yeteneklerini bünyesinde barındıran etkili bir çözüme dönüşmüştür. Sonuç itibarıyla, sistemin hassasiyeti, istikrarı ve kullanıcıyla etkileşim kalitesi belirgin şekilde iyileştirilmiştir.

## 3.3. Kullanılan Yöntemler

Çalışmada, RFID teknolojisi kullanılarak kapalı alanlarda konum belirleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler mikroservis mimarisi ile işlenerek gerçek zamanlı takip sağlanmıştır. Kullanılan yöntemler; RFID verilerinin toplanması, konum belirleme algoritmalarının uygulanması ve sistem bileşenleri arasındaki iletişimin sağlanması gibi temel bileşenleri içermektedir.

### 3.3.1. RFID Tabanlı Takip Sistemi

RFID tabanlı takip sistemleri, pasif veya aktif RFID etiketlerinin belirli bir alana yerleştirilmiş RFID okuyucular tarafından algılanmasıyla çalışmaktadır. Bu çalışmada, aktif RFID etiketleri kullanılarak geniş kapsama alanı ve düşük enerji tüketimi sağlanmıştır. Aktif etiketlerin seçilmesindeki temel neden, madencilik gibi zorlu çalışma ortamlarında yüksek menzil ve sinyal kalitesi sunmasıdır.

RFID tabanlı sistemde, etiketlerden gelen sinyaller belirli zaman aralıklarıyla okuyucular tarafından algılanarak veriler merkezi sunucuya iletilmektedir. Elde edilen bu ham veriler, sistemin konum belirleme algoritmalarında işlenmekte ve belirlenen nesne veya kişilerin koordinatlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde, RSSI değeri kullanılarak etiketlerin okuyuculara olan uzaklıkları tahmin edilmekte ve belirlenen veriler konum belirleme algoritmalarına girdi olarak aktarılmaktadır.

RFID tabanlı takip sisteminin temel aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

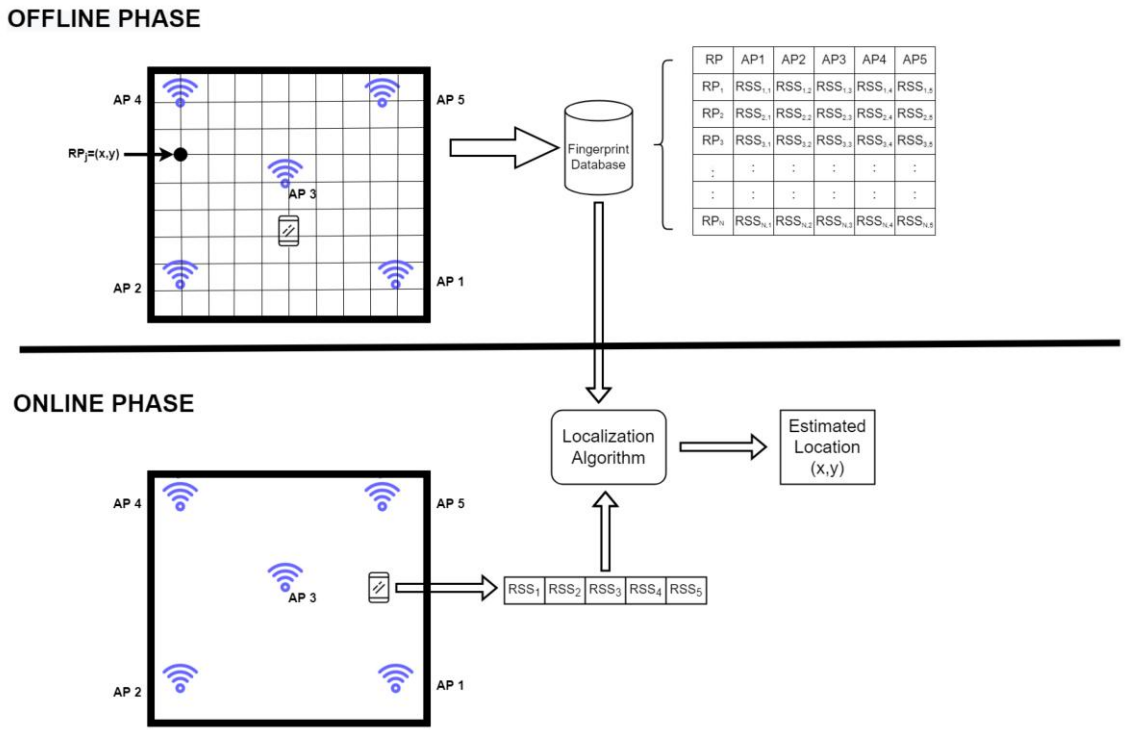
- RFID etiketleri belirli zaman aralıklarıyla sinyal yayar.
- Sinyaller RFID okuyucular tarafından algılanır ve güç seviyeleri ölçülerek RSSI değeri hesaplanır.

- Toplanan veriler merkezi sunucuya iletilir.
- Konum belirleme algoritmaları ile etiketlerin koordinatları hesaplanır.
- İşlenen veriler kullanıcı arayüzüne aktarılır ve gerçek zamanlı takip sağlanır.

Bu süreç, sistemin yüksek hassasiyetle konum tespiti gerçekleştirebilmesi adına çeşitli konumlama algoritmalarıyla güçlendirilmiştir. Ayrıca, bu algoritmalar farklı senaryolarda test edilerek sistemin esneklik ve doğruluk kapasitesi artırılmıştır.

### 3.3.2. Konum Belirleme Algoritmaları: Fingerprinting Yöntemi

Kapalı alanlarda konum belirleme sistemlerinde farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, RSSI tabanlı mesafe tahmini, Fingerprinting yöntemi ve medyan filtresi gibi tekniklerden yararlanılmıştır.




Şekil 3.5. Fingerprinting Algoritması (Altaf Khattak, ve diğ., 2022)

RFID okuyucular, etiketlerden gelen sinyallerin güç seviyelerini ölçerek uzaklık tahmini yapabilmektedir. RSSI değeri, sinyalin kaynağından uzaklaştıkça azaldığından, logaritmik mesafe kaybı modeli kullanılarak etiketlerin okuyuculara olan uzaklığı tahmin edilmiştir. Ancak, radyo dalgalarının çevresel faktörlerden etkilenmesi nedeniyle

doğrudan RSSI ile konum belirleme işlemi yüksek hata oranlarına sahip olabilmektedir. Bu sebeple, daha güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla Fingerprinting yöntemiyle güçlendirilmiştir.

Fingerprinting yöntemi, önceden oluşturulan bir radyo haritası ile anlık RSSI ölçümlerini karşılaştırarak konum tahmini yapmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.5'de, bu yöntemin temel aşamaları ve işleyişi görselleştirilmiştir.

Bu yöntem iki temel aşamadan oluşmaktadır:

- Ön Kayıt Aşaması**:** Belirli referans noktalarındaki RSSI değerleri toplanarak bir veri tabanına kaydedilir.
- Gerçek Zamanlı Konum Belirleme Aşaması**:** Yeni ölçülen RSSI değerleri, veri tabanındaki kayıtlı referans noktaları ile karşılaştırılarak en yakın eşleşme bulunur ve etiketin konumu belirlenir.

Bu yöntem, maden gibi sinyal yayılımının düzensiz olduğu ortamlarda daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Ancak Fingerprinting yönteminin başarılı olabilmesi için detaylı bir ön kayıt aşaması gerekmektedir.

### 3.3.3. Konum Belirleme Algoritmaları: Medyan Yöntemi

RFID tabanlı kapalı alan takip sistemlerinde sinyal gücü ölçümleri, çevresel faktörler, elektromanyetik parazitler, çok yollu yayılım (multipath effect) ve anlık gürültüler nedeniyle dalgalanma gösterebilir. Bu tür sinyal dalgalanmaları, konum belirleme doğruluğunu önemli ölçüde düşürebilir. Özellikle maden ortamlarında, metal yüzeylerin sinyalleri yansıtması ve farklı fiziksel engeller nedeniyle RSSI ölçümlerinde yüksek seviyede değişkenlik oluşabilmektedir.

Bu çalışmada, sinyal dalgalanmalarını stabilize etmek ve hata oranını azaltmak amacıyla medyan filtresi kullanılmıştır. Medyan filtresi, belirli bir zaman aralığında alınan sinyal güçlerinin sıralanarak ortanca (medyan) değerinin alınması prensibine dayanır. Bu yöntem, anlık olarak meydana gelen aşırı uç (outlier) değerleri filtreleyerek daha dengeli ve güvenilir sinyal ölçümleri elde edilmesini sağlar. Bu sayede, sistem performansı

üzerindeki ani değişimlerin etkisi minimize edilerek daha kararlı bir izleme süreci sağlanır

### 3.3.4. Veri Toplama ve İşleme Süreci

RFID okuyucular tarafından toplanan verilerin merkezi sistemde işlenmesi, konum belirleme sürecinin en kritik aşamalarından biridir. Veri toplama ve işleme süreci şu adımlardan oluşmaktadır:

- Ham Veri Toplama: RFID okuyucular tarafından belirli zaman aralıklarıyla etiketlerden gelen sinyaller algılanır.
- Ön İşleme ve Filtreleme: Gürültü ve parazitlerin etkisini azaltmak için sinyal verileri medyan filtresi ile işlenir.
- Konum Belirleme: RSSI tabanlı mesafe tahmini ve Fingerprinting yöntemi kullanılarak etiketlerin konumları hesaplanır.
- Veri Depolama ve Analiz: İşlenen veriler PostgreSQL veri tabanına kaydedilir ve gerektiğinde analiz edilerek raporlanır.
- Gerçek Zamanlı Takip: Kullanıcı arayüzü ile görselleştirme sağlanarak sistemin gerçek zamanlı olarak izlenmesi mümkün hale gelir.

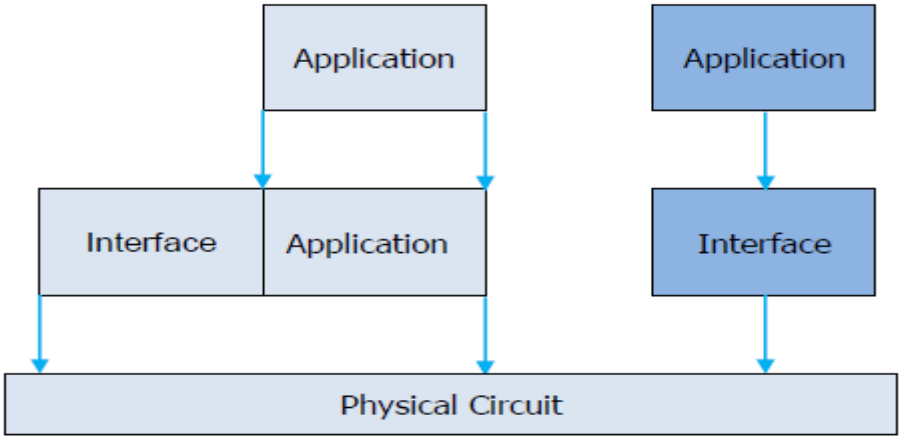
Bu süreçlerin tamamı, sistemin doğruluk, güvenilirlik ve performans açısından en iyi sonuçları verecek şekilde optimize edilmesini temin etmektedir.

## 3.4. 2.4GHz RFID Okuyucu İletişim Protokolü

RFID teknolojisi, nesneleri tanıma ve takip etme alanında etkin bir biçimde kullanılmakta olup, farklı sektörlerde operasyonel verimliliği artıran bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, 2.4GHz RFID okuyucular, gelişmiş iletişim protokolleri sayesinde esnek ve güvenli veri aktarımı sunarak öne çıkan teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu bölümde, bu protokolün yapısı ve işlevselliği detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

### 3.4.1. Haberleşme Katmanları

2.4GHz RFID okuyucu haberleşme protokolü, üç temel katmandan meydana gelmektedir: fiziksel katman, arayüz katmanı ve uygulama katmanı.




Şekil 3.6. Haberleşme Katmanları

Donanım düzeyindeki iletişim, RS232, RS485 ve RJ45 gibi yaygın bağlantı arayüzlerini destekleyerek, çeşitli altyapı sistemleriyle sorunsuz entegrasyona olanak tanır. Arayüz seviyesi, veri paketlerini belirlenen protokol yapısına uygun şekilde şekillendirirken; üst katmanda yer alan uygulama bölümü, okuyucu ile ana sistem arasındaki talep-cevap iletişimini organize eder. Şekil 3.6, her bir katman arasındaki iletişimi detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

2.4GHz RFID okuyucu iletişim protokolü, üç aşamalı bir yapıya sahip olarak çalışır:

- Fiziksel Katman: Fiziksel bağlantı katmanı, RS485, RS232 ve RJ45 gibi yaygın kullanılan arayüzleri sağlayarak, iletişim altyapısının temel yapı taşlarını meydana getirir ve doğrudan kablo bağlantısıyla 100 metre sınırına kadar veri iletimi kapsama alanını destekler.
- Sunum Katmanı: Veri paketlerinin yapısını belirler ve bu paketleri alt yapı katmanı kullanarak iletir. Bu katman düzeyinde, konu, lokasyon, boyut, talimat/koşul, değişkenler ve hata kontrolü toplamı öğelerini içeren yaygın bir iskelet yapısı sunmuş olur.
- Yazılım Katmanı: Donanım kontrolü ve uygulamalar ile ilgili protokoller bu katmanda bulunur. Bu katman, merkezi sunucu ile alıcı aralarındaki talimat ve tepki süreçlerini denetler ve sistemin doğru bir şekilde çalışmasını sağlar.

Bilgisayar ağlarında, fiziksel katman, verilerin taşındığı temel düzey katmandır. Bu katman, verilerin bit düzeyinde iletilmesinden sorumludur ve elektriksel sinyaller, optik

ışık veya radyo dalgaları gibi farklı iletim ortamları aracılığıyla iletişimi mümkün kılar. Bunun yanı sıra, bant genişliği, gerilim seviyeleri, bağlantı tipleri ve kablo bağlantı normları gibi faktörler, bu katman seviyesinin esas bileşenleri aralarında konumlanır. Bu katman tarafından sağlanan hız, veri iletim kapasitesi, veri aktarım aralığı ve hata dayanıklılığı gibi kıymetli teknolojik özellikleri, Tablo 3.4, özetlemektedir. Bu özet bilgiler, ağ tasarımı ve verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir.

Arayüz katmanı, bağlantısız ve güvenilir olmayan hizmetler sunar. Verileri, komut ve yanıt şeklinde gönderilir. Tablo 3.5'te çerçeve formatı verilmiştir. Veri çerçevelerinin komut ve yanıt biçiminde iletilmesi, protokolün esnekliğini ve etkinliğini artıran önemli bir özelliktir. Bu yapı, veri aktarımı sırasında oluşabilecek olası hataların hızlı bir şekilde tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlar. Ayrıca, protokolün bağlantısız hizmet sunması, sistemin kaynak kullanımını optimize ederken düşük gecikme süreleriyle iletişim sağlamasına olanak tanır.

Tablo 3.4. Fiziksel Katman Özellikleri

| Arayüz | Özellikler |
|---|---|
| RS485 | Baud hızı: 19200bps (Varsayılanı 19200bps) |
| RS232 | Baud hızı: 115200bps (Varsayılan 115200bps) |
| RJ45 | Adaptif hızda çalışan 10M-100M bağlantı noktası<br>En yüksek iletim aralığı 100 metreye kadar çıkabilir |

RFID haberleşme protokolü, genişletilebilirlik açısından da güçlü bir altyapı sunar.

Tablo 3.5. Arayüz Katmanı

| Bileşenler | Boyut | Açıklama |
|---|---|---|
| Konu | 1 | Talimat: 0x0A, Cevap: 0x0B |
| Lokasyon | 1 | Cihazın lokasyon bilgileri |
| Mesafe | 1 | Emir ve değişken aralığı (2-255) |
| Talimat/Koşul | 1 | Talimat verisi |
| Değişkenler | 0-253 | Parametreler |
| Hata Kontrolü Toplamı | 1 | Doğrulama |

Farklı cihazlarla uyumluluk sağlayan bu protokol, sistemin farklı ihtiyaçlara göre kolayca ölçeklenmesine imkân tanımaktadır.

### 3.4.2. Komut Kümeleri

Protokol, okuyucuları çeşitli işlevlerini denetlemek için farklı komut grupları sunar:

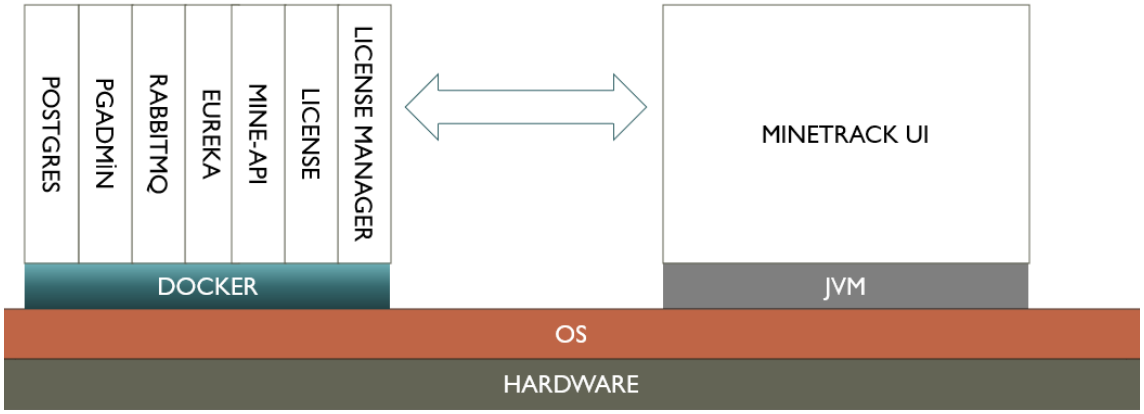
- Ana Çalışabilirlik Emirleri: Veri iletim kapasitesi ayarları, resetleme işlemi ve fiziksel bileşen yazılım güncelleme verisini içerir.
- Aktif RFID İşlev Komutları: Etiketlerin okumasını başlatan ve durduran komutlar aracılığıyla, veri toplama sürecini daha verimli hale getirir.
- Önbellek Belleği Komutları: Önbellekteki kaydedilen verilere erişim sunar ve veri tutarlılığını sağlar.

### 3.4.3. Kullanım Alanları

2.4GHz bandında çalışan RFID okuyucu iletişim protokolü, genellikle taşımacılık, sağlık ve ticaret sektörlerinde geniş ölçüde tercih edilmektedir. Bu protokol, anten çeşitliliği desteği, yüksek veri iletim kapasitesi ve otomatik adres atama gibi özelliklerle, kompleks takip sistemlerine ideal bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, düşük enerji tüketimi ve yüksek veri iletim hızı, bu protokolün geniş alanlarda ve zorlu ortam koşullarında dahi verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Sistem performansının artırılmasında önemli bir rol oynayan bu özellikler, protokolün düşük gecikme süreleriyle hızlı veri aktarımına olanak tanır. Bu avantajlar, özellikle yüksek hacimli veri akışını yönetmesi gereken endüstriyel uygulamalar için protokolü tercih edilen bir çözüm haline getirmektedir.

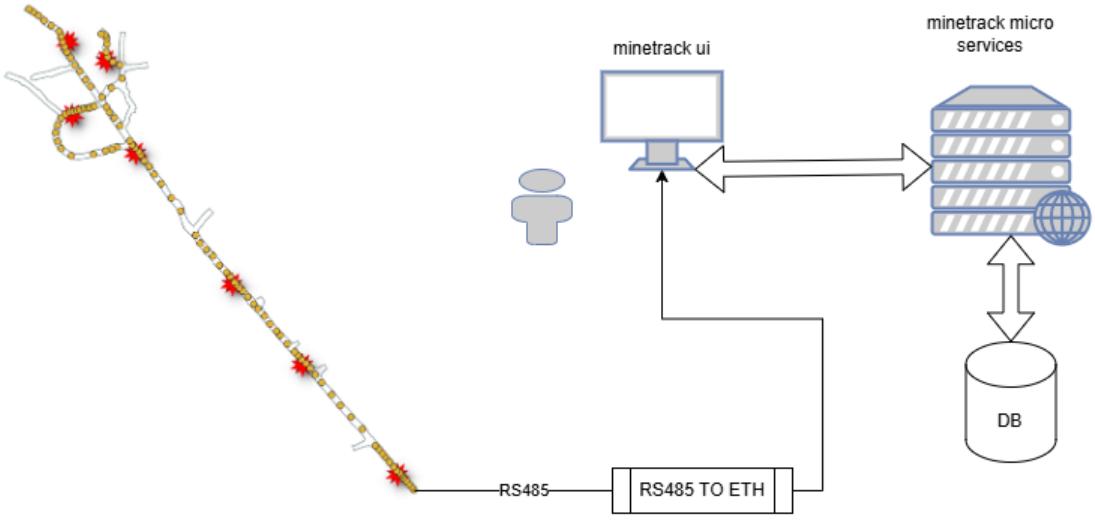
## 3.5. Sistem Mimarisi ve Bileşenleri

Şekil 3.7, mikroservis mimarisine dayalı bir sistem yapısını göstermekte olup, her bir bileşenin bağımsız olarak çalışabildiği modüler bir yapıyı temsil etmektedir. Docker konteynerleri, her bir hizmetin izole bir ortamda çalışmasını sağlayarak sistemin taşınabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini artırmaktadır. PostgreSQL veritabanı, merkezi veri yönetimini üstlenirken, RabbitMQ mesaj kuyruğu, mikro hizmetler arasındaki iletişimi asenkron hale getirerek sistemin hata toleransını artırmaktadır.




Şekil 3.7. Sistem Tasarımı

Eureka sunucusu, sistemde hizmet keşfi (service discovery) ve yük dengeleme işlevlerini yerine getirmekte olup, mikro hizmetlerin birbirini dinamik olarak bulmasını ve yönetmesini sağlamaktadır. MineTrack API, RFID okuyuculardan gelen verileri işlerken, License Manager ve License hizmetleri lisans yönetimi ile sistem güvenliğini sağlamaktadır. Kullanıcı arayüzü (MineTrack UI), gerçek zamanlı konum verilerini görselleştirerek kullanıcıların sistemle etkileşimini kolaylaştırmaktadır.



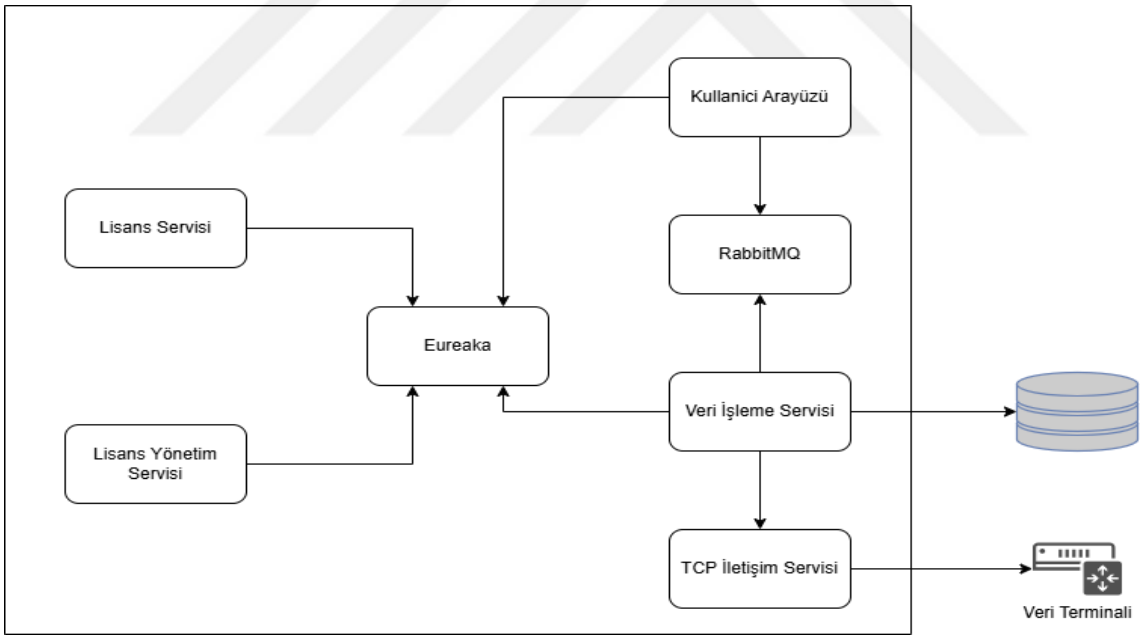

Şekil 3.8. Kapalı Alan Takip Sistemi: Donanım ve Yazılım Bileşenleri

Bu mimari, özellikle büyük ölçekli kapalı alan takip sistemlerinde esneklik, ölçeklenebilirlik ve hata toleransı sağlamak için tasarlanmıştır. Docker kullanımı sayesinde, sistemin farklı ortamlara taşınması ve yeni bileşenlerin eklenmesi

kolaylaşmaktadır. RabbitMQ'nun etkin mesaj kuyruğu yönetimi, mikro hizmetler arasındaki bağımlılığı en aza indirerek sistemin daha güvenilir ve dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.8, MineTrack kapalı alan takip sisteminin bileşenlerini ve bileşenler arasındaki veri akışını göstermektedir. Sistem hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşmakta olup, RFID okuyucular, veri iletim katmanı, mikro hizmetler ve kullanıcı arayüzü gibi farklı bileşenlerin entegre çalışmasını sağlamaktadır.

Şekilde görüldüğü üzere, RFID okuyucular sahada yerleştirilmiş etiketleri algılayarak, topladıkları verileri merkezi sisteme iletmektedir. Bu veriler, RS-485 üzerinden seri-ethernet dönüştürücüler aracılığıyla ağ katmanına aktarılmakta ve sunucu tarafında RabbitMQ mesaj kuyruğu sistemi ile işlenmektedir. PostgreSQL veri tabanı, RFID verilerinin saklanmasını ve analiz edilmesini sağlarken, MineTrack API bu verileri işleyecek mikroservisleri yönetmektedir.




Şekil 3.9. Sistem Mimarisi ve Bileşenleri

MineTrack sisteminin tasarımında, mikroservis mimarisi kullanılarak bileşenlerin bağımsız çalışması ve ölçeklenebilirliğin artırılması sağlanmıştır. Örneğin, Eureka servis keşif mekanizması sayesinde, MineTrack API ve License Manager gibi farklı hizmetler birbirleriyle dinamik olarak iletişim kurabilmekte ve sistemin esnekliği artırılmaktadır.

Kullanıcılar, MineTrack UI üzerinden gerçek zamanlı konum verilerini takip edebilmekte, etiketlerin hareketlerini harita üzerinden görüntüleyebilmekte ve sistemdeki güncellemeleri anlık olarak alabilmektedir.

Bu yapı, yüksek hata toleransı ve düşük gecikme süresi ile gerçek zamanlı veri işleme olanağı sunmaktadır. Ayrıca, modüler mimari sayesinde, sistemin ilerleyen süreçlerde yeni bileşenlerle genişletilmesi ve farklı endüstriyel alanlara uyarlanması kolaylaşmaktadır.

Önerilen sistem yapısı, bağımsız mikroservislerin belirli işlevleri yerine getirdiği bir mimariye dayanmaktadır. Bu yapı, sistemin esneklik, ölçeklenebilirlik ve sürdürülebilirlik açısından güçlü olmasını sağlar. Sistem mimarisinin genel çerçevesi, Şekil 3.9'de takdim edilmiştir.

Aşağıda, sistemi oluşturan temel bileşenler ile her birinin üstlendiği başlıca görevler detaylandırılmıştır:

- Veri Analiz Servisi: Veri terminal cihazından alınan verileri yakalar, analiz eder ve çıktıları RESTful servis uç noktaları vasıtasıyla servis eder. Söz konusu modül, alınan RSSI verilerinin konumlandırma algoritması ile değerlendirilmesini ve anlamlı hale getirmesini temin eder.
- Lisans Takip ve Yönetim Sistemi: Lisansların üretimi, takibi ve gerektiğinde yenilenmesi eşdeğer işlemleri yerine getirir.
- Kullanıcı Etkileşim Arayüzü: Müşterilerin lisans durumunu ve yer bilgilerini incelemesini temin eder. Ayrıca, başka hizmetlerle entegrasyon sağlayarak bilgilerin anlık olarak gösterilmesini sağlar.
- TCP İletişim Bileşeni: Başlangıçta belirlenen sunucu adresi ve bağlantı noktaları üzerinden verileri alır, ardından bu bilgileri ayrıştırarak işlenebilir bir forma dönüştürür.
- Konumlandırma Algoritması: Alınan verileri analiz ederek objelerin lokasyonunu belirler. Söz konusu algoritma hem tek okuyuculu hem de birden fazla okuyucunun yer aldığı durumlarda etkili çalışacak şekilde uyarlanmıştır.

Bu bileşenlerin uyumlu çalışması, sistemin verimliliği ve performansını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür.

### 3.5.1. Servisler Arası İletişim Altyapısı

Servislerin birbirleriyle haberleşmesi, merkezi bir yapıdaki Eureka sunucusu üzerinden sağlanarak koordinasyonun verimli şekilde yürütülmesine olanak tanır. Eureka, Netflix tarafından tasarlanmış ve Spring Cloud altyapısı ile entegre çalışabilen bir servis keşif çözümüdür. Bu sunucu, mikroservislerin ağ üzerindeki kayıtlarını yöneterek, servisler arası veri alışverişinin düzenli ve kesintisiz bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan merkezi bir yapı görevi üstlenir. Bu sayede servisler, çalışma anında otomatik olarak bulunabilir ve birbirleriyle etkili bir biçimde haberleşmeleri sağlanarak sistemin esnekliği ve ölçeklenebilirliği artırılır.

Eureka sunucusu, her bir servis örneğinin ağ üzerindeki konumu ve durumu hakkında güncel bilgiler sunarak, servislerin birbirlerini doğrudan bulup iletişime geçmelerine olanak tanır. Bu özellik, mikroservis sayısının arttığı ve ağ yapısının daha karmaşık hale geldiği büyük ölçekli sistemlerde çok önemli bir işlevsellik sağlar. Böylece, her bir servis sabit IP adresleri kullanmak zorunda kalmadan, güncel servis bilgilerine erişmek için Eureka sunucusuna başvurur.

Bu yapı, dış sistemlerin spesifik bir hizmete direkt bağlantı kurabilmesi için RESTful erişim uçlarıyla entegre edilmiştir. REST API, servisler arasındaki veri alışverişini HTTP protokolü kullanarak gerçekleştiren, basit ve sık tercih edilen bir haberleşme yöntemidir. REST mimarisiyle çalışan servisler, hizmetlerin aralarında bağlantı kurmasını kolaylaştırırken, dışarıdan gelen isteklerin de hızla ve etkin bir şekilde cevaplanmasını olanak tanır.

Eureka servis keşif sunucusu, mikroservislerin kendi arasında sorunsuz bir şekilde bağlantı kurmasını temin ederek, çözümün esnekliğini, ölçeklenebilirliğini ve yönetilebilirliğini artıran kritik bir bileşen işlevi görür. Bu sunucu, dağıtık modern sistemlerde servisler arasındaki iletişimi optimize etmek ve kompleks ağ yapılarını etkin bir şekilde yönetmek için önemli bir bileşen rolü oynar. Ayrıca, mikroservislerin doğru

bir şekilde ölçeklenmesini ve arızalara karşı dayanıklı olmasını sağlayarak sistemin genel güvenilirliğini artırır.

### 3.5.2. Sistem Çalışma Prensibi ve Veri Akışı

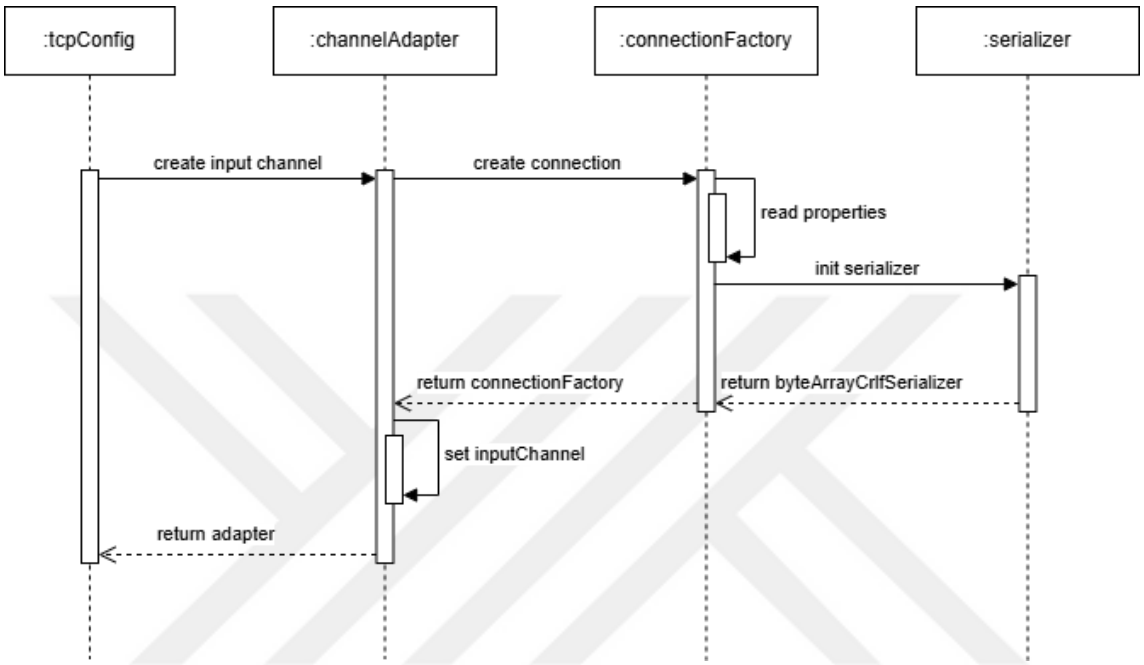
Bu sistem, RFID etiketlerinden toplanan bilgilerin analiz edilmesi ve elde edilen çıktıların kullanıcıya sunulması sürecini, birbirinden bağımsız çalışan mikroservisler aracılığıyla yönetmektedir. Sistemdeki tüm mikroservisler, Eureka bileşeni yardımıyla HTTP temelli bağlantı kurar ve bu sayede her servis, diğerlerinden bağımsız şekilde görevlerini sürdürebilir. Sistemde yer alan temel bileşenler arasında; veri analiziyle ilgilenen servis, lisanslama süreçlerini yöneten modüller, kullanıcıya arayüz sağlayan yapı ve TCP tabanlı iletişimi sağlayan hizmet yer almaktadır.

Sistemin çalışma süreci, RFID etiketinden yayılan sinyalin oluşmasıyla başlar. Bu etiket, yakın çevresindeki okuyucu cihazlar tarafından alınabilecek şekilde radyo frekansı sinyalleri iletimine başlar. Gönderilen sinyaller, RS485 bağlantı hattı üzerinden doğrudan veri terminaline aktarılır. Yerel ağ üzerindeki bilgisayar ve veri terminali, TCP İletişim Servisi tarafından sürekli olarak gözlemlenir ve kontrol altında tutulur. TCP İletişim Servisi, aldığı verileri Spring Framework'ün sunduğu özel adaptörle işleyerek, protokol yapısına uygun biçimde biçimlendirir ve bu verileri Veri İşleme Servisi'ne iletir. Veri İşleme Servisi, gelen veriyi almak amacıyla bir Observable nesnesi yaratır; burada TCP İletişim Servisi, veri kaynağını (Producer) sağlarken, Veri İşleme Servisi bu veriyi işleyen tüketici (Consumer) olarak görev yapar. RxJava ile yapılandırılan Observable yapısı, haberleşme esnasında etkili bir paralel işlem gerçekleştirir ve bu sayede işlem verimliliğini artırır.

Veri İşleme Servisi, elde ettiği ve işlediği veriyi veritabanına kaydetmek için ilgili işlemleri gerçekleştirir. Bunun yanı sıra, konumlandırma servisi de veri işleme aşamasında önemli bir işlevi yerine getirir. Konumlandırma servisi, gelen verileri toplar ve bu verilerin belirli bir eşik değerine ulaşması durumunda, önceden belirlenen algoritmayı devreye alarak doğru konum belirlemeyi başlatır. Konum hesaplama algoritmasının çalışma prensipleri takip eden bölümlerde daha derinlemesine üzerine yoğunlaşılacaktır. RFID etiketinin pozisyonu kesinleştikten sonra, bu veri RabbitMQ kuyruğuna iletilir. Veri Analiz Hizmeti, bu süreçte bir Sağlayıcı olarak hizmet verirken,

Kullanıcı Etkileşim Arayüzü, lokasyon verilerini işleyen taraf olarak görev yapmaktadır. RabbitMQ, ulaşan lokasyon verilerini kuyruğundan alarak, bu verileri harita üzerinde doğru şekilde yerleştirir ve ilgili RFID etiketinin doğru konumunu belirler.

### 3.5.3. TCP İletişim Bileşeni




Şekil 3.10. TCP İletişim Bileşeni

Bu bileşen, sistem başlangıcında verilen konfigürasyon dosyasında tanımlanan ana bilgisayar ve port bilgilerine göre gelen verileri dinler. Gelen verileri uygun bir şekilde çözümleyip, belirtilen dışa aktarım yoluna yönlendirir. Bu süreçte, modül bir sağlayıcı işlevini görür. Bu modülün işlevleri Şekil 3.10'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Bu bileşen aynı zamanda konum belirleme algoritmasını da çalıştırmaktadır. Algoritma, alınan sinyalleri inceleyerek nesnelerin yerlerini hesaplar. Pozisyonlama algoritmasının ayrıntıları bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

### 3.5.4. Kullanıcı Arayüzü

Geliştirilen sistemin kullanıcı arayüzü, madencilik ortamında RFID tabanlı konum takibini kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Java programlama dili ile geliştirilen arayüz, bağımsız bir uygulama olarak bir bilgisayar üzerinde JVM içinde çalışmaktadır.

Kullanıcı arayüzü, harita tabanlı işlem ve görselleştirme yetenekleri için GeoTools kütüphanesini kullanmaktadır. Bu sayede, madene özel haritaların yüklenmesi, personel konumlarının harita üzerinde görüntülenmesi ve çeşitli düzenlemelerin yapılması mümkün hale gelmiştir.

Arayüz, RFID okuyucuların anlık durum bilgilerini, personel giriş-çıkış hareketlerini ve geçmişe dönük konum verilerini analiz etmeye yönelik çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Kullanıcı dostu bir yapıya sahip olan arayüz, menü tabanlı bir navigasyon sistemi ile erişilebilen farklı işlevleri içermektedir.

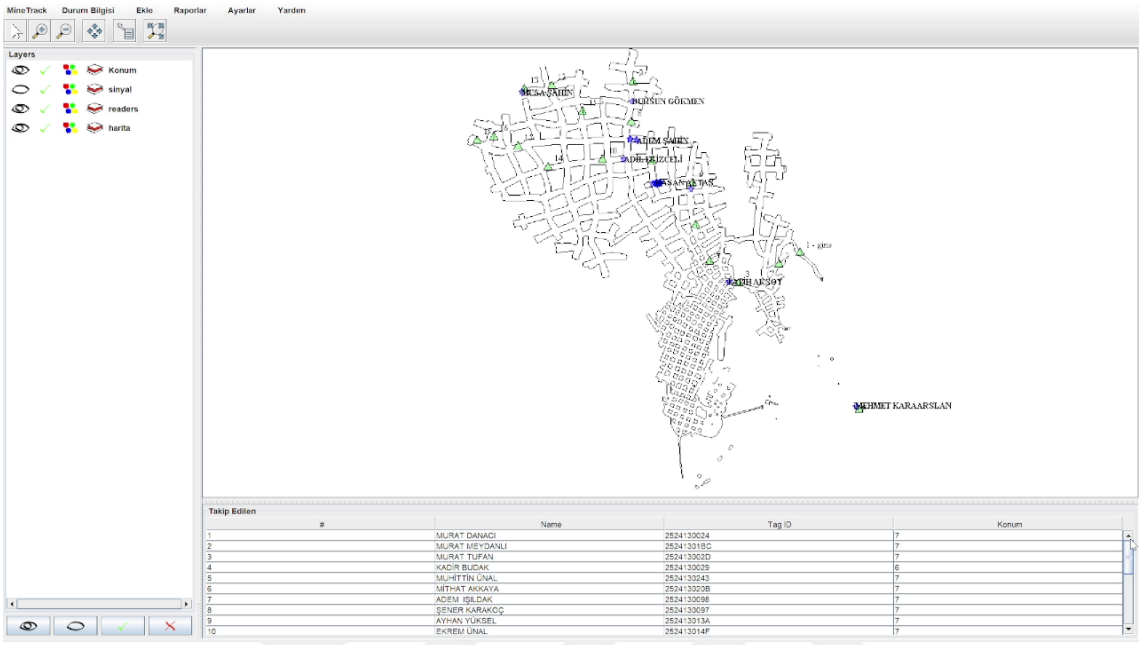
Uygulamanın ana ekranında harita odaklı bir yapı bulunmaktadır. Kullanıcılar, harita üzerinde belirli noktaları inceleyebilir, yakınlaştırma ve uzaklaştırma gibi temel gezinme işlemlerini gerçekleştirebilir. Ayrıca, belirli bir noktaya tıklandığında detaylı bilgi almak mümkündür. Sistem, veri güncellemelerini otomatik olarak senkronize ederek, gerçek zamanlı konum takibini mümkün kılmaktadır.

Arayüzde yer alan “Durum Bilgisi” menüsü, sistemin genel işleyişine dair kritik bilgileri içermektedir. Bu bölümde, seri-ethernet bağlantı durumu, bağlı RFID okuyucuların erişilebilirliği ve okuyuculardan sinyal alınıp alınmadığına dair bilgiler anlık olarak gösterilmektedir. Kullanıcılar, olası bağlantı kopmalarını veya okuyucu arızalarını bu ekran üzerinden gözlemleyebilir ve gerekli müdahaleleri gerçekleştirebilirler.

Personel yönetimi, sistemin temel bileşenlerinden biridir. Kullanıcılar, sisteme yeni bir personel ekleyebilir ve ilgili personele bir RFID etiketi atayabilirler. Bu işlem, personelin madende hangi bölgelere giriş yaptığı ve ne kadar süre boyunca belirli alanlarda bulunduğuna dair detaylı bir analiz yapmayı mümkün kılmaktadır. Ayrıca, belirlenen zaman aralıkları için geçmiş hareketlerin takibi de mümkündür.

Raporlama arayüzü, sistemin sağladığı verileri anlamlı hale getirerek yöneticilere sunmaktadır. Kullanıcılar, günlük raporlar, puantaj bilgileri, ayrıntılı hareket raporları ve simülasyon analizleri oluşturabilirler. Özellikle simülasyon özelliği, belirli bir personelin seçilen tarih ve saat aralığında madende hangi alanlarda bulunduğunu harita üzerinde dinamik olarak gösteren güçlü bir analiz aracıdır. Bu özellik, çalışma düzenini analiz

etmek, güvenlik ihlallerini belirlemek ve operasyonel verimliliği değerlendirmek açısından kritik bir rol oynamaktadır.




Şekil 3.11. Sistemin Ana Arayüzü

Sistemin ayarlar bölümü, kullanıcıların lisans güncellemelerini yönetmesine ve sinyal haritası verilerini güncellemesine olanak tanır. Sinyal haritası, Fingerprinting algoritması için kritik bir bileşendir. Bu harita, belirli bir noktada alınan RFID sinyallerinin RSSI değerlerine göre nasıl eşleştirildiğini gösterir. Kullanıcılar, bu harita üzerinden yeni referans noktaları ekleyebilir veya mevcut verileri güncelleyerek konumlandırma doğruluğunu artırabilirler.

Arayüz, kullanıcı deneyimini artırmak için çeşitli araçlar içermektedir. Kullanıcılar, haritayı yakınlaştırabilir, uzaklaştırabilir veya belirli bir noktaya tıklayarak detaylı bilgi alabilirler. Özellikle “Info Aracı”, seçilen bir konum hakkında RFID sinyal verileri, geçmiş hareketler ve sistem tarafından hesaplanan en olası konum gibi bilgileri sunmaktadır.

Kullanıcı arayüzüne ilişkin bir ekran görüntüsü Şekil 3.11’da verilmiştir. Bu ekran, sistemin ana bileşenlerini ve arayüz öğelerini içermektedir. Görselde, harita tabanlı yapı, menüler ve önemli arayüz bileşenleri işaretlenmiştir. Altlık harita test, deney ve

geliştirme ortamı sunarak bu bilimsel çalışmaya destek veren Çan-kaya Kaya Tuzu firmasının maden sahsını göstermektedir.

Geliştirilen kullanıcı arayüzü, RFID tabanlı iç mekân konumlandırma sisteminin pratik bir şekilde kullanılmasını sağlamakta ve madencilik ortamında operasyonel yönetimi kolaylaştırmaktadır.

## 3.6. Konumlandırma Süreci

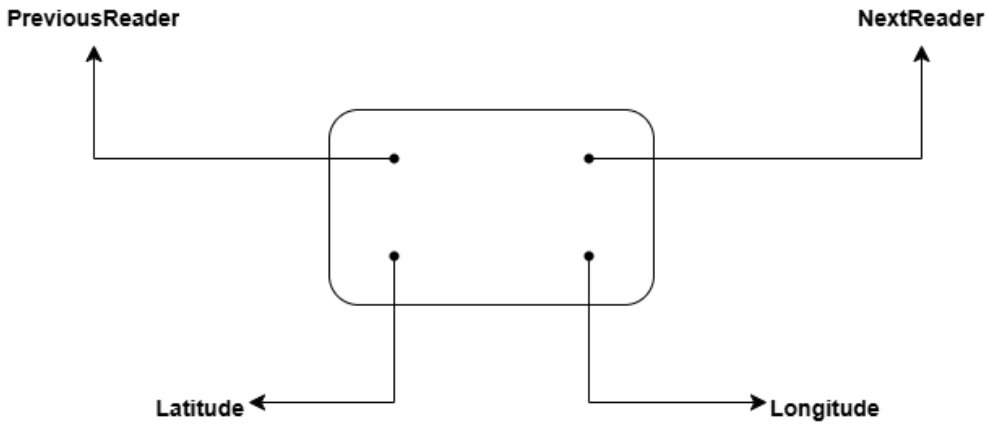
Konumlandırma algoritması, etiketlerden alınan sinyalleri işlenerek bu sinyallerden etiketlerin konumlarının belirler. Bu adımda, okuyucu cihazlarının yanı sıra harita üzerindeki referans noktalarının özellikleri de algoritmaya dahil edilerek, konumlandırma işlemi optimize edilir. Algoritma, etiketlerin iletim gücü değerleri, etiketler ve sinyallerin alındığı okuyucular ile ilgili veriler, ayrıca harita üzerindeki gösterilen referanslara dair verilerle çalışarak konumlandırma işlemini gerçekleştirir. Algoritma, bu girdileri kullanarak, etiketlerin en doğru ve güvenilir şekilde yerlerinin hesaplanmasını sağlamak için çeşitli matematiksel modeller ve hesaplamalar gerçekleştirir. Çevresel etmenler ve sinyal parazitlerinin olumsuz etkileri dikkate alınarak, konum doğruluğu artırılmak amacıyla özel düzeltme algoritmaları geliştirilir. Bu algoritmalar, sinyal kayıplarını ve diğer dış faktörleri minimize etmeyi hedefleyerek, daha güvenilir ve hassas bir konum tespiti sağlar. Ayrıca, sistem zaman içinde bu etkileri öğrenerek konum doğruluğunu sürekli olarak iyileştirir.

### 3.6.1. Girdi Bileşenleri

Test yazılımında etiketlerin konumlarını tespit etmek için RFID alıcılar ve başlangıç noktaları uygulanmıştır. Alıcı özellikleri hakkında ayrıntılı açıklama Şekil 3.12’de gösterilmektedir.

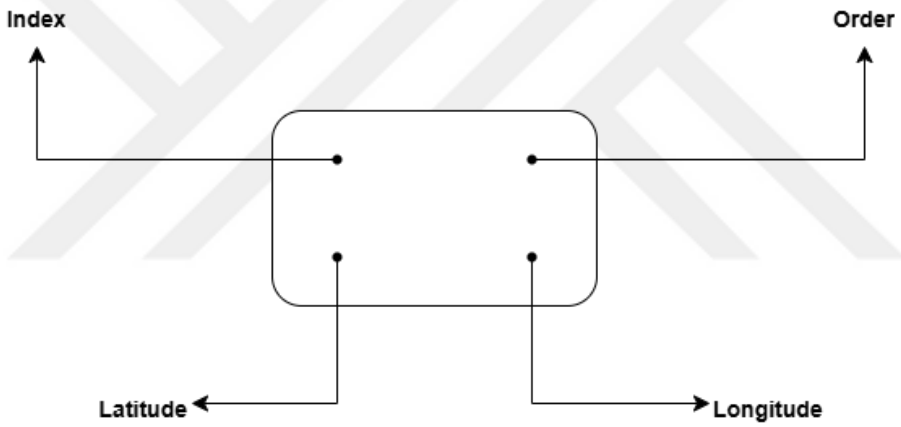
RFID alıcı nitelikleri:

- Yerleşim Verisi: Alıcının haritadaki yatay ve dikey konum verileri.
- Referanslar: Etiketin konumunu belirlerken, öncesindeki ve sonrasındaki alıcıya yönlendiren bağlantılar kullanılır. Bu işaretler, etiketlerin doğru yerlerinin tespitinde önemli rol oynayan kritik noktaları belirtir.




Şekil 3.12. RFID Okuyucu

Başka bir girdi, referans noktalarına dair ayrıntılı bilgiler, Şekil 3.13'te sunulmaktadır.




Şekil 3.13. Referans Noktası

Referans noktalarının nitelikleri:

- Yerleşim Verisi: Haritadaki bağlantının yatay ve dikey konum verileri.
- Sıralama ve İndeks Numarası: Her bir bağlantı noktasıyla ilgili benzersiz bir indeks ve her noktanın düzenli bir biçimde sıralanmasına yardımcı olan sıralama numarası.

### 3.6.2. Çıktı Bileşeni

Yöntemin çalışması sonucunda, etiketlerin hangi okuyucu tarafından algılandığı ve harita üzerindeki konumu belirlenir. Bu konum, yatay ve düşey eksen üzerindeki sayısal

değerlerle ifade edilir ve elde edilen bilgiler, etiketin o anki yerinin görsel olarak sunulmasına olanak tanır.

### 3.6.3. Konum Belirleme Süreci

Etiketin konumunun belirlenmesi, sinyallerin alınan okuyucu sayısına göre iki ana senaryo üzerinden incelenir: tek bir okuyucudan alınan sinyaller durumu ve birden fazla okuyucudan alınan sinyaller durumu.

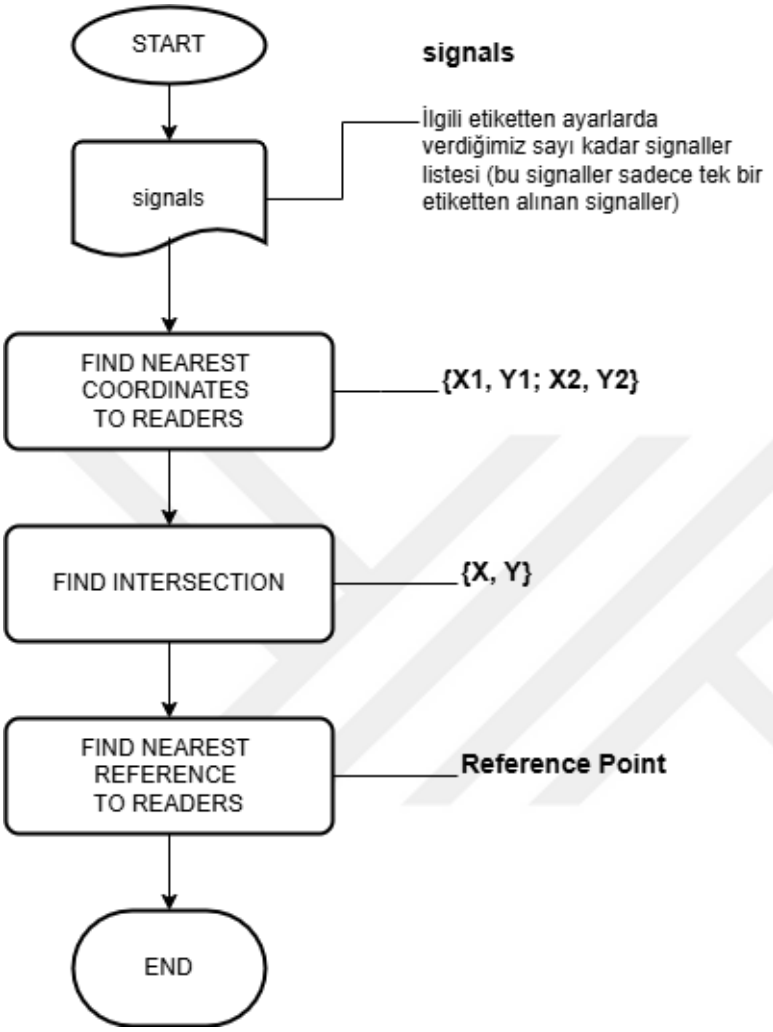
Etiketin yalnızca tek bir okuyucu tarafından algılandığı durumlarda, ayrıca geçmişteki ve gelecekteki okuyucu konumlarına ilişkin referans bilgileri kullanılarak yapılan işlemler aşağıda adım adım açıklanmıştır:

- Eğer etikete ait daha önce kaydedilmiş bir konum bulunmuyorsa ve sinyalin geldiği okuyucunun önceki bir okuyucuya dair bağlantısı yoksa, etiketin konumu varsayılan olarak bu okuyucunun soluna konumlandırılır.
- Eğer sinyalin alındığı okuyucu, kendisinden önceki bir okuyucuyla ilişkiliyse fakat sonrasına dair bir bağlantı içermiyorsa, etiketin yeri bu okuyucunun sağında olacak şekilde belirlenir.
- Eğer okuyucunun ne geçmişe ne de geleceğe yönelik bir referans bağlantısı yoksa, etiketin konumu harita üzerindeki en yakın referans noktasına ve okuyucuya en yakın mesafeye göre konumlandırılır.

Çoklu okuyucu durumu Şekil 3.14'te ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Harita üzerine konumlandırılan referans noktaları, algoritmanın daha isabetli konum tahminleri yapabilmesi açısından kritik bir rol oynar.

Algoritmanın konum tespiti sırasında tutarlı bağlantılar oluşturabilmesi, bu referans noktalarına ait sıra ve indeks numaralarının düzenli bir şekilde tanımlanmasına bağlıdır. Bu, ayrıca sensör cihazlar arasındaki mesafelerin belirlenmesinde de kullanılır. Konumlandırma algoritması, referans noktalarının yerleştirilmesi ve okuyucu cihazların yerel bilgileriyle, yüksek doğrulukta konum hesaplamalarını sağlar. Bu süreç, konum doğruluğunu optimize etmek için çevresel faktörler ve sinyal bozulmaları gibi etkenleri de hesaba katar. Konumlandırma algoritmasının detaylı düzeni, iç mekân izleme yapılarında büyük doğruluk ve güvenilirlik temin eder. Alıcı cihazlarından elde edilen

veriler ve haritadaki bağlantı referanslarını kombine ederek hem tekli hem de çoklu alıcı koşullarında verimli bir pozisyonlandırma uygulanır.




Şekil 3.14. İki ve daha fazla okuyucu ile konumlandırma

Bu yöntem, canlı izleme sistemlerinde hassas ve güvenilir veriler kazanılmasını sağlar. Ayrıca, çoklu okuyucu senaryoları, sistemin ölçeklenebilirliğini ve dayanıklılığını artırarak, daha geniş alanlarda ve karmaşık ortamlarda etkili bir takip çözümü sunar.

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

## 4.1. Konumlandırma Sonuçları

Çalışmada elde edilen konumlandırma sonuçları, sistemin farklı maden ortamlarındaki etkinliğini ve doğruluğunu belirlemek amacıyla titizlikle analiz edilmiştir.

Çankırı'daki tuz madeninde yapılan testlerde ise konum doğruluğu 12,14 metre olarak ölçülmüştür. Bu bilimsel çalışmanın temel amacı, sistemin ve konumlandırmanın doğruluğunu artırmak olmamakla birlikte, sistemin yeterli ve kabul edilebilir bir doğruluk seviyesinde konumlandırma yaptığı gösterilmiştir. Bu doğrultuda, saha testleri ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiş olup, yapılan analizlerin yöntemi ve süreci, aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Tuz madeninin farklı özellikleri, özellikle yer altındaki ortamın daha homojen yapısı, sistemin daha stabil bir performans sergilemesine olanak tanımıştır. Bu sonuç, sistemin farklı madencilik alanlarında kullanılabilirliğini ve esnekliğini ortaya koymuş, aynı zamanda harita üzerindeki veri doğruluğunun çevresel faktörlerden nasıl etkilendiğini net bir şekilde gözler önüne sermiştir.

Yapılan testlerde, sistemin performansı sadece konum doğruluğu ile sınırlı kalmamış, aynı zamanda zaman içinde okuma stabilitesini de gözler önüne sermiştir. Okuyuculardan alınan sinyallerin sıklığı ve sinyal kayıpları, belirli alanlarda konum doğruluğunu etkileyebilmiştir. Ancak bu tür aksaklıklar, sistemde kullanılan yazılımın esnekliği sayesinde minimize edilebilmiş ve sinyal kaybı yaşanan bölgelere dair veri analizi yapılmıştır. Bu noktada, sinyal gücünün arttırılmasına yönelik çeşitli iyileştirmeler ve donanım yükseltmeleriyle doğruluk oranlarının daha da artırılabileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, test yalnızca bir maden ortamında gerçekleştirilmiş olup, sistemin ortalama hata payı 12,14 metre olarak ölçülmüştür. Bu, endüstriyel uygulamalar için kabul edilebilir bir doğruluk seviyesine işaret etmektedir. Ancak, madenin özgün yapısı ve çevresel koşulları göz önünde bulundurulduğunda, sistemin doğruluğunda iyileştirmelere gidilebileceği söylenebilir. Elde edilen bulgular, RFID tabanlı konumlandırma sistemlerinin madenlerdeki verimliliği konusunda önemli bir temel sağlamaktadır ve gelecekteki çalışmalar için geliştirilmesi gereken alanları ortaya koymaktadır.

## 4.2. Sistem Performansı ve Ölçeklenebilirlik

Çalışmada kullanılan sistemin performansı, maden ortamlarında etkili bir şekilde konumlandırma yapabilmesi için kritik bir faktördür. Bu bağlamda, sistemin hem doğruluğu hem de hızının yanında, ölçeklenebilirlik özellikleri de önemli bir yer tutmuştur. Sistem, başlangıçta Çankırı'daki madenlerde sınırlı sayıda RFID okuyucusu ve etiket ile test edilmiştir. Ancak, bu testlerin ardından, sistemin daha büyük ve daha karmaşık yapılarda nasıl performans sergileyeceği üzerine de değerlendirmeler yapılmıştır.

İlk testlerde elde edilen performans verileri, sistemin okuma hızının ve doğruluğunun maden ortamının zorluklarıyla uyumlu olduğunu göstermiştir. RFID okuyucuları arasındaki veri iletimi, özellikle sinyal kayıplarının yaşandığı alanlarda gecikmeler oluşturmuşsa da yazılımda uygulanan iyileştirmeler ve algoritmalar sayesinde bu gecikmeler en aza indirilmiştir. Sistem, verileri hızlı bir şekilde işleyebilmekte ve konum bilgilerini neredeyse gerçek zamanlı olarak kullanıcıya sunmaktadır. Bu, özellikle madenlerdeki güvenlik ve izleme ihtiyaçları için kritik bir avantajdır.

Ölçeklenebilirlik açısından, sistemin mimarisi, artan sayıda okuyucu ve etiket ile daha geniş alanlarda da etkili bir şekilde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Gelecekte yapılacak sistem genişletmeleri, örneğin farklı madenlerde veya daha büyük alanda RFID okuma noktaları eklenmesi gerektiğinde, mevcut yapının üzerine kolayca entegre edilebilir. Sistem, mikroservis tabanlı bir yapıya sahip olduğundan, her bir bileşen bağımsız olarak ölçeklendirilebilir. Bu, daha fazla verinin işlenmesi gerektiğinde, belirli servislerin güçlendirilmesi veya yeni servislerin eklenmesi gerektiğinde büyük bir esneklik sunmaktadır.

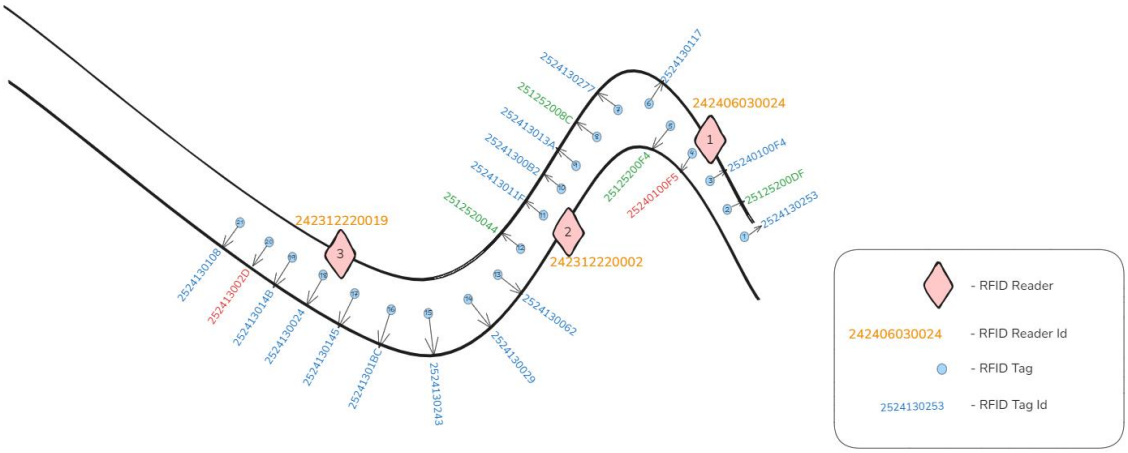
Sistem performansının daha da iyileştirilmesi adına yapılan analizlerde, okuma mesafesinin arttırılması ve sinyal karışıklığının önlenmesi için kullanılan donanımın daha güçlü hale getirilmesi gerektiği görülmüştür. Özellikle, okuma mesafesinin arttırılabilmesi için daha yüksek güce sahip RFID okuyucularının kullanılması, doğruluk oranlarını artıracak ve sistemin performansını daha üst seviyelere taşıyacaktır. Bununla birlikte, sistemin büyük ölçekli uygulamalarda daha verimli çalışabilmesi için yazılım optimizasyonları ve veri işleme hızının artırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, sistem mevcut koşullar altında makul bir performans sergilemekte ve ölçeklenebilirlik açısından da güçlü bir yapıya sahiptir. Ancak, madenlerdeki farklı yapıların, sinyal karışıklığının ve okuma mesafesinin etkilerini azaltmak için daha ileri düzeyde donanım iyileştirmeleri ve yazılım optimizasyonları gereklidir. Bu bulgular, sistemin hem endüstriyel hem de büyük ölçekli ortamlarda uygulanabilirliğini desteklemekte ve gelecekteki çalışmalarda yapılacak iyileştirmelere yönelik yönlendirmeler sunmaktadır.

### 4.3. Test Sonuçları ve Değerlendirme

Bu bölümde, maden ocağında gerçekleştirilen RFID tabanlı iç mekân takip sistemi testi ile ilgili sonuçlar ve elde edilen veriler sunulacaktır. Test, sistemin doğruluğunu ve konumlandırma hassasiyetini değerlendirmek amacıyla, 3 RFID cihazı (okuyucu) ve 21 RFID etiketi kullanılarak yapılmıştır. Test, Çankırı'daki bir tuz madeninde gerçekleştirilmiştir.

Analiz, RFID etiketlerinin ilgili okuyuculara olan uzaklıkları, sinyal sayıları, ortalama RSSI değerleri, sistem konumlandırması ve hata oranları üzerine yoğunlaşmaktadır.




Şekil 4.1. RFID Okuyucuları ve Etiket Yerleşimi ile Test Alanı Düzeni

Şekil 4.1, tezimde kullanılan test ortamını ve RFID okuyucuları ile etiketlerinin yerleşimini göstermektedir. Test alanında, birinci ve ikinci RFID okuyucuları arasındaki mesafe yaklaşık 100 metre, ikinci ve üçüncü okuyucular arasındaki mesafe ise yaklaşık 200 metredir. Giriş noktasından birinci RFID cihazına kadar olan mesafe yaklaşık 50 metre civarındadır. Ayrıca, üçüncü cihazın ötesinde, yaklaşık 50 metre daha mesafe

boyunca RFID etiketleri yerleştirilmiştir. Bu düzenleme, sistemin farklı mesafelerdeki performansını değerlendirebilmek amacıyla tasarlanmış olup, geniş alanlarda sistemin ölçeklenebilirliğini ve doğruluğunu test etmek için kritik bir parametreyi oluşturmaktadır. Bu yerleşim, RFID teknolojisinin, farklı mesafe koşullarında bile izleme doğruluğunun sürdürülebilir olduğunu ve sistemin çoklu cihazlarla nasıl entegre olabileceğini göstermektedir.

### 4.3.1. Test Alanı ve Yapılandırma

Test, 3 adet RFID okuyucu ve 21 RFID etiketi arasındaki etkileşimlerin ölçülmesi amacıyla, 400 metrelik bir madencilik galerisi boyunca yapılmıştır. Okuyucular eşit aralıklarla yerleştirilmiş olup, etiketler farklı mesafelerde ve yüksekliklerde dağıtılmıştır.

Test Yapılandırması:

- Okuyucular: 3 adet RFID okuyucu, her biri belirli bir mesafeye yerleştirilmiştir.
- Etiketler: 21 RFID etiketi, belirli mesafelerde okuyucular arasında konumlandırılmıştır.

### 4.3.2. Test Yöntemi

Test sırasında, RFID etiketleri belirlenen noktalara dikkatlice yerleştirilmiş ve koordinatları kaydedilmiştir. Sistem doğruluğunu test etmek amacıyla etiketler belirli aralıklarla hareket ettirilmiş ve her hareket sonrası okuma başarısı izlenmiştir. Etiketlerin yer değiştirilmesi, sistemin farklı koşullardaki performansını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Beklenen mesafe ile gerçek okuma mesafesi karşılaştırılarak doğruluk analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, sistemin okuma başarısını ve konum doğruluğunu içerirken, zaman içindeki değişimler de incelenmiştir. Sonuçlar, sistemin konum belirleme kabiliyeti hakkında kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

### 4.3.3. Test Sonuçları

Aşağıdaki Tablo 4.1, her bir RFID etiketinin ilgili okuyuculara olan uzaklığını ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Bu veriler, RFID sisteminin konumlandırma hassasiyetini değerlendirmek ve sistemin doğruluk düzeyini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir.

Ayrıca, etiket-okuyucu mesafelerinin sistem performansı üzerindeki etkisi incelenerek, konumlandırma doğruluğunu artırmaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 4.1. Gerçek Konum

| GERÇEK KONUM(METRE) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | RFID OKUYUCULAR | | |
| RFID ETİKETLER | | 242406030024 | 242312220002 | 242312220019 |
| | 2524130253 | -60 | -240 | -400 |
| | 25125200DF | -40 | -220 | -380 |
| | 25240100F4 | -20 | -200 | -360 |
| | 25240100F5 | 0 | -180 | -340 |
| | 25125200F4 | 30 | -150 | -310 |
| | 2524130117 | 50 | -130 | -290 |
| | 2524130277 | 80 | -100 | -260 |
| | 251252008C | 105 | -75 | -235 |
| | 252413013A | 130 | -50 | -210 |
| | 25241300B2 | 160 | -20 | -190 |
| | 252413011F | 180 | 0 | -170 |
| | 2512520044 | 195 | 15 | -155 |
| | 2524130062 | 210 | 30 | -140 |
| | 2524130029 | 240 | 60 | -110 |
| | 2524130243 | 270 | 90 | -80 |
| | 25241301BC | 305 | 125 | -45 |
| | 2524130145 | 330 | 150 | -20 |
| | 2524130024 | 350 | 170 | 0 |
| | 252413014B | 370 | 190 | 25 |
| | 252413002D | 395 | 215 | 40 |
| | 2524130108 | 410 | 230 | 60 |

Tablo 4.2, her bir RFID etiketinin ilgili okuyuculardan aldığı sinyal sayılarını ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Yüksek sinyal sayıları, sistemin etiketi doğru algıladığını ve

konumlandırma sürecinde güvenilir veriler sağladığını göstermektedir. Ayrıca, sinyal yoğunluğu ile sistemin performansı arasındaki ilişki incelenerek, konum belirleme doğruluğuna etkisi değerlendirilmiştir. Bu analizler, sistemin farklı çevresel koşullar altında nasıl çalıştığını anlamak açısından önemli bir veri sunmaktadır.

Tablo 4.2. RSSI Sinyaller

| SİNYAL SAYISI(ADET) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | RFID OKUYUCULAR | | |
| RFID ETİKETLER | | 242406030024 | 242312220002 | 242312220019 |
| | 2524130253 | 5254 | 0 | 0 |
| | 25125200DF | 6453 | 0 | 0 |
| | 25240100F4 | 5910 | 0 | 0 |
| | 25240100F5 | 6113 | 0 | 0 |
| | 25125200F4 | 5250 | 0 | 0 |
| | 2524130117 | 4507 | 0 | 0 |
| | 2524130277 | 826 | 0 | 0 |
| | 251252008C | 0 | 4830 | 0 |
| | 252413013A | 0 | 6854 | 0 |
| | 25241300B2 | 0 | 6645 | 0 |
| | 252413011F | 0 | 7581 | 0 |
| | 2512520044 | 0 | 8028 | 0 |
| | 2524130062 | 0 | 2543 | 0 |
| | 2524130029 | 0 | 4175 | 0 |
| | 2524130243 | 0 | 0 | 50 |
| | 25241301BC | 0 | 0 | 5557 |
| | 2524130145 | 0 | 0 | 5630 |
| | 2524130024 | 0 | 0 | 6881 |
| | 252413014B | 0 | 0 | 7288 |
| | 252413002D | 0 | 0 | 7289 |
| | 2524130108 | 0 | 0 | 5345 |

Aşağıdaki Tablo 4.3, her bir RFID etiketinin ilgili okuyuculardan alınan ortalama RSSI değerlerini göstermektedir. Düşük RSSI değerleri, sinyalin zayıf olduğunu ve doğruluk oranının düşük olabileceğini gösterir.

Tablo 4.3. Ortalama RSSI Değerleri

| ORTALAMA RSSI DEĞERİ | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | RFID OKUYUCULAR | | |
| RFID ETİKETLER | | 242406030024 | 242312220002 | 242312220019 |
| | 2524130253 | -83.62 | - | - |
| | 25125200DF | -80.61 | - | - |
| | 25240100F4 | -70.05 | - | - |
| | 25240100F5 | -25.71 | - | - |
| | 25125200F4 | -74.17 | - | - |
| | 2524130117 | -85.82 | - | - |
| | 2524130277 | -90.75 | - | - |
| | 251252008C | - | -78.92 | - |
| | 252413013A | - | -71.16 | - |
| | 25241300B2 | - | -61.47 | - |
| | 252413011F | - | -17.18 | - |
| | 2512520044 | - | -60.87 | - |
| | 2524130062 | - | -73.26 | - |
| | 2524130029 | - | -87.1 | - |
| | 2524130243 | - | - | -77.02 |
| | 25241301BC | - | - | -84.45 |
| | 2524130145 | - | - | -80.88 |
| | 2524130024 | - | - | -24.8 |
| | 252413014B | - | - | -65.96 |
| | 252413002D | - | - | -77.88 |
| | 2524130108 | - | - | -82.9 |

Tablo 4.4'de sistem tarafından hesaplanan konumlar ile gerçek konumlar arasındaki farklar hesaplanmış ve elde edilen hata oranları verilmiştir. Sonuçlar, sistemin ne kadar doğru bir konumlandırma yaptığını göstermektedir.

Tablo 4.4. Gerçek ve Sistem Konumlarının Karşılaştırılması

| Etiket ID | Gerçek Konum (m) | Hesaplanan Konum(m) | Hata (m) |
|---|---|---|---|
| 2524130253 | -60 | -60 | 0 |
| 25125200DF | -40 | -50 | 10 |
| 25240100F4 | -20 | -40 | 20 |
| 25240100F5 | 0 | 5 | 5 |
| 25125200F4 | 30 | 50 | 20 |
| 2524130117 | 50 | 60 | 10 |
| 2524130277 | 80 | 70 | 10 |
| 251252008C | -75 | -50 | 25 |
| 252413013A | -50 | -50 | 0 |
| 25241300B2 | -20 | -30 | 10 |
| 252413011F | 0 | 5 | 5 |
| 2512520044 | 15 | 30 | 15 |
| 2524130062 | 30 | 50 | 20 |
| 2524130029 | 60 | 60 | 0 |
| 2524130243 | -80 | -50 | 30 |
| 25241301BC | -45 | -60 | 15 |
| 2524130145 | -20 | -60 | 40 |
| 2524130024 | 0 | 5 | 5 |
| 252413014B | 25 | 30 | 5 |
| 252413002D | 40 | 40 | 0 |
| 2524130108 | 60 | 50 | 10 |

### 4.3.4. Değerlendirme ve Sonuçlar

Test sırasında elde edilen sonuçlar, RFID tabanlı iç mekân takip sisteminin madencilik ortamlarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ortalama okuma hatası

12,14 metre civarındadır ve sistem, 400 metrelik bir maden galerisi boyunca doğru ve güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Okuma hataları, özellikle etiketlerin çok yakın mesafelerde yerleştirilmesiyle ilişkili olup, bu durum, gelecekteki testlerde optimize edilebilir.

Sistem Değerlendirmesi:

- Okuma Doğruluğu: Sistemin doğruluğu yeterli düzeyde olup, okuma hatası 12,14 metredir.
- Sistem Performansı: Test alanındaki RFID cihazları ve etiketleri arasındaki etkileşimler, sistemin performansının beklentilere uygun olduğunu ortaya koymuştur. Okuyucular arasındaki mesafeler doğru bir şekilde ölçülmüş ve etiketler doğru okunmuştur.
- Geliştirme Alanları: Gelecek çalışmalar, özellikle etiketlerin çok yakın mesafelerde yerleştirilmesi durumunda yaşanan küçük okuma hatalarını azaltmayı hedeflemelidir.

Test sonuçları, sistemin daha da iyileştirilmesi için bazı alanlarda geliştirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Özellikle, etiketlerin daha geniş bir alana yayılması durumunda, okuma doğruluğunun artırılması için farklı yerleşim stratejileri ve cihaz kalibrasyonları üzerine çalışmalar yapılabilir.

### 4.4. Sistem Hataları ve Zayıflıklar

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, sistemin performansına dair elde edilen sonuçların yanı sıra, bazı hatalar ve zayıflıklar da gözlemlenmiştir. Bu hatalar, çoğunlukla çevresel faktörler ve donanım sınırlamaları ile ilişkilidir. İlk testlerde ve özellikle sinyal gücünün düşük olduğu alanlarda, sistemin konum doğruluğunda belirgin hatalar meydana gelmiştir. Bu hataların başlıca nedeni, RFID okuyucularının sinyal gücünün çevresel koşullar tarafından etkilenmesidir. Özellikle metal ve tuz madenlerindeki mineral yapılar, RFID sinyallerinin iletimini olumsuz yönde etkilemiş ve bu da okuma mesafesinin kısalmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, okuma mesafesinin daralması, konum doğruluğunda hatalara ve gecikmelere sebep olmuştur.

Bunun dışında, sistemin okuma hızındaki bazı dalgalanmalar da gözlemlenmiştir. Özellikle madenin daha derin noktalarında, okuyuculardan alınan sinyallerin iletiminde

zaman zaman gecikmeler yaşanmıştır. Bu gecikmelerin nedeni, sinyal kaybı ve okuma noktalarının sıklığının fazla olmasıdır. Çok sayıda RFID etiketinin aynı anda okuma işlemine tabi tutulması, okuma hızını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Bu tür durumlar, özellikle gerçek zamanlı izleme ihtiyaçları olan uygulamalarda sorun yaratabilmektedir.

Ayrıca, sistemin kullanıcı arayüzü üzerinde yapılan testlerde, bazı kullanıcı geri bildirimleri, arayüzün bazı bölümlerinin daha sezgisel hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Kullanıcılar, özellikle raporlama ve harita yönetimi işlemlerinde, bazı araçların yerleşiminden memnun kalmamış ve bu da kullanım verimliliğini düşürmüştür. Arayüzdeki bu zayıflıklar, zamanla daha fazla test edilerek kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Sistemde tespit edilen bir diğer zayıflık ise, yazılımın bazı hatalı okuma durumlarına karşı yeterince esnek olmamasıdır. Okuyuculardan alınan verilerin doğru bir şekilde işlenmemesi, özellikle zayıf sinyal bölgelerinde okuma hatalarına yol açmıştır. Bu hatalar, yazılım seviyesinde yapılan bazı iyileştirmelerle azaltılabilmiş olsa da bazı durumlarda sistemin yanıt vermemesi ya da verilerin tutarsız bir şekilde sunulması gibi sorunlar devam etmiştir. Bu bağlamda, yazılımın hata toleransı ve sinyal kaybı durumlarındaki esneklik üzerine yapılacak optimizasyonlar, sistemin daha stabil ve güvenilir hale gelmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak, sistemin hata ve zayıflıklarının büyük bir kısmı, çevresel faktörler ve donanım sınırlamalarıyla doğrudan ilişkilidir. RFID sinyallerinin dağılma ve kaybolma oranları, özellikle madenin derinliklerinde ve karmaşık yapılarında daha fazla sorun yaratmakta ve sistemin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Bunun yanı sıra, yazılım tarafında bazı iyileştirmeler yapılması gerektiği ve kullanıcı arayüzünün daha kullanıcı dostu hale getirilmesinin sistemin etkinliğini artıracağı ortaya çıkmıştır. Ayrıca, sistemin çevresel değişkenlere daha dayanıklı hale getirilmesi için ek algoritmaların entegrasyonu üzerinde durulması gerekmektedir. Bu bulgular, sistemin gelişim sürecinde dikkate alınarak, gelecekte yapılacak iyileştirmelerin temelini oluşturmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu hataların ve zayıflıkların giderilmesine odaklanarak, sistemin performansını artıracak ve daha verimli bir kullanım sağlayacaktır.

### 4.5. Kullanıcı Arayüzü ve Deneyimi

Sistemin etkinliği, yalnızca arka plandaki teknolojik altyapı ve donanımın kalitesiyle sınırlı kalmayıp, kullanıcı arayüzünün işlevselliği ve kullanıcı deneyimi (UX) ile de doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, kullanıcı arayüzü, kullanıcıların maden ortamındaki veri ve konum bilgilerini etkin bir şekilde almasını, işlemesini ve analiz etmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı arayüzü, özellikle operatörlerin günlük iş akışlarına katkı sağlayacak işlevselliğe odaklanmıştır.

Arayüzün tasarımında, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılan menüler, araçlar ve işlevler, sistemin yüksek verimlilikle ve başarılı bir şekilde erişilebilir kılmak için sade ve anlaşılır tutulmuştur. Durum Bilgisi Menüsü, sistemin anlık durumunu ve bağlantı bilgilerini kullanıcıya sunarak, operatörlerin okuma cihazlarıyla olan bağlantıyı ve veri akışını hızlı bir şekilde gözlemlemelerine olanak tanımaktadır. Bu menüde, cihazlar arasında sinyal alınıp alınmadığı gibi kritik bilgiler anlık olarak görüntülenmektedir, bu da kullanıcıların olası sistem hatalarını hızlıca fark etmelerini sağlamaktadır.

Ekle Menüsü, personel ekleme işlemleri için kullanıcı dostu bir arayüz sunarak, kullanıcıların kolayca yeni personel kayıtları oluşturmasını ve bu kayıtlara RFID etiketleri atamalarını sağlar. Bu işlem, kullanıcıların veri girişi sırasında yaşadığı olası zorlukları en aza indirgemek amacıyla basit ve sezgisel bir tasarıma sahiptir.

Raporlar Menüsü ise, kullanıcıların farklı türde raporları hızla oluşturmasına olanak tanır. Günlük raporlar, puantaj bilgileri ve ayrıntılı raporlar gibi çok çeşitli raporlama seçenekleri, kullanıcıların verileri farklı perspektiflerden analiz etmelerine olanak sağlar. Simülasyon özelliği, personelin belirli bir tarih ve saat aralığında maden içindeki hareketlerini görselleştiren, dinamik ve görsel bir raporlama aracı sunmaktadır. Bu araç, sistemin kullanıcılar tarafından daha verimli kullanılması adına önemli bir işlevsel özellik sunmaktadır.

Ayarlar Menüsü ve Araçlar bölümü ise, kullanıcıların sistem üzerinde lisans güncelleme, sinyal haritası düzenlemeleri ve harita araçlarını kullanarak etkileşimde bulunmalarını sağlar. Sinyal haritası güncelleme işlemi, kullanıcıların harita üzerinde bir noktanın RFID

okuyucuya olan mesafesini ve sinyal güçlerini gözlemlemelerine olanak verir, bu da özellikle daha hassas konumlandırma ve sistem doğruluğu sağlamak için kritik bir öneme sahiptir.

Bunların yanı sıra, harita üzerinde kullanıcıların işlevsel araçlar kullanabilmesi sağlanmıştır. Yakınlaştırma/uzaklaştırma ve belirli bir nokta hakkında bilgi alma gibi araçlar, harita üzerinde çeşitli manipülasyonlar yapabilmeyi mümkün kılarken, kullanıcının istediği veri noktalarını hızlıca görüntülemesine yardımcı olur. Bu araçlar, kullanıcılara harita üzerinde etkileşimli bir deneyim sunarak, sistemin daha verimli ve sezgisel bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Kullanıcı arayüzünün başarısı, yalnızca teknik işlevselliği ile değil, aynı zamanda operatörlerin çalışma verimliliğini artırmaya yönelik sunduğu kolaylıklarla da ölçülmektedir. Kullanıcıların geri bildirimleri doğrultusunda, arayüzdeki bazı bölümlerin daha sezgisel ve erişilebilir hale getirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Özellikle, raporlama ve harita yönetimi bölümleri üzerinde yapılan testler, kullanıcıların daha hızlı ve doğru veri işlemelerine olanak sağlayacak tasarım iyileştirmelerinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, sistemin kullanıcı arayüzü ve deneyimi, kullanıcıların etkin bir şekilde sistemle etkileşimde bulunmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, kullanım verimliliğini daha da artırmak adına arayüzde yapılacak iyileştirmeler, özellikle raporlama ve harita işlevlerinin daha sezgisel hale getirilmesi yönünde olmalıdır. Kullanıcı geri bildirimleri ışığında, sistemin gelecekteki versiyonlarında kullanıcı deneyiminin sürekli olarak iyileştirilmesi gerektiği söylenebilir.

# 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, iç mekân izleme sistemlerinin geliştirilmesinde mikroservis tabanlı mimarilerin sunduğu avantajları vurgulamaktadır. Mikroservis mimarileri; sistemin kolayca büyütülebilmesi, hatalara karşı dirençli çalışabilmesi, esnek yapısıyla farklı koşullara uyum sağlayabilmesi, çeşitli platformlarla entegre olabilmesi ve anlık veri işleme kapasitesi gibi pek çok değerli fayda sağlamaktadır. Her ne kadar mikroservis mimarisinin kapalı alan izleme çözümlerindeki kullanımı literatürde sınırlı düzeyde ele alınmış olsa da mevcut çalışmalar bu yaklaşımın sunduğu olanakları anlamak ve geliştirmek adına önemli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Bu araştırma, mikroservis mimarisinin iç mekân takip sistemlerine entegrasyonunu ve sağladığı yararları açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Geliştirilen sistem, mikroservis mimarisinin sunduğu ölçeklenebilirlik avantajlarını etkili bir şekilde ortaya koymuştur. Esnek yapısıyla sistem, farklı platformlar ve donanımlarla uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Herhangi bir servisin arızalanması durumunda, geliştiricinin yalnızca hatalı servise odaklanması yeterli olmaktadır. Bu özellik, mikroservis mimarisini bakım ve hata düzeltme işlemlerinde son derece etkili olmasını sağlar. Ayrıca, değişen sektörel ihtiyaçlara hızlı bir biçimde uyum sağlama kabiliyetine sahiptir. Örneğin, gelecekte web, masaüstü veya mobil platformlar için yeni talepler ortaya çıktığında, mevcut sistem bu yeni platformlara adapte olarak sorunsuz bir şekilde çalışabilir. Bu esneklik, farklı endüstrilerde geniş bir kullanım alanı sunarak güçlü bir temel oluşturur.

Ayrıca, sistem farklı teknolojilerle entegrasyon sağlayabilme yeteneği ve yeni teknolojilerin mevcut altyapı üzerinde kullanılabilmesine olanak tanıması açısından esnek bir yapıda geliştirilmiştir. Bu sayede, Bluetooth, ZigBee gibi gelişen ya da değişen teknolojilerle hızlı bir şekilde entegre olunabileceği gibi, aynı teknolojiye sahip farklı cihazlarla (örneğin RFID) da uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Dolayısıyla, sistemin teknoloji entegrasyonu hem son derece kolay hem de oldukça esnek olacaktır. Ayrıca, farklı teknolojilerin (örneğin RFID ve Wi-Fi) bir arada çalışabilmesi ve hibrit, entegre çözümler sunabilmesi için uygun bir yapı sunmaktadır.

Bu çerçevede, oluşturulan yapının verimliliği ve uyum sağlama yeteneği kontrol edilmiştir; önceki benzer yapılarla mukayese edildiğinde servis tabanlı yapının daha üstün neticeler elde ettiği izlenmiştir. Fakat, sistemin konum hassasiyeti değeri gibi belirli yönlerinin iyileştirilmesi için ilave çabalar sarf edilmesi gerekmektedir. Özellikle, konum doğruluğu üzerine gerçekleştirilen testlerin sonuçları, sistemin temel işlevlerini başarıyla yerine getirdiğini gösterse de daha hassas algoritmaların geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, gelecekte algoritmaların iyileştirilmesi ve hassasiyetin artırılması için daha derinlemesine araştırmalara yönelinmesi önem taşımaktadır. Sadece algoritmalar değil aynı zamanda daha tutarlı ve çevresel etkenlere karşı daha sağlam akıllı cihazların üretilmesi ve bu gibi alanlarda onların kullanılması da doğruluk üzerinde ciddi katkı sağlayacaktır.

İleriye dönük araştırmalar için aşağıdaki öneriler sunulabilir:

1. Güvenlik Geliştirmeleri: Mikroservis mimarisiyle tasarlanmış iç mekân izleme platformlarının savunmasız noktaları kapsamlı bir şekilde incelenmeli ve bu alandaki eksiklikleri gidermek için yeni güvenlik standartları geliştirilmelidir. Özellikle, veri güvenliği ve kimlik doğrulama mekanizmalarının daha güvenli hale getirilmesi önem taşımaktadır. Bu tür güvenlik önlemleri, endüstriyel uygulamalar açısından kritik bir rol oynamaktadır.
2. Değerlendirme Ölçütleri: Mikroservis mimarisinin sağlamlık ve performansıyla ilgili objektif değerlendirmeler yapabilmek için standartlaştırılmış metrikler oluşturulmalıdır. Bu metrikler, sistem yanıt süreleri, gelişmiş hata yönetimi ve yük dengelemesi gibi alanlarda daha net bir kıyaslama sağlarken, aynı zamanda mikroservislerin sistem üzerindeki görünürlük ve izlenebilirliğini artırarak geliştiricilere daha fazla kontrol sunabilir.
3. Uyarlama Çalışması: Mikroservis tabanlı sistemlerin farklı sektörlerdeki uygulanabilirliğinin incelenmesi, diğer kullanım senaryolarına yönelik genel çözümler geliştirme fırsatını doğuracaktır. Örneğin, lojistik, sağlık ve eğitim gibi alanlarda benzer mikroservis tabanlı sistemlerin potansiyeli değerlendirilmelidir. Bu çalışmaların sonuçları, sadece kapalı alan takip sistemleriyle sınırlı kalmayıp, endüstriyel izleme ve lojistik takip gibi geniş alanlara da taşınabilir.

Bu çalışma çerçevesinde tasarlanan mikroservis odaklı iç mekân izleme platformu, kodlama ve sistem tasarımı aşamalarında gözlemlenen çeşitli zorluklara karşı uyarlanabilir, genişletilebilir ve uyum sağlayabilen temel bir yapı sağlamaktadır. Söz konusu yapı, evrilen gereksinimlere hızla adaptasyon sağlama yeteneği sayesinde ilerideki uygulamalar için önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Mikroservisler, gelişmiş veri işleme, yüksek verimlilik ve etkili hata yönetimi konusundaki katkılarıyla, iç mekân takip sistemlerinin geleceği için kritik bir yapı taşı sunmaktadır.

## KAYNAKLAR


Altaf Khattak, S. B., Fawad, Nasralla, M. M., Esmail, M. A., Mostafa, H., & Jia, M. (2022). WLAN RSS-Based Fingerprinting for Indoor Localization: A Machine Learning Inspired Bag-of-Features Approach. *Sensors*, *22*(14), 5236. https://doi.org/10.3390/s22145236.

Burns, B., Grant, B., Oppenheimer, D., Brewer, E., Wilkes, J. (2016). Borg, Omega, and Kubernetes: Lessons learned from three container-management systems over a decade. *ACM Queue*, *14*(1), 70-93.

Çavur, M., & Demir, E. (2022). RSSI-based hybrid algorithm for real-time tracking in underground mining by using RFID technology. *Physical Communication*, *55*, 101863. https://doi.org/10.1016/j.phycom.2022.101863.

Çavur, M. & Demir, E. (2017). Real-time localization methodology with RFID technology in closed area. *25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Antalya, Turkey, 15-18 Mayıs 2017. https://doi.org/10.17671/gazibtd.457917.

Dragoni, N., Giallorenzo, S., Lafuente, A. L., Mazzara, M., Montesi, F., Mustafin, R., & Safina, L. (2017). Microservices: Yesterday, today, and tomorrow. In M. Mazzara & B. Meyer (Eds.), *Present and ulterior software engineering* (pp. 249–278). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67425-4_12.

Eroğlu, K.N., Küçük, K. (2017). Comparison of propagation models for indoor localization by using RSSI values. *International Conference on Engineering Technologies*, Konya, Turkey, 2017.

Eroğlu, K.N., Küçük, K. (2017). A study on the performance of path loss calculation model for indoor localization by using RSSI values. *International Conference on Multidisciplinary Sciences*, 2017.

Fowler, M. (2014). Microservices: a definition of this new architectural term. *martinfowler.com*.

Gu, Y., Lo, A., Niemegeers, I. (2009). A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *11*(1), 13-32.

Küçük, K. (2014). Horizontal dilution of precision-based ultra-wideband positioning technique for indoor environments. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *22*(5), 1307–1322. https://doi.org/10.3906/elk-1301-20

Küçük, K. (2017). Geniş bant konum belirleme sistemi performans analizi ve iyileştirilmesi. *Sakarya University Journal of Science (SAUJS)*, *21*(1), 26. https://doi.org/10.16984/saufenbilder.64863

Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning

techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 37*(6), 1067-1080.

Lee, C., Kim, H.F., & Lee, B.G. (2024). A Systematic Literature Review on the Strategic Shift to Cloud ERP: Leveraging Microservice Architecture and MSPs for Resilience and Agility. *Electronics, 13*(14), 2885. https://doi.org/10.3390/electronics13142885.

Mautz, R. (2012). Indoor positioning technologies. *Habilitation thesis,* ETH Zurich.

Microsoft. (2020). RabbitMQ implementation. Microsoft Docs. Retrieved from https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/multi-container-microservice-net-applications/media/rabbitmq-event-bus-development-test-environment/rabbitmq-implementation.png

Mosconi, N. (2024). Introduction to RxJava in Android. Devlane Blog. Retrieved from https://www.devlane.com/blog/rxjava-introduction-android

Newman, S. (2015). *Building microservices: designing fine-grained systems*. O'Reilly Media, Inc.

Özcan, H., Altuncu, M. A., Küçük, K., & Şahin, S. (2017). Simulation of indoor positioning system based on radio frequency. *IOSR Journal of Computer Engineering, 19*(6), 13-18. https://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol19-issue6/Version-3/C1906031318.pdf.

Spring Framework. (2014). Spring Framework overview. Spring Framework Documentation. Retrieved from https://docs.spring.io/spring-framework/docs/3.2.x/spring-framework-reference/html/images/spring-overview.png

Williams, S. (2019). Securing microservices: The challenges of protecting a distributed architecture. *CSO Online*.

Zafari, F., Gkelias, A., Leung, K.K. (2019). A survey of indoor localization systems and technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 21*(3), 2568-2599.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Hayytbayev, G**., Küçük, K., & Çavur, M. (2024). A robust microservices framework for indoor tracking system development. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Antalya, Turkey, 2024, pp. 1133-1137. https://doi.org/10.1109/UBMK63289.2024.10773474

## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Türkmenistan'da tamamladı. 2009 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında Bilgisayar Mühendisi olarak mezun oldu. 2017 yılından beri özel sektörde Yazılım Geliştirici olarak görev yapmaktadır.