



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LORAWAN TABANLI KABLOSUZ KBRN TEHDİTLERİ
ALGILAMA
VE TAKİP SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melih Can AKAN
(20219256002)**

**Savunma Sanayi Teknolojileri Ve Stratejileri Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL**

**SIVAS
EYLÜL 2024**

Melih Can AKAN'ın hazırladığı ve “**LORAWAN TABANLI KABLOSUZ KBRN TEHDİTLERİ ALGILAMA VE TAKİP SİSTEMİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **SAVUNMA SANAYİ TEKNOLOJİLERİ VE STRATEJİLERİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Dr.Öğr.Üyesi Emre ÜNSAL Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof.Dr. İbrahim CAN Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mehmet YÜKSEL Çukurova Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. NEVCİHAN GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Melih Can AKAN, 2024

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

29.08.2024

Melih Can AKAN

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince bana her daim destek olan sevgili aileme ve bu süreçte bana yol gösteren kıymetli hocam Dr.Öğr.Üyesi Emre ÜNSAL'a sonsuz minnettarım. Emeği geçen herkese teşekkür ederim.



ÖZET
LORAWAN TABANLI KABLOSUZ KBRN TEHDİTLERİ ALGILAMA VE
TAKİP SİSTEMİ

MELİH CAN AKAN

Yüksek Lisans Tezi

Savunma Sanayi Teknolojileri Ve Stratejileri

Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL

2024, 46+xiii

Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehditlerin erken tespiti, günümüz dünyasında artan bir öneme sahiptir. Özellikle kritik ve geniş bölgelerde, bu tür tehditlerin uzaktan ve güvenilir bir şekilde izlenmesi büyük bir gereksinimdir. Bu çalışma, KBRN tehditlerini algılamak ve izlemek için kullanılan kablosuz sensör ağları üzerine odaklanmıştır. Çalışmada, düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanına sahip LoRaWAN teknolojisi temel alınarak, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği ön planda tutulmuştur. Bu teknoloji, geniş kırsal ve kentsel bölgelerdeki KBRN tehditlerini güvenli bir mesafeden izleme kapasitesini artırmaktadır. Sensör ağları, çeşitli parametreler için tasarlanmış polimer bazlı sensörler (VOC-eCO₂, CO, NO₂, C₂H₅CH, PM_{2.5}-PM₁₀, O₂ vb.) kullanarak veri toplamakta ve bu verileri bir izleme merkezinden analiz etmektedir. Merkezdən sensör verileri takip edilerek kablosuz sensör ağlarının kurulu olduğu bölgeden gelen verilerde değişiklikler tespit edilerek uyarı vermesi sağlanacaktır. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan sistemlerin yapılan deneyler sonucunda izleme menziline yeterli olduğu ve KBRN tehditleri karşısında etkin bir şekilde çalıştığını ayrıca erken müdahale imkânı sunduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: KBRN Tehditleri, Kablosuz Sensör Ağları, LoRaWAN, Çevresel İzleme, Polimer Sensörler

ABSTRACT
LORAWAN BASED WIRELESS CBRN THREAT DETECTION AND
TRACKING SYSTEM

MELİH CAN AKAN

Master's Thesis

Defense Industry Technologies And Strategies

Department

Supervisor: Asst. Prof. Emre ÜNSAL

2024, 46+xiii

Early detection of chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) threats is of increasing importance in today's world. Remote and reliable monitoring of such threats is a major requirement, especially in critical and large areas. This study focuses on wireless sensor networks for detecting and monitoring CBRN threats. The study is based on LoRaWAN technology with low power consumption and wide coverage, prioritizing energy efficiency and cost effectiveness. This technology increases the capacity to monitor CBRN threats in large rural and urban areas from a safe distance. Sensor networks collect data using polymer-based sensors designed for various parameters (VOC-eCO₂, CO, NO₂, C₂H₅CH, PM_{2.5}-PM₁₀, O₂ etc.) and analyze these data from a monitoring center. By monitoring the sensor data from the center, changes in the data coming from the region where wireless sensor networks are installed will be detected and warnings will be provided. The results of the experiments show that the designed systems have sufficient monitoring range and work effectively against CBRN threats and provide early intervention.

Keywords: CBRN Threats, Wireless Sensor Networks, LoRaWAN, Environmental Monitoring, Polymer Sensors.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Arduino Nedir?	11
3.2. Arduino Nano Teknik Özellikleri	12
3.3. Bu Projede Neden Arduino Nano Kullanıldı?	12
3.4. LoRa Nedir?.....	13
3.5. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) Nedir?	14
3.6. Lora Teknolojisi Çalışma Mantığı.....	15
3.7. LoRa Modeli Karşılaştırma	17
3.8. IOT Nedir?	18
3.9. Lora Şifreleme Pil Tüketimi Mesafe	19
3.10. LoRa Teknolojisinin GSM Teknolojilerine Göre Avantaj ve Dezavantajları	22
3.11. Kullanılan Sensör Tipleri Özellikleri.....	23
3.12. Kullanılan Anten Tipi	26
3.13. Lora Parametre Değerleri.....	27
3.14. Devre Bağlantı Şeması.....	29
3.15. Alıcı Ve Verici Cihaz Resimleri.....	32
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKLAR	37
EKLER	39
EK-1. Alıcı Kaynak Kodu	39
EK-2 Verici Kaynak Kodu	42

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1 Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	9
Tablo 2 Arduino Nano Teknik Özellikler.....	12
Tablo 3 E22-900T22D Özellikleri.....	17
Tablo 4 AM2301 Özellikleri.....	23
Tablo 5 MQ-135 Özellikleri	24
Tablo 6 MQ-2 Özellikleri	24
Tablo 7 MQ-4 Özellikleri	25
Tablo 8 Geiger Sayacı Özellikleri.....	25
Tablo 9 Kullanılan Anten Özellikleri	26



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1	Arduino Nano Lora Bağlantısı.....	29
Şekil 2	Arduino Nano Geiger Sayacı Bağlantısı.....	29
Şekil 3	Arduino Nano AM2301 Bağlantısı.....	30
Şekil 4	Arduino Nano MQ-2 Bağlantısı.....	30
Şekil 5	Arduino Nano MQ-4 Bağlantısı.....	31
Şekil 6	Arduino Nano MQ-135 Bağlantısı.....	31
Şekil 7	Verici Cihaz (Sensörlerin bulunduğu)	32
Şekil 8	Alıcı Cihaz	32
Şekil 9	Test Yapılan Mesafe	33
Şekil 10	Sıcaklık Grafiği	33
Şekil 11	Nem Grafiği	33
Şekil 12	MQ-2 Hava Kalitesi (Yanıcı Gaz ve Duman) Grafiği	34
Şekil 13	MQ-4 Hava Kalitesi (Metan Gaz) Grafiği	34
Şekil 14	MQ-135 Hava Kalitesi (NH ₃ ,NO _x , alkol buharı, benzen ve CO ₂) Grafiği	34
Şekil 15	Geiger-Muller Sayacı (yonlaştırıcı radyasyonun sayısını) Grafiği	35

SİMGELER DİZİNİ

- ABP:** Activation By Personalization (Kişiselleştirme ile Aktivasyon)
- ADR:** Adaptive Data Rate (Adaptif Veri Hızı)
- AES:** Advanced Encryption Standard (Gelişmiş Şifreleme Standardı)
- BLE:** Bluetooth Low Energy (Düşük Enerjili Bluetooth)
- BW:** Bandwidth (Bant Genişliği)
- CRC:** Cyclic Redundancy Check (Döngüsel Artıklık Kontrolü)
- CSS:** Chirp Spread Spectrum (Çirp Yayılım Spektrumu)
- FEC:** Forward Error Correction (Hata Düzeltme Kodu)
- GSM:** Global System for Mobile Communications (Küresel Mobil İletişim Sistemi)
- I2C:** Inter-Integrated Circuit (Entegre Devreler Arası)
- IDE:** Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
- IOT:** Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
- ISM:** Industrial, Scientific And Medical (Endüstriyel Bilimsel ve Medikal)
- KB:** Kilobayt
- KBRN:** Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer
- Km:** Kilometre
- LPWAN:** Low Power Wide Area Network (Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı)
- LTE:** Long Term Evolution (Uzun Dönem Evrim)
- LoRa:** Long Range (Uzun Menzil)
- M2M:** Machine to Machine Communication (Makineden Makineye Haberleşme)

MHz: Megahertz

MOX: Metal Oksit

NB-IOT: Narrowband IoT (Dar Bant IoT)

NFC: Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)

NLOS: Non-line-of-sight (Görüş Hattı Olmayan)

OTAA: Over-The-Air Activation (Havadan Aktivasyon)

PDR: Paket Teslim Oranı

PHY: Fiziksel Katman

RFID: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı Tanımlama)

SF: Yayılma Faktörü

SNR: Sinyal-Gürültü Oranı

SPI: Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arayüz)

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Evrensel Eşzamansız Alıcı-Verici)

USB: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)

UWB: Ultra-Wideband (Ultra Geniş Bant)

WIFI: Kablosuz Bağlantı

Kbps: Kilobits per second (Saniyede Kilobit)

Mbps: Megabits per second (Saniyede Megabit)

1. GİRİŞ

Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehditler hem sivil hem de askeri alanlarda büyük tehlikeler arz eden karmaşık ve ciddi güvenlik sorunlarıdır. Bu tehditler, çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir ve geniş çapta yıkıcı etkiler yaratabilir. Kimyasal tehditler, toksik kimyasalların kasıtlı veya kazara salınmasıyla ortaya çıkarken, biyolojik tehditler patojen mikroorganizmaların veya biyotoksinlerin kullanımıyla gerçekleşir. Radyolojik tehditler, radyoaktif maddelerin salınması veya yayılmasıyla ilgilidir ve nükleer tehditler ise nükleer patlamalar veya kazalar sonucu ortaya çıkar. Bu tehditler, insan sağlığı, çevre, ekonomi ve ulusal güvenlik üzerinde derin etkilere sahip olabilir. KBRN tehlikesi ise bu tehditlerin oluşturduğu potansiyel zararın büyüklüğünü ifade eder. Bu tehlikeler, insan sağlığı, ekosistemler ve ulusal güvenlik üzerinde yıkıcı etkilere sahip olup, geniş çapta ölüm, hastalık, ekonomik çöküş ve çevresel tahribat gibi sonuçlar doğurabilir. Örneğin, 1995 Tokyo Metro Sarin Gazı saldırısı kimyasal tehditlerin yıkıcı sonuçlarına bir örnek teşkil ederken, 2001 ABD'deki şarbon saldırıları biyolojik tehditlerin ciddiyetini ortaya koymuştur. Radyolojik tehlikeler ise 2006'da Alexander Litvinenko'nun polonyum-210 ile zehirlenmesiyle kendini göstermiştir.

KBRN tehditlerinin erken tespiti, bu tür olayların etkilerini en aza indirmek ve zamanında müdahale etmek açısından kritik öneme sahiptir. Erken tespit, olayın boyutunu ve doğasını belirlemek için gerekli bilgileri sağlar, bu da acil durum müdahale ekiplerinin hızlı ve etkili bir şekilde harekete geçmesine olanak tanır. Ayrıca, erken tespit sistemleri, kamuoyunu bilgilendirme ve tehlike altındaki bölgelerin tahliyesi gibi önleyici tedbirlerin alınmasına yardımcı olur. KBRN tehditlerinin izlenmesi, bu tür olayların sürekli olarak gözlemlenmesi ve analiz edilmesini içerir. İzleme sistemleri, tehditlerin gelişimini ve yayılmasını takip ederek, yetkililere ve ilgili birimlere sürekli bilgi sağlar. Bu sistemler, özellikle kritik altyapılar ve geniş bölgeler için hayati öneme sahiptir. KBRN tehditlerinin izlenmesi, uzun vadeli sağlık ve çevre etkilerini değerlendirmek için de gereklidir.

Robert W. Nelson tarafından yazılan "KBRN Kablosuz Sensör Ağları İçin Operasyon Konsepti" başlıklı tezinde, KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer) materyallerinin kitlesel yıkıma yol açabilecek tehlikeler taşıdığı ve terörist saldırılarda kullanılabilir potansiyel araçlar olduğu vurgulanıyor. Bu tür tehditlerin, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde büyük insan kayıplarına, çevresel zararlara ve toplumsal kaosa neden olabileceği belirtiliyor. Erken tespit, acil müdahale ekiplerinin hızla harekete geçmesini, tehlikeyi izole etmesini ve zararları en aza indirmesini sağlar. Bu nedenle, kablosuz sensör ağları gibi teknolojilerin KBRN tehditlerini erken tespit etme yeteneği kamu güvenliği için kritik öneme sahiptir[1].

Uzun menzil geniş alan ağları (Long Range Wide Area Network, LoRaWAN), düşük güçlü geniş alan ağları (Low Power Wide Area Network, LPWAN) teknolojisinin bir örneğidir ve geniş kapsama alanı, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyet gibi özellikleri ile öne çıkar. LoRaWAN teknolojisi, özellikle IoT (Internet of Things) uygulamaları için idealdir ve çeşitli sensörlerin veri toplamasını ve bu verilerin merkezi bir sistemde analiz edilmesini sağlar. Kablosuz sensör ağları, farklı parametreleri ölçebilen ve bu verileri bir araya getiren sensör düğümlerinden oluşur. Bu sensörler, çeşitli kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer tehditlerin tespit edilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Örneğin, MQ-2, MQ-4, MQ-135 gaz sensörleri ve DHT21 sıcaklık ve nem sensörü gibi parametreleri ölçen sensörler, çevresel verileri toplar ve analiz edilmek üzere merkezi bir sisteme gönderir.

Bu çalışmanın amacı, KBRN tehditlerinin tespiti ve izlenmesi için kablosuz sensör ağları kullanarak etkili ve güvenilir bir sistem geliştirmektir. Özellikle düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanına sahip LoRaWAN teknolojisi temel alınarak, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği ön planda tutulmuştur. Bu teknoloji, geniş kırsal ve kentsel bölgelerdeki KBRN tehditlerini güvenli bir mesafeden izleme kapasitesini artırmaktadır. Sensör ağları, çeşitli parametreler için tasarlanmış polimer bazlı sensörler kullanarak veri toplamakta ve bu veriler merkezi bir sistemde analiz edilmektedir. Sensör ağlarının kurulu olduğu bölgelerden gelen verilerde değişiklikler tespit edilerek uyarı sistemleri devreye alınacaktır. Elde edilen sonuçlar, tasarlanan sistemlerin yapılan testler sonucunda menzilin yeterli olduğunu ve KBRN tehditleri karşısında etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Geliştirmede kullanılan sensörler maliyet ve verimlilik esasına göre tercih edilmiştir. Radyasyon tespiti için kullanılan sensörler arasında Geiger-Müller sayacı ve yarı iletken sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler, yüksek hassasiyet ve düşük maliyet avantajlarıyla seçilmiştir. Bu çalışmada MQ-2, MQ-4 ve MQ-135 gibi gaz sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler, çeşitli zararlı gazları tespit etmek için uygundur. DHT21 sıcaklık ve nem sensörü ise ortamın sıcaklık ve nem değerlerindeki değişimleri ve değişimleri diğer parametrelerle ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Bu sensörlerin kullanımı, KBRN tehditlerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlar.

Sistemin çalışması için gerekli olan yazılım dili olarak Arduino modellerinin desteklediği C++ programlama dili kullanılmıştır. Tüm sensör verileri ayrı kütüphaneler halinde *.cpp dosyalarında programlanarak, main.ino üzerinde bir araya getirilmiştir. Nesne tabanlı olarak tasarlanan yazılım mimarisi, geliştirilebilirlik açısından da oldukça önemlidir. Sistemler üzerindeki modüllerin çalışması kadar, haberleşme anındaki uyumluluk da önemlidir. Gönderici sistem üzerinden toplanan sensör verileri paketlenerek alıcı sisteme gönderilir. Gönderilen veri paketi içerisinde, okunan sensör verileri, asker kimliği ve doğrulama anahtarı mevcuttur. Veri paketinin toplam boyutu 51 KB'dir. Kullanılan LoRa modelimiz 240 KB veri paketini desteklemektedir fakat haberleşme menziline ve hızını artırmak için veri paketi oldukça küçük tutulmuştur. Veri paketi bir Struct ile oluşturulmuştur. Alıcı, gönderici ve menzil artırıcı sistemlerdeki Struct içeriği aynı olmalıdır. Böylece gürültülü verinin önüne geçilerek daha güvenilir haberleşme sağlanır. Sonuç olarak, KBRN tehditlerinin erken tespiti ve izlenmesi, toplumların güvenliği ve sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, LoRaWAN teknolojisi kullanılarak geliştirilen kablosuz sensör ağı sistemi, bu tür tehditlerin etkin bir şekilde tespit edilmesi ve izlenmesi için umut verici bir çözüm sunmaktadır. Geniş kapsama alanı ve düşük enerji tüketimi ile bu sistem, geniş kırsal ve kentsel bölgelerde kullanılabilir ve acil durum müdahale ekiplerine gerekli bilgileri hızlı bir şekilde sağlayarak erken müdahale imkânı sunar. Gelecekteki çalışmalar, bu sistemin daha geniş alanlarda test edilmesi ve farklı sensör tiplerinin entegrasyonu ile daha da geliştirilmesi üzerine odaklanabilir. Ayrıca, sistemin mobil uygulamalarla entegrasyonu ve gerçek zamanlı veri analitiği ile desteklenmesi, etkinliğini artırabilir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehditlerin tespiti ve izlenmesi, güvenlik ve sağlık açısından büyük önem taşımaktadır. Bu alanda yapılan çeşitli araştırmalar, etkin bir erken uyarı ve izleme sistemi oluşturmanın önemini vurgulamaktadır. LoRa teknolojisi, düşük güç tüketimi, geniş kapsama alanı ve düşük maliyet gibi özellikleri ile bu tür uygulamalar için ideal bir çözüm sunmaktadır. Özellikle, LoRa teknolojisi, nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) uygulamaları için geniş çapta kullanılmakta ve çeşitli sensörlerin veri toplamasını ve bu verilerin merkezi bir sistemde analiz edilmesini sağlamaktadır.

Bu bölümde, LoRa teknolojisinin KBRN tehditlerinin tespiti ve izlenmesindeki rolü üzerine bir literatür taraması yapılmıştır. Aşağıda, LoRa ve KBRN ile ilgili taranan makalelerin özetleri yer almaktadır.

LoRa teknolojisini kullanan Nesnelerin İnterneti makalesinde, Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı'nın (LPWAN) bir parçası olan LoRa teknolojisinin kullanımıyla önemli ilerlemeler kaydetmiştir. LoRa teknolojisi, yüksek hassasiyetle uzun menzilli iletişim yetenekleri sunarak gürültülü ortamlarda bile etkili çalışma sağlar. Wi-Fi ve Bluetooth gibi geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında, daha az erişim noktasıyla geniş alanları kapsama kabiliyetiyle IoT sistemleri için dağıtım maliyetlerini düşürmektedir[2].

Araştırmalar, SX1272 gibi LoRa cihazlarının iletim sırasında yüksek güç verimliliği sergilediğini ve iletim başına 1W'ın altında enerji tükettiğini göstermiştir. SX1278 gibi cihazlar ise 1 km'ye kadar mesafeleri kapsayabilmektedir. Çalışmalar ayrıca LoRa ağlarının ormanlık tropik alanlar da dâhil olmak üzere çeşitli ortamlardaki performansını araştırmış ve sinyal gücünü değerlendirmek için farklı yayılma faktörlerinin ve bant genişliklerinin kullanıldığını vurgulamıştır[2].

LoRa teknolojisi, enerji açısından verimli sensör düğümleriyle uzun mesafeli iletişimi sağlayarak IoT alanında önemli gelişmeler sağlamaktadır. Yapılan karşılaştırmalar, LoRa'nın yüksek doğrulukla 200 metreye kadar önemli ölçüde daha büyük bir kapsama alanı gösterdiği iç mekân haberleşme sistemleri gibi uygulamalar için Wi-Fi ile kıyaslanabilir olduğunu ortaya koymuştur[2].

Malezya'da yapılan LoRa dağıtımına ilişkin araştırmalar, LoRa modülasyonunun dış mekân senaryolarındaki performansını sergileyen 433 MHz'lik ISM bandının

kullanılmasına odaklanmıştır. LoRa'nın yüksek alım hassasiyetiyle uzun mesafelerde birden fazla düğümü idare edebilme yeteneği, onu IoT sistemleri için değerli bir teknoloji haline getirmekte ve Wi-Fi gibi geleneksel sistemlere kıyasla dağıtım maliyetlerini düşürmektedir[2].

Sonuç olarak, LoRa teknolojisi, özellikle uzun menzilli iletişim ve enerji verimliliği gerektiren senaryolarda IoT uygulamaları için umut verici bir çözüm sunmaktadır. Wi-Fi gibi geleneksel teknolojilere kıyasla performans avantajları, onu çeşitli IoT dağıtım senaryoları için cazip bir seçim haline getirmektedir.

Hava Kalitesi İzleme veya Gaz Kaçağı Olaylarını Tespit Etmek İçin LoRa Sensör Ağı Geliştirme makalesinde, hava kalitesi izleme ve gaz kaçağı tespiti için bir LoRa sensör ağının geliştirilmesi ele alınmaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki doğrudan etkisi nedeniyle hava kalitesinin izlenmesinin önemini vurgulamakta ve hava kirliliğinin küresel olarak milyonlarca ölüme bağlantılı olduğunu belirtmektedir. Makalede, yüksek güç tüketimi ve iletim mesafesi kısıtlamaları gibi mevcut teknolojilerin sınırlamalarına işaret edilerek, verimli ve düşük maliyetli hava kalitesi izleme sistemlerine duyulan ihtiyaçtan bahsedilmektedir[3].

Bu sorunları ele almak için, düşük güç tüketimiyle uzun menzilli kablosuz iletişim sağlayan düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN'lar) tanıtılmıştır. Hava kalitesinin izlenmesi için metal oksit (MOX) kemorezistörler ve hava kirleticilerini tespit etmek için yüksek hassasiyet sunan grafen ve karbon nanotüpler gibi karbon nanomalzemeler dahil olmak üzere çeşitli sensörler ve malzemeler araştırılmaktadır. Makalede ayrıca, taşınabilir uygulamalarda kullanımlarını sınırlayan yüksek çalışma sıcaklıkları gerektiren MOX'lar gibi belirli sensörlerle ilgili zorluklar da tartışılmaktadır[3].

Uzun Menzilli İletişime Odaklı Kablosuz Gaz Sensör Düğümleri makalesinde Uzun Menzilli (LoRa) iletişime özel bir vurgu yaparak Kablosuz Gaz Sensörü Düğümlerinin kullanımını incelemektedir. Özellikle sınırlı pil ömrüne sahip senaryolarda bu cihazlarla ilişkili güç tüketimi zorluklarını ele almakta ve bu endişeyi gidermek için stratejiler önermektedir. LoRa teknolojisi, frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK) modülasyonu yerine cıvıltı yayılmış spektrum (CSS) modülasyonu kullanır ve yayılma faktörü (SF) veri hızını ve iletim süresini etkilemede kritik bir rol oynar[4].

Bu tür ağlardaki bağlantı bütçesi, kümülatif kazanç ve kayıplarla belirlenir ve operasyonel iletişimi sağlarken bir kablosuz bağlantının dayanabileceği maksimum kayıpları belirler. Makale de ayrıca SF'nin iletim süresi ve batarya ömrü üzerindeki etkisi de ele alınmakta, daha yüksek SF değerlerinin daha uzun iletim sürelerine yol açtığı, ancak alıcı tarafında daha iyi alım yapıldığı, sonuçta veri hızlarının azaldığı ve batarya ömrünün uzadığı belirtilmektedir[4].

LoRa Kablosuz Mesh Ağı Kullanarak Geniş Alan IoT Sensörlerinin İzlenmesi: Sistem Tasarımı ve Değerlendirmesi makalesinde, büyük bir coğrafi alana yayılmış IoT sensörlerinden veri toplamak için bir LoRa kablosuz mesh ağ sisteminin tasarımını ve değerlendirmesini sunmaktadır. Geleneksel IoT veri iletim yöntemleri (örneğin 3G/4G ağları veya kablolar) yüksek maliyetlere sahip olup, pratik uygulamalar için uygun değildir. LoRa teknolojisi, uzun mesafeli iletişim için incelenmiş olup, özellikle kırsal alanlarda iyi performans göstermektedir. Ancak, LoRa radyo sinyalleri mesafe arttıkça zayıflayabilir ve şehir ortamlarında binalar, ağaçlar ve diğer radyo sinyal kaynakları tarafından engellenebilir. Şehir içi alanlarda, iç mekân LoRa cihazlarının uzak LoRa ağ geçitlerine (GW) veri göndermesi için yoğun GW dağıtımı gerekmektedir. Kablosuz mesh ağlar, ek GW kurmadan iletişim mesafesini ve paket teslim oranını (PDR) artırmak için bir çözümdür. Üniversite kampüsünde 800m x 600m alana yayılmış 19 LoRa düğümü ile yapılan deneylerde, LoRa fiziksel katmanı tek atlamalı kablosuz ağ ile karşılaştırıldığında, önerilen LoRa mesh ağının PDR'yi önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Mesh ağ, ek GW kurulumuna ihtiyaç duymadan PDR'yi artırabilir. Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indicator) ve Sinyal Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio) eşik değerleri belirlenmiş ve bu eşiklerin LoRaWAN mimarisi için pratik olmadığı, çünkü ideal RSSI ve SNR'ye ulaşmak için birçok ek GW'nin kurulmasının gerekeceği belirtilmiştir. Bu çalışma, LoRa PHY'yi mesh ağlara genişleten ve bu tür bir ağın büyük bir coğrafi alandaki pratik deneylerle değerlendiren ilk akademik çalışmadır. Bu çalışma, uzun mesafeli veri iletimi gerektiren alanlarda IoT sensörlerinin dağıtımının ve izlenmesinin potansiyelini ortaya koymuştur[5].

Pil Güçlü Bir Sensör Ağı İçin LoRaWAN Optimizasyonu makalesinde, LoRaWAN teknolojisinin sınırlamaları ve güç tüketimi üzerine gerçek çalışma koşullarında yapılan incelemeleri ele almaktadır. Makale, gömülü cihazlar ve ağlar tasarlarken karşılaşılabilecek uç durumları ve sorunları açıklamayı amaçlamaktadır[6].

LoRaWAN, düşük güç tüketimi ve uzun menzilli kablosuz ağlar için tasarlanmış bir teknolojidir. LoRa modülasyonu ve Medya Erişim Kontrol (MAC) katmanı ile ilgili teknik detaylar incelenmiştir. Makalede, LoRaWAN'ın menzili ve güç tüketimi üzerine şehir merkezi ve açık alanlarda yapılan testler anlatılmaktadır. Sonuçlar, düşük veri hızlarının daha iyi menzil sağladığını ve çeşitli veri hızlarının enerji tüketimini nasıl etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, LoRaWAN cihazlarının güç tüketimi üzerine çeşitli senaryolar incelenmiş ve düşük veri hızlarının daha az enerji tüketimi sağladığı vurgulanmıştır. Cihazların uyku modunda harcadıkları enerjiye de odaklanılmıştır[6].

Makalede, LoRaWAN'ın adaptif veri hızı (ADR) yönetimi de ele alınmıştır. ADR, enerji tüketimini optimize etmek için kullanılır ve sabit cihazlar için tavsiye edilirken, hareketli cihazlar için uygun olmadığı belirtilmiştir. Bağlantı yöntemleri arasında havadan aktivasyon (Over-The-Air Activation, OTAA) ve Kişiselleştirme ile Etkinleştirme (Activation By Personalization, ABP) karşılaştırılmıştır. OTAA, cihazların yeniden bağlanmasını kolaylaştırırken, ABP'nin güç kesintileri sırasında paket sayacılarını sıfırladığı ve bu nedenle bağlantı sorunları yaşanabileceği belirtilmektedir[6].

Sonuç olarak, LoRaWAN teknolojisinin uzun menzil ve düşük veri hızına ihtiyaç duyan uygulamalar için uygun olduğu, ancak yüksek bant genişliği veya hızlı paket oranlarına ihtiyaç duyulan tasarımlar için uygun olmadığı belirtilmiştir. Geliştiricilerin, LoRaWAN kullanmadan önce cihazın güç tüketimi, veri hızı ve menzil gereksinimlerini dikkatlice değerlendirmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışma, LoRaWAN tabanlı gömülü cihazlar ve ağlar tasarlamak ve geliştirmek için kılavuzlar sunarak yardımcı olmayı amaçlamaktadır[6].

Tarım Uygulaması için LoRa Ağ Tabanlı Çoklu Kablosuz Sensör Düğümleri ve LoRa Ağ Geçidi makalesinde, tarım uygulamaları için düşük maliyetli ve etkili bir LoRa (Long Range) ağı prototipini önermektedir. Çalışma, çok sayıda kablosuz çevresel sensör düğümünden ve bir LoRa geçidinden oluşan bir ağı ele almaktadır. Her sensör düğümü, toprak nemi, sıcaklık ve nem, yağmur damlası ve ışık yoğunluğu gibi çevresel verileri ölçen çeşitli sensörleri içermektedir. Sensör düğümleri, veri toplamak ve bu verileri 925.2MHz frekans bandında LoRa geçidine iletmek için Heltec LoRa esp32 sx1276 modülünü kullanmaktadır. LoRa geçidi, verileri 2.4 GHz WLAN frekans bandında bulut depolama sistemine iletmektedir[7].

Araştırmanın metodolojisi, LoRa ağı tasarımı, sensör düğümleri tasarımı ve LoRa geçidi tasarımı olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Ağ, çok sayıda sensör düğümünü ve tek bir LoRa geçidini içermektedir. Sensör düğümleri düşük maliyetli ve düşük karmaşıklıkta ancak yüksek algılama doğruluğuna sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. LoRa geçidi, Raspberry Pi ve RFM95 modülünün bir kombinasyonunu kullanarak veri toplama ve bulut depolama sistemine veri iletimi görevlerini yürütmektedir[7].

Deneysel kurulumda, üç LoRa sensör düğümü ve bir LoRa geçidi dış mekanlarda test edilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre, sensör düğümleri çevresel verileri algılayabilmekte ve geçide aktarabilmektedir. LoRa vericinin menzili yaklaşık 600 metredir (Görüş Hattı Olmayan: NLOS) ve LoRa geçidi çevresel verileri her 15 saniyede bir bulut depolama sistemine otomatik olarak iletmektedir. Ayrıca, toprak nemi, ışık yoğunluğu, sıcaklık ve nem gibi çevresel veriler standart enstrümanlarla karşılaştırıldığında %90'ın üzerinde doğruluğa sahiptir[7].

Sonuç olarak, önerilen LoRa ağı, geniş tarım alanlarında gerçek zamanlı çevresel izleme için uygun bir çözüm sunmaktadır. Çevresel veriler hem yerel olarak depolanabilmekte hem de bulut depolama sistemine aktarılabilir. Bu sayede veri izleme, analiz ve alarm oluşturma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi makalesinde, akıllı şehirlerde kablosuz haberleşme teknolojilerinin kullanımı ve doğru teknoloji seçimi üzerinde durmaktadır. Akıllı şehir vizyonunu benimseyen şehirlerin güçlü bir dijital altyapıya sahip olmaları önemlidir. Dijital altyapının bileşenleri olarak sensörler, haberleşme ağları ve verimli altyapı hizmetleri ön plana çıkmaktadır. Kablosuz haberleşme teknolojileri, kısa mesafe kablosuz haberleşme teknolojileri (BLE, Zigbee vb.), düşük güç geniş alan haberleşme teknolojileri (Dar Bant Nesnelerin İnterneti (Narrowband Internet of Things-NB-IoT), LoRa, Sigfox vb.) ve hücresel haberleşme teknolojileri (3G, 4G, 5G vb.) olarak sınıflandırılmaktadır[8].

Dijital altyapı, sensörler ve ağ geçitleri gibi bileşenlerle birlikte planlanmalıdır. Kısa mesafe kablosuz haberleşme teknolojileri, Düşük Enerjili Bluetooth (Bluetooth Low Energy-BLE) ve Zigbee gibi, kısa mesafede yüksek veri iletim hızı ve düşük gecikme sunarken; düşük güç geniş alan teknolojileri, NB-IoT ve LoRa gibi, düşük güç tüketimi

ve geniş kapsama alanı ile öne çıkmaktadır. Hücresel teknolojiler, 3G, 4G ve 5G gibi, geniş kapsama alanı ve yüksek veri hızları sunar[8].

Doğru haberleşme teknolojisinin seçimi, uygulama senaryolarına ve ihtiyaçlara göre yapılmalıdır. Bu süreçte kapsama alanı, güç tüketimi, sistem güvenliği, ölçeklenebilirlik ve maliyetler gibi parametreler dikkate alınmalıdır. Makale, farklı kablosuz haberleşme teknolojilerini karşılaştırarak şehirlerin dijital altyapı planlamasında doğru teknolojiyi seçmelerinin önemini vurgulamaktadır. Örnek uygulama senaryoları sunarak, Düşük Güç Geniş Alan (Low Power Wide Area-LPWA) teknolojilerinin enerji verimliliği ve uzun menzilli haberleşme yetenekleri nedeniyle kısa vadede yaygınlaşmasının beklendiği ifade edilmektedir. Bu kapsamda, dijital altyapıların verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için doğru teknolojilerin seçilmesi kritik bir öneme sahiptir[8].

Radyo Teknolojisi	LoRa	WIFI	Wi-SUN	4G/LTE	LTE - M	NB-IoT	Zigbee	BLE
Uzun mesafe	Evet	Hayır	Sınırlı	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet
Güç Tüketimi (Veri Gönderme)	18 mA	19-400 mA	35 mA	600-1100 mA	Yüksek	Yüksek	2.5mA	600-800 mA
Güç Tüketimi (Bekleme)	0.00 mA	1.1 mA	0.005 mA	5.5mA	Yüksek	Yüksek	0.0007 mA	4-5 mA
Frekans	868/915 MHz	2.4/5 GHz	902-908 MHz	1800/2600MHz	LTE bantları	GSM bantları	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz
Bant Genişliği	125/250/500KHz	20/40 MHz	7.8-500 KHz	1.4-20 MHz	1.4 MHz	0.18MHz	1-2 MHz	2 MHz
Veri Hızı	0.25-50 Kbps	54-600 Mbps	50-300 Kbps	75 Mbps	375K-1 Mbps	50 Kbps	250 Kbps	1 Mbps
Lisanslı Spektrum	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Olgunluk Seviyesi	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Yönetim birimi	LoRaWAN Alliance	IEEE	Wi-Sun Alliance	3GPP	3GPP	3GPP	ZigBee Alliance	BT SIG

Tablo 1 Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Robert W. Nelson tarafından yazılan "KBRN Kablosuz Sensör Ağları İçin Operasyon Konsepti" başlıklı tez, kablosuz sensör ağlarının kamu güvenliği operasyonlarına entegrasyonunu, özellikle KBRN tehditlerin tespiti ve bu tehditlere müdahale edilmesi açısından incelemektedir. Tezde, Los Angeles İtfaiyesi'nin KBRN olaylarını erken uyarı ve tespit edebilme yeteneğini artırmak amacıyla kablosuz sensörlerin uygunluğu, güvenilirliği ve hızlı uygulanabilirliğini değerlendirilmiştir. KBRN materyallerinin büyük riskler taşıdığı ve geleneksel müdahale yöntemlerinin etkili olmadığını ve zaman alıcı olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, LAFD'nin tehlikeli maddeler operasyonlarına kablosuz sensörleri entegre etmek için gerekli hedefler, kısıtlamalar, taktikler ve politikalar araştırılmış ve bu teknolojinin kullanılması önerilmiştir. Bu bağlamda, kablosuz sensörlerin verimliliği artırmak, müdahale sürelerini kısaltmak ve KBRN olayları sırasında durumsal farkındalığı geliştirmek için güçlü bir araç olduğu savunulmuştur. Sonuç olarak, tezde KBRN senaryolarında kamu güvenliğini artırmak için uygulanabilir bir araç olduğu ve bu teknolojinin erken tespit ve müdahale için maliyet etkin ve verimli bir yöntem sunduğu belirtilmiştir[1].

Bu literatür taraması, KBRN tehditlerinin tespiti ve izlenmesi için LoRaWAN teknolojisi ve kablosuz sensör ağlarının etkinliğini ve uygulama alanlarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Çalışmalar, LoRa teknolojisinin geniş kapsama alanı, düşük güç tüketimi ve maliyet etkinliği ile bu tür uygulamalar için ideal bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Arduino Nedir?

Arduino, açık kaynaklı bir elektronik platformudur ve hem donanım hem de yazılım bileşenlerinden oluşur. Arduino, mikrodenetleyici kartları ve bu kartları programlamak için kullanılan bir geliştirme ortamı (IDE) sağlar. Elektronik projeler geliştirmek ve prototipler oluşturmak için yaygın olarak kullanılır.

Arduino donanımı, çeşitli giriş (sensörler) ve çıkış (LED'ler, motorlar) bileşenlerini kontrol edebilen mikrodenetleyici kartlardan oluşur. Farklı ihtiyaçlara göre birçok Arduino kart modeli mevcuttur, örneğin:

Arduino Uno: Başlangıç seviyesi projeler için en yaygın kullanılan modeldir. ATmega328 mikrodenetleyici kullanır.

Arduino Mega: Daha fazla giriş/çıkış pini ve bellek kapasitesine ihtiyaç duyan projeler için idealdir.

Arduino Nano: Küçük boyutlu projeler için kompakt bir modeldir.

Arduino Leonardo: USB üzerinden klavye ve fare gibi davranabilen projeler için kullanılır.

Her Arduino kartı, mikrodenetleyiciye ek olarak güç girişleri, dijital ve analog giriş/çıkış pinleri, iletişim protokolleri (I2C, SPI, UART) ve diğer bileşenleri içerir[9].

Arduino yazılımı, Arduino Entegre Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment-IDE) adı verilen bir geliştirme ortamı aracılığıyla programlanır. Arduino IDE, kullanıcıların C/C++ benzeri bir dilde yazılım geliştirmesine olanak tanır ve kartların mikrodenetleyicilerine bu yazılımların yüklenmesini sağlar. Yazılım, Arduino kütüphaneleri kullanılarak yazılır, bu da sensörler, motorlar ve diğer donanımların kontrolünü kolaylaştırır. IDE ayrıca, seri monitör gibi araçlarla hata ayıklama imkânı sunar[10].

Arduino, prototipleme ve eğitim amaçlı olarak dünya çapında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hem amatörler hem de profesyoneller, hızlı bir şekilde işlevsel elektronik projeler oluşturmak için Arduino platformunu tercih eder. Ayrıca, Arduino'nun

açık kaynaklı doğası, topluluk katkılarıyla sürekli olarak genişleyen bir bilgi ve kaynak havuzunun oluşmasını sağlar.

3.2. Arduino Nano Teknik Özellikleri

Arduino Nano, küçük boyutlu, güçlü bir mikrodenetleyici kartıdır. ATmega328 mikrodenetleyicisi üzerine kurulmuş olan bu kart, Arduino Uno ile benzer işlemlere sahiptir, ancak daha kompakt bir yapıya sahiptir. USB bağlantısı üzerinden programlanabilir ve çeşitli dijital ve analog giriş/çıkış pinleri sunar[9].

Teknik Özellikler
Mikrodenetleyici: ATmega328
Çalışma Voltajı: 5V
Giriş Voltajı (önerilen): 7-12V
Dijital I/O Pinleri: 14
Analog Giriş Pinleri: 8
DC Akım per I/O Pin: 40 mA
Flash Bellek: 32 KB (ATmega328)
SRAM: 2 KB (ATmega328)
EEPROM: 1 KB (ATmega328)
Saat Hızı: 16 MHz
Boyutlar: 18 x 45 mm

Tablo 2 Arduino Nano Teknik Özellikler [9]

3.3. Bu Projede Neden Arduino Nano Kullanıldı?

Bu projede Arduino Nano kullanıldı çünkü projenin taşınabilir ve küçük boyutlu olması gerekiyordu. Arduino Nano'nun küçük boyutları, dar alanlarda kullanılmasına olanak tanıdı. Ayrıca, düşük güç tüketimi ile bilinen Arduino Nano, pil ömrünü uzatmak ve enerji verimliliğini artırmak için önemli bir avantaj sundu. Kartın sunduğu 14 dijital I/O pini ve 8 analog giriş pini ile çeşitli sensör ve aktüatörleri kolayca bağlayabilme yeteneği, projenin gereksinimlerini karşılamada etkili oldu. USB üzerinden kolayca

programlanabilir olması ve Arduino IDE ile uyumlu çalışması, projede hızlı ve verimli bir şekilde geliştirme yapmayı mümkün kıldı. Ek olarak, maliyet etkin bir çözüm sunan Arduino Nano, projede bütçeyi aşmadan gereken tüm işlevleri yerine getirebilmemizi sağladı. Arduino Nano'nun bu özellikleri, onu bu proje için ideal bir seçim haline getirdi ve sensörlerin ve diğer bileşenlerin entegre edilmesi, veri toplanması ve işlenmesi için gerekli olan tüm gereksinimleri karşıladı. Bu kartın kompakt ve güçlü yapısı, proje hedeflerine ulaşmak için mükemmel bir platform sağladı

3.4. LoRa Nedir?

LoRa (Long Range), uzun menzilli, düşük güçlü kablosuz veri iletişimi sağlayan bir teknolojidir. IoT ve M2M (Makineden Makineye) uygulamaları için özel olarak tasarlanmıştır. LoRa teknolojisi, geniş alanlarda düşük bant genişliği ile veri iletimini mümkün kılar. Bu özellik, özellikle sensörler ve aktüatörler gibi düşük güç tüketimi gerektiren cihazlar için idealdir. LoRa, sub-GHz ISM (Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal) bantlarında (örneğin 433 MHz, 868 MHz ve 915 MHz) çalışır ve bu frekans bantları daha iyi yayılma özelliklerine sahiptir.

LoRa teknolojisi, CSS modülasyon tekniğini kullanır. Bu teknik, geniş bantlı doğrusal frekans modülasyonlu sinyaller kullanarak bilgiyi kodlar. CSS, sinyalin parazit ve engelleri daha etkili bir şekilde aşmasını sağlar ve iletişim menzilini artırır. CSS ayrıca, düşük güç tüketimi ile uzun mesafelerde iletişim sağlar ve çok yönlü yayılım ve zayıflama gibi sorunlara karşı bağışıklık kazandırır.

LoRa'nın fiziksel katmanı, Semtech tarafından geliştirilmiştir ve uzun menzilli, düşük güçlü ve düşük veri hızlı iletişim sağlar. LoRa modülasyonu, veri iletimi sırasında hata düzeltme mekanizmalarını kullanır ve bu sayede güvenilir veri iletimi sağlar. LoRa cihazları, özellikle batarya ömrünün uzun olması gereken uygulamalar için uygundur ve bu cihazlar genellikle yıllarca değiştirilmeye ihtiyaç duymazlar.

- **Uzun Menzil:** LoRa, kırsal bölgelerde 10 kilometreyi aşan menzillere ulaşabilir ve yoğun kentsel veya kapalı alanlarda iletişim sağlayabilir.
- **Düşük Güç Tüketimi:** LoRa cihazları, minimum enerji tüketimi ile pil değiştirme maliyetlerini minimize eder ve 10 yıla kadar pil ömrü sunar.

- **Güvenlik:** Uçtan uca şifreleme, karşılıklı kimlik doğrulama, bütünlük koruması ve gizlilik sağlar.
- **Yüksek Kapasite:** LoRaWAN ağ sunucuları, milyonlarca mesajı işleyebilir ve binlerce cihazı destekleyebilir.
- **Düşük Maliyet:** Düşük altyapı yatırımı ve işletme maliyetleri sağlar.

LoRa teknolojisi, akıllı şehirler, tarım, endüstriyel izleme, sağlık ve ev otomasyonu gibi birçok alanda kullanılabilir. Örneğin, akıllı aydınlatma, çevre izleme, su yönetimi ve akıllı park sistemleri gibi uygulamalar, LoRa'nın sunduğu uzun menzil ve düşük güç tüketimi avantajlarından yararlanır.

Bu bilgiler doğrultusunda, LoRa'nın IoT projeleri için neden ideal bir çözüm olduğu anlaşılabilir.

3.5. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) Nedir?

LoRaWAN, LoRa teknolojisi üzerine inşa edilmiş bir açık ağ protokolüdür. LoRaWAN, düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN) arasında önemli bir yere sahiptir ve IoT (Nesnelerin İnterneti) uygulamaları için düşük güç tüketimi, düşük veri hızları ve geniş kapsama alanı sunar. LoRaWAN'ın ağ mimarisi yıldız topolojisine dayanmaktadır ve uç cihazlar sadece ağ geçitleri ile iletişim kurabilirler; doğrudan birbirleriyle iletişim kuramazlar. Birden fazla ağ geçidi merkezi bir ağ sunucusuna bağlıdır ve bu sunucular, uç cihazlardan gelen ham verileri işler ve geri bildirim gönderirler.

LoRaWAN ağ mimarisi üç farklı cihaz sınıfı içerir: Sınıf A, Sınıf B ve Sınıf C. Sınıf A cihazları temel özellikleri içerir ve her uplink (yukarı bağlantı) iletimi sonrasında iki kısa downlink (aşağı bağlantı) alım penceresi açar. Bu sayede, çift yönlü iletişim sağlanır. Sınıf B cihazları ise belirli zamanlarda ek alım pencereleri açar ve ağ geçitleri tarafından gönderilen işaretler ile senkronize olurlar. Sınıf C cihazları ise sürekli açık alım pencerelerine sahiptir ve sadece veri gönderirken bu pencereleri kapatırlar.

LoRaWAN, güvenli ve güvenilir iletişim sağlamak için çeşitli mekanizmalar içerir. Uçtan uca şifreleme, veri bütünlüğü kontrolleri ve benzersiz cihaz kimlikleri gibi güvenlik önlemleri mevcuttur. Adaptif Veri Hızı (ADR) mekanizması, bağlantı parametrelerini dinamik olarak yönetir ve paket teslim oranını artırır. Uç cihazlar, ADR bitini ayarlayarak

ağ sunucusunun iletim parametrelerini yönetmesine izin verebilirler veya bu parametreleri kendileri yönetebilirler.

LoRaWAN, akıllı şehirler, tarım, endüstriyel izleme, sağlık ve ev otomasyonu gibi birçok alanda kullanılabilir. Örneğin, akıllı aydınlatma, çevre izleme, su yönetimi ve akıllı park sistemleri gibi uygulamalar, LoRaWAN'ın sunduğu uzun menzil ve düşük güç tüketimi avantajlarından yararlanır. LoRaWAN'ın diğer LPWAN teknolojilerine göre en büyük avantajı, özel ağ kurulumlarına izin vermesi ve dünya genelindeki birçok ağ platformu ile kolay entegrasyon sağlamasıdır.

LoRaWAN'ın sağladığı geniş kapsama alanı ve düşük güç tüketimi, IoT uygulamaları için ideal bir çözüm sunar. LoRaWAN'ın açık kaynak standartları ve geniş araştırma topluluğu tarafından sürekli geliştirilmesi, teknolojinin güvenilirliğini ve performansını artırmaktadır.

3.6. Lora Teknolojisi Çalışma Mantığı

LoRa (Long Range) teknolojisi, uzun menzilli, düşük güçlü kablosuz veri iletişimi sağlamak için kullanılan bir radyo modülasyon tekniğidir. Bu teknoloji, özellikle IoT (Nesnelerin İnterneti) ve M2M (Makineden Makineye) uygulamaları için idealdir. LoRa'nın çalışma prensibi, geniş bir alanda düşük bant genişliği ile veri iletimini mümkün kılmak üzerine kuruludur. LoRa, ISM (Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal) bantlarında (örneğin 433 MHz, 868 MHz ve 915 MHz) çalışır ve bu frekans bantları daha iyi yayılma özelliklerine sahiptir.

LoRa, Chirp Spread Spectrum (CSS) modülasyon tekniğini kullanır. CSS modülasyonu, belirli bir zaman diliminde frekansın sürekli olarak değiştiği bir "chirp" sinyali üretir. Bu sinyaller, veri iletimi sırasında frekansın belirli bir aralıkta yukarı ve aşağı doğru kaymasıyla oluşturulur. CSS, geniş bantlı doğrusal frekans modülasyonlu sinyaller kullanarak bilgiyi kodlar. Bu teknik, sinyalin parazit ve engelleri daha etkili bir şekilde aşmasını sağlar ve iletişim menzilini artırır. CSS ayrıca, düşük güç tüketimi ile uzun mesafelerde iletişim sağlar ve çok yönlü yayılım ve zayıflama gibi sorunlara karşı bağışıklık kazandırır.

LoRa, farklı yayılma faktörleri (Spreading Factors, SF) kullanarak veriyi iletir. Yayılma faktörü, sinyalin iletim süresini ve veri hızını belirler. Daha yüksek bir yayılma faktörü, daha uzun bir iletişim menzili sağlar ancak veri hızını düşürür. Yayılma faktörü ne kadar

yüksek olursa, sinyalin iletim süresi de o kadar uzun olur, bu da daha düşük veri hızı anlamına gelir. Bu parametreler, belirli bir uygulamanın ihtiyaçlarına göre optimize edilebilir.

LoRa'nın fiziksel katmanında gönderilen veri paketleri, bir önsöz (preamble), isteğe bağlı bir başlık (header) ve veri yükünden (payload) oluşur. Ön söz, alıcının verici ile senkronize olmasını sağlar ve çerçevenin başlangıcını belirler. Veri yükü ise, gönderilen asıl bilgiyi içerir. Paketlerin yapısı, hata düzeltme kodları (FEC) ve CRC kontrolleri ile korunur, bu da veri iletiminin güvenilirliğini artırır.

LoRaWAN, ağ performansını ve cihaz pil ömrünü optimize etmek için Adaptif Veri Hızı (ADR) mekanizmasını kullanır. ADR, cihazların veri iletim hızlarını ve iletim güçlerini dinamik olarak ayarlayarak ağın verimliliğini artırır. ADR mekanizması, cihazın bağlantı kalitesine göre veri hızını ve iletim gücünü optimize eder. Bu sayede hem ağ trafiği dengelenir hem de cihazların pil ömrü uzar.

LoRa, uçtan uca şifreleme ve hata düzeltme mekanizmaları ile güvenli ve güvenilir bir iletişim sağlar. Hata düzeltme kodları, iletilen verinin bozulmadan alıcıya ulaşmasını sağlamak için kullanılır. Veri paketleri, iletim sırasında parazit ve diğer etkilerden korunmak için CRC kontrolleri ile donatılmıştır. Güvenlik açısından ise, veriler AES-128 şifreleme ile korunur ve veri bütünlüğü kontrolleri yapılır.

LoRa teknolojisi, geniş alanlarda düşük güçlü veri iletimi gerektiren birçok IoT uygulaması için idealdir. Akıllı şehirler, tarım, endüstriyel izleme, sağlık ve ev otomasyonu gibi birçok alanda kullanılabilir. Örneğin, akıllı aydınlatma, çevre izleme, su yönetimi ve akıllı park sistemleri gibi uygulamalar, LoRa'nın sunduğu uzun menzil ve düşük güç tüketimi avantajlarından yararlanır.

3.7. LoRa Modeli Karşılaştırma

E22-900T22D, Ebyte tarafından üretilen bir LoRa modülüdür ve özellikle uzun mesafeli kablosuz iletişim gerektiren IoT uygulamaları için tasarlanmıştır. Bu modül, çeşitli endüstriyel uygulamalarda güvenilir performans ve esneklik sunar.

Frekans Bandı: 850.125 MHz- 930.125 MHz (varsayılan 868.125 MHz)
İletim Gücü: 22 dBm (160 mW)
Alım Hassasiyeti: -147 dBm
İletim Mesafesi: Açık alanda 10 km'ye kadar
Veri Hızı: 0.3 kbps- 62.5 kbps
Güç Tüketimi: Uyku modu < 2 μ A, iletim modu < 120 mA
Boyutlar: 21 x 36 mm
Çalışma Sıcaklığı: -40°C ~ 85°C
Arayüz: UART, TTL

Tablo 3 E22-900T22D Özellikleri [11]

E22-900T22D, uzun menzilli iletişim yeteneği sayesinde geniş alanlarda veri iletimi sağlar. Açık alanda yapılan ölçümlerde, 8 kilometre mesafeden veri iletimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu özellik, projemizin geniş alanlarda sensör verilerini toplaması gerektiği durumlar için idealdir. Bu tür uzun menzilli kablosuz haberleşme, akıllı şehir uygulamaları, tarım alanları ve geniş kampüsler gibi büyük alanlarda veri toplama ihtiyaçlarını karşılar.

E22-900T22D modülü, düşük güç tüketimi ile bilinir. Uyku modunda 2 μ A gibi çok düşük bir akım çekerken, iletim modunda 120 mA tüketir. Bu düşük güç tüketimi, özellikle pil ile çalışan cihazlar için kritik öneme sahiptir ve cihazların pil ömrünü uzatarak bakım maliyetlerini azaltır. Bu özellik, akıllı şehir projelerinde enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilirlik sağlamak için önemlidir.

Modülün -147 dBm alım hassasiyeti, düşük sinyal seviyelerinde bile güvenilir veri iletişimi sağlar. Bu yüksek hassasiyet, özellikle sinyalin zayıfladığı veya engellerle

karşılaştığı durumlarda veri iletimini güvenli kılar. Akıllı şehirlerde ve diğer IoT uygulamalarında, güvenilir veri iletimi için bu tür bir hassasiyet gereklidir.

E22-900T22D modülü, 0.3 kbps ile 62.5 kbps arasında ayarlanabilir veri hızı sunar. Bu esneklik, farklı uygulamaların gereksinimlerine uyum sağlama imkanı tanır. Düşük veri hızları, enerji verimliliğini artırırken, yüksek veri hızları, daha büyük veri paketlerinin hızlı bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu özellik, çok yönlü ve ayarlanabilir bir çözüm sunar[11].

Modülün küçük boyutları, dar alanlarda kullanımını mümkün kılar ve taşınabilir projeler için idealdir. E22-900T22D'nin kompakt yapısı, sensörlerin ve diğer bileşenlerin entegrasyonunu kolaylaştırır ve sistemin genel boyutunu küçültür. Bu, özellikle giyilebilir cihazlar, taşınabilir sensörler ve diğer miniaturize edilmiş IoT cihazları için avantaj sağlar.

E22-900T22D, SX1262 ve SX1276 gibi diğer LoRa modülleri ile karşılaştırıldığında belirgin avantajlar sunar. SX1262, daha geniş bir frekans bandı ve yüksek alım hassasiyeti ile öne çıkarken, E22-900T22D daha spesifik frekans aralıklarında çalışır ve benzer güç tüketimi ile kompakt bir yapıya sahiptir. SX1276, geniş frekans aralığı ve düşük güç tüketimi ile dikkat çeker, ancak alım hassasiyeti ve iletim gücü açısından E22-900T22D'nin gerisinde kalır.

E22-900T22D, bu proje için uzun menzil, düşük güç tüketimi, yüksek alım hassasiyeti, esnek veri hızı ve kompakt boyut gibi özellikleriyle ideal bir seçimdir. Bu modül, projenin gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayarak geniş alanlarda veri toplama ve iletişim gerektiren IoT uygulamaları için mükemmel bir çözüm sunar.

3.8. IOT Nedir?

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT), gündelik yaşamda kullanılan nesnelerin internete bağlanarak veri paylaşımı yapmasını ve bu verilerin işlenmesini sağlayan bir teknolojidir. IoT, Radyo Frekansı Tanımlama (RFID), Kablosuz Sensör Ağları (WSN), Bluetooth, Yakın Alan İletişimi (NFC), Uzun Süreli Evrim (LTE) gibi çeşitli akıllı iletişim araçlarını kullanarak nesnelerin internete erişimini sağlar.

IoT konsepti ilk kez 1990'ların başında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Auto-ID laboratuvarlarında önerilmiştir. İlk IoT uygulaması 1999 yılında geliştirilen "Trojan

Room coffee pot” olmuştur. Aynı yıl, dünyada ilk internet kontrollü cihaz olan uzaktan açılabilen ekmek kızartma makinesi geliştirilmiştir.

IoT, nesnelerin internete bağlanarak yönetilmesi, kontrol edilmesi ve veri aktarımı yapması gibi temel fonksiyonlara sahiptir. Bu nesneler, mikroçipler ve sensörler yardımıyla çevrelerini algılar ve bu bilgileri diğer makinelere veya insanlara iletir. Makineden makineye (M2M) veya makineden insana iletişim, IoT'nin temel işlevlerinden biridir.

IoT, akıllı şehirler, tarım, sağlık, sanayi, ulaşım ve ev otomasyonu gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu teknoloji, şehirlerde trafik yönetimi, enerji yönetimi, çevresel izleme gibi birçok uygulama ile hayatı kolaylaştırmaktadır. Örneğin, akıllı şehirlerde kullanılan sensörler ve veri analitiği, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve sürdürülebilir bir çevre oluşturulmasını sağlar.

IoT'de kullanılan başlıca iletişim teknolojileri arasında RFID, IEEE 802.15.4, Z-Wave, LTE, LoRa, NFC ve UWB bulunmaktadır. Bu teknolojiler, düşük enerji tüketimi ve geniş kapsama alanı gibi avantajları ile IoT uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. LoRa teknolojisi, uzun menzilli iletişim kapasitesi ile kırsal ve uzak bölgelerde kullanılan IoT cihazları için ideal bir çözümdür.

IoT'nin geleceği, cihazların internet üzerinden eşlenmesi, veri aktarımı ve yönetilmesi etrafında şekillenmektedir. Gelecekte, IPv6 tabanlı servis odaklı mimarilerin geliştirilmesi ve bulut bilişim hizmetleri ile entegrasyon, IoT'nin daha yaygın ve etkili kullanılmasını sağlayacaktır. Ancak, güvenlik, veri gizliliği ve standardizasyon gibi alanlarda aşılması gereken önemli zorluklar bulunmaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT), günlük yaşamı ve endüstriyel süreçleri dönüştüren önemli bir teknolojidir. İnternetin ve akıllı cihazların entegrasyonu, veri toplama ve analiz etme süreçlerini optimize ederken, aynı zamanda yeni uygulama alanları ve iş modelleri oluşturur. IoT'nin sunduğu potansiyel, gelecekte daha fazla araştırma ve geliştirme ile daha geniş bir yelpazede kullanılabilir hale gelecektir.

3.9. Lora Şifreleme Pil Tüketimi Mesafe

LoRa teknolojisi, güvenlik açısından güçlü bir şifreleme mekanizması kullanır. LoRaWAN, veri iletimi sırasında AES-128 (Advanced Encryption Standard) şifreleme

yöntemini uygular. Bu şifreleme, hem uygulama katmanında (AppKey) hem de ağ katmanında (NwkKey) kullanılarak uçtan uca güvenliği sağlar. Şifreleme, veri paketlerinin izinsiz erişim ve müdahalelere karşı korunmasını garanti eder. Şifreleme, verilerin güvenli bir şekilde iletilmesini ve alıcı tarafından doğrulanmasını sağlar, böylece IoT uygulamaları için yüksek güvenlik standartları sunar[12].

LoRa'nın en önemli avantajlarından biri düşük güç tüketimidir. LoRa cihazları, düşük güç tüketimi sayesinde uzun pil ömrü sağlar. Bu özellik, batarya ile çalışan cihazların yıllarca çalışabilmesini mümkün kılar. Örneğin, tipik bir LoRa cihazı, düşük veri hızları ve uzun bekleme süreleri ile birkaç yıl boyunca kesintisiz çalışabilir. Adaptif Veri Hızı (ADR) mekanizması, cihazların veri iletim hızlarını ve iletim güçlerini dinamik olarak ayarlayarak enerji verimliliğini artırır. Bu hem ağ trafiğini dengeler hem de cihazların pil ömrünü uzatır. LoRa cihazlarının düşük güç tüketimi, özellikle geniş alanlarda yerleştirilen ve sık sık pil değiştirilmesi zor olan sensörler ve aktüatörler için idealdir[13].

LoRa, geniş alanlarda uzun mesafeli iletişim sağlama kapasitesi ile bilinir. LoRa'nın iletişim menzili, kırsal bölgelerde 10 kilometreyi aşabilirken, yoğun kentsel veya kapalı alanlarda da etkili iletişim sağlar. Chirp Spread Spectrum (CSS) modülasyonu, sinyalin parazit ve engelleri aşmasını kolaylaştırır, bu da daha uzun iletişim menzili sağlar. Yayılma faktörü (Spreading Factor, SF) ve bant genişliği (Bandwidth, BW) gibi parametreler, iletişim mesafesini ve veri hızını doğrudan etkiler. Daha yüksek yayılma faktörleri, daha uzun iletişim mesafeleri sağlar ancak veri hızını düşürür. LoRa, ayrıca, düşük frekans bantlarında (örneğin 433 MHz, 868 MHz ve 915 MHz) çalışarak daha iyi yayılma özellikleri sunar.

LoRa teknolojisi, düşük güç tüketimi, uzun menzil ve güçlü şifreleme özellikleri ile IoT uygulamaları için mükemmel bir çözüm sunar. AES-128 şifreleme ile güvenli veri iletimi sağlanırken, düşük güç tüketimi sayesinde cihazlar uzun süre pil değişimine ihtiyaç duymadan çalışabilir. Geniş alanlarda etkili iletişim sağlayabilen LoRa, özellikle uzak ve geniş bölgelerdeki IoT uygulamaları için ideal bir teknolojidir.

LoRa teknolojisi, diğer kablosuz haberleşme protokollerine kıyasla birçok avantaj ve dezavantaj sunar. Bu projede LoRa'nın tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden biri, uzun menzilli iletişim yeteneğidir. LoRa, düşük güç tüketimi ile birlikte geniş alanlarda veri iletimi sağlar. Açık arazilerde yapılan ölçümlerde, 10 kilometreye kadar başarılı veri

iletimi gerçekleştirilmiştir. Bu, kırsal ve geniş alan uygulamaları için idealdir. Wi-Fi ve Bluetooth gibi teknolojiler, genellikle daha kısa menzillere sahiptir. Wi-Fi birkaç yüz metreye kadar menzil sunar, Bluetooth'un menzili genellikle 10-100 metre arasında sınırlıdır. Bu durum, büyük açık alanlarda veri iletimi için yetersiz kalabilir.

LoRa'nın düşük güç tüketimi, batarya ile çalışan cihazların yıllarca kesintisiz çalışmasını mümkün kılar. Wi-Fi, sürekli bağlantı ve yüksek veri hızları nedeniyle daha fazla güç tüketir. Bu da batarya ömrünü kısaltır. Bluetooth LE (Low Energy), düşük güç tüketimi sağlar ancak menzil ve veri iletimi kapasitesi açısından sınırlıdır. LoRa, yüksek alım hassasiyeti ile düşük sinyal seviyelerinde bile güvenilir veri iletişimi sağlar. Bu, sinyalin zayıfladığı veya engellerle karşılaştığı durumlarda bile veri iletimini mümkün kılar. Wi-Fi ve Bluetooth, daha düşük alım hassasiyetine sahiptir ve genellikle sinyal engelleri ve mesafe arttıkça performans kaybeder.

LoRa'nın 0.3 kbps ile 62.5 kbps arasında ayarlanabilir veri hızı sunması, farklı uygulamaların gereksinimlerine göre optimize edilebilir. Wi-Fi, yüksek veri hızları sunar (100 Mbps'ye kadar), bu da video akışı, büyük dosya transferleri ve yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar için idealdir. Bluetooth ise veri hızları açısından daha sınırlıdır. Ancak, LoRa'nın düşük veri hızı, yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyan uygulamalar için uygun değildir. Maksimum veri hızı genellikle 27 Kbps civarındadır, bu da büyük veri paketlerinin hızlı iletimini zorlaştırır. Ayrıca, LoRa'nın yüksek gecikme sürelerine sahip olması, düşük gecikme gerektiren gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olmadığı anlamına gelir.

LoRa'nın güvenlik avantajları da dikkat çekicidir. Çift katmanlı AES şifreleme ile yüksek güvenlik sağlar. Bu, verilerin güvenli bir şekilde iletilmesini sağlar ve yetkisiz erişimleri engeller. Wi-Fi ve Bluetooth da çeşitli güvenlik protokollerine sahiptir, ancak Wi-Fi özellikle yanlış yapılandırıldığında veya zayıf şifreler kullanıldığında saldırılara karşı savunmasız olabilir. ZigBee ile karşılaştırıldığında, LoRa daha geniş menzil ve düşük güç tüketimi sunar. ZigBee, genellikle 10-100 metre arasında menzile sahiptir ve düşük güç tüketimi ile bilinir. Ancak, LoRa, daha düşük güç tüketimi ve daha uzun batarya ömrü sunar. ZigBee, ağ verilerini yönlendirmek için mesh topolojisi kullanır, bu da güç tüketimini artırabilir. LoRa ise yıldız topolojisi kullanarak veri yönlendirmeyi azaltır ve güç tasarrufu sağlar.

Sonuç olarak, LoRa teknolojisi, düşük güç tüketimi, uzun menzil ve yüksek güvenlik özellikleri ile diğer kablosuz haberleşme protokollerine kıyasla birçok avantaj sunar. Ancak, düşük veri hızları ve yüksek gecikme süreleri gibi dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu özellikler, LoRa'yı belirli IoT uygulamaları için ideal bir seçenek haline getirirken, gerçek zamanlı ve yüksek veri hızına ihtiyaç duyan uygulamalar için uygun olmayabilir.

3.10. LoRa Teknolojisinin GSM Teknolojilerine Göre Avantaj ve Dezavantajları

LoRa teknolojisi, kırsal ve geniş alanlarda veri iletimi gerektiren projeler için düşük güç tüketimi ve uzun menzil sağlama özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bu projede GSM teknolojileri (4G, 5G, 6G) yerine LoRa'nın tercih edilmesinin birkaç önemli nedeni vardır. İlk olarak, bu projede kullanılan veriler küçük boyutludur ve sık iletim gerektirmemektedir. Bu nedenle yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. GSM teknolojileri, yüksek veri hızları ve geniş bant genişliği ile bilinir ve genellikle video akışı ve büyük dosya transferleri gibi uygulamalar için uygundur. Ancak bu proje için bu tür yüksek hızlara gerek yoktur.

GSM modülleri genellikle yüksek enerji tüketir. 4G ve 5G bağlantıları, sürekli veri aktarımı ve yüksek güç gereksinimleri nedeniyle pil ömrünü önemli ölçüde kısaltır. Buna karşın, LoRa düşük güç tüketimi ile bilinir ve bu sayede pil ömrünü uzatarak enerji verimliliğini artırır. Bu durum, özellikle batarya ile çalışan cihazlar için kritik önem taşır. Bu projede, cihazların yıllarca kesintisiz çalışabilmesi gerekmektedir ve LoRa, düşük enerji tüketimi sayesinde bu gereksinimi karşılar.

Maliyet açısından da LoRa'nın avantajları belirgindir. GSM tabanlı çözümler genellikle daha yüksek maliyetlere sahiptir. 4G ve 5G modüllerinin maliyeti, LoRa modüllerine kıyasla daha yüksektir. Ayrıca, GSM ağlarına erişim için abonelik ücretleri ve veri kullanım maliyetleri de eklenir. LoRa, açık frekans bantlarında çalıştığı için bu tür ek maliyetlerden arındırılmıştır ve bu da projenin toplam maliyetini düşürür.

LoRa'nın geniş alanlarda ve kırsal bölgelerde uzun menzilli iletişim sağlaması, GSM teknolojilerine göre önemli bir avantajdır. GSM ağlarının kapsama alanı, özellikle kırsal ve uzak bölgelerde sınırlı olabilir. LoRa ise düşük frekanslarda çalışarak sinyal yayılımını artırır ve bu tür bölgelerde daha iyi performans gösterir. Bu özellik, projenin geniş alanlarda sensör verilerini toplaması gerektiğinde büyük bir avantaj sağlar.

Sonuç olarak, LoRa teknolojisi, düşük veri hızı gereksinimi, düşük güç tüketimi, maliyet etkinliği ve geniş kapsama alanı avantajları ile bu proje için en uygun seçim olmuştur. GSM teknolojileri, yüksek veri hızları ve geniş bant genişliği gerektiren uygulamalar için idealdir, ancak bu projenin ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz ve gereksizdir. LoRa'nın bu özellikleri, onu özellikle batarya ile çalışan ve geniş kapsama alanı gerektiren uygulamalar için ideal hale getirmektedir. Diğer yandan, GSM teknolojilerinin yüksek enerji tüketimi ve maliyetleri, bu tür projeler için daha az uygun olmalarını sağlamaktadır.

3.11. Kullanılan Sensör Tipleri Özellikleri

AM2301 (DHT21) Sıcaklık ve Nem Sensörü

Teknik Özellikler:
Çalışma Gerilimi: 3.3V - 5V
Sıcaklık Ölçüm Aralığı: -40°C ile 80°C
Sıcaklık Ölçüm Doğruluğu: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Nem Ölçüm Aralığı: %0 - %100
Nem Ölçüm Doğruluğu: $\pm 2\% \text{ RH}$
Ölçüm Periyodu: 2 saniye

Tablo 4 AM2301 Özellikleri [14]

AM2301, sıcaklık ve nem ölçümleri yapabilen hassas bir sensördür. Ortamdaki sıcaklık ve nem seviyelerini ölçerek çeşitli iklimlendirme, çevresel izleme ve HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemlerinde kullanılır. Bu projede, çevresel verilerin toplanması ve analiz edilmesi için kullanılmıştır.

MQ135 Hava Kalitesi Sensörü

Teknik Özellikler:
Çalışma Gerilimi: 5V
Algılama Gazları: Amonyak, Benzen, Alkol, Duman, Karbon Dioksit
Duyarlılık: 10 ppm - 1000 ppm (CO2)
Çıkış Tipi: Analog ve Dijital

Tablo 5 MQ-135 Özellikleri [15]

MQ135 sensörü, hava kalitesini izlemek için kullanılır. Çeşitli zararlı gazları ve hava kirleticilerini tespit edebilir. Analog çıkışı, gaz konsantrasyonunu belirlemek için kullanılabilirken, dijital çıkışı, belirli bir eşik değer altındaki veya üstündeki gaz konsantrasyonlarını tespit etmek için kullanılır. Bu projede, hava kalitesinin izlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

MQ2 Gaz Sensörü

Teknik Özellikler:
Çalışma Gerilimi: 5V
Algılama Gazları: LPG, Propan, Metan, Alkol, Hidrojen, Duman
Duyarlılık: 200 ppm - 10000 ppm (LPG, Propan, Metan)
Çıkış Tipi: Analog ve Dijital

Tablo 6 MQ-2 Özellikleri [16]

MQ2 sensörü, yanıcı ve zararlı gazların tespiti için kullanılır. Yangın ve gaz kaçağı algılama sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Analog çıkışı, gaz konsantrasyonunu ölçmek için kullanılabilirken, dijital çıkışı, belirli bir eşik değer altındaki veya üstündeki gaz konsantrasyonlarını tespit etmek için kullanılır. Bu projede, yanıcı gazların ve dumanın izlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

MQ4 Gaz Sensörü

Teknik Özellikler:
Çalışma Gerilimi: 5V
Algılama Gazları: Metan, Doğal Gaz
Duyarlılık: 200 ppm - 10000 ppm (Metan)
Çıkış Tipi: Analog ve Dijital

Tablo 7 MQ-4 Özellikleri [17]

MQ4 sensörü, metan ve doğal gaz tespiti için kullanılır. Gaz kaçağı algılama sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Analog çıkışı, gaz konsantrasyonunu ölçmek için kullanılabilirken, dijital çıkışı, belirli bir eşik değer altındaki veya üstündeki gaz konsantrasyonlarını tespit etmek için kullanılır. Bu projede, metan gazının izlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Geiger Sayacı (Geiger-Müller Tüpü)

Teknik Özellikler:
Çalışma Gerilimi: 3.3V - 5V
Algılama Tipi: Beta, Gamma ve X-ışınları
Çıkış: Dijital Darbe (Pulse)

Tablo 8 Geiger Sayacı Özellikleri

Geiger sayacı, radyasyon seviyelerini ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Beta, gamma ve X-ışınlarını algılayarak ortamda bulunan radyasyon miktarını ölçer. Dijital çıkışı, belirli bir radyasyon seviyesini tespit etmek için kullanılabilir. Bu projede, çevresel radyasyon seviyelerinin izlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Bu projede kullanılan sensörler, çevresel verilerin toplanması ve analiz edilmesi için önemli bir rol oynamaktadır. AM2301 (DHT21) sensörü, ortamın sıcaklık ve nem seviyelerini izlerken, MQ135, MQ2 ve MQ4 sensörleri hava kalitesi ve gaz tespiti yapmaktadır. Geiger sayacı ise çevresel radyasyon seviyelerini ölçmektedir. Bu sensörlerin her biri, projenin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için kritik veriler

sağlamaktadır. Bu veriler, LoRa teknolojisi ile entegre edilerek geniş alanlarda düşük güç tüketimiyle etkili bir şekilde izlenebilir.

3.12. Kullanılan Anten Tipi

TX4G-JKC-19 anteni, 4G/LTE bantlarında çalışan esnek bir kauçuk antendir. Bu anten, SMA-J konektörü ile gelir ve çeşitli geniş bant iletişim sistemleri, WiFi, mobil terminal cihazları gibi uygulamalarda kullanılabilir[18].

Antenin temel teknik özellikleri:
Bant Genişliği: 4G/LTE (698-960MHz, 1710-2700MHz)
Kazanç: 5 dBi
SWR (Standing Wave Ratio): ≤ 1.5
Polarizasyon: Dikey
Radyasyon Yönü: Çok yönlü (omnidirectional)
Giriş Empedansı: 50Ω
Güç Kapasitesi: 20W
Fiziksel Boyutlar: Yükseklik: 190mm, Ağırlık: 18g
Kaplama Malzemesi: TPEE
Çalışma Sıcaklığı: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$
Depolama Sıcaklığı: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

Tablo 9 Kullanılan Anten Özellikleri

Bu projede TX4G-JKC-19 anteninin kullanılmasının birkaç nedeni bulunmaktadır:

TX4G-JKC-19 anteni, 5 dBi kazanç ile yüksek performanslı bir sinyal iletimi sağlar. Bu özellik, LoRa iletişimde uzun menzilli veri iletimi için kritik öneme sahiptir. Antenin yüksek kazancı, sinyalin daha uzak mesafelere ulaşmasını ve daha güçlü bir sinyal kalitesi sağlamasını mümkün kılar.

Bu anten, esnek kauçuk malzemeden yapılmış olup, zor çevresel koşullara dayanıklıdır. -40°C ile $+85^{\circ}\text{C}$ arasındaki geniş çalışma sıcaklığı aralığı, antenin çeşitli iklim

koşullarında güvenilir performans göstermesini sağlar. Bu özellikler, antenin dış mekân uygulamaları için ideal olmasını sağlar.

Antenin çok yönlü radyasyon yönü, sinyalin her yönde eşit olarak yayılmasını sağlar. Bu, geniş alanlarda sensör verilerinin toplanması gerektiğinde önemlidir çünkü anten, belirli bir yönde hizalama gerektirmeden geniş bir kapsama alanı sağlar.

Antenin SWR değeri ≤ 1.5 olup, bu da antenin verimli bir şekilde çalıştığını ve enerji kaybını minimize ettiğini gösterir. Düşük SWR, sinyal yansımalarının azaltılmasına ve daha etkili bir veri iletimine katkıda bulunur.

SMA-J konektörü sayesinde anten, çeşitli cihazlarla kolayca uyum sağlayabilir. Bu konektör tipi, birçok LoRa modülü ve diğer kablosuz iletişim cihazları ile uyumludur, bu da kurulum sürecini kolaylaştırır.

TX4G-JKC-19 anteni, teknik özellikleri ve sağladığı avantajlar nedeniyle bu proje için ideal bir seçimdir. Yüksek kazanç, geniş bant genişliği, çok yönlü radyasyon ve dayanıklılık gibi özellikleri, antenin geniş alanlarda veri iletimi ve çevresel izleme uygulamaları için uygun olmasını sağlar. Bu, projenin başarıyla gerçekleştirilmesi için kritik bir bileşen olarak öne çıkar.

3.13. Lora Parametre Değerleri

LoRa modülünün parametre ayarları, verimlilik ve güvenilirlik açısından optimize edilmiştir. Bu ayarlar, veri iletimi sırasında enerji tüketimini minimize ederken, aynı zamanda istenilen iletişim performansını sağlamayı hedefler. Aşağıda, belirli parametrelerin ne anlama geldiği ve bu projede nasıl ayarlandığı açıklanmıştır.

Yayılma faktörü, sembol oranı ile çip oranı arasındaki orandır. Yüksek bir yayılma faktörü, SNR (Signal-to-Noise Ratio) ve dolayısıyla hassasiyeti ve menzili artırır, ancak aynı zamanda paket havada kalma süresini de artırır. Bu projede, SF değeri olarak 12 kullanılmıştır. Bu, maksimum menzil ve hassasiyet sağlamak için seçilmiştir. SF değeri 6 ile 12 arasında ayarlanabilir ve her bir artış, veri iletim süresini iki katına çıkarır.

Bant genişliği, iletim bandındaki frekans genişliğidir. Yüksek bir bant genişliği, daha yüksek veri hızı sağlar ancak hassasiyeti düşürür. Bu projede, 125 kHz'lik bir bant genişliği kullanılmıştır. Bu, düşük veri hızı gereksinimleri ve yüksek hassasiyet için uygundur.

Kodlama oranı, iletim sırasında hata düzeltme için kullanılan ek bilgi miktarını belirtir. 4/5, 4/6, 4/7 ve 4/8 oranları arasında ayarlanabilir. Yüksek bir kodlama oranı, daha fazla koruma sağlar ancak paket havada kalma süresini artırır. Bu projede 4/5 oranı kullanılmıştır.

İletim gücü, vericinin sinyalini ilettiği güç seviyesidir. -4 dBm ile 20 dBm arasında ayarlanabilir, ancak çoğu donanımda bu aralık 2 dBm ile 20 dBm ile sınırlıdır. Bu projede, maksimum iletim gücü olan 22 dBm kullanılmıştır. Bu, maksimum menzil ve sinyal gücünü sağlamak için tercih edilmiştir.

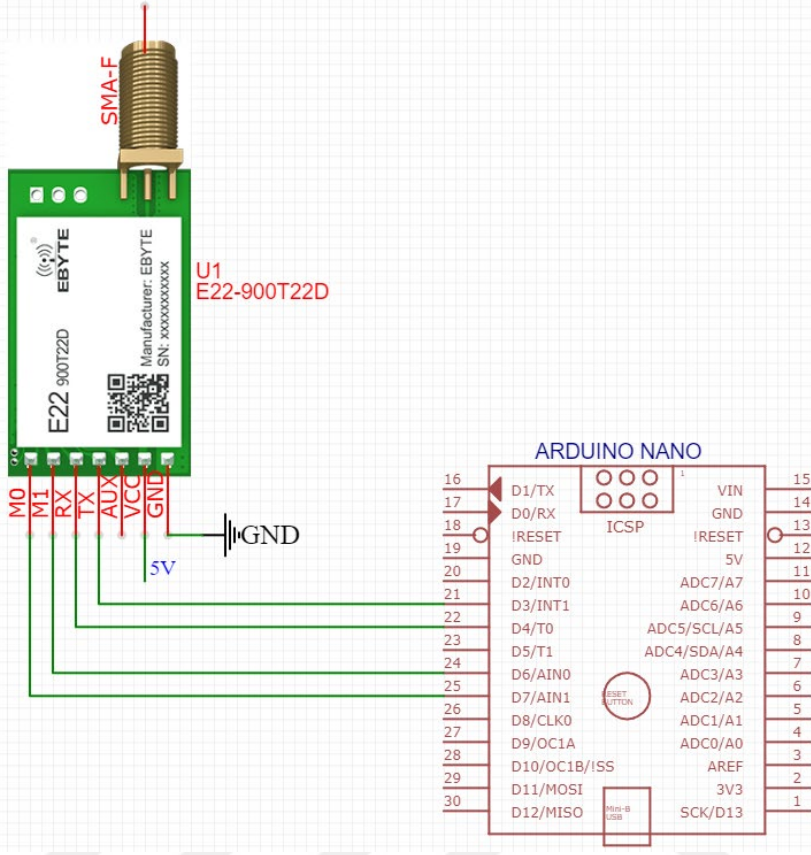
Wake-on-Radio (WOR) periyodu, cihazın radyo modülünün aktif olduğu periyotları belirler. Bu projede 2000 ms olarak ayarlanmıştır, bu da cihazın düşük güç modunda çalışırken belirli aralıklarla sinyal almasını sağlar.

RSSI ortam gürültüsü ölçümünü devre dışı bırakmak, gereksiz enerji tüketimini önler. Bu projede, bu özellik devre dışı bırakılmıştır.

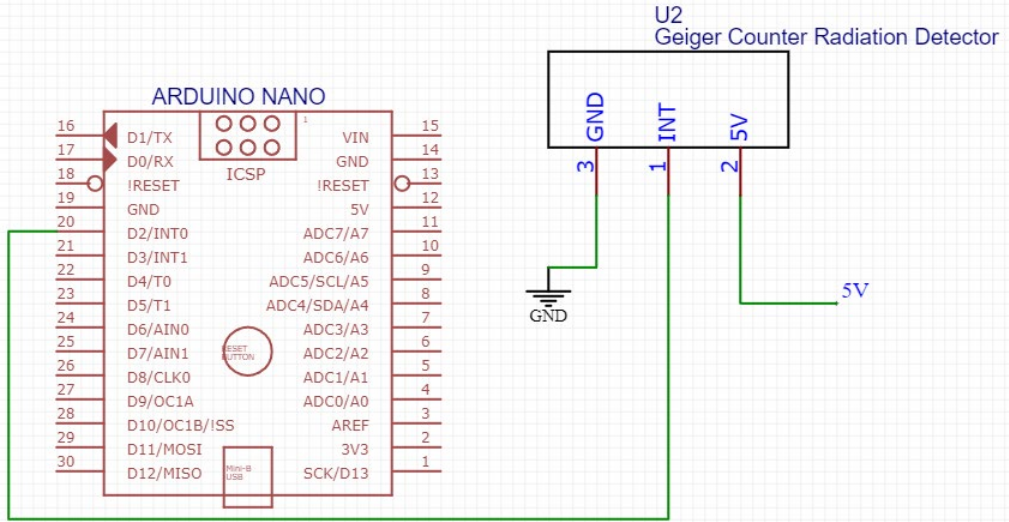
Sabit iletim modu (Fixed Transmission Mode) ve tekrarlayıcı (Repeater) özellikleri devre dışı bırakılmıştır. Bu, enerji tüketimini azaltırken, veri iletimini daha verimli hale getirir.

Bu parametreler, proje gereksinimlerine göre optimize edilmiştir ve bu optimizasyon, enerji tüketimini minimize ederken maksimum iletişim performansını sağlar. Detaylı bir analiz ve optimizasyon süreci, Bor ve Roedig tarafından yapılan çalışmalarda da vurgulanmıştır. Bu çalışmada, farklı LoRa parametre ayarlarının enerji tüketimi ve iletişim güvenilirliği üzerindeki etkileri incelenmiş ve en uygun parametre ayarlarının nasıl seçilebileceği detaylı olarak açıklanmıştır[19].

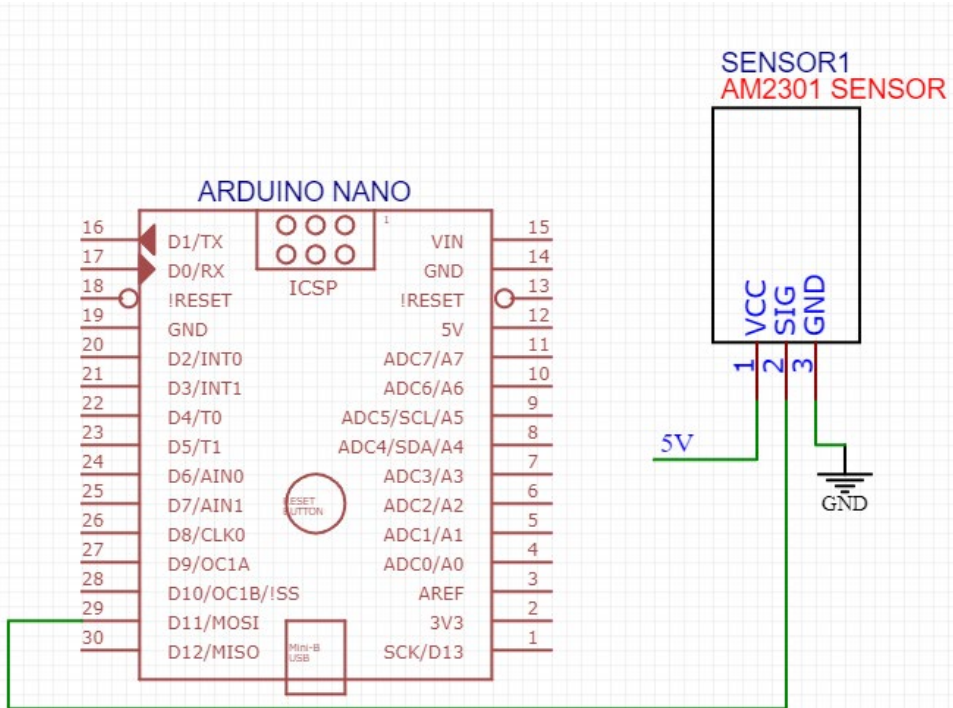
3.14. Devre Bağlantı Şeması



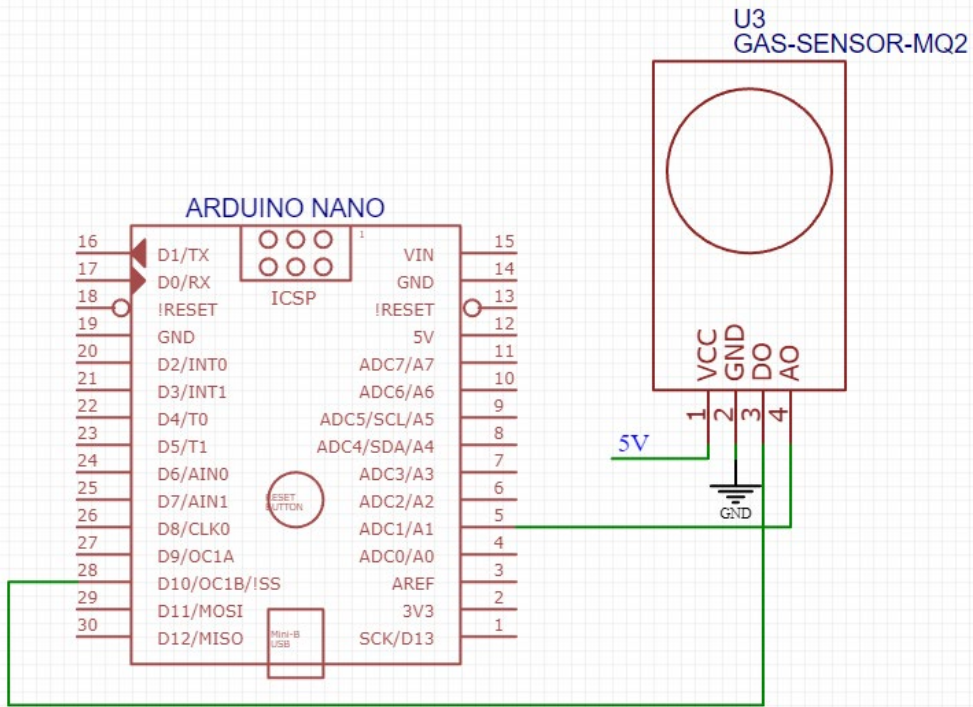
Şekil 1 Arduino Nano Lora Bağlantısı



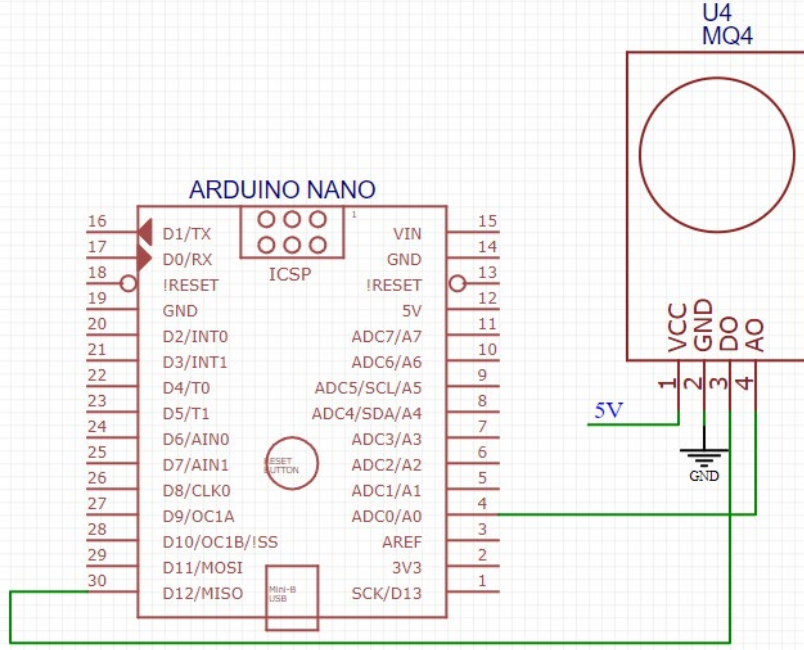
Şekil 2 Arduino Nano Geiger Sayacı Bağlantısı



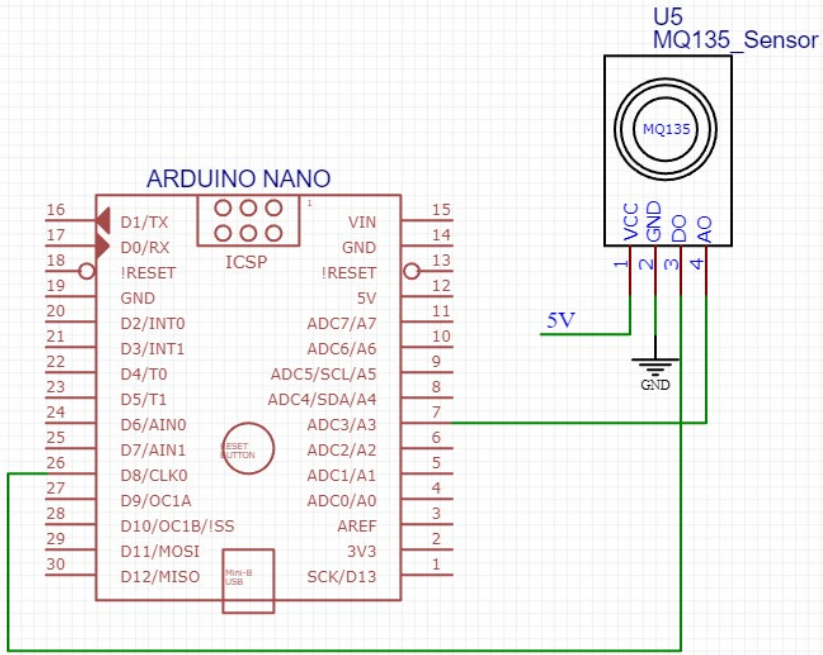
Şekil 3 Arduino Nano AM2301 Bağlantısı



Şekil 4 Arduino Nano MQ-2 Bağlantısı



Şekil 5 Arduino Nano MQ-4 Bağlantısı



Şekil 6 Arduino Nano MQ-135 Bağlantısı

3.15. Alıcı Ve Verici Cihaz Resimleri



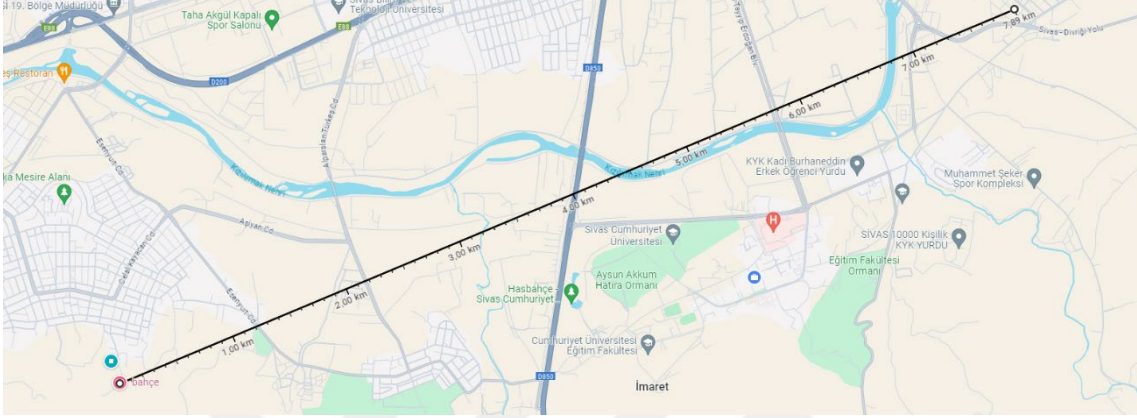
Şekil 7 Verici Cihaz (Sensörlerin bulunduğu)



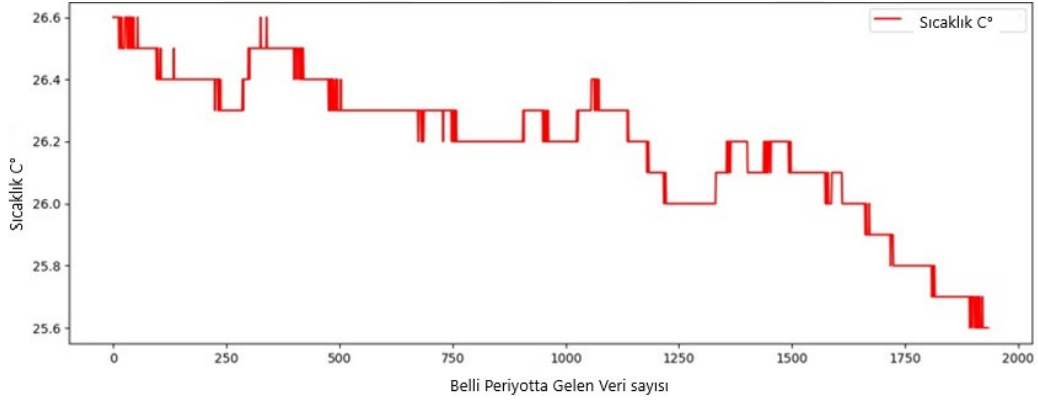
Şekil 8 Alıcı Cihaz

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

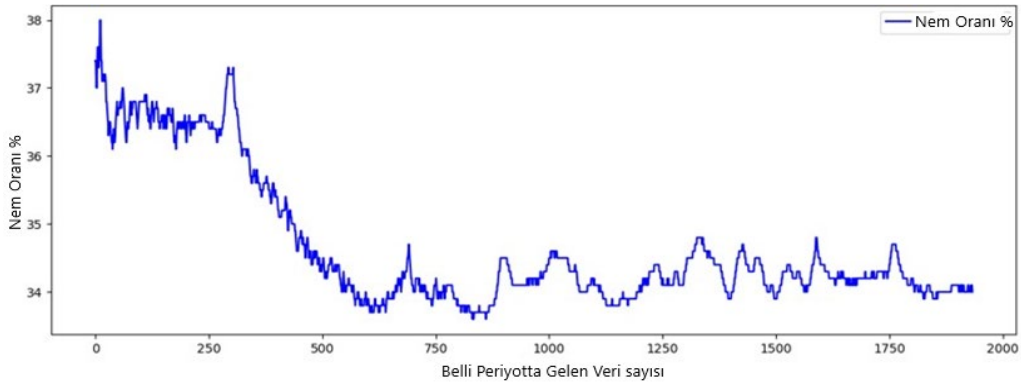
Bu çalışma kapsamında, KBRN tehditlerini algılamak ve izlemek amacıyla geliştirilen LoRaWAN tabanlı kablosuz sensör ağları sistemi başarılı bir şekilde test edilmiştir. Testler, 8 kilometre mesafede yapılmış olup, kullanılan donanım ve yazılımlar ile sensör verilerinin doğru ve güvenilir bir şekilde iletildiği ve alındığı gözlemlenmiştir. Ölçülen mesafe ve belli bir süre toplanan veriler aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



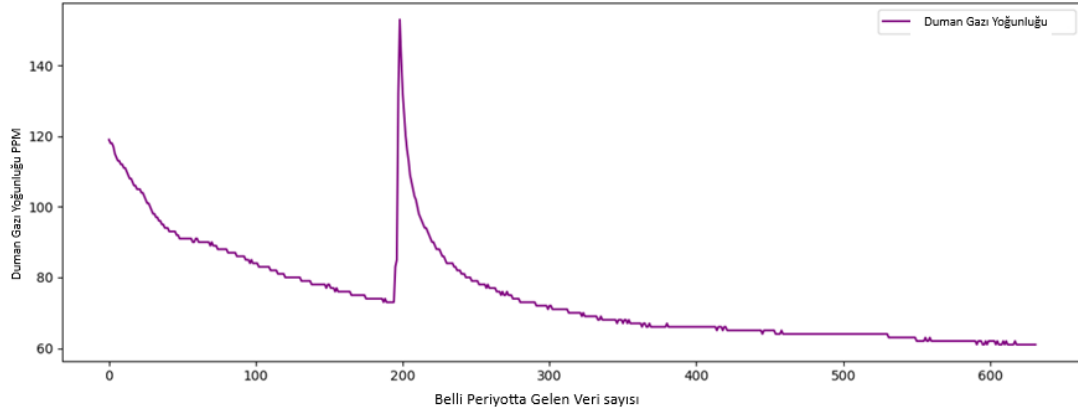
Şekil 9 Test Yapılan Mesafe



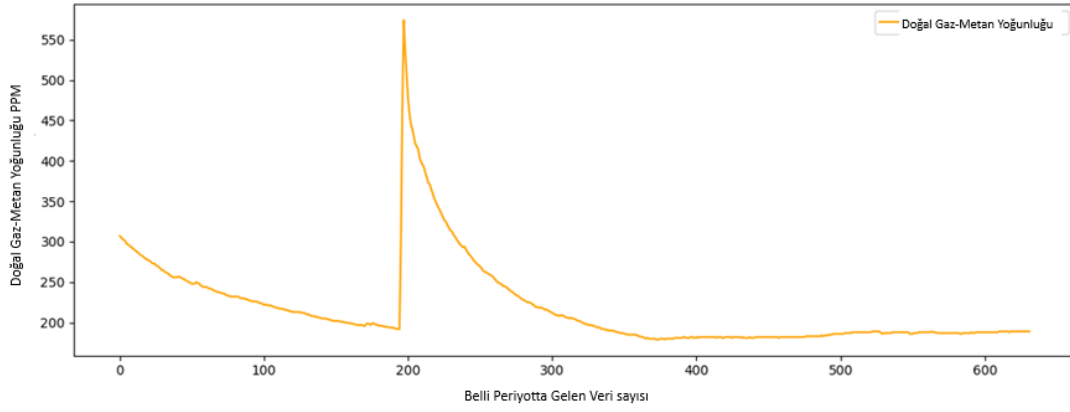
Şekil 10 Sıcaklık Grafiği



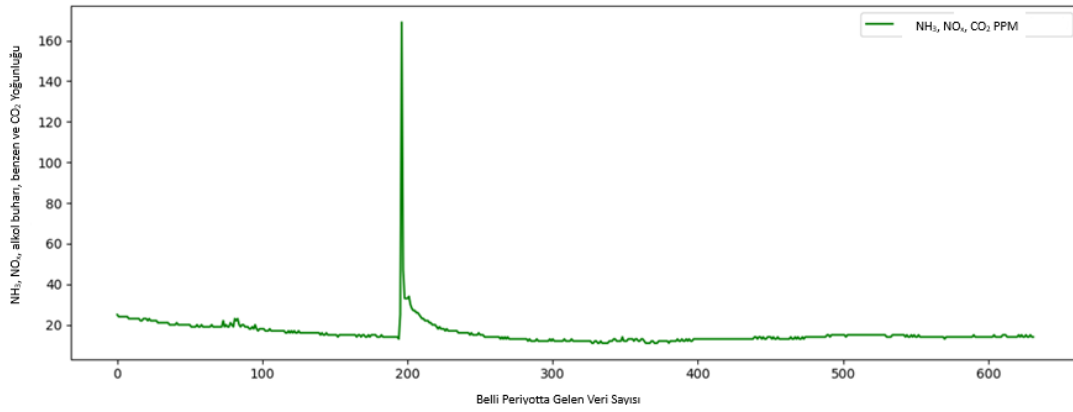
Şekil 11 Nem Grafiği



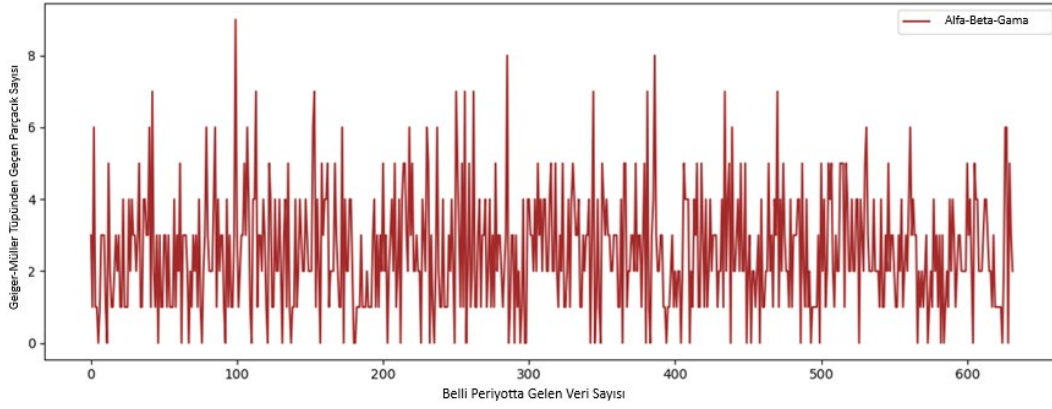
Şekil 12 MQ-2 Hava Kalitesi (Yanıcı Gaz ve Duman) Grafiği



Şekil 13 MQ-4 Hava Kalitesi (Metan Gaz) Grafiği



Şekil 14 MQ-135 Hava Kalitesi (NH₃, NO_x, alkol buharı, benzen ve CO₂) Grafiği



Şekil 15 Geiger-Muller Sayacı (İyonlaştırıcı radyasyonun sayısını) Grafiği

Sistem, düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanı özellikleri ile öne çıkan LoRaWAN teknolojisi kullanılarak tasarlanmıştır. MQ135, MQ2, MQ4 ve AM2301 (DHT21) gibi çeşitli sensörler kullanılarak hava kalitesi, gaz kaçağı ve çevresel parametrelerin izlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca, radyasyon tespiti için Geiger sayacı kullanılmıştır. Elde edilen veriler, Arduino Nano mikrodenetleyici kartları ve LoRa E22 900T22D modülleri kullanılarak merkezi bir sisteme iletilmiştir. Şekillerdeki sonuçlar gözlemlenmiştir. Kullanılan çeşitli sensörlerin veri çıktıları analiz edilmiştir. Grafiklerde gösterilen veriler, farklı çevresel koşullar altında sensörlerin nasıl tepki verdiğini ortaya koymaktadır. Grafikte yer görülen pik değerleri, test amaçlı yapılan deneylerle sensörlere bütan gazı, duman ve alkol buharı tutularak, sıcaklık ve nem için ise ortam değiştirerek müdahaleler sonucu elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, tasarlanan sistemin KBRN tehditlerini erken tespit etme konusunda yeterli duyarlılığa sahip olduğunu ve çeşitli çevresel koşullar altında etkin bir şekilde çalışabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, sistemin geniş ölçekli uygulamalar için uygun olduğu ve kritik altyapılarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, sistemin gerçek zamanlı izleme ve erken müdahale yetenekleri, olası tehlikeler karşısında güvenlik seviyesini artırmak için büyük bir avantaj sunmaktadır.

Testler sırasında, sistemin 8 kilometre mesafeden veri iletimini başarıyla gerçekleştirdiği ve sensör verilerinin doğru bir şekilde merkezi sisteme iletiildiği görülmüştür. Bu mesafe, geniş kırsal ve kentsel bölgelerde KBRN tehditlerinin uzaktan ve güvenilir bir şekilde

izlenebileceğini göstermektedir. Ayrıca, düşük güç tüketimi sayesinde sistemin uzun süreli izleme yapabilme kapasitesi olduğu da kanıtlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, LoRaWAN tabanlı kablosuz sensör ağları kullanarak KBRN tehditlerinin erken tespiti ve izlenmesi konusunda etkin bir çözüm sunmaktadır. Geniş kapsama alanı ve düşük enerji tüketimi ile bu sistem, kritik bölgelerde KBRN tehditlerinin izlenmesi ve hızlı müdahale imkanının sağlanması açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Gelecekte, sistemin daha geniş alanlarda test edilmesi ve farklı sensör tiplerinin entegrasyonu ile daha da geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, mobil uygulamalar ve gerçek zamanlı veri analitiği ile entegrasyon, sistemin etkinliğini ve kullanım kolaylığını artıracaktır.

Bu sonuçlar, KBRN tehditlerinin erken tespiti ve izlenmesi için geliştirilen LoRaWAN tabanlı sistemin etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Sistem, özellikle geniş alanlarda düşük maliyetli ve enerji verimli bir izleme çözümü sunarak, toplumların güvenliği ve sağlığı açısından kritik bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **R. W. Nelson ve L. Wollman**, (2012), “NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA THESIS Approved for public release; distribution is unlimited CONCEPT OF OPERATIONS FOR CBRN WIRELESS SENSOR NETWORKS”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.hsdl.org/?view&did=710285>
- [2] IEEE Control Systems Society. Chapter Malaysia ve Institute of Electrical and Electronics Engineers, (2019) *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I²CACIS 2019) : proceedings : 29th June 2019, Shah Alam, Malaysia : conference venue, Grand Blue Wave Hotel, Selangor, Malaysia.*
- [3] **E. González, J. Casanova-Chafer, A. Romero, X. Vilanova, J. Mitrovics, ve E. Llobet**, (2020),“Lora sensor network development for air quality monitoring or detecting gas leakage events”, *Sensors (Switzerland)*, c. 20, sy 21, ss. 1-21, doi: 10.3390/s20216225.
- [4] **A. Ebrahimi, ve D. Kihlberg**, “Wireless Gas Sensor Nodes-With focus on Long Range (LoRa) communication”. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1461802&dswid=8377>
- [5] **H. C. Lee ve K. H. Ke**, (2018),”*Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation*”, *IEEE Trans Instrum Meas*, c. 67, sy 9, ss. 2177-2187, doi: 10.1109/TIM.2018.2814082.
- [6] **Ukko-Pekka Peura**, (2018),“LORAWAN OPTIMIZATION FOR A BATTERY POWERED SENSOR NETWORK”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.theseus.fi/handle/10024/146549>
- [7] **W. Chanwattanapong, S. Hongdumnuen, B. Kumkhet, S. Junon, ve P. Sangmahamad**, (2021) “*LoRa Network Based Multi-Wireless Sensor Nodes and LoRa Gateway for Agriculture Application*”, içinde *Proceedings - 2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics, RI2C 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Eyl. 2021, ss. 133-136. doi: 10.1109/RI2C51727.2021.9559804.

- [8] **A. Balođlu ve O. Karademirođlu**, (2019), “*Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi*”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr/izufbed>
- [9] “Arduino® Nano Datasheet”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>
- [10] Arduino, “Arduino IDE”, Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://docs.arduino.cc/software/ide/>.
- [11] “E22-900T22D User Manual 868M/915M 22dBm DIP New LoRa Wireless Module”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ebyte.com/en/product-view-news.html?id=1117>
- [12] **M. Prasanna, Y. Soni, K. Varshitha, ve S. Reddy**, *USING LORA MODULES FOR IOT APPLICATIONS*, c. 3, sy 5. 2024. doi: 10.3390/designs5010017
- [13] **A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, ve W. M. Townsley**, (2016), “*A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things*”, *Sensors (Switzerland)*, c. 16, sy 9, Eyl. 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [14] “HM2301 Digital-output humidity and temperature sensor”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://mikroshop.ch/pdf/DHT21.pdf>
- [15] “SNS-MQ135”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- [16] “MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
- [17] “HANWEI ELECTRONICS MQ-4”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.hwsensor.com
- [18] “TX4G-JKC-19 Product Data Sheet 4G/LTE Bendable Rubber Antenna SMA-J Connector”. Alıntılanma Tarihi: Temmuz, 30, 2024 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ebyte.com/en/pdf-down.aspx?id=1495>
- [19] **M. Bor ve U. Roedig**, (2017), “LoRa transmission parameter selection”, içinde *Proceedings - 2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., ss. 27-34. doi: 10.1109/DCOSS.2017.10.

EKLER

EK-1. Alıcı Kaynak Kodu

```
#include "LoRa_E22.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <dht.h>

SoftwareSerial mySerial(3, 4);
LoRa_E22 lorat(&mySerial);

#define M0 7
#define M1 6

#define Adres 2 // 0--65000 arası bir değer girebilirsiniz. Diğer Modüllerden FARKLI olmalı
#define Kanal 20 // Yeni kanal değeri
#define Netid 63 // 0--65000 arası bir değer girebilirsiniz. Diğer Modüllerle AYNI olmalı.

dht DHT;

struct Signal {
    char sifre[15] = "mlhcn";
    float temperature;
    float humidity;
    int mq135_ppm;
    int mq135_esik;
    int mq2_ppm;
    int mq2_esik;
    int mq4_ppm;
    int mq4_esik;
    unsigned int radiation_count; // Radyasyon sayacı
} data;

// HEX formatındaki veriyi orijinal formata dönüştüren fonksiyon
void hexToBytes(const char* hexString, byte* byteArray, int byteArrayLength) {
    for (int i = 0; i < byteArrayLength; i++) {
        sscanf(&hexString[i * 2], "%2hhx", &byteArray[i]);
    }
}

void setup() {
    pinMode(M0, OUTPUT);
    pinMode(M1, OUTPUT);

    Serial.begin(9600);
    lorat.begin();

    LoraE22Ayarlar();
}
```

```

digitalWrite(M0, LOW);
digitalWrite(M1, LOW);

delay(500);
Serial.println("Başlıyor");
}

void loop() {
while (lorat.available() > 1) {
ResponseStructContainer rsc = lorat.receiveMessage(2 * sizeof(Signal) + 1);
char hexData[2 * sizeof(Signal) + 1];
strcpy(hexData, (char *)rsc.data);
rsc.close();

byte byteData[sizeof(Signal)];
hexToBytes(hexData, byteData, sizeof(Signal));
memcpy(&data, byteData, sizeof(Signal));

if (strcmp(data.sifre, "mlhcn") == 0) {
Serial.println("password true");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("temperature: ");
Serial.print(data.temperature);
Serial.println(" °C");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("humidity: ");
Serial.print(data.humidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ135 Air Quality: ");
Serial.print(data.mq135_ppm); // MQ135 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ135 Threshold Value: ");
if (data.mq135_esik == 1)
{
Serial.println("MQ135 value is safe");
}
else
{
Serial.println("MQ135 value is not safe");
}
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ2 Air Quality: ");
Serial.print(data.mq2_ppm); // MQ2 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ2 Threshold Value: ");
}
}
}

```

```

if (data.mq2_esik == 1)
{
    Serial.println("MQ2 value is safe");
}
else
{
    Serial.println("MQ2 value is not safe");
}
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ4 Air Quality: ");
Serial.print(data.mq4_ppm); // MQ4 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ4 Threshold Value: ");
if (data.mq4_esik == 1)
{
    Serial.println("MQ4 value is safe");
}
else
{
    Serial.println("MQ4 value is not safe");
}
Serial.print("-----\n");
Serial.print("Radiation count: ");
Serial.println(data.radiation_count);
Serial.print("-----\n");

} else {
    Serial.println("password false");
}
}
}

void LoraE22Ayarlar() {
    digitalWrite(M0, LOW);
    digitalWrite(M1, HIGH);

    ResponseStructContainer c;
    c = lorat.getConfiguration();
    Configuration configuration = *(Configuration*)c.data;

    configuration.ADDL = lowByte(Adres);
    configuration.ADDH = highByte(Adres);
    configuration.NETID = Netid;
    configuration.CHAN = Kanal;

    // Maksimum menzil için ayarlar
    configuration.SPED.airDataRate = AIR_DATA_RATE_000_03; // Düşük hava veri hızı
    configuration.OPTION.subPacketSetting = SPS_240_00; // Alt paket boyutu

```

```

configuration.OPTION.transmissionPower = POWER_22; // Maksimum iletim gücü
configuration.SPED.uartBaudRate = UART_BPS_9600; // UART baud hızı
configuration.SPED.uartParity = MODE_00_8N1; // Parite ayarı
configuration.TRANSMISSION_MODE.WORPeriod = WOR_2000_011; // WOR periyodu
configuration.OPTION.RSSIambientNoise = RSSI_AMBIENT_NOISE_DISABLED; // RSSI
gürültü
configuration.TRANSMISSION_MODE.WORTransceiverControl = WOR_RECEIVER; // WOR
alıcı kontrolü
configuration.TRANSMISSION_MODE.enableRSSI = RSSI_DISABLED; // RSSI devre dışı
configuration.TRANSMISSION_MODE.fixedTransmission = FT_FIXED_TRANSMISSION; //
Sabit iletim
configuration.TRANSMISSION_MODE.enableRepeater = REPEATER_DISABLED; //
Tekrarlayıcı devre dışı
configuration.TRANSMISSION_MODE.enableLBT = LBT_DISABLED; // LBT devre dışı

ResponseStatus rs = lorat.setConfiguration(configuration,
WRITE_CFG_PWR_DWN_SAVE);
c.close();

```

EK-2 Verici Kaynak Kodu

```

#include "LoRa_E22.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <dht.h>

#define DHT21_PIN 11 // AM2301 sensörü için pin
#define M0 7
#define M1 6

SoftwareSerial mySerial(3, 4);
LoRa_E22 lorat(&mySerial);
dht DHT;

#define Adres 1
#define Kanal 20 // Yeni kanal değeri
#define Netid 63
#define GonderilecekAdres 2

const int AOUTpin_mq135 = A3; // MQ135 Hava Kalitesi Analog çıkış pini
const int DOUTpin_mq135 = 8; // MQ135 Hava Kalitesi Dijital çıkış pini
const int AOUTpin_mq2 = A1; // MQ2 Analog çıkış pini
const int DOUTpin_mq2 = 10; // MQ2 Dijital çıkış pini
const int AOUTpin_mq4 = A0; // MQ4 Analog çıkış pini
const int DOUTpin_mq4 = 12; // MQ4 Dijital çıkış pini
const int GeigerPin = 2; // Geiger sayacı için dijital pin
volatile unsigned int GeigerCounts = 0; // Sayım için değişken
unsigned long previousMillis = 0; // Zaman hesaplaması için değişken
const unsigned long interval = 10000; // 10 saniyelik aralık

struct Signal {
char sifre[15] = "mlhcn";

```

```

float temperature;
float humidity;
int mq135_ppm;
int mq135_esik;
int mq2_ppm;
int mq2_esik;
int mq4_ppm;
int mq4_esik;
unsigned int radiation_count; // Radyasyon sayacı
} data;

void GeigerCounterISR() {
  GeigerCounts++;
}

void setup() {
  pinMode(M0, OUTPUT);
  pinMode(M1, OUTPUT);
  pinMode(DOUTpin_mq135, INPUT);
  pinMode(DOUTpin_mq2, INPUT);
  pinMode(DOUTpin_mq4, INPUT);
  pinMode(GeigerPin, INPUT);

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GeigerPin), GeigerCounterISR, RISING);

  Serial.begin(9600);
  lora.begin();

  LoraE22Ayarlar();

  digitalWrite(M0, LOW);
  digitalWrite(M1, LOW);

  delay(500);
  Serial.println("başlıyor");
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

    int chk = DHT.read21(DHT21_PIN);
    data.temperature = DHT.temperature;
    data.humidity = DHT.humidity;

    data.mq135_ppm = analogRead(AOUTpin_mq135); // ppm değerini Analog pinden
oku

```

```

data.mq135_esik = digitalRead(DOUTpin_mq135);

data.mq2_ppm = analogRead(AOUTpin_mq2); // ppm değerini Analog pinden oku
data.mq2_esik = digitalRead(DOUTpin_mq2);

data.mq4_ppm = analogRead(AOUTpin_mq4); // ppm değerini Analog pinden oku
data.mq4_esik = digitalRead(DOUTpin_mq4);

data.radiation_count = GeigerCounts; // Geiger sayacından okunan değer
GeigerCounts = 0; // Sayaç sıfırlanıyor

// Veri HEX formatına dönüştürülüyor
char hexData[sizeof(Signal) * 2 + 1];
byte *byteData = (byte *)&data;
for (int i = 0; i < sizeof(Signal); i++) {
    sprintf(&hexData[i * 2], "%02X", byteData[i]);
}
hexData[sizeof(Signal) * 2] = '\0';

Serial.print("Sıcaklık: ");
Serial.print(data.temperature);
Serial.println(" °C");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("Nem: ");
Serial.print(data.humidity);
Serial.println(" %");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ135 Hava Kalitesi: ");
Serial.print(data.mq135_ppm); // MQ135 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ135 Eşik Değeri: ");
if (data.mq135_esik == 1) {
    Serial.println("MQ135 Eşik değerinin altında");
} else {
    Serial.println("MQ135 Eşik değerinin üzerinde");
}
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ2 Hava Kalitesi: ");
Serial.print(data.mq2_ppm); // MQ2 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ2 Eşik Değeri: ");
if (data.mq2_esik == 1) {
    Serial.println("MQ2 Eşik değerinin altında");
} else {
    Serial.println("MQ2 Eşik değerinin üzerinde");
}
Serial.print("-----\n");

```

```

Serial.print("MQ4 Hava Kalitesi: ");
Serial.print(data.mq4_ppm); // MQ4 ppm değerini yaz
Serial.print(" ppm.\n");
Serial.print("-----\n");
Serial.print("MQ4 Eşik Değeri: ");
if (data.mq4_esik == 1) {
    Serial.println("MQ4 Eşik değerinin altında");
} else {
    Serial.println("MQ4 Eşik değerinin üzerinde");
}
Serial.print("-----\n");
Serial.print("Radyasyon sayısı: ");
Serial.println(data.radiation_count);
Serial.print("-----\n");

ResponseStatus rs = lorat.sendFixedMessage(highByte(GonderilecekAdres),
lowByte(GonderilecekAdres), Kanal, hexData, sizeof(hexData));
}
}

void LoraE22Ayarlar() {
    digitalWrite(M0, LOW);
    digitalWrite(M1, HIGH);

    ResponseStructContainer c;
    c = lorat.getConfiguration();
    Configuration configuration = *(Configuration *)c.data;

    configuration.ADDL = lowByte(Adres);
    configuration.ADDH = highByte(Adres);
    configuration.NETID = Netid;
    configuration.CHAN = Kanal;

    // Maksimum menzil için ayarlar
    configuration.SPED.airDataRate = AIR_DATA_RATE_000_03; // Düşük hava veri hızı
    configuration.OPTION.subPacketSetting = SPS_240_00; // Alt paket boyutu
    configuration.OPTION.transmissionPower = POWER_22; // Maksimum iletim gücü
    configuration.SPED.uartBaudRate = UART_BPS_9600; // UART baud hızı
    configuration.SPED.uartParity = MODE_00_8N1; // Parite ayarı
    configuration.TRANSMISSION_MODE.WORPeriod = WOR_2000_011; // WOR periyodu
    configuration.OPTION.RSSIAmbientNoise = RSSI_AMBIENT_NOISE_DISABLED; // RSSI
gürültü
    configuration.TRANSMISSION_MODE.WORTransceiverControl = WOR_RECEIVER; // WOR
alıcısı kontrolü
    configuration.TRANSMISSION_MODE.enableRSSI = RSSI_DISABLED; // RSSI devre dışı
    configuration.TRANSMISSION_MODE.fixedTransmission = FT_FIXED_TRANSMISSION; //
Sabit iletim
    configuration.TRANSMISSION_MODE.enableRepeater = REPEATER_DISABLED; //
Tekrarlayıcı devre dışı

```

```
configuration.TRANSMISSION_MODE.enableLBT = LBT_DISABLED; // LBT devre dışı  
  
ResponseStatus rs = lorat.setConfiguration(configuration,  
WRITE_CFG_PWR_DWN_SAVE);  
c.close();  
}
```

