

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL SULAMADA DÜŞÜK MALİYETLİ BİR LORAWAN TEST PLATFORMU:
UYGULAMA VE ÖLÇÜMLER

Ali TILFARLIGİL

TEMMUZ 2021

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL SULAMADA DÜŞÜK MALİYETLİ BİR LORAWAN TEST PLATFORMU:
UYGULAMA VE ÖLÇÜMLER

Hazırlayan
Ali TILFARLIGİL

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN

Jüri Üyeleri
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN
Dr. Öğr. Üyesi Kubilay DEMİR
Dr. Öğr. Üyesi Emrullah SONUÇ

TEMMUZ 2021

ONAY

Ali TILFARLIGİL tarafından hazırlanan “**Tarımsal Sulamada Düşük Maliyetli Bir LORAWAN Test Platformu: Uygulama ve Ölçümler**” adlı tez çalışması2021 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Başkan)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Danışman)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye)

Ünvanı, Adı ve Soyadı

(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Tarımsal Sulamada Düşük Maliyetli Bir LORAWAN Test Platformu: Uygulama ve Ölçümler**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 26/07/2021

Ali TILFARLIGİL

ÖZET

TARIMSAL SULAMADA DÜŞÜK MALİYETLİ BİR LORAWAN TEST PLATFORMU: UYGULAMA VE ÖLÇÜMLER

Ali TILFARLIGİL

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Yakup ŞAHİN

Temmuz 2021, 51 sayfa

Kablosuz iletişim ve haberleşme alanında günden güne değişmeler, gelişmeler ve farklı kullanım alanları oluşmaktadır. Kullanım alanlarına göre maliyet artışı, enerji problemleri yeni çözümler ve yöntemlerin gelişmesine yol açmaktadır. Nesnelerin interneti (IoT) ile gelişmekte olan sistemler çeşitliliği ve sayıları son yıllara oranla artış gösteriyor. Enerji tüketimi ise bu alanda çözüm bulunmaya çalışılan problemlerin başında geliyor, çünkü aktarılan verinin boyutu ve aktarılacak istediği aralık ile enerji tüketimi artmaktadır. IoT sisteminin gelişmesiyle ortaya çıkan LoRa (Long Range) gibi teknolojiler, düşük güç kullanımını ve geniş alanlardaki iletişimi destekliyor ve kullanım alanı çeşitliliğini artırıyor. LoRa, düşük bit oranlarındaki verinin uzun mesafelere, çok düşük güç kullanımıyla aktarımını sağlayan kablosuz haberleşme teknolojilerinin başında geliyor. Bu tez çalışmasının amacı, kendi yaptığımız ağ geçidi ve LoRa cihazı için sinyal-gürültü oranı, alınan sinyal gücü, veri hızı, havada kalma süresi ve LoRa cihazının ömrü açısından çeşitli iletişim aralıklarında referans ölçümler sağlayarak tarımsal faaliyetler için uygun maliyetli bir LORAWAN test platformu geliştirmektir. Elde edilen ölçümlerin, kendi yaptığımız düşük maliyetli ağ geçidi ve LoRa cihazını kullanarak planladığımız akıllı tarım uygulamalarımıza yönelik bilinçli kararlar almamızı sağlayacağını tahmin ediyoruz.

Anahtar kelimeler: Lora (Uzak Mesafe), Lorawan, Tarımsal Sulama,

ABSTRACT

A LOW-COST LORAWAN TESTBED FOR AGRICULTURAL WATERING: APPLICATION AND MEASUREMENTS

Ali TILFARLIGİL

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute
Department of Electrical and Electronics Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Halil YETGİN
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yakup ŞAHİN

Jully 2021, 51 pages

Technological advancements in wireless communication lead to emerging applications of IoT. This induces the development of new wireless communication solutions and methods due to the increased application costs and energy dependent issues. The variety and number of systems developed with the Internet of Things (IoT) have been increasing in recent years. Energy consumption is one of the main problems that is attempted to be solved in this particular area owing to the size of the transferred data over the long communication range. To support such applications, technologies, such as LoRa (Long Range), have emerged with the development of IoT networks that solve energy consumption for wireless communications within large areas. LoRa is one of the leading wireless communication technologies that enables the transfer of low bit-rate data over long distances with very low power requirements. The goal of this thesis is to provide reference measurements for the self-made gateway and LoRa device in terms of signal-to-noise ratio, received signal strength, data rate, time on air and LoRa device lifetime over various communication ranges with the intention of developing a cost-efficient LORAWAN testbed platform for agricultural activities. We anticipate that the obtained measurements will provide informed decisions towards our planned smart farming implementations using the self-made low-cost gateway and the LoRa device.

Keywords: Lora (Long Range), Lorawan, Agricultural Irrigation,

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden baőlayarak son aőamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN'e ve Sayın Doç. Dr. Yakup ŞAHİN'e Őükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelebilmemde büyük emekleri olan ve yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen canım Aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



ÖNSÖZ

Nesnelerin interneti ile tarımsal alanlarla ilgili çok sayıda projeler yapılmıştır. Bu projelerden bazıları tarım alanlarının izlenmesi ve otomatik olarak sulanmasıdır. Tarımsal sulama sistemleri, toprağın ihtiyacı olduğu noktaya tam ihtiyacı olduğu kadar su verebilmektedir. Sistemde bir su kaçağı olması durumunda bunu kullanıcıya bildirebilmektedir. Sulamanın bu şekilde hedefe yönelik verimli kullanımı, toprağın kalitesinin ve küresel ısınmanın tehdidi altındaki bölgelerde su rezervlerinin korunmasını sağlamaktadır. Böyle durumları göz önünde bulundurarak ölçümler yapılır ve ölçümler neticesinde iyileştirmelere yön verilir.

Bilginin başlıca kaynaklarından biri de ölçüm verileridir. Bazı istisnalar olsa da yaygın olarak bilinen bir ifadeyle "ölçülemeyen bir şey yönetilemez". Veri toplama, kaydetme ve iletişim sağlamak için kullanılan bu tür araçların çoğu bilgi teknolojileri adı altında ele alınmaktadır.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. İlgili Çalışmalar	2
1.2. LoRaWAN Teknolojisi	4
1.2.1. LoRa	4
1.2.2. LoRa Yayılma Faktörleri	5
1.2.3. LoRaWAN	7
1.2.3.1. LoRaWAN Sınıfları	7
1.2.3.2. LoRaWAN Ağ Mimarisi	9
1.2.4. LoRaWAN Güvenlik	10
1.2.5. LoRaWAN Özellikleri	11
1.3. Kablosuz İletişim Protokollerinin Karşılaştırılması	12
1.4. Tarımsal Sulamada LoRaWAN Örneği	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM	14
2.1. Materyal	14
2.1.1. Raspberry Pi 4 Model B+	14
2.1.2. iC880A LoRa Yoğunlaştırıcı Modülü	15

2.1.3. Jumper veya Raspberry Pi ve iC880A Ağ Geçidi Kalkanı.....	15
2.1.4. RF 868Mhz 5dBi SMA Anten	17
2.1.5. Arduino Uno	17
2.1.6. RFM95/96/97/98 (w) LoRa Modülü.....	17
2.1.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü.....	18
2.1.8. Güç Kaynağı	19
2.2. Yöntem	19
2.2.1. Ağ Geçidi (Gateway) Yapısı.....	19
2.2.2. Node Yapısı (Uç Cihaz).....	20
2.2.3. The Things Network	23
2.2.4. OTAA ve ABP	24
2.2.4.1. OTAA	24
2.2.4.2. ABP.....	26
2.3. Hazırlanan Cihazların Test Amaçları	27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
3.1. Node-1 Testi	31
3.2. Node-2 Testi	34
3.3. Node-3 Testi	37
3.4. Node-4 Testi	40
3.5. Nodeların Mesafelere Göre Veri Karşılaştırması	42
4. SONUÇ	46
5. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Farklı LoRa SF Parametreleri [26]	5
1.2. Aynı SF, Farklı Bant Genişliğine Göre Veri Hızı [26]	6
1.3. Yayılma Faktörlerinin Alıcı Hassasiyetleri [26]	6
1.4. Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması	12
2.1. Raspberry pi ile LoRaWAN Modülü Bağlantı Pinleri	19
2.2. Spreading Faktörlerine Göre Veri Hızı ve İndeksleri.....	27
2.3. Mesafe ve Veri Hızlarına Göre TOA Karşılatırlmaları	45



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. LoRa Uygulama Katmanı.....	7
1.2. LoRaWAN Sınıfları Karşılaştırılması	8
1.3. LoRaWAN Yıldız Topolojisi [28].....	9
1.4. LoRaWAN Ağ Mimarisi [28]	10
1.5. LoRaWAN Güvenliğine Genel Bakış [29].....	11
2.1. Raspberry Pi 4 Model B+	14
2.2. iC880A LoRa Yoğunlaştırıcı.....	15
2.3. Ağ Geçidi Kalkanı ve PCB Çizimleri.....	16
2.4. Dişi Dişi Jumper.....	16
2.5. HSA-TFC Anten Anten.....	17
2.6. RFM96w LoRa Modülü	18
2.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü	18
2.8. LoRaWAN Ağ Geçidi	20
2.9. Sensör Düğümü Mimarisi	20
2.10. Arduino ile RFM95w'nin Bağlantı Bacakları (Node Bağlantısı)	22
2.11. LoRaWAN Node Sensör	23
2.12. The Things Network Mimarisi [30]	24
2.13. OTAA Veri Haberleşmesinde Şifreleme [33].....	25
2.14. ABP Veri Haberleşmesinde Şifreleme [33]	26
3.1. TTN Gateway Arayüz Görünümü (Gateway ile Node Arasındaki Downlink ve Uplink Mesajları).....	28
3.2. TTN Applications Arayüz Görünümü (Node Sensör Verileri)	29
3.3. Node Cihazın Bağlantı ve Güvenlik Ayarları.....	29
3.4. Node Cihazın Bağlantı Sırasında Gönderdiği Güvenlik Protokolleri ve Veriler	30
3.5. Node Sensör Cihazın Tarımsal Alana Konumlandırılmış Hali	30
3.6. Gateway Cihazın Açık Hali (a), Gateway Cihazın Kapalı Hali (b).....	31
3.7. Test Node 1 (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	31
3.8. SF7 Yayılma Faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	32

3.9. SF7 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	32
3.10. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	33
3.11. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	34
3.12. Test Node 2 (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)	34
3.13. SF10 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)	35
3.14. SF10 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)	35
3.15. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)	36
3.16. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)	36
3.17. Test Node 3 (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	37
3.18. SF9 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	38
3.19. SF11 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	38
3.20. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	39
3.21. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	39
3.22. Test Node 4 (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	40
3.23. SF11 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	40
3.24. SF12 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	41
3.25. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	41
3.26. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)	42
3.27. Node Gateway Arası Mesafelere Göre SNR Ölçümü	43
3.28. Node Gateway Arası Mesafelere Göre SNR Ölçümü	43
3.29. Node Gateway Arası Mesafelere Göre Veri Hızı	44
3.30. Node Gateway Arası Mesafelere Göre TOA	44
3.31. Node için Pil Ömrü Hesaplanması	45

SİMGELER DİZİNİ

C	Bir kanal kapasitesi içinde saniye başına bit
B	Bant genişliği, hertz
S	Bant genişliği üzerinden alınan ortalama sinyal gücüdür.
N	Watt (veya volt kare) cinsinden ölçülen, bant genişliği üzerindeki gürültünün ve parazit in ortalama gücüdür.
S / N	Bir sinyal-gürültü oranı (SNR), ya da taşıyıcı-parazit oranı



KISALTMALAR DİZİNİ

2G	İkinci Nesil Kablosuz Telefon Teknolojisi
3G	Üçüncü Nesil Kablosuz Telefon Teknolojisi
ABP	Activation By Personalisation
AES	(Advanced Encryption Standard; Gelişmiş Şifreleme Standardı)
ADR	Uyarlanabilir Veri Hızı
ANN	Yapay Sinir Ağı
AT&T (ABD)	ABD'deki En Büyük Sabit Telefon Hizmetleri Sağlayıcısı
CF	Taşıyıcı Frekans
CSS	Chirp Spread Spectrum
D2D	Cihazdan Cihaza
DER	Veri Ekstraksiyon Hızını
DSSS	Doğrudan Sıralı Yayılı Spektrumu
FEC	İleri Hata Düzeltme
GPRS	General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
LoRa	Long Range (Uzun Menzilli)
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network (Uzun Menzil Geniş Alan Ağı)
LPWAN	Low Power Wide Area Network (Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı)
LTE	Long Term Evolution, Uzun Vadeli Evrim
M2M	Makineden Makineye,
MAC	Orta Derece Erişim Kontrolü
MILP	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
PDR	Paket Teslim Oranı
RSSI	Alınan Sinyal Gücü
QoS	Hizmet Kalitesi
OTAA	Over The Air Activation
SF	Yayıma Faktörü
TTN	The Things Network
TOA	Variş Süresi (Time of Arrival)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)

1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullandığımız nesnelerin internete bağlanarak daha akıllı, kolaylaştırıcı ve aslında bilişim konusunda teknolojiyi faydalı kullanmak daha mümkün olmaktadır. Bu teknolojileri kullanırken güç tüketimi, batarya ömrü ve mesafeler gibi önümüze birçok kısıtlamalar çıkmaktadır. Nesnelerin İnterneti için, birçok cihazın maliyet ve güç açısından kısıtlanması muhtemeldir. Kablosuz iletişim teknolojisi kullanımında bu gibi kısıtlayıcı nedenlere çözüm bulmak ise maliyeti arttırırken beklenen sonuçlara ulaşılması çok mümkün olmuyor. Kitlesele nesnelerin interneti olarak adlandırılan teknoloji ile sorunlara çözümlenmeler için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. IoT kullanımı yaygınlaşmasıyla beraber enerji verimliliğinin yüksek ve maliyetinin düşük olduğu bilişim teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) çok az enerji harcayarak ve daha uzun menzil alanına sahip veri iletimini sağlayan bir kablosuz iletişim teknolojisidir.

Çoğu kullanım durumu için, cihazlar yalnızca düşük veri hızı, ancak uzun menzil gerektirir. Hücresele teknolojiler, Wi-Fi veya Bluetooth bu kullanım durumlarına pek uygun değildir. LoRa (Uzun Menzilli) burada önemli hale gelir. LoRa cihazları düşük güçlü, uzun menzilli cihazlardır. Lisanssız frekans spektrumu üzerinden veri alışverişi yaparlar. Daha çok yaygın kullanım durumu, düşük oranlı sensör verilerini iletmektir. Dünya çapında ücretsiz veya ücretli hizmetler olarak sunulan çok sayıda LoRa dağıtımı vardır.

LoRa, Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı (LPWAN) alanında belirli bir teknolojidir. LoRa'ya alternatifler arasında Sigfox ve NB-IoT bulunur. LPWAN (Low Power Wide Area Network) karakteristik özellikleri ise, düşük güç tüketimi, uzun menzil, ölçeklenebilirlik ve servis kalitesi şeklindedir [1,2]. 2G ve GPRS gibi hücresele ağlar, özellikle uzak konumlardan veri göndermek için makineden makineye (M2M) veri iletişimi için kullanıldı. Bu tür ağlar, 3G veya LTE'ye kıyasla nispeten daha az güç kullandı. Ancak 2017'nin başında, AT&T (ABD) gibi ağ operatörleri 2G ve GPRS'in sona erdiğini duyurdu. Düşük güçlü, uzun menzilli ve çift yönlü iletişim cihazlarına hitap eden bir protokole ihtiyaç vardı. Bu, LoRa ağının daha geniş konuşlandırılmasına yol açtı. LoRa, hücresele ağlara özgü maliyetli spektrum lisans ücretlerine ihtiyaç duymaz. 2013 yılına kadar, LoRa'yı destekleyen temel teknolojilerin patentleri alındı ve Semtech'e aittir. Lora İttifakı ayrıca standartlaştırılması ve üzerine inşa edilmiş LoRaWAN tanıtımını yaparken, pazar ihtiyacını gidermek için 2015 yılının başlarında kuruldu [1].

LPWAN için önemli kullanım alanları arasında; akıllı şehir uygulamaları, akıllı sokak aydınlatmaları, elektrikli akıllı şebekeler, su, doğalgaz ve elektrik sayaç takibi, arazi ortam ve şartlarına bağlı akıllı tarım veya hayvan izleme vb. örnekler verilebilir. Tarımsal faaliyetlerin

günden güne değişmesi teknolojiye adapte olabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle LoRaWAN teknolojileri yaygın kullanıma başlaması ve LPWAN teknolojilerinin önemli unsurlarından olması bu tez çalışmasının konusu olarak belirlenmiştir.

1.1. İlgili Çalışmalar

LoRa, Fransa'da, düşük güç tüketimli ve uzun menzile sahip bir haberleşme, iletişim sistem kurmak isteyen Cycleo adlı bir girişim tarafından icat edilip 2008 yılında patenti alınmıştır. LoRa Birliği'nin kurucu ortaklarından olan Semtech firması 2012 'de bu teknolojiyi almıştır [3]. LoRa ve LoRaWAN teknolojilerinin yaklaşık olarak 10-15 yıllık geçmişi bulunuyor [4]. Haliyle bu gibi araştırma konusu açık olan yeni teknolojilere araştırmacıların ilgisi yoğun olmaktadır. Bu teknolojiler ile ilgili yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir;

LoRa hata modelinin kapsamlı, karmaşık temel bant, bit hata oranı simülasyonlarından oluşturulduğu ve bir girişim modeli olarak kullanıldığı farklı bir yaklaşım kullanılmıştır [5]. Dış mekânda LoRaWAN'ın performans değerlendirmesi uygulamasıyla bu protokolün uyarlanabilir veri hızı (ADR) şemasının, yük uzunluğunun, bağlantı kontrollerinin, test ortamının paket teslim oranı (PDR) üzerindeki etkisine odaklandı [6]. LoRaWAN ağlarında cihazdan cihaza (D2D) iletişimin kullanılmasındaki kritik özelliklerin gözden geçirilmesi ile [7]'de D2D haberleşme planının performans analizine değinilmiştir. [8]'de ise D2D haberleşmesinin pil tüketimini azalttığını ancak güvenliğin dikkate alınmasını önermiştir.

LoRaWAN ağlarının Hizmet Kalitesini (QoS) iyileştirmek için etkili bir yöntem olan Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (MILP) problem formülasyonu aracılığıyla, ağ trafiği özelliklerini bir bütün olarak dikkate alarak Yayılma Faktörü (SF) ve Taşıyıcı Frekansı (CF) radyo parametreleri için en uygun düzenleri bulup, Veri Ekstraksiyon Hızını (DER) iyileştirerek, LoRa ağlarında paket çarpışma oranını ve enerji tüketimini azaltmak [9]'da sunulmuştur.

LoRaWAN cihazlarının hazır ve son kitleri genellikle kapalı kaynaklı ve özel mülk olması nedeniyle [10]'da düşük maliyetli ve açık kaynak LoRaWAN cihazlarının deneyler için bir prototip tasarlanması yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan bu prototip için enerji tüketimleri, paket kayıp oranı gibi testleri de gerçekleştirmiştir. Dügümler üzerinde yapılan deneyler neticesinde, veri aktarımında yüksek hızlarda, iletişim performansının Doppler etkisine bağlı olarak kötüleştiğini göstermiştir [11,12].

[13]'da, LoRaWAN'a yapılması olası saldırıları analiz etti ve anahtarlama oluşturma sürecinin ve anahtar yönetimi politikasının geliştirilebileceğini iddia etti. LoRaWAN cihazlarının iletişim güvenliğinin sağlanmasında tüm cihazların, ağ geçitlerinin ve sunucularının, saldırılara

karşı korunmasında, kullanıcı tarafından doğrulamalı ve şifrelemeli koruma politikasına sahip olması gerekmektedir. Haberleşme güvenliğinin sağlanması için LoRaWAN'ın tüm cihazlarının, sunucularının ve ağ geçitlerinin doğrulama ve şifreleme kullanmaları önem arz etmektedir. LoRaWAN'ın güvenlik sorunları için karşı önlemleri araştırdılar [14]. Birleştirme prosedürünün incelenmesi, güvenilir ağ sunucusu varsayımı başarısız olduğunda, yalnızca bütünlüğün değil, aynı zamanda uygulama verilerinin gizliliğinin de tehlikeye atılabileceğini göstermektedir. [15]'de bir uç cihazın ağ sunucusuyla bağlantı kurmasına izin vermek için LoRaWAN'da kullanılan prosedür esnasında güvenlik saldırısı ve DoS saldırısının yapılabileceğini inceledi. Olası saldırıları belirledikten sonra, bölgeyi hedef alan DoS saldırılarını önlemek için alınacak önlemler birleştirme prosedürü, verilerin yeniden oynatılması ve geriye dönük uyumluluk senaryolarında gizli dinleme önerilmektedir.

[16]'da, ağlar arası parazitlerle başa çıkma yöntemleri olarak yönlü antenlerin kullanımını ve çoklu baz istasyonlarının kullanımını simülasyonlar yoluyla parazitlerin ağ performansı üzerinde çok güçlü bir etkisi olabileceğini ele almaktadır. Yönlü antenlerin, iletimdeki enerji maliyetini arttırmadığı gibi sinyal gücünü arttırdığını savunmaktadır. [17]'de ağlar arası girişime maruz kalan bir LoRa ağının performansını modellemek için rastlantısal geometri araçları kullanılmıştır. Bu çalışmada, LoRa ağlarında bulunan birlikte yayılan faktör paraziti türevleri, bu ağların sıkı ölçeklenebilirlik analizini sağlar. Lee yayılma modelinin kullanılmasında LoRa 868MHz teknolojisine dayalı ağların planlanması, tasarımı ve yönetimi analiz edilmektedir [18]. Önceden belgelenmiş dış mekân ölçümlerinin iç mekân ortamında nasıl yorumlandığı araştırıldı. Sık kullanılan yayılma modellerinin (COST231 ve Log-Distance) karşılaştırmalarını yaparak iyileştirmelerde bulunulan ve bir hibrit model olan yapay sinir ağı (ANN) modeli önerildi [19]. LoRa teknolojisi için farklı yonga setlerinin laboratuvar ortamında Alınan Sinyal Gücü Göstergesinin (RSSI) doğruluğunu ve önemli ölçüde farklı RSSI sonuçları elde ettiğini savunundu. Yol kaybını tahmin etmek için gerçek dünyadaki yükseklik verilerini kullanan Longley-Rice Düzensiz Arazi Modelini değerlendirdi. Bu ölçümlerini Almanya'da yarı kentsel bir arazide elde ettiği ölçümlerle karşılaştırılması [20]'de, göstermektedir. Lora teknolojisini Akıllı şehir nesnelere interneti dikkate alınarak 433MHz ile 868 MHz frekans bandlarında LPWAN performansını analiz ederek 5,8 km'ye kadar sinyal aralıklarına ulaştı, buna bağlı olarak 4,8 km mesafe içerisinde %99'un üzerinde paket teslim hızı sonuçlarını elde etmiştir [21]. [34]'te ise kanal kullanımını azaltarak paket teslim sayısını üst düzeye çıkarmayı değerlendirmektedir.

[22]'da LoRaWAN'ın 868 MHz frekansında çalışan bir düğüm için, yerde 15 km'nin üzerinde ve suda 30 km'ye yakın maksimum iletişim menzili elde edilip yol kaybının ölçümler neticesinde tahminine yol göstermektedir.

1.2. LoRaWAN Teknolojisi

Tez çalışmasında kullanılan; LoRa ve LoRaWAN için düşük maliyetli, ölçeklendirilebilir, kullanıma açık bir ağ olan The Things Network (TTN) ve LoRaWAN teknolojisi hakkında genel bilgilere değinilmiştir.

1.2.1. LoRa

LoRa, Semtech firmasının geliştirdiği yayılı spektrum modülasyonu tekniği olup uzun iletişim menziline sahiptir. Baz istasyonu ya da bir ağ geçidi ile çok geniş yüzlerce kilometre karelik alanları kapsayabilmektedir. LoRa, Chirp Spread Spectrum (CSS) modülasyonuna dayanmaktadır. CSS, Doğrudan Sıralı Yayılı Spektrum'un (DSSS) bir alt kategorisi olarak kabul edilir [23]. CSS, IoT ağı ihtiyaçlarıyla uyumludur çünkü alıcının hassasiyet sorununun üstesinden gelmeyi ve düşük spektral verimlilik pahasına iletişim aralığını artırmayı mümkün kılar.

LoRa özellikleri arasında uzun menzil, sağlamlık, düşük güç tüketimi, ileri hata düzeltme (FEC) ve Doppler direnci bulunur. LoRa, özelleştirilebilen birkaç fiziksel katman parametresi sunar. Bu parametreler arasında yayılma faktörü (SF), Bant genişliği (BW), iletim gücü (TP) ve kod oranı (CR) bulunur.

Shanon-Hartley teoreminde spread spektrum teknikleri üzerine hiçbir tartışma tamamlanmayacaktır. Bir gürültü girişiminde özel bir bant genişliği için bir iletişim bağlantısında iletilebilecek azami veri miktarını Shanon kanal kapasitesi olarak tanımlar [24].

$$C = B * \log\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (1.1)$$

C: Bir kanal kapasitesi içinde saniye başına bit

B: Bant genişliği, hertz

S: Bant genişliği üzerinden alınan ortalama sinyal gücüdür

N: Watt (veya volt kare) cinsinden ölçülen, bant genişliği üzerindeki gürültünün ve parazitinin ortalama gücüdür

S / N: Bir sinyal-gürültü oranı (SNR), ya da taşıyıcı-parazit oranı

Spread spektrum uygulamaları için sinyal / gürültü oranı küçüktür çünkü sinyal gücü genellikle gürültü tabanının altındadır.

$$\frac{C}{B} = 1,433 * \frac{S}{N} \quad (1.2)$$

Buradan bant genişliğini arttırmak SNR oranında artışları telafi edebilir.

LoRa, yalnızca en üst düzey pil ömrüne ihtiyaç duyan IoT aygıtlarıyla çalışmak üzere oluşturulmuştur. LoRa ISM bantlarında çalışır, 433 MHz, 868 MHz (Avrupa) , 915 MHz (Avustralya ve Kuzey Amerika), 865 MHz - 867 MHz (Hindistan) ve 923 MHz (Asya) gibi lisanssız alt gigahertz radyo frekansı bantlarını kullanır [25]. Türkiye’de ise bant olarak 868 MHz ve alt bantlar olarak 868.1, 868.3 ve 868.5 MHz kullanır (433MHz de mevcuttur).

1.2.2. LoRa Yayılma Faktörleri

LoRa, chirp'lerin veri taşıyıcısı olduğu CSS teknolojisine dayanır. Yayılma faktörü, cıvıltı oranını kontrol eder ve böylece veri iletiminin hızını kontrol eder. Daha düşük yayılma faktörleri, daha hızlı cıvıltılar ve dolayısıyla daha yüksek bir veri aktarım hızı anlamına gelir. Yayılma faktöründeki her artış için, cıvıltı tarama hızı yarıya iner ve böylece veri aktarım hızı yarıya iner. Daha düşük yayılma faktörleri, işleme kazancını azalttıkları ve bit hızını artırdıkları için LoRa aktarımlarının aralığını azaltır. Değişen yayılma faktörü, ağın, menzil pahasına her uç cihaz için veri hızını artırmasına veya azaltmasına olanak tanır [26]. Ağ ayrıca tıkanıklığı kontrol etmek için yayılma faktörlerini kullanır. Yayılma faktörleri dikeydir, bu nedenle farklı yayılma faktörleri ile modüle edilen ve aynı frekans kanalında aynı anda iletilen sinyaller birbirleriyle karışmaz.

Çizelge 1.1. Farklı LoRa SF Parametreleri [26]

SF	BW(kHz)	Veri Hızı(bps)	Yayılma Süresi(ms)	Çerçeveler Arasındaki Süre (s)
SF7	125	5470	61,7	6,2
SF8	125	3125	113,2	11,3
SF9	125	1760	205,8	20,5
SF10	125	980	411,6	41,2
SF11	125	440	823,3	82,3
SF12	125	250	1482,8	148,3
SF7	250	11000	30,8	3,1

LoRa modülasyonu için toplam 6 yayılma faktörü bulunmaktadır. SF7’den SF12’ye kadar olan yayılma faktörleri, veri hızını yayın sürelerini, pil ömrünü ve alıcı hassasiyetini etkiler. Düşük

yayılma faktörü, sabit bant genişliğinde daha yüksek bir veri hızı sağlamaktadır. Sabit yayılma faktöründe ise bant genişliğinin artırılması veri hızını da arttıracaktır. Aşağıdaki çizelgede bant genişlikleri yönünden veri hızını göstermektedir.

Çizelge 1.2. Aynı SF, Farklı Bant Genişliğine Göre Veri Hızı [26]

Yayılma Faktörü	Bant Genişliği	Veri Hızı (kbit/s)
SF7	125	5,5
SF7	250	10,9
SF7	500	21,9

Büyük yayılma faktörleri, büyük işlem kazancı demek olur ve daha büyük bir yayılma faktörü ile modüle edilmiş sinyal, daha düşük bir yayılma faktörü ile mukayese edildiğinde daha az hata ile alınabilir [26]. Böylelikle daha uzun mesafe kat edebilir. Yani SF12, SF7den daha uzak bir mesafeye iletim sağlar.

Bir uç cihazın pil ömrü, yayılma faktörlerinin kullanımına göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Daha yüksek yayılma faktörleri alıcı-vericileri daha uzun süre aktif ettikleri için daha kısa pil ömrüne neden olur.

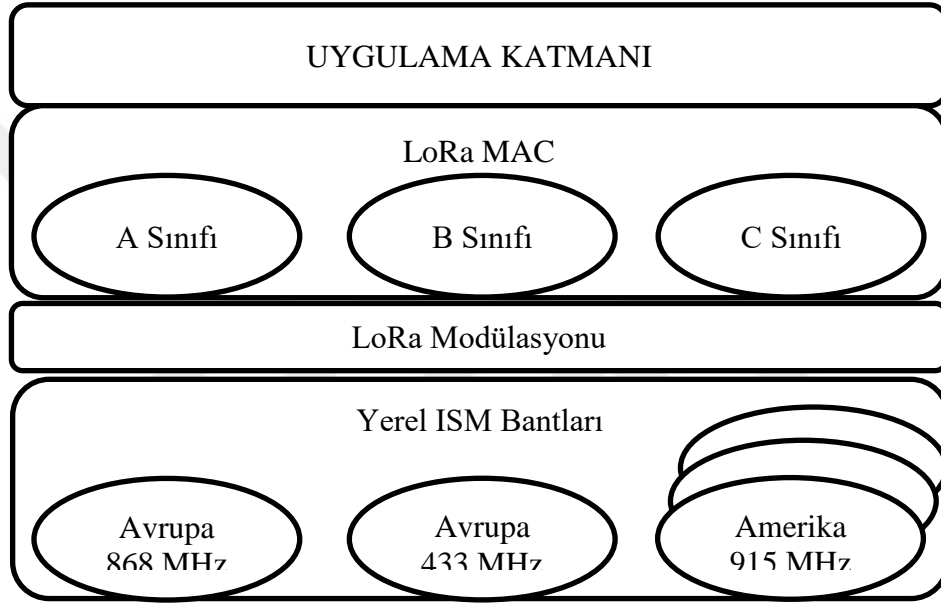
Çizelge 1.3. Yayılma Faktörlerinin Alıcı Hassasiyetleri [26]

Yayılma Faktörü	Bant Genişliği	Alıcı Hassasiyeti
SF7	125kHz	-123 dBm
SF8	125kHz	-126 dBm
SF9	125kHz	-129 dBm
SF10	125kHz	-132 dBm
SF11	125kHz	-134.5 dBm
SF12	125kHz	-137 dBm

Daha yüksek yayılma faktörleri, daha yüksek alıcı hassasiyeti sağlar. Genellikle LoRa, sinyal zayıf olduğunda daha yüksek yayılma faktörleri kullanır. Çizelge 1.3'e göre SF12 yayılma faktörü en yüksek alıcı hassasiyetini sağlar.

1.2.3. LoRaWAN

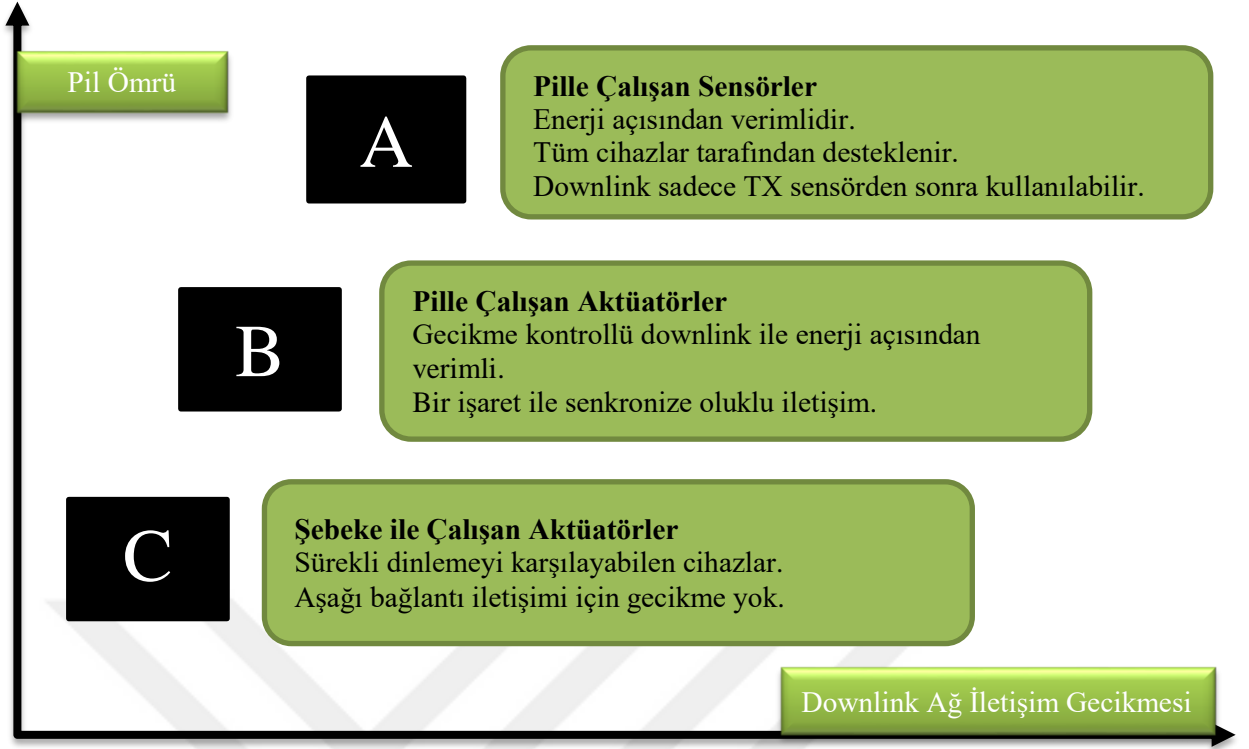
LoRaWAN ağ erişiminde bir MAC katman protokolü ve sistem mimarisinin ürünüdür; ortam erişim kontrolünü denetler ve kontrollü bir erişim sağlayarak tüm ortaklar için gelişmiş bir ortak platform sağlar. Protokol ve ağ mimarisi, düğümün servis kalitesini, pil ömrünü, güvenliğini, ağ kapasitesini ve ağın çeşitliliğini belirlemede büyük etkiye sahiptir. LoRaWAN protokolü bataryalı, sabit ya da hareketli uç cihazlar için en uygun hale getirilmiştir. LoRa Mac katmanı, modülasyon ve yerel ISM bantlarından oluşmaktadır [27]. Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. LoRa Uygulama Katmanı

1.2.3.1. LoRaWAN Sınıfları

Uç cihazlar farklı uygulama ve ihtiyaçlara sahiptirler. Cihaz sınıfları, pilin kullanım ömrüne karşı ağ, (DL: downlink) aşağı bağlantı gecikmesinin dengesini sağlamaktadır. Tüm LoRaWAN destekli cihazlar A sınıfını destekleyebilmelidir ve uyumlu olmak zorundadır. LoRaWAN sınıflarının karşılaştırılması Şekil 1.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. LoRaWAN Sınıfları Karşılaştırılması

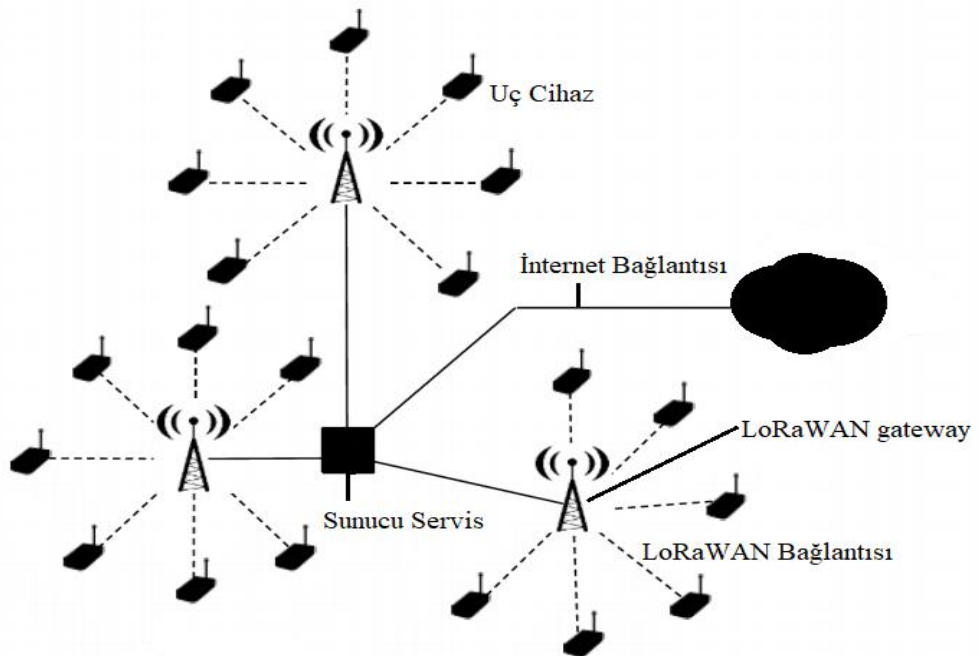
(A Sınıfı): A Sınıfı uç cihazlar, her bir uç cihazın iki yönlü iletişimine izin verir. Gönderi aralığı, uç cihazlar tarafından haberleşme ihtiyaçlarına göre rastgele bir zamana (ALOHA tipi protokol) dayalı olarak küçük bir varyasyonla planlanır. Bu A Sınıfı işlem, yalnızca uç cihaz bir yukarı bağlantı iletimi gönderdikten kısa bir süre sonra sunucudan aşağı bağlantı iletişimi gerektiren uygulamalar için en düşük güç uç cihaz sistemidir [27]. Bu da tüm LoRaWAN sınıfları arasında enerji verimliliği en iyi olan protokoldür. Sunucudan herhangi bir zamanda gönderilen aşağı bağlantı mesajları, bir sonraki planlanmış yukarı bağlantıya kadar beklemek zorunda kalacaktır.

(B Sınıfı): Planlanmış alma yuvalarına sahip çift yönlü uç cihazlar A Sınıfı uç cihazların rastgele gönderi alma pencerelerine ilaveten, B sınıfı uç cihazlar, planlanan zamanlarda ekstra gönderi alma pencereleri açar. Uç cihazın planlanan zamanda kendi gönderi alma penceresini açması için, ağ geçidinden zamanla senkronize edilmiş bir beacon (işaret) alır. Bunun sayesinde, sunucunun uç cihazın ne zaman dinlediğini bilebilmektedir [27].

(C Sınıfı): C Sınıfı uç cihazlar, hemen hemen daima açık gönderi alma pencerelerine sahip olup sadece iletim esnasında kapanırlar. Maksimum alma yuvalarına sahip çift yönlü uç cihazlardır [27].

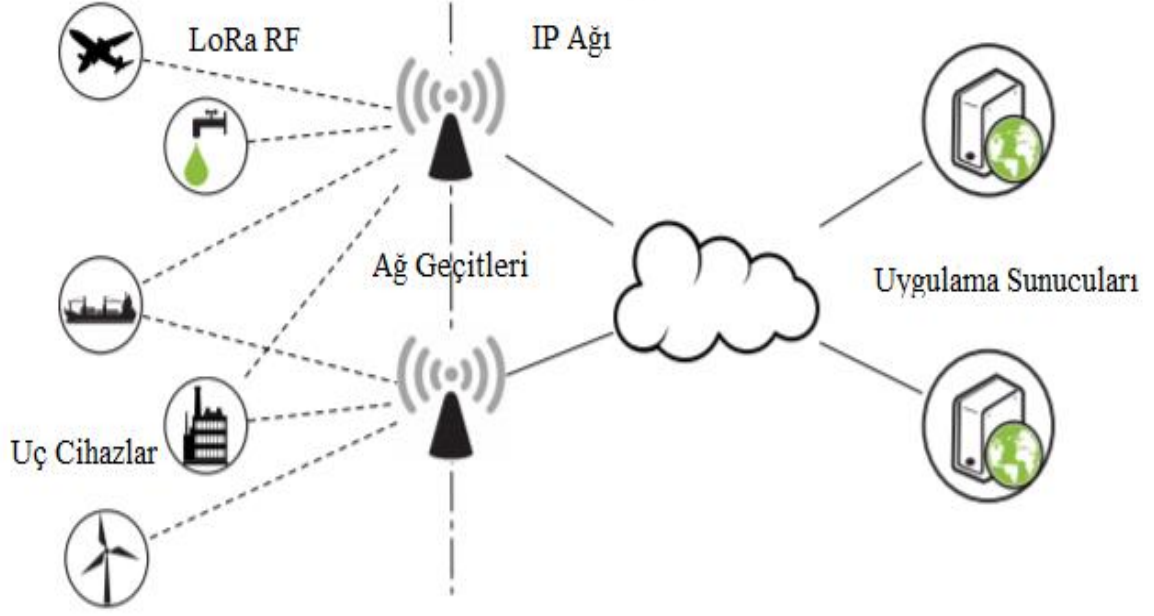
1.2.3.2. LoRaWAN Ağ Mimarisi

LoRaWAN ağları genelde yıldız topolojisine uygun şekilde kurulur. Bu Şekil 1.3'de görülebilir. Mevcut konuşlandırılmış birçok ağ, yıldız topolojisine uygun ağ mimarisi kullanır. Bu ağda, uç düğümler, ağın hücre boyutunu ve ağın iletişim aralığını artırmak için diğer düğümlerin bilgilerini iletir. Bu, menzili artırırken, aynı zamanda karmaşıklık ekler, ağ kapasitesini azaltır ve düğümler kendileri için önemli olmayan diğer düğümlerden bilgi alıp ilettikçe pil ömrünü kısaltır. Uzun menzilli yıldız mimarisi, uzun menzilli bağlantı elde edilebildiğinde pil ömrünü korumak için en mantıklı olanıdır.



Şekil 1.3. LoRaWAN Yıldız Topolojisi [28]

Bir LoRaWAN ağında düğümler belirli bir ağ geçidi ile bağdaştırılamaz. Bunun yerine bir düğümlerle iletilen veriler birden çok ağ geçidi ile alınır. Ağ geçitleri, alınan paketleri uç cihazlardan ana taşıyıcıya, bulut tabanlı bir ağ sunucusu (Wi-Fi, İnternet, Uydu, Hücresel Ağ) tarafından iletilir [28]. Sistem karmaşık bir yapıya sahip olduğu zaman, paket filtrelemeleri, güvenlik kontrolleri, optimal ağ geçidi aracılığıyla onayları programlayan ve veri hızı gibi unsurları gerçekleştiren ağ sunucusuna gönderilir. Eğer uç cihaz hareketli veya mobil bir sistemse ağ geçitleri arası geçiş gerekmez.

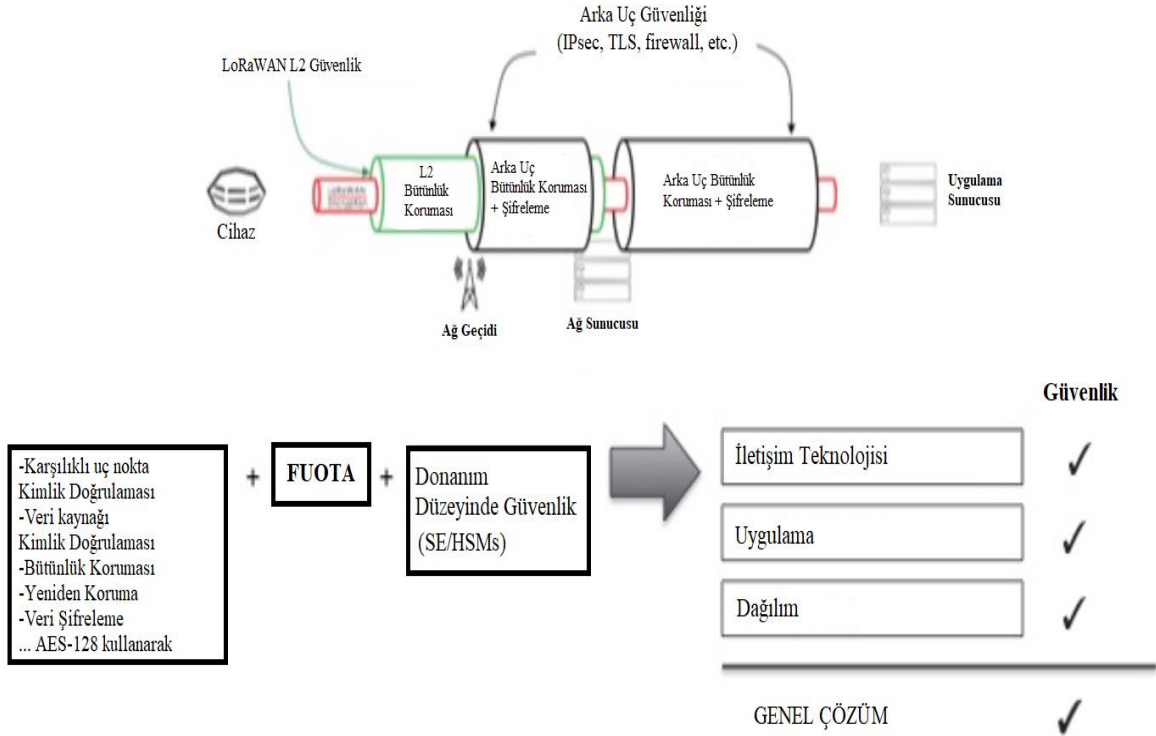


Şekil 1.4. LoRaWAN Ağ Mimarisi [28]

LoRaWAN ağ mimarisi incelendiği zaman uç cihazlardan, ağ geçitlerinden ve veri ağlarından oluşur. Ağ geçitleri, geçitler ile veri ağları arasındaki bağlantıyı kurar. LoRaWAN mimarisine genel bakışı Şekil 1.4’te gösterilmiştir.

1.2.4. LoRaWAN Güvenlik

LoRaWAN tasarımı gereği güvenli bir protokol olup kimlik doğrulama ve anahtarlama yapmak zorunludur. Buna rağmen şifreler güvenli tutulmazsa ve şifrelerde güncelleme yapılmazsa ağlarda ve cihazlarda güvenlik zaafiyeti oluşur ve tehlikeye atılabilir. LoRaWAN geliştirilmesinde güvenlik daima ön planda ve protokolün güvenlik özellikleri konusunda şeffaf olmuştur [29]. LoRaWAN güvenliğine genel bakış Şekil 1.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. LoRaWAN Güvenliğine Genel Bakış [29]

Uç cihaz ile ağ sunucusu arasında iletişim paylaşımında 128 bitlik ağ oturumu şifrelemesi kullanılabilir. Uçtan uca AES (Gelişmiş Şifreleme Standardı) algoritmaları, kimlik doğrulama ve bütünlük sağlamak amacıyla kullanılır. Uygulama sunucuları uçtan uca şifreleme, ağ sunucusuna paket anahtarlama uygulanmaktadır. LoRaWAN herhangi bir kablosuz haberleşme teknolojisinin kullandığı tüm yapı taşına sahiptir. Bunu AES-128 gücünde yapmaktadır [29]. Bu iletişim teknolojisinde çoğu şifrelemelerden güvenli olduğu anlamına gelmektedir. 128 bitlik şifreleme çok güvenli olup askeri alanda da kullanılmaktadır.

1.2.5. LoRaWAN Özellikleri

Veri iletişimi konusunda diğer protokollerden çok daha az güç tüketimi vardır ve pil ömürlerini uzatır. Mesafe kapsamında IoT cihazlarının en büyük sıkıntılarında birisine çözüm olmaktadır. Dış ortamlarda 15 kilometreye kadar, iç ortamlarda ise yaklaşık 5 kilometre mesafe ayrıcalığı sağlamaktadır. Bu özellik IoT cihazla açısından daha iyi ve ucuz olmaktadır. Lisans gerektirmeyen frekanslar ve düşük maliyetli baz istasyonlarının kurulumu sayesinde ekonomik olmaktadır. Yıllarca aynı pil kullanımıyla LoRaWAN IoT cihazlarının bakım ve pil değişimi

gerektirmemesi maliyet verimliliğini üst düzey arttırmaktadır. LoRa ile çalışan IoT cihazlarının açık katnaklı bir protokol kullanmasını sağlar. İki yönlü iletişim sağlamasıyla ağ birimleri hem veri aktarabilir hemde alabilir. Uzak mesafelere dahi durum mesajları gönderebilmektedir. GPS gerektirmeden daha ucuz ve daha az enerji harcayan konumlama tekniği vardır. LoRa RF asansör, kapalı otopark, tünel gibi engelleri kolayca aşır kapalı alanlardaki uç cihazlara ulaşabilmektedir.

1.3. Kablosuz İletişim Protokollerinin Karşılaştırılması

İot tabanlı kablosuz haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması Çizelge 1.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

	LoRa	ZigBee	Sigfox	Wi-Fi	Bluetooth
Frekans	433, 868, 915 MHz	868, 915 MHz 2.4 GHz	868 MHz	2.4, 5 GHz	2.4 GHz
Mesafe	15 Km kadar	10-100 m	10 km kadar	100 m	10 m
Veri İletim Hızı	50 Kbps	250 Kbps	—	11-54 Mbps	1 Mbps
Güç Tüketimi	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
Ağ Boyutu	1000	64000	1000	IP sayısı kadar	7
Kanal Adeti	10	11 ve 16	—	13	19

Çizelge 1.4. incelendiği zaman en yaygın kullanılan iot tabanlı kablosuz teknolojiler; frekans, mesafe, veri iletim hızı, güç tüketimi, ağ boyutu ve kanal adeti açısından karşılaştırılmıştır. Burada görüldüğü üzere LoRa teknolojisi en düşük veri iletim hızı ile en uzun menzile sahipken, Wi-Fi ve Bluetooth ise en yüksek veri iletim hızı ve en düşük menzile sahiptir. Veri iletim hızına bağlı olarak ise güç tüketimi artmaktadır.

1.4. Tarımsal Sulamada LoRaWAN Örneği

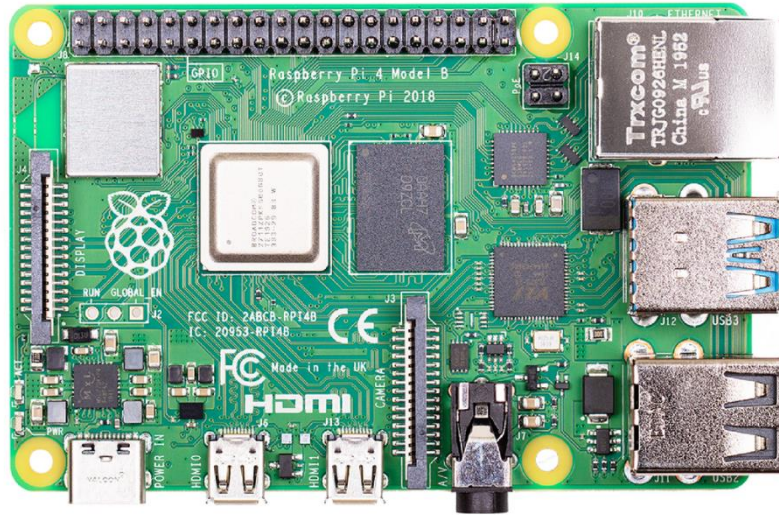
Sürekli gelişim göstererek daha kolay ve hızlı hale gelmeye başlayan tarım, sulama teknolojilerinde iyileştirme yapılarak daha verimli ve düşük maliyetli olabilmektedir. Tarım alanında yaptığım küçük araştırmalarla sulama yapıldığı zaman mesafelerden kaynaklı zaman kaybı ve iş yükü artması sorunları ile karşılaştım. Tarlalara ve bahçelere sulama yaparken kontrol sistemlerinde bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar; kumanda ettiği sulama sistemi uzak mesafelere kontrol sağlayamamakta ve sürekli yer değıştirme yapılarak sulama sistemleri bu şekilde çalıştırılmakta, bu şekilde yapılıncaya verim belli bir oran da düşüş göstermektedir. Çünkü sulama yapılacak alanlar çok büyük olabiliyor, farklı zamanlarda yapılan sulama, tarım ürünlerinin bazı alanlarında yüksek verimlilik gösterirken bazı alanlarda verim kalitesi düşüş göstermektedir. Gsm operatörleri kullanan çiftçiler ise şebeke sorunuyla karşılaşmaktadır. Sorunu giderebilmek için ya kendi baz istasyonlarını kuracaklar yada tarlalarına, bahçelerine yakın olacaklar ki bu da kesin çözüm olmayabiliyor. Bunun için fazla işçi çalıştırmak maliyeti arttırmaktadır. Hem maliyeti, verimliliği hemde mesafe sorununu LoRaWAN ile yapılacak çalışmalar ile birlikte ortadan kaldırmak mümkün olabilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Raspberry Pi 4 Model B+

Raspberry pi, 1080p videoları bile rahatlıkla oynatabilecek güce sahip. İşletim sistemini micro SD kart yardımıyla üzerinde taşıyan bu bilgisayarı, küçük boyutları sayesinde her zaman yanınızda taşınabilir ve kolaylıkla her yerde muhafaza edilebilir. Sessiz çalışan Raspberry Pi, bir kişisel bilgisayardan beklenen birçok özelliği karşılayabilmektedir. Raspberry Pi'yi normal bir bilgisayar olarak ya da üstündeki pinleri kullanarak kendi elektronik çözümlerinizi geliştirmek için bir platform olarak kullanabilirsiniz. Tez çalışmasında LoRaWAN modülü ile Raspberry pi kullanılarak ağ geçidi yapılmıştır. Küçük ve az maliyetli olması avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.1. Raspberry Pi 4 Model B+

Şekil 2.1’de gösterilen Raspberry Pi 4 B+ kart üzerinde 1.5 GHz’de çalışan, 4 çekirdekli 64-bit bir işlemci ve 8 GB RAM bulunuyor. Bu modelde 5.0 bluetooth desteği bulunmaktadır. Çift-Band 2.4GHz ve 5GHz kablosuz yerel ağ bağlantısına sahiptir. Wi-Fi ve PoE içeren model, PoE desteği ile artık adaptör olmadan Ethernet hattından hem data hem güç bağlantısı yapmaktadır [30].

2.1.2. iC880A LoRa Yoğunlaştırıcı Modülü

iC880A, paralel olarak 8 kanala kadar farklı yayma faktörleri ile gönderilen farklı uç cihazların paket verilerini alabilir. Yayılma faktörlerinin ve sinyal bant genişliklerinin kombinasyonunun farklı veri hızlarına neden olması nedeniyle, "Dinamik Veri Hızı Uyarlaması"nın kullanılması mümkün hale gelir. Bu, yoğunlaştırıcıdan uzak mesafelere sahip Lora® düğümlerinin daha yüksek yayılma faktörleri kullanması ve dolayısıyla daha düşük bir veri hızına sahip olması gerektiği anlamına gelir. Yoğunlaştırıcıya daha yakın olan LoRa® düğümleri daha düşük yayılma faktörleri kullanabilir ve bu nedenle veri hızlarını artırabilir. Bu, yönlendiricilere veya tekrarlayıcılara ihtiyaç duymadan, kullanımı kolay yıldız veya çoklu yıldız ağları oluşturmaya olanak tanır [31].

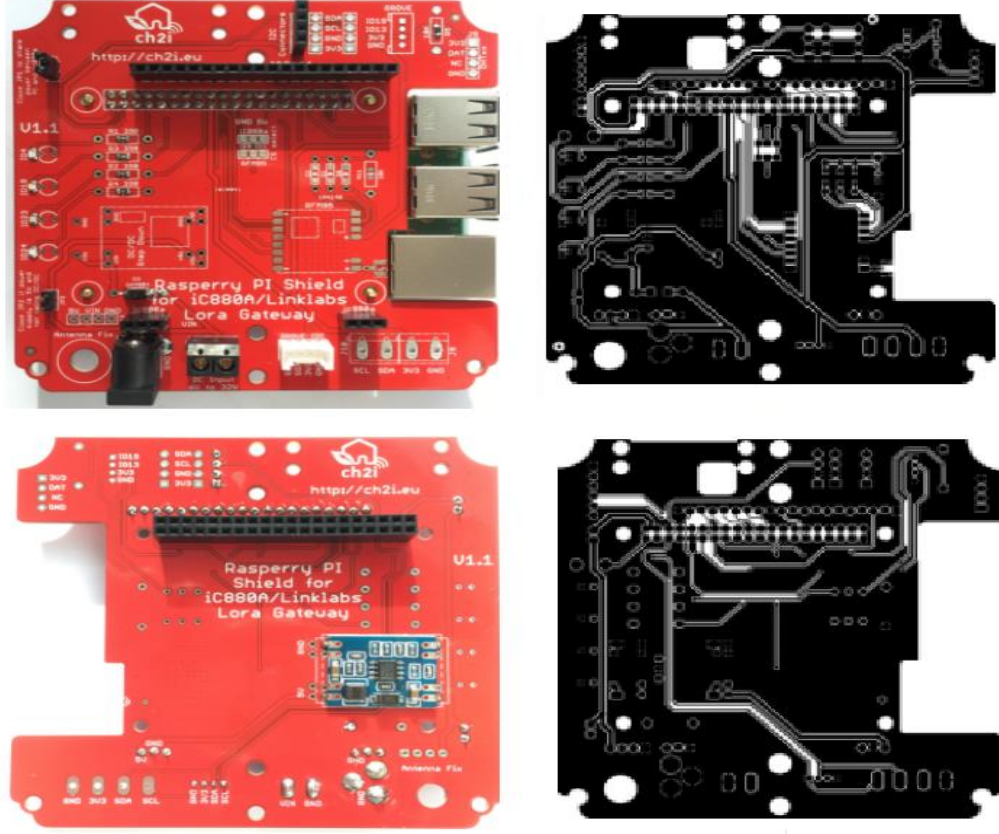


Şekil 2.2. iC880A LoRa Yoğunlaştırıcı

Şekil 2.2.'de iC880A yoğunlaştırıcı modülü gösterilmektedir. Raspberry pi ile bağdaştırılması için jumper veya kalkan gibi gerekli materyaller kullanılabilir.

2.1.3. Jumper veya Raspberry Pi ve iC880A Ağ Geçidi Kalkanı

Ağ Geçidini kurulumunda Raspberry pi ile iC880A arasında konuşurma yapabilmek için jumperlar kullanılmıştır. Jumperların kullanımında gürültü olabilmektedir. Gürültü oranını azaltmak için ise ağ geçidi kalkanı kullanılması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Ağ Geçidi Kalkanı ve PCB Çizimleri

Şekil 2.3.'te gösterilen ağ geçidi kalkanının PCB çizimlerine Github'tan ulaşılabilir. Bakır plaka kullanılarak asit yöntemi ile veya CNC ile çıkartılabilir. Bunları yapmak zaman alabilir. Bunun yerine jumper ile bağlantıları sağladığımız zaman ağ geçidi yine sorunsuz çalışmış olacaktır. Bu çalışmada Şekil 2.4.'te gösterilen dişi dişi jumperlar kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Dişi Dişi Jumper

2.1.4. RF 868Mhz 5dBi SMA Anten

868MHz frekansında 5 dBi kazanca sahip, 50W maksimum güç kullanımıyla LoRaWAN teknolojilerinde Node ve Gateway için tasarlanmıştır. Anten Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. HSA-TFC Anten

2.1.5. Arduino Uno

Arduino uno, kütüphanelerin sağladığı özelliklerle ve LoRa Node kullanımında destekleyici olarak çalışmaktadır. Kütüphaneler yardımıyla birçok LoRa modülünü destekleyip EU-868 bandında eksiksiz bir LoRaWAN A sınıfı ve B sınıfı uygulamasını sağlamaktadır.

2.1.6. RFM95/96/97/98 (w) LoRa Modülü

RFM95w alıcı-vericileri, akım tüketimini en aza indirirken ultra uzun menzilli yayılı spektrum iletişimi ve yüksek parazit bağışıklığı sağlayan LoRa uzun menzilli modeme sahiptir. Hope RF'nin patentli LoRa modülasyon tekniği RFM95/96/97/98 (w) kullanılarak, düşük maliyetli bir kristal ve malzeme listesi kullanılarak -148dBm üzerinde bir hassasiyet elde edilebilir. Entegre +20 dBm güç amplifikatörü ile birleştirilmiş yüksek hassasiyet, endüstri lideri bağlantı bütçesi sağlayarak, menzil veya sağlamlık gerektiren herhangi bir uygulama için ideal hale getirir. LoRa ayrıca geleneksel modülasyon tekniklerine göre hem engelleme hem de seçicilik açısından

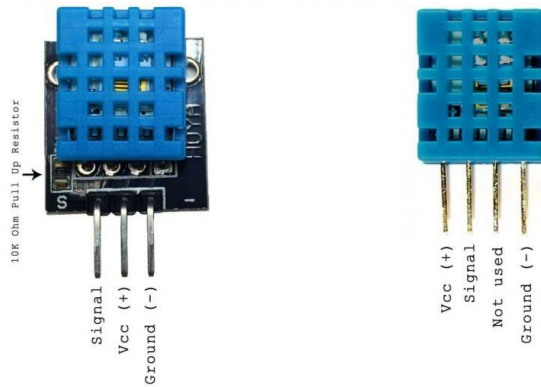
önemli avantajlar sağlar ve menzil, parazit bağışıklığı ve enerji tüketimi arasındaki geleneksel tasarım uzlaşmasını çözer. RFM95/96/97/98 (w), rakip cihazlardan önemli ölçüde daha düşük akım tüketimi için olağanüstü faz gürültüsü, seçicilik, alıcı doğrusallığı ve IIP3 sunar. Şekil 2.6.'da RFM98 (w) LoRa modülü gösterilmiştir.



Şekil 2.6. RFM96w LoRa Modülü

2.1.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü

Sensör tek veri hattı üzerinden iletişim sağlamaktadır. Bu veri hattını MCU ile ortak olarak kullanır. MCU sensörü tetikledikten sonra sensör sıcaklık ve nem bilgilerini aynı veri hattından gönderir. DHT11 sıcaklık ve nem bilgilerini 40 bitlik bir veri paketinin içerisinde göndermektedir. Sensör modül üzerinde ve sade hali Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü

2.1.8. Güç Kaynağı

Güç kaynağı olarak ağ geçidinin ve sensör düğümünün enerji tüketimine göre uzun yıllar boyunca pil sorunu olmaması açısından 2400 mAh lityum pil kullanılmıştır. Pil ömrü sensör düğümü için yaklaşık 10 yıl ve üzeri ağ geçidi açısından ise 10 yıl üzeri bir olanak tanımaktadır.

2.2. Yöntem

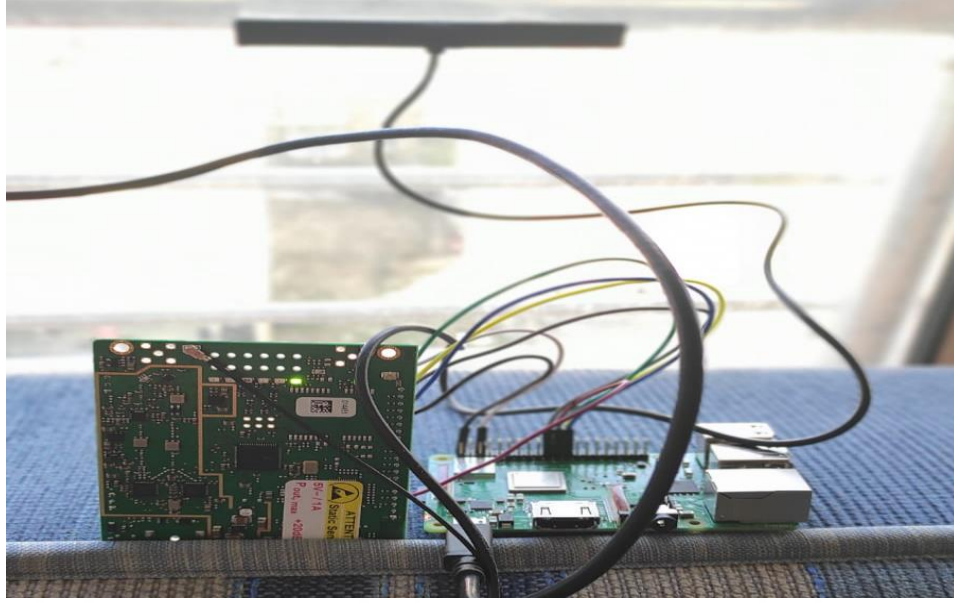
Bu tez çalışmasında LoRaWAN ile ilgili teorik bilgiler verildikten sonra testbed platformu oluşturularak gerekli verilerin ölçülmesine geçilmiştir. Testbed platformu oluşturulurken öncelik olarak bir ağ geçidi kurulmuştur. Ağ geçidinin geliştirme kısmı Bitlis Eren Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Teknoloji Laboratuvarlarında yapılmıştır. Kurulan ağ geçidi Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Dış ortama bağlı yapılan test platformunda ağ geçidi Tatvan-Ahlat ilçesi arasına yerleştirilmiştir.

2.2.1. Ağ Geçidi (Gateway) Yapısı

LoRa ağ geçidi olarak iC880A modülü ile raspberry pi 3 Model B+ kullanılmıştır. Raspberry pi burda sunucu görevi görmektedir. iC880A ile raspberry pi bacak bağlantı pinleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. iC880A modülünün spi üzerinden raspberry pi ile haberleşme yapabileceğini anlatmaktadır. Hemen hemen bütün LoRa-LoRaWAN ağ geçitlerinin yaptığı teknik özellikleri barındırmaktadır.

Çizelge 2.1. Raspberry pi ile LoRaWAN Modülü Bağlantı Pinleri

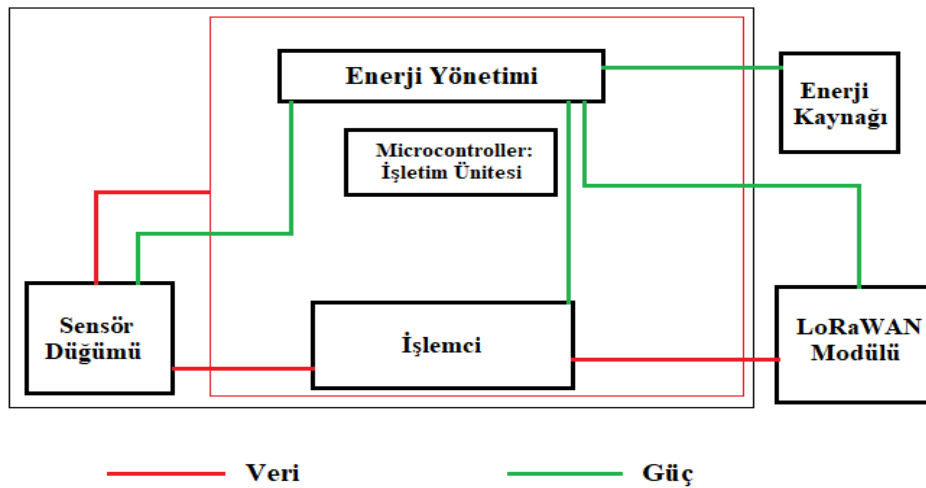
Rpi	iC880A	Açıklama
2	21	5V Besleme
6	22	GND
22	13	Reset
23	14	Spi Clk
21	15	MISO
19	16	MOSI
24	17	NSS



Şekil 2.8. LoRaWAN Ağ Geçidi

2.2.2. Node Yapısı (Uç Cihaz)

Uç cihaz, LoRaWAN radyo protokolünü kullanarak verileri bir erişim noktasına iletmektedir. Uç cihazın çalışması için bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Sulama yapılması için gereken veriler, nem ve sıcaklık sensörleri ile elde edilmiştir. Sensör düğümü mimarisi Şekil 2.9. 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Sensör Düğümü Mimarisi

ABP (Activation By Personalisation) ile kurulum yapıldığı zaman cihaz için kullanılan anahtarlama yönteminde NwksKey, AppsKey ve DevAddr bileşenleriyle kodlanır.

```
static const u1_t PROGMEM NWKSKEY[16] = { 0x20, 0x59, 0x50, 0xE2, 0x28, 0xEA, 0x7E,  
0x31, 0x02, 0x96, 0x5E, 0x71, 0xA9, 0xDF, 0x4F, 0x };  
  
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0x0D, 0x8C, 0x58, 0xEC, 0x33, 0x64, 0x3F,  
0x9E, 0x76, 0x60, 0xED, 0x96, 0xD4, 0x45, 0xB5, 0x6 };  
  
static const u4_t DEVADDR = 0x 26011622 ;
```

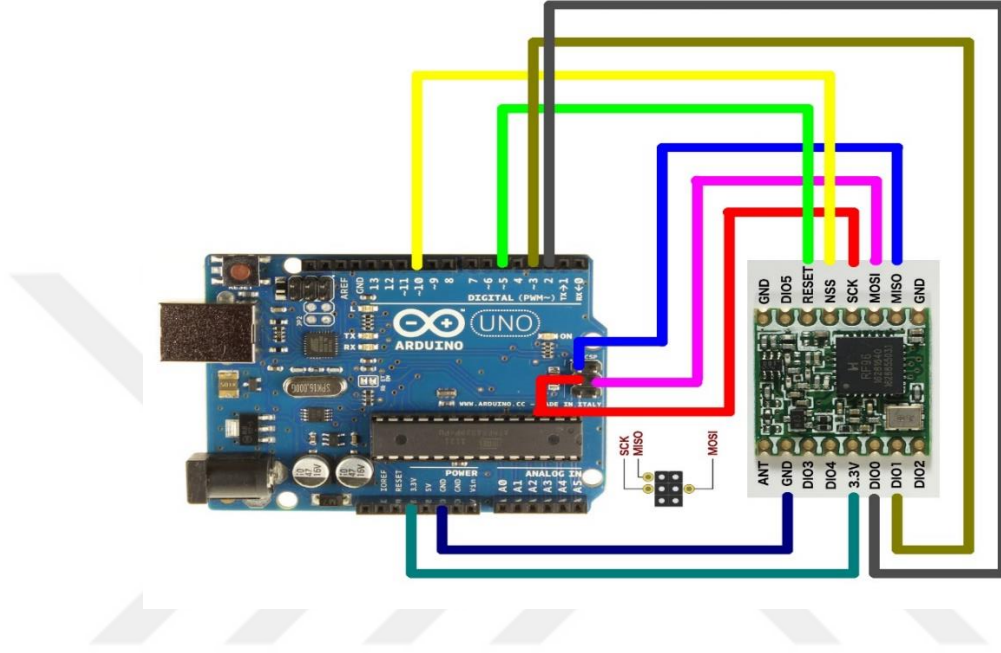
Otaa (Over The Air Activation) ile bağlantı kurulmak istendiği zaman ise aşağıdaki bilgiler girilerek yapılmaktadır.

```
static const u1_t PROGMEM APPEUI[8] = { 0xDF, 0x29, 0x04, 0XD0, 0x7E, 0XD5, 0XB3, 0x70  
};  
  
void os_getArtEui (u1_t*buf) {memcpy_P(buf, APPEUI, 8); }  
  
static const u1_t PROGMEM DEVEUI[8] = { 0x69, 0x07, 0x14, 0xFE, 0xFF, 0xEB, 0x27, 0xB8  
};  
  
void os_gettDevEui (u1_t*buf) {memcpy_P(buf, DEVEUI, 8)}  
  
static const u1_t PROGMEM APPKEY[16] = {0x76, 0x6D, 0xA4, 0x02, 0xCE, 0x29, 0xBF,  
0x6B, 0x9B, 0xEC, 0x03, 0xB7, 0x07, 0xA5, 0x0C} ;  
  
void os_getDevKey (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}
```

Arduino ile RFM95w Lorawan modülünün bağlantısında ise bacakların eşleşmesi pinmap'te gösterilmiştir.

```
const lmic_pinmap lmic_pins = {  
  .nss = 10,
```

```
.rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,  
.rst = 5,  
.dio = {2, 3, LMIC_UNUSED_PIN},  
};
```



Şekil 2.10. Arduino ile RFM95w'nin Bağlantı Bacakları (Node Bağlantısı)

Şekil 2.10'da uç cihaz için Arduino ile haberleşme sağlayan rfm95w'nin bacak bağlantı noktaları verilmiştir. Node cihaz hazır olunca sensör(leri) pinlere uygun yerleştirilip uç cihazı kodladıktan sonra cihaz pil yardımıyla istenilen konuma yerleştirilebilir.

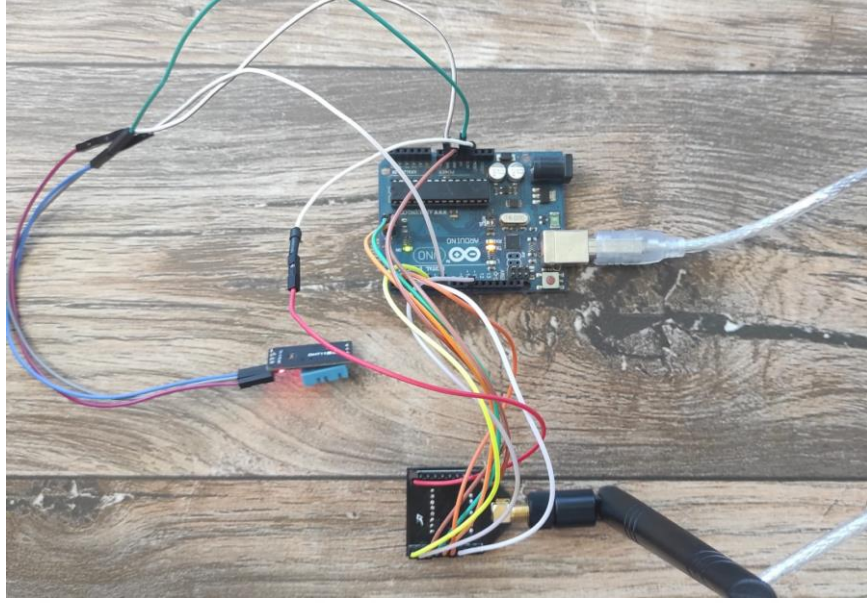
```
#define LED_YELLOW 8
```

```
#define LED_GREEN 6
```

```
#define DHT_PIN 7
```

```
#define BTN_PIN 9
```

Arduino kodunda, downlink mesajını okuyabilecek şekilde sensör uç cihazına 2 adet led yerleştirilmiştir ve mesajı node cihazdan manuel olarak gönderebilmek için buton koyulmuştur. Sıcaklık sensörü ise sinyal pini Arduino Uno'nun 7 numaralı girişine bağlanmıştır.

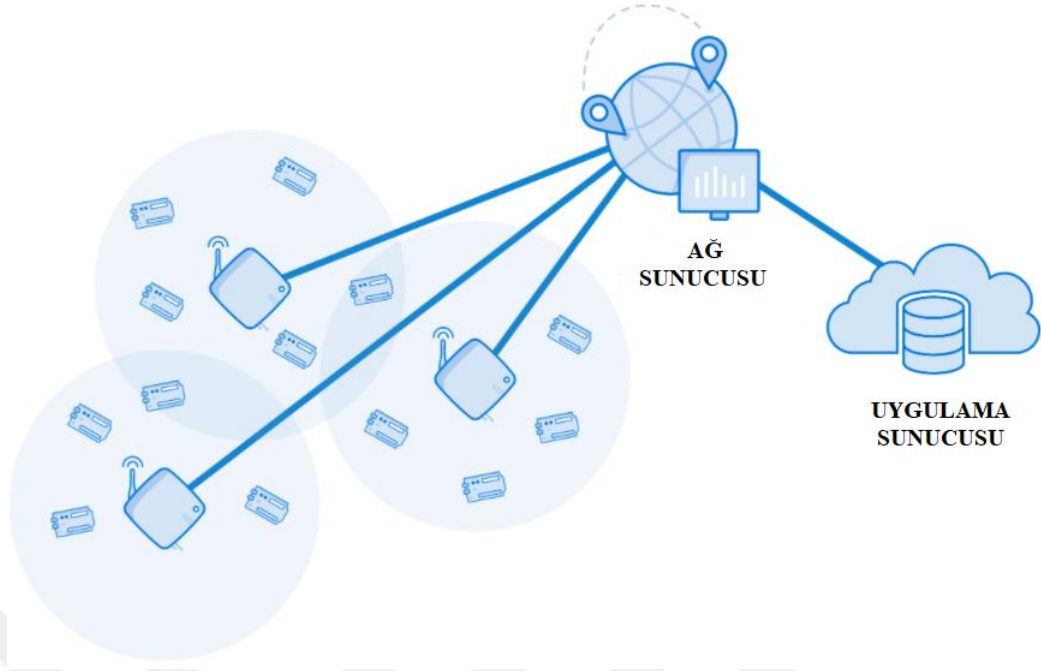


Şekil 2.11. LoRaWAN Node Sensör

2.2.3. The Things Network

The Things Network 'ün ağ sunucuları, IoT verilerini cihazlar ve uygulamalar arasında ki yönlendirmeyi sağlamakla görevlidir. Bu yönlendirmeyi sağlayabilmesi için belli radyo protokolleri ile internet arasında bileşen olarak ağ geçitlerine ihtiyaç duyar. Bu ağ geçitleri alınan paketleri ağ sunucusuna iletmektedir.

The Things Network mimarisi, ağ geçitleri, uç cihazlar, ağ sunucusu ve uygulama sunucusu ile şekil 2.12'de gösterilmektedir. Sensörler tarafından ağ geçitlerine iletilen veriler ağ sunucularına, ağ sunucularından ise The Things Network uygulama sunucusuna iletilir [32].



Şekil 2.12. The Things Network Mimarisi [32]

The Things Network, LoRaWAN için bir ağ sunucusu sağlar. İlk olarak ağ geçitlerinin kullanımı için zamanlama ve yönetme önemli bir noktadır. Ağ geçitleri aynı anda birden fazla iletim yapamadığı için zamanı kullanmak son derece önem arz etmektedir. Diğer yandan önemli bir husus ise ağ geçitlerinin durumlarını izlemektir.

Cihaz durumlarını yönetirken, cihaz adresleri eşsiz olmadığından ağ sunucusu, verilerin doğru cihaz ve uygulamalara eşlemesi için kullanılan cihazları ve adresleri takip etmelidir.

2.2.4. OTAA ve ABP

2.2.4.1. OTAA

DevEUI, uç cihaz için eşsiz bir isim hakkı verir ve bir MAC adresine benzer. Bazı cihazlar DevEUI isimleri ile gönderilir. AppEUI, uygulama sunucusunu eşsiz bir isimle tanımlar ve bir port numarasına benzer. AppKey, bir AES 128 bitlik anahtardır ve mesajın bütünlüğünü sağlayarak Mesaj Bütünlük Kodunu (MIC) oluşturmak için kullanılır. Hem uç cihaz hem de ağ sunucusu aynı AppKey'i depolamalıdır. Uç uca şifreleme kullanarak haberleşmeyi sağlar. EUI, 64 bit uzunluğunda olan Genişletilmiş Benzersiz Tanımlayıcı anlamına gelir ve genellikle ağ bileşenlerinin tanımlanması için kullanılır [33].

Mesaj Bütünlük Kodu (MIC), uç cihaz, diğer cihazların katılma isteğini önlemek için rastgele oluşturulan bir sayı olan DevNonce'u üretir. Uç cihazlar DevNonce, AppEUI ve DevEUI içeren bir mesaj oluşturur. Bu mesajın üzerinde, Mesaj Bütünlük Kodu (MIC), AppKey tarafından oluşturulur. Ağ sunucusu katılma isteği mesajı alındıktan sonra DevNonce'un daha önce kullanılıp kullanılmadığını denetleyecektir. Ağ sunucusu, MIC değerleriyle uç cihazın kimliğini doğrular ardından kabul edilirse, ağ sunucusu aşağıdaki bazı işlemleri düzenler [33].

- DevAddr (Cihaz Adresi)

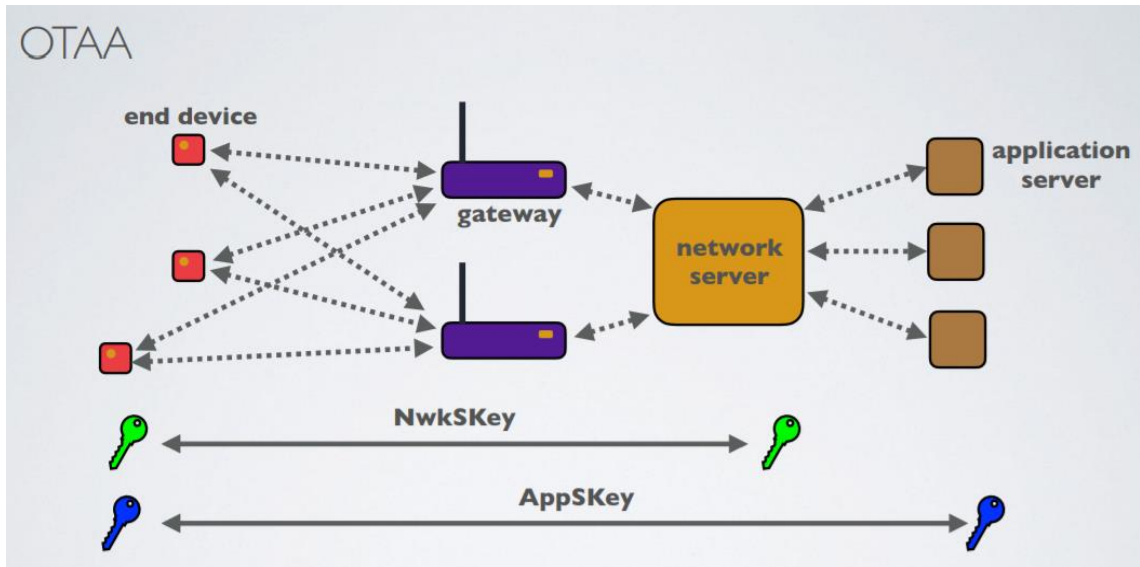
Protokol ek yükünü azaltmak amacıyla DevEUI'yi daha kısa (32 bit) bir adresle ağ içerisinde tanımlayarak bir ip adresine benzer.

- Ağ sunucusu, AppSKey ve DevAddr'yi uygulama sunucusuna gönderir.

- NwkSKey, uç cihaz ve ağ sunucusu tarafından veri bütünlüğünü sağlamak için tüm veri mesajlarının Mesaj Bütünlük Kodunu (MIC) hesaplamak ve doğrulamak için kullanılır. NwkSKey ayrıca verileri şifrelemek ve şifresini çözmek için kullanılır.

- AppSKey, uç cihaz ile uygulama sunucusu arasındaki uçtan-uca iletişimin güvenliğini sağlamak için kullanılır. Paylaşılan şifre, uygulama sunucusu ve uç cihaz tarafından verileri şifrelemek ve şifresini çözmek için kullanılır.

Veriler, uç cihaz ve uygulama sunucusu arasında uçtan uca şifrelenir, ancak bütünlük korumalı değildir. Bu, bir ağ sunucusunun aktarılan veri mesajlarının içeriğini değiştirebileceği anlamına gelir. Ağ sunucuları güvenilir olarak kabul edilir.



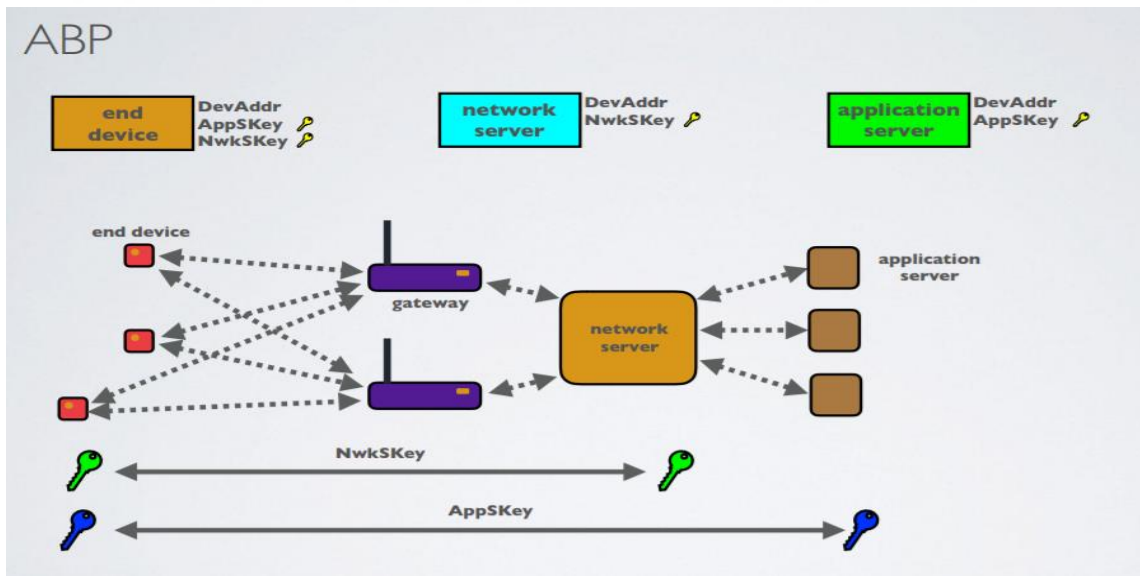
Şekil 2.13. OTAA Veri Haberleşmesinde Şifreleme [33]

Şekil 2.13'te verilen OOTA haberleşme yönteminde iletişim yapılırken yapılan şifrelemelerin basit bir görseli verilmiştir. Uç cihazdan ağ sunucusuna kadar olan alan NwkSKey tarafından, uç cihazdan uygulama sunucusuna kadar olan alanı ise AppSKey tarafından uç uca şifrelenmektedir.

2.2.4.2. ABP

ABP' de (Kişiselleştirme Yoluyla Etkinleştirme), bir cihazın bir DevEUI, bir AppEUI veya bir AppKey'e ihtiyacı yoktur. Bunun yerine NwkSKey ve AppSKey oturum anahtarları cihaza önceden programlanır ve cihaz ağa önceden kaydedilir. Cihaz iletişim kurmak istediğinde, bunu önce bir birleştirme prosedürü kullanmak zorunda kalmadan oturum anahtarlarını kullanarak yapar. ABP modunda gönderilen katılma isteği veya katılma kabulü mesajı yoktur. Uç cihaz DevEUI, AppEUI ve AppKey'i saklamaz. Ağ sunucusu AppKey'i saklamaz. Bunun yerine uç cihaz DevAddr, AppSKey ve NwkSKey ile önceden yüklenir. Ağ sunucusuna DevAddr ve NwkSKey önceden yüklenir. Uygulama sunucusuna DevAddr ve AppSKey önceden yüklenir [33].

Bir uç cihaz ağ sunucusuyla iletişim kurmaya çalışırken, mesajları doğrudan gönderecektir. Bu mesajlar şifrelenir ve imzalanır.



Şekil 2.14. ABP Veri Haberleşmesinde Şifreleme [33]

2.3. Hazırlanan Cihazların Test Amaçları

Bu çalışmada yapılan Gateway, aynı anda farklı yayılma faktörlerinde ve farklı kanallar üzerinden 8 tane Lora yayını alabilmektedir. Bütün yayılma faktörlerine göre belirli mesafeler üzerinden ölçümler gerçekleştirip kanal değişimlerini ve alınacak verilerin gürültü oranları, sinyal gücü, yayın süreleri test edilecektir. Yayılma faktörlerinin zorlanma durumunda veri hızının değişmesine karşı gelerek çıkacak sonuçlar neticesinde enerji tüketimi ve maliyeti yönünden LPWAN teknolojisinde LoRaWAN kullanımını analiz edilecektir. Çıkan sonuçlara göre hangi mesafelerde hangi Spreading Faktör'ünün etkin olduğuna değinilecektir. The Things Network sunucusundan alınacak veri hızı indekslerine göre Node sensörlerin hangi mesafelerde daha az enerji tüketimi ile çalıştıkları saptanacaktır. Teorik olarak Çizelge 2.2'de verilen bilgilerde veri hızı ve indeksleri gösterilmektedir. Lora genellikle sinyal zayıfladığı zaman daha yüksek yayılma faktörlerini kullanır. Testin amacı en düşük sinyalde yayılma faktörleri değiştirilmeden hangi mesafelere çıkacağı ve bu mesafelerde diğer yayılma faktörlerinin tepkilerini analiz etmektir.

Çizelge 2.2. Spreading Faktörlerine Göre Veri Hızı ve İndeksleri

SF	Modül	Data Rate	BW (kHz)	bit/s
12	LoRa	0	125	250
11	LoRa	1	125	440
10	LoRa	2	125	980
9	LoRa	3	125	1760
8	LoRa	4	125	3125
7	LoRa	5	125	5470
7	LoRa	6	250	11000

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gateway ve uç cihaz kurulumları gerekli konumlara yerleştirilerek 4 farklı mesafe ölçümleri alınıp performans analizlerine değinilmiştir. Ölçümler Bitlis'in Tatvan ve Ahlat ilçeleri arasındaki tarım arazilerinde yapılmıştır. Gateway kurulumu tamamlandıktan sonra ağ sunucusu ile bağlantısı kurulup belirli mesafelerden uç cihaz ile haberleşmesi sağlanmıştır. Uç cihazdan Gateway'a gelen uplink mesajları, ağ sunucusuna iletilerek The Things Network üzerinden SNR, Bandwith, RSSI, Kanal İndeksi, TOA (Time of Arrival) ve Frekans Aralığı parametrelerini, mesafeler arasındaki ölçüm sonuçlarına göre grafiklerle gösterilmiştir.

Gateways > beu.gateway > Live data

Time	Type	Data preview
13:40:54	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:40:24	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 1, rxin: 1, rxok: 1, txin: 1, txok: 1 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:40:06	Send downlink message	Rx1 Delay: 5 Rx1 Data Rate Index: 5 Rx1 Frequency: 867900000 Rx2 Frequency: 869525000 Rx2 Data Rate Index: 3
13:40:05	Receive uplink message	DevAddr: 26 0B B3 CB FCnt: 36 FPort: 1 MAC payload: F4 36 B9 41 B7 92 92 D9 0B F6 58 97 BE Bandwidth: 125000 SNR: 9.2 RSSI: -90
13:39:54	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 1, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:39:24	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 1, rxin: 1, rxok: 1, txin: 1, txok: 1 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:39:04	Send downlink message	Rx1 Delay: 5 Rx1 Data Rate Index: 5 Rx1 Frequency: 867700000 Rx2 Frequency: 869525000 Rx2 Data Rate Index: 3
13:39:03	Receive uplink message	DevAddr: 26 0B B3 CB FCnt: 35 FPort: 1 MAC payload: 8F 8F 32 E2 37 4F CA 1F 6E FA EC 38 73 Bandwidth: 125000 SNR: 9.2 RSSI: -84
13:38:54	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:38:24	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 1, rxin: 1, rxok: 1, txin: 1, txok: 1 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:38:03	Send downlink message	Rx1 Delay: 5 Rx1 Data Rate Index: 5 Rx1 Frequency: 867500000 Rx2 Frequency: 869525000 Rx2 Data Rate Index: 3
13:38:01	Receive uplink message	DevAddr: 26 0B B3 CB FCnt: 34 FPort: 1 MAC payload: 16 0F 9D AE 45 50 46 02 AE 34 99 5B CA Bandwidth: 125000 SNR: 7.8 RSSI: -85
13:37:54	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 1, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:37:24	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 1, rxin: 2, rxok: 1, txin: 1, txok: 1 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }
13:37:00	Send downlink message	Rx1 Delay: 5 Rx1 Data Rate Index: 5 Rx1 Frequency: 867300000 Rx2 Frequency: 869525000 Rx2 Data Rate Index: 3
13:36:59	Receive uplink message	DevAddr: 26 0B B3 CB FCnt: 33 FPort: 1 MAC payload: 75 F6 39 AB EF D5 C9 2C 93 E1 C6 C4 71 Bandwidth: 125000 SNR: 9.8 RSSI: -85
13:36:54	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, rxfw: 0, rxin: 0, rxok: 0, txin: 0, txok: 0 } Versions: { ttn-lw-gateway-server: "3.13.3" }

Şekil 3.1. TTN Gateway Arayüz Görünümü (Gateway ile Node Arasındaki Downlink ve Uplink Mesajları)

Şekil 3.1'de Gateway üzerinden çekilen mesajlar gösterilmektedir. Node ile bağlantı kurulduğu sırada uplink mesajları iletmeye başlamaktadır. Node buna karşılık olarak downlink mesajlarını Gateway'a gönderir ve The Things Network Gateway arayüzünden mesajlara ait etkinlik detayları görülmektedir.

Node Sensörden alınan verileri Şekil 3.2’de verilmiştir.

Applications > beu-2 > Live data

Time	Entity ID	Type	Data preview
↑ 12:34:31	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 25, temperature: 34.5 } 09 C4 0D 7A FPort: 1 SNR: 9 RSSI: -79 Bandwidth: 125000
↑ 12:33:24	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 25, temperature: 34.59 } 09 C4 0D 83 FPort: 1 SNR: 9 RSSI: -83 Bandwidth: 125000
↑ 12:32:18	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 25, temperature: 34.59 } 09 C4 0D 83 FPort: 1 SNR: 9.8 RSSI: -82 Bandwidth: 125000
↑ 12:31:12	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 24, temperature: 34.59 } 09 68 0D 83 FPort: 1 SNR: 9.2 RSSI: -79 Bandwidth: 125000
↑ 12:30:06	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 23, temperature: 34.59 } 08 FC 0D 83 FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -82 Bandwidth: 125000
↑ 12:29:00	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 23, temperature: 34.5 } 08 FC 0D 7A FPort: 1 SNR: 7 RSSI: -82 Bandwidth: 125000
↑ 12:27:54	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 23, temperature: 34.59 } 08 FC 0D 83 FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -83 Bandwidth: 125000
↑ 12:26:48	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 22, temperature: 34.7 } 08 98 0D 8E FPort: 1 SNR: 6.5 RSSI: -81 Bandwidth: 125000
↑ 12:24:35	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 23, temperature: 34.7 } 08 FC 0D 8E FPort: 1 SNR: 8.8 RSSI: -84 Bandwidth: 125000
⊞ 12:24:30	beu-device-2	Accept join-request	
⊞ 12:23:53	beu-device-2	Accept join-request	
↑ 12:23:19	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 23, temperature: 34.59 } 08 FC 0D 83 FPort: 1 SNR: 10.2 RSSI: -85 Bandwidth: 125000
↑ 12:22:13	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 26, temperature: 34.59 } 0A 28 0D 83 FPort: 1 SNR: 7.5 RSSI: -84 Bandwidth: 125000
↑ 12:20:00	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 22, temperature: 34.5 } 08 98 0D 7A FPort: 1 SNR: 8.5 RSSI: -79 Bandwidth: 125000
↑ 12:18:54	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 21, temperature: 34.5 } 08 34 0D 7A FPort: 1 SNR: 7.8 RSSI: -81 Bandwidth: 125000
↑ 12:16:42	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 22, temperature: 34.3 } 08 98 0D 66 FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -83 Bandwidth: 125000
↑ 12:15:36	beu-device-2	Forward uplink data message	Payload: { humidity: 26, temperature: 34.2 } 0A 28 0D 5C FPort: 1 SNR: 11.2 RSSI: -83 Bandwidth: 125000

Şekil 3.2. TTN Applications Arayüz Görünümü (Node Sensör Verileri)

LoRaWAN network-layer settings, behavior and session

LoRaWAN version ⓘ *

MACV1.0

Regional Parameters version ⓘ *

PHYV1.0

Frequency plan ⓘ *

Europe 863-870 MHz (SF9 for RX2 - recommended)

LoRaWAN class capabilities ⓘ

Supports class B

Supports class C

Activation mode ⓘ *

Over the air activation (OTAA)

Activation by personalization (ABP)

Multicast

Device address ⓘ *

26 0B B6 1C

NwkSKey ⓘ

E3 D5 76 B2 9E 50 B0 CC 47 30 24 0B 4C DC E0 44

Şekil 3.3. Node Cihazın Bağlantı ve Güvenlik Ayarları

Şekil 3.3’te node cihazının kurulumu esnasında yapılan ayarlamalarda cihaz adresi ve

NwkSKey (Ağ Sunucusu Anahtarı) benzersiz bir şekilde tasarlanıp otomatik veya manuel olarak girilmektedir. Cihaz için bölgeye uygun frekans aralığı belirlenmektedir. Tasarlanan cihazda çift taraflı haberleşme sağlanacağı için C sınıfı Lora MAC katmanı ayarlanmıştır.

Applications > beu-2 > Live data

Type	Data preview
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 44, temperature: 27.6 } 11 30 GA C8 FPort: 1 SNR: 9.5 RSSI: -81 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 44, temperature: 27.6 } 11 30 GA C8 FPort: 1 SNR: 7.5 RSSI: -77 Bandwidth: 125000
Accept join-request	COM5
Forward uplink data message	NEM: 4400
Forward uplink data message	SICAKLIK: 2760
Accept join-request	Packet queued
Forward uplink data message	Button On
Forward uplink data message	6264: EV_JOINING
Accept join-request	379510: EV_TXSTART
Forward uplink data message	Button Off
Forward downlink data message	701050: EV_JOINED
Accept join-request	netid: 19
Accept join-request	devaddr: 260BB61C
Accept join-request	artKey: 76E882ECDEB9C844424AA5DD7E2E4BDC
Forward uplink data message	nwkKey: E3D576B29E50B0CC473024B4CDE044
Forward uplink data message	705779: EV_TXSTART
Forward downlink data message	1086751: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
Forward uplink data message	NEM: 4400
Forward uplink data message	SICAKLIK: 2760
Forward downlink data message	4838655: EV_TXSTART
Forward uplink data message	Packet queued
Forward uplink data message	5218712: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)

Şekil 3.4. Node Cihazın Bağlantı Sırasında Gönderdiği Güvenlik Protokolleri ve Veriler



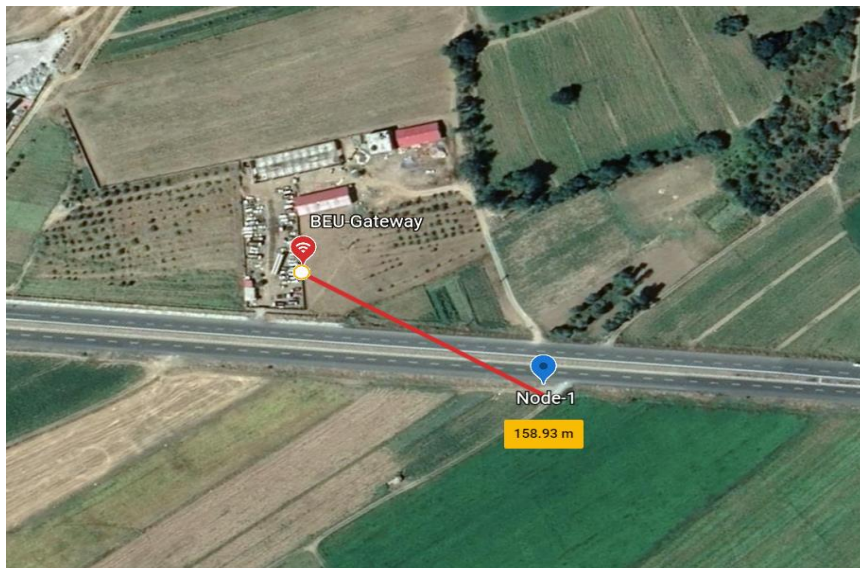
Şekil 3.5. Node Sensör Cihazın Tarımsal Alana Konumlandırılmış Hali



Şekil 3.6. Gateway Cihazın Açık Hali (a), Gateway Cihazın Kapalı Hali (b)

3.1. Node-1 Testi

Şekil 3.7’de Node-1’in Gateway ile arasındaki haberleşme mesafesi gösterilmiştir. Bitlis’in Ahlat-Tatvan ilçeleri arasında patates ve fasulye ekinlerinin olduğu tarlanın sulama sistemlerinde denenmiştir. Test iki cihaz arasında hiç engel olmadan Lorawan protokollerine uygun ve bütün SF (Spreading Factor) değerlerine göre ölçüm yapıp ölçüm sonuçları grafikler ile ayrıntılı olarak belirtilmiştir. 158.9 m mesafeden SF7B ile başlayan test SF12 ile bitirilmiştir. Her faktör için 1 saat veri aktarımı yapılmıştır.



Şekil 3.7. Test Node 1 (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Type	Data preview
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 33, temperature: 32.9 } 0C E4 0C DA FPort: 1 SNR: 8 RSSI: -77 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 33, temperature: 32.8 } 0C E4 0C D0 FPort: 1 SNR: 10.8 RSSI: -70 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 32.8 } 0C 80 0C D0 FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -79 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 33, temperature: 32.8 } 0C E4 0C D0 FPort: 1 SNR: 7.8 RSSI: -81 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 33, temperature: 32.7 } 0C E4 0C C6 FPort: 1 SNR: 10.5 RSSI: -81 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { error: "payload unknown" } SNR: 7 RSSI: -78 Bandwidth: 125000

Şekil 3.8. SF7 Yayılma Faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

The Things Network'un test ağında 158.9 m'de elde edilen veriler Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Bu test ağında bandwidth, spreading factor, mesajın gönderildiği frekans, mesajın gönderildiği zaman damgası, RSSI, SNR, Gateway'in lokasyon bilgileri, kullanılan kodlama oranı ve Gateway'in mesajı aldığı kanal bilgileri verilmektedir.

```

46  "uplink_message": {
47    "session_key_id": "AXq+FMWEKidxzewXnjXHAW==",
48    "f_port": 1,
49    "f_cnt": 12,
50    "firm_payload": "B9ANeg==",
51    "decoded_payload": {
52      "humidity": 20,
53      "temperature": 34.5
54    },
55    "ix_metadata": [
56      {
57        "gateway_ids": {
58          "gateway_id": "beu-gateway",
59          "eui": "DCA632FFFE10FF6A"
60        },
61        "timestamp": 2117851459,
62        "rssi": -83,
63        "channel_rssi": -83,
64        "snr": 10,
65        "location": {
66          "latitude": 38.47890806175612,
67          "longitude": 42.16413259506226,
68          "altitude": 1793,
69          "source": "SOURCE_REGISTRY"
70        },
71        "uplink_token": "ChkKFwoLYmV1LWdhhdGV3YXkSCNymMv/+EP9qEMC
72        "channel_index": 3
73      }
74    ],
75    "settings": {
76      "data_rate": {
77        "lorawan": {
78          "bandwidth": 125000,
79          "spreading_factor": 7
80        }
81      },
82      "data_rate_index": 5,
83      "coding_rate": "4/5",
84      "frequency": "867100000",
85      "timestamp": 2117851459

```

Şekil 3.9. SF7 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Şekil 3.9’da verilen etkinlik detayları şu şekildedir.

Bandwidth (Bant Genişliği): 125 kHz

Spreading Factor (Yayımla Faktörü): SF7

Frequency (Frekans): 867,1 kHz

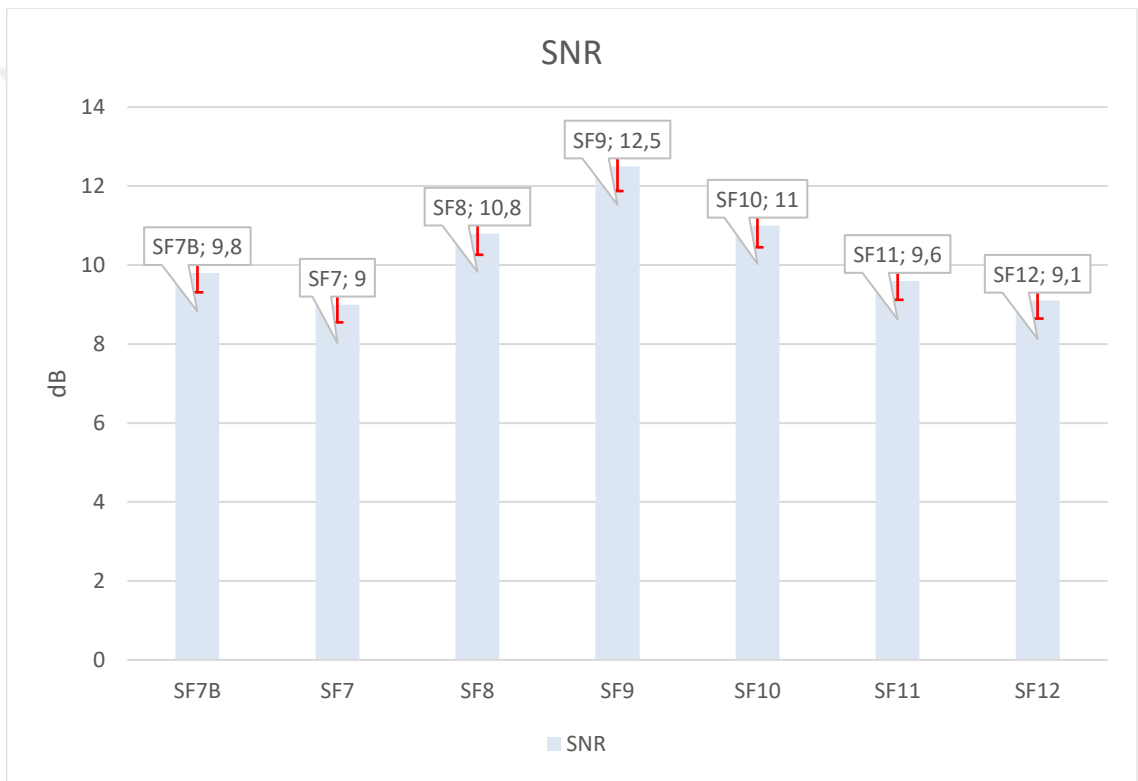
Timestamp (Ağ geçidi mesajı aldığı anda zaman damgası): 2117851459 ns

RSSI (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi): -83 dBm

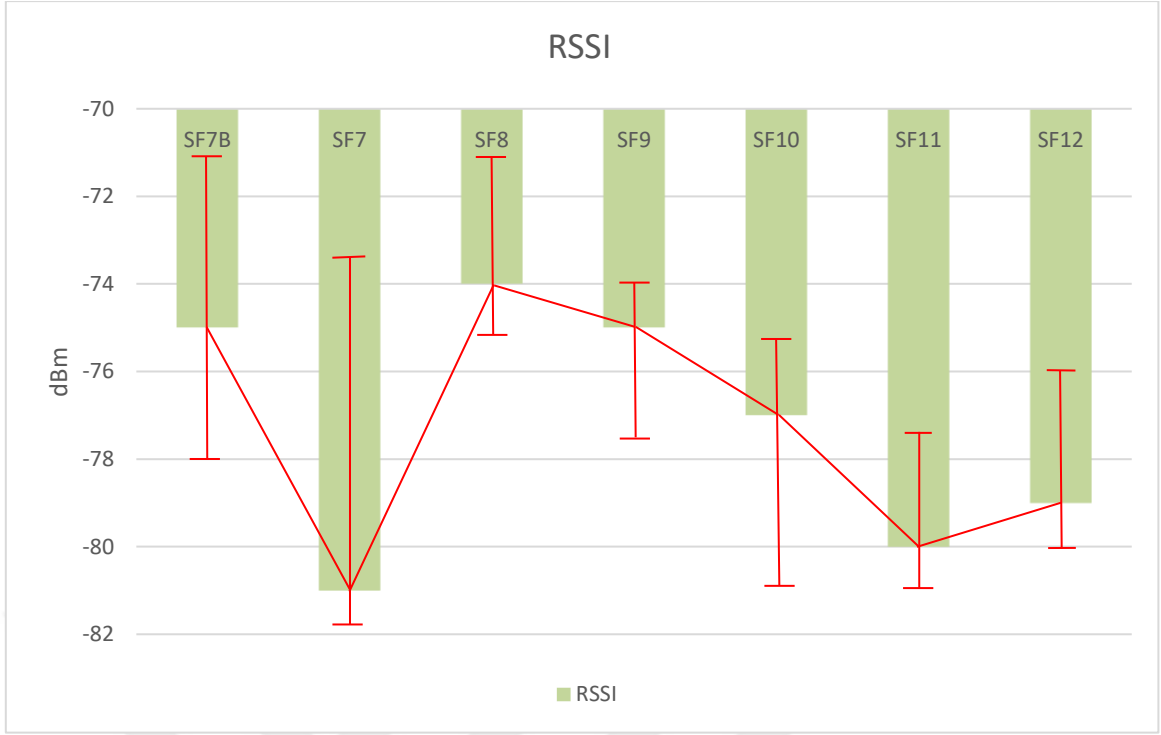
SNR (Sinyal Gürültü Oranı): 10 dB

Channel İndex (Gateway’ın mesajı aldığı kanal): 3

Data Rate İndex: 5= 5470 bit/s

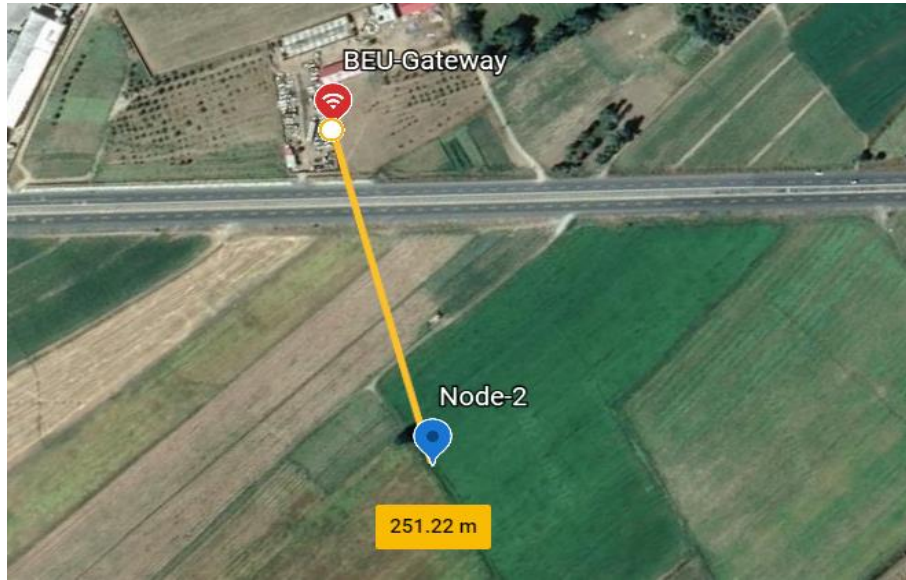


Şekil 3.10. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.11. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (158.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

3.2. Node-2 Testi



Şekil 3.12. Test Node 2 (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Type	Data preview
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 38, temperature: 31.9 } 0E D8 0C 76 FPort: 1 SNR: 10.5 RSSI: -83 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 37, temperature: 32 } 0E 74 0C 80 FPort: 1 SNR: 7.5 RSSI: -85 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 63, temperature: 31.9 } 18 9C 0C 76 FPort: 1 SNR: 7.8 RSSI: -85 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 41, temperature: 30 } 10 04 0B 88 FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -85 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 41, temperature: 29.9 } 10 04 0B AE FPort: 1 SNR: 9.8 RSSI: -83 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { error: "payload unknown" } SNR: 10.8 RSSI: -84 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 42, temperature: 29.9 } 10 68 0B AE FPort: 1 SNR: 10 RSSI: -87 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 42, temperature: 29.7 } 10 68 0B 9A FPort: 1 SNR: 7.5 RSSI: -84 Bandwidth: 125000

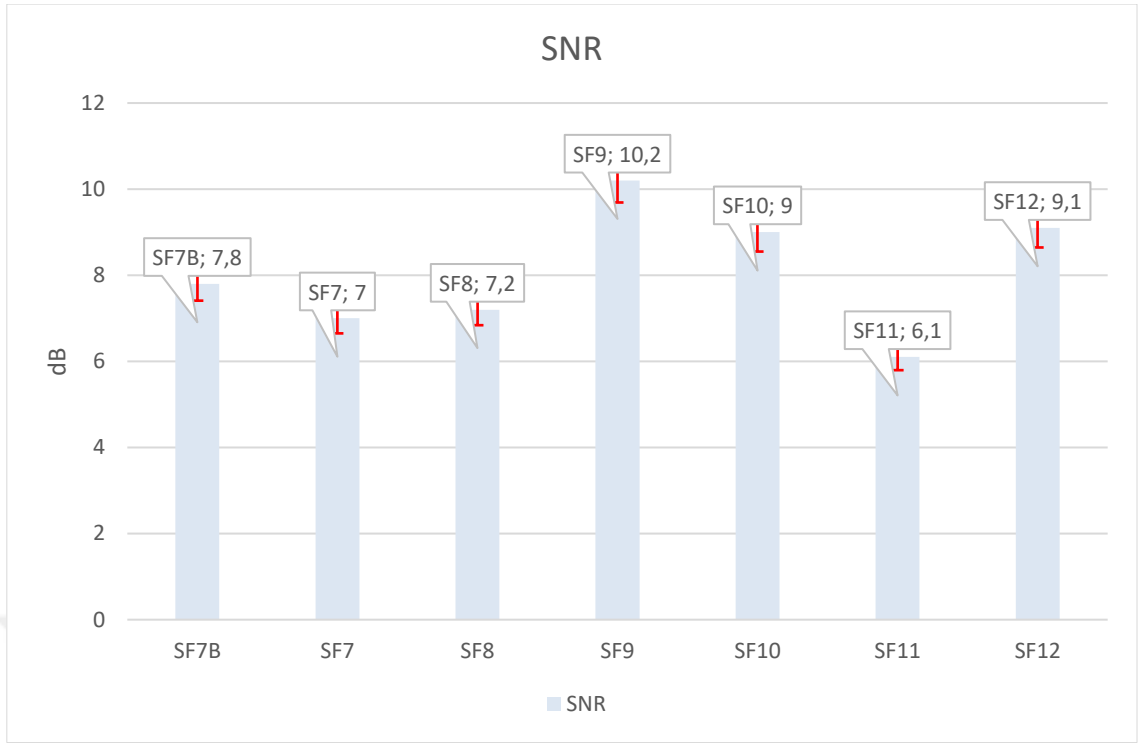
Şekil 3.13. SF10 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)

```

"lora": {
  "bandwidth": 125000,
  "spreading_factor": 10
},
"coding_rate": "4/5",
"frequency": "867100000",
"timestamp": 2702285468
},
"rx_metadata": [
  {
    "gateway_ids": {
      "gateway_id": "beu-gateway",
      "eui": "DCA632FFFE10FF6A"
    },
    "timestamp": 2702285468,
    "rssi": -85,
    "channel_rssi": -85,
    "snr": 10.2,
    "location": {
      "latitude": 38.47890806175612,
      "longitude": 42.16413259506226,
      "altitude": 1793,
      "source": "SOURCE_REGISTRY"
    },
    "uplink_token": "ChkKFwoLYmV1LWdhhdGV3YXkSCNymMv/+EP9qEJy1xo;
    "channel_index": 3
  }
],
"received_at": "2021-07-21T08:03:29.016619647Z",
"correlation_ids": [

```

Şekil 3.14. SF10 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.15. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)

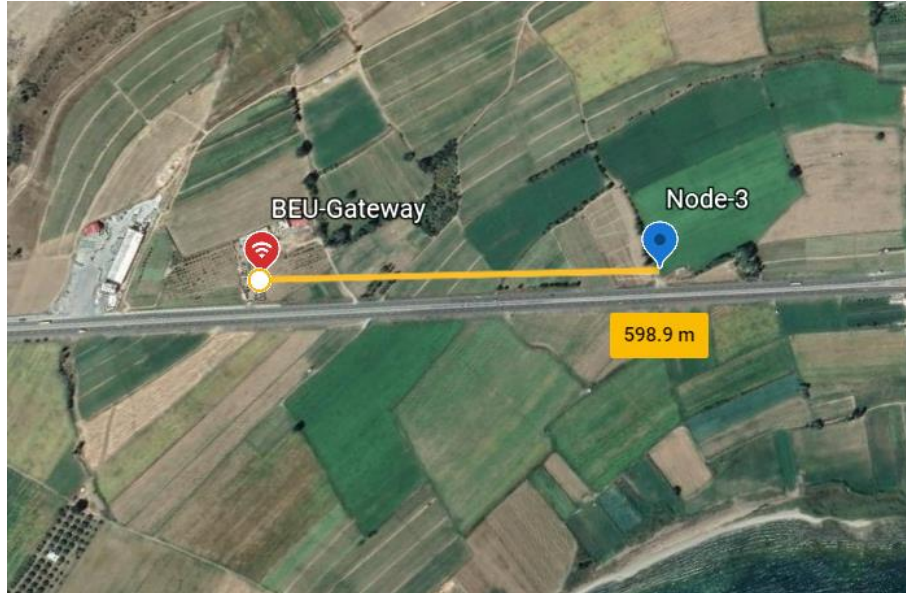


Şekil 3.16. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (251.2 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Node 2 testinde uç cihazın konumlandırıldığı alandan Gateway'ya olan mesafesi 251,2 m olarak ölçülmüştür. Yapılan mesafe testinde bütün kanallardan sırasıyla yayın alınmıştır. SF değerlerine göre tek tek ölçüm yapıp her bir ölçüm için 1 saat kadar veri aktarımı yapılmıştır. Bu testler sonucunda alınan sinyalin gürültü oranı Şekil 3.15'te gösterilmektedir. SF7B'de 250kHz Bant genişliğinde gönderilen veriler, 252,2 m mesafeden ortalama 7,8 dB ile ölçülürken SF7'de 125kHz Bant genişliğiyle SNR ortalama 7,2 dB sonuç vermiştir. Node 1'e oranla mesafe arttığı için daha gürültülü veriler alınmıştır.

Alınan sinyalin gücünde ise mesafe artış sebebiyle zayıflama görülmektedir. Yayılma faktörlerine göre zaman zaman kuvvetli sinyaller alınmış olup bazı zamanlarda ise alınan sinyalin gücünde zayıflamalar gözlemlenmiştir. Şekil 3.16'da yayılma faktörlerine göre alınan sinyalin gücündeki değişimleri ifade etmektedir. SF12'de ve SF11'de sinyal gücünün çok düşük olması ile birlikte verinin varış süresi Node 1'e ve Node 2'deki diğer SF değerlerine kıyasla daha geç haberleşmektedir. Bununla birlikte kullandığı güç çok fazla olup pil ömrünü azaltmaktadır. Tüm testlerde gönderilen yük sabit olduğundan SF7'den gönderilen veri iletim hızı yaklaşık 60ms iken bu parametre SF12'de 1350ms olabilmektedir. C sınıfı Node cihaz kullanıldığı için sürekli dinlemeye devam etmesi enerji tüketimini arttırmaktadır.

3.3. Node-3 Testi



Şekil 3.17. Test Node 3 (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Type	Data preview
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.7 } 0C 80 0B FE FPort: 1 SNR: 3.8 RSSI: -114 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: 7.2 RSSI: -111 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: 4.5 RSSI: -114 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: 5 RSSI: -114 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: 5.2 RSSI: -109 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 31, teperature: 30.3 } 0C 1C 0B D6 FPort: 1 SNR: 6 RSSI: -109 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 32, teperature: 30.1 } 0C 80 0B C2 FPort: 1 SNR: 5.5 RSSI: -114 Bandwidth: 125000
Fozward uplink data message	Payload: { humidity: 38, teperature: 27.5 } 0E D8 0A BE FPort: 1 SNR: 4.8 RSSI: -113 Bandwidth: 125000

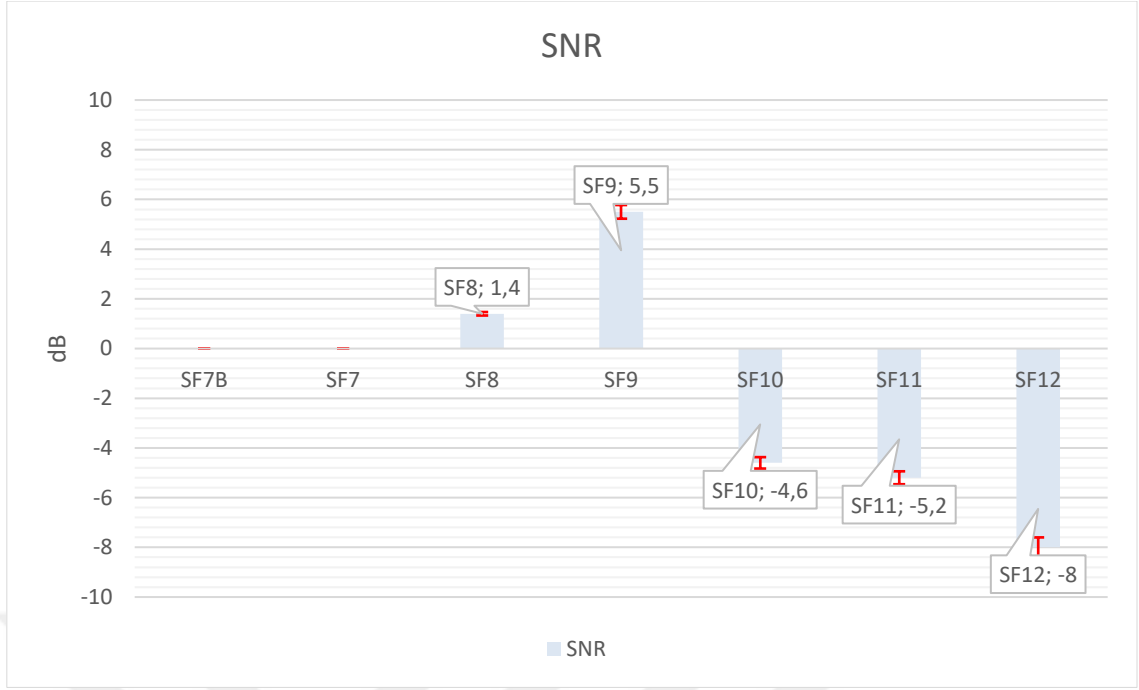
Şekil 3.18. SF9 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

```

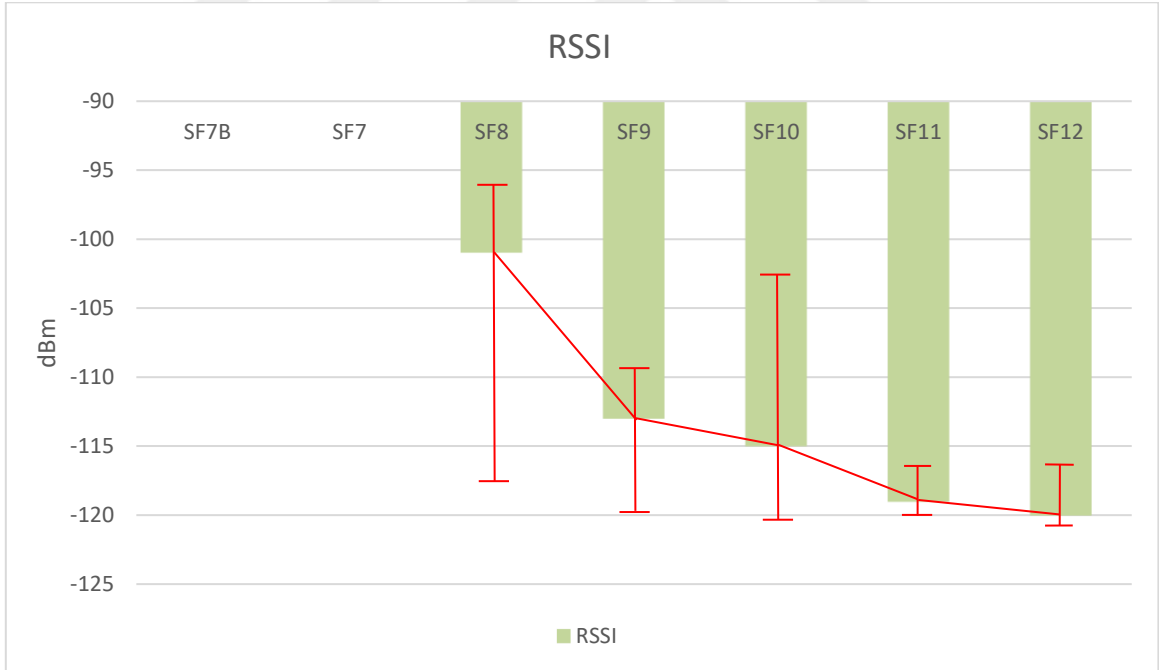
{
  "f_cnt": 5
},
{
  "f_port": 1,
  "frm_payload": "3saz4YbrjjiZqVeozQ=="
}
},
"settings": {
  "data_rate": {
    "lora": {
      "bandwidth": 125000,
      "spreading_factor": 11
    }
  }
},
"coding_rate": "4/5",
"frequency": "868300000",
"timestamp": 1592278548
},
"rx_metadata": [
  {
    "gateway_ids": {
      "gateway_id": "beu-gateway",
      "eui": "DCA632FFFE10FF6A"
    },
    "timestamp": 1592278548,
    "rssi": -120,
    "channel_rssi": -120,
    "snr": -5.8,
    "location": {
      "latitude": 38.47890806175612,
      "longitude": 42.16413259506226,
      "altitude": 1793,
      "source": "SOURCE_REGISTRY"
    }
  },
  "uplink_token": "ChkKFwoLYmV1LWdhhdGV3YXkSCNymMv/+EP9qEJT8oPc",
  "channel_index": 1
}

```

Şekil 3.19. SF11 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.20. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.21. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Node 3 testlerinde ise mesafe artırılarak Node cihazından Gateway'ya 598,9 m uzaklıktan veri gönderilmeye çalışılmıştır. Uzun bir süre beklenmesinin ardından SF7B250 ile SF7125'ten

denenen herhangi bir veri gönderme işlemi başarılı olamamıştır. SF9'da ise sinyal gücü zayıf olmasına rağmen alınan SNR değeri alınan sinyalin gürültü tabanının üstünde iyi bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Sinyalin havada bekleme süreleri mesafeden kaynaklı daha uzun sürmektedir. Şekil 3.21'de RSSI değerlerinin çok düşük olduğu ve bazen veri iletimlerinin durduğu gözlemlenmiştir.

3.4. Node-4 Testi



Şekil 3.22. Test Node 4 (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

Applications > beu-2 > Live data

Type	Data preview
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.7 } 0C 80 0B FE FPort: 1 SNR: -6.2 RSSI: -119 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -7.2 RSSI: -120 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -9.2 RSSI: -121 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.7 } 0C 80 0B FE FPort: 1 SNR: -7.5 RSSI: -120 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -5 RSSI: -120 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -6 RSSI: -118 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -5 RSSI: -120 Bandwidth: 125000
Forward uplink data message	Payload: { humidity: 32, temperature: 30.6 } 0C 80 0B F4 FPort: 1 SNR: -7.5 RSSI: -120 Bandwidth: 125000

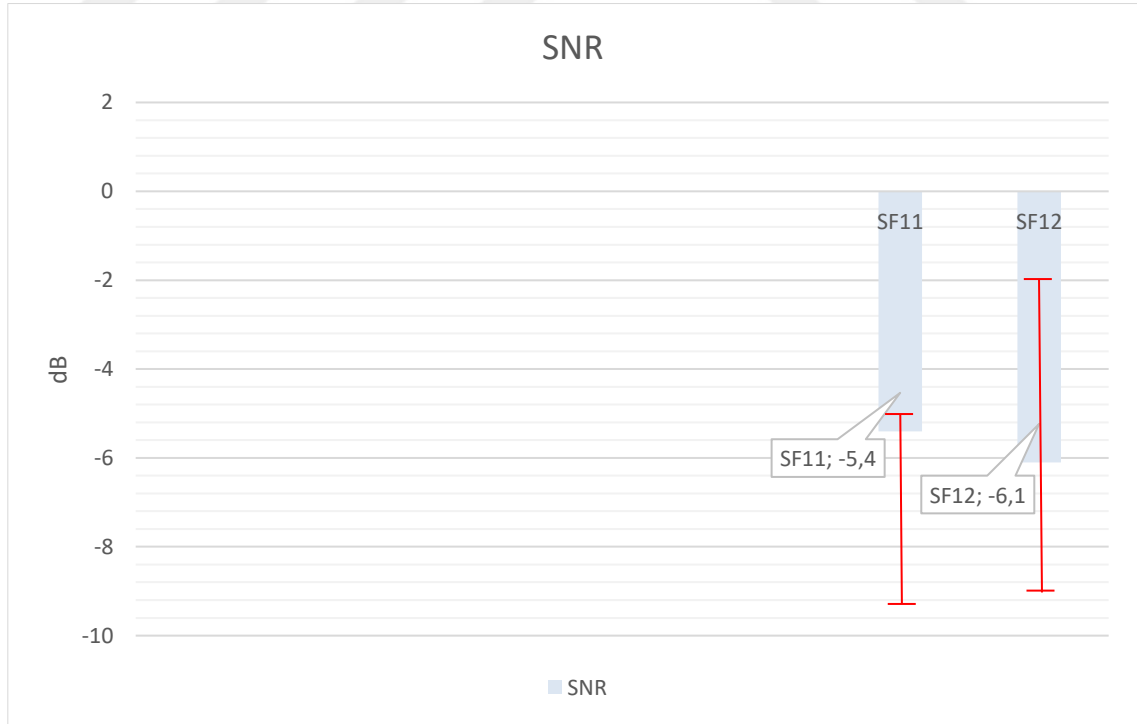
Şekil 3.23. SF11 Yayılma faktörüne Göre Alınan Verilerden Bazıları (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

```

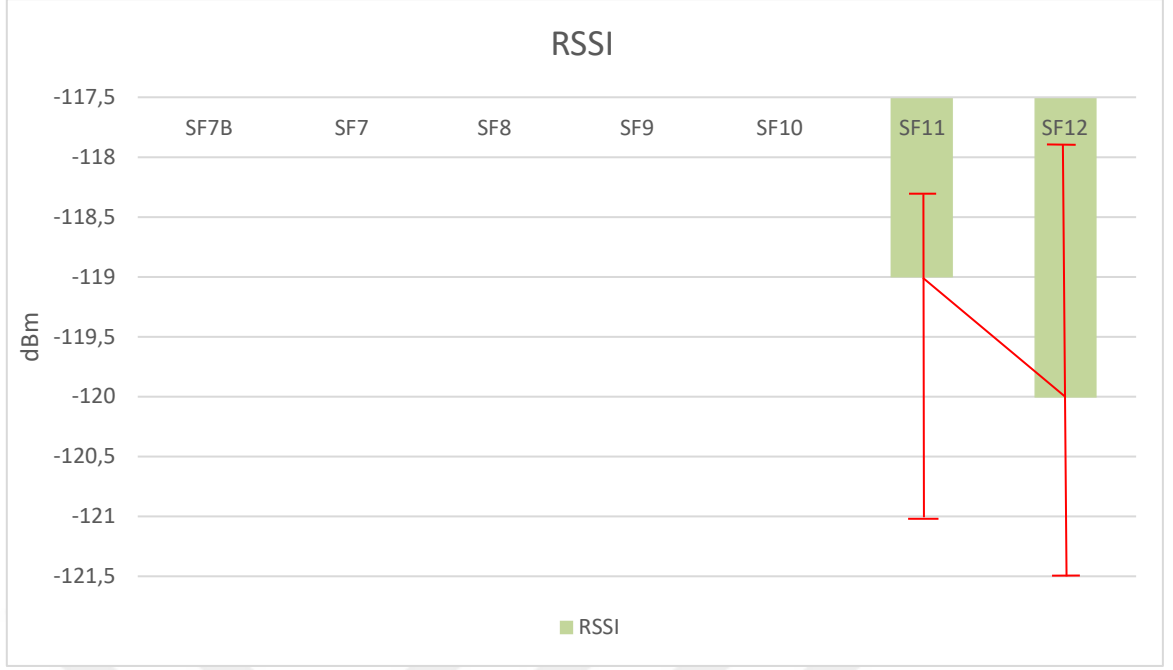
"data_rate": {
  "lora": {
    "bandwidth": 125000,
    "spreading_factor": 12
  }
},
"coding_rate": "4/5",
"frequency": "868500000",
"timestamp": 2977031916
},
"rx_metadata": [
  {
    "gateway_ids": {
      "gateway_id": "beu-gateway",
      "eui": "DCA632FFFE10FF6A"
    },
    "timestamp": 2977031916,
    "rssi": -120,
    "channel_rssi": -120,
    "snr": -5.8,
    "location": {
      "latitude": 38.47890806175612,
      "longitude": 42.16413259506226,
      "altitude": 1793,
      "source": "SOURCE_REGISTRY"
    },
    "uplink_token": "ChkKFwoLYmV1LWdhhdGV3YXkSCNymMv/+EP9qEOz",
    "channel_index": 2
  }
]

```

Şekil 3.24. SF12 Yayılma Faktörüne Göre Ölçüm Etkinlik Detayları (598.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.25. SF Değerlerine Göre SNR Ölçümü (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)



Şekil 3.26. SF Değerlerine Göre RSSI Ölçümü (1096.9 m Mesafeden Test Ölçümleri)

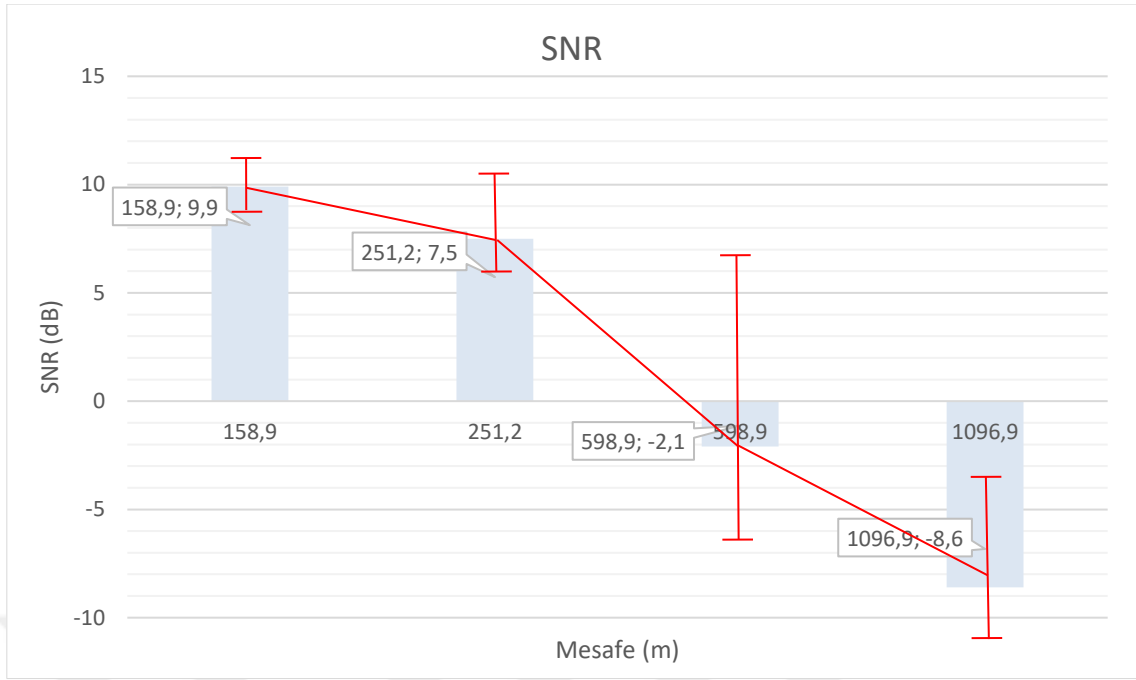
Node 4 testi veri iletimi için en uzun mesafe testi olup alınan verilerin en son bu mesafeden (Şekil 3.22.) Gateway'ya veri aktarımı yaptığı görülmektedir. Gürültü oranı yüksek, alınan sinyalin gücü çok düşük ve verinin havada bekleme süresi çok uzun olup enerji tüketimi çok fazladır.

3.5. Nodeların Mesafelere Göre Veri Karşılaştırması

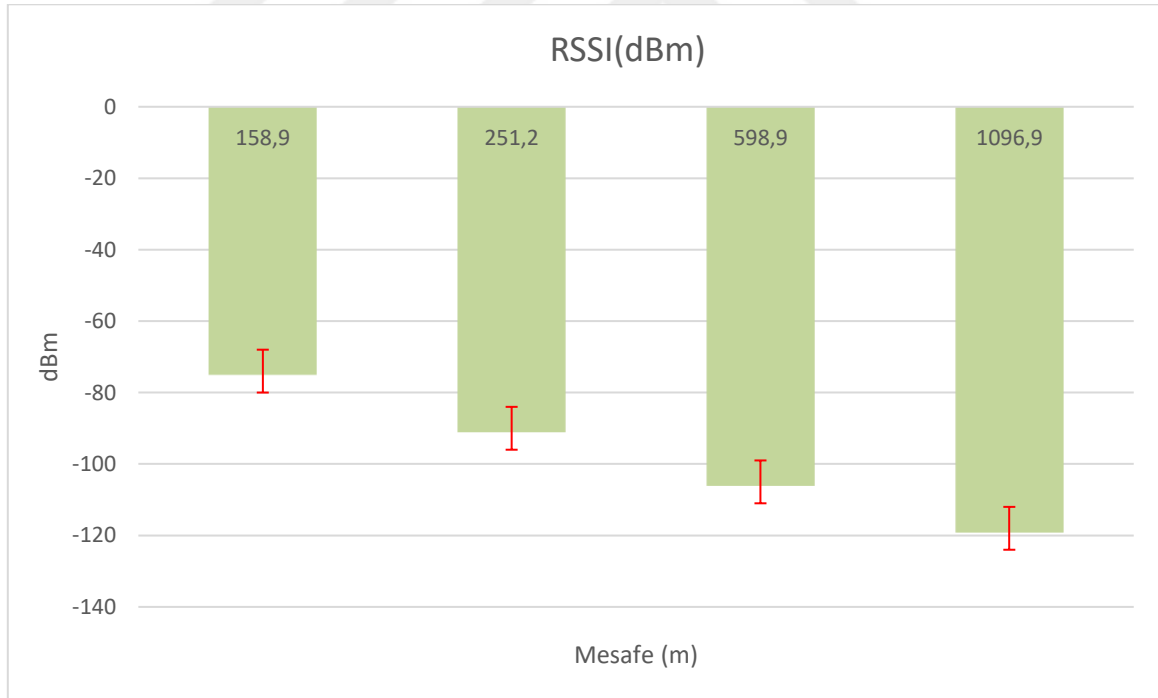
Farklı konumlara yerleştirilen Node cihazlarından alınan test verilerine göre parametrelerdeki değişimi mesafelere göre grafiğe dökülmüştür.

Mesafelere göre yapılan ölçümde alınan sinyalin gücü ve sinyalin gürültü oranları ortalamalar ile ifade edilmiştir. Şekil 3.27'de 158,9 m için SNR değeri, ortalama 9.9dB olup en yüksek 11.2dB değerlerini görürken 1096,9 m mesafede SNR değeri -11dB değerlerine kadar düşüş göstermiştir. Node 1 konumunda alınan sinyal gürültü tabanının üzerine çıkarken, Node 2 konumundan alınan sinyal gürültü tabanının altında çalışmaktadır.

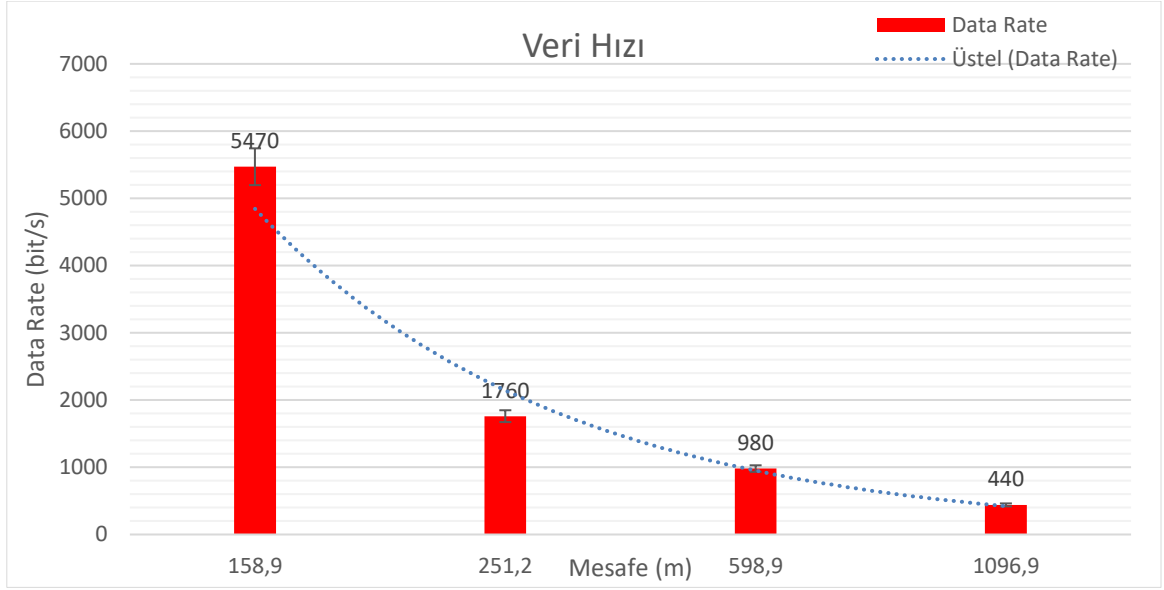
Şekil 3.28'de ise mesafe uzadıkça alınan sinyalin gücünde zayıflama görülmektedir.



Şekil 3.27. Node Gateway Arası Mesafelere Göre SNR Ölçümü

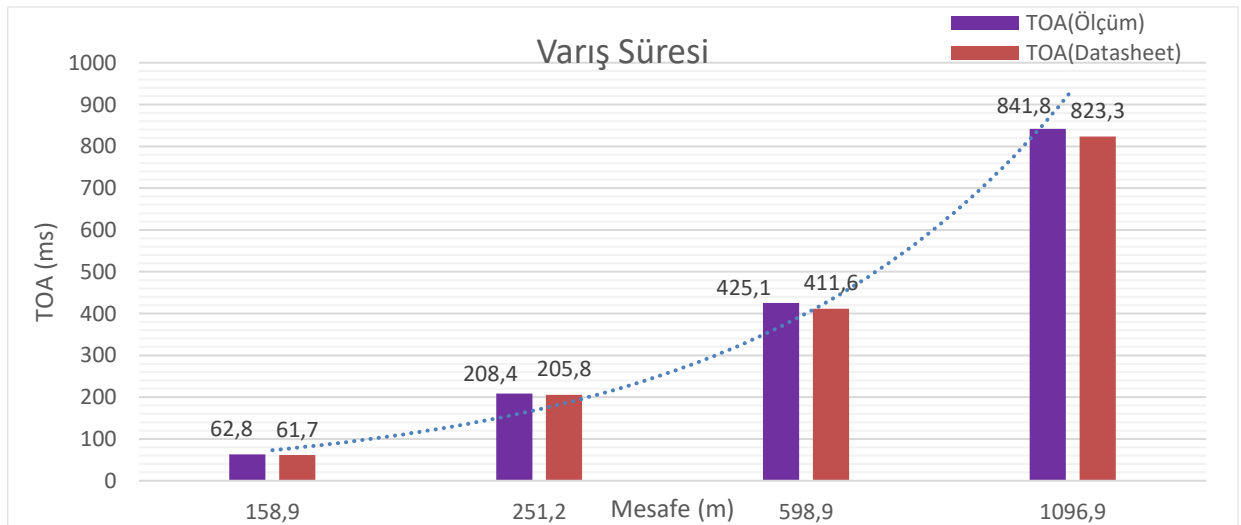


Şekil 3.28. Node Gateway Arası Mesafelere Göre SNR Ölçümü



Şekil 3.29. Node Gateway Arası Mesafelere Göre Veri Hızı

Şekil 3.27 ve 3.28'deki parametrelerin zayıflaması sebebiyle gönderilen veri hızı mesafe arttıkça düşüş göstermektedir Şekil 3.29'da veri hızının mesafelere göre düşüşü üstel (Data Rate) ile ifade edilmektedir. Node 1 konumunda, cihaz SF7B yayılma faktörünü kullanıp 250kHz Bant genişliğinde 5470 bit/s hızında veri iletimi yaparken, Node 2 SF9 ve 125kHz bant genişliğinde 1760 bit/s, Node 3 SF10 ve 125kHz bant genişliğinde 980 bit/s ve Node 4 SF11 ve 125kHz bant genişliğinde 440 bit/s hızında iletim yapmaktadır. Buna istinaden en düşük enerji tüketimini Node 1 cihazı yaparken en yüksek enerji tüketimini Node 4 cihazı yapmıştır.



Şekil 3.30. Node Gateway Arası Mesafelere Göre TOA

Çizelge 2.3. Mesafe ve Veri Hızlarına Göre TOA Karşılatırlmaları

Mesafe (m)	SFBW (kHz)	Veri Hızı (bps)	Yayma Süresi (ms)	Yayma Süresi Ölçüm (ms)
158,9	SF7BW125	5470	61,7	62,8
251,2	SF9BW125	1760	205,8	208,4
598,9	SF10BW125	980	411,6	425,1
1096,9	SF11BW125	440	823,3	841,8

Battery capacity

Capacity Ah

Consumption in active mode

Avg. current mA

Active time s

Consumption in sleep/idle mode

Avg. current µA

Sleep time m s

Estimated battery lifetime

Lifetime **2.3 years**

Iterations 719999

Şekil 3.31. Node için Pil Ömrü Hesaplanması

Şekil 3.31'e göre yapılan ölçüm ve hesaplamalar Node 1 için yapılmış olup sabit veri durumu için kabul edilebilirdir. Node sensörü için, alınan sinyal gücünün en iyi olduğu durumda yayılma faktörü SF12 için veri iletim hızını en düşük olarak ayarlanıp yapılan veri iletimde ölçülen çıkış gücüne göre 20000mAh bir batarya için Node cihazın ömrü 2,3 yıl olarak hesaplandı.

Gateway için, iC880A=119 € (<https://shop.imst.de/wireless-modules/loraproducts/8/ic880a-spi-lorawan-concentrator-868-mhz>), raspberry pi 4b+= 66 € (<https://www.robotistan.com/raspberry-pi-4-4gb>), anten= 2,5 € (<https://www.robotistan.com/rf-868mhz-5dbi-sma-anten>), toplam=190 € yaklaşık maliyet tutmuştur. Hazır gömülü sistem olarak satılan Lorawan Gateway ürünler piyasada 800-2500 € fiyat aralığındadır.

Node için, rfm95w= 7,6 € (<https://www.robotistan.com/rfm95w-868s2>), arduino uno= 8 € (<https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-klon>), anten= 2,5 € (<https://www.robotistan.com/rf-868mhz-5dbi-sma-anten>), sensörler= 2,5 € (<https://www.robotistan.com/arama?q=sıcaklık+ve+nem+sensörleri>), toplam= 21 € yaklaşık maliyet tutmuştur. Piyasada sunulan ürünler ise 250-500 € fiyatlarındadır. Piyasadaki sistemin (Gateway + Node), bizim hazırladığımız sistem ile aynı özellikte olduğu göz önüne alınırsa, bu tezin yazıldığı dönem itibariyle kurduğumuz sistem piyasadaki sistemlerin maliyetinin %7'sine kadar düşebilmektedir.

4. SONUÇ

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojileri hayatı kolaylaştırıcı ve kontrollü yaşamamıza olanak sağlamaktadır. Diğer yandan düşük güçlü kablosuz teknolojiler enerji verimliliği açısından büyük öneme sahiptir. Bluetooth, Wi-Fi ve ZigBee gibi çok kullanılan kablosuz teknolojiler uzak mesafelerde kullanılmaya uygun değildir. Hücresel ağ iletişimlerinde kapsama alanı daha büyük olur ama daha fazla enerji ve daha fazla maliyet artışı olacaktır. Bu teknolojilere alternatif olarak uzun menzilli ve düşük güç tüketimi ile LPWAN teknolojisi ortaya çıkmıştır. En dikkat çeken LPWAN teknolojilerinden birisi ise LoRaWAN olup uzun menzili ve düşük güç tüketimiyle araştırmaya açık bir konu hale gelmiştir.

Bu tezde, yapılan cihazlar ile tarımsal alanlarda faaliyet gösterilmiştir. Belirli alanlara yerleştirilen C sınıfı Node sensörlerden sıcaklık ve nem verileri Gateway'a oradan Ağ Sunucusuna gönderilen ve The Things Network arayüzünden gözlemlenen veriler, belli parametrelerin üstünde veya altında olduğunda veya kendi gönderdiğimiz downlink mesajlarıyla sulama yapabilecek şekilde tasarlandı. 4 farklı konuma yerleştirilen Node sensörlerden veri iletimi yapılarak ve belirli downlink mesajları gönderilerek performans testleri yapıldı. Yapılan testler doğrultusunda farklı parametrelere ulaşılarak analiz edildi. Her farklı konumda bütün yayılma faktörleri için testler ayrı bir şekilde yapıldı ve ölçüm parametreleri olarak SNR, RSSI, TOA ve veri hızları incelendi.

Gateway ile Node sensör arasında belirlenen mesafeler (158,9m, 251,2m, 598,9m, 1096,9m) arasında ölçümler yapıldı. En uzun mesafe olarak 1096,9m olarak kabul edildi ve üzerine çıkıldığında Gateway ile Node arasındaki bağlantı koparak veri iletimi olmadı. Bu çalışmada yapılan Gateway ve Node haberleşmesinde mesafe ölçümü, teoride bahsedilen mesafeler kadar uzak alanları kapsamadı. Yapılan testler sonucuna bazı mesafelerin üzerine çıkıldığı zaman veri iletim hızı düşerek yayılma faktörlerinin bir kısmı etkin olmadı. Mesafe arttıkça bozunumlarda ve sinyal gücünde zayıflamalar görüldü. Bütün testlerde sinyalin gürültü oranında en iyi SNR değeri (13,2dB) ve en düşük SNR değeri ise (-11dB), alınan sinyalin gücünde ise en iyi RSSI (-58dBi) ve en düşük RSSI (-123dBi) olarak gözlemlendi. Bu parametrelere en büyük etki antenlerin kazanımlarından kaynaklı olduğunu düşünülmüştür.

Yayılma faktörlerine göre veri iletim hızında ciddi değişimler olup TOA süreleri de ters orantılı değişim göstermektedir. Çizelge 2.3'te belirtildiği üzere, veri iletim hızı düşüğe verinin havada asılı kalma süreside orantısal olarak artmaktadır. Testlerden elde edilen en iyi TOA süreleri 60-65 ms iken en uzun süreler ise 1100-1150 ms arasındadır.

Düşük maliyet kullanılarak tasarlanan bu kablosuz haberleşme ağının, ticari ortamlardaki Gateway ve Node sensörü ile kurulan sistemlerle hazırlanmış olduğumuz sistemin aynı özelliklere

sahip olduğu varsayılırsa, toplam sistem maliyetinin ticari sistem maliyetlerinin yaklaşık %7'sine kadar düşebildiği gözlemlenmiştir. Düşük maliyet göz önünde bulundurularak yapılan uygulama ve ölçümlerde sonuçlar teoride yapılan test ve sonuçlardan daha düşük seviyede çıkabilmektedir. Maliyet ve enerji tüketimi gibi etkenleri esnetebildiğimiz zaman daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Bu sistem akıllı tarım projelerinde maliyet açısından ve enerji verimliliği açısından kullanıma uygun olup çift yönlü haberleşme sayesinde ise birçok uygulamalarda veri alışverişi yapılabilir. Sera uygulamalarında, havalandırma, sulama, ilaçlama gibi sistemlerin kontrolü uzun mesafe, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetlerle yapılması mümkündür. Aynı anda 8 farklı Node sensör cihazlarıyla Gateway'a veri alışverişi olabildiği için farklı sensörlerden veriler alıp parametrelerine göre değişken senaryolar üretilebilir.



5. KAYNAKLAR

- [1] <https://devopedia.org/lora> (Erişim Tarihi: 27.11.2020)
- [2] Muhammet Talha B, 2018. Lora ve Lorawan Teknolojilerinde Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa,_LoRa, (Erişim Tarihi: 25.11.2020)
- [4] <https://blog.semtech.com/a-brief-history-of-lora-three-inventors-share-their-personal-story-at-the-things-conference> (Erişim Tarihi: 22.08.2020)
- [5] Van den Abeele F, Haxhibeqiri J, Moerman I and Hoebeke J, 2017. Scalability Analysis of Large-Scale LoRaWAN Networks in ns-3. in IEEE Internet of Things Journal, 4(6): 2186-2198.
- [6] Marais JM, Malekian R, Abu-Mahfouz AM, 2019. Evaluating the LoRaWAN Protocol Using a Permanent Outdoor Testbed. IEEE Sensors Journal, 19(12): 4726-4733.
- [7] Mikhaylov K, Petajajarvi J, Haapola J, Pouttu A, 2017. D2D communications in LoRaWAN Low Power Wide Area Network: From idea to empirical validation. 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), 17 March 2017, Paris, s: 737-742.
- [8] Kim J, Song J, 2018. A Secure Device-to-Device Link Establishment Scheme for LoRaWAN. IEEE Sensors Journal, 18(5): 2153-2160.
- [9] Reynders B, Wang Q, Tuset-Peiro P, Vilajosana X, Pollin S, 2018. Improving Reliability and Scalability of LoRaWANs Through Lightweight Scheduling. IEEE Internet of Things Journal, 5(3): 1830-1842.
- [10] Pulpito M, Fornarelli P, Pomo C, Boccadoro P, Grieco LA, 2018. On fast prototyping LoRaWAN: a cheap and open platform for daily experiments. IET Wireless Sensor Systems, 8(5): 237-245.
- [11] Petajajarvi J, Pettissalo M, Iinatti J, Mikhaylov K, Janhunen J, 2017. Performance of a low-power widearea network based on LoRa technology: Doppler robustness scalability and coverage. Int. J. Distrib. Sens. Netw., 13(3): 1-16.
- [12] Ballesta-Viñas J, Cano MD, Gomez JS, Sanchez-Iborra R, Skarmeta A, 2018. Performance evaluation of LoRa considering scenario conditions. Sensors, 18(3): 772.
- [13] Miller R, 2016. LoRa security. Building a secure LoRa solution, London.
- [14] Tomasin S, Zulian S, Vangelista L, 2017. Security Analysis of LoRaWAN Join Procedure for Internet of Things Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 19-22 Mar. 2017, San Francisco, s: 1-6.

- [15] Aras E, Ramachandran GS, Lawrence P, Hughes D, 2017. Exploring the security vulnerabilities of LoRa. 2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF), 21-23 June 2017, Exeter, UK, s: 1-6.
- [16] Voigt T, Bor M, Roedig U, Alonso J, 2017. Mitigating Inter-network Interference in LoRa Networks. International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN), 20-22 February 2017, Uppsala, s: 323-328.
- [17] Georgiou O, Raza U, 2017. Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?. IEEE Wireless Communications Letters, 6(2): 162-165.
- [18] Dobrilovic D, Malić M, Malić D, Sladojevic S, 2017. Analyses and optimization of Lee propagation model for LoRa 868 MHz network deployments in urban areas. Journal of Engineering Management and Competitiveness, 7(1): 55-62.
- [19] Hosseinzadeh S, Almoathen M, Larijani H, Curtis K, 2017. A Neural Network Propagation Model for LoRaWAN and Critical Analysis with Real-World Measurements. Big Data and Cognitive Computing 1(1): 7.
- [20] Linka H, Rademacher M, Jonas K, Aliu O, 2018. Path Loss Models for Low-Power Wide-Area Networks: Experimental Results using LoRa. VDE ITG-Fachbericht Mobilkommunikation, 16-17 May 2018, Osnabrück, s:5
- [21] Jörke P, Böcker S, Liedmann F, Wietfeld C, 2017. Urban channel models for smart city IoT networks based on empirical measurements of LoRa-links at 433 and 868 MHz. 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 8-13 October 2017, Montreal, s: 1-6.
- [22] Petajajarvi J, Mikhaylov K, Roivainen A, Hanninen T, Pettissalo M, 2015. On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), 2-4 December 2015, Copenhagen, s: 55-59.
- [23] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01774080/document> (Erişim Tarihi: 05.01.2021)
- [24] https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem (Erişim Tarihi: 02.04.2021)
- [25] <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa> (Erişim Tarihi: 27.11.2020)
- [26] <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/spreading-factors/> (Erişim Tarihi: 08.02.2021)
- [27] https://lora-alliance.org/resource_hub/what-is-lorawan/ (Erişim Tarihi: 09.12.2020)
- [28] Ertürk MA, 2017 Lorawan indoor performance analysis. International Research Journal of Computer Science, International Research Journal of Computer Science (IRJCS), 4(10)

- [29] https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-is-secure-but-implementation-matters/
(Erişim Tarihi: 09.12.2020)
- [30] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (Erişim Tarihi:
19.04.2021)
- [31] https://lora-alliance.org/lora_products/ic880a-lora-concentrator/ (Erişim Tarihi:
19.04.2021)
- [32] <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/architecture/index.html> (Erişim Tarihi:
12.04.2021)
- [33] <https://www.thethingsindustries.com/docs/devices/abp-vs-otaa/> (Erişim Tarihi:
16.05.2021)
- [34] Moraes J, Cerqueira E, Rosario D, 2021. Evaluation of an Adaptive Resource Allocation for LoRaWAN. Journal of Signal Processing Systems, <https://doi.org/10.1007/s11265-021-01678-8>.

ÖZGEÇMİŞ

■■■■■■■■■■ yılında ■■■■■■■■■■'de doğdum. İlköğretimi ■■■■■■■■■■ ■■■■■■■■■■'nda ve liseyi ■■■■■■■■■■'nde tamamladım. 2013 yılında yerleştiğim Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Mekatronik Programını bitirip, Dikey Geçiş Sınavı ile Bitlis Eren Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne geçiş yaptım, 2018 yılında mezun oldum. Lisans bitirme tezi olarak Tübitak Sanayiye yönelik destek programından destek alarak 'Hücreyel Ağ Kullanarak Araç Takip Sistemi' yaptım. Eylül 2018'de Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladım.

Ali TILFARLIGİL