

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FÜZE ÜSTÜ TELEMETRE VERİLERİ İLETİM MENZİLİNİN  
SİKİŐTİRMA YÖNTEMLERİ İLE ARTTIRILMASI**

**ASLI SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2017**



**FÜZE ÜSTÜ TELEMETRE VERİLERİ İLETİM MENZİLİNİN  
SIKIŞTIRMA YÖNTEMLERİ İLE ARTTIRILMASI**

**INCREASING TRANSMISSION RANGE OF MISSILE  
TELEMETRY DATA WITH COMPRESSION TECHNIQUES**

**ASLI SAĞLAM**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2017

“Füze Üstü Telemetre Verileri İletim Menzilinın Sıkıştırma Yöntemleri ile Arttırılması” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 28/ 12/ 2016 tarihinde, ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Sinan GEZİCİ

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Derya YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

**ONAY**

.../ 01 / 2017

Prof. Dr. Emin AKATA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 06 /01 /2017

Öğrencinin Adı, Soyadı : Aslı SAĞLAM

Öğrencinin Numarası : 21020008

Anabilim Dalı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Programı : Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Adı, Soyadı : Derya YILMAZ

Tez Başlığı : Füze Üstü Telemetre Verileri İletim Menzilinın Sıkıştırma Yöntemleri ile Arttırılması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 66 sayfalık kısmına ilişkin 06 /01 /2017 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esasları"nı inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

... /01 / 2017

Öğrenci Danışmanı Unvan, Ad, Soyad,

## TEŞEKKÜR

*Her zaman çok seveceğim ve özleyeceğim, gülümsediğinde dünyayı güzelleştiren canım babam İbrahim KARASAR'a bana tüm yardımları, desteği ve sevgisi için teşekkür ederim.*

Tez çalışmalarımı hem teknik konulardaki bilgisiyle hem verdiği moral ile hep destekleyen, yardım eden mükemmel eşim S. Burak SAĞLAM'a,

Azmi ve çalışkanlığıyla bana hep örnek olan annem Nilgün KARASAR'a ve kardeşim Alper KARASAR'a,

Danışmanım ve bu çalışma için motive olmamı sağlayan, inancımı tazeleyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Derya YILMAZ'a tez çalışması boyunca yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

## ÖZ

# FÜZE ÜSTÜ TELEMETRE VERİLERİ İLETİM MENZİLİNİN SIKIŞTIRMA YÖNTEMLERİ İLE ARTTIRILMASI

Aslı SAĞLAM

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Telemetre, kelime anlamı olarak 'uzaktan ölçüm alma' anlamına gelmektedir. Telemetre kavramı, bir sistemin uzaktan kontrol edilmesi ya da izlenmesi amacıyla; sisteme ait çeşitli verilerin anlık olarak elde edilmesini ve bir merkeze iletilerek kaydedilmesini sağlayan uygulamaları kapsar. Telemetre günümüzde; elektrik, su, gaz üretim tesislerinde; haberleşme sistemlerinde; biyomedikal sistemlerde ve bilimsel çalışmalar için dünya üzerinde ve uzayda kurulan sistemlerden ölçüm alınmasında vb. birçok alanda kullanılmakta ve füzeler, uçaklar, tüm hareketli sistemler için; yapılan testlerdeki veri toplama işlemini tanımlamaktadır. Telemetre verileri; füzenin uçuşlu testleri esnasında RF bağlantı ile yer istasyonuna aktarılan sensör verilerini, Küresel Konumlama Sistemi (*Global Positioning System, GPS*) verilerini ve çeşitli güdüm verilerini içeren veri katarlarıdır.

Telemetre testleri, bir aracın/sistemin kalifikasyonu öncesinde/sonrasında gerçekleştirilen ve tasarım çalışmalarını doğru yönlendirmek amacıyla aracın/sistemin performansı ile ilgili verilerin toplandığı testlerdir. Türkiye'de devlet ve ordunun gereksinimlerine göre farklı türlerde füzeler için tasarım çalışmaları başarıyla sürdürülmekte olup belirli atış alanlarında bu füzelerin telemetre testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testlerde elde edilen veriler, tasarım çalışmalarının denetlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Telemetre verilerinin tasarım sürecindeki etkisi göz önüne alındığında, testlerin mümkün olduğunca fazla veri toplanarak gerçekleştirilmesi önemlidir. Bu bağlamda telemetre sisteminin, daha çok verinin daha az maliyetle aktarımını sağlayacak biçimde geliştirilmesi bir gereksinimdir. Telemetre verilerinin sıkıştırılarak aktarılması bu

gereksinimin karşılanmasında etkili olacaktır. Literatürde yalnızca aktarılan verilerin saklanması sırasında sıkıştırma algoritmalarına başvurulduğu anlaşılmaktadır. Bu durum; yüksek menzile sahip füzelerde, bant genişliği yüksek olan verilerin alınmasına engel teşkil etmekte ve iyileştirilmesi gereken bir haberleşme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, veri boyutundaki azalmanın menzil üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla; teletre verileri sıkıştırılarak veri boyutu azaltılmakta ve aktarılması gereken veri miktarındaki azalmanın RF haberleşme menziline etkileri link bütçesi hesabı yapılarak incelenmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, mevcut teletre formatlarındaki veriler sentetik olarak üretilmiş ve askeri hassasiyette bilgi taşıyan bu verilere çeşitli kayıpsız veri sıkıştırma algoritmaları uygulanarak performansları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda, RF haberleşmede etkili olabilecek diğer özellikler (örn. modülasyon tipi, almaç özellikleri, anten çeşitleri, vb) sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemlerin kullanılacağı varsayılan testlerde; verinin sıkıştırılması sayesinde veri boyutundaki ve dolayısıyla ihtiyaç duyulan bant genişliğindeki azalmanın haberleşme menzilinini arttırdığını göstermektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Teletre, veri sıkıştırma, Huffman algoritması, Aritmetik kodlama, Lempel-Ziv algoritması.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Derya YILMAZ, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.



## **ABSTRACT**

### **INCREASING TRANSMISSION RANGE OF MISSILE TELEMETRY DATA WITH COMPRESSION TECHNIQUES**

Aslı SAĞLAM

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

Dictionary definition of the word ‘telemetry’ is ‘measurement from a distance’. Telemetry notion thus has been used to define the applications aiming to control or observe a system remotely, to record instantaneous data obtained from these systems (via various measurement devices) and to collect all relevant performance data in a data center. Currently, electrical facilities, natural gas production facilities, communication systems, biomedical systems, space stations and vehicles are some of the major areas that use telemetry for their measurements. Also; the design stage of aircrafts, rockets and missiles require telemetry applications as they require validation of design by comparing performance data from actual vehicles.

Telemetry data of a missile in design stage, typically include measurements of various on-board sensors, GPS (Global Positioning System) data, guidance commands created by the missile computer, position of flaps and so on. These data are collected by an internal processor and later transmitted via wireless communication to a ground station, where they can be investigated by the design engineers to see if they align with pre-flight predictions.

In Turkey, there are on-going design and production work for different types of missile projects; created by the needs of Turkish Armed Forces and the state. For the flight tests, different test ranges are assigned according to the requirements of different projects and many telemetry tests are performed with success each year. The collected telemetry data are then used to see if the design engineering was performed in the right way to obtain a missile meeting the requirements of that

certain project. This critical role of telemetry tests lead to the importance of collecting as much data as possible with minimum error.

Compression of telemetry data pre-transmission shows itself as an answer to the question of increasing the amount of data obtained per-flight. Literature search for usage of data compression methods for missile/rockets, show results in mostly applications of compression in the data recording/storing stage. However, data bandwidth in missile telemetry tests limit the communication range of the test and amount of information obtained in the test and data compression performed on-board might be a solution for this problem.

This study aims to investigate the effects of data compression, thus decreased data bandwidth on the RF communication range in missile telemetry tests. For this purpose, different data compression methods are performed on fabricated (assumed) telemetry data, the decrease in data amount are compared and effects on RF parameters are investigated using link budget calculations. Other communication parameters such as signal modulation type, receiver specifications, antenna types, etc. are accepted as constants to see the effect of data size only. The results are compatible with the hypothesis; as they show increase in communication range after a decrease in data bandwidth, as expected.

**KEYWORDS:** Telemetry, data compression, Huffman algorithm, Arithmetic coding, Lempel-Ziv algorithm.

**Advisor:** Assistant Prof. Dr. Derya YILMAZ, Başkent University, Department of Electrical and Electronics Engineering.

## İÇİNDEKİLER

1	TELEMETRE SİSTEMİNE GENEL BAKIŞ .....	1
1.1	Giriş .....	1
1.2	Telemetre Sistemi .....	3
1.3	Telemetre Verileri .....	7
2	RF HABERLEŞME ve LİNK BÜTÇESİ HESABI .....	9
2.1	Link Bütçesi Hesaplama .....	9
3	SIKIŞTIRMA ALGORİTMALARI .....	17
3.1	Kayıplı Veri Sıkıştırma Teknikleri .....	18
3.2	Kayıpsız Veri Sıkıştırma Teknikleri .....	18
3.3	Huffman Algoritması .....	19
3.4	Aritmetik Kodlama Algoritması .....	22
3.5	Lempel-Ziv Welch Kodlama Algoritması .....	24
4	BENZETİM ÇALIŞMASI VE ANALİZLER .....	27
4.1	Veri Sıkıştırma Teknikleri Analiz Çalışması .....	28
4.1.1	Telemetre verilerinin oluşturulması .....	28
4.1.2	Telemetre verisi 1 Mbps için analiz sonuçları .....	31
4.1.3	Telemetre verisi 5 Mbps için analiz sonuçları .....	33
4.1.4	Telemetre verisi 10 Mbps için analiz sonuçları .....	34
4.1.5	Telemetre verisi 15 Mbps için analiz sonuçları .....	35
4.1.6	Telemetre verisi 20 Mbps için analiz sonuçları .....	36
4.1.7	Telemetre verisi 32 Mbps için analiz sonuçları .....	37
4.1.8	Sıkıştırma tekniklerinin farklı veri boyutlarında etkinlik analizi .....	38
4.1.9	Veri sıkıştırma teknikleri ile azaltılan bant genişliğinin haberleşme menziline etkileri .....	43
5	TARTIŞMA ve SONUÇ .....	64
6	EKLER .....	69

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Telemetre sisteminin genel çalışma prensibi .....	4
Şekil 1.2	Veri sıkıştırma yöntemlerinin kullanımı ve link bütçesi analizi özet gösterimi .....	6
Şekil 1.3	Sidewinder AIM-9X füzesi için kullanılan AN/DKT-89 telemetre sistemi [5].....	7
Şekil 2.1	Atmosferik soğurma kayıpları (frekansa göre) [9] .....	13
Şekil 2.2	Elektromanyetik dalgalarda polarizasyon çeşitleri [10] .....	14
Şekil 2.3	Füze üstü sarmal anten örneği [12] .....	15
Şekil 2.4	Telemetre yer istasyonu örneği [14].....	16
Şekil 3.1	Veri sıkıştırma enkoder ve dekoder tanımları .....	17
Şekil 3.2	Huffman ağacı oluşturulması başlangıç adımı .....	20
Şekil 3.3	Örnek için hazırlanan Huffman ağacı.....	21
Şekil 3.4	Örnek için 'ac' mesajının aritmetik kodlama aşamaları .....	23
Şekil 4.1	1 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	32
Şekil 4.2	1 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	32
Şekil 4.3	5 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	33
Şekil 4.4	5 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	34
Şekil 4.5	10 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	34
Şekil 4.6	10 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	35
Şekil 4.7	15 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	35
Şekil 4.8	15 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	36
Şekil 4.9	20 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	36
Şekil 4.10	20 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	37
Şekil 4.11	32 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi.....	37
Şekil 4.12	32 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları .....	38
Şekil 4.13	Huffman algoritması ile veri sıkıştırmanın veri boyutuna göre etkinliği	38
Şekil 4.14	LZW tekniği ile veri sıkıştırmanın veri boyutuna göre etkinliği .....	39
Şekil 4.15	Aritmetik kodlama tekniği ile veri sıkıştırmanın veri boyutuna göre etkinliği .....	39
Şekil 4.16	LZW ve Aritmetik kodlama tekniklerinin birlikte uygulanması ile veri sıkıştırmanın veri boyutuna göre etkinliği .....	40
Şekil 4.17	Kullanılan veri sıkıştırma yöntemleri ve elde edilen veri hızları.....	41
Şekil 4.18	Kullanılan veri sıkıştırma yöntemleri ve elde edilen sıkıştırma oranları.....	42
Şekil 4.19	Frekans ve genlik açısından sinyal ve gürültü gücünün gösterimi [20]	43
Şekil 4.20	PCM/FM modülasyonu için BEP vs $E_b/N_0$ grafiği [22].....	45
Şekil 4.21	50 Km iletişim menzili ve 32 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	46
Şekil 4.22	50 Km iletişim menzili ve 20 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	47
Şekil 4.23	50 Km iletişim menzili ve 15 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	48

Şekil 4.24	50 Km iletişim menzili ve 10 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	49
Şekil 4.25	50 Km iletişim menzili ve 5 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	50
Şekil 4.26	50 Km iletişim menzili ve 1 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	51
Şekil 4.27	10 dB link marjı ve 32 Mbps'lik veri hızı için bulunan iletişim menzili değerlerinin grafiksel gösterimi .....	52
Şekil 4.28	10 dB link marjı ve 20 Mbps'lik veri hızı için bulunan iletişim menzili değerlerinin grafiksel gösterimi .....	53
Şekil 4.29	10 dB Link Marjı ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafiksel Gösterimi.....	54
Şekil 4.30	10 dB Link Marjı ve 10 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafiksel Gösterimi.....	55
Şekil 4.31	10 dB Link Marjı ve 5 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafiksel Gösterimi.....	56
Şekil 4.32	10 dB Link Marjı ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafiksel Gösterimi.....	57
Şekil 4.33	Huffman Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	58
Şekil 4.34	Huffman Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	58
Şekil 4.35	LZW Algoritması Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	59
Şekil 4.36	LZW Algoritması Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	59
Şekil 4.37	Aritmetik Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	60
Şekil 4.38	Aritmetik Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi.....	60
Şekil 4.39	LZW+Aritmetik Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	61
Şekil 4.40	LZW+Aritmetik Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi .....	61
Şekil 4.41	Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Link Marjına Etkileri Özeti.....	62
Şekil 4.42	Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Haberleşme Menziline Etkileri Özet.....	63

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1	Huffman Algoritması İçin Varsayılan Karakter & Olasılık Çizelgesi ...	20
Çizelge 2	Huffman Ağacı Yöntemi Kullanılarak Bulunan Kod Kelimeleri.....	22
Çizelge 3	Örnek mesaj için oluşturulan sözlüğün ilk kısmı .....	26
Çizelge 4	Örnek Mesaj İçin Oluşturulan Sözlük.....	26
Çizelge 5	Sentetik Telemetre Verisi İçin Oluşturulan Çerçeve Yapısı .....	29
Çizelge 6	Tez Çalışması Kapsamında Kullanılacak Çerçeve Aktarım Hızları ve Varsayılan Veri Sayıları .....	30
Çizelge 7	50 Km İletişim Menzili e 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri.....	46
Çizelge 8	50 Km iletişim menzili ve 20 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerleri .....	47
Çizelge 9	50 Km İletişim Menzili ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri.....	47
Çizelge 10	50 Km İletişim Menzili ve 10 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri.....	48
Çizelge 11	50 Km iletişim menzili ve 5 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerleri .....	49
Çizelge 12	50 Km İletişim Menzili ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri.....	50
Çizelge 13	10 dB Link Marjı ve 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri.....	51
Çizelge 14	10 dB Link Marjı ve 20 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri.....	52
Çizelge 15	10 dB Link Marjı ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri.....	53
Çizelge 16	10 dB link marjı ve 10 Mbps'lik veri hızı için bulunan iletişim menzili değerleri .....	54
Çizelge 17	10 dB Link Marjı ve 5 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri.....	55
Çizelge 18	10 dB Link Marjı ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri.....	56

## KISALTMALAR

AWGN	: Additive White Gaussian Noise
BHO	: Bit Hata Olasılığı (Bit Error Rate, BER)
dB	: Desibel
DMM	: Drop Mind Manager
ESA	: European Space Agency
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	: Intermediate Frequency
IRIG	: Inter-Range Instrumentation Group
ITU	: International Telecommunications Union
JPEG /MPEG	: Joint Photographic Experts Group/ Moving Picture Experts Group
LOS	: Line of Sight
LZW	: Lempel-Ziv Welch
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
PPM	: Portable Pixmap Dosya Formatı
RF	: Radyo Frekansı
SNR	: Signal to Noise Ratio (sinyal/gürültü oranı)

# 1 TELEMETRE SİSTEMİNE GENEL BAKIŞ

## 1.1 Giriş

Telemetre kavramı, fikirsel olarak 19. yüzyılda ortaya çıkmış ve kablolu haberleşme kullanılması ile uygulamaları yapılmıştır. 1874 yılında Fransız mühendisler hava ve kar yoğunluğu verisini alabilmek için Mont Blanc-Paris arası gerçek zamanlı veri aktarım yapabilen bir sistem kurmuşlardır [1]. Roket ve füzelerde ilk kullanımlar ise Alman V-2 roketinin test uçuşları esnasında parametre gözlemlene gereksinimi sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak 1930lu yıllarda olduğu ve başlangıç seviyesi bir çalışma olduğu için tasarlanan MESSINA sistemi güvenilir bulunmamış, hatta roketin yaratıcısı von Braun tarafından “dürbünle uçuşu izlemenin daha kullanışlı olacağı” dile getirilmiştir [2]. Yine de Messina ilk adım olarak bu özelliklere sahip bir sisteme ihtiyacı gündeme getirmiş ve telemetre sistemleri hızla iyileştirilerek yaygınlaşmaya başlamıştır. 40’lı yılların sonlarına gelindiğinde Sovyetler farklı modülasyon tipleri ile veriyi füzeden yere indirmeye başlamış, Amerika ise darbe kod modülasyonu (*pulse code modulation, PCM*) ile çalışmalarına devam etmiştir. Günümüzde ise bir füzenin tasarım testleri esnasında füzenin içindeki sensörlerden uçuş esnasında veri almak standart olarak kullanılan yöntem olmuştur. Zira füzeler veya uzay roketleri, tasarlanması ve gerçekleştirilmesi bakımından son derece pahalı ve zor sistemlerdir.

Herhangi bir tasarım sürecinde öncelikli olarak sağlanmasına ihtiyaç duyulan gereksinimler belirlenir, ürün ortaya çıktıktan sonra da tüm gereksinimlerin sağlandığı bir kalifikasyon süreci ile doğrulanır. Telemetre testleri, doğrulama öncesi ve sonrasında, hareketli bir aracın (örneğin bir roket veya füzenin) tasarım çalışmalarının doğru şekilde devam etmesi amacıyla gerçekleştirilir. Tasarımın belli adımlarında telemetre testleri ile çıktılarının kontrol edilmesi tasarımda doğru yolda ilerleyebilmeyi ve kaynakların (insan kaynağı, mali kaynaklar, zaman, vb) verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

Teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte tasarımların detay seviyesi, ortaya çıkarılması planlanan füzenin gelişmişlik düzeyi ve karmaşıklığı da artmaktadır. Örneğin menziller daha uzun olabilmekte, olası manevraların sayısı artmakta ve farklı koşullarda, farklı hedef türlerine karşı etkinlik sağlayabilen füzeler



geliştirilmektedir. Sonuç olarak ise geliştirilen her füze çeşitli testlerden geçmekte, telemetre verileri incelenmektedir. Bu testlerde elde edilen veriler, tasarım çalışmalarının denetlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Telemetre verilerinin tasarım sürecindeki etkisi göz önüne alındığında, testlerin mümkün olduğunca fazla veri toplanarak gerçekleştirilmesi önemlidir. Ancak var olan telemetre sistemleri yüksek veri boyutlarını desteklemede yetersiz kalabilmektedir. Bu bağlamda telemetre sisteminin, daha çok verinin daha az maliyetle aktarımını sağlayacak biçimde geliştirilmesi bir gereksinimdir. Telemetre verilerinin sıkıştırılarak aktarılması bu gereksinimin karşılanmasında etkili olacaktır.

Bu alandaki uygulamalar incelendiğinde, telemetrede genellikle yer istasyonuna gelen verilerin arşivlenerek saklanması noktasında veri sıkıştırma yöntemine başvurulduğu görülmektedir. Örnek olarak, NASA ile Stanford Üniversitesi'nin birlikte yürüttüğü çalışmada verinin yer istasyonu tarafından efektif bir şekilde depolanabilmesi amacıyla telemetre verisi farklı özelliklere sahip parçalar olarak incelenmekte, her birine ayrı optimize edilmiş sıkıştırma algoritmaları uygulanmaktadır [3].

Yine Paris Üniversitesi'nin gerçekleştirdiği ve NASA arşivlerinde yer alan bir başka çalışma, yerdeki veri bankasının (database) depolama kabiliyetini arttırabilmek için uydu verilerini sıkıştırarak zaman ve depolama yerinden tasarruf sağlamaktadır [4].

Ancak bu çalışmalarda farklı bir iyileştirme amacı güdülmekte, canlı veri üzerinde çalışılmamakta ve RF iletim kazançları göz önüne alınmamaktadır. Ülkemizin füze geliştirme çalışmaları alanındaki en önemli kurumları olan ROKETSAN ve TÜBİTAK-SAGE (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu- Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü) şirketlerinde de bu yaklaşımın uygulanmadığı bilinmektedir. Bu durum; yüksek menzile sahip füzelerde, bant genişliği yüksek olan verilerin alınmasına engel teşkil etmekte ve iyileştirilmesi gereken bir haberleşme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır. Füze üstü işlemcilerde veri sıkıştırma algoritması uygulandıktan sonra verilerin iletilmesi, link bütçesi hesabı yapılarak değerlendirilirse sinyal iletiminde iyileşme ve termal gürültüde azalma gibi kazanımlar da gözlemlenebilecektir. Bu nedenle yapılan

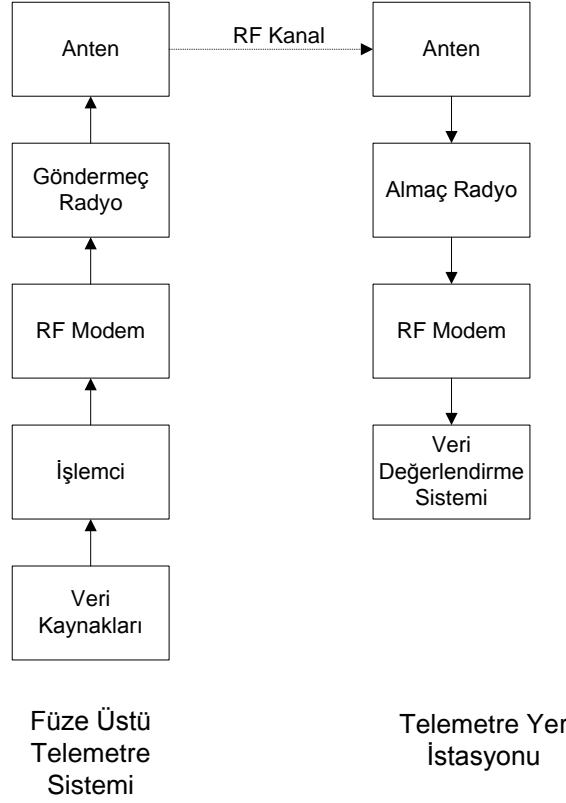
çalışmanın, telemetre sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi için iyi bir başlangıç noktası olarak faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında telemetre verileri, veri sıkıştırma algoritmaları ile kodlanmış, RF (radyo frekansı) ile füzeden yer istasyonuna taşınması gereken bu verilerin boyutu düşürülmüş ve veri boyutunun haberleşme menziline etkileri incelenmiştir. Dolayısıyla, giriş kısmında öncelikle telemetrenin ne olduğu ve sistemlerin genellikle hangi kısımlardan oluştuğu açıklanmaktadır. İkinci kısımda RF haberleşmeye etkileyen faktörler ve temel olarak veri boyutu ile haberleşme menzili arasındaki dolaylı ilişki incelenmektedir. Daha sonra, veri sıkıştırma yöntemleri açıklanmakta ve çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz anlatılmaktadır.

## **1.2 Telemetre Sistemi**

Telemetre, kelime anlamı olarak 'uzaktan ölçüm alma' anlamına gelmekte ve füzeler, uçaklar, tüm hareketli sistemler için yapılan testlerdeki veri toplama işlemini tanımlamaktadır. Telemetre sistemleri yüz yıllardan beri kullanılmakta olup, bu sistemlerde son dönemlerde kablosuz haberleşme (verinin yüksek frekanslı sinyallerle antenler aracılığı ile iletilmesi) yöntemi benimsenmiştir. Hayatın neredeyse her alanında öne çıkan kablosuz haberleşme ile veriler ortamdaki (yani havadan) ve bir iletim hattına ihtiyaç duymadan ilerleyebilmektedir. Füzeler gibi hızı ve ivmesi yüksek, manevra kabiliyetine sahip sistemler için haberleşmede kabloya ihtiyaç duyulmaması büyük bir kazanım olmuştur. Günümüzde kullanılan haberleşme sistemleri, yüksek kabiliyetli işlemcilerle desteklenen hızlı ve akıllı sistemlerdir. Bu sistemlere, birbirini takip edebilecek şekilde yerleştirilen antenlerle bir telemetre sistemi elde edilmektedir.

Bir füzeye ait telemetre sistemi, füze üzerinde RF (radyo frekansı) yoluyla verileri aşağıya aktaran bir göndermeç kısmı ve yerde veri toplayan bir almaç sistemi olarak özetlenebilir. Modern füzeler için telemetre sistemini özetleyen bir şema Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Telemetre sisteminin genel çalışma prensibi

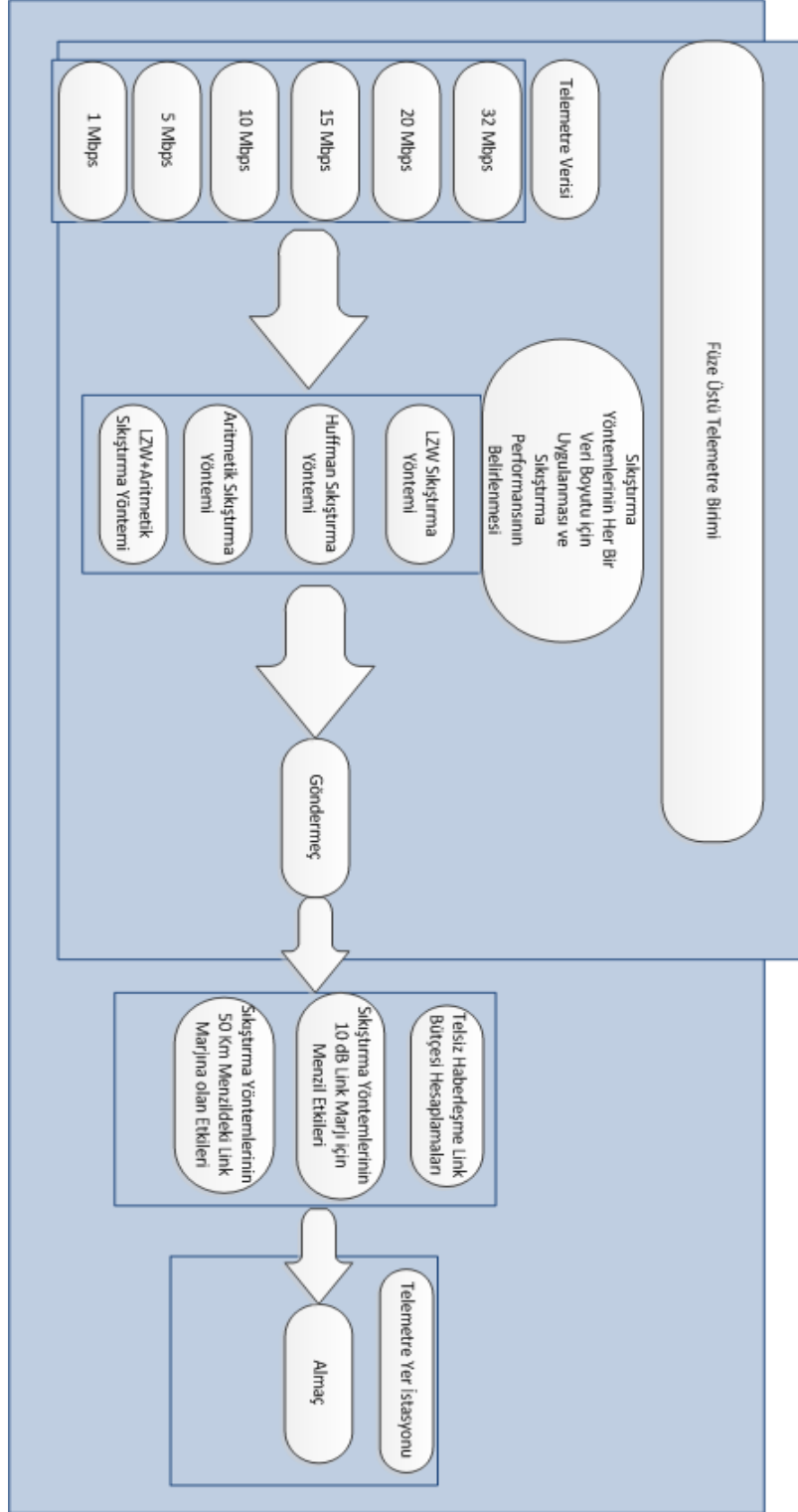
Füze üzerinde, füzenin önceden modellendiği şekilde çalışıp çalışmadığının anlaşılmasını sağlayan sensörler bulunur. Bu sensörlerin çıktıları telemetre işlemcisinde binary (ikili) sayı bir dizi haline getirilir. Füze bilgisayarı veya diğer adıyla güdüm bilgisayarı, veri kaynaklarından (füzenin çeşitli alt sistemlerinden) verileri toplayan, gerekli işlemleri gerçekleştiren bir birimdir. Telemetre testleri esnasında genellikle bu sistemin yerine ayrı bir işlemci aynı görevi gerçekleştirir. Verilerin RF modeme gönderilmek üzere hazırlanması da bu aşamada gerçekleşir. Daha sonra veriler modeme gönderilir ve orada antenden iletilmesi sağlanacak şekilde yüksek frekanslı sinyaller ile modüle edilerek hazırlanır. Anten ise bu verileri kablosuz bir kanaldan yer istasyonuna gönderir.

Füze üstü telemetre birimi (*on-board* kısım) araca ait ivme, hız, pozisyon, basınç ve benzeri sensörlerden gelen verileri toplamakla yükümlüdür. Sensörlerin her birisi algıladıkları fiziksel özellikleri haberleşme kanallarından kablolu olarak telemetre birimine aktarırlar. Daha sonra telemetre yer istasyonuna aktarılan bu bilgiler, test edilen mühimmatın önemli hususlar açısından incelenebilmesini sağlar. Örnek olarak, füzenin kazandığı ivmenin füze hareket modeline uygunluğu,

hız ve ivme telemetre verileri ile incelenebilmektedir. Benzer şekilde, ilerleme yönünün ve kanat açılarının doğruluğu, uçuşu engelleyen bir durumun varlığı gibi tasarımsal açıdan kritik öneme sahip unsurlar bu sayede değerlendirilebilmektedir. Üstelik sensör verilerinin gerçek zamanlı elde edilmesi sayesinde acil bir durumda Uçuş Sonlandırma Sistemi devreye alınarak füzenin istenmeyen durumlar yaratacak şekilde uçmaya devam etmesi engellenebilmektedir.

Sensör çıktıları genellikle analog verilerden oluşur ve RF ile iletilmeleri için veriler önce farklı sensörlerden toplanarak tek bir ikili darbe dizisine çevrilir. Daha sonra yüksek frekanslı bir taşıyıcı ile modüle edilerek füze üstü antene aktarılır. Frekans, telemetre testleri için standartlar kullanılarak belirlenir ve MHz seviyesinde L-bandı veya S-bandı en çok kullanılan aralıklardır.

Bu çalışma kapsamında, çeşitli sensörlerden alınan telemetre verileri modüle edilmeden ve antene iletilmek üzere gönderilmeden önce sıkıştırma algoritması ile boyutları düşürülmüş ve füze testlerinde menzile olan iyileştirici etkileri incelenmiştir. Farklı boyutlardaki telemetre verileri farklı yöntemlerle sıkıştırılmış ve etkiler link bütçesi hesaplamaları ile incelenmiştir (**Şekil 1.2**).

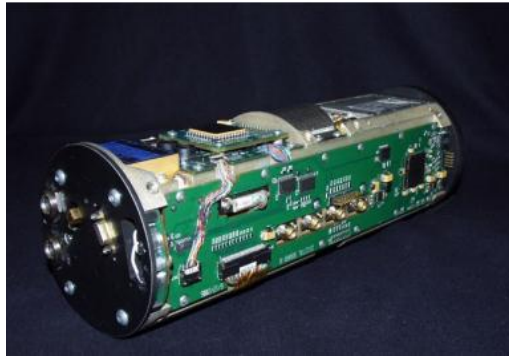


Şekil 1.2 Veri sıkıştırma yöntemlerinin kullanımı ve link bütçesi analizi özet gösterimi

### 1.3 Telemetre Verileri

Roket ve füzelerin modellendiği şekilde çalışıp çalışmadığı telemetre sistemleriyle alınan veriler kullanılarak anlaşılabilir. Tasarım çalışmaları kapsamında, füzenin belli bir uçuş aralığında yapacağı manevralar, ivmeleri, hızı gibi özellikleri belirlenebilir. Test uçuşlarında alınan verilerin simülasyon ortamında modellenen verilerle aynı veya benzer olması, tasarımın başarılı olduğu anlamına gelir.

Deneme başlıkları, telemetre testi kapsamında toplanacak verilerin alınması için gereken sensörler ile gönderilmesi için gereken gönderme sistemlerinin bir arada bulunduğu kompakt yapılardır. Tüm sistemleri üstünde bulunduran ve testlerde harp başlığı yerine kullanılan bir deneme başlığı (telemetre füze-üstü sistemi) örneği Şekil 1.3'te görülmektedir. Bu telemetre sistemi, kendi içinde haberleşme modüllerini, sensörleri ve işlemcileri barındıran, harp başlığı ebatlarında modüler bir kutu olarak testlerden önce Sidewinder füzesine entegre edilmektedir. Bu tarz bir sistemin ileteceği veriler, Sidewinder füzesi tasarımında takip edilmesi gereken parametreler ile füzenin uçuşuna dair genel bilgilerden oluşur.



Şekil 1.3 Sidewinder AIM-9X Füzesi İçin Kullanılan AN/DKT-89 Telemetre Sistemi [5]

Telemetre testlerinde füzenin patlaması istenmediği ve uçuş verilerini alabilmeye dayalı bir senaryo kurgulandığı için, patlayıcı kısmı içeren harp başlığı, içinde sensörler ve haberleşme sistemlerini barındıran entegre bir deneme başlığı ile değiştirilir. Sensörler ile alınan veriler arasında ivme, sıcaklık, jiroskop çıktıları, basınç, gerilim-akım ölçümleri, durum belirteç sinyalleri (motor ateşlemesi, lançerden ayrılma, göbek bağının kopması, vb), açısal hız, menzil, pozisyon,

zaman sayacı okumaları gibi pek çok farklı veri bulunmaktadır. Bu verilerin uygun bir çerçeve yapısına getirilmesi, telemetre füze üstü göndermeç sisteminin yer istasyonuna aktaracağı paketin oluşmasını sağlar.

## 2 RF HABERLEŞME ve LİNK BÜTÇESİ HESABI

Telemetre testlerinde füze üstünden alınan verilerin yer istasyonuna iletilmesini kablosuz, yani RF haberleşme sağlamaktadır. RF kelimesi, Radyo Frekansı deyiminin kısaltması olup 3 kHz ile 300 GHz arasındaki yüksek frekansları tanımlamaktadır.

Kablosuz haberleşmede antenler kullanılır ve iki anten arasında gözle görülen bir bağlantı yoktur. Bu da, verilerin yüksek frekansta, dalga boyu küçük bir sinyalle havada ilerlemesi ile mümkün olur. Bu yöntemle çalışabilen bir sistemin başarıyla tasarlanabilmesi, link bütçesi hesaplamalarının yapılması ve doğru cihazların seçilmesi ile gerçekleşir. Bu çalışmada veri boyutu ile haberleşme menzili arasındaki ilişki inceleneceği için, link bütçesi analizi yalnızca veri boyutu parametresi değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Link Bütçesi Hesaplama

Link bütçesi, göndermeçten almaca kadar ortamda bulunan, haberleşmeye etki eden bütün kazanç ve kayıpların hesaba katıldığı bir tasarım çalışmasıdır. Almacı sistemlerinin veriyi algıladığı belirli bir hassasiyet seviyesi (almaca ulaşan sinyalin algılanabilmesi için belirli bir güç değerinin üstünde olması gerekmektedir) olduğundan, kaliteli veri haberleşmesini sağlamak için ulaşan sinyalin güç seviyesi önem taşımaktadır.

RF sistemler için güç, dBW (desibel-Watt) cinsinden tanımlanır. Diğer elektrik-elektronik hesaplarında güç için Watt birimi kullanıldığı için dB ile W arası çevirme işleminin nasıl yapıldığını bilmek bu aşamada faydalı olacaktır:

$$P(\text{dbW}) = 10\log_{10}(P(\text{W})) \quad (2.1)$$

RF komponentlerde gücün artırılmasında ise kazanç aynı şekilde dB değeri ile tanımlanır ve  $10\log(G)$  olarak hesaplanır.

Link bütçesi hesabı, sinyali güçlendiren ve zayıflatan tüm etkilerin formüle + veya – değer olarak eklenmesi ve almacı hassasiyeti de göz önüne alınarak sinyalin hedef noktaya ne kadar güç ile ulaşacağıının öngörülmesidir. Bu bölümde RF sinyalin güç değerini etkileyen kayıp ve kazanç kaynakları açıklanacaktır.



## 2.2.1 Kayıplar

- **RF Sistemlerde Gürültü**

RF haberleşmede alıcı kısımda olan komponent, yani bu çalışma için telemetre yer istasyonundaki almaç, veriyi kanalda üstüne eklenen gürültüden arındırma işlemini de gerçekleştirmektedir. Gürültü, veri frekansı yükseltip ortamda ilerlerken eklenen istenmeyen sinyaller olarak tanımlanmaktadır. Gürültü farklı kaynaklar nedeniyle oluşabilmektedir, ancak link bütçesi hesaplamalarında sinyalin bant genişliği ile ilişkilendirilen, objelerin yaydığı sıcaklık ile oluşan rastgele bir Gaussian gürültü kullanılmaktadır. Gürültünün gücü bulunur ve bütçede eksi değer olarak işlenirken, haberleşme bant genişliği, Boltzman sabiti ve sistem sıcaklığı değerleri kullanılır [6].

$$N = kTB \quad (2.2)$$

N: Watt cinsinden gürültü gücü

k: Boltzman sabiti ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)

T: Kelvin cinsinde sistem sıcaklığı (genellikle oda sıcaklığı, 290K kabul edilir)

B: Kanal bant genişliği (Hz)

Buradaki eşitlikten bant genişliği ve gürültü gücü arasındaki doğru orantılı ilişki görülebilir. Bant genişliği de taşınan veri boyutuna bağlı olarak arttığına göre, veri sıkıştırmanın gürültüyü azaltıcı ve aynı koşullarda haberleşme menzilini arttırıcı etkisi olduğu değerlendirilmektedir.

Gürültü gücü dışında RF sistemler için kullanılan bir diğer tanımlama ise gürültü faktörüdür (*noise factor*). Bu değer, bilgi taşıyan sinyalin gürültüye olan oranının (SNR; Signal-to-Noise Ratio) sistemin giriş ve çıkış noktalarında ölçülmesi ile bulunur:

$$F = \text{SNR}_{\text{input}} \div \text{SNR}_{\text{output}} \quad (2.3)$$

Gürültü figürü (NF; Noise Figure) tanımlaması ise gürültü farktörünün logaritma 10 tabanında hesaplanıp 10 ile çarpılması ile bulunur:

$$NF = 10\log(F) \quad (2.4)$$

- **Serbest Uzay Kaybı**

RF haberleşme sistemlerinde sinyalin ilerlediği doğrultuda yansıma veya kırılma bulunmuyorsa ve almaç-göndermeç sistemler arası görüş hattı (line of sight) sağlanıyorsa, kısacası ideal koşullar altında serbest uzay kaybı gözlemlenir. Bu kayıp, haberleşme menziline bağlı olarak bilgi sinyalinin gücünün zayıflaması olarak tanımlanabilir. Eşitlik 2.5'te almaç sisteme ulaşan güç miktarının hesaplanması için gerekli eşitlik gösterilmiştir.

$$S = P_t / (4 \times \pi \times R^2) \quad (2.5)$$

S: Hesaplanan uzaklık için birim alandaki güç miktarı

R: Almaç-göndermeç arası uzaklık

P<sub>t</sub>: Göndermeç sisteminden gönderilen güç

Eşitlik 2.6'da yer alan denklem kullanılarak serbest uzay kaybı (*FSPL; free-space path loss*) hesaplanabilir [7].

$$FSPL = \frac{P_t}{P_r} = (4 \times \pi \times R^2) / \lambda^2 \quad (2.6)$$

P<sub>t</sub>: Gönderilen güç, P<sub>r</sub>: Alınan güç

λ: Dalga boyu (c/f ile bulunur c: ışık hızı, f: sinyalin frekansı)

Kısacası, serbest uzay kaybı mesafenin (haberleşme menzili) karesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu kayıp hesaplamalarda genellikle desibel cinsinden kullanılmakta ve dB hali için yukarıdaki oranın 10 tabanında logaritması 20 ile çarpılmaktadır.

- **İletim Hattı Kayıpları**

Radyo frekansları seviyesinde, sinyali göndermeç ve almaç sistemlerden antenlere aktarmak için dalga özellikleri dikkate alınmakta ve yüksek frekanstaki akımlara uygun özellikteki kablaj veya başka yapılar kullanılmaktadır. Koaksiyel kablolar, mikroşerit yapılar, dalga kılavuzları gibi pek çok farklı iletim hattı tasarım sürecinde incelenmekte, sistemlerin uygunluğuna göre seçim yapılmaktadır. Bu noktada en önemli kriterlerden birisi de iletim hattı kayıplarıdır.

Bir iletim hattının sistem genelinde sinyalde yarattığı zayıflama bulunurken farklı nedenlerden kaynaklı kayıplar toplanır [8]:

$$\alpha = \alpha_C + \alpha_D + \alpha_G + \alpha_R \quad (2.7)$$

$\alpha_C$ : Metal iletkenliği kaynaklı kayıp

$\alpha_D$ : Dielektrik kayıp tanjant

$\alpha_G$ : Dielektrik iletkenliği kaynaklı kayıp

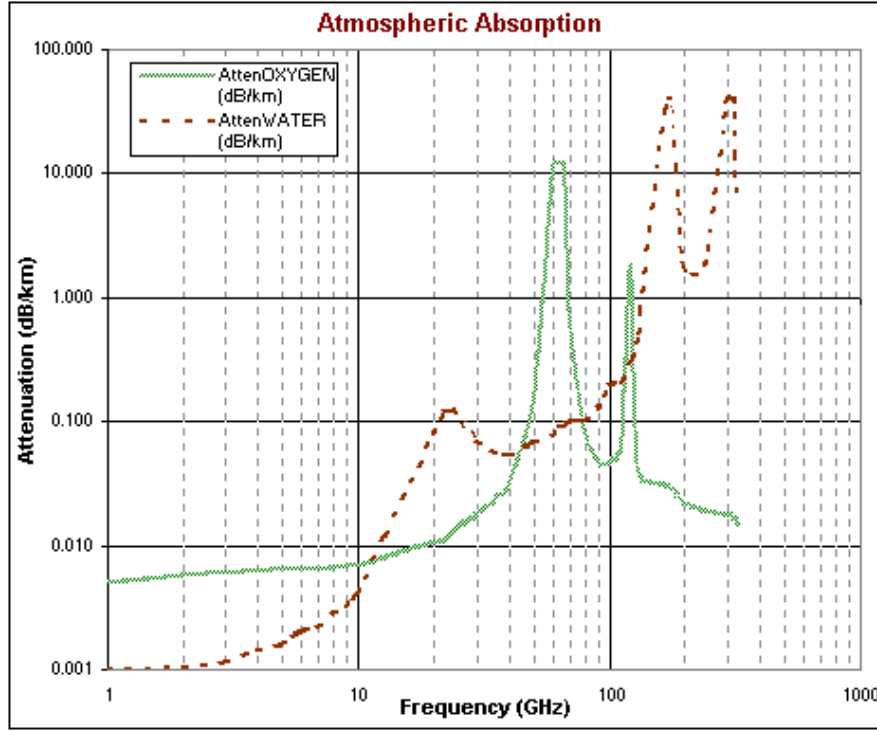
$\alpha_R$ : Radyasyon kaynaklı kayıp

Bu kayıpların birimi Nepers/metre olup dB/metre cinsine çevrilmeleri için 8.69 ile çarpılmaları gerekmektedir.

Telemetre uygulamaları için iletim hattında genellikle koaksiyel kablo kullanmakta ve göndermeç-almaç sistem için toplam kayıp ayrı ayrı hesaplanarak link bütçesi hesabına katılmaktadır.

- **Atmosferik Kayıplar**

Telemetre uygulamalarında olduğu gibi bilgi sinyallerinin kablosuz olarak antenle iletildiği durumlarda, elektromanyetik dalgaların dalga boyuna göre atmosferde nasıl etkilendiğini değerlendirmek gerekmektedir. Sinyallerin atmosfer tarafından soğurulmasına sebep olan başlıca iki madde oksijen ve su buharıdır [9].

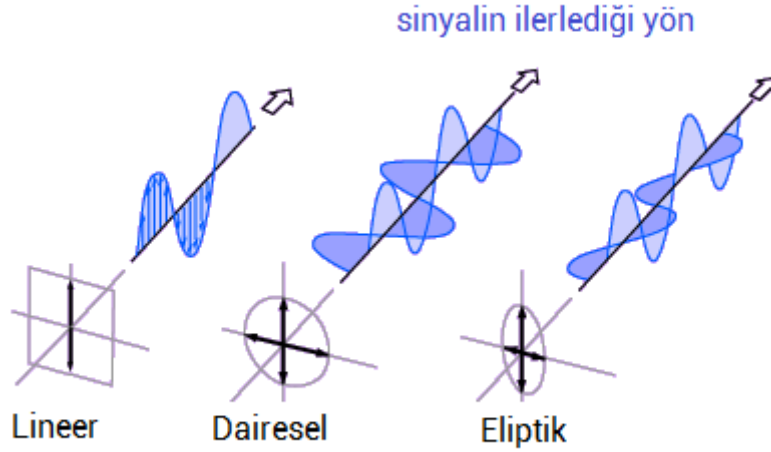


Şekil 2.1 Atmosferik soğurma kayıpları (frekansa göre) [9]

Şekil 2.1'de yer alan grafikte gözlemlendiği gibi, atmosferdeki gazların da RF sinyalleri zayıflatıcı etkisi bulunmakta ve tasarım sürecinde hesaba katılmaktadır. Bunun yanında, yağmur ve kar gibi doğal olaylar da zayıflamalara neden olmakta, ancak telemetre testlerinde meteorolojik olarak uygun günler seçildiği için bu çalışma kapsamında hesaba katılması gerekli görülmemektedir.

- **Polarizasyon Kaybı**

Verilerin kablosuz iletilmesini sağlayan antenler, polarizasyon adı verilen temel bir karakteristik özelliğe sahiptir. Anten, radyo frekansındaki elektrik akımını elektromanyetik dalgaya çevirir ve bu dalgaları uzaya yayar. Her elektrik alan kendisine dik bir manyetik alan yaratır ve manyetik alanlar da kendine dik bir elektrik alanı oluşturur; elektromanyetik dalga bu yolla ilerler. Dalganın ilerlediği doğrultu almaç antene doğru olmasına rağmen izlenen yola göre lineer, dairesel veya eliptik polarizasyona sahip olmaktadır. Şekil 2.2'de farklı polarizasyon türleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Elektromanyetik dalgalarda polarizasyon çeşitleri [10]

Göndermeç ve almaç antenlerin polarizasyonları farklı olduğu durumda polarizasyon kaybı da link bütçesi hesabına eklenmelidir. Bu kayıp, elektrik alanlar arasındaki açı farkının kosinüsünün karesi alınarak bulunabilir ( $\cos^2\phi$ ). Telemetre uygulamalarına ait link bütçelenirken, antenler arası polarizasyon kaybı genellikle 3dB'lik bir kayıp olarak hesaba katılır.

## 2.2.2 Kazançlar

- **Göndermeç Çıkış Gücü**

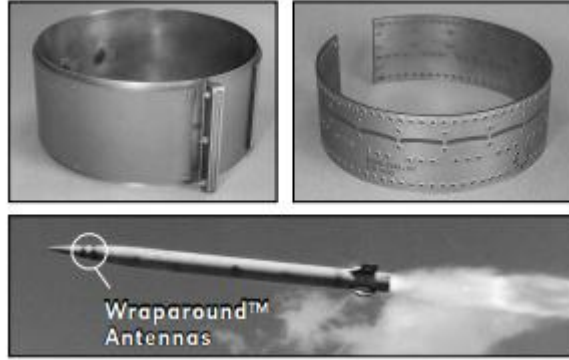
Kablosuz iletişim sistemlerinde, göndermeç sisteminin çıkışında (*output*) bulunan RF sinyal gücü pozitif olur ve link bütçesi yapılırken kazançlar hanesine pozitif değer olarak yazılır. Bu kazanç, RF göndermeç çıkışındaki anten bağlantı noktasına (*port*) 50 Ohm'luk bir direnç bağlandığında direncin üzerinde oluşan güç olarak da tanımlanabilir.

Göndermeç çıkış gücü, sistemde kullanılan ürünlere göre farklılık gösterebilir. Telemetre standart dokümanı IRIG (Inter-Range Instrumentation Group) Standard 106-04'de tanımlandığı üzere, bu uygulamalarda mümkün olan en düşük çıkış gücünün seçilmesi esastır. Bunun yanında, çıkış gücünün 25 W üstü olması da aynı standartla engellenmektedir. Çalışma kapsamında bu değer, S-Bant bir COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) ürünün teknik dokümanı göz önüne alınarak 10 dBW ( $10 \cdot \log_{10}(10 \text{ W}/1\text{W})$  hesabından) olarak kabul edilmiştir [11].

- **Anten Kazançları**

Elektromanyetik sinyallerin anten vasıtasıyla başka bir antene iletildiği durumlarda, antenin yönlülüğüne ve elektriksel verimliliğine göre antene ait bir kazanç değeri tanımlanır.

Yönlülük, antenin tasarımına bağlı bir parametredir ve sistem gereksinimlerine göre tanımlanır. Telemetre testleri için füzenin üstünde genellikle sarmal ve 360 derece kapsama sağlayan, Şekil 2.3'de örnek şekilleri gösterilen antenler kullanılmaktadır. Bunun nedeni; füzenin hareketli olması, bazı durumlarda kendi etrafında dönecek şekilde tasarlanması ve bunlara rağmen uçuş boyunca yer istasyonu anteni ile LOS (*Line Of Sight*) haberleşme sağlayabilmesi gerekliliğidir.



Şekil 2.3 Füze üstü sarmal anten örneği [12]

Bu tür yönsüz (her yönde etkili) antenler, çıkış gücünü bir doğrultuda yoğunlaştıramadığı için kazançları düşüktür [13].

$$\text{Anten Kazancı} = G = \epsilon_R \cdot D \quad (2.8)$$

$\epsilon_R$ : Anten verimliliği

D: Anten yönlülüğü

Anten verimliliği parametresi olarak gösterilen değer ( $\epsilon_R$ ); kullanılan metal, anten türü, antenin açıklık efektif alanı (*aperture*) ve çalıştığı frekansın dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir.

Füze testlerinde yerde bulunan yer istasyonu antenleri yer kısıtı olmadığı için Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yüksek kazançlı çanak antenlerden seçilmektedir. Bu

antenler yönlü, yani directivity değeri yüksek antenler olup füzenin ilerlediği doğrultuya göre mast ile döndürülmektedir.



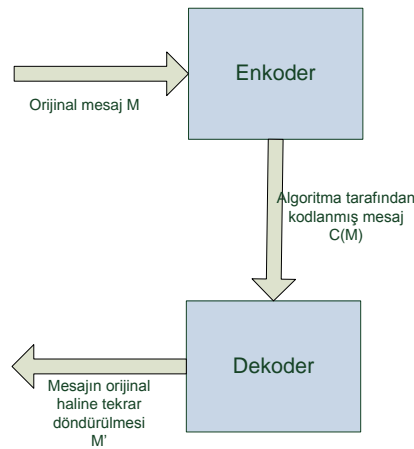
Şekil 2.4 Telemetre yer istasyonu örneği [14]

### 3 SIKIŞTIRMA ALGORİTMALARI

Bilgisayar destekli işlemlerin artması sonucu; kaydedilmesi, işlenmesi ve gönderilmesi gereken veri hacmi sürekli bir artış içine girmiştir. Bu hacim artışını kontrol altına alabilmek amacıyla veri sıkıştırma işlemlerine duyulan ihtiyaç da dolayısıyla artmıştır. Veri sıkıştırma işlemi sayesinde bir dosya başka bir dosyaya dönüştürülmekte, dönüştürmenin ters işlemi uygulandığında da orijinal veriye (kayıpsız sıkıştırma) veya yaklaşık benzer bir veriye (kayıplı sıkıştırma) ulaşmak mümkün olmaktadır.

Veri sıkıştırmanın iki adet temel avantajı vardır; veriyi saklarken daha küçük depolama alanına ihtiyaç duymak ve veriyi gönderirken bant genişliğinin düşürülmesi sayesinde daha az zamana ihtiyaç duymak. Dosyaların çoğunluğu da gereksiz (*redundant*) ve tekrarlayan veriler içerdiği için veri sıkıştırma algoritmaları ile kodlanmaları mümkün olabilmektedir. Bu kavram 1950'lerde ortaya çıkmış, teknolojinin ilerlemesi ile birçok uygulama alanında veri sıkıştırmaya duyulan gereksinim artmıştır.

Veri sıkıştırma metodları için basit bir blok diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmektedir. İkilik düzendeki (*binary*) mesaj yani  $M$ , kodlayıcı (*enkoder*) görevini gören bir bloktan  $C(M)$  olarak kodlanmış halde çıkar. Kodlama sonrası mesaj  $C(M)$ , kodlama hakkında kodlayıcıyla (*enkoder*) aynı bilgilere sahip bir kod çözücü tarafından (*dekoder*) çözümlenerek  $M'$  haline getirilebilmektedir. Bu işlem sonucunda orijinal mesaja veya ufak değişikliklere sahip haline dönmek mümkün olmaktadır.



Şekil 3.1 Veri sıkıştırma enkoder ve dekoder tanımları



Enkoder çıktısı olan  $C(M)$ 'nin bit sayısı orijinal mesaj  $M$ 'in bit sayısına bölündüğünde sıkıştırma oranı bulunabilir. Dekoder çıktısı mesajın, orijinal mesajdan farklı bir gösterimle ( $M'$ ) gösterilmesi de sıkıştırma işlemi sonucu veride bazı kayıplar olabildiği içindir.

### 3.1 Kayıplı Veri Sıkıştırma Teknikleri

Kayıplı veri sıkıştırma tekniklerinde bir miktar verinin kaybedilmesi söz konusu olduğundan orijinal mesaj  $M$  ile yeniden oluşturulmuş hali  $M'$  arasında fark bulunmaktadır. Veri kaybına rağmen bu tekniklerin tercih edilme sebebi ise, bu kaybı ihmal ederek daha büyük sıkıştırma oranlarına ulaşılabilmesidir. Örneğin, konuşma veya video gibi verilerde kayıplı veri sıkıştırma algoritmaları büyük avantaj sağlamaktadır. İnsan duyu organları ve beyni, kayıp bazı çerçeveleri kendi tamamlayabilmekte veya bu kayıp fark edilemeyecek bir seviyede kalabilmektedir. Kısacası verinin kalitesinde düşme olmasını göze almak, verinin yüksek oranda sıkıştırılmasını sağlamaktadır.

### 3.2 Kayıpsız Veri Sıkıştırma Teknikleri

Kayıpsız veri sıkıştırma tekniklerinde, mesajın yeniden oluşturulmuş hali  $M'$  ile orijinal mesaj  $M$  arasında fark bulunmamaktadır. Bu yöntemler ve ilgili algoritmalar genellikle veri kaybının tolere edilmediği durumlar için tercih edilmektedir. Örneğin; metinler ve banka kayıtları gibi dosyalar verideki hatalar konusunda hassasiyete sahiptir. Bu çalışma kapsamında askeri alanda kullanılan bir sistem için uygulama yapılacağından, kayıpsız veri sıkıştırma teknikleri kullanılmıştır.

Entropi kodlama teknikleri, kayıpsız veri sıkıştırma tekniklerinin bir alt kolu olup dijital verilerin, frekansı (rastlama olasılığı) yüksek sembollere daha az bitten oluşan kod kelimelerinin atanması ile sıkıştırma sağlamaktadır. Çalışma kapsamında kayıpsız entropi kodlama teknikleri olan Huffman algoritması, aritmetik kodlama ve LZW (Lempel-Ziv Welch) teknikleri uygulanmıştır.

### Entropi Kodlama Teknikleri

Entropi, bir dizideki elemanların olasılıklarına (örneğin bir mesajdaki sembollerin olasılıklarına) bakarak Eşitlik 3.1'de gösterilmiş hesaplamanın yapılması ile bulunur:

$$H(p_1 \dots p_n) = - \sum p_i \cdot \log_2 p_i \quad (\forall i \text{ için}) \quad (3.1)$$

p: Olasılık (0 ve 1 arasında bir değer)

H: Entropi

Veri sıkıştırma bağlamında entropi, dizide yer alan bir sembolü kayıpsız sıkıştırmak için gerekli olan en düşük bit sayısının ortalama değeridir. Entropi, bir veri setinde tüm sembollerin olasılığı aynı olduğunda en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Entropi tanımı üzerinden gidilirken, başka bazı terimlerin açıklanması gerekmektedir. Alfabe, en az bir elemanı olan sonlu bir veri setidir. Sembol, alfabenin elemanlarından biridir. Alfabedeki bir dizi, her biri alfabenin üyesi olan sembollerin bir sıralamasıdır. Kod kelimesi, bir sembolü temsil etmek için oluşturulmuş bir bit dizisidir. P; o sembole veri setinde rastlama olasılığını, L de bir sembol için tanımlanan kod kelimesinin uzunluğunu gösterir.

Entropi kodlama algoritmaları, iki ana gruba ayrılmaktadır: Sabit uzunluktaki kodlar (*fixed-length codes*) ve değişken uzunluklu kodlar (*variable-length codes*). İsimlerinden de anlaşılabilir gibi, ilk türdeki kod tipinde tüm sembollere ait kod kelimeleri aynı bit sayısına sahipken, ikinci tür için değişken olabilmektedir.

Entropi kodlama algoritmaları için entropi değeri, kayıpsız sıkıştırma tekniklerinde, bir sembolün temsil edilmesi için gereken ortalama bit sayısının alt limitidir. Bu alt limit, algoritmalar için hedeflenen kodlama sonrası bit/sembol (BPS, bit-per-symbol) oranını işaret etmektedir.

Entropi kodlama prensiplerini kullanan veri sıkıştırma kodlamalarına örnek olarak Huffman kodlama, aritmetik kodlama ve Lempel-Ziv algoritmaları gösterilebilir.

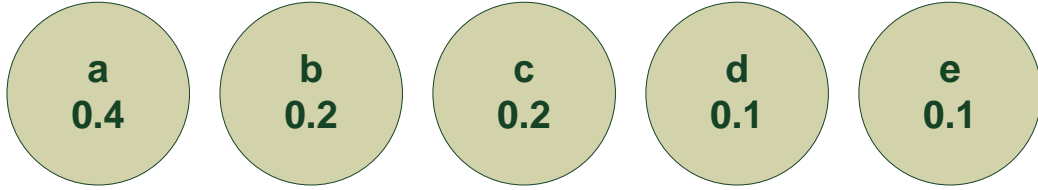
### 3.3 Huffman Algoritması

Bu algoritma, kayıpsız veri sıkıştırmanın temel uygulamalarından biri olan bir entropi kodlama algoritmasıdır. Yöntem, ismini MIT'de (Massachusetts Institute of Technology) öğrenci iken 1950 yılında bir ders için algoritmayı geliştiren David Huffman'dan almıştır [15]. İzlediği yöntem, veri içeriğinde en sık rastlanan, yani olasılığı (frekansı) en yüksek olan karakterler için en kısa kodu üretme hedefine sahiptir. Değişken-uzunluklu kodlar oluşturulur ve ortalama kod uzunluğu bu

sayede düşürülerek sıkıştırma sağlanır. Kodlar çözümlenirken alıcı sistemde karışıklık yaşanmaması için hiçbir karaktere ait kodun başka bir sembolün öneki olmamasına dikkat edilir. Bu özelliği ile Huffman algoritması bir önek (*prefix*) kodudur.

Huffman kodu bulunurken bir ağaç oluşturulur ve karakterler olasılık büyüklüğüne göre dizilir. Daha sonra ikili sisteme ait (1 veya 0) semboller olasılığı en düşük karakterlere verilerek en düşük iki olasılık toplanır. Yukarıdaki olasılık ile bir ağaç dalı daha ekleyerek aynı sistemde ilerlenir. Son olarak ise, her karaktere ait kodlar sondan başa doğru ilerlenerek elde edilir.

Huffman algoritması bir örnekle daha kolay açıklanabilir. Elimizde 100 karakterlik bir metin (*text*) dosyası ve bu metinde kullanılan 5 farklı sembolle betimlenen bir A alfabesi olduğunu varsayalım. A alfabesinin içerisinde de a'den e'ye kadar beş farklı sembol kodlanmak istensin ve sıkıştırılmak istenen mesaj "aaaabbcde" olsun. İlk adım, bu sembollerin metinde kaç kere geçtiğini hesaplamak ve bu yolla olasılık değerlerini bir çizelgede göstermek olmalıdır.



Şekil 3.2 Huffman ağacı oluşturulması başlangıç adımı

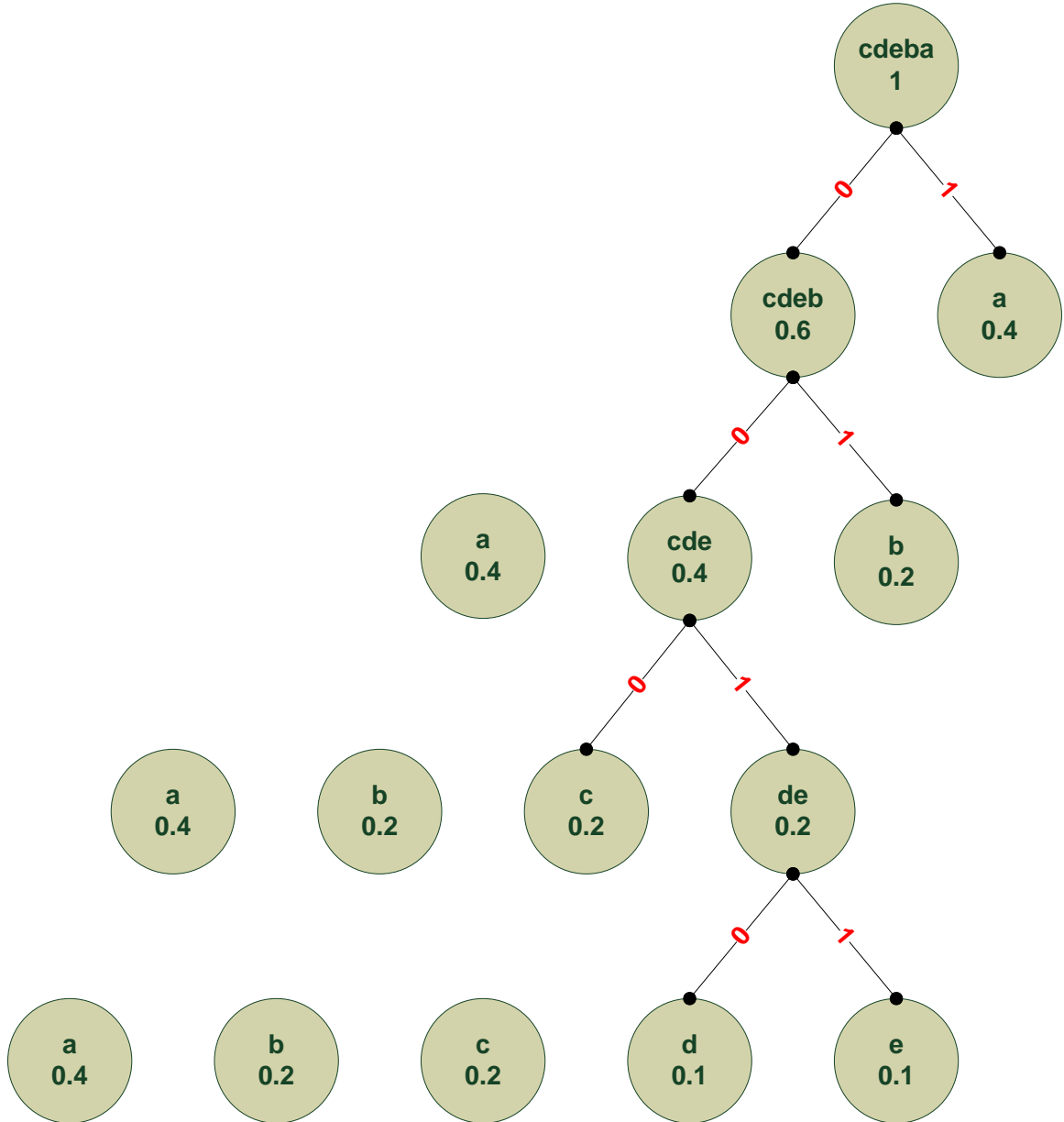
Çizelge 3.1 Huffman algoritması için varsayımsal bir karakter & olasılık çizelgesi

Sembol	a	b	c	d	e
Olasılık Değeri	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
Frekans Değeri	4	2	2	1	1

Çizelge 3.1'den e ve d sembollerine en az rastlandığı sonucu çıkarılabilmektedir. Dolayısıyla bu sembolere ait kod kelimeleri (*codewords*) en uzun olanlar olacak ve Huffman ağacında e ve d en alttaki yaprakları oluşturacaktır.

Bir sonraki adımda, en düşük olasılıklı 'd' ve 'e' sembolleri birleştirilir ve tek bir düğüm olarak işlem görmeye devam ederler. Bu sembollerin kod kelimelerindeki son hane; biri için 0, diğeri için de 1 olacaktır.

Olasılıklar toplanmaya devam eder ve her bir adımda yeni bir sembol düğümüne eklenir.



Şekil 3.3 Örnek için hazırlanan Huffman ağacı

Olasılık 1'e tamamlandığı zaman işlemler tamamlanmış olur ve kodlar ağacın kökünden yapraklara doğru inilerek elde edilir.

Çizelge 3.2 Huffman ağacı yöntemi kullanılarak bulunan kod kelimeleri

Sembol	a	b	c	d	e
Kod Kelimesi	1	01	000	0010	0011

Çizelge 3.2'de bu metod kullanılarak örnek için elde edilen kod kelimeleri gösterilmektedir. Huffman yöntemi ile ulaşılan bir kodun ortalama uzunluğu ise; (her bir sembolün frekansı\*kod kelimesinin bit sayısı)/(1/toplam mesaj uzunluğu) hesabı ile bulunabilir. Yukarıdaki örnek için bu değer  $(4*1+2*2+2*3+1*4+1*4)/10$ , yani 2,2 olacaktır.

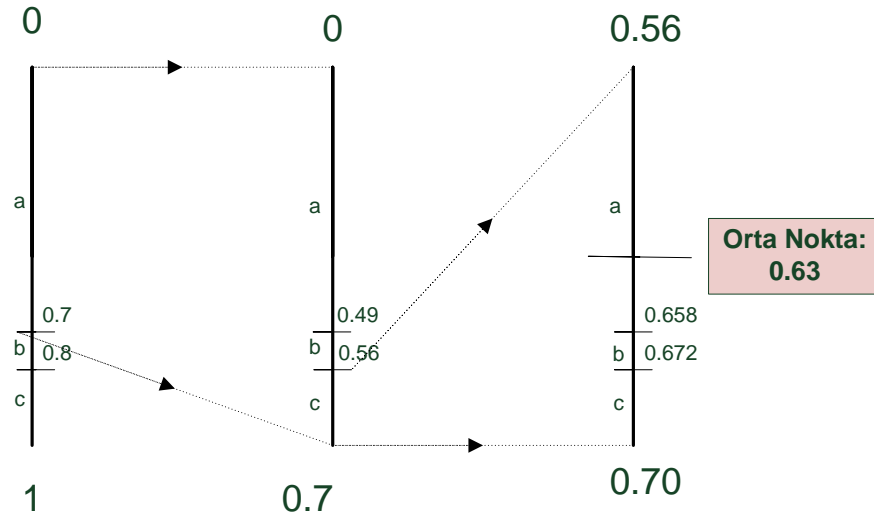
### 3.4 Aritmetik Kodlama Algoritması

Aritmetik kodlama algoritması, verilerin kayıpsız sıkıştırılmasını sağlayan ve sıkıştırılacak mesajdaki sembollerin görülme olasılıklarına dayanan bir başka tekniktir. Aritmetik kodlamada gerçek (reel) sayıların temsil edilmesi, örneğin 0.625 gibi bir sayının kodlanması gerekmektedir. Aritmetik kodlama tekniğinde, metinde yer alan bir sembole denk gelen kod kelimesinin bulunması yaklaşımı yer almamaktadır. Bunun yerine, hesaplamalar sonucu bulunan bir ondalık sayı, kaynak mesajın tümünü temsil etmekte kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, bu teknikte bütün girdi verisi bir aralık (interval) ile tanımlanmaktadır. Bu teknik, özellikle alfabenin az elemanlı olduğu ve sembollerin olasılıklarının birbirinden farklı olduğu durumlarda Huffman algoritmasından daha verimli olmasına karşın, uygulamalarda gerçekleştirilmesi (implementation) daha karmaşıktır. PPM (Portable Pixmap), JPEG/MPEG (seçeneklerden biridir) (Joint Photographic Experts Group/Moving Picture Experts Group), DMM (Drop Mind Manager) gibi dosya formatlarında aritmetik kodlama algoritmasının kullanıldığı bilinmektedir [16].

Aritmetik kodlama tekniğinde diziler üzerinden ilerlenir. Her bir olası dizi, (0,1] aralığı içinde etiket adı verilen farklı bir sayıya karşılık gelmektedir. Bu haritalamanın oluşturulması için sembollerin olasılıkları kullanılmakta; ancak haritanın oluşturulması için tüm olası haritalamaların önceden bilinmesi gerekmemektedir. Bu da her yeni sembol geldiğinde haritalama işleminin devam

ettirilmesi anlamına gelir. Sembol sayısı arttıkça aralık daraltılır, bu da aralığı temsil etmek için daha çok bit gerekeceği anlamına gelir [17].

Örnek vermek gerekirse elemanları a, b, c olan bir A alfabeti düşünülebilir. "aaaaaabcc" girdi veri dizisi olarak alındığında olasılıklar  $P(a)= 0,7$ ,  $P(b)= 0,1$  ve  $P(c)= 0,2$  olarak bulunur. Aralık bulunması için ilk adımda, 0 ve 1 arasında semboller olasılıkları ile orantılı şekilde yerleştirilir. Aritmetik kodlama tekniğinde aralıkların yeniden belirlenmesi Şekil 3.4'de gösterildiği şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.4 Örnek için 'ac' mesajının aritmetik kodlama aşamaları

İletilmesi gereken mesajın 'ac' olduğu varsayıldığında önce a aralığı, daha sonra c aralığı açılmalı ve en son elde edilen aralığın orta noktası bulunmalıdır. Orta nokta kodlamanın sonucudur ve bu değer almaç sisteme iletilir. Bu değer iletilmesi için ise onluk tabandan ikilik tabana geçirilmesi gerekmektedir. 0,63 değeri, 0,101 olarak; hatta sadece noktadan sonraki 101 basamakları ile, ikili sisteme uyarlanır ve gönderilir.

Aritmetik kodlama algoritmasının mantığı, sembol dizileri için oluşturulan kod kelimeleri, yani etiketler aşağıdaki biçimde elde edilir:

$$T(x_i) = \sum P(y) + 1/2P(x_i) \quad (y < x_i \text{ için}) \quad (3.2)$$

T: Oluşturulan etiket (*tag*)

P: Olasılık

Bir diğer örnek durum olarak olasılık problemlerinde sıkça geçen zar örneği üstünden gidilebilir. Normal, hilesiz bir zar atma deneyi yapıldığında 1'den 6'ya

kadar tüm sayıların gelme olasılığı aynı ve 1/6'dır. Daha sonra diziler için onları temsil eden etiketler oluşturulduğunda önce 1, daha sonra 6 gelme olasılığı, yani '16' dizisi için oluşturulan etiket şu şekilde bulunabilir:

$$T(x_{16})= P(x_{11})+P(x_{12})+P(x_{13})+P(x_{14})+P(x_{15})+1/2P(x_{16})$$

$$T(x_{16})= (1/36*5) + (1/2*1/36)$$

$$T(x_{16})= 0,1388+0,0138= 0,15268$$

Etiket elde edildikten sonra, özellikle de bu çalışmanın konusu olan kablosuz telemetre haberleşmesinin sağlanabilmesi için, ikili tabandaki haline getirilmesi gerekmektedir. IEEE tarafından gerçek sayılarla işlem yapılması hakkında yayınlanan 'IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic (IEEE 754)' başlıklı standart bu aşamada kullanılmakta ve etiketleri işlemciler tarafından anlaşılabilir, bitlerle ifade edilebilir hale getirmektedir.

### 3.5 Lempel-Ziv Welch Kodlama Algoritması

Lempel-Ziv (LZ) algoritmaları, Jacob Ziv ve Abraham Lempel tarafından yapılan çalışmalar ile geliştirilmiştir. LZ ailesi algoritmaları, sözlük tabanlı teknikler olarak tanımlanmaktadır. Bu metodlar ile bir dosyada tekrar eden sembol grupları belirlenir, karşılık geldikleri kod kelimeleri oluşturulur ve bu kalıpların yer aldığı bir sözlük oluşturulur [18].

LZ77, LZ ailesinin ilk üyesidir. Özellikle metin tabanlı dosyaları için tanımlanan bu yöntem, 1977 yılında yayınlanan "A Universal Algorithm for Data Compression" isimli makale ile tanıtılmıştır [19].

LZ77 algoritması imleç ile birlikte hareket eden bir kayan pencere kullanmaktadır. Söz konusu pencere, "arama tamponu" olarak isimlendirilen imleçten önceki kısım (sözlük olarak da tanımlanabilir) ve imlecin bulunduğu yerden itibaren başlayan bir "ileri tamponu (*lookahead buffer*)" olarak ikiye ayrılabilir. Bu kısımların büyüklükleri ise algoritmanın işlemleri esnasında sabit tutulmaktadır. Algoritma, basit bir mantıkla çalışır ve aşağıdaki adımların döngü halinde uygulanmasını gerektirir:

- İmlecin bulunduğu yerden başlayan ve ileri tamponunda yer alan en uzun dizi, arama tamponunda (sözlükte) başlayan diziyile eşleştirilir. Bu işlem için en uzun dizilimin seçilmesi gerekmektedir.

- Eşleşme için arama tamponunda ne kadar geri gidildiği (p), eşleştirilen dizilimin uzunluğu (n) ve eşleştirme sonrası ilk karakterin kodu (kod (c)) kullanılarak, üçlü bir çıktı elde edilir. Bu çıktı (p,n,c) şeklindedir.
- İmleç, n+1 karakter kadar ileriye alınır.

LZ78, benzer olmalarına karşın algoritmada tampon kullanılmaması bakımından LZ77'den ayrılmaktadır. LZ78 algoritmasının veri sıkıştırma prensibi, hem kodlayıcı hem de kod çözücü sistem tarafından sözlüğün aynı şekilde oluşturulmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla LZ78 ile sözlük, önceden karşılaşılmış ifadeleri sınırsız olarak içerme potansiyeline sahiptir.

LZ78 tekniği uygulanırken sözlük kodlamada ilerlerken oluşturulur; dolayısıyla verinin bir kere incelenmesi yeterlidir ve kodlama öncesi tüm verilerin elde olması gerekmemektedir. Bu da LZ78 kullanımına gerçek zamanlıya yakın veriler için avantaj sağlamaktadır.

LZW tekniği ise Lempel ve Ziv'in çalışmaları üstüne 1984 yılında Terry Welch tarafından yapılan çalışma ve geliştirmeler sonucu oluşmuştur [18]. Günümüzde LZW'nin en iyi sıkıştırma oranını sağlayan, dolayısıyla en verimli algoritmalarından biri olduğu değerlendirilmektedir. LZW algoritması hem LZ77 hem de LZ78'e sıkıştırma performansı açısından üstünlük sağlayan, bu kod ailesinin en genç üyesidir. Bu teknik için uygulanan kodlama adımları şu şekildedir:

P: penceredeki pozisyon, C: eşleştirme sonrası ilk karakter olmak üzere;

- Başlangıçta, sözlükte kodlanacak ifadenin alfabesine ait tüm elemanlar bulunmaktadır. P ise boş kümedir. C harfi ile sembol dizisindeki sonraki işlenecek karakter gösterilmektedir.
- P+C diziliminin sözlükte yer alıp almadığı kontrol edilir.
  - o Yer alıyorsa, P kümesi P+C olacak şekilde uzatılır.
  - o Yer almıyorsa, P'nin sözlük karşılığı kodu çıktı olarak verilir. P+C dizilimi ise sözlüğe eklenir. P ise sonraki karakter C olacak şekilde güncellenir.

Yukarıda yazılı adımlar, kodlanmak istenen mesaj bitene kadar döngü şeklinde tekrar eder.

Basit bir örnekle açıklamak gerekirse, 'BABABABA' mesajı için en başta hazırlanan sözlük şu şekildedir:



Çizelge 3.3 Örnek mesaj için oluşturulan sözlüğün ilk kısmı

Sıra No	Sözlük Girdisi
1	B
2	A

B harfi, sözlükte karşılığı olan bir karakterdir.

A harfine geçildiğinde, artık P'nin değeri B, C'ninki ise A olmuştur; dolayısıyla P+C değeri olarak da BA yazılır.

- BA ifadesi sözlüğe eklenir.
- P değeri olan B'nin karşılığı 1, kod dizilimine eklenir.

İkinci B harfine gelindiğinde P=A, C=B'dir ve P+C= AB'dir.

- AB ifadesi sözlüğe eklenir.
- A'nın karşılığı 2, kod dizilimine eklenir.

İkinci A harfine gelindiğinde, B ve A karakterleri zaten sözlükte yer aldığı için, P=BA olacak şekilde güncelleme yapılır. BA'nın sözlük karşılığı olan 3, kod dizilimine eklenir.

Aynı şekilde ilerlemeye devam edildiğinde, mesajın tamamını temsil eden kod ve oluşturulan sözlük Çizelge 3.4'te gösterildiği şekilde elde edilir:

Çizelge 3.4 Örnek mesaj için oluşturulan sözlük

Sıra No	Sözlük Girdisi
1	B
2	A
3	BA
4	AB
5	BAB
6	BABA

Sözlük elde edildikten sonra mesajın kodlanmış hali '12352' olarak bulunmaktadır.

#### **4 BENZETİM ÇALIŞMASI VE ANALİZLER**

Tez kapsamında, füze üstünde oluşturulan telemetre verilerinin telemetre yer istasyonuna gönderilmeden önce sıkıştırılması işleminde seçilen sıkıştırma yöntemlerinin sağladığı boyut küçültme miktarları incelenmiş ve bu kazanımlar analiz edilmiştir. Bu kapsamda, National Instruments (NI) tarafından yayınlanan LabVIEW programı kullanılmış ve veri sıkıştırma teknikleri sentetik telemetre verilerine uygulanmıştır.

Uygulanan teknikler; Huffman algoritması, aritmetik kodlama ve LZW teknikleri olarak belirlenmiştir. Kayıpsız veri sıkıştırmayı sağlayan algoritmaların seçilme sebebi, füzelerin savunma sanayii sektörüne ait ürünler olmasıdır. Askeri öneme sahip bu tür kritik teknolojilerde, bilgi taşıyan telemetre verilerinin sıkıştırma işlemi sonrası orijinal veriden farklı bir duruma gelmeleri tolere edilemez bir duruma sebep olabilir. Arayıcı başlık tarafından alınan görüntüler telemetre verisi kapsamında analiz ediliyorsa, bazı bitlerin kayıp olması veya değişmiş olması fazla sorun yaratmayabileceken, bu çalışmada olduğu gibi nümerik değerlerin anlık takip edildiği bir telemetre test senaryosunda analiz için seçilen metodların tümü kayıpsız veri sıkıştırma tekniklerinden olmak durumundadır.

Çıkan sonuçlar incelendikçe, aritmetik kodlama tekniği ile LZW tekniğinin Huffman algoritmasına kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve bu nedenle LZW ile aritmetik kodlama tekniklerinin ardışık kullanımı da sıkıştırma performansı bakımından incelenmiştir.

Kısacası, çalışmanın ilk kısmında üretilen sentetik telemetre verileri kayıpsız veri sıkıştırma teknikleri kullanılarak sıkıştırılarak, hangi tekniğin daha verimli sıkıştırma sağladığı analiz edilmektedir.

Verinin sıkıştırılması boyutunu azaltacağından, verinin iletilmesi için ihtiyaç duyulan bant genişliğinde de azalma sağlar. Bu durum, link bütçesi analizinde, kontrol grubu olarak almaç/göndermeç sistemlerinin diğer parametrelerinin aynı kaldığı ve yalnızca bant genişliğinin değiştiği varsayılarak incelenmiştir. Bant genişliğinin azalması ile gürültü sinyallerinin gücünün de azalacağı, dolayısıyla da aynı sistemler ile daha uzun haberleşme menzili elde edileceği

değerlendirilmektedir. Bunun yanında, haberleşme bant genişliği maliyetli bir parametredir ve belirli bir frekans aralığı ayrılmasını, RF sistemlerin uygun şekilde tasarlanmasını gerektirir. Bu yüzden gerçek hayat telemetre testlerinde de mühendisler tarafından sağlıklı haberleşmeye olanak veren en düşük bant genişliği seçilmeye çalışılmaktadır.

#### **4.1 Veri Sıkıştırma Teknikleri Analiz Çalışması**

Bu çalışma kapsamında sentetik olarak üretilen verilere, sırasıyla telemetre veri hızının 1, 5, 10, 15, 20 ve son olarak 32 Mbit/s olduğu durumlarda, kayıpsız sıkıştırma teknikleri (Huffman tekniği, aritmetik kodlama) ile kayıpsız sözlük tabanlı sıkıştırma tekniği (LZW) uygulanmıştır.

##### **4.1.1 Telemetre Verilerinin Oluşturulması**

Telemetre verileri, tezin önceki kısımlarında da anlatıldığı gibi sensör çıktılarından, uçuş parametrelerinden ve güdüm bilgisayarından (işlemci birim) gelen diğer sinyallerden oluşmaktadır. Gerçek telemetre verileri elde edilemediği için bu çalışma kapsamında bahsi geçen veriler sentetik olarak üretilmiştir.

Veriler oluşturulurken önce çerçeve yapısı düzenlenmiştir. Gerçek telemetre verilerinden ve sensörlerin çıktı verme sıklığından yararlanılarak oluşturulan bu yapı, beş adet küçük (*minor*) çerçevenin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Küçük çerçevedeki yapı, her 2 milisaniyede bir tüm kaynaklardan örnek alınması ile oluşmaktadır. Örneğin bir sensörden 2. ms'de birinci, 4. ms'de ikinci veri alınacaktır. Ana çerçevenin yere gönderilme sıklığı ise her 10 ms'de bir gerçekleşmektedir. Ana çerçeve oluşturulurken, her bir veri 2 ms'de bir örneklenerek 10 ms'lik ana çerçevenin içine yerleştirilmektedir. Dolayısıyla her bir veri ana çerçevede 5 kere örneklenmektedir. Verilerin her birinin uzunluğu 32 bit'tir. Zira geliştirilen senaryoya göre, sensörlerin çıktıları 32 bit olarak ikili düzende gönderilmektedir. Oluşturulan çerçeve yapısı Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Sentetik telemetre verisi için oluşturulan çerçeve yapısı

Ana Çerçeve						
Veri Türü	1.Küçük Çerçeve	2.Küçük Çerçeve	3.Küçük Çerçeve	4.Küçük Çerçeve	5.Küçük Çerçeve	Çerçeve Bit Sayısı
Sayaç1	Sayaç1	Sayaç1	Sayaç1	Sayaç1	Sayaç1	32 Bit
İvme X	İvme X	İvme X	İvme X	İvme X	İvme X	32 Bit
İvme Y	İvme Y	İvme Y	İvme Y	İvme Y	İvme Y	32 Bit
İvme Z	İvme Z	İvme Z	İvme Z	İvme Z	İvme Z	32 Bit
Sıcaklık 1	Sıcaklık 1	Sıcaklık 1	Sıcaklık 1	Sıcaklık 1	Sıcaklık 1	32 Bit
Sıcaklık 2	Sıcaklık 2	Sıcaklık 2	Sıcaklık 2	Sıcaklık 2	Sıcaklık 2	32 Bit
Sıcaklık 3	Sıcaklık 3	Sıcaklık 3	Sıcaklık 3	Sıcaklık 3	Sıcaklık 3	32 Bit
Sıcaklık 4	Sıcaklık 4	Sıcaklık 4	Sıcaklık 4	Sıcaklık 4	Sıcaklık 4	32 Bit
Basınç 1	Basınç 1	Basınç 1	Basınç 1	Basınç 1	Basınç 1	32 Bit
Basınç 2	Basınç 2	Basınç 2	Basınç 2	Basınç 2	Basınç 2	32 Bit
Basınç 3	Basınç 3	Basınç 3	Basınç 3	Basınç 3	Basınç 3	32 Bit
Basınç 4	Basınç 4	Basınç 4	Basınç 4	Basınç 4	Basınç 4	32 Bit
Gerilim 1	Gerilim 1	Gerilim 1	Gerilim 1	Gerilim 1	Gerilim 1	32 Bit
Gerilim 2	Gerilim 2	Gerilim 2	Gerilim 2	Gerilim 2	Gerilim 2	32 Bit
Gerilim 3	Gerilim 3	Gerilim 3	Gerilim 3	Gerilim 3	Gerilim 3	32 Bit
Gerilim 4	Gerilim 4	Gerilim 4	Gerilim 4	Gerilim 4	Gerilim 4	32 Bit
Hız Vektörü 1	Hız Vektörü 1	Hız Vektörü 1	Hız Vektörü 1	Hız Vektörü 1	Hız Vektörü 1	32 Bit
Hız Vektörü 2	Hız Vektörü 2	Hız Vektörü 2	Hız Vektörü 2	Hız Vektörü 2	Hız Vektörü 2	32 Bit
Hız Vektörü 3	Hız Vektörü 3	Hız Vektörü 3	Hız Vektörü 3	Hız Vektörü 3	Hız Vektörü 3	32 Bit
Hız Vektörü 4	Hız Vektörü 4	Hız Vektörü 4	Hız Vektörü 4	Hız Vektörü 4	Hız Vektörü 4	32 Bit
Güdümlü 1	Güdümlü 1	Güdümlü 1	Güdümlü 1	Güdümlü 1	Güdümlü 1	32 Bit
Güdümlü 2	Güdümlü 2	Güdümlü 2	Güdümlü 2	Güdümlü 2	Güdümlü 2	32 Bit
Güdümlü 3	Güdümlü 3	Güdümlü 3	Güdümlü 3	Güdümlü 3	Güdümlü 3	32 Bit
Güdümlü 4	Güdümlü 4	Güdümlü 4	Güdümlü 4	Güdümlü 4	Güdümlü 4	32 Bit

Çizelge 4.1'de gösterilen, 24 farklı verinin gönderimini esas alan veri yapısı örneğine göre 10 ms'de bir elde edilen veri katarının boyutu şu şekildedir:

24 (veri çeşidi sayısı) \* 32 (her bir verinin uzunluğu) \* 5 (10 ms'de örnekleme sayısı) = **toplam 3840 bit.**

Aynı hesap bir saniyelik zaman dilimi için genişletildiğinde de, 0.38 Megabit boyutunda bir veri katarına ulaşılır. Yani bu telemetre çerçeve yapısı ile saniyede 3.840.000 bit yer istasyonuna gönderilmektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen analiz için, bu örnek çerçevedeki veri çeşidi sayısı parametresi artırılmıştır. Günümüzde 10 Mbps ve üstü veri aktarımı, telemetre uygulamalarında genellikle kullanılmamaktadır. Buna rağmen, bu çalışmada daha yüksek boyutlar analiz edilmektedir. Bu tercihin dayanağı, savunma sanayii tarafından üretilen füzelerin menzil ve etki gücü arttıkça testlerde ihtiyaç duyulan sensör sayısının artmasıdır. Tasarım karmaşık hale geldikçe telemetre verilerinin boyutunun da artması kaçınılmazdır. Örneğin; kısa menzilli bir füze için 4 sıcaklık sensörü yeterli iken, uzun menzilli ve fiziki hacmi de daha büyük bir kıtalararası füze için gereken sensör sayısı çok daha fazla olacaktır. Uzay aracı, yani roketler için ise bunun da üstünde veri boyutları gerekebilecektir.

Çizelge 4.2 Tez çalışması kapsamında kullanılacak çerçeve aktarım hızları ve varsayılan veri sayıları

Çerçeve Hızı	Veri Sayısı
1 Mbps	63
5 Mbps	315
10 Mbps	630
15 Mbps	945
20 Mbps	1260
32mpbs	1890

Sentetik verilerin üretilmesi esnasında verilerin değişim hızları gerçek durumla uyumlu olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu da benzetim çalışmalarının ve devamı olan analizlerin gerçekçi sonuçlar elde edebilmesine olanak sağlamıştır. 10 ms'lik ana çerçeve yapısı çok kısa bir süreyi kapsadığı için gerçek durumda verilerde çok büyük değişimler genellikle beklenmemektedir. En fazla değişikliği ivme, hız ve özellikle de pozisyon verileri göstermektedir. Örnek olarak pozisyon verisinde nasıl bir değişim olacağı şu şekilde öngörülebilir: Füze saatte 3600 km/s hızla ilerlemektedir ve bu durumda saniyede 1 km yol alır. Küçük çerçevelerin her biri 2 ms'de bir örnek almaktadır ve bu da 0,0005 metrelik bir ilerlemeyi/ değişimi işaret eder.

Pozisyon verisindeki bu basit hesaplama, analiz çalışmalarında temel alınmış ve her bir veri pozisyon vektöründeki varsayılan artıştan da fazla miktarda (0.001 birim değişim) arttırılarak 32-bit-floating point cinsinden ana çerçeve yapısı oluşturulmuştur.

Üretilen sentetik verilerin (Bkz. örnek veri Ek-4) sıkıştırılabilmeleri için ise, kullanılan tekniklere uygun hale getirilmeleri gerekmektedir. Huffman algoritması ve LZW tekniği için sensör ve işlemcilerden alınan ikili düzendeki (*binary*, 1 veya 0) veriler, Hexadecimal yani 16'lık düzene getirilmiştir.

Hexadecimal (HEX) alfabesinde hangi sembollerin (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F) bulunduğu göndermeç ve almaç tarafından bilinecektir. Bu nedenle kodlamanın çözülmesi için alfabenin yere iletilmesine gerek olmayacaktır. Bu sayede, HEX düzeninde her bir basamak 4 bit ile ifade edildiğinden  $16 \times 4 = 64$  bit'lik bir tasarruf sağlanmaktadır.

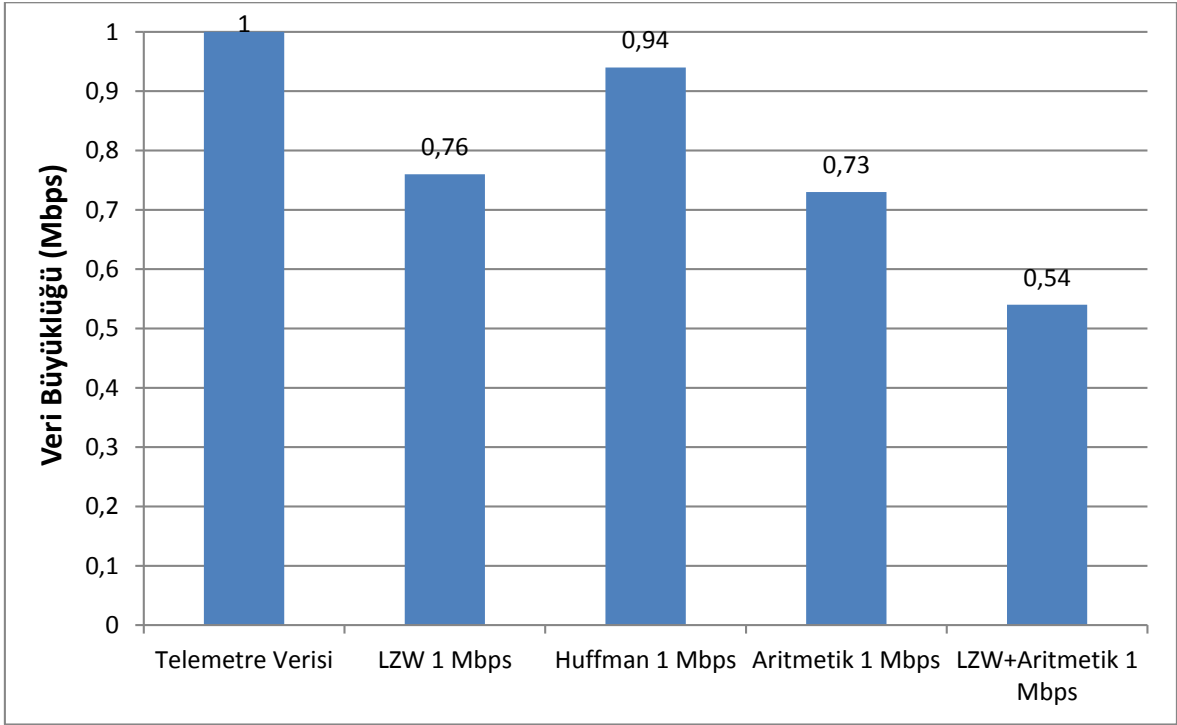
Aritmetik kodlama metodu ile sıkıştırma yapılırken ise, 1 ve 0'lardan oluşan bit dizisi formatı değiştirilmeden sıkıştırılmaktadır. Yer istasyonuna da ilk önce hangi sembolün kodda yer aldığını gösteren belirteç bitleri (2 bit) ve sıkıştırmada sembol dizisine karşılık olarak elde edilen ondalık sayı iletilmektedir. Ondalık sayı gönderilmeden önce 32-bit floating point haline getirilmektedir. Sıkıştırmanın etkili olabilmesi için, veriler 48 bitlik paketler halinde veri sıkıştırma bloğuna alınmıştır. Zira bu bit sayısı 32-bitlik gerçek sayıya çevirme işleminde hata yaratmadan işlem yapılabilecek maksimum sayıdır. Örneğin bunun yerine 60 bitlik paketler halinde kodlama yapılırsa, aritmetik kodlama çıktısı olan ondalık sayı 32 bitle eksik ifade edilmiş olur ve almaç sistem veriyi çözümlerken hata yapar.

Yukarıda anlatılan prensipler göz önüne alınarak; sentetik veri boyutu 1 Mbps, 5 Mbps, 10 Mbps, 15 Mbps, 20 Mbps, 32 Mbps veri hızlarını sağlayacak şekilde değiştirilmiş, sıkıştırma teknikleri uygulanarak sıkıştırılmış, sonrasında ise sonuçlar üzerinde etkinlik değerlendirmesi ve link bütçesi analizleri gerçekleştirilmiştir.

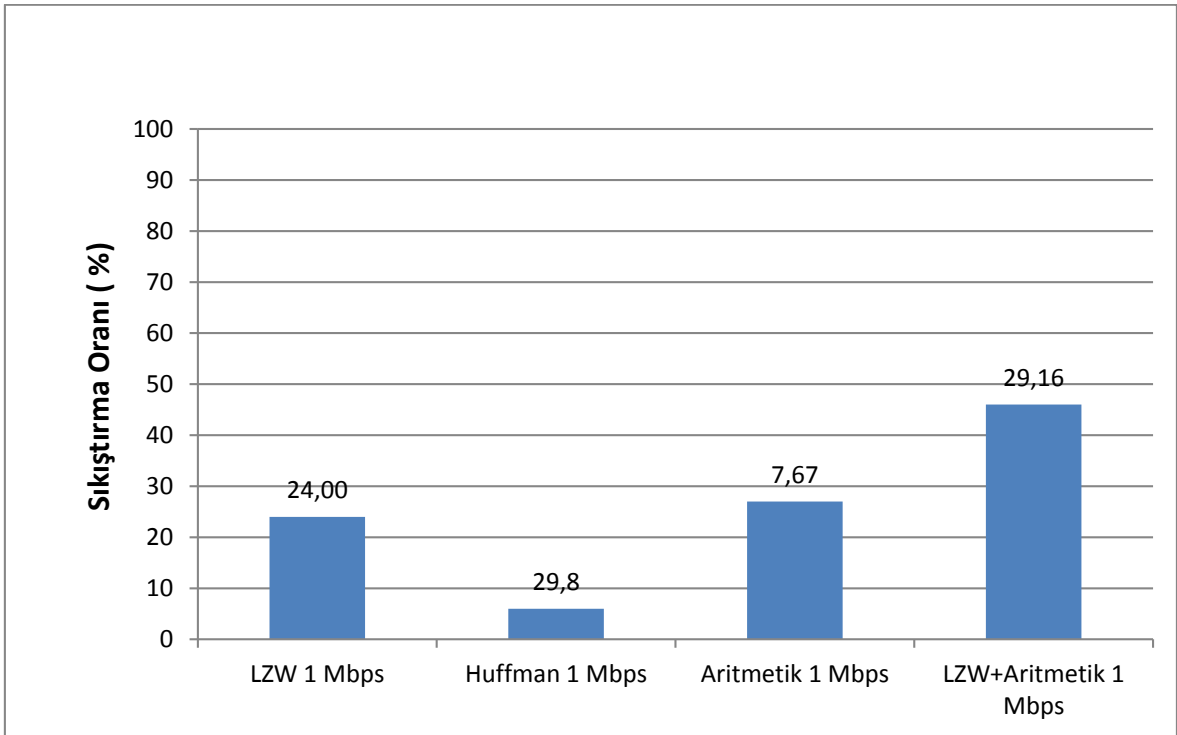
#### **4.1.2 Telemetre Verisi 1 Mbps için Analiz Sonuçları**

Sentetik veriler, telemetre verileri saniyede 1 Mb olacak şekilde ayarlandığında veri sıkıştırma yöntemlerinin etkisini gösterecek şekilde üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, LZW tekniği ve aritmetik kodlama tekniği ardışık olarak

uygulandığında (LZW+Aritmetik) çıkan sonuçlar daha verimli sıkıştırmaya işaret etmektedir.



Şekil 4.1 1 Mbitlik telemetre verisi için sıkıştırma algoritmalarının etkisi

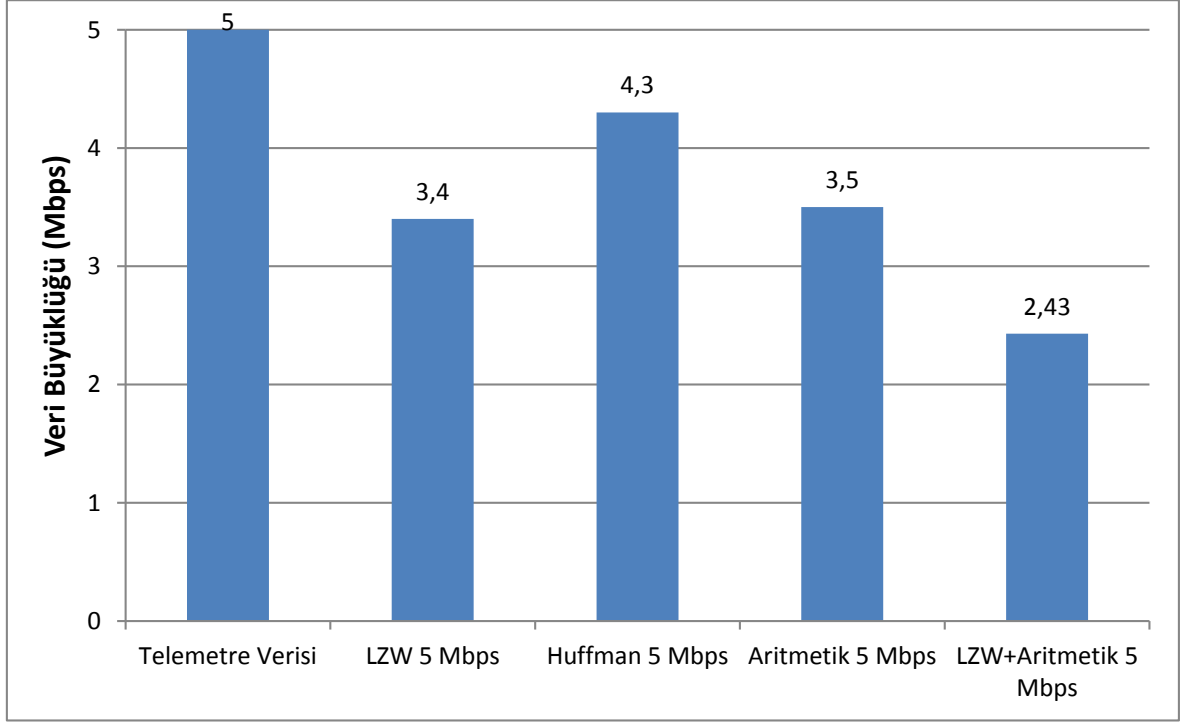


Şekil 4.2 1 Mbitlik telemetre verisi için elde edilen sıkıştırma oranları

Şekil 4.2’de gösterilen sıkıştırma oranları, ham veri ile sıkıştırılmış veri arasındaki farkı ham veri boyutuna bölüp yüzdeye çevirerek bulunmaktadır.

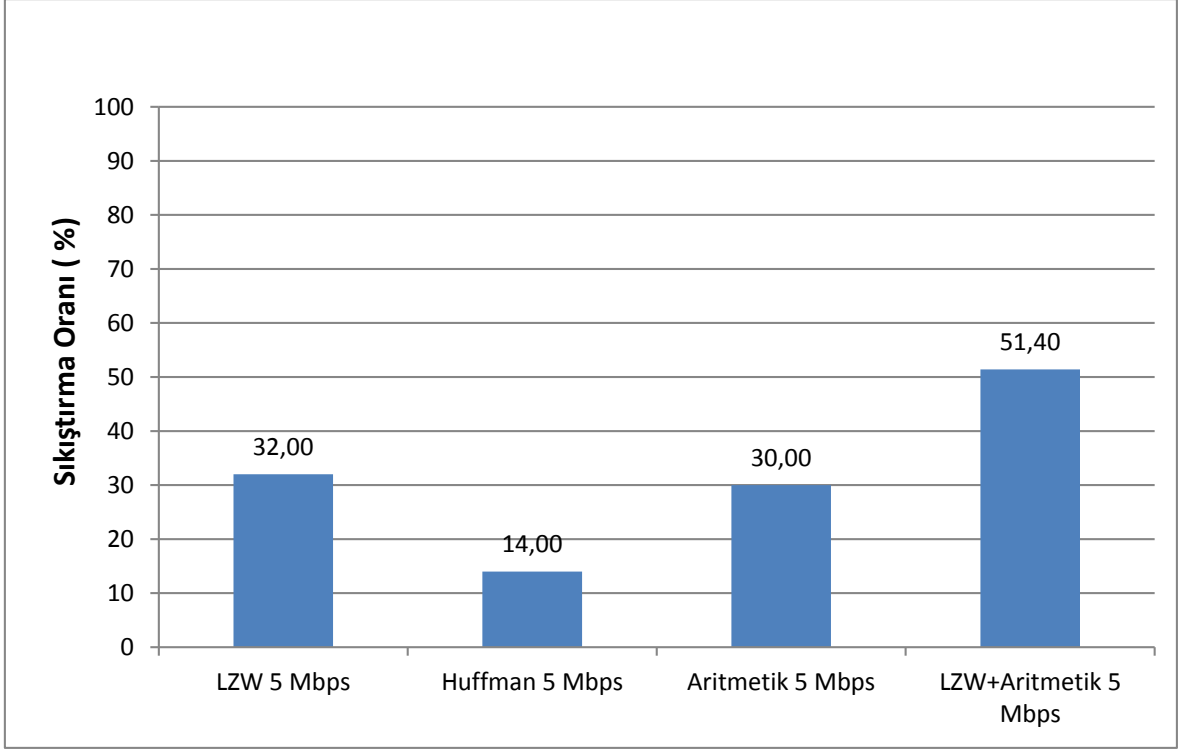
#### 4.1.3 Telemetre Verisi 5 Mbps için Analiz Sonuçları

Üretilen sentetik veri büyüklüğü artırıldığında aynı etkiler gözlemlenmiştir. Sıkıştırma oranı üstünden bir değerlendirme yapıldığında ise LZW+Aritmetik tekniği ile %51,40’lik bir sıkıştırma elde edilmiştir.



Şekil 4.3 5 Mbitlik Telemetre Verisi için Sıkıştırma Algoritmalarının Etkisi

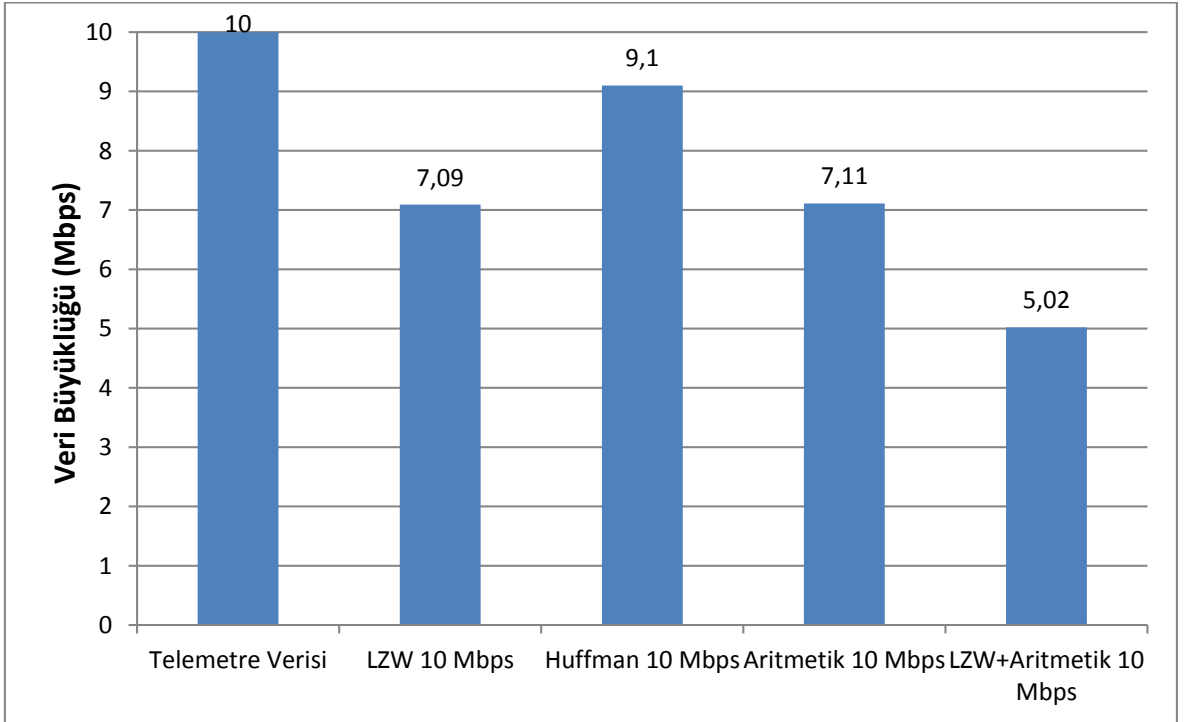




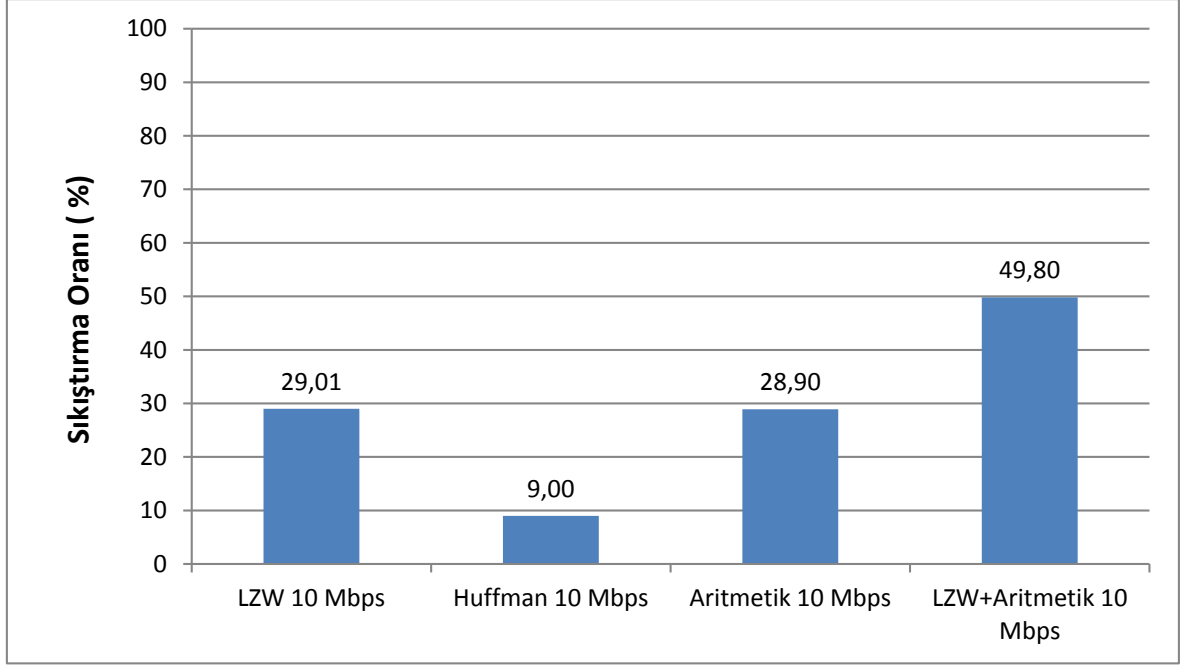
Şekil 4.4 5 Mbitlik Telemetre Verisi için Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

#### 4.1.4 Telemetre Verisi 10 Mbps için Analiz Sonuçları

Veri boyutu saniyede 10 Mb olacak şekilde ayarlandığında, sıkıştırma oranlarında düşme gözlemlense de LZW+Aritmetik en etkili yöntem olmaya devam etmiştir.



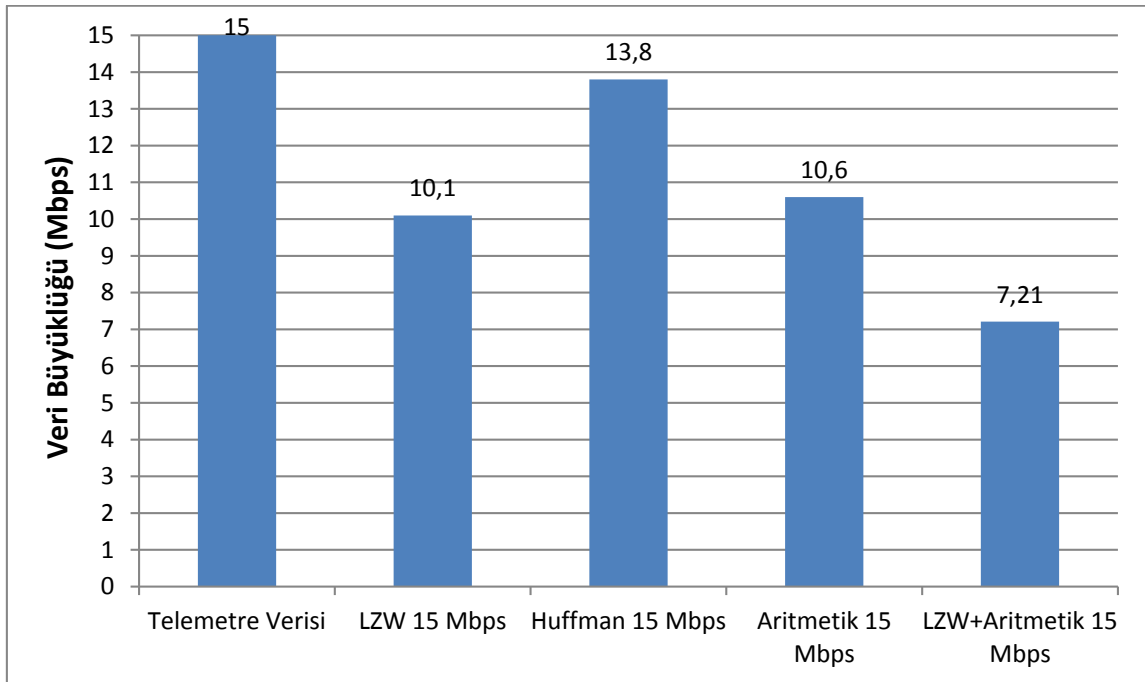
Şekil 4.5 10 Mbitlik Telemetre Verisi için Sıkıştırma Algoritmalarının Etkisi



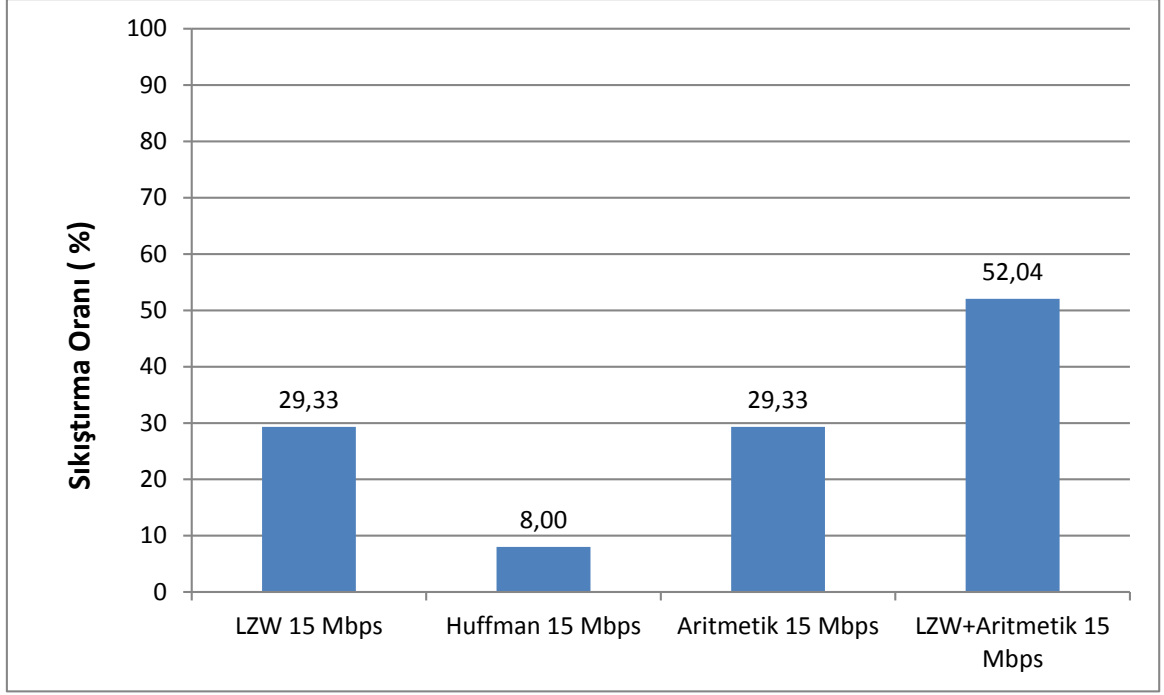
Şekil 4.6 10 Mbitlik Telemetre Verisi için Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

#### 4.1.5 Telemetre Verisi 15 Mbps için Analiz Sonuçları

Telemetre verileri boyutu 15 Mb'ye çıkarıldığında Huffman algoritması kullanılan teknik için elde edilen sıkıştırma oranı azalmış, ancak diğer tekniklerin etkinliğinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. LZW+Aritmetik tekniği için ise sıkıştırma oranı, 10 Mbit'lik ham veri boyutuna kıyasla yaklaşık %2,24'lük bir artış göstermiştir.



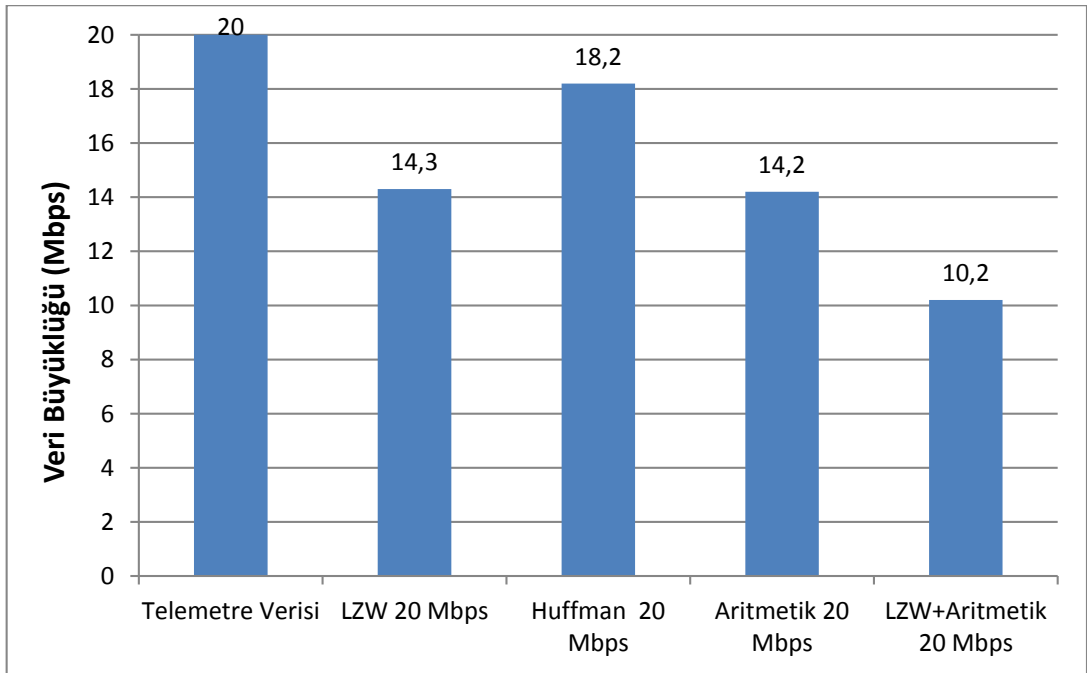
Şekil 4.7 15 Mbitlik Telemetre Verisi için Sıkıştırma Algoritmalarının Etkisi



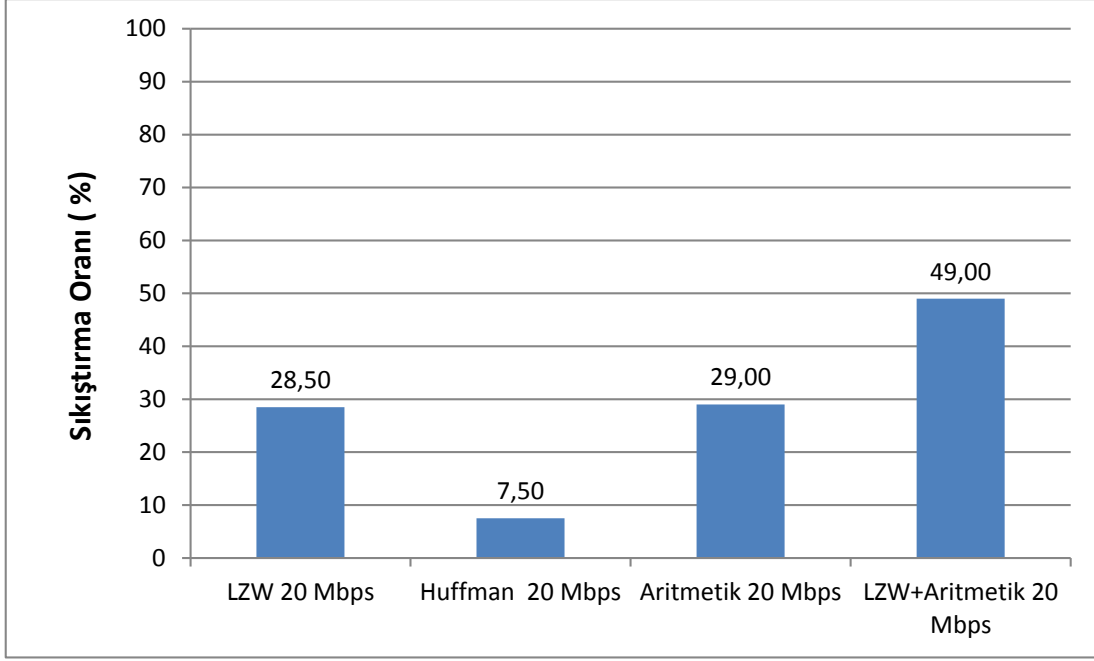
Şekil 4.8 15 Mbitlik Telemetre Verisi için Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

#### 4.1.6 Telemetre Verisi 20 Mbps için Analiz Sonuçları

Telemetre veri hızı 20 Mbps'e yükseltildiğinde ise LZW ve Aritmetik kodlama tekniklerinin başarımlarının sıralaması değişmiş, Aritmetik kodlama daha başarılı bir sıkıştırma oranı sağlamıştır. Yine de, en başarılı teknik olarak LZW+Aritmetik yöntemi ön plana çıkmaktadır.



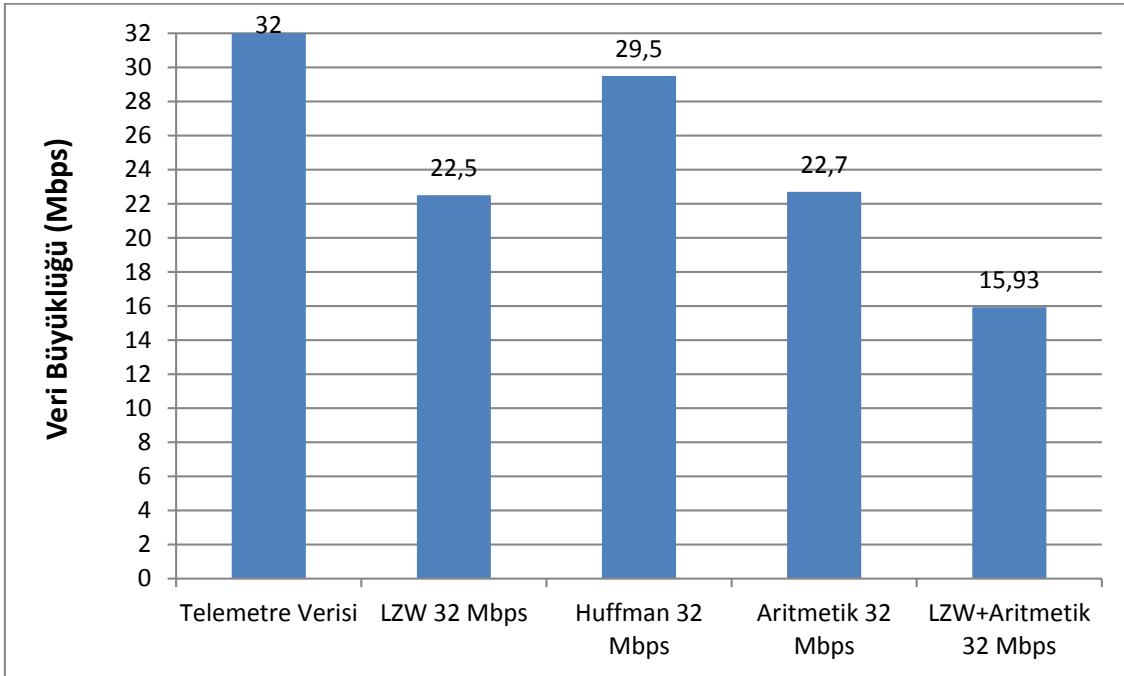
Şekil 4.9 20 Mbitlik Telemetre Verisi için Sıkıştırma Algoritmalarının Etkisi



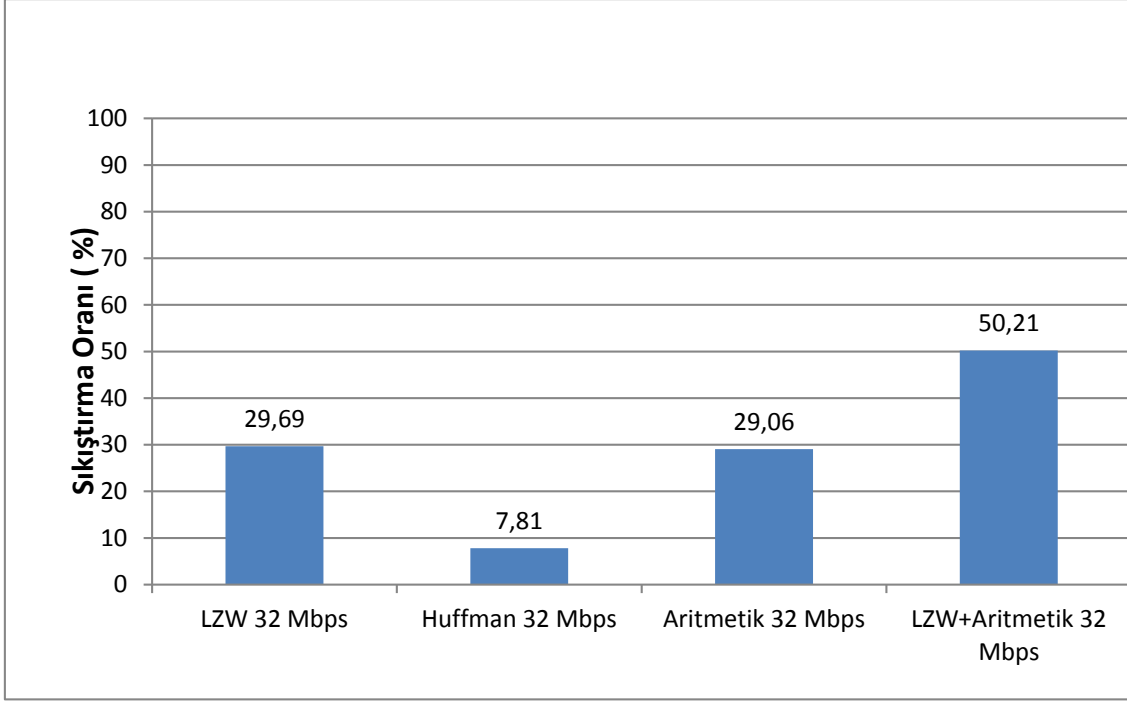
Şekil 4.10 20 Mbitlik Telemetre Verisi için Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

#### 4.1.7 Telemetre Verisi 32 Mbps için Analiz Sonuçları

32 Mb'lık veri boyutu için ise LZW+Aritmetik tekniği en çok sıkıştırmayı sağlamış ve 20 Mb'lık veri sonuçları için elde edilenden daha yüksek bir etkinlik sağlamıştır.

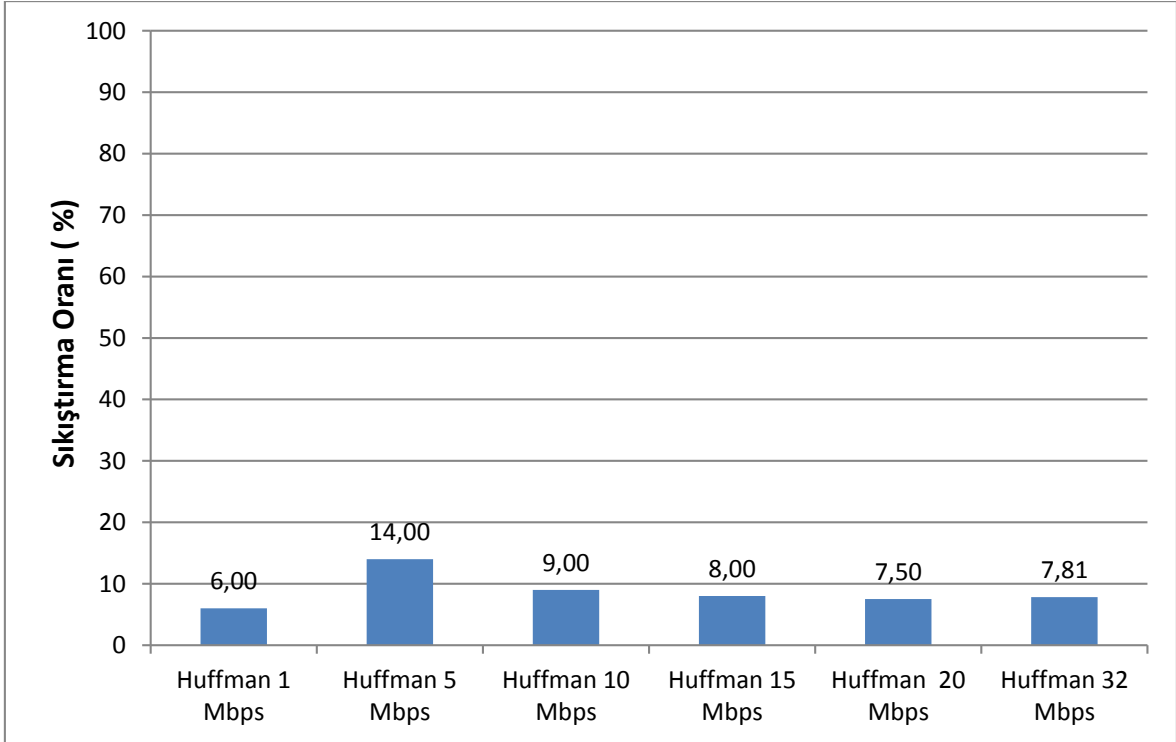


Şekil 4.11 32 Mbitlik Telemetre Verisi için Sıkıştırma Algoritmalarının Etkisi

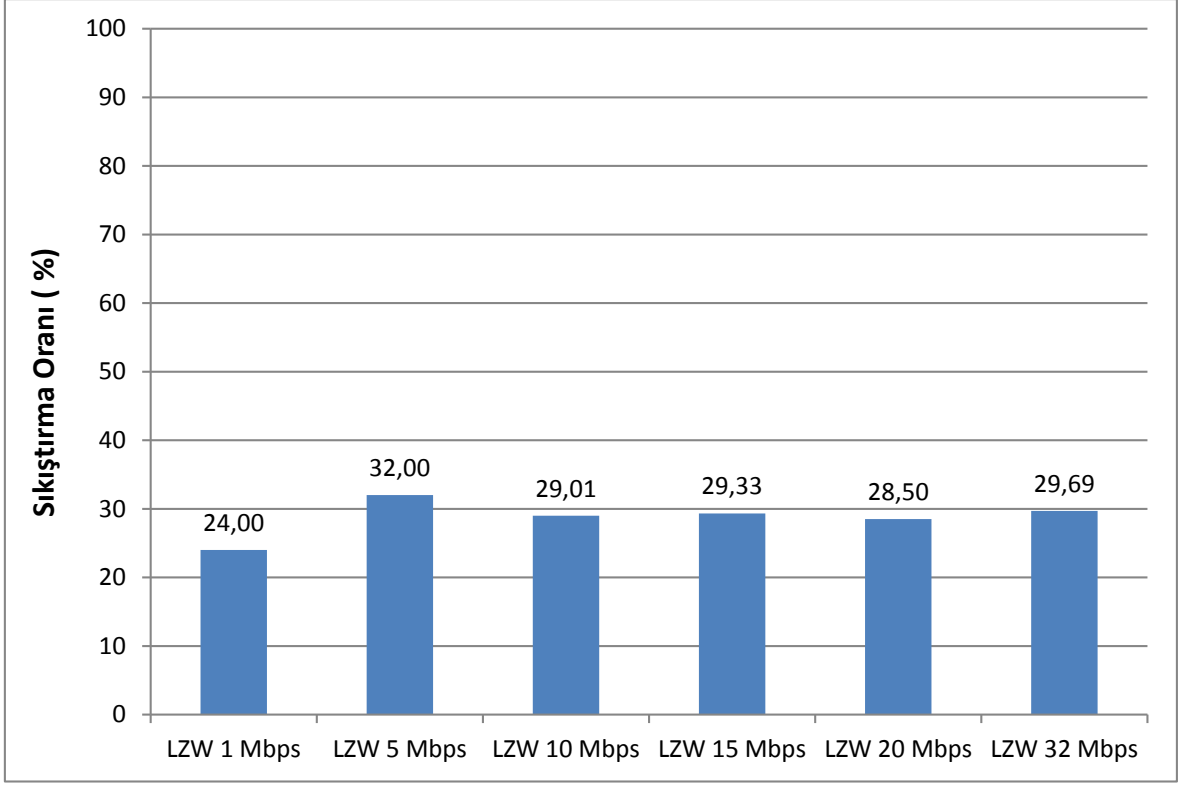


Şekil 4.12 32 Mbitlik Telemetre Verisi için Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

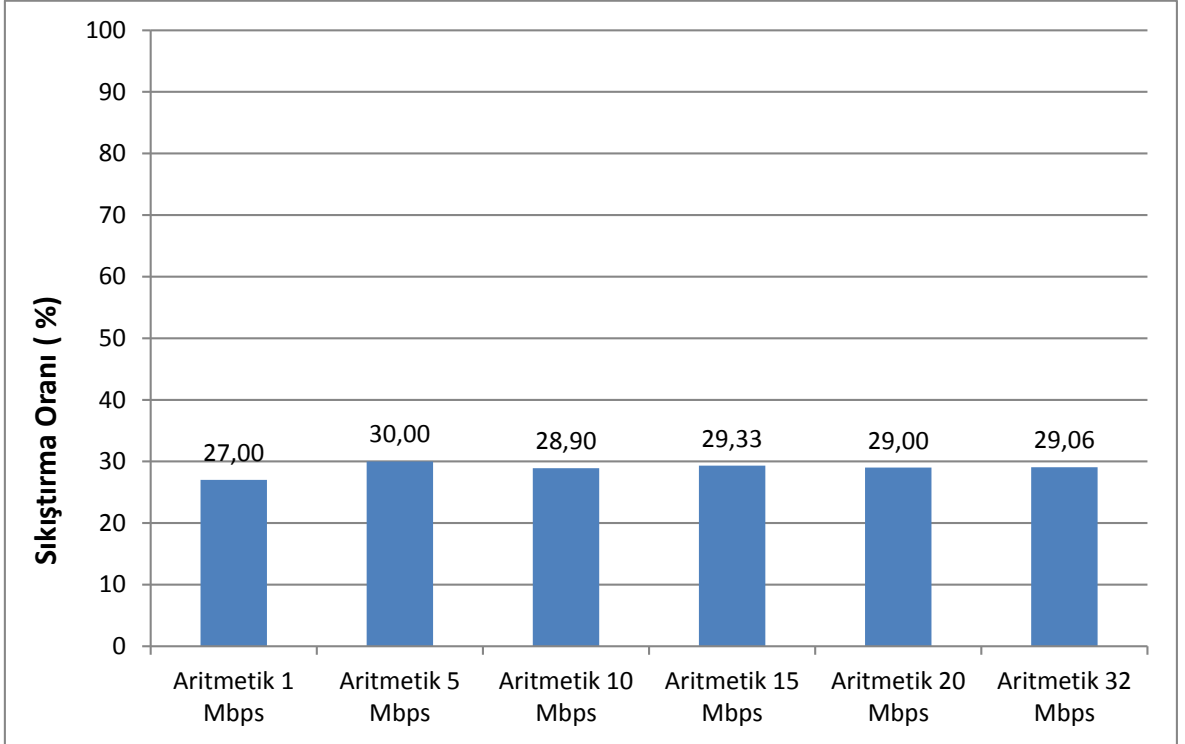
#### 4.1.8 Sıkıştırma Tekniklerinin Farklı Veri Boyutlarında Etkinlik Analizi



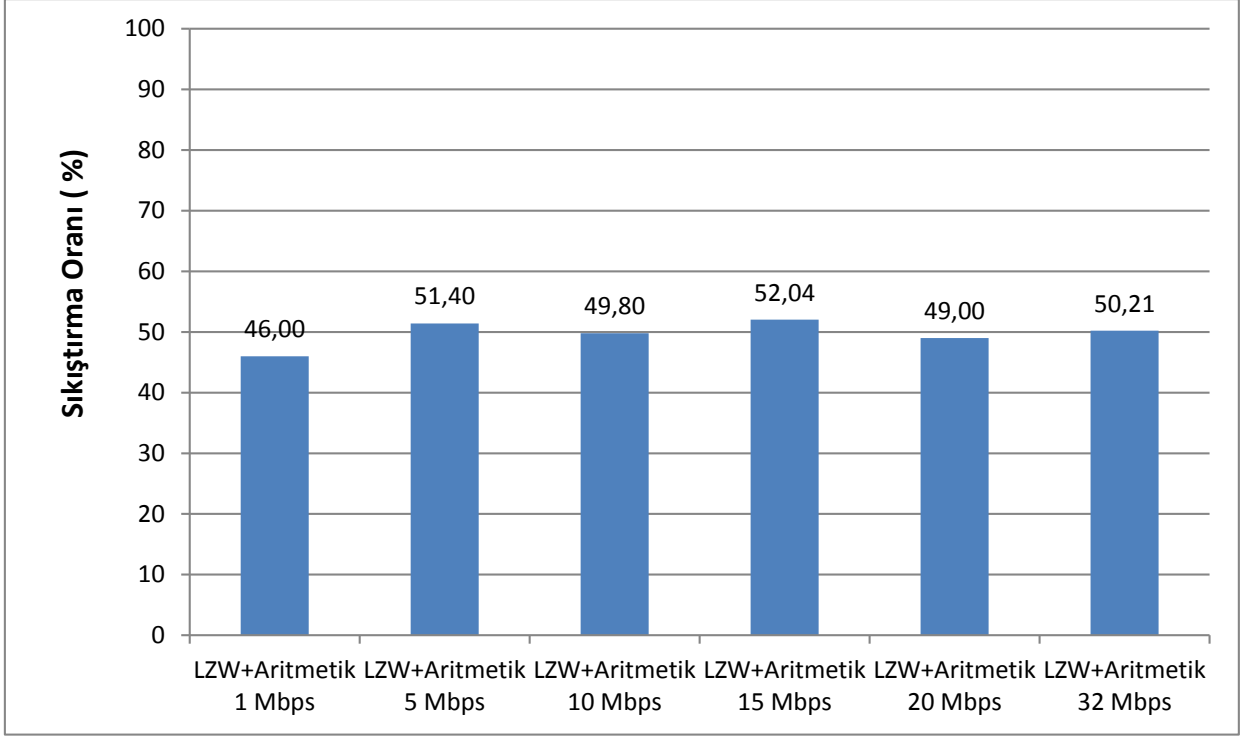
Şekil 4.13 Huffman Algoritması ile Veri Sıkıştırmanın Veri Boyutuna Göre Etkinliği



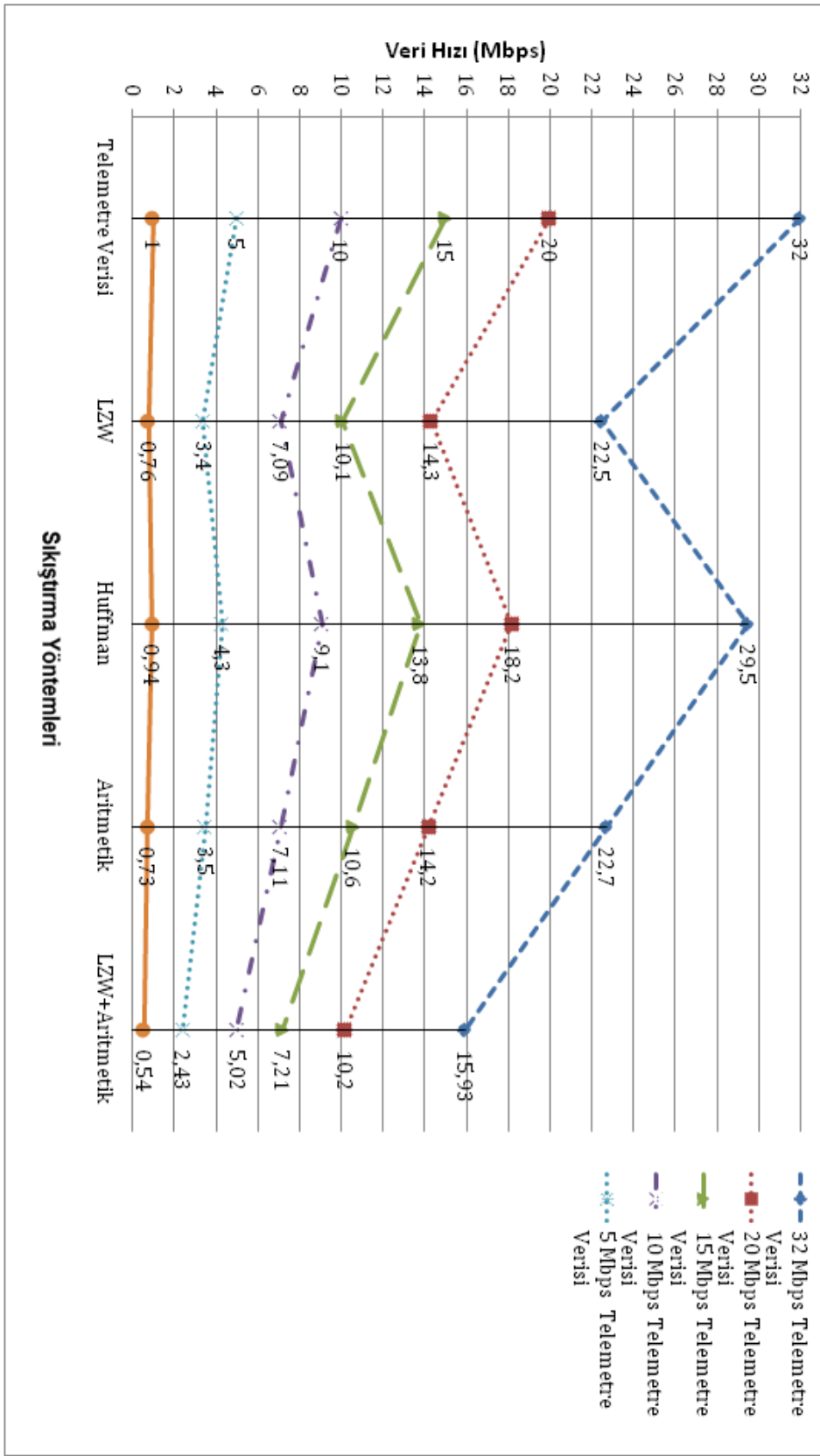
Şekil 4.14 LZW Tekniği ile Veri Sıkıştırmanın Veri Boyutuna Göre Etkinliği



Şekil 4.15 Aritmetik Kodlama Tekniği ile Veri Sıkıştırmanın Veri Boyutuna Göre Etkinliği

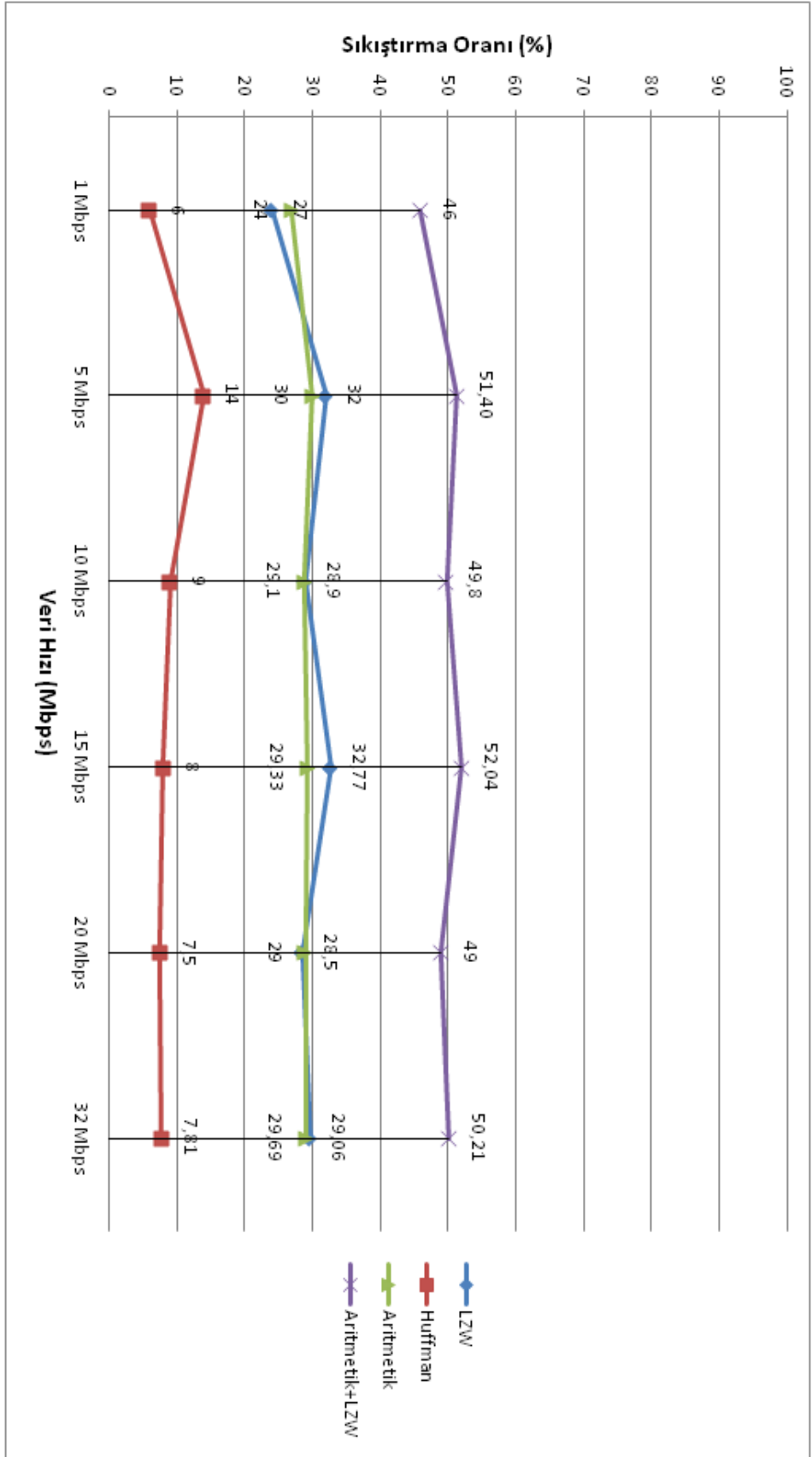


Şekil 4.16 LZW ve Aritmetik Kodlama Tekniklerinin Birlikte Uygulanması ile Veri Sıkıştırmanın Veri Boyutuna Göre Etkinliği



Şekil 4.17 Kullanılan Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Elde Edilen Veri Hızları





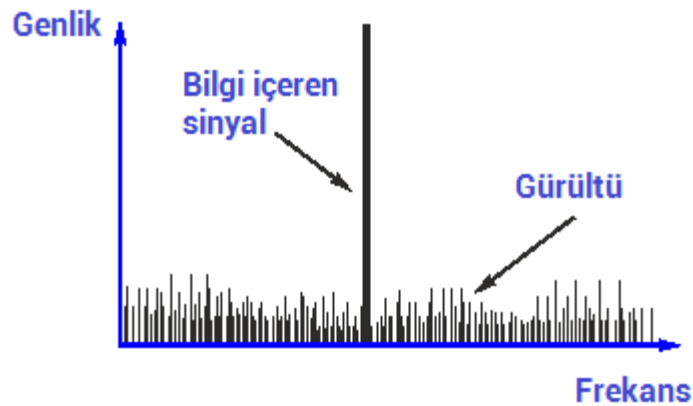
Şekil 4.18 Kullanılan Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Elde Edilen Sıkıştırma Oranları

#### 4.1.9 Veri Sıkıştırma Teknikleri ile Azaltılan Bant Genişliğinin Haberleşme Menziline Etkileri

Tezin önceki kısımlarında RF haberleşmeye etki eden faktörler açıklanmaktadır. Sıkıştırma sonrası azalan toplam telemetre verisi boyutunun haberleşme menziline etkisi ise bu bölümde incelenecektir.

Bu aşamada öncelikli olarak bazı tanımların açıklanmasında fayda vardır. Bir sinyalin bant genişliği, gönderilen sinyalin içindeki bulunan frekanslar tarafından belirlenir ve göndermeç tarafından belirlenir. Kanal bant genişliği, bir iletişim kanalının zayıflatmadan sinyali taşıması için gereken sinyal bant genişliğidir. Kanal kapasitesi ise bir iletişim linki (kanal) için tanımlanır ve taşınabilecek maksimum veri hızını bit/saniye cinsinden tarifler.

Bir haberleşme kanalı için sinyal zayıflamasına neden olan pek çok faktör vardır. Bunun yanında gürültü, bilgi taşıyan sinyalin gereksiz sinyallerle karıştırılmasına ve sinyalin hiç alınamamasına neden olabilen bir faktör olarak hesaplamalarda mutlaka dikkate alınmaktadır. Termal (ısı) gürültü, bir maddedeki elektronların 'heyecanlı' duruma geçmeleri sonucunda oluşur. Sıcaklık arttıkça elektronların hareketi de artar ve elektronik sistemler için gürültü oluşur. Bu gürültü, sinyal gücü ile gürültü gücünü ayırma kabiliyeti olmadığı için haberleşme sistemlerinde almaç sistemlerin iletilen verileri alamamasına sebep olabilmektedir. Şekil 29'da gürültü ve bilgi içeren sinyal birlikte görülmektedir. Tüm sistem ve maddelerde elektronlar bulunduğu için bu gürültüyü tamamen elimine etmenin bir yolu yoktur.



Şekil 4.19 Frekans ve genlik açısından sinyal ve gürültü gücünün gösterimi [20]

Almaç sisteme ulaşan sinyalde anlamlı bilginin miktarı Eşitlik 4.1'de verilen formül ile SNR (*Signal-to-Noise*) oranı bulunarak ölçülür ve iletişim sisteminin tüm kısımlarında parametre olarak kullanılır.

$$\text{SNR} = (P_{\text{sinyal}}) / (P_{\text{gürültü}}) \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de P ile ortalama güç değeri ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, telemetre verisinin boyutu farklı sıkıştırma algoritmaları ile azaltılmıştır. Veri boyutundaki bu azalışın haberleşme menziline yaptığı dolaylı etkiyi (gürültü gücü sebebiyle) incelenmek için link bütçesi hesabı yapılmıştır. Telsiz haberleşme sistemlerinin tümünde geçerli olan link bütçesi analizi için uygulanan esaslar aşağıda açıklanmaktadır [21].

Analiz kapsamında füze üstü göndermeç birimi için kabul edilen parametreler şu şekildedir:

- Göndermeç (transmitter) çıkış gücü: 10 dBW
- Kablaj kaynaklı kayıplar: 0.5 dB
- Göndermeç iletim hattı kayıpları: 0.5 dB
- Göndermeç anten kazancı: -5 dB (Füze üstü anten her yöne yayın yapacağı ve izotropik olacağı için kazancı düşük olmaktadır.)
- Bu bilgilerle füze üstü antenden çıkan etkin yayın gücü değeri varsayımsal olarak şu şekilde bulunabilir:
- $10 - 0.5 - 0.5 + (-5) = 4$  dBW

RF kanalda yaşanan kayıplar için esas alınan parametreler de aşağıda verilmektedir;

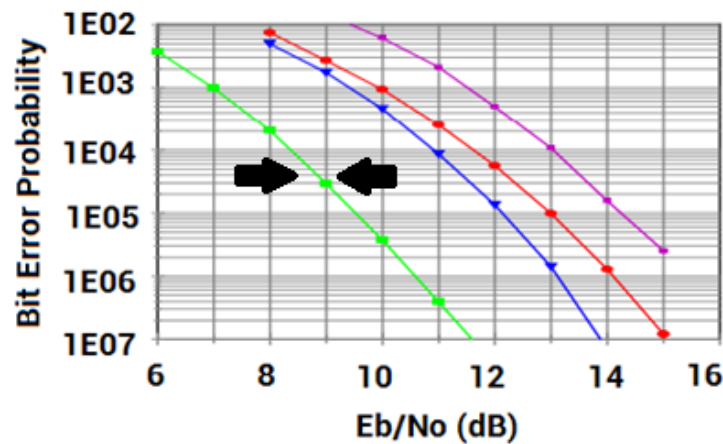
- Almaç-göndermeç antenler arası polarizasyon kaybı: 3 dB
- Atmosferik sinyal kaybı: 0.5 dB
- Füze-telemetre yer istasyonu antenleri arası mesafe: 50 Km
- Mesafe kaynaklı kayıp, Serbest Uzay Kaybı (*Free-Space Path Loss, FSPL*) olarak tanımlanabilir ve diğer koşulların sabit olduğu bir durumda RF sinyalin havada yayılırken ne kadar zayıfladığını tarifler:
- $\text{FSPL} = 32,48 + 20 * \log (\text{Frekans, MHz}) + 20 * \log (\text{Mesafe, Km})$

Telemetre yer istasyonu, yani alıcı kısma ait parametreler ise şu şekilde belirlenmiştir:

- Almaç anten kazancı: 20 dB
- Almaç iletim hattı kayıpları: 1.2 dB
- Almaç sıcaklığı: 288.6 K
- Modülasyon kaynaklı başarımlı ölçüsü (*figure of merit*): Alıcı anten kazancı-iletim hattı kaybı-10\*log(alıcı anten iletim hattı gürültü sıcaklığı)
- Boltzman sabiti (dBW/K\*Hz) =228.6 dBW / K\*Hz
- Data hızı (Mbps)= 32 Mbps
- Bant genişliği (MHz)= Data Hızı \* 1.16=37.2 MHz
- Bit Gürültü Oranı:  $92.79 - 10 \cdot \log(37.2 \cdot 10^6) = 17.09$  dB
- Link Marjı: Bit Gürültü Oranı -9.5= 7.59 dB

Telemetre standart dokümanına göre engebesiz alanlarda yapılan atışlarda yaklaşık 10 dB'lik koruyucu bant, yani link marjı uygulanmaktadır [22]. Dağlık arazide ise yaklaşık 15 dB'lik bir pay bırakılması önerilmektedir. Çalışma kapsamında telemetre testinin düz alanda yapıldığı varsayılmıştır.

Yine standarda göre, gereksinim duyulan bit hata olasılığı (BEP; Bit Error Probability) için sağlanması gereken  $E_b/N_0$  oranı, kullanılan PCM/FM (*Pulse Code Modulation/ Frequency Modulation*) modülasyonuna göre Şekil 30'da, ok işareti ile gösterilen çizgiden okunmaktadır.



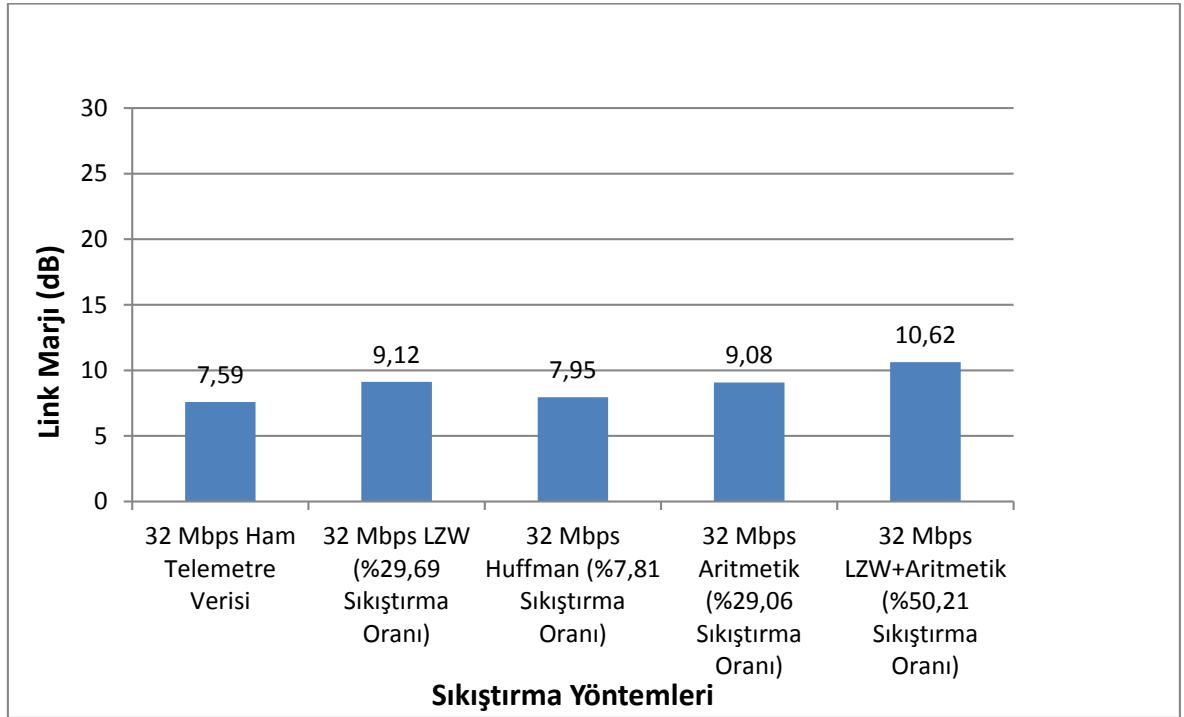
Şekil 4.20 PCM/FM Modülasyonu için BEP vs  $E_b/N_0$  grafiği [22]

Telemetre uygulamalarında BEP genellikle  $10^{-5}$  kabul edilmekte ve almanya tarafında ihtiyaç duyulan  $E_b/N_0$  da yaklaşık 9.5 dB olarak grafikten okunmaktadır.

Hesaplamalar, link bütçesinin tüm kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak bu varsayımsal değerler ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, mesafe sabit tutulmuş ve iletişime ait link marjı değerleri, farklı veri boyutları (farklı veri sıkıştırma metodları kullanılarak elde edilmiş olan) için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 50 Km İletişim Menzili ve 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri

50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
32 Mbps Ham Telemetre Verisi	7,59
32 Mbps LZW => 22,5 Mbps	9,12
32 Mbps Huffman => 29,5 Mbps	7,95
32 Mbps Aritmetik => 22,7 Mbps	9,08
32 Mbps LZW+Aritmetik => 15,93 Mbps	10,62



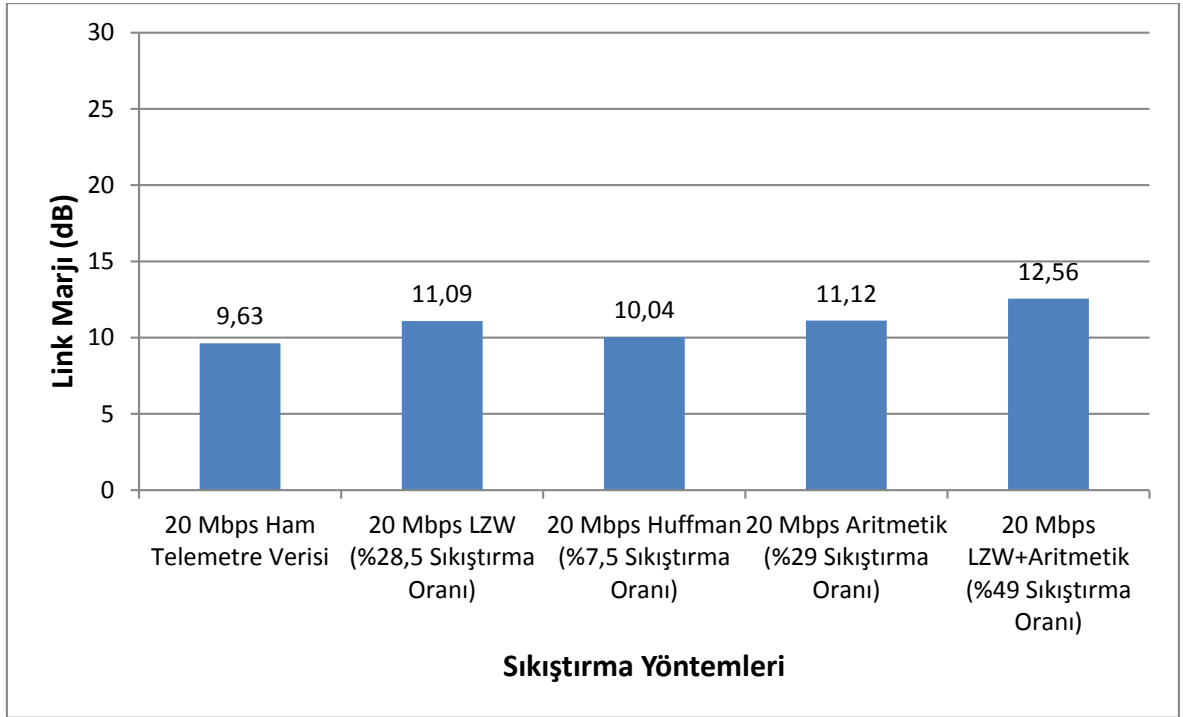
Şekil 4.21 50 Km İletişim Menzili ve 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafikselleştirilmesi

Yukarıda bulunan değerler incelendiğinde link marjı değerinin veri hızıyla ters orantılı olduğu görülebilmektedir. Link marjı iletişim sistemlerinde 'güvenli pay' bırakma miktarı olarak tanımlandığında, LZW+Aritmetik tekniği uygulanarak veri

boyutunu 15.93 Mbps'ye düşürmenin 10.62 dB'lik bir link marjıyla haberleşme güvenilirliğini arttırdığı değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.4 50 Km iletişim menzili ve 20 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerleri

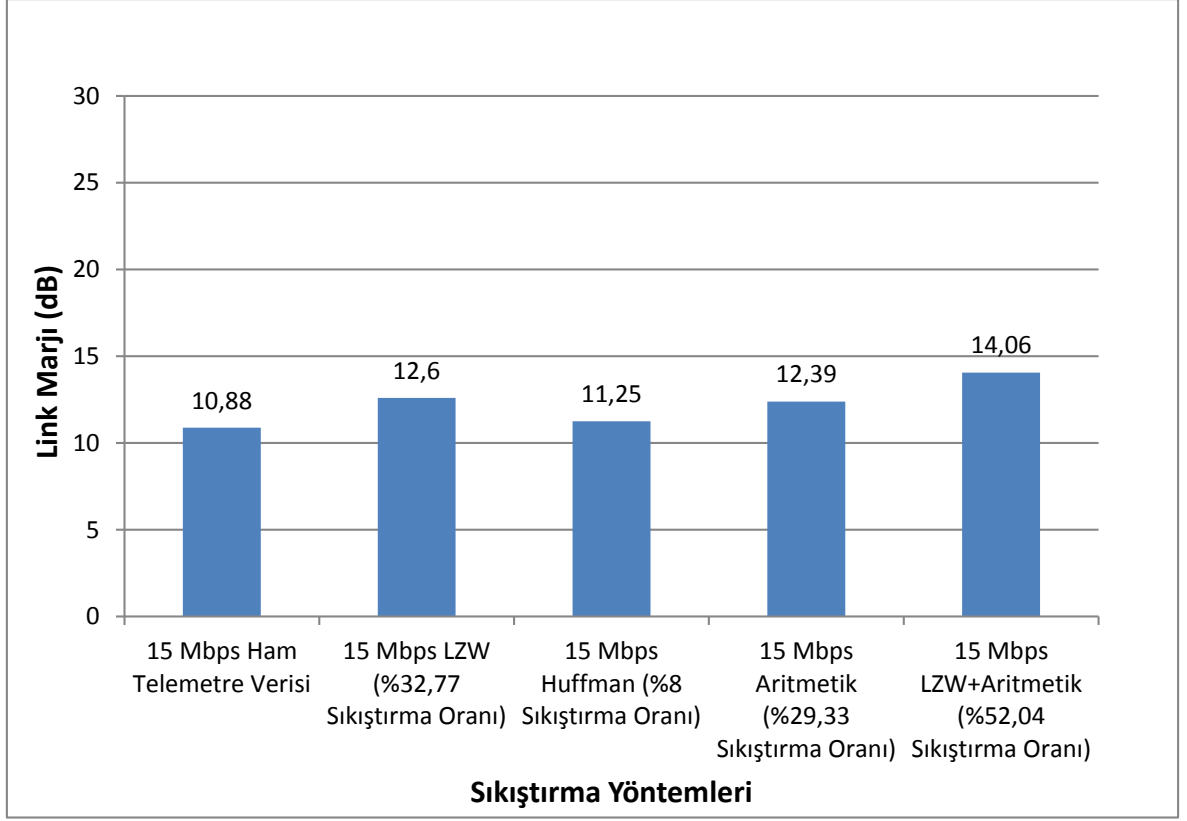
50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
20 Mbps Ham Telemetre Verisi	9,63
20 Mbps LZW => 14,3 Mbps	11,09
20 Mbps Huffman => 18,2 Mbps	10,04
20 Mbps Aritmetik =>14,2 Mbps	11,12
20 Mbps LZW+Aritmetik =>10,2 Mbps	12,56



Şekil 4.22 50 Km İletişim Menzili ve 20 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.5 50 Km İletişim Menzili ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri

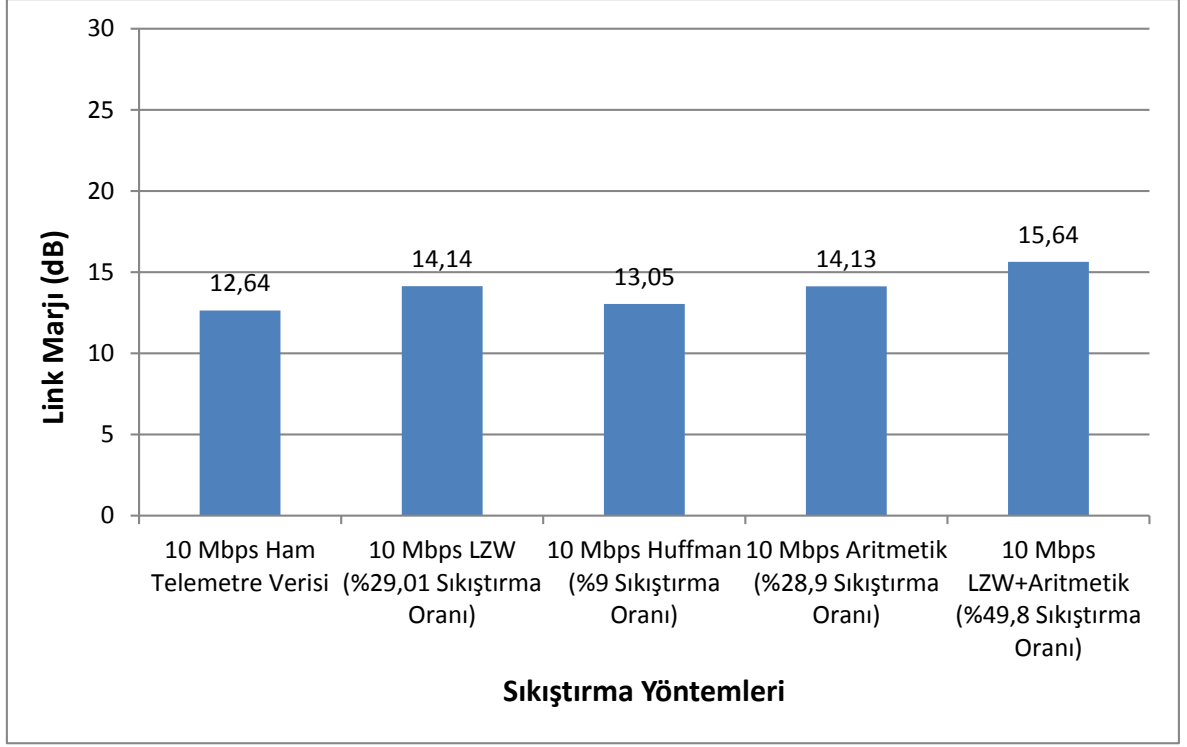
50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
15 Mbps Ham Telemetre Verisi	10,88
15 Mbps LZW => 10,1 Mbps	12,6
15 Mbps Huffman => 13,8 Mbps	11,25
15 Mbps Aritmetik => 10,6 Mbps	12,39
15 Mbps LZW+Aritmetik => 7,21 Mbps	14,06



Şekil 4.23 50 Km İletişim Menzili ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.6 50 Km İletişim Menzili ve 10 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri

50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
10 Mbps Ham Telemetry Verisi	12,64
10 Mbps LZW => 7,09 Mbps	14,14
10 Mbps Huffman => 9,1 Mbps	13,05
10 Mbps Aritmetik => 7,11 Mbps	14,13
10 Mbps LZW+Aritmetik => 5,02 Mbps	15,64

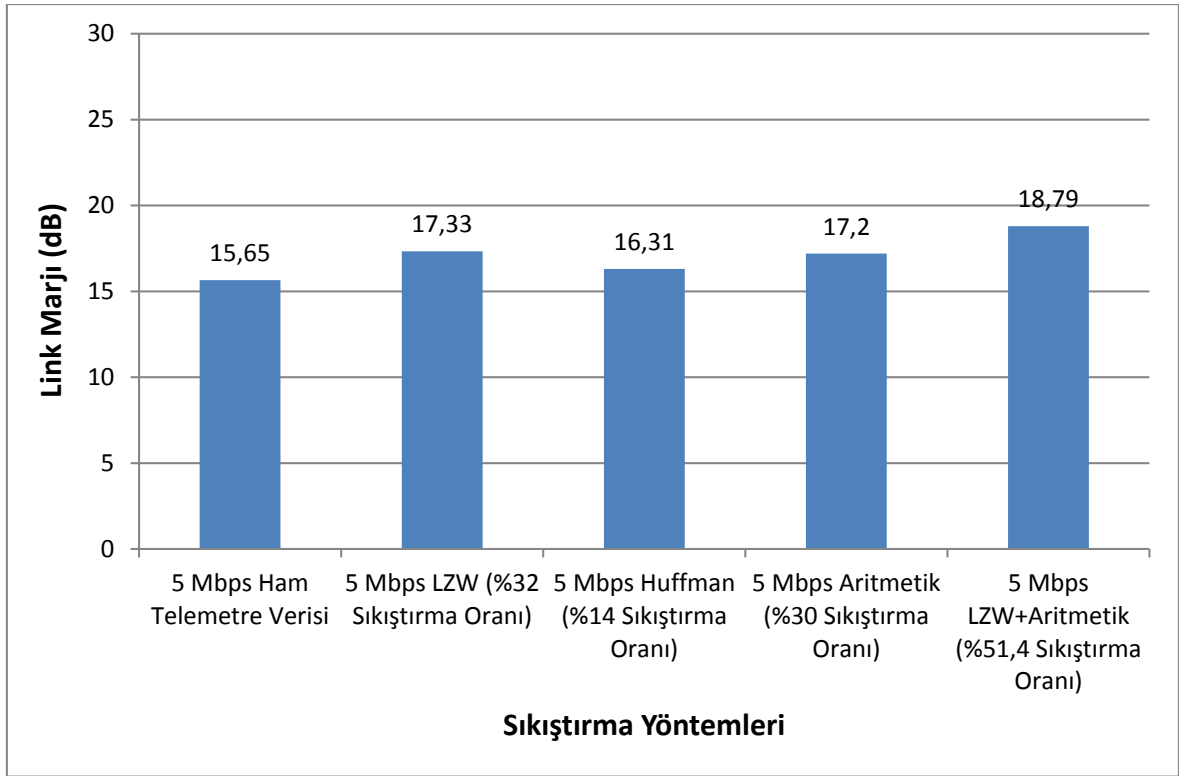


Şekil 4.24 50 Km İletişim Menzili ve 10 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.7 50 Km iletişim menzili ve 5 Mbps'lik veri hızı için bulunan link marjı değerleri

50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
5 Mbps Ham Telemetre Verisi	15,65
5 Mbps LZW => 3,4 Mbps	17,33
5 Mbps Huffman => 4,3 Mbps	16,31
5 Mbps Aritmetik => 3,5 Mbps	17,2
5 Mbps LZW+Aritmetik => 2,43 Mbps	18,79

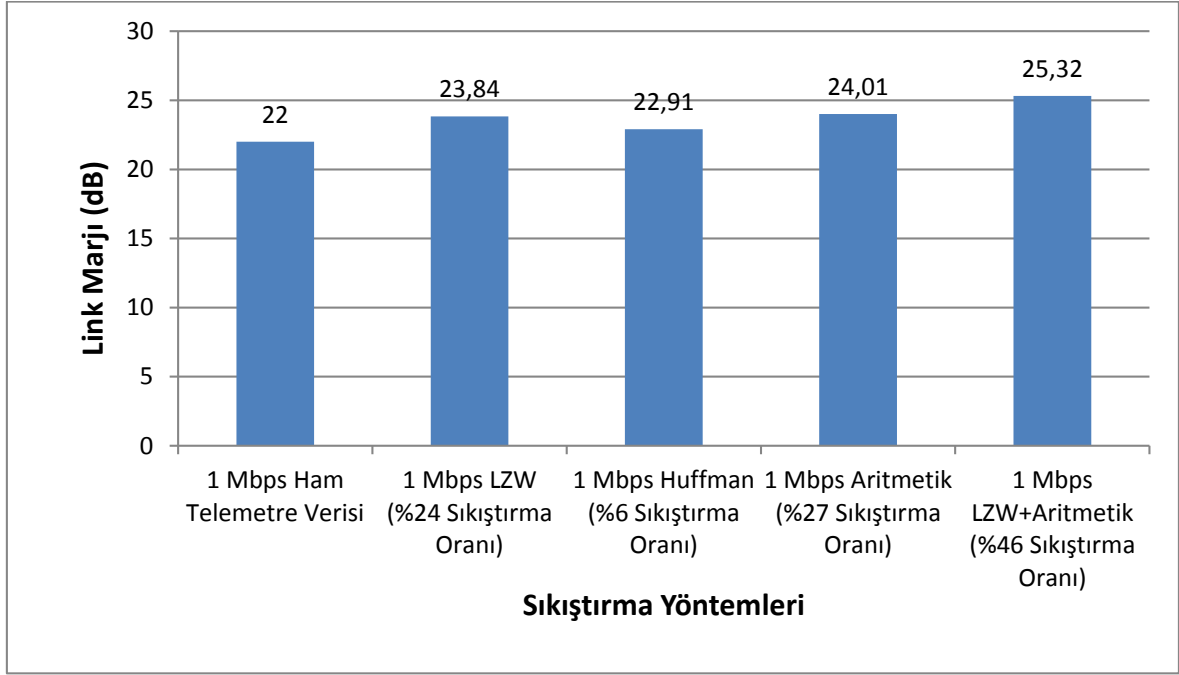




Şekil 4.25 50 Km İletişim Menzili ve 5 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.8 50 Km İletişim Menzili ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerleri

50 Km'deki Link Marjı Hesaplaması	Link Marjı (dB)
1 Mbps Ham Telemetry Verisi	22
1 Mbps LZW => 0,76 Mbps	23,84
1 Mbps Huffman => 0,94 Mbps	22,91
1 Mbps Aritmetik => 0,73 Mbps	24,01
1 Mbps LZW+Aritmetik => 0,54 Mbps	25,32



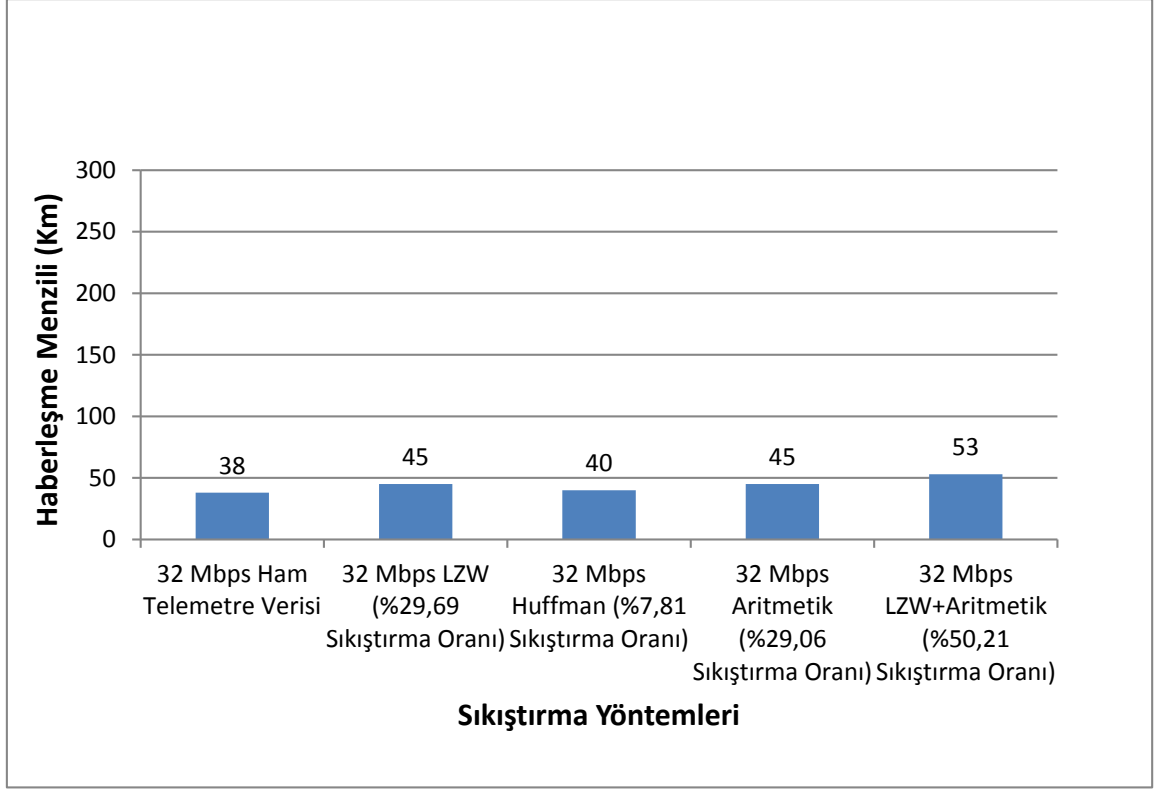
Şekil 4.26 50 Km İletişim Menzili ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan Link Marjı Değerlerinin Grafiksel Gösterimi

Haberleşme menziline maksimum değeri 50 Km'ye sabitlendiğinde, veri hızına bağlı olarak link marjının değişimi, tüm grafik ve çizelgelerde gösterildiği şekilde aynı trendi izlemektedir. Telemetre veri boyutu küçültüldüğünde daha sağlıklı ve güvenilir iletişim kurmak mümkün olmaktadır.

Analizin son bölümünde ise link marjı değeri 10 dB olacak şekilde (güvenli bir değer olduğu için seçilmiştir) iletişim menzilineki artış, sırasıyla 32 Mbps, 20 Mbps, 15 Mbps, 10 Mbps, 5 Mbps ve 1 Mbps veri hızı için incelenmiştir.

Çizelge 4.9 10 dB Link Marjı ve 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri

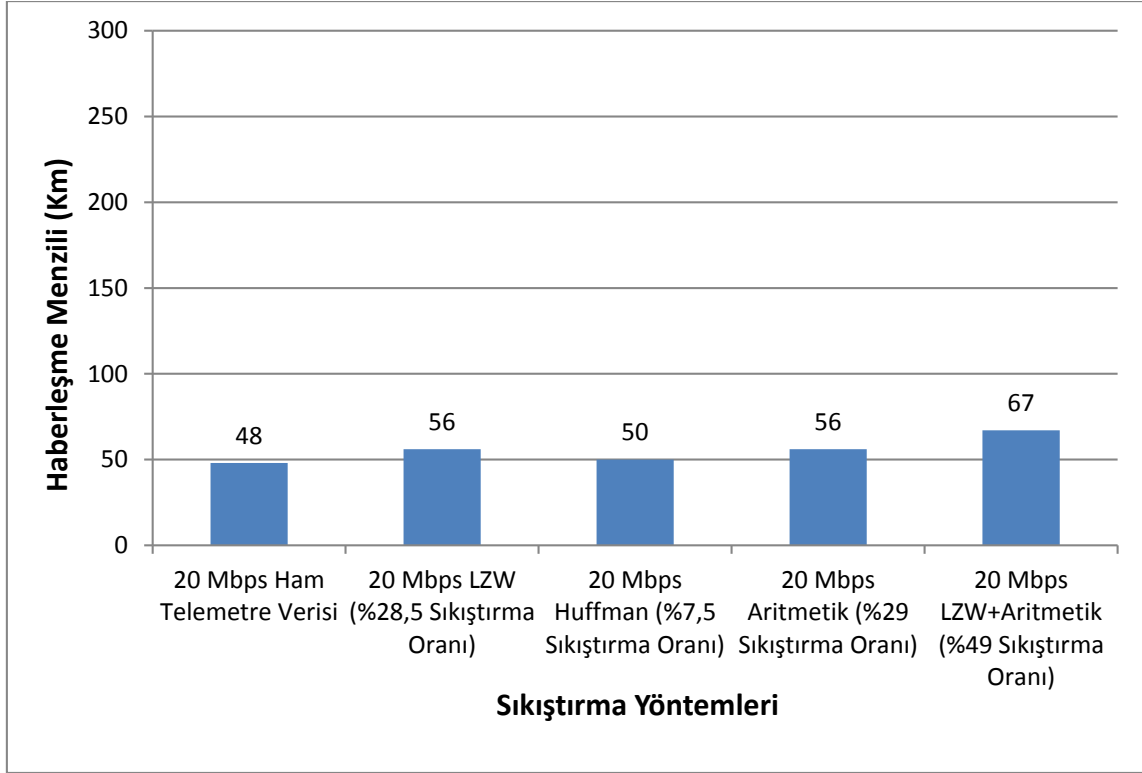
Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
32 Mbps Ham Telemetre Verisi	38
32 Mbps LZW => 22,5 Mbps	45
32 Mbps Huffman => 29,5 Mbps	40
32 Mbps Aritmetik => 22,7 Mbps	45
32 Mbps LZW+Aritmetik => 15,93 Mbps	53



Şekil 4.27 10 dB Link Marjı ve 32 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.10 10 dB Link Marjı ve 20 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri

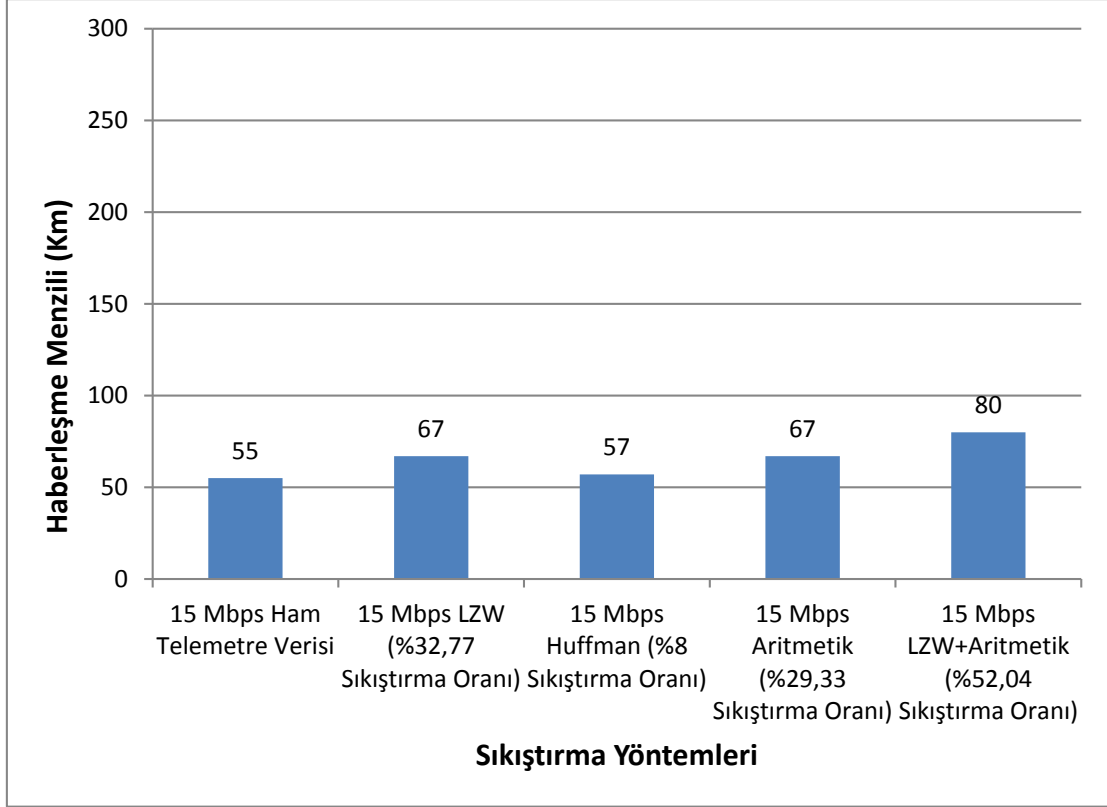
Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
20 Mbps Ham Telemetre Verisi	48
20 Mbps LZW => 14,3 Mbps	56
20 Mbps Huffman => 18,2 Mbps	50
20 Mbps Aritmetik => 14,2 Mbps	56
20 Mbps LZW+Aritmetik => 10,2 Mbps	67



Şekil 4.28 10 dB link marjı ve 20 Mbps'lik veri hızı için bulunan iletişim menzili değerlerinin grafiksel gösterimi

Çizelge 4.11 10 dB Link Marjı ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri

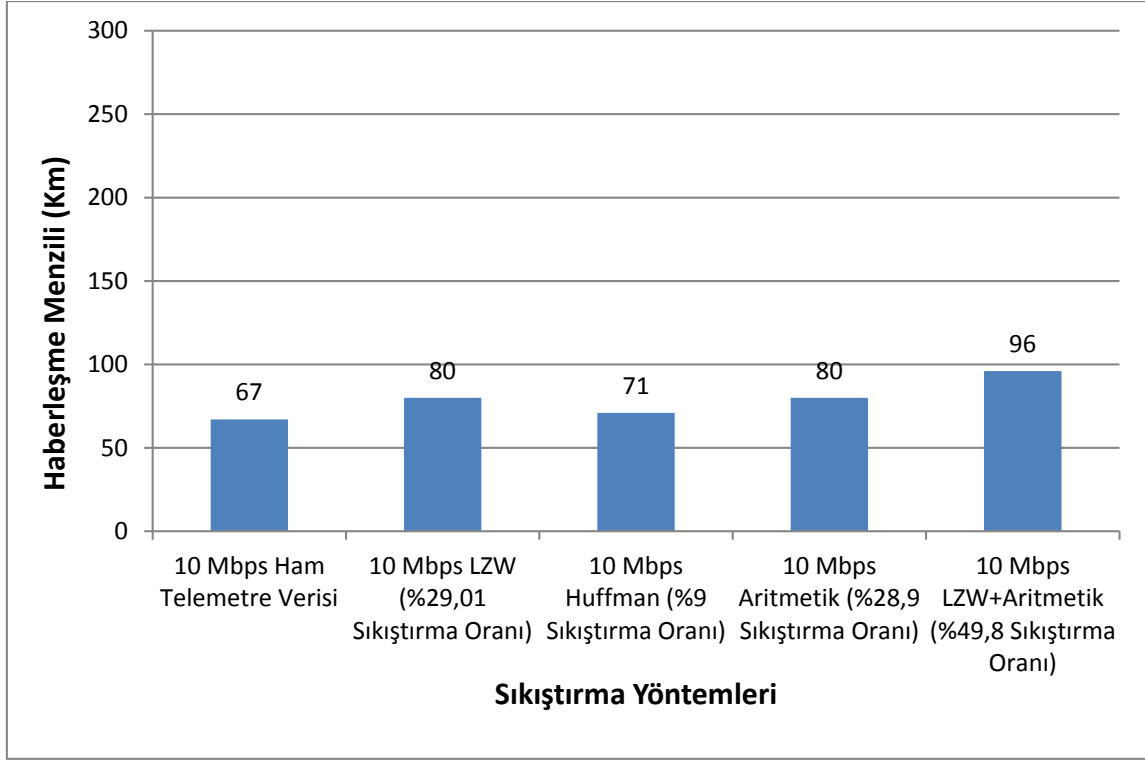
Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
15 Mbps Ham Telemetre Verisi	55
15 Mbps LZW => 10,1 Mbps	67
15 Mbps Huffman => 13,8 Mbps	57
15 Mbps Aritmetik => 10,6 Mbps	67
15 Mbps LZW+Aritmetik => 7,21 Mbps	80



Şekil 4.29 10 dB Link Marjı ve 15 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.12 10 dB link marjı ve 10 Mbps'lik veri hızı için bulunan iletişim menzili değerleri

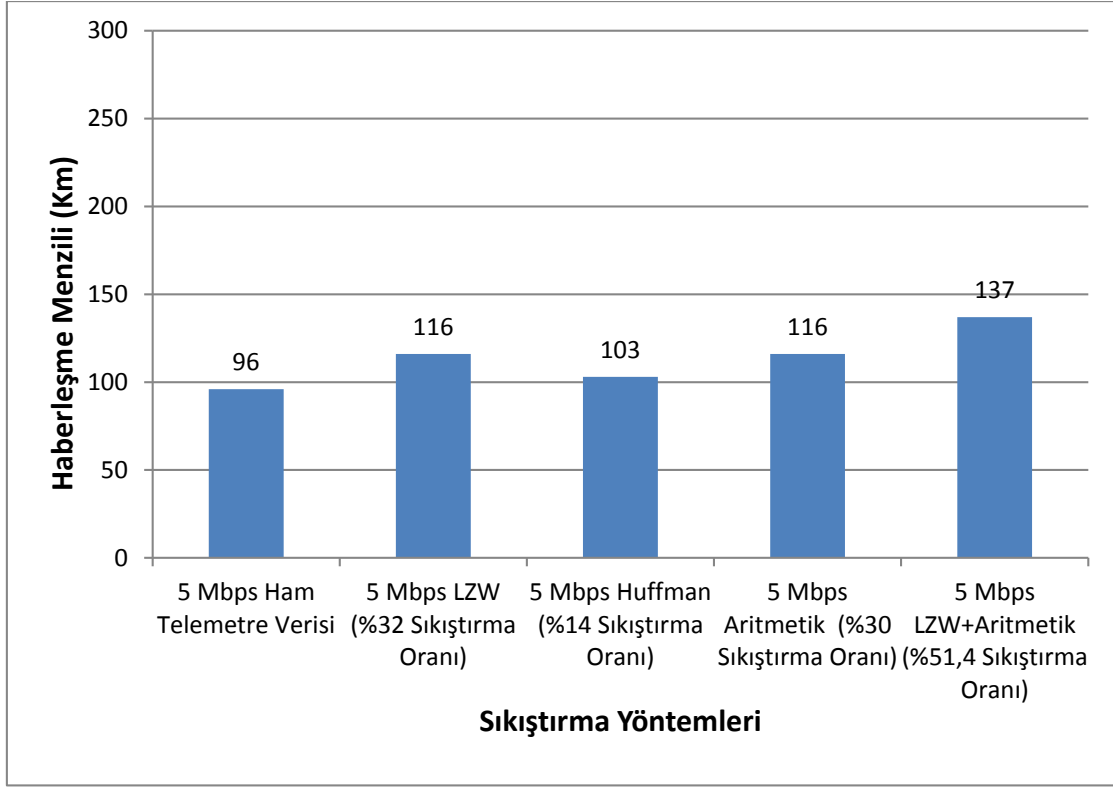
Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
10 Mbps Ham Telemetre Verisi	67
10 Mbps LZW => 7,09 Mbps	80
10 Mbps Huffman => 9,1 Mbps	71
10 Mbps Aritmetik => 7,11 Mbps	80
10 Mbps LZW+Aritmetik => 5,02 Mbps	96



Şekil 4.30 10 dB Link Marjı ve 10 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.13 10 dB Link Marjı ve 5 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri

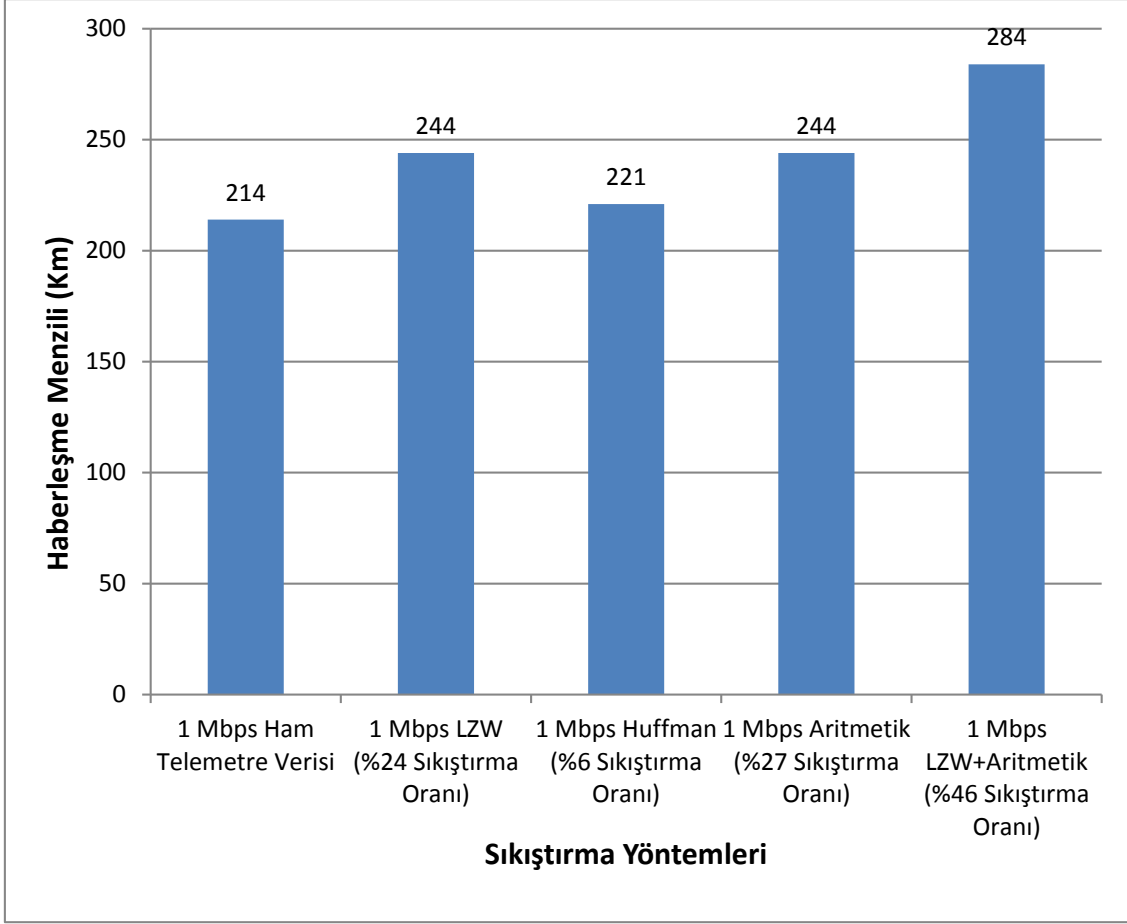
Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
5 Mbps Ham Telemetre Verisi	96
5 Mbps LZW => 3,4 Mbps	116
5 Mbps Huffman => 4,3 Mbps	103
5 Mbps Aritmetik => 3,5 Mbps	116
5 Mbps LZW+Aritmetik => 2,43 Mbps	137



Şekil 4.31 10 dB Link Marjı ve 5 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

Çizelge 4.14 10 dB Link Marjı ve 1 Mbps'lik Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerleri

Telemetre Veri Boyutu	10 dB'lik Link Marjı Sağlayan İletişim Menzili (Km)
1 Mbps Ham Telemetre Verisi	214
1 Mbps LZW => 0,76 Mbps	244
1 Mbps Huffman => 0,94 Mbps	221
1 Mbps Aritmetik => 0,73 Mbps	244
1 Mbps LZW+Aritmetik => 0,54 Mbps	284

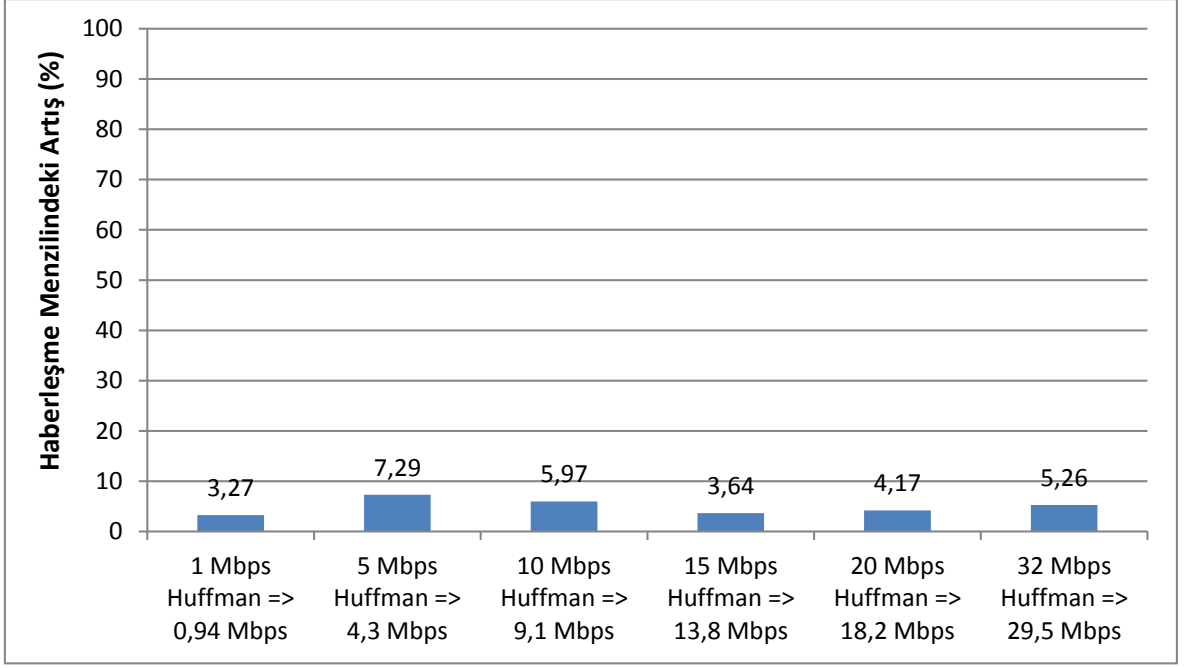


Şekil 4.32 10 dB Link Marjı ve 1 Mbps'lık Veri Hızı İçin Bulunan İletişim Menzili Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

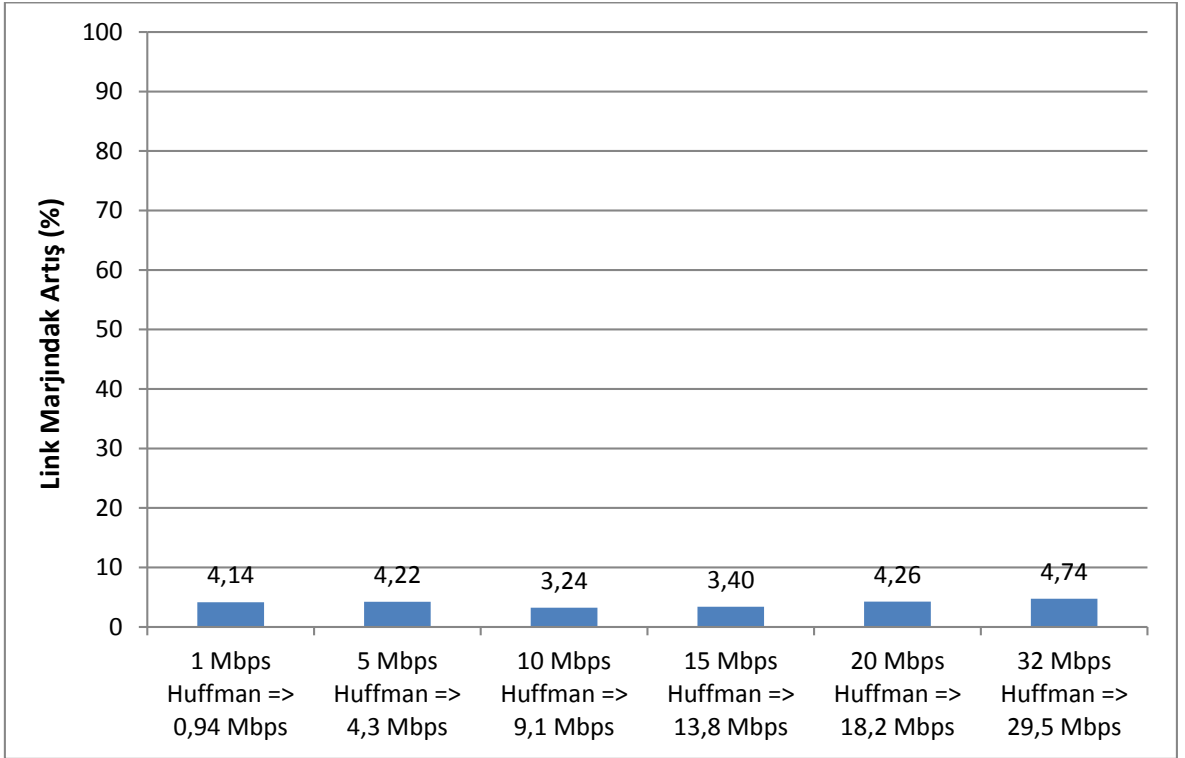
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, telemetre veri boyutu veri sıkıştırma yöntemleri kullanılarak azaltıldıkça gürültüdeki azalma sebebiyle aynı sistemlerin daha yüksek haberleşme menziline izin verdiği görülmektedir. Veri sıkıştırma teknikleri tarafından izlenen farklı yöntemler veriyi değişik oranlarda küçülterek, dolaylı yoldan link marjı ve iletişim menzili parametrelerini etkilemektedir.

Bunların yanında, kodlamalar için bulunan yüzdesel oranların hem link marjı hem de menzil için incelenmesi, hangi kodlama algoritmasının daha etkili olduğunu gösterir niteliktedir.

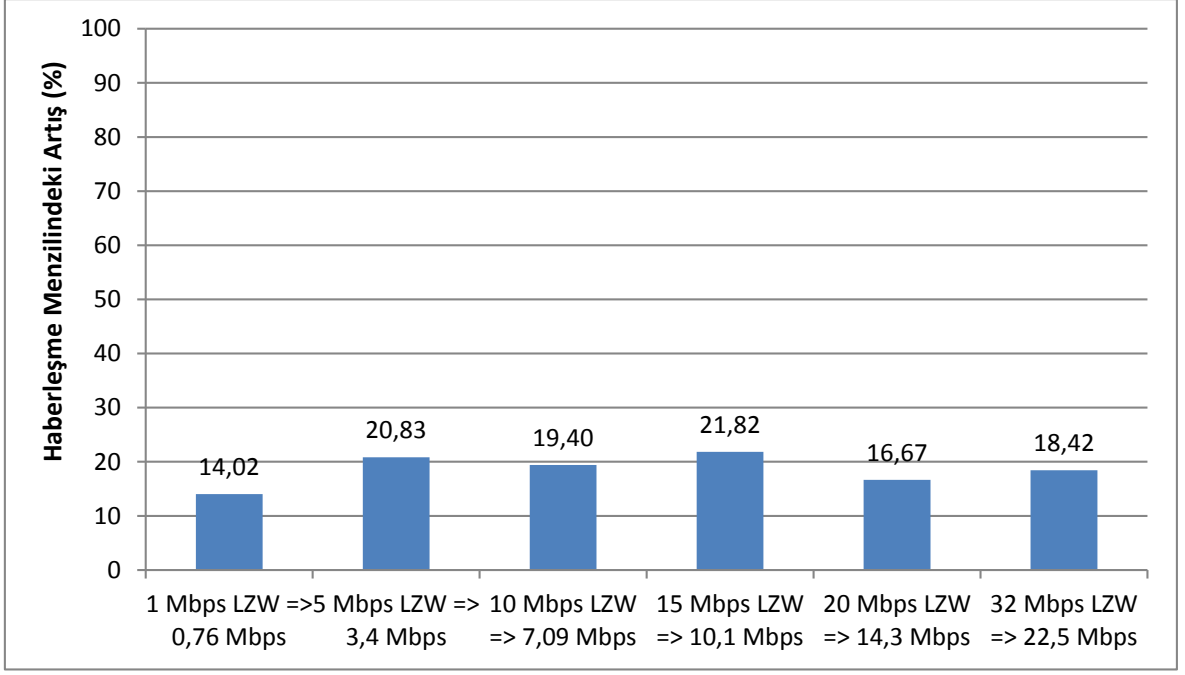




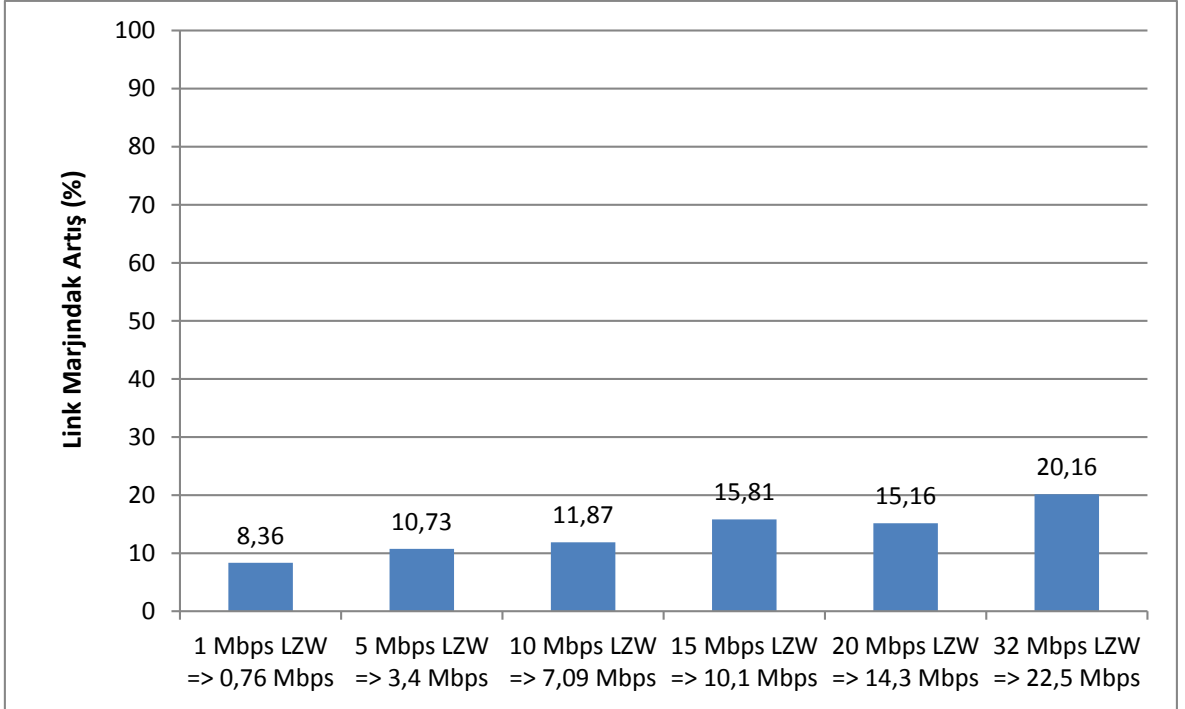
Şekil 4.33 Huffman Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesele Gösterimi



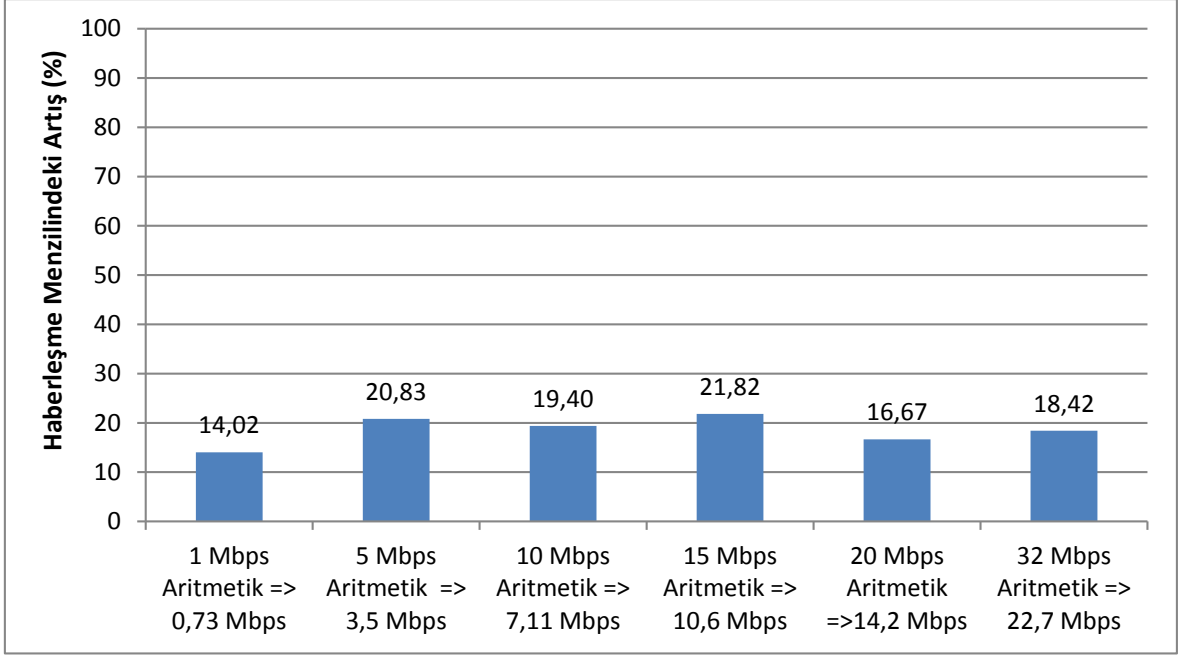
Şekil 4.34 Huffman Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesele Gösterimi



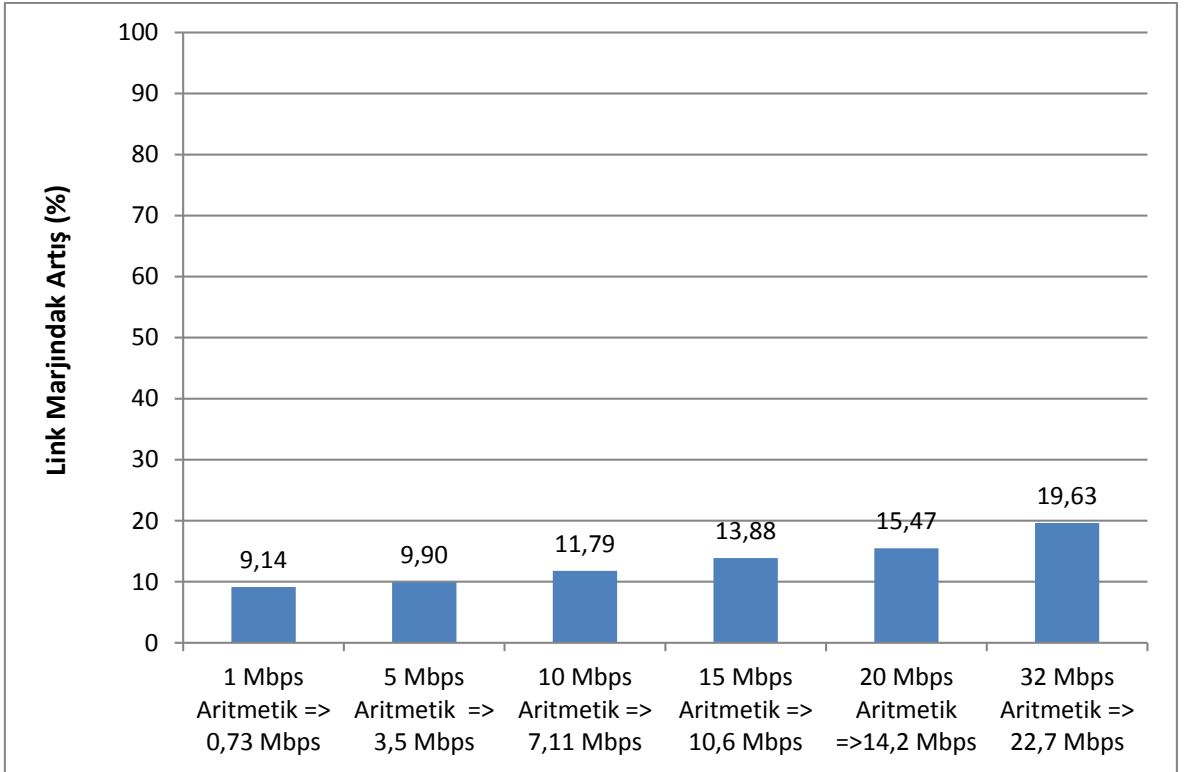
Şekil 4.35 LZW Algoritması Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesele Gösterimi



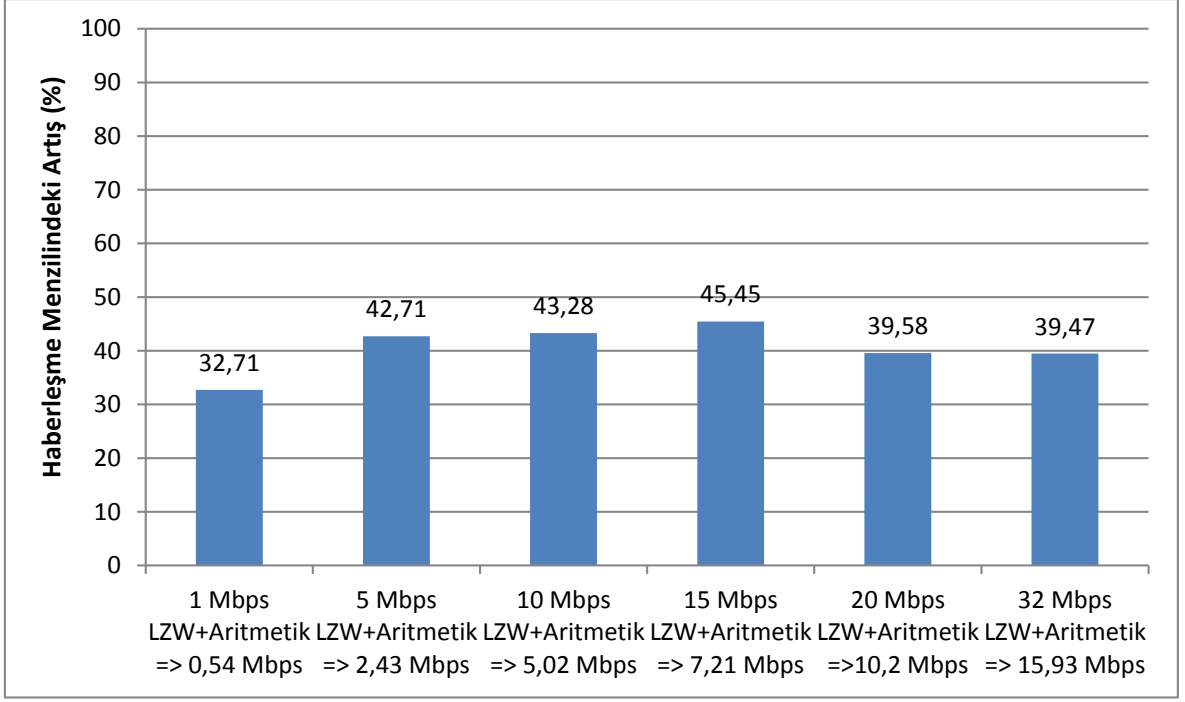
Şekil 4.36 LZW Algoritması Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesele Gösterimi



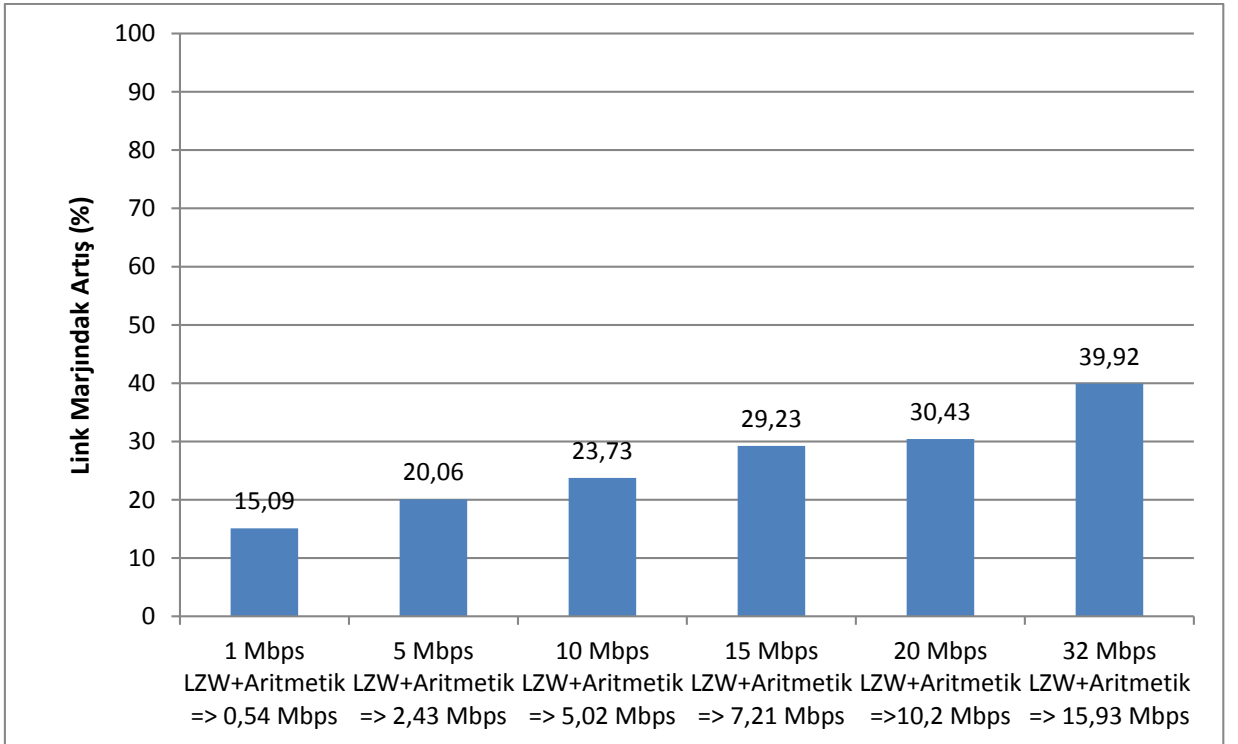
Şekil 4.37 Aritmetik Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi



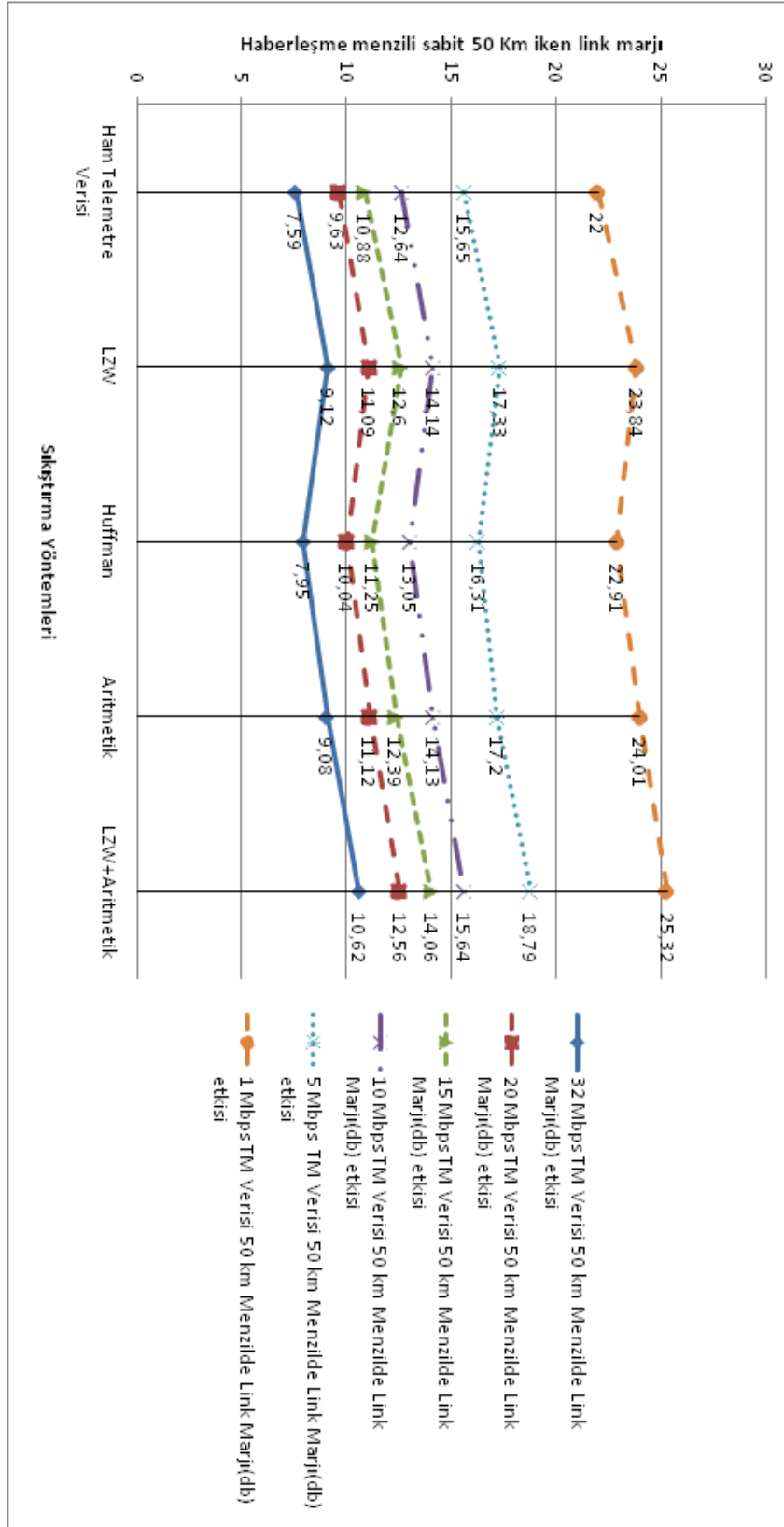
Şekil 4.38 Aritmetik Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzdesel Gösterimi



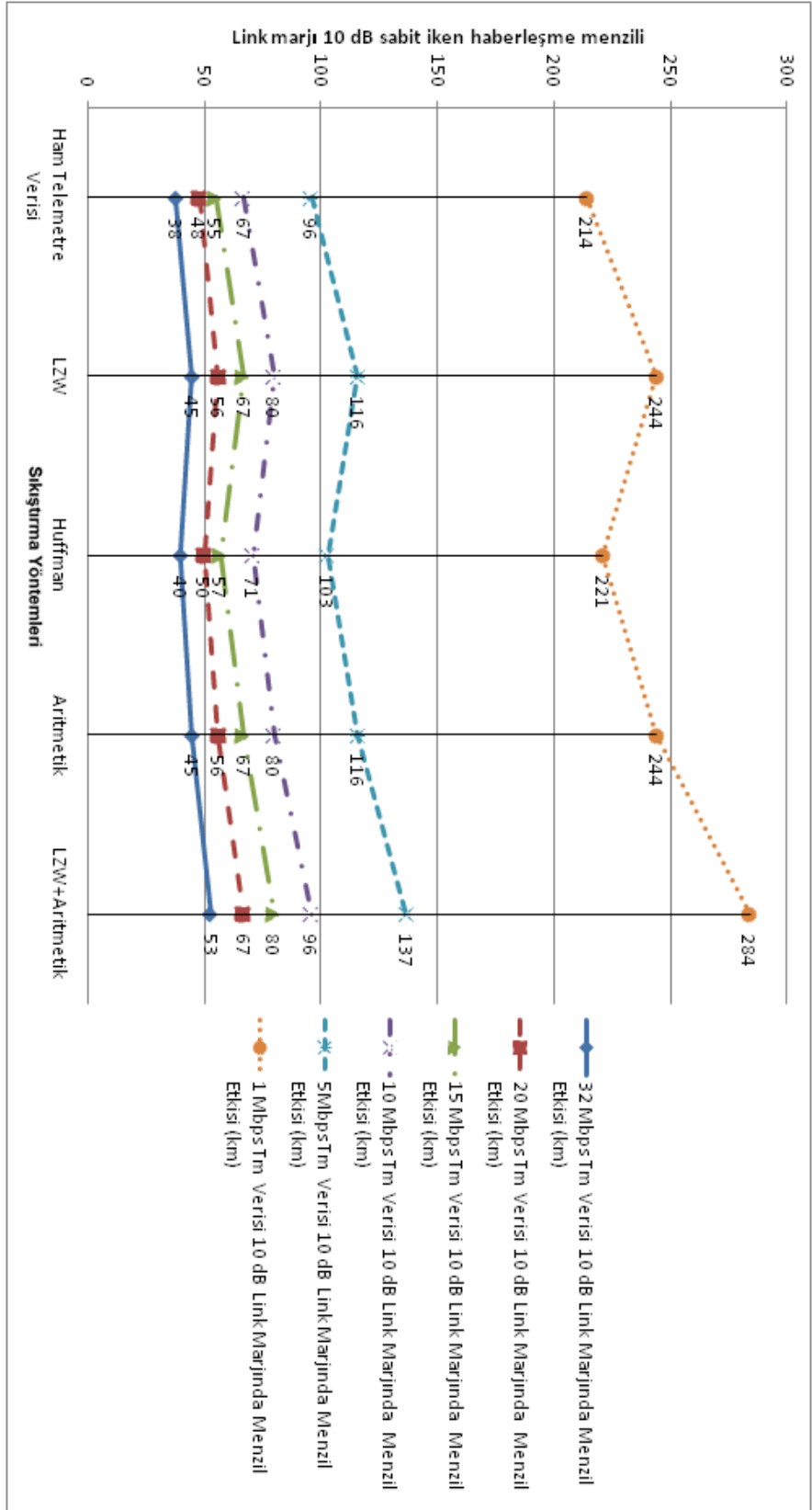
Şekil 4.39 LZW+Arithmetic Kodlama Tekniğinin Haberleşme Menziline Yaptığı Etkinin Yüzsdesel Gösterimi



Şekil 4.40 LZW+Arithmetic Kodlama Tekniğinin Link Marjına Yaptığı Etkinin Yüzsdesel Gösterimi



Şekil 4.41 Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Link Marjına Etkileri Özeti



Şekil 4.42 Veri Sıkıştırma Yöntemleri ve Haberleşme Menziline Etkileri Özet

Şekil 4.42 ve Şekil 4.41'den elde edilen sonuçlar incelendiğinde, LZW + Aritmetik Kodlama yöntemlerinin ardışık olarak uygulanması ile linkin menziline ve link marjı değerlerine en olumlu etkilerin elde edildiği görülmektedir.

## 5 TARTIŞMA ve SONUÇ

Ülkemizde devlet ve ordunun gereksinimlerine göre farklı türlerde füzeler için tasarım çalışmaları başarıyla sürdürülmekte olup belirli atış alanlarında bu füzelerin telemetre testleri gerçekleştirilmekte ve elde edilen veriler, tasarım çalışmalarının denetlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Telemetre verileri yer istasyonuna sıkıştırılmadan aktarılmakta ve bu durum; yüksek menzile sahip füzelerde, bant genişliği yüksek olan verilerin alınmasına engel teşkil etmektedir. Bu çalışmada telemetre sisteminin, daha çok verinin daha az maliyetle aktarımını sağlayacak biçimde geliştirilmesi için telemetre verilerinin sıkıştırılarak aktarılması önerilmekte ve sıkıştırma sonrasında veri boyutundaki azalmanın menzil üzerindeki etkileri link bütçesi hesabı yapılarak değerlendirilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, mevcut telemetre formatlarındaki veriler sentetik olarak üretilmiş ve bu verilere kayıpsız sıkıştırma teknikleri olan Huffman, LZW, aritmetik kodlama ve LZW+aritmetik kodlama algoritmaları ardı ardına uygulanarak performansları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda, RF haberleşmede etkili olabilecek diğer özellikler (örn. modülasyon tipi, almanya özellikleri, anten çeşitleri, vb) sabit tutulmuştur. Sonuçlar, LZW ve aritmetik kodlama tekniklerinin çok benzer ve Huffman algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. En iyi sonuçlar ise LZW ve aritmetik kodlama tekniklerinin ardışık uygulanması sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemlerin kullanılacağı varsayılan testlerde; verinin sıkıştırılması sayesinde veri boyutundaki ve dolayısıyla ihtiyaç duyulan bant genişliğindeki azalmanın haberleşme menziline arttırdığını göstermektedir.

Literatürde telemetre verilerinin sıkıştırılması ile ilgili çalışmalar daha önce de belirtildiği gibi, genellikle yer istasyonuna ulaşmış verilerin arşivlenmesi adımıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) ve NASA (National Aeronautics and Space Administration) gibi ülke/kurumlar tarafından oluşturulan CCDS (Consultative Committee for Space Data Systems) kurulunun yayınları incelenmiştir. Bu kurul, yayınlarında uzay araçlarına ait telemetre verilerinin kayıpsız sıkıştırılması için Golomb-Rice tekniğini

önermiştir [23]. Ancak bu teknik, yalnızca telemetre verileri değil, görüntüyü de içeren görev verilerinin de etkin sıkıştırılması için kullanılmaktadır. Dolayısıyla test koşulları için özelleşmiş değildir. Ülkemizde ise henüz uzay araçları geliştirilmediği için verilerinin sıkıştırılması üzerine çalışma yapılmamış durumdadır. Bu çalışma var olan telemetre sistemlerinde uygulanabilir. Donanımsal olarak cihazlara bu algoritmaları eklemenin maliyetlerinin çıkartılması ve gerçekleşmesi bundan sonraki çalışmaların konusu olabilir.

Olumlu sonuçlara rağmen, tasarımcının telemetre veri boyutunu sıkıştırma yöntemleri ile sıkıştırırken dikkat etmesi gereken unsurlar da bulunmaktadır. Telemetre testleri, özellikle de sonuçları canlı analiz ediliyorsa, sensörlerden doğru ve kesin sonuçlar almanın önemli olduğu durumlardır. Veri kaybına yol açmaması için bu çalışmada Huffman, LZW ve aritmetik kodlama yöntemleri tercih edilmiştir. Ancak bu durum, haberleşmede bir sıkıntı olması ve RF kaynaklı bit kaybı durumlarında sıkıştırma olmadığı takdirde yaşanabilecek kayıplardan daha fazla kayıp yaşanmasını elbette engelleyememektedir. Zira uzunluğu 16 bit olan bir veri artık yalnızca 16 bit'i etkilemeyip, seçilen sıkıştırma yöntemine ait oran ve tekniğe göre daha fazla bilgi kaybına yönelik sonuçlar da yaratabilecektir. Dolayısıyla, bir roket veya füze için telemetre verisi alınırken yaşanabilecek sıkıştırma kaynaklı ilave kayıplar dikkate alınması gereken ihtimallerdir.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da işlemcilerin veri sıkıştırma işlemi ne kadar sürede tamamlayacağına ilişkindir. İşlem zamanı kullanılan donanımın özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Tez kapsamında gerçekleştirilen analiz ve benzetim çalışmalarında kullanılan cihaz, iki çekirdekli Intel core i7-2640m, 2.8 Ghz işlemci ve 6 Gb RAM'e sahip, Sony Vaio model bir dizüstü bilgisayardır. (Donanıma ilişkin daha detaylı bilgi Ek-3'te verilmiştir.) Tezdeki analizlerde sıkıştırma algoritmalarının uygulanma süreleri ölçülmüş, her bir sıkıştırma algoritması için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 5.1'de zaman ölçümleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Sıkıştırma algoritmaları için uygulama zamanları

Veri Hızı (Mbps)	Huffman için ölçülen zaman (ms)	LZW için ölçülen zaman (ms)	Aritmetik için ölçülen zaman (ms)	LZW+Aritmetik için ölçülen zaman (ms)
1	15	12	14	25



5	15	13	14	26
10	18	15	15	29
15	18	17	17	31
20	20	18	18	37
32	20	19	20	40

Uygulama zaman verileri, yazılan koda ve kullanılan donanımın özelliklerine göre değişiklik gösterecektir. Füze içinde bu algoritmaların kullanılabilmesi için entegre devrelere algoritmaların gömülü yazılım ile yazılması gerekecektir. Bu kapsamda FPGA (Field-Programmable Gate Array) cins işlemci kullanılması uygun olacaktır. Bu kapsamda FPGA ile yapılacak olan analizler sonucunda işlemlerin tamamlanma süresinin 10 milisaniyenin altında çıkacağı öngörülmektedir. Böylelikle, işlem gerçekleştirilirken herhangi bir çerçeve kaybı yaşanmayacağı ve tampon (buffer) ihtiyacı olmayacağı öngörülmektedir. Bunun yanında, işlem karmaşıklığı da göz önüne alınmalı ve kodlar mümkün olan en kısa yöntemle sıkıştırma yapabilecek şekilde yazılmalıdır.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Simpson, Steven., History of Telemetry. Telemetry Inquiry, Weebly, <http://telemetryinquiry.weebly.com/history.html>., 2016.
- [2] Wikipedia, Telemetry, Wikimedia Foundation, <https://en.wikipedia.org/wiki/Telemetry>., 2016.
- [3] Maluf, D., Tran,P.&, Tran, D., Effective Data Representation and Compression in Ground Data Systems. Thesis, Stanford University,.,2008.
- [4] Arcangeli J.-P., Crochemore M., Hourcastagnou J.-N., Pin, J.-E., Compression for an Effective Management of Telemetry Data, Thesis, Paris Descartes University, 1993.
- [5] Bell, Greg., Lawson, Cliff., TM Plays Vital Role in Weapon System Testing, AirTIME-NAVAIR Range Department, [http://sccoos.org/docs/0301\\_Spring07.pdf](http://sccoos.org/docs/0301_Spring07.pdf)., 2007.
- [6] Wolff, Christian., Radar Basics. - Noise, Noise Figure, Noise Temperature, <http://www.radartutorial.eu/18.explanations/ex08.en.html>., 2015.
- [7] RF Fundamentals, Chapter 3: Free Space Path Loss, <http://wisptools.net/book/bookc3s1.php>., 2016.
- [8] Türkoğlu, B., Ceylan, Osman., Yağcı, Bülent., Palamutçuoğulları, O., 2.4 GHz Telsiz Haberleşme Cihazları İçin Mikroşerit Dipol Anten Tasarımında Taban Kalınlığının Ve Dielektriğinin Anten Parametrelerine Etkilerinin İncelenmesi, Proc. of Signal Processing and Communications Applications Conference, 2010.
- [9] Blattenberger, Kirt., Atmospheric Absorption / Attenuation, RF Cafe, <http://www.rfcafe.com/references/electrical/atm-absorption.htm>., 2016.
- [10] Bevelacqua, Pete., Polarization - EM Waves and Antennas, <http://www.antenna-theory.com/basics/main.php>., 2016.
- [11] L-3 Telemetry & RF Products, Transmitters, [http://www2.l-3com.com/trf/products/airborne\\_transmitters.html](http://www2.l-3com.com/trf/products/airborne_transmitters.html)., 2015.
- [12] Haigh-Farr, Inc., Wraparound Antennas, <http://www.haigh-farr.com/datasheets/wraparound.pdf>., 2015.
- [13] University of Hawaii ANITA Project, Antenna Introduction/ Basics, <http://www.phys.hawaii.edu/~anita/new/papers/militaryHandbook/antennas.pdf>., 2016.
- [14] European Space Agency, Ground Stations- Kiruna Station, [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/Estrack/Kiruna\\_station](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Estrack/Kiruna_station)., 2016.
- [15] Sedgewick, Robert., Wayne, Kevin., Algorithms 4th Edition, <http://algs4.cs.princeton.edu/55compression/>, 2011.
- [16] Cagnegie Mellon University School of Computer Science, Algorithms in the Real World, <https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15853-f00/slides/compress2.ppt>., 2014.

- [17] Howard, Paul G., Vitter, Jeffrey Scott., Practical Implementations of Arithmetic Coding, Thesis, Brown University, <http://www.cc.gatech.edu/~jarek/courses/7491/Arithmetic2.pdf>., 1992.
- [18] Leurs, Laurens, LZW Compression Comments, Prepressure, <https://www.prepressure.com/library/compression-algorithm/lzw>, 2016.
- [19] Ziv, Jacob., Lempel, Abraham., A Universal Algorithm for Sequential Data Compression, IEEE Transactions on Information Theory, 1977.
- [20] Adrio Communications, Electronic & RF / Radio Frequency Noise, Radio-Electronics.com, <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/noise/electronics-radio-frequency-rf-noise.php>., 2016.
- [21] NTU, [Link Budget](https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/_media/wn_11fall/link_budget.pdf), [https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/\\_media/wn\\_11fall/link\\_budget.pdf](https://www.csie.ntu.edu.tw/~hsinmu/courses/_media/wn_11fall/link_budget.pdf), 2016.
- [22] IRIG Standard 106-04 Part I, Range Commanders Council Telemetry Group, USA, 2004.
- [23] CCDS Recommended Standard Blue Book, Council of the Consultative Committee for Space Data Systems, 2012.

## **EKLER**

- Ek 1. NI Labview programı hakkında bilgi
- Ek 2. Çalışma kapsamında oluşturulan Labview çıktıları
- Ek 3. Çalışma kapsamında kullanılan donanımın özellikleri
- Ek 4. Çalışma kapsamında üretilen sentetik veri örneği

## Ek 1. NI Labview programı hakkında bilgi

Tez kapsamındaki analizler ve benzetim çalışmaları için NI (National Instruments) firmasının Labview adlı programı kullanılmıştır.

Labview, bilim ve mühendislik alanlarında özel bir amaca yönelik gerçek zamanlı veriler ve sinyaller ile etkileşim kurmaya yarayan bir yazılım geliştirme platformudur.

Gerekli PXI modülleri Labview yazılımı ile birleştirildiğinde, gerçek zamanlı veriler işlenip analiz edilebilmektedir.

Labview; küçük grafiksel ikonlar ve kablolar ile akış diyagramları hazırlamaya ve yapacağınız programları nesne tabanlı kullanarak birçok küçük programları birleştirmeye yaramaktadır. Metin tabanlı dillerden ziyade kullanımı daha kolay ve algoritma geliştirmek için daha görsel bir platform sunmaktadır. 1986 yılından bugüne kadar her türlü platformda kullanılabilir hale gelmiştir.

Test lme ve kontrol sistemlerinin vazgeçilmezi olmayı hedefleyen Labview, National Instrument bünyesinde geliştirilen veri toplama kartları, modüler enstrümantasyon sistemleri, kompakt kartlar ile dünya piyasasında önemli yer edinmiştir.

Test, lm, veri oluşturma, işleme ve izlenmesinde kullanılan LabVIEW, içeriğinde bulunan otomasyon ve lme devre elemanları fonksiyonlarının ekranda birbirlerine bağlanması şeklinde kullanılır. LabVIEW'in kullandığı dil G dili olarak anılmaktadır. LabVIEW bazı kısıtlamalar dışında, C ve PASCAL gibi dillerle yapılabilecek hemen hemen her türlü bilimsel uygulamaya yatkındır.

LabVIEW iki kısımdan oluşur: n Panel ve Blok Diyagram. n panel kullanıcı ara yüzüdür. LabVIEW ile oluşturulacak uygulamayı kullanacak olan operatörün sisteme değerler girmesine ve ıkışları görmesine yardımcı olur.

Blok diyagram ise esas işlemlerin yapıldığı yerdir. n panelde kullanıcı bir taraftan kontrolü sağlarken, diğer taraftan blok diyagramda sanal enstrümanlar çalışmaktadır. Ayrıca NI firmasının geliştirdiği donanım ile gerçek sistemlere hkmedebilmektedir. Blok diyagram görsel programlama dillerinde kod yazma bölümüne, n panel ise kullanıcı ara yüzünün hazırlandığı formlara karşılık gelmektedir.

LabVIEW, üretkenliği arttırarak geliştirmeye harcanan zamanı azaltır. LabVIEW, bilgisayar ve enstrümantasyon donanımına yapılan parasal yatırımı korur. Ayrıca, kendi çözümlerini geliştirebilmeleri için daha geniş kullanıcı kitlesini yetkilendirir. Daha karmaşık geliştirme araçlarına gerek kalmadan bütün işlemlerimizi tamamlayabilme esnekliğine sahiptir. Eklenen güçlü araçlar ile karmaşık geliştirme işlemlerini basitleştirir.

Hızlı programlama, programın adım adım çıkışlarını görebilme, paralel program sürdürülebilme, işletim sistemi konusunda hiçbir sıkıntı yaşamama gibi özellikleriyle öne çıkan Labview pratik çözüm için uygun bir programdır. Matlab, mathscript gibi dillerin kodlarını kendi içerisinde çalıştırabilme özelliğine de sahip olmasıyla hem akademik hem endüstriyel çalışmalarda mukayese imkanı sunmaktadır.

Medikal uygulamalar, Otomasyon, Gıda uygulamaları, Otomotiv, Scada Uygulamaları, İşaret İşleme, Jeolojik veri analizleri, İstatistik, Matematik, Enerji analizi, Robotik gibi çok geniş bir alana hitap ettiğinden dolayı günden güne Labview kullanım oranı artmaktadır.

Dünya üzerinde 5 kıtada her sektörden birçok şirket AR-GE çalışmalarında ve üretimlerinde LabVIEW programından faydalanmaktadırlar

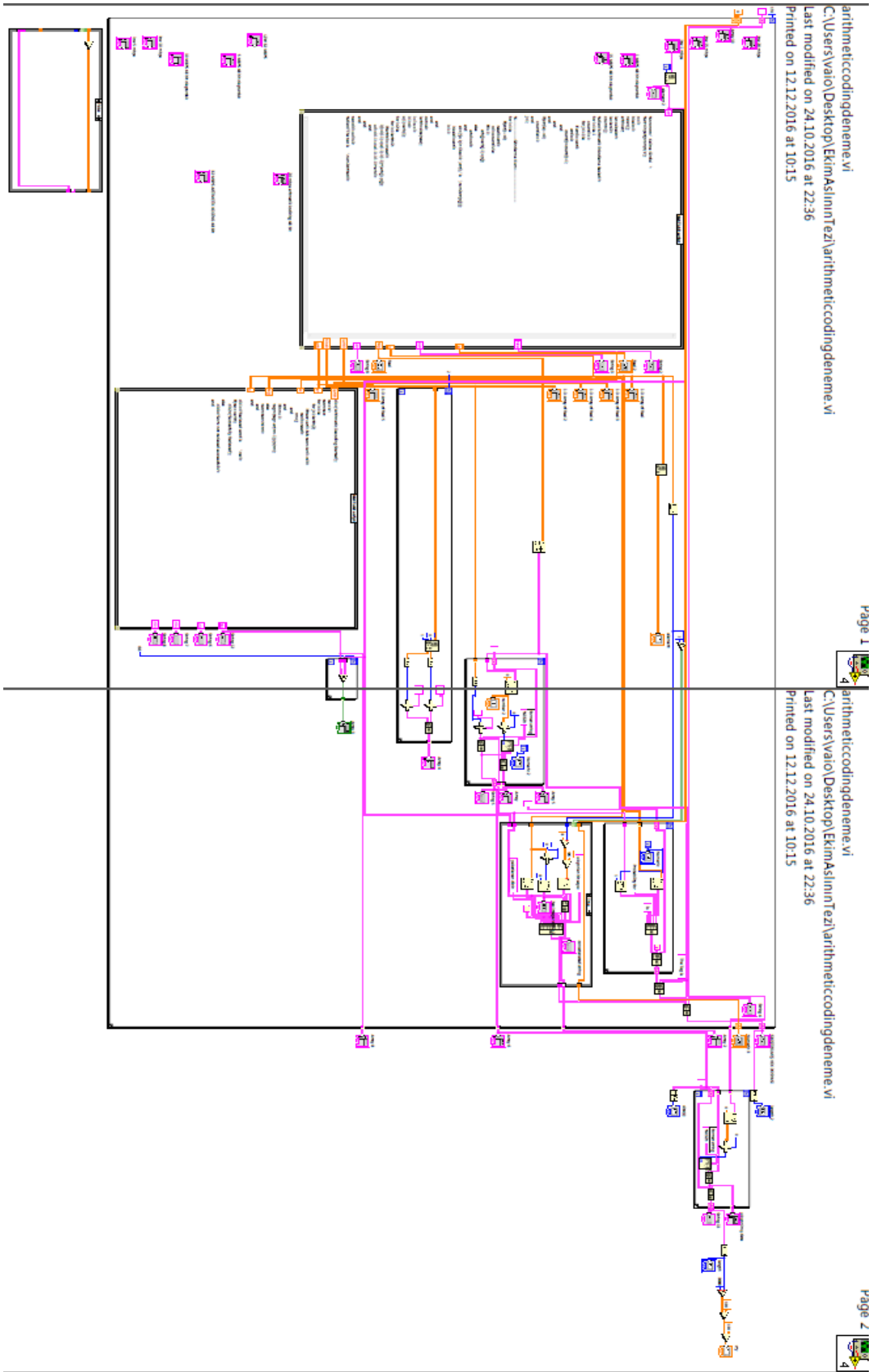
Eşzamanlı hızlanan görüntü elde etme, yer çekimi olmayan bir NASA araştırma aracında sıcaklık verileri okumak ve analog gerilim elde etmek için ortam şartlarına dayanıklı bir bilgisayar içinde bir DAQ kart ile birlikte LabVIEW kullanılmıştır.

Bir başka uygulamada yol üstündeki motorun, sürücü ve test görevlisinin denemeleri sırasında durma süresi, fren sıcaklığı ve daha birçok veri hakkında bilgi verecek fren testleri için bir veri elde etme sistemi geliştirmek istenmiştir. Bu amaçla sağlam bir çalışma bilgisayarı, sinyal durum donanımı ve yolda DAQ sistem geliştirmek için bir giriş çıkış sürücüsü olan LabVIEW yazılımı ve NI donanımları kullanılmıştır.

**Kaynak:** <http://mekatronikdersi.blogspot.com.tr/2014/10/labview-nedir.html>.



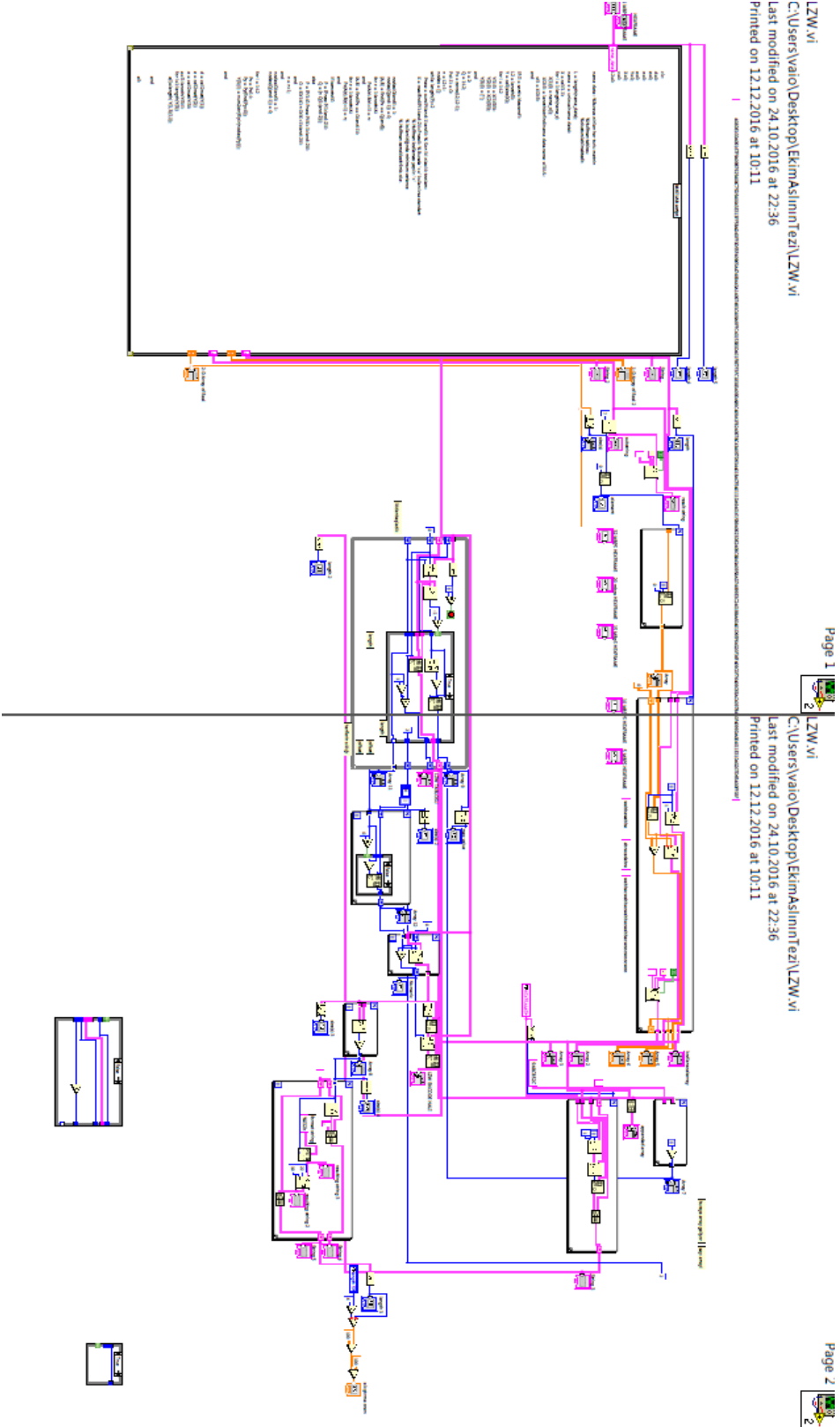
# Aritmetik Kodlama Yazılımı





# LZW Algoritması Yazılımı

LZW.vi  
C:\Users\vaio\Desktop\EkimAsilimTern\LZW.vi  
Last modified on 24.10.2016 at 22:36  
Printed on 12.12.2016 at 10:11



LZW.vi  
C:\Users\vaio\Desktop\EkimAsilimTern\LZW.vi  
Last modified on 24.10.2016 at 22:36  
Printed on 12.12.2016 at 10:11

### Ek 3. Çalışma kapsamında kullanılan donanımın özellikleri

İŞLETİM SİSTEMİ	
İşletim Sistemi	Orijinal Windows® 7 Professional 64bit Service Pack 1
MIMARI	
Chipset	Intel® HM67 Express Chipset
İŞLEMCİ	
İşlemci Adı	Intel® Core™ i7-2640M İşlemci
Güç ve Performans	Intel® Turbo Boost Teknolojisi ile
İşlemci Hızı (GHz)	2.80, 3.50'ye kadar Turbo Boost özelliği
L3 Ön Bellek (MB)	4
Çekirdek Sayısı	2
BELLEK	
Hafıza Boyutu (GB)	6
Hafıza Tipi	PC3-10600
Bellek Özellikleri	DDR3 SDRAM
Hafıza Hızı (MHz)	1333
Bellek Niteliği	4 GB (Yerleşik) + 2 GB (SO-DIMM) x1
Maks. Desteklenen Bellek	8 GB
RENK	
Kapak Rengi	Karbon Siyah
SÜRÜCÜLER	
Sabit Disk Tipi	Serial ATA
RAID	-
Sabit Disk Kapasitesi	500 GB
Optik Sürücü Tipi	DVD SuperMulti ile Blu-ray Disc™ ROM Sürücü
Okuma	CD 24x, CD-R 24x, CD-RW 24x, DVD 8x, DVD-R DL 6x, DVD-R 8x, DVD-RW 6x, DVD+R DL 6x, DVD+R 8x, DVD+RW 6x, DVD-RAM 5x, BD-ROM 2x, BD-R 2x, BD-R DL 2x, BD-RE 2x, BD-RE DL 2x
Yazma	CD-R 16x, CD-RW 10x, DVD-R DL 2x, DVD-R 8x, DVD-RW 4x, DVD+R DL 2.4x, DVD+R 8x, DVD+RW 4x, DVD-RAM 5x
Sabit Disk Sürücü Hızı (rpm)	5400

<b>EKRAN</b>	
<b>Ekran Tipi</b>	VAIO Plus Ekran
<b>Çapraz Boyut (cm)</b>	33,7
<b>Çapraz Boyut (inç)</b>	13,3
<b>Çözünürlük Adı</b>	WXGA++ (1600 x 900)
<b>Çözünürlük</b>	1600 x 900
<b>En-Boy Oranı</b>	Geniş (16:9)
<b>Maksimum Çözünürlüklü Harici Ekran</b>	1920 x 1200
<b>GRAFIKLER</b>	
<b>Grafik Kartı Adı</b>	Intel® HD Grafik Kartı 3000 AMD Radeon™ HD 6630M
<b>Video RAM bellek boyutu</b>	1 GB
<b>Toplam Grafik Belleği</b>	-
<b>Yorumlar</b>	-
<b>ARAYÜZ</b>	
<b>USB Bağlantı Noktaları</b>	USB 2.0 (Tip A Konnektör) x2, USB 3.0 (Tip A Konnektör) x1
<b>i.Link 4-pin (IEEE1394)</b>	Yok
<b>Bağlantı İstasyonu Arayüzü</b>	Var
<b>Memory Stick™ Yuvası/Yuvaları</b>	Memory Stick Duo™ x1, SD bellek kartı x1
<b>Memory Stick™ İşlevi / İşlevleri</b>	Memory Stick PRO-HG™ ile uyumlu, MagicGate™ (MagicGate™ 256 MB veya daha az kapasiteli ortamlar için desteklenmez.)
<b>Mikrofon Jaki</b>	-
<b>Kulaklık Jaki</b>	Stereo, Mini Jak x1
<b>Optik Ses Çıkışı (SPDIF)</b>	Yok
<b>SD Kart Yuvası</b>	SDHC, SDXC ile uyumlu, Telif Hakkı koruması (CPRM)
<b>HDMI™ Çıkışı</b>	Var
<b>VGA Çıkışı</b>	Mini D-Sub 15 pinli x1
<b>AĞ BAĞLANTILARI</b>	
<b>Ethernet (RJ-45 Doğrudan Bağlantı Noktası)</b>	Var
<b>Ethernet Tipi</b>	1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T x1
<b>Kablosuz LAN</b>	Var
<b>Kablosuz LAN Türü</b>	IEEE 802.11a/b/g/n
<b>Kablosuz LAN Maks. Veri Hızı (Mbps)</b>	300 Mbps (RX) / 300 Mbps (TX)
<b>Dahili WWAN</b>	Var
<b>WWAN Modülü</b>	Gobi 3000
<b>WWAN İndirme/Yükleme hızları</b>	14,4 Mbps / 5,76 Mbps
<b>WiMAX</b>	Yok
<b>WiMAX Tipi</b>	-
<b>Bluetooth®</b>	Var

<b>Bluetooth® Sürümü</b>	Bluetooth® Standart Sürüm 3.0 + HS
<b>Bluetooth™ Menzili (m)</b>	maks. 10
<b>Bluetooth Maks. Veri Hızı (Mbps)</b>	24
<b>Dolby Codec</b>	Dolby® Home Theater® v3
<b>GÜVENLİK</b>	
<b>Güvenlik Çipi</b>	TCG sür.1.2 ile uyumlu
<b>Parmak İzi Sensörü</b>	Var
<b>HSS Darbe Koruması</b>	Var
<b>SES</b>	
<b>Dahili Hoparlörler</b>	Dahili, Stereo hoparlörler
<b>Dahili Mikrofon</b>	Dahili, Mono mikrofon
<b>DAHILI KAMERA</b>	
<b>Özellik</b>	Exmor™ teknolojili HD web kamerası
<b>Efektif Piksel</b>	1280 x 1024
<b>Görüntü Sensörü (Megapiksel)</b>	1,31
<b>KLAVYE</b>	
<b>Sayısal Tuş Takımı</b>	Yok
<b>Touch Pad</b>	Var
<b>Arkadan aydınlatma</b>	Var
<b>Vuruş (mm)</b>	2
<b>Tuş Aralığı (mm)</b>	19,05
<b>DIĞER ÖZELLİKLER</b>	
<b>Özel Düğmeler</b>	Assist Düğmesi, WEB Düğmesi, VAIO Düğmesi, Performans seçme anahtarı, Kablosuz anahtarı
<b>Otomatik Aydınlık Kontrolü</b>	Var
<b>Kensigton Kilidi</b>	Var
<b>Muhafaza Malzemesi</b>	-
<b>YAZILIM</b>	
<b>Çözüm Portalı</b>	VAIO Gate
<b>Ses</b>	-
<b>Fotoğraf / Video</b>	-
<b>Multimedya</b>	-
<b>Destek</b>	VAIO Care
<b>Yardımcı Programlar</b>	VAIO Transfer Support, VAIO Update, VAIO Smart network
<b>Ofis Uygulaması</b>	Office 2010 önceden yüklenmiştir (tam etkinleştirme için Office 2010 ürün anahtarı satın alın), Windows Live Essentials 2011, Adobe® Acrobat® X*, Adobe® Reader® 10
<b>Güvenlik ve Yedekleme</b>	McAfee Internet Security 30 günlük abonelik, McAfee Online Backup 30 günlük abonelik
<b>SONY Araçları</b>	-

<b>Internet</b>	Internet Explorer® 9
<b>Sorumluluk Reddi</b>	* Hollanda, Belçika, İsviçre, İsveç, Norveç, Finlandiya ve Danimarka için yazılım İngilizce olarak kurulu halde gelir
<b>BIRLIKTE VERİLEN AKSESUARLAR</b>	
<b>AC Adaptörü</b>	VGP-AC19V32
<b>Elektrik Kablosu</b>	Var
<b>Belge Paketi</b>	Var
<b>VAIO Uluslararası Onarım Hizmeti Kılavuzu</b>	Var
<b>BOYUTLAR</b>	
<b>Derinlik, Ana Birim (mm)</b>	224,5
<b>Yükseklik, Ana Birim (mm)</b>	23,3
<b>Genişlik, Ana Birim (mm)</b>	331
<b>Birlikte Verilen Pil ile Ağırlık (kg)</b>	1,75
<b>BİRİNCİL PİL</b>	
<b>Model İsmi</b>	VGP-BPS24
<b>Ağırlık (g)</b>	310
<b>Pil Tipi</b>	Lityum polimer
<b>Pil Ömrü (saat)</b>	6 (Stamina Modu) / 4 (Grafik Modu)
<b>Pil Şarj süresi (saat)</b>	3
<b>Pil Ömrü Sorumluluk Reddi</b>	Gerçek pil ömrü, özel donanım ve yazılım yapılandırmalarınıza bağlı olarak değişiklik gösterir. Ölçüt: MobileMark 2007
<b>İNCE PİL (OPTIONAL)</b>	
<b>Model İsmi</b>	VGP-BPSC24
<b>Ana Pil + İnce Pil ömrü (saat)</b>	12 (Stamina Modu) / 8,5 (Grafik Modu)
<b>Ana Pil + İnce Pil Şarj süresi (saat)</b>	5,5
<b>Pil Ömrü Sorumluluk Reddi</b>	Gerçek pil ömrü, özel donanım ve yazılım yapılandırmalarınıza bağlı olarak değişiklik gösterir. Ölçüt: MobileMark 2007

#### Ek 4. Çalışma kapsamında üretilen sentetik veri örneği

Ana Çerçeve					1 MBPS Telemetre Çerçeve Yapısı
Çerçeve 1	Çerçeve 2	Çerçeve 3	Çerçeve 4	Çerçeve 5	Bit Sayısı
1	2	3	4	5	32 Bit
1200,01	1200,02	1200,03	1200,04	1200,05	32 Bit
900562,01	900562,02	900562,03	900562,04	900562,05	32 Bit
60,02	60,01	60	59,99	59,98	32 Bit
-30067,23	-30067,23	-30067,23	-30067,23	-30067,23	32 Bit
-103	-103	-103	-103	-103	32 Bit
96,451	96,453	96,455	96,457	96,459	32 Bit
-20,7	-20,69	-20,68	-20,67	-20,66	32 Bit
87,1	87,11	87,12	87,13	87,14	32 Bit
-22,6	-22,59	-22,58	-22,57	-22,56	32 Bit
11,3	11,31	11,32	11,33	11,34	32 Bit
-64,6	-64,59	-64,58	-64,57	-64,56	32 Bit
-47,3	-47,29	-47,28	-47,27	-47,26	32 Bit
28,6	28,61	28,62	28,63	28,64	32 Bit
-37,8	-37,79	-37,78	-37,77	-37,76	32 Bit
59	59,01	59,02	59,03	59,04	32 Bit
-65,8	-65,79	-65,78	-65,77	-65,76	32 Bit
60,8	60,81	60,82	60,83	60,84	32 Bit
-91,6	-91,59	-91,58	-91,57	-91,56	32 Bit
-70,5	-70,49	-70,48	-70,47	-70,46	32 Bit
40,5	40,51	40,52	40,53	40,54	32 Bit
35,4	35,41	35,42	35,43	35,44	32 Bit
-18,2	-18,19	-18,18	-18,17	-18,16	32 Bit
18,4	18,41	18,42	18,43	18,44	32 Bit
25	25,01	25,02	25,03	25,04	32 Bit
-81,9	-81,89	-81,88	-81,87	-81,86	32 Bit
-0,2	-0,19	-0,18	-0,17	-0,16	32 Bit
-0,9	-0,89	-0,88	-0,87	-0,86	32 Bit
0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	32 Bit
0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	32 Bit
-0,6	-0,59	-0,58	-0,57	-0,56	32 Bit
1	1,01	1,02	1,03	1,04	32 Bit
0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	32 Bit
0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	32 Bit
1	1,01	1,02	1,03	1,04	32 Bit
0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	32 Bit
-0,7	-0,69	-0,68	-0,67	-0,66	32 Bit
-0,4	-0,39	-0,38	-0,37	-0,36	32 Bit

0,6	0,61	0,62	0,63	0,64	32 Bit
0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	32 Bit
70,7	70,71	70,72	70,73	70,74	32 Bit
207,9	207,91	207,92	207,93	207,94	32 Bit
142,7	142,71	142,72	142,73	142,74	32 Bit
176,9	176,91	176,92	176,93	176,94	32 Bit
107,9	107,91	107,92	107,93	107,94	32 Bit
234,6	234,61	234,62	234,63	234,64	32 Bit
207,4	207,41	207,42	207,43	207,44	32 Bit
186	186,01	186,02	186,03	186,04	32 Bit
48,5	48,51	48,52	48,53	48,54	32 Bit
49	49,01	49,02	49,03	49,04	32 Bit
153,7	153,71	153,72	153,73	153,74	32 Bit
118,5	118,51	118,52	118,53	118,54	32 Bit
135,7	135,71	135,72	135,73	135,74	32 Bit
205,7	205,71	205,72	205,73	205,74	32 Bit
172,7	172,71	172,72	172,73	172,74	32 Bit
72,8	72,81	72,82	72,83	72,84	32 Bit
64,8	64,81	64,82	64,83	64,84	32 Bit
211	211,01	211,02	211,03	211,04	32 Bit
151	151,01	151,02	151,03	151,04	32 Bit
112,9	112,91	112,92	112,93	112,94	32 Bit
41,2	41,21	41,22	41,23	41,24	32 Bit
137,3	137,31	137,32	137,33	137,34	32 Bit
				Toplam =	9920 bit + 80 Bit Boşluk '000' = 10000 Bit per 10ms

Çerçeve Hızı	Veri Sayısı
1mbps	63
5mbps	315
10mbps	630
15mbps	945
20mbps	1260
30mpbs	1890