



**UZAKTAN KONTROLLÜ AKILLI SU SAYACI AĞI TASARIMI VE
YAPIMI**

Kübra ÖZBEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Kübra ÖZBEK tarafından hazırlanan “UZAKTAN KONTROLLÜ AKILLI SU SAYACI AĞI TASARIMI VE YAPIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

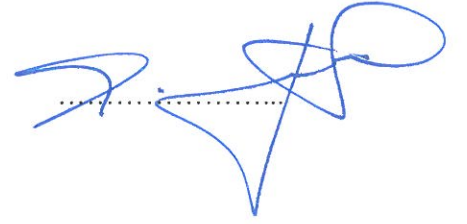
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Murat YÜCEL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

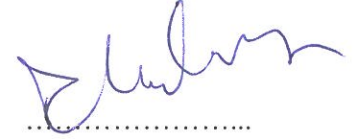
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Derya YILMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 04/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kübra ÖZBEK

04/09/2019

UZAKTAN KONTROLLÜ AKILLI SU SAYACI AĞI TASARIMI VE YAPIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Kübra ÖZBEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Türkiye'nin su kaynakları açısından zengin olduğu konusundaki yaygın inancın tersine, yapılan araştırmalar su sıkıntısı yaşayan bir ülke olduğunu göstermektedir. Su kaynaklarının yeterince korunamaması, bilinçsiz kullanım, iklim değişikliği ve bunun olumsuz etkileri, nüfus artışına bağlı olarak artan su ihtiyacı bu konudaki çözüm arayışlarının artmasına neden olmuştur. Suyun verimli ve etkin olarak kullanılabilmesi ve kaçakların engellenmesi açısından, su şebekesine bağlı abonelerin sayaçlarının doğru ve etkin bir şekilde okunması gerekmektedir. Bu konuda, geleneksel olarak insan unsurunun kullanılması durumunda ortaya çıkan sorunlar, gelişen teknoloji ile sayaç verileri uzaktan okunarak giderilebilir. Mevcut RF modem kullanılan uzaktan sayaç okuma sistemlerinde ise sayaç ile RF modem arasındaki mesafenin fazla olması ve duvar, demir kapı, demir kapak vb. engel ve bariyerler veri iletişiminin kopmasına neden olmaktadır. Bu da sayaç verilerinin sağlıklı olarak okunmasını ve gerektiğinde sayaçlara gönderilen ve alınan komutların iletimlerinde sıkıntılara neden olmaktadır. Bu çalışmada Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramının hayatımıza girmesi ile birlikte sunulan yeni teknolojilerinden biri olan LoRa sistemi kullanılarak sayaç okuma ve kontrol işlemlerinin daha hassas yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Bilim Kodu : 90523
Anahtar Kelimeler : Su Sayacı, Akıllı Algılayıcı, LoRa, LoRaWAN, RF, Wi-Fi, GPRS, IoT
Sayfa Adedi : 59
Danışman : Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA

REMOTE CONTROLLED SMART WATER COUNTER DESIGN AND CONSTRUCTION

(M. Sc. Thesis)

Kübra ÖZBEK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Contrary to the common belief, which is Turkey's water resources is rich, the researches made show that the country is facing water stress. Inadequate conservation of water resources, unconscious use, climate change and its negative effects, increasing water demand due to population increase have led to an increase in the search for solutions on this issue. In order to use water efficiently and effectively and to prevent leakage, the meters of the subscribers connected to the water network must be read accurately and effectively. In this regard, the problems that arise in the traditional use of the human element can be remedied by developing remote technology by reading meter data remotely. In the remote meter reading systems used in the current RF modem, the distance between the meter and the RF modem is too high and the wall, iron door, iron cover and so on. Obstacles and barriers cause data communication to break. This causes the meter data to be read properly and, if necessary, problems in transmitting the commands sent and received to the meters. In this study, it is aimed to make meter reading and control operations more accurate by using LoRa system which is one of the new technologies presented with the introduction of the Internet of Things (IoT) concept into our lives.

Science Code : 90523

Key Words : Water, Meter, Smart Sensor, LoRa, LoRaWAN, RF, WiFi, GPRS, IoT

Page Number : 59

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYA

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA'ya, bana karşı sabırları ve tüm emekleri için canım AİLEME, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Saygıdeğer Başkanım Orhan EKİNCİ'ye, Müdürüm Adem ÖZDEMİR'e, iş arkadaşlarım Caner ÇAĞLAR, Atila AYDIN, Dinçer ÇABUK, Burak ÇELİKKAYA, Bahadır YEŞİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LPWAN TEKNOLOJİSİ	5
2.1. Wi-Fi	5
2.2. Bluetooth.....	6
2.3. Dar Bant IoT (NB-IoT).....	7
2.4. SigFox.....	8
2.5. LoRa (Long Range).....	8
2.6. LoRaWAN.....	10
2.6.1. LoRaWAN sınıfları.....	14
2.6.2. İletim kısıtlamaları.....	18
2.6.3. LoRaWAN güvenlik.....	20
2.6.4. LoRaWAN bant genişliği konuları.....	21
2.6.5. LoRaWAN avantajları.....	21
2.6.6. LoRaWAN dezavantajları.....	22
2.7. LPWAN Teknolojisi Faktörleri.....	23

	Sayfa
2.7.1. QoS hizmet kalitesi.....	23
2.7.2. Pil ömrü ve gecikme.....	23
2.7.3. Ağ kapsama alanı ve aralığı.....	23
2.7.4. Ölçeklenebilirlik ve yük uzunluğu	24
2.7.5. Dağıtım modeli.....	24
2.7.6. Maliyet.....	24
3. SU SAYACININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	27
3.1. Su Sayacı Okunması.....	28
4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM.....	29
4.1. Kullanılan Donanım Genel Özellikler.....	29
4.1.1. STM32L152RE Nucleo-64.....	30
4.1.2. SX1276 alıcı-verici.....	31
4.2. Programlayıcı ve Yazılım Geliştirme	35
4.3. Gerçekleştirilen Sistemin Bir Sayaç Muayene İstasyonunda Uygulaması	36
4.4. Mesafeye ve Fiziksel Sınırlamalara Dayalı Olarak RF Sinyal Çıkış Gücü ve Seviye Ölçümleri.....	40
4.5. LoRa Gateway üzerinden Sayaç Verisi İleten Sistemin Sahada Test Edilmesi..	49
4.5.1. LoRa gateway üzerinden sayaç verisi ileten sistemin sahada mesafe testi.....	50
4.5.2. LoRa gateway üzerinden sayaç verisi iletim testi.....	50
4.5.3. Ara yüz ekranı.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. LoRaWAN sınıfları karşılaştırması.	18
Çizelge 2.2. LoRaWAN güvenlik karşılaştırması.....	26
Çizelge 4.1. Mesafeye dayalı veri iletişiminin gerçekleşme başarısının ölçülmesine yönelik testler	40
Çizelge 4.2. LoRa sistemi kullanılarak elde edilen sayaç okuma verileri.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Data oranı ve mesafe arasında ilişki açısından LPWAN konumlanması	7
Şekil 2.2. LoRa çalışma frekansları	10
Şekil 2.3. LoRaWAN ağ modeli	11
Şekil 2.4. Çeşitli telsizler için iletişim aralığı ve güç tüketimi	12
Şekil 2.5. LoRa ağ mimarisi.....	14
Şekil 2.6. LoRaWan sınıfları.....	15
Şekil 2.7. LoRaWAN A sınıfı iletişimi.....	16
Şekil 2.8. LoRaWAN B sınıfı iletişimi.....	16
Şekil 2.9. LoRaWAN C sınıfı iletişimi.....	17
Şekil 2.10. Sigfox, NB-IoT, ve LoRaWAN avantaj karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.1. Su sayacı şeması	27
Şekil 3.2. Su sayacı göstergesi	28
Şekil 4.1. Sistemin blok şeması	29
Şekil 4.2. SX1276/77/78/79 blok şematik diyagram	33
Şekil 4.3. LoRa modem bağlantısı.....	34
Şekil 4.4. LoRa modülasyon iletim sırası	35
Şekil 4.5.a) TT LAB önü RF giriş sinyalinin ölçülmesi merkez frekansı	42
b) TT LAB önü RF giriş sinyalinin ölçülmesi taşıyıcı yan bandlar	42
c) TT LAB önü RF giriş sinyalinin ölçülmesi ortalama ölçüm	42
Şekil 4.6.a) Kapalı bir alan olarak aynı binada 1 kat aşağıda, (zemin kat) RF sinyal ölçümleri merkez frekansı.....	43
b) Kapalı bir alan olarak aynı binada 1 kat aşağıda, (zemin kat) RF sinyal ölçümleri taşıyıcı yan bandlar	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6.c) Kapalı bir alan olarak aynı binada 1 kat aşağıda, (zemin kat) RF sinyal ölçümleri ortalama ölçüm.....	44
Şekil 4.7.a) Taşkent binasında -1. kat ölçümleri merkez frekansı.....	45
b) Taşkent binasında -1. kat ölçümleri taşıyıcı yan bandlar.....	45
c) Taşkent binasında -1. kat ölçümleri ortalama ölçüm.....	45
Şekil 4.8.a) Taşkent binasında -2. kat ölçümleri merkez frekansı	46
b) Taşkent binasında -2. kat ölçümleri taşıyıcı yan bandlar.....	46
c) Taşkent binasında -2. kat ölçümleri ortalama ölçüm	47
Şekil 4.9.a) Kampüs girişi ölçümleri merkez frekansı.....	47
b) Kampüs girişi ölçümleri taşıyıcı yan bandlar.....	48
c) Kampüs girişi ölçümleri ortalama ölçüm	48
Şekil 4.10. LoRa Gateway üzerinden sayaç verilerini ileten sistemin blok şeması.....	49
Şekil 4.11. Aylık abone bazlı tüketim grafiği.....	52
Şekil 4.12. Günlük abone bazlı tüketim grafiği.....	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. STM32L152RE Nucleo-64 board.....	30
Resim 4.2. SX1276 alıcı-verici.....	31
Resim 4.3. Programlama için kullanılan Keil Uvision 5 programı.....	36
Resim 4.4. Sayacın istasyona bağlanması.....	37
Resim 4.5. Sayacın muayene istasyonunda haberleşme bağlantısı.....	37
Resim 4.6. 13,51 m mesafe için LCD ekrana verinin gelmesi.....	38
Resim 4.7. 84,45 m mesafe için LCD ekrana verinin gelmesi.....	38
Resim 4.8. 184,48 m mesafe için veri iletimi testi.....	39
Resim 4.9. 84,45 m mesafe için veri iletimi testi.....	39
Resim 4.10. Mesafeye dayalı RF çıkış gücü ve sinyal değişim ölçümlerinin yapıldığı bölgenin 221,93 m mesafe için görünümü.....	41
Resim 4.11. Mesafeye dayalı RF çıkış gücü ve sinyal değişim ölçümlerinin yapıldığı bölgenin 392,59 m mesafe için görünümü	41
Resim 4.12. Sistemin sahada testi için sayaçlarda okuma işleminin yapıldığı bölge....	49
Resim 4.13. LoRa gateway ile sayaçlar arası mesafe ölçümleri (Güneybatı yönü).....	50
Resim 4.14. Mevcut sayaçların uygun olmayan tesis yerlerine 1. Örnek.....	53
Resim 4.15. Mevcut sayaçların uygun olmayan tesis yerlerine 2. Örnek	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

Hz	Hertz
GHz	GigaHertz
kbps	Kilobitspersecond
km	Kilometre
mA	Mili Amper
MHz	MegaHertz
nA	Nano Amper
\$	Dolar

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

3GPP	Üçüncü Nesil Mobil İletişim Ortaklık Projesi
ADR	Uyarlanabilir Veri Hızı
AES	Gelişmiş Şifreleme Standardı
API	Erişim Noktası Arayüzü
AppSKey	Uygulama Oturum Anahtarı
AŞ	Akıllı Şehirler
BG	Bant Genişliği
BLE	Bluetooth Düşük Enerji
BPSK	İki Frekanslı Kaydırmalı
Cat-M	Category M
CES	Tüketici Elektronik Show
CIoT	Hücrel Nesnelerin İnterneti
CRC	Döngüsel Artıklık Denetimi
CSS	Chirp Spread Spectrum
EPS	Geliştirilmiş Paket Sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
eMTC	Gelişmiş Makine Tipi
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi
E-Ultran	Evrensel Karasal Radyo Erişim Ağı
FCC	Federal İletişim Kurulu
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FEC	İleri Hata Düzeltmeli
FIFO	İlk Giren İlk Çıkar
FM	Frekans Modülasyonu
FSK	Frekans Kaydırmalı Anahtarlama
GFSK	Gauss Tipi Frekans Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonu
GMSK	Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonu
GSM	Mobil İletişim için Küresel Sistem
HSE	Yüksek Hızlı Harici Saat Sinyali
HTTPs	Hiper Metin Aktarım İletişim Protokolü
İG	İletim Gücü
IIP3	Üçüncü Dereceden Giriş Kesişme Noktası
IP	İnternet Protokolü
IoT	Nesnelerin İnterneti
ISM	Endüstriyel Bilimsel Tıbbi Band
KH	Kodlama Hızı
LAN	Yerel Alan Ağı
LPWAN	Düşük Güç Geniş Alan Ağı
LoRa	Uzak Mesafe
LTE	Uzun Vadeli Evrim
MAC	Media Access Controller
MCL	Maksimum Bağlantı Kaybı
MIC	Mesaj Bütünlüğü Kodu
MSK	Minimum Kaydırmalı Anahtarlama
M2M	Makineden Makineye
NB-IoT	Dar Bant - Nesnelerin
NwkSkey	Ağ Oturum Anahtarı

Kısaltmalar	Açıklamalar
OFMD	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
OOK	Açık-Kapalı Anahtarlama
OS	Açık Kaynak
OTAA	Havadan Aktivasyon
PGW	Paket Veri Ağı Geçidi
PHY	Fiziksel Katman
RF	Radyo frekans
RSSI	Alınan İşaret Güç Göstergesi
RX	Receive X
QPSK	Küresel Faz Kaydırmalı Anahtarlama
SC-FDMA	Tek Taşıyıcılı Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
SCEF	Servis Kapasite Pozlama Fonksiyonu
SMPS	Anahtarlama Güç Kaynağı
SNR	Sinyal Gürültü Oranı
TF	Taşıyıcı Frekansı
TT LAB	Türk Telekom Laboratuvarı
TX	Transmit X
UNB	Ultra Dar Band
WiFi	Kablosuz Bağlantı Ağı
YF	Yayılma Faktörü

1. GİRİŞ

Türkiye'nin su kaynakları bakımından zengin olduğu inancı olmasına rağmen, yapılan araştırmalar su sıkıntısı yaşayan bir ülke olduğunu görülmektedir. Bilinçsiz kullanım, iklim koşulları, nüfus artışına bağlı su kullanımının artması ve su kaynaklarının korunmasındaki yetersizlikler bu alanda çözüm arayışlarının artmasına neden olmuştur [1]. Yeni su kaynakları bulmak, başka bölgelerden su kıtlığı çeken yerlere su getirmek vb. gibi işlemler geçici çözümler sunmaktadır. Bu kapsamda işlenen suyun kontrolü önem arz etmektedir. Depolarda işlenen su miktarının ve tüketim kayıtları tutularak gerekli analizlerin yapılmasının sağlanması böylelikle kayıp ve kaçakların önüne geçilerek suyun verimsiz kullanılmasının önüne geçilmesi gerekmektedir. Bunun için yeni teknolojilerin kullanılması bu konularda yaşanan bazı zorlukların ve problemlerin üstesinden gelinmesine yardımcı olabilir.

Günümüzde teknoloji hızla gelişmekte ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things (IoT)) dönemi yaşanmaktadır. IoT Ağların devasa miktarda bilginin yayılabilmesi ve iletebilmesi için birbirine bağlanması gerekmektedir. IHS Markit, 2025 yılına kadar 75 milyar bağlı nesnenin tüm sektörlere ulaşacağını ve yayılacağını duyurdu. Bu gibi nesneler cihazlar, otomasyon, evlerimizi ve halka açık yerleri çevreleyen sensörler olacak. Örneğin sıcaklık, nem, kamu aydınlatması, ev otomasyonu, park yeri (dolu veya boş) ve e- sağlık gibi birçok tür bilgilerin iletimini sağlayabilirler. Ancak bu, nesnelerin üstel artışını absorbe edebilen, cihaz sayısında ve bu miktarda bilgi yönetiminde İnternet uyumlu ve ölçeklenebilir bir kablosuz altyapı gerektirir. Bu süreç, araştırılması gereken yeni teknik zorluklara sebebiyet vermektedir [2].

Telekomünikasyon operatörleri tüm dünyayı kapsayan mobil hücresel ağlar kurmuşlardır. Son yıllarda elektrik şebekesi işletmelerinde M2M (makineden makineye) iletişimi hızla artmıştır. 2G / 3G / 4G hücresel ağları zaten geniş kapsama sahip olmasına rağmen, hücresel ağlar, kitle bağlantısını, tipik M2M sahnelerinin yetersiz kapsama alanını ve terminal güç tüketiminin yüksek maliyetini destekleme problemlerine sahiptir. Bu dezavantajlar, 2G / 3G / 4G hücresel ağlarının, güç şebekesinin IoT (nesnelerin interneti) uygulamasıyla uyuşmamasıdır [3]. M2M, hücresel ağlarının yanı sıra pahalı olmakla birlikte, çok fazla enerji tüketmekte olup, donanım ve hizmetler açısından pahalıdır [4].

Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanıldığında, düğüm maliyeti, ağ maliyeti, pil ömrü, veri aktarım hızı, gecikme, mobilite, ağ kapsamı ve dağıtım türü gibi birçok faktörü göz önünde bulundurulmalıdır [5].

AŞ (Akıllı Şehirler), kentsel alanların bilgi elde etmek için kullanıldığı projelerin tanımıdır. Elde edilen bilgiler insanların yaşam kalitesini etkileyebilir ve kamu kaynaklarının kullanımını optimize edebilir. Bu verileri elde etmenin etkili bir yolu IoT (Nesnelerin İnterneti) kullanılmasıdır. Bunu mümkün kılabilmek için, düşük güç tüketimi ile uzun mesafelerde iletişim kuran düşük maliyetli bir ağ altyapısının kurulması gereklidir. Kullanılabilir ağ seçenekleri değerlendirilirken bu durum mobil şebeke operatörleri ile sınırlıdır [6].

4G gibi teknolojiler, ulaşılması zor gerçek noktalarda bulunan IoT Akıllı Şehirler uygulamalarında uygun olmayan güç tüketimine sahiptir. NB-IoT (Dar Bant Nesnelerin İnterneti) ve gelecekteki 5G ağları beklenen şebeke kapsama alanına ve güç tüketimi gereksinimlerine sahiptir. Ancak, bunlar tescilli ağlardır ve bazı ülkelerde, çok sayıda cihazla senaryo satın alma ve sürdürme ücretleri uygun değildir [6].

Suyun verimli kullanılması amacıyla su abonelerinin sayaç verilerinin doğru olarak okunabilmesi ve kayıp ve kaçakların önlenmesi için gelişen bu yeni teknolojiler büyük önem taşımaktadır. Bu konuda yeni avantajlar elde edilirken sağlanan performans ve sınırlamalarına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Mevcut sayaç okuma sistemlerinde kullanılan RF modemli sistemlerde sayaç ile RF modem kollektör arasındaki mesafe uzunluğu, duvar, demir kapı, demir kapak vb. durumlar veri iletişiminde kopmalara neden olmaktadır. Bu da sayaçlardan sağlıklı bilgi alımına, sayaçlara gönderilen ve sayaçlardan alınan veri komutlarının iletimlerinde sıkıntılara neden olmaktadır. Bu vb. sıkıntılardan yola çıkarak bu çalışmada sayaç verilerinin iletilmesi için düşük güç tüketimi ile uzun mesafe veri iletimi sağlayan ve gürültü bağışıklığı yüksek LoRa modül kullanılarak sayaç üzerinden mesafelere göre kopma olmadan veri iletiminin yapılması sağlanmıştır.

LoRa, uzun menzilli iletişim bağlantısını oluşturmak için kullanılan fiziksel katman veya kablosuz modülasyondur [7].

Bu çalışmada önerilen yöntemlerle insan unsurunun kullanıldığı geleneksel sayaç okuma işlemlerinde karşılaşılan birçok zorluklar ve problemlerin üstesinden gelinmiş ve insanların rahat ve konforları artmıştır. Bu tezin 2. ve 3. bölümlerinde LPWAN teknolojisi ve su sayaçlarının çalışma prensipleri ve bunlarla ilgili olarak gerekli olan önemli kavramlar açıklanmıştır. 4. Bölümde gerçekleştirilen sistem, bununla ilgili donanım, kullanılan modüller, sistemin blok şemaları, ilgili akış şemaları, sahadaki ölçümler ve bu ölçümler sırasında alınan resimler verilmiş ve açıklanmıştır. Bu açıklamalar sırasında yeri geldikçe yapılan çalışmalar ile ilgili olan testlere ve ölçümlere yer verilmiştir. 5. bölüm ise çalışmaya ait sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

2. LPWAN TEKNOLOJİSİ

LPWAN (Düşük Güç Geniş Alan Ağı), güç şebekesinde M2M iletişimi için uygun olan düşük bant genişliği, düşük güç tüketimi, uzun mesafe, kitle bağlantı noktası IoT uygulamaları için tasarlanmıştır. LPWAN haberleşme modülleri farklı sensörlerden gelen verileri alır ve verileri LPWAN üzerinden yazılım platformuna iletir. LPWAN'ın düşük güç tüketimi özelliği, bir iletişim modül pilinin birkaç yıl normal çalışmasını destekleyebilir. Yazılım platformu, güç girdilerinin çeşitli uygulama senaryolarına uyum sağlamak için özel olarak geliştirilebilir. LPWAN teknolojileri iki ana türe ayrılabilir; bir tip lisanssız spektrumda (LoRa, SigFox gibi) çalışır ve diğer tip 3GPP tarafından desteklenen lisanslı spektrumda 2G / 3G / 4G hücreşel şebekeye dayanır (NB-IoT gibi). LoRa ve NB-IoT, bu iki LPWAN türünün en yaygın teknolojileridir [3].

Tüm bu teknolojilerin hedefi çeşitli ağlarda dağıtılmak ve mümkün olduğunca çok sayıda cihaz bağlanmaktır. Bununla birlikte, şartnameler ve uygulamalar nedeniyle, bu teknolojilerin her birinin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Bu nedenle, farklı senaryolarda teknolojinin kullanılabilirliğini belirlemek için her birinin uygulamasını anlamak önemlidir [8].

Piyasadaki şu anda mevcut çözümler incelendiğinde yapılan analiz, yaygın olarak kullanılan kısa iletişim alanı teknolojileri (ör. BLE ve ZigBee), uzun iletim aralığı gereksinimi için uyarlanmadığını göstermektedir [3]. Bu sebeple sistem gerçeklemeleri yapıldıktan sonra, bu çalışmada mesafe testlerine de yer verilmiştir.

2.1. Wi-Fi

IEEE tarafından kablosuz yerel ağlar için geliştirilmiş bir radyo iletişim standardı olan Wi-Fi olarak bilinen 802.11 standardıdır. Akıllı Şehir dijital altyapısı için önemli unsurlarından biridir. Hızlı ve kolay erişilebilirlik, hassas güvenlik yaklaşımı, yüksek servis kalitesi ve rahat kullanılabilirlik avantajları nedeniyle son kullanıcılar için oturmuş bir kullanım ortamı sağlamaktadır [9].

Wi-Fi erişim noktaları kablosuz ağ geçitleri gibi davranır ve son kullanıcıları kablosuz aygıtlarla şebekenin diğer unsurlarına bağlamaktan sorumludur. Erişim noktaları, son kullanıcılar ve kurumlara aşağıdaki gibi geniş bir hizmet yelpazesi sunar;

- İnternet Erişimi
- Mobilite Analizi (Mobilite Paternleri)
- Konum Takibi [9].

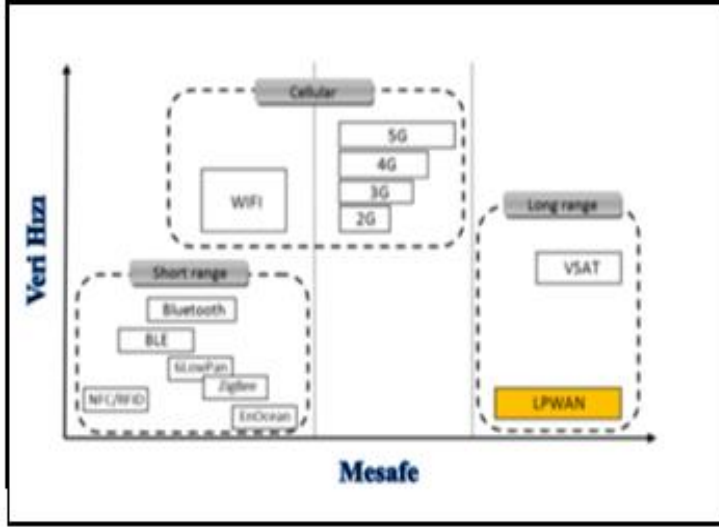
Wi-Fi kullanımı yaygın olmakla birlikte güç tüketimi ve paket yoğunluğu fazladır. Enerji, IoT cihazların bolca sahip olamadığı bir şeydir ve uygulamadan uygulamaya değişiklik gösterse de, çok fazla paket göndermezler. Bir başka sınırlama, Wi-Fi tarafından kullanılan modülasyon teknikleri ve yönlendiricilerin sınırlı cihaz işleme kapasitesidir [8].

2.2. Bluetooth

Bluetooth teknolojisi aralık sınırına sahip yoğun enerji kullanımına dayalı bir çözüm sağlar. ZigBee düşük güç modülleri, Bluetooth'daki en iyi teknolojilere bir örnektir. Daha uzak mesafelerde ve düşük aktarma hızlarında, genellikle birkaç kilometre açık arazide iletişime imkan sağlamaktadırlar [8].

LPWAN teknolojilerine ilişkin olarak LPWAN'ın performansı da değerlendirilebilir [2]. LPWAN teknolojileri, uzun iletim aralığı, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetli dağıtım çözümü sağlar. Kırsal bölgelerde 40 km ve kentsel bölgelerde 10 km'ye uzanan haberleşme aralığı, 10 yıla varan pil ömrü, 5 \$ 'dan daha az cihaz maliyeti ve yılda 1 \$ 'dan daha az operatör abonelik maliyeti sağlar [3].

Özellikle Şekil 2.1' de gösterildiği gibi uzun radyo aralığında günde birkaç küçük mesaj iletilmesini gerektiren IoT uygulamaları için tasarlanmıştır. Bu avantajlar, LPWAN'ın açık ve kapalı ortamlarda performanslı bir şekilde kullanımını desteklemektedir [3].



Şekil 2.1. Data oranı ve mesafe arasında ilişki açısından LPWAN konumlanması [10]

LPWAN teknolojileri uzun iletim aralığı, düşük güç tüketimi ve düşük maliyetli dağıtım konusunda etkin çözümler sağlanmasına imkan sağlamaktadır [10].

2.3. Dar Bant IoT (NB-IoT)

NB-IoT hücreli telekomünikasyon bantları kullanılarak çok çeşitli cihaz ve servislerin bağlantısını sağlamak için geliştirilmiş olan bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. NB-IoT, 3GPP tarafından standartlaştırılan bir dizi mobil IoT altyapılarından biridir. Temelde, NB-IoT, Cat-M (iletişim için yeterli bant genişliği sunarken, pil ömrünü uzatan, IoT dostu bir LTE sürümüdür) ile benzer bir amaca sahiptir, ancak özellikle modülasyon açısından farklı bir teknoloji kullanmaktadır. NB-IoT, GSM altyapısını kullanmaktadır. Özelleştirilmiş bir altyapı olduğundan maliyet yaklaşımları standart LTE maliyet yaklaşımlarından daha fazla olabilmektedir [9].

NB-IoT 'un çalışması ve ilgili birtakım diğer özellikler Haziran 2016'da 3GPP'nin 13. Sürümünde yayımlanmıştır. NB-IoT Avrupa'da da test edilmiştir. Aralık 2016'da, Vodafone ve Huawei, NB-IoT 'u İspanyol Vodafone ağına entegre etmiş ve NB-IoT standardına uygun ilk mesajı su sayacına monte edilmiş bir cihaza göndermiştir. Huawei firması tarafından günümüzde bu teknolojinin dünya çapında yaygınlaştırılmasına uğraşmaktadır. 2018 yılında birçok ülkede kullanıldığı duyurulmuştur. Mayıs 2017'de,

Chin'deki Sanayi ve Bilgi Teknolojileri Bakanlığı, kamu kuruluşları ve akıllı şehir uygulamaları için NB-IoT'un ticari kullanımını hızlandırma kararını açıklamıştır [10].

NB-IoT haberleşme teknolojisinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Küçük veri paketi boyutu,
- Düşük güç tüketimi,
- Yüksek iletim gücü ve ulaşılması zor alanlarda (metal, toprak, duvarlar vb.) daha iyi radyo penetrasyonu,
- Lisanslı bant kullanımı ile girişim riskinin minimize edilmesi ve üst seviye güvenlik yaklaşımı [9].

2.4. SigFox

SigFox daha küçük boyutlu mesajları işlemek için hazırlanan güçlü olmayan bir protokol olarak değerlendirilmektedir. Gönderilecek daha az veri, daha az enerji tüketimine neden olur. Bu durum dolayısıyla daha uzun batarya ömrü olacağı anlamına gelmektedir. SigFox Ultra Dar Bant modülasyonunu kullanılarak mesaj değişimi yapmak için kamuya açık olan 200 kHz bandında çalışmaktadır. Her mesaj 100 Hz genişliğindedir ve bölgeye bağlı olarak saniyede 100 veya 600 bit hızlarında veri aktarım hızı elde edilmektedir. Bu nedenle, gürültüye karşı çok dayanıklı ve uzun mesafelerde veri iletimi sağlanabilmektedir [9].

Çeşitli LPWAN teknolojileri arasında, LoRa, diğer LPWAN teknolojilerinin kapalı tasarımları ve/veya yönetilen ağ geçidi altyapılarının aksine, açık özellikleri ve ağ geçidi altyapıları özelliklerine sahip olması nedenleri ile diğerlerinin önüne geçmekte ve fazla dikkat çekmektedir [11].

2.5. LoRa (Long Range)

LoRa (Long Range), Uzun Menzilli Radyo anlamına gelir. LoRa, LoRa Alliance tarafından yönetilen bir açık standarttır ve Semtech tarafından geliştirilmiştir [8]. LoRa Alliance oluşturulması 2015 yılında CES (Consumer Electronics Show)'de açıklanmıştır. Sigfox' a rekabeti amaçlayan bir konsorsiyumdur. LoRa teknolojisine dayanan bu Açık Kaynak (OS) sistemi, 2012 yılında Fransız şirketi Cycleo tarafından onaylanmıştır. Bugün, ittifak Bouygues Telecom, Actility ve Sagecomm gibi Fransız şirketler de dahil olmak

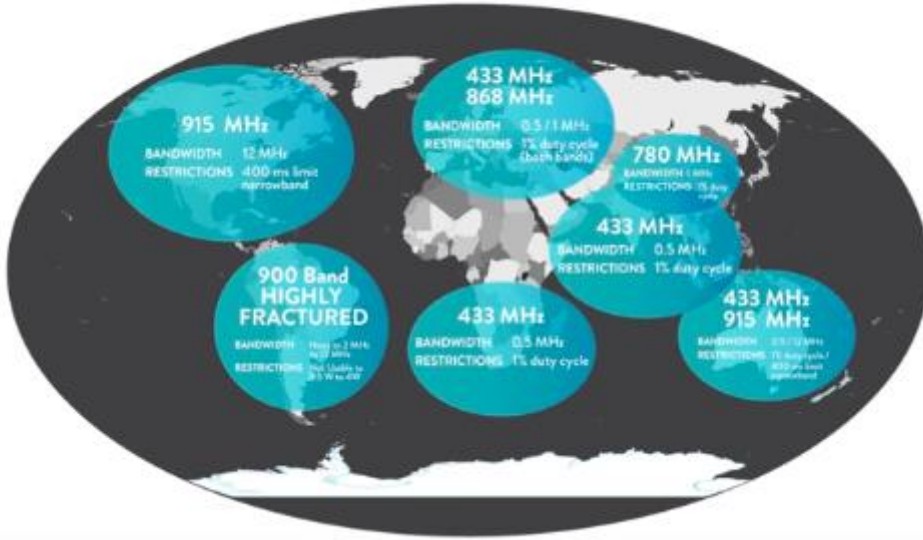
üzere 127 üyeden oluşmaktadır. LoRa İttifakı, nesnelerin interneti iletişim dünyasının geleceğinin parlak olduğuna inanan üyelerinin açık, kar amacı gütmeyen bir işbirliği şeklindedir [4].

LoRa uzun menzilli ve düşük güç iletişimi için tasarlanmış bir kablosuz protokoldür. LoRa, birçok uç noktaya sahip ve sadece Uplink gerektiren uygulamalar için kullanılabilir. Birden çok erişim protokolü olması halinde, mesajları iletmek için yıldızdan topolojinin takip edilmesi gerekir. Merkezi sunucu ile iletişim ağ geçitleri kullanılarak yapılır ve kodlanmış mesajlar kullanarak farklı frekans kanalları ve veri hızları hakkında bilgi gönderiminin yapılması gerekir. Bu yöntem kullanıldığında, mesajların çarpışması ve biriyle çakışması ihtimali azaldığından, ağ geçidi kapasitesinin arttırılabilmesine olanak sağlar. LoRa, akıllı nesneler arasında basit ve kusursuz bir birlikte çalışabilirlik sağlamak için hareketlilik, güvenli ve çift yönlü bir iletişim temin etmektedir [8].

LoRa tipik çalışma frekansları Şekil 2.2'de verilmiştir. Tipik çalışma frekansı Amerika Birleşik Devletleri'nde 915 MHz, Avrupa'da 868 MHz ve Asya'da 433 MHz'dir. LoRa'nın Fiziksel Katmanı (PHY), ileri hata düzeltmeli (FEC) benzersiz bir FM daraltılmış yayılı spektrum teknolojisini kullanmaktadır. Bu yayılı spektrum modülasyonu, her bir cihaza farklı yayınları ve veri hızlarını kullandığı sürece aynı radyo bandını kullanma imkânı vermektedir. LoRa 1 GHz frekansın altındaki izin gerektirmeyen bir frekans bandında çalışmakta olduğundan, uygulaması için ek bir ücret talep edilmemektedir [5].

LoRa ağları üzerinde hali hazırda çok sayıda çalışma mevcuttur. İlk olarak, bazı çalışmalar LoRa'yı, Sigfox ve NB-IoT gibi diğer LPWAN teknolojileriyle karşılaştırma konusuna odaklanmıştır. LoRa'nın kendisine gelince, yazarlar özel senaryolardaki performansın çok fazla olan çeşitliliğini, yeteneklerini ve sınırlamalarını analiz etmekte ve tartışmaktadırlar [12].

Alt bant başına maksimum iletim görev süresi ve bekleme süresi bölgeye özgüdür ve Fiziksel katman [PHY] 'de tanımlanmıştır [13].



Şekil 2.2. LoRa çalışma frekansları [14]

LoRa'nın misyonu, nesnelerin internetini (IoT), makineden makineye (M2M), akıllı şehir ve endüstriyel uygulamalara olanak sağlamak için dünya çapında dağıtılan ağları (LPWAN) standartlaştırmak olan endüstri liderleri tarafından başlatılmıştır. İttifak üyeleri tek bir açık küresel standart operatörler arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak için bilgi ve deneyim paylaşımı ile LoRa protokolü (LoRaWAN) konusunda küresel başarı için işbirliği yapmaktadırlar [4].

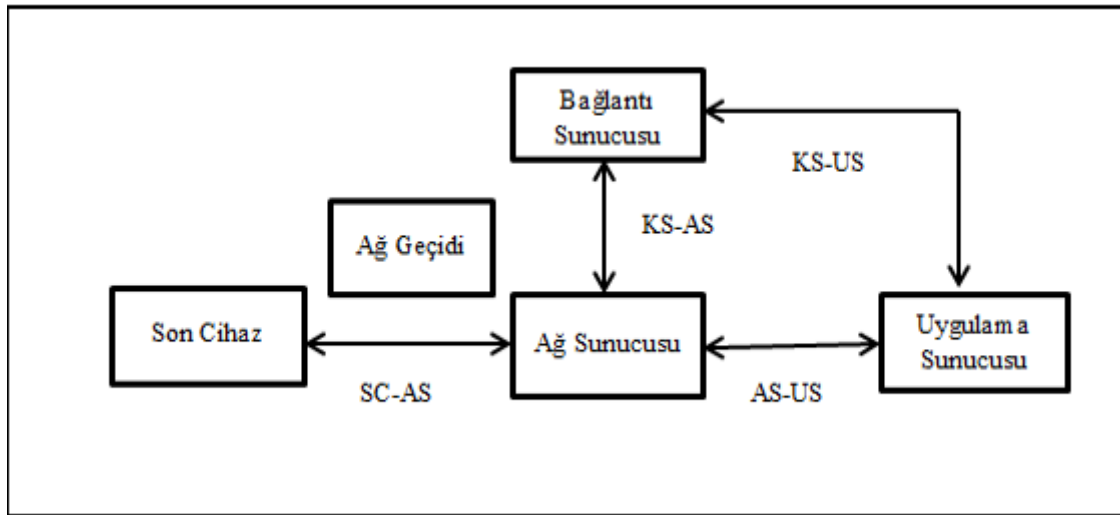
LoRaWAN, LoRa-Alliance tarafından standartlaştırılmış ve çeşitli mobil operatörlerin (örneğin, Fransa'daki Bouygues ve Orange, Hollanda'daki KPN, Güney Afrika'daki Fastnet) 42 ülkede yatırımları ile gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır [10].

2.6. LoRaWAN

LoRaWAN kablosuz bağlı nesneler (LPWAN) için bir ağ tanımlamasıdır. LoRaWAN güvenli iki yönlü iletişim, hareketlilik ve konum hizmetleri gibi nesnelerin ana İnternet gereksinimlerini karşılamayı hedeflemektedir. LoRaWAN tanımlaması, karmaşık yerel kurulumlara ihtiyaç duymadan akıllı nesneler arasında kusursuz bir şekilde birlikte çalışabilmeyi sağlar. Kullanıcı, geliştirici ve kuruluşa IoT ağını kullanma özgürlüğü sunar. Açık bir teknolojidir. Bu, herhangi bir şirketin kendi LoRa ağını oluşturabilmesini ve daha sonra, ağ işlemi için gerekli yongaları ve ağ geçitlerini satın alarak bunları kullanabilmesi esnekliğini sağlar [4].

LoRa Alliance tarafından belirtilen LoRaWAN, LoRa ağları için gerekli olan iletişim protokolünü ve sistem mimarisini tanımlamaktadır. LoRa ağı öncelikli olarak LoRa düğümü ve LoRa Ağ Geçidi, LoRa Ağ Sunucusu ve LoRa Uygulama Sunucusu gibi bileşenlerinden oluşmaktadır. LoRa düğümlerinin genellikle çok sınırlı hesaplama yeteneklerine sahip olup pil ile sağlanabilen güç ile çalışabilmektedir. LoRa ağ sunucuları, çok sayıda LoRa düğümünü desteklemek için gerekli hizmetleri temin etmek konusunda yeterli yeteneğe sahip olmalıdır. Bu nedenle, LoRa ağ sunucusunun mimarisi ve uygulanması, LoRa ağlarının kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [12].

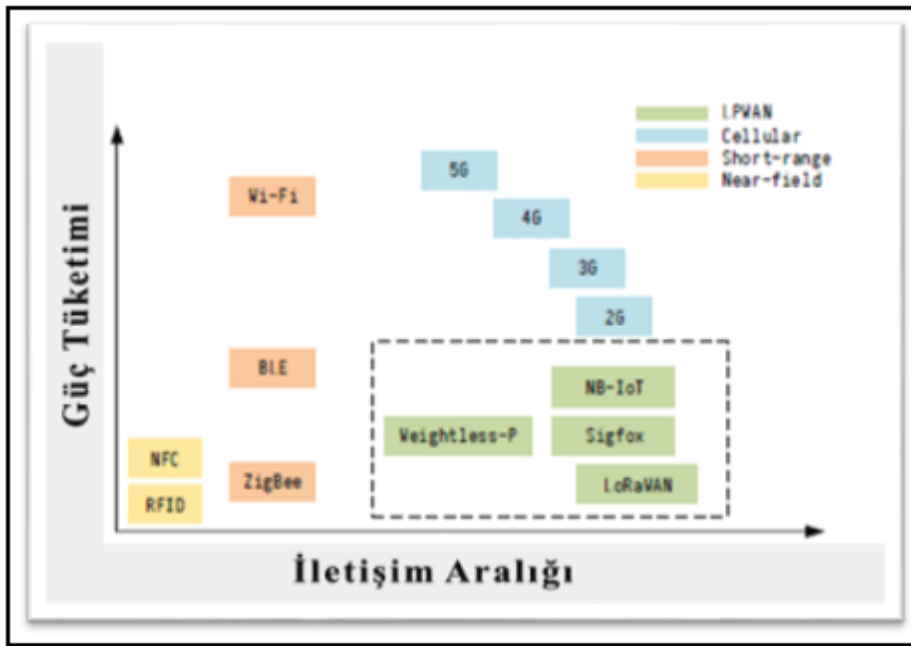
LoRaWAN ağ Modeli Şekil 2.3' de görülmektedir.



Şekil 2.3. LoRaWAN ağ modeli [12]

LoRa, LoRaWAN protokolünün yayılma spektrum modülasyonuna dayanan teknolojiye atfedilen atamadır. 3G ve 4G hücresel mobil ağları, IP (İnternet Protokolü) tarafından bilinen bir iletişim protokolüne dayanmakta olup, LoRa'nın kendisi de kendi LoRaWAN protokolüne dayanmaktadır. Kendi LoRa ağını tasarlamasına ve pazarlamasına izin verilen herhangi bir şirket, bu teknolojiye erişilebilir (Açık Kaynak). Bunu kurmak için, bir Wi-Fi, Ethernet veya 3G bağlantısı aracılığıyla veya 868 MHz frekansında yayın yapan bir baz istasyonu üzerinden (Avrupa'da kullanılan bant) Internet'e bağlı bir antene sahip olmak gerekir. LoRa ağına kapsama kapasitesi, kırsal alanlarda yaklaşık 20 km ve kentsel alanlarda 2 km'ye kadardır [4].

Şekil 2.4 çeşitli kablosuz teknolojiler arasındaki radyo güç tüketimi ve iletişim aralıkları bakımından karşılaştırmaları göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere LPWAN'lar (örneğin, LoRaWAN, Sigfox, Weightless-P ve NB-IoT), iletişim aralığı ile radyo güç tüketimi spektrumunda önemli bir kutup oluşturur. LPWAN sinyallerinin uzun mesafelerde yayılma ve sivil altyapılara nüfuz etme kabiliyeti göz önüne alındığında, IoT nesnelerini uzun mesafelerde veya iç ortamlarda yerelleştirmek için LPWAN sinyallerinden yararlanılması üzerine artan araştırmalar ilgi çekmektedir [11].



Şekil 2.4. Çeşitli telsizler için iletişim aralığı ve güç tüketimi [11]

Akış oranı 0,3 ila 50 kbps arasında değişmektedir. Bant genişliğini optimize etmek ve enerjinin mümkün olduğunca korunmasını sağlamak için nesnelerin ihtiyacına göre mekanik olarak iletim gücüne uyum sağlar. Teknoloji özgür olmamakla beraber, her bir bileşenin LoRa'nın kullanımından yararlanılması için LoRa firması SemTech'e telif hakkı ödenmesi gerekmektedir. LoRaWAN ağının mimarisi genel olarak yıldız şeklindeki topolojide sunulur. Burada ağ geçitleri sensörler ile arka uçtaki merkezi ağ sunucusu arasındaki mesajları bağlayan şeffaf bir köprüyü tanımlamaktadır [4].

Ağ geçitleri standart IP bağlantıları üzerinden ağ sunucusuna bağlanırken, sensörler bir veya daha fazla ağ geçidine kablosuz iletişim kurar. Sensörlerin tüm iletişimleri genellikle iki yönlüdür, ancak aynı zamanda çoklu yayın gibi çalışmayı desteklemektedirler. AIR ara

yüzünde, yazılım yükseltmesine veya havadaki iletişim süresini azaltmak için kitle mesaj dağılımına izin verir. Sensörler ve ağ geçitleri arasındaki iletişim, farklı frekans kanalları ve veri hızları üzerinden dağıtılır. Veri oranını seçmek için iletişim aralığı ve mesajın uzunluğu arasında bir uzlaşma ile sağlanır. Yayılmış Spektrum Teknolojisini kullanarak, farklı veri oranlarıyla iletişim, birbiriyle etkileşime girmez ve ağ geçidinin kapasitesini artıran bir dizi sanal kanal oluşturur [4].

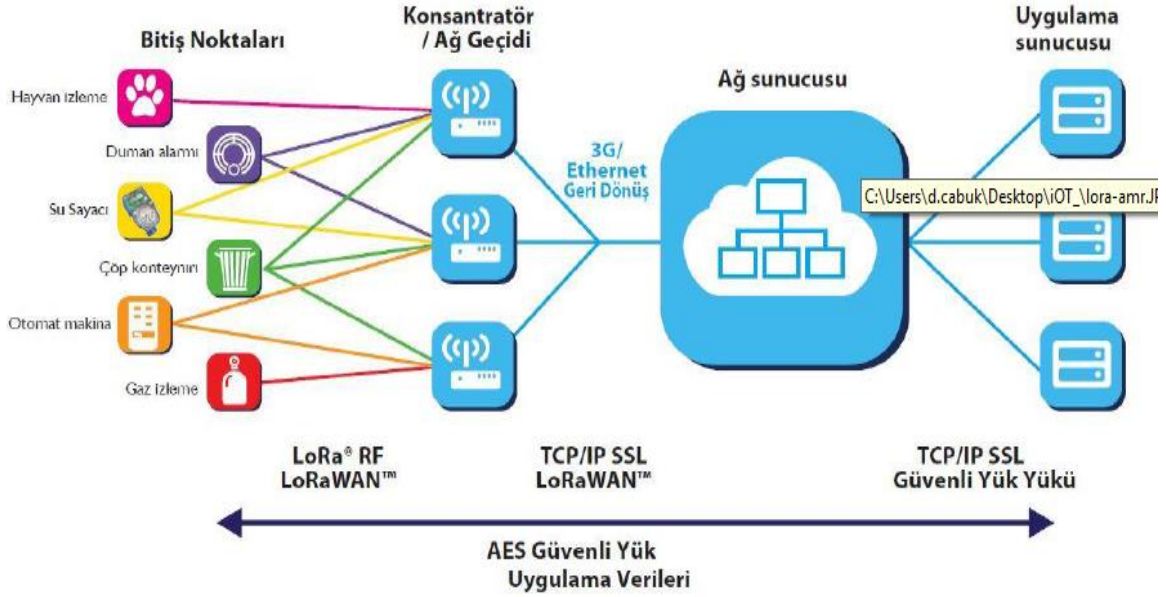
Telsiz iletimlerini güvence altına almak için LoRaWAN protokolü, cihazın kök anahtarlarından türetilen oturum tuşlarını kullanarak simetrik şifrelemeye yapmaktadır. Arka uçta cihazın kök anahtarlarının depolanması ve ilgili anahtar türetme işlemleri Bağlantı Sunucusu tarafından sigortalanır [13].

Bu özellik, Ağ Sunucusu, Uygulama Sunucusu ve Bağlantı Sunucusu ‘nu her zaman birlikte konumlandırılmış gibi ele alır. Bu işlevsellikleri birden fazla ayrık ağ düğümünde barındırmak bu belirtimin kapsamı dışındadır ancak Backend kapsamındadır [13].

Ağ geçitleri ağ sunucusuna güvenli standart IP bağlantıları ile bağlanırken, uç cihazlar bir veya daha fazla ağ geçidine tek atlama LoRa veya FSK iletişimi kullanır. Tüm iletişimler genellikle iki yönlüdür, ancak bir uç cihazdan Ağ Sunucusuna kadar olan bağlantının daha baskın bir trafiğe sahip olması beklenir [13].

Son cihazlar ve ağ geçitleri arasındaki iletişim farklı frekans kanallarında ve veri hızlarında yayılır. Veri hızının seçimi, iletişim aralığı ile mesaj süresi arasında bir denge kurar, farklı veri hızlarıyla iletişim birbirleriyle çakışmaz. Hem son cihazların pil ömrünü hem de genel ağ kapasitesini en üst düzeye çıkarmak için, LoRa ağ altyapısı, her bir uç cihaz için veri hızını ve RF çıkışını, uyarlanabilir veri hızı (Adaptive Data Rate (ADR)) şeması aracılığıyla tek tek yönetebilir [13].

LoRa ağ mimarisi Şekil 2.5’ de verilmiştir.



Şekil 2.5. LoRa ağ mimarisi [4]

Son cihazlar, aşağıdaki kurallara uyulduğu sürece, herhangi bir zamanda mevcut herhangi bir veri hızını kullanarak mevcut herhangi bir kanalda iletebilir;

- Son cihaz, her iletim için sözde rastgele biçimde kanalı değiştirir. Ortaya çıkan frekans çeşitliliği, sistemi parazitlenmeye karşı daha güçlü kılmaktadır.
- Son cihaz, kullanılan alt bant ve yerel yönetmeliklere göre maksimum iletim görev süresine saygı gösterir.
- Son cihaz, kullanılan alt bant ve yerel düzenlemelere göre maksimum iletim süresine (veya kalma süresine) uyar [13].

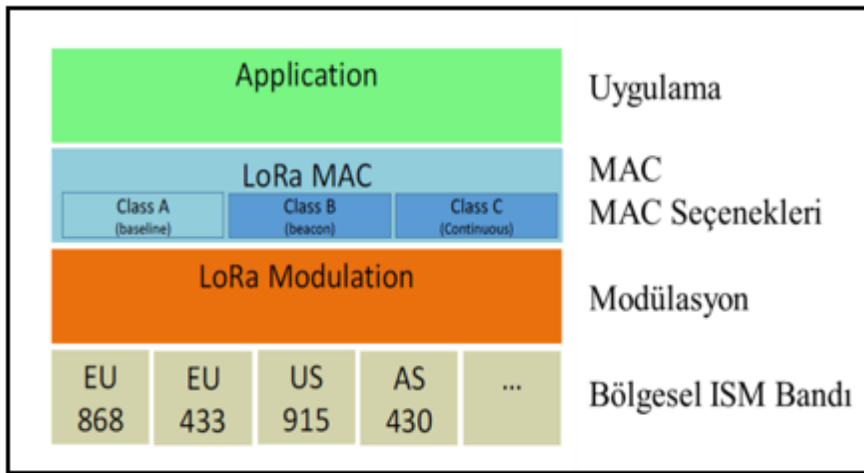
2.6.1. LoRaWAN sınıfları

Tüm LoRaWAN cihazları, A Sınıfı işlevselliği uygulamalıdır. Ayrıca Sınıf B veya Sınıf C olarak adlandırılan seçenekleri uygulayabilirler. Ancak her durumda, A Sınıfı ile uyumlu kalmaları gerekmektedir [13].

Sınıf A ve Sınıf B normalde pil ile çalıştırılırken, Sınıf C şebeke elektriğine sahiptir. Varsayılan olarak, bir LoRa cihazı, özellikle B veya C modunda çalışmak üzere yapılandırılmadıkça, güç tasarrufu özelliklerine sahip bir A Sınıfı cihazdır. Üç çalışma modundaki en büyük fark, ağ geçidinden cihaza gönderilen paketlerin alınmasıdır [14].

LoRaWAN, IoT uygulamalarındaki farklı gecikmeyi ele almak için çoklu iletişim sınıflarını tanımlar [13].

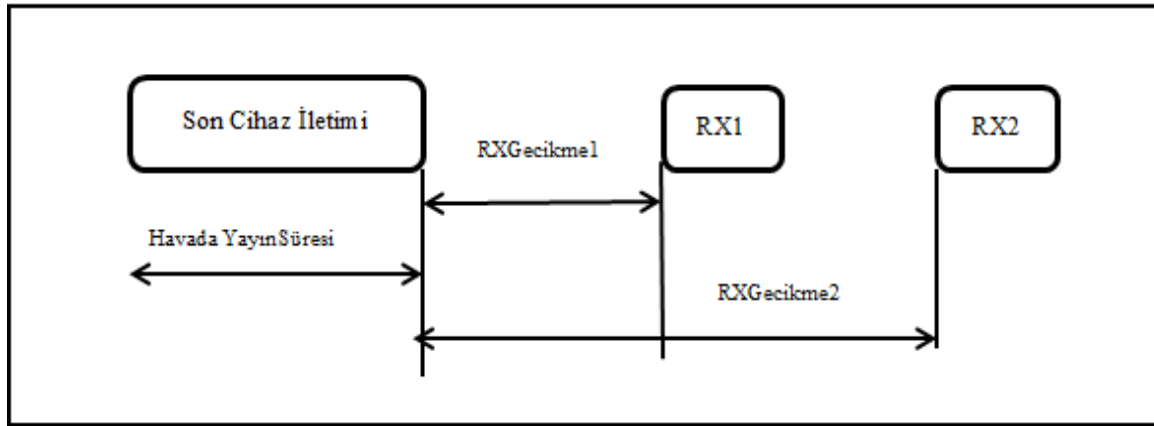
LoRaWAN sınıfları Şekil 2.6’ da görülmektedir. Bir LoRa ağı, temel bir LoRaWAN (Sınıf A olarak adlandırılmış) ve isteğe bağlı özellikler (Sınıf B, Sınıf C) arasında ayırım yapmaktadır [13].



Şekil 2.6. LoRaWan sınıfları [13]

A Sınıfı (Çift yönlü son cihazlar)

Uç cihazlar, her bir uç aygıtın yer-uydu hattı iletiminin Şekil 2.7’de gösterildiği gibi downlink mesajlarını almak için iki kısa pencere takip ettiği iki yönlü iletişim sağlar. Uplink iletim süresi, kendi iletişim ihtiyaçlarına bağlı olarak son cihaz tarafından planlanır. Bu sınıf, son cihaz, bir uplink mesajı gönderdikten sonra sadece kısa downlink iletişimi gerektiren IoT uygulamaları için en düşük güç son cihaz sistemidir. Herhangi bir zamanda downlink iletimi, son aygıtın bir sonraki uplink mesajına kadar beklemek zorundadır [10].

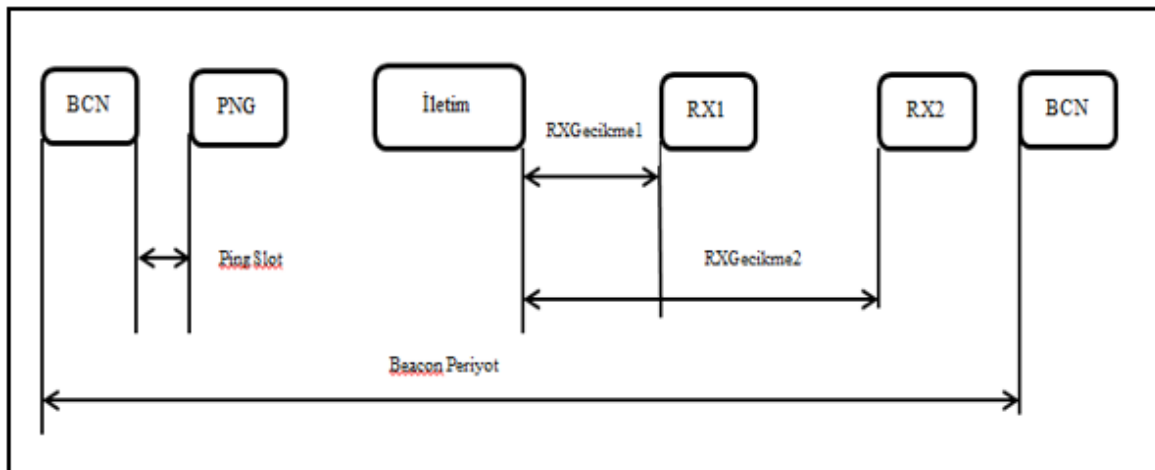


Şekil 2.7. LoRaWAN A sınıfı iletişimi [10]

B Sınıfı (programlanmış alma yuvalarına sahip çift yönlü son cihazlar)

A sınıfı rasgele alma pencerelerine ek olarak, B sınıfı cihazlar, planlanan zamanlarda ekstra alıcı pencereleri açar [10]. LoRaWAN sınıfı B iletişimi Şekil 2.8’ de verilmiştir [15].

Planlanan zamanda alma penceresini açmak için, uç cihazlar baz istasyonundan bir zaman senkronize edilmiş Beacon alır. Bu, sunucunun son cihazın ne zaman dinlendiğini bilmesini sağlar [10].

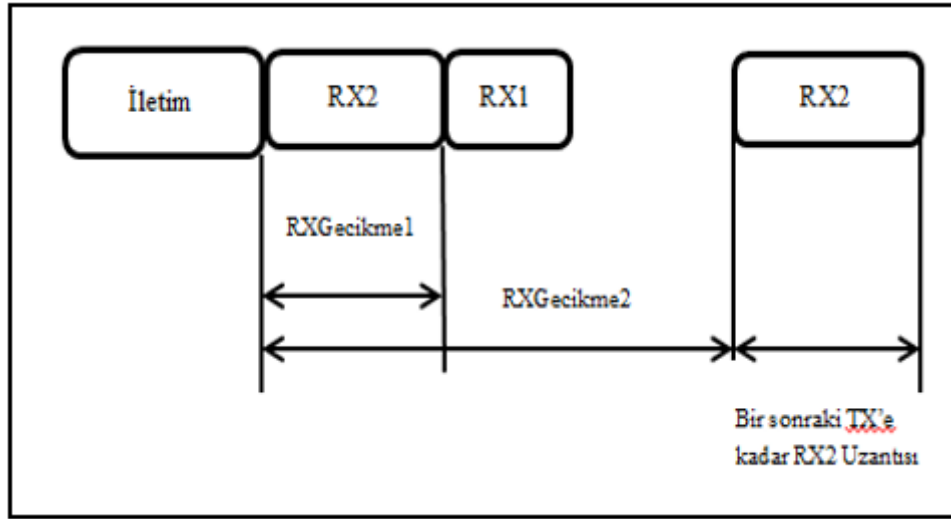


Şekil 2.8. LoRaWAN B sınıfı iletişimi [15]

C Sınıfı (maksimum alma yuvalarına sahip çift yönlü son cihazlar)

Uç cihazlar neredeyse sürekli olarak pencereleri açar. Bu sınıf aşırı enerji tüketmektedir. Sürekli enerji kaynaklarına ihtiyacı olan IoT uygulamaları için tanımlanır [10]. LoRaWAN sınıfı C iletişimi Şekil 2.9’ da görülmektedir [15].

LoRaWAN'ın bir sonraki versiyonu aslında LoRa Alliance tarafından belirlenmektedir. Yeni belirlenen özellikler; B sınıfı netleştirme ile A sınıfı ve C sınıfı arasında geçici geçişlerdir [10].



Şekil 2.9. LoRaWAN C sınıfı iletişimi [15]

LoRaWAN Sınıflarının karşılaştırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir [14].

Çizelge 2.1. LoRaWAN sınıflarının karşılaştırılması [14]

LoRa A Sınıfı	LoRa B Sınıfı	LoRa C Sınıfı
Güçlü batarya	Düşük gecikme süresi	Gecikme yok
Çift yönlü iletişim	Zamanlanmış karşılama yuvalarıyla çift yönlü iletişim	Çift yönlü iletişim
Tek noktaya yayın mesajları	Tek ve çok noktaya yayın mesajları	Tek ve çok noktaya yayın mesajları
Küçük yükler, uzun aralıklar	Küçük yükler, uzun aralıklar, Ağ geçidinden periyodik işaret	Küçük yükler
Son - aygıtlar iletişimi başlatır (uplink)	Ekstra karşılama penceresi (ping yuvası)	Sunucu iletimi istediği zaman başlatabilir
Sunucu önceden belirlenmiş yanıt pencereleri sırasında uç cihazla (alt bağlantı) iletişim kurar	Sunucu sabit aralıklarla iletimi başlatabilir	Son - cihaz sürekli olarak iletişimde

2.6.2. İletim kısıtlamaları

LoRa'nın konfigürasyonu için bazı parametreler vardır. Bunlar; Yayılma Faktörü, Taşıyıcı Frekansı, İletim Gücü, Bant Geniliği ve Kodlama Hızı'dır. LoRa'nın değerlendirilmesi bu parametreler kullanılarak yapılacaktır [16].

Yayılma faktörü (YF)

YF'nin prensibi her bilginin bir kaç yonga gibi kodlanması gerektiğidir. LoRa modülasyonu için bit ve yonga oranı arasındaki bağlantı, yonga oranının bit hızı ve $2YF$ çarpımına eşit olmasıdır. Çoklu bilgi yongaları için sadece tek bir bitin ilişkisi, yayılma faktörünün LoRa paketinin uzunluğu üzerinde doğrudan etkiye sahip olduğunu göstermektedir. YF'deki artış, iletişim aralığı, çalışma süresi, SNR ve paketin duyarlılığı gibi bazı kısıtlamaları artırmaktadır [16].

Taşıyıcı frekansı (TF)

Veri taşımak için değiştirilmiş ve Hertz (saniye başına devir) cinsinden ölçülen önceden ayarlanmış bir frekansın yayınına Taşıyıcı Frekansı denir. Burada, Taşıyıcı frekansı olarak 868 MHz kullanılmaktadır [16].

İletim gücü (İG)

Enerji aktarımı, gücün üretim yerinden faydalı bir iş yapmak için uygulanabileceği bir yere taşınmasıdır. LoRa radyo için İG aralığı -4 dBm ile 20 dBm'dir. Donanıma bağlı olarak 2 dBm ila 20 dBm arasında da olabilir [16].

Bant genişliği (BG)

BG, belirli bir bantta, özellikle de bir sinyali iletmek için kullanılan frekans aralığıdır. Yayılım Faktörü seçimi, BG'ye bağlı olarak denetlenmelidir. Dar bir BG seçmek havadaki zamanla birlikte hassasiyeti artırır. BG'nin artırılması şanzımanı daha hızlı yapar ve hassasiyeti azaltır [16].

LoRa modülasyonu, veri akışını Hertz başına saniye başına yongalarda programlanan bant genişliğine eşdeğer bir yonga hızında çalıştırmaktadır. Bu yüzden, 125 kHz bant genişliğinin 125 kbps chip hızına karşılık gelmesi gerekmektedir. SX1272, 500 kHz, 250 kHz ve 125 kHz programlanabilir bant genişliği ayarlarına sahiptir. SX1276 ise 500 kHz'den 7.8 kHz'e kadar düşük bant genişliğine sahiptir [16].

Kodlama hızı (KH)

KH, radyo bağlantısında parazit patlamaları oluşurken, gerçekte gerekli olan İleri Hata Düzeltme oranıdır. Yükseltilmiş bir KH havadaki zamanı artırır. KH, 4/5, 4/6, 4/7 ila 4/8 arasında seçilebilir [16].

2.6.3. LoRaWAN güvenlik

Güvenlik, herhangi bir kitlesel IoT konuşlandırması için birincil bir endişe kaynağıdır ve herhangi bir LPWAN için son derece önemlidir [14].

LoRaWAN, biri ağ için diğeri ise uygulama için olmak üzere iki güvenlik katmanını kullanır. Ağ güvenliği ağdaki düğümün doğruluğunu sağlarken, uygulama güvenliği katmanı, ağ operatörünün son kullanıcının uygulama verilerine erişememesini sağlar [14].

Buna göre, LoRaWAN özelliği iki şifreleme katmanını tanımlar;

- Son cihaz ve ağ sunucusu arasında paylaşılan benzersiz bir 128-bit Ağ Oturum Anahtarı (NwkSKey).
- Uygulama düzeyinde uçtan uca paylaşılan benzersiz bir 128-bit Uygulama Oturum Anahtarı (AppSKey) [14].

LoRaWAN üzerindeki veriler sensör verileri düğüm tarafından ve daha sonra tekrar LoRaWAN protokolü ile şifrlenmek üzere iki kez şifrlenir. Ancak o zaman LoRa Ağ Geçidine gönderilir. Ağ Geçidi normal IP ağı üzerinden veriyi ağ sunucusuna gönderir [14].

Ağ sunucusu Ağ Oturum Anahtarlarına (NwkSKey) sahiptir ve LoRaWAN verilerinin şifresini çözer. Ardından verileri Uygulama Oturum Anahtarını (AppSKey) kullanarak sensör verisinin şifresini çözen Uygulama Sunucusuna iletir [14].

Bu, LoRa Ağ Geçidi açık frekansta çalıştığından, yakınlardaki herhangi bir sensörden veri alabilmesi nedeniyle önemlidir. Bu nedenle, LoRa Ağ Geçitlerinin sensör verilerinin şifresini çözme yeteneğinin olmaması önemli hale getirmektedir [14].

Şifrelemeyi ekleyen LoRaWAN iletişim protokolü olduğuna dikkat etmek önemlidir. LoRa iletimleri kendiliğinden basit bir radyo dalgası iletimidir ve şifrelenemez.

LoRaWAN cihazlarının ağa katılmak için iki yolu vardır. Birincisi OTAA, Havadan Aktivasyondur. Cihaz ve ağ, 128-bit bir AppKey alışverişi yapar. Cihaz birleştirme isteği

gönderdiğinde, AppKey bir Mesaj Bütünlüğü Kodu (MIC) oluşturmak için kullanılır, ardından sunucu AppKey ile MIC'i kontrol eder. Onay geçerliyse, sunucu iki yeni 128 bit anahtar, AppSkey ve NwkSkey oluşturur. Bu anahtarlar, AppKey'i şifreleme anahtarı olarak kullanarak cihaza geri gönderilir. Anahtarlar alındığında, cihaz şifresini çözer ve iki oturum anahtarını yükler [14].

NwkSkey, cihazdan LoRa Ağ Sunucusuna mesaj bütünlüğünü garanti etmek için kullanılır. AppSkey, cihazdan Uygulama Sunucusuna uçtan uca AES-128 şifrelemesi için kullanılır. Ağa katılmak için ikinci yöntem Kişiselleştirme ile Etkinleştirme'dir. Bu durumda cihaz oturum anahtarları kullanıcı tarafından girilir, böylece güvenlik sorunları yaşanabilir [14].

2.6.4. LoRaWAN bant genişliği konuları

LoRaWAN verileri dijital formatta bayt şeklinde iletilir. Değişken koşullarda veri yüklerinin güvenilir iletimi için pratik sınırlama 100 bayttır. Hafifçe yukarı çıkmak mümkün olsa da, maksimum 100 bayt maksimum iyi bir çalışma kuralıdır [14].

LoRaWAN ağları, uzun bir süre boyunca her 7 saniyede bir gönderilen 100 baytlık mesaj ile başarı ile test edilmiştir. Bununla birlikte, pratikte, dakikada bir kez iletmekten daha sık bir şey yapılması önerilmez. Tek bir ağ geçidinin aynı anda binlerce LoRa düğümünü işlemesi mümkündür [14].

2.6.5. LoRaWAN avantajları

- Düşük Güçlü sensörler ve kilometrelerce ölçülen geniş kapsama alanına sahiptir.
- Ücretsiz (lisanssız) frekanslarda çalışır, teknolojiyi kullanmak için önceden lisans ücreti alınmaz.
- Sınıf A ve Sınıf B kullanımındaki cihazlar için uzun pil ömrü anlamına gelir.
- Tek LoRa Gateway cihazı binlerce uç cihaza veya düğüme bakmak için tasarlanmıştır.
- Basit mimarisi sayesinde dağıtımı kolaydır.
- Bu yaygın M2M / IOT uygulamalar için kullanılır.
- 12 bayt olan SigFox ile karşılaştırıldığında daha iyi taşıma kapasitesine sahiptir (100 bayt).

- Açık bir ittifak ve açık bir standarttır. Rakip SigFox'a kıyasla açık teknolojiye sahiptir.
- Maksimum günlük mesaj sayısında kısıtlama yoktur (140 / gün SigFox sınırlamasına kıyasla).
- LoRaWAN tescilli olmak yerine Açık bir yaklaşımla ittifak olma avantajına sahiptir (SigFox).
- Uzun menzilli akıllı şehir uygulamaları gibi çözümler sağlar.
- Düşük bant genişliği, daha az veri içeren veya sabit olmayan veri iletimlerinde pratik IoT dağıtımları için idealdir.
- Düşük bağlantı maliyetine sahiptir.
- Kablosuz teknoloji, kurulumu kolay ve hızlı dağıtım özelliğindedir.
- Uygulama ve ağ için AES şifrelemeli bir güvenlik katmanına sahiptir.
- Tamamen iki yönlü iletişim sağlanmaktadır [14].

2.6.6. LoRaWAN dezavantajları

- Büyük veri yükleri için uygun değildir. Yük 100 bayt ile sınırlıdır.
- Sürekli izleme için uygun değildir (C Sınıfı cihazlar hariç).
- Düşük gecikme süresi ve sınırlı titreşim gereksinimleri gerektiren gerçek zamanlı uygulamalar için ideal bir aday değildir.
- LoRaWAN ağlarının yoğunlaştırılması, LPWAN teknolojilerinin ve özellikle LoRaWAN'ın yayılması, ağ geçitlerinin konuşlandırılmasının kentsel alanlara yayılmasıyla birlikte var olma zorlukları ortaya çıkarmaktadır.

Açık frekansın dezavantajı, bu frekansa parazitlenebileceğiniz ve veri hızının düşük olabileceğidir. (GSM veya lisanslı frekans için bu frekansı herhangi bir parazit olmadan iletebilirsiniz. Belirli frekansları kullanan GSM operatörleri, bu frekansların kullanımı için devlete büyük bir lisans ücreti ödemektedirler. Açık frekansların ülkeden ülkeye farklı olmasına rağmen LoRa, açık ve frekans kullanımı için devlete lisans ücreti ödemeye ihtiyaç duymayan frekanslarda çalışmaktadır [14].

2.7. LPWAN Teknolojisi Faktörleri

Bir IoT uygulaması için uygun bir LPWAN teknolojisi seçmek için çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar aralık, kapsam, aygıt ömrü, gecikme, ölçeklenebilirlik, yük uzunluğu, dağıtım, hizmet kalitesi ve maliyettir [17].

2.7.1. QoS hizmet kalitesi

LoRa lisanssız spektrum kullanan asenkron bir protokoldür. CSS modülasyonuna dayalı LoRa, parazit, çok yollu ve solma işlemlerini gerçekleştirebilir [14]. Parazitleri ve çoklu yolu verimli bir şekilde yansıtabilir, ancak hizmet kalitesi sınırlıdır [17].

2.7.2. Pil ömrü ve gecikme

LoRaWAN uç cihazlar, ihtiyaç duyulduğu kadar tüketilen enerji miktarını (yani, uzun uçlu cihazların kullanım ömürleri) azalttıkça, çoğu zaman uyku modundadır [10] .

LoRaWAN' daki cihazlar, asenkron olduğu için uygulamada istedikleri kadar az veya uzun süre uyuyabilirler [14]. LoRaWAN, daha yüksek enerji tüketimi pahasına düşük çift yönlü gecikmeyi de yönetmek için C sınıfını sağlar. Bu nedenle LoRaWAN Sınıf A, gecikmeye karşı duyarsız uygulamalar için en iyi çözümdür. Düşük gecikme süresine sahip IoT uygulamaları için LoRaWAN Sınıf C daha iyi bir seçimdir [10].

2.7.3. Ağ kapsama alanı ve aralığı

LoRaWAN, Barselona gibi üç ayrı istasyonla bütün bir şehrin kapsanmasına izin veren daha düşük menzile sahiptir [6]. LoRaWAN ekosisteminin önemli bir avantajı esnekliğidir. LoRaWAN, daha geniş bir ağ kapsama alanına sahip olabilir. Maksimum bağlantı kaybı (Maximum Communication Lost, MCL), servisin verilebileceği bağlantı kaybının sınır değeridir ve bu nedenle servis aralığını tanımlar [17].

2.7.4. Ölçeklenebilirlik ve yük uzunluğu

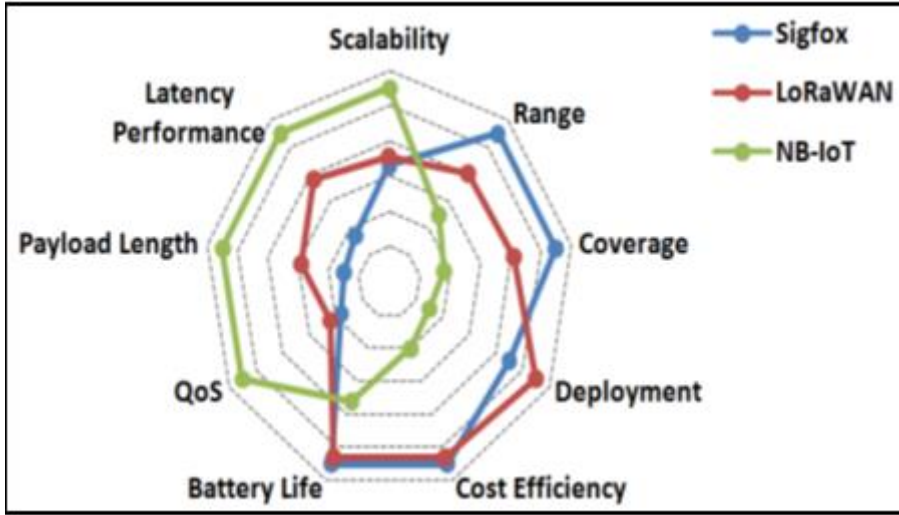
Binlerce son cihazı desteklemek LoRaWAN için en önemli özelliklerden biridir. Bu hücreli LPWAN ağları, yüksek ölçeklenebilirlik özelliği sağlar. Ancak NB-IoT, SigFox ve LoRaWAN' dan çok yüksek ölçeklenebilirlik avantajı sunmaktadır. NB-IoT, SigFox ve LoRaWAN için her hücre başına 50 bin ile karşılaştırıldığında baz istasyon başına 100 binden fazla cihazın bağlanmasına izin vermektedir. LoRaWAN, maksimum 243 bayt gönderilmesine izin verir [6].

2.7.5. Dağıtım modeli

LoRaWAN, yerel ağ dağıtımını (yani LoRa ağ geçidini kullanan LAN) ve baz istasyonları aracılığıyla genel ağ operasyonunu sunar. Sanayi alanında, fabrika alanlarındaki yerel bir LoRaWAN ağını dağıtan ve dış bölgeleri kapsayacak şekilde kamu üssü istasyonlarını kullanan bir hibrid işletme modeli kullanılabilmektedir [6].

2.7.6. Maliyet

Spektrum maliyeti, ağ maliyeti, cihaz maliyeti ve dağıtım maliyeti gibi dikkate alınması gereken farklı maliyet unsurları vardır [17]. Spektrum (lisans), dağıtım ve son cihaz maliyetleri dahil olmak üzere çeşitli maliyet faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. SigFox ve LoRaWAN, NB-IoT' ye kıyasla maliyet oranında avantajlı bir durumdadır. Özetle, her LPWAN teknolojisi, Şekil 2.10' da gösterilen farklı IoT faktörleri açısından avantajlara sahiptir [10].



Şekil. 2.10. Sigfox, NB-IoT, ve LoRaWAN avantaj karşılaştırılması [10]

LoRa veri şifrelemesi sağlar ve cihazların cihaz kimlik doğrulaması ile ilgilenir. Mevcut yapıda, hepsinin yerinde güvenlik mekanizmasına sahip olması gerekmektedir. Ancak, bu teknolojilerin, şu anda yürürlükte olan statik anahtar değişim yönteminden başka kimlik hırsızlığını nasıl önleyeceği çok açık değildir [17].

LoRaWAN güvenlik karşılaştırması ise Çizelge 2.2' de sunulmuştur. Farklı LPWAN teknolojilerinin sağladığı güvenlikler birbirinden farklıdır. Çoğu aygıt veya abone kimlik doğrulaması, ağ kimlik doğrulaması, kimlik koruması, gelişmiş standart şifreleme (Advanced Encryption Standard AES), mesaj gizliliği vb. içermektedir. [9]

Çizelge 2.2. LoRaWAN güvenlik karşılaştırması [8]

S.No	Açıklama	LoRa	SigFox	NB-IOT
1	Güven Doğrulama Zinciri	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Önceden paylaşılmış sırrın doğruluğunu kullanarak Yanıtlama/Reddetme
2	Şifre Değişim ve Dağıtım	Statik şifre değişimi, rotasyonsuz	Önceden yüklenmiş kimlik doğrulama şifresi	Statik şifre değişimi, rotasyonsuz
3	Şifre Üretimi ve Depolama	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
4	Veri aktarımı	AES,CMAC ve Önceden paylaşılmış şifre	Varsayılan olarak, veriler herhangi bir şifreleme olmadan AIR ara yüzü üzerinden taşınır. Her cihazın benzersiz bir statik kimliği vardır. Uygulama katmanında uçtan uca şifreleme yapabilme özelliğine sahiptir.	LTE veri iletimi şifrelemesi: AES
5	Ağ Erişim Kontrolü	Ağa kaydolmadan önce, önceden paylaşılan gizli kimlik doğrulaması	Ağa kaydolmadan önce, önceden paylaşılan gizli kimlik doğrulaması	Önceden paylaşılmış kimliğin doğruluğunu kullanarak Yanıtlama/Reddetme

3.1. Su Sayacı Okunması

Su sayaçların okunması, saat üzerinde bulunan değerlerin okunması sonucunda ortaya çıkar. (Şekil 3.2. Su Sayacı Göstergesi). Su sayaçları çeşitli oldukları için okunmaları da farklıdır. Genellikle sayaçların üzerindeki siyah rakamlar okunur. Bazılarında siyahın devamında kırmızı rakamlar da vardır ancak bunlar, dikkate alınmaz. Sayaçlarda siyah rakamlar m³ olarak okunurken kırmızı rakamlar ise litre cinsinden okunur. Su bedeli ise m³ cinsinden hesaplanarak ödenmektedir [18].

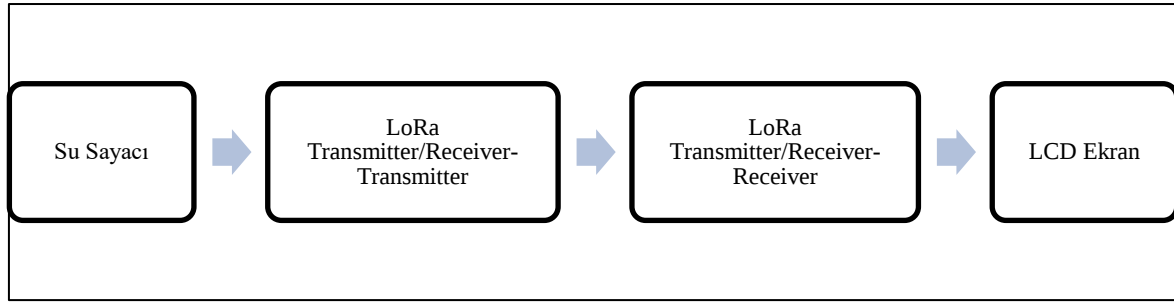


Şekil 3.2. Su sayacı göstergesi [18]

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM

Bu çalışmada su sayaç verilerinin iletilmesi ve uzaktan izlenmesi amacı ile nispeten düşük güç tüketimi ile uzun mesafelerde veri iletimi sağlayan ve gürültü bağıışıklığı yüksek olan LoRa modüller kullanılmıştır. Sistem gerçeklemesinden sonra, klasik yöntemlerde su sayaçlarını okumak için insan unsurunun kullanıldığı okuma personel verileri ile gerçekleştirilen sistem ile elde edilen kayıtlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen sistemin blok şeması Şekil 4.1’de görölmektedir.

Tasarlanan sistemde veri iletişimi ve görüntülenmesi için kullanılan temel blok şeması Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sistemin blok şeması

Bu çalışmada kablosuz ağ sistemi kurularak belirli mesafelerde su sayacı ölçüm verilerinin iletilmesi sağlanmıştır. Sistemin temel bileşenleri aşağıda verilmiştir:

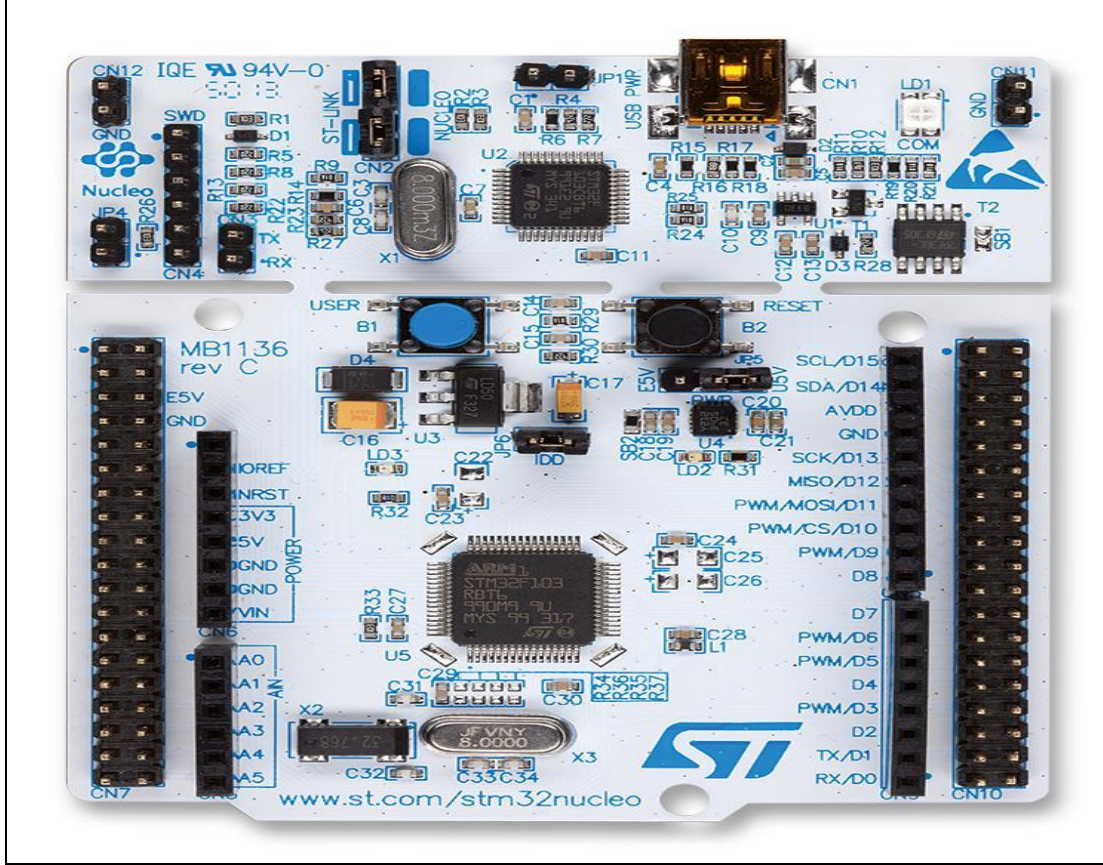
- 2 adet STM32L152RE nucleo board
- 2 adet SX1276 mbed LoRa alıcı-verici
- 1 adet su sayacı
- 1 adet LCD ekran’ dan yararlanılmıştır.

4.1. Kullanılan Donanım ve Genel Özellikleri

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için kullanılan donanımlar ve bunların temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1. STM32L152RE Nucleo-64

STM32L152RE Nucleo-64 Board Resim 4.1' de verilmiştir.



Resim 4.1. STM32L152RE Nucleo-64 kartı board [20].

Kartın genel özellikleri

- LQFP64 paketindeki STM32 mikro denetleyici
- Arduino ile paylaşılan bir adet kullanıcı LED diyot
- Birer adet Kullanıcı ve sıfırlama butonu
- 32.768 kHz kristal osilatör
- Kart konektörleri:
 - Arduino Uno V3 genişletme konektörü
 - ST STM32 I / O'lara tam erişim için ST morpho uzatma pim başlıkları
- Esnek güç kaynağı seçenekleri: ST-LINK, USB VBUS veya harici kaynaklar

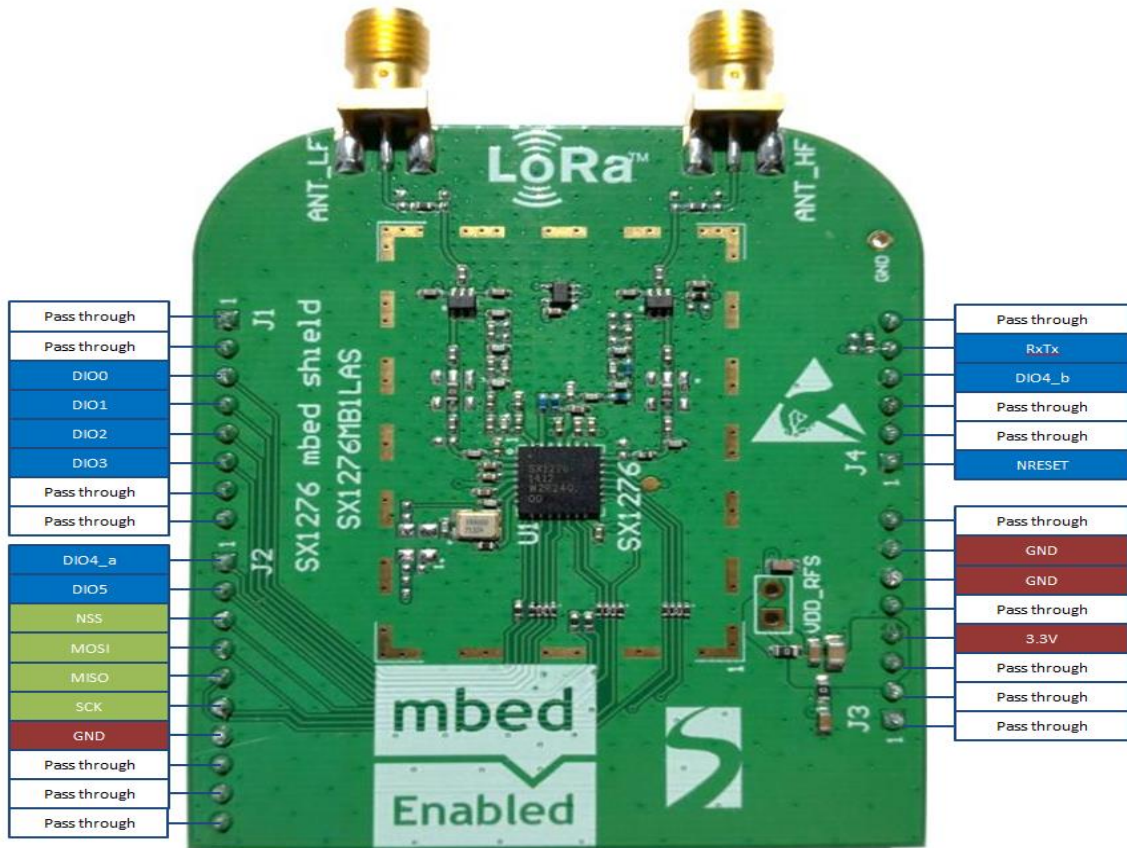
- USB yeniden numaralandırma özelliğine sahip yerleşik ST-LINK hata ayıklayıcı / programcı: toplu depolama, Sanal COM bağlantı noktası ve hata ayıklama bağlantı noktası [20].

Kartın temel özellikleri

- Harici SMPS, Vcore lojik kaynağı oluşturmak için
- 24 MHz HSE
- Kart konektörleri:
 - SM Harici SMPS deneme özel bağlayıcı
 - ST-LINK için Micro-AB veya Mini-AB USB konektörü
 - IP MIPI® hata ayıklama konektörü [20].

4.1.2. SX1276 LoRa alıcı-verici modül

Hem alıcı ve hem de verici olarak kullanılabilen SX1276 Alıcı-Verici Modül Resim 4.2’ de görülmektedir.



Resim 4.2. SX1276 LoRa alıcı-verici modül [21]

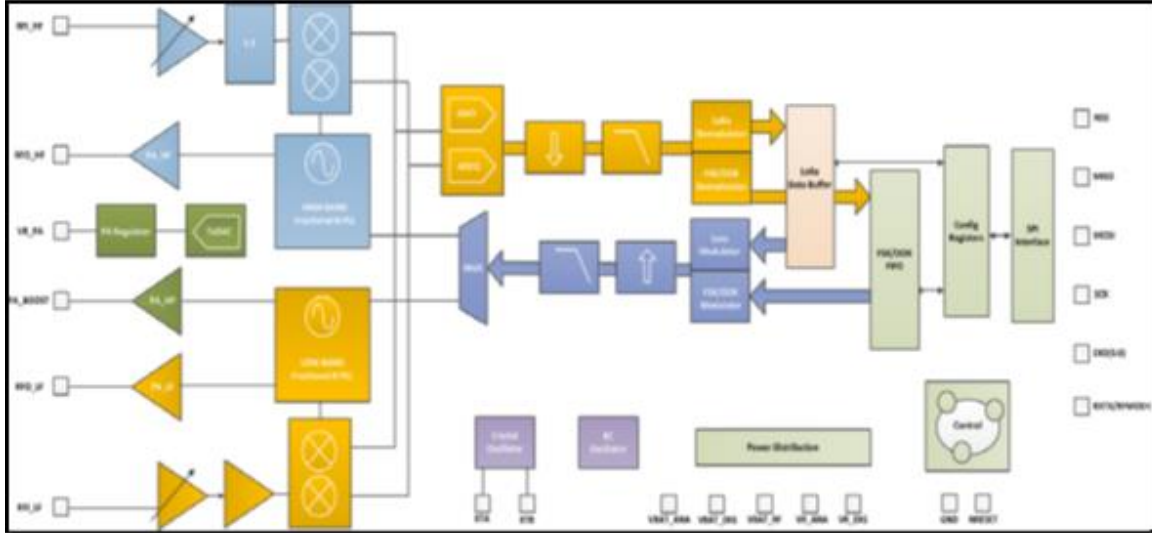
SX1276 alıcı-verici, son derece uzun yayılma spektrum iletişimi ve yüksek parazit bağışıklığı sağlarken mevcut tüketim miktarını en aza indiren LoRa uzun menzilli modeme sahiptir. Semtech'in patentli LoRa modülasyon tekniğini kullanarak, SX1276 düşük maliyetli bir kristal ve malzeme listesi kullanarak -148dBm üzerinde bir hassasiyet elde edebilir. Entegre +20 dBm güç amplifikatörü ile birleştirilen yüksek hassasiyet, endüstri lideri bağlantı bütçesi sunar ve menzil veya sağlamlık gerektiren tüm uygulamalar için en uygun hale getirir. LoRa aynı zamanda menzil, girişim bağışıklığı ve enerji tüketimi arasındaki geleneksel tasarım uyumunu çözerek, geleneksel modülasyon tekniklerine göre hem engelleme hem de seçicilik açısından önemli avantajlar sağlar. Cihaz ayrıca WMBus, IEEE802.15.4g gibi sistemler için yüksek performanslı (G)FSK modlarını da desteklemektedir. SX1276, rakip cihazlardan çok daha düşük akım tüketimi için olağanüstü faz gürültüsü, seçicilik, alıcı doğrusalılığı ve IIP3 sunar. SX1276 geniş bir frekans aralığında uygulamalar için tasarlanmıştır ve mevcut tüm GHz frekans bantlarını kapsar (168MHz, 434MHz, 470MHz, 868MHz ve 902MHz). SX1276, gerçekten tek bir pakette iki modem imkanı sunmaktadır ve hem ETSI hem de FCC düzenleme gerekliliklerine uymaktadır [21].

SX1276 alıcı-verici modülün temel özellikleri

- 168 dB maksimum bağlantı bütçesi
- +20 dBm - 100 mW sabit RF çıkışı vs. V beslemesi
- 300 kbps'ye kadar programlanabilir bit hızı
- Yüksek hassasiyet: -146.5 dBm'ye kadar
- Kurşungeçirmez ön uç: IIP3 = -12 dBm
- 100 dB engelleme bağışıklığı
- 10 mA, 200 nA kayıt tutma değerinin düşük RX akımı
- 61 Hz çözünürlükte tam entegre sentezleyici
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LORA ve OOK modülasyonları
- Saat kurtarma için dahili bit eşleyici
- Senkronizasyon kelime tanıma
- Giriş algılama
- 115 dB + Dinamik Aralık RSSI
- Ultra hızlı AFC ile otomatik RF Sense
- CRC'li 64 bayta kadar paket motoru

- Dahili sıcaklık sensörü ve Düşük Pil göstergesi [21].

SX1276/77/78/79 Blok Şematik Diyagram Şekil 4.2' de görülmektedir.

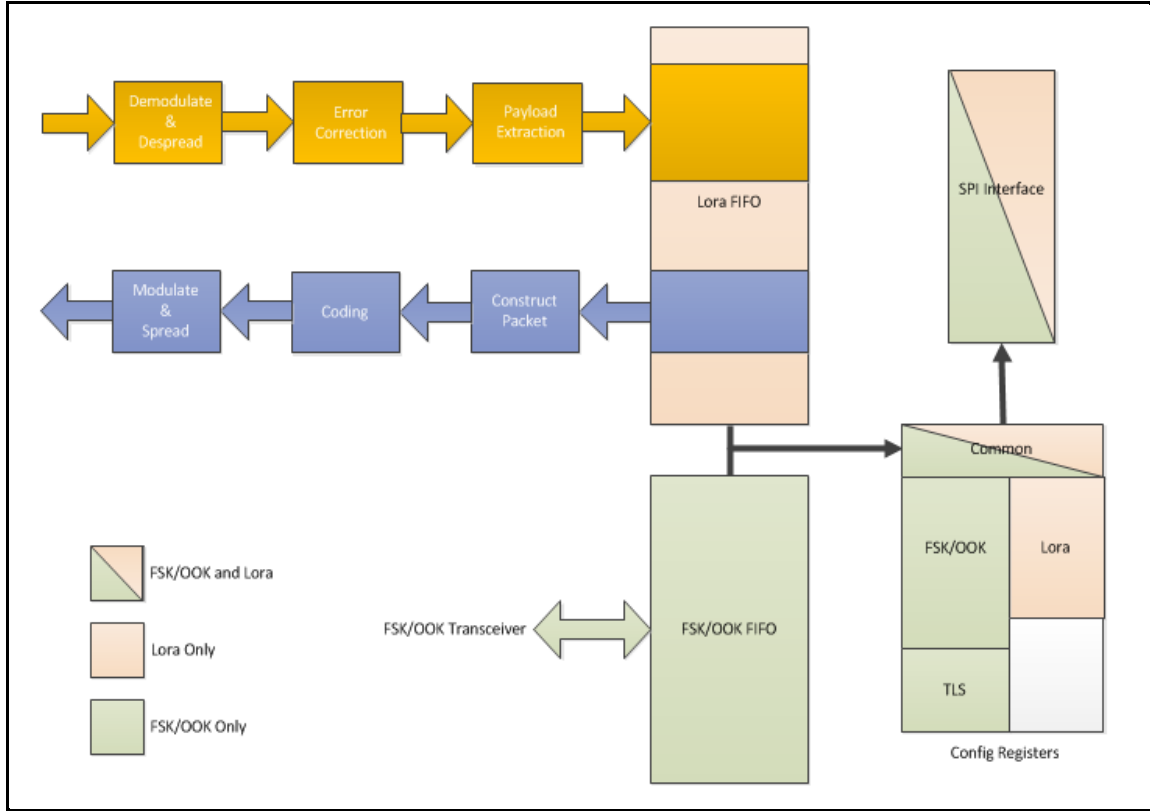


Şekil 4.2. SX1276/77/78/79 LoRa modülün blok şematik diyagramı [21]

Semtech'in tescilli modülasyonu olan LoRa, frekansı belli bir süre boyunca artan veya azalan bilgileri kodlamak için geniş bant doğrusal frekans modülasyonlu titreşimler kullanan bir yayılı spektrum tekniğidir. Diğer yayılı spektrum modülasyon tekniklerinde olduğu gibi, LoRa bir sinyal yayınlamak için tüm kanal bant genişliğini kullanır, bu da kanal gürültüsünü sağlamlaştırır. Ek olarak, LoRa modülasyonu geniş bir spektrum bandı kullandığı için uzun vadeli göreceli frekans hatası, çok yollu, solma ve Doppler etkilerine karşı da dirençlidir.

LoRa modem özel bir yayılı spektrum modülasyon tekniği kullanır. Bu modülasyon, eski modülasyon tekniklerinin aksine, bağlantı bütçesinde bir artışa ve bant içi girişime daha fazla bağışıklık sağlar. Aynı zamanda, kristal referans osilatörünün frekans tolerans gereksinimi gevşetilmiş olup, sistem maliyetinde bir düşüş için performans artışı sağlar [21].

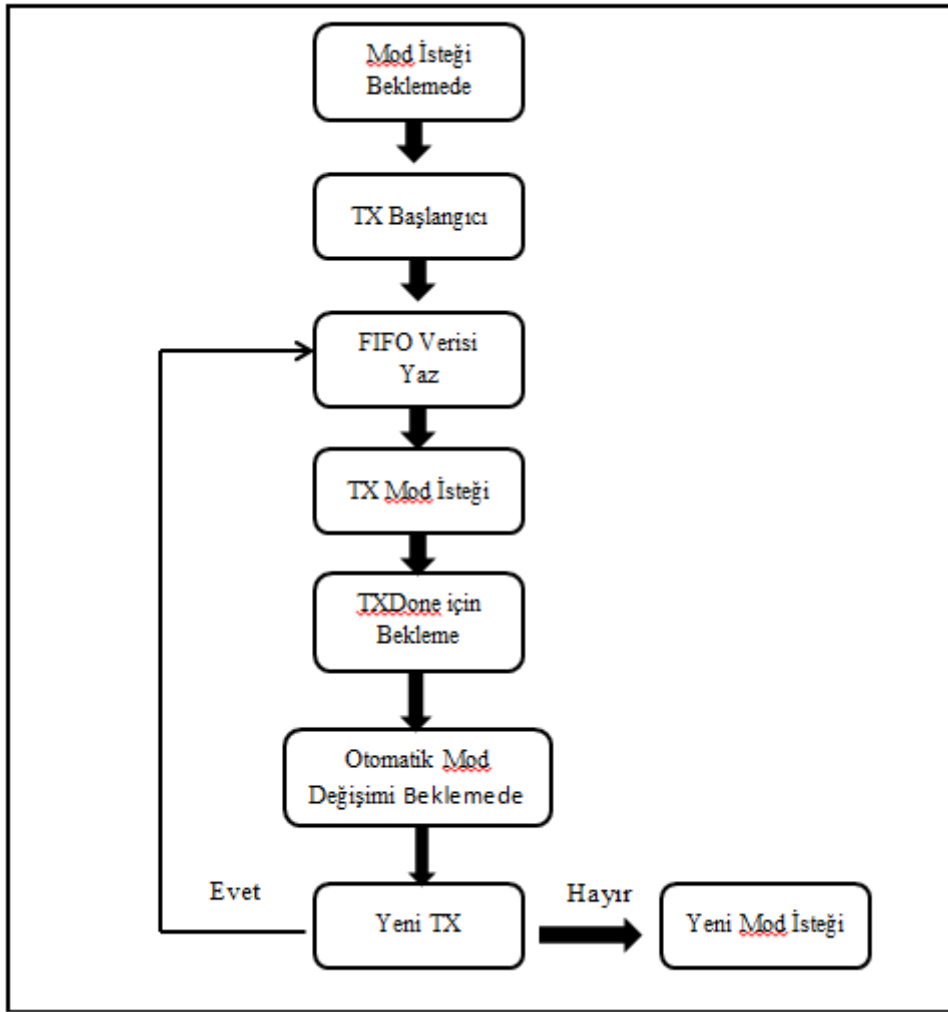
LoRa Modem Bağlantısı Şekil 4.3' te görülmektedir.



Şekil 4.3. LoRa modem bağlantısı [21]

İletim modunda, güç tüketimi, sadece paket verilerinin iletilmesi gerektiğinde RF bloklarının etkinleştirilmesiyle optimize edilir. Statik yapılandırma kayıtlarına yalnızca Uyku modunda veya Bekleme modunda erişilebilir. LoRa FIFO yalnızca Bekleme modunda doldurulabilir. Veri aktarımı, TX modu isteği gönderilerek başlatılır. Tamamlandığında TXDone kesmesi verilir ve telsiz Bekleme moduna döner. Aktarımın ardından telsiz manuel olarak Uyku moduna getirilebilir veya FIFO bir sonraki TX işlemi için yeniden doldurulabilir. Transmisyon Aktarımın ardından telsiz manuel olarak Uyku moduna alınabilir veya FIFO sonraki TX işlemi için yeniden doldurulabilir [21].

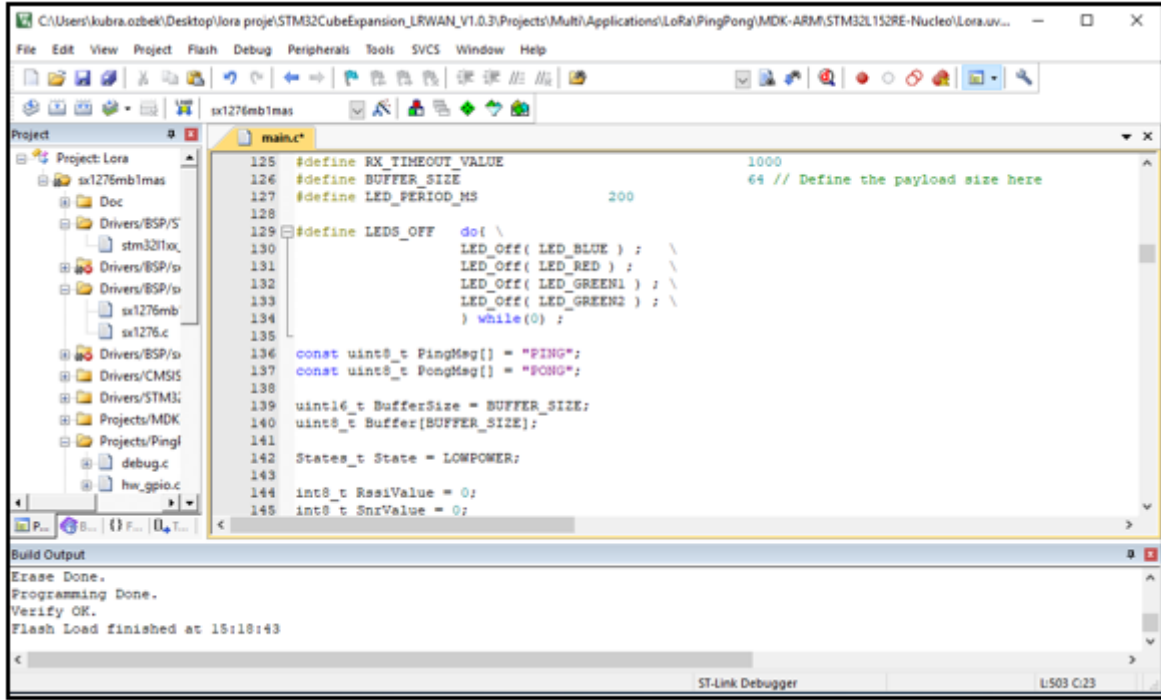
LoRa Modülasyon iletim sırası Şekil 4.4’ te görülmektedir.



Şekil 4.4. LoRa modülasyon iletim sırası [21]

4.2. Programlayıcı ve Yazılım Geliştirme

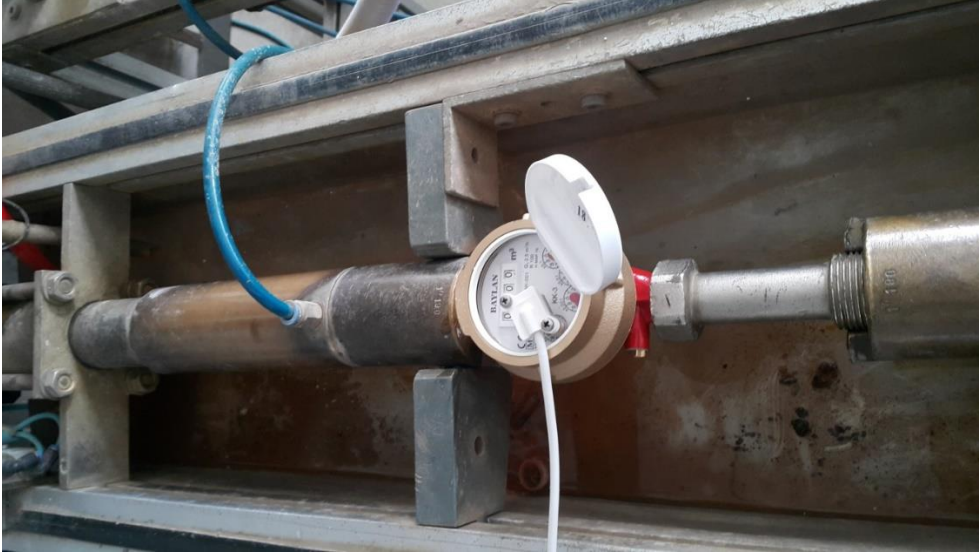
Cihazların programlaması için Resim 4.3'te gösterilen Keil Uvision 5 Programı kullanılmıştır [22].



Resim 4.3. Programlama için kullanılan Keil Uvision 5 programı [22]

4.3. Gerçekleştirilen Sistemin Bir Sayaç Muayene İstasyonunda Uygulaması

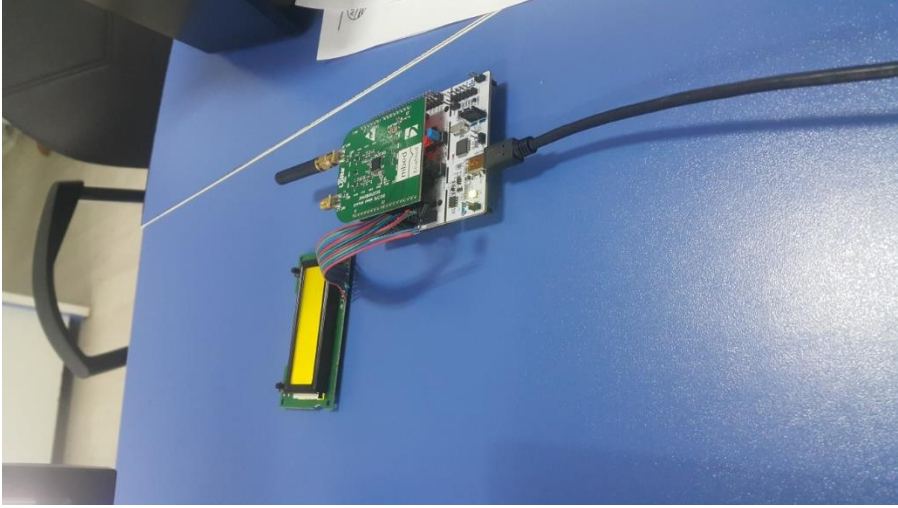
LoRa modülleri arasındaki iletişim bağlantıları için önce temel mesafe testleri yapılmıştır. LoRa modüllü cihazlardan biri sayaç verisini iletmek için su sayacına bağlanmıştır. Bağlanan sayaçtan veri alımı yapabilmek için su sayacı Resim 4.4 ve Resim 4.5'te gösterildiği gibi sayaç muayene istasyonuna takılarak su geçişi olması sağlanmıştır. Sayaçtan su akımı geçtikçe Resim 4.6 ve Resim 4.7'de görüldüğü gibi LCD ekran kullanılarak bağlantısı yapılan cihaza sayaç verisinin gelip gelmediği kontrolleri sağlanmıştır.



Resim 4.4. Sayacın istasyona bağlanması



Resim 4.5. Sayacın muayene istasyonunda haberleşme bağlantısı

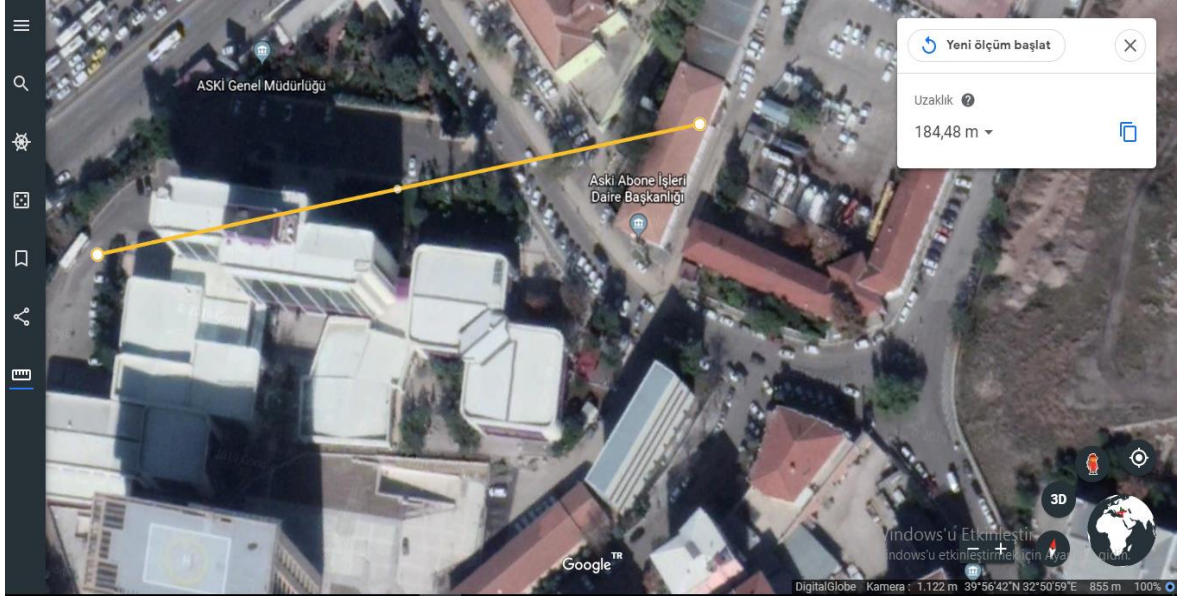


Resim 4.6. 13,51 m mesafe için LCD ekrana verinin gelmesi

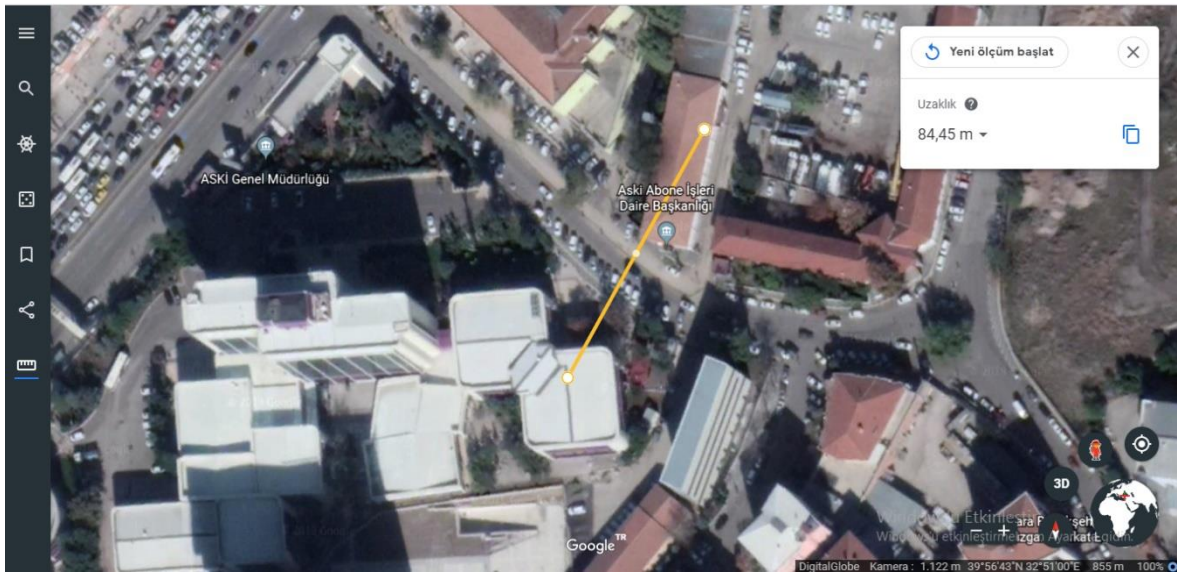


Resim 4.7. 84,45 m mesafe için LCD ekrana verinin gelmesi

Resim 4.8 ve Resim 4.9’da sırası ile 184,48 m ve 84,45 m için yapılan testlerinden ikisi gösterilmiştir. Bu testlerde alıcı ve verici birimler arasında bağlantının başarı ile kurulduğu ve etkin bir haberleşmenin sağlandığı görülmüştür.



Resim 4.8. 184,48 m mesafe için veri iletimi testi



Resim 4.9. 84,45 m mesafe için veri iletimi testi

Mesafeye ve bu mesafelerde veri iletişiminin gerçekleşme başarısının ölçülmesine yönelik olarak yapılan testlerde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Bu tabloda Test 1 ve Test 12 için sırası ile verilen 1 m ile 956,58 m arasındaki çeşitli mesafelerde veri iletiminin başarı ile sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. Mesafeye dayalı veri iletişiminin gerçekleştirme başarısının ölçülmesine yönelik testler

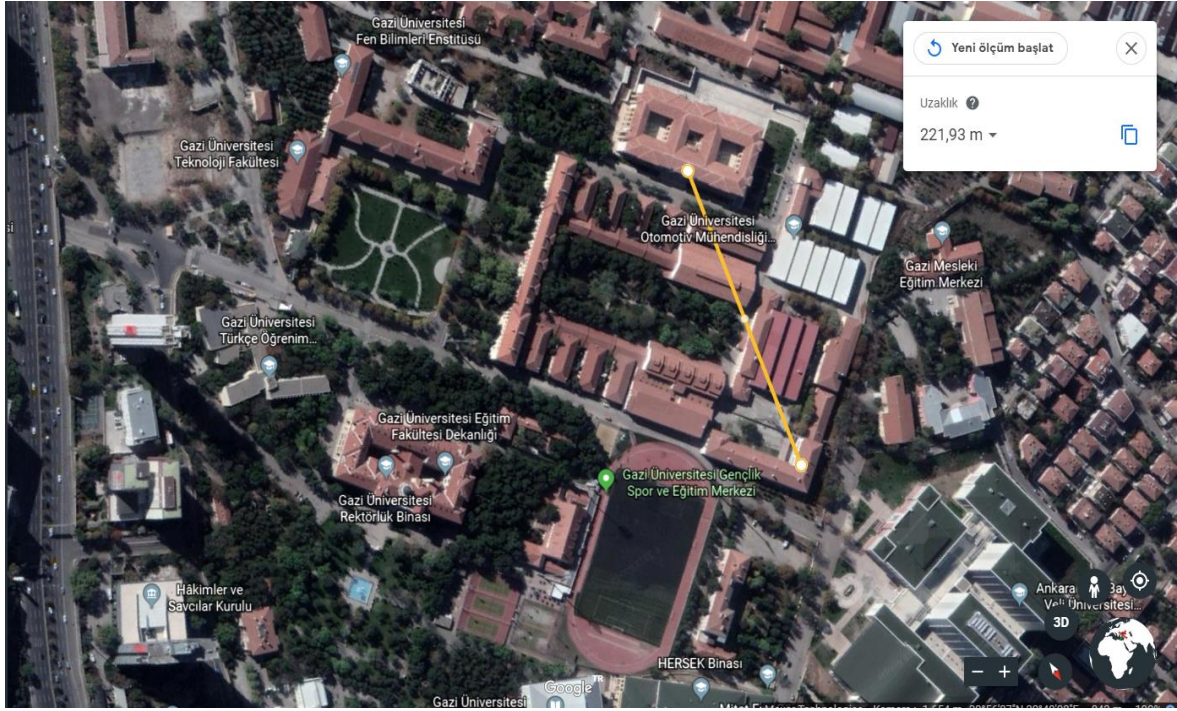
Yapılan Testler	Mesafe Aralığı (metre)
Test 1	1
Test 2	5,2
Test 3	13,51
Test 4	28,15
Test 5	31,64
Test 6	84,45
Test 7	92,23
Test 8	129,82
Test 9	184,48
Test 10	244,01
Test 11	374,76
Test 12	956,58

4.4. Mesafeye ve Fiziksel Sınırlamalara Dayalı Olarak RF Sinyal Çıkış Gücü ve Seviye Ölçümleri

Bu çalışmada su sayacı verilerinin uzaktan okunması için gerçekleştirilen sistem temel olarak LoRa verici ve alıcı modüllerinden, ilgili çevresel donanımdan ve bu amaç için gerçekleştirilen yazılımlardan oluşmaktadır. Bu birimler arasında bağlantı kurulması sırasında, radyo frekans (RF) güç harcaması, birimler arasındaki mesafe ve iletişimi etkileyen diğer çevresel faktörler bu konuda yardımcı veya sınırlayıcı faktörler olmaktadır. Örneğin duvar, metal kapı, ağaçlar, havadaki nem vb. gibi çevresel etkenler sinyal gücünde değişimlere neden olmaktadır. Sinyal ve güç oranlarındaki değişimler bütün bu faktörlerin toplam bir etkisini gösterdiği için, sistemin açık veya kapalı alanlarda bulunmasına ve bu sırada birimler arasında çeşitli fiziksel engeller olması veya olmaması durumlarına göre ve mesafeye dayalı olarak RF çıkış gücünün ve sinyalinin değişimleri ölçümlenmiştir.

Bu testler ve ölçümler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarlarında ve bu laboratuvar merkez olmak kaydı ile kampüs alanı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Testin yapıldığı bina ile alıcı ve verici birimler arasındaki mesafeler Resim 4.10 ve Resim 4.11’de sunulmaktadır. Modüllerin RF çıkış güçleri ve sinyal dalga şekilleri Anritsu Spektrum Analizör ile ölçülmüş olup, ölçüm sonuçları Şekil 4.5 - Şekil 4.9’da verilmiştir.

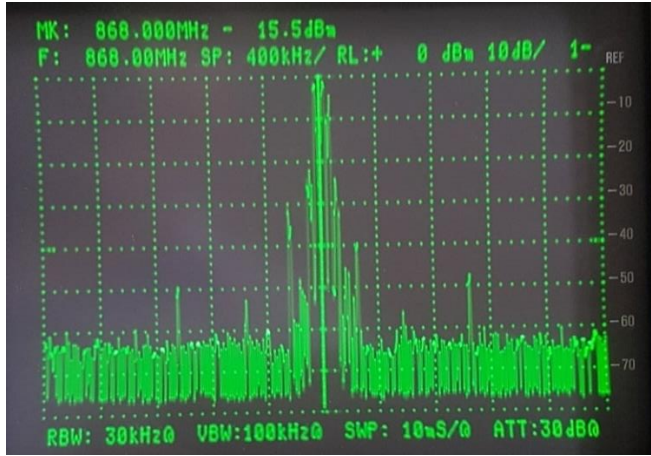
Test sonuçlarına göre açık alanda mesafe artıkça, kapalı alanda ise bağlantılar arasında etken maddeler girdikçe sinyal genliğinde ve gücünde azalma gözlemlenmiştir. Ancak veri iletiminde kopmalar meydana gelmemiş, kesintisiz iletişim sağlanmıştır.



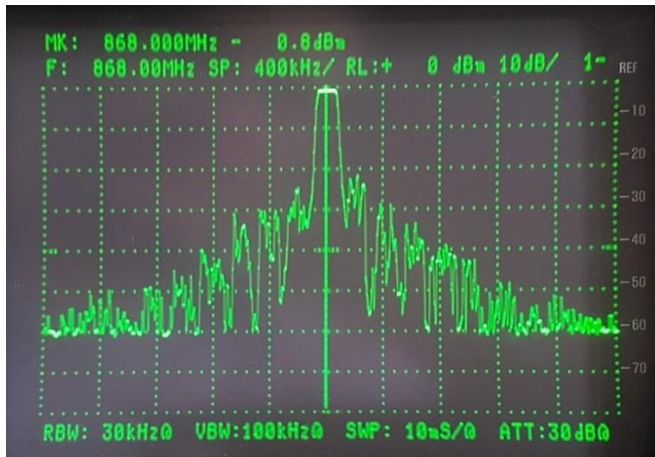
Resim 4.10. Mesafeye dayalı RF çıkış gücü ve sinyal değişim ölçümlerinin yapıldığı bölgenin 221,93 m mesafe için görünümü



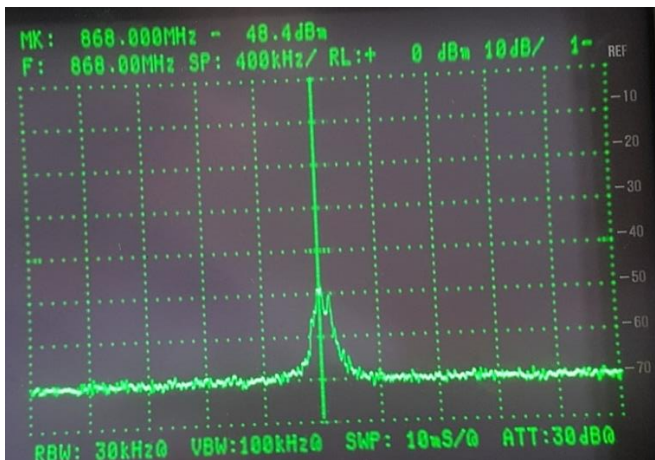
Resim 4.11. Mesafeye dayalı RF çıkış gücü ve sinyal değişim ölçümlerinin yapıldığı bölgenin 392,59 m mesafe için görünümü



(a)



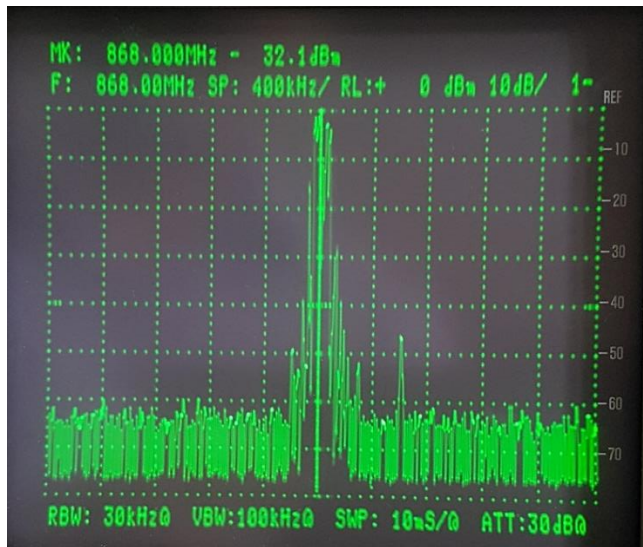
(b)



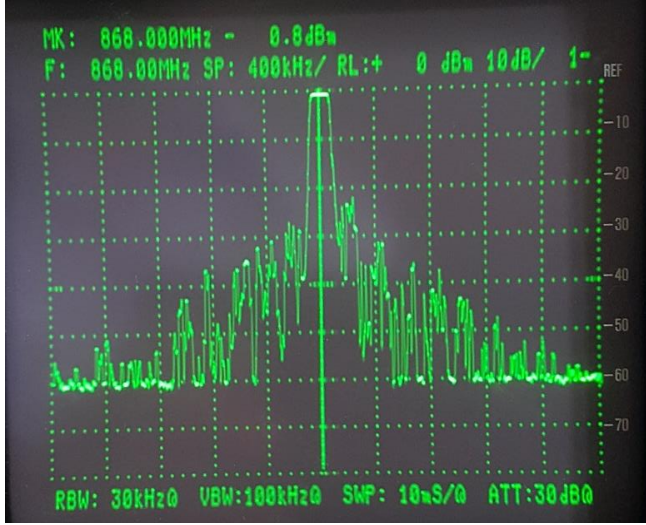
(c)

Şekil 4.5. TT LAB önu RF giriş sinyalinin ölçülmesi a) merkez frekansı b) taşıyıcı yan bandlar c) ortalama ölçüm

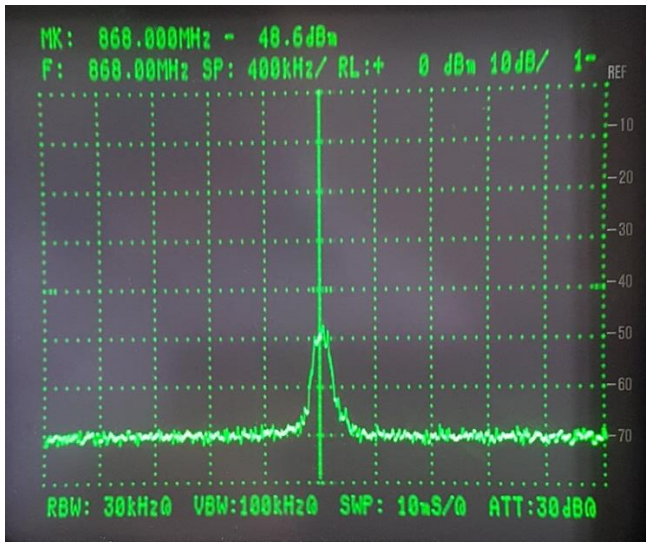
Şekil 4.5.a'da LoRa vericisinin anten çıkışındaki sinyal görülmektedir. Sinyalin merkez frekansı 868.000 MHz olup, tepe güç değeri -15.5 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.5.b'de ise RF spektrum analizörün max hold fonksiyonu kullanılarak zamanda sürekli olarak ölçüm alınmış ve merkez frekansın etrafında oluşan taşıyıcı yan bandların oluşumu izlenmiştir. Burada merkez frekans aynı olup gücü - 0.8 dBm olarak ölçülmüştür. Bir önceki ölçümle oluşan fark sürekli ölçüm sonucundaki maksimum değerlerin toplanmasından kaynaklanmıştır. Yan band güçlerinde her birinde azalmalar meydana gelerek yaklaşık 120 KHz'lik bir bandı kapsadığı ölçülmüştür. Şekilden anlaşılacağı üzere; merkez frekansın sağında ve solunda oluşan bu yan bandlarda verici sinyal taşınarak sayaçlara ulaşmaktadır. Taşıyıcı yan bandların sayısı LoRa'nın haberleşebileceği cihaz kapasitesi ile doğru orantılı olup, daha fazla cihaz aynı anda kontrol edilebilecektir. Şekil 4.5.c'de ise RF spektrum analizörün ortalama alma modunda ölçüm alınmıştır. Bu modda zamanda sürekli olarak alınan RF sinyallerin ortalamaları alınarak en baskın sinyalin ölçülmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak merkez frekansta oluşan ana sinyal görüntülenmiştir. İlgili mesafe için ölçülen tepe güç değeri - 48.4 dBm olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm özellikle mesafenin etkisinin irdelenmesi için belirginlik göstermektedir.



(a)



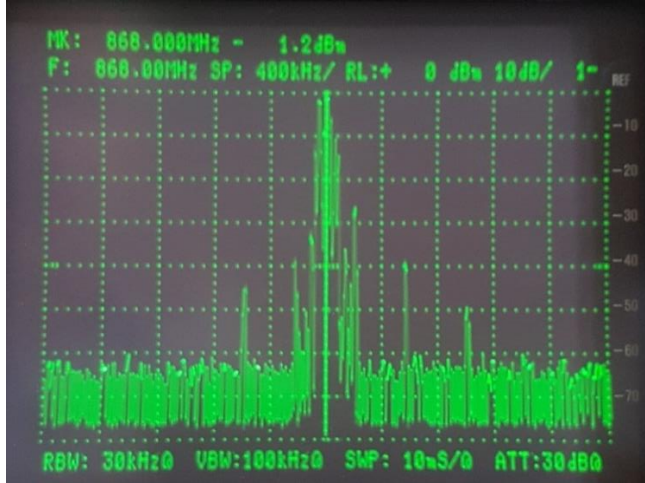
(b)



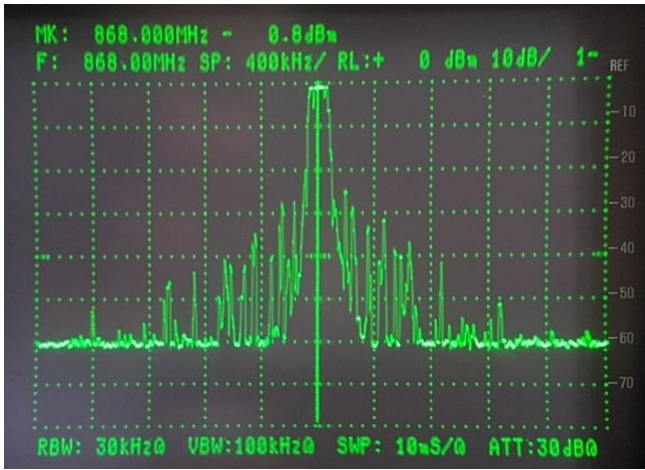
(c)

Şekil 4.6. Kapalı bir alan olarak aynı binada 1 kat aşağıda, (zemin kat) RF sinyal ölçümleri
a) merkez frekans b) taşıyıcı yan bandlar c) ortalama ölçüm

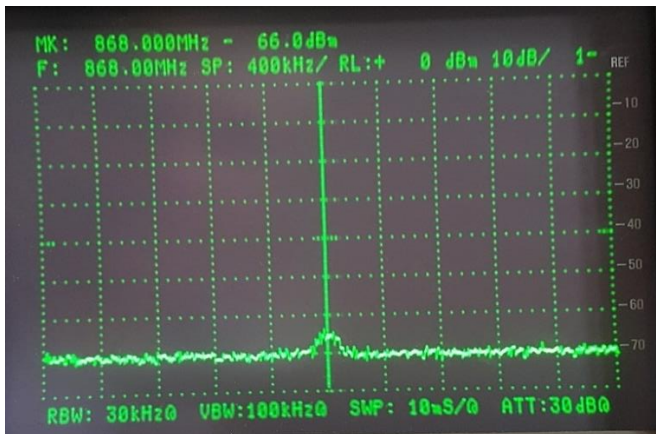
Şekil 4.6.a'da tepe güç değeri -32.1 dBm olarak ölçülmüştür. Sinyalin merkez frekansı 868.000 MHz'dir. Çevresel faktörlerin etkisi görülmeye başlamıştır. Şekil 4.6.b'de yan band-0.8 dBm olarak ölçülmüş, Şekil 4.6.c'de baskın sinyal ölçümü -48.6 dBm olarak ölçülmüştür.



(a)



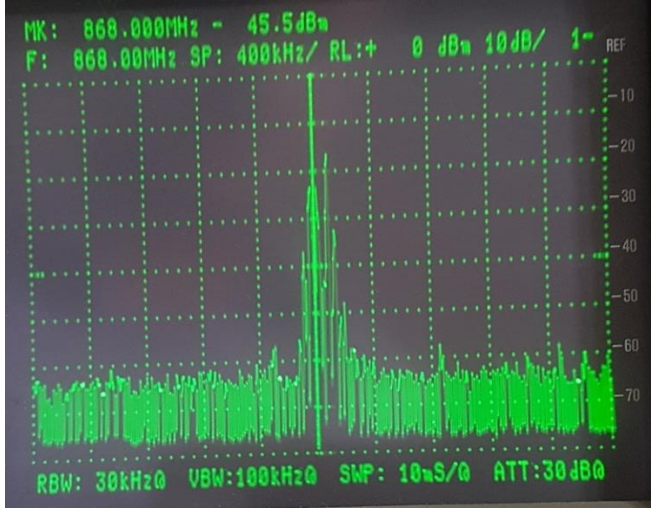
(b)



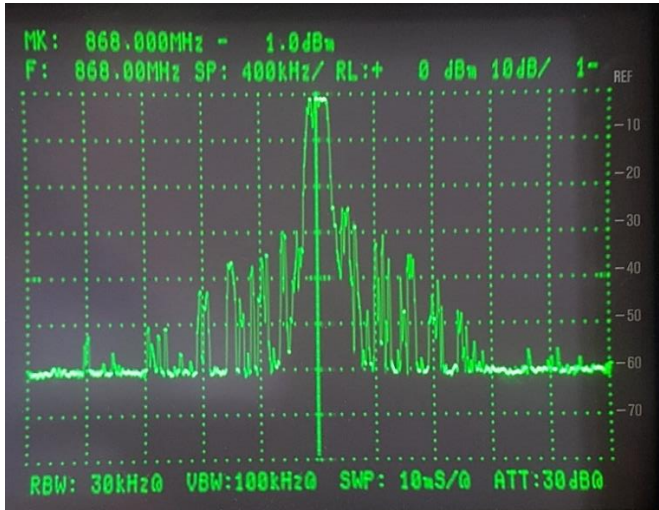
(c)

Şekil 4.7. Taşkent binasında -1. kat ölçümleri a) merkez frekansı b) taşıyıcı yan bandlar c) ortalama ölçüm

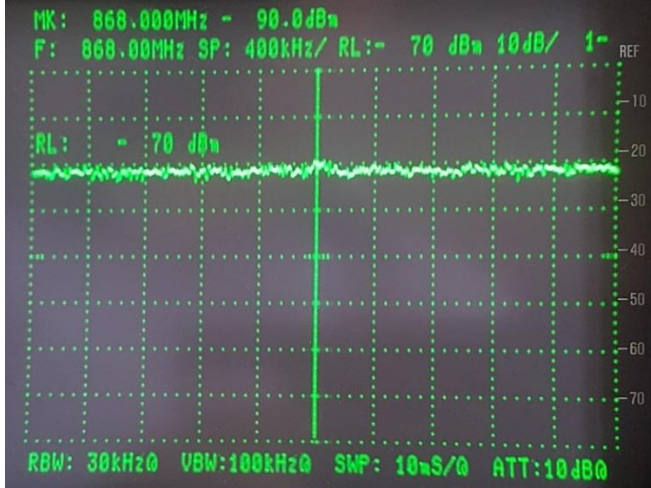
Şekil 4.7.a’da tepe güç değeri -1.2 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7.b’de yan band 0.8 dBm olarak ölçülmüş, 60 KHz’lik bandı kapsamaktadır. Şekil 4.7.c’de baskın sinyal ölçümü -66.0 dBm olarak ölçülmüştür. Cihazlar arasındaki mesafe yaklaşık 222 m olup, aradaki binalar, çevresel faktörler vb. durumların etkisi ile sinyal değerinin düşmesine neden olmuştur.



(a)



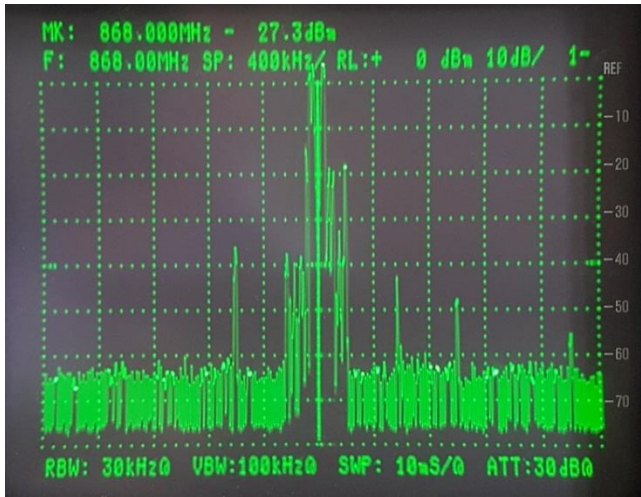
(b)



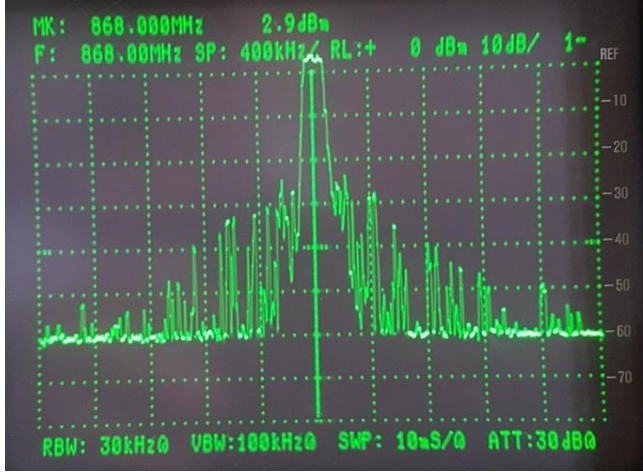
(c)

Şekil 4.8. Taşkent binasında -2. kat ölçümleri a) merkez frekansı b) taşıyıcı yan bandlar c) ortalama ölçüm

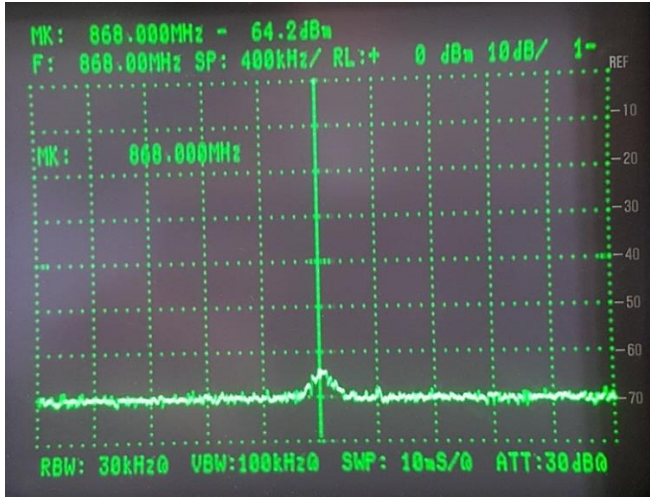
Şekil 4.8.a'da merkez frekans değeri - 45.5 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.8.b'de yan band - 1.0 dBm olarak ölçülmüş, 60 KHz'lik bandı kapsamaktadır. Şekil 4.8.c'de baskın sinyal ölçümü - 70.0 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7.c'de ölçülen değere oranla sinyal çekim gücünde düşüş gözlemlenmiştir. Kapalı alan etkileri sinyal üzerinde etkisini göstermiştir.



(a)



(b)



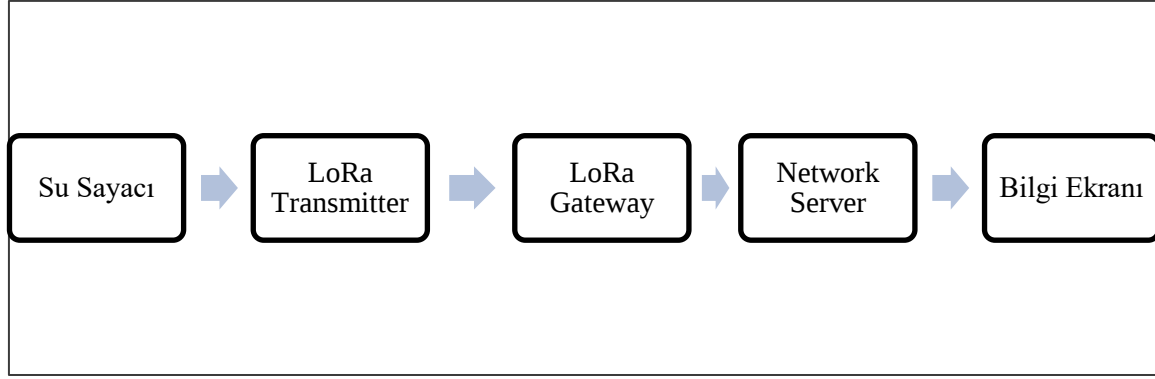
(c)

Şekil 4.9. Kampüs girişi ölçümleri a) merkez frekansı b) taşıyıcı yan bandlar c) ortalama ölçüm

Şekil 4.9.'da açık alan ölçümü yapılmış, 392,59 m uzaklıkta, Şekil 4.9. (a)'da merkez frekans değeri artış göstererek - 27.3 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.9. (b)'de yan band değeri artıya geçerek 2.9 dBm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.9. (c)'de baskın sinyal ölçümü - 64.2 dBm olarak saptanmıştır. Açık alan olmasına rağmen araya giren etken maddelerin etkisi sinyal üzerinde görülmüş fakat veri iletiminde ve doğruluk ölçümlerinde aksaklık yaşanmamıştır.

4.5. LoRa Gateway Üzerinden Sayaç Verisi İleten Sistemin Sahada Test Edilmesi

LoRa Gateway üzerinden sayaç verilerinin iletilmesi için kullanılan sistemin daha ayrıntılı blok şeması Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.10. LoRa gateway üzerinden sayaç verilerini ileten sistemin blok şeması

Sistemin sahada testi için Ayaş ilçesi Akkaya mahallesi seçilmiştir. Resim 4.12’de sayaçlarda okuma işleminin yapıldığı bölge görülmektedir. Çalışmada bir adet Gateway ve 63 adet LoRa özelliği taşıyan su sayacı kullanılmıştır. Sistemde kullanılan Gateway Akkaya Köyü Camii minaresine konumlandırılmıştır. Sayaçların ise hanelere montajı yapılmıştır. Yaklaşık 1 km²’lik alandaki sayaçlarda sayaç okuma işlemleri başarı ile sağlanmıştır.



Resim 4.12. Sistemin sahada testi için sayaçlarda okuma işleminin yapıldığı bölge

4.5.1. LoRa gateway üzerinden sayaç verisi ileten sistemin sahada mesafe testi

Mesafe ölçümlerinde yaklaşık 1 km² ' lik alanda okuma işlemi yapılmıştır (Resim 4.13).



Resim 4.13 LoRa Gateway ile sayaçlar arası mesafe ölçümleri (Güneybatı yönü)

4.5.2. LoRa gateway üzerinden sayaç verisi iletim testi

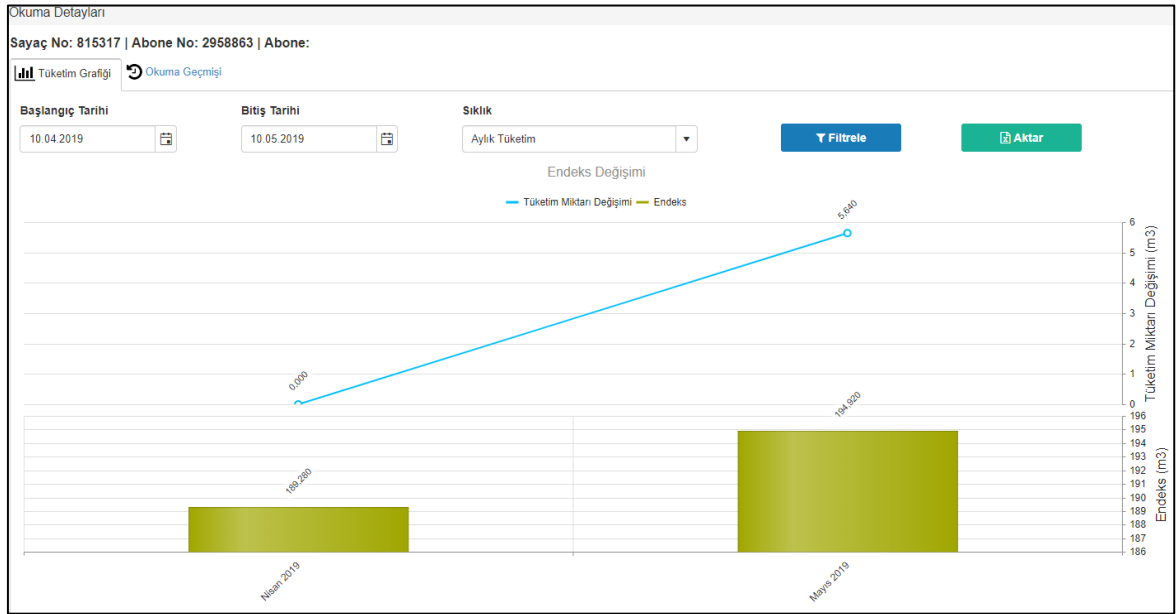
LoRa Gateway üzerinden yukarıda tanımlanan bölgedeki su sayaçlarının verileri okunmuştur. Test sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Burada yapılan okuma işleminde beyaz renk ile işaretlenen veriler ekiplerin yapabildikleri okumalardır. Kırmızı renkle işaretli olanlar ise ekiplerin sayaçların bulunduğu yerlere ulaşamaması nedeni ile okuma işlemi yapılamayanlardır. Sarı renkli olanlar ise okuma hatası gözlemlenen işlemlerdir. Analiz sonucuna göre LoRa tabanlı sistem kullanılarak yapılan sayaç okuma işlemlerinin daha hassas bir şekilde yapıldığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.2’de elde edilen okuma sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2 LoRa sistemi kullanılarak elde edilen sayaç okuma verileri.

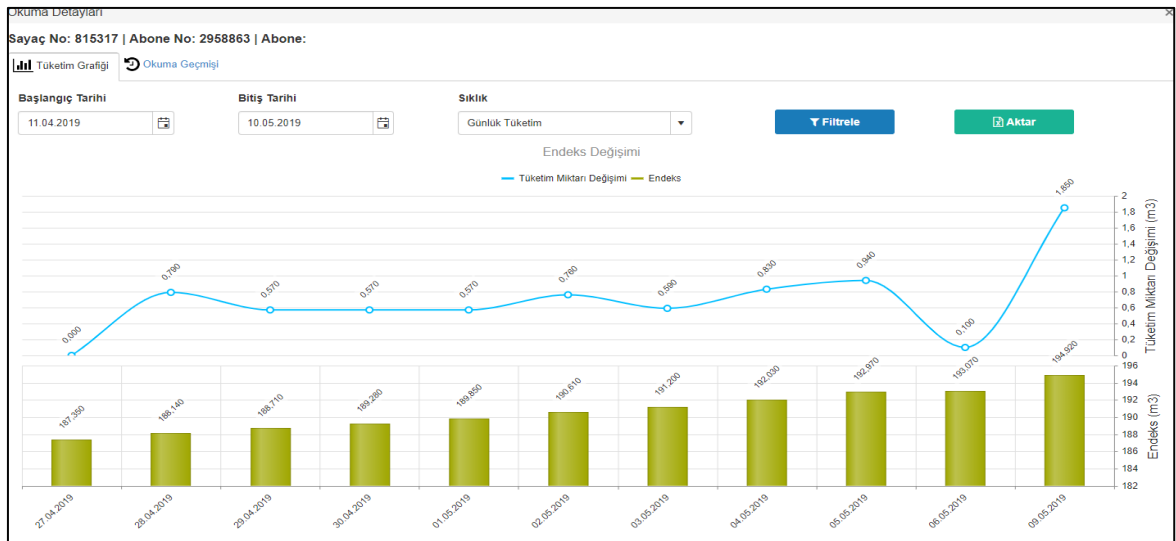
Okuma Listesi						
Kurum	Abone No	Sayaç No	Sayaç Tipi	Tüketim (m3)	Personel Okuması	Kollektör
Aski	2695770	815225	TK_1C_VANASIZ_LORA	44,99	43	36028799703321756
Aski	2958833	815226	TK_1C_VANASIZ_LORA	122,20	116	36028799703321756
Aski	2958829	815227	TK_1C_VANASIZ_LORA	406,46	407	36028799703321756
Aski	2958861	815229	TK_1C_VANASIZ_LORA	350,81	272	36028799703321756
Aski	2958820	815230	TK_1C_VANASIZ_LORA	441,38	456	36028799703321756
Aski	2958852	815231	TK_1C_VANASIZ_LORA	130,05	110	36028799703321756
Aski	2958842	815232	TK_1C_VANASIZ_LORA	221,51	200	36028799703321756
Aski	2958886	815233	TK_1C_VANASIZ_LORA	335,91	290	36028799703321756
Aski	2958808	815234	TK_1C_VANASIZ_LORA	368,45	419	36028799703321756
Aski	2958828	815236	TK_1C_VANASIZ_LORA	163,89	143	36028799703321756
Aski	2958827	815237	TK_1C_VANASIZ_LORA	188,96	189	36028799703321756
Aski	2958836	815238	TK_1C_VANASIZ_LORA	383,72	384	36028799703321756
Aski	2695749	815239	TK_1C_VANASIZ_LORA	348,38	340	36028799703321756
Aski	2958804	815243	TK_1C_VANASIZ_LORA	245,36	224	36028799703321756
Aski	2958813	815260	TK_1C_VANASIZ_LORA	50,30	38	36028799703321756
Aski	2958847	815263	TK_1C_VANASIZ_LORA	70,47	66	36028799703321756
Aski	2958815	815264	TK_1C_VANASIZ_LORA	81,10	66	36028799703321756
Aski	2958869	815266	TK_1C_VANASIZ_LORA	136,07	136	36028799703321756
Aski	2958890	815267	TK_1C_VANASIZ_LORA	280,98	287	36028799703321756
Aski	2958889	815268	TK_1C_VANASIZ_LORA	39,64	39	36028799703321756
Aski	2958882	815269	TK_1C_VANASIZ_LORA	300,60	301	36028799703321756
Aski	2958855	815270	TK_1C_VANASIZ_LORA	146,37	146	36028799703321756
Aski	2958857	815271	TK_1C_VANASIZ_LORA	204,61	181	36028799703321756
Aski	2958844	815273	TK_1C_VANASIZ_LORA	548,67	549	36028799703321756
Aski	2958865	815274	TK_1C_VANASIZ_LORA	77,42	73	36028799703321756
Aski	2958822	815285	TK_1C_VANASIZ_LORA	509,35	510	36028799703321756
Aski	2958843	815287	TK_1C_VANASIZ_LORA	110,79	111	36028799703321756
Aski	2958845	815288	TK_1C_VANASIZ_LORA	257,58	258	36028799703321756
Aski	2958851	815289	TK_1C_VANASIZ_LORA	80,37	93	36028799703321756
Aski	2958840	815290	TK_1C_VANASIZ_LORA	94,56	95	36028799703321756
Aski	2695803	815292	TK_1C_VANASIZ_LORA	1.760,61	1756	36028799703321756
Aski	2958838	815293	TK_1C_VANASIZ_LORA	200,60	200	36028799703321756
Aski	2958821	815294	TK_1C_VANASIZ_LORA	271,75	254	36028799703321756
Aski	2958897	815295	TK_1C_VANASIZ_LORA	134,37	122	36028799703321756
Aski	2958824	815296	TK_1C_VANASIZ_LORA	111,02	105	36028799703321756
Aski	2958871	815297	TK_1C_VANASIZ_LORA	269,63	269	36028799703321756
Aski	2958883	815298	TK_1C_VANASIZ_LORA	224,11	224	36028799703321756
Aski	2958881	815299	TK_1C_VANASIZ_LORA	184,30	184	36028799703321756
Aski	2958875	815315	TK_1C_VANASIZ_LORA	208,02	148	36028799703321756
Aski	2958876	815316	TK_1C_VANASIZ_LORA	89,66	89	36028799703321756
Aski	2958863	815317	TK_1C_VANASIZ_LORA	194,51	195	36028799703321756
Aski	2958812	815318	TK_1C_VANASIZ_LORA	106,02	97	36028799703321756
Aski	2968523	815319	TK_1C_VANASIZ_LORA	86,20	83	36028799703321756
Aski	2958867	815325	TK_1C_VANASIZ_LORA	480,51	482	36028799703321756
Aski	2958839	815326	TK_1C_VANASIZ_LORA	174,87	175	36028799703321756
Aski	2958846	815327	TK_1C_VANASIZ_LORA	323,79	324	36028799703321756
Aski	2958834	815328	TK_1C_VANASIZ_LORA	302,37	303	36028799703321756
Aski	2958805	815329	TK_1C_VANASIZ_LORA	223,67	225	36028799703321756
Aski	2958880	815335	TK_1C_VANASIZ_LORA	19,44	19	36028799703321756
Aski	2958850	815337	TK_1C_VANASIZ_LORA	178,64	154	36028799703321756
Aski	2695814	815338	TK_1C_VANASIZ_LORA	21,33	21	36028799703321756
Aski	2958830	815345	TK_1C_VANASIZ_LORA	106,20	106	36028799703321756
Aski	2958866	815346	TK_1C_VANASIZ_LORA	76,92	68	36028799703321756
Aski	2958879	815347	TK_1C_VANASIZ_LORA	65,78	59	36028799703321756
Aski	2695675	815348	TK_1C_VANASIZ_LORA	131,48	71	36028799703321756
Aski	2958892	815349	TK_1C_VANASIZ_LORA	111,53	115	36028799703321756
Aski	2958832	815355	TK_1C_VANASIZ_LORA	17,76	15	36028799703321756
Aski	2958806	815356	TK_1C_VANASIZ_LORA	149,40	133	36028799703321756
Aski	2958807	815357	TK_1C_VANASIZ_LORA	112,79	107	36028799703321756
Aski	2695813	815366	TK_1C_VANASIZ_LORA	99,20	99	36028799703321756
Aski	2958894	815367	TK_1C_VANASIZ_LORA	269,69	270	36028799703321756
Aski	2695795	815368	TK_1C_VANASIZ_LORA	61,54	62	36028799703321756
Aski	2958888	815369	TK_1C_VANASIZ_LORA	306,92	307	36028799703321756

4.5.3. Ara yüz ekranı

Sayaçlar ile ölçülen günlük ve aylık tüketimleri gösteren örnek sayaç okuma veri grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de verilmiştir. Bu tarz tüketim grafiği ile abonelerin kullarımlarına göre tüketim istatistik verileri elde edilerek, su yönetimi hakkında detaylı programlamalar yapılabilir. Sistem abonelere açıldığında ise aboneler kendi tüketim planlarını yapabilir.



Şekil 4.11 Aylık abone bazlı tüketim grafiği



Şekil 4.12. Günlük abone bazlı tüketim grafiği.

Gerçekleştirilen sistemin alıcı ve verici modülleri arasındaki bağlantı ve sayaç verilerinin iletiminde veri iletişimindeki başarı şimdiye kadar yapılan ölçüm ve testler ile ortaya konulmuştur. Son olarak klasik sistemler ile bu işlemlerin yapılması durumunda, bazı durumlarda çözülmesi nerede ise imkansız olabilecek durumlara örnek olması açısından sayaçların bulunabileceği yerlere de kısaca değinmenin çok faydalı olabileceği düşünülmektedir. Örneğin Resim 4.14 ve Resim 4.15'te görüldüğü gibi sayaçlar uygun olmayan yerlere veya konumlara montaj edilmiş olabileceği gibi, zamanın ve ortamın acımasız şartları nedeni ile tozlanmış, paslanmış, oksidasyona uğramış vb. durumlar olabileceğinden, okuma işlemleri nerede ise imkansız hale gelmiş olabilir. Gerçekleştirilen sistem şimdiye kadar yapılan testler göz önüne alındığında bu konuda kolaylıklar sağlayabilir ve zorlukların aşılmasına yardımcı olabilir.



Resim 4.14. Mevcut sayaçların uygun olmayan tesis yerlerine 1. örnek



Resim 4.15. Mevcut sayaçların uygun olmayan tesis yerlerine 2. örnek

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında LoRaWAN' ın performans ve ölçeklenebilirlik değerlendirmeleri sunulmuştur. Su sayaç yerlerinin mevcut RF haberleşmesi uygulamaları ile bazı uygun olmayan ortam vb. şartlar sebeplerinden dolayı ile uygun olmayan yerlerde sayaç okumalarına alternatif olması için LoRa modüller kullanılarak gerçekleştirilen bir sistem ile sayaç okuma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu LoRa modüller sayesinde sayaç üzerinden verilerin alındığı gözlemlenmiştir. Önerilen sistemdeki hem iletim mesafesinin hem de enerji tüketiminin güvenilirliği kanıtlanmıştır.

Bu çalışma ile daha verimli su kontrolü sağlamada gerekli alt yapı, yazılım ve sayaçlara yapılacak ek düzenlemeler ile veri iletiminde sorun yaşanmadan bilgi alımı yapılabilecektir. Su sayaçlarının verilerinin okunması için LoRa modüller kullanılarak daha hassas, insan hatası ortadan kaldırılarak, daha kaliteli su tüketim verisi kontrolü sağlanabilmesi, IoT teknolojisinin sayaç okuma ve kontrol sistemlerine bağlantısı yapılarak nesnelerin birbirine bağlanması sayesinde, veri iletiminde karşılaşılan iletişim kopmalarının önüne geçilebileceği görülmüştür.

Bunlara karşın, akıllı sayaçların kullanımının getireceği avantajlar ve verimlilik artışının en uygun seviyelerde olabilmesi için, şebekenin fiziksel altyapısı da bu sistemin kullanımı için uygun olmalıdır. Sayaçların montaj yerleri ve montaj koşullarının iyileştirilmesi, veri aktarımı ve uzaktan erişim için kullanılan cihazların olumsuz dış etkenlere karşı koruma altına alınması (su, nem, sıcaklık, kasıtlı zarar verme, hırsızlık) gerekmektedir. Bu konularda gerekli altyapıların hazırlanarak uzaktan okuma sistemlerinin kurulması ile depolarda işlenen suyun ve abone tüketim kayıtlarının daha doğru bir şekilde tutulabilmesi sağlanabilir. Böylece kayıp ve kaçak oranlarının minimum seviyelere inmesi sağlanabilir. Geleneksel insan unsuruna dayalı okuma işlemleri sırasında karşılaşılan zorluklar problem olmaktan çıkabilir ve insan hayatı için de kolaylıklar sağlanabilir. Ayrıca günümüzde insan hayatında popüler hale gelen akıllı uygulamalar kapsamında, bu çalışma ile gerçekleştirilen akıllı sistemin, IoT akıllı şehirler uygulaması konusunda kendisine bir yer bulabileceği ve bir boşluğu doldurabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ekinci, B. (2015). *Su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik örnek ülke uygulamaları ve ülkemizde bu çalışmaların uygulanabilirliği*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi.
2. Mroue, H., Nasser, A., Hamrioui, S., (2018, April). *MAC layer-based evaluation of IoT technologies: LoRa, SigFox and NB-IoT*. 2018 IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM).
3. Wang, H., Sui, H., Liao, X., Li, J., (2018). *Comparative analysis of the application of different low power wide area network technologies in power*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 322.
4. Mroue, H., Guillaume, A., Motta Cruz, E., Rouyer, G., (2017). Evaluation of LPWAN technology for smart city. *EAI Endorsed Transactions on Smart Cities*, 2 (6), e3.
5. Ji, Y., Yang, H., (2019). Comparison of LoRa and NB-IoT. *Network and Communication Technologies*; 4(1), 13-15.
6. Ferreira, C.M.S., Oliveira, R. A. R., S'a Silva, J. (2019). *Low-energy smart cities network with LoRa and Bluetooth*. 7th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud).
7. Taha, A., Feteiha, M., Abdul, W. (2019). Performance evaluation for lora transceiver. *International Journal of Computer Science and Software Engineering*, 8(2), 2409-4285.
8. İnternet: Pandey, P. (2018). Comparative study of long range communications systems for IoT-Cellular, LoRA & Sigfox. URL: <https://www.researchgate.net/publication/324557781>, Son Erişim Tarihi: 10.03.2019.
9. Baloğlu, A., Karademiroğlu, O. (2019). Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22-29.
10. Mekki, K., Bajic, E. (2018). *Overview of cellular LPWAN technologies for IoT deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT*. 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops).
11. Gu, C., Jiang, L., Tan, R. (2019). *LoRa-Based localization: opportunities and challenges*. EWSN '19 Proceedings of the 2019 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks, 413-418.
12. İnternet: Zhou, Q., Zheng, K., Hou, L., Xing, J., Xu, R. (2019). X-LoRa: An open source LPWA network. URL: <https://www.researchgate.net/publication/324557781>, Son Erişim tarihi: 01.03.2019.

13. İnternet: LoRaWAN™ 1.1 Specification- Copyright © (2017). LoRa Alliance, Inc. URL: <https://lora-alliance.org/>, Son Erişim tarihi: 01.03.2019.
14. İnternet: Ram, P. (2018). LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the internet of things. Part1 understanding the lpwan, lora and lorawan technology. URL: <https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d>, Son Erişim tarihi: 15.01.2019
15. Cheong, P. S., Famaey, J., Hawinkel, C. (2017). *Comparison of LoRaWAN classes and their power consumption*. 2017 IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology (SCVT).
16. Bor, M., Vidler, J., Roedig, U. (2016). *LoRa for the internet of things*. EWSN '16 Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks Pages 361-366.
17. Sinha, R. S., Wei, Y., Hwang, S.-H., (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *Information & Communications Technology Express*, 3(1), 14-21.
18. İnternet: Su Sayacı Çalışma Prensibi ve Montajı. URL: <https://www.tesisat.org/su-sayaci-calisma-prensibi-ve-montaji.html> Son Erişim tarihi: 20.04.2019.
19. İnternet: Su Sayacı Nasıl Çalışır?. URL: <https://herseynasilcalisir.com/su-sayaci-nasil-calisir/> Son Erişim tarihi: 20.04.2019.
20. İnternet: STM32 Nucleo-64 boards Data Brief. (2019). URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-g071rb.html>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.
21. İnternet: Semtech LoRa SX1276/77/78/79 Datasheet, URL: <https://www.semtech.com/>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.
22. İnternet: Keil Uvision 5. URL: <http://www2.keil.com/stmicroelectronics-stm32>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZBEK, Kübra
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.12.1987, Karabük
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (505) 224 41 19
 e-mail : kubraozbek1@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Uludağ Üniversitesi / Elektronik Mühendisliği	2011
Lise	Elazığ Balakgazi Y.D.A. Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	ASKİ Genel Müdürlüğü	Elektronik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Özbek, K. Burunkaya, M. (2019). *Düşük Güç Ve Uzun Mesafe Sayaç Verisi İletimi*. VI. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu Ankara, Türkiye.

Hobiler

Otomobil Yarışları, Gezi Aktiviteleri.



GAZİ GELECEKTİR..