

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA ELEKTRONİĞİ VE YAZILIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**ENDÜSTRİ VE SAVUNMA SANAYİİNDE BAKIR VE FİBER OPTİK
KABLO KULLANIMININ DENEYSEL ANALİZİ**

HAZIRLAYAN

KÜBRA ALİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2023

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA ELEKTRONİĞİ VE YAZILIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**ENDÜSTRİ VE SAVUNMA SANAYİİNDE BAKIR VE FİBER OPTİK
KABLO KULLANIMININ DENEYSEL ANALİZİ**

HAZIRLAYAN

KÜBRA ALIŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. Ö. FARUK ELALDI

EŞ DANIŞMAN

DR. NEBİ GÜL

ANKARA – 2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Savunma Elektronik ve Yazılım Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Kübra Aliş tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 04/08/2023

Tez Adı: Endüstri ve Savunma Sanayiinde Bakır ve Fiber Optik Kablo Kullanımının Deneysel Analizi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Hüseyin Canbolat (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)

.....

Dr. Öğr. Üyesi Murat Üçüncü (Başkent Üniversitesi)

.....

Prof. Dr. Faruk Elaldı (Başkent Üniversitesi)

.....

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: .../.../2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: .../.../2023

Öğrencinin Adı, Soyadı: Kübra ALİŞ

Öğrencinin Numarası: 22010234

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

Programı: Savunma Elektronik ve Yazılım Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Faruk ELALDI,

Eş Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Nebi GÜL,

Tez Başlığı: Endüstri ve Savunma Sanayiinde Bakır ve Fiber Optik Kablo Kullanımının Deneysel Analizi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 61 sayfalık kısmına ilişkin, 31/07/2023 tarihinde tez danışmanım tarafından TURNİTİN adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 (sekiz)'dir. Uygulanan filtrelemeler:

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

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” 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

Tarih: .../.../2023

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı, İmza:

Prof. Dr. Faruk ELALDI

TEŞEKKÜR

Tezimi hazırlarken, Sayın Prof. Dr. Faruk Elaldı hocama ve Sayın eş danışmanım Doktor Nebi Gül hocama bana gösterdikleri paha biçilmez sabır ve geri bildirimleri için minnettarım. Beni bu konuda çalışma yapmaya yönlendiren ve cesaretlendiren müdürüm Sayın Halil İbrahim Yaşlak'a da manevi destekleri için teşekkürü borç bilirim.

Kimsenin kızını küçük bir ilçeden büyük bir şehre okumaya göndermeye cesaret edemediği bir zamanda, gözünü kırpmadan beni Ankara'ya gönderen, bilime eğitime inandıkları için, daha iyi şartlarda eğitim alabilmemi sağlayan ve şimdiki bende en büyük pay sahibi biricik anneme ve babama, bana olan inancı ile bu süreçte moralimi ve motivasyonumu her zaman yüksek tutan biricik eşime, deney düzeneğimin kurulmasında ve tezimin ilerlemesinde bana yaptıkları tüm yardımlar için canım Altınel ailesine minnettarlığımın kelimelerle ifade edilemeyeceğini belirtmek istiyorum.

Kübra Aliş
Ankara, 2023

ÖZET

Kübra ALİŞ

ENDÜSTRİ VE SAVUNMA SANAYİİNDE BAKIR VE FİBER OPTİK KABLO KULLANIMININ DENEYSEL ANALİZİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

2023

Bu tez çalışması, fiber optik kablolar veya geleneksel bakır kablolar arasındaki seçimin, bir şirketin ağ altyapısının ya da güvenliğin üst seviye önem arz ettiği askeri uygulamaların üzerinde ne denli önemli etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bakır kablolar, ekonomik olmaları ve yaygın olarak bulunmaları nedeniyle uzun yıllardır popüler bir seçim olsa da fiber optik kablolar hız, güvenilirlik ve güvenlik açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır.

Genel olarak, bakır kablolar yerine fiber optik kablo kullanma kararı, bir şirketin veya askeri uygulamanın özel ihtiyaçlarına ve önceliklerine bağlıdır. İlk yatırım maliyeti, bakır kablolarla oranla daha yüksek olsa da hız, güvenilirlik ve güvenlik açısından uzun vadeli faydalar, fiber optik kabloları daha avantajlı bir seçim haline getirmektedir. Bu tez çalışmasında ayrıca, fiber optik kablo ve bakır kablo arasında belirli kıstaslara göre seçim yapabilmeyi sağlayan Kablo Seçim Analizörü (KSA) geliştirilmiştir. Bu uygulama aracı ile fiber optik kablo ve bakır kablo arasında seçim sağlamaya yarayan bir ara yüz vasıtasıyla en uygun kablo tipini önerilmesi sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Fiber Optik Kablo, Bakır Kablo, Veri İletim Hızı, Kablo Seçim Analizörü

ABSTRACT

Kübra ALİŞ

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE USE OF COPPER AND FIBER OPTIC CABLES IN INDUSTRY AND DEFENSE

Başkent University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defence Technologies and Systems

2023

This thesis will reveal how the choice between fiber optic cables or traditional copper cables has significant effects on a company's network infrastructure or military applications where security is a paramount importance. While copper cables have been a popular choice for many years due to their affordability and widespread availability, fiber optic cables offer several advantages in terms of speed, reliability, safety and carbon footprint.

Generally, the decision to use fiber optic cable over copper cables depends on the specific needs and priorities of a company or military application. Although the initial investment cost is higher than copper cables, the long-term benefits in terms of speed, reliability and safety make fiber optic cables the more advantageous choice. In this thesis, a Cable Selection Analyzer (KSA) was developed, which allows to choose between fiber optic cable and copper cable according to certain criteria. With this application tool, it is provided to suggest the most suitable cable type by means of an interface for choosing between fiber optic cable and copper cable.

KEYWORDS: Fiber Optic Cable, Copper Cable, Data Transmission Speed, Cable Selection Analyzer

ÖNSÖZ

Haberleşme altyapıları ve gelişen bilişim sistemlerinin vazgeçilmez dijital teknolojileri modern yaşamın her alanına nüfuz etmeye devam ederken, hızlı, güvenilir ve güvenli iletişim ağlarının önemi artmıştır. Küçük işletmelerden büyük işletmelere kadar kuruluşlar, müşterileri, ortakları ve çalışanları ile bağlantı kurmak, bilgi paylaşmak ve hizmet sunmak için ağ altyapılarına güvenir. Bu durum; özellikle 2019-2022 yılları arasında tüm dünyaya yayılan “Covid-19” salgınının yaşandığı dönemde bir kez daha derinden hissedilmiştir. Öyle ki, toplumsal hayati fonksiyonlar uzaktan erişim sayesinde ayağa kaldırılmış, bir nebze de olsa geniş halk kitlelerinin hayata tutunabilmesi sağlanmıştır. Bu durum ise ağ kablolarının seçiminin, bir ağın performansının, ölçeklenebilirliği ve güvenliği için geniş kapsamlı sonuçları olabilecek kritik bir karar olduğunu bir kez daha göstermiştir. Bu çalışma, teknik ve doğal yaşamı sürdürülebilirlik konularına fayda sağladığı kadar, gelecekte ortaya çıkabilecek Covid-19 benzeri salgın felaketlerinde daha verimli bilişim altyapılarının insan hayatının sürdürülebilirliğinde ne denli önemli olduğunu da ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple bu tezde, onlarca yıldır yaygın olarak kullanılan geleneksel bakır kablolar yerine fiber optik kabloları seçmenin avantajları ve dezavantajları incelenmektedir. Her iki kablo türünün teknik, finansal, operasyonel ve çevreci yönleri tarafsız bir teknik önceliklendirme ile incelenmiş ve eski ya da yeni kurulması planlanan ağ altyapısını optimize etmek isteyen şirketler/altyapı üreticileri için önerilerde bulunulmuştur. Bu tez çalışması, fiber optik kabloların ve bakır kabloların artıları ve eksileri hakkında özgün deneysel çıktılar aracılığı ile bilgiler sağlamakta ve ağ yatırımları hakkında bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	6
3.1. Bakır Kablolar	6
3.1.1. Burgulu çiftli bakır kablolar	6
3.2. Fiber Optik Kablolar.....	14
3.2.1. Fiber optik kablo nedir?.....	14
3.2.2. Fiber optik kablo yapısı.....	17
3.2.3. Fiber optik kablolarda ışığın yayılması	19
3.2.4. Fiber optik haberleşme	20
3.2.5. Yansıma kanunları.....	22
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE YÖNTEM.....	25
4.1. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı.....	25
4.2. Materyal ve Yöntemler	26
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZ	29
5.1. Bant Genişliği	29
5.2. Veri Paketi Kaybı.....	30
5.3. Veri Aktarım Gecikmesi	35

5.4. Uzun Mesafe Kullanım Avantajı	37
5.5. Kısa Mesafe Kullanım Avantajı	39
5.6. Veri İletme Hızı	41
6. DİĞER HUSUSLAR	43
6.1. Sinyal Bozucu Etkileri	43
6.2. Endüktans Uyumluluğu	45
6.3. Fiziksel Kırılgenlık	46
6.4. Kurulum Maliyeti	48
6.5. İdame Maliyeti	51
6.6. Elektronik Harp Hassasiyeti.....	51
7. KABLO SEÇİM ANALİZÖRÜ (KSA)	53
7.1. Kurgu 1	55
7.2. Kurgu 2	56
7.3. Kurgu 3	58
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
8.1. Genel Karşılaştırma.....	60
KAYNAKLAR.....	62

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Fiber optiğın tarihi seyri.....	4
Tablo 3.1. Ekransız burgu çiftli kablo grıplaması	9
Tablo 4.1. Taguchi metoduna göre kaynak parametreleri	26
Tablo 5.1. Bakır kablo ve fiber optik kablonun bant genişliğı karşılaştırması.....	30
Tablo 5.2. Bakır kablo ve fiber optik kablonun uzunluklarına göre veri kaybı karşılaştırması	33
Tablo 5.3. Bakır ve fiber optik kablolarda RTT analizi	36
Tablo 5.4. Bakır ve fiber optik kablolarda veri gecikme sürelerinin karşılaştırılması	37
Tablo 7.1. Kablo seçim analizörü uygulama yazılımı veri tabanını oluşturan kıstas ve seçenekler menüsü.....	53
Tablo 8.1. Tezde işlenen parametrelere göre fiber optik kablo ve bakır kablonun karşılaştırma tablosu	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Fotofon örneği	3
Şekil 2.2. Fiber optik sistem diyagramı örneği.....	5
Şekil 2.3. Fiber optik kablonun sistemde bulunduğu yer örneği	5
Şekil 3.1. Burgulu çiftli kablolar	6
Şekil 3.2. Ekransız burgulu çiftli kablo örneği.....	7
Şekil 3.3. Token-ring ağlarında kullanılan kablolama örneği	9
Şekil 3.4. Telefon ağlarında kullanılan kablo örneği.....	9
Şekil 3.5. 10BaseT4 sistemlerinde kullanılan kablo örneği	10
Şekil 3.6. Ethernet bağlantısı için kullanılan kablolama örneği	10
Şekil 3.7. Folyo ekranlı kablo örneği	11
Şekil 3.8. Spiral korumalı ekran kabloları	12
Şekil 3.9. Kombine ekranlı kablolar	12
Şekil 3.10. Metalik örgü korumalı ekranlı kablolar	13
Şekil 3.11. Fiber optik kablo yapısı	17
Şekil 3.12. Fiber optik kablo yapısı	17
Şekil 3.13. Işığın kabul açısından küçük bir açıyla fiber içerisinde ilerlemesi	19
Şekil 3.14. Fiber kabloları ışığın yayılması	20
Şekil 3.15. Fiber optik haberleşme	21
Şekil 3.16. Dağınık yansıma örneği	23
Şekil 3.17. Düzgün yansıma örneği.....	23
Şekil 4.1. Router ve SFP.....	26
Şekil 4.2. CAT6/UTP ve tek modlu fiber optik kablo.....	26
Şekil 4.3. Deneysel kurulum	27
Şekil 4.4. Deney düzeneği kurulum diyagramı	27
Şekil 5.1. Bakır ve fiber optik kabloların bant genişliği karşılaştırma grafiği	29

Şekil 5.3. 6000 veri paketi gönderilen bakır kablo ve fiber optik kablonun mesafelere göre veri kayıplarının karşılaştırması	33
Şekil 5.4. 6000 veri paketi gönderilen bakır kablo ve fiber optik kablonun mesafelere göre veri kaybı yüzdelerinin karşılaştırılması	34
Şekil 5.5. Router 1 ve Router arasındaki zaman senkronizasyonu.....	36
Şekil 5.6. Bakır ve fiber kabloların gecikme sürelerinin karşılaştırılması	37
Şekil 5.7. Bakır ve fiber optik kabloların uzunluklarına göre veri kayıpları karşılaştırması.....	38
Şekil 5.8. Bakır ve Fiber optik kabloların veri iletim süreleri karşılaştırması.....	42
Şekil 6.1. Bakır kablo bağlantılarında meydana gelebilen toprak döngüsü örneği	44
Şekil 7.3. KSA arayüz görünümü	55
Şekil 7.4. Kurgu 1 için KSA’da veri girişleri sonucundaki arayüz görünümü.....	56
Şekil 7.5. Kurgu 1’de KSA’ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi.....	56
Şekil 7.6. Kurgu 2 için KSA’da veri girişleri sonucundaki ara yüz görünümü.....	57
Şekil 7.7. Kurgu 2’de KSA’ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi.....	58
Şekil 7.8. Kurgu 3 için KSA’da veri girişleri sonucundaki ara yüz görünümü.....	58
Şekil 7.9. Kurgu 3’te KSA’ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DSF	Dispersion Shift Fiber (Dispersiyon Kaydırmalı Fiber)
EMI	Elektromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
EMP	Elektromagnetic Pulse (Elektromanyetik Darbe)
E/O	Elektrik Optik Dönüşümü
FOA	Fiber Optic Association (Fiber Optik Derneği)
$GeCl_4$	Germanyum Tetraklorür
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme Sistemi)
IoT	The Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
IP	Internet Protokolü
KSA	Kablo Seçim Analizörü
MMF	Multi Mode Fiber (Multi Mod Fiber)
NIST	National Institute of Science and Technology (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)
O/E	Optik Elektrik Dönüşümü
OWD	One Way Delay (Tek Yönlü Gecikme)
PCS	Plastic Cover Silicon (Plastik Kaplı Silika)
Pmma	Polimetilmetakrilattan
PoE	Power over Ethernet (Ethernet Üzerinden Güç)
RFI	Radyo Frekansı Girişimi
RTD	Gidiş Dönüş Gecikmesi
RTT	Gidiş Dönüş Süresi
$SiCl_4$	Silikon Tetraklorür
SM	Single Mode Fiber (Tek Modlu Fiber)
STP	Shielded Twisted Pair (Ekranlı Burgulu Kablo)
TCP	İletim Kontrol Protokolü
TCP/IP	İletim Kontrol Protokolü/İnternet Protokolü
θ_1	1. Ortamın Kabul Açısı
θ_2	2. Ortamın Kabul Açısı
θ_c	Kritik Açısı
UPS	Kesintisiz Güç Kaynakları
UTP	Unshielded Twisted Pair (Ekranlı Burgulu Kablo)

1. GİRİŞ

Günümüzde bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı ilerleme, veri iletimi için kullanılan kablolu ağ altyapılarında da önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu değişimde en belirgin iki seçenek, geleneksel bakır kablolarla alternatif olarak fiber optik kabloların kullanılmasıdır. Fiber optik kablo sistemlerinde de bakır kablo sistemlerinde de elektriksel sinyaller gönderilir ve alınır. Fiber optik kablolar, elektriksel sinyali ışık sinyallerine çevirerek verilerin yüksek hızda ve uzun mesafelere sorunsuz bir şekilde iletilmesini sağlar.

Fiber optik ve bakır kablolar arasındaki veri iletim performansının karşılaştırılması, ağ altyapılarının doğru şekilde seçilmesi ve optimize edilmesi açısından büyük önem taşır. Bu analiz, farklı kullanım senaryolarında her iki kablonun avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirerek veri iletimindeki performanslarını karşılaştırmaktadır.

Öncelikle, fiber optik kabloların yüksek bant genişliği ve düşük gecikme süresi gibi avantajları üzerinde durulmaktadır. Fiber optik kablolar, büyük miktardaki verilerin hızlı bir şekilde iletilmesini sağlar ve yüksek hızlı internet bağlantıları için ideal bir seçenektir. Ayrıca, fiber optik kablolar elektromanyetik gürültülere karşı daha dirençlidir, bu da veri iletiminin güvenilirliğini artırır.

Diğer yandan, bakır kablolar daha yaygın olarak kullanılmakta olup mevcut altyapıda geniş bir dağılıma sahiptir. Bakır kablolar, daha düşük maliyetli bir seçenek olabilir ve bazı durumlarda yeterli veri iletim performansını sağlayabilir. Ancak, uzun mesafelerde ve yüksek bant genişliklerinde fiber optik kabloların üstünlüğü belirgin hale gelir.

Bu karşılaştırmalı analizde, veri iletim performansının yanı sıra diğer faktörler de ele alınmış ve her iki kablonun maliyeti, kurulum kolaylığı, güvenilirlik ve gelecekteki genişleme potansiyeli gibi kritik hususlar da değerlendirilmiştir. Sonuç olarak da işletmeler ve tüketiciler için en uygun veri iletim çözümünün hangisi olduğunu belirlemeye yardımcı olacak bilgilerin sağlanması hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, fiber optik ve bakır kablolar arasındaki veri iletim performansını objektif bir şekilde karşılaştırarak, kullanıcıların ihtiyaçlarına en uygun olanını seçmelerine yardımcı olmaktır. Bu analiz, ağ altyapısının etkili bir şekilde tasarlanması ve optimize edilmesi için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmanın yapısı, önce bakır kabloların teknik özelliklerini ve avantajlarını ayrıntılı bir şekilde tanıtarak ve ardından fiber optik kabloların karakteristiklerine odaklanarak yol almaktadır. Daha sonra, veri iletim performansını belirlemek için çeşitli kıstaslar kullanılarak her iki kablonun performansı karşılaştırılmaktadır. Bunlar arasında

sinyal bozucu etkiler, bant genişliği, veri paketi kaybı, veri aktarım gecikmesi, endüktans uyumluluğu, uzun ve kısa mesafe kullanım avantajları, fiziksel kırılgenlik, hız, güvenilirlik ve maliyet gibi faktörler yer almaktadır.

Ayrıca, fiber optik ve bakır kabloların farklı kullanım senaryolarında nasıl performans gösterdiğine ve ölçülebilir sonuçlara dayalı gerçek dünya örnekleri sunulmaktadır.

Sonuç bölümünde, elde edilen bulguların derinlemesine değerlendirilmesi yapılmış ve her iki kablo türünün avantajları, dezavantajları ve kullanım alanları özetlenmiştir. Ayrıca, gelecekteki teknolojik gelişmeler ve ağ ihtiyaçlarının dikkate alınması da göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışma, fiber optik ve bakır kablolar arasındaki veri iletim performansının karşılaştırmalı analizine sağlam bir temel oluşturmayı ve kullanıcıların altyapı seçimlerini yapmalarında kolaylık sağlamayı amaçlamaktadır. Bu analiz, hızla gelişen iletişim teknolojileri çağında, doğru altyapı seçiminin önemini vurgulayacak ve bilgi teknolojileri uzmanları, işletmeler ve tüketiciler için değerli bir kaynak sunması beklenmektedir.

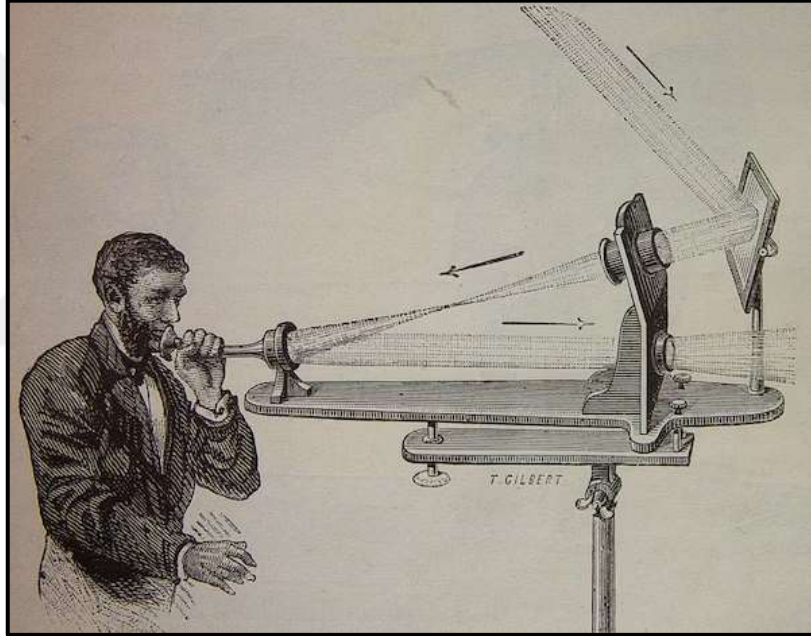
Teknolojinin gelişiminden kablo sektörü de etkilenmiştir. Geçtiğimiz yıllarda sık kullanılan bakır kablo son zamanlarda hızlı bir şekilde yerini fiber kablolarla bırakmaktadır. Bu değişim askeri ve endüstriyel alanlarda da kendini göstermeye başlamıştır. Bakır kabloların yerine fiber kabloların hangi alanlarda kullanılabileceğinin teknik analizine ve birbirine göre üstünlüklerinin açıklandığı en uygun kablaj çözüm önerilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışma sayesinde bakır kablo kullanılan bölgelerin fiber kablo sistemine geçtikten sonra elde ettiği kazanımlar ve yaşadığı olumsuz durumlar hakkında bilgi verilmekte ve bu çıktılar sonucunda bakır kablolar ve fiber kabloların karşılaştırılması yapılmaktadır. Kablaj teknolojisinde askeri ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan bakır kablolar alternatif olarak geliştirilen fiber optik kabloların kullanılması sonucunda ortaya çıkan kazançlar veya kayıplar çalışmanın konusu olarak belirlenmekte ve bu konuda çeşitli analizler yapılarak en uygun kablaj çözüm önerilerinde bulunmaktadır. Çalışmada kabloların kullanım alanlarına göre sınıflandırılması ile kuramsal çerçeve oluşturulmuş ve sınıflandırılan alanların her biri için fiber ve bakır kablolar karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Günlük hayatın her alanında kullandığımız kabloların üretimi, 1850'li yıllara dayanmaktadır. Bu dönemde İngiltere ve Fransa arasında telgraf hattının kurulumunda ilk defa bakır kablo kullanılmıştır.

Fiber optik tarihi incelendiğinde “Alexander Graham Bell” 1880’de “fotofon” ismini verdiği cihazla çalışmalarını sürdürmeye başlamıştır. “Fotofon cihazı”, ses dalgalarının ışık vasıtasıyla iletildiği, ayna ve selenyumlu detektörlerden üretilmiştir. Avantajlarının yanında dezavantajları da bulunan “fotofon” esasen kullanışlı olmayan, güvenilirliği düşük ve günlük hayatta uygulaması olmayan bir cihazdı [1].

Şekil 2.1’de fotofon örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotofon örneği [2]

Fiberoptik iletişim teknolojisi, 20. yüzyılın ortalarında geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak fiberoptiğin temelleri, 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanır. Işığın, bir ortamdan başka bir ortama taşınabilmesi fikriyle başlayan çalışmalar, daha sonra fiberoptik iletişimin temelini oluşturan optik fiberlerin geliştirilmesine yol açmıştır [4,5,6].

1950'lerde, araştırmacılar plastik ve cam fiberler üzerinde çalışmalar yaparak, ışığı içlerinde taşıyabilen fiberlerin mümkün olduğunu keşfettiler. Ancak ilk dönem fiber optik iletişim sistemleri, ışığı yeterince iletebilen ve kayıpları düşük olan fiberlerin üretilmesi açısından zorluklarla karşılaştı.

1960'ların ortalarında, lazerlerin ve yüksek kaliteli cam fiberlerin geliştirilmesi, fiberoptik iletişim teknolojisinin ilerlemesine katkıda bulundu. 1970'lerde ve 1980'lerde, optik fiberlerin kayıpları azaltıldı ve iletim kapasiteleri artırıldı. Bu dönemde, tek modlu ve çok modlu fiberler gibi farklı fiber tipleri ortaya çıktı.

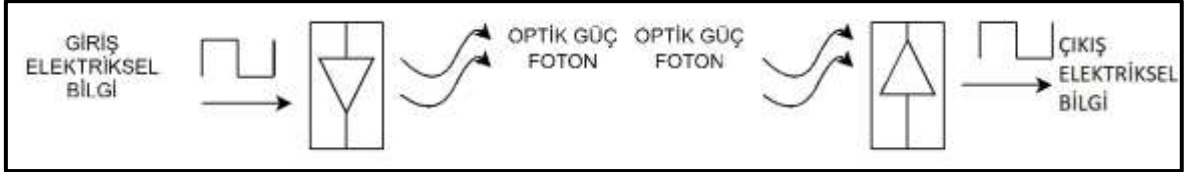
1980'lerin sonlarında, optik fiberler ve iletişim ekipmanlarındaki gelişmeler, fiberoptik iletişim sistemlerinin ticari olarak kullanılmasını mümkün kıldı. Bu dönemde, uzun mesafelerde yüksek hızlarda veri iletimi gerçekleştiren optik fiber ağları yaygınlaştı.

Fiber optiğin tarihi seyri Tablo 2.1'de şu şekilde özetlenebilmektedir [7]:

Tablo 2.1. Fiber optiğin tarihi seyri [7]

TARİH	AÇIKLAMA
1880	Graham Bell'in, fotofon kullanarak 200 metre uzaklıktaki alıcı ile haberleşmeyi başarması
1887	Vernen Boys'un ilk ince cam fiberi (koruyucu kaplaması olmadan) üretmesi
1966	Endüstride cam fiberin kullanımı düşüncesinin ortaya atılması
1973	Fiber optik kabloların, hassas askeri haberleşmelerinde kullanılması
1975	1310 nm dalga boyu optik penceresinin kullanılması
1976	45 Mbit/s'lik çoklayıcı sisteminin ilk denemesi
1979	Fiber optik kablolarda kilometre başına zayıflamanın 4 dB'den 0.2 dB'ye indirilmesi
1988	1.6 Gbps çoklayıcı sistemi kullanılarak (23040 kanallı) tekrarlayıcılar arasındaki mesafenin 40 kilometreye erişmesi
1997	40 Gbps'lik iletim hızı ile 300 kilometre iletim mesafesine ulaşılması

Günümüzde, fiberoptik iletişim teknolojisi, telekomünikasyon, internet, veri iletimi, tıp ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Optik fiberler, yüksek hızlarda veri iletimi, yüksek bant genişliği, düşük gecikme süresi ve yüksek güvenilirlik gibi avantajlarıyla diğer iletişim ortamlarına göre avantajlar sunmaktadır. Optiksel etkileşim, elektriksel girdi sembolünün, bir ışık kaynağı aracılığıyla ışık sembolüne evrilip bir iletim hattı vasıtasıyla alıcı yönüne doğru aktarılması ve yeniden elektriksel sembole evrilmesi yoluyla verinin iletimi ilkesine dayandırılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Fiber optik sistem diyagramı örneği



Şekil 2.3. Fiber optik kablonun sistemde bulunduğu yer örneği

Fiber optik kablonun sistemde bulunduğu yer örneği Şekil 2.3'te belirtilmiştir. Giriş sinyali olarak belirtilen elektronik veri (örneğin bir telefon görüşmesi, video görüntüsü gibi) modülatör tarafından alınır. Modülasyon işlemiyle, elektrik sinyali optik sinyalin frekans, faz veya yoğunluk gibi özelliklerini değiştirir. Bu modüle edilmiş optik sinyal, elektriksel/optik çeviricide optik bir taşıyıcı sinyal üzerine uygulanır ve fiber optik kablo aracılığıyla iletilir. Dönüştürücü olarak tek biçimde ve eş süreli ışık veren yarı iletken bir lazerin kullanımına başvurulmaktadır [3]. Çıkış biriminde optik sinyal elektriksel sinyale çevrildiği optik/elektriksel çeviricinin ardından demodülatör tarafından alınır ve optik sinyalin içerdiği bilgi elektrik sinyaline çevrilir. Bu işlem genellikle fotodiyotlar veya fotodetektörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Demodülatörler, fiber optik kablodan gelen optik sinyallerin içerdikleri bilgiyi yeniden anlamlı kılmak için kullanılır. Modülasyon işlemiyle taşınan bilgi, çözücü işlemiyle yeniden anlamlı hale getirilir ve orijinal elektrik sinyali elde edilir.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Bakır Kablolar

Bakır kablolar üretilirken bakır tellerden faydalanılmaktadır. Bakır kabloların elektrik akımına karşı direnci düşük olmakta ve bu kablolar sinyalleri daha uzak mesafelere aktarabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bakır kablolar çokça tercih edilmektedir. Bakır kabloların da kendi içinde farklı türleri bulunmaktadır. Bu türlerden en çok kullanımına başvuru burgulu çift kablolar ve koaksiyel kablolardır. Koaksiyel kabloların çevresel etkenlerin manyetik olarak en yoğun alanlarında dahi kullanılması en ideal bakır kablo türü olarak gösterilmesini sağlamıştır. Bakır kabloların başlıca kullanım alanları telefon, televizyon ve yerel ağ bağlantıları şeklinde belirtilmiştir [8].

3.1.1. Burgulu çiftli bakır kablolar

Burgulu çiftli kablolar çoğunlukla telefon hatlarında kullanılmaktadır. Bu gibi kabloların her biri ayrı olacak şekilde yalıtkan bir madde ile kaplanmakta ve bu kablolar çift olacak şekilde birbirine bükülmektedir. Bu bükme işleminin amacı, yalıtkan bir madde ile kaplanmamış kablonun oluşturduğu elektromanyetik alanın etkisini kısıtlayıp diğer kablolarda gürültünün oluşmasını engelleyerek kabloyu veri aktarım ağında kullanılmaya hazır hale getirmektir [9].

Burgulu çiftli kablonun metal bir kılıf giydirilmiş şekli, “ekranlı burgu çiftli kablo” olarak adlandırılmaktadır. İzolasyonu sağlanmış bükümlü çiftlerin çevresine sarılan metal kılıfla kablo elektromanyetik alandan daha iyi bir şekilde muhafaza edilmekte ve bu durum sinyallerin daha uzak mesafelere aktarılmasına imkân tanımaktadır [10].



Şekil 3.1. Burgulu çiftli kablolar [11]

Burgulu çiftli kablonun mucidi olarak Alexander Graham Bell gösterilmektedir. 1881 yılında patenti alınan kablo günümüzde yerel ağ bağlantısında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [12].

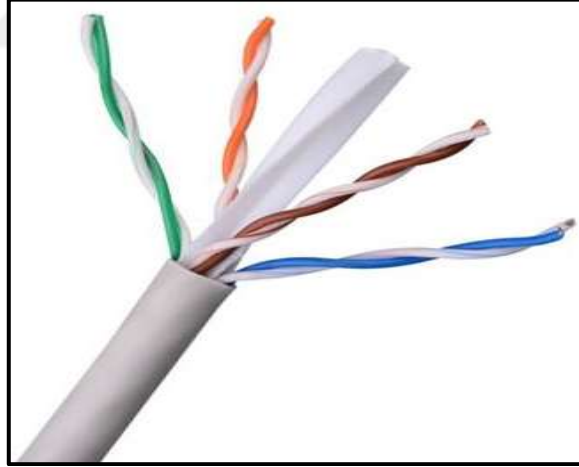
Burgulu çiftli kabloların üretiminde her kablo çifti birbirine dolandırılmaktadır. Böylelikle sinyalin aktarılması esnasında oluşabilecek gürültü her iki telde de birbirine yakın etkiyi bırakacağı için uçlarda gürültünün etkisini yok etmek daha kolay olmaktadır (Şekil 3.1) [13]. Burgulu çiftli kablolar kendi içinde “ekransız burgu çiftli kablolar” ve “ekranlı burgu çiftli kablolar” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Ekransız Burgu Çiftli Kablolar (UTP)

Ekransız burgu çiftli kablolar, genellikle bakır tellerden yapılan ve birbirine sıkıca sarılmış iki teli içeren bir kablo türüdür. Bu sarılmış yapı, her bir telin elektriksel sinyalini diğer tel üzerinde oluşabilecek elektromanyetik girişimden korur.

Ekransız burgu çiftli kabloların içinde 4 çift bakır kablo bulunmaktadır. Kabloların birbirleri üzerindeki manyetik etkilerini düşürmek için bakır kablolar ikiye sarılı halde yer almaktadırlar. Burgu yapılan kabloların küçük bir alana sahip olmasından kaynaklı kablo kanallarında daha az hacim tutmakta ve büyük ağ sistemlerinde avantaj oluşturmaktadır. Ekransız burgu çiftli kablolar sayesinde veri aktarımı ve sinyal paylaşımı hızlanmıştır. Bu durum ekranlı burgu çiftli kabloların daha sık kullanılmasını sağlamıştır [15].

Şekil 3.2.de ekranlı burgulu çiftli kablo örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ekransız burgulu çiftli kablo örneği [16]

Kablodaki bakır teller çift olarak birbirine dolanmıştır. Her çiftin bir ana renkli ve bir beyaz olanı bulunmaktadır. Şekil.3.1 ve 3.2’de görüldüğü üzere ana renkler, kahverengi, mavi, yeşil ve turuncu olarak belirlenmiştir.

Ekransız burgu çiftli kablolar, belli bir mesafe için üzerinden taşıyabilecekleri sinyal oranına göre gruplara ayrılmışlardır. Bu gruplar Tablo 3.1.de gösterilmiştir. Ekransız burgu

Çiftli kablolar, belirli bir sinyal taşıma kapasitesi sağlamak için farklı kategori numaraları altında sınıflandırılmıştır. Kategori 5e (Cat5e), Kategori 6 (Cat6) ve Kategori 6A (Cat6A) en yaygın kullanılan kablo kategorileridir.

Kategori 5e (Cat5e) kablolar, 1000BASE-T Ethernet (1 Gbps) gibi standart hızlarda iletişim sağlar ve genellikle ofis ağları, ev ağları ve telefon hatları gibi orta hızlarda veri iletimi gerektiren uygulamalarda kullanılır.

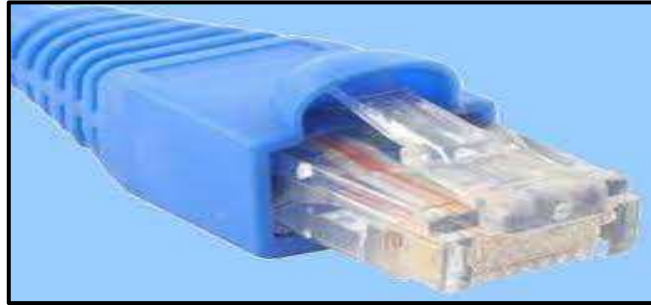
Kategori 6 (Cat6) kablolar, daha yüksek bant genişliği ve daha yüksek sinyal iletim hızı sağlar. Bu kategori, 10GBASE-T Ethernet (10 Gbps) gibi daha yüksek hızlarda veri iletimi gerektiren ağlar için tercih edilir.

Kategori 6A (Cat6A) kablolar, daha da yüksek bant genişliği ve daha uzun mesafelerde daha iyi performans sağlar. Genellikle profesyonel ağlar, veri merkezleri ve yüksek performanslı uygulamalar için kullanılır.

Tablo 3.1. Ekransız burgu çiftli kablo gruplaması [14]

Kategori	Açıklama
Kategori 1	• 1985'te ortaya çıkmıştır. • Telefon hatlarında kullanılır
Kategori 2	• 4 Mbps hızında veri transferi sağlar. • Token-ring ağlarda ve bazı telefon sistemlerinde kullanılmıştır.
Kategori 3	• 10 Mbps hızında veri transferi sağlar. • Token-ring ağlarda ve 10BaseT sistemlerde kullanılmıştır ve bazı telefon sistemlerinde hala kullanılmaktadır.
Kategori 4	• 16 Mbps hızında veri transferi sağlar. • Token-ring ağlarda, 10BaseT ve 10BaseT4 sistemlerde kullanılmıştır.
Kategori 5	• Yerel ağ bağlantıları için kullanılır. • Günümüzde neredeyse tüm yerel ağ bağlantıları Kategori 5 UTP kablolarıyla yapılmaktadır. • 100 metrelik mesafe aşılmadığı müddetçe 100 Mbps'lik veri aktarım kapasitesine sahiptir. • Bu nedenle 100 Mbps hızını destekleyen Ethernet kartı ile çalışabilecek en uyumlu kablodur.
Kategori 6	• Kategori 5 kablosuna göre daha üstün bir üretim tekniği kullanılarak üretilmiş olması nedeniyle, 1000 Mbps hızında veri iletimine imkân tanır. • Gigabit Ethernet kartlarıyla birlikte kullanılır.
Kategori 7	• Kategori 6 kablosuna göre daha üstün bir üretim tekniği kullanılarak üretilmiş olması nedeniyle, 1200 Mbps hızında veri iletimine imkân tanır.

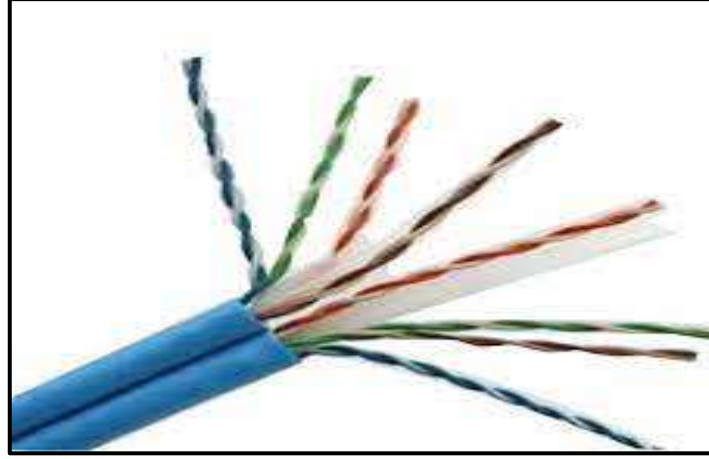
Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da bazı ekransız burgu çiftli kablo/kablolama örnekleri sunulmuştur.



Şekil 3.3. Token-ring ağlarında kullanılan kablolama örneği [17]



Şekil 3.4. Telefon ağlarında kullanılan kablo örneği [18]



Şekil 3.5. 10BaseT4 sistemlerinde kullanılan kablo örneği [19]



Şekil 3.6. Ethernet bağlantısı için kullanılan kablolama örneği [20]

Ekransız burğu çiftli kabloların avantajları arasında ekonomik olmaları, esnek yapıya sahip olmaları ve elektro manyetik girişimi (EMI: Elektromagnetic Interference) azaltmaları sayılabilir. Ancak, uzun mesafelerde ve yoğun elektromanyetik alanlarda kullanıldığında sinyal bozulması ve kayıplar yaşanabilir. Bu nedenle, uzun mesafeli ve yüksek performans gerektiren ağlar için ekranlı burğu çiftli kablolar veya fiber optik kablolar gibi diğer seçenekler tercih edilebilir.

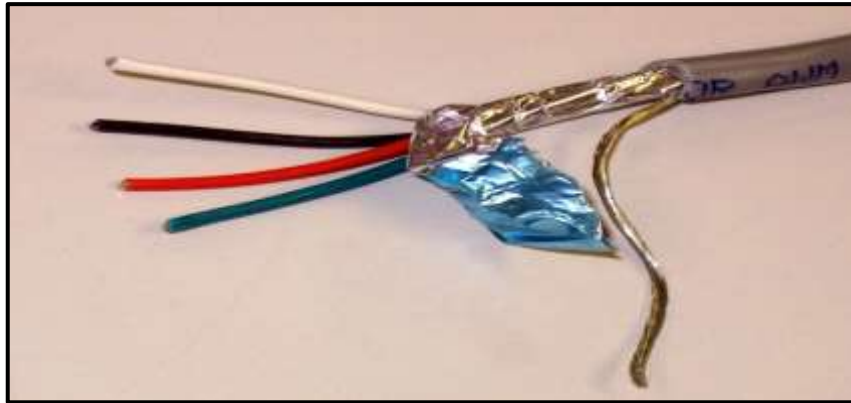
Ekransız burğu çiftli kablolar, geniş bir kullanım alanına sahiptir ve Ethernet ağlarının yanı sıra telefon hatları, CCTV sistemleri, güvenlik sistemleri ve ses iletimi gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Ekranlı Burgu Çiftli Kablolar (STP)

Ekranlı burgu çiftli kablolar (shielded twisted pair cables), iletişim ve veri aktarımı için kullanılan bir kablo türüdür. Her bir iletken telin tamamının dış çevresinde bir ekran (genellikle metalik bir kaplama veya folyo) bulunur. Bu ekran, içerdikleri sinyalleri dış elektromanyetik girişimden (EMI) korumak amacıyla kullanılır [21].

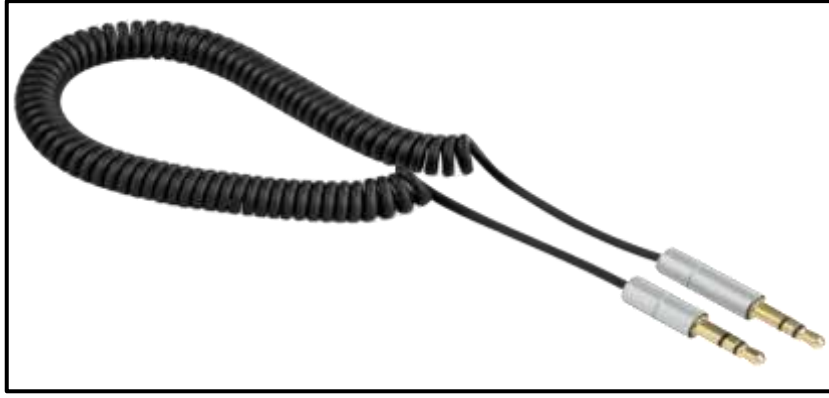
Genelde, ekran olarak tanımlanan bu yüzeye plastik bir kılıf giydirilmektedir. Ekranlı burgu çiftli kablolar, kurulum bölgelerinde içyapı kablolarının üzerinden aktarılan verilerin girişim yapma ihtimalini en düşük seviyeye indirmek için kullanılmaktadır. Bu kablolar, bakır teller aracılığıyla taşınan sinyalleri elektromanyetik girişimlerden muhafaza etmede son derece etkilidir. Ekranlı burgu çiftli kabloların da kendi içinde türleri bulunmaktadır [22].

- Folyo Ekranlı Kablolar: Şekil 3.7’de bir örneği gösterilen folyo koruyucu, kalın olmayan bir alüminyum ya da bakır levhadan üretilmiştir. Kablonun gücünü ve direncini yükseltmek için, folyo çoğunlukla bir polyester taşıyıcıya bağlanmaktadır. Folyo ekranlı kablo çeşitleri [23] olarak 4 çekirdek ekran kablosu 0.75 mm, 6 çekirdek ekran kablosu, 4 çekirdek ekran kablosu 0,5 mm, 3 çekirdek ekranlı kablosu örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.7. Folyo ekranlı kablo örneği [24]

Spiral Korumalı Ekranlı Kabloları: Şekil 3.8’de bir örneği gösterilen bu tip kablolar içeriğinde birbirine paralel şekilde olan bakır tellerden üretilmiş ucuz maliyetli bir spiral kalkan bulundurmaktadırlar. Zira kablonun uçlarının çözülmesine gerek duyulmaz ve kablonun kurulumu kolaydır. Bakır tellerin sarmal olması kablonun gerilmesini daha da kolaylaştırmaktadır. Spiral korumalı ekranlı kablolar için 4 çekirdekli ekranlı burgulu kablo, 2 çekirdekli ekranlı kablo, zırhlı ekranlı kablolar örnekler arasındadır [25].



Şekil 3.8. Spiral korumalı ekran kabloları [26]

Kombine Ekranlı Kablolar: Şekil 3.9’da bir örneği gösterilen bu tip kablolar birden çok yalıtkan kalkandan oluşmaktadırlar. Kombine ekranlı kablo çeşitleri için 4 çekirdekli çift ekranlı kablo, 1 çekirdekli çift ekranlı kablo örnekleri verilebilir [27].



Şekil 3.9. Kombine ekranlı kablolar [28]

Metalik Örgü Korumalı Ekranlı Kablolar: Şekil 3.10’da bir örneği gösterilen bu kablo türündeki kalkanlar (metalik örgü) çoğunlukla çıplak bakır tellerden üretilmektedir. Mekanik koruma çelik ve diğer metaller yardımıyla sağlanmaktadır. Bu kablolar, bir tekstil örgüsünün bir iletken veya iletkenler üzerine sarılmasına benzer biçimde bir iletken ya da iletkenler üzerine dokunulur [29].



Şekil 3.10. Metalik örgü korumalı ekranlı kablolar [30]

Ekranlı burgulu kablolar, daha yüksek performans gerektiren ve elektromanyetik girişime daha hassas olan uygulamalarda tercih edilir. Özellikle endüstriyel ağlar, medikal cihazlar, havaalanları, güç üretim tesisleri gibi ortamlarda yaygın olarak kullanılırlar. Ekranlı yapıları sayesinde daha iyi sinyal bütünlüğü ve daha az sinyal bozulması sağlarlar. Ancak, daha karmaşık bir yapıya ve daha yüksek maliyete sahip olmaları nedeniyle, daha basit iletişim ihtiyaçları için ekranlı burgulu kablolar da tercih edilebilir.

Ekranlı kabloların elektromanyetik girişimi engellemesinde rol oynayan bazı parametreler takip eden paragraflarda açıklanmıştır.

Ekran Bariyeri: Ekranlı kabloların içerdikleri sinyalleri koruması için etrafında bir ekran bulunur. Bu ekran, metalik bir kaplama veya folyo şeklinde olabilir. Ekran, kablonun içindeki sinyalleri dış elektromanyetik alanlardan (örneğin, diğer elektrik kablolarının veya elektronik cihazların yaydığı elektromanyetik alanlar) izole eder.

Faraday Kafesi Etkisi: Ekran, elektromanyetik alanların kablodaki sinyaller üzerindeki etkisini azaltır veya engeller. Bu, Faraday kafesi prensibi olarak bilinir. Ekranın metal yapısı, elektromanyetik alanın içeri girmesini zorlaştırır ve sinyalin içindeki tellerdeki sinyalle karışmasını engeller.

Yansıtma ve Emilim: Ekran, elektromanyetik alanı yansıtabilir veya emebilir. Elektromanyetik alan, ekranın üzerine geldiğinde, ekran kısmen yansıtabilir ve kısmen emebilir. Bu sayede, dış elektromanyetik alanın içindeki sinyallerle etkileşimi azalır veya engellenir.

Topraklama: Ekran, kablonun bir ucunda topraklanır. Bu topraklama, elektromanyetik alanların kablolardan geçişini engeller veya azaltır. Topraklama, dış elektromanyetik alanların etkisini yere yönlendirerek sinyallerin daha güvenli bir şekilde iletilmesini sağlar.

Bu mekanizmalar, ekranlı burgulu kabloların elektromanyetik girişimi engellemesine yardımcı olur. Ekran, içerdikleri sinyalleri dış elektromanyetik alanlardan izole eder, yansıtabilir veya emebilir ve topraklama ile elektromanyetik alanın etkisini azaltır. Bu şekilde, sinyallerin daha güvenli bir şekilde iletilmesi ve sinyal bozulmasının önlenmesi sağlanır [31].

3.2. Fiber Optik Kablolar

Bu bölümde fiber optik kablolar hakkında açıklamalara yer verilmiştir.

3.2.1. Fiber optik kablo nedir?

Fiber optik kablo, ışık enerjisinin kullanıldığı ve yüksek hızlı iletişime imkân veren bir kablo türüdür. Fiber optik kablolar, ince ve esnek cam veya plastik liflerden oluşur ve içlerinden ışığın geçebileceği bir merkezi çekirdek ile bu çekirdeği saran bir kılıf (cladding) içerir.

Fiber optik kablolardaki çalışma prensibi, temel olarak içinden ışığın yansımaları ilkesine dayanır. Işık, bir uçtan diğerine doğru ilerlerken, fiberin içindeki çekirdeğe yönlendirilir. Işık, çekirdek ve kılıf arasındaki sınıra çarptığında, iç yansıma gerçekleşir. Bu iç yansıma, ışığın çekirdek boyunca yansıyarak iletimini sağlar. Bu sayede, veri sinyalleri ışık hızında ve minimum kayıpla iletilir.

Fiber optik teknolojilerinin başlangıcı ilk fiber optik iletişim ilkelerinin keşfedildiği 1970'lere kadar uzanmaktadır. Ancak kimilerine göre fiber optik teknolojilerinin başlangıcı olarak 1880'de Alexander Graham Bell'in, bir ışık hüzmesi aracılığıyla bir ses sinyalini iletebilen “*fotofon*”u icat etmesi olarak gösterilmektedir (Şekil 2.1). Fotofon, Alexander Graham Bell tarafından 1880 yılında icat edilen bir cihazdır ve ışıkla ses iletimini sağlamak için kullanılmıştır. Fotofon, bir ışık kaynağından (örneğin, güneş) gelen ışığın bir aynadan yansıtılarak, iletilcek sese modüle edildiği bir alıcıya iletilmesi prensibine dayanır. Fotofon, kablosuz bir iletişim teknolojisi olmasına rağmen, fiber optik teknolojinin temelini oluşturan “ışıkla veri iletimi” fikrinin başlamasına öncülük etmiştir. [33].

Günümüzde fiber optik için en büyük endüstri, telefon sinyallerini, interneti ve kablolu televizyonu iletmek için fiber optik kullanan telekomünikasyon endüstrisidir. Fiber optik kablolar, telekomünikasyon endüstrisinde hız, bant genişliği, güvenlik ve güvenilirlik sağlamak için temel bir bileşendir. Bu kablolar, daha hızlı, daha güvenli ve daha yüksek kapasiteli iletişim sistemlerinin oluşturulmasına olanak tanır.

Fiber optiğin birçok çeşidi vardır. Ancak fiber optik kabloları oluşturan elyaf, plastik ve plastik kaplı silika (PCS) olmak üzere üç genel malzeme türü vardır [34]:

Fiber optik kablo tipleri, dalga boyu özelliklerine göre farklı zayıflama faktörlerine sahiptir. Soğurma (Absorbsiyon)ve saçılma, fiber zayıflamasının ana nedenleri olarak gösterilmektedir. Önemli bir soğurma meydana geldiğinde, sinyal gücü, fiber çekirdeğinden yayılan ışığı zayıflatmaktadır. Saçılma, yayılan ışığı çekirdekten kaplama malzemesine yeniden yönlendirerek sinyal gücünü de etkilemektedir. Zayıflama, ortak tepe dalga boylarının seçici olarak sınıflandırılmasıyla ele alınabilmektedir. Fiber optik kablolarında 850 nm, 1300 nm ve 1500 nm baskın olan üç dalga boyudur. Çoğu fiber optik kablo bu dalga boylarında test edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), tüm testler için standardı belirleyen bu üç dalga boyunda kalibre edilmiş bir ölçüm cihazının kullanımını önermektedir [35].

Cam fiber optik kablo, listelenen üç tip arasında en düşük zayıflamaya sahiptir. Cam fiber kablo yüksek verimi nedeniyle en çok kullanılan kablo türü olarak belirtilmektedir. Cam optik fiber, esas olarak, ultra şeffaf ve saf bir cam üreten silikadan yapılmaktadır. Cam fiber optik üretiminde ilk adım, preform olarak bilinen katı bir cam çubuk yapmaktır. Ultra saf kimyasallar (öncelikle silikon tetraklorür (SiCl_4) ve germanyum tetraklorür (GeCl_4), preform üretimi sırasında cama dönüştürülmektedir. Bu kimyasallar, farklı preform türleri için çekirdek bölgeleri imal etmek için değişen oranlarda kullanılmaktadır. İmalat sırasında, bazen istenen kırılma indeksinin elde edilmesini sağlamak amacıyla Germanyum ve Titanyum gibi maddeler eklenmektedir. Bor ve flor gibi kırılma indisini düşürmek için eklenebilecek kimyasallar da bulunmaktadır. Saçılma veya soğurmanın bir sorun olmaması için üretim sürecinin kirlilik miktarını dengelemesi gerekmektedir [36].

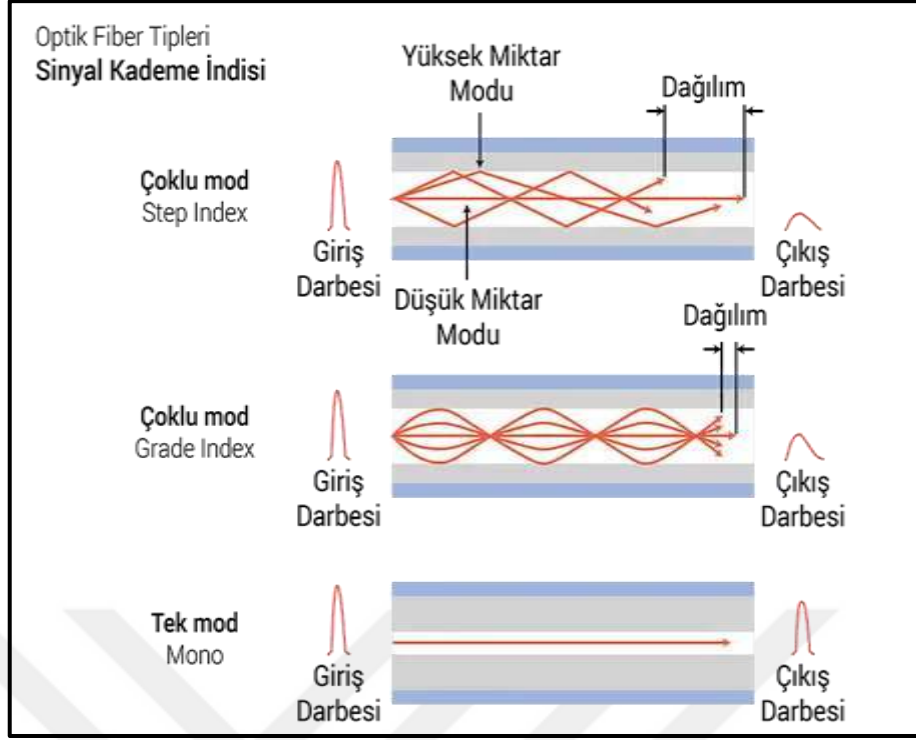
Fiber optik kablonun çekirdeğini oluşturan cam yapının kırılma indisi n_1 , dalga boyuna bağlı olarak 1.44 ile 1.46 aralığında bulunmaktadır. Yine bu cam elyafın çapı 9 ile 100 mikron metre arasında değişmekte ve bazen birden fazla fiber halinde demetlenebilmektedir. Plastik fiber, üç tip arasında en yüksek zayıflamaya sahip fiber türüdür. Plastik optik fiber, plastik bir çekirdek ve kaplamadan oluşmaktadır. Plastik optik fiber birçok farklı malzemeden yapılabilen, ancak geleneksel olarak kaplama olarak kullanılan bir tür floropolimer ile kaplanmış olan polimetilmetakrilattan (PMMA) üretilmektedir. Plastik optik fiber genellikle cam fiberden çok daha büyük bir çekirdek çapına sahiptir. Yüksek zayıflama ve distorsiyon nedeniyle, plastik optik fiber, kısa mesafe uygulamalarda diğer fiber optik türlerine göre daha iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte, yüksek veri hızları için, PMMA gibi belirli perflorlu polimerler, çok daha düşük yayılma kayıpları

sergiledikleri ve cam fiberler için geliştirilmiş verici ve alıcıların kullanılabileceği daha uzun dalga boylarında çalıştırılabildikleri için tercih edilmektedir [37].

Otomotiv endüstrisi gibi birçok endüstri, ucuz olduğu için plastik optik fiber kullanmayı tercih etmektedir. Plastik fiber ayrıca çok sağlam olarak kabul edilmekte ve bu da dar bükülme yarıçaplarına dayanabilmektedir. Plastik optik fiber, silika fiberlerle kullanılan benzer bir işlemde ön formlar kullanılarak da çekilebilmektedir. Bu işlem, 200 santigrat derece civarında çok daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Ön kalıp malzemesi genellikle kaplama malzemesinin içi boş bir tüpü ile başlar ve daha sonra çekirdek malzemesinin bir sıvı karışımı ile doldurulmasıyla devam eder. Preform tabanlı yöntem alternatif olarak ekstrüzyon işlemlerinin kullanılması gösterilmektedir. Bu tür teknikler başlangıçta adım indeksli PMMA lifleri için kullanılmış, ancak florlu malzemeler için de varyantlar kullanılmıştır. Ekstrüdere (Malzemeye (plastik veya metal gibi) arzu edilen bir şekil vermek için kullanılan alet veya cihaz) sadece iki farklı polimer malzeme beslenmesine rağmen, dikkatle kontrol edilen bir difüzyon süreci kullanılarak gradyan indeks tasarımları gerçekleştirilmektedir. Cam fiberlerle karşılaştırıldığında, plastik optik fiber, cam fiberlerin ulaşabileceği 1dB/km'nin aksine, 50 veya 100 dB/km'lik yüksek yayılma kayıplarına sahip olmaktadır [38].

Plastik kaplı silika (PCS) fiber kablolar, cam ve plastiğin bir karışımı olarak ifade edilmektedir. PCS optik fiberleri genellikle plastik bir kaplama ile çevrelenmiş cam çekirdeklere sahiptir. Kaplama malzemesi için genellikle silikon elastomerik malzemeler kullanılmakta ancak bu, yapışması zor olduğu için zorluklara neden olabilmektedir. Bu durum bağlayıcı uygulamalarını daha zor hale getirmektedir [39].

Şekil 3.11'de tek modlu ve çok modlu fiber optik kabloların giriş darbelerine göre çıkış darbeleri ve bu bağlamda fiber optik kabloların yapısı gösterilmiştir. Tek modlu fiber optik kablolar (SMF), tek bir ışık modunu (yolunu) destekler. Işık, kablonun merkez çekirdeğinde tek bir yol boyunca ilerler. Genellikle ince bir çekirdek (yaklaşık 8-10 mikron çapında) ve bunun etrafındaki kalın bir koruyucu tabakadan oluşur. Çok modlu fiber optik kablolar (MMF) ise, birden fazla ışık modunu destekler. Işık, kablonun merkez çekirdeğinde farklı yollar boyunca ilerleyebilir. Çekirdek genellikle daha kalındır (yaklaşık 50 veya 62,5 mikron çapında) ve bu sayede daha fazla mod desteği sağlar.

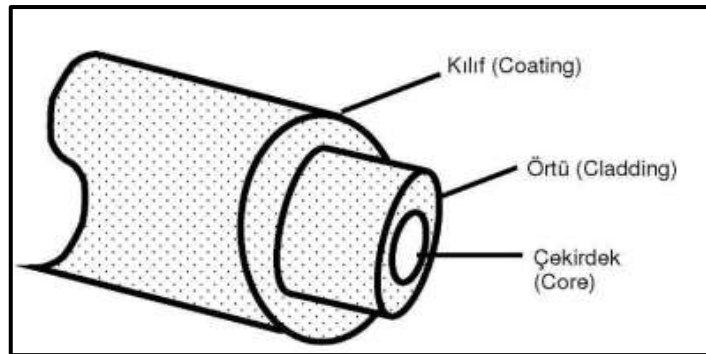


Şekil 3.11. Fiber optik kablo yapısı [40]

3.2.2. Fiber optik kablo yapısı

Fiber optik kabloların ışığı aktaran bölümü, genel olarak çekirdek ve örtü olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Çekirdek ve örtünün hammaddesi saydam bir eritilmiş camdır. Çekirdek fiberin merkezi konumunda yer almakta ve ışığı aktarmaktadır. Çekirdek indisi onu örten örtünün indisine göre daha büyük olduğu için ışınlar yalnızca çekirdek ortamında aktarılmaktadır. Aynı zamanda çekirdek ve örtüyü çevreleyen dışta kılıf denilen saydam plastik bir katman bulunmaktadır [41].

Şekil 3.12. de fiber optik kablo yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Fiber optik kablo yapısı [33]

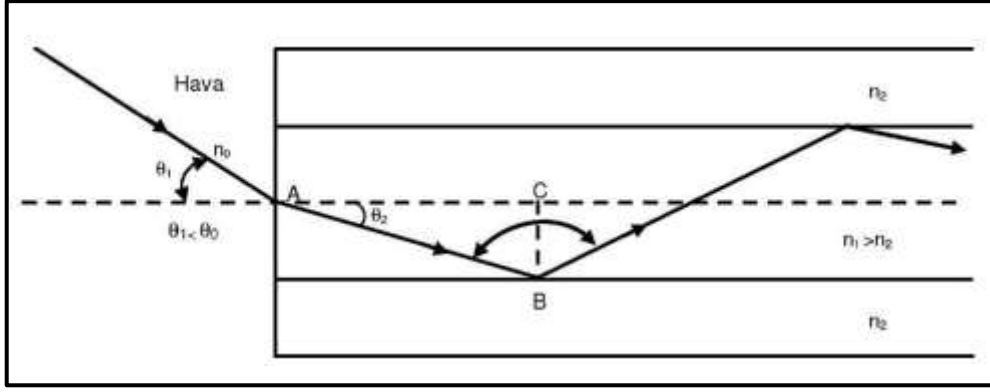
Kılıf, oluşturulma esnasında kaplama dokusuna direkt uygulanan tabakayı belirtmektedir. Işığın fiber içine ve dışına iletimi ya da fiberlerin ilave edilmesi için kılıfın ayrılabilir özellikte olması önem arz etmektedir. Kablo, tüm uzunluğu boyunca kalınlığında herhangi bir değişim gerçekleşmeden ideal bir biçimde farklı plastik tabakalarla düzenlenebilmektedir. Kılıf renklendirilebilmekte ve gerekli takdirde sembol halkaları eklenebilmektedir.

Bazı ışınlar çekirdek içinde yansımayıp kayarak örtüye kaçmaktadır. Kılıfın indisi örtüye göre geniş olduğu için, örtüye kaçıp kontrolden çıkan ışınlar kılıf tarafından emilmektedir. Aynı zamanda kılıf, çekirdek ve örtüyü fiziksel tepkimelerden korumaktadır. İç yüzeyde oluşan yansıma, ışığın doğru açıda yansıyarak yayılması, kablo boyunca bütün yansımanın en az kayıpla oluşmasını sağlamaktadır. Işığın doğru olmayan açıda yansıyarak yayılması ışığın kaybolmasına yol açmaktadır

Işığın bir optik fiber bünyesindeki yayılımını analiz etmek için, dielektrik ortamın kırılma indisini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bir ortamın kırılma indisi, ışığın havadaki hızının o ortamdaki hızına oranı şeklinde açıklanmaktadır. Işık, optik olarak yoğun bir alanda, görece daha yavaş ilerlemekte ve kırılma indisi bu etkinin bir ölçüsünü göstermektedir.

Işığın fiber içerisinde yol alabilmesi için Şekil 3.13’de gösterildiği gibi girişte lif eksenini ile oluşturacağı en büyük açı kabul açısı (θ_a) olarak tanımlanmaktadır. “ θ_a ” ya eşit ya da daha geniş olan “ θ ” açısıyla giren ışın, tam yansıma koşulunu ($\varphi > \varphi_a$) sağlayacak şekilde fiberin çekirdek-örtü ara yüzeyine erişmektedir. Bu gibi ışınlar fiber boyunca yönlendirilmektedir. “ θ_a ” dan daha geniş açıyla gelen ışınlar çekirdek-örtü ara yüzeyinde tam yansıma koşulunu sağlamayacakları için örtüye girmekte ve kayıp olmaktadır.

Şekil 3.13’de gösterildiği gibi fiber optik kablolar, çekirdek eksenine belli bir değerden geniş açıyla gelen ışınları kabul etmemektedir. Çünkü bu açının üstünde gelen ışınların açısı kritik açının altında yer almakta ve kırılmaya uğrayarak örtüye geçmektedir. Örtüye geçen ışınlar ise kaybolmaktadır. Işığın çekirdek bölümüne eriştiği açının alabileceği en yüksek sinüs değeri, fiberde çekirdek, örtü ve havanın kırılma indisleri ile kabul açısı arasındaki terim olan “*Nümerik Açıklık*” olarak ifade edilmiştir. “*Nümerik Açıklık*”, fiberin ışık toplama yetisinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.13. Işığın kabul açısından küçük bir açıyla fiber içerisinde ilerlemesi [33]

3.2.3. Fiber optik kablolarda ışığın yayılması

Elektromanyetik radyasyonun her ışını, belirli sayıda fotondan oluşur ve her fotonun ilişkili bir frekansı bulunmaktadır. Farklı frekanslara sahip fotonlar farklı enerjilere sahip olmakta ve içinde yayıldıkları ortamın atomları ile farklı şekilde etkileşime girmektedirler. Etkileşimlerin mikroskobik dinamiklerindeki farklılıklar, bir ortamdaki ışığın hızının frekansına bağlı olduğu anlamına gelen kromatik dağılım gibi makroskopik etkilere yol açmaktadır. Rastgele bir elektromanyetik darbenin bir ortamda nasıl yayıldığını incelemek için darbenin frekans içeriğini bilmek gerekmektedir. [42].

Fiber optik kablolarda ışığın yayılması, içsel yansıma prensibine dayanır. İçsel yansıma prensibi, ışığın bir ortamda yayılırken ortamın sınırlarına çarptığında yansarak ilerlemesini sağlar. Bu prensip, fiber optik kabloların temel iletim mekanizmasını oluşturur.

Fiber optik kablolarda ışığın yayılma prensibi şu şekilde işler:

Çekirdek ve Kılıf Yapısı: Fiber optik kablolar, içerdikleri ışığın iletimini sağlamak için çekirdek ve kılıf olmak üzere iki temel katmandan oluşur. Çekirdek, ışığın iletilmesi için kullanılan merkezi bölümdür, kılıf ise çekirdeği saran ve ışığın içeride kalmasını sağlayan bir katmandır.

Toplam İç Yansıma: Işık, fiber optik kablodaki çekirdek-kılıf sınırına çarptığında, bu sınıra yaklaşma açısı belirli bir değeri aştığında toplam iç yansıma gerçekleşir. Toplam iç yansıma, ışığın tamamen yansarak çekirdek içinde ilerlemesini sağlar.

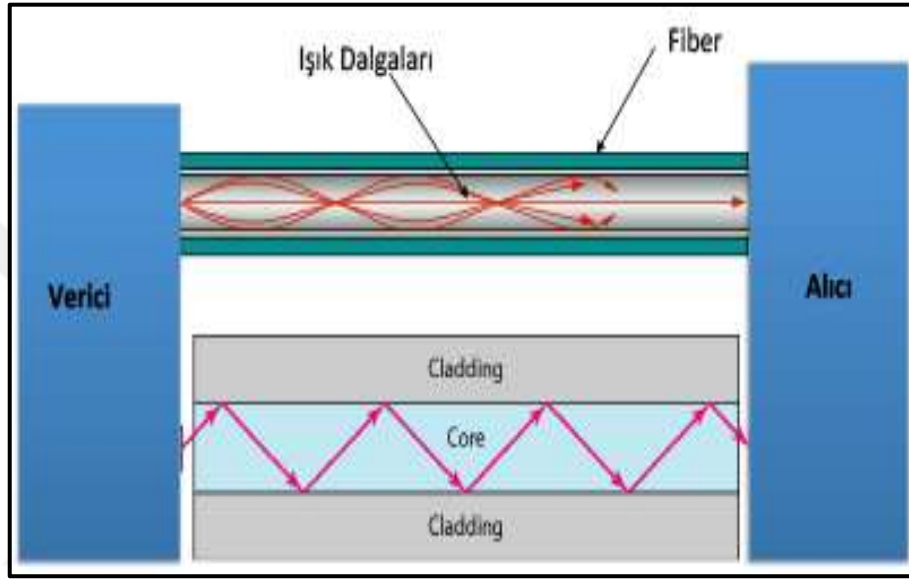
Yansıma Açısı: Toplam iç yansıma, ışığın yansıma açısının kritik açıdan büyük olmasına bağlıdır. Kritik açı, çekirdek ve kılıfın optik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Işık, bu kritik açıyı aşan bir açıyla sınır yüzeyine çarptığında tam yansıma gerçekleşir.

İç Yansıma Kaybı: Işık, toplam iç yansıma prensibiyle fiber optik kablunun içinde ilerlerken kayıpsız bir şekilde taşınır. Bununla birlikte, fiber optik kabloda hafif bir iç

yansımaya kaybı meydana gelebilir. Bu kayıp, çeşitli faktörlere bağlı olarak minimize edilir ve optik yükselteçlerle veya yeniden iletim cihazlarıyla telafi edilebilir.

Işığın içsel yansımaya prensibi, fiber optik kablolarında sinyal iletiminin temelini oluşturur. Işık, çekirdek-kılıf sınırında toplam iç yansıma ile yansıyarak kablo boyunca ilerler. Bu prensip sayesinde fiber optik kablolar, yüksek hızlı veri iletimi, uzun mesafelerde iletim ve düşük kayıplı iletişim sağlar.

Şekil 3.14'te fiber optik kablolarında ışığın yayılmasının göstermektedir.



Şekil 3.14. Fiber kablolarında ışığın yayılması [63]

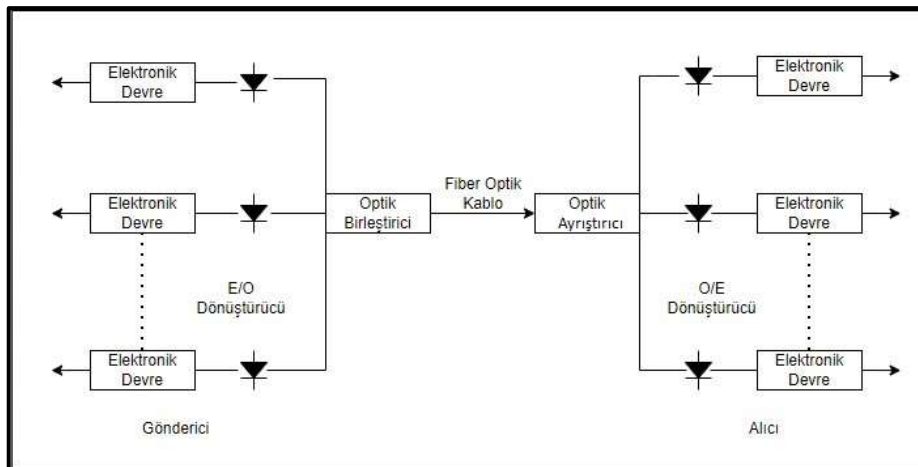
3.2.4. Fiber optik haberleşme

Fiber optik iletişim gün geçtikçe daha da yerleşik bir teknoloji halini almaktadır. Dünyada birkaç bin kilometrelik fiber optik sistem kullanılmakta ve bu pazar günümüzde hızla bir şekilde büyümektedir. Fiber optik sistemler, popülerliğini yüksek bant genişliği, düşük kayıp ve elektromanyetik girişim olmaması gibi birçok avantajına borçludur. Bant genişliği talebi yılda yaklaşık %60 oranında katlanarak artarken, fiber optik sistemdeki ilgili araştırma ve teknoloji daha önemli hale gelmiştir. Fiber optik sistemlerde bilgi, fiber kablo üzerinden elektromanyetik darbeler gönderilerek iletilmektedir. Fiber optik kablolarında taşıyıcı frekansı nispeten yüksek (yaklaşık 100 THz) olduğundan, mevcut bant genişliği büyüktür. Yüksek bant genişliği ve düşük kayıp (yaklaşık 0,2 dB/km) nedeniyle uzun mesafeli veri iletiminde fiber optik kablolar, bakır kabloların yerini almıştır [43].

İlk olarak, 1960'larda lazerin icadı, uygun bir optik kaynağın oluşumunu sağlamıştır. Bu tarihlerde, fiber optik iletişimin ana sorunu iletimde yaşanan düşük kayıp olmuştur. Kayıp sorunu, 1979'da düşük kayıplı fiberlerin (0,2 db/km) icadıyla çözülmüştür. [44].

Şekil 3.15'te gösterilen haberleşme mimari yapısında, iletilmek istenen bilginin kaynağından elektrik sinyali üretilmekte ve bu sinyal, dijital verileri temsil edebilen bir dizi darbelerden oluşmaktadır. Elektrik sinyali, elektro-optik dönüştürücü adı verilen bir cihaz kullanılarak optik sinyallere dönüştürülür. Elektro-optik dönüştürücü, elektrik sinyalini alır ve bu sinyali optik sinyal haline getirmek için bir ışık kaynağı (genellikle lazer veya LED) ile etkileşir. Optik sinyal, fiber optik kabloya gönderici (veriş kolu) tarafından iletilir. Fiber optik kablo, ince cam veya plastik liflerden oluşur ve optik sinyalin bu liflerin içinden iletilmesini sağlar. Işık, kablonun çekirdeği boyunca toplam iç yansıma prensibiyle ilerler. Optik sinyal, kablonun diğer ucundaki alıcı tarafından yakalanır. Alıcı, ışığı elektrik sinyaline dönüştüren bir fotodiyot veya fotodetektör içerir. Işık, alıcının yüzeyine düşer ve fotodiyot tarafından algılanır. Fotodiyot veya fotodetektör, ışığı alarak elektrik sinyaline dönüştürür. Bu elektrik sinyali, orijinal verinin temsil ettiği elektrik sinyaliyle aynı bilgiyi taşır. Elektrik sinyali, gerekli işlem ve yönlendirmeler için iletişim ağındaki diğer cihazlara aktarılır. Bu, sinyalin hedefe doğru yönlendirilmesi, yönlendirme, işleme veya depolama gibi işlemleri içerebilir.

Bu adımlar, fiberoptik haberleşme sürecinin temelini oluşturur. Elektrik sinyali optik sinyale dönüştürülür, optik sinyal fiber optik kablolardan iletilir, alıcı tarafından elektrik sinyaline dönüştürülür ve sonunda veri işleme veya kullanım için hedef cihaza aktarılır. Bu süreç, hızlı, güvenilir ve yüksek bant genişliği iletişimini sağlayan fiberoptik haberleşme teknolojisini temsil eder.



Şekil 3.15. Fiber optik haberleşme

Üçüncü nesilden sonra dördüncü nesil fiber optik sistemde, optik yükselticiler ve dalga boyu bölmeli çoğullama sistemleri tanıtılmıştır. Çoğullama sistemleri 1990’larda geliştirilmiş ve fiberdeki kanalların paralel iletimine izin vererek bit hızını arttırmıştır. Tek kanallı sistem tarafından elde edilen en yüksek bit hızı yaklaşık 100 Gb/s’dir.

3.2.5. Yansıma kanunları

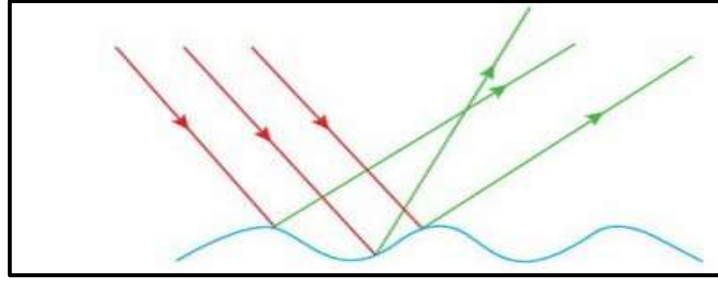
Fiber optik teknolojisinin ve kablo içerisinde yol alan ışığın yayılma mantığını anlayabilmek için yansıma kanunlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde ışığın yansımadaki birtakım parametrelere değinilecektir. Işığın çarptığı cismin yüzeylerine hangi büyüklükte açıyla geldiği ve nesnenin nitelikleri bu parametrelerden bazılarıdır [8]. Ne zaman ışık belirli bir kırılma indisinden başka bir kırılma indisine sahip bir alana geçiş yaparsa, o zaman ışığın kırılması durumu meydana gelmektedir. Genel olarak ışığın belli bir bölümü yüzeyden yansımakta ve geri kalan bölüm de yön değiştirmektedir.

Yansıma prensipleri, fiber optik kabloların temel iletim mekanizmasını oluşturur. Toplam iç yansıma prensibi, ışığın çekirdek içinde yansıyarak ilerlemesini sağlar ve sinyallerin kayıpsız bir şekilde taşınmasını mümkün kılar. Yansıma kaybı, fiber optik kablonun tasarımı ve üretimi sırasında minimize edilmeye çalışılır. Bu prensipler, yüksek hızlı veri iletimi, uzun mesafe iletimi ve güvenilir iletişim sağlayan fiber optik teknolojisinin temelini oluşturur.

Dağınık Yansıma

Gelen ışığın yüzeye geldiği açıyla yansıması yerine birden fazla açıyla yansıması durumu dağınık yansıma olarak adlandırılmaktadır (Bkz. Şekil 3.16). İdeal dağınık yansıma yüzeyinde, yüzeyi kapsayan yarım küre içinde her yönde eşit şekilde aydınlanma şiddeti oluşmaktadır. Soğurma özelliği bulunmayan yüzeyler, birtakım yapılar sayesinde ışığı daha yüksek bir verimle dağınık bir biçimde yansıtmaktadırlar. Bu söz konusu yapılardan bazıları şunlardır;

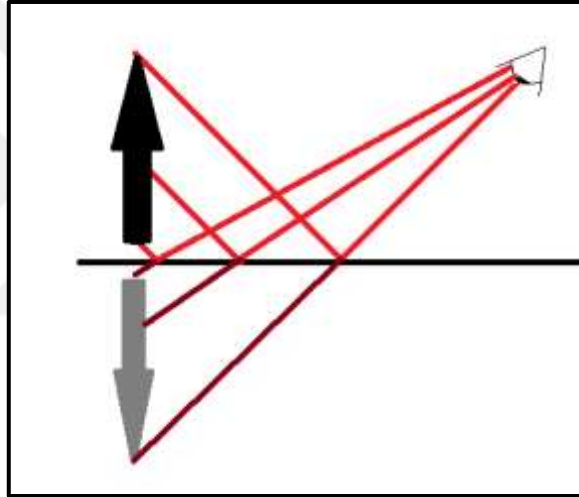
- Alçı benzeri tozlar,
- Kâğıt gibi lifli yapılar,
- Mermer,
- Seramik,
- Polikristalin yapılar.



Şekil 3.16. Dağınık yansımaya örneği

Düzgün Yansımaya

Işıkların geldiği yüzey düzgün olduğu takdirde bu yüzeyin her bölümünde normaller birbiriyle aynı doğrultuda yer almaktadır. Yansıyan ışık ışınları birbiriyle aynı doğrultuda ise bu gibi yansımalar düzgün yansımaya olarak isimlendirilmektedir (Bkz. Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Düzgün yansımaya örneği

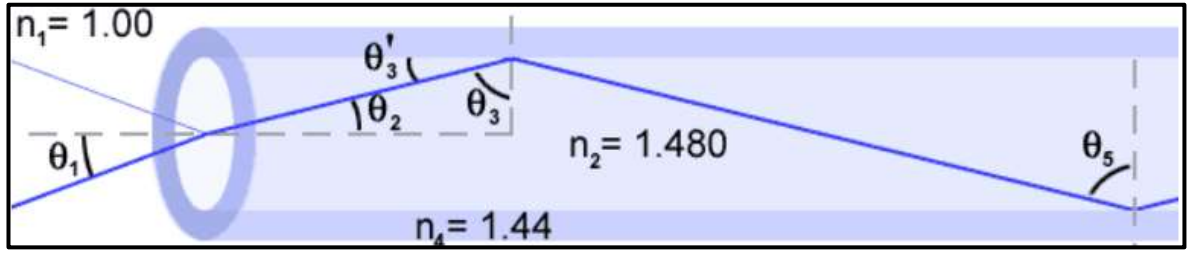
Toplam iç yansımaya fenomeni, Snell yasasının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Snell yasası, ışığın farklı ortamlardaki hızının ve açısının değiştiği durumları tanımlar. Toplam iç yansımaya için kritik açı, çekirdek ve kılıf arasındaki sınır yüzeyine düşme açısıdır.

Çekirdek malzemesinin kırılma indisi (n_1) ve kılıf malzemesinin kırılma indisi (n_2) olarak tanımlanan iki farklı ortam düşünelim. Işık çekirdekten kılıfa geçmek için sınır yüzeyine çarptığında, yansımaya veya kırılma gerçekleşir.

Işık çekirdekten kılıfa geçtiğinde, Snell yasası eşitlik 3.1'deki şekilde ifade edilir:

$$n_1 * \sin(\theta_1) = n_2 * \sin(\theta_2) \quad (3.1)$$

Burada, θ_1 , gelen ışığın çekirdek-kılıf sınırına düşme açısı ve θ_2 , kırılan ışığın kılıf içindeki açısıdır. n_1 ve n_2 , sırasıyla çekirdek ve kılıf malzemelerinin kırılma indisleridir.



Şekil 3.18. Fiber optik kabloda toplam iç yansıma [63]

Toplam iç yansıma olması için kırılma açısının aşılması gereklidir. Kritik açı (θ_c) ise eşitlik 3.2'deki şekilde hesaplanır:

$$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1) \quad (3.2)$$

Eğer gelen ışığın düşme açısı (θ_1) kritik açıdan büyükse ($\theta_1 > \theta_c$), toplam iç yansıma gerçekleşir. Bu durumda, ışık tamamen yansır ve çekirdek içinde ilerler.

Toplam iç yansıma fenomeni, çekirdek ve kılıf malzemelerinin kırılma indisleri arasındaki farktan kaynaklanır. Çekirdek malzemesinin kırılma indisi, kılıf malzemesinin kırılma indisinden daha yüksek olduğunda, toplam iç yansıma mümkün olur.

Matematiksel olarak ifade edilen bu prensipler, fiber optik kablolarda ışığın çekirdek içinde yansıma yoluyla ilerlemesini sağlayan temel prensipleri açıklar. Toplam iç yansıma prensibi, fiber optik iletişim sistemlerinin yüksek bant genişliği, hızlı veri iletimi ve güvenilir iletişim sağlamasının temelini oluşturur.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE YÖNTEM

4.1. Taguchi Yöntemi ile Deney Tasarımı

Deney düzeneği kurulumu ve sonuçların değerlendirilmesi için Taguchi metodu kullanılarak veri iletim hızı, veri paketi kaybı, veri aktarım gecikmesi, uzun mesafe kullanım avantajı, kısa mesafe kullanım avantajı ve bant genişliği açısından fiber optik ve bakır kablolarındaki performans farkını analiz etmek için 6 adım takip edilmiştir:

Deney Tasarımı: Taguchi metodunu kullanarak deneysel faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. Bu durumda faktörler:

- a) Bağlantı Türü: Fiber optik kablo veya bakır kablo
- b) Performans Ölçütü: Veri iletim hızı, veri paketi kaybı, veri aktarım gecikmesi, uzun mesafe kullanım avantajı, kısa mesafe kullanım avantajı ve bant genişliği

Deney Planı: Taguchi metoduna göre bir deney planı oluşturulmuştur (Bkz.Tablo 4.1). Taguchi metodunun "kare deney tasarımı" olarak bilinen bir deney tasarımı kullanılmıştır. Kare deney tasarımı, her faktörün her seviyesini içeren ve deneyleri minimum sayıda kombinasyonla gerçekleştirebilmeyi sağlayan bir planlama tekniğidir.

Deneyleri Gerçekleştirme: Belirlenen deney planına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deney kombinasyonunda iki router fiber optik kabloyla birbirine bağlanmış ve veri iletim hızı, veri kaybı, veri aktarım gecikmesi ve bant genişliği ölçülmüştür. Ardından, aynı deneyler bakır kabloyla tekrarlanmıştır.

Veri Toplama: Her deney kombinasyonunda elde edilen veriler kaydedilmiştir.

Veri Analizi: Elde edilen veriler analiz edilmiştir. Her bir faktörün ve seviyenin performans üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Sonuçların Yorumlanması: Analiz sonuçlarına göre, fiber optik kablonun ve bakır kablonun veri iletim hızı, veri kaybı ve bant genişliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Hangi faktörlerin performansı olumlu veya olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Bu şekilde yapılan bir analiz, fiber optik ve bakır kabloların performansını karşılaştırarak hangi kablonun hangi ölçüte göre daha iyi performans gösterdiğini belirlemeye yardımcı olur.

Tablo 4.1. Taguchi metoduna göre kaynak parametreleri

Deney No.	Faktör A (Bağlantı Türü)	Faktör B (Performans Ölçütü)
1	A1 (Fiber)	B1 (Veri İletim Hızı)
2	A2 (Bakır)	B1 (Veri İletim Hızı)
3	A1 (Fiber)	B2 (Veri Paketi Kaybı)
4	A2 (Bakır)	B2 (Veri Paketi Kaybı)
5	A1 (Fiber)	B3 (Veri Aktarım Gecikmesi)
6	A2 (Bakır)	B3 (Veri Aktarım Gecikmesi)
7	A1 (Fiber)	B4 (Uzun Mesafe Kullanım Avantajı)
8	A2 (Bakır)	B4 (Uzun Mesafe Kullanım Avantajı)
9	A1 (Fiber)	B5 (Kısa Mesafe Kullanım Avantajı)
10	A2 (Bakır)	B5 (Kısa Mesafe Kullanım Avantajı)
11	A1 (Fiber)	B6 (Bant Genişliği)
12	A2 (Bakır)	B6 (Bant Genişliği)

4.2. Materyal ve Yöntemler

Bu çalışmada aşağıdaki donanımlar kullanılmıştır.

- Router: Cisco- SG500X-48P (Şekil 4.1)
- Standart Fiber Port: SFP Module Singlemode (Şekil 4.1)
- CAT6/UTP Kablo: 6-BTK-305M-CCA (Şekil 4.2)
- Tek Modlu Fiber Optik Kablo: SM980-5.8-125 (Şekil 4.2)

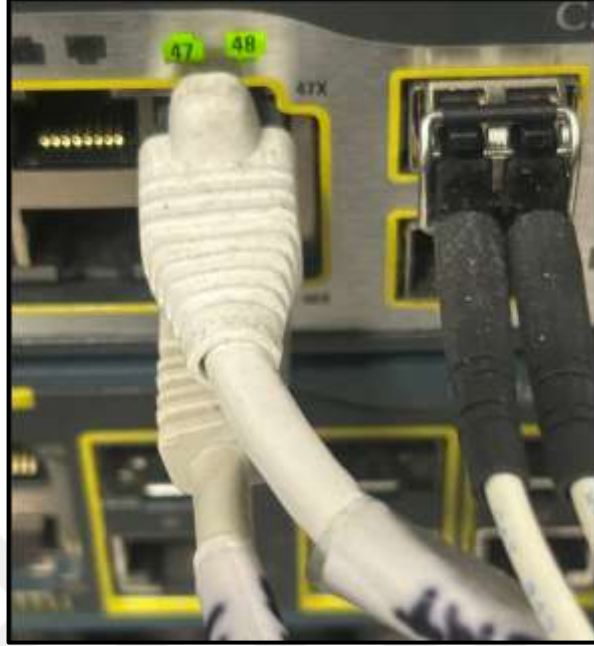


Şekil 4.1. Router ve SFP



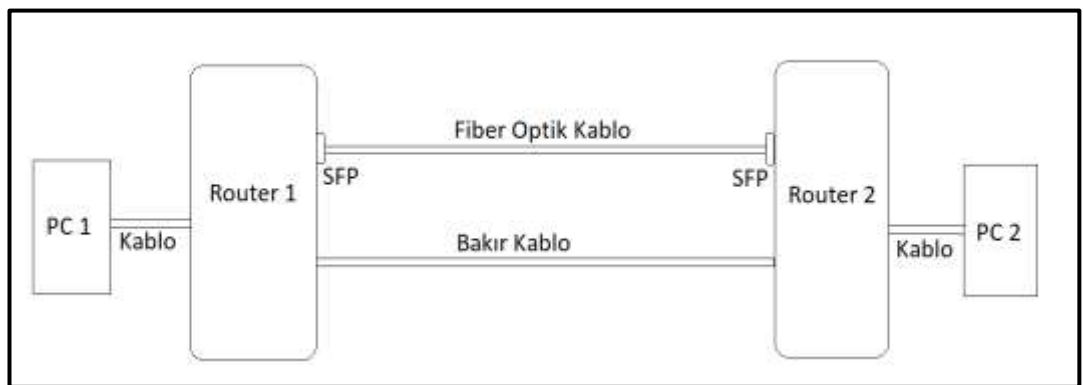
Şekil 4.2. CAT6/UTP ve tek modlu fiber optik kablo

Şekil 4.3'te deney düzeneğinin kurulumu ve fiber optik ve bakır kabloların bağlantılarının nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deneysel kurulum

Şekil 4.4'te deney düzeneğinin şematik bir gösterimine yer verilmiştir. Bu deney düzeneği, veri aktarımlarının sağlanması ve deneysel verilerin karşılaştırmalı analizinin yapılabilmesi için birbirine bakır kablo ve fiber optik kablo ile bağlanan 2 adet router ve bu routerlardan verilerin okunması için düzeneğe bağlanan 2 adet bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 4.4. Deney düzeneği kurulum diyagramı

Bu deney senaryosunda router'ın fiber optik kablo ve bakır kablo üzerinden aynı anda veri paketlerinin gönderilmesi ve bu gönderim sonucunda veri paketlerindeki kayıplar, bant genişlikleri, kısa mesafe kullanım avantajları, uzun mesafe kullanım avantajları, veri

aktarımında meydana gelen gecikmeler ve veri iletme kapasitesi gibi çıktıların değerlendirilmesi beklenmektedir.



5. DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZ

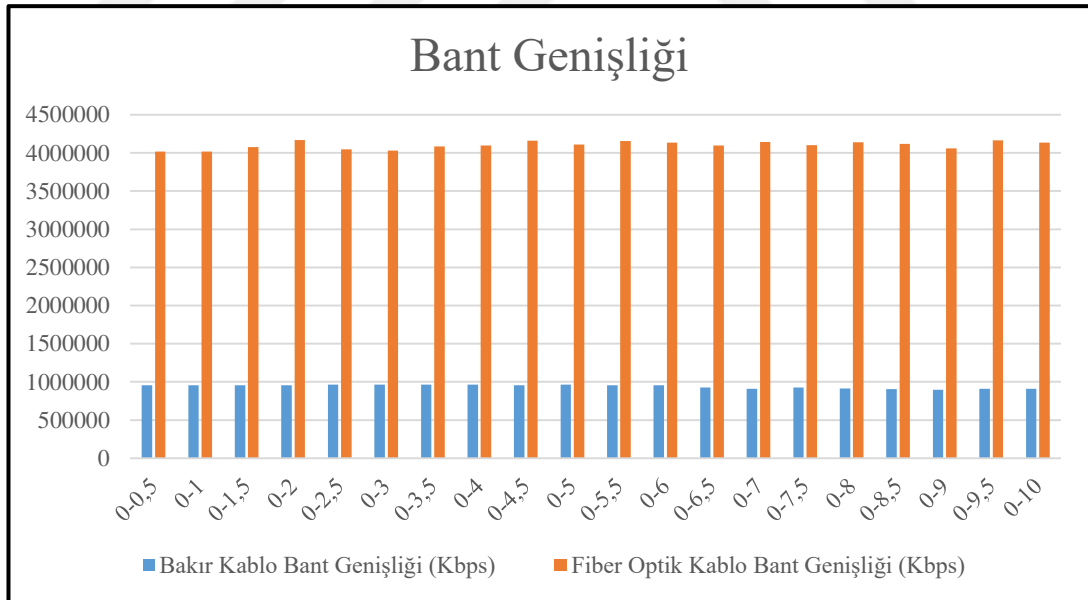
5.1. Bant Genişliği

Fiber optik kablunun bakır kabloya göre en önemli avantajı, sağladığı bant genişliği ve uzun mesafeleri eksiksiz ve tam performanslı bir biçimde veri aktarma avantajı şeklinde gösterilmektedir.

Bant genişliği iletim kapasitesini ifade eder ve bir ağın veya internet bağlantısının hızının ölçülmesinde kullanılır. Hız yanında kalitenin de belirleyici bir faktör olduğu bant genişliğini tanımlamakta 'bit' ifadesi kullanılır.

Veri aktarım hızlarını hesaplamanın standart yöntemi bant genişliğidir. Bu deney düzenğinde bant genişliği kilobit/saniye (Kbps) cinsinden ölçülmektedir ve Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo'da toplamda 10 saniye boyunca Router-1'den Router-2'ye gönderilen verilerin, fiber optik ve bakır kablolar için karşılaştırılma verileri her yarım saniye aralıklarla ölçülerek sunulmuştur. Aktarım yolu boyunca, her yarım saniyede bir verilerin sıfır noktasından tekrar ölçüldüğü bir senaryo kurgulanmıştır.



Şekil 5.1. Bakır ve fiber optik kabloların bant genişliği karşılaştırma grafiği

Tablo 5.1. Bakır kablo ve fiber optik kablonun bant genişliği karşılaştırması

SÜRE (SANİYE)	BAKIR KABLO BANT GENİŞLİĞİ (KBPS)	FİBER OPTİK KABLO BANT GENİŞLİĞİ (KBPS)
0-0,5	953640,587	4017560,877
0-1	953670,831	4017690,31
0-1,5	953940,516	4076930,881
0-2	953960,51	4166650,19
0-2,5	964010,151	4047430,475
0-3	963960,58	4032030,769
0-3,5	963870,612	4083650,89
0-4	963860,872	4097670,361
0-4,5	953910,284	4159650,121
0-5	963960,542	4111380,102
0-5,5	954180,952	4157350,13
0-6	955960,176	4135340,903
0-6,5	926780,941	4097460,362
0-7	907630,461	4143830,665
0-7,5	926470,531	4101250
0-8	915130,796	4139850,963
0-8,5	903780,946	4118810,887
0-9	897460,527	4057960,991
0-9,5	907840,968	4165680,322
0-10	908950,131	4132890,841

Fiber optik kablonun ve bakır kablonun bant genişliğinin sınırlarının saniyede yüzlerce kilobit (Kbps) şeklinde hesaplanabilir olması için bir test yapılmıştır (analiz kodları için Ek 2'ye bakınız). Şekil 5.1'de, Router 1'den Router 2'ye 20 adet veri paketinin gönderildiği bir senaryoda, bakır kablonun bant genişliği maksimum 1 Gbps'lara çıkabilmişken, fiber optik kablonun bant genişliği 4 Gbps iletim kabiliyeti değerlerine ulaştığı, görülmektedir. Bu durumda bakır kablonun bant genişliğinin, fiber optik kabloya göre 4 kat daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

5.2. Veri Paketi Kaybı

Veri paketi, bir veri iletişim ağı üzerinde iletilen bilginin paketlenmiş formudur. Genellikle, iletilmek istenen veri, belirli bir boyuta bölünerek paketlere ayrılır. Her paket, başlık (header) ve yük (payload) olmak üzere iki temel bileşene sahiptir.

Başlık, paketin yönlendirilmesi, hedef adresi, kaynak adresi, paket numarası, hata düzeltme bilgileri gibi bilgileri içerir. Başlık bilgileri, ağ cihazları arasında veri paketinin doğru bir şekilde iletilmesini sağlamak için kullanılır.

Yük, paketin taşıdığı asıl veriyi içerir. Örneğin, bir dosya transferi durumunda, dosyanın parçaları yük olarak paketlere yerleştirilir. Paketler genellikle başlık bilgileriyle birlikte iletilir ve alıcı tarafında bu paketler yeniden birleştirilerek orijinal veri elde edilir.

Veri paketleri, iletişim ağlarında veri iletimini daha verimli hale getirir. Büyük veri bloklarının küçük paketlere bölünmesi, iletim sırasında veri kaybını azaltır ve hata düzeltme mekanizmalarının uygulanmasını kolaylaştırır. Ayrıca, paket anahtarlama yöntemiyle birden çok veri akışının aynı ağ üzerinden iletilmesini sağlar.

Veri paketleri, TCP/IP protokolü gibi birçok ağ protokolünde kullanılır ve modern iletişim sistemlerinin temelini oluşturur.

Veri paketi kaybı, bir bilgisayar ağında dolaşan bir veya daha fazla veri paketi hedeflerine ulaşamadığında meydana gelir. Paket kaybı, veri iletimindeki hatalardan veya ağ tıkanıklığından [46] kaynaklanır.

Veri paketi kaybı, gönderilen paketlere göre kaybedilen paketlerin yüzdesi olarak ölçülür. İletim Kontrol Protokolü (TCP), paket kaybını algılar ve güvenilir mesajlaşma sağlamak için yeniden iletimler gerçekleştirir. Bu tür veri aktarımlarında kayıplar 'sağlama toplamı (checksum)' sürecinde tespit edilir. Sağlama toplamı, gönderici tarafından matematiksel olarak hesaplanan ve her veri paketine eklenen bit sayısıdır. Alıcı tarafında, sağlama toplamı hesaplanır ve hesaplanan değer ile veri arasında eşleşme olup olmadığını kontrol eder. Eğer eşleşme olmazsa, alıcı veri paketini yok eder.

Veri paketi kaybını tespit etmek ve düzeltmek için genellikle hata tespit kodları kullanılır. Bunun için de checksum (sağlama toplamı) yöntemi sıklıkla kullanılır. Checksum, veri paketindeki hataları tespit etmek için kullanılan bir hata kontrol mekanizmasıdır.

Checksum süreci şu şekilde ilerler:

1. Veri Paketinin Oluşturulması: İletilmek istenen veri paketi oluşturulur. Bu paket, verinin yanı sıra bir checksum alanını da içerir.
2. Checksum Hesaplama: Veri paketinin tüm veri alanı üzerinde bir checksum hesaplaması yapılır. Bu hesaplama, genellikle paketteki tüm veri baytlarının toplanması veya benzeri bir matematiksel işlemle gerçekleştirilir.
3. Checksum Alanının Eklenmesi: Hesaplanan checksum değeri, veri paketinin checksum alanına eklenir.
4. Gönderim: Veri paketi, hedefe iletilmek üzere gönderim yapılır. Bu paket, veri ile birlikte checksum değerini de içerir.

5. Alıcı Tarafında Checksum Hesaplaması: Veri paketi alıcıya ulaştığında, alıcı tarafında aynı checksum hesaplaması yapılır. Alıcı, veri paketindeki veri alanını toplar veya benzeri bir işlemi gerçekleştirir.
6. Checksum Karşılaştırması: Alıcı, hesapladığı checksum değerini paketin içindeki checksum değeriyle karşılaştırır. Eğer hesaplanan checksum değeri, paketin içindeki checksum değeriyle eşleşiyorsa, paket doğru şekilde iletilmiş demektir.
7. Hatalı Paket Tespiti: Eğer hesaplanan checksum değeri, paketin içindeki checksum değeriyle eşleşmiyorsa, pakette bir hata olduğu anlaşılır. Bu durumda hatalı paket tespit edilir ve gerekli önlemler alınabilir. Örneğin, paket yeniden gönderilebilir veya hata düzeltme mekanizmaları devreye girebilir.

Şekil 5.2’de gösterilen 32 bitlik bir veri paketinin ilk 8 biti verilerin seyahat süresi, 8.-16. bitleri arası hangi protokol kullanılacağı ve son 16 biti ise başlık sınaması kontrol bitleri olarak tanımlanmıştır.

1	4	8	16	24	32
Sürüm (Version)	Başlık Uzunluğu (IHL)	Servis Tipi (Type of Service)	Toplam Uzunluk (Total Length)		
Tanıtıcı (Identification)			D F	M F	Parça No (Fragment offset)
Time to Live (Yaşam Süresi)		Protokol	Başlık Sınaması (Header Checksum)		
Kaynak Adresi (Source Address)					
Varış Adresi (Destination Address)					
Seçenekler (0 veya daha fazla satır) (Options)					
Veri (Data)					

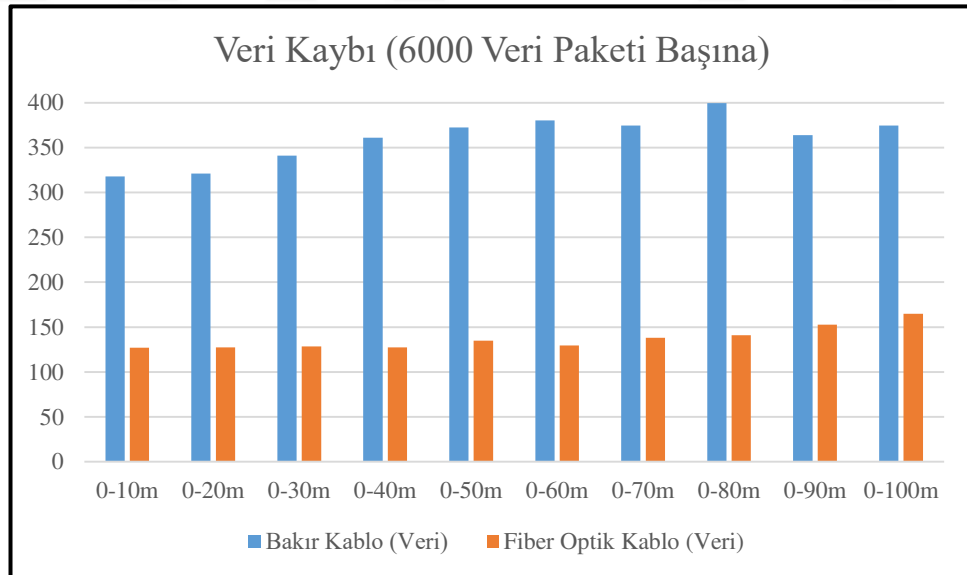
Şekil 5.2. IPv4 paketinin (32 bit) başlık bilgileri

Veri paketi kaybı testi için 6,000 veri paketi TCP protokolü kullanılarak, Router-1’den Router-2’ye fiber optik kablo ve bakır kablo üzerinden ayrı ayrı gönderilmiştir.

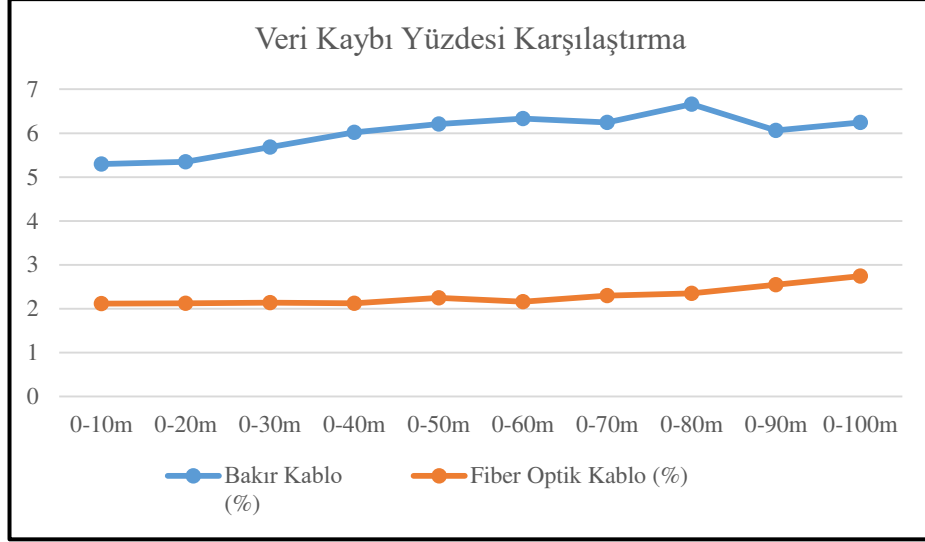
Kurulan deney düzeneği sonucunda bakır ve fiber optik kabloların iletim sırasında veri kayıpları tespit edilmiştir. Bu durumda Tablo 5.2 ve bundan türetilen Şekil 5.3'deki grafikte verilen test neticeleri incelendiğinde; bakır kabloların, fiber optik kablolarına nazaran 2 kat daha fazla veri kaybı yaşadığını göstermektedir.

Tablo 5.2. Bakır kablo ve fiber optik kablonun uzunluklarına göre veri kaybı karşılaştırması

Mesafe (metre)	Bakır Kablo		Fiber Optik Kablo	
	(Kayıp Veri Paketi)	Kayıp Veri Paketi Yüzdesi	(Kayıp Veri Paketi)	Kayıp Veri Paketi Yüzdesi
0-10	317,8	5,29	127	2,11
0-20	320,9	5,34	127,5	2,12
0-30	341,2	5,68	128,3	2,13
0-40	361,0	6,01	127,4	2,12
0-50	372,4	6,20	134,8	2,24
0-60	380,1	6,33	129,7	2,16
0-70	374,6	6,24	138,1	2,30
0-80	399,5	6,65	141,1	2,35
0-90	363,7	6,06	152,7	2,54
0-100	374,6	6,24	164,8	2,74



Şekil 5.3. 6000 veri paketi gönderilen bakır kablo ve fiber optik kablonun mesafelere göre veri kayıplarının karşılaştırması



Şekil 5.4. 6000 veri paketi gönderilen bakır kablo ve fiber optik kablonun mesafelere göre veri kaybı yüzdelerinin karşılaştırılması

Deney düzeneğine göre birinci routerdan ikinci routera gönderilen 6000 adetlik veri paketinden 0-10 m için bakır kabloda 5682,2 si yani % 94,7 si geçerken % 5,3 ü kayıptır (Şekil 5.3). 0-10 m için fiber optik kablodan gönderilen 6000 adet veri paketinin 5873'ü, % 97,8 si, geçerken % 2,2 si kayıptır (Şekil 5.4).

Bunların yanında veri paketi kayıplarının sebeplerini incelenirken elbette girişim ve zayıflama nedeniyle veri paketi kayıpları da göz önüne alınmalıdır. Bakır kablolar, girişim ve zayıflama nedeni ile veri kayıplarına daha yatkınken, fiber optik kablolar bu sorunlara daha az duyarlıdır.

Bakır kablolar, yakındaki güç kablolarından, radyo yayınlarından ve diğer elektromanyetik radyasyon kaynaklarının sebep olduğu elektromanyetik girişim (EMI) nedeniyle sinyal bozulması yaşayabilir. Bu girişim de veri paketlerinin bozulmasına veya tamamen kaybolmasına neden olabilir. Ek olarak, bakır kablolar, sinyal kablo boyunca ilerledikçe sinyal gücünde azalma olan zayıflamadan etkilenebilir. Bu, sinyal zayıfladığından, gürültüye ve girişime karşı daha duyarlı hale geldiğinden veri kaybına neden olabilir [52].

Öte yandan, fiber optik kablolar, EMI'den veya zayıflamadan bakır kablolarla aynı derecede etkilenmeyen verileri iletmek için fotonları kullanır. Fiber optik kablolar, kablonun bükülmesi veya hasar görmesi gibi faktörler nedeniyle yine de veri kaybı yaşayabilir, ancak bu sorunlar dikkatli kurulum ve bakımla azaltılabilir [53].

Özetle, fiber optik kablolar, veri paketi kaybına bakır kablolarla göre daha az eğilimlidir. Ancak her iki kablo türü de fiziksel hasar gibi diğer faktörler nedeniyle veri kaybına uğrayabilir.

5.3. Veri Aktarım Gecikmesi

Veri aktarımının gecikmesi, veri iletiminin bir noktadan başka bir noktaya iletimi sırasındaki zaman gecikmesidir. TCP/IP ağlarındaki gecikmeler şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Paket Oluşturma Gecikmesi

Veri paketi oluşturma işlemi için gereken süreden kaynaklanan gecikmedir. Bu gecikme yalnızca bir kez ve kaynaklarda gerçekleşir.

- Kuyruk Gecikmesi

Bu gecikme, yönlendiricilerin ağ boyunca paket iletim kuyruğunu işlemek için ihtiyaç duyduğu işlem süresinden kaynaklanır.

- Yayılma Gecikmesi

Fiber optik veya bakır gibi aktarım ortamlarında, verilerin seyahat etme süresince gerçekleşen gecikmelerdir.

- İletim Gecikmesi

Bir veri paketinin belirli bir ortamdan geçmesi için geçen süredir. İletim gecikmesi, ortamın hızına ve veri paketinin boyutuna göre belirlenir.

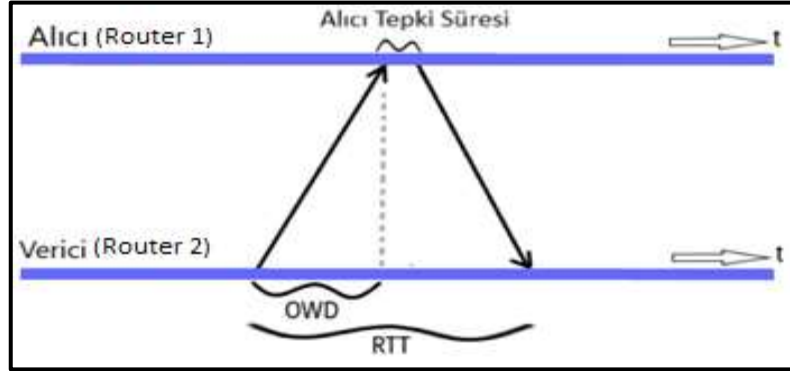
- Veri İşlem Gecikmesi

Bir ağ cihazının gönderilen veriyi ve rotasını görmesi, başlığı değiştirmesi ve veriyi yeni yerine yönlendirmesi sırasında yaşanan gecikmedir [45].

Telekomünikasyonda, gidiş-dönüş gecikmesi (RTD) veya gidiş-dönüş süresi (RTT), bir sinyalin gönderilmesi için gereken süre ile bu sinyalin alındığının onaylanması için geçen sürenin toplamıdır. Bu zaman gecikmesi, iki iletişim uç noktası arasındaki yollar için yayılma sürelerini içerir [46]. Bilgisayar ağları bağlamında, sinyal genellikle bir veri paketidir. RTT, ping zamanı olarak da bilinir ve ping komutu ile belirlenebilir.

Şekil 5.5'te ifade edilen şekilde uçtan uca gecikme veya tek yönlü gecikme (OWD) ise, bir veri paketinin bir ağ üzerinde kaynaktan hedefe iletilmesi için geçen süreyi ifade eder. IP ağ izlemede yaygın bir terimdir ve gidiş-dönüş süresinden (RTT) farklıdır, çünkü yalnızca kaynaktan hedefe bir yöndeki yol ölçülür. Böylece kolayca söylenebilir ki uçtan

uca gecikme, bir sinyalin tek bir yönde ilerlemesi için gereken sürenin uzunluğudur ve genellikle RTT'nin yarısı kadar kabul edilebilir (Eşitlik 5.26).



Şekil 5.5. Router 1 ve Router arasındaki zaman senkronizasyonu

Bu çalışmada bağlantının diğer ucunda yalnızca bir aygıtın bulunduğu seri bağlantılar için en büyük gecikme miktarı olarak yayılma gecikmesi göz önüne alınmıştır. Dolayısı ile alıcı ve vericiden kaynaklanan gecikmeler önemsenmemiş ve verilerin yayılma süreleri (Tablo 5.3) ve uçtan uca tek yönde iletim süreleri göz önüne alınarak analiz yapılmıştır.

Tablo 5.3. Bakır ve fiber optik kablolarda RTT analizi

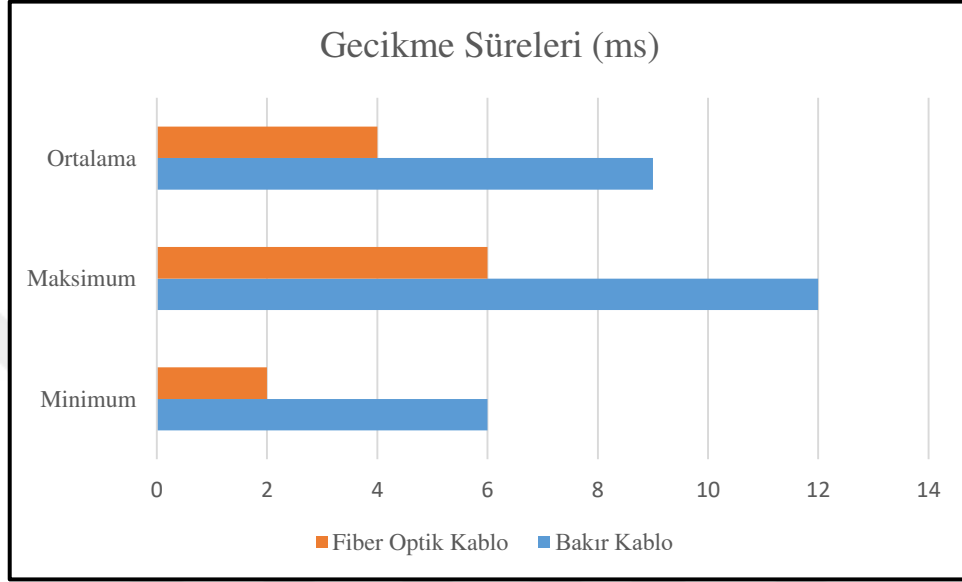
İki Yönde Yayılma Süreleri (ms)	Bakır Kablo	Fiber Optik Kablo
Minimum	12	4
Maksimum	24	12
Ortalama	18	8

$$\text{Gecikme Süresi} = \frac{\text{RTT}}{2} \quad (5.26)$$

olarak ifade edildiğine göre, bu durumda fiber optik ve bakır kablo üzerinden iletilen verilerin gecikme süreleri Tablo 5.4'teki şekilde olmalıdır.

Tablo 5.4. Bakır ve fiber optik kablolarda veri gecikme sürelerinin karşılaştırılması

Gecikme Süreleri (ms)	Bakır Kablo	Fiber Optik Kablo
Minimum	6	2
Maksimum	12	6
Ortalama	9	4



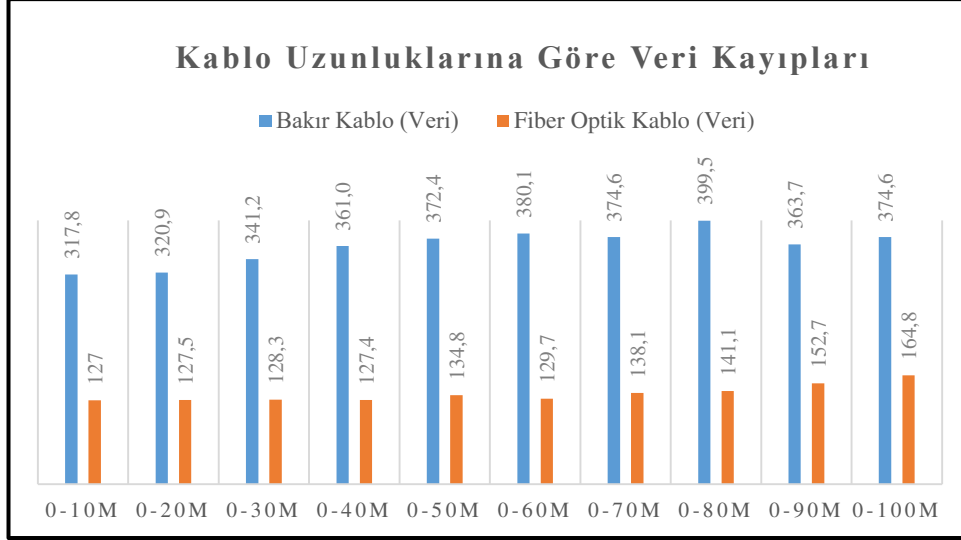
Şekil 5.6. Bakır ve fiber kabloların gecikme sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 5.6'daki grafikte ifade edilen şekilde deney sonuçları göstermektedir ki fiber optik kablolar, bakır kablolara oranla 2 kat daha az veri gecikme süresi yaşamaktadır.

5.4. Uzun Mesafe Kullanım Avantajı

Fiber kablolar, veri iletimlerinde ışığı taban olarak kullandıklarından, oldukça geniş sistem erişim mesafelerinde (100 kilometreye kadar) herhangi bir sorun olmadan kullanılmaktadır. Bakır kablolar kısa mesafelerde (100 metreye kadar) [62] etkiliyken mesafe uzadıkça verimliliği düşmektedir. Gücü ve verimliliği için uzun mesafe bağlantılarında kullanılan tek kablo türü fiber kablolardır.

Yapılan deney sonucunda Tablo 5.2'de verilen çıktılar aynı zamanda fiber optik ve bakır kabloların mesafelere göre veri kayıplarını karşılaştırmaktadır. Bu durumda Şekil 5.7'deki grafikte görüldüğü gibi, uzun mesafe kullanımında fiber optik kablolar, bakır kablolara göre 2 kat daha az veri kaybına uğramaktadır.



Şekil 5.7. Bakır ve fiber optik kabloların uzunluklarına göre veri kayıpları karşılaştırması

Fiber optik kabloların en büyük avantajlarından biri de bakır kablolarla göre daha yüksek bant genişliğine sahip olmalarıdır. Fiber optik kablolar, verileri iletmek için ışığı kullanır ve bu da çok daha yüksek veri aktarım hızlarına olanak tanır. Bu, fiber optik kabloların, sinyal bozulması veya kaybı yaşamadan daha uzun mesafelerde daha fazla veri taşıyabileceği ve aynı mesafe üzerinden daha fazla veri iletebilecekleri anlamına gelir. Bu, telekomünikasyon ağları, internet omurga altyapısı ve veri merkezleri gibi uzun mesafelerde yüksek hızlı veri iletimi gerektiren uygulamalar için fiber optik kabloları daha iyi bir seçim haline getirir.

Öte yandan bakır kablolar, uzun mesafelerde girişime ve zayıflamaya maruz kalabilen verileri iletmek için elektrik sinyallerini kullanır.

Fiber optik kabloların bir diğer avantajı da elektromanyetik girişime (EMI) karşı bağıışıklılıklarıdır. Bakır kablolar, özellikle uzun mesafelerde sinyal bozulmasına veya kaybına neden olabilen EMI'den etkilenebilir. Fiber optik kablolar, EMI'dan etkilenmeyen cam veya plastik fiberlerden yapılmıştır, bu da onları elektrik hatlarının yakınında veya endüstriyel ortamlarda çok fazla elektromanyetik girişimin olduğu ortamlarda kullanım için ideal hale getirir.

Ayrıca fiber optik kablolar bakır kablolarla göre daha güvenilir ve zamanla daha az bakım gerektirir. Bakır kablolar paslanabilir veya sinyallerin bozulmasına veya kaybolmasına neden olabilecek başka türde hasarlara maruz kalabilir. Fiber optik kablolar hasarlara karşı daha az hassastır ve ayrıca bakır kablolarla göre daha uzun ömürlüdür.

Genel olarak, fiber optik kablolar, daha yüksek bant genişliği, EMI'ya karşı bağımsızlıkları ve daha fazla güvenilirlikleri nedeniyle uzun mesafeli iletişim için bakır kablolardan daha iyi bir seçimdir.

Birkaç başlıkta özetleyecek olursak;

Sinyal Kaybı:

Fiber optik kablolar, özellikle uzun mesafelerde, bakır kablolarla kıyasla daha düşük sinyal kaybına sahiptir.

Bant Genişliği Kapasitesi:

Fiber optik kablolar, bakır kablolardan çok daha yüksek bant genişliği kapasitesine sahiptir, bu da aynı mesafe üzerinden daha fazla veri iletebilecekleri anlamına gelir.

Girişim:

Bakır kablolar, sinyal bozulmasına ve veri kaybına neden olabilen elektromanyetik girişime (EMI) ve radyo frekansı girişimine (RFI) karşı daha hassastır. Fiber optik kablolar ise EMI ve RFI'ye karşı bağımsızdır, bu da onları uzun mesafeli veri iletimi için daha güvenilir bir seçenek haline getirir.

Maliyet:

Fiber optik kablolar, özellikle daha kısa mesafeler için bakır kablolardan daha pahalıdır. Bununla birlikte, uzun mesafeli veri iletimi için, fiber optik kablolar, daha yüksek bant genişliği kapasiteleri ve daha düşük sinyal kayıpları nedeniyle daha uygun maliyetli olabilir.

Genel olarak, bu faktörler fiber optik kabloların bakır kablolarla kıyasla uzun mesafeli veri iletimi için üstün bir seçim olduğunu göstermektedir.

5.5. Kısa Mesafe Kullanım Avantajı

‘Şekil 5.7. Bakır ve fiber optik kabloların uzunluklarına göre veri kayıpları karşılaştırması’ grafiği incelendiğinde elde edilen sonuçlar takip eden paragraflarda özetlenmiştir.

Fiber kablolar uzun mesafelerde etkili olabildiği gibi kısa mesafelerde de etkili ve verimlidir. Bakır kabloların verimi mesafelerle ters orantılıdır. Bakır kablonun mesafesi

arttıkça verimi düşebilmektedir. Kısa mesafelerde ise bakır kabloların verimi ve etkililiği yüksektir.

Kısa mesafeli kullanımlarda bakır kablolar, fiber optik kablolarla göre aşağıdaki avantajlara sahiptir [54];

Maliyet:

Bakır kablolar, özellikle daha kısa mesafeler için genellikle fiber optik kablolardan daha ucuzdur. Bu, onları kısa mesafeli veri iletimi için daha uygun maliyetli bir seçenek haline getirebilir. Örneğin, standart bir CAT6 Ethernet bakır kablosunun fiyatı metre başına 1 dolardan daha ucuza mal olurken, tek modlu bir fiber optik kablonun maliyeti metre başına 1,50 dolardan fazladır.

Uyumluluk:

Bakır kablolar, fiber optik kablolardan daha yaygın olarak kullanılır ve daha geniş bir cihaz ve donanım yelpazesine uyumludur. Bu, bakır kabloların ev veya ofis gibi kısa mesafeli bir ağdaki cihazları bağlamak için daha uygun olabileceği anlamına gelir. Bakır kablolar, fiber optik kablolardan daha yaygın olarak kullanılır ve daha geniş bir cihaz ve donanım yelpazesine uyumludur. Bunun nedeni, bakır kabloların yaygın olarak bulunan ve çoğu cihaz tarafından desteklenen RJ45 gibi standart konektörler kullanmasıdır.

Kurulum kolaylığı:

Bakır kabloların kurulumu ve sonlandırılması, özellikle küçük ölçekli kurulumlar için fiber optik kablolarla göre genellikle daha kolaydır. Bakır kablolar standart konektörler kullanır ve genellikle önceden sonlandırılmış uzunluklarda satılır, bu da konektörlerin takılmasını ve değiştirilmesini kolaylaştırır. Fiber optik kablolar ise özel konektörler ve ekipmanlar gerektirir.

Güç Dağıtımı:

Bakır kablolar, ethernet üzerinden güç (PoE) adı verilen bir teknoloji kullanarak, veri iletimi için kullanılan aynı kablo üzerinden güç aktarabilir. Bu, ayrı güç kablolarına olan ihtiyacı ortadan kaldırabilen güvenlik kameraları, kablosuz erişim noktaları ve diğer Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı cihazlara güç sağlamak için yararlı olabilir.

Bant Genişliği Kapasitesi:

Fiber optik kablolar, bakır kablolardan çok daha yüksek bant genişliği kapasitesine sahiptir, bu da aynı mesafe üzerinden daha fazla veri iletebileceği anlamına gelir. Örneğin, tek modlu bir fiber optik kablo, 40 km veya daha uzun mesafelerde 10 Gbps'ye kadar iletim yapabilirken, CAT6 bakır kablo, 100 metrelik bir mesafede yalnızca 1 Gbps'ye kadar iletim yapabilir.

Sinyal Kalitesi:

Fiber optik kablolar, bakır kablolarda sinyal bozulmasına ve veri kaybına neden olabilen elektromanyetik girişime (EMI) ve radyo frekansı girişimine (RFI) karşı bağışıklıdır. Bu, özellikle uzun mesafelerde yüksek hızlı veri iletimi için fiber optik kabloları daha güvenilir hale getirir.

Güvenlik:

Fiber optik kablolar, dokunması veya araya girmesi daha zor olduğundan bakır kablolardan daha güvenlidir. Bu, özellikle askeri uygulamalar, mali işlemler, tıbbi kayıtlar veya hkmet iletişimleri gibi hassas veri aktarımı için önemli olabilir.

Genel olarak, kısa mesafe veri iletimi için fiber ve bakır kablolar arasındaki seçim, uygulamanın özel ihtiyaçlarına ve gereksinimlerine bağlıdır. Bakır kablolar, kısa mesafeli ağlar için uygun maliyetli ve uygun bir seçenek olabilirken, fiber optik kablolar daha yüksek bant genişliği, daha uzun mesafe yetenekleri ve daha iyi sinyal kalitesi sunarak onları yüksek hızlı veri iletimi ve güvenli iletişim için daha iyi bir seçim haline getirmektedir.

5.6. Veri İletme Hızı

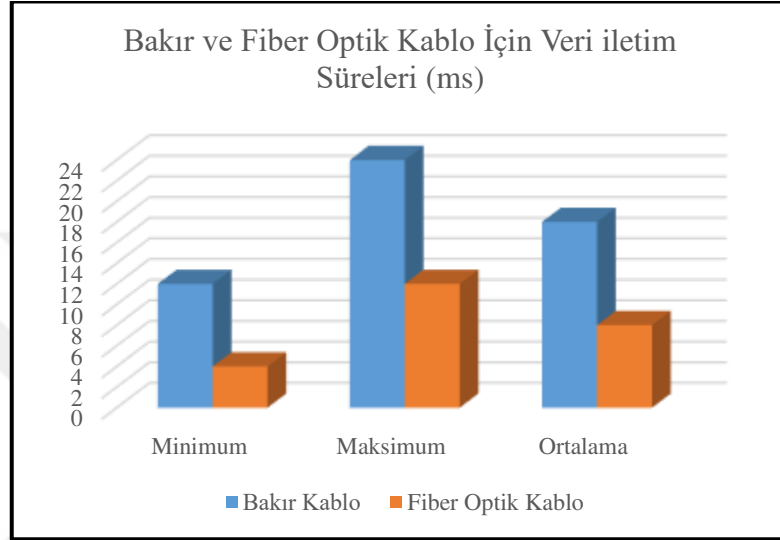
Fiber optik kablolar metalik kablolara göre çok daha fazla veri aktarabilme gücünü bulundurması, ses aktarımında da büyük bir avantajı sağladığını göstermektedir.

Fiber optik kablolar, bakır kablolara göre daha yüksek veri iletim hızına sahiptir. 10 Gbps'ye veya daha yüksek hızlarda veri iletebilirlerken, bakır kablolar 1 Gbps'ye kadar olan hızlarla sınırlıdır.

Fiber optik kablolar, ışık hızında hareket edebilen verileri iletmek için ışığı kullanır. Bu, gürültü ve dirençten etkilenebilen elektrik sinyallerini kullanan bakır kablolardan çok daha hızlı veri aktarım hızları sağlar. Bakır kablolar, direnç, kapasitans ve endüktans dâhil olmak üzere bakırın fiziksel özellikleri ile sınırlıdır. Bu faktörler, verilerin bakır kablolar üzerinden iletebileceği hızı sınırlayabilir.

Fiber optik kablolar, bakır kablolardan daha geniş bir bant genişliğine sahiptir ve bu da bir defada daha fazla verinin iletilmesine olanak tanır. Bu, fiber optik kabloların hız veya performansta bir düşüş yaşamadan daha fazla eşzamanlı kullanıcıyı ve cihazı destekleyebileceği anlamına gelir.

Bölüm 5.3'te yapılan deney sonucunda Tablo 5.3'te belirtilen RTT süreleri göz önüne alındığında sinyal iletim hızları Şekil 5.8'deki grafikte ifade edilen şekilde olmaktadır.



Şekil 5.8. Bakır ve Fiber optik kabloların veri iletim süreleri karşılaştırması

Alınan yol, hız ve zamanın çarpımına eşittir. Bu durumda kullanılan kablo uzunluklarının aynı olduğu bu deneyde, veri hızı yayılma süresi ile ters orantılıdır. Bu durumda yayılma süresi yüksek olan bakır kabloların veri iletim hızı düşük iken, yayılma süresi daha az olan fiber optik kablolarda ise veri iletim hızı oldukça yüksektir.

Görüldüğü gibi, fiber optik kablolar, veri aktarım hızı söz konusu olduğunda bakır kablolarla göre ortalama 3 kat daha fazla avantaja sahiptir. Verileri çok daha yüksek hızlarda iletebilirler ve performansta bir düşüş yaşamadan daha fazla eşzamanlı kullanıcıyı ve cihazı destekleyebilirler.

6. DİĞER HUSUSLAR

6.1. Sinyal Bozucu Etkileri

Sinyal karıştırma etkileri açısından fiber optik kablolar ile bakır kablolar arasındaki fark, sektörde güvenlik tabanlı uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Sinyal karıştırma, kablosuz veya kablolu sinyallerle iletişimi kesintiye uğratabilecek veya veri kaybına neden olabilecek kasıtlı bir girişimdir. Fiber optik kablolar ve bakır kablolar, sinyal sıkışmasına karşı farklı hassasiyetlere sahiptir.

Bakır kabloların, veri iletmek için elektrik sinyalleri kullandıklarından sinyal karıştırmaya karşı fiber optik kablolarla kıyasla hassas olmaları beklenmektedir. Bu beklentinin ana sebebi, bakır kabloların, yetkisiz cihazlar veya kötü niyetli kullanıcılar tarafından yakalanabilecek elektromanyetik enerji yaymasıdır. Bu enerji sonucunda meydana gelen girişimler, sinyallerin bozulmasına veya kaybolmasına neden olabilir. Bununla birlikte, bakır değişen manyetik alanlara maruz kaldığında, manyetik kayıplar yaşayabilir, bu da verimliliğin düşmesine ve ısınmanın artmasına neden olabilir.

Bakırdaki manyetik kayıplara iki ana mekanizma neden olur: girdap akımı kayıpları ve histerezis kayıpları.

Girdap akımı kayıpları, değişen bir manyetik alan bakırda elektrik akımlarını indüklediğinde meydana gelir ve bu akımlar da kendi manyetik alanlarını üretir. Bu girdap akımları bakır boyunca akabilir ve dirençle karşılaşabilir, bu da enerjiyi ısı şeklinde dağıtmalarına neden olur. Girdap akımı kayıplarının büyüklüğü, manyetik alanın frekansına ve gücüne ve ayrıca bakırın geometrisine ve iletkenliğine bağlıdır.

Histerezis kayıpları, manyetik alan bakırın mıknatıslanmasında değişikliklere neden olduğunda meydana gelir. Manyetik alan değiştikçe, bakır iletken, malzemenin iç sürtünmesinden dolayı enerjinin ısı olarak dağılmasına neden olan bir dizi manyetik tersine dönmeye maruz kalır. Histerezis kayıplarının büyüklüğü, manyetik alanın frekansına ve gücüne ve ayrıca bakırın manyetik özelliklerine bağlıdır.

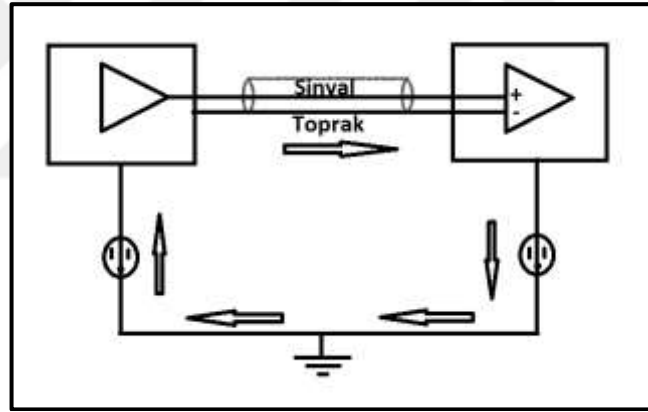
Bakırdaki manyetik kayıpları en aza indirmek için, akımın laminasyon yönünde akmasını önleyerek girdap akımı kayıplarını azaltmaya yardımcı olan transformatörlerde ve motorlarda lamine çekirdekler kullanmak gibi çeşitli teknikler kullanılabilir. Ek olarak, daha düşük elektrik iletkenliğine sahip bakır alaşımlarının kullanılması hem girdap akımı hem de histerezis kayıplarını azaltabilir.

Bu iç dinamikler sebebi ile bakırda meydana gelen kayıplar Elektromanyetik Girişim (EMI) zafiyeti yaratır. Bakır kablolar, yüksek endüktansları nedeniyle EMI'ya karşı

hassastır. EMI'ya yakındaki elektrikli cihazlar, radyo dalgaları veya diğer elektromanyetik alanlar neden olabilir. EMI, sinyal bozulmasına veya kaybına neden olabilir [47].

EMI (elektromanyetik girişim) ve RFI (radyo frekansı girişimi) olarak da bilinen elektriksel gürültü, istenmeyen etkiler üreten, ses ve veri sistemini bozan istenmeyen elektrik sinyalleridir. Elektronik kaynaklardan gelen girişimler, bakır kablolardaki veri sinyallerini değiştirir ve bunlarla etkileşime girerek veri hatalarında geçici güvensizliğe neden olur.

Fiber, cam/silikon esaslı olduğundan üstün dielektrik özelliklere sahiptir. Optik fiberin metalik herhangi bir bileşeni bulunmadığından, tam elektriksel yalıtma ve gürültü bağıışıklığı sağlama konusunda emsalsizdir. Bakır hatlardaki topraklama döngülerini ortadan kaldırmak için elektriksel yalıtıma önem verilmektedir. Şekil 6.1'de gösterilen toprak döngüsü, toprağa, elektromanyetik girişime neden olabilecek bir girişim iletkeni aracılığıyla akım akışı için bir yol oluşturan, devrede istenmeyen bir bağlantının yapıldığı durumdur [61]. Fiber optik kablo, üzerinden elektrik iletimi olmadığı için toprak döngüsü şeklinde bir bağlantıdan ve toprak döngüsü gürültüsü çözümlerinden muaftır.



Şekil 6.1. Bakır kablo bağlantılarında meydana gelebilen toprak döngüsü örneği

Fiber optik kablolar herhangi bir yabancı elektrik alanına karşı tamamen bağıışıktır, bu nedenle yalnızca temiz sinyaller taşırlar. Fiber optik kabloların bakır kablolarla göre EMI'ya daha az duyarlı olduğu açıktır, bu da fiberi yüksek frekanslı sinyal iletimi ve veri aktarımı için daha uygun hale getirir [48].

Özetle, fiber optik kablolar, elektromanyetik girişime karşı bağıışıklıkları ve kablonun dışına sinyal yaymamaları nedeniyle bakır kablolarla kıyasla sinyal karıştırmaya daha az duyarlıdır. Bu, fiber optik kabloları, özellikle güvenliğin kritik bir endişe kaynağı olduğu askeri ve endüstriyel ortamlarda veri iletimi için daha güvenli ve güvenilir bir seçim haline getirir.

6.2. Endüktans Uyumluluğu

Endüktans uyumluluğu, fiber optik sistemlerin elektromanyetik ortamda kararlı ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla önemlidir. Fiber optik kablolardaki endüktans uyumluluğu, sinyal bütünlüğünü korurken elektromanyetik girişimi en aza indirmek ve sistem performansını optimize etmek için tasarım, uygulama ve test süreçlerinde dikkate alınır.

Fiber optik kablo ve bakır kablo, endüktans uyumluluğunu etkileyen farklı özelliklere sahiptir.

Bakır kablo, bakır telden veya bakır kaplı çelik telden yapılmış bir iletkenidir. Tel, elektromanyetik girişimi azaltmak ve sinyal gücünü artırmak için birlikte bükülür. Bakır kablolar, fiziksel özelliklerinden dolayı yüksek bir endüktansa sahiptir, bu da onları elektromanyetik girişime ve sinyal kaybına duyarlı hale getirir.

Fiber optik kablo ise cam veya plastik bir fiber aracılığıyla sinyalleri iletmek için ışık kullanır. Fiber optik kablolar bakır kablolarla göre elektromanyetik girişime ve elektromanyetik sinyal kaybına daha az hassastır.

Optik sistemlerin iletken olmayan yapısı, “*Elektromanyetik Girişim (EMI), Radyo Frekans Girişimi (RFI) ve Elektromanyetik Darbe (EMP)*” ye yönelik olarak herhangi bir hassasiyete sahip olmadığından, bu gibi alanlarda fiber optik sistemler güvenli veri aktarımını sürdürebilmektedir. Elektromanyetik spektrumun sık şekilde kullanılması halinde veya nükleer ortamda öteki iletişim sistemlerine zarar veren yoğun “*EMP*” altında fiber optik sistemlerin haberleşmesi etkilenmemektedir. Cam veya plastik fiberler yalıtkan maddeler olduğundan dolayı fiber optik kablolar, bakır kablolarla olduğu gibi akımın oluşturduğu manyetik alan meydana gelmemektedir. Yapısal nitelikleri sebebiyle fiber optik kablolar manyetik alan meydana getirmedikleri gibi manyetik alanlardan da etkilenmemektedirler. Metalik kablolarla oluşan karışıklığın en önemli sebebi birbirine yakın şekilde düzenlenmiş yalıtkan olmayan maddeler arasındaki manyetik indüksiyondur. Fakat fiber optik kablolarla yapı maddesinin doğası gereği bu sorunla karşılaşılması beklenmemektedir.

Yapısı uyarınca, bir bakır kablo ağ bağlantısındaki “*elektriksel sinyalizasyon*”, kabloların çevresinde bir gürültü alanı oluşturmaktadır. Birbiriyle yakın çalışan pek çok kablo olduğunda, oluşan bu gürültü yakındaki kablolarla geçerek arzu edilen veri alışverişine engel olabilmektedir.

Fiber optik kablolar daha büyük bant genişlikleri sağlamalarından dolayı fiber sistemler daha büyük bir belleğe sahip olmaktadır. Bakır kablolarla, iletkenler arasında

“kapasitans” ve iletkenler boyunca “indüktans” oluşmaktadır. Bu durum, bakır kabloların, bant genişliklerini kısıtlayan filtreler gibi hareket etmelerine yol açmaktadır.

Fiber kablolarındaki ışık aktarımı hiçbir şekilde endüktans uyumluluğunda sorun çıkarmamaktadır. Bu yüzden fiber kablolar bu bakımından bakır kablolarla göre daha kullanışlı ve güvenilir durumdadır. Özetle, fiber optik kabloların bakır kablolarından daha düşük endüktansı vardır, bu da onları yüksek frekanslı sinyallerle daha uyumlu ve elektromanyetik girişime daha az duyarlı hale getirir.

6.3. Fiziksel Kırılma

Bilindiği gibi fiber optik kabloların çekirdeği camdan yapılmaktadır. Camlar, silikanın (temelde kum olan SiO_2) büyük bir kaptan eritilmesi, bir kalıba dökülmesi ve kristalleşmeyi önleyecek kadar hızlı soğutulmasıyla şekilsiz bir katı haline getirilerek yapılır. Bu işlem ucuz ve hızlı olsa da üretilen cam saf değildir, bu da gücünü ve ışığı iletme kabiliyetini sınırlar. Cam üzerindeki toz ve kir, optik fiberden 1000 kat daha fazla ışığı emer ve gücünü azaltan ve çatlaklara neden olabilen stresleri yoğunlaştırır. Buna ek olarak, cam, hidrojen gazı (su altı kablolarında bir sorun) dâhil olmak üzere çeşitli kimyasallardan etkilenebilir ve bu da yer altına yerleştirildiğinde daha fazla bakıma ihtiyaç duymalarına neden olabilir.

Optik fiber ise tamamen farklı bir işlemle üretilir. Saf bir silika çubuk veya tüp ile üretim işlemi başlar ve malzemenin geri kalanı bir ön form oluşturmak için ultra saf gazlar kullanılarak yüksek sıcaklıkta biriktirilir. Bu ön form katılaştırılır ve daha sonra fiberin uzun şeritler halinde çekildiği bir çekme kulesine yerleştirilir. Sürecin dikkatli kontrolü, camı inanılmaz derecede saf, şeffaf ve güçlü kılar.

Saç inceliğinde bir fiber ne kadar güçlü olursa olsun, küçük boyutu onu nemden ve çizilmelerden korumayı gerekli kılar. Nem, zayıflamayı artırabilir ve elyafı kırılma hale getirebilir. Yüzey çizikleri, fiberin arızalanmasına neden olan hatalara sebep olur. İlk koruma seviyesi, çekme kulesinden çıkarken fibere uygulanan hermetik plastik kaplamadır. Optik fiber daha sonra bir kabloya dönüştürülür. Kablo, sadece nem veya kirden değil, diğer sıvılardan, ezilme veya bükme kuvvetlerinden ve tabii ki kurulum sırasında karşılaşılan çekme geriliminden de çevresel koruma sağlar.

Bu sebeple fiber optik kablolar için kırılma konusu uygulanan kuvvetin yönüne bağlı olarak değişmektedir. Fiber optik kabloya uygulanan kuvvet eğer kabloya paralel ise teorik maksimum (gerilme) mukavemeti inç kare başına yaklaşık 1000 tondur, ancak pratik sınır bunun yüzde 10 ila 20'sidir. Kesit alanının oldukça küçük olmasından kaynaklı olarak

(bir inçin yaklaşık 20 milyonda biri kadardır) gerçek maksimum lif mukavemeti yaklaşık 3 ila 5 kilogram gerilimdir. Fakat fiber optik kabloya dikey olarak kuvvet uygulanırsa ya da aşırı derecede bükülürse, kablo içindeki cam çekirdek kırılabilmekte ve optik sinyal fiber kaplamadan kaçabilmektedir. Bükme işlemi ayrıca fiber cam çekirdek üzerinde mikro çatlaklara neden olarak elyafa kalıcı olarak da zarar verebilmektedir.

Tüm fiber optik kablolar, tipik olarak DuPont'un Kevlar'ı gibi aramid fiberler olmak üzere mukavemet elemanları içerir. Kevlarların çekme kuvvetine karşı yüksek mukavemetleri vardır ancak en önemli özelliği gerilim altında esnememesidir. Çekildiğinde esnemez, gerilim kalktığında gevşer, bu da kabloda bükülmelere ve fibere baskı yapmasına neden olur. Tipik bir iç mekân kablusunun içindeki aramid fiber miktarı, 100 kilografa kadar çekme gerilimine izin verirken, dış mekân kabloları 300 ila 400 kilogram gerilimde derecelendirilmiştir. İzin verilen kablo bükülme yarıçapını korumak ve köşelerden çekilirken bükülmeyi önlemek için takviye olarak ek bir mukavemet elemanı kullanılır.

Fiber optik kablolar, ezilme kuvvetlerine de dayanacak şekilde tasarlanmışlardır. Mukavemet elemanları tarafından sağlanan yumuşak ceket ve dolgu, fiberi korur. Muharebe alanında tankların ağırlığına dayanabilecekleri özel kablolar kullanılmaktadır.

Genel olarak, fiber optik kablolar, gerekenden daha güçlü olacak şekilde tasarlanmıştır ve bu durum ağır kurulumlara karşı sigorta mahiyetindedir. Başarılı fiber optik kablo kurulumu, aşağıdaki iki yönerge izlenerek sağlanır:

- Maksimum çekme gerilimi aşılmamalıdır.
- Çekme gerilimi altındayken kablo çapının minimum 20 katı bükülme yarıçapına izin verilmelidir.

Bakır bükülebilir bir metaldir. Yüksek bükülme mukavemeti, kablounun gerilmesini ve kırılmasını önlemeye yardımcı olur ve böylece sistem arızalarının önlenmesine de yardımcı olur. Ancak bakır kablo çekme kuvvetine karşı fiber optik kablolardan daha dayanıksızdır. Sadece 15 kilogram civarında bir çekme kuvvetine dayanabilen bakır tel, fiber optik kablolarla karşılaştırıldığında oldukça kırılgandır.

Tüm bunların yanında bakır kabloların en ciddi dezavantajlarından biri de, korozyona yani oksidasyona yatkınlığıdır. Bunun sonucu olarak da fiber optik kabloya göre daha kısa bir kullanım ömrüne sahiptir. Tüm bu hususlar özetlendiğinde [55][56];

- Fiber optik kablolar, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlere karşı daha az hassastır. Bakır kablolardan daha geniş bir sıcaklık aralığına dayanabilen cam veya plastikten yapılmıştır. Bakır kablolarda korozyona neden olabilen nemden de etkilenmezler.

- Bakır kablolar, kesikler, bükülmeler ve basınç gibi fiziksel hasarlara karşı daha hassastır. Bu tür hasarlar sinyal kaybına, gürültüye ve hatta tamamen arızaya neden olabilir. Buna karşılık, fiber optik kablolar, kesikler de dâhil olmak üzere fiziksel hasarlara karşı daha dirençlidir.
- Fiber optik kablolar ayrıca elektromanyetik girişime (EMI) bakır kablolardan daha dayanıklıdır. Bunun nedeni, verileri iletmek için yakındaki EMI kaynakları tarafından bozulabilen elektrik sinyalleri yerine ışık kullanmalarıdır.
- Fiber optik kablolar, aşırı sıcaklıklar, yüksek nem ve kimyasallara maruz kalma gibi zorlu koşullara maruz kaldıkları petrol kuleleri, madencilik operasyonları ve fabrikalar dâhil olmak üzere endüstriyel ortamlarda yaygın olarak kullanılır. Bu ortamlarda, bakır kablolar korozyona ve hasara daha yatkın olacaktır.
- Fiber optik kablolar daha dayanıklı olmalarının yanı sıra bakır kablolarla göre daha uzun ömürlüdürler. Uygun kurulum ve bakım ile fiber optik kablolar 25 yıl veya daha fazla dayanabilirken, bakır kablolar tipik olarak 10-15 yıllık bir ömre sahiptir.

Genel olarak, fiber optik kablolar daha dayanıklıdır ve bakır kablolardan daha uzun ömürlüdür. Ayrıca fiziksel hasara ve çevresel faktörlere karşı daha dirençlidirler, bu da onları zorlu endüstriyel ortamlar ve diğer zorlu ortamlar için daha iyi bir seçim haline getirir.

6.4. Kurulum Maliyeti

Fiber optik kablo ile bakır kablo kurulum maliyeti arasındaki fark, kablo tipi, kurulumun mesafesi ve kurulum sürecinin karmaşıklığı gibi bir dizi faktöre bağlı olarak değişebilir. Bununla birlikte, genel olarak, fiber optik kabloların kurulumu bakır kablolardan daha pahalı olma eğilimindedir. Günümüzde, fiber kabloların bakır kablolarla göre oldukça önemli bir olumsuz yanı, fiber kabloların kurulumunda başlangıç maliyetinin bakır kablolarla göre daha fazla olmasıdır. Son teknolojik gelişmeler ile fiber optik kabloların birim uzunluk başına fiyatları düşmeye devam ederken bakır kabloların birim uzunluk başına fiyatları ve yüksek bant genişliği iletimini destekleyebilmek için gerekli olan daha karmaşık donanım fiyatları artmaktadır. Kablo tesisi kurulumu için birbirine alternatif olabilen Cat5 ve çok modlu fiber karşılaştırılırsa, yaklaşık olarak aynı fiyatta oldukları görülmektedir.

Farkı yaratan kurulumda kullanılması zorunlu olan elektronik cihazlardır. Cat 5 için 10/100 Ethernet kartı 10-100 dolar civarında iken, 10/100 fiber kart (yeni 100BASE-SX stili) 100-200 dolar civarındadır. Bağlantının her iki ucunda da elektronik cihaz olması

gerektiği için aradaki fark ikiye katlanacaktır. Bakırdan fibere medya dönüştürücüler ise 100 dolar gibi düşük bir fiyata satılmaktadırlar ve bakır hatların bulunduğu yerde fiber bağlantı sağlama sorununu çözerler.

Fiberin ek maliyeti genellikle bakır hub'ların koşullandırılmış, kesintisiz güç kaynaklarının (UPS), veri kalitesi zeminlerinin ve her dolap için ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) maliyeti ile dengelenmektedir. Bu maliyetler, bakır kurulumu yapılacak bir işin fiber ile yapılması durumunda masa başına sadece 90-100 dolar daha fazla maliyet eklemektedir.

Tüm bu maliyet analizlerine ve fiberlerin bakırlar kadar makul fiyatının olmasına rağmen telekom müşterilerinin bakır kabloları daha fazla tercih ettiği görülmektedir. Tüm masaüstü bilgisayarların %99'u bakırla bağlantılıdır ve bu tercihin en büyük sebebi ise konfor faktörüdür. Kurulum personelleri ve müşteriler, tanıdık bakır kablolar ile hem daha rahat çalışmakta hem de kurulum başına miktarı az da olsa kar etmeyi daha uygun bulmaktadırlar.

Fiber Optik Derneği (FOA) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, fiber optik kablo kurulumunun maliyeti, kablo tipine, kurulumun mesafesine ve kurulum sürecinin karmaşıklığına bağlı olarak feet başına 1,00 ila 6,00 \$ arasında değişebilir. Karşılaştırıldığında, bakır kablo tesisatının maliyeti feet başına 0,50 ila 2,00 ABD Doları arasında değişebilir [57].

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) [Hangi ülke] tarafından hazırlanan bir rapor, fiber optik kablo ve kurulum maliyetinin son yirmi yılda önemli ölçüde azaldığını ortaya koydu. 1990'larda, fiber optik kablo ve kurulum maliyetinin metre başına 100 \$ olduğu tahmin ediliyordu. 2010 yılına gelindiğinde maliyet metre başına 5-10 dolara düştü [58].

Yine FOA'nın sunduğu bir rapor, fiber optik ağların ilk kurulum maliyetlerinin bakır ağlara göre daha yüksek olmasına rağmen, fiber optik teknolojisinin uzun vadeli faydalarının zaman içinde maliyet tasarrufu sağlayabileceğini ortaya koydu. Örneğin, fiber optik ağlar, bakır ağlara göre daha az bakım gerektirir ve daha uzun ömürlüdür, bu da zaman içinde bakım maliyetlerini ve değiştirme maliyetlerini azaltır [59].

Fiber Optik Derneği (FOA) tarafından yapılan bir araştırma, fiber optik kablo ve kurulum maliyetinin kısa vadede bakır kablodan daha yüksek olabileceğini, ancak fiber optik teknolojisinin daha yüksek bant genişliği ve daha az bakım gerektirmesi nedeniyle uzun vadede maliyet tasarrufu sağlayabileceğini buldu. Maliyetler ve daha uzun kullanım ömrü [60].

Bu kaynaklar, fiber optik kablo ve kurulum maliyetinin genellikle bakır kablodan daha yüksek olduğuna, ancak fiber optik teknolojisinin uzun vadeli faydalarının zaman içinde maliyet tasarrufu sağlayabileceğine dair kanıtlar sunmaktadır.

Fiber optik kabloları kurmak ve sonlandırmak için gereken donanım da bakır kabloları göre daha pahalıdır. Bu, füzyon ekleyiciler ve optik güç ölçerler gibi fiber optik kabloları birleştirmek ve sonlandırmak için özel alet ve donanım içerir. Ek olarak, fiber optik kablolar, fiber optik ayırıcılar veya anahtarlar gibi ek donanımlar gerektirebilir ve bu da genel kurulum maliyetine katkıda bulunabilir.

Fiber optik kablo kurulumu, bakır kablo kurulumundan daha özel beceri ve bilgi gerektirir. Bu, işçilik ve kurulum maliyetini artırabilir. Fiber optik tesisatçıları, özel bilgi ve deneyim gerektiren fiber optik kabloları kullanmak ve sonlandırmak için eğitilmelidir.

Fiber optik kabloların kurulum süreci, bakır kabloları göre daha karmaşık ve zaman alıcı olabilir. Örneğin, fiber optik kabloların, zor ve zaman alıcı bir süreç olabilen borulardan veya kanallardan çekilmesi gerekebilir. Ek olarak, fiber optik kablolar, uygun şekilde sonlandırıldıklarından ve hizalandıklarından emin olmak için özel konektörler ve sonlandırma teknikleri gerektirebilir.

Fiber optik kablo kurulumunun ön maliyetleri bakır kablo kurulumundan daha yüksek olabilirken, fiber optik kablolar daha uzun ömürleri, daha yüksek bant genişlikleri ve daha düşük bakım maliyetleri nedeniyle zaman içinde maliyet tasarrufu sağlayabilir. Fiber optik kablolar onlarca yıl dayanabilirken, bakır kabloların aşınma ve yıpranma nedeniyle daha sık değiştirilmesi gerekebilir. Ek olarak, fiber optik kablolar, gelecekte ek kablo ve altyapı ihtiyacını azaltabilen daha yüksek bant genişliği özelliklerine sahiptir. Son olarak, fiber optik kablolar, bakır kabloları göre girişime ve sinyal kaybına karşı daha az hassastır, bu da bakım maliyetlerini ve arıza süresini azaltabilir.

Genel olarak, fiber optik kablo kurulumunun maliyeti, gerekli malzeme, donanım ve uzmanlık becerilerinin yüksek maliyeti nedeniyle tipik olarak bakır kablo kurulumundan daha yüksektir. Bununla birlikte, fiber optik kabloların uzun vadeli faydaları, zaman içinde maliyet tasarrufu sağlayabilir ve bu da onları birçok uygulama için popüler bir seçim haline getirir.

6.5. İdame Maliyeti

Fiber kabloların esasını oluşturan cam bildiğimiz kum taneciklerinden üretilmektedir. Gittikçe yükselen oranda fiber kablo üretimi bu teknolojiyi maliyet bakımından bakır kablolarla rekabet edebilecek seviyelere çıkarmıştır. Fakat fiber optik teknolojinin kablo haricindeki öteki unsurları için aynı şeyi belirtmek mümkün değildir. Maliyet bakımından fiber optik sistemlerin iletme, depolama, tesis ve montajı, bakır sistemlere göre fiber sistemlerin yapısal nitelikleri sebebiyle daha maliyetlidir.

6.6. Elektronik Harp Hassasiyeti

Bu başlık altında 3 ana maddeye göre Elektronik Harp Hassasiyeti incelenmektedir. Bunlar Elektromanyetik Girişim (EMI), Radyo Frekansı ve Fiziksel Güvenlik unsurlarıdır.

Elektromanyetik Girişim (EMI):

Önceki başlıklarda da incelendiği gibi bakır kablolar, EMI'ya karşı hassastır. EMI, harici kaynaklardan gelen elektromanyetik enerji kablo aracılığıyla iletilen sinyallere müdahale ettiğinde meydana gelir. Bu, motorlar, transformatörler ve diğer elektrikli donanımlar gibi gürültü kaynaklarından dolayı da gerçekleşebilir. EMI veri bozulmasına veya kaybına neden olabilir ve ayrıca sinyalleri yetkisiz cihazlar tarafından kesilmeye karşı savunmasız hale getirebilir [49].

Öte yandan fiber optik kablolar, veri iletme için ışık kullandıkları için EMI'ya karşı bağımsızdır. Fiber optik kablolardaki sinyaller kablonun dışına yayılmaz, bu nedenle harici elektromanyetik alanlardan etkilenmezler. Bu, fiber optik kabloları EMI'nın neden olduğu sinyal sıkışmasına karşı daha güvenli hale getirir.

Bakır ve fiber kablolar elektronik harp hassasiyeti bakımından karşılaştırıldığında fiber kabloların dışardan müdahaleye karşı bağımsızlığı olduğu görülmüştür. Optik sistemlerde kullanımına başvuru ışınlar, sistemin dışına sinyal iletememektedir. Bundan dolayı fiber kablolar bakır kablolarda olmayan yüksek derecede sinyal güvenliği sağlamaktadır. İletimin çalınması bakır kablolarda mümkünken fiber kablolarda çok zordur. Fiber kablolarda dışardan gelecek müdahalelerle sistemden optik enerji çekmeden sinyal elde etmek mümkün görülmemektedir. Bundan dolayı sistemden bilgi elde etmek adına yapılan faaliyetler optik enerji düzeyindeki değişikliklerle basit bir şekilde saptanabilmektedir. Bu konu bilhassa yüksek seviyede hassasiyet gerektiren askeri iletişim konusunda son derece önem arz etmektedir [50]. Fiber optik kablodan aktarılan verilerin çalınmasının iki yöntemi bulunmaktadır:

- Fiber optik kablo kesilir ve kesilen uca alıcı bir cihaz bağlanır.
- Fiber optik kablo keskin bir açı yapacak biçimde bükülür ve ışığın fiber optik kablodan dışarı çıkması sağlanır.

Her iki yöntemde de sistemdeki sinyal yoğunluğundaki düşüş hemen saptanacağından dolayı sistem yüksek derecede güvenli durumda bulunmaktadır. Bu nitelik fiber optik kabloyu, bakır kablolar karşısında güvenilirlik gerektiren faaliyetler bakımından olabildiğince çekici kılan başka bir niteliktir.

Radyo Frekansı (RF) Karıştırma:

RF karıştırma, kablosuz iletişimi etkileyen bir tür sinyal karıştırmadır. Güçlü bir radyo sinyalinin kablosuz sinyalle aynı frekansta iletilmesini içerir, girişime ve bozulmaya neden olur. RF sıkışması, Wi-Fi, Bluetooth veya hücreli sinyaller gibi kablosuz iletişimi engellemek için kullanılabilir [51].

Bakır kablolar, kablolu bağlantılar kullandıkları ve alt yapısal olarak kablosuz sinyallere dayanmadıkları için RF karıştırmadan etkilenmezler. Bununla birlikte, fiber optik kablolar, sinyal bozucu cihaz fiziksel olarak kabloya yakınsa, RF karıştırmadan yine de etkilenebilir. RF sinyali, kablo tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve daha sonra fiber boyunca bir EMI olarak iletilebilir. Bu nispeten nadir görülen bir durumdur, ancak yine de fiber optik kablolar için potansiyel bir güvenlik açığıdır.

Fiziksel Güvenlik:

Bakır kablolar, sinyal karışmasına neden olabilecek fiziksel girişimlere karşı savunmasızdır. Bakır kablolar, yetkisiz kişiler veya kötü niyetli aktörler tarafından kesilebilir, eklenebilir veya dokunulabilir, bu da verilerin kesilmesine veya bozulmasına neden olabilir. Bakır kablolar ayrıca hava, kemirgenler ve diğer çevresel faktörlerden kaynaklanan hasarlara karşı da savunmasızdır.

Fiber optik kablolar ise bilgiyi ışık şeklinde iletildiği, cam veya plastikten yapıldıkları ve kesilmesi veya birleştirilmesi zor olduğu için kurcalanması daha zordur. Bir fiber optik kablo kesilirse, sinyal kaybı anında algılanır ve güvenlik personeli uyarabilir.

Özet olarak, fiber optik kablolar, EMI'ye karşı bağışık oldukları ve fiziksel girişime karşı daha dayanıklı oldukları için, bakır kablolarla kıyasla sinyal karışmasına karşı daha az hassastır. Fiber optik kablolar hala RF sıkışmasından etkilenebilirken, bu nispeten nadir görülen bir durumdur ve genel güvenlik ve güvenilirliklerini etkilemez.

7. KABLO SEÇİM ANALİZÖRÜ (KSA)

Bu bölümde, “Kablo Seçim Analizörü (KSA)” adında, bu tez çalışmasının başlangıcından itibaren yapılan tüm analizler ve deney çıktılarından yola çıkılarak, fiber optik kablo ve bakır kablo arasında belirli kıstaslara göre uygulamada seçim yapabilmeyi sağlayan bir mobil veya masaüstü uygulama yazılımı hakkında bilgiler verilmektedir. Bu program, seçim için 6 önemli kriteri göz önünde bulundurarak en uygun kablo tipini belirlemektedir. Bu kriterler ve bu kriterlerden seçilebilir açılır menü seçenekleri Tablo 7.1’de sıralanmıştır.

Tablo 7.1. Kablo seçim analizörü uygulama yazılımı veri tabanını oluşturan kıstas ve seçenekler menüsü

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Kriter 6
	Veri Güvenliği Hassasiyeti	Bant Genişliği	Kablo Uzunluğu (Metre)	Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Veri iletim Hızı (ms)	Tolere Edilebilir Veri Kaybı
Seçenek 1	Yüksek	< 1 Gbps	< 100	Bükme Oranı Yüksek	< 10	< %5
Seçenek 2	Düşük	> 1 Gbps	> 100	Bükme Oranı Düşük	> 10	< %3

Veri güvenliği hassasiyeti, bant genişliği, kablo uzunluğu, fiziki koşullara dayanıklılık, veri iletim hızı ve tolere edilebilir veri kaybı gibi kıstasları dikkate alarak en iyi kablo tipini önermektedir.

Yüksek hızda veri aktarımı, fiber optik kabloyu tercih etmek için bir neden olabilir. Bakır kablonun yetersiz kaldığı yüksek bant genişliği gereksinimleri de fiber optik kabloyu önerir. Bakır kablonun uzun mesafelerde (100 metre üzerinde) 1 Gbps üzerine çıkamaması fiber optik kablonun seçim ölçütlerinden biridir. 100 metreden kısa mesafelerde daha düşük maliyetler için, bakır kablo en iyi seçim olabilir. Ancak, veri güvenilirliğinin ön planda olduğu durumlarda fiber optik kablo önerilir. Uzun mesafelerde fiber optik kablonun daha iyi performans gösterdiği, çevresel faktörlerin (elektromanyetik girişim, sinyal zayıflaması) de önemli bir faktör olduğu bilinmektedir.

KSA uygulama yazılımı, bu ölçütleri hesaba katarak en uygun kablo tipini önerir. Ayrıca, kablo tipi değiştirildiğinde sistem performansındaki farklılıkları da gösterir. Böylece, en iyi seçeneği seçmek için gerekli tüm bilgiler elde edilmiş olur.

Tablo 7.2. KSA'nın kriterlere göre üretebildiği çıktı seçenekleri

	Çıktılar
Seçenek 1	Bakır Kablo Kullanımı Önerilir.
Seçenek 2	Fiber Optik Kablo Kullanımı Önerilir.

KSA, fiber optik kablo ve bakır kablo arasındaki seçim yapma konusunda kablaj sektörüne yol göstermek için tasarlanmıştır. Her bir kıstasın seçim sonucunu nasıl etkilediğini göstererek, kablolar arasında hangisinin diğerine göre daha avantajlı olduğunun karar verilmesine yardımcı olur. Elde edilecek çıktı seçenekleri gayet yalın ve anlaşılırdır ve Tablo 7.2'de gösterilen şekilde olmaktadır.

Bu seçim analizörünün fayda sağlayacağını düşüldüğü sektörler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

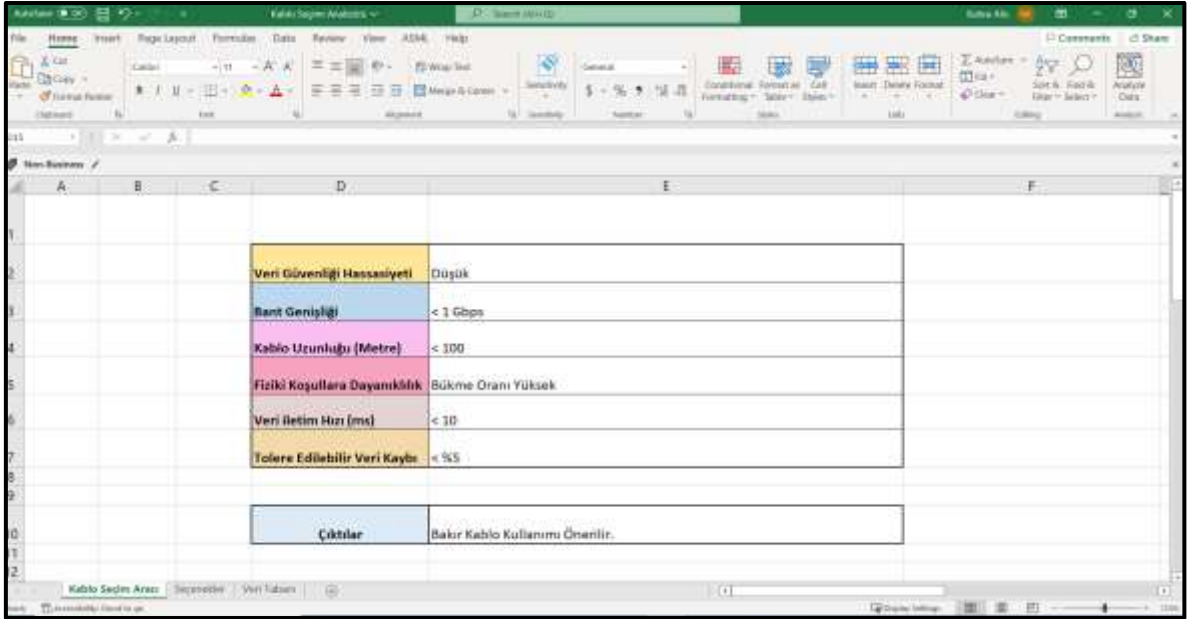
Telekomünikasyon sektörü: Bu sektörde, yüksek hızlı veri aktarımı için doğru kablo tipini seçmek kritiktir. Bu program, doğru kabloyu seçmelerine yardımcı olabilir ve ağlarının verimliliğini artırabilir.

Elektronik sektörü: Elektronik cihazlarda doğru kablo tipinin kullanımı, cihazların doğru şekilde çalışmasını sağlayabilir. Bu program, üreticilerin doğru kablo tipini seçmelerine ve kaliteyi artırmalarına yardımcı olabilir.

İnşaat sektörü: Yapıların içindeki veri ve enerji akışını sağlamak için, doğru kablo tipini seçmek çok önemlidir. Bu program, mühendislerin doğru kablo tipini seçmelerine yardımcı olabilir ve inşaat işlerinin doğru şekilde yapılmasını sağlayabilir.

Savunma sektörü: Savunma sektöründe, yüksek güvenlik seviyelerine sahip olan veri aktarımı için doğru kablo tipinin kullanımı önemlidir. Bu yazılım paketi, savunma sanayindeki mühendislerin doğru kablo tipini seçmelerine ve güvenlik seviyelerini artırmalarına yardımcı olabilir.

KSA'nın ara yüzü Şekil 7.3'teki örnekte görüldüğü gibidir.



The screenshot shows the KSA (Kablo Seçim Aracı) software interface. The main window displays a table with the following data:

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Düşük	
Bant Genişliği	< 1 Gbps	
Kablo Uzunluğu (Metre)	< 100	
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Yüksek	
Veri İletim Hızı (ms)	< 10	
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	≤ %5	
Çıktılar	Bakır Kablo Kullanımı Önerilir.	

Şekil 7.3. KSA arayüz görünümü

Bu 6 adet ölçütün sahip olduğu ikişer seçenek ile birlikte oluşturduğu 64 ayrı senaryo için veri tabanı oluşturulmuş ve uygun kablo çıktısı sunulmuştur. Bu senaryoların ve çıktıların listesi Ek 5'de verilmektedir.

KSA'nın çalışma kurgusunun daha iyi anlaşılabilmesi için bundan sonraki bölümlerde üç farklı yaygın kullanım durumu için kablo seçim analizi yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

7.1. Kurgu 1

Veri güvenliği hassasiyetinin düşük varsayıldığı, veri hattının bant genişliğinin 1 Gbps'nin üzerine çıkmayacağının bilindiği, alıcı ve verici arasındaki iletim mesafesinin 30 metre olduğu, kablonun fiziksel yollandırması sırasında yüksek oranda bükülmenin olacağının varsayıldığı, veri iletim hızının 15-20 ms aralığında olmasının istendiği ve tolere edilebilir veri kaybının %5'in üzerine çıkmamasının istendiği bir kurgunun analizi ele alındığında, öncelikle veri girdileri Şekil 7.4'de gösterildiği gibi olmaktadır;

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Düşük
Bant Genişliği	< 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	< 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Yüksek
Veri iletim Hızı (ms)	> 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %5

Şekil 7.4. Kurgu 1 için KSA’da veri girişleri sonucundaki arayüz görünümü

Bu kıstasların ve isterlerin sonucunda elde edilmesi beklenen sonuç bakır kablonun önerilmesidir. Veri güvenliği hassasiyeti düşük, bant genişliği 1 Gbps altında ve kablo uzunluğunun 30 metre olduğu şartlarda bakır kablonun kullanımı oldukça uygun bir seçenektir. Bakır kablo, kısa mesafelerde yüksek performanslı bir veri aktarımı sağlar ve düşük bant genişliklerinde yeterli hızı sunabilir. Ayrıca, veri güvenliği hassasiyeti düşük olduğu durumlarda, fiber optik kabloların sağladığı yüksek veri güvenliği avantajına da ihtiyaç duyulmaz. Fiziksel kabiliyet incelendiğinde ise bükmeye karşı direnci düşük olduğundan fiber kabloların kullanımı yerine bükmeye karşı dayanıklılığı fibere göre daha yüksek olan bakır kabloların kullanımı tercih edilmelidir. Dolayısı ile seçim sonucu olarak Şekil 7.5’te KSA tarafından önerilen çıktının doğru olduğu varsayılır.

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Düşük
Bant Genişliği	< 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	< 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Yüksek
Veri iletim Hızı (ms)	> 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %5
Çıktılar	Bakır Kablo Kullanımı Önerilir.

Şekil 7.5. Kurgu 1’de KSA’ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi

7.2. Kurgu 2

Veri güvenliği hassasiyetinin yüksek varsayıldığı, veri hattının bant genişliğinin 1 Gbps’nin üzerine çıkmasının fayda sağlayacağını bilindiği, alıcı ve verici arasındaki iletim

mesafesinin 400 metre mukabilinde olduğu, kablonun fiziksel yollandırması sırasında yüksek oranda bükülmenin olmayacağına varsayıldığı, veri iletim hızının 6-8 ms aralığında olmasının istendiği ve tolere edilebilir veri kaybının %3'ün üzerine çıkmamasının istendiği bir kurgu analiz edildiğinde öncelikle veri girdileri Şekil 7.6'da gösterildiği gibi olmaktadır;

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Yüksek
Bant Genişliği	> 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	> 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Düşük
Veri iletim Hızı (ms)	< 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %3

Şekil 7.6. Kurgu 2 için KSA'da veri girişleri sonucundaki ara yüz görünümü

Veri güvenliği hassasiyeti yüksek olduğunda, fiber optik kablolar bakır kablolarla karşılaştırıldığında daha güvenli bir seçenektir. Fiber optik kablolar, elektromanyetik girişime karşı daha dirençlidir ve sinyal interferansını önlemek için daha az koruma gerektirir. Bant genişliği gereksinimleri 1 Gbps'nin üzerinde olduğunda, fiber optik kablolar daha iyi performans gösterir. Kablo uzunluğu 400 metre gibi uzun mesafeler için, fiber optik kablolar daha iyi bir seçenektir. Bakır kablolarda sinyal kaybı ve zayıflama daha fazla olurken, fiber optik kablolar sinyal kaybını minimuma indirir. Ayrıca, fiber optik kabloların genellikle daha yüksek bant genişliği kapasitesi vardır, bu da daha yüksek veri transfer hızlarına olanak tanır. Fiziksel kabiliyet incelendiğinde ise uygulamada bükmeye karşı bir hassasiyet beklenmediğinden fiber kabloların kullanımı tercih edilmelidir.

Sonuç olarak, veri güvenliği hassasiyeti yüksek, bant genişliği 1 Gbps'nin üzerinde ve kablo uzunluğu 400 metre gibi şartlar altında fiber optik kabloların kullanımı daha uygun olacaktır. Dolayısı ile seçim sonucu olarak Şekil 7.7'de KSA tarafından önerilen çıktının doğru olduğu varsayılır.

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Yüksek
Bant Genişliği	> 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	> 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Düşük
Veri iletim Hızı (ms)	< 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %3
Çıktılar	Fiber Optik Kablo Kullanımı Önerilir.

Şekil 7.7. Kurgu 2’de KSA’ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi

7.3. Kurgu 3

Veri güvenliği hassasiyetinin yüksek varsayıldığı, bant genişliğinin 1 Gbps’nin üzerine çıkmasının beklendiği, alıcı ve verici arasındaki iletim mesafesinin 30 metre mukabilinde olduğu, kablonun fiziksel yollandırması sırasında yüksek oranda bükülmenin olmayacağını varsayıldığı, veri iletim hızının 15-20 ms aralığında olmasının istendiği ve tolere edilebilir veri kaybının %5’in üzerine çıkmamasının istendiği bir kurgunun analizi yapılmıştır. Bu yeni kurgu, Kurgu 1 ve Kurgu 2’nin kombinasyonu şeklinde olmaktadır. Seçim kriterlerinden bazıları bakır kablonun önerilmesi beklentisini yükseltirken, seçilen başka kriterler ile de fiber optik kablonun önerilmesinin beklendiği karma bir kurgu oluşturulmuştur. Öncelikle veri girdileri Şekil 7.8’de gösterildiği gibi olmaktadır;

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Yüksek
Bant Genişliği	> 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	< 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Düşük
Veri iletim Hızı (ms)	> 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %5

Şekil 7.8. Kurgu 3 için KSA’da veri girişleri sonucundaki ara yüz görünümü

Seçimler incelendiğinde kablo uzunluğunun 100 metreden düşük olması ve veri iletim hızının 10 ms’nin üzerinde ve tolere edilebilir veri kaybının %5’in altında olması kullanıcıyı

bakır kablo seçimine yönlendirmektedir. Fakat 1 Gbps'nin üzerinde bant genişliği isteri ve bu yüksek bant genişliğinde veri güvenliğinin hassasiyetinin yüksek olması isterleri fiber optik kablo seçimini zarurî kılar. Bakır kablo yüksek bant genişliklerinde girişim sebebi ile veri güvenliği konusunda dezavantaj oluşturacaktır. Fakat fiber, kablo uzunluğunun nispeten kısa olduğu ve veri iletim hızının nispeten düşük beklenildiği durumlarda da verimli olarak çalışacaktır. Dolayısı ile bu kriterlere göre önerilen kablo çıktısı fiber optik kablo olmaktadır. Şekil 7.9'da KSA tarafından önerilen çıktının doğru olduğu varsayılır.

Veri Güvenliği Hassasiyeti	Yüksek
Bant Genişliği	> 1 Gbps
Kablo Uzunluğu (Metre)	< 100
Fiziki Koşullara Dayanıklılık	Bükme Oranı Düşük
Veri iletim Hızı (ms)	> 10
Tolere Edilebilir Veri Kaybı	< %5
Çıktılar	Fiber Optik Kablo Kullanımı Önerilir.

Şekil 7.9. Kurgu 3'te KSA'ya girilen kriterlere uygun kablo önerisi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Genel Karşılaştırma

Bölüm 5 ve Bölüm 6’da bakır ve fiber optik kablolar 13 ana başlıkta karşılaştırılmış ve deney çıktıları incelenmiştir. Bu bölümde ise, daha önceki konularda anlatılan ve izlenilen verilere dayanarak bakır kabloların ve fiber optik kabloların birbirine göre durumları Tablo 8.1’de genel bir bakış açısı oluşturacak şekilde sunulmuştur:

Tablo 8.1. Tezde işlenen parametrelere göre fiber optik kablo ve bakır kablonun karşılaştırma tablosu

PARAMETRELER	BAKIR KABLO	FİBER OPTİK KABLO
Sinyal Bozucu Etkiler	Yüksek	Düşük
Bant Genişliği	Düşük	Yüksek
Veri Paketi Kaybı	Yüksek	Düşük
Veri Aktarım Gecikmesi	Yüksek	Düşük
Endüktans Uyumluluğu	Düşük	Yüksek
Uzun Mesafe Kullanım Avantajı	Düşük	Yüksek
Kısa Mesafe Kullanım Avantajı	Yüksek	Düşük
Fiziksel Kırılma	Düşük	Yüksek
Veri İletme Hızı	Düşük	Yüksek
Kurulum Maliyeti	Düşük	Yüksek
İdame Maliyeti	Düşük	Yüksek
Elektronik Harp Hassasiyeti	Yüksek	Düşük

Fiber optik kablolar ve bakır kablolar, veri ve telekomünikasyon iletimi için kullanılan iki farklı tür kablodur. Her iki kablo türünün de kendi avantajları ve dezavantajları vardır ve doğru kablo türünün seçilmesi, uygulamanın özel ihtiyaçlarına bağlıdır.

Yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda teknik açıdan, fiber optik kabloların bakır kablolarla göre birçok avantajı olduğunu göstermektedir. Verileri daha uzun mesafelerde ve daha yüksek hızlarda, daha az sinyal kaybı ve daha az elektromanyetik girişim ile iletebilirliği doğrulanmıştır. Elektromanyetik girişim (EMI), elektriksel iletkenlikleri nedeniyle bakır kablolarla yaygın bir sorundur. Bakır kablolar, yakındaki elektrikli cihazlardan veya diğer kablolardan gürültü alabilir ve bu da sinyalde gürültü ve bozulmaya neden olabilir. Bu, endüstriyel ortamlar veya yüksek güçlü elektrik hatlarına sahip alanlar gibi çok fazla elektromanyetik aktiviteye sahip alanlarda özellikle sorunludur. Öte yandan

fiber optik kablolar, veri iletmek için elektrik yerine ışık kullandıkları için EMI'ya karşı bağıştıdır. Fiber optik kablolarda bulunan cam veya plastik fiberler elektriği iletmezler yani yakındaki elektrikli cihazlardan veya kablolardan etkilenmezler.

Bununla birlikte, bakır kablolar genellikle ön maliyetler açısından fiber optik kablolardan daha ucuzdur. Bakır kabloların montajı daha kolaydır ve daha az özel donanım gerektirir, bu da onları küçük ölçekli kurulumlar için daha pratik bir seçim haline getirir.

Dayanıklılık ve bakım açısından incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre, fiber optik kablolar genellikle bakır kablolarla göre daha dayanıklıdır ve daha az bakım gerektirir. Hava koşullarından, kemirgenlerden ve diğer faktörlerden kaynaklanan hasarlara karşı daha az hassastırlar ve zamanla daha az onarım gerektirirler. Ek olarak, fiber optik kablolar daha yüksek bant genişliğini destekleyebilir ve büyük altyapı değişikliklerine gerek kalmadan kolayca yükseltilebilir.

Genel olarak, bakır kabloların maliyet ve kurulum kolaylığı açısından bazı avantajları olabilirken, fiber optik kablolar genellikle teknik performans, çevresel etki ve uzun vadeli maliyet etkinliği açısından üstün seçenek olarak kabul edilir. Yüksek hızlı internet ve telekomünikasyon talebi artmaya devam ettikçe, fiber optik kabloların çoğu uygulama için standart seçim haline gelmesi muhtemeldir.

KAYNAKLAR

- [1] S. M. Hutaaruk, F. Khair, and D. Zulherman, "Analisis Unjuk Kerja Perancangan Dispersion Flattened Fiber (DFF) Single Mode Step Index pada Optifiber 2.2", *CENTIVE*, vol. 1, no. 1, pp. 174-177, Nisan 2019.
- [2] K. Kilson, "How Alexander Graham Bell Pioneered Li-Fi with the Photophone in 1880," *Inverse*, 2 Mayıs 2016. Available:<https://www.inverse.com/article/9604-how-alexander-graham-bell-pioneered-li-fi-with-the-photophone-in-1880>. (Erişim tarihi: 15 Temmuz 2023).
- [3] A. S. Semenov, "Valuable book on fiber-optic communications," *Soviet Journal of Quantum Electronics*, vol. 10, no. 7, pp. 937-938, Temmuz 1980. [Online]. Available:<https://doi.org/10.1070/qe1980v010n07abeh010501>
- [4] Ruşen, "Fiber Optik Kablo Nedir?" [Online]. Available:<https://teknolojiprojeleri.com/teknik/fiber-optik-nedir-ozellikleri-nelerdir/attachment/fiber-optik-diyagram>. (Erişim Tarihi: Şubat 25, 2022).
- [5] B. Y. Artuç, "Optik kuplörlerin analizi ve modellenmesi," 2010.
- [6] A. Çetin ve H. Y. Ocak, "Optik fiber dalga kılavuzlarının yapı parametrelerinin incelenmesi," *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, C.19, S. 3, ss. 70-76, 2017.
- [7] A. Méndez and T. F. Morse (Eds.), "Specialty optical fibers handbook," *Elsevier*, 2011.
- [8] R. Terzioğlu, "Merkez iletkeni bakır olan süperiletken CORC kabloların alternatif akım kayıpları," Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2017.
- [9] R. Stolle, "Electromagnetic coupling of twisted pair cables," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, C. 20, S. 5, ss. 883-892, 2002.
- [10] J. Schutt-Ainé, "High-frequency characterization of twisted-pair cables," *IEEE Transactions on Communications*, C. 49, S.4, ss. 598-601, 2001.

- [11] RS, "CAE Groupe Grade 3, Bükümlü Çift Bükümlü Çift Kablo". [Online]. Available:<https://tr.rsdelivers.com/product/cae-groupe/ff3sht500/cae-groupe-grade-3-bukumlu-cift-bukumlu-cift-kablo/1757237> (Erişim Tarihi: 20 Şubat 2022).
- [12] C. Hsiao-Wei, vd. "Investigation of differential twisted-pairs implemented on silicon IPD and high performance multilayer organic platforms," *2016 IEEE 66th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*. IEEE, 2016.
- [13] A. Umek, "Modeling the structural return loss in twisted pair cables," 2000 10th Mediterranean Electrotechnical Conference. Information Technology and Electrotechnology for the Mediterranean Countries. Proceedings. MeleCon 2000 (Cat. No. 00CH37099). C. 1. IEEE, 2000.
- [14] G. Sandeep vd., "A 10Gb/s IEEE 802.3 an-compliant ethernet transceiver for 100m UTP cable in 0.13 μm CMOS." 2008 IEEE International Solid-State Circuits Conference-Digest of Technical Papers. IEEE, 2008.
- [15] Z. Volker, W. Menzel ve H. Leier, "Worst case signal integrity analysis for in-vehicle data transmission via UTP cables," 2007 18th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. IEEE, 2007.
- [16] Doğuş Elektrik, "UTP Network Data Kablosu". [Online]. Available:<https://www.doguselektrik.com.tr/cat-6e-u-utp-network-data-kablosu-nexans-pmu2336> (Erişim Tarihi: 20 Şubat 2022).
- [17] 320 Volt, "Ethernet Cat 5 Kablo," [Online]. Available:<https://320volt.com/tag/token-ring-kablo/> (Erişim Tarihi: Şubat 15, 2022).
- [18] N11, "Telli Telefon Kablosu", [Online]. Available:<https://urun.n11.com/haberlesme-kablolari/5-cift-11-telli-telefon-kablosu-P414722120> (Erişim Tarihi: 16 Şubat 2022).
- [19] Runz Fiber, "Cat 6 Kablosu", [Online]. Available:<http://tr.runzfiber.com/communication-cables/network-cable/4-pair-pure-copper-cca-utp-cat6-lan-cable-cat.html> (Erişim Tarihi: 15 Şubat 2022).

- [20] Amazon, “İnternet LAN Kablosu”, [Online]. Available:<https://www.amazon.com.tr/Metre-Ethernet-%C4%B0nternet-Kablosu-C-5508/dp/B08YRMQMNZ> (Erişim Tarihi: 16 şubat 2022).
- [21] S. Caniggia ve P. Santi. "Common-mode radiated emissions from UTP/STP cables with differential high-speed drivers/receivers," 2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 03CH37446). Vol. 2. IEEE, 2003.
- [22] K. Kwangho, vd. "Electrical and mechanical diagnosis of aging 600 V rated STP cables in a nuclear power plant," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, C. 24, S.3, ss. 1574-1581, 2017.
- [23] S. M. Murthy ve G. A. Rasek, "Analytical determination of current distributions in shielded hv cables and ground systems of electric automotive power trains," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, C. 61, S. 3, ss. 911-918, 2018.
- [24] String Fixer, “Ekranlı Kablo”, [Online]. Available:https://stringfixer.com/tr/Shielded_cable (Erişim Tarihi: 16 şubat 2022).
- [25] J. J. Guo ve A. B. Steven, "High frequency signal propagation in solid dielectric tape shielded power cables," IEEE Transactions on Power Delivery, C. 26, S.3, ss. 1793-1802, 2011.
- [26] Media Markt, “Ses Kablosu”, [Online]. Available:https://www.mediamarkt.com.tr/tr/product/_hama-80854-3-5mm-3-5mm-aluline-spiral-alt%C4%B1n-u%C3%A7-26-cm-ses-kablosu-1053817.html (Erişim Tarihi: 13 şubat 2022).
- [27] J. Zhang, Y. Zhang ve Y. Guan, "Analysis of time-domain reflectometry combined with wavelet transform for fault detection in aircraft shielded cables," IEEE Sensors Journal, C. 16, S.11, ss. 4579-4586, 2016.
- [28] Zwcables, “Ekranlı Kablo”, [Online]. Available:<https://zwcables.com/tr/screened-cable/> (Erişim Tarihi: 15 şubat 2022).

- [29] F. Haddad, B. Bayard ve B. Sauviac, "Low-frequency relation between transfer impedance and shielding effectiveness of braided cables and grid shields," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, C. 62, S.6, ss. 2423-2430, 2010.
- [30] Hellermanntyton, "Kablo Koruyucu", [Online]. Available:<https://www.hellermanntyton.com/tr/yetkinlikler/kablo-koruyucu> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2022).
- [31] H. Heydari, V. Abbasi ve F. Faghihi, "Impact of switching-induced electromagnetic interference on low-voltage cables in substations," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, C. 51, S. 4, ss. 937-944, 2009.
- [32] B. Dinç, "Fiber optik altyapı çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği," Yüksek lisans tezi, 2020.
- [33] I. Manggolo, M. I. Marzuki ve M. Alaydrus, "Optimalisasi perencanaan jaringan akses serat optik fiber to the home menggunakan algoritma genetika," InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer, C. 2, S. 1, ss. 21-36, 2011.
- [34] L. Karaman ve N. O. Ünverdi, "Fiber bragg ızgara tabanlı optik sensörün analizi," IV. Ulusal İletişim Teknolojileri Sempozyumu, 1997.
- [35] G. Moustapha, vd. "Marginal and internal fit of CAD/CAM fiber post and cores," Int J Comput Dent, C. 22, S. 1, ss. 45-53, 2019.
- [36] K. Ken, Y. Koike ve Y. Okamoto, "Plastic optical fiber lasers and amplifiers containing lanthanide complexes," Chemical Reviews, C. 102, S. 6, ss. 2347-2356, 2002.
- [37] G. Jayamol, M. S. Sreekala ve T. Sabu, "A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites," Polymer Engineering & Science, C. 41, S. 9, ss. 1471-1485, 2001.
- [38] B. Nemkumar ve R. Gupta, "Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete," Cement and Concrete Research, C. 36, S. 7, ss. 1263-1267, 2006.
- [39] A. R. Ensari, "Fiber optik kablolar," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.

- [40] Y. Üstünol, “Yüksek hassasiyetli fiber optik jiroskopun modellenmesi ve simülasyonu,” Yüksek lisans tezi. Kırıkkale Üniversitesi, 2016.
- [41] S. Boydak ve M. Yücel, "Fiber optik kabloda meydana gelen raman saçılmasının analizi," Politeknik Dergisi, C. 20, S. 2, ss. 257-265, 2017.
- [42] Z. Demir, “Fiber optik kablo teknolojisi ve askeri uygulamalarda kullanımı,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [43] S. Al-Chalabi, “Powering the telephone over optical links for high availability, low cost, and small carbon footprint,” IEEE Communications, Eylül 2011.
- [44] H. Khatimi, E. S. Wijaya, A. R. Baskara ve Y. Sari, “Performance comparison between copper cables and fiber optic in data transfer on banjarmasin weather temperature conditions,” MATEC Web of Conferences (Cat No. 05022). C.280, 2018.
- [45] A. R. Abdou, A. Matrawy ve P. van Oorschot, “Accurate one-way delay estimation with reduced client-trustworthiness,” IEEE Communications Letters, C. 19, S. 5, ss. 735–738, 2015.
- [46] W. O. Henry, “Electromagnetic compatibility engineering.” Wiley, 2009
- [47] L. Paul ve C. Dale, "Electromagnetic fields and waves" (3. Baskı), W.H. Freeman and Company, 2013.
- [48] Forescout, “Fiber Optic Cable vs. Copper Cable: Which is Better for Your Business?” [Online]. Available:<https://www.forescout.com/company/blog/fiber-optic-cable-vs-copper-cable-which-is-better-for-your-business/> (Erişim Tarihi: 4 Eylül 2022).
- [49] Global CTI, “Fiber Optic Cable vs. Copper Cable: Which One Should You Choose?” [Online]. Available:<https://www.globalcti.net/fiber-optic-cable-vs-copper-cable/> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2023).
- [50] NetStructures, “Copper vs Fiber - Which is better for Networking?” [Online]. Available:<https://netstructures.com/copper-vs-fiber/> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2023).

- [51] M. Phillips, "Copper vs. Fiber Optic Cables: Which Is Better for Network Performance?", Lifewire, [Online]. Available:<https://www.lifewire.com/copper-vs-fiber-optic-cables-817519>
- [52] D. Battenfeld, "Copper vs. Fiber: Which Cable Should You Use?" *Blue Ridge Networks*. [Online]. Available:<https://blueridgenetworks.com/copper-vs-fiber/>
- [53] S. Anwar, "Comparing the advantages and disadvantages of fiber optic cable and copper cable," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, C. 9, S. 8, ss. 1405-1411, 2018.
- [54] M. Wozniak ve K. Krauze, "The comparison of durability and physical resistance of fiber optic and copper cables", *MATEC Web of Conferences (Cat No. 01005)*. C. 174, 2018.
- [55] S. Li, X. Li, B. Li ve Z. Huang, "A comparative study on durability of copper cable and fiber optic cable in industrial ethernet network" *Procedia Engineering*, C. 126, 424-431, 2015.
- [56] The Fiber Optic Association, "Installation Costs for Fiber Optic Cable". [Online]. Available:<https://www.thefoa.org/tech/ref/install/INSTCOST.HTM> (Erişim Tarihi: 8 Mart 2022).
- [57] National Institute of Standards and Technology, "A Cost Model for Fiber Optic Cable Networks", 2012. [Online]. Available:<https://www.nist.gov/publications/cost-model-fiber-optic-cable-networks> (Erişim Tarihi: 8 Mart 2022).
- [58] Fiber to the Home Council, "Why Fiber Optics?" [Online]. Available:<https://www.ftthcouncil.org/learn/why-fiber-optics> (Erişim Tarihi: 8 Mart 2022).
- [59] The Fiber Optic Association, "Fiber Optic Cable vs Copper Cable". [Online]. Available:https://www.thefoa.org/tech/ref/OSP/install/Fiber_vs_Copper.html (Erişim Tarihi: 8 Mart 2022).
- [60] K. A. Kuhn, "Ground loops," *The Radio Amateur's Handbook*, pp. 6.59-6.62, 2007.
- [61] IEEE. (2018). IEEE Std 802.3-2018: IEEE Standard for Ethernet. IEEE

- [62] Rensselaer Polytechnic Institute and D. J. Wagner, "Optical Fibers - Total Internal Reflection," *Rensselaer Polytechnic Institute*, [Online]. Available:https://www.rpi.edu/dept/phys/Dept2/APPhys1/optics/optics/node17_8.html (Erişim Tarihi: Temmuz 16, 2023).

