



# İnternet erişiminde yüksek hızlı veri transferi için GPON fiber dönüşüm teknolojileri ve uygulamaları üzerine bir araştırma

## A research on GPON fiber conversion technologies and applications for high speed data transfer in internet access

Harun Ünüvar<sup>1</sup> , Asuman Savaşçıhabeş<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Türksat Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., Headend Uzmanı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Nuh Naci Yazgan University, Electrical and Electronics Engineering Department, Kayseri, Türkiye

### Öz

Haberleşme, teknolojinin gelişmesi ve küreselleşme ile büyük bir evrim geçirmiştir. Kullanıcılar, bilgiye erişme, eğitim, iş, eğlence ve daha birçok alanda iletişim teknolojilerinden faydalanmaktadırlar. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve bilgiye erişimde artan kullanıcı talepleri, iletişim altyapılarının sürekli olarak güncellenmesini ve optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, geleneksel iletişim altyapılarının yetersizliği ile ortaya çıkan veri iletim sorunları ile bakır kabloların sınırlamaları vurgulanmaktadır. Geleneksel Hybrid Fiber-Coaxial (HFC) ve Radio Frequency Over Glass (RFOG) şebekelerinden fiber optik şebekelerine geçişin avantajları açıklanmaktadır. Bu çalışma ile hem iletişim altyapısında kullanılan GPON (Gigabit Passive Optical Network) gibi yeni teknolojilerin amaçları ve avantajlarının sunulması ve geleneksel şebekelerden GPON şebekelere dönüşüm sürecinin kullanıcı açısından sonuçlarını ile konunun literatüre kazandırılması hedeflenmiştir; hem de GPON pasif optik ağların toplumlar için yüksek veri hızı sağlarken ekonomik ve teknolojik avantajlar sunma potansiyeli belirtilmiş, fiber optik ağlar ile yüksek bant genişliği, uzun iletim mesafeleri ve elektromanyetik girişimlere direnç gibi avantajların yanı sıra hızlı, güvenilir ve sürdürülebilir iletişim hizmetlerinin desteklendiği vurgulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** GPON, HFC, RFOG, Veri hızı, Fiber optik haberleşme.

### 1 Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı evrim, iletişim altyapılarının sürekli olarak güncellenmesini ve optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, geniş bant erişimini sağlayan ağ altyapıları, artan taleplere ve teknolojik gelişmelere ayak uydurabilmek için sürekli olarak revize edilmelidir [1-4]. Bu çalışma, Geleneksel Hibrit Fiber Koaksiyel (Hybrid Fiber-Coaxial, HFC) ve Radyo Frekans Üzerinden Optik Fiber (Radio Frequency Over Glass, RFOG) şebekelerinden Gigabit Pasif Optik Ağlar (Gigabit

### Abstract

Communication has undergone a massive transformation with the development of technology and globalization in the last years. Users benefit from communication technologies in accessing information, education, business, entertainment and many other areas. Rapid developments in information and communication technologies and increasing user demands for accessing information require nonstop updating and optimization of communication infrastructures. In this study, data transmission problems arising from the inadequacy of traditional communication infrastructures and the limitations of copper cables are emphasized. The advantages of switching from traditional Hybrid Fiber-Coaxial (HFC) and Radio Frequency Over Glass (RFOG) networks to fiber optic networks are explained. With this paper; it is aimed to present the purposes and advantages of new technologies such as GPON (Gigabit Passive Optical Network) used in the communication infrastructure and to introduce the subject to the literature with the results of the transformation process from traditional networks to GPON networks for the user; the potential of GPON and GPON passive optical networks to provide economic and technological advantages while providing high data rates for societies was stated, and it was emphasized that fiber optic networks support fast, reliable and sustainable communication services, as well as advantages such as high bandwidth, long transmission distances and resistance to electromagnetic interference.

**Keywords:** GPON, HFC, RFOG, Data rate, Fiber optical communication.

Passive Optical Network, GPON) şebekelerine geçişin kullanıcı tarafındaki avantajlarının incelenmesini amaçlamaktadır.

HFC şebekeler, kablo televizyon ağlarında geniş bant erişimini sağlamak için geliştirilen bir teknolojidir. Ancak, HFC şebekelerinin kapasite sınırlamaları ve mevcut taleplerin ötesindeki ihtiyaçlar, daha gelişmiş ve yüksek kapasiteli ağ altyapılarına geçişi zorunlu kılmıştır. Bu noktada, GPON teknolojisi, optik fiber altyapısını kullanarak yüksek hızlı internet erişimi sağlayan ve geleceğin geniş bant

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ahabes@nny.edu.tr (A. Savaşçıhabeş)

Geliş / Received: 28.11.2023 Kabul / Accepted: 11.06.2024 Yayımlanma / Published: 15.07.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1397325

taleplerini karşılamaya yönelik çözümler sunan bir potansiyele sahiptir.

RFOG şebekeler, fiber optik ağ altyapısını kablo televizyon ağlarına entegre eden bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. RFOG, yüksek kapasiteli fiber altyapısının getirdiği avantajları, kablo televizyon şebekelerinin mevcut altyapısıyla birleştirerek, hızlı ve etkili bir dönüşümü mümkün kılmaktadır.

Günümüzde, iletişim teknolojilerindeki hızlı evrim, geniş bant erişimini sağlayan ağ altyapılarının sürekli olarak geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. İnternet kullanımının artması, yüksek çözünürlüklü medya tüketimi, uzaktan çalışma ve diğer dijital hizmetlerin yaygınlaşması, iletişim altyapılarının daha yüksek kapasite ve hızlara ihtiyaç duymasına neden olmuştur. Bu ihtiyaçları karşılamak ve geleceğin geniş bant taleplerini öngörmek adına, fiber optik teknolojileri önemli bir rol oynamaktadır.

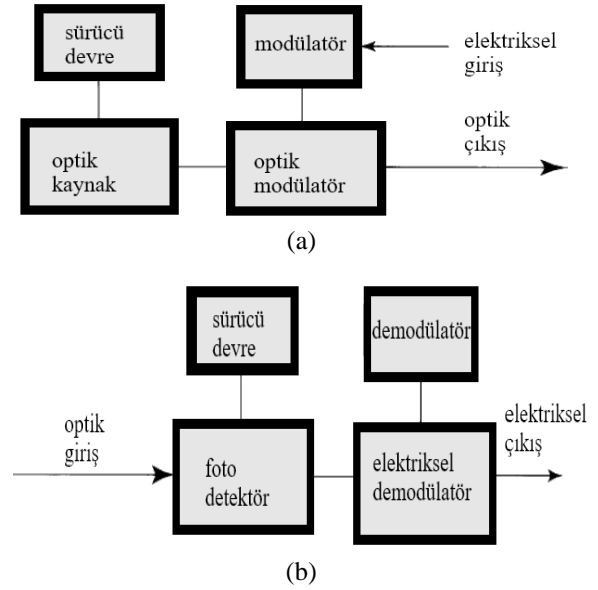
Bu bağlamda, Gigabit Passive Optical Network (GPON) şebekeleri, yüksek hızlı internet erişimini sağlamak ve geniş bant taleplerini karşılamak üzere tasarlanmış önemli bir iletişim altyapısıdır. GPON, optik fiber teknolojisinin sağladığı avantajları kullanarak geniş bant erişimi için etkili ve verimli bir çözüm sunmaktadır [5-6].

Bu çalışmada, HFC ve RFOG şebekelerinin GPON şebekelere dönüşümünü ele alarak, iletişim altyapılarında çağdaş bir evrimin nasıl sağlanabileceğini incelenmektedir. GPON teknolojisinin getirdiği avantajlar, bu dönüşümün potansiyel etkileri ve uygulama süreçleri bu çalışmanın merkezinde yer alacaktır. Bu dönüşüm projesi, iletişim endüstrisinde daha yüksek hızda, daha büyük kapasitede ve daha güçlü bir altyapıda geleceğin iletişim ihtiyaçlarına uygun çözümler sunma potansiyeline sahiptir.

## 2 Fiber optik iletişim ve HFC altyapısı

Fiber optik iletişimi oluşturan yapılardan gönderici bloğundaki optik verici, elektrik sinyalini optik forma dönüştürmek için kullanılmaktadır ve elde edilen optik sinyal ile taşıyıcı dalga modüle edilmektedir. Şekil.1(a)'da gösterilen optik vericide, tasarım maliyeti düşüktür ve optik sinyali optik fiberin giriş düzlemine maksimum verimlilikle odaklayan bir mikro lens kullanılır. Şekil.1(b)'de gösterilen optik alıcıda ise, optik fiberin çıkış ucunda alınan optik sinyal orijinal elektrik sinyaline dönüştürülmesi ile veri iletimi sağlanır. Burada optik alıcı yapısında yer alan kuplör, fotodetektör ve demodülatör ile optik sinyal iletilmektedir. Kuplör, alınan optik sinyali fotodetektöre odaklar ve demodülatör bloğunda FSK (frekans kaydırmalı anahtarlama) ve PSK (frekans kaydırmalı anahtarlama) modülasyonları üzerinden elektrik sinyalinin şiddetine bağlı olarak veriyi 1 veya 0 bitleri olarak tanımlayan bir karar devresi ile bu sistemin doğruluğu ölçülmektedir.

Optik fiber altyapısı üzerinden radyo frekansı sinyalleri taşımak için kullanılan bir teknolojiyi ifade eden RFOG ve HFC şebekeleri, iletişim operatörlerine geniş bant hizmetleri sunma konusunda önemli bir rol üstlenmiştir. Ancak, teknolojik ilerlemelerin etkisiyle, GPON gibi fiber optik temelli iletişim sistemleri, daha yüksek bant genişliği, düşük gecikme süreleri ve daha güvenilir bağlantılar sağlamak adına öne çıkmaktadır.



Şekil 1. Fiber optik iletişim blok şeması (a): Optik vericinin bileşenleri (b): Optik alıcı

GPON projelerine geçiş ile iletişim altyapısının daha etkin, verimli ve gelecekte kullanıcı taleplerine hazırlıklı hale getirme amacıyla yapılan iletişim altyapılarının dönüşüm süreci incelendiğinde, iletişim operatörlerinin müşterilere daha iyi hizmet sunma kapasitesini artırmak, ağ verimliliğini optimize etmek ve gelecekteki iletişim ihtiyaçlarına uyum sağlamak gibi avantajlar görülmektedir. Özellikle geniş bant bağlantılarının yaygınlaşması ve internetin temel bir iletişim aracı olarak benimsenmesiyle daha da hız kazanmıştır. Bu bağlamda, RFOG ve HFC projeleri, özellikle kablo TV ve geniş bant internet hizmetleri sağlayıcıları için önemli bir role sahiptir. Bu noktada, Gigabit Passive Optical Network gibi fiber optik çözümler, düşük gecikme süreleri, yüksek bant genişlikleri ve daha güvenilir bağlantılar sağlamaları nedeniyle öne çıkmaktadırlar. RFOG ve HFC tabanlı altyapılardan GPON tabanlı altyapılara geçişin teknik detaylarını, avantajlarını ve zorluklarını incelenirken öncelikle optik fiber altyapının tasarımı, cihazlar arası iletişim protokolleri, güç yönetimi ve ağ güvenliği gibi konular teknik bir bakış açısıyla ele alınmalıdır. Ayrıca, mevcut RFOG ve HFC altyapılarından GPON'a geçişin maliyet etkinliği, verimlilik artışı ve müşteri memnuniyeti üzerindeki etkilerinin incelenmesi için veri toplama ile başlayan ve etiket ve dokümantasyon ile tamamlanan sürecin özelliklerine yer vermek gerekmektedir. Bu süreç şunları kapsamaktadır [7-10]:

### 2.1 Veri toplama

Çalışmanın başlangıcında, mevcut HFC ve RFOG şebekelerinin performansını değerlendirmek için alan çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda, şebeke elemanlarından alınan teknik veriler, hız testleri ve altyapı değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

## 2.2 GPON altyapısının tasarımı

Dönüşüm projesinin temelini oluşturan GPON altyapısının tasarımı, mevcut şebeke topolojileri ve kullanıcı ihtiyaçları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Fiber optik hatlar, optik splitters ve OLT (Optical Line Termination) ekipmanları belirlenmiş ve yerleştirilmiştir.

## 2.3 Donanım ve yazılım seçimi:

Dönüşüm projesinde kullanılan donanım ve yazılım bileşenleri titiz bir seçim sürecinden geçmiştir. GPON ekipmanları, standartlara uygunluğu ve performans kriterleri dikkate alınarak seçilmiş, yönetim yazılımları ve protokoller belirlenmiştir.

## 2.4 Uygulama ve test aşamaları

Dönüşüm süreci adım adım uygulanmıştır. Mevcut HFC ve RFOG şebekelerinden GPON'a geçiş sırasında yaşanabilecek kesintiler minimize edilmiş, yeni altyapının uyumluluğu test edilmiştir. Test aşamaları, hız, güvenilirlik ve kapasite üzerine odaklanmıştır.

## 2.5 Veri analizi ve karşılaştırma

Uygulama sonrasında toplanan veriler istatistiksel analiz yöntemleriyle değerlendirilmiş, HFC ve RFOG ile GPON şebekelerinin performansı karşılaştırılmıştır. Bu analiz, dönüşüm projesinin etkilerini açıklığa kavuşturmayı amaçlamaktadır.

## 2.6 Etiketleme ve dokümantasyon

Tüm altyapı değişiklikleri ve yapılan işlemler detaylı bir şekilde belgelenmiş ve ağ elemanları üzerinde uygun etiketleme yapılmıştır. Bu, gelecekteki bakım ve genişleme süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu bölümde belirtilen materyal ve metotlar, dönüşüm projesinin adımlarını ve bu adımların nasıl uygulandığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu, çalışmanın bilimsel ve mühendislik standartlarına uygunluğunu sağlamak için önemlidir.

RFOG, fiber optik altyapı kullanarak yüksek bant genişliği sağlar. Böylece, daha fazla veri iletimi ve geniş bant hizmetlerinin desteklenmesini mümkün kılar. Fiber optik kabloların dış elektromanyetik girişimlere karşı dirençli olması RFOG sistemlerinin dış kaynaklı elektromanyetik girişimlere karşı korunaklı olmasını sağlar. Dolayısıyla Fiber optik iletim, elektromanyetik dalgalara karşı direnci nedeniyle dışarıdan müdahaleye karşı daha güvenli bir iletim sağlamış olur. Fiber optik altyapı, düşük sinyal kaybı ile verilerin uzun mesafeler boyunca iletilmesine olanak tanır. Ayrıca fiber optik kablolar, dış etkenlere karşı dayanıklıdır ve kopma, bükülme gibi durumlara karşı yüksek dirence sahiptirler. Fiber optik altyapı kurulumu maliyetlidir ve ilk şebeke kurulumunda RFOG sistemlerinin başlangıç

maliyetinin yüksek olmasına neden olabilir. Fiber optik kablo altyapısının bakımı, hasar gördüğünde onarımı zor ve maliyetli olabilir. RFOG sistemleri, optik altyapıda kullanılan cihazların bazıları için güç bağımlıdır. Kesinti durumlarında güç sağlanması gerekebilir. Mevcut olan bir fiber optik altyapının genişletilmesi ve yükseltilmesi bazen zor olabilir. RFOG sistemleri, koaksiyel kablo alternatiflerine göre daha karmaşık olabilir ve bu da kurulum ve yönetimde ek zorluklar getirebilir [11]. Ancak Bilgi Teknolojileri Ve İletişim Kurumu'nun verilerine göre 2018-2022 yılları arasında fiber abone sayısı %104 artarken fiber altyapı uzunluğundaki artış %45.7 olmuştur [12].

## 3 GPON fiber şebeke dönüşümü

HFC ve RFOG şebekelerden GPON şebekelere dönüşüm yapıldığında elde edilen sonuçlar ve bulgular, bir dönüşüm projesinin başarısını ve avantajlarını değerlendirmek için önemlidir. Bu tür bir dönüşümün ardından elde edilebilecek sonuçlara ve bulgulara dair potansiyel örnekler şunlardır:

### 3.1 Çoklu hizmet desteği:

GPON, ses, veri ve video gibi farklı hizmetleri destekleyebilir. Dönüşüm ile birlikte, daha geniş bir hizmet yelpazesi sunma kapasitesi artar.

### 3.2 Maliyet ve verimlilik artışı:

Dönüşüm projesi, uzun vadede işletme maliyetlerini düşürebilir. Optik fiberin sağladığı avantajlar, enerji verimliliği ve bakım kolaylığı gibi unsurları içerir.

### 3.3 Geleceğe uyumluluk:

GPON, yüksek bant genişliği ve ileri teknoloji desteğiyle gelecekteki geniş bant taleplerine uyumludur. Dönüşüm, altyapının gelecekteki teknolojik gelişmelere uyumlu hale getirilmesini sağlar.

### 3.4 Çevresel duyarlılık:

Optik fiberin kullanımı, daha az enerji tüketimi ve çevresel etki anlamında daha duyarlı bir altyapı sunabilir.

Bu avantajlara bakıldığında, GPON şebekelere geçişin potansiyel üstünlüğü vardır ancak, her dönüşüm projesi süreci ve sonuçlarının detaylı bir değerlendirmesi, projenin özel gereksinimlerine ve hedeflerine bağlı olarak yapılmalıdır. Bu hedefler arasında veri yükleme/indirme hızı, kapasite ve bant genişliği ile gecikme süreleri önem taşımaktadır. Sayısal hızlar açısından bakıldığında, HFC ve RFOG şebekelerde İndirme Hızı: 1 Gbps, Yükleme Hızı: 500 Mbps iken GPON şebekede İndirme Hızı: 2.5 Gbps ve Yükleme Hızı: 1 Gbps olmakta ve Dönüşüm, abonelere sunulan sayısal hızlarda belirgin bir artış getirerek indirme hızlarında %150'ye varan bir iyileşme sunmaktadır.

**Tablo 1.** HFC ve RFOG şebekelerin GPON şebekeye göre Ankara bölgesi performans karşılaştırması [11]

Şebeke Türü	İndirme Hızı	Yükleme Hızı	Band Genişliği	Kullanıcı başına düşen band genişliği	Elektromanyetik Girişim	Yaklaşık Gecikme Süresi	Performans
HFC	1 Gbps	500 Mbps	1 GHz	100 Mbps	Yüksek	20 ms	Orta Düzeyde
RFOG	1 Gbps	500 Mbps	1 GHz	100 Mbps	Yüksek	20 ms	Orta Düzeyde
GPON	2.5 Gbps	1 Gbps	2.5 GHz	1 Gbps	Orta Düzeyde	5 ms	Yüksek

Kapasite ve bant genişliği açısından bakıldığında HFC ve RFOG şebekede bant genişliği: 1 GHz olup kullanıcı başına düşen bant genişliği 100 Mbps seviyesindedir ve buna karşın GPON şebekelerde bant genişliği: 2.5 GHz olmakta ve kullanıcı başına düşen bant genişliği saniyede 1 Gb değerine ulaşmaktadır. Bu verilerden anlaşıldığı üzere GPON, daha geniş bant genişliği ile ağ kapasitesini artırarak kullanıcı başına düşen bant genişliğini önemli ölçüde yükseltmiştir.

Güvenilirlik açısından incelendiğinde elektromanyetik girişime karşın HFC ve RFOG yüksek güvenilir iken GPON elektromanyetik girişimlerden etkilenmektedir. Ancak daha yüksek doğrulukta veri iletimi sağlamaktadır. Optik fiber altyapısı, elektromanyetik girişime karşı direnç göstererek ağın güvenilirliğini önemli ölçüde artırır. Düşük gecikme süreleri ve yüksek performans açısından incelendiğinde ise HFC ve RFOG şebekelerin gecikme süresi 20 ms ve performansı orta düzeyde iken, GPON şebeke 5 ms gecikme süresi ile daha avantajlı iletişim sunmaktadır. Dolayısıyla, iletişim alt yapısında optik fiberin kullanımı, düşük gecikme süreleri ve yüksek performanslı iletişim sağlayarak interaktif uygulamalarda önemli bir gelişme sağlamaktadır. Tablo.1.'de performans parametreleri üzerinden şebekelerin karşılaştırılması sunulmuş olup bu parametreler, Ankara Bölgesi için HFC ve RFOG şebekelerinden GPON şebekelerine dönüşümün teknik sonuçlarını belirtmek üzere yaklaşık sayısal veri örnekleri ile açıklamaktadır[11].

#### 4 RFOG ve GPON performans analizleri

Telekomünikasyon altyapılarında yaşanan hızlı teknolojik değişim, geniş bant hizmetlerinin artan talebi ve daha yüksek hızlı internet ihtiyacı, iletişim altyapılarının sürekli olarak güncellenmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda, Radyo Frekans Üzerinden Optik Fiber (RFOG) ve Hibrit Fiber Koaksiyel (HFC) projeleri, kablo TV ve geniş bant internet hizmetlerini müşterilere ulaştırmada önemli bir rol oynamıştır. Ancak, Gigabit Passive Optical Network (GPON) gibi fiber optik tabanlı sistemlerin ortaya çıkması, iletişim altyapısında bir evrimi beraberinde getirmiştir.

Bu çalışmada, RFOG ve HFC projelerinden GPON projelerine geçişin teknik detaylarını incelemekte, bu dönüşümün avantajlarını ve zorluklarını değerlendirilmektedir.

Çalışmanın yöntem bölümü, RFOG ve HFC altyapılarından GPON altyapısına geçişin teknik detaylarını ele alacaktır. Bu çerçevede, fiber optik altyapı tasarımı, cihazlar arası iletişim protokolleri, güç yönetimi, enerji verimliliği, ağ güvenliği ve hizmet kalitesi gibi anahtar konular detaylı bir şekilde incelenecek ve bu geçişin teknik parametreleri belirlenecektir.

Çalışma sonuçları, RFOG ve HFC altyapılarından GPON altyapısına geçişin önemli teknik sonuçlarını içermektedir:

##### 4.1 Fiber optik altyapı tasarımı ve entegrasyonu:

GPON altyapısının, RFOG ve HFC sistemlerine göre daha yüksek bant genişliği ve daha düşük gecikme süreleri sağladığı belirlenmiştir.

Tasarlanan fiber optik altyapı, daha fazla kullanıcıya hizmet sağlamak ve gelecekteki geniş bant taleplerine cevap verebilmek adına optimize edilmiştir.

##### 4.2 Cihazlar arası iletişim protokolleri:

GPON protokollerine uygun cihazlar arası iletişimin başarıyla sağlandığı ve bu sayede daha etkili bir veri iletim performansı elde edildiği tespit edilmiştir.

##### 4.3 Güç yönetimi ve enerji verimliliği:

RFOG ve HFC'den GPON'a geçişin enerji verimliliği açısından olumlu bir etki yarattığı ve daha düşük enerji tüketimiyle daha yüksek hızlar elde edildiği belirlenmiştir.

##### Ağ Güvenliği ve Hizmet Kalitesi:

GPON altyapısına geçişin, ağ güvenliği protokollerinde ve hizmet kalitesinde iyileştirmeler sağladığı ve daha güvenilir bir iletişim ağı oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Gigabit Passive Optical Network (GPON) şebekelere yapılan dönüşüm projeleri, iletişim altyapılarının evriminde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, özelinde Hybrid Fiber-Coaxial (HFC) ve Radio Frequency Over Glass (RFOG) şebekelerinden GPON şebekelerine geçişin sayısal hızlar ve kapasite genişliği üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bu analiz, teknik bir örnekleme metodolojisi üzerine kurulmuştur ve aşağıda önemli bulgular özetlenmiştir.

##### 4.4 Örnekleme metodolojisi:

Bu çalışma, HFC ve RFOG'dan GPON'a geçiş etkilerini değerlendirmek için özel bir örnekleme metodolojisi kullanmıştır. Randomize Kontrollü Deneme (RCT) yöntemi, farklı bölgelerdeki benzer özelliklere sahip kullanıcı grupları üzerinde uygulanmış ve sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu, dönüşümün net etkilerini belirlemek için güvenilir bir yaklaşım sağlamıştır.

##### 4.5 Temel sonuçlar ve etkiler:

GPON şebekelerine dönüşüm, indirme ve yükleme hızlarında belirgin bir artış sağlamıştır. Bu, kullanıcı deneyiminde önemli bir iyileşmeye neden olmuştur.

GPON'un geniş bant kapasitesi, bant genişliği taleplerini karşılamada daha etkili bir çözüm sunarak ağ performansını optimize etmiştir.

Örnekleme metodolojisi, dönüşümün sayısal hızlar ve kapasite genişliği üzerindeki etkilerini güvenilir bir şekilde belirlemiştir. Bu çalışma, HFC ve RFOG'dan GPON'a geçişin teknik olarak ölçülebilir avantajlar sağladığını ve bu dönüşümün iletişim altyapılarındaki etkinliği artırdığını göstermektedir.

Bu sonuçlar, HFC ve RFOG şebekelerden GPON şebekelere yapılan dönüşümün olumlu etkilerini vurgular. Kullanıcı memnuniyeti, hizmet çeşitliliği ve altyapı verimliliğinde kaydedilen gelişmeler, bu dönüşümün başarılı olduğunu göstermektedir.

##### 4.6 Hız ve kapasite artışı:

GPON şebekeleri, daha yüksek hızlar ve daha geniş bant genişliği sunarak internet erişiminde önemli bir artış sağladı. Aboneler, daha hızlı ve güçlü bir bağlantı deneyimi yaşamaktadır.

GPON, HFC ve RFOG'a kıyasla daha yüksek indirme ve yükleme hızları sunar. Örneğin, HFC'de sağlanan 1 Gbps hızlar GPON'da 2.5 Gbps veya daha fazlasına çıkabilir.

#### 4.7 Simetrik ve asimetrik iletim:

GPON, simetrik ve asimetrik veri iletimi sağlama esnekliğine sahiptir. Bu, kullanıcı ihtiyaçlarına daha iyi uyum sağlar. Örneğin, simetrik hızlar genellikle iş kullanıcıları için önemlidir.

#### 4.8 Düşük gecikme süreleri:

Optik fiberin kullanımı, düşük gecikme süreleri sağlar. Bu, interaktif uygulamalarda ve gerçek zamanlı hizmetlerde daha iyi performans anlamına gelir.

#### 4.9 Fiber optik veri iletiminde güvenilirlik:

Fiber optik altyapı, elektromanyetik girişimden etkilenmemesi özelliğiyle daha güvenilir bir veri iletimi sağlar. Bu da kesintisiz bir iletişim altyapısı oluşturur.

#### 4.10 Daha yüksek frekans aralığı:

GPON, daha yüksek frekans aralıklarında çalışabilir, bu da daha fazla veri transferi anlamına gelir. Bu özellik, gelecekteki geniş bant taleplerine cevap verebilme yeteneğini artırır.

#### 4.11 Daha etkili bandwidth yönetimi:

GPON, daha etkili bir bant genişliği yönetimi sağlar. Bandwidth paylaşımı ve ağ trafiği kontrolü, kullanıcı deneyimini optimize etmek için daha iyi şekilde yönetilebilir.

Optik fiber altyapısının kullanımı, ağın güvenilirliğini artırdı. Kesintisiz iletişim ve daha düşük arıza oranları, kullanıcı memnuniyetini olumlu yönde etkiledi.

#### 4.12 Maliyet etkinliği:

GPON şebekelere dönüşüm, uzun vadede maliyet etkinliği sağlamıştır. Daha az bakım gereksinimi ve enerji tasarrufu, işletme maliyetlerini düşürmüştür.

Bu sonuçlar, HFC ve RFOG şebekelerden GPON şebekelere yapılan dönüşümün olumlu etkilerini vurgular. Kullanıcı memnuniyeti, hizmet çeşitliliği ve altyapı verimliliğinde kaydedilen gelişmeler, bu dönüşümün başarılı olduğunu göstermektedir.

Performans metriği olarak bit-hata-oranı incelenmekte ve BER değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$BER = \frac{\text{Hatalı Bit Sayısı}}{\sum \text{Bit Sayısı}} \quad (1)$$

BER genellikle bir dijital iletişim sistemindeki bitlerin hatalı dağılımını ölçen bir metrik olarak Denklem (1) ile hesaplanır. Buradaki bit sayıları bir iletişim sisteminin bakım değerlendirme amacıyla kullanılan ölçüm sonuçlarından elde edilir.  $BER = 1 \times 10^{-6}$  ve daha düşük BER değerleri daha iyi bir iletişim performansını göstermektedir [9].

Sinyal-gürültü-oranı (SNR) ve BER ilişkisi incelendiğinde, SNR, bir iletişim kanalındaki sinyal gücündeki gürültünün mevcudiyetini ifade eder. BER-SNR bağıntısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$BER = Q^{-1}(2 \cdot P_e) \quad (2)$$

Burada  $Q^{-1}$ ,  $Q$  fonksiyonunun tersidir ve  $P_e$  hatayı temsil eder.

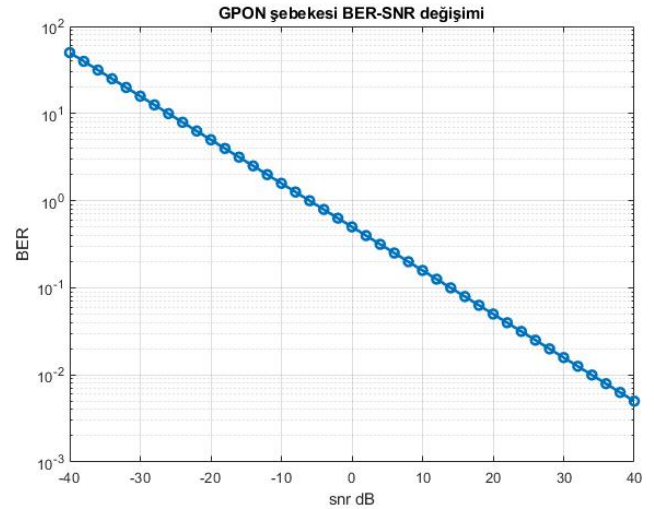
Tablo.2.'de GPON mimarisinde kullanılan optik ayırıcıların bölme kayıpları gösterilmektedir. Bölücü kaybı dBm cinsinden aşağıdaki formül ile hesaplanır [10]:

$$\text{Bölücü Kaybı (dB)} = 10 \log\left(\frac{1}{N}\right) = 10 \log(N) \quad (3)$$

**Tablo 2.** Optik bölücülerin bölme kayıpları [9]

Bölme Oranı	Kayıp (dBm)
1:2	3
1:4	6
1:8	9
1:16	12
1:32	15
1:64	18

Buna göre ilgili parametreler kullanılarak sinyal kayıpları hesaplanır ve aboneye sunulması gereken hizmet kalitesi artırılabilir.



**Şekil 2.** GPON şebekesi BER-SNR değişimi

Şekil 2.'de GPON şebekesinin Denklem (3)'te verilen bölücü kaybı kullanılarak [-40:40] dB bandında işaret gürültü oranı için Denklem (1)'deki oranla bit hata oranları hesaplanarak Matlab© de hesaplatılmıştır. Buna göre istemin 30dB SNR oranında hata oranı  $10^{-2}$  seviyesinde elde edilmiştir. 40dB güç seviyesinin üzerinde hatanın daha da minimize edilmediği görülmüştür.

## 5 GPON dönüşümü üzerine bir örnek uygulama

RFOG ve GPON farklı optik ağ teknolojileridir. RFOG şebekesi, radyo frekans sinyallerini optik fiberle taşıyan bir teknolojiyken, GPON, pasif optik bir ağ teknolojisidir ve genellikle geniş bant internet, telefon ve televizyon hizmetlerini abonelere ulaştırmak için kullanılır. Bir projenin

RFOG'dan GPON'a dönüştürülmesi, genellikle aşağıdaki adımları içerir:

- İhtiyaç Analizi ve Planlama
- Altyapı Değerlendirmesi
- Ekipman Seçimi
- Konfigürasyon ve Yapılandırma
- Test ve Doğrulama
- Abonelerin Geçişi
- Eğitim ve Dokümantasyon
- Sorun Giderme ve Destek

Bu aşamalar tamamlandıktan sonra yani GPON altyapısının devreye alınmasından sonra sürekli olarak ağın performansı ve güvenilirliği izlenmeli, olası sorunlara karşı hızlı bir şekilde müdahale edilmelidir. Ana dağıtım merkezinden son kullanıcıya ulaşana dek farklı fiber kablo tabaka renklendirme Şekil.3'teki renk dağılımı ile kullanılmaktadır. Yukarıda verilen dönüşümdeki adımlar, RFOG'dan GPON'a geçişin genel bir çerçevesini oluşturur. Ancak, projenin özelliklerine ve gereksinimlerine bağlı olarak daha fazla detay eklenmesi gerekebilir.

—	12 FO/Y
—	24 FO/Y
—	48 FO/Y
—	72 FO/Y
—	96 FO/Y
—	144 FO/Y
—	216 FO/Y
—	288 FO/Y
—	432 FO/Y

Şekil 3. GPON Fiber kablo tabaka renklendirme

Şekil 4.'te KMZ( Keyhole Markup Language) sanal çiziminde Ankara bölgesinde bir GPON şebeke alt yapısı temsil edilmektedir. Çizilen ana dağıtım fiber kablolarının adı kısmına başlangıç bitiş noktaları olacak şekilde, açıklama kısmına kablo cinsi yazılarak tasarım gösterilmiştir ve renklendirme ise Şekil 4 ve Şekil 5' te belirtilmiştir. Ana dağıtım Fiber kablo çizimleri saha dolaplarına kadar yapılabilmektedir ancak saha dolaplarından binalara giden fiber optik kabloların çizilmesine gerek duyulmamaktadır. Saha dolaplarında kullanılacak sembol örnek çizimde gösterilmiştir. Kullanılan saha tiplerine göre dolgu renkleri değişmektedir:

- HFC Saha için Beyaz Alan Dolgu Rengi
- RFOG Saha için Sarı Alan Dolgu Rengi
- GPON Saha için Yeşil Alan Dolgu Rengi

kullanılmıştır.

Şekil.5'te HFC ve RFOG şebekeden GPON şebekeye nasıl dönüşüm yapılacağı konusunda örnek Google Earth üzerinden alınan bir senaryo sunulmuştur. Şekil.6'da ise kullanılan kablo metrajı, kablo kesiti, kablo ek miktarları, kablo ek sayıları ve ek noktaları gösterilmektedir. Ayrıca yukarıda verilen örnek senaryo için kablo ek noktalarının ve başlangıç bitiş değerlerinin konumu da görselde yer almaktadır. Şekil.6'da ise verilen senaryo için kullanılan sembolik ikonlar açıklanmıştır.

Fiber Dönüşüm projeleri oldukça maliyetli projelerdir. Mevcut projeler yeniden gözden geçirilerek kablo kesiti değiştirilir. Kablo çekim esnasında kullanılmış olan hatlarda tıkanma ve göçük meydana gelmiş olabilir. Bu ve benzeri düzeltmeler zaman almaktadır.

Fiber dönüşüm projeleri gerçekleştiğinde son kullanıcıların, kullanmış oldukları bazı cihazlar değişebilmektedir. Dönüşümün gerçekleştiği anda sinyal kesintilerin olmaması için sahada bulunan ekiplerin sayılarının artması ve yeni proje hakkında bilgilendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Son kullanıcılardan alınan randevu sonucu, son kontroller yapılarak işlem tamamlanmaktadır [13].

Fiber altyapı, katma değerli hızlı internet erişimi sağlayarak kullanıcı deneyimini artırır [14].

## 6 Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, kablolu iletişim için birçok ülkede kullanılan üç farklı internet veri paylaşım şebekesi olan HFC, RFOG ve GPON şebekeler incelenmiştir. İlk iki şebekede yaşanan kapasite sınırlamaları ve son kullanıcıların artan internet talepleri ve geniş bant hizmetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, GPON tabanlı altyapıya geçişin avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

GPON şebekelerde veri paketi iletişimi açısından veri hızı ve gecikme süreleri HFC ve RFOG şebekeler ile karşılaştırılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre HFC ve RFOG şebekelerden GPON şebekelere geçişin, sayısal hızlarda belirgin bir artışı ve kapasite iyileştirmesini desteklediği anlaşılmıştır. Bu dönüşüm ile birlikte, kablolu iletimde GPON teknolojisi daha hızlı ve güvenilir bir internet erişimi sunmakla beraber daha geniş bir hizmet yelpazesine sahip olma yeteneği ile kullanıcı memnuniyetini artıracak bir çözüm olarak görülmektedir.

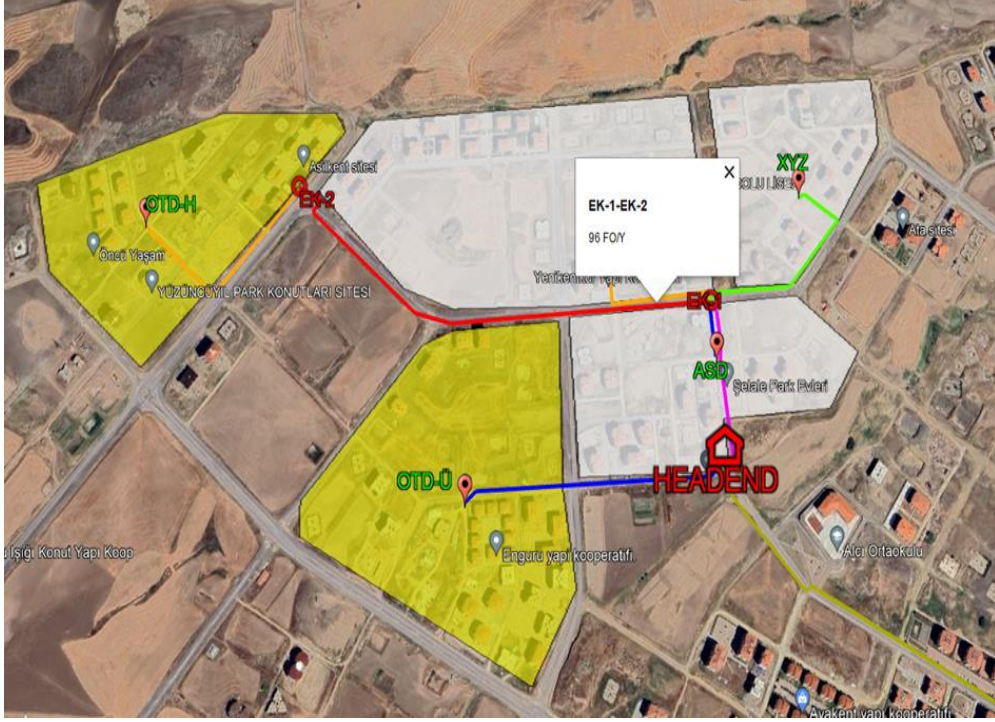
Sonuç olarak, GPON teknolojisinin, gelecekteki geniş bant taleplerine uyumlu bir altyapı oluşturacak şekilde, hem maliyet açısından bakır şebekeye oranla daha avantajlı olması hem de fiber altyapısının sürdürülebilir olması nedeniyle internet servis sağlayıcılar açısından rekabet üstünlüğü sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4. Sanal KMZ örneği ve metrik değerler özet görseli [15]



Şekil 5. Sanal KMZ örneği isimlendirme görseli [15]



Şekil 6. Sanal KMZ kablo çizimi ek isimlendirme ve kablo başlangıç-bitiş görseli [15]



Şekil 7. Genel sembolik ikonlar[15]

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %9

#### Kaynaklar

- [1] BTK TR, Elektronik Haberleşme Hizmet Şebeke ve Altyapılarının Tanım Kapsam ve Süreleri. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/yetkilendirme-icin-basvuru-adimlari/tanim-kapsam-sureler.pdf>, Accessed 27 Haziran 2024.
- [2] Ö. C. Turna, Gelecek nesil pasif optik erişim ağlarının analizi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [3] J. Zheng, Efficient bandwidth allocation algorithm for ethernet passive optical networks. IEE Proceedings Communications, 153 (3), 464-468, 2006. [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-com\\_20050358](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-com_20050358).
- [4] J. Zheng, H. T. Mouftah, A survey of dynamic bandwidth allocation algorithms for ethernet passive optical networks. Optical Switching and Networking, 6 (3), 151-162, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2009.03.003>.
- [5] N. Daldal, Enerji hatları üzerinden haberleşmede iletişim frekansı etkisinin ysa ile analizi ve bir haberleşme sisteminin geliştirilmesi. Doktora Tezi,



- Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2013.
- [6] C. Heren, Effects of messenger molecule degradation in molecular communication via diffusion. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [7] E. Kayhan, Dalgaboyu bölmeli çoğullama yöntemini kullanan bir gigabit pasif optik ağ sisteminin modellenmesi ve performans analizi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2015.
- [8] E. N. Orhan, Hücresel haberleşme sistemlerinde iha haberleşme kanal modellerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2022.
- [9] Y. S. Abbas, Dalgaboyu bölmeli çoğullama yönteminin kullanıldığı pasif optik ağlarda dört dalga karışımı olayının etkilerinin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [10] M. Al-Quzwini, Design and implementation of a fiber to the home FTTH access network based on GPON. International Journal of Computer Applications, 92 (6), 30-42, 2014. <https://doi.org/10.5120/16015-5050>.
- [11] Türksat, Tarifeler bağlantı ve veri hızları. <https://www.turksatkablo.com.tr/>, Accessed 27 June 2023.
- [12] BTK TR, Yıllık Sektörel Bülten. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/yillik-pazar-verileri-bulteni/2023-yili-yillik-bu-lten-15-05-23.pdf> Accessed 10 Ocak 2024.
- [13] S. Hocaoğlu, M. Yücel, FTTH ağlarda performans analizi. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10 (1), 79-88, 2022. <https://doi.org/10.17671/btd.92794>.
- [14] I. Cale, A. Salihovic, M. Ivekovic, Gigabit passive optical network–GPON. Proceedings of the 29th International Conference on Information Technology Interfaces, pp. 679-684, Cavtat, Croatia, 2007.
- [15] H. Ünüvar, Yüksek veri hızı erişiminde kablolu iletişim tekniklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.

