



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YERE BAĞLI İHA SİSTEMLERİ İÇİN GÜÇ
HATTI HABERLEŞMESİNDE VERİ HIZI
ANALİZİ**

Ali KÜÇÜKÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali KÜÇÜKÇELEBİ

Tarih: 21.02.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YERE BAĞLI İHA SİSTEMLERİ İÇİN GÜÇ HATTI HABERLEŞMESİNDE VERİ HIZI ANALİZİ

Ali KÜÇÜKÇELEBİ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ercan YALDIZ

2022, 79 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ercan YALDIZ
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Elif CANBİLEN
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Geçtiğimiz çeyrek asırda İHA sistemlerinin kullanımı hızla artmış ve çeşitli alanlarda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Özellikle askeri alanlarda kullanımının yanında, İHA'lar ticari kargo taşımacılığı, akıllı tarım uygulamaları, afet bölgelerinde hasar tespit çalışmaları gibi amaçlar için de kullanılmaktadır. Ancak İHA sistemlerinin kullanım alanlarının artmaya başlamasıyla, çeşitli kullanım kısıtları da ortaya çıkmaktadır. En öne çıkan kullanım kısıtları uçuş sürelerinin kısa ve faydalı yük kapasitelerinin düşük olmasıdır. Her gün gelişen teknolojiyle birlikte İHA'ların kullanım kısıtlarını geliştirmeye yönelik çeşitli çalışmalar da yapılmaktadır. Kablolu İHA ve hava gemisi sistemleri bu çalışmalar sonucunda genel kabul görmüş çözümlerden birkaçıdır. Kablolu İHA sistemleri düşük irtifalarda kesintisiz görev yapabilen dron temelli bir çözümdür. Bu tez çalışmasında kablolu İHA sistemlerinin çalışma prensipleri anlatılmış, kullanım alanlarıyla ilgili örnekler verilmiş ve bu sistemlerin normal İHA sistemlerine göre avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Ayrıca güç hattı üzerinden haberleşmenin temelini oluşturan ethernet haberleşme prensipleri de bu çalışma içerisinde ele alınmıştır. Kablolu İHA sistemlerinde kullanılmak üzere güç hattı üzerinden haberleşme (PLC) tabanlı bir sistemin kurgusu yapılmıştır. Bu kurgu kapsamında ethernet haberleşmesi ve PLC tabanlı haberleşme, veri iletim hızları bakımından karşılaştırılmıştır. Güç hattı haberleşmesinde yaygın olarak kullanılan OFDM yöntemi ile FHSS ve DSSS yöntemlerinin hız karşılaştırmaları için literatür taraması yapılmıştır. Veri iletiminde yaygın olarak kullanılan Parity, CRC ve Checksum hata tespit algoritmaları çalışma kapsamında kullanılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Gemisi, Dron, Ethernet, İHA Teknolojisi, Kablolu İHA, PLC, OFDM, CRC.

ABSTRACT

MS THESIS

DATA RATE ANALYSIS IN POWERLINE COMMUNICATIONS FOR TETHERED UAV SYSTEMS

Ali KÜÇÜKÇELEBİ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical-Electronic Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ercan YALDIZ

2022, 79 Pages

**Jury
Prof. Dr. Ercan YALDIZ
Asst. Prof. Dr. Ayşe Elif CANBİLEN
Asst. Prof. Dr. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

In the past quarter century, the use of UAV systems has been increasing rapidly and their use in various fields is becoming increasingly common. In addition to being used in military fields, it is also used for purposes such as commercial cargo transportation, smart agriculture applications, damage assessment studies in disaster areas. However, with the increase in the usage areas of UAV systems, various usage constraints emerge. The most obvious usage constraints are short flight times and low payload capacities. With the developing technology day by day, various studies have been carried out on the usage constraints of UAVs. Tethered UAV systems and tethered aerostat systems are some of the generally accepted solutions as a result of these studies. Tethered UAV systems are a drone-based solution that can operate uninterruptedly at low altitudes. In this thesis, the working structures of tethered UAV systems are explained, examples of their usage areas are given, and the advantages and disadvantages of these systems compared to normal UAV systems are presented. In addition, ethernet communication principles, which form the basis of communication over the power line, are explained. Power line communication (PLC) based system has been designed to be used in tethered UAV systems. Within the scope of this design, ethernet communication and PLC based communication were compared in terms of data transmission rates. A literature review was conducted for speed comparisons of OFDM method, which is widely used in power line communication, and FHSS and DSSS methods. Parity, CRC and Checksum error detection algorithms, which are widely used in data transmission, were used within the scope of the study and compared with each other.

Keywords: Aerostat, Drone, Ethernet, UAV Technology, PLC, Tethered UAV, OFDM, CRC.

ÖNSÖZ

Hazırladığım bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ercan YALDIZ'a;

Tez çalışmasında teknik desteklerini esirgemeyen OTONOM TEKNOLOJİ firmasına, HAVELSAN AŞ. firmasında bana destek olan çalışma arkadaşlarıma, sürekli beni destekleyen Duygu KARAKOÇ'a ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ali KÜÇÜKÇELEBİ
Konya-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kablolu İHA Sistemleri.....	4
1.1.1. Kablolu Hava Gemisi Sistemleri.....	4
1.1.2. Kablolu Dron Sistemleri.....	5
1.1.3. Kablolu İHA Sistemlerinin Kullanım Alanları	6
1.2. Ethernet Haberleşmesi	6
1.2.1. OSI Modeli.....	7
1.2.1.1. Fiziksel Katman	7
1.2.1.2. Veri Bağlantı Katmanı	8
1.2.1.3. Ağ Katmanı	8
1.2.1.4. Taşıma Katmanı	8
1.2.1.5. Oturum Katmanı	8
1.2.1.6. Sunu Katmanı.....	9
1.2.1.7. Uygulama Katmanı	9
1.2.2. TCP/IP Modeli	9
1.2.2.1. Ağ Ara Yüz Katmanı	10
1.2.2.2. İnternet Katmanı	10
1.2.2.3. Ulaşım Katmanı	10
1.2.2.3.1. TCP	11
1.2.2.3.2. UDP.....	11
1.2.2.3.3. TCP ve UDP Arasındaki Farklar	12
1.2.2.4. Uygulama Katmanı	12
1.3. Güç Hattı Üzerinden Haberleşme	12
1.3.1. Faz Kilitlemeli Döngü (PLL) Yöntemi	14
1.3.2. PSK Modülasyon Tekniği.....	14
1.3.3. ASK Modülasyon Tekniği	15
1.3.4. FSK Modülasyon Tekniği.....	16
1.3.5. Yayılı Spektrum Yöntemi	17
1.3.5.1. FHSS Modülasyon Tekniği.....	17
1.3.5.2. DSSS Modülasyon Tekniği.....	17
1.3.6. OFDM Yöntemi	18
1.4. Haberleşme Sinyalini Zayıflatan Faktörler	19
1.5. Veri İletişim Oranı	20

1.6. Bit Hata Oranı (BER).....	20
1.7. Ethernet Haberleşmesinde Hata Tespiti	20
1.7.1. Parity Yöntemi	21
1.7.2. CRC Yöntemi.....	21
1.7.3. Checksum Yöntemi.....	22
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	23
2.1. Kablolu İHA Sistemleri Konusunda Yapılan Çalışmalar	23
2.2. Güç Hattı Haberleşmesi ve Ethernet Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Materyaller	27
3.1.1. Asus Tinker Board	28
3.1.2. TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC Güç Soketi.....	29
3.1.3. Iperf Yazılımı	30
3.1.4. WisPLC Pro DC Güç Soketi.....	30
3.2. Yöntem.....	31
4. TEST ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI	37
4.1. Veri Hızı Testi Adımları	37
4.1.1. 1m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme.....	37
4.1.2. 5m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme.....	38
4.1.3. 10m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme.....	39
4.1.4. 20m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme.....	40
4.1.5. 1m AC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	41
4.1.6. 5m AC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	42
4.1.7. 10m AC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	43
4.1.8. 20m AC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	44
4.1.9. 1m AC PLC Bağlantılı ve Gürültü Kaynağı İlaveli Haberleşme.....	45
4.1.10. 1m DC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	46
4.1.11. 5m DC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	47
4.1.12. 10m DC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	48
4.1.13. 20m DC PLC Bağlantılı Haberleşme.....	49
4.1.14. 1m DC PLC Bağlantılı ve Gürültü Kaynağı İlaveli Haberleşme....	50
4.2. Veri Hızı Testi Sonuçları	51
4.3. Veri Hata Tespiti Testleri.....	54
4.3.1. Parity	54
4.3.2. CRC.....	55
4.3.3. Checksum.....	56
4.4. Veri Hata Tespiti Testi Sonuçları.....	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
5.1 Sonuçlar	58
5.2 Öneriler	58
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P_{Sinyal}	Sinyal Gücü
$P_{Gürültü}$	Gürültü Gücü
BW	Bant Genişliği
L	Sinyal Seviye Sayısı
A	Genlik
f_0	Frekans
t	Zaman

Kısaltmalar

ASK	Amplitude Shift Keying (Genlik Kaydırmalı Anahtarlama)
BER	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
Bps	Bit per Second (Saniyede Bit)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Döngüsel Artıklık Denetimi)
dB	Desibel
DSP	Digital Signal Processing (Dijital Sinyal İşleme)
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (Doğrudan Sıralı Yayılma Spektrumu)
EXE	Executable (Çalıştırılabilir)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (Frekans Atlamalı Yayılı Spektrum)
FM	Frequency Modulation (Frekans Modülasyonu)
FPGA	Field Programmable Gate Array (Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri)
FSK	Frequency Shift Keying (Frekans Kaydırmalı Anahtarlama)
FTP	File Transfer Protocol (Dosya Transfer Protokolü)
GB	Giga Byte
HDMI	High-Definition Multimedia Interface (Yüksek Çözünürlüklü Çoklu Ortam Arayüzü)
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol (Hiper-Metin Transfer Protokolü)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IP	Internet Protocol (İnternet Protokolü)
İHA	İnsansız Hava Aracı
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LCD	Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MAC	Media Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)

Mbit	Mega Bit
Mps	Megabit per Second (Saniyede Megabit)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama)
OS	Operating System (İşletim Sistemi)
OSI	Open Systems Interconnection (Açık Sistemler Arabağlantısı)
P	Güç
PLC	Power Line Communication (Güç Hattı Haberleşmesi)
PLL	Phase Locked Loop (Faz Kilitli Döngü)
PSK	Phase Shift Keying (Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
S	Saniye
SD	Secure Digital (Güvenli Sayısal)
SER	Symbol Error Rate (Sembol Hata Oranı)
SNR	Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SSH	Secure Shell (Güvenli Kabuk)
TCP	Transmission Control Protocol (Geçiş Kontrol Protokolü)
TXT	Text File (Metin Dosyası)
UDP	User Datagram Protocol (Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü)
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu
W	Watt

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları (İHA) son yüzyılda üzerine çalışılan sistemler olmakla birlikte özellikle son 25 yıldır üzerine yoğunlaşılan bir alandır. İHA sistemleri özellikle tehlikeli işlerde ve alanlarda insan faktörünü en aza indirmeye olanak sağladığından oldukça kullanışlı hale gelmiştir (Bakır, 2019). İlk yıllarında askeri amaçlar için düşünülen İHA sistemleri artık hayatımızın her alanında karşımıza çıkabilmektedir (Kahveci ve Can, 2017). Örneğin çeşitli kargo şirketleri müşterilerine kargolarını İHA temelli sistemler kullanarak teslim etmeyi planlamaktadır. Bunun dışında herhangi bir bölgede yaşanan deprem, yangın ve sel gibi doğal afetlerde hasar tespit çalışmalarında kullanılmaktadırlar (Karaağaç, 2016).

İHA sistemleri çeşitli verilere göre sınıflandırılmaktadır. Uçuş sürelerini göz önüne aldığımızda, İHA sistemleri dört farklı kategoriye ayrılabilir (Yiğit ve ark., 2018). Aşağıda bulunan Çizelge 1.1’de bu dört kategori ve uçuş süreleri görülmektedir.

Çizelge 1.1 İHA Sınıfları ve Uçuş Süreleri

İHA Sınıfı	Uçuş Süresi (saat)
Mikro/Mini İHA	1-2
Taktiksel İHA	2-48
Stratejik İHA	24-48
Özel Görevli İHA	3- >48

Son yıllardaki çalışmalar İHA sistemlerinin en büyük sorunlarının, batarya veya yakıtlarına bağlı olan uçuş süreleri ile faydalı yük kapasiteleri olduğunu bize göstermektedir (Karaağaç, 2016). Bu kullanım kısıtlarını iyileştirmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, görüntüsü Şekil 1.1’de verilen Airbus firmasının üretmiş olduğu Zephyr Stratosferik İHA, 26 gün kesintisiz olarak havada kalarak bu alandaki rekoru elinde bulundurmaktadır (AIRBUS, 2019).



Şekil 1.1 Zephyr Stratosferik İHA

Görüntüsü Şekil 1.2’de verilen Aurora Flight Sciences firması tarafından tasarlanan Orion isimli İHA ise uçuş testleri sırasında 120 saat havada kalmayı başarmıştır (Airforce-Technology, 2020).



Şekil 1.2 Aurora Flight Sciences Orion İHA

Son yıllarda ülkemizde de İHA sistemleri hakkında yapılan çalışmalar ve bu alanda uzmanlaşmaya başlayan firmalar artmaktadır (Bakır, 2019). TUSAŞ,

HAVELSAN, ASELSAN, ROKETSAN ve BAYKAR firmalarının yanı sıra çeşitli farklı firmalar da İHA sistemleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. TUSAŞ firmasının geliştirdiği Aksungur ve Anka sistemleri ile BAYKAR firmasının geliştirdiği Akıncı isimli İHA sistemleri ülkemiz adına önemli bir teknoloji altyapısı oluşturmuştur (TUSAŞ, 2020). Şekil 1.3'te TUSAŞ Aksungur İHA'ya ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 1.3 TUSAŞ Aksungur İHA

Bu çalışmaların paralelinde dünyada önde gelen ülkeler aynı zamanda yere bağlı İHA sistemleri üzerine de çalışmalar yapmaktadır. Çizelge 1.2'de yere bağlı İHA sistemleri üzerine çalışan ülkeler ve İHA'ların özellikleri karşılaştırılmıştır (Flight Global, 2020; RosAerosystems, 2020; CNIM, 2020; Wikipedia, 2021; Otonom Teknoloji, 2020).

Çizelge 1.2 Yere Bağlı İHA Sistemi Üreten Ülkeler ve Özellikleri

Ülke	İHA Tipi	Maksimum İrtifa (m)	Maksimum Faydalı Yük (kg)	Kesintisiz Görev Süresi (gün)
Rusya	Hava Gemisi	1500	200	20
Fransa	Hava Gemisi	1000	250	18
Amerika	Hava Gemisi	6000	500	30
Türkiye	Hava Gemisi	1000-1500	250	15

Ülkemizde ise bu alanda çalışma yapan firmalar son yıllarda giderek artmaktadır. (Çizelge 1.3). Yere bağlı hava gemisi sistemi üzerine her ne kadar çalışma başlatılsa da

yoğun çalışmalar yere bağlı dron sistemleri üzerinedir (ASELSAN, 2020; TÜRKSAT, 2019; ESEN, 2021; Otonom Teknoloji, 2020).

Çizelge 1.3 Türkiye'de Yere Bağlı İHA Sistemleri Üzerine Çalışan Firmalar

Firma Adı	Yere Bağlı Hava Gemisi	Yere Bağlı Dron
ASELSAN	X	X
TÜRKSAT	X	-
Otonom Teknoloji	X	X
Esen Sistem	-	X

1.1. Kablolu İHA Sistemleri

Yere bağlı İHA sistemleri genel olarak iki ana modelde toplanmıştır. Bu modeller kablolu dron sistemi ve kablolu hava gemisi (Aerostat) sistemleridir. Bu sistemlerde kablo üzerinden kesintisiz olarak güç aktarımı yapılarak görev süreleri oldukça uzun hale getirilmiştir. Aynı zamanda veri haberleşmesi için de aynı kablo sistemi kullanıldığından veri güvenliği de sağlanmış olur.

1.1.1. Kablolu Hava Gemisi Sistemleri

Kablolu hava gemisi helyum gazı sayesinde belirlenen irtifalarda görev yapabilmektedir. Hava gemisini diğer İHA'lardan ayıran özelliği ise daha yüksek irtifalarda çalışabilmesi ve daha ağır faydalı yükleri taşıyabilmesidir. Bu tür sistemlerde hava gemisinin bağlı olduğu mobil bir demirleme istasyonu olmaktadır (Balasubramanian ve ark., 2014). Hava gemisinin en önemli avantajlarından biri de sistemin oldukça sessiz olması ve diğer İHA sistemlerine göre radar kesit alanının düşük olmasıdır. Bu sayede istihbarat ve gözetleme çalışmalarında oldukça kullanışlı bir sistem durumuna gelmektedir (Otonom Teknoloji, 2020). Şekil 1.4'te bir kablolu hava gemisi sistemi görseli verilmiştir.



Şekil 1.4 Kablolu Hava Gemisi Sistemi

1.1.2. Kablolu Dron Sistemleri

Kablolu dron sistemleri, döner kanatlı bir İHA'yı, kablo ile kompakt bir yer istasyonuna bağlı olarak görev yapabilir hale getirmektedir (Şekil 1.5). Genel olarak kısıtlı görüş açısına sahip kara ve deniz platformlarında kullanılmaktadır. İletişim kablo üzerinden yapıldığı için sistemin taşıdığı veriler başkaları tarafından dinlenemez ve karıştırılamaz (Elistair, 2022).



Şekil 1.5 Kablolu Dron Sistemi

1.1.3. Kablolu İHA Sistemlerinin Kullanım Alanları

İHA'lardaki faydalı yükler göreve özgü değişebilmekle beraber genel olarak radar, kamera, anten ve çeşitli özel amaçlı sistemlerden oluşmaktadır (Deschênes ve Nahon, 2005). Kablolu İHA sistemleri taşıdıkları faydalı yükler sayesinde birçok görevde kullanılabilir. Özellikle hava gemisi formundaki İHA sistemleri 500 kg'ye kadar faydalı yük taşıyabilmektedir.

Kablolu İHA sistemleri genel olarak aşağıdaki alanlarda faaliyet göstermektedir:

- Haberleşme
- Kritik tesis güvenliği
- Keşif, gözetleme, istihbarat
- Çevre koruma
- Deniz ve liman trafiği vb.

Şekil 1.6, haberleşme amaçlı kullanılan bir kablolu hava gemisini göstermektedir.



Şekil 1.6 Haberleşme Amaçlı Bir Kablolu Hava Gemisi Sistemi

1.2. Ethernet Haberleşmesi

Gelişen bilgisayar ve haberleşme teknolojileriyle birlikte günümüzde veri iletmenin en kolay ve ucuz yollarından biri ethernet haberleşmesi olmuştur. 1972 yılında Bob Metcalfe ve D.R. Boggs tarafından geliştirilmeye başlanan ethernet haberleşmesi ilk defa 1980 yılında IEEE 802.3 standardı olarak yayımlanmıştır.

Ethernet haberleşmesi günümüze kadar çeşitli modellerle anlatılsa da en çok kabul görmüş iki model OSI ve TCP/IP modelidir.

1.2.1. OSI Modeli

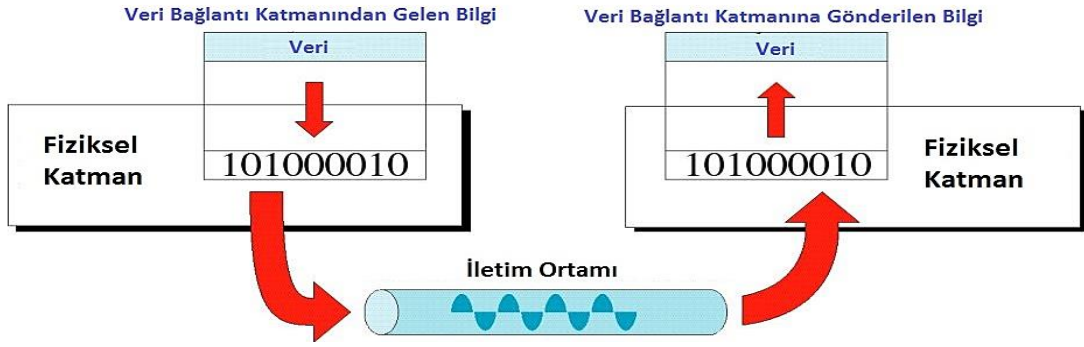
OSI modeli 7 katmandan oluşur. Bu katmanların isimleri Çizelge 1.4’te verilmiştir. Bu katmanlardaki temel amaç ağ üzerindeki haberleşmenin nasıl olacağının kurallarının belirlenmesidir.

Çizelge 1.4 OSI Modeli Katman Yapısı

Katman No	Katman İsmi
7.Katman	Uygulama Katmanı
6.Katman	Sunu Katmanı
5.Katman	Oturum Katmanı
4.Katman	Taşıma Katmanı
3.Katman	Ağ Katmanı
2.Katman	Veri Bağlantı Katmanı
1.Katman	Fiziksel Katman

1.2.1.1. Fiziksel Katman

Fiziksel katman gönderilecek verinin iletim ortamını temsil eder. Fiziksel katman içeriğine örnek olarak kullanılan ağ cihazları, ethernet kabloları ve fiber optik kablolar gösterilebilir. Fiziksel katmanda gönderilecek veri dijital halde bit bazında gönderilir. Verilerin dijital hale dönüştürülmesi işlemini “Hub” adı verilen cihazlar sağlar (Oktuğ, 2018). Şekil 1.7 fiziksel katmanın veri bağlantısı ile ilişkisini göstermektedir.



Şekil 1.7 Fiziksel Katman

1.2.1.2. Veri Bağlantı Katmanı

Veri bağlantı katmanı iletilecek verinin bir düğümden diğer bir düğüme iletilmesini üstlenen yapıdır. Bu katmanın ana sorumluluğu, fiziksel katman üzerinden iletilen verinin hatasız şekilde diğer düğüme iletilmesidir. Düğüm noktalarını ise Ortam Erişim Yönetimi (MAC) adresleri vasıtasıyla tanımlanır (Oktuğ, 2018).

1.2.1.3. Ağ Katmanı

İletilecek verinin kaynağa hangi bağlantı yolu ile gideceğine bu katman karar vermektedir. İlerlenecek yol üzerinde bulunan bağlantı noktalarında oluşabilecek tıkanıklıkları sezip önlem almak ağ katmanının görevidir. Bu sorunların sezilmesi ve önlem alınması sayesinde servis kalitesi artırılmış olunur (Li, Cui, Li ve Zhang, 2011).

1.2.1.4. Taşıma Katmanı

Taşıma katmanının kaynak tarafındaki görevi, oturum katmanından aldığı verileri paketlere bölmektir. Hedef tarafında ise alınan veri paketlerini birleştirerek oturum katmanına iletmektir (Decotignie, 2005).

1.2.1.5. Oturum Katmanı

Oturum katmanı, farklı bilgisayarlarda bulunan kullanıcılar arasında ağ (network) oturumlarının kurulmasını sağlamaktadır. Haberleşmenin bozulması veya kopması

durumunda oturumun tekrar kurulması için senkronizasyon bilgilerini içerir (Wendi, Ling ve Enliang, 2019).

1.2.1.6. Sunu Katmanı

Sunu katmanı, iletilecek verinin yapısını belirler. Verinin hangi karakter formatında olacağını veya hangi formata dönüştürüleceğini bu katman belirlemektedir. Aynı zamanda verinin sıkıştırılması ve şifrelenmesi görevlerini de bu katman üstlenir (Weibel ve Béchaz, 2004).

1.2.1.7. Uygulama Katmanı

Uygulama katmanı, protokolleri kullanarak veri ağına nasıl erişileceğini belirler. Örnek olarak HTTP, FTP, SSH verilebilir (Kirmann ve Zuber, 2001).

1.2.2. TCP/IP Modeli

TCP/IP modeli 1960'lı yılların başlarında Amerika Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilip standart haline getirilmiştir. OSI modelinin daha kısa ve anlaşılır bir versiyonudur. TCP/IP modeline ait 4 katmanın isimleri Çizelge 1.5'te sıralanmıştır (Özdoğan ve Erdem, 2020).

Çizelge 1.5 TCP/IP Modeli

Katman No	Katman İsmi
4.Katman	Uygulama Katmanı
3.Katman	Ulaşım Katmanı
2.Katman	İnternet Katmanı
1.Katman	Ağ Ara Yüz Katmanı

1.2.2.1. Ağ Ara Yüz Katmanı

Bu katman OSI modelindeki veri bağlantı katmanı ve fiziksel katmanın birleşmiş halidir. IP paketlerinin düğümler arasında izleyeceği yolu oluşturur (Miajee, 2018).

1.2.2.2. İnternet Katmanı

İnternet katmanı, OSI modelinde bulunan ağ katmanına karşılık gelmektedir. Paketlerin oluşturulması ve hedeflere iletilmesi görevleri internet katmanında yapılır. Ayrıca ağ üzerindeki tıkanıklıkların tanımlanması ve giderilmesi işlemlerini yapar. IP protokolü bu katmanda işlenir. İletilecek veri IP adreslerine bakılarak kaynak bilgisayardan hedef bilgisayara gönderilir.

IP protokolünün mevcut iki versiyonu bulunmaktadır. Bunlar IPv4 ve IPv6'dır. IPv4 günümüzde web sitelerinin birçoğunun kullandığı yapıdır. IPv6 ise yeni nesil bir IP adres standardıdır. IPv4 adreslemesi geçerliliğini tamamladığında yerini IPv6 adreslemesine bırakacaktır (Singalar ve Banakar, 2018). IPv4 ile IPv6 standartları karşılaştırması Çizelge 1.6'da verilmiştir.

Çizelge 1.6 IPv4 ile IPv6 Standart Karşılaştırması

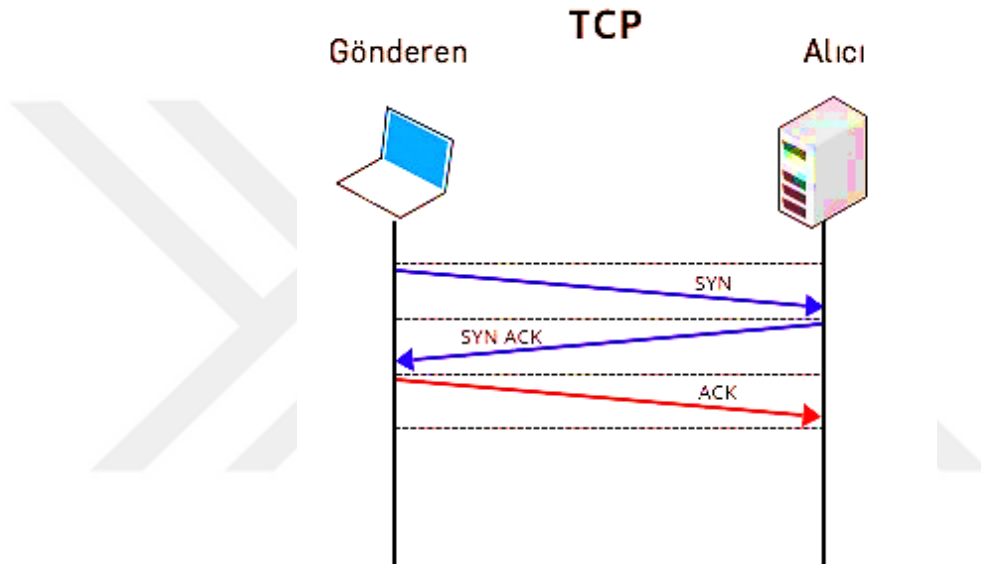
IPv4 Standardı	IPv6 Standardı
1981 yılında geliştirilmiştir	1998 yılında geliştirilmiştir
32 bit IP adresi kullanılır	128 bit IP adresi kullanılır
4.3 Milyar adres vardır. Adresler tekrarlı olarak kullanılır.	7.9×10^{28} adres vardır. Her cihazın kendi özel adresi olur.
Nümerik ondalık gösterim 192. 168.5.18	Alfanümerik 16lık gösterim 50b2:6400:0000:0000:6c3a:b17d:0000:10a9 (Kısaca - 50b2:6400::6c3a:b17d:0:10a9)
DHCP veya manuel ayarlama	Otomatik ayar desteği

1.2.2.3. Ulaşım Katmanı

Ulaşım katmanı, OSI modelinde taşıma katmanına karşılık gelmektedir. Verilerin hatasız şekilde alıcıya iletilmesinden sorumludur. İki ana protokolden oluşur. Bunlar İletim Kontrol Protokolü (TCP) ve Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü'dür (UDP).

1.2.2.3.1. TCP

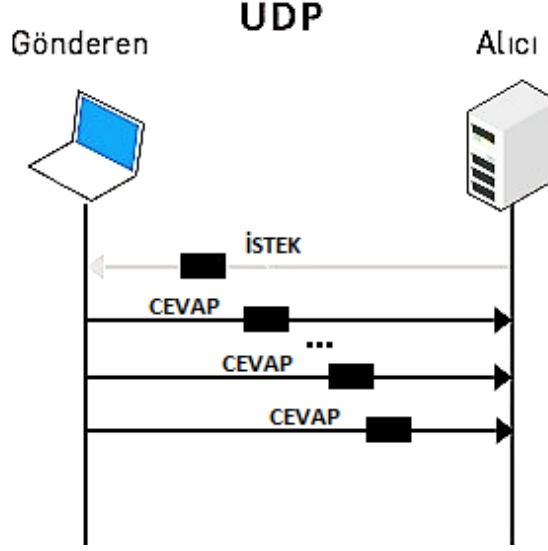
TCP protokolünde bir uygulama başka bir uygulama ile iletişime geçmek istediğinde, bir haberleşme talebi gönderir. Bu talebin tam adrese gönderilmesi gerekmektedir (Zaiping ve arkadaşları, 2010). İki uygulamanın buluşmasından sonra, TCP, iki uygulamadan biri tek taraflı olarak bağlantısını kesene kadar çift şeritli bir iletişim hattı kurar (Xiao, 2017). Şekil 1.8, TCP protokolü veri iletim şemasını göstermektedir.



Şekil 1.8 TCP Protokolü Veri İletim Şeması

1.2.2.3.2. UDP

Gelişmiş bilgisayar ağlarında, paket anahtarlı bilgisayar iletişimde veri iletisi (datagram) modu oluşturabilmek adına UDP protokolü geliştirilmiştir. Söz konusu protokol minimum protokol mekanizması ile bir uygulama programından başka bir programa mesaj göndermek için bir prosedür içermektedir. UDP güvenilir olmayan bir aktarım protokolü olarak nitelendirilmektedir. UDP, ağ üzerinden paketi gönderdikten sonra paketin gidip gitmediğini takip etmemekte ve bu nedenle de paketin yerine ulaşp ulaşamayacağını garantisini verememektedir (Milanović, Srbljić ve Sruk, 2000). Şekil 1.9'da UDP haberleşmesi veri iletim şeması görülmektedir.



Şekil 1.9 UDP Haberleşme Veri İletim Şeması

1.2.2.3.3. TCP ve UDP Arasındaki Farklar

TCP ile UDP arasında çeşitli farklılıklar vardır. Bu farklar aşağıda listelenmiştir (Tutkun, 2016):

- TCP Verinin karşı tarafa ulaşip ulaşmadığını kontrol eder. UDP’de ise bu kontrol yoktur.
- TCP, UDP’ye kıyasla daha yavaştır.
- İki yöntem de verileri parçalara bölüp yollar.
- TCP’de hata oranı yoktur. UDP’de ise hata oranı fazladır.

1.2.2.4. Uygulama Katmanı

Uygulama katmanı, verileri iletmek için ağ cihazından diğer bir ağ cihazına aktarım protokollerini kullanan tüm uygulama protokollerini içerir. Bu protokollere örnek olarak HTTP, FTP, SSH verilebilir (Kirmann ve Zuber, 2001).

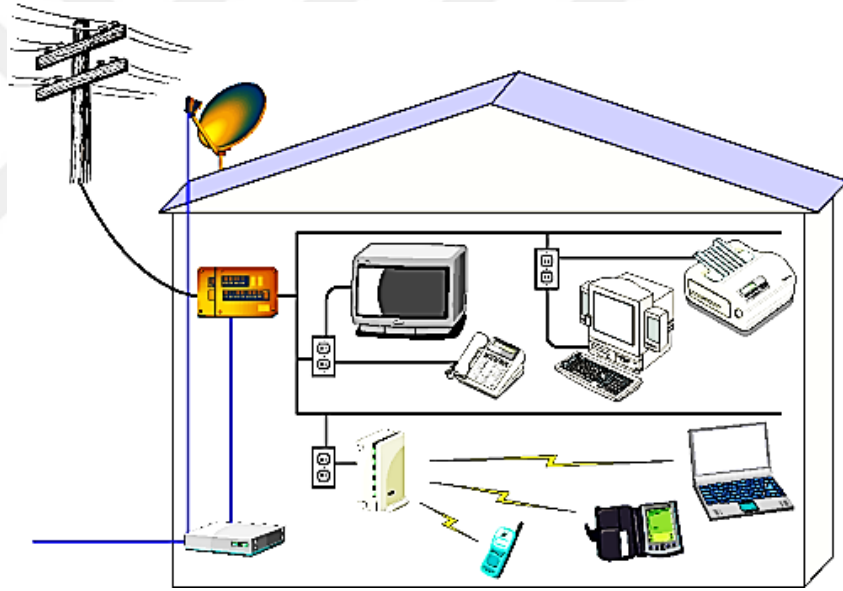
1.3. Güç Hattı Üzerinden Haberleşme

Güç Hattı Üzerinden Haberleşme (PLC), güç dağıtımı için kullanılan iletkenlerin aynı zamanda veri taşıma için de kullanılmasını amaçlayan bir sistemdir (Papaioannou ve Pavlidou, 2009). PLC sistemleri modüle edilmiş taşıyıcı sinyali güç hatları üzerinde

iletmektedir (Ünsal ve Yalçınöz, 2015). Bu modülasyonun ve demodülasyonun yapılması elektrik beslemesine bağlanan terminal aygıtları aracılığı ile sağlanmaktadır. Güç hattı üzerinden haberleşmenin çeşitli avantajları vardır (Altınkaya ve Orak, 2011). Bunlar kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilirler:

- Paylaşılabilir internet bağlantısı
- Az kablo kullanımı ile maliyetin ve ağırlığın azaltılması
- Bilgisayarın ve üzerinde yapılan uygulamaların istenilen yere taşınabilmesi
- Sisteminin kurulumunun ve kullanımının kolay olması
- Güvenli veri şifreleme
- Var olan güç kaynağını tüm iletişim ihtiyaçları için kullanılabilir olmasıdır (Mannan ve ark., 2014).

Şekil 1.10, bazı güç hattı üzerinden haberleşme uygulamalarını göstermektedir.



Şekil 1.10 Güç Hattı Üzerinden Haberleşme Şeması

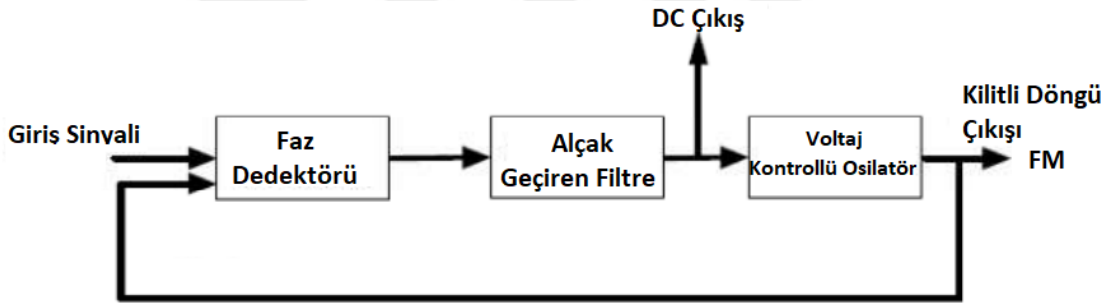
Alternatif elektrik akımı ve radyo dalgaları farklı frekanslarda olduğu için elektrik akımı ve veri birbirine karışmadan iletebilir. PLC, var olan güç ağı sistemini veri transferi için kullanır (Güneş, 2004).

Güç hattı üzerinden haberleşme sistemlerinde şimdiye kadar çeşitli modülasyon teknikleri kullanılmıştır. Günümüzde içlerinde en verimli ve gelişmiş olduğu düşünülen Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Chung, 2020).

1.3.1. Faz Kilitlemeli Döngü (PLL) Yöntemi

PLL tekniği, sistem girişinde bulunan sinyalin frekans ve fazını takip eden faz kilitleme temelli bir tekniktir. PLL tekniği ayrıca faz detektörleri olarak isimlendirilmektedir. Faz detektörleri genel olarak frekans modüleli (FM) verici ve alıcı sistemlerinde, uydu takip devrelerinde ve dar bant filtre devrelerinde kullanımları bulunmaktadır (Bayram, 2010). Bunun dışında PLL Faz kilitlemeli döngülerin uygulama alanları;

- FM, AM, PM modülasyon ve demodülasyonunda,
- Frekans kaymalı anahtarlama,
- Stereo/Ton dekodeerlerinde,
- Modemlerde,
- Telemetre alıcı ve verici sistemlerinde,
- Veri senkronize edicilerinde olarak görülmektedir.



Şekil 1.11 PLL Faz Detektörü Blok Diyagramı

1.3.2. PSK Modülasyon Tekniği

PSK tekniğinde taşıyıcı sinyalin fazı değiştirilerek iletim sağlanır. Bu değişim alıcı tarafında anlamlandırılarak mesaj aktarımı sağlanır. PSK, ASK modülasyon tekniğine göre gürültülerden daha az etkilenir (Kumar ve ark., 2011). (1.1) ve (1.2) numaralı denklemlerde $s(t)$ taşıyıcı sinyalinin π kadar kaydırılan faz açısı görülmektedir.

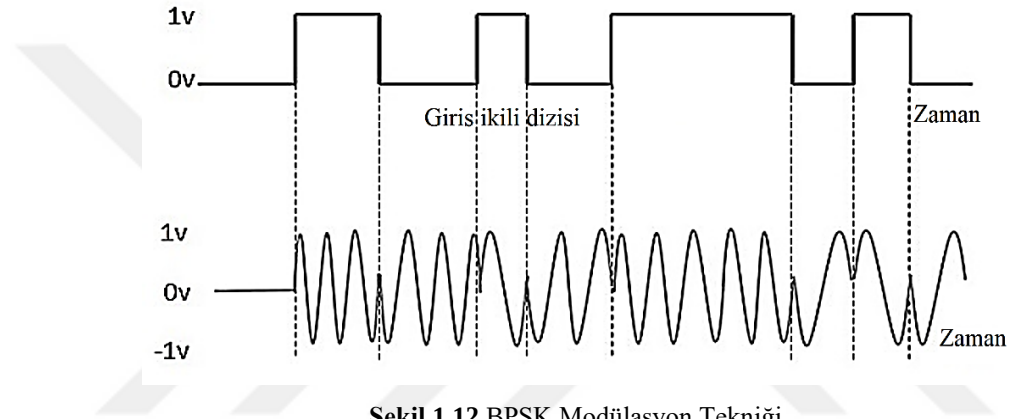
$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 0} \quad s(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad (1.1)$$

$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 1} \quad s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi) \quad (1.2)$$

A = Genlik

f_c = Taşıyıcı Frekans

İki farklı yaygın PSK türü vardır. Bunlar İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) ve Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) olarak bilinmektedirler. Şekil 1.12’de görüldüğü gibi BPSK modülasyonunda gelen sinyalin değerlerine göre sinyalin fazı 180 derece değiştirilir (Tutorials Point, 2022). QPSK modülasyonunda ise gelen sinyalin değerlerine göre sinyalin fazı 90 derece değiştirilir.



Şekil 1.12 BPSK Modülasyon Tekniği

1.3.3. ASK Modülasyon Tekniği

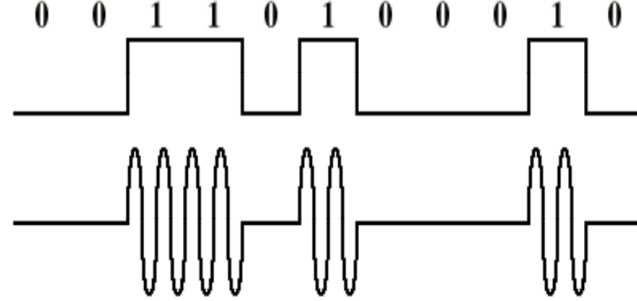
ASK tekniğinde iletilecek veri yüksek frekanslı bir sinyalin üzerine bindirilir. Burada iletilecek veriye bağlı olarak, örneğin 2-seviyeli bir ASK modülasyonunda, taşıyıcı sinyalin genliği iki değer arasında değiştirilir (Şekil 1.13). Fakat bu modülasyon tekniği veri iletiminde diğer tekniklere göre yavaş kalmaktadır (Taya ve ark., 2020). Güç değişikliklerinden kolayca etkilenebilmektedir. Bu nedenle özellikle ses hatlarında kullanımı görülmektedir (Azhan ve ark., 2010). (1.3) ve (1.4) numaralı denklemlerde $s(t)$ taşıyıcı sinyalinin, bilgi sinyali bit değerine göre genlik değişimi görülmektedir.

$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 0} \quad s(t) = A_0 \cos(2\pi f_c t) \quad (1.3)$$

$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 1} \quad s(t) = A_1 \cos(2\pi f_c t) \quad (1.4)$$

A_0 = Lojik 0 Genliği

A_1 = Lojik 1 Genliği



Şekil 1.13 ASK Modülasyon Tekniği

1.3.4. FSK Modülasyon Tekniği

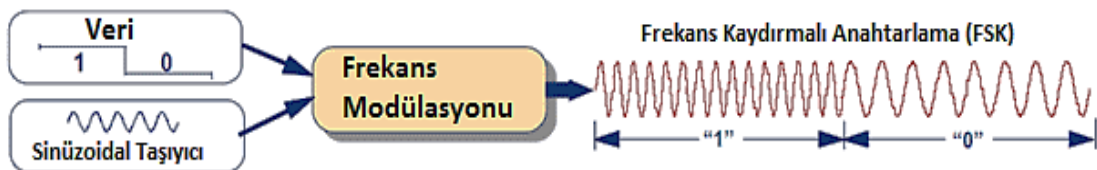
FSK modülasyon tekniği diğer modülasyon tekniklerine göre uygulaması daha kolay bir tekniktir. Temel olarak iletilen sinyalin frekansının veri biti değerlerine göre değiştirilmesiyle yapılmaktadır (Şekil 1.14). Alıcı tarafında ise frekanstaki bu değişiklikler algılanarak verinin bitleri tekrar oluşturulur. Yüksek frekanslı radyo iletişimlerinde ve telemetri sistemlerinde kullanılmaktadır (Vinck ve ark., 2004). (1.5) ve (1.6) numaralı denklemlerde $s(t)$ taşıyıcı sinyalinin, bilgi sinyali bit değerine göre frekans değişimi görülmektedir.

$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 0} \quad s(t) = A \cos(2\pi f_0 t) \quad (1.5)$$

$$\text{Bilgi Sinyali Bit Değeri} = \text{lojik 1} \quad s(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad (1.6)$$

f_0 = Lojik 0 Frekansı

f_1 = Lojik 1 Frekansı



Şekil 1.14 FSK Modülasyon Tekniği

1.3.5. Yayılı Spektrum Yöntemi

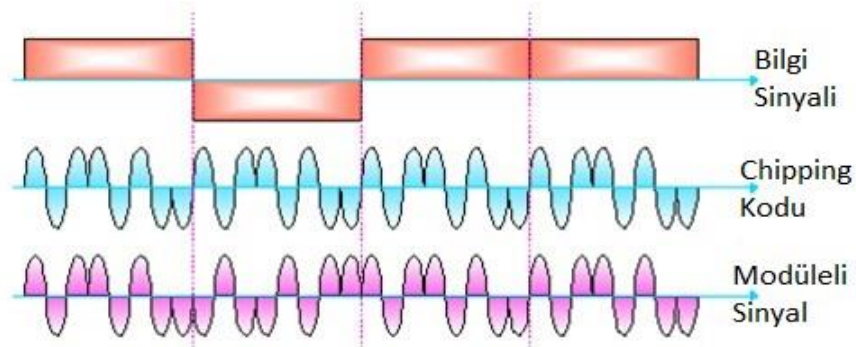
Yayılı spektrum yöntemi, verinin iletiildiği bant genişliği alanını genişleterek verinin güvenliğini ve gizlenmesini sağlar. Bu sistemde alıcı tarafı iletim frekansını bilmiyor ise iletilen veriyi sadece bir gürültü olarak algılamaktadır. İki farklı yayılı spektrum yöntemi vardır. Bunlar Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum (FHSS) ve Doğrudan Sıralı Dağınık Spektrum (DSSS) yöntemleridir. Ayrıca yayılı spektrum yöntemi gürültü, girişim ve karıştırma işlemlerine karşı daha dayanıklıdır. Bunun yanı sıra yayılı spektrum yönteminin tercih edilmesindeki en önemli sebep iletilen verinin şifrelenebilir olmasıdır (Svilainis ve ark., 2013).

1.3.5.1. FHSS Modülasyon Tekniği

FHSS modülasyon tekniği, verici ve alıcı tarafında değişimi önceden bilinen bir dar bant sinyali taşıyıcı frekans olarak kullanır. İletilecek veri küçük paketlere ayrılarak alıcı tarafına rastgele değişen frekanslarda veri paketleri olarak iletilir. Veriyi sadece bilinen bu frekansları dinleyen alıcı alabilir. Bu sayede verinin güvenliği sağlanmış olur (Nigam ve ark., 2012).

1.3.5.2. DSSS Modülasyon Tekniği

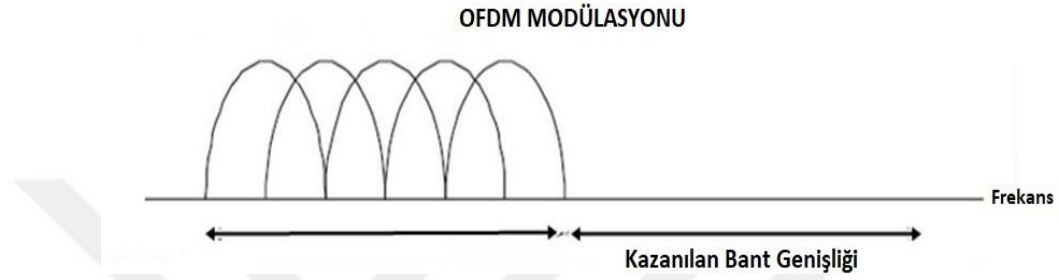
DSSS modülasyon tekniği, gönderilecek veri için çoklu bitlerden oluşan bir yapı oluşturur. Bu yapıya chipping code adı verilir. İletilen veriyi alıcı tarafında az kayıpla alabilmek için chipping code uzun tutulmalıdır. Fakat chipping code'u uzun tutmak bant genişliğinin artırılması anlamına gelir (Neibauer, 2001).



Şekil 1.15 DSSS Modülasyon Yapısı

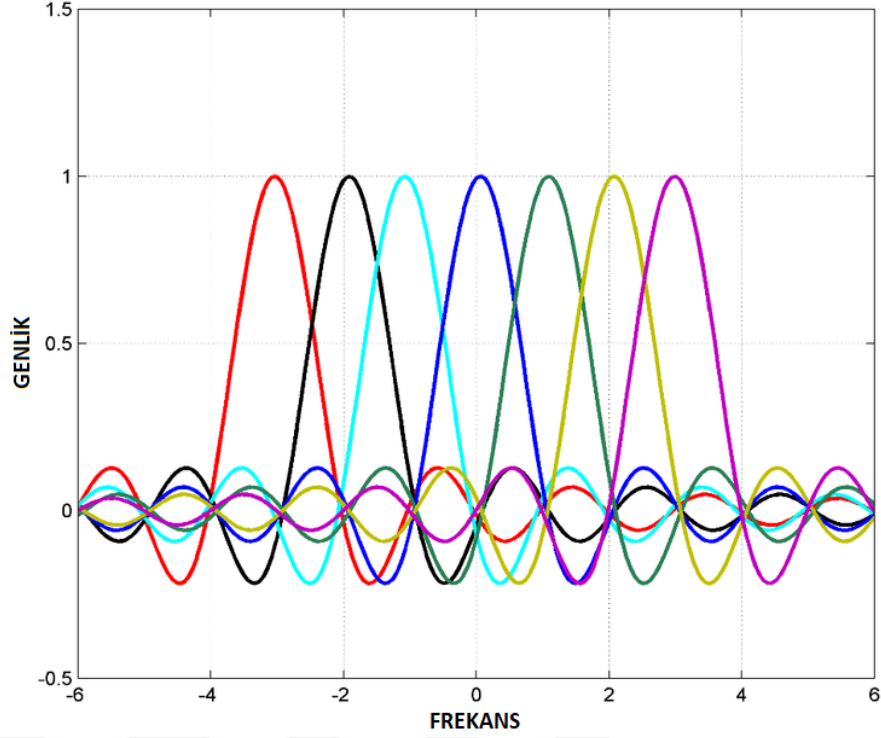
1.3.6. OFDM Yöntemi

Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) yöntemi sayısal sinyal işleme (DSP) sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir modülasyon yöntemidir. OFDM mevcut frekans spektrumunu alt kanallara bölerek paralel iletim sağlar. Bu sayede veri hızı önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca Şekil 1.16’da görüldüğü gibi kanalların birbirine dikgen olması bant genişliği tasarrufu da sağlamaktadır.



Şekil 1.16 OFDM Modülasyonu Kazanılan Bant Genişliği

OFDM tekniğinde alıcıya iletilecek olan veri farklı frekanslara bindirilerek güç hattı üzerine yüklenir (Şekil 1.17). Bu modülasyon tekniğinde 84 ayrı kanal oluşturulur ve veri paketleri birkaç taşıyıcı frekans boyunca her bir kanal üzerinde eşzamanlı olarak aktarılır (Purroy ve arkadaşları, 2007). Her frekans parazitlerden kaynaklı veri kaybına karşı özel bir Power Packet entegre devresi tarafından takip edilir. Parazit, frekanslardan birini bozduğunda kanalın sinyal gürültü oranı (SNR) düşer. Power Packet devresi bozulmayı fark eder ve bu sorunlu frekansta taşınan veriyi otomatik olarak başka bir taşıyıcı frekansa atlatarak herhangi bir veri kaybı olmadan veri akışı sürekliliğini sağlar (Akarte ve ark., 2014).



Şekil 1.17 8 Frekansın Oluşturduğu OFDM

1.4. Haberleşme Sinyalini Zayıflatan Faktörler

Haberleşme sinyalinin zayıflamasına etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Genel olarak iletim ortamından kaynaklı zayıflamalar ile iletilen bir sinyal alıcı tarafa zayıflayarak iletilir. Bu zayıflamalar üç ana başlıkta özetlenebilir:

- Zayıflama (Attenuation): Sinyalin enerjisinin ortam direncine bağlı olarak azalmasıdır. Sinyaldeki zayıflama desibel (dB) cinsinden şu şekilde hesaplanır;

$$Sinyal\ Zayıflaması_{dB} = 10 \log \frac{P_{Giriş}}{P_{Çıkış}} \quad (1.5)$$

- Bozulma (Distortion): Sinyalin şeklinin bozulmasını tanımlamaktadır. Sinyal içerisindeki verilerin alıcıya varış hızlarında yaşanan farklardan kaynaklanır.
- Gürültü (Noise): Çevresel şartlardan kaynaklanan parazitler ve girişimlerden kaynaklanabilir. SNR değeri olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$SNR = \frac{P_{Sinyal}}{P_{Gürültü}} \quad (1.6)$$

$$SNR_{dB} = 10 \log SNR \quad (1.7)$$

1.5. Veri İletişim Oranı

Veri iletişim oranı üç ana faktöre bağlıdır. Bunlar; bant genişliği, sinyaldeki seviye sayısı ve kanal kalitesidir. Bu veri iletişim oranı gürültülü ortam ve gürültüsüz ortam şeklinde iki farklı formül ile bulunabilir.

$$Nyquist Bit Oranı = 2BW \times \log_2 L \quad (bps) \quad (1.8)$$

$$Shannon Kapasitesi = BW \times \log_2(1 + SNR) \quad (bps) \quad (1.9)$$

BW = Bant Genişliği

L = Sinyal Seviye Sayısı

1.6. Bit Hata Oranı (BER)

Bit hata oranı sayısal veri iletiminde, iletilen veri içindeki bozulan ya da yanlış algılanan bit oranını ifade eder. (1.10) numaralı formül ile hesaplanabilir (Ofoegbu ve ark., 2022).

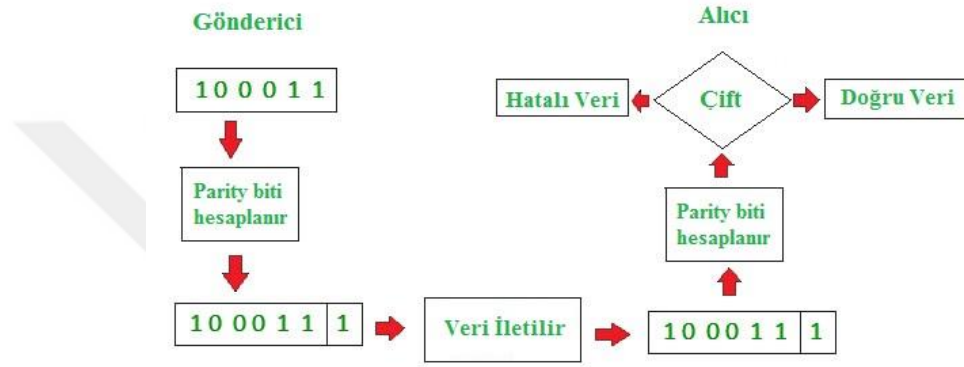
$$BER = \frac{\text{Gönderilen Hatalı Bit Sayısı}}{\text{Gönderilen Toplam Bit Sayısı}} \quad (1.10)$$

1.7. Ethernet Haberleşmesinde Hata Tespiti

Ethernet haberleşmesinde veri iletimi sağlanırken aynı zamanda iletilen verinin doğru şekilde alındığının da tespiti yapılmalıdır. Bu amaçla çeşitli hata tespiti algoritmaları mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan üç yöntem Parity, Döngüsel Artıklık Denetimi (CRC) ve Checksum'dır.

1.7.1. Parity Yöntemi

Parity yönteminde iletilecek olan her bir byte için 1 bit değerinin tek veya çift sayıda olma durumu denetlenir. Eğer tek sayıda 1 değeri varsa byte sonuna 1 biti eklenir. Eğer çift sayıda 1 değeri varsa byte sonuna 0 biti eklenir. Alıcı tarafında ise eklenen bu parity bitine göre denetleme yapılır. Bu yöntem hata tespitinde kullanımı oldukça kolaydır. Fakat mesajın bozulduğunu anlasa bile hatanın giderilmesini sağlayamaz (IBM, 2022).



Şekil 1.18 Parity Biti Kontrol Diyagramı

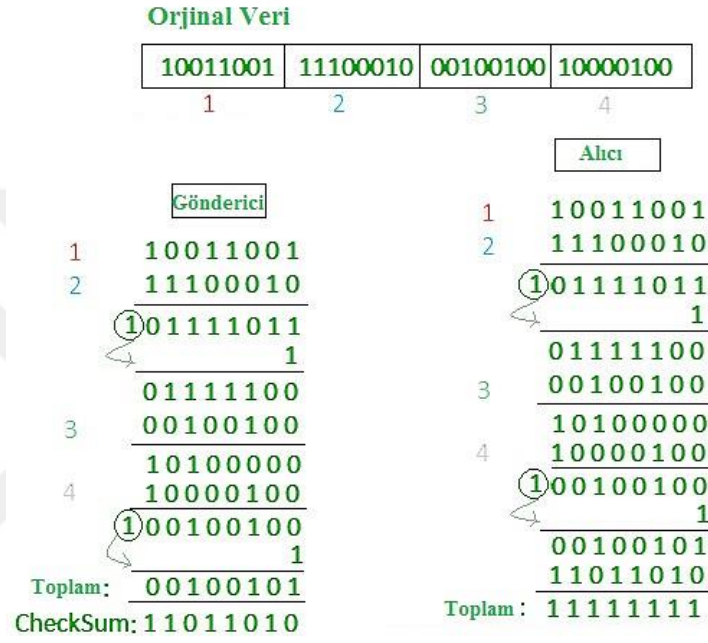
1.7.2. CRC Yöntemi

CRC yöntemi gönderici ve alıcı taraflarında bilinen bir polinom ile verinin denetlenmesini temel alır. Bu yöntemde polinomun katsayılarına göre bir anahtar değer belirlenir ve iletilecek mesaj bu değere bölünür. Bölüm sonucunda kalan değer CRC değerini oluşturur. Bu CRC değeri iletilecek verinin sonuna eklenerek iletir. Alıcı tarafı da aynı işlemleri yapar ve gelen CRC değeri ile kendi hesapladığı CRC değerini karşılaştırır. Eğer CRC değerleri eşit ise mesaj doğru şekilde alınmıştır. Fakat CRC değerleri eşit değil ise mesaj iletiminde hata oluşmuştur (Klimenko ve ark., 2018).

Örnek olarak “11011001” iletilecek veri ve “ $x^3 + x^2 + 1$ ” kullanılacak polinom ise, bu polinoma göre anahtar değer “1101” olur. İletilecek veri, anahtar değerine bölündüğünde kalan değer “011” olarak CRC değerini vermektedir.

1.7.3. Checksum Yöntemi

Checksum yöntemi, gönderici tarafında iletilecek verinin parçalara ayrılması ve her bir parçanın birbiriyle toplanması temelli bir hata tespit yöntemidir. Gönderici tarafında hesaplanan toplam değerinin tersi alınarak checksum değeri bulunur. Alıcı tarafında ise yine gelen bu parçalar toplanır ve bulunan bu değer ile checksum değeri birbirinin tersi ise alınan veri doğruluğu sağlanır (Denis ve ark., 2012).



Şekil 1.19 Checksum Hesaplaması

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde kablolu İHA sistemleri ve güç hattı üzerinden haberleşme sistemleri hakkında yapılan çalışmalar aktarılmıştır. Çalışmalarda kablolu İHA sistemlerinin hangi alanlarda nasıl faydalandığı araştırılmış ve güç hattı üzerinden haberleşme çalışmaları incelenmiştir. Ayrıca güç hattı haberleşmesinde yaygın olarak kullanılan OFDM yöntemi ile FHSS ve DSSS yöntemlerinin hız karşılaştırmaları için literatür taraması yapılmıştır.

2.1. Kablolu İHA Sistemleri Konusunda Yapılan Çalışmalar

Sharma ve arkadaşları (2014), çalışmalarında havadan gözetleme amaçlı yapılan bir kablolu hava gemisinin tasarım, üretim ve saha çalışmalarını aktarmaktadırlar. Kablolu hava gemisinin boyutu, var olan bir tasarım metodu kullanılarak yapılmış, aynı zamanda kullanım amacı ve kullanıcı istekleri de tasarımda dikkate alınmıştır. Hava gemisinin irtifasını ayarlamak için elle çalıştırılan bir vinç sistemi de tasarlamışlardır. Geliştirdikleri bu sistem 5 saat boyunca kesintisiz olarak havada kalmayı başarmıştır. Bu 5 saat boyunca test çalışmasının yapıldığı bölgenin havadan geniş alan görüntülenmesi sağlanmıştır. Sabit yer gözetleme sistemleri ile kıyaslandığında kablolu balon ile gözetleme sisteminin pek çok avantaj sağladığı anlaşılmıştır.

Balasubramanian ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışma ile kablolu bir hava aracının genel yapısını tanımlamışlardır. Bu tanımlamayla birlikte kablolu bir hava gemisinin tasarım aşamasında belirlenecek faydalı yük kapasitesine göre hacminin ne kadar olması gerektiği özetlenmiştir. Ayrıca hava gemisinin yerde duran demirleme istasyonu tasarımı yapılmış ve tether adı verilen kablonun iç yapısı anlatılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tether kablosu özel bir kablo olup kopma ve kırılmalara karşı özel bir koruma katmanına sahiptir. Ayrıca haberleşmeyi tether kablosunun ortasından bir damar şeklinde geçirdikleri fiber optik bir hat ile sağlamışlardır.

Yılmaz ve Gencer (2018), Türkiye'nin jeopolitik konumundan kaynaklanan terör ve yasa dışı göç ile mücadele etmek amacıyla Güney Doğu Anadolu Bölgesi sınırında kablolu hava gemisi kullanılmasını önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada kullanılacak sensör ve kameralar, proje maliyeti ve coğrafi yatkınlık parametrelerini göz önünde bulunduran bir yapay zeka modeli tanımlamışlardır. Bu modele göre sınır bölgesinde kablolu hava gemisi için çeşitli bölgeler belirlemişlerdir.

Alsamhi ve arkadaşları (2019), çalışmalarında baz istasyonlarının çevreye ve insan sağlığına verdikleri zararları azaltabilmek adına, sabit bir baz istasyonu yerine kablolu balon sistemiyle kapsama alanının daha geniş olacağı bir baz istasyonu modeli önermişlerdir. Farklı irtifalardaki baz istasyonu amaçlı balonların güç yoğunluğunu simüle etmişlerdir. Ayrıca önerdikleri sistemle yaptıkları ölçümler ile kablosuz haberleşmeyi karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre kablolu balon teknolojisi ile radyasyonun zararlı etkisi minimize edilerek etkin ve güvenli bir iletişim sağlandığı sonucuna varmışlardır.

Nith ve arkadaşları (2019), giyilebilir dron teknolojisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Dron teknolojisindeki en önemli parametrelerden biri ürünün taşınabilir seviyede küçük ve hafif olması, dolayısıyla uzun süreli uçuş sağlanmasıdır. Bu çalışmada dronun uzun süre havada kalma isteri ile lineer ilişki de olan batarya ağırlığı kısıtlamasından kurtulmak için batarya kullanıcı sırt çantası içerisine yerleştirilmiş ve dronun operasyon süresinin artırılması hedeflenmiştir. Sırt çantası içerisine yerleştirilen yüksek kapasiteli batarya ile dron kablolu olarak birbirine bağlanmıştır. Ayrıca batarya yükünden kurtarılmış olan dron üzerine kamera sistemi yerleştirilerek dron sisteminin faydalı hale getirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Güç Hattı Haberleşmesi ve Ethernet Konusunda Yapılan Çalışmalar

Purroy ve arkadaşları (2007), yayınlarında PLC alanında yapılan teknolojik çalışmaların güncel durumlarını aktarmışlardır. Ayrıca PLC çalışmalarının gelecekteki alanları ve yapılan çalışmalarda yaşanan zorlukları anlatmışlardır. Bu zorluklar genel olarak ağ güvenliğinin sağlanması ve güç hattında yaşanabilecek parazitlerin etkileridir.

Bal ve Daldal (2009), yayınladıkları çalışmada çağrı sistemlerinin genel bir tanımını yaparak kablolu ve kablosuz haberleşme tabanlı çağrı sistemleri hakkında bilgi aktarmışlardır. Çalışmanın devamında ise ek kablo maliyeti gerektirmeden güç hattı üzerinden haberleşmenin kullanıldığı bir çağrı sistemi tasarlamışlardır. Mesaj içerisinde 8 bitlik bir adres alanı kullanarak gönderilen çağrının hangi verici sisteminden geldiğini ayırt edebilmişlerdir. Tasarlanan sistem kapalı bir şebekede test edilerek doğruluğu ve güvenilirliği teyit edilmiştir.

Kabalcı ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada enerji hatları üzerinden haberleşme sistemlerinin gelişimi, haberleşme modelleri ve yaşanan sorunları aktarmışlardır. İlk kullanılmaya başlandığı sıralarda dar bir kullanım alanı olsa da gelişen

teknolojiyle birlikte yüksek veri hızlarında çok geniş bir kullanım alanlarına yayılmışlardır. Gürültü kaynaklı veri bozulmaları sorunlarına karşı son yıllarda yapılan teknolojik işlemleri de çalışmalarında aktarmışlardır.

Pant ve arkadaşları (2011), yaptıkları çalışma ile kablo ile bağlı bir İHA sisteminin güç taşıma yöntemlerinden bahsetmişlerdir. Ayrıca haberleşme sistemleri için kullanılan yöntemleri inceleyerek PLC üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Mannan ve arkadaşları (2014), çalışmalarında PLC sistemlerinin genel olarak çalışma prensiplerini sunmuşlardır. Enerji şebekelerinde otomatik sayaç okuma, ev içi internet ağı, ev otomasyon sistemleri alanlarında PLC kullanımlarını ele almışlardır. PLC sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını bildirmişlerdir. Özellikle bina içerisinde kullanılan PLC sistemlerinin, binada kullanılan jeneratör, matkap, çamaşır makinası gibi cihazların kullanımının arttığı durumda PLC ile oluşturulan veri ağına gürültü karıştığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca günümüzde kullanılan PLC sistemi standartları hakkında bilgiler vermişlerdir.

Bal ve Daldal (2014), yapmış oldukları çalışmada güç hattı üzerinden haberleşme tabanlı bir sistem kurmuşlardır. Bu sistemde güç hattı girişinde bulunan bir mikro denetleyici ve LCD ile kullanıcının klavyeden girdiği veriler iletilmiş, aynı şekilde güç hattı çıkışında bulunan mikro denetleyici ve LCD sistemiyle iletilen mesaj gösterilmiştir. Bu mesajlaşma işlemini 5 katlı bir binanın en alt ve en üst katları arasında yapmışlardır. İletilen mesajların başarılı bir şekilde alıcı tarafında görülebildiğini test etmişlerdir.

Alatabani ve Abdalla (2015), yapmış oldukları çalışmada yayılı spektrum yöntemlerinden olan FHSS ve DSSS hakkında teorik açıklamalar ve bilgiler vermişlerdir. Ayrıca bu yöntemlerin matematiksel bir modelini oluşturarak simülasyon ortamında bu iki yöntemi birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma içerisinde FHSS ve DSSS yöntemlerini belirli SNR değerlerinde oluşan bit hata oranları, veri hızı ve gecikme zamanları özelliklerine değinmişlerdir. SNR değeri 10 olduğunda DSSS BER değeri 10^{-6} , FHSS BER değeri ise 10^{-3} olarak bulunmuştur. 1000 saniyelik bir testte ortalama veri hızı ise DSSS'te 200 bit/s, FHSS 100 bit/s olarak görülmüştür. Gecikme zamanı ise 1000 bitlik bir veride DSSS 200 μ s, FHSS ise 300 μ s gecikme yaşadıkları görülmüştür.

Javadi ve Pourang (2008), yapmış oldukları çalışmada analog ve dijital modülasyon tekniklerini ve farklarını vurgulamışlardır. Çalışma içerisinde OFDM, DSSS ve FHSS yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmışlar ve avantajlarla dezavantajlarını belirlemişlerdir. Günümüzde kullanılan PLC cihazlarının OFDM yöntemini kullandığını

ama özel tasarımlar yaparak DSSS ve FHSS yöntemlerinde de tasarımlar yapılabileceğini aktarmışlardır. Bu üç yöntemde parazitlerden çok az etkilenecek verilerin doğruluğunu koruduğunu aktarmışlardır.

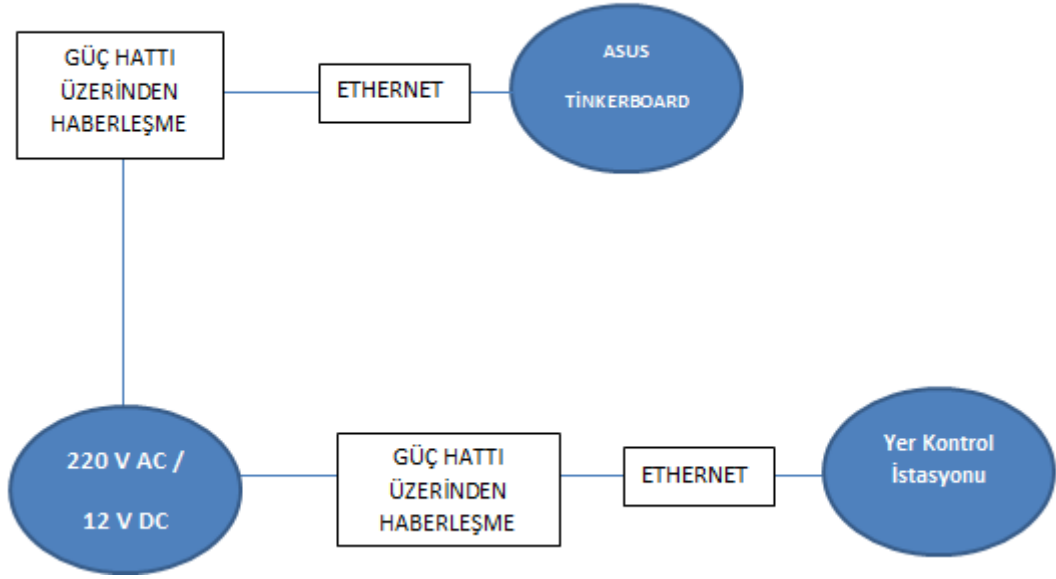
Meng ve Ding (2007), yaptıkları çalışmada DSSS ve OFDM modülasyon yöntemleri hakkında bilgiler vermişlerdir. Ayrıca simülasyon ortamında modelledikleri sinyalleri DSSS ve OFDM ile module etmişlerdir. Modüle edilen sinyale gürültüler ekleyerek bu iki modülasyon yöntemini birbiriyle kıyaslamışlardır. Bu kıyaslamayı sembol hata oranı (SER) kullanarak yapmışlardır. Dar bant gürültü eklenmiş testte -14 dB SNR değerinde DSSS için SER değeri $10^{-0.3}$, OFDM için SER değeri $10^{-0.9}$ olarak bulunmuştur. Fakat SNR değeri arttıkça OFDM SER değer değişikliği oldukça az olmasına rağmen DSSS SER değeri gittikçe azalan bir eğilim içerisindedir. Ani darbeli gürültü eklenmiş testte -14 dB SNR değerinde DSSS için SER değeri $10^{-0.7}$, OFDM için SER değeri $10^{-0.3}$ olarak bulunmuştur. Dar bant testinde olduğu gibi SNR değeri arttıkça OFDM SER değer değişikliği oldukça az olmasına rağmen DSSS SER değeri gittikçe azalan bir eğilim içerisindedir. Son olarak yapılan testte ise arka plan gürültüsü eklenerek test yapılmıştır. Bu testte ise -14 dB SNR değerinde DSSS ve OFDM SER değerleri birbirine yakın olarak ölçülmüştür. Fakat diğer testlerde olduğu gibi SNR değeri arttıkça OFDM SER değer değişikliği oldukça az olmasına rağmen DSSS SER değeri gittikçe azalmaktadır.

Garcia ve Alarcon (2009), yaptıkları çalışmada OFDM modülasyon tekniğini kullanacak bir FPGA tasarımı yapmışlardır. Bu tasarım aşamasında OFDM performansını ölçmek için çeşitli gürültü kaynakları ile test çalışması yapmışlardır. Bu test kapsamında ani darbeli gürültü ve arka plan gürültüleri ekleyerek sistemin çıktılarını incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre arka plan gürültüsü eklenmiş sistemde BER oranı %4.86, ani darbe gürültüsü eklenmiş sistemde ise BER değeri %0.89 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında ise literatür taramasında incelenen çalışmalardaki sonuçlarla karşılaştırıldığında OFDM yönteminin FSK yöntemine göre BER oranlarının daha düşük olduğu aktarılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

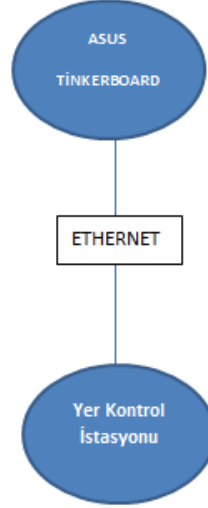
3.1. Materyaller

Tez çalışması kapsamında İHA sisteminde merkezi bilgisayar rolünü simüle etmek amacıyla Asus Tinker Board kartı kullanılmıştır. Tinker Board, üzerindeki güçlü işlemci sayesinde Raspberry Pi kartına bir rakip olarak görülmektedir. Genel özellikler bakımından daha güçlü bir kart olan Tinker Board özellikle üzerinde dahili olarak bulunan ethernet portu ve Wi-Fi adaptörü sayesinde testlerde doğru veri elde edilmesini sağlayacaktır. Şekil 3.1’de kablolu bir İHA için güç hattı üzerinden haberleşme yapısı blok şeması verilmiştir. Tez kapsamında yapılan test çalışmasında aşağıdaki blok şemaya uygun olarak AC ve DC hatlarda PLC cihazı kullanılarak veri hızı testleri yapılmıştır.



Şekil 3.1 Kablolu İHA Haberleşme Yapısı

Ayrıca test kapsamında PLC cihazlarının normal ethernet ile haberleşme arasındaki farkları görmek için Şekil 3.2 blok şemasına uygun olarak test düzeneği kurulmuştur.



Şekil 3.2 Kablolu İHA Ethernet ile Haberleşme Yapısı

TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC güç soketli güç adaptörleri ve WisPLC Pro DC güç hattı haberleşmesi kartları sayesinde bir bilgisayar ve Asus Tinker Board arasında güç hattı üzerinden bir ethernet ağı kurulabilmektedir. Kullanılan cihazların en önemli özelliklerinden biri ise herhangi bir ön ayar ihtiyacı olmadan kullanılabilmesidir.

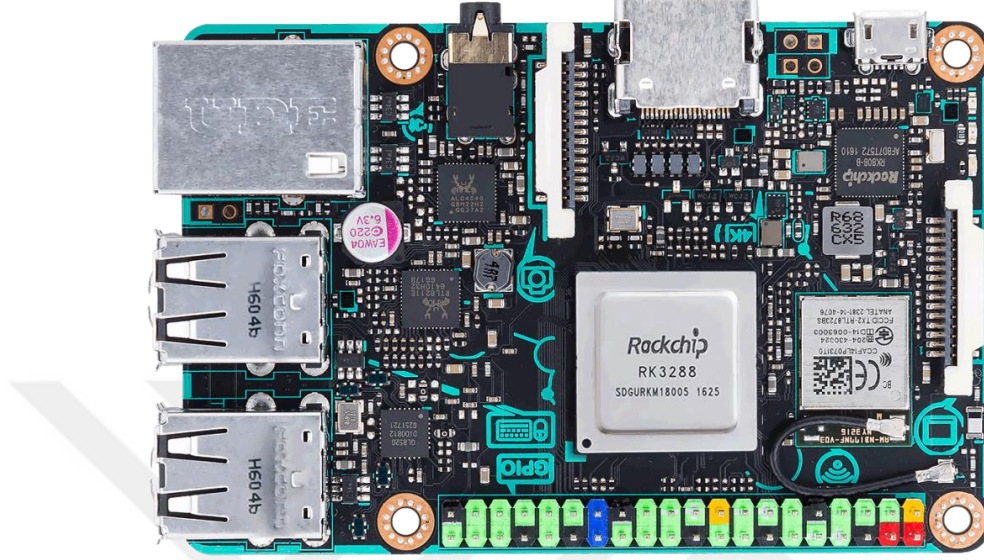
Veri iletim testlerini yapmak için kullanılan Iperf yazılımı ise hem açık kaynaklı olması sebebiyle hem de işletim sistemi ayırt etmeksizin tüm platformlarda çalışabilme özelliği sayesinde, herhangi bir işletim sistemine bağlı kalmadan testlerin yapılabilmesini sağlamaktadır.

3.1.1. Asus Tinker Board

Dört çekirdekli ARM tabanlı bir mimariye sahip olan Tinker Board Rockchip RK3288 serisi çipleri kullanmaktadır. Dahili olarak 2 GB'lık bir belleği olan kart ayrıca harici olarak işletim sistemini kurmak için SD kartı desteklemektedir. ARM tabanlı Tinker Board'ın grafik çekirdeği ve güçlü işlemcileri sayesinde, yüksek çözünürlüklü video oynatma, hareket algılama ve tanıma, görüntü işleme ve yapay zeka gibi birçok alanda kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi Tinker Board, ekran ve kamera için iki adet HD MIPI bağlantısına sahiptir. 40 pinli GPIO ara yüzüyle çeşitli sensörler için veri giriş ve çıkış noktaları oluşturmaktadır. Üzerindeki yüksek performanslı Gbit LAN sistemi ile yüksek performanslı veri iletişimi sağlanabilmektedir. Dahili olarak Wi-Fi ve Bluetooth

modülleri de mevcuttur. HDMI girişi sayesinde çeşitli ekranlara bağlanılabilir. Mini bir bilgisayar olarak tanımlanan Tinker Board'a klavye, fare ve çeşitli çevresel birimleri bağlayabilmek amacıyla 4 adet USB 2.0 girişi mevcuttur (ASUS, 2021).



Şekil 3.3 Asus Tinker Board Kart Görself

3.1.2. TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC Güç Soketi

TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC güç soketi normal bir elektriksel güç şebekesini aynı anda veri iletim hattına çeviren bir sokettir (Şekil 3.4). Bu modül elektrik hattının başlangıcına ve bitişine takıldığında arada oluşan güç hattından ilgili verileri aktarabilmektedir.

Ayrıca herhangi bir ön yazılım veya kurulumu gerek kalmadan çalıştırılabilmektedir. Güç kabloları üzerinden 600 Mbps'e kadar veri iletim hızı sağlamaktadır (TP-Link, 2020).



Şekil 3.4 TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC Güç Soketi

3.1.3. Iperf Yazılımı

Şekil 3.5'te ekran görüntüsü verilen Iperf, ağ performansını ölçmek için kullanılan bir yazılımdır. Mac OS, Linux ve Windows işletim sistemlerini desteklemektedir. Alıcı ve gönderici sistemlerinden çalıştırılarak, iki sistem arasındaki veri hızını zamana ve veri boyutuna bağlı olarak analiz edebilmektedir. Komut satırında belirli parametreler kullanılarak sistem istenilen şartlarda test edilebilir (Umutium, 2021).

```
C:\Users\PC\Downloads\iperf-3.1.3-win64\iperf-3.1.3-win64>iperf3.exe -c 172.16.35.6
Connecting to host 172.16.35.6, port 5201
[ 4] local 172.16.35.11 port 51810 connected to 172.16.35.6 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec  3.75 MBytes 31.5 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec  3.88 MBytes 32.5 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec  4.38 MBytes 36.7 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec  4.62 MBytes 38.8 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec  4.62 MBytes 38.8 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec  3.88 MBytes 32.5 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  3.62 MBytes 30.4 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec  3.50 MBytes 29.3 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec  4.25 MBytes 35.7 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00 sec 4.50 MBytes 37.7 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 4] 0.00-10.00 sec 41.0 MBytes 34.4 Mbits/sec  sender
[ 4] 0.00-10.00 sec 40.9 MBytes 34.3 Mbits/sec receiver
iperf Done.
```

Şekil 3.5 Iperf Komut Satırı

3.1.4. WisPLC Pro DC Güç Soketi

WisPLC Pro DC güç soketi normal bir DC güç hattını veri iletim hattına çeviren bir soketidir (Şekil 3.6). Bu modül DC hattın başına ve bitişinde kullanılarak güç

hattından aynı anda veri de iletilmesini sağlamaktadır. Güç kabloları üzerinden 500 Mbps'e kadar veri iletim hızı sağlamaktadır (Rak Wireless, 2022).



Şekil 3.6 WisPLC Pro DC Güç Soketi

3.2. Yöntem

Tez çalışmasında kablolu İHA sistemlerinde haberleşme amaçlı kullanılabilecek bir PLC sisteminin veri aktarım performansı test edilmiştir. Bu test kapsamında hava aracının merkezi bilgisayarını temsil etmek amacıyla Asus Tinker Board kartı kullanılmıştır. Yer kontrol istasyonu olarak ise Windows işletim sistemine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır.

Veri aktarım hızını karşılaştırmak amacıyla iki farklı iletişim ortamında testler yapılmıştır. Bu ortamlar fiziki ethernet bağlantılı test düzeneği ve güç hattı üzerinden haberleşmenin (PLC) yapıldığı bir test düzeneği şeklinde kurulmuştur. 1 m, 5 m, 10 m ve 20 m olarak dört farklı hat uzunluklarında test ölçümleri yapılmıştır. PLC için yapılan testler hem AC hem de DC güç hattında tekrarlanmıştır. Ayrıca AC PLC kullanılarak oluşturulan test ortamına gürültü oluşturması amacıyla aynı hat ortamına saç kurutma makinesi ve su ısıtıcısı bağlanarak veri hızında oluşan değişiklikler incelenmiştir.

Test ortamını hazırlamak için ilk olarak Linux tabanlı bir işletim sistemine sahip olan Asus Tinker Board kartı kurulumunun yapılması gerekmektedir. Asus firmasının Tinker Board için geliştirdiği TinkerOS isimli işletim sisteminin kurulumu bir microSD

karta yapılmaktadır. Bu kurulum yapıldıktan sonra karta hem çevresel donanımlar (ekran, klavye, fare, vb.) takılarak hem de güvenli kabuk (SSH) bağlantısı ile erişim sağlanabilmektedir.

Asus kartının kurulumu tamamlandıktan sonra veri iletim testlerinin yapılacağı Iperf yazılımının kurulumu yapılmalıdır. Bu kurulum ayrıca Yer Kontrol İstasyonu (YKİ) amaçlı bilgisayarlara da kurulmalıdır. Bu kurulum için terminal ekranı açılır ve sırasıyla aşağıdaki komutlar girilir:

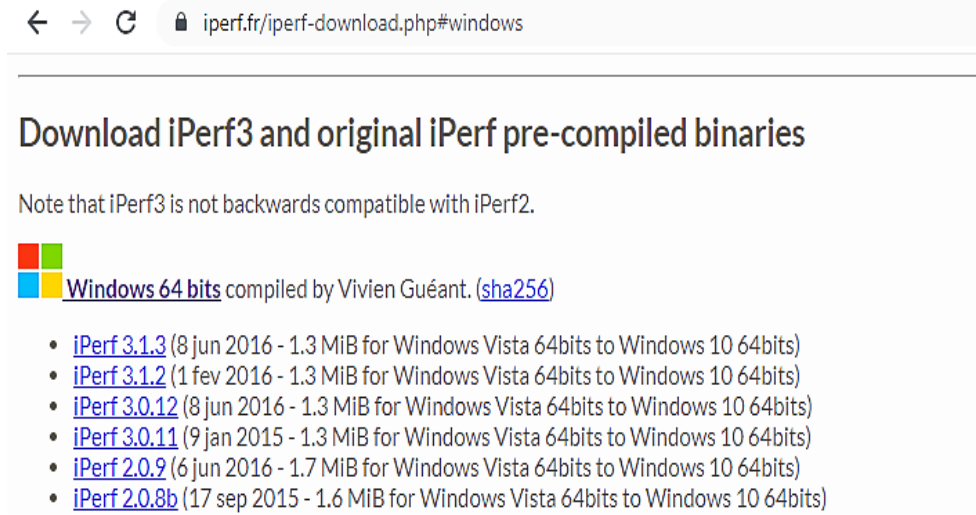
- sudo apt-get update
- sudo apt-get upgrade
- sudo apt install Iperf

Iperf kurulumundan sonra kurulumun doğru bir şekilde tamamlandığını anlamak için test amaçlı bir Iperf komutu çalıştırılmalıdır. Örneğin Asus kartında tekrardan bir terminal ekranı açılarak “Iperf -c A.B.C.D” komutu çalıştırılabilir. Bu komutta bulunan A.B.C.D sistemde bulunan herhangi bir IP adresi olmalıdır. Ekran çıktısında aşağıdaki şekilde bir çıktı görülmelidir (Tinker Board Forum, 2017). Şekil 3.7’de Tinker Board için Iperf test ekranı çıktısı verilmiştir.

```
linaro@tinkerboard:~$ iperf -c 192.168.0.94
-----
Client connecting to 192.168.0.94, TCP port 5001
TCP window size: 43.8 KByte (default)
```

Şekil 3.7 Tinker Board Iperf Test Ekran Çıktısı

Iperf kurulumu Windows işletim sistemine sahip bir bilgisayar için ise <https://iperf.fr/iperf-download.php#windows> internet adresinden indirilecek .exe dosyası kullanılabilir. Şekil 3.8, Iperf Windows indirme ekranı görüntüsünü vermektedir.



Şekil 3.8 Iperf Windows İndirme Ekranı

Iperf kurulumları tamamlandıktan sonra Asus Tinker Board kartında ve YKİ amaçlı kullanılacak bilgisayarda statik IP adresi ayarlaması yapılmalıdır. Asus kartında IP ayarlaması aşağıdaki adımlar ile yapılmaktadır.

- `cd /etc/network/interfaces.d`
- `sudo nano ipv4`

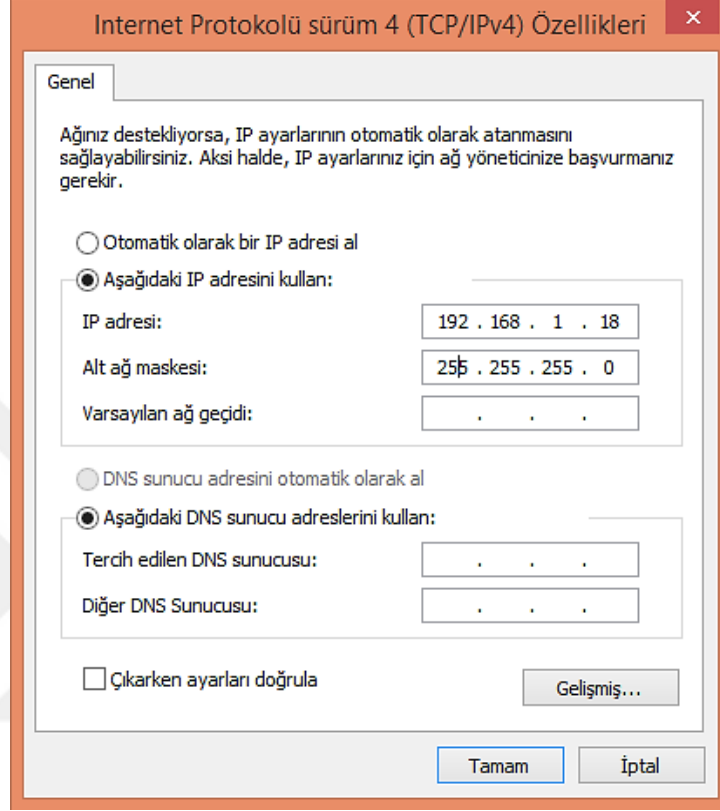
Bu komutlar terminal ekranına girildiğinde açılan ekranda Şekil 3.9’da görülen komutlar girilerek statik IP ayarlanmış olur.

```
linaro@tinkerboard: /etc/network/interfaces.d
File Edit Tabs Help
linaro@tinkerboard:/etc/network/interfaces.d$ cat ipv4
auto eth0
iface eth0 inet static
address 192.168.1.16
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.1.1
dns-nameservers 8.8.8.8 8.8.4.4

auto wlan0
iface wlan0 inet static
address 192.168.1.17
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.1.1
linaro@tinkerboard:/etc/network/interfaces.d$
```

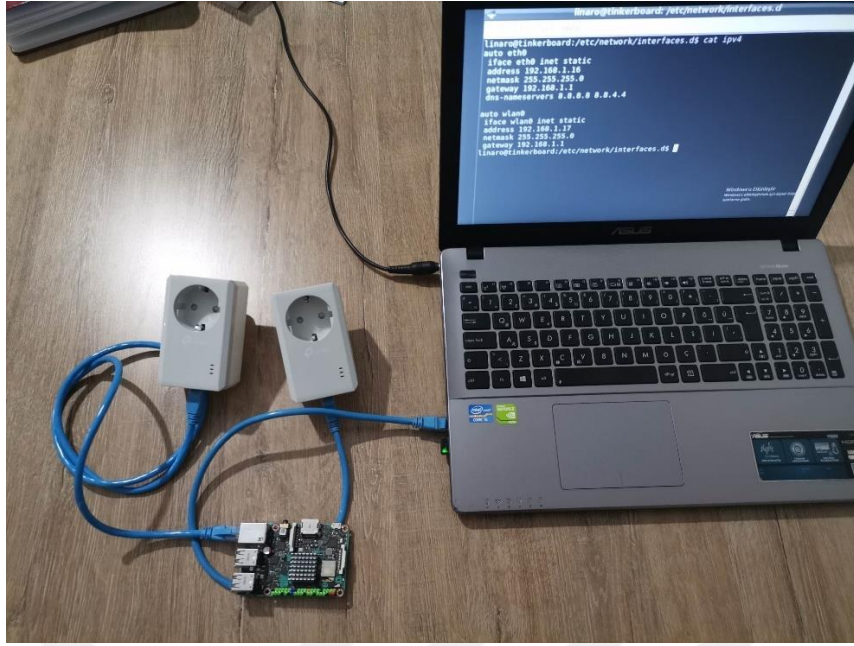
Şekil 3.9 Asus Tinker Board Statik IP Ayarlama

Statik IP ayarlaması tamamlandıktan sonra YKİ amaçlı kullanılacak bilgisayarın statik IP adresi ayarlaması Şekil 3.10’da görüldüğü gibi yapılmaktadır.

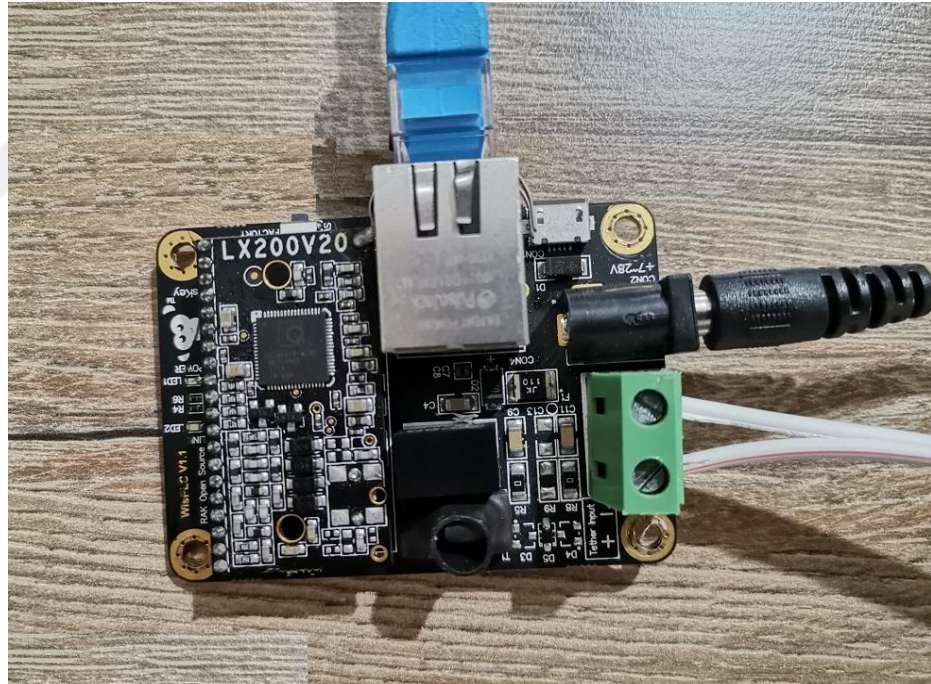


Şekil 3.10 Windows Bilgisayar Statik IP Ayarlama

IP ayarlamaları tamamlandıktan sonra yapılacak performans testleri için Şekil 3.11’de görülen test düzeneği kurulmuştur. Aynı test düzeneğinde AC PLC modülü yerine Şekil 3.12’de görülen modül kullanılarak DC PLC testlerine devam edilmiştir.



Şekil 3.11 AC PLC Test Düzeneği



Şekil 3.12 Test Düzeneğinde kullanılan DC PLC modülü

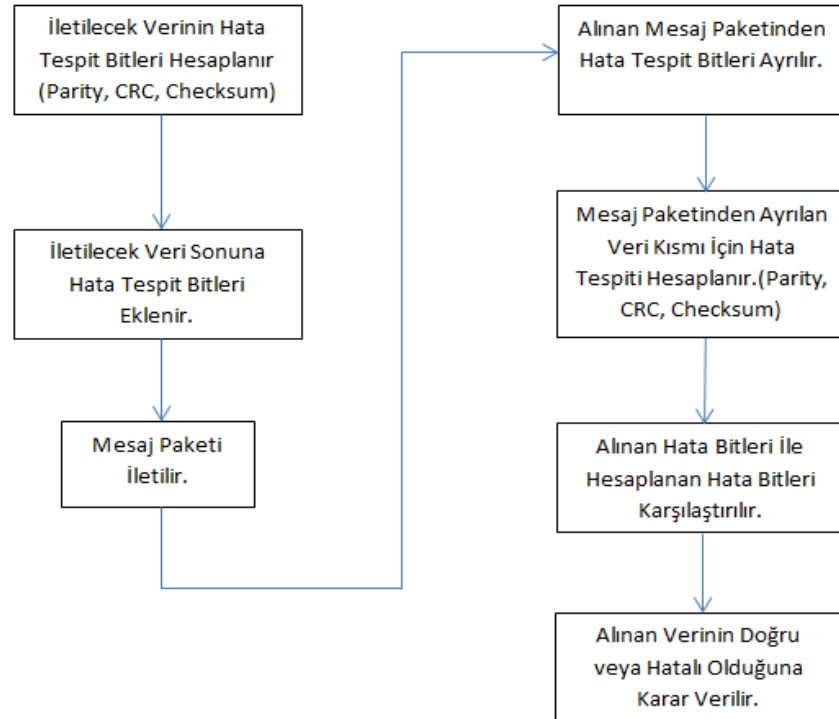
Veri hızı testlerinde kullanılan komut Şekil 3.13'te görülmektedir. Bu komutta ' - c ' parametresi cihazın gönderici olduğunu gösterir ve iletilecek verinin komutun devamında gelen '192.168.1.18' adresine gönderileceği anlaşılmaktadır. Komutta bulunan ' -t 300' ise testin 300 saniye boyunca yapılacağını göstermektedir. Komutun devamında

bulunan '>/home/linaro/Documents/Test/5m_5d_ethernet_testi.txt' ise bu işlemin çıktılarının '5m_5d_ethernet_testi.txt' isimli bir .txt dosyasına yazılmasını hedeflemektedir.

```
linaro@tinkerboard: ~
File Edit Tabs Help
linaro@tinkerboard:~$ iperf3 -c 192.168.1.18 -t 300 > /home/linaro/Documents/Test/5m_5d_ethernet_testi.txt
```

Şekil 3.13 Test Komutu

Test çalışmasının ikinci aşamasında ise iletilen verilerin hata tespit algoritması ile tespiti ve çeşitli yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır. Bu test kapsamında Parity, CRC ve Checksum algoritmaları kullanılmıştır. Asus Tinker Board ile YKİ bilgisayarı arasında iletilen veri “39.9525” olarak enlem bilgisi olarak seçilmiştir. Bu işlem ilk olarak gönderici tarafında kullanılacak algoritmaya ait hesaplama işlemi sonucunun, enlem bilgisinin sonuna eklenmesi ile mesaj paketi oluşturularak iletilir. Alıcı tarafında ise gelen mesaj paketinden hata tespit bitleri ayrılır ve enlem bilgisinin hata tespit sonucunu bulmak için aynı hesaplama yapılır. Hesaplama sonucu gelen mesaj paketindeki hata tespit bitleri ile karşılaştırılarak gelen mesajın doğru veya hatalı olduğu anlaşılır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Hata Tespitinde Algoritmanın Akış Diyagramı

4. TEST ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

Test çalışmaları kapsamında veri hızı testleri ethernet haberleşmesi, AC PLC ve DC PLC olmak üzere üç farklı veri yolu ile yapılmıştır. Ayrıca (4.1) ve (4.2) numaralı denklemler kullanılarak veri hızı testleri için 1m, 5m, 10m ve 20m’lik mesafelerdeki standart sapma ve korelasyonları hesaplanmıştır. Veri hata tespiti testleri ise Parity, CRC ve Checksum algoritmaları kullanılarak hata denetimi yapılmıştır.

$$\text{Standart Sapma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.1)$$

x_i : Veri Hızı Test Sonuç Değerleri

$\bar{x}$: Veri Hızı Test Sonuç Ortalaması

n : Örneklem Sayısı

$$\text{Korelasyon} = \frac{\sum ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{(n - 1)S_x S_y} \quad (4.2)$$

y_i : Test Yapılan Uzunluk

$\bar{y}$: Test Yapılan Uzunluk Ortalaması

S : Standart Sapma

4.1. Veri Hızı Testi Adımları

4.1.1. 1m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme

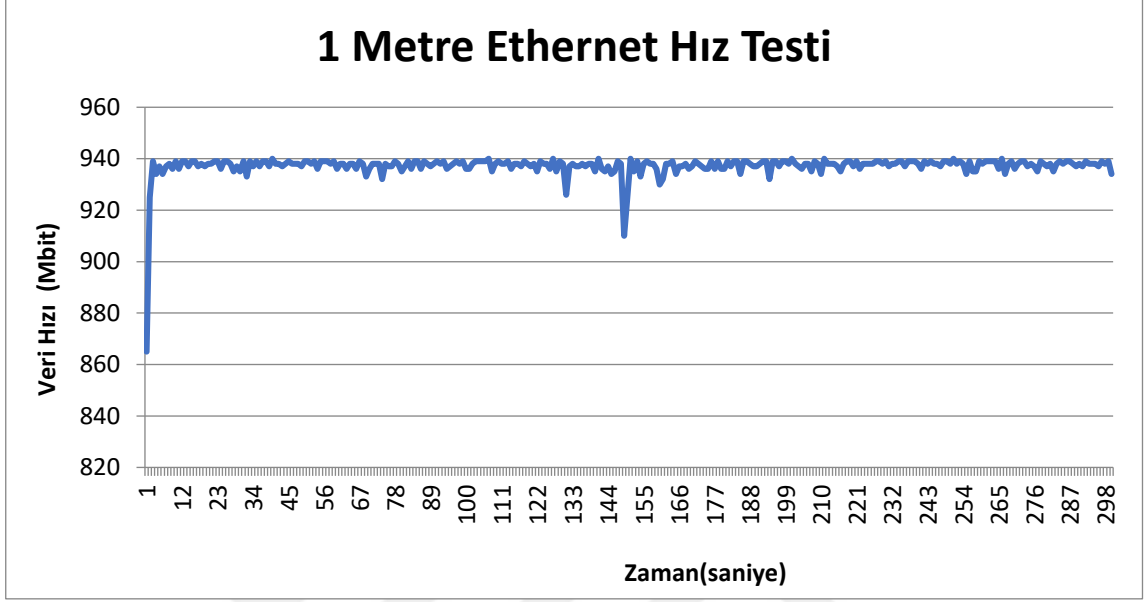
İlk olarak 1 metre uzunluğundaki bir ethernet kablosu ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.1).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.02 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.02 sec	32.7 GBytes	937 Mbits/sec

Şekil 4.1 1m Ethernet Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 32.7 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 937 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.2’de aktarım

hızının zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte veri hızında dalgalanmaların yoğun olduğu ve anlık olarak veri hızının 910 Mbit/s değerine düştüğü görülmüştür. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 4.91 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2 1m Ethernet Hız Testi Grafiği

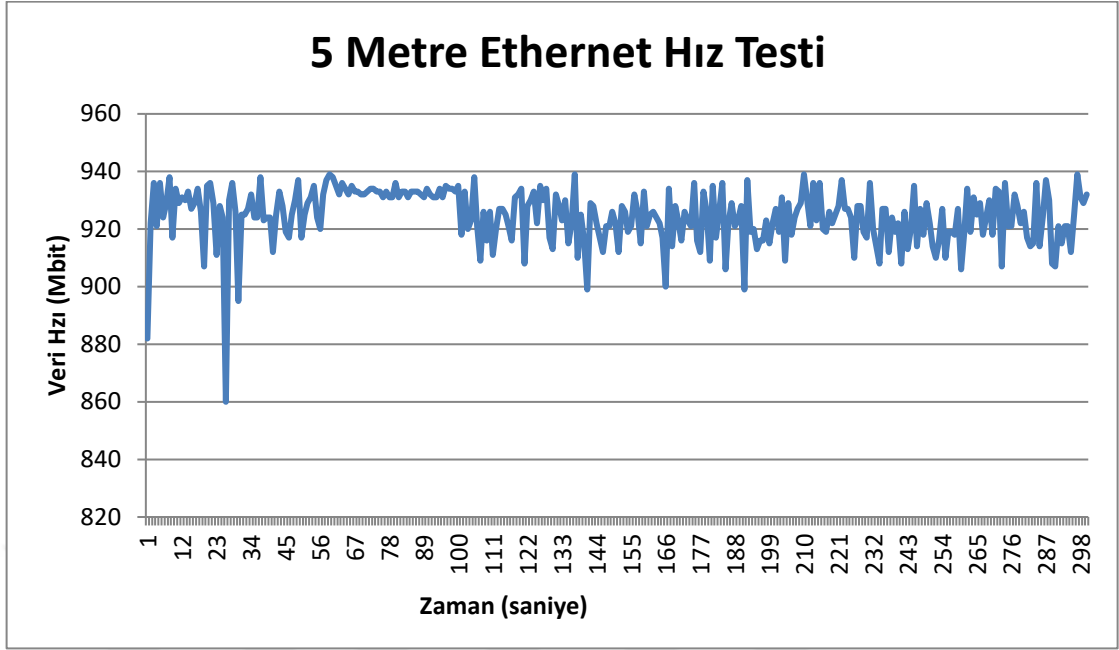
4.1.2. 5m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme

5 metre uzunluğundaki bir ethernet kablosu ile iki sistemin birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.3).

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.02 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.02 sec	32.3 GBytes	924 Mbits/sec

Şekil 4.3 5m Ethernet Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 32.3 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 924 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.4'te zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte veri hızının oldukça dalgalı olduğu ve hız değerinin yaklaşık 40-50 Mbit/s aralıklarla değişim yaşadığı görülmüştür. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 9.61 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4 5m Ethernet Hız Testi Grafiği

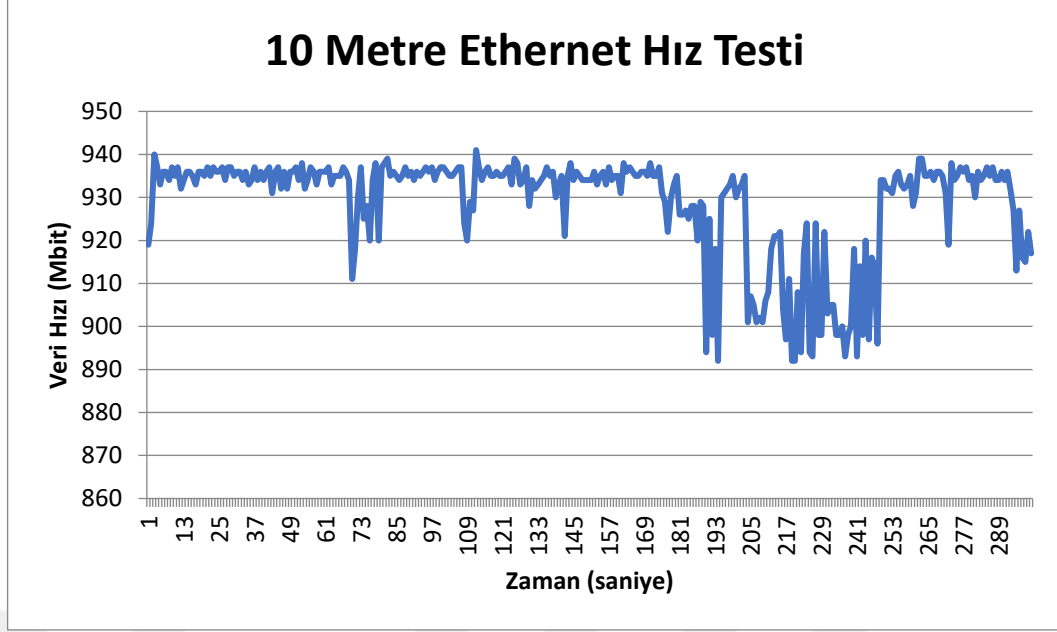
4.1.3. 10m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme

İki sistemin birbirine 10 metre uzunluğundaki bir ethernet kablosu ile bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.5).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[51	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[51	0.00-300.03 sec	31.8 GBytes	911 Mbits/sec

Şekil 4.5 5m Ethernet Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 31.8 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 911 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.6’da zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre 10 metre ethernet haberleşmesi testinde verilerin anlık düşüşleri özellikle 180 ve 250. saniyeler içerisinde yaşandığı görülmüştür. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 10.76 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6 10m Ethernet Hız Testi Grafiği

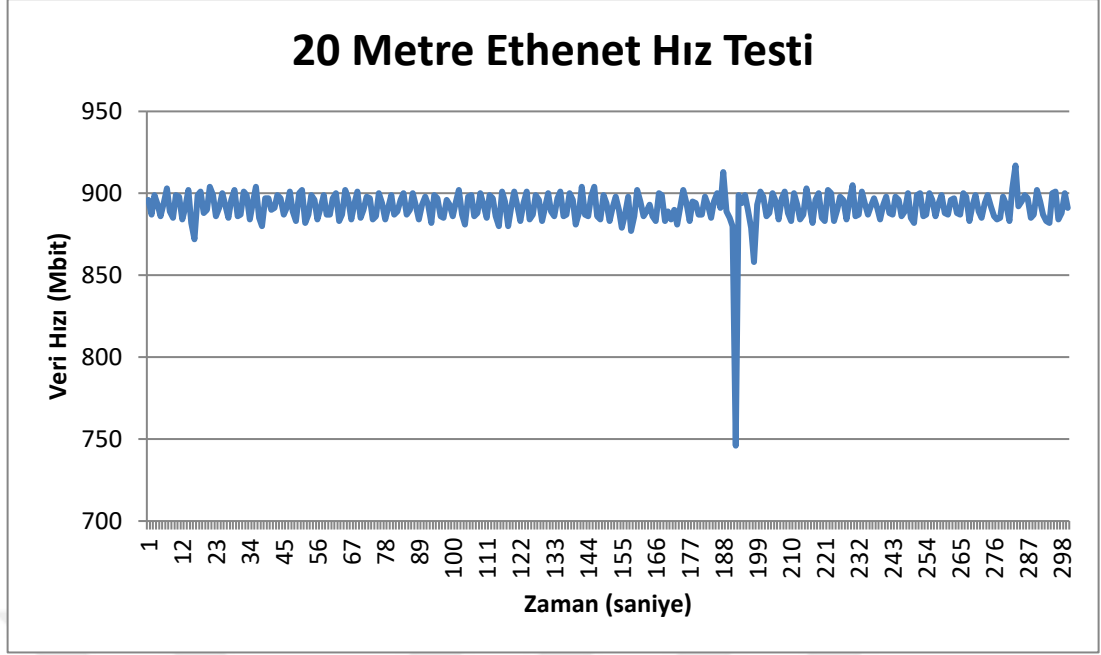
4.1.4. 20m Sadece Ethernet Bağlantılı Haberleşme

İki sistemin birbirine 20 metre uzunluğundaki bir ethernet kablosu ile bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.7).

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.02 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.02 sec	31.1 GBytes	891 Mbits/sec

Şekil 4.7 20m Ethernet Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 31.1 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 891 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.8’de zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu test aşamasında ise veri hızının diğer ethernet haberleşmelerine göre daha stabil olduğu görülmüştür. Ancak 185. saniyede ani bir veri düşüşü görülmüştür. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 11.13 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8 20m Ethernet Hız Testi Grafiği

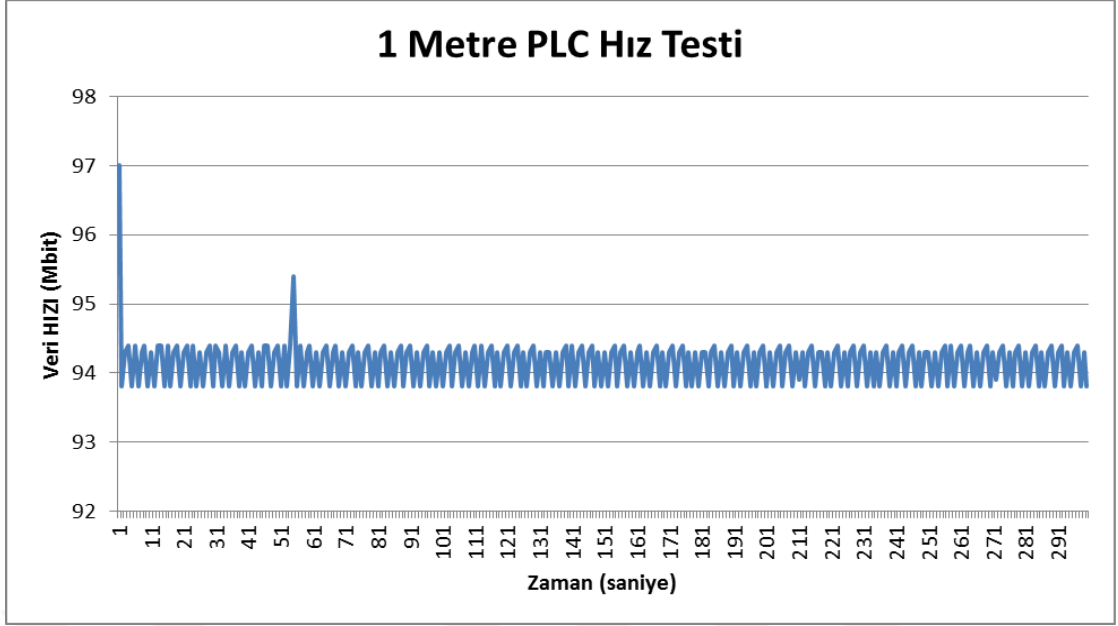
4.1.5. 1m AC PLC Bağlantılı Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta AC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.9).

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.03 sec	3.29 GBytes	94.1 Mbits/sec

Şekil 4.9 1m AC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.29 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 94.1 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.10'da zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Grafikte veri hızının anlık 95.5 Mbit/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu ani sıçramanın dışında 1m ethernet kablosuna göre daha stabil bir veri hızı elde edilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 0.32 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10 1m PLC Hız Testi Grafiği

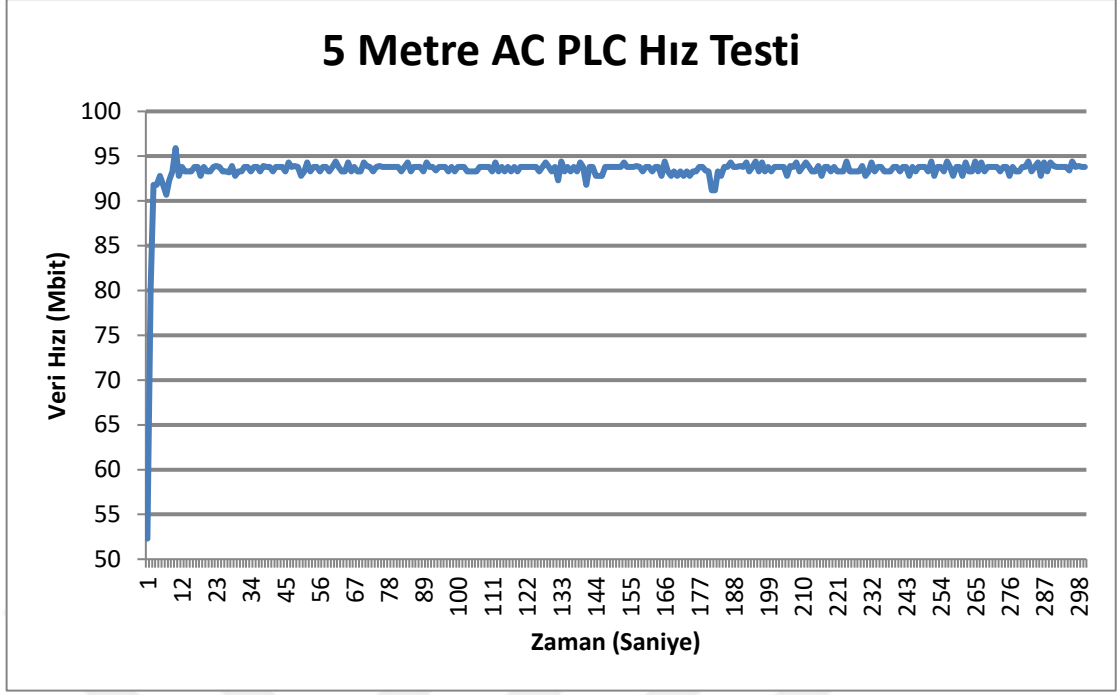
4.1.6. 5m AC PLC Bağlantılı Haberleşme

5 metre uzunluğundaki bir hatta AC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.11).

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.04 sec	3.26 GBytes	93.4 Mbits/sec

Şekil 4.11 5m AC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.26 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 93.4 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.12’de zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Grafikte veri hızının 5m ethernet kablosuna göre daha stabil bir veri hızı elde edilmiştir. 5m AC PLC testi 1m AC PLC haberleşmesine göre sadece 0.7 Mbit’lik bir hız düşüşü görülmektedir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 2.55 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12 5 Metre AC PLC Hız Testi Grafiği

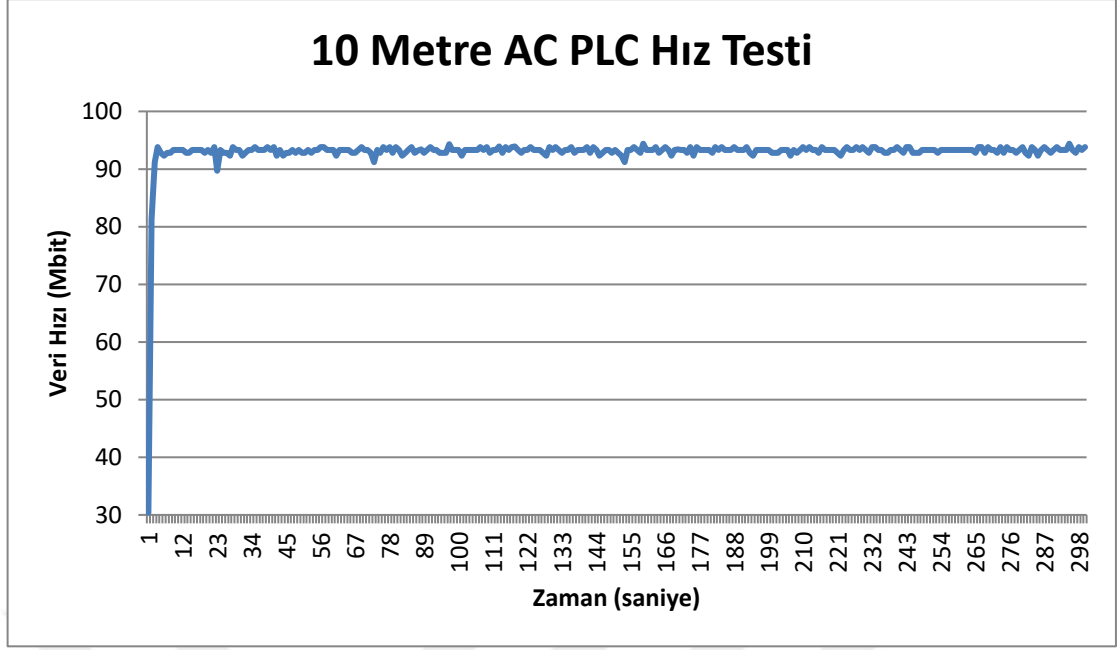
4.1.7. 10m AC PLC Bağlantılı Haberleşme

10 metre uzunluğundaki bir hatta AC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.13).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.04 sec	3.22 GBytes	92.1 Mbits/sec

Şekil 4.13 10m AC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.22 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 92.1 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.14'te zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Grafikte veri hızının 10m ethernet kabloşuna göre daha az düşüşler yaşandığı görülmüştür. 10m AC PLC testi 5m AC PLC haberleşmesinde olduğu gibi oldukça stabil bir veri hızı elde edilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 3.72 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14 10m AC PLC Hız Testi Grafiği

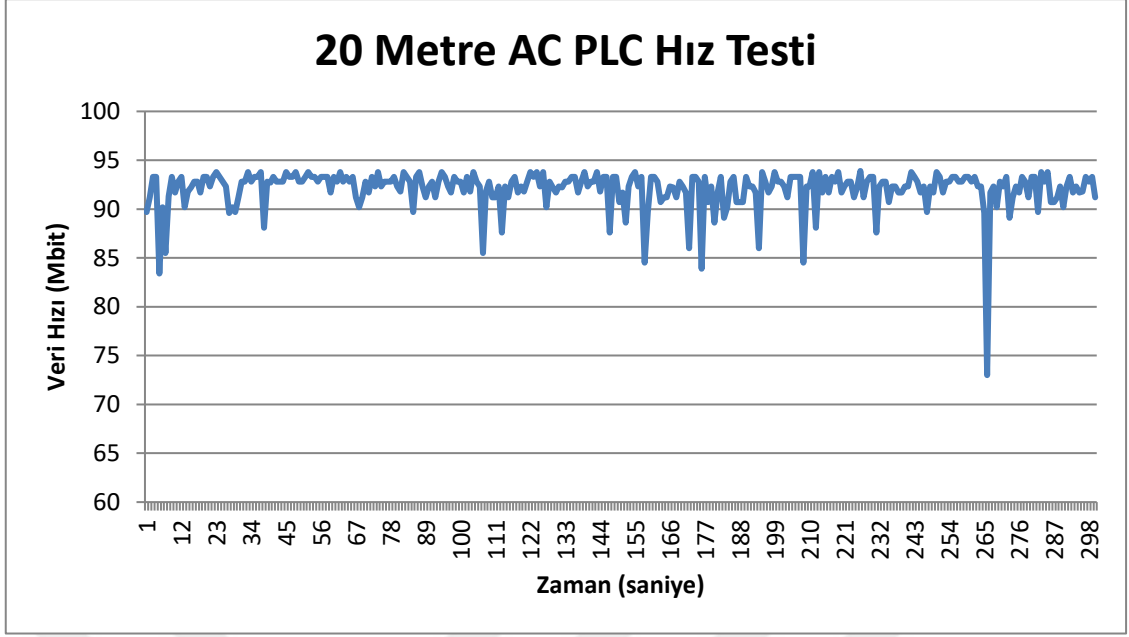
4.1.8. 20m AC PLC Bağlantılı Haberleşme

20 metre uzunluğundaki bir hatta AC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.15).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[51	0.00-300.04 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[51	0.00-300.04 sec	3.13 GBytes	89.5 Mbits/sec

Şekil 4.15 20m AC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.13 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 89.5 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.16'da zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte veri hızının 1m, 5m ve 10 metreye göre daha büyük dalgalanma olduğu görülmüştür. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 2.05 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.16 20m AC PLC Hız Testi Grafiği

4.1.9. 1m AC PLC Bağlantılı ve Gürültü Kaynağı İlaveli Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta AC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Öncekilerden farklı olarak bu test kapsamında hat arasına saç kurutma makinesi ve su ısıtıcı eklenmiştir. İlk olarak 1700 W'lık bir su ısıtıcısı ile test yapılmıştır. Daha sonra 2200 W'lık bir saç kurutma makinesi ile aynı sistem test edilmiştir. Test sonuçları sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.03 sec	2.96 GBytes	84.8 Mbits/sec

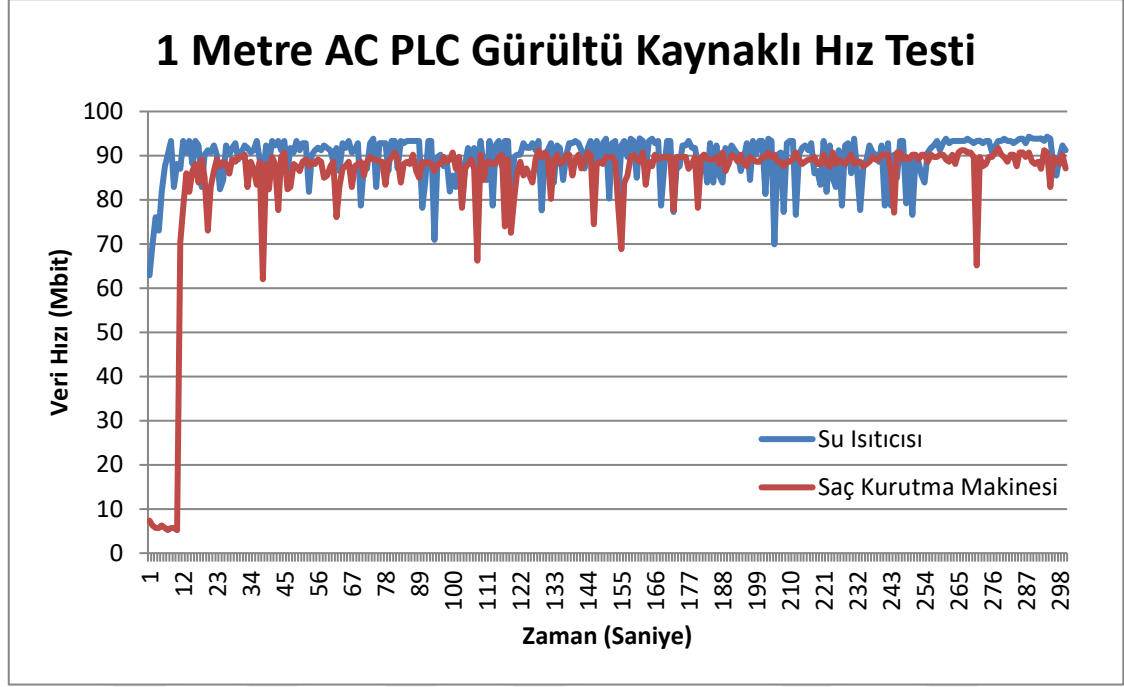
Şekil 4.17 1m AC PLC ve Su Isıtıcı İlaveli Hız Testi Sonucu

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.03 sec	2.86 GBytes	82.0 Mbits/sec

Şekil 4.18 1m AC PLC ve Saç Kurutma Makinesi İlaveli Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca AC hat arasına ilk olarak su ısıtıcısı eklendiğinde 2.96 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 84.8 Mbit/s olduğu görülmüştür. İkinci test için eklenen saç kurutma makinesi ile ise 2.86 GB veri aktarıldığı

ve aktarım hızının ortalama 82.0 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.19’da zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre gürültü kaynaklarının veri hızında dalgalanmaları arttırdığı ve daha fazla gürültü üreten saç kurutma makinesini bağlı olduğu ortamda veri hızının daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19 1 Metre Gürültü Kaynaklı AC PLC Hız Testi Grafiği

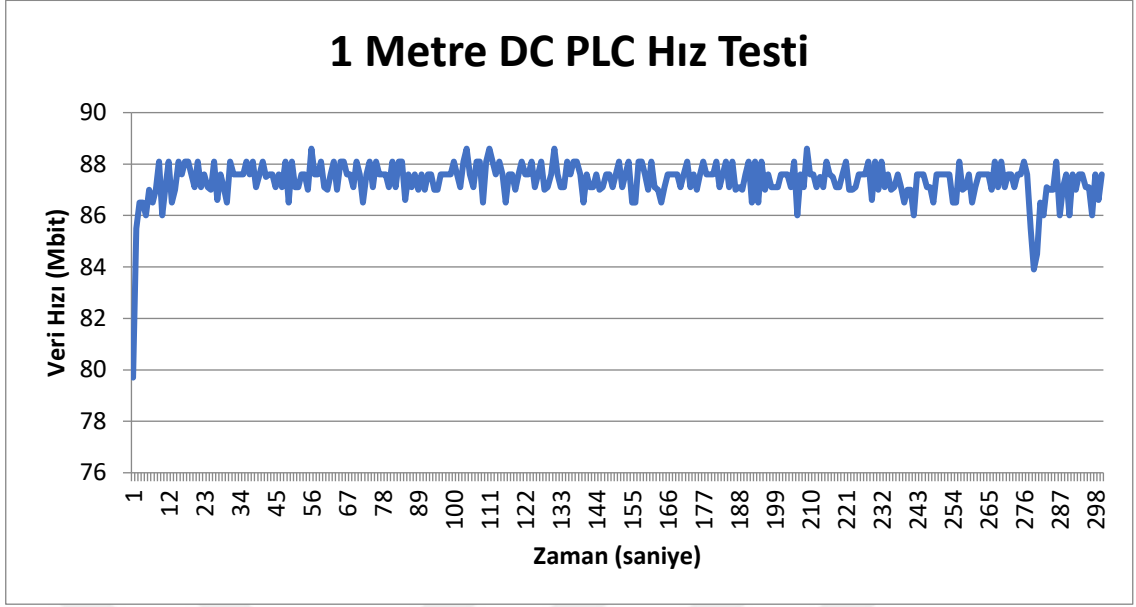
4.1.10. 1m DC PLC Bağlantılı Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta DC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.20).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.02 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.02 sec	3.26 GBytes	87.4 Mbits/sec

Şekil 4.20 1m DC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.26 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 87.4 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.21’de zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 0.76 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21 1m DC PLC Hız Testi Grafiği

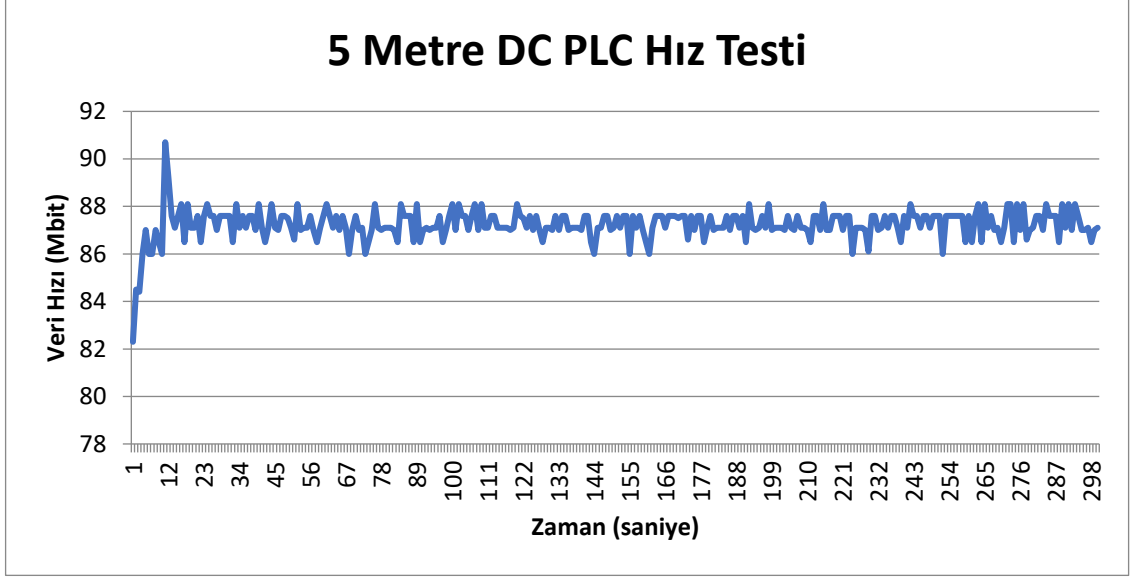
4.1.11. 5m DC PLC Bağlantılı Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta DC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.22).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.03 sec	3.19 GBytes	87.2 Mbits/sec

Şekil 4.22 5m DC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.19 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 87.2 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.23'te zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 0.65 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.23 5m DC PLC Hız Testi Grafiği

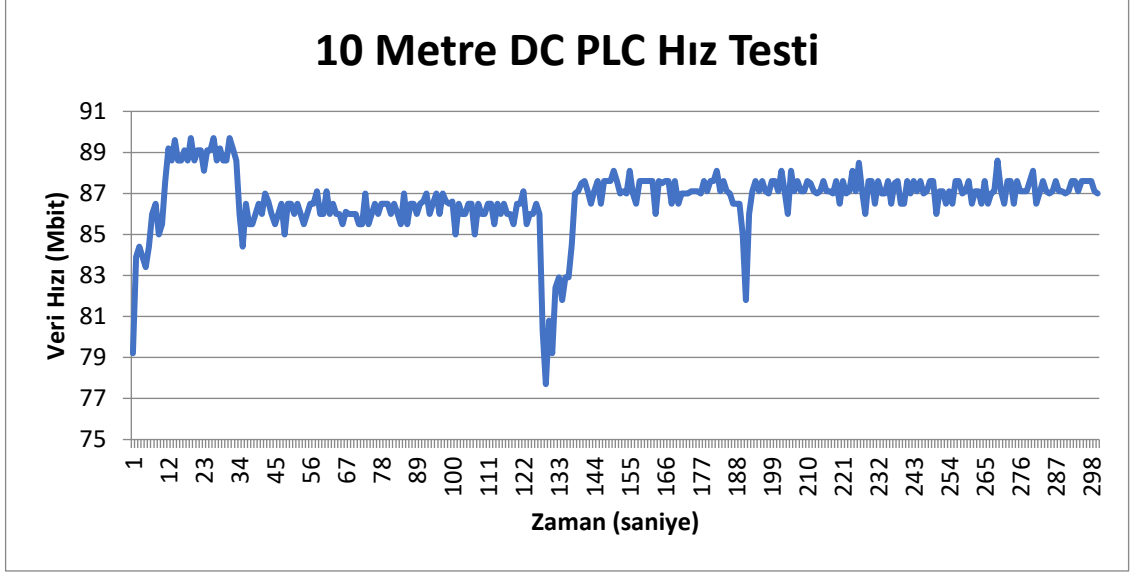
4.1.12. 10m DC PLC Bağlantılı Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta DC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.24).

ID	Interval	Transfer	Bandwidth
51	0.00-300.02 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
51	0.00-300.02 sec	3.17 GBytes	86.7 Mbits/sec

Şekil 4.24 10m DC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.17 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 86.7 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.25’de zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 1.50 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.25 10m DC PLC Hız Testi Grafiği

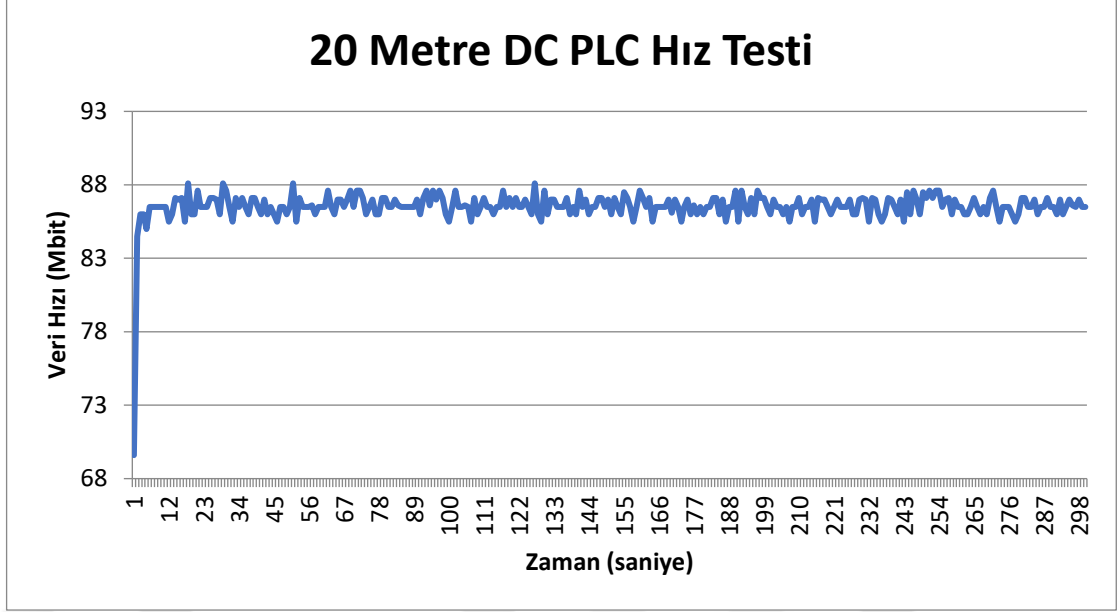
4.1.13. 20m DC PLC Bağlantılı Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta DC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Bu test kapsamında 5 dakika boyunca Iperf yazılımı ile test amaçlı veriler gönderilmiştir (Şekil 4.26).

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.01 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.01 sec	3.16 GBytes	86.5 Mbits/sec

Şekil 4.26 20m DC PLC Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca alıcı bilgisayara 3.16 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 86.5 Mbit/s olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.27’de zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerin standart sapması 1.14 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.27 20m DC PLC Hız Testi Grafiği

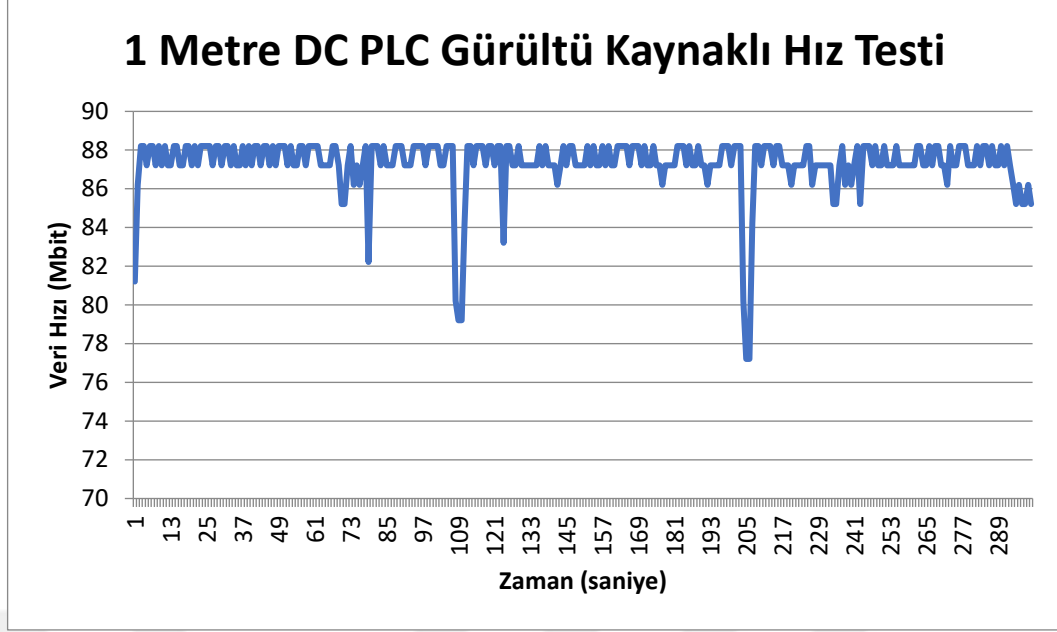
4.1.14. 1m DC PLC Bağlantılı ve Gürültü Kaynağı İlaveli Haberleşme

1 metre uzunluğundaki bir hatta DC PLC cihazları ile iki sistem birbirine bağlanarak haberleşmeleri sağlanmıştır. Öncekilerden farklı olarak bu test kapsamında hat arasına 12V/5A'lık bir DC motor ile aynı sistem test edilmiştir. Test sonuçları Şekil 4.28'de verilmiştir.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[5]	0.00-300.03 sec	0.00 Bytes	0.00 bits/sec
[5]	0.00-300.03 sec	3.23 GBytes	87.3 Mbits/sec

Şekil 4.28 1m AC PLC ve Su Isıtıcı İlaveli Hız Testi Sonucu

Yapılan test sonucunda 5 dakika boyunca DC hat arasına DC motor eklendiğinde 3.23 GB veri aktarıldığı ve aktarım hızının ortalama 87.3 Mbit/s olduğu görülmüştür. Şekil 4.29'da zamana göre aktarım hızının değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre gürültü kaynaklarının veri hızında dalgalanmaları arttırdığı görülmüştür.



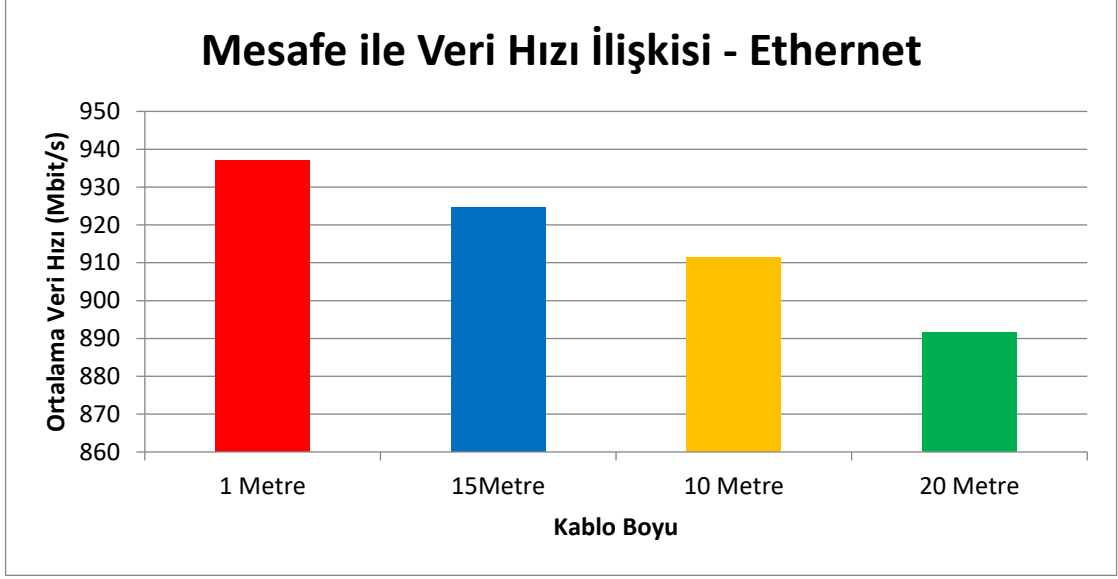
Şekil 4.29 1 Metre Gürültü Kaynaklı DC PLC Hız Testi Grafiği

4.2. Veri Hızı Testi Sonuçları

Bu test sonuçlarında PLC ile aktarılan veri hızlarının normal ethernet kablo ile yapılan aktarımlara kıyasla ciddi derecede düştüğü gözlemlenmiştir. Kullanılan PLC cihazlarının hız limitlerinin haberleşme hızlarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Test için kullanılan TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 kodlu PLC cihazının limit değeri 600 Mbit/s ve WisPLC Pro cihazının hız limiti 500 Mbit/s olarak bildirilmiş olsa da yapılan testlerde yakalanan en yüksek hızlar DC hat için yaklaşık 91 Mbit/s, AC hat için yaklaşık 97 Mbit/s değerlerindedir.

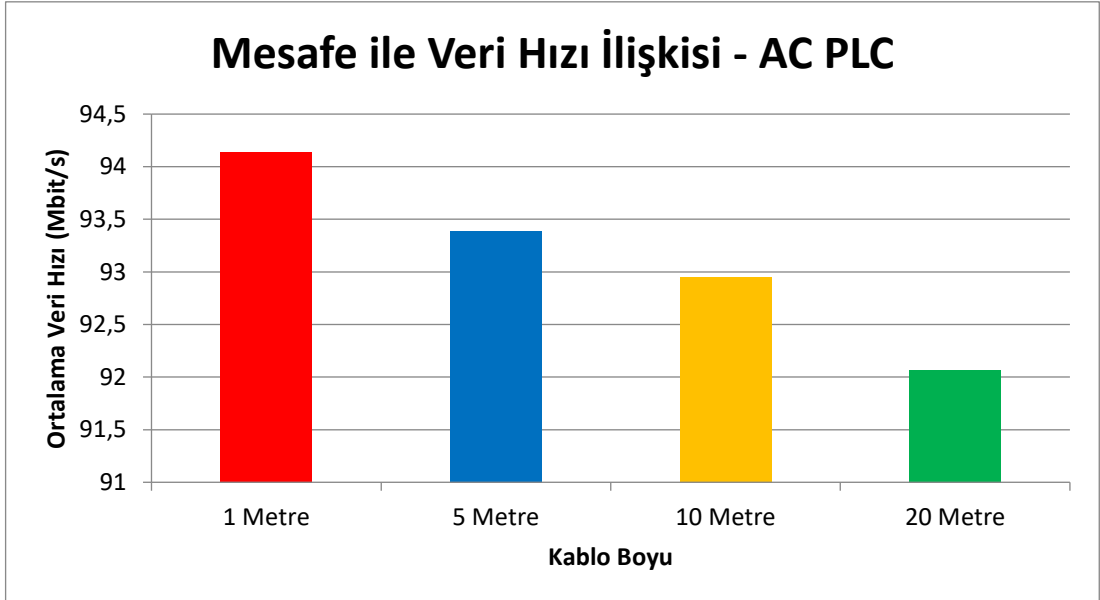
Test sonuçları incelendiğinde hem ethernet hem de PLC ile yapılan aktarımlarda veri hızının mesafe ile bir ters oran ilişkisine sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi haberleşme mesafesi arttıkça iletişim ortamındaki gürültü ve bozulmaların artmasıdır.

Şekil 4.30'da ethernet ile aktarılan veri hızının kablo boyu ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Kablo boyu artışı ile veri hızının düşüşü belirgin bir şekilde görülmektedir. Veri hızı ile kablo boyunun korelasyonu ise -0.994 olarak bulunmuştur.



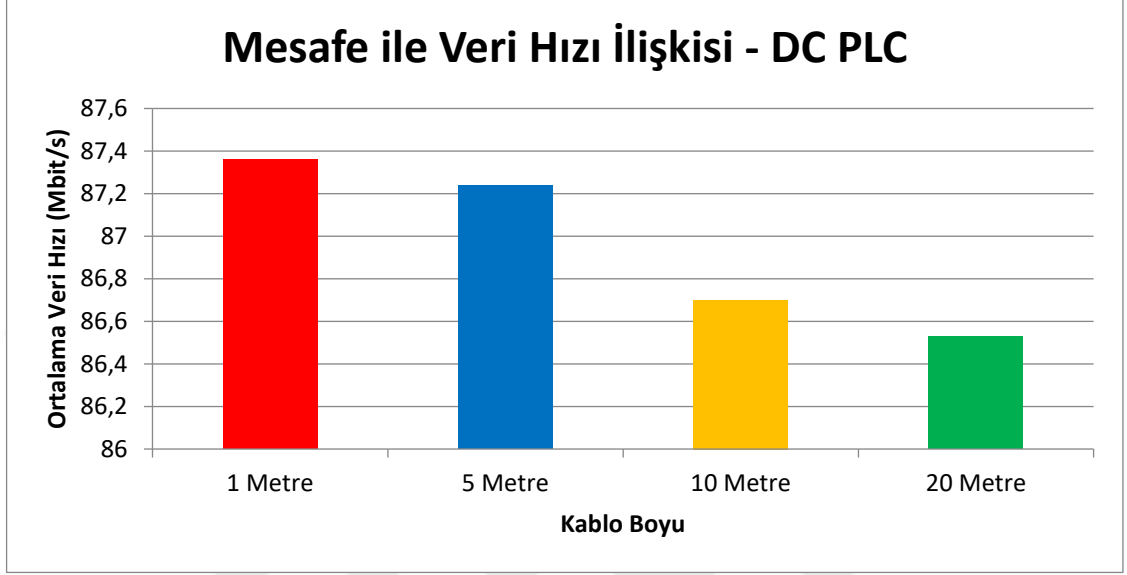
Şekil 4.30 Veri Hızının Uzaklık ile İlişkisi (Ethernet)

Aynı şekilde AC PLC ile aktarılan verinin güç hattı mesafesi ile olan ilişkisi Şekil 4.31’de verilmektedir. Güç hattı üzerinden iletilen veri hızının düşüş oranının kablolu Ethernet haberleşmesine kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Ancak güç hattı mesafesinin 20 metre olduğu testte veri hızında lineer olmayan ani düşüşler görülmektedir. Veri hızı ile iletim mesafesinin korelasyonu ise -0.984 olarak bulunmuştur.



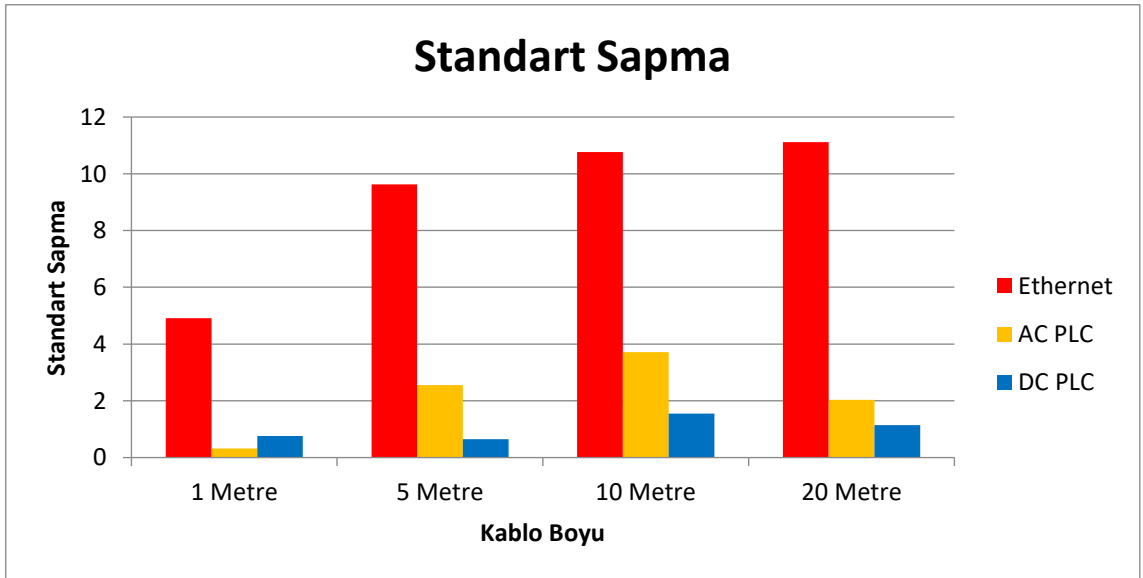
Şekil 4.31 Veri Hızının Uzaklık ile İlişkisi (AC PLC)

DC PLC ile aktarılan verinin güç hattı mesafesi ile olan ilişkisi Şekil 4.32’de verilmektedir. Güç hattı üzerinden iletilen veri hızının düşüş oranının kablolu ethernet haberleşmesine ve AC PLC haberleşmesine kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Veri hızı ile iletim mesafesinin korelasyonu ise -0.935 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.32 Veri Hızının Uzaklık ile İlişkisi (DC PLC)

Şekil 4.33’te ise kablo boylarına göre hesaplanan standart sapmaların karşılaştırması görülmektedir. Bu grafiğe göre her ne kadar veri hızları sadece ethernet bağlantılı haberleşmeye göre düşük olsa da elde edilen hızın AC ve DC PLC sistemlerinde oldukça istikrarlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.33 Standart Sapma Grafiği

4.3. Veri Hata Tespiti Testleri

Veri hata tespiti testinde Asus Tinker Board ile YKİ bilgisayarı arasında iletilen veri “39.9525” olarak enlem mesajına sırasıyla Parity, CRC ve Checksum hata tespit algoritmaları uygulanmış ve alıcı tarafında oluşabilecek bir hatayı tespit etme durumları incelenmiştir.

4.3.1. Parity

Şekil 4.34’te 32 bit olarak iletilen veri görülmektedir. Parity algoritması mesajdaki bit olarak “1” değerlerini sayar ve toplamın tek sayıda mı yoksa çift sayıda mı olduğunu hesaplar. Bu hesaplama sonucu iletilen mesaj için çift sayıda “1” değeri olduğu için mesaj sonuna parity olarak “0” eklenmiştir.

```
GPS Değeri: 39,95250000
Orjinal Veri : 00000000000001100001100010100101
Parity : 0
Parity Eklenmiş Veri : 000000000000011000011000101001010
```

Şekil 4.34 Gönderilen Mesaj - Parity

İlk iletilen mesajda herhangi bir bozulma yapılmadığı için alıcı tarafında tekrar hesaplanan parity değeri “0” olarak bulunmuş ve mesajın doğru olarak alındığı görülmüştür (Şekil 4.35).

```
Alınan Veri : 000000000000011000011000101001010
Alıcı Parity : 0
Mesaj Doğru
```

Şekil 4.35 Alınan 1. Mesaj - Parity

İletilen ikinci mesajda 4 adet bit değeri bozulmuş ve mesaj yanlış alınmıştır. Yanlış alınan bu mesaj için alıcı tarafında hesaplanan parity değeri “0” olarak bulunmuş ve bu değer gönderici parity değeri ile eşit olduğu için parity algoritması bu mesajın hatalı olduğunu tespit edememiştir (Şekil 4.36).

```
Alınan Veri : 000001100000000000011000101001010
Alıcı Parity : 0
Mesaj Doğru
```

Şekil 4.36 Alınan 2. Mesaj - Parity

İletilen üçüncü mesajda ise 1 adet bitin değeri bozulmuş ve alıcı tarafında mesaj hatalı olarak alınmıştır. Alıcı tarafında tekrar hesaplanan parity değeri “1” olarak bulunmuş ve bu değer “0” dan farklı olduğu için parity algoritması bu mesajın hatalı olduğunu tespit etmiştir (Şekil 4.37).

```
Alınan Veri : 0000000000000011000011000101001110
Alıcı Parity : 1
Mesaj Hatalı
```

Şekil 4.37 Alınan 3. Mesaj - Parity

4.3.2. CRC

Şekil 4.38’de 32 bit olarak iletilen veri görülmektedir. CRC algoritması için kullanılan polinom ise “ $x^3 + x^2 + 1$ ” polinomudur. Bu polinom katsayılarına göre gönderici ve alıcı tarafında mesaj anahtarı “1101” olarak bulunur. Gönderici tarafında hesaplanan CRC değeri “101” değeridir.

```
GPS Değeri: 39,95250000
Orjinal Veri : 000000000000001100001100010100101
Anahtar : 1101
CRC : 101
CRC Eklenmiş Veri : 000000000000001100001100010100101101
```

Şekil 4.38 Gönderilen Mesaj - CRC

İlk iletilen mesajda herhangi bir bozulma yapılmadığı için alıcı tarafında anahtar değeri ile tekrar hesaplanan CRC değeri “0” olarak bulunarak mesajın doğru olarak alındığı görülmektedir (Şekil 4.39).

```
Alınan Veri : 000000000000001100001100010100101101
Anahtar : 1101
Alıcı CRC : 000
Mesaj Doğru
Alınan Mesaj: 39,95250000
```

Şekil 4.39 Alınan 1. Mesaj - CRC

İletilen ikinci mesajda 4 adet bit değeri bozulmuş ve mesaj yanlış alınmıştır. Yanlış alınan bu mesaj için alıcı tarafında hesaplanan CRC değeri “011” olarak bulunmuş ve bu değer “0” dan farklı olduğu için CRC algoritması bu mesajın hatalı olduğunu tespit etmiştir (Şekil 4.40).


```

Alınan Veri : 00000110000000000001100010100101101
Anahtar : 1101
Alıcı CRC : 011
Mesaj Hatalı

```

Şekil 4.40 Alınan 2. Mesaj - CRC

İletilen üçüncü mesajda ise 1 adet bitin değeri bozulmuş ve alıcı tarafında mesaj hatalı olarak alınmıştır. Alıcı tarafında tekrar hesaplanan CRC değeri “111” olarak bulunmuş ve bu değer “0” dan farklı olduğu için CRC algoritması bu mesajın hatalı olduğunu tespit etmiştir (Şekil 4.41).

```

Alınan Veri : 00000000000001100001100010100101111
Anahtar : 1101
Alıcı CRC : 111
Mesaj Hatalı

```

Şekil 4.41 Alınan 3. Mesaj - CRC

4.3.3. Checksum

İletilecek olan veri, iletim tarafından binary olarak iletilmektedir. Şekil 4.42’de 32 bit olarak iletilen verinin hesaplanan checksum değeri ‘00111100’olarak görülmektedir.

```

GPS Değeri: 39,95250000
Binary Değer: 00000000000001100001100010100101
Gönderici Checksum: 00111100

```

Şekil 4.42 Gönderilen Mesaj - Checksum

İlk iletilen mesajda herhangi bir bozulma yapılmadığı için alıcı tarafında hesaplanan checksum değeri 0 bulunarak mesajın doğruluğu görülmektedir (Şekil 4.43).

```

Alıcı Checksum: 00000000
Alınan Binary Mesaj: 00000000000001100001100010100101
Alınan Mesaj: 39,95250000
Alıcı Checksum değeri 0.
Mesaj Doğru

```

Şekil 4.43 Alınan 1. Mesaj - Checksum

Şekil 4.44’te alınan mesaj hatalı olsa da checksum değerinin 0 çıkması nedeniyle sistemin mesajın hatalı olduğunu tespit edemediği görülmüştür. Bu hatanın sebebi

checksum algoritmasının mesajı parçalara bölüp bu parçaların toplanması ile bulunan değerin karşılaştırılmasıdır. Fakat gönderilen ve alınan mesajların bit değerlerinde değişiklik olsa da mesaj parçalarının toplam değeri eşit çıkmaktadır.

```

Alıcı Checksum: 00000000
Alınan Binary Mesaj: 00000110000000000001100010100101
Alınan Mesaj: 10,0669605
Alıcı Checksum değeri 0.
Mesaj Doğru

```

Şekil 4.44 Alınan 2. Mesaj - Checksum

Şekil 4.45'te alınan mesajdaki hata tespit edilebilmiştir. Alıcı tarafında hesaplanan checksum değeri 1 olarak bulunmuştur. Checksum değerinin hatalı olması nedeniyle algoritma mesajda hata olduğunu tespit etmiştir.

```

Alıcı Checksum: 01
Alınan Binary Mesaj: 00000000000001100001100010100111
Alınan Mesaj: 39,95270000
Alıcı Checksum değeri 0 değil!!!
Mesaj Hatalı

```

Şekil 4.45 Alınan 3. Mesaj - Checksum

4.4. Veri Hata Tespiti Testi Sonuçları

Tez çalışmasında incelenen Parity, CRC ve Checksum algoritmaları test sonuçları incelendiğinde, bu üç algoritma içerisinde hatayı en iyi tespit eden algoritmanın CRC algoritması olduğu görülmüştür. Parity algoritması sadece bitleri sayarak kontrol yaptığı için hata tespitinde yetersiz kalabilmektedir. Checksum algoritması ise parity algoritmasına kıyasla daha detaylı bir kontrol yapmasına rağmen, toplamını aldığı mesaj parçalarında değişiklik olup, toplamın değişmediği durumlarda hatayı tespit edememektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında İHA sistemlerinin havada kalma sürelerinin sınırlı olmasına bir çözüm önerisi olarak geliştirilen kablolu dron ve kablolu hava gemisi sistemleri incelenmiştir. Kablolu İHA sistemlerinin dünya üzerindeki kullanım örnekleri sunulmuş ve Türkiye’de bu alanda çalışma yapan firmalar aktarılmıştır. Türkiye’de son yıllarda İHA’lara yapılan yatırımların arttırılması sebebiyle firmaların bu alana yöneldiği görülmektedir. Askeri olarak da özellikle sınır bölgelerinde gözetleme amacıyla kablolu İHA sistemlerine talep artmaktadır. Bunun başlıca nedenleri kablolu İHA’ların sinyal karıştırıcı sistemlerin neden olacağı veri bozma, veri çalma ve sistem kontrolünün kaybedilmesi etkilerine karşın zafiyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca zırhlı araçlara entegre edilebilen bu sistemler, olası tehditlerin önceden fark edilmesini sağlayabilmektedir.

Çalışma içerisinde de incelendiği üzere kablolu bir dronun haberleşmesi için kullanılan veri yolunun hem zarar görebilmesini minimize etmek hem de kablo yükü ve maliyetinden kurtulmak için haberleşme işleminin ethernet yerine PLC teknolojisi kullanarak güç hattı üzerinden yapılması önerilmektedir. Güç hattı üzerinden haberleşme ile normal kablolu ethernet haberleşmesinin veri güvenliği ve veri iletim hızlarının kıyaslanabilmesi için Iperf yazılımı ile testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler 1m, 5m, 10m ve 20m uzunlukları için tekrarlanarak elde edilen veri hızları karşılaştırılmıştır. Bu test sonuçlarına göre kablolu bir dron sistemi için güç hattı üzerinden haberleşme ile daha etkin bir haberleşme ağı kurulabileceği ortaya koyulmuştur. Ek olarak güç hattı üzerinden haberleşilen bir ortamda saç kurutma makinesi ve su ısıtıcısı gibi gürültü oluşturabilecek sistemler de kullanılarak yapılan testte ise AC PLC cihazının gürültülü bir hatta nasıl tepki verdiği gözlemlenmiştir. DC PLC’de ise hatta bir DC motor eklenerek veri hızı test edilmiştir. Bu test adımlarından sonra veri haberleşmesinde kullanılan hata tespit algoritmaları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçlarında CRC algoritmasının alınan verilerdeki hata durumlarını daha doğru olarak tespit ettiği görülmüştür.

5.2 Öneriler

Kablolu bir dron sisteminde kullanılması planlanan PLC teknolojisinin normal kablolu ethernet haberleşmesine kıyasla daha kolay kullanımının olduğu görülmüştür.

Ancak daha yüksek irtifalar için yapılan çalışmalarda fiber optik haberleşme tercih edilmektedir. 1000m veya 1500m gibi irtifalara çıkan kablolu hava gemisi sistemleri fiber optik kablo kullanımına örnek olarak verilebilir. Bunun sebebi fiber optik kablo ile yapılan çalışmalarda veri hızının yüksek olması ve tether adı verilen kablo ile dış etkilere karşı dayanımının yüksek olmasıdır.



KAYNAKLAR

- AIRBUS, 2019, Zephyr İHA Sistemi [online], <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/uas-solutions/zephyr> [Ziyaret Tarihi: 18 Ağustos 2020].
- Airforce-Technology, 2020, Orion İHA Sistemi [online], <https://www.airforce-technology.com/features/featurethe-top-10-longest-range-unmanned-aerial-vehicles-uavs/> [Ziyaret Tarihi: 7 Eylül 2020].
- Akarte, V., Punse, N., and Dhanorkar, A., 2014, Power Line Communication Systems, *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering (IJIREEICE)*, vol. 2, issue 1, pp. 709-713, Jan. 2014, India.
- Alatabani, L.E. and Abdalla, A.G.E., 2015, FHSS, DSSS and Hybrid DS/FH Performance Evaluation for VSAT, *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 4, iss.9, pp. 58-62.
- Alsamhi, S.H. and fri., 2019, Tethered Balloon Technology for Green Communication in Smart Cities and Healthy Environment, *Fisrt International Conference of Intelligent Computing and Engineering (ICOICE)*, Dec. 2019, Yemen.
- Altinkaya, H., ve Orak, İ., 2011, Veri İletiminde Homeplug Uygulamaları, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Ekim 2011, Elazığ.
- ASELSAN, 2020, Karagöz Hava Gemisi Sistemi [online], <https://m.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/insansiz-hava-araclari/karagoz-genis-alan-gozetleme> [Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2020].
- ASUS, 2021, Asus Tinker Board [online], <https://www.asus.com/tr/Networking-IoT-Servers/AIoT-Industrial-Solutions/All-series/Tinker-Board/> [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2021].
- Azhan, S., Salim, N. and Binti, H., 2010, Remote Wireless System Using Amplitude Shift Keying Modulation, *National Space Agency Symposium*, Dec 2010, .
- Bakır, G., 2019, İnsansız Hava Araçlarının Savunma Sanayi Harcamasında Yeri Ve Önemi, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD)*, Cilt 6, Sayı 2, s. 127-134.
- Bal, G., ve Daldal, N, 2009, Implementation of a Call System with Power Line Communication, *International Conference on Application of Information and Communication Technologies*, Oct. 2009, Baku.
- Bal, G., ve Daldal, N, 2014, Enerji Hatları Üzerinden Mesaj Gönderme Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Ankara, Cilt 29, No 2, s. 415-424.

- Balasubramanian P., S. C. Sati, Amithab Pal, Rajeev Gautam, 2014, A Novel Method for Improving Aerostat Endurance Using Microprocessor Controlled Feedtube, *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, vol. 2, Issue-3.
- Bayram, R., 2010, Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kütahya, Türkiye.
- Chung, Y.M., 2020, Performance Comparisons of Broadband Power Line Communication Technologies, *Applied Sciences*, vol. 10, no. 9: 3306.
- CNIM, 2020, CNIM Kablolu Hava Gemisi Sistemleri [online], <https://cnim.com/en/businesses/defense-security-and-digital-intelligence/tethered-aerostats-airships> [Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Decotignie, J.D., 2005, Ethernet-Based Real-Time and Industrial Communications, *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1102– 1117.
- Denis, A., Trahay, F. and Ishikawa, Y., 2012, High Performance Checksum Computation for Fault-Tolerant MPI over Infiniband, pp. 183-192, doi: 10.1007/978-3-642-33518-1_23.
- Deschênes, F., and Nahon, M., 2005, Design Improvements for a Multi-Tethered Aerostat System, *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, paper 6126, Aug. 2005, USA, doi: 10.2514/6.2005-6126.
- Elistair, 2022 Kablolu Dron Sistemi [online], <https://elistair.com/safe-t-tethered-drone-station/> [Ziyaret Tarihi: 25 Ocak 2022].
- ESEN SİSTEM, 2021, Kablolu Dron Sistemi [online], <https://www.esensi.com.tr/products/gag/> [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2021].
- Flight Global, 2020, Aurora İHA Faydalı Yük Kapasitesi [online], <https://www.flightglobal.com/aurora-uav-lifts-magic-technology-deal/95847.article> [Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2020].
- Garcia, H.A. and Alarcon, V., 2009, A Power-Line Communication Modem Based on OFDM, *International Conference on Electrical, Communications, and Computers*, pp. 208-213, Feb. 2009, Mexico, doi: 10.1109/CONIELECOMP.2009.30.
- Güneş. M., 2004, Enerji Hatları Üzerinden Haberleşme (Power Line Communication): Mevcut Düzenlemelerin Değerlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Öneriler, Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.
- IBM, 2022, Parity Bit [online], <https://www.ibm.com/docs/en/aix/7.1?topic=parameters-parity-bits> [Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2022].

- Javadi, S. and Pourang, P., 2008, Improving Low Voltage Distribution Line Carrier Communication Systems for Transferring Data by Applying Efficient Modulation Techniques, *International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control and Signal Processing*, pp. 289-296, Dec. 2008, Spain.
- Kabalci, Y., Sorgucu, U. and Develi, I., 2010, Investigation of Using Power Lines as a Communication Environment, *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO)*, pp. 661-665, Dec. 2010, Turkey.
- Kahveci, M., Can, N., 2017, İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu, *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, Konya, Cilt 5, Sayı 4, s. 511-535.
- Karaağaçi C., 2016, Geleceğin Hava Kuvvetleri: 2016 – 2050 Sektör Değerlendirme Raporu, *STM Thinktech*, Ankara.
- Ketenci, S., 2011, *OSI Referans Modeli Ağ Katmanı (Network Layer)*, *Bilgisayar Ağları Yapısı ve Uygulamaları Dersi Notları*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kirrmann, H. and Zuber, P., 2001, The IEC/EEE Train Communication Network, *IEEE Micro*, vol. 21, no. 2, pp. 81–92.
- Klimenko, S.V., Yakovlev, V.V. and Sokolov B.V., 2018, The Study of Implementations of CRCs Algorithms, *First Workshop Computer Science and Engineering in the framework of the 5th International Scientific-Methodical Conference*, vol. 2341, paper 5, pp. 27-32, Nov. 2018, Russia.
- Kumar, M., Tripathi, S., Vidyarthi, A., Mohanty, S. and Ravi, G., 2011, Various PSK Modulation Schemes for Wireless Communication, pp. 545-549. 10.1109/ICCCT.2011.6075129.
- Li, Y., Cui, W., Li, D. and Zhang, R., 2011, Research Based on OSI Model, *IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, 2011, pp. 554–557, May 2011, China.
- Mannan, A., Saxena, D.K., and Banday, M., 2014, A Study on Power Line Communication, *International Journal of Scientific and Research Publications*, India, vol. 4, ISSN 2250-3153.
- Meng, J., and Ding, X., 2007, A Comparison Study of Three Power-Line Communication Techniques in Low Signal-to-Noise Ratio Conditions, *International Symposium on Power Line Communications*, pp. 407-412, Mar. 2007, Italy.
- Miajee, R.K., 2018, Network layer: TCP/IP Model, *American International Journal of Sciences and Engineering Research*, vol. 1, no. 1, pp. 16-17.
- Milanović, A., Srbljić, S. and Sruk, V., 2000, Performance of UDP and TCP Communication in Personal Computers, *10th Electrotechnical Conference MELECON 2000*, May 2000, Cyprus.

- Neibauer, A., 2001, *İşletmeler İçin Çözümler - Bilgisayar Ağları*, Arkadaş Yayınları.
- Nigam, A., Rajeshwarlaldua, P., 2012, Improved FHSS Using QAM/FSK Modulation Techniques, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 1, issue 7.
- Nith, R. and Rekimoto, J., 2019, Falconer: A Tethered Aerial Companion for Enhancing Personal Space, *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, pp 1550-1553, Mar. 2019, Japan.
- Ofoegbu, C., Njoku, D.O., Okolie, S.A., Onukwugha, C.G., Nwokonkwo, O.C. and Jibiri, J.E., 2022, Bit Error Rate Analysis of Digital Modulation Techniques in Wireless Communication System, *Iconic Reserch and Engineering Journals*, vol. 5, pp. 118-124.
- Oktuğ, S., 2018, *Bilgisayar Haberleşmesi Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği.
- Otonom Teknoloji, 2020, Otonom Teknoloji Doruk Hava Gemisi Sistemi [online], <https://www.otonomteknoloji.com/doruk/> [Ziyaret Tarihi: 2 Kasım 2020].
- Özdemir, S., 2014, *Veri İletişimi Ders Notları*, Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği.
- Özdoğan, E., ve Erdem, O.A., 2020, Nesnelerin İnterneti için Hibrit Uygulama Katmanı Protokol Tasarımı, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 285-304.
- Pant, R., Komerath, N., and Kar, A., 2011, Application of Lighter-Than-Air Platforms for Power Beaming, Generation and Communications, *International Symposium on Electronic System Design*, Dec. 2011, India, doi: 0.1109/ISED.2011.51.
- Papaioannou, A., and Pavlidou, F.N., 2009, Evaluation of Power Line Communication Equipment in Home Networks, *IEEE Systems Journal*, vol.3, no.3, pp.288-294.
- Purroy, A., Sanz, A., Nicolas, J.I.G., and Urriza, I., 2007, Research Areas for Efficient Power Line Communication Modems, *University of Zaragoza, Department of Electronics and Communications Engineering*, Spain.
- Rak Wireless, 2022, WisPLC Pro DC Güç Soketi [online], <https://store.rakwireless.com/products/wisplc-pro-development-board-plc-module-power-line-twisted-pair-ethernet-interface-500mbps-support-network-adapter> [Ziyaret Tarihi: 23 Ocak 2022].
- RosAerosystems, 2020, RosAerosystems Aerostat Sistemleri [online], <http://rosaerosystems.com/aero/obj204> [Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2020].

- Sharma, N., Sehgal, R., Pant, R.S., and Sehgal, R., 2014, Design Fabrication and Deployment of a Tethered Aerostat System for Aerial Surveillance, *National Conference on Advances in Aerial/Road Vehicle and its Applications*, pp 79-84, July 2014, India.
- Singalar, S. and Banakar, R.M., 2018, Performance Analysis of IPv4 to IPv6 Transition Mechanisms, *Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBE)*, Aug. 2018, India, doi: 10.1109/ICCUBE.2018.8697539.
- Svilainis, L., Dumbrava, V., Chaziachmetovas, A., and Aleksandrovas, A., 2013, Application of Spread Spectrum Signals in Ultrasonic Imaging, *Journal of Applied Electromagnetism*, vol.15, pp. 49-64.
- Taya, N., Hervé, A.N., Marcelin, V., Yonwa and Senoua, C., 2020, Comparative Study of Basic Digital Modulation Techniques: ASK, FSK and PSK, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, pp. 279-291.
- Tinker Board Forum, 2017, Iperf Test Ekranı Çıktısı [online], <https://tinkerboarding.co.uk/forum/post-597.html> [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2021].
- TP-Link, 2020, TL-PA4010P KIT AV600 AC Güç Soketli Powerline Adaptörleri [online], <https://www.tp-link.com/tr/home-networking/powerline/tl-pa4010p-kit/> [Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2020].
- TÜRKSAT, 2019, Haberleşme Amaçlı Balon Sistemi [online], <https://uydu.turksat.com.tr/tr/ar-ge/hava-platformu> [Ziyaret Tarihi: 2 Aralık 2019].
- TUSAŞ, 2020, TUSAŞ Aksungur İHA Sistemi [online], <https://www.tusas.com/urunler/ih/yukse-faydali-yuk-kapasitesi/aksungur> [Ziyaret Tarihi: 3 Mart 2020].
- Tutkun, H.K., 2016, *Network Sistemleri: Sistem Yöneticisinin El Kitabı*, Seçkin Yayınları, 3. Baskı.
- Tutorials Point, 2022, Phase Shift Keying [online], https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_phase_shift_keying.htm [Ziyaret Tarihi: 18 Şubat 2022].
- Umutium, 2021, Iperf Kullanım Örnekleri [online], 18. <https://umutium.com/blog/bilgisayar/iperf-windows-kullanimi/> [Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2021].
- Ünsal, D.B., ve Yalçınöz, T., 2015, Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grid, *International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE)*, vol. 7, no. 3, pp. 168-178.
- Vinck, A.J.H., Hasbi, A., Ferreira, H.C. and Swart, T.G., 2004, on Coded M-ary Frequency Shift Keying, *International Symposium on Power-line Communications*, pp. 175–179, Jan. 2004, Spain.

- Weibel, H. and Béchaz, D., 2004, Implementation and Performance of Time Stamping Techniques, *Proceedings of the 2004 Conference on IEEE 1588*, Oc. 2004, USA.
- Wendi, X., Ling, Y. and Enliang, W., 2019, Application Research of Ethernet Communication System Based on UIP Protocol Stack, *Journal of Physics: Conference Series*, 1237(4):042042, Jun. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1237/4/042042
- Wikipedia, 2021, Wikipedia Kablolu İHA Sistemleri [online], https://en.wikipedia.org/wiki/Tethered_Aerostat_Radar_System [Ziyaret Tarihi: 29 Ağustos 2021].
- Xiao, Z., 2017, Application of Modbus / TCP Protocol in Smart Home, *2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2017)*, vol. 70, pp. 697-700, Jan. 2017, China.
- Yiğit, E., Yazar, I. ve Karakoç, T.H., 2018, İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın Kapsamlı Sınıflandırılması ve Gelecek Perspektifi, *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 13-19.
- Yılmaz, N., ve Gencer, C.T., 2018, Where to Locate Tethered Aerostat for an Efficient Surveillance System: A Case Study on Southern Turkey, *Gazi University Journal of Science*, vol. 31, no. 1, pp. 189-200.
- Zaiping, C., Xia, S., Chao, J., and Jianyum, N., 2010, Implementation of Embedded System for Ethernet/IP Protocol, *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp.2409-2412, Oct. 2010, Korea.

EKLER

EK-1 Iperf 3 Kullanıcı Dokümanı

GENERAL OPTIONS	
Command line option	Description
-p, --port <i>n</i>	The server port for the server to listen on and the client to connect to. This should be the same in both client and server. Default is 5201.
--cport <i>n</i>	Option to specify the client-side port. (new in iPerf 3.1)
-f, --format <i>[kmKM]</i>	A letter specifying the format to print bandwidth numbers in. Supported formats are 'k' = Kbits/sec 'K' = KBytes/sec 'm' = Mbits/sec 'M' = MBytes/sec The adaptive formats choose between kilo- and mega- as appropriate.
-i, --interval <i>n</i>	Sets the interval time in seconds between periodic bandwidth, jitter, and loss reports. If non-zero, a report is made every <i>interval</i> seconds of the bandwidth since the last report. If zero, no periodic reports are printed. Default is zero.
-F, --file name	client-side: read from the file and write to the network, instead of using random data; server-side: read from the network and write to the file, instead of throwing the data away.
-A, --affinity <i>n/n,m-F</i>	Set the CPU affinity, if possible (Linux and FreeBSD only). On both the client and server you can set the local affinity by using the <i>n</i> form of this argument (where <i>n</i> is a CPU number). In addition, on the client side you can override the server's affinity for just that one test, using the <i>n,m</i> form of argument. Note that when using this feature, a process will only be bound to a single CPU (as opposed to a set containing potentially multiple CPUs).
-B, --bind <i>host</i>	Bind to <i>host</i> , one of this machine's addresses. For the client this sets the outbound interface. For a server this sets the incoming interface. This is only useful on multihomed hosts, which have multiple network interfaces.
-V, --verbose	give more detailed output
-J, --json	output in JSON format
--logfile file	send output to a log file. (new in iPerf 3.1)
--d, --debug	emit debugging output. Primarily (perhaps exclusively) of use to developers.
-v, --version	Show version information and quit.
-h, --help	Show a help synopsis and quit.

SERVER SPECIFIC OPTIONS	
Command line option	Description
-s, --server	Run iPerf in server mode. (This will only allow one iperf connection at a time)
-D, --daemon	Run the server in background as a daemon.
-l, --pidfile <i>file</i>	write a file with the process ID, most useful when running as a daemon. (new in iPerf 3.1)

CLIENT SPECIFIC OPTIONS	
Command line option	Description
-c, --client <i>host</i>	Run iPerf in client mode, connecting to an iPerf server running on <i>host</i> .
--sctp	Use SCTP rather than TCP (Linux, FreeBSD and Solaris). (new in iPerf 3.1)
-u, --udp	Use UDP rather than TCP. See also the -b option.
-b, --bandwidth <i>n[KM]</i>	Set target bandwidth to n bits/sec (default 1 Mbit/sec for UDP, unlimited for TCP). If there are multiple streams (-P flag), the bandwidth limit is applied separately to each stream. You can also add a '/' and a number to the bandwidth specifier. This is called "burst mode". It will send the given number of packets without pausing, even if that temporarily exceeds the specified bandwidth limit.
-t, --time <i>n</i>	The time in seconds to transmit for. iPerf normally works by repeatedly sending an array of <i>len</i> bytes for <i>time</i> seconds. Default is 10 seconds. See also the -l , -k and -n options.
-n, --num <i>n[KM]</i>	The number of buffers to transmit. Normally, iPerf sends for 10 seconds. The -n option overrides this and sends an array of <i>len</i> bytes <i>num</i> times, no matter how long that takes. See also the -l , -k and -t options.
-k, --blockcount <i>n[KM]</i>	The number of blocks (packets) to transmit. (instead of -t or -n) See also the -t , -l and -n options.
-l, --length <i>n[KM]</i>	The length of buffers to read or write. iPerf works by writing an array of <i>len</i> bytes a number of times. Default is 128 KB for TCP, 8 KB for UDP. See also the -n , -k and -t options.
-P, --parallel <i>n</i>	The number of simultaneous connections to make to the server. Default is 1.
-R, --reverse	Run in reverse mode (server sends, client receives).
-w, --window <i>n[KM]</i>	Sets the socket buffer sizes to the specified value. For TCP, this sets the TCP window size. (this gets sent to the server and used on that side too)
-M, --set-mss <i>n</i>	Attempt to set the TCP maximum segment size (MSS). The MSS is usually the MTU - 40 bytes for the TCP/IP header. For ethernet, the MSS is 1460 bytes (1500 byte MTU).
-N, --no-delay	Set the TCP no delay option, disabling Nagle's algorithm. Normally this is only disabled for interactive applications like telnet.
-4, --version4	only use IPv4.

-6, --version4	only use IPv6.
-S, --tos <i>n</i>	The type-of-service for outgoing packets. (Many routers ignore the TOS field.) You may specify the value in hex with a '0x' prefix, in octal with a '0' prefix, or in decimal. For example, '0x10'hex = '020'octal = '16'decimal. The TOS numbers specified in RFC 1349 are: <pre> IPTOS_LOWDELAY minimize delay 0x10 IPTOS_THROUGHPUT maximize throughput 0x08 IPTOS_RELIABILITY maximize reliability 0x04 IPTOS_LOWCOST minimize cost 0x02 </pre>
-L, --flowlabel <i>n</i>	Set the IPv6 flow label (currently only supported on Linux).
-Z, --zerocopy	Use a "zero copy" method of sending data, such as sendfile(2), instead of the usual write(2). This uses much less CPU.
-O, --omit <i>n</i>	Omit the first <i>n</i> seconds of the test, to skip past the TCP <u>TCP slowstart</u> period.
-T, --title <i>str</i>	Prefix every output line with this string.
-C, --linux-congestion <i>algo</i>	Set the <u>congestion control algorithm</u> (Linux only for iPerf 3.0, Linux and FreeBSD for iPerf 3.1).

EK-2 TP-Link TL-PA4010P KIT AV600 AC Güç Soketi Özellikleri

DONANIM ÖZELLİKLERİ	
Priz Tipi	EU, UK, FR
Standartlar ve Protokoller	HomePlug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u
Arabirim	10/100Mbps Ethernet Portu, Elektrik Prizi
Buton	Pair Düğmesi
Güç Tüketimi	Maximum: 5.00W (220V/50Hz)
	Typical: 4.60W (220V/50Hz)
	Standby: 0.72W (220V/50Hz)
LED	Güç, Elektrik hattı, Ethernet

YAZILIM ÖZELLİKLERİ	
Modülasyon Teknolojisi	OFDM
Şifreleme	128-bit AES Encryption