



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARI İÇİN
KABLOLU HABERLEŞME ŞEBEKESİNİN
İNCELENMESİ

Mücahit Furkan YUMŞAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Mücahit Furkan YUMŞAK

Tarih:17/10/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARI İÇİN KABLOLU HABERLEŞME ŞEBEKESİNİN İNCELENMESİ

Mücahit Furkan YUMŞAK

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER

2023, 46 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER

Dr. Öğr. Üyesi Mücahid BARSTUĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Hakkı SOY

Hızlı kentleşme ve verimli kentsel hizmetlere olan talebin artmasından dolayı şehirlerin akıllı ve sürdürülebilir varlıklara dönüştürmesi için inovatif teknolojileri olan çalışmaları hızlandırdı. Bu teknolojiler arasında Nesnelerin İnterneti (IoT), akıllı veri odaklı karar vermeyi sağlamak için çeşitli cihazları ve sistemleri birbirine bağlayan umut verici, yaşamı kolaylaştırıcı ürün olarak ortaya çıktı. Özellikle, bu çalışmada incelenen IoT'nin kablo altyapı ağlarıyla olan entegrasyonu, gelişmiş kentsel ortamlar yaratmak için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu tez, çağdaş şehirlerdeki IoT tabanlı kablo altyapı ağının oluşturulabilmesi için IoT ile altyapı şebekesinin yakınsamasını, bundan meydana gelebilecek etkileri, altyapı zorluklarını ve gelecekteki yönlerini araştırmayı amaçlamaktadır.

Araştırma, kapsamlı bir literatür taraması, vaka çalışmaları ve performans değerlendirmesini kapsayan kapsamlı bir yaklaşım benimsemiştir. Literatür taraması, IoT ve kentsel bağlamlardaki uygulamalarının derinlemesine incelenmesini sağlar. Şehirlerdeki IoT tabanlı kablo altyapı ağları üzerine mevcut araştırmaları analiz ederek, boşlukları ve çözülmemiş sorunları belirleyerek teorik temeli oluşturur.

Tez, kent ortamlarında yürütülen vaka çalışmaları aracılığıyla, IoT tabanlı kablo altyapı ağlarının gerçek dünyadaki örneklerin uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Vakalar, araştırmalar yoluyla veri toplanmasının ardından nicel ve nitel yöntemler kullanılarak veri analizini içerir. Bulgular, IoT teknolojilerinin kablo altyapı ağlarına yerleştirilmesinin pratik yönlerine ve bunların kentsel hizmetler ve toplun yaşam kalitesi üzerindeki etkilerine yeni çözümler ortaya koymaktadır.

IoT tabanlı kablo altyapı ağlarının performans değerlendirmesi, güvenilirlik, ölçeklenebilirlik, verimlilik gibi temel ölçütlere odaklanmaktadır. Tez, bu parametreleri değerlendirerek, bu ağların kentsel zorlukları ele almadaki ve çağdaş şehirlerin ihtiyaçlarını karşılamadaki etkinliği hakkında fikir ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: akıllı şehirler, fiber-optik, kablolu altyapı ağı, nesnelerin interneti (IoT), sürdürülebilirlik

ABSTRACT

MS THESIS

EXAMINATION OF THE CABLED COMMUNICATION NETWORK FOR SMART CITY APPLICATIONS

Mücahit Furkan YUMŞAK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER

2023, 46 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER
Asst. Prof. Dr. Mücahid BARSTUĞAN
Asst. Prof. Dr. Hakkı SOY**

Rapid urbanization and the increasing demand for efficient urban services have led to the research of innovative technologies to transform cities into smart and sustainable assets. Among these technologies, the Internet of Things (IoT) has emerged as a promising paradigm that connects various devices and systems to enable intelligent data-driven decision. In particular, the integration of IoT with cable infrastructure networks has a significant potential to create advanced urban environments. This thesis aims to investigate the impact, challenges and future aspects of the creation of an IoT-based cable infrastructure network in contemporary cities.

The research has adopted a comprehensive approach, covering a comprehensive literature review, case studies and performance evaluation. The literature review provides an in-depth study of IoT and its applications in urban contexts. It forms the theoretical basis by analyzing existing research on IoT-based cable infrastructure networks in cities, identifying gaps and unresolved problems.

The dissertation explores the real-world applications of IoT-based cable infrastructure networks through case studies conducted in various urban environments. Case studies include data collection through research, followed by data analysis using quantitative and qualitative methods. The findings shed light on the practical aspects of embedding IoT technologies in cable infrastructure networks and their impact on urban services and quality of life.

The performance evaluation of IoT-based cable infrastructure networks focuses on basic criteria such as reliability, scalability, security and efficiency. By evaluating these parameters, the dissertation provides insight into the effectiveness of these networks in addressing urban challenges and meeting the needs of contemporary cities.

Keywords: cabled infrastructure network, fiber-optic, internet of things (IoT), smart cities, sustainability

ÖNSÖZ

Geleceğin artan iletişim hızı, bu alanda yeni iletişim yolları doğurmakla birlikte var olanları da bu yarışa ortak etmiştir. Bunlardan çok uzun yıllardır kullanımı devam etmekte olan kablolu haberleşme sistemidir. Ancak kablolu haberleşme sistemlerinde görülen arıza-hasar oranlarının yüksekliği, simetrik olmayan ve gigabit seviyesine ulaşmayan veri hızı nedeniyle yeni yöntemler arayışına ve kendisini yükseltme ihtiyacı doğurmuştur. Bu sebeple mevcut bakır kablo altyapısını fiber optik kabloya dönüştürme eğilimi hız kazanmıştır. Bu işlemi uygulamak için birkaç yöntem ve çözüm bulunmaktadır. Tüm bu yöntemlerin içinde havai yöntemle elde edilen sonuçların getirdiği kolaylık sebebiyle kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada kablolu haberleşme altyapısının zorluklarını aşmak için uygulanabilecek yöntemler üzerinde farklı senaryolar çalışılmış ve uygulanabilirlik açısından ülkemizde kullanımına sunulmuştur. Bu tezin hazırlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Mümtaz MUTLUER'e, katkılarından dolayı Ömer GÜLMEN'e, Uğur KAYA'ya ve Türksat Genel Müdürü Hasan Hüseyin ERTOK'a çok teşekkür ederim. Ayrıca her türlü desteği ile yanımda olan eşime ve aileme de çok teşekkür ederim.

Mücahit Furkan YUMŞAK
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)	3
2.1.1. IoT Ve FTTH Şebekenin Karşılaştırmalı Analizi	4
2.1.2. IoT'nin FTTH Ağlarına Entegrasyonu	5
2.2. Kablolu İletişim Şebekeleri	7
2.2.1. Şebeke Elemanları	8
2.2.2. Şebeke Çeşitleri	16
3.MATERYAL VE METOD	22
3.1. HFC Şebekenin Analizi	22
3.1.1. HFC Şebekenin Dezavantajları	22
3.1.2. HFC Şebekenin Avantajları	24
3.1.3. Gürültü Oranları, Kayıplar ve Zorlayıcı Faktörler.....	25
3.2. Mevcut HFC Şebekeye Yaklaşım.....	25
3.2.1. SNR Kavramı.....	25
3.2.2. SNR ile Kavramlar Arasındaki İlişkiler.....	26
3.2.3. HFC Şebekenin Gözlemlenmesi	27
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1. HFC Şebekenin Evrimi: AirPON Çözümü.....	29
4.1.1. AirPON Çözümünün Ortaya Çıkışı	29
4.1.2. AirPON Etkisi.....	30
4.1.3. AirPON Faydaları	31
4.1.4. AirPON Uygulama Senaryoları	33
4.1.5. AirPON Malzemeleri	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
5.1. IoT – FTTH Şebeke Yakınsamasının Sonuçları	38
5.1.1. Akıllı Evler ve Otomasyon	38
5.1.2. Gelişmiş Sağlık Hizmetleri	39
5.1.3. Akıllı Şehirler ve Kentsel Yönetim	40

5.1.4. Endüstriyel Otomasyon ve Üretim	41
5.1.5. Tarım ve Çiftçilik.....	42
5.1.6. Gelişmiş Enerji Yönetimi	43
5.2. AirPON Çözümünün HFC Şebeke Evriminde Kullanılması.....	44
6. KAYNAKLAR	47

KISALTMALAR

HFC: Hibrit Fiber Koaksiyel Şebeke Modeli
RFOG: Fiber Üzerinden Radyo Frekansı Kullanan Şebeke Modeli
FTTH: Eve Kadar Fiber Şebeke Modeli
ITU-T: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Tarafından Verilen Belge
SMY: Sabit Mobil Yakınsama
BGH: Basitleştirilmiş Geçiş Hakkı
FTTB: Binaya Kadar Fiber (Fiber To The Building)
FTTH: Eve Kadar Fiber (Fiber To The Home)
HFC: Hibrit Fiber Koaksiyel (Hybrid Fiber Coaxial)
CATV: Ortak Antenli Televizyon (Community Antenna Television)
VoIP: Sesli Görüşmeler Yapabilmeyi Sağlayan IP Tabanlı Bir Protokol (Voice Over Internet Protokol)
VOD: İsteğe Bağlı Video (Video on Demand)
OTT: İnternet Üzerinden TV (Over-the-top)
DOCSIS: Data Over Cable Service Interface Specification
UTP-STP Kablo: Unshielded Twisted Pair ya da Türkçe olarak Korumasız Bükümlü Kablo, dokuz tür olarak üretilen analog veri iletim kablolarından biridir. Kablo içinde bir plastik ile koruma sağlanan türüne STP kablo adı verilir.
EDFA: Erbium Katkılı Fiber Amplifikatör (Erbium Deployed Fiber Amplifier)
RF: Radyo Frekansı
RFoG: Cam üzerine Radyo Frekansı (RF on Glass)
OLT: Optik Hat Terminali (Optical Line Termination)
ONT: Optik Ağ Terminali, Optik Modem (Optical Network Termination)
ODN: Optik Ağ Dağıtım (Optical Distribution Network)
CMTS: Kablolü Modem Sonlandırma Sistemi (Cable Modem Termination System)
SNR(Signal to Noise Ratio): Sinyal Gürültü Oranı
CERSM: Codeword Error Rate(CER) ve/veya Correctable Codeword Error Rate(CCER) ve/veya Upstream(Geri-Yön) SNR ve/veya Upstream Power Değeri, Operatör Tarafından Belirlenen Parametrelerin Dışında Kalan Modem

1. GİRİŞ

Son yıllarda, teknolojinin hızla ilerlemesi, çeşitli sektörlerde dönüştürücü değişikliklerin önünü açmıştır ve kentsel ortamlar da bunlardan biridir. Şehirler daha akıllı ve daha bağlantılı olmaya çalışırken, Nesnelerin İnterneti (IoT) kentsel hizmetleri geliştirmek, kaynak yönetimini optimize etmek ve vatandaşların yaşam kalitesini iyileştirmek için kilit bir olanak olarak ortaya çıkmıştır. IoT alanında, kablo altyapı ağı, çağdaş şehirlerde kesintisiz bağlantı ve veri alışverişi için omurga sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır.

IoT tabanlı kablo altyapı ağı, birbirine bağlı bir ekosistem oluşturmak için kablo sistemlerini çok sayıda sensör, cihaz ve iletişim protokolüyle entegre eden kapsamlı bir çerçeveyi temsil eder. Bu ağ, akıllı ulaşım, çevresel izleme, kamu güvenliği, enerji yönetimi ve daha fazlası dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamaların temelini oluşturur. IoT tabanlı kablo altyapı ağlarının potansiyelinden yararlanarak şehirler verimliliklerini, sürdürülebilirliklerini ve dayanıklılıklarını artırma fırsatına sahip olurlar.

Bununla birlikte, IoT tabanlı kablo altyapı ağlarının konuşlandırılması ivme kazandıkça, ele alınması gereken çok sayıda zorluk ortaya çıkmıştır. Bu zorluklar, çağdaş şehirlerdeki bu tür ağlarla ilişkili fırsatların, sınırlamaların ve potansiyel risklerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektiren teknolojik, operasyonel, politika, regülasyon boyutlarını kapsar.

Bu tezin temel amacı, çağdaş şehirler için IoT tabanlı kablo altyapı ağını araştırmaktır. Hali hazırda 90'lı yıllarda başlatılan ve işletmesi günümüzde de sürdürülen HFC Şebekenin yaşadığı zorluklar ele alınmış ve bu altyapının IoT ile FTTH Şebekeye evrilebileceği tasarlanmıştır. Ayrıca bu konuya girerek, kablo altyapı ağlarının IoT teknolojileriyle entegrasyonunun kapsamlı bir analizini sağlamayı, performanslarını değerlendirmeyi ve kentsel ortamlar üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi; bu araştırma, değerli iç görüşleri ortaya çıkarmayı ve ortaya çıkan bu alandaki mevcut bilgi birikimine katkıda bulunmayı ve aşağıda çalışmaya konu olan soruların cevaplarını ortaya koymayı amaçlamaktadır:

- 1) IoT ve FTTH şebeke ilişkisi, IoT teknolojisinin FTTH şebekeyle şehir ve toplum üzerindeki kullanım alanları nelerdir?
- 2) HFC Şebekenin olumsuz yansımaları, verileri nelerdir?
- 3) HFC Şebekenin FTTH olarak upgrade edilmesinin faydaları nelerdir?

4) HFC Şebeke ile FTTH Şebekenin karşılaştırma yöntemi nedir? Hangi parametreler üzerinden HFC şebekenin dezavantajları olduğunu göstermektedir?

5) Kablo Altyapısının upgrade etme çözümü nedir, nasıl gerçekleştirilebilir?

Hedeflenene ulaşmak için bu çalışma, kapsamlı bir literatür taraması, analiz ve performans değerlendirmesini kapsayan sistematik bir araştırma yaklaşımı benimseyecektir. Çağdaş şehirlerdeki IoT-kablo altyapı ağı ve kablo altyapısının çağdaş şehirler için evrimini konularına cevap vermek; altyapının gelecekteki yönlerine ışık tutmak için vaka çalışmaları araştırılacak, ilgili verileri toplanacak ve bulguları çalışma sonunda iletilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti, birbirine bağılı geniş bir cihaz ağını kapsayan, kesintisiz iletişim, veri alışverişı ve otomasyon sağlayan dönüştürücü bir paradigmadır. IoT'nin kapsamı geleneksel bilgi işlem cihazlarının ötesine uzanır. Bununla birlikte sensörler, cihazlar, araçlar ve giyilebilir cihazlar gibi çok çeşitli günlük nesnelere içermektedir (Atzori ve ark., 2010). Gömülü sistemler ve sensörlerle donatılmış bu nesnelere, verileri yakalayıp ileterek gerçek zamanlı izleme, analiz ve kontrole olanak tanımaktadır.

IoT, birbirine bağılı cihazlar kavramı ve bunlar arasında veri alışverişini kapsamaktadır. IoT ekosistemindeki cihazlar birbirleriyle iletişim kurar ve kablolu veya kablosuz ağlar aracılığıyla bilgi paylaşarak karmaşık bir etkileşim ağı oluşturur. Li ve ark. (2015) bunun, değişen koşullara yanıt verebilecek, süreçleri optimize edebilecek ve kullanıcı deneyimlerini geliştirebilecek akıllı sistemlerin oluşturulmasını sağladığını öne sürmüştür.

Yapılan akademik çalışmalarda, IoT mimarisinin ve uygulamalarının çeşitli yönlerini kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Gubbi ve ark. (2013) IoT mimarisinin kapsamlı bir incelemesini sunarak, onu algı katmanı, ağ katmanı ve uygulama katmanı olarak üç katmana ayırmıştır. Her katmanın işlevlerini ve etkileşimlerini tartışıp, IoT mimari tasarımındaki zorlukları ve araştırma fırsatlarını vurgulamışlardır.

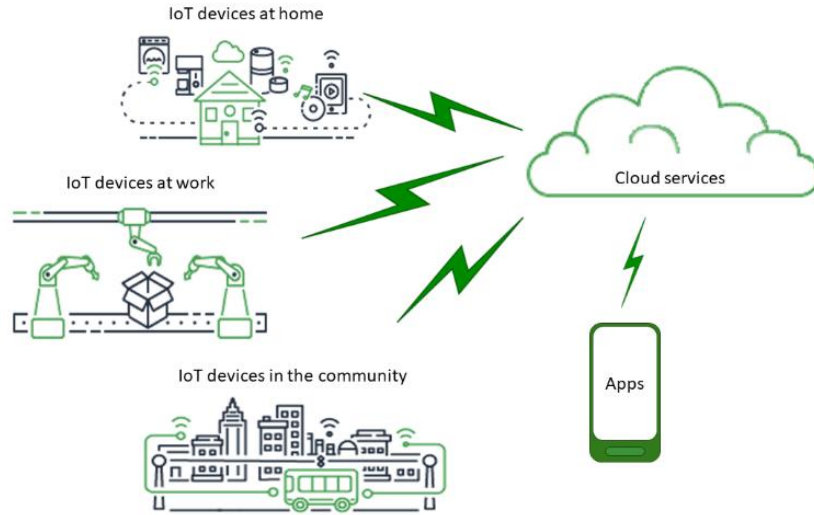
Veri analitiği, IoT'nin bir diğer önemli özelliğidir ve toplanan çok miktarda veriden anlamlı iç görülerin çıkarılmasını sağlar. IoT sistemleri, makine öğrenimi ve veri madenciliği gibi gelişmiş analitik teknikleri uygulayarak kalıplar türetebilir, anormallikleri tespit edebilir ve tahminler üretmek proaktif eylemler ve akıllı otomasyon sağlayabilmektedir (Li ve vd., 2015).

Bulut entegrasyonu, ölçeklenebilir depolama, bilgi işlem gücü ve hizmetler sağlayan IoT'nin hayati bir bileşenlerinden biridir. Bulut platformları, IoT cihazları tarafından üretilen büyük hacimli verileri yönetmek ve işlemek için gerekli altyapıyı ve araçları sunmaktadır. Botta ve ark. (2016) bu entegrasyonun, merkezi veri depolamaya, gerçek zamanlı analitiğe ve çeşitli cihazlardan ve konumlardan IoT hizmetlerine kesintisiz erişime olanak tanıdığı ortaya koymuştur.

2.1.1. IoT Ve FTTH Şebekenin Karşılaştırmalı Analizi

Al-Fuqaha ve ark. (2015)'larına göre IoT ve FTTH, farklı işlevlere sahip farklı teknolojilerdir. IoT, çeşitli uygulamalar için veri toplayan, ileten ve analiz eden birbirine bağlı cihazlardan oluşan bir ağ oluşturmaya odaklanmaktadır. Sağlık hizmetleri, ulaşım ve akıllı evler gibi çeşitli alanlarda gerçek zamanlı izleme, otomasyon ve kontrol sağlamaktadır.

Öte yandan Attema, Ballon ve Dijk (2017) için FTTH, öncelikle konut ve ticari binalara yüksek hızlı geniş bant bağlantısı sağlayan fiziksel altyapı ile ilgili olduğu bilinmektedir. Verileri ultra hızlı hızlarda iletmek için fiber optik kabloların iletim yapısına dayalı güvenilir ve verimli veri iletimi sağlamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bulut Tabanlı IoT Yönetimi (Anonim 2023o)

Zanella ve ark. (2014) çalışmasına göre IoT ve FTTH entegre edildiğinde sinerjik nitelikler sergilemektedir. IoT cihazlarının etkin çalışması için güvenilir ve yüksek bant genişliğine sahip bağlantı gerektiğinden; FTTH, IoT cihazları arasındaki kesintisiz ve kesintisiz iletişimi desteklemek için gerekli altyapıyı sağlayacaktır. FTTH ağlarının düşük gecikme süresi ve yüksek kapasitesi, IoT uygulamalarının gerçek zamanlı yanıt verme ve veri aktarım yeteneklerini geliştirmesine katkıda bulunmaktadır.

FTTH, fiber optik kabloların doğrudan meskenlere veya binalara yerleştirilmesini, yüksek hızlı ve güvenilir internet bağlantısı sağladığı bilinmektedir. IoT cihazları, bir FTTH ağına bağlandığında, düşük gecikme süresi ve yüksek kapasite özelliklerinden faydalanabilirler. Bunun IoT uygulamaları için çeşitli

avantajları; güvenilir ve hızlı iletişim, gerçek zamanlı yanıt verme, ölçeklenebilirlik ve gelişmiş veri analitiğidir.

Güvenilir ve hızlı iletişim, IoT cihazları genellikle büyük miktarda veri üretip ve değişkenlik göstermektedir. FTTH'nin yüksek bant genişliği yetenekleriyle bu cihazlar, verileri hızlı ve güvenilir bir şekilde iletebilir ve aralarında kesintisiz iletişim sağlar. Gerçek zamanlı yanıt verme, akıllı ev otomasyonu, endüstriyel izleme veya sağlık sistemleri gibi bazı IoT uygulamaları, gerçek zamanlı yanıt vermeye ihtiyaç duymaktadır. FTTH'nin düşük gecikme süresi, hızlı veri iletimini mümkün kılarak gecikmeleri azaltıp, IoT cihazlarından hızlı yanıt alınmasını sağlamaktadır. Ölçeklenebilirlik, FTTH ağları, önemli sayıda IoT cihazını aynı anda yönetme kapasitesi bulunmaktadır. IoT dağıtımları genişledikçe FTTH, performanstan ödün vermeden artan bağlantı talebini karşılamayı taahhüt etmektedir. Gelişmiş veri analitiği ise IoT cihazları makro veri ürettiğinden, FTTH ağı tarafından sağlanan yüksek hızlı bağlantı ile bu veriler analiz için bulut platformlarına veya veri merkezlerine hızlı bir şekilde aktarılabilir. Bu sayede işletmelerin ve kuruluşlar, IoT tarafından üretilen verilerden gerçek zamanlı olarak değerli iç görüler elde etmeleri sağlanacaktır.

2.1.2. IoT'nin FTTH Ağlarına Entegrasyonu

Çok sayıda akademik çalışma, IoT'nin yüksek hızlı fiber ağlarla entegrasyonunu konu edinmiştir. Mustapha ve ark. (2018), akıllı şebeke uygulamaları bağlamında IoT'nin FTTH altyapısı ile entegrasyonu üzerine bir çalışma yürütmüştür. Araştırma, akıllı sayaçlar arasında verimli iletişim ve veri aktarımı için FTTH'den yararlanmanın faydalarını göstererek gerçek zamanlı enerji izleme ve yönetimini mümkün kıldığını ortaya koymuştur.

Mauro ve ark. (2014) tarafından yapılan bir başka çalışmada, akıllı şehir uygulamalarını geliştirmek için IoT'nin FTTH ağlarıyla entegrasyonu araştırılmıştır. Araştırma, FTTH'yi IoT cihazlarını bağlamak, akıllı ulaşım sistemleri, çevresel izleme ve kentsel altyapı yönetimi sağlamak için omurga olarak kullanma potansiyelini vurgulamıştır. IoT ve FTTH'nin yakınsaması, haberleşme alanında sayısız artan fırsatlar doğurmakta ve çeşitli alanlarda sayısız ilerlemeye olanak tanımaktadır. IoT ve FTTH'yi entegre etmenin heyecan verici olasılıklarından ve faydalarından bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

2.1.2.1.Akıllı Evler ve Otomasyon

IoT cihazlarının FTTH ile entegrasyonu, akıllı ev cihazlarının sorunsuz bağlanmasını ve kontrolünü sağlamaktadır. Bu sayede ev sahipleri, aydınlatma, güvenlik sistemleri, ev aletleri ve enerji kullanımı gibi evlerinin çeşitli yönlerini uzaktan yönetebilecek ve otomatikleştirebilecektir. Böylece gelişmiş rahatlık, enerji verimliliği ve genel ev yönetimi sağlanmış olacaktır.

2.1.2.2.Gelişmiş Sağlık Hizmetleri

IoT cihazlarının FTTH ile entegrasyonu, sağlık sektörüne önemli ilerlemeler getirerek uzaktan hasta izleme, teletıp ve sağlık otomasyonu sağlamaktadır. Bu entegrasyon, gerçek zamanlı hasta izleme ve kişiselleştirilmiş bakım olanağı sunarken, FTTH'nin yüksek hızlı bağlantısı, sağlık verilerinin verimli bir şekilde iletilmesini sağlayarak daha iyi teşhis, tedavi ve genel hasta sonuçlarına direkt etki edecektir.

2.1.2.3.Akıllı Şehirler ve Kentsel Yönetim

IoT sensörleri ve cihazları, FTTH altyapısı ile birlikte akıllı şehirler inşa etmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Entegrasyon, trafik sistemlerinin, kamu hizmetlerinin, atık yönetiminin, çevresel izlemenin ve kentsel altyapının verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. IoT-FTTH entegrasyonunun sağladığı akıllı şehir çözümleri sürdürülebilirliği, kaynak yönetimini, yaşam konforunu ve vatandaş refahını artırmasına yardımcı olabilir.

2.1.2.4.Endüstriyel Otomasyon ve Üretim

FTTH ile entegre IoT cihazları, verimli endüstriyel otomasyon, süreç izleme ve kontrolü kolaylaştırmaktadır. Sensörlerden ve ekipmanlardan gelen gerçek zamanlı veriler, yüksek hızlı FTTH ağı üzerinden hızlı bir şekilde iletilebilir, kestirimci bakım, üretim optimizasyonu ve genel verimlilik iyileştirmesi için gerçek zamanlı veri iletimini etkinleştirilmesinde önemli rol oynayacaktır.

2.1.2.5.Tarım ve Çiftçilik

IoT-FTTH entegrasyonu tarımda da önemli faydalar sağlamaktadır. Tarlalara yerleştirilen sensörler toprak nemi, sıcaklık, nem ve mahsul sağlığı hakkında veri toplayarak çiftçilerin veriye dayalı kararlar almasına katkıda bulunur. Tarımsal alanda IoT sensörleri, tarlalardaki toprak nemi, sıcaklık, nem ve daha fazlası gibi çeşitli parametrelerle ilgili değerli verilerin toplanmasında kritik bir rol oynar. Bu veriler de

çiftçilerin sulama planlaması, ürün sağlığının izlenmesi ve kaynak yönetimi hakkında bilinçli kararlar vermesi için gereklidir. FTTH bağlantısını tarımda IoT sensörleriyle entegre ederek, toplanan veriler verimli bir şekilde bulut tabanlı analitik platformlarına iletilebilir. FTTH'nin yüksek hızlı ve güvenilir bağlantısı, verilerin daha fazla analiz için sorunsuz bir şekilde buluta aktarılmasını sağlamaktadır. Bu da çiftçilerin ve tarım uzmanlarının tarla koşulları hakkında gerçek zamanlı veya gerçek zamana yakın bilgilere erişmelerini ve buna göre veri odaklı kararlar almalarında büyük yardım sağlayacaktır.

2.1.2.6. Gelişmiş Enerji Yönetimi

FTTH ile entegre IoT cihazları, akıllı enerji yönetimi ve tasarrufu sağlamaktadır. Gerçek zamanlı enerji izleme, akıllı şebeke entegrasyonu ve cihazların ve cihazların otomatik kontrolü, enerji tüketimini optimize etmeye, israfı azaltmaya ve verimli enerji dağıtımını sağlama imkânı olacaktır.

2.2. Kablolu İletişim Şebekeleri

Kablolu iletişim şebekeleri genellikle, Ortak Antenli Televizyon (Community Antenna Television) anlamına gelen CATV olarak adlandırılır. Kablolu iletişim şebekesi, bir veya daha fazla konumdan uygun maliyetle bir veya birden fazla başka konuma kalitesi kabul edilebilir seviyelerde bir dizi sinyal iletmek üzere tasarlanmış bir sistemdir. İletim yolu; fiber ve koaksiyel kablolar, konektörler, yükselticiler, bölücüler, optik düğümler, güzergâh kanalları, menholler, sokak dolapları vb. içerir. Kablolu iletişim şebekelerinden sunulabilen hizmetler;

- Analog TV
- Dijital TV
- Radyo
- İnternet/Geniş bant İletişim
- Telefon
- İnteraktif Hizmetler

Kablolu iletişim, giderek daha yüksek hızlı veri ile hayatı kolaylaştırmak ve iletişimi daha keyifli hale getirmek amacıyla gelişmeye devam etmektedir. Bu bağlamda, sektördeki teknisyen ve mühendisler için yeni gelişmeleri takip etmek çok büyük önem taşımaktadır. Kablo İletişim Şebekeleri,

- Karasal ve Uydu yayıncılığına alternatif sunan iletişim şebekeleridir.

- Aynı şebeke üzerinden geniş bant veri iletişimi hizmeti de verilebilmektedir.
- Havadan kaynaklı gürültülerden etkilenmediğinden yüksek data hızlarına rahatlıkla çıkılabilir.
- VOD, OTT, Yerel Haberler, Hava durumu, Oyunlar gibi interaktif hizmetler verilebilir.
- İnternet ve telefon hizmetlerinde rekabetçi fiyatlandırma sağlar.

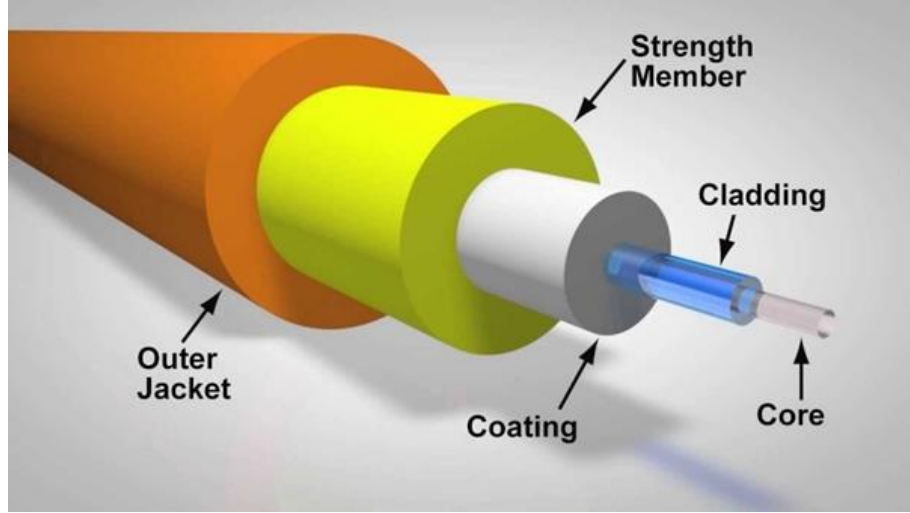
Telefon ve genişbant internet erişim hizmetlerini sunabilmek için işletmeciler, şebekelerini iki yönlü transmisyona imkân verecek şekilde geliştirmişler ve böylece genellikle HFC şebekelerden oluşan Kablo TV şebekeleri oluşturulmuştur. Şebeke üç dallı ağaç mimarisinde olup, optik fiber aracılığıyla sinyalleri işletmecinin merkezi yerleşkesinden (headend) optik düğümlere (node) ve koaksiyel kablolar aracılığıyla optik düğümlerden abonenin yerleşkesine iletmektedir. Genel olarak koaksiyel kablo, paylaşılan bir araçtır. Telefon şebekelerinde her bir abone kendi çift bakır teli ile bağlanırken, Kablo TV şebekesinde bir grup abone aynı koaksiyel kabloyu paylaşmaktadır (Güngör, Tözer, Evren ve Kibar 2008).

İnternet erişimi ve VoIP(ses) telefon hizmetleri için kablo modemler abonenin yerleşkesinde, kablo modem sonlandırma sistemi ise servis sağlayıcının yerleşkesine kurulmaktadır. Sinyallerin kablo modem sonlandırma sistemi ve kablo modemler arasındaki iletimi ITU-T tarafından DOCSIS olarak standartlaştırılmıştır. Bu standartların Avrupa'daki adı EuroDOCSIS şeklindedir. Bu standartlar kablo modem sonlandırma sistemi ile kablo modemler arasında tamamen koaksiyel ya da hibrit koaksiyel şebekeler üzerinden fiziksel transmisyonu, yüksek protokol katmanlarını (özellikle internet protokolünü kullanan) ve güvenlik ölçütlerini (farklı aboneler aynı koaksiyel kabloyu kullandığından sinyaller şifrelenmek zorundadır) belirlemektedir (Güngör vd., 2008).

2.2.1. Şebeke Elemanları

2.2.1.1. Fiber Kablolar

Fiber optik kablolar, veri göndermek için ışık sinyallerini kullanmaktadır. Bu kablolar elektrik kablolarına benzer. Ancak elektrik kablolarından farklı olarak ışığı taşımak için kullanılan minimum bir adet fiber optik kablo içerir (Anonim 2023k).



Şekil 2.2. Fiber Kablo Yapısı (Anonim 2023c)

Fiber optik kablolar tek modlu olarak geçen single mode ve çok modlu olarak geçen multimode olmak üzere iki çeşittir: Tek modlu (Single mode): En yüksek kapasiteli veri transferlerinden biridir. Transfer edilen ışının tümü tek bir hat üzerinden taşınır ve tek ya da single mode olarak çeşitlenir. Tek modlu kablolar fiber kablolar içinden en çok tercih edilen türlerdendir. Çok modlu (Multi mode): Transferi çoklu yol üzerinden ışın ile gerçekleştiği için çok modlu ya da multi mode ismini alır. Bu kablolar türleri kısa mesafeli veri transferleri için ideal bir tercihtir. Ayrıca internet uygulamalarında bant genişliğinden faydalanma imkânı sunarlar. Multi mode fiber kablolar, FDDI, Fast Ethernet, Token Ring ve ATM gibi endüstriyel bakımdan fiber optik ağ protokolleriyle uyumludur (Anonim 2023k).

Fiber optik kablolar çeşitli avantajlara sahiptirler. Fiber optik kablonun farklı alanlarda bu kadar sık tercih edilmesinin nedenleri kabloların bulundurduğu özellikler ve sunduğu bu avantajlar şunlardır:

- Elektrik parazitlerinden etkilenmez.
- Sıcaklık değişimleri ve neme karşı dayanıklıdır.
- Metalik kablolardan daha hafif ve daha küçüktürler.
- Sinyal kaybı yok denecek kadar azdır ve sinyal güçlendirici ihtiyacını azaltır.
- Sıcaklık değişimleri, su baskınları, şiddetli hava ve nem gibi çevresel parametrelere karşı dayanıklıdır.
- Bu kablolarda iletim için ışığın yansımaları kullanılır. Böylelikle bu kablolar çok daha uzun mesafelere veri iletimi yapılabilirler.

- Elektromanyetik enerji sızması meydana gelmediği için bilgi güvenliği sağlanmış olur.
- Bu kablolar ile bilginin ekonomik, verimli ve hızlı bir şekilde ulaştırılması sağlanır.

2.2.1.2. Koaksiyel Kablolar

Koaksiyel kablo, elektrik ve elektronik alanlarında kullanılan, üzeri yalıtkan bir madde ile kaplı, içerisine bir ya da birden çok metalik iletkenlerin yerleştirilmesiyle meydana gelmiş sinyal taşıma ortamıdır. Elektriksel gürültünün yoğun olduğu çevre şartlarında kullanılan bakır kablo çeşididir. Ağların çoğunda bakır kullanılır; çünkü bakırın elektrik akımına karşı olan düşük direnci sinyallerin daha uzağa taşınmasına imkân sağlar (Anonim 2023l).

Koaksiyel kablolar, yüksek kapasitans değerine sahiplerdir. Koaksiyel kabloların uygulama alanları; televizyon, CATV, telefon ağları ve yerel alan ağlarıdır. Bu kablolar uzun mesafeli telefon ağlarında kullanılmasına rağmen bu alandaki yerini fiber optik kablolar ve uydu sistemlerine bırakmıştır. Günümüzde koaksiyel kablolar televizyon ve kamera sistemlerinde kullanılıyor. Bundan dolayı telefon, televizyon ve radyoların yüksek frekanslı sinyallerinin iletiminde kullanılır (Anonim 2023l).



Şekil 2.3. Koaksiyel Kablo Yapısı (Anonim 2023l)

Koaksiyel kablo tipleri kendi RG kodlarına sahiptir. Koaksiyel kabloda önemli olan ve değişkenlik gösteren kablunun empedansı ve direnç değeridir. Bu empedans kablunun belirli bir uzunlukta elektrik akımına karşı gösterdiği dirençtir. Koaksiyel kablolar dıştan bakıldığı zaman birbirlerine çok benzerler, ama yakından bakınca üstünde RG kodu ve empedansı görülür (Anonim 2023).

Çizelge 2.1. Koaksiyel Kablo Çeşitleri (Anonim 2023)

Kodu	Tipi	Empedansı (Ohm)	Kullanım Alanı
RG-6	TV,Uydu	75	TV An1eni ve Kablo TV uygulamalarında kullanılır
RG-8	Kalın (Thicknet)	50	Thicknet Yerel Alan Ağlarında kullanılır
RG-11	TV, Uydu	75	TV An1eni ve Kablo TV uygulrunalartnda
RG-58/U	İnce (Thinnet)	53,5	RG-58A/U ile benzer fakat yetersiz kaplamasından dolayı Thinner bilgisayar ağlarında kullanılmaz.
RG-58A/U	İnce (Thinnet)	50	Standart Thinnet bilgisayar ağlarında kullanılır.
RG-5.8C/U	İnce (Thinnet)	50	RG -58A/U kablunun oskeri versiyonudur.
RG-59	CATV	75	Kablo TV bağlantılarında kullanılır
RG62A/U	Kalın (Thicknet)	93	IBM 3270 Tenninalleri ve ArcNet ağlarında kullanılır (Modası geçmiş bir bilgisayar tipi)

Koaksiyel kablo içindeki elektromanyetik radyasyona karşı bir bariyer (önleç) görevi yapan yoğun metal koruyucu, içteki kablunun etrafında esnek bir silindir meydana getirir. Bu bariyer içteki kablunun iki şekilde yalıtılmasını sağlar. Parazite neden olabilen elektromanyetik alandan kabloyu korur ve içteki kablunun üretmiş olduğu elektromanyetik alandan diğer kabloların etkilenmemesini sağlar. Merkezde bulunan kablo, dıştaki koruyucu tarafından devamlı aynı biçimde ve uzaklıkta korunduğu için, paralel döşemelerde köşelerdeki kıvrımlardan ya da bükülmelerden etkilenmez.

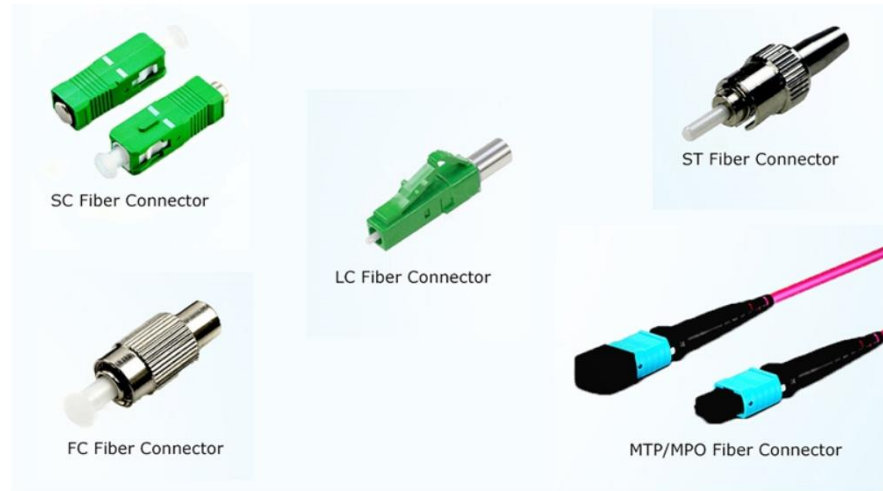
Koaksiyel kablo elektromanyetik kirliliğin çok fazla olduğu alanlarda düşük güçte sinyalleri iletmek için geliştirilmiş bir kablo çeşididir. Çok değişik koaksiyel kablo tipleri bulunmaktadır. Bilgisayar ağlarında tekrarlayıcı gerektirmeden UTP ya da STP kablolarına göre daha uzun mesafelerle iletişim sağlayabilirler. Koaksiyel kablolarında veriler merkezde bulunan tel taşınır iç iletken tel ile dış iletken tel genel itibari ile aynı büyüklükteki akımları zıt yönde taşırlar (Anonim 2023).

2.2.1.3. Konektörler

2.2.1.3.1. Fiber Optik Konektörler

Fiber optik kablo konektörlerin olarak da adlandırılan fiber konektörler genellikle bir bağlantı özelliğinin gerekli olduğu durumlar için kullanılır. Fiber optik kablo konektörlerin birçok konfigürasyonda kullanılır ve fiber optik kablo kurulumunu ve bakımını büyük ölçüde basitleştirir. Bir dizi fiber optik konektör tipi geliştirilmiştir ve endüstri standardı haline gelmek için zaman testine dayanmıştır.

Mevcut fiber konektör pazarında çok sayıda fiber optik kablo konektörü bulunmaktadır. En yaygın kullanılan fiber konektör tipleri LC, SC, MU, ST, FC, MTRJ, NID, E2000 ve MTP / MPO konektörlerini içerir. Bununla birlikte, fiber konektör tipleri ne olursa olsun, aynı fonksiyona ve benzer temel bileşenlere sahiptirler: yüksük, konektör gövdesi ve kuplaj cihazı. Bu fiber konektörler, fiber optik pigtailler gibi optik fiberlerin sonlandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu beş ortak optik kablo konektörü aşağıdaki resimde gösterilmiştir (Anonim 2023d).



Şekil 2.4. Fiber Konektör Çeşitleri (Anonim 2023d)

2.2.1.3.2 Koaksiyel Kablo Konektörleri

Koaksiyel konektörler, kabloların takıldığı herhangi bir cihazı çeşitli farklı konfigürasyonlarla güvenli bir şekilde bağlayarak kabloların üstünü ve kuyruğunu takmak için kullanılır. Koaksiyeller, sinyal akışında kesinti olmadan kabloları birbirine bağlarken dış parazit korumasını korur. Sorunsuz sinyal iletimi için birleştirilebilen farklı boyutlara sahip kablo ihtiyaçlarınızı karşılamak için farklı boyutlarda gelirler. Dijital,

video, ses ve koaksiyel kablo endüstrilerinde kullanılırlar. Bu geniş uygulama yelpazesinin bir sonucu olarak, farklı konektör türleriyle birlikte gelirler. Kablolı altyapıda kullanılanlar aşağıda yer almaktadır (Anonim 2023e).



Şekil 2.5. Koaksiyel Konektör Çeşitleri (Anonim 2023e)

2.2.1.4. Yükselticiler (EDFA)

EDFA, optik fiber sinyalini yükselten bir cihazdır. Telekomünikasyon alanında ve çeşitli araştırma alanlarında kullanılır. Bir EDFA, erbium adı verilen bir malzeme ile "katkılı" dır. "Doping" terimi, elektronların manipülasyonu yoluyla sonuçları kolaylaştırmak için kimyasal elementlerin kullanılması sürecini ifade eder. EDFA, ilk başarılı optik amplifikatördü ve 1990'larda fiber optik ağların hızlı kurulumunda önemli bir rol oynamıştır. EDFA'lar genellikle yaklaşık 800 kilometrelik (km) maksimum mesafeyi kapsayan en fazla 10 açıklık ile sınırlıdır. Daha uzun mesafeler, sinyali ve yeniden şekillendirmek için bir ara hat tekrarlayıcı gerektirir ve optik fiberdeki kıvrımlardan çeşitli ışık dağılım formlarından biriken gürültüyü filtreler. Ek olarak, EDFA'lar 1525 nanometreden (nm) daha kısa dalga boylarını yükseltememektedirler ve sahada kazanç sağlarlar (Anonim 2023f).



Şekil 2.6. Yükseltici (EDFA) (Anonim 2023f)

2.2.1.5. Bölücüler (Splitter)

Genel olarak, koaksiyel şebekede TV ve data sinyalinin birbirinden ayrılarak modem ve TV girişlerine bağlantı olanağı sağladığı gibi; sahada birden fazla adrese yönlendirmeler için de kullanılır.



Şekil 2.7. Koaksiyel Bölücü (Anonim 2023e)



Şekil 2.8. Fiber Optik Bölücü (Anonim 2023f)

2.2.1.6. Optik Dğümler

Genellikle HFC şebekelerden sonra ortaya çıkan RFoG Şebekelerde kullanılan cihazlardır. HFC Şebekede saha dolaplarına konulan yükselticilerin iptal edilerek binalara montajlanarak uygulaması gerçekleştirilen nodlar, fiber optik bağlantıyı alır ve RF sinyale dönüştürür. Fiber hatların bina girişlerine kadar genişlediği Kablo TV şebekelerinde (FTTH/HFC), bina girişlerinde kullanılmak üzere, bir birleşik optik-RF dönüştürücü ve bina içi dağıtım yükselticisidir. Fiber Optik hat üzerinden iletilen ileri yönlü (downstream) optik işaretlerin, bina içindeki koaksiyel şebekeye uygun dolarak RF işarete; binada bulunan ve interaktif uygulamalar için kullanılan kablo modem gibi

terminallerden gelen geri yönlü (upstream) RF işaretlerin ise optik işarete dönüştürülmesini sağlar (Anonim 2023g)



Şekil 2.9. Fiber Optik Node (Anonim 2023g)

2.2.1.7. Menholler

Fiber optik şebekede eklerin ve/veya dönüşlerin yer aldığı beton ya da kompozit yeraltı odalarıdır.



Şekil 2.10. Beton Menhol (Anonim 2023h)



Şekil 2.11. Kompozit Menhol (Anonim 2023i)

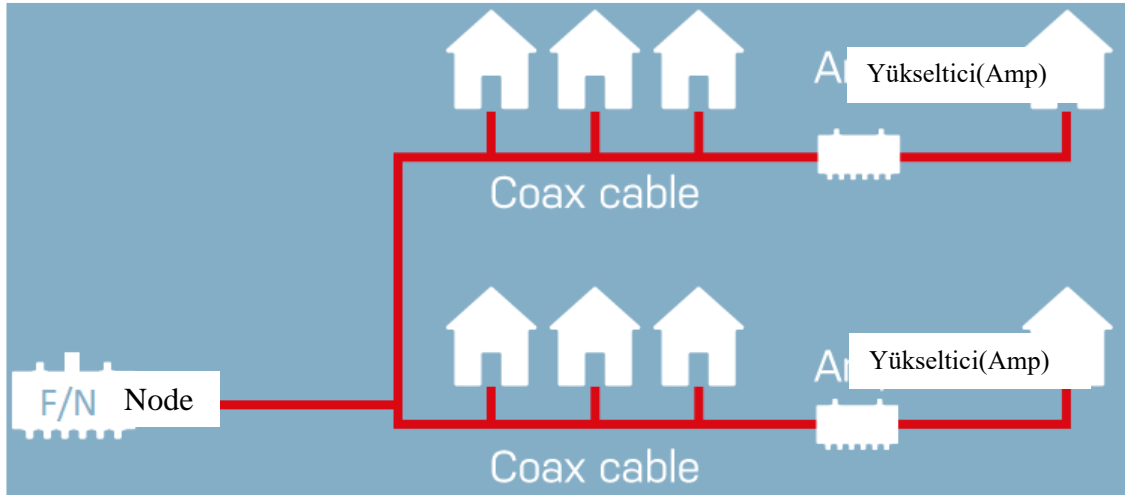
2.2.1.8. Sokak Dolapları

Headendden çıkan sinyal, HFC şebekelerde binaya ulaşmaya kadar kayıpları olabiliyor. Bu kayıpları minimize edebilmek, sinyali yükseltebilmek için yükselticiler gibi elektrik ihtiyacı bulunan aktif cihazlara ihtiyaç doğuyor. Taşıyıcılar, alıcılar ve yükselticilerin ve bunları beslemek için ups/akü bulunan ya da direkt elektrik şebekesine bağlı hattın bulunduğu saha elemanlarına saha dolabı adı verilmektedir.

2.2.2. Şebeke Çeşitleri

2.2.2.1. HFC Sistemi

Hibrit Fiber/Koaksiyel ya da kısaca HFC adı verilen bu ağ yapısı, fiber ile koaksiyel kablunun birlikte kullanıldığı şebeke ağ sistemidir. Teknoloji geliştikçe fiberin aboneye yaklaşması ile yapı değişebilmektedir. Şekil 3.11.'de, modern kablolu iletişim şebekesinin basitleştirilmiş blok diyagramı gösterilmektedir.

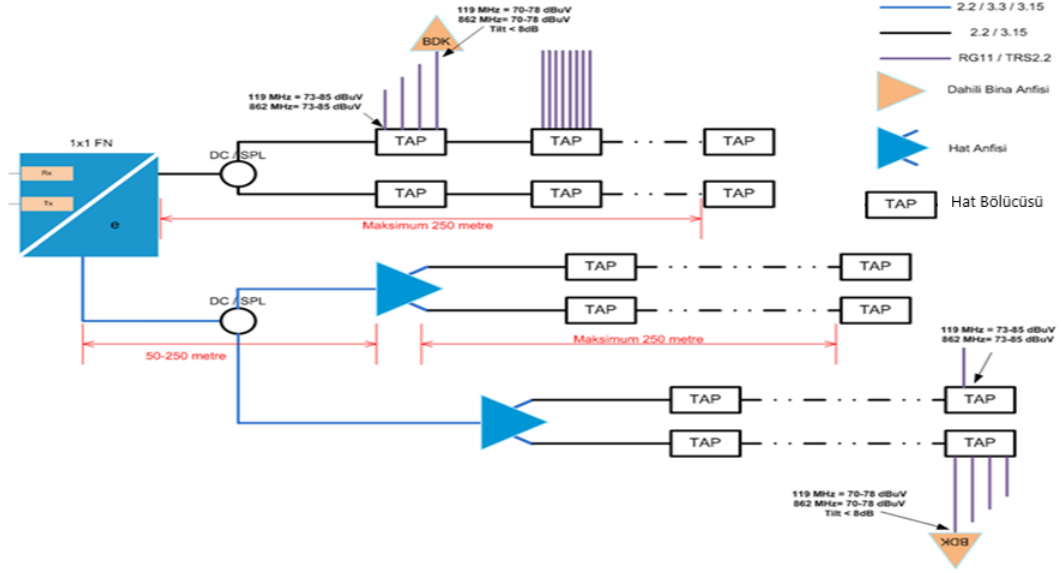


Şekil 2.12. HFC Diyagramı (Anonim 2023a)

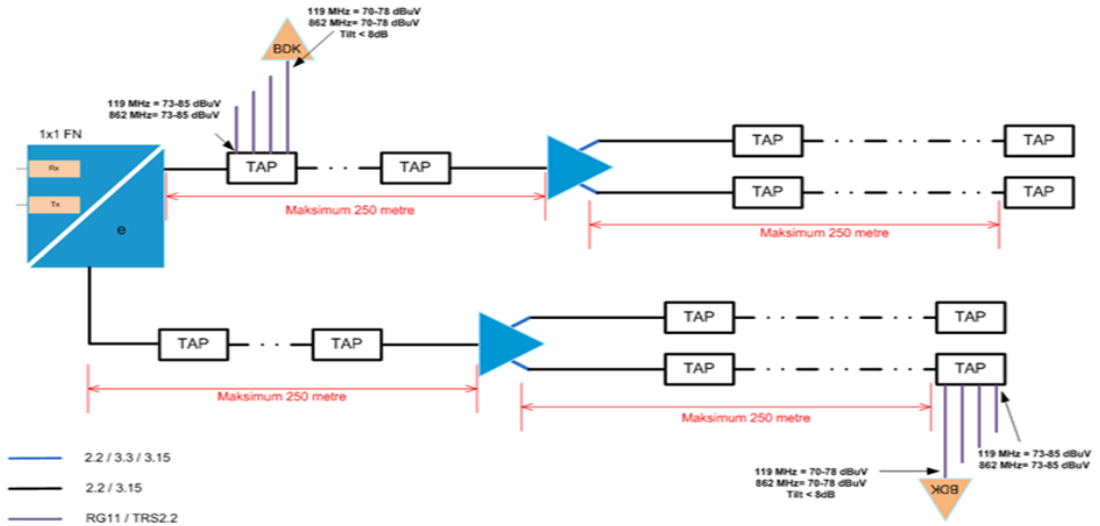
HFC şebekesinin başlangıç noktası headenddir. Burada, şebekeden toplanacak ya da diğer şebekeler üzerinden dağıtılacak olan tüm televizyon ve veri sinyalleri bir araya toplanarak iletme hazır hale getirilir. Şebeke her nasıl yapılandırılmış olursa olsun bugün operatörlerin, interaktif hizmetler için çift yönlü şebeke kurması gerekmektedir.



Şekil 2.13. Geri Yön Şeması (Anonim 2023a)



Şekil 2.14. HFC Dağınık Topoloji (Anonim 2023a)



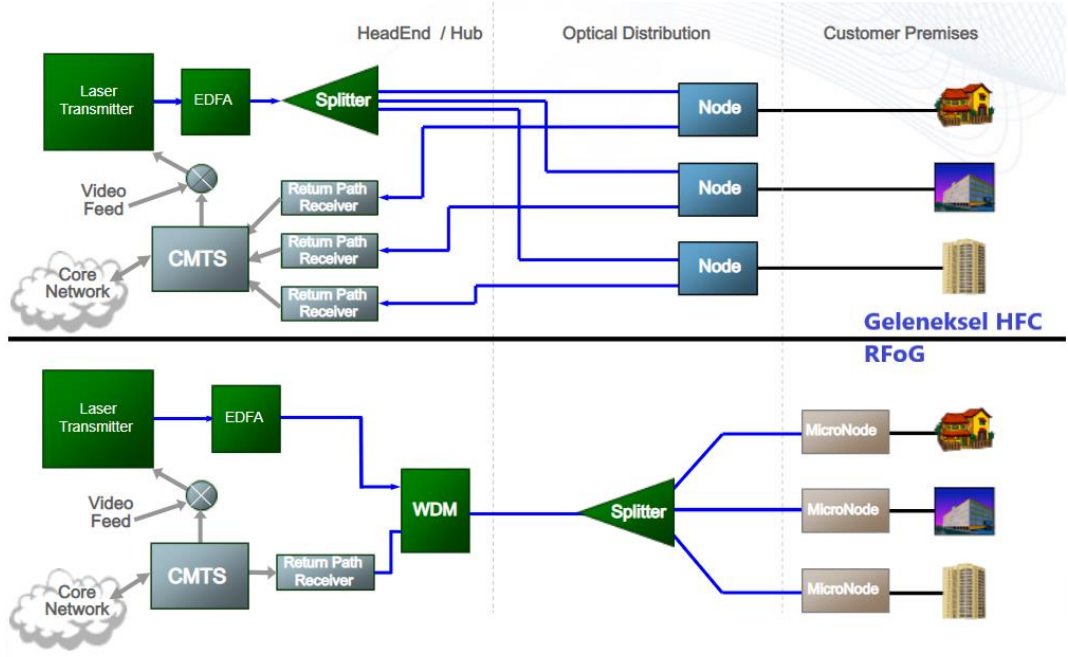
Şekil 2.15. HFC Uzun Topoloji (Anonim 2023a)

2.2.2.2. RFoG Sistemi

TV ve İnternet'in birleşmesiyle momentum bant genişliği gereksinimleri her geçen gün artmaktadır. HD formatta TV ve ultra HD hizmetleri bu alandaki yeniliklerden sadece bazılarıdır. Optik fiber ağlarını genişleterek kullanıcılara en iyi hizmeti sunmak isteyen kablo sağlayıcıları ve şehir taşıyıcıları mevcut ağ altyapılarını FTTB (Binaya Kadar Fiber) veya hatta FTTH (Eve Kadar Fiber) seviyesine yükseltmek için uygun maliyetli çözümler aramaktadır.

RFoG teknolojisi ise (Fiber Üzerinden Radyo Frekansı) kullanımı, yüksek performanslı bir seçenektir. RFoG, HF sinyallerini fiber üzerinden aboneye ileten pasif bir optik ağıdır. İleri yönde bir HFC ağına benzer şekilde çalışır. Kesan ve Gallo (2005) yaptıkları çalışmada, bu modüler sistem özellikle esnek olduğundan, yüksek yoğunluklu görüntülere sahip ve çok güvenilir olan RFoG sistemin, RF Overlay ve HFC uygulamaları için FTTH ağlarında kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır. RFoG, HFC'den farklı olarak WDM Cihazı içerir. Dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM), çok sayıda veri akışını, yani lazer ışığının değişen dalga boylarında (renk) optik taşıyıcı sinyallerini tek bir optik fiber üzerinde modüle eden bir teknoloji veya tekniktir. WDM, çift yönlü iletişimin yanı sıra sinyal kapasitesinin çoğalmasını sağlar.

Sharawi ve ark. (2013)'larına göre WDM aslında frekans bölmeli çoğullamadır (FDM), ancak ışığın dalga boyuna göre ışığın frekansına atıfta bulunur. Bununla birlikte, dalga boyu ve frekans ters bir ilişkiye sahip olduğundan (daha kısa dalga boyu daha yüksek frekans anlamına gelir), WDM ve FDM terimleri aslında aynı teknolojiyi tanımlar. Veri ve iletişim sinyallerini taşımak için kullanılan optik kablodaki ışık sinyalinin kullanımını doğrudan etkiler. RFoG teknolojisi, ağ sağlayıcılarına sunduğu avantaj ile temelde CMTS platformları, headend ekipmanları HFC Sistemde olduğu gibi burada da kullanılırken; saha dolapları iptal edildiğinden Transmitter, Receiver, UPS/Akü ve Elektrik maliyetlerini en aza indirmektedir. Ek olarak bu cihazlara ait yıllık bakım maliyetlerinden de büyük tasarruf sağlamaktadır. Ancak aynı TV set üstü kutularını (SetUpBox(STB)), koşullu erişim teknolojileri ve kablolu modemler gibi önceki yatırımları kullanmaya devam edebilmektedirler.



Şekil 2.16. HFC-RFoG Karşılaştırmalı Topoloji (Anonim 2023a)

2.2.2.3. FTTH Sistemi

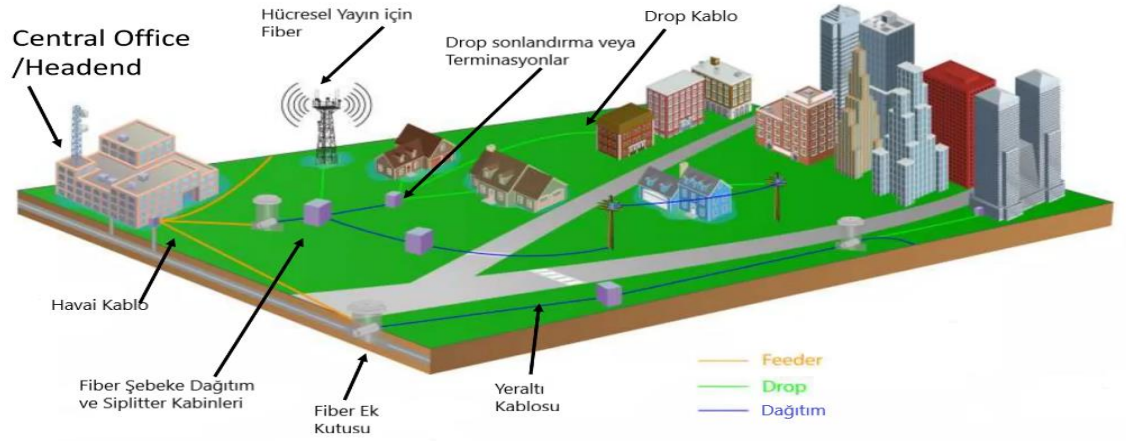
Eve Fiber (FTTH), fiber optik kabloların doğrudan konut binalarına konuşlandırılmasını ifade eder ve yüksek hızlı ve güvenilir geniş bant bağlantısı sağlar. DSL ve kablo gibi geleneksel geniş bant teknolojilerine göre önemli avantajlar sunan çok önemli bir teknolojidir.

FTTH, verilerin ışık darbeleri taşıyan ince cam veya plastik lifler aracılığıyla iletilmesini içeren fiber optik teknolojisini kullanır. Fiber optik kablolar, bozulmadan uzun mesafelerde veri iletebilen muazzam bant genişliği kapasitesine sahiptir (Bergman ve Briscoe 2014). Bu, yüksek hızlı veri aktarımı sağlayarak FTTH'yi yüksek tanımlı video akışı, çevrimiçi oyun ve bulut tabanlı uygulamalar gibi bant genişliği yoğun hizmetler sunmak için ideal hale getirmektedir.

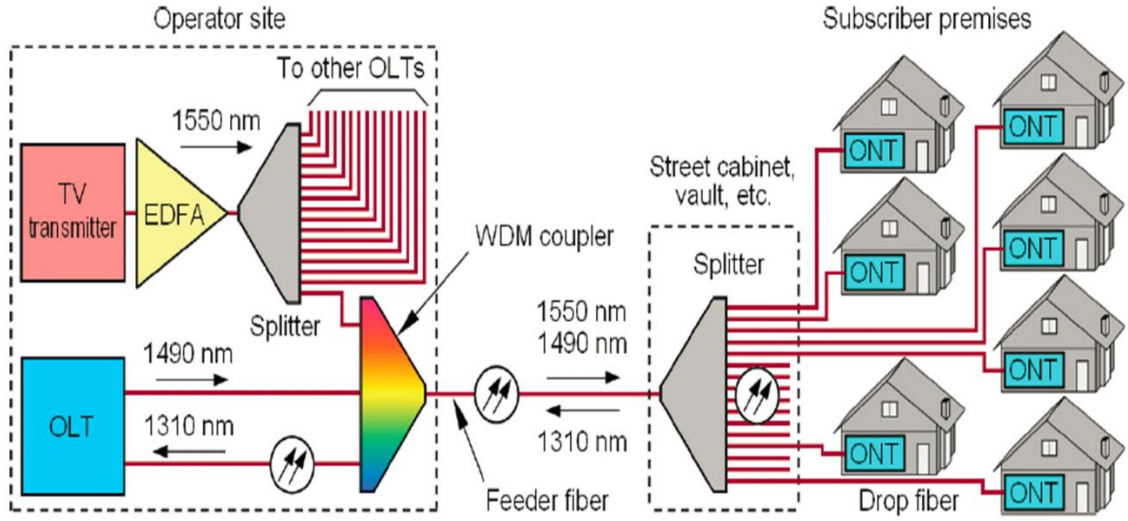
FTTH'nin önemi, daha hızlı ve daha güvenilir internet bağlantısı için artan talebi karşılama yeteneğinde yatmaktadır. Kullanıcılar daha fazla veri tükettikçe ve bant genişliği yoğun faaliyetlerde bulundukça, geleneksel geniş bant teknolojileri genellikle gereksinimlere ayak uydurmakta zorlanır. FTTH, simetrik yüksek hızlı bağlantılar sunarak, hızlı yükleme ve indirme hızları sağlayarak bu sınırlamaları gidermektedir (Deb ve ark. 2020)

Yapılan akademik çalışmalar, FTTH dağıtımını ve performansını kapsamlı bir şekilde araştırdı. Çalışmalar, FTTH uygulamalarının teknik yönlerini, ekonomik uygulanabilirliğini ve sosyal etkisini incelemiştir. Hauge, Ekelin, ve Larsson (2017), FTTH projelerinin planlama, finansman ve düzenleyici yönleri hakkında fikir veren, farklı ülkelerdeki FTTH dağıtımının başarı faktörleri ve zorlukları üzerine bir çalışma yürütmüştür.

FTTH'nin temel özellikleri arasında yüksek bant genişliği, düşük gecikme süresi ve güvenilirlik bulunur. FTTH bağlantıları, geleneksel teknolojilere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bant genişliği sağlayarak kullanıcıların kesintisiz akış, çevrimiçi oyun ve diğer veri yoğun uygulamaların keyfini çıkarmasını sağlamaktadır (Rajagopal 2016). Ayrıca, FTTH bağlantılarının düşük gecikmesi, veri iletiminde minimum gecikme sağlayarak daha hızlı yanıt süreleri ve iyileştirilmiş kullanıcı deneyimlerini taahhüt eder (Aggarwal ve Singh 2021). FTTH'de fiber optik kabloların kullanılması, parazite, elektromanyetik radyasyona ve hava koşullarına daha az duyarlı hale getirerek istikrarlı ve güvenilir bir internet bağlantısı sağlamaktadır (Rajagopal 2016).



Şekil 2.17. FTTH Şebeke Topolojisi (Anonim 2022a)



Şekil 2.18. FTTH-RFoG Şebeke Karşılaştırmalı Topoloji (Anonim 2022a)

3.MATERYAL VE METOD

3.1. HFC Şebekenin Analizi

İnternet, televizyon ve telefon dâhil olmak üzere geniş bant hizmetleri sunmak için yaygın olarak kullanılan HFC kablo ağının çeşitli dezavantajları ve zorlukları bulunmaktadır.

3.1.1. HFC Şebekenin Dezavantajları

3.1.1.1. Sinyal Kaybı

HFC ağları, sinyaller mesafeye düştükçe sinyal kaybından etkilenmektedir. Bu ağlarda kullanılan koaksiyel kablo zayıflamaya neden olarak dağıtım merkezinden daha uzağa giderken daha zayıf sinyallere neden olur. Bu, özellikle merkezden daha uzakta bulunan müşteriler için hizmetlerin kalitesini ve güvenilirliğini etkileyebilmektedir. Koaksiyel kablolar, dağıtım merkezinden daha uzakta bulunan müşteriler için daha zayıf sinyallere ve daha düşük kaliteli hizmetlere yol açabilecek mesafelerde sinyal kaybı ve bozulmasına neden olabilmektedir (Kim, Kwon, Lee ve Ra 2006).

3.1.1.2. Sınırlı Bant Genişliği

HFC ağları, koaksiyel kablo altyapısının paylaşılan doğası nedeniyle bant genişliği sınırlamalarıyla karşı karşıyadır. Bant genişliği, bir mahalledeki birden fazla abone arasında bölünür ve bu da yoğun kullanım sürelerinde tıkanıklığa neden olarak hızların düşmesine ve kullanıcılar için performansın düşmesine neden olabilmektedir. HFC ağları, koaksiyel kablo altyapısının paylaşılan doğası nedeniyle mevcut bant genişliği açısından sınırlamalarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu, yoğun kullanım sürelerinde tıkanıklığa neden olabileceğinden hizmetlerin kalitesini ve hızını etkileyebilmektedir (Janik ve Orłowski 2019).

3.1.1.3. Gürültü Paraziti

Koaksiyel kablolar, ağa gürültü getirebilen harici elektromanyetik parazite karşı hassas olduğundan; bu girişim, sinyallerin kalitesini düşürebilir ve ağın genel performansını etkileyerek güvenilirliğin azalmasına ve olası hizmet kesintilerine yol açabilmektedir. Koaksiyel kablolar, sinyallerin kalitesini düşürebilen ve ağ performansını

etkileyebilen gürültü girişimine duyarlıdır. Harici elektromanyetik girişim, ağı gürültü getirerek güvenilirliğin azalmasına ve olası hizmet kesintilerine yol açabilmektedir (Xiaolin 1999).

3.1.1.4. Yukarı Akış / Aşağı Akış Asimetrisi

HFC ağları, yükleme hızlarına kıyasla daha yüksek indirme hızlarıyla tipik olarak asimetrik hızlar sergiler. Bu sınırlama, video konferans, bulut depolama veya büyük dosyalar yükleme gibi önemli yükleme bant genişliği gerektiren uygulamaları etkileyebilmektedir. HFC ağları, indirme hızlarına kıyasla daha düşük yükleme hızlarıyla tipik olarak asimetrik hızlar sergilemektedir. Bu sınırlama, video konferans ve bulut tabanlı hizmetler gibi önemli yükleme bant genişliği gerektiren uygulamaları etkilediği görülmektedir (Shokair ve Allayiot 2017)

3.1.1.5. Bakım ve Yükseltmeler

HFC ağları, optimum performansı sağlamak için düzenli (aylık, yıllık periyotlar) bakım ve yükseltmeler gerektirmektedir. Koaksiyel kablo altyapısının aşınma ve yıpranma nedeniyle periyodik onarımlara veya değiştirmelere ihtiyacı olabilir; yeni teknolojilere ve daha yüksek bant genişliği taleplerine uyum sağlama ihtiyacı önemli yatırımlar doğmasına neden olabilir.

3.1.1.6. Sınırlı Ölçeklenebilirlik

Artan bant genişliği gereksinimlerini karşılamak için HFC ağlarının kapasitesini artırmak çeşitli koşullara göre zorluklara sahip olmaktadır. Mevcut koaksiyel kablo altyapısının destekleyebileceği maksimum kapasite açısından sınırlamaları olabileceğinden, bu da daha yüksek hızlara ve daha büyük veri hacimlerine yönelik sürekli artan talebe ayak uydurmayı zorlaştıracaktır.

3.1.1.7. Eski Teknolojiye Güvenme

HFC ağları, eski ve modern teknolojilerin bir karışımına dayanmaktadır. Bu karma yapı, ağ yönetimi ve yükseltmelerinde karmaşıklıkların yanı sıra ortaya çıkan teknolojiler ve hizmetlerle uyumluluk sorunlarını da beraberinde getirmektedir.

Bu dezavantajlara rağmen, HFC kablo ağları yaygın olarak kullanılmaktadır ve uzun yıllardır güvenilir bir geniş bant dağıtım yöntemi olarak hizmet vermektedir. Bununla birlikte, fiber optik teknolojisindeki gelişmeler ve daha yüksek hızlara ve artan bant genişliğine olan artan talep, üstün performans ve ölçeklenebilirlik sunan FTTH ağları gibi alternatif çözümlerin araştırılmasına yol açmıştır.

3.1.2. HFC Şebekenin Avantajları

3.1.2.1. Geniş Kapsama Alanı

HFC kablo ağları yaygın olarak konuşlandırılmıştır ve birçok bölgede geniş kapsama alanına sahiptir. Bu altyapı, hizmet sağlayıcıların kentsel, banliyö ve kırsal alanlardakiler de dâhil olmak üzere çok sayıda müşteriye ulaşmasını sağlamaktadır (Das, Smith, Johnson ve Lee 2017).

3.1.2.2. Uygun Maliyetli

Fiber optik ağlarla karşılaştırıldığında, HFC kablo ağları, geniş bant hizmetleri sunmak için nispeten uygun maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Mevcut koaksiyel kablo altyapısından yararlanılarak kapsamlı ağ yükseltmelerine veya yeni altyapı kurulumlarına olan ihtiyaç azaltma olasılığı bulunmaktadır (Kesan ve Gallo 2005)

3.1.2.3. Mevcut Altyapı

HFC ağları, hâlihazırda birçok alana kurulmuş olan mevcut kablolu televizyon altyapısını kullanabilmektedir. Bu avantaj, geniş bant hizmetlerinin daha hızlı dağıtımına olanak tanır ve kapsamlı altyapı geliştirme ihtiyacını azaltmaktadır (Sharawi vd., 2013).

3.1.2.4. İki Yönlü İletişim

HFC ağları, VOD, VoIP ve etkileşimli oyun gibi etkileşimli hizmetlerin sağlanmasını sağlayan iki yönlü iletişimi desteklemektedir (Prasad ve Chawla 2014)

3.1.3. Gürültü Oranları, Kayıplar ve Zorlayıcı Faktörler

3.1.3.1. Gürültü Oranları

HFC ağları, termal gürültü, giriş gürültüsü ve dürtü gürültüsü dâhil olmak üzere çeşitli gürültü oranlarına maruz kalmaktadır. Bu gürültü faktörleri sinyal kalitesini düşürebilir ve ağın performansını etkileyebilmektedir (Coussement ve De Cleyn 2002).

3.1.3.2. Sinyal Kayıpları

HFC ağları, sinyaller koaksiyel kablo boyunca ilerlerken zayıflama nedeniyle sinyal kayıpları yaşamaktadır. Sinyal kaybı, mesafe ile artar ve bu da müşterilere sunulan hizmetlerin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Radmanesh 2018).

3.1.3.3. Diğer Zorlayıcı Faktörler

HFC ağlarının performansını etkileyen ek faktörler arasında kablo konektörlerinin ve sonlandırmalarının kalitesi, bakım uygulamaları ve yoğun kullanım dönemlerinde ağ tıkanıklığı gibi etkenler yer almaktadır (López 2017).

3.2. Mevcut HFC Şebekeye Yaklaşım

HFC Şebekenin dezavantajlarına dair teorik bilgilerin yer aldığı bir önceki bölüme ek olarak bu bölümde 25 yılı aşkın bir süredir dünyada ve ülkemizde kullanımı devam eden HFC hizmet olarak sürdürülen şebeke hakkında sahadan veya başka bir deyişle örneklem adres olarak seçilmiş olan adrese yer verilecektir. Ayrıca yine bu bölümde SNR, CER ve CCER kavramları üzerinde durularak bu kavramların şebeke üzerinde ne anlama geldiği ve hizmet kalitesini nasıl etkilediği açıklanacaktır.

3.2.1. SNR Kavramı

Sinyal Gürültü Oranı anlamına gelen ve kısaca SNR olarak literatürde yer edinen bu kavram, bir veri sinyalinin arka plandaki gürültü seviyesine göre gücünü ölçen bir parametredir. SNR değeri, sinyalin iletim sırasında ne kadar net olduğunu ve ne kadar gürültünün sinyale karışabileceğini gösterir. Genel olarak, SNR değeri ne kadar yüksek olursa, sinyal o kadar kaliteli olmaktadır.

SNR, internet bağlantısının kalitesini ve kararlılığını belirlemek için kullanılır. Yüksek bir SNR değeri, sinyal ve gürültü arasında daha fazla “boşluk” olduğunu, bu da daha az hata ve daha kararlı bir internet bağlantısı olduğunu gösterir. SNR, özellikle internet hizmet sağlayıcıları (ISP'ler) tarafından, bir hat üzerindeki veri iletim hızını

optimize etmek için kullanılır. İnternet bağlantı kararlılığı ve kalitesi hakkında bilgi edinebilmek için önemli bir yere sahiptir (Anonim 2023m).

SNR, genellikle decibel (dB) cinsinden ölçülür ve sinyalin gücünün (genellikle dBm cinsinden ölçülür) arka plandaki gürültü gücüne (yine dB cinsinden ölçülür) oranı olarak hesaplanır. Hesaplama genellikle şu formülle yapılır:

$$\text{SNR (dB)} = \text{Sinyal Gücü (dBm)} - \text{Gürültü Seviyesi (dB)}.$$

Çizelge 3.1. DOCSIS Şebekesi Gürültü Değer Aralıkları (TÜRKSAT 2022)

Parametre	Aralık Değeri
Modem Upstream Çıkış Gücü	+30 ... +50 dBmV
Modem Upstream SNR	Minimum 28 dB
Modem US CER	Maksimum %1
Modem US CCER	Maksimum %5

Çizelge 5.1.'de yer alan değerler, ISP'ler tarafından genel kabul edilmiş durumlar olup, özel durumlar ve uygulamalar için farklılık gösterebilir. Ayrıca, internet hizmet sağlayıcısının (ISP) veri hızlarını ve hizmet kalitesini optimize etmek için kullanabileceği önemli bilgiler de sağlayabilir.

3.2.2. SNR ile Kavramlar Arasındaki İlişkiler

3.2.2.1. SNR ve İnternet Hızı

Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) değeri, bir internet hattının potansiyel hızını belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Yüksek bir SNR, genellikle daha yüksek veri hızlarına imkân tanır. Bu sayede daha az hata meydana gelecek ve daha fazla veri hızla iletilecektir. Ancak, çok düşük bir SNR, hattın hızını düşürebilir. Bunun anlamı, daha fazla hata meydana gelmesidir ve bundan dolayı verilerin yeniden gönderilmesi gerekecektir (Anonim 2023m).

3.2.2.2. SNR ve Hat Gürültüsü

SNR, sinyal gücü ile arka plandaki gürültü seviyesi arasındaki farkı ifade eder. Bu nedenle, daha yüksek bir hat gürültü seviyesi, SNR değerini düşmesine neden olacaktır. Bunun sonucunda, internet hattının genel performansı etkilenebilir, hızını düşürebilir veya bağlantının istikrarsız hale gelmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, bu durum internet üzerindeki işlemlerde kesilmelere ve kopmalara yol açabilmektedir. Ek olarak, ilgili İnternet Hizmet Sağlayıcısı'nın (ISP) müşteri arızalarının artmasına, şikâyetlerin çoğalmasına ve bakım-onarım çalışmalarının artmasına neden olacaktır (Anonim 2023m).

3.2.2.3. SNR ve Hat Kararlılığı

SNR değeri, genellikle bir internet hattının genel kararlılığını belirlemek için kullanılmaktadır. Yüksek bir SNR değeri, hattın daha kararlı olduğunu ve daha az hata oluştuğunu göstermektedir. Diğer yandan, düşük bir SNR değeri, hattın daha az kararlı olduğunu ve daha fazla hata oluşabileceğini işaret etmektedir. Eğer veri sinyalleri hattaki gürültüye göre daha güçlü ise ve bağlantıyı etkileyen başka bir faktör yoksa internet bağlantı kalitesinin daha iyi olduğu söylemek mümkün hale gelmektedir (Anonim 2023m).

3.2.3. HFC Şebekenin Gözlemlenmesi

Aşağıda Fatih İlçesi/Cerrahpaşa Mh/Ağababa Çıkmaızı adresinde yer alan binaya ait ölçümler, şebekenin veri tabanı ile entegre çalışan Kodsis (Kablo Operasyon Destek Sistemi) Uygulamasıyla alınmıştır.

ANALİZ SONUÇLARI

Sayfada 20 kayıt göster

Ara Tablo içinde ara... Excel

PORT	DESCRIPTION	FREQUENCY	CHANNEL WIDTH	MODULATION PROFILE	SNR >= 28 (dB)	CER <= 0.5	CCER <= 0.5
cable-upstream 1/8/0.0	HFC_TP_FN_15	55400000	6400000	64 QAM	34.4	0	0.01
cable-upstream 1/8/1.0	HFC_TP_FN_15	61800000	6400000	64 QAM	34	0	0.01
cable-upstream 1/8/12.0	FC_TP_FN_72	55400000	6400000	64 QAM	30.7	0	11.13
cable-upstream 1/8/13.0	FC_TP_FN_72	61800000	6400000	64 QAM	31.2	0	41.88
cable-upstream 1/9/0.0	TP KPI OTD 19 SPL 3 L	55400000	6400000	64 QAM	37.3	0	0
cable-upstream 1/9/1.0	TP KPI OTD 19 SPL 3 L	61800000	6400000	64 QAM	37.3	0	0
cable-upstream 1/9/12.0	TP KPI OTD 19 SPL 3 H	55400000	6400000	64 QAM	34.5	0	0
cable-upstream 1/9/13.0	TP KPI OTD 19 SPL 3 H	61800000	6400000	64 QAM	34.6	0	0
cable-upstream 2/0/0.0	HFC_TP_FN_85	55400000	6400000	64 QAM	30.5	0	12.77
cable-upstream 2/0/1.0	HFC_TP_FN_85	61800000	6400000	64 QAM	29.2	0.11	71.6
cable-upstream 2/0/12.0	HFC_TP_FN_16B	55400000	6400000	64 QAM	33.9	0	1.54
cable-upstream 2/0/13.0	HFC_TP_FN_16B	61800000	6400000	64 QAM	36.5	0	0
cable-upstream 2/1/0.0	HFC_TP_FN_85B	55400000	6400000	64 QAM	33.7	0	0.83
cable-upstream 2/1/1.0	HFC_TP_FN_85B	61800000	6400000	64 QAM	33.3	0	0.98
cable-upstream 2/1/12.0	HFC_TP_FN_16	55400000	6400000	64 QAM	22.4	0.05	84.77
cable-upstream 2/1/13.0	HFC_TP_FN_16	61800000	6400000	64 QAM	24.3	0	19.68
cable-upstream 2/10/0.0	TP KPI OTD 20 SP1L	55400000	6400000	64 QAM	35.5	0	0.04
cable-upstream 2/10/1.0	TP KPI OTD 20 SP1L	61800000	6400000	64 QAM	36	0	0.82
cable-upstream 2/10/12.0	TP KPI OTD 20 SP1H	55400000	6400000	64 QAM	38.6	0	0
cable-upstream 2/10/13.0	TP KPI OTD 20 SP1H	61800000	6400000	64 QAM	38.4	0	0
PORT	DESCRIPTION	FREQUENCY	CHANNEL WIDTH	MODULATION PROFILE	SNR >= 28 (dB)	CER <= 0.5	CCER <= 0.5

Şekil 3.1. HFC Şebeke SNR Ölçümleri (Anonim 2023n)

Şebekeye bağlı modemin upstream portundan veri analizi yapılan örnekte de görüleceği üzere HFC Şebeke değerleri, sistem tarafından otomatik hatalı olarak algılanıp kırmızı ile renklendirilmiştir. Bu hataların tespiti, özellikle söz konusu adres gibi eski yerleşim yerlerinde oldukça zordur. Yeraltı şebekesinin eski olması, kapağı kırılan veya açık olan aktif (enerjili) elemanların olması birçok güzergâhın yıllar içerisinde gerçekleşen tadilatlardan dolayı kaybolması, şebeke elemanları bakımlarının zamanında ve tam yapılmaması gibi değişen, artan sebeplerden ötürü SNR ve CER dengeleri sağlanamamaktadır. Bununla birlikte kullanım ömrünü tamamlamış şebekenin toplanarak yeni malzemelerle yine HFC sistemi olarak ömrünü sürdürmesi ise hem günümüz teknolojisini karşılayamaması hem de arz-talep dengesi gözetildiğinde kişilerin arızası çok olan ve yüksek hız desteği-dengesi sağlayamaması nedeniyle mümkün görünmemektedir.

Bakım maliyetleri, fazla personele ihtiyaç duyması, zaman, ISP'nin sahip olduğu marka değerinin korunması gibi maddeler göz önüne alındığında şebekenin FTTH, yani eve kadar fibere dönüşmesi daha fazla avantajı beraberinde getirmektedir. Sahada yer alan cihazların pasif (enerji olmaksızın) olması, yüksek hız desteği, bakım-arıza maliyet ve sürelerinin minimize edilmesi gibi talep edilen avantajları sağlaması nedeniyle HFC şebekenin fiber yani FTTH şebekeye dönüşümü hız kazanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. HFC Şebekenin Evrimi: AirPON Çözümü

Örnekleme alınan adreste yapılan analiz çalışmasında belirtildiği üzere HFC Şebeke, avantajları bulunmakla birlikte oldukça fazla olan dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajların başında ise çağımızda gözle görülebilir en büyüğü olan veri hız problemi. Fiberle entegre çalışan koaksiyel kablo altyapı şebekesinde 2023 yılı itibarıyla verilen en yüksek hız saniyede 100 MB(Mega-Bayt)'dir. Ancak FTTH Şebekeler ise saniyede 1000 MB(Mega-Bayt)'yi aşmış durumda olduğundan şehirler ve diğer yerleşkelerde altyapılar FTTH'ye evirilmektedir.

4.1.1. AirPON Çözümünün Ortaya Çıkışı

2019'un sonunda birkaç mobil operatör, kapsamlı bir hizmet stratejisini beslemeyi ve sabit geniş bant hizmetlerinin geliştirilmesini hızlandırmayı amaçlayan ortak bir girişim olan AirPON'u tanıtmak için işbirliği yapmıştır. AirPON'un temel amacı, hızlı ve uygun maliyetli altyapı dağıtımının tipik gereksinimlerini ele almaktır. AirPON, uçtan uca (E2E) çözümünün dağıtımını, Entegre Mini OLT, Bıçaklı OLT, Düzensiz Bölme ve E2E olarak önceden bağlı Sayısallaştırılmış ODN (Optik Dağıtım Ağı)'ye sahip direğe monteli dış mekan dolapları M50'yi içeren mobil operatörlerin ağ sitelerinden ve kaynaklarından yararlanarak başlatılmıştır. Hızlı dağıtım yeteneklerine ek olarak, AirPON çözümü birkaç önemli avantaj sunmaktadır (Anonim 2022b).

AirPON çözümü, operatörlerin PON (Pasif Optik Ağ) altyapısını geleneksel konumların ötesine genişleterek çeşitli senaryolarda daha düşük maliyetli ODN dağıtımıyla sonuçlanmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Operatörler, AirPON'u kullanarak, sabit ve mobil hizmetleri entegre eden, alan, güç ve taşıyıcı gibi fiziksel mobil ağ kaynaklarını yeniden düzenleyerek son kullanıcı bağlantısını artıran birleşik bir ağ oluşturma fırsatına sahip olmuşlardır. Bu yaklaşım, yalnızca sınırlı besleyici kaynaklarına sahip operatörlerin daha uzak mesafelerde konuşlandırılan AirPON, optik hat terminallerinden (OLT: Optic Line Termination) yararlanmasına izin vermekle birlikte, aynı zamanda ev kullanıcılarına üstün bir geniş bant hizmeti deneyimi sunmaktadır (Anonim 2022b).

Buradan hareketle geleneksel yöntemlerde bulunan güzergâh maliyeti, kazı maliyeti, kablo kopması ve servis sağlama sorunlarını aşan hızlı çözüm üreten, ülkemizde

henüz uygulaması bulunmayan AirPON Çözümünün uygulanabilirliği hakkında araştırma çalışması, bu tezin ana konusudur.

4.1.2. AirPON Etkisi

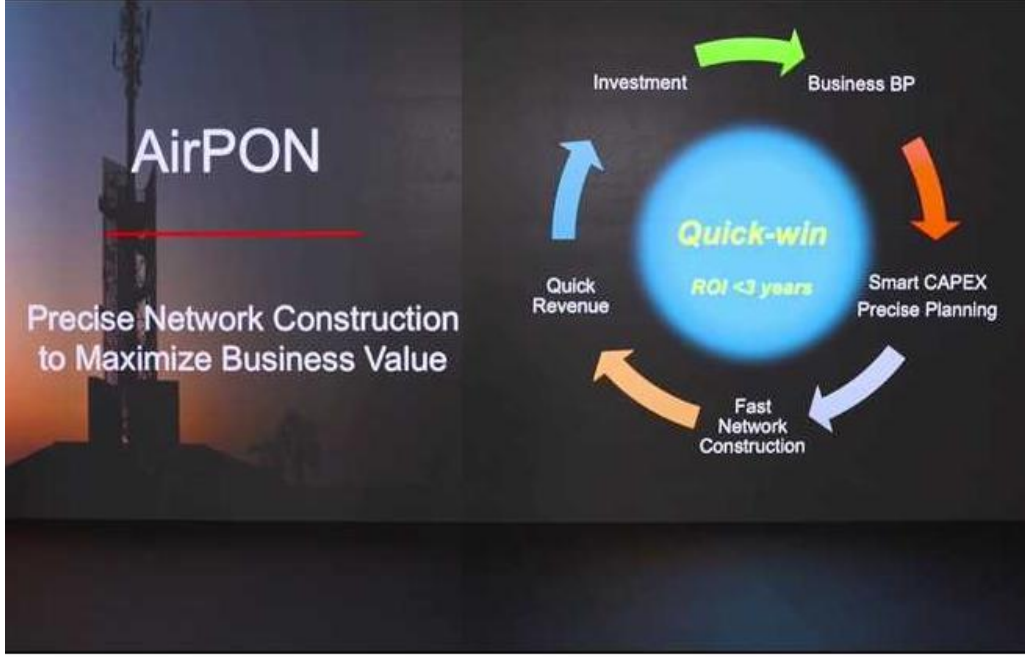
Bir mobil operatörden tam hizmet sağlayıcıya geçiş, FTTH ağların oluşturulmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu dönüşüm aynı zamanda toplama ekipmanı merkezileştirilmiş OLT yerleştirilmesini ve evler için geniş bant kullanıcılarına hizmet vermek için 20 kilometreye kadar uzayabilen kapsamlı ODN kurulmasını gerektirmektedir. İlgili önemli ön yatırımın yanı sıra, operatörler, genellikle proje dağıtım zaman çizelgesini yaklaşık bir yıla uzatan ve hane başına (bölgeye göre değişir) 500 ABD dolarını aşan maliyetlere neden olan uzun mesafeli ODN için Geçiş Hakkı (BGH) edinme karmaşık sürecini de yaşamak zorunda kalmaktadır. Bu zorlukları ele almak için, 10G PON teknolojisine hazır Gigabit FTTH ağları geliştirme stratejisinin bir parçası olarak AirPON çözümünü tanıtılmıştır (Anonim 2022b). AirPON çözümü, operatörlerin sabit ağlar oluşturmadaki verimliliğini ve esnekliğini önemli ölçüde artırmak için mevcut kaynaklarla birlikte küçük sitelerden, dış mekân sitelerinden veya mevcut mobil sitelerden yararlanmaktadır. AirPON, Sabit Mobil Yakınsama (SMY) planlamasını yeniden yapılandırarak ağ bağlantılarını headendlerden uzaklaştırır ve bir mobil sitede ODN ağı ile OLT arasında bağlantı kurarak onu ev kullanıcılarına çok daha yaklaştırır. Bu yaklaşım, genel ağ yapısıyla ilişkili Toplam Sahip Olma Maliyetinde (TSOM) önemli bir azalmaya yol açacaktır (Anonim 2022b).

FTTH ağ yapısının karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmek için;

Taşıyıcıların kablosuz siteleri kullanarak FTTH ağları oluşturmasına ve kablo ağlarını FTTH ağlarına dönüştürmesine yardımcı olmak için uçtan uca AirPON çözümünü piyasaya sürülmüştür (Anonim 2022b). Bu çözümün avantajları;

- Pazara Ulaşma Süresi (Uzun BGH Edinimi, Headend sahası edinimi, uzun vadeli ODN inşaat işi)
- İnşaat maliyeti (Düşük yeniden kullanım oranı, yüksek inşaat maliyeti, uzun yatırım getirisi)
- Rekabet (OTT, diğer operatörler) (Yüksek kayıp oranı, yüksek kullanıcı edinme maliyeti, düşük ARPU) olarak sayılabilir.

Akıllı İşletme ve Bakım uygulamalarına yardımcı olarak şebeke imalatı ile aşağıda yer alan verilerde olumlu gelişmeler gözlemlenir.



Şekil 4.1. AirPON Çözümü Kazanç Döngüsü (Anonim 2022c)

4.1.3. AirPON Faydaları

AirPON çözümleri, genellikle kırsal veya zorlu erişim bölgelerinde yüksek hızlı internet erişimi sağlama veya kurumsal ağlarda güçlü ve esnek bir bağlantı sağlama amacıyla kullanılmaktadır. Bu faydalar, kullanıcıların daha iyi internet deneyimi yaşamasına ve işletmelerin verimliliğini artırmasına yardımcı olması öngörülmektedir.

AirPON Çözümü, Yüksek Hız ve Kapasite, Kablosuz Erişim, Esneklik ve Hareketlilik, Düşük Gecikme, Altyapı Maliyetlerini Azaltma, Çoklu Cihaz Desteği, Hızlı Dağıtım ve Genişletme, Yedekleme ve Güvenilirlik alanlarında faydaları olduğu görülmüştür.

AirPON'da, PON teknolojisi kullanıldığından yüksek hızlı kablosuz internet hizmeti sunmaktadır. Bu, kullanıcıların hızlı veri indirme ve yükleme yapmalarına olanak sağlayacak, daha hızlı çevrimiçi deneyimler yaşayabileceklerdir. AirPON, telli bağlantıları gerektirmemesi, fiziksel kablolama gerekliliğini ortadan kaldıran fiber optik altyapıya dayandığından kablosuz erişim faydasında sağlayacaktır. AirPON, kullanıcıların cihazlarını taşıyarak veya farklı konumlarda kullanarak internet erişimine sahip olmalarına olanak tanıdığından esneklik ve hareketlilik faydasını ortaya çıkaracaktır. Bu da, kullanıcıların hareket halindeyken de bağlantılarını sürdürmelerini sağlayacaktır. AirPON, düşük gecikme süreleri sunduğundan, gerçek zamanlı uygulamaları kullanırken (özellikle çevrimiçi oyunlar veya video konferans gibi) daha iyi

performans sağlayacağını taahhüt etmektedir. AirPON, özellikle uzak veya zorlu erişim bölgelerinde geleneksel kablo altyapısına göre daha az fiziksel altyapı gerektirdiğinden, altyapı maliyetlerinin düşürmesine katkı sağlamaktadır. AirPON, birden çok cihazın aynı anda bağlanmasına olanak tanır. Bu, aynı evde veya işyerinde birden fazla cihazın sorunsuz bir şekilde çevrimiçi olmasını sağlayacaktır. AirPON, hızlı bir şekilde dağıtılabilir ve mevcut altyapıyı genişletebilir. Bu hızlı dağıtım ve genişletme kabiliyeti, yeni bölgelere hızlı internet erişimi getirme veya artan talebi karşılama konusunda esneklik sağlayacaktır. AirPON, yedekli sistemlerle kullanılabilir ve kesinti durumunda otomatik olarak başka bir bağlantıya geçmesi mümkündür. Bu yedekleme ve güvenilirlik özelliği, sürekli bağlantı sağlama ve hizmet kesintilerini en aza indirme açısından büyük bir öneme sahiptir.

Ülkemizde uygulanması için keşif çalışmaları devam eden AirPON Çözümüne dair kritik olan ve AirPON Çözümünü cazip kılan faydaları ise aşağıda detaylı olarak üç başlık altında incelenmiştir.

4.1.3.1. Daha Düşük Toplam Sahip Olma Maliyeti (TSOM)

AirPON, Optik Dağıtım Ağı (ODN) mesafesini geleneksel 20 km'den 1 km ile 500 m aralığına önemli ölçüde azaltır. Mesafedeki bu azalma, mevcut fiber kaynaklarının daha iyi kullanılmasını sağlar ve daha az optik kablo ve çekirdek gerektirir. Basitleştirilmiş Geçiş Hakkı (BGH) satın alma süreci ve iyileştirilmiş dağıtım verimliliği, Toplam Sahip Olma Maliyetinde yüzde 30'luk bir azalmaya yol açar. Mobil sahaların, fiberin ve güç kaynağının sıfır saha edinimi ve yeniden kullanımı: AirPON ile Optik Hat Terminallerini (OLT') kurmak için yeni sahalar edinmeye gerek yoktur. Huawei'nin yerleşik mini OLT veya Kompakt Bıçaklı OLT ile donatılmış direğe monteli M50 dış mekan dolabı, mevcut mobil baz istasyonu sitelerine kurulabilir. Bu yaklaşım, taşıyıcı ağların ve güç kaynağının yeniden kullanılmasına izin vererek, iki kişi tarafından yalnızca bir günde hızlı dağıtım yapılmasını sağlar (Anonim 2022b).

4.1.3.2. Sıfır Fiber Ekleme ve Sayısallaştırılmış ODN

AirPON, fiber ek ihtiyacını ortadan kaldırarak ODN'nin dağıtım sürecini basitleştirmektedir. AirPON çözümünün içerisinde yer alan Dijitalleştirilmiş ODN çözümü, OLT ile kullanıcılar arasındaki tüm kabloları önceden bağlayarak dağıtım sürecini dijitalleştirmektedir. Bu, inşaat döngüsünü 220 dakikadan ev başına dört kişi 40 dakikaya düşürerek, ev başına iki kişi bağlantı yaptığı baz alındığında verimliliği yüzde 70 artırmaktadır (Anonim 2022b).

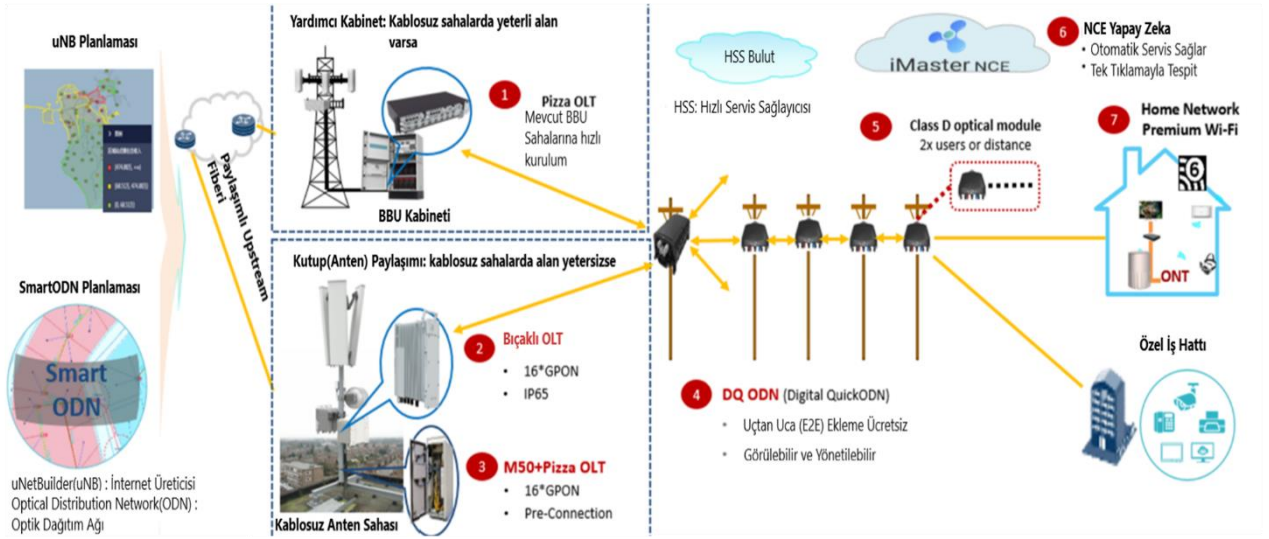
4.1.3.3. Sıfır Yapılandırma ve Tak-Çalıştır OLT / ONT

AirPON, OLT'ler (PON Modemi) için sıfır dokunma dağıtımını (SDD) destekleyerek yerinde yazılım ile devreye alma ihtiyacını ortadan kaldırarak işçilik maliyetlerini de yüzde 60 azalttığı görülmüştür. ONT'ler, eve gelerek yapılan kurulum ziyaretlerine gerek kalmadan bulut kimlik doğrulamasını etkinleştirerek sıfır dokunma sağlama (SDS) ve Tak-Çalıştır işlevini desteklemektedir. OLT geri yönlü hizmeti sağlama (upstream) ve kullanıcı tarafı internet erişim testleri dâhil olmak üzere uçtan uca FTTH hizmetin sunumu bir gün içinde tamamlanabilmektedir. Gelişmekte olan pazarlardaki operatörler tarafından AirPON tabanlı ağ oluşturma modelinin benimsenmesinin, kablosuz teknolojilerle bağlanan düşük ve orta hızlı kullanıcılar için FTTH hizmetleri sağlamada ve bant genişliğini artırmada başarılı olduğu kanıtlanmıştır (Anonim 2022b). Bu, operatörlerin kullanıcı sadakatini artırmasına, karmaşayı azaltmasına ve pazar rekabetinde etkin bir şekilde gezinmesine yardımcı olacaktır.

4.1.4. AirPON Uygulama Senaryoları

4.1.4.1. Kablosuz Baz İstasyonları üzerinden AirPON ile FTTH Ağı Kurulumu

AirPON Çözümü, yeni site kaynakları elde etmeden, fiber ek olmadan ve tek tıklarla OLT ve ONT yapılandırmasıyla (konfigürasyon) bir FTTH ağı oluşturmak için kablosuz siteleri kullanır.



Şekil 4.2. Pole ile AirPON Uygulaması

Pole ile AirPON Uygulamasının çalışma döngüsü,

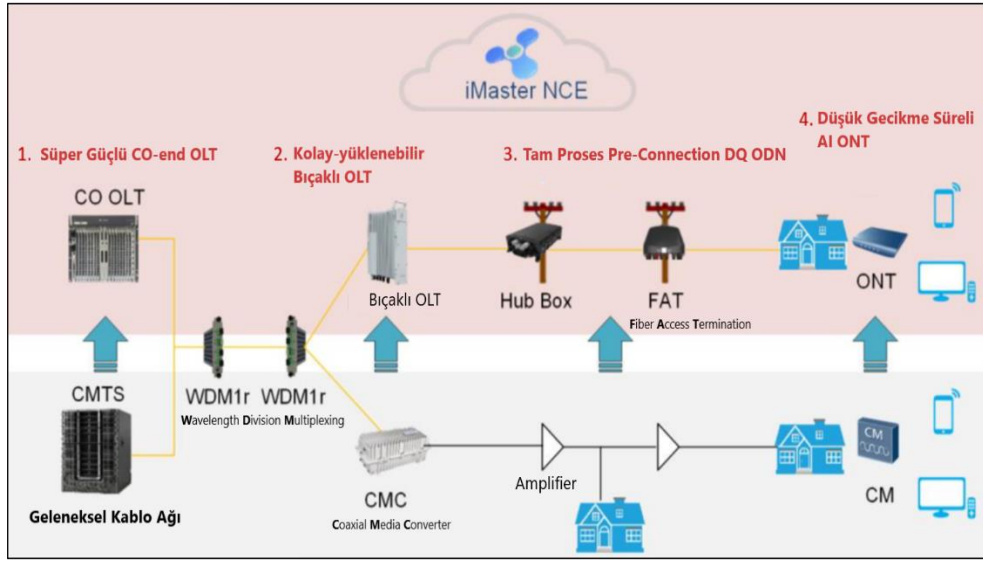
- 1) uNetBuilder ve SmartODN, bu hassas planlamayı sahada uygulamak için kullanılır.
- 2) Yer seçimi problemlerini çözmek ve kaynakları çözmek için mevcutta bulunan kablosuz baz istasyonları ve fiber optik kaynaklar yeniden (reuse) kullanılır.
- 3) Pizza OLT ile otomatik olarak şebeke elemanları dağıtımı tamamlanır. Lightwieght hizmet sağlama sistemi olarak HSS Bulut kullanılır. Bunun amacı FTTH hizmetlerini hızlı bir şekilde sağlamaktır.
- 4) Bıçaklı OLT MA5801S devreye alınarak, hızlı bir şekilde ağ oluşturmak için şebeke çapında pre-connection ve optik bölme yapılır.
- 5) Akıllı İşletme ve Bakımı uygulamak için NCE Premium Wi-Fi Bulut ve NCE AI (Bir tür şebeke ağ otomasyonu) algoritmalarını kullanılarak hizmet ulaştırılması şeklindedir (Anonim 2022d).

4.1.4.2. Kablo Şebekesinin AirPON ile FTTH Ağına Evrilmesi

AirPON Modu, hızlı ve düşük maliyetli ağ inşasını ve kablo ağlarından FTTH ağlarına geçiş işini gerçekleştirmek için,

- Dağıtılmış OLT'leri
- Bıçaklı OLT
- Digital Quick (DQ) Optik Dağıtım Ağı (ODN)
- Yapay Zekâya (AI) sahip ONT

- Şebeke Ağ Yönetim ve Kontrol Sistemi (NCE) kullanır.



Şekil 4.3. Kablo Şebekesine AirPON Uygulaması

Pole ile AirPON Uygulamasının çalışma döngüsü,

- 1) Üç raflı OLT, 25 raflı CMTS'nin yerine kullanılır.
- 2) Upstream bant genişliği 1 Gbit/sn'den 10 Gbit/sn'ye yükseltilir.
- 3) Çoklu hizmet paralelliği desteklenir.
- 4) Hat gecikmesi 10 ms'den 1 ms'ye yükseltilerek ekipman odası alanından tasarruf edilir.
- 5) Ayrıca enerji tüketimi azaltılır, yüksek bant genişliği elde edilir ve çözümün maliyet etkinliği gösterilir.
- 6) Bıçaklı OLT'nin sahaya gömülmesiyle, ayrıca WDM1r, Quick ODN, OLT birleştirme yönetimi ve SDS kullanılarak, hızlı ve düşük maliyetli ağ şebekesi inşası mümkün olabilir. İşletme için otomatik devreye almayı uygulamak üzere NCE türü yazılım ile birlikte çalışılması gerekmektedir.
- 7) Adreste bulunan ONT, AI + Wifi 6 dilimleme teknolojisini ve tek noktadan çok noktaya yayın için uyarlanabilir bit hızı (M-ABR) teknolojisini kullanır. Bunun yanında NCE ise en iyi canlı TV deneyimini elde etmek için Deneyim Kalitesi (QoE: Quality of Experience) değerlendirmesi gerçekleştirebilecek şekildedir (Anonim 2022d).

4.1.5. AirPON Malzemeleri



Huawei OptiXaccess MA5801S (Blade OLT)(Bıçaklı OLT)

MA5801S, gigabit hız evreni için dış mekan kompakt bir OLT olup, son kullanıcılara optimum deneyim sunar.



Huawei OptiXaccess MA5801 (Pizza OLT)

MA5801, kompakt ve düşük yoğunluklu kutu şeklindeki bir OLT'dir. Ekonomik ve verimli ağ yapısının gereksinimlerini karşılamak için eve multiple fiber (FTTx) çözümleri sunar.



M50 Outdoor cabinet

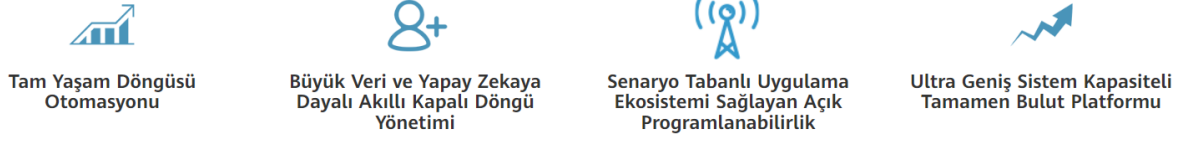
M50 Kabineti, eski kablosuz veya dış mekan kabineti yer alan sahalarda FTTx'in hızlı inşası için Huawei tarafından geliştirilen küçük bir dış mekan kabinetidir.

Şekil 4.4. AirPON Anahtar Ürünleri (Anonim 2022d)

AirPON sistemin yürütülmesinde önemli rol oynayan iMaster NCE, endüstrinin yönetim, kontrol, analiz ve AI işlevlerini entegre eden IoT yönetimiyle entegre, ilk ağ otomasyonu ve zeka platformu olarak öne çıkmaktadır. İş amaçlarını fiziksel ağlarda etkin bir şekilde uygulayarak, küresel ağların merkezi yönetimini, kontrolünü ve analizini sağlayacaktır.

Esas olarak veri merkezi, kurumsal kampüs, kurumsal özel hat ve taşıyıcı ağ senaryolarında kullanılan iMaster NCE, iş ve hizmet amaçlarına göre kaynak bulutlaştırma, tam yaşam döngüsü otomasyonu ve analitik odaklı akıllı kapalı döngü yönetimi sağlayacaktır. iMaster NCE, BT sistemleriyle hızlı entegrasyon için açık ağ Uygulama Programlama Arayüzlerini (API: Application Programming Interfaces) sağlar ve ağların basitliğini, zekasını, açıklığını ve güvenliğini iyileştirerek taşıyıcılar ve kuruluşlar için hizmet dönüşümünü ve yeniliği hızlandırmaktadır. iMaster NCE kullanımının sağlanabileceği alanlarından bazıları şunlardır:

- Akıllı İşletim ve Bakım için Metro Ağı Yönetimi
- 4G/5G Taşınması için Mobil Ağ Yönetimi
- Agile Controller DCN Bulut Ağ Kaynakları Yönetimi
- Agile Controller Campus CloudWAN ve CloudCampus ile Bulut Tabanlı Ağ Kaynakları Yönetimi



Şekil 4.5. iMaster NCE Temel Özellikleri (Anonim 2022d)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma çabasının iki başlık altında ortaya konulan sonuç ve önerileri, akıllı şehirler ve IoT alanında çalışan şehir planlamacıları, politika yapıcılar, kentsel geliştiriciler ve araştırmacılar için değerli bir kaynak görevi görecektir. IoT tabanlı kablo altyapı ağlarının inceliklerini anlayarak paydaşlar bilinçli kararlar verebilir, daha etkili kentsel stratejiler tasarlayabilir ve IoT teknolojilerinin tüm potansiyelini vatandaşların ve sürdürülebilir kentsel gelişimin yararına kullanabilir.

5.1. IoT – FTTH Şebeke Yakınsamasının Sonuçları

5.1.1. Akıllı Evler ve Otomasyon

5.1.1.1. Uzaktan Kontrol Ve İzleme

FTTH bağlantısı ile ev sahipleri, akıllı cihazlarını mobil uygulamalar veya web ara yüzleri aracılığıyla uzaktan kontrol edebilir ve izleyebilir. İnternet bağlantısı olan her yerden ışıkları açıp kapatabilir, termostat ayarlarını yapabilir, kapıları kilitleyebilir veya kilidini açabilir, güvenlik kameralarını izleyebilir ve cihazları kontrol edebilirler.

5.1.1.2 Ev Otomasyonu Ve Zamanlama

Akıllı bir evdeki IoT cihazları, önceden tanımlanmış programlara veya belirli tetikleyicilere dayalı eylemleri gerçekleştirmek için birbirine bağlanabilir ve otomatikleştirilebilir. Örneğin, ev sahipleri, ışıkların belirli zamanlarda açılıp kapandığı otomatik aydınlatma programları ayarlayabilir veya doluluk modellerine veya günün saatine göre sıcaklık ayarlarını yapmak için akıllı termostatları yapılandırabilir.

5.1.1.3. Enerji Verimliliği Ve Maliyet Tasarrufu

FTTH entegrasyonu, ev sahiplerinin enerji kullanımını gerçek zamanlı olarak izlemesini ve optimize etmesini sağlar. Ev sahipleri, IoT cihazları tarafından sağlanan enerji tüketimi verilerine erişerek, enerji yoğun cihazları belirleyebilir, kullanım modellerini izleyebilir ve enerji tüketimini azaltmak için bilinçli kararlar alabilir, bu da maliyet tasarrufu ve gelişmiş enerji verimliliği sağlayacaktır.

5.1.1.4. Gelişmiş Güvenlik Ve Güvenlik

Akıllı kameralar, kapı kilitleri ve güvenlik sistemleri gibi IoT cihazları, ev sahiplerine gerçek zamanlı izleme ve uyarılar sağlayarak FTTH ile sorunsuz bir şekilde entegre edilebilir. Şüpheli faaliyetler hakkında bildirim alabilir, evlerini uzaktan izleyebilir ve hatta ziyaretçilere geçici erişim izni verebilirler.

5.1.1.5 Sesli Asistanlarla Entegrasyon

FTTH entegrasyonu, IoT cihazlarının Amazon Alexa veya Google Assistant gibi sesli asistanlarla sorunsuz entegrasyonuna olanak tanır. Ev sahipleri, akıllı cihazlarını sesli komutlarla kontrol edebilir, bu da başka bir rahatlık ve eller serbest kullanım katmanı ekleyebilirler. IoT cihazlarının yeteneklerini FTTH'nin yüksek hızlı ve güvenilir bağlantısıyla birleştirerek, ev sahipleri gelişmiş kontrol, rahatlık, enerji verimliliği ve güvenliğin keyfini çıkararak evlerini akıllı evlere dönüştürebilirler.

5.1.2. Gelişmiş Sağlık Hizmetleri

5.1.2.1. Uzaktan Hasta İzleme

Giyilebilir sensörler gibi IoT cihazları, hastalardan gerçek zamanlı olarak hayati sağlık verilerini toplayabilir. Bu veriler, FTTH ağı üzerinden sağlık hizmeti sağlayıcılarına veya izleme sistemlerine iletilerek, uzaktan hasta izlemeye olanak tanır. Sağlık uzmanları, hastaların hayati belirtilerini, ilaç uyumunu, uyku düzenlerini ve diğer sağlık ölçümlerini takip ederek anormalliklerin erken tespitini ve zamanında müdahaleleri sağlayabilir.

5.1.2.2. Teletıp Ve Sanal Danışmanlık

FTTH bağlantısı, kesintisiz ve yüksek kaliteli video konferans ve veri iletimi sağlayarak teletıp hizmetlerini kolaylaştırabilir. Hastalar sağlık hizmeti sağlayıcılarıyla(ISP) uzaktan bağlantı kurabilir, sağlık verilerini paylaşabilir, semptomları tartışabilir, tıbbi tavsiye alabilir ve hatta sanal konsültasyon veya muayenelerden geçebilir. Bu, özellikle takipler veya rutin kontroller için fiziksel ziyaret ihtiyacını azaltır, sağlık hizmetlerine erişimi iyileştirir ve hem hastalar hem de sağlık hizmeti sağlayıcıları için zaman kazandıracaktır.

5.1.2.3. Kişiselleştirilmiş Sağlık Hizmetleri Ve Müdahaleler

IoT cihazlarının ve FTTH'nin birleşimi, çok miktarda hasta sağlığı verisinin toplanmasına olanak tanır. Sağlık hizmeti sağlayıcıları, hastaların sağlık koşullarına ilişkin değerli iç görüler elde etmek, ilerlemeyi takip etmek ve tedavi planlarını kişiselleştirmek için bu verilerden yararlanabilir. Gerçek zamanlı veri iletimi ile sağlık uzmanları bilinçli kararlar alabilir ve zamanında müdahaleler sunarak hasta sonuçlarını iyileştirebilir ve hastaneye yeniden yatışları azaltabilir.

5.1.2.4. Verimli Sağlık Hizmeti Veri Yönetimi

FTTH'nin yüksek hızlı bağlantısı, tıbbi görüntüler, elektronik sağlık kayıtları (ESK) ve genomik veriler gibi büyük sağlık hizmeti veri kümelerinin verimli ve güvenli iletimini kolaylaştırır. Bu, sağlık hizmeti sağlayıcılarının kritik hasta bilgilerine hızlı bir şekilde erişmesine ve paylaşmasına olanak tanıyarak, gelişmiş bakım koordinasyonuna, azaltılmış idari yüklerle ve sağlık uzmanları arasında gelişmiş işbirliğini sağlayabilir.

5.1.2.5. Sağlık Analitiği Ve Araştırması

IoT cihazlarının FTTH ile entegrasyonu, sağlık analitiği ve araştırma amaçları için kullanılacak kapsamlı sağlık verilerinin toplanmasını sağlar. Büyük bir hasta popülasyonundan elde edilen birleştirilmiş ve anonimleştirilmiş veriler, hastalık modelleri, tedavi etkinliği ve toplum sağlığı eğilimleri hakkında değerli iç görüler sağlayabilir ve daha geniş ölçekte iyileştirilmiş sağlık hizmetleri stratejilerine ve sonuçlarına yol açabilir.

5.1.3. Akıllı Şehirler ve Kentsel Yönetim

5.1.3.1. Verimli Trafik Yönetimi

Şehir genelinde dağıtılan IoT sensörleri ve kameralar, trafik akışı, tıkanıklık ve park yeri kullanılabilirliği hakkında gerçek zamanlı veriler toplayabilir. FTTH ağı üzerinden iletilen bu veriler, trafik sinyali zamanlamasını optimize etmek, trafiği yeniden yönlendirmek ve sürücülere gerçek zamanlı güncellemeler sağlamak için kullanılabilir.

5.1.3.2. Akıllı Yardımcı Programlar Ve Kaynak Yönetimi

IoT özellikli ölçüm cihazları ve sensörler, elektrik, su ve gaz gibi kamu hizmeti tüketimini izleyebilir ve yönetebilir. FTTH ile entegrasyon, hizmet verilerinin hizmet sağlayıcılara ve şehir yönetim sistemlerine sorunsuz bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu veri odaklı yaklaşım, optimize edilmiş kaynak tahsisi, sızıntıların veya arızaların erken tespiti ve kesintilere veya tedarik kesintilerine anında yanıt verme becerisi sağlayabilir.

5.1.3.3. Akıllı Atık Yönetimi

FTTH ile entegre IoT sensörleri, doluluk seviyelerini gerçek zamanlı olarak izlemek için atık kaplarına yerleştirilebilir. Bu, atıkların verimli bir şekilde toplanmasını sağlar ve gereksiz yolculukları azaltarak maliyet tasarrufu ve daha temiz bir kentsel çevre sağlar. Ek olarak, IoT cihazları geri dönüştürülebilir malzemeleri sıralamak ve izlemek,

geri dönüşüm çabalarını iyileştirmek ve çöplüklere gönderilen atıkları azaltmak için kullanılabilir.

5.1.3.4 Çevresel İzleme

IoT sensörleri, şehrin farklı bölgelerindeki hava kalitesini, gürültü seviyelerini, sıcaklığı, nemi ve diğer çevresel parametreleri izleyebilir. FTTH bağlantısı ile toplanan veriler, analiz ve karar verme için merkezi sistemlere iletilebilir. Bu, çevresel koşulların gerçek zamanlı olarak izlenmesine, kirlilik kaynaklarının belirlenmesine ve hava kalitesinin ve genel kentsel çevrenin iyileştirilmesine yönelik önlemlerin uygulanmasına olanak tanıyabilir.

5.1.3.5. Geliştirilmiş Vatandaş Refahı

IoT-FTTH entegrasyonunun sağladığı akıllı şehir çözümleri, vatandaşların refahına öncelik verir. Örneğin, IoT sensörleriyle donatılmış bağlantılı sokak lambaları, aydınlatma seviyelerini gerçek zamanlı ihtiyaçlara göre otomatik olarak ayarlayarak güvenliği ve enerji verimliliğini artırabilir. Vatandaşların olayları hızlı bir şekilde bildirmesine ve acil servislerin derhal yanıt vermesine olanak tanıyan IoT tabanlı acil durum müdahale sistemleri de devreye alınabilir.

5.1.4. Endüstriyel Otomasyon ve Üretim

7.1.4.1. Gerçek Zamanlı Süreç İzleme Ve Kontrol

Sensörler ve aktüatörler gibi IoT cihazları, üretim sürecindeki ekipman, makine ve çeşitli noktalardan gerçek zamanlı veri toplayabilir. Bu cihazları bir FTTH ağı ile entegre ederek, toplanan veriler hızlı bir şekilde kontrol sistemlerine ve merkezi izleme istasyonlarına iletilebilir. Bu, gerçek zamanlı süreç izleme ve kontrolüne izin vererek, üretim verimliliğini ve kalitesini optimize etmek için zamanında ayarlamalar ve müdahaleler sağlayabilir.

5.1.4.2. Kestirimci Bakım

Endüstriyel ekipmanla entegre IoT sensörleri, sıcaklık, titreşim ve enerji tüketimi gibi çeşitli parametreleri izleyebilir. Bu sensörler tarafından toplanan veriler, FTTH ağı üzerinden kestirimci bakım sistemlerine iletilebilir. Bu sistemler, verileri analiz ederek ekipman arızası veya bozulmasının erken belirtilerini tespit ederek bakım ekiplerinin bakım faaliyetlerini proaktif bir şekilde planlamasına, aksama süresini azaltmasına ve maliyetli arızaları önlemesine olanak tanıyacaktır.

5.1.4.3. Veriye Dayalı Optimizasyon

IoT cihazlarının FTTH bağlantısıyla entegrasyonu, endüstriyel süreçlerden büyük hacimli verilerin toplanmasını ve iletilmesini kolaylaştırır. Bu veriler, kalıpları, darboğazları ve optimizasyon fırsatlarını belirlemek için gelişmiş analitik ve makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak analiz edilebilir. Verilerden elde edilen içgörüler, üretim süreçlerinde ince ayar yapmak, israfı azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve genel üretkenliği artırmak için kullanılabilir.

5.1.4.4. Uzaktan İzleme Ve Kontrol

FTTH bağlantısı, endüstriyel süreçlerin uzaktan izlenmesini ve kontrolünü sağlar. Endüstriyel operatörler ve yöneticiler, gerçek zamanlı verilere erişebilir, kritik koşullar hakkında uyarılar veya bildirimler alabilir ve internet bağlantısı olan herhangi bir yerden ekipman ve süreçleri uzaktan kontrol edebilir. Bu, operasyonel esnekliği artırır, uzaktan sorun gidermeye izin verir ve sorunsuz operasyonlar için zamanında karar vermeyi mümkün kılacaktır.

5.1.4.5. Gelişmiş İşbirliği Ve Entegrasyon

IoT cihazlarının FTTH ile entegrasyonu, üretim ekosisteminin farklı bölümlerinde sorunsuz entegrasyon ve işbirliğini kolaylaştırır. IoT cihazlarından toplanan veriler, karmaşık üretim süreçlerinde daha iyi koordinasyon, tedarik zinciri optimizasyonu ve gelişmiş işbirliği sağlamak için tedarikçiler, ortaklar ve paydaşlarla güvenli bir şekilde paylaşılabilir.

5.1.5. Tarım ve Çiftçilik

5.1.5.1. Veri Toplama Ve İzleme

Tarlalara yerleştirilen IoT sensörleri, toprak nemini, sıcaklığını ve diğer parametreleri sürekli olarak izler. FTTH bağlantısı, bu sensörlerden merkezi sistemlere güvenilir ve yüksek bant genişliğine sahip veri iletimi sağlayarak kesintisiz veri toplama ve izleme sağlayabilir.

5.1.5.2. Bulut Tabanlı Analiz

FTTH bağlantısı ile toplanan veriler hızlı ve verimli bir şekilde bulut tabanlı analitik platformlarına iletilebilir. Bu platformlar, verileri işlemek, değerli içgörüler elde etmek ve çiftçilere eyleme dönüştürülebilir öneriler sunmak için gelişmiş algoritmalar ve makine öğrenimi teknikleri kullanırlar.

5.1.5.3. Karar Verme Ve Kaynak Optimizasyonu

IoT sensörlerinden toplanan verileri analiz ederek çiftçiler sulama planlaması, gübre uygulaması, haşere yönetimi ve diğer çiftçilik uygulamaları hakkında bilinçli kararlar alabilir. Bu, kaynak kullanımını optimize etmeye, mahsul verimini artırmaya ve israfı azaltmaya yardımcı olacaktır.

5.1.5.4. Uzaktan İzleme Ve Kontrol

FTTH bağlantısı, çiftçilerin tarımsal faaliyetlerini uzaktan izlemelerini ve kontrol etmelerini sağlar. Gerçek zamanlı verilere erişebilirler ve sahalardaki kritik koşullar hakkında uyarılar veya bildirimler alabilirler, bu da zamanında önlem almalarına ve olası sorunları önlemelerine olanak tanıyacaktır.

5.1.6. Gelişmiş Enerji Yönetimi

5.1.6.1. Gerçek Zamanlı Enerji İzleme

Akıllı sayaçlar ve enerji sensörleri gibi IoT cihazları, bir bina veya akıllı şebeke içindeki çeşitli noktalarda enerji tüketimi hakkında gerçek zamanlı veriler toplayabilir. Bu veriler, FTTH ağı üzerinden iletilir ve kullanıcıların enerji kullanımlarını gerçek zamanlı olarak izlemelerine ve kalıplar ve eğilimler hakkında bilgi edinmelerine olanak tanır. Gerçek zamanlı enerji izleme, kullanıcıların enerji yoğun alanları belirlemesine, kullanım modellerini izlemesine ve enerji tüketimini optimize etmek için bilinçli kararlar almasına yardımcı olacaktır.

5.1.6.2. Akıllı Şebeke Entegrasyonu

FTTH bağlantısı, akıllı şebeke sistemleriyle sorunsuz entegrasyon sağlar. IoT cihazları, enerji arzı, talebi ve şebeke koşulları hakkında bilgi alışverişinde bulunarak akıllı şebeke altyapısı ile iletişim kurabilir. Bu entegrasyon, dinamik yük dengeleme, talep yanıt mekanizmaları ve etkili enerji dağıtımını sağlayarak, gelişmiş şebeke kararlılığı, azaltılmış enerji israfı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı ile sonuçlanacaktır.

5.1.6.3. Cihazların Ve Cihazların Otomatik Kontrolü

FTTH ile entegre IoT cihazları, cihazları ve cihazları enerji tüketim modellerine, kullanıcı tercihlerine ve şebeke koşullarına göre otomatik olarak kontrol edebilir. Örneğin, akıllı termostatlar, doluluk ve hava koşullarına göre sıcaklık ayarlarını düzenleyerek ısıtma ve soğutma için enerji kullanımını optimize edebilir. Benzer şekilde,

akıllı prizler, kullanılmadıklarında cihazları kapatabilir veya yoğun olmayan saatlerde çalışmalarını planlayarak enerji israfını daha da azaltabilir.

5.1.6.4. Enerji Optimizasyonu Ve Tasarrufu

IoT-FTTH entegrasyonu, gerçek zamanlı enerji izleme, akıllı şebeke entegrasyonu ve otomatik kontrolü birleştirerek enerji optimizasyonu ve tasarrufu sağlar. Kullanıcılar, enerji kullanım modelleri hakkında bilgi edinebilir, enerji yoğun faaliyetleri belirleyebilir ve enerji tasarrufu önlemlerini uygulayabilir. Bu, azaltılmış enerji faturalarına, iyileştirilmiş enerji verimliliğine ve daha düşük karbon ayak izi sağlayabilir.

5.1.6.5. Talep Yanıtı Ve Pik Yük Yönetimi

IoT-FTTH entegrasyonu ile enerji sağlayıcılar talep yanıt programları uygulayabilir. Yoğun yük dönemlerinde, IoT cihazları, gerekli olmayan cihazların veya cihazların çalışmasını geçici olarak azaltmak gibi enerji tüketimini otomatik olarak ayarlayabilir. Bu, enerji talebini ve arzını dengelemeye, şebeke üzerindeki yükü hafifletmeye ve elektrik kesintilerini veya ek güç üretimi ihtiyacını önlemeye yardımcı olacaktır.

5.2. AirPON Çözümünün HFC Şebeke Evriminde Kullanılması

SMY, mobil operatör olmaktan tam hizmet operatörü olmaya geçişi gerektiren yaygın bir küresel eğilimdir. AirPON Çözümü, bu dönüşümü kolaylaştırmada ve yüksek kaliteli gigabit fiber geniş bant hizmetlerinin hızlı gelişimini hızlandırmada hayati bir rol oynamaktadır. AirPON Çözümü, Blade OLT, DQ ODN, Fast Service ONT ve iMaster NCE'yi içeren gelişmiş ekipman serisi ile etkinliğini iki farklı senaryoda kanıtlamaktadır.

İlk olarak, AirPON, mobil operatörlere FTTH altyapısının konuşlandırılması yoluyla kapsamalarını hızla yüksek değerli ve son derece rekabetçi alanlara genişletme yetkisi verir. Bu, operatörlerin gigabit kiralık hat pazarından yararlanmalarını ve 4K, Bulut ve Sanal Gerçeklik (VR) gibi yenilikçi hizmetleri aşamalı olarak sunmalarını ve böylece son kullanıcılara birleşik geniş bant deneyimleri sunmalarını sağlar. Operatörler bu stratejik yaklaşımı benimseyerek kullanıcı sadakatini artırabilir, kayıp oranlarını azaltabilir ve Kullanıcı Başına Ortalama Geliri artırabilir.

Ayrıca AirPON Çözümü, ağ altyapısının genel yatırım-maliyet oranını önemli ölçüde azaltarak zorlayıcı bir teklif sunuyor. Altı yıldan sadece üç yıla kadar kısaltılmış bir Yatırım Getirisi (ROI) süresine yol açan% 70'lik dikkate değer bir azalma sunar. Bu

maliyet etkinliği yalnızca fiber ağların dağıtımını hızlandırmakla kalmaz, aynı zamanda operatörler için daha hızlı ve daha uygun bir finansal sonuç sağlar.

Dönüştürücü yetenekleriyle AirPON Çözümü, mobil operatörlerin SMY'yi benimsemeleri ve gigabit fiber geniş bant hizmetlerinin tüm potansiyelini gerçekleştirmeleri için araçlar sağlar. Sürekli gelişen telekomünikasyon ortamında uzun vadeli başarı için sağlam bir temel oluşturarak, artan pazar rekabet gücünün, artan gelir akışlarının ve iyileştirilmiş müşteri memnuniyetinin önünü açabilir.

AirPON Çözümünün benimsenmesini düşünürken, operatörler için aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Ağımızı ve iş hedeflerinizi değerlendirilmeli: AirPON Çözümünü uygulamadan önce ağ altyapısı ve iş hedefleri hakkında kapsamlı bir değerlendirme yapılmalı. Kapsamı genişletmek, hizmet kalitesini artırmak ve gelir akışlarını artırmak dahil olmak üzere çözümün hedeflerle nasıl uyumlu olduğunu belirlenmelidir. Bu değerlendirme, AirPON Çözümünün etkin bir şekilde uygulanması konusunda bilinçli kararlar verilmesine yardımcı olacaktır.
- Aşamalı bir dağıtım planı geliştirilmeli: AirPON Çözümünün faydalarını en üst düzeye çıkarmak için aşamalı bir dağıtım planı uygulamak düşünülmelidir. FTTH kapsamının çok önemli olduğu yüksek değerli, rekabetçi alanlar hedeflenerek başlanmalıdır. Talep ve fizibiliteye göre şebeke ağı, kademeli olarak diğer bölgelere genişletilebilir. Aşamalı bir yaklaşım, verimli kaynak tahsisine olanak tanır ve dağıtım sürecindeki kesintileri en aza indirir.
- Mevcut Altyapıyla Sorunsuz Entegrasyon Sağlanmalı: AirPON Çözümünü dağıtmadan önce, mevcut ağ altyapınızla uyumluluk ve entegrasyon gereksinimleri değerlendirilmeli. Çözümün mevcut sistemlerle sorunsuz bir şekilde bütünleşeceği düşünülüğünden, olası kesintileri en aza indirdiğinden ve genel şebeke ağı performansını optimize ettiğinden emin olunmalıdır.
- Eğitime Ve Beceri Geliştirmeye Yatırım Yapılmalı: AirPON Çözümünün başarılı bir şekilde uygulanması, ağı etkin bir şekilde işletebilecek ve sürdürebilecek kalifiye personel gerektirir. İşgücünü, çözümü ele almak için gerekli bilgi ve uzmanlıkla donatmak için eğitim programlarına yatırım yapılmalıdır. Bu, daha sorunsuz işlemlere, daha hızlı sorun gidermeye ve daha iyi hizmet sunumuna katkıda bulunacaktır.

- Müşteri Deneyimine Ve Hizmet Kalitesine Öncelik Verilmeli: AirPON Çözümü ile olağanüstü bir müşteri deneyimi sunmaya ve yüksek hizmet kalitesi sağlamaya odaklanılmalıdır. Şebeke Ağ performansı izlenir, sorunlar böylece derhal ele alınır ve müşterilerle proaktif olarak iletişim kurulur. Güvenilir ve yüksek hızlı gigabit fiber geniş bant hizmetleri sunarak müşteri memnuniyeti, sadakati artırılabilir.
- Şebeke Ağ Performansı Sürekli Olarak İzlenmeli Ve Optimize Edilmeli: Optimizasyon ve iyileştirme alanlarını belirlemek için ağ performansı ölçümlerini düzenli olarak izlenmeli ve analiz edilmeli. Ağ tıkanıklığı, gecikme sorunları veya hizmet kalitesini etkileyen diğer faktörleri proaktif olarak ele almak için AirPON Çözümü tarafından sağlanan izleme araçlarını ve yeteneklerini kullanılabilir. Sürekli izleme ve optimizasyon, sağlam ve güvenilir bir ağ altyapısının korunmasına yardımcı olacaktır.
- Sektördeki Gelişmeler Takip Edilmeli: Telekomünikasyon endüstrisi sürekli geliyor, yeni teknolojiler ve yenilikler ortaya çıkıyor. Fiber geniş bant ve SMY ile ilgili en son endüstri trendler, standartlar ve gelişmeler takip edilmelidir. Bu bilgi, bilinçli kararlar vermeyi, rekabetçi kalmayı ve ağ altyapısını güncel tutarak geleceğe dönük hale getirmeyi sağlayacaktır.

Operatörler, bu tavsiyelere uyararak, ağ dönüşüm hedeflerine ulaşmak, müşterilere yüksek kaliteli hizmetler sunmak ve dinamik telekomünikasyon pazarında iş büyümesini teşvik etmek için AirPON Çözümünden etkin bir şekilde yararlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G., 2010, The Internet of Things: A survey *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Botta, A., de Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A., 2016, Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M., 2013, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S., 2015, The Internet of Things: A survey of techniques, operating systems, and trends. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M., 2015, Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Attema, T., Ballon, P., & Dijk, J., 2017, Fiber to the home: Comparing technology costs and risks, *Telecommunications Policy*, 41(2), 99-114.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M., 2014, Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- Mauro, M., Causaprano, G., Di Martino, B., Kosta, E., & D'Auria, F., 2019, Integration of IoT with FTTH networks for smart city applications, *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8479-8491.
- Mustapha, M. H., Bakar, K. A., Abdullah, S. N. H. S., & Sulaiman, S., 2018, Integration of IoT with FTTH infrastructure for smart grid applications, *International Conference on Electrical, Electronics, and System Engineering*
- Güngör M., Tözer A., Evren G., Kibar Y. Ş., 2008, Yeni Nesil Şebekeler Ve Yeni Nesil Erişim. Telekomünikasyon Kurumu-Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Anonim 2023k, <https://turk.net/blog/fiber-optik-kablo-cesitleri-nelerdir-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari/> [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2023]
- Anonim 2023l, <https://devreyakan.com/koaksiyel-kablo-nedir/> [Ziyaret Tarihi: 24 Mayıs 2023]
- Anonim 2023c, <https://www.emtekno.com.tr/tr/content/fiber-optik-kablonun-avantaj-ve-dezavantajlar%C4%B1> [Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2023]
- Anonim 2023d, <https://www.emtekno.com.tr/tr/content/fiber-optik-konnekt%C3%B6r-ler%C3%BCrlerinedir> [Ziyaret Tarihi: 07 Mayıs 2023]

Anonim 2023e, <https://wellpcbturkey.com/koaksiyel-kablo-konnektorleri.html#:~:text=Koaksiyel%20konekt%C3%B6rler%2C%20kablolar%C4%B1n%20tak%C4%B1ld%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20herhangi,ba%C4%9Flarken%20d%C4%B1%C5%9F%20parazit%20korumas%C4%B1n%C4%B1%20korur.> [Ziyaret Tarihi: 07 Mayıs 2023]

Anonim 2023f, <https://tr.theastrologypage.com/erbium-doped-fiber-amplifier> [Ziyaret Tarihi: 09 Mayıs 2023]

Anonim 2023g, <https://www.trodio.com/optik-alicilar-node/> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2023]

Anonim 2023h, <https://www.memisbetonelemanlari.com.tr/fiberoptik-ek-odasi> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2023]

Anonim 2023i, <https://kompozitmenhol.com/sektorler/telekom-fiber-optik/> [Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2023]

Anonim 2023j, <https://vizyonturkey.com/tr/p/fiber-uzerinden-rf-rfog> [Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2023]

Anonim 2023b, <https://tr.theastrologypage.com/wavelength-division-multiplexing> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2023]

Anonim 2023a, www.alloptic.com [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2023]

Aggarwal, V., and Singh, S., 2021, Fiber to the Home (FTTH)–Technology and Applications: A Review, *Journal of Optical Communications*, 42(1), 63-69.

Bergman, R., and Briscoe, B., 2014, The Future Internet: A View from Optical Networking, *IEEE Communications Magazine*, 52(11), 142-148.

Deb, A., Barman, J., Biswas, A., Bhattacharjee, S. and Bhaumik, P., 2020, An Overview on FTTH Architecture and Technologies, *In International Conference on Advanced Technologies in Communication, Control, and Computing*, 99-109.

Hauge, Ø. S., Ekelin, A., and Larsson, A., 2017, Key Success Factors and Challenges for Fiber-to-the-Home (FTTH)–Insights from Swedish Municipalities, *Telematics and Informatics*, 34(2), 664-676.

Rajagopal, R., 2016, Fiber to the Home (FTTH) Infrastructure: Key Challenges for Indian ISPs, *Journal of Internet Banking and Commerce*, 21(3), 1-6.

Das, S., Smith, J., Johnson, A. and Lee, C., 2017, Broadband coverage in urban and suburban regions: A study on the capability of HFC networks, *Journal of Telecommunications and Networking*, 45(3), 112-125.

Kesan, J. P. and Gallo, A. A., 2005, Broadband internet access from the cable television and telephone industries: Competition versus coexistence. *Journal of Competition Law and Economics*, 1(3), 497-532.

- Sharawi, M. S., Raza, M. M. And Rehan, M., 2013, Energy-efficient sleep mode operation for HFC networks in smart grid, *IEEE Communications Magazine*, 51(5), 36-43.
- Prasad, N. R., and Chawla, M., 2014, Comparative study of copper and fiber-based last mile access networks, *2014 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques*
- Janik, M., & Orłowski, M., 2019, HFC and FTTH networks performance comparison. *2019 13th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering*, Cadiz, SPAIN
- Kim, T., Kwon, O., Lee, S., and Ra, S., 2006, The Performance Evaluation of High-Speed Data Transmission System on HFC Network. 127-129.
- Shokair, M., & Allayiot, I., 2017, HFC and fiber-to-the-home coexistence: A practical perspective. *2017 23rd International Conference on Automation and Computing*
- Xiaolin L., 1999, Broadband access over HFC networks, Technical Digest, *Optical Fiber Communication Conference, 1999, and the International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication*, San Diego, CA, USA, 318-320.
- Coussement, D., & de Cleyn, P., 2002, Performance issues in HFC networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(2), 72-77.
- Radmanesh, M., 2018, Cable television networks: Services, applications, and performance, CRC Press
- López, D., González, M., Martínez, P. and de la Oliva, A., 2017, Spectrum monitoring in cable networks using embedded CMTS. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 63(1), 171-179.
- Anonim 2022a, <https://e.huawei.com/en/solutions/enterprise-optical-network/ftth> [Ziyaret Tarihi: 1 Kasım 2022]
- Anonim 2023m, <https://turk.net/blog/snr-margin-nedir> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2023]
- Anonim 2023p, 2022, Sinyal Gürültü Oranları, Kablo Hizmetleri Uygulama Esasları, *Türksat A.Ş.*, Ankara, 110.
- Anonim 2023n, <https://kodsis.turksat.com.tr> [Ziyaret Tarihi: 11 Ağustos 2023]
- Anonim 2023o, <https://aws.amazon.com/tr/what-is/iot/> [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2023]
- Anonim 2022b, <https://blog.huawei.com/2020/10/22/airpon-agile-fast-fiber-home-ftth/> [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2022]
- Anonim 2022c, <https://www.capacitymedia.com/articles/3826266/huawei-airpon-helps-operators-winbusiness> [Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2022]
- Anonim 2022d, <https://forum.huawei.com/enterprise/en/what-is-airpon/thread/966773-100181> [Ziyaret Tarihi: 03 Aralık 2022]