

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LTE(4G) TAŞIMAK İÇİN KULLANILACAK TEKNOLOJILER**

**YÜKSEK LİSANS**

**Bilgisayar Müh.Murat AKIN**

**Anabilim Dalı:Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Prof. Dr. HASAN DİNÇER**

**KOCAELİ, 2010**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LTE(4G) TAŞIMAK İÇİN KULLANILACAK TEKNOLOJILER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bilgisayar Müh.Murat AKIN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 HAZİRAN 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 08 TEMMUZ 2010**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hasan DİNÇER**

(.....)  


**Üye  
Prof. Dr. Mehmet SAFAK**

(.....)  


**Üye  
Doç. Dr. Adnan KAVAK**

(.....)  


**KOCAELİ, 2010**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Gelişen telekomünikasyon dünyasında her ülke ve toplum yerini almaya çalışmaktadır. İletişim teknolojilerinde kablolu iletişimden kablosuz iletişime büyük bir aktarım olmakta ve bu dünyadaki kaynak ihtiyaçları hızla artmaktadır. Dünyadaki yeni eğilim 4G ile birlikte artık kablolu teknolojilerde yapabildiğimiz her şey kablosuz ortamda da yapılabilecektir. Hatta kablosuz ağlardaki trafik miktarı ve kullanıcı sayısı kablolu ağların önüne geçecektir. Tezimde kablosuz ağlardan olan LTE mimarisini tanıttım. Bunun için kullanılacak donanımın ve kurulacak alt yapının nasıl konumlandırılacağı ve hangi teknolojilerin kullanılacağı üzerine araştırma ve deneyler yapıp şimdiden bu konu üzerindeki gelişimleri açıklamaya çalıştım.

4G teknoloji üzerinde beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen takım arkadaşım Mehmet DALYANDA'ya, testleri yapmakta laboratuvarı kullanmamı sağlayan takım müdürüm Recep PATAN'a, proje ve tez aşamasında fikirleri ile beni yönlendiren ve teşvik eden danışmanım Prof. Dr. HASAN DİNÇER'e teşekkür ederim.

Ayrıca beni her konuda destekleyen bugünlere getiren babam Mehmet AKIN ve annem İlhan AKIN'a, her zaman yanımda olan eşim Ebru AKIN'a sonsuz minnet duyarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
İNGİLİZCE ÖZET.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LTE TEKNOLOJİSİ.....	2
2.1. LTE Teknolojisinden Önce Kullanılan Uygulamalar ve Bant Genişliği .....	5
2.2. LTE Teknolojisi Gereksinimleri.....	7
3. GENEL LTE MİMARİSİ VE KULLANILACAK DONANIMLAR .....	8
3.1. Kullanıcı Cihazı (User Equipment) UE .....	9
3.2. eNodeB.....	10
3.3. S-GW Servis Köprüsü (Serving Gateway).....	13
3.4. P-GW Paket Data Ağ Köprüsü.....	15
3.5. PCRF Politika ve Hesap Kaynak Özelliği .....	16
3.6. MME Hareketlilik Yönetim Birimi .....	17
3.7. HSS Abone Yönetim Merkezi.....	19
3.8. LTE' de Kullanılan Donanımların Ara Yüz Özetleri .....	20
4. LTE TAŞIMA ERİŞİM TEKNOLOJİ SEÇENEKLERİ .....	22
4.1. Radyo-Link (Radyo ilişim) .....	22
4.1.1. SDH radyo .....	22
4.1.2. NG-SDH radyo.....	22
4.1.3. Ethernet radyo: .....	23
4.2. VDSL2 .....	23
4.3. GPON (Gigabit Pasif optik Ağ).....	25
4.3.1. İki Farklı Dalga Boylu Taşıyıcı Kullanan Sistem(Diplexer) .....	26
4.3.2. Üç Farklı Dalga Boyunu Kullanan Taşıyıcı Sistem (Triplexer) .....	28
4.4. NG-SDH (Gelecek nesil SDH) .....	29
4.5. Metro Ethernet.....	30
5. LTE TAŞIMA TOPLAMA SEÇENEKLERİ .....	32
5.1. LTE Altyapısını Oluşturmak İçin Gerekli Kıstaslar .....	32
5.2. LTE Toplama Ağı İçin Kullanılacak Teknolojiler .....	34
5.2.1. MPLS Çoklu Protokol Etiket Yönetimi .....	34
5.2.1.1. MPLS'in kullanım nedenleri.....	35
5.2.1.2. MPLS'in çalışma prensibi.....	36
5.2.1.3. MPLS'de kullanılan cihazlar ve MPLS terminolojisi .....	36
5.2.1.4. LDP .....	38
5.2.1.5. FEC .....	38
5.2.1.6. İşaretleme protokolleri.....	39
5.2.1.7. LDP mesajları: .....	41
5.2.1.8. MPLS protokol yığını.....	41
5.2.1.9. Etiket takası ve verinin aktarılması .....	43
5.2.1.10. Servis kalitesi kıstasları.....	45
5.2.2. MPLS üzerinden verilebilecek servisler .....	47
5.2.2.1. Noktadan noktaya Katman 2 Hat .....	48

5.2.2.2. Çok noktadan çok noktaya katman 2 hat.....	50
5.2.2.3. Noktadan noktaya katman 3 hat.....	51
5.2.2.4. Çok noktadan çok noktaya katman 3 hat.....	51
5.2.3. Ethernet.....	52
5.2.3.1. Ethernet çerçevesi tipleri ve ethertype alanı.....	53
5.2.4. Yüksek hızlı ethernet.....	56
5.2.5. Gigabit ethernet.....	57
5.2.6. 10-Gigabit ethernet.....	58
5.2.7. 40 Gigabit ethernet ve 100 Gigabit ethernet.....	59
5.2.8. Ethernet üzerinden verilebilecek servisler.....	59
5.2.8.1. L2 VPN (noktadan noktaya VPN).....	59
5.2.8.2. L2 çok noktadan çok noktaya VPN.....	60
5.2.9. Multicast Mimarisi.....	60
5.2.9.1. Muticast (noktadan çok noktaya trafik).....	60
5.2.9.2. Muticast Yönlendirme Protokolleri.....	61
6. KABLOSUZ AĞ TAŞIMA ÖNERİSİ.....	64
7. LTE TAŞIMA UYGULAMASI TESTLERİ.....	70
7.1. Kullanılan Trafik Tipleri.....	71
7.2. Test 1 Taşıyıcı Ethernet.....	71
7.2.1. Unicast trafik testi.....	71
7.2.2. Multicast trafik testi.....	76
7.3. Test 2 IP/MPLS.....	80
7.3.1. Unicast trafik testi.....	80
7.3.1.1. IP/MPLS Anahtarlama Modu.....	80
7.3.1.2. IP/MPLS ve Ethernet Toplanmış Model testi.....	85
7.3.2. P2MP-LSP Testi.....	91
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	102

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1:Paralel Ağlar .....	1
Şekil 2.1: GSM Ağ Değişimi [14].....	2
Şekil 2.2: Devre anahtarlama dan paket anahtarlama ya geçiş.....	3
Şekil 2.3: E-UTRAN uçtan uca erişim mimarisi .....	4
Şekil 2.4: Kablosuz erişim teknolojileri gelişimleri [13].....	5
Şekil 2.5: Kablol u ve kablosuz erişim teknolojileri [13] .....	7
Şekil 3.1: Uçtan uca 3G ve 4G mimarisi.....	8
Şekil 3.2:eNodeB konumu ve fonksiyonları .....	10
Şekil 3.3: LTE mimarisinde S-GW konumu .....	14
Şekil 3.4: LTE mimarisinde P-GW konumu .....	16
Şekil 3.5: LTE mimarisinde PCRF konumu .....	17
Şekil 3.6: LTE mimarisinde MME konumu.....	19
Şekil 4.1: VDSL2 ağ mimarisi.....	24
Şekil 4.2: VDSL2 Ağ Mimarisi 2 .....	24
Şekil 4.3: GPON ağ diyagramı (iki dalgaboyunu kullanan sistem).....	27
Şekil 4.4: GPON Diplexer .....	27
Şekil 4.5: GPON RF Overlay Ağ .....	28
Şekil 4.6: GPON Triplexer.....	29
Şekil 4.7: NG-SDH.....	30
Şekil 4.8: Metro Ethernet .....	30
Şekil 5.1: E-UTRAN LTE bağlantı gereksinimleri .....	32
Şekil 5.2: RSVP ve LDP karşılaştırması.....	40
Şekil 5.3: Etiket değişimi .....	41
Şekil 5.4: Etiket değişimi .....	42
Şekil 5.5: MPLS etiket formatı.....	42
Şekil 5.6: MPLS ile ATM arasındaki benzerlikler .....	43
Şekil 5.7: Etiket alanlarının değişimi ile etiket değişimi.....	43
Şekil 5.8: MPLS' de paket iletimi senaryo 1 .....	44
Şekil 5.9: MPLS' de paket iletimi senaryo 2 .....	45
Şekil 5.10: MPLS' de paket iletimi senaryo 3 .....	45
Şekil 5.11: Martini kapsüllenme [19].....	47
Şekil 5.12: Noktadan noktaya sanal bağlantı .....	48
Şekil 5.13: Farklı servis tipleri .....	49
Şekil 5.14: VPLS çok noktadan çok noktaya 2.katman servis[19] .....	50
Şekil 5.15: Noktadan Noktaya L3 sanal bağlantı .....	51
Şekil 5.16: Çok noktadan çok noktaya L3 sanal bağlantı .....	52
Şekil 5.17:Ethernet type 2 frame yapısı [20].....	54
Şekil 6.1: Paralel Ağlar.....	64
Şekil 6.2: Toplanmış Metot (Aggregated).....	66
Şekil 6.3: Farklı erişim teknolojileri kullanımı .....	67
Şekil 6.4: Birden fazla erişim PW teknolojisi.....	67
Şekil 7.1: Unicast link kesilme öncesi trafik akışı .....	72
Şekil 7.2: Yapılandırma Dosyası .....	72
Şekil 7.3: RSTP tablosu .....	73
Şekil 7.4: MAC tablosu.....	73
Şekil 7.5: Portlardaki trafik akışı.....	73
Şekil 7.6: Unicast link kesildikten sonra trafik akışı .....	74
Şekil 7.7: Link kesildikten sonra RSTP tablosu .....	74

Şekil 7.8: Link kesildikten sonra mac tablosu .....	74
Şekil 7.9: Link kesilme sonucu .....	75
Şekil 7.10: Link kesilme sonucu trafik akışı .....	75
Şekil 7.11: Link kesilme sonucu trafik akışı .....	76
Şekil 7.12: Multicast link kesilme öncesi trafik akışı .....	77
Şekil 7.13: Multicast yapılandırma dosyası .....	77
Şekil 7.14: Link kesilmeden önceki IGMP tablosu .....	78
Şekil 7.15: Link kesilmeden önceki trafik akışı .....	78
Şekil 7.16: Muticast link kesilmesi sonrası trafik akışı .....	79
Şekil 7.17: Link kesildikten sonraki IGMP tablosu .....	79
Şekil 7.18: Link kesilmeden sonraki trafik akışı .....	80
Şekil 7.19: IP/MPLS testleri link kesilmeden önceki topoloji .....	81
Şekil 7.20: IP/MPLS L2 Servis Yapılandırma .....	82
Şekil 7.21: IP/MPLS link kesilmeden önceki mac tablosu.....	82
Şekil 7.22: IP/MPLS link kesilmeden önceki tünel tablosu.....	82
Şekil 7.23: IP/MPLS link kesilmeden önceki trafik akışı .....	83
Şekil 7.24: IP/MPLS link kesilmesi sonraki mac tablosu.....	83
Şekil 7.25: IP/MPLS link kesilmesi sonraki tünel tablosu.....	84
Şekil 7.26: IP/MPLS link kesilmeden sonraki trafik akışı .....	84
Şekil 7.27: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu .....	85
Şekil 7.28: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu .....	85
Şekil 7.29: Toplanmış Model.....	86
Şekil 7.30: L3 Servis Test .....	86
Şekil 7.31: L2 Servis konfigürasyonu .....	87
Şekil 7.32: Toplanmış model link kesilmeden önceki mac tablosu .....	87
Şekil 7.33: Toplanmış model link kesilmeden önceki tünel tablosu .....	87
Şekil 7.34: Toplanmış model Router Ara yüzleri.....	88
Şekil 7.35: Toplanmış model Router ara yüz 2.....	88
Şekil 7.36: Toplanmış model link kesilmeden sonraki mac tablosu .....	88
Şekil 7.37: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu .....	89
Şekil 7.38: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu .....	89
Şekil 7.39: Muticast Toplanmış Model.....	89
Şekil 7.40: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden önceki IGMP tablosu .....	90
Şekil 7.41: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden önceki tünel tablosu.....	90
Şekil 7.42: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden sonraki IGMP tablosu .....	90
Şekil 7.43: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden sonraki tunnel tablosu .....	91
Şekil 7.44: Mutlicast Toplanmış Model.....	92
Şekil 7.45: P2MP Konfigurasyonu.....	93
Şekil 7.46: P2MP LSP durumu.....	93
Şekil 7.47: P2MP Trafik akışı .....	94

## **TABLULAR DİZİNİ**

Tablo 4.1: VDSL2 ve VDSL karşılaştırma[15] .....	25
Tablo 5.1: E-UTRAN LTE kullanılan trafikler ve karakteristikleri.....	34
Tablo 5.2: Ethernet ara yüz tipleri .....	57
Tablo 7.1: P2MP Konfigurasyonu .....	92



## KISALTMA LİSTESİ

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project – 3. Nesil Mobil İletişim Ortaklık Projesi
AAA	Authentication, Authorization and Accounting - Kimlik Denetleme, Yetkilendirme ve Hesaplama
ADLS	Asymmetric Digital Subscriber Line-Düzensiz Dijital Kullanıcı Hattı
AM	Acknowledged Mode – Onaylanmış Mod
BCH	Broadcast Channel - Yayın Kanalı
BM-SC	Broadcast Multicast Service Center – Yayın ve Çoklu Gönderim Hizmet Merkezi
CAPEX	Capital Expenditure-Cihaz Maliyeti
CN	Core Network – Çekirdek Ağ
CRC	Cyclic Redundancy Check – Çevrimsel Hata Denetimi
CS	Circuit Switched - Devre Anahtarlama
DCCH	Dedicated Control Channel - Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer –Digital Kullanıcı Hattı Erişim Çoklayıcısı
E-UTRAN	Evolved UTRAN – Geliştirilmiş UTRAN
ECM EPS	Evolved Connection Management - EPS Bağlantı Yönetimi
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM and TDMA – Gelişmiş Veri Hızları
EMM EPS	Evolution - Mobility Management - EPS Hareketlilik Yönetimi
eNB	Evolved NodeB – Geliştirilmiş NodeB
EPC	Evolved Packet Core – Geliştirilmiş Paket Çekirdek
EPS	Evolved Packet System - Geliştirilmiş Paket Sistemi
ETSI	European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FDD	Frequency Division Duplexing – Frekans Bölmeli Çiftleme
FDMA	Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
GPON	Gigabit Passive Optical Network – Gigabit Pasif Optik Ağ
GPRS	General Packet Data Service – Genel Paket Data Hizmeti
GSM	Global System for Mobile Communications – Mobil Haberleşme İçin Global Sistem
GTP	GPRS Tunneling Protocol - GPRS Tünelleme Protokolü
GTP-U GTP	User Data Tunneling – GTP Kullanıcı Data Tünellemesi
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request - Melez Otomatik Tekrar Talep
HD	Half Duplex – Yarım Dupleks
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access – Yüksek Hızlı Paket İndirme
IP PoP	IP Point of Presence – IP Noktası Varlığı
ITU	International Telecommunication Union – Uluslararası Telekomünikasyon Birimi
LA	Location Area - Konum Alanı
LTE	Long Term Evolution – Uzun Vadeli Gelişim
MAC	Medium Access Control - Orta Erişim Kontrolü
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services – Çoklu Ortam Yayın ve Çoklu Gönderim Hizmetleri

MCCH	Multicast Control Channel - Multicast (Çoklu Gönderim) Kontrol Kanalı
MCE	MBMS Control Entity – MBMS Kontrol Birimi
MCH	Multicast Channel – Multicast Kanalı
MIMO	Multiple Input Multiple Output – Çoklu Giriş Çoklu Çıkış
MM	Mobility Management - Hareketlilik Yönetimi
MME	Mobility Management Entity - Hareketlilik Yönetim Birimi
MPLS	Multiprotocol Label Switching - Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama
MU-MIMO	Multi User MIMO – Çoklu Kullanıcı MIMO
RSVP	Resource Reservation Protokol – Kaynak Rezervasyon Protokolü
LDP	Label Distribution Protocol- Etiket Dağıtım Protokolü
NG-SDH	Next Generation Synchronous Optical Networking - Gelecek Nesil Senkron Optik Network
OSPF	Open Shortest Path First – En Kısa Yol Algoritması
OPEX	Operation Expenditure - Operasyonel Maliyet
ISIS	Intermediate System To Intermediate System – Orta Seviye Sistemlerden Orta Seviye Sistemlere
OAM	Operation And Maintenance – İşletim ve Bakım
ONT	Optical Network Terminal – Optic Ağ Terminali
PCRF	Policy and Charging Resource Function – Politika ve Hesap Kaynak Özelliği
P-GW(PDN-GW)	Packet Data Network Gateway - Paket Data Ağ Geçidi
PDU	Protocol Data Unit – Protokol Data Birimi
PLMN	Public Land Mobile Network – Kamusal Karasal Mobil Şebeke
POTS	Plain Old Telephone Service - Basit Eski Telefon Servisi
PS	Packet Switched – Paket Anahtarlama
PTM	Point to Multipoint – Noktadan Çok Noktaya
QoS	Quality of Service – Hizmet Kalitesi
RA	Routing Area - Yönlendirme Alanı
RAN	Radio Access Network – Radyo Erişim Ağı
RANAP	Radio Access Network Application Protocol - Radyo Erişim Ağı Uygulama Protokolü
RAT	Radio Access Technology - Radyo Erişim Teknolojisi
S-GW	Serving Gateway - Hizmet Geçidi
SAE	System Architecture Evolution – Sistem Mimarisi Gelişimi
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access – Tekil Taşıyıcı FDMA
SCTP	Streaming Control Transmission Protocol - Akış Kontrol İletişim Protokolü
SM	Session Management - Oturum Yönetimi
STM	Synchronous Transport Module Level-1 - Senkron Taşıyıcı Seviye1
SDH	Synchronous Optical Networking - Senkron Optik Ağ
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System – Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
VoIP	Voice over IP - IP Üzerinden Sesin İletimi
VDSL	Very-high-bitrate Digital Subscriber Line - Yüksek Hızlı Dijital Kullanıcı Hattı
VPN	Virtual Private Network- Sanal Özel Ağ

## LTE(4G) TAŞIMAK İÇİN KULLANILACAK TEKNOLOJILER

**Murat AKIN**

**Anahtar Kelimeler :** LTE, 4G, MPLS, Ethernet, GPON, ADSL, VDSL

**Özet:**Kablosuz erişim teknolojileri aktarılması bilindiği üzere kablolu ağlar üzerinden olmaktadır.1G ve 2G için TDM ağları kurulmuş ve büyük çoğunlukla kullanılmıştır. 3G için ATM ağları ve 4G için ethernet ağları kullanılmaktadır. Bu şebekelerden her biri için taşıma ağları kurup yönetmek CAPEX(Satın alma maliyeti) ve OPEX(Operasyonel Maliyet) maliyetlerini arttırmaktadır.

Bu tez çalışmasında kablosuz ağlardaki her bir teknoloji için ayrı ayrı taşıyıcı ağ kurmak ve işletmek yerine tek bir ağ yapısı kullanılması önerilmektedir. Bütün kablosuz ağları(2G, 3G ve 4G) toplanmış(Aggregated) metod yöntemi ile aktarmak için tek bir taşıyıcı(Backhoul) ağ kullanılması savunulmaktadır. 4G'de kullanılması gereken Ethernet ile MPLS'in birleştirilmesi ve TDM ve ATM ağlarından şu anki 2G ve 3G şebekelerinin MPLS üzerinden taşınması önerilmektedir. Hatta erişim teknolojileri için yalın ethernet sağlamak maliyetli olacaktır. MPLS teknolojisi ile beraber kullanılması şartı ile GPON, ADSL, VDSL ve Radio ağı gibi erişim teknolojilerinin kullanılması önerilmektedir.

Yapılan testlerde 4G için yalnız Ethernet kullanılarak taşıyıcı ağ kurulabilir. Ancak uçtan uca bütün ağları taşıyabilmek için MPLS ile Ethernet teknolojisini beraber kullanılmasının gerekli olduğu gösterilmektedir. Testlerde paket kayıpları açısından MPLS ve Ethernet birleştirilmiş metodun diğer metodlar olan sade ethernet ve MPLS'e göre daha kullanılabilir olduğu kanıtlanmaya çalışılmıştır. Paket kayıpları açısından MPLS ve Ethernet method daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuçlarda MPLS ethernet networkleri <50 ms altında koruma sağlamıştır.

## **LTE(4G) CARRIER TRANSPORT TECHNOLOGY**

**Murat AKIN**

**Keywords:** LTE, 4G, MPLS, Ethernet, GPON, ADSL, VDLS

**Abstract:** Wireless Access technologies such as 2G, 3G and 4G carried by wire line Networks. TDM transport technology used for 2G specific Networks transportation. ATM transport technology used for 3G Network transportation. The vendors want to use Ethernet technology to supplied bandwidth requirements for 4G network transportation. If we continue with this scope we will have three separate transportation Networks and It will increase the CAPEX and OPEX costs.

Instead of this each access technology carried with own transportation Network. I defend single backhaul transport Network for all those wireless access technologies. We should use MPLS with provide connection area and for the bandwidth resources. MPLS and Ethernet should be used as a combined technology for aggregation networks. For Wire line Access technology such as ADSL, VDSL2 Microwave, NG-SDH or GPON can be use to provide remote end services.

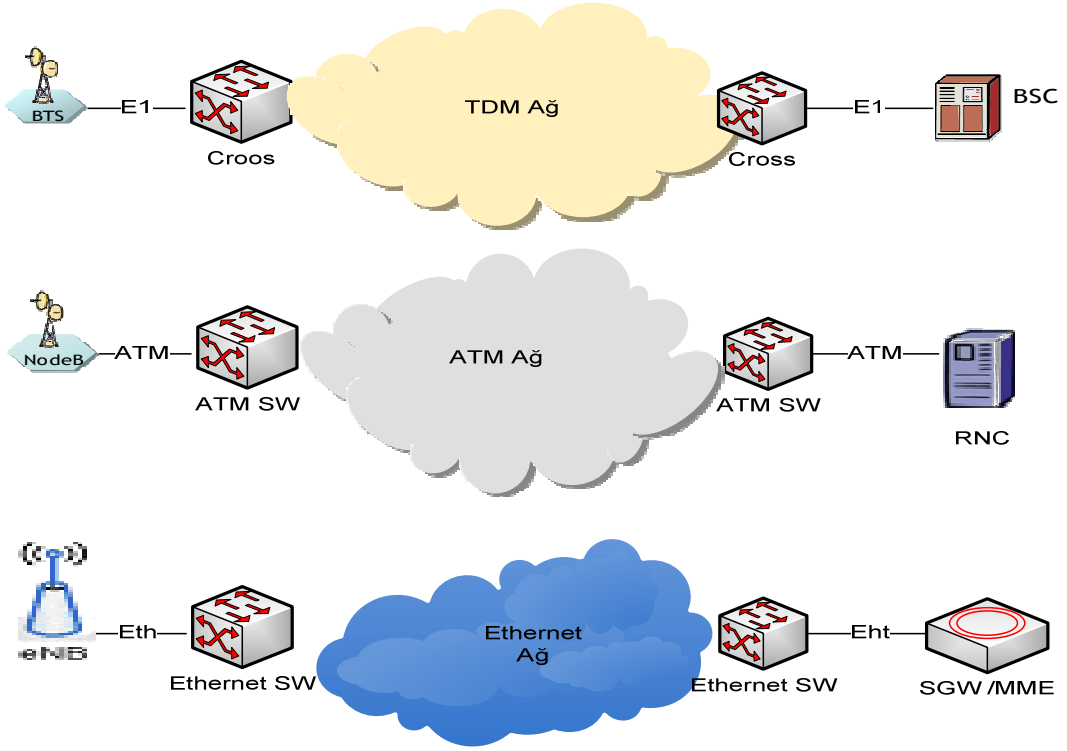
Test cases show us Ethernet+MPLS aggregated method more scalable and reliably than pure MPLS and Pure Ethernet. MPLS+Ethernet network can provide continues connection even the fault occur. Fault recovers time lower than 50ms. This result can be seen on test result part.

## 1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler bu teknolojiyi kablolu iletişim teknolojileri ile rekabet eder yapıya getirmiştir. Özellikle Wimax ve LTE (4G) ile sağlanan yüksek erişim hızları birçok uygulamanın özellikle çevrimiçi oyun, yüksek kaliteli video (HD video) servisi ve gerçek zamanlı uygulamaların mobil ortamda çalışmasına olanak sağlayacaktır. 4G ile erişim teknolojilerinde altyapı düzenlemeleri gerekecektir.

Bunun için ilk önce 4G kullanılan donanımlar ve bunların erişim ara yüzlerinden bahsedilecektir. Daha sonra bunların taşınabilmesi için gereken transport ağının bu günden 3G ve 4G uyumlu olarak kurulması için gerekli yaklaşımlar üzerinde durulacaktır. 4G için kurulması gereken alt yapıda kullanabilecek teknolojilerin detaylarından bahsedilmiştir. Çok çeşitli erişim teknolojileri üzerinde GPON, SDH ve radyo iletişim VDSL gibi teknolojiler yorumlamıştır. Çekirdek ağında da Ethernet, MPLS ve Aggregated metot üzerinde detaylar verilmiş ve bunların karşılaştırma testleri yapılmıştır. Tezimde bu ağların nasıl kurulması gerektiği üzerinde detaylı bir çalışma yapılmıştır

Operatörlerin maliyetlerinin %34'ünün taşıma olduğu düşünüldüğünde bu alanda yapılacak bir iyileştirmenin operatörler açısından önemli bulunacağı ve destekleneceği düşünülmektedir.



Şekil 1.1:Paralel Ağlar

2G için TDM, 3G için atm ve 4G için ethernet kullanıldığı düşünülürse tamamı için tek bir taşıyıcı network tasarlanması ve çalışabilir olduğunun kanıtlanması önem arz etmektedir. Bu da yukarıdaki Şekil 1.1'de gösterildiği gibi paralel ağlar sorununu çözecek ve maliyetleri düşürecektir.

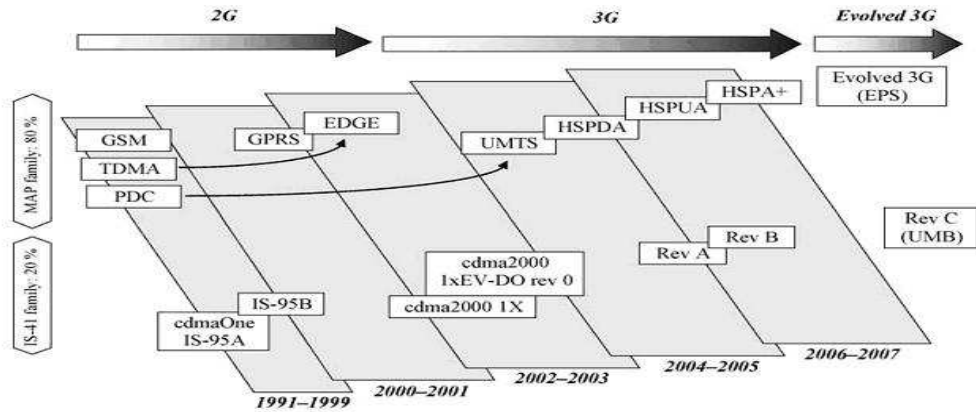
## 2. LTE TEKNOLOJİSİ

3GPP Long Term Evolution (LTE) Group 2009 Version 9'da gelecek GSM dünyasının IP üzerine kurulması gerektiğinden ve bant genişliği ihtiyaçlarının daha çok olacağından bahsetmektedir.

LTE 4G ağlarında kullanılacak baz istasyonlarının sektör başına minimum 50 Mbps gönderme, 100 Mbps indirme hızları standart haline gelmiştir [1]. Bu gelişmeler 20Mhz spektrumdan 100 Mhz'e kadar 3 sektör yardımıyla 1 Gbps indirme hızını sağlamaktadır. Şu anki 3G veri hızı 30 Mbps civarında olmaktadır. Ancak 4G ile bu yetenek 30 katı kadar artmaktadır. Şuan kullanılan transmision cihazlarını kullanmak verimsiz olacak ve ihtiyaçlarını karşılayamayacaktır.

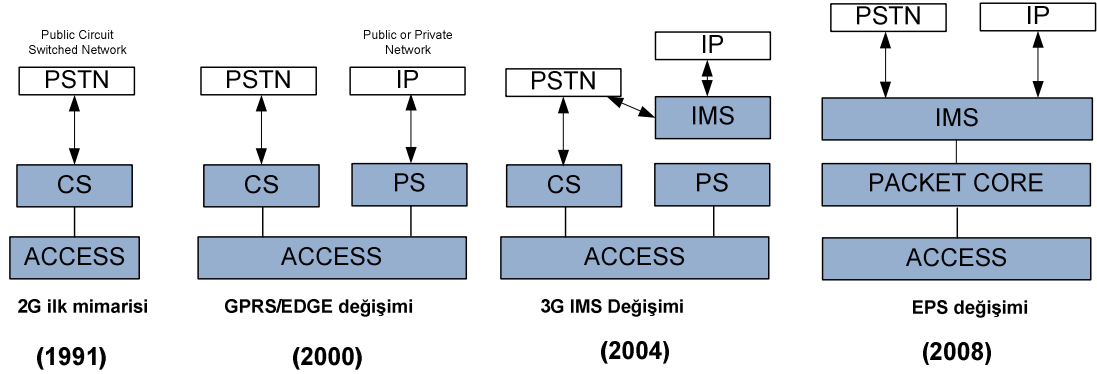
LTE deki amaç basit bir ağ ve daha az masraf ile daha iyi bir altyapı kurmak ve ağdaki sadeleştirme ile gelecek teknolojiye bu günden ortam hazırlamaktır.

Bu tezde, LTE'de kullanılacak taşıma ağının hangi teknolojiler üzerine kurulacağından ve bu teknolojilerin karşılaştırmalı olarak Üstünlükler ve eksikleri açıklanacaktır. Aynı zamanda şu anki kurulan ve kurulmaya devam eden 2G ve 3G donanımların LTE ağına nasıl bağlanması gerektiğinden bahsedilecektir.



Şekil 2.1: GSM Ağ Değişimi [14]

Şekil 2.1’de GSM şebekelerindeki değişimden bahsedilmektedir. Gelecek nesil ağ olarak LTE kullanılacağı açık bir şekilde belirtilmiştir. LTE, IP dünyasındaki basit iletişim tekniklerini kullanarak daha etkili ve daha fazla bant genişliğini daha az masrafla sağlayabilmek amacıyla oluşturulmuştur. IP, OSI referans modelinde çok uzun yıllardır kullanılmasından dolayı burada taşıyıcı teknoloji olarak seçilmiştir.



Şekil 2.2: Devre anahtarlardan paket anahtarlamaya geçiş

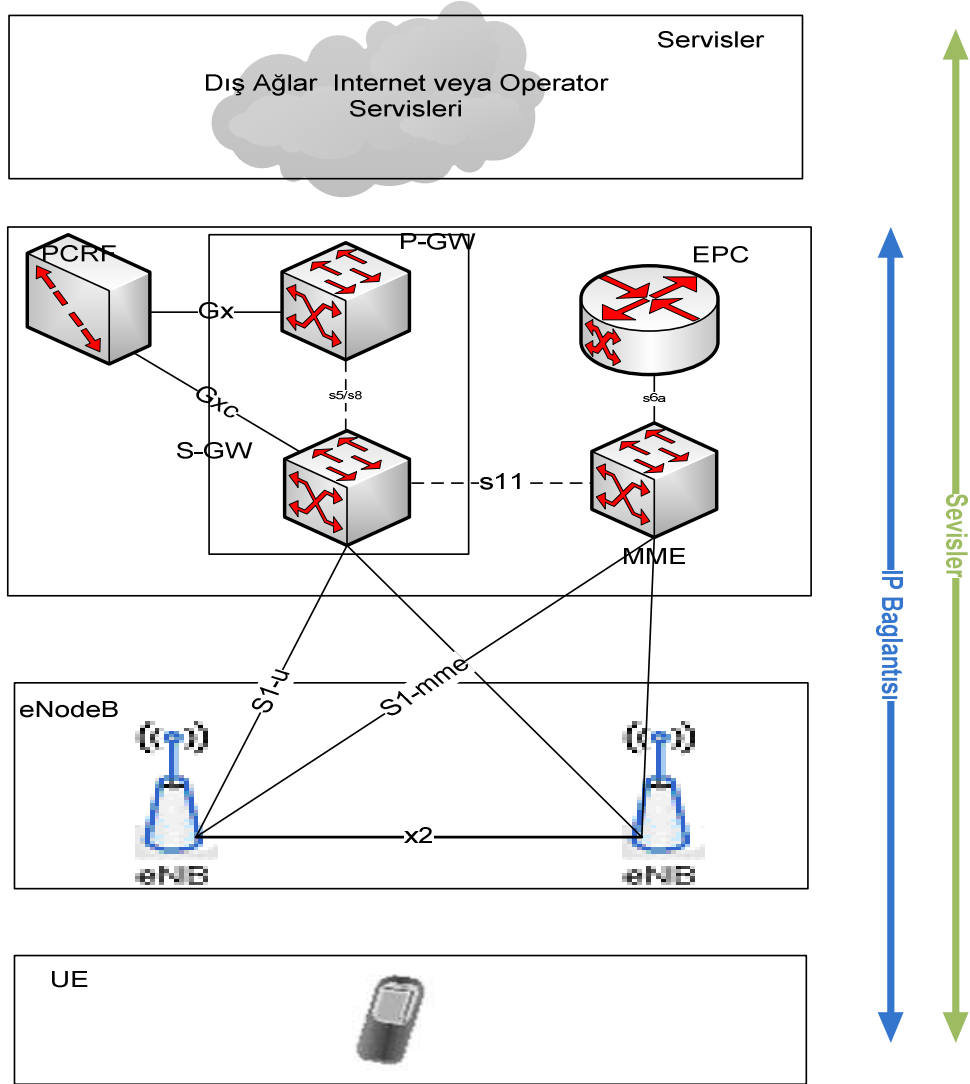
LTE’de Şekil 2.2’de görülebileceği üzere 2G ve 3G de kullanılan CS alanından tamamen vazgeçilmiştir. Bunun yerine sadece PS alanı kullanılacaktır. CS için var olan PS alanında hizmet kalitesi değerleri kullanarak kaynak paylaşımıyla bir ayrıştırma yapılacaktır. Yukarıdaki şekilde CS alanının açık bir şekilde PS çekirdekte (EPC’de) tamamen ortadan kaldırıldığı gösterilmiştir.

Daha detaylı olarak mimariyi tanıttığımız Şekil 2.3’te basit bir şekilde LTE’de kullanılan ağ cihazları gösterilmiştir. LTE genel olarak UE, E-UTRAN ve EPC mimarisinden oluşmaktadır. Radyo Erişim Ağı (Radio Access Network) ve Çekirdek Ağ (Core Network) olarak iki ana kısımdan meydana gelmektedir. UE, E-UTRAN ve EPC beraber bir şekilde IP bağlantı seviyesini meydana getirir. Beraber bir şekilde oluşan bu mimari EPS (Evolved Packet System) diye adlandırılır.

Bu seviyedeki bütün donanımların asıl amacı IP üzerinden mobil özelliklerini en uygun şekilde sağlamaktır. IP transport kullanılarak daha önce bahsettiğimiz devre anahtarlama yerine artık IP kullanılması gerçekleşecektir. Bunlardan IMS Servisleri üzerinden Voip kullanılarak PSTN’e geçiş yapılabilir. LTE’de radyo kaynak kullanımı ve tahsisi ile ilgili bütün fonksiyonlar eNodeB üzerinde birleştirilmiştir. Bu eNodeB’ler birbirlerine X2 ara yüzleri üzerinden bağlanarak sıkı bir şekilde komşuluk kurarlar. EPC’deki en büyük değişiklik devre anahtarlama ile ilgili hiçbir özelliğin

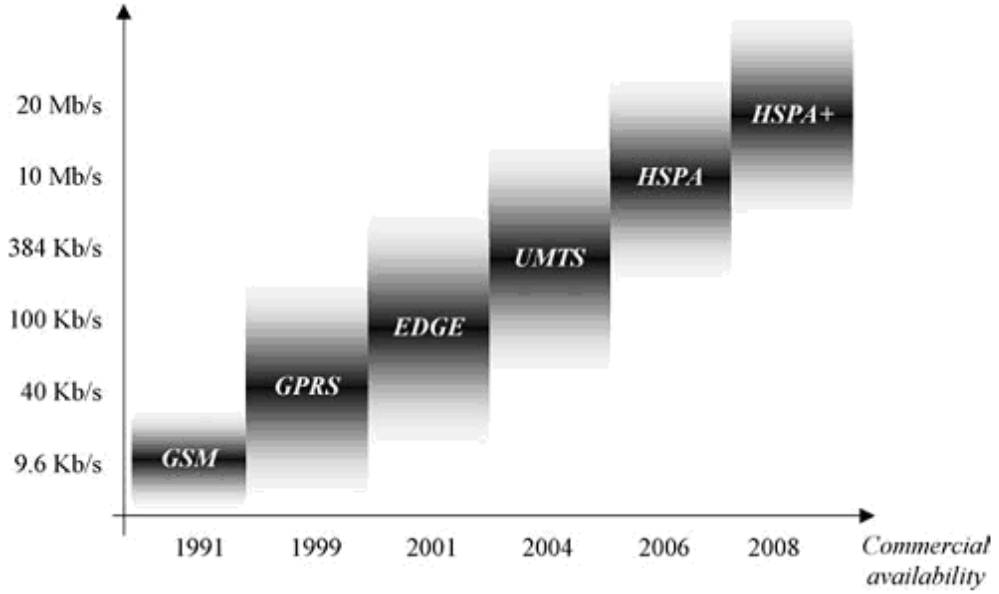


olmamasıdır. Bunun yerine eski ağlarda kullanılmayan tamamen yeni bir ağ oluşturulmuştur. S-GW ve P-GW olarak adlandırılan 2 adet yeni ağ donanım tipi meydana çıkmıştır. Bunlar kullanıcıdan gelen istekleri ele alan ve uygulama bazlı olarak her şeyin IP üzerinden taşınmasını sağlayan donanımlardır. Bunların yanında PCRF denilen yeni bir donanım çıkmıştır. Bu donanım uygulama ile ilgili detaylı bilgilerin S-GW'ye ve P-GW'ye atanmasından sorumludur. Önümüzdeki bölümlerde bu donanımlar ve işlevleri ile ilgili detaylı bir açıklama yapılacaktır.



Şekil 2.3: E-UTRAN uçtan uca erişim mimarisi

## 2.1. LTE Teknolojisinden Önce Kullanılan Uygulamalar ve Bant Genişliği



Şekil 2.4: Kablosuz erişim teknolojileri gelişimleri [13]

### GSM

En iyi bilinen ilklere biri olan GSM 1991'de ticari olarak hayatımıza girmiştir. Teknoloji olarak TDMA/FDMA (Time Division Multiple Access / Frequency Division Multiple Access) ve GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) radyo modülasyonunu kullanır. İlk günlerde GSM sadece ses aktarımı için kullanılırken daha sonra SMS ve düşük hızlarda devre anahtarlamalı 9.6 Kbps hızlarında veri aktarımı için kullanılmıştır.

### GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) ise 1999 başarında ortaya çıkmış ve GMSK modülasyonunu kullanarak 20 Kbps hızlarında veri aktarımına olanak sağlamıştır. GPRS, ortak radyo kanallarının ortamdaki aygıt tarafından paylaşımlı olarak bazı zaman aralıklarında kullanılması ile gönderme ve indirme yönünde daha hızlı erişimine olanak vermiştir.

## EDGE

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), 8PSK (8 Phase Shift Keying) modülasyonu kullanarak daha hızlı veri transfer hızlarına olanak sağlamıştır. En hızlı kod şemasını kullanarak 50 Kbps teorik veri iletimini sağlar. GPRS ile birlikte kullanılması paketlenmiş veri aktarımı için uygun bir ortam sağlamıştır.

## UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), 3GPP tarafından geliştirilmiştir. Ticari olarak 2001'de Japonya'da kullanılmaya başlanmıştır. CDMA kullanımıyla toplamda 384 Kbps hıza ulaşabilmesi UMTS için büyük bir avantajdır. Teorik olarak 2 Mbps hıza kadar ulaşabilir. UMTS sim kart olarak 2G'den farklı bir sim kart kullanır. Bu sim kart GSM ile geri uyumludur. GSM ağlarında servislere ve UMTS servislerine aynı sim kart ile ulaşılabilir.

## HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), UMTS üzerine geliştirilerek ticari olarak 2005'te ortaya çıkmıştır. HSDPA, kullanıcı terminalin net hızını indirme yönünde artırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) denilen yeni bir modülasyon tipini tanıtmıştır. Teorik olarak 14.4 Mbps hızına ulaşılabilir. 3.6 Mbps gerçekçi hızı olarak denenmiştir.

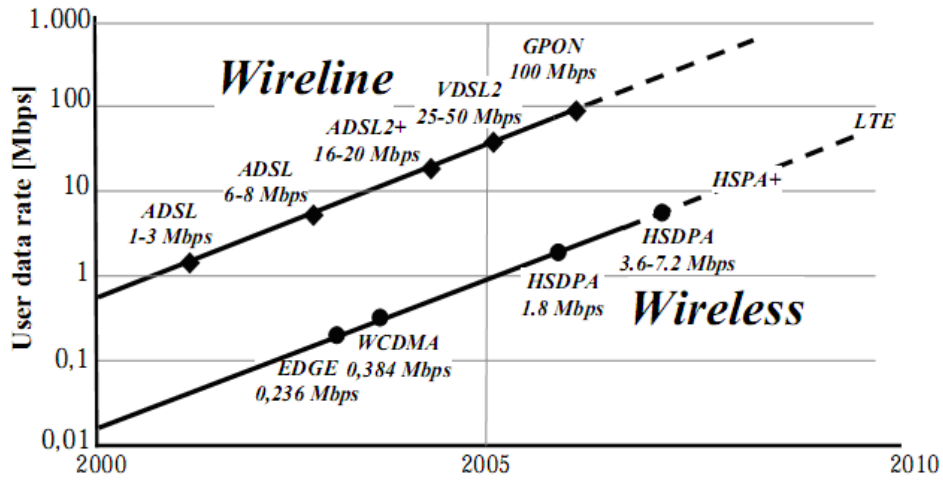
HSDPA paylaşımlı radyo semasını kullanarak 2ms bir radyo arayüzü değerlendirmesi ve allokasyonunu yapar. Sistem bu şekilde patlamalı trafik artışına uygundur. BTS'ler kullanıcı için internet trafiğine yani patlamalı trafiğe uygundur.

## HSUPA

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), mobil kullanıcıdan baz istasyonuna gönderim için tasarlanmış bir teknolojidir. Paket taşımalarının terminalden ağı doğru aktarılma standartlarını belirler. HSUPA 5.7 Mbps hızında gönderimi tek terminale sağlayabilmektedir. HSDPA ve HSUPA tek terminal için hızlı paket radyo arayüzü sağlar. Devre anahtarlama taşıma ağını kullanılır.

## HSPA+

HSPA+ (High Speed Packet Access Plus), 2008'de 3G ile tam uyumlu olarak ortaya çıkmıştır. LTE gibi 5Mhz WCDMA radyo kanallarını kullanır. MIMO (Multiple Input Multiple Output) kullanarak 42 Mbps indirme 11 Mbps gönderme hızı sağlayabilmektedir. HSPA+ modülasyon tekniği olarak 16QAM ve 64QAM kullanır. Aynı teknik LTE için de kullanılacaktır.



Şekil 2.5: Kablolu ve kablosuz erişim teknolojileri [13]

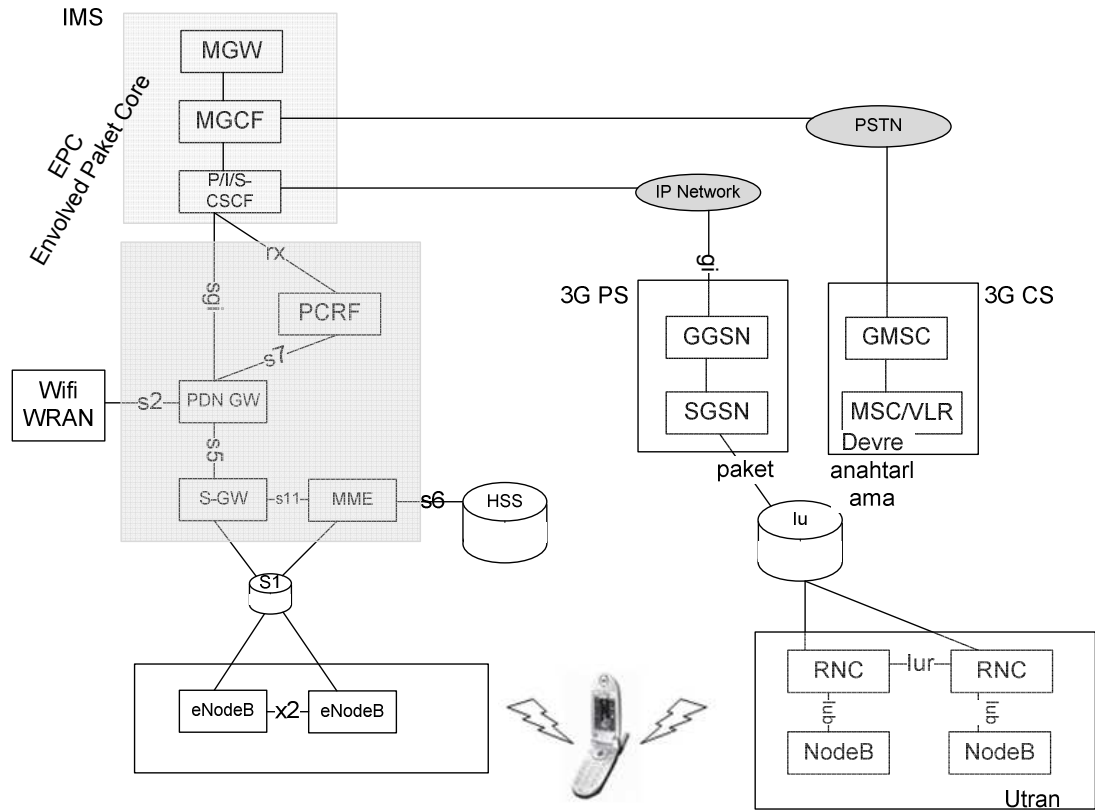
Şekil 2.5'de kablolu ve kablosuz erişim hızlarının yıla göre gelişimi gösteren grafik verilmiştir.

## 2.2. LTE Teknolojisi Gereksinimleri

LTE kullanılacak donanımlardan radyo ara yüzü için son olarak 3GPP sürüm 10'da 1 Gbps indirme 500 Mbps gönderme hızlarının paylaşımlı olarak sağlanabileceği standartlaştırılmıştır. Taşıyıcı olarak kullanılacak ara yüz şu an için çokça kullanılan Gigabit Ethernet olabilir. Önümüzdeki bölümlerde bu taşıyıcı network üzerinde durulacak ve nasıl kurulacağı ve hangi teknoloji kullanılırsa ne gibi avantajlar sağlayacağı değerlendirilecektir.

### 3. GENEL LTE MİMARİSİ VE KULLANILACAK DONANIMLAR

UMTS standartlarına bakıldığında tasarım yapısı 2G/GSM'e çok benzemektedir. Şekil 3.1'de olduğu gibi NodeB'ler radyo ara yüzü olmasına rağmen yönetimleri 2G'de olduğu gibi RNC(Radio Network Controller)'ye kaydırılmıştır. Mimarisel olarak 2G'deki gibi Yıldız Model kullanılmıştır. Iub ara yüzlerinden 3G UMTS ağları NodeB ile RNC arasındaki iletişimi sağlamaktadır.



Şekil 3.1: Uçtan uca 3G ve 4G mimarisi

Bunlara ek olarak RNC'ler arasında Iur ara yüzü farklı RNC'ler tarafından yönetilen NodeB'ler arasında Mobil özelliklerini de sağlamaktadır. 3G ağlarında bahsedilmek istenen radyo kaynak ayrımı, trafik yönetimi ve kapasite gibi bütün işlerin RNC

tarafından yönetilmesidir. Bu yüzden RNC karmaşık mimarili ve donanım maliyetleri çok yüksek olan bir cihazdır. UTRAN(3G) ile E-UTRAN karşılaştırsak; E-UTRAN mimarisi UMTS göre çok daha basit olmuştur. RNC donanım ortadan kaldırılmış, onun görevleri daha çok NodeB ve ileriki başlıklarda anlatacağıdır. Diğer LTE donanımlarına kaydırılmıştır. NodeB'ler artık E-NodeB olarak adlandırılmaktadır.

EnodeB'ler RNC olmadığı için LTE'de doğrudan S1 ara yüzü üzerinden Çekirdek Ağa bağlanmaktadır. RNC özellikleri EnodeB, MME ve S-GW arasında dağıtılmıştır. X2 ara yüzü bu mimari ile birlikte tanıtılmış ve EnodeB'nin komşu hücrelerle arasında doğrudan bir ara yüz olması gerektiği Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Amaçlanan eldeğiştirme yapılacaksa bunun uç noktada eNodeB üzerinde yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu şekilde paket kaybı minimize edilebilecektir. O an çalışan eNodeB üzerindeki paketler bu ara yüz üzerinden komşu eNodeB'ye aktarılır. LTE ile birlikte gelen güzel özelliklerden biri de bu yapı için sadece 3GPP'de tanımlanan erişim teknolojilerine ihtiyaç olmamasıdır. WLAN, Wifi, WRAN veya WIMAX baz istasyonunda doğrudan IP üzerinden terminaller P-GW ile iletişim kurabilecekler ve LTE hizmeti alabileceklerdir. Mimarisel olarak IP ile birlikte esnek bir ortam yaratılmıştır.

eNodeB'lerin radyo ara yüzü üzerinden modülasyon ve demodülasyon yapma, kanal kodlama ve kodlamayı çözme gibi görevleri devam etmektedir. Radyo kaynak kontrolü ve radyo ara yüzü uyumluluğu OSI 2. katmanına göre yapılandırılmıştır. Bir sonraki başlıkta eNodeB ve diğer LTE donanımlarının görevleri hakkında detaylı bilgiler bulunabilir.

### **3.1. Kullanıcı Cihazı (User Equipment) UE**

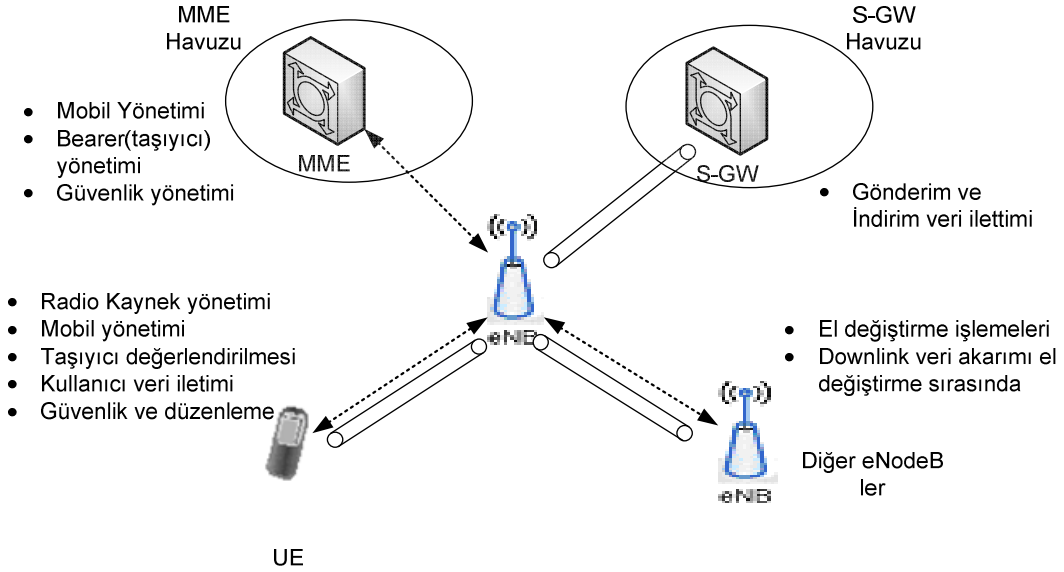
UE (User Equipment) olarak adlandırılan donanım günümüzde kullandığımız cep telefonu gibi düşünülebilir. Ancak özellikle LTE ile birlikte daha çok bant genişliği olduğundan dolayı çok daha farklı uygulamalar artık mobil ağlar üzerinden bağlanıp istenilen işlemler yapılabilir.

Bu UE'lerin içinde ağ bağlanması için gerekli USIM (Universal Subscriber Identity Module) bulunur. USIM, mobil ağ bağlantısı için gerekli kimlik doğrulama ve profillerin atanması, izinlerin kontrol edilmesi gibi işlemlerin başlatıldığı noktadır.

Fonksiyonel olarak UE, uygulamaların iletişimini sağlayan ağ bağlantılarının kurulmasını, düzenlenmesini ve sonlandırılmasını sağlayan donanımdır. UE aynı zamanda El değiştirme gibi işlemlerin yer bildirim güncellemesi gibi işlemleri yapar. LTE ve mobil dünyasında en önemli olan özellik ise UE mobil dünyası için ses aktarımını Voip kullanarak gerçekleştirecek olmasıdır.

### 3.2. eNodeB

eNodeB, EPS mimarisindeki RAN (Radio Access Network - Radyo Erişim Ağı) düğümüdür. eNodeB bir ya da birden fazla hücredeki UE'lere radyo ara yüzü üzerinden veri gönderimi ve alımından sorumludur. eNodeB, S1 ara yüzü vasıtasıyla EPC düğümlerine bağlıdır. Aynı zamanda X2 ara yüzü vasıtasıyla da komşu eNodeB'lere bağlıdır. UTRAN'a kıyasla, eNodeB'nin işlevlerinde bazı önemli değişiklikler yapılmıştır. Sürüm 6'daki RNC (Radio Network Controller - Radyo Ağ Kontrolcüsü) işlevselliğinin büyük kısmı E-UTRAN'da eNodeB'lere kaydırılmıştır. Şekil 3.2'de konumlanması hakkında detaylı bilgi görülebilir.



Şekil 3.2:eNodeB konumu ve fonksiyonları

Aşağıda eNodeB tarafından sağlanan işlevselliğin tanımlaması verilmiştir:

- Hücre Kontrolü ve MME Havuz Desteği

eNodeB'ler, kendi hücrelerinin radyo kaynaklarına sahiptir ve onları kontrol etmektedir. Hücre kaynakları belli bir düzen içinde MME'ler tarafından istenip alınmaktadır. Bu ayarlama, MME havuzlama konseptini desteklemektedir. S-GW havuzlaması, MME'ler tarafından yönetilir ve gerçekte eNodeB'lerde görünmemektedir.

- Hareketlilik Kontrolü

eNodeB, aktif durumdaki terminaller için hareketlilik kontrolünden sorumludur. Bu kontrol UE'nin, ölçümleri yerine getirecek şekilde ve gerekli olduğunda çağrılarının el değiştirmesini sağlayacak biçimde düzenlenmesiyle mümkün olmaktadır.

- Kontrol ve Kullanıcı Güvenliği

Radyo ara yüzü üzerinden kullanıcı veri şifrelemesi, eNodeB'de sonlandırılmaktadır. Aynı zamanda RRC (Radio Resource Control - Radyo Kaynak Kontrolü) sinyalleşmesinin şifrelenmesi ve bütünlük koruması da eNodeB'de sonlandırılmaktadır.

- Paylaşılmış Kanal İdaresi

eNodeB, hücre kaynaklarına sahip olduğu için aynı zamanda sinyalleşme ve başlangıç erişimi için kullanılan paylaşılmış ve rasgele erişim kanallarını da idare etmektedir.

- Parçalama/Birleştirme

PDPC (Packet Data Convergence Protocol - Paket Data Birleşim Protokolü) katmanından alınan RLC SDU'ları (Service Data Unit - Hizmet Data Birimi), belki de fiziksel katman tarafından desteklenen taşıma blok boyutundan da daha geniş olmak kaydıyla, tüm IP paketlerini içermektedirler. Bu yüzden RLC katmanı taşıma



yükünü, taşıma blok boyutuna uyarlamak için parçalama ve birleştirme işlevlerini desteklemek zorundadır.

- HARQ

MAC (Medium Access Control - Orta Erişim Kontrolü) HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request - Melez Otomatik Tekrar Talep) katmanı, hızlı bir geri bildirim ile radyo kanalındaki çoğu hatayı hızlı bir şekilde düzeltmek için bir araç sağlamaktadır. Düşük gecikme ve radyo kaynaklarının verimli kullanılması amacıyla, HARQ kabul edilebilir hata oranı ile çalışır ki bu doğal hata oranı yalnızca VoIP (Voice over IP – IP Üzerinden Sesin İletimi) gibi orta düzeyde hata oran gereksinimleri olan servisler için yeterlidir. Daha düşük hata oranları, eNodeB'deki bir dış ARQ (Automatic Repeat Request - Otomatik Tekrar Talep) katmanının HARQ hatalarını idare etmesi ile sağlanabilmektedir.

- Planlama

QoS için destek veren bir planlama, user plane ve control plane datalarının verimli bir şekilde planlanmasını sağlamaktadır.

- Çoğullama ve Eşleştirme

eNodeB, sanal kanalların taşıma kanalları üzerine eşleştirilmesini gerçekleştirmektedir.

- Fiziksel Katman İşlevselliği

eNodeB karıştırması (jamming), Tx çeşitliliği, beamforming (hüzme şekillendirme) işlemi ve OFDM modülasyonu gibi fonksiyonlarla fiziksel katmanı idare etmektedir. eNodeB aynı zamanda, aktarım adaptasyonu ve güç kontrolü gibi 1. katman işlevlerini de idare etmektedir.

- Ölçümler ve Raporlama

eNodeB, radyo ortamı üzerinde yapılandırma ve ölçümler yapılmasını ve eNodeB içi değişkenler ve şartlar için fonksiyonlar gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Toplanan

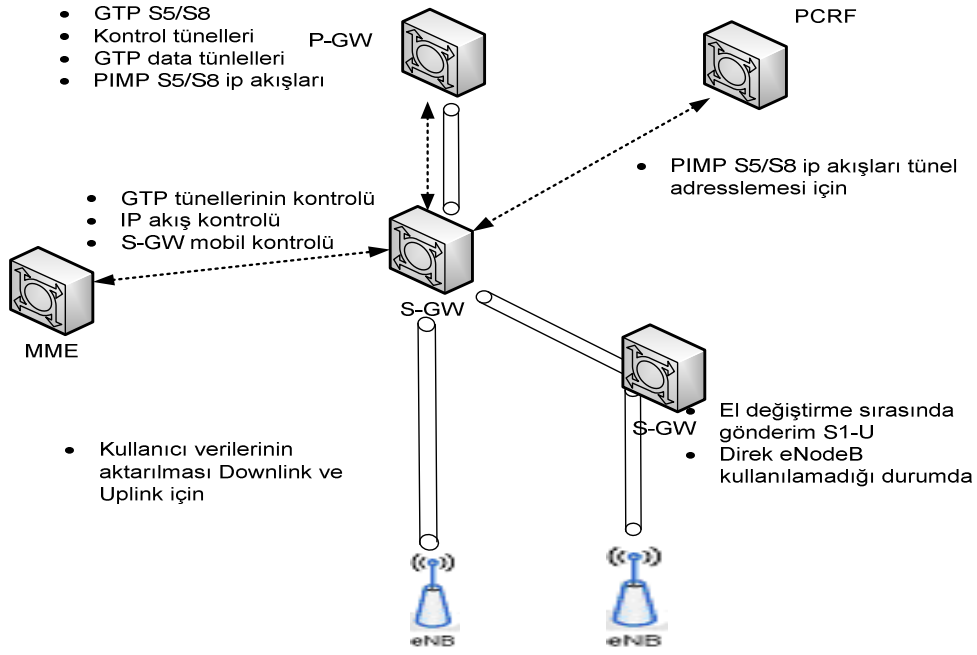
data RRM için içsel olarak kullanılmakta ama çoklu-hücre RRM'nin amacına uygun olarak rapor edilebilmektedir.

- Güvenlik dahil olmak üzere abone tarafından görülebilen tüm kullanıcı tabanlı işlevlerinin sonlandırılması
- Radyo Kaynak Yönetimi
- Radyo Taşıyıcı Kontrolü
- Radyo Kabul Kontrolü
- Bağlantı Hareketlilik Kontrolü
- Gönderim/İndirim Planlaması
- Abone veri akışlarının IP başlık sıkıştırma ve şifreleme işlemleri
- Hareketlilik ve planlama için ölçüm ve ölçüm raporlama konfigürasyonu

### **3.3. S-GW Servis Köprüsü (Serving Gateway)**

S-GW, E-UTRAN'a doğru olan paket data ağına ara yüz olan ekipmandır. E-UTRAN'dan gelen terminalleri sonlandırılma işlemlerini yapar. Terminaller eNodeB'ler arasında hareket ettiğinde ona doğru gelen paketlerin E-UTRAN içinden veya diğer mobil uygulamalar olan 2G/3G gibi ağlara yönlendirme işlemini yapar[17].

S-GW, tünel yönetimi ve aktarımından sorumludur. S-GW ağ mimarisinde merkezi operasyonu yönetir. Şekil 3.3'de LTE mimarisindeki S-GW konumu görülebilir.



Şekil 3.3: LTE mimarisinde S-GW konumu

S5 ve S8 ara yüzleri GTP(GPRS Tunnelling Protokol)' de tanımlandığı gibi S-GW üzerinde gerçekleşecektir. S-GW üzerinde yukarıya doğru bu ara yüzlerden GTP tüneller P-GW tarafından kurulur ve IP servislerine bağlanır. S-GW'nin PCRF ile bağlantı kurmaya ihtiyacı yoktur. Kontrol tabanlı olan GTP tünelleri MME veya P-GW'den başlatılır. S-GW S1-U ara yüzünden gelen tünelleri IP servislerine PCRF'ten gelen bilgiye göre S5 veya S8 ara yüzlerine yerleştirir.

S-GW çok az kontrol özelliklerine sahiptir. Sadece kendi kaynaklarını yönetir ve MME, P-GW ve PCRF'ten gelen kaynak tahsisi işlemlerini yapar. Bu işlemler UE'den gelen Taşıyıcıları kurma, değiştirme ve silme gibi örneklendirilebilir. Taşıyıcıları uygulama başına UE'den başlatılan isteklerin her birine verilen isimdir. S-GW, PCRF'ten veya P-GW'den gelen istekleri PIMP veya S5/D8 ara yüzüne göre GRE tünellerini aktarma işlemlerini gerçekleştirir. S1 ara yüzünden gelen tünelleri GTP tabanlı olarak her Taşıyıcıya göre yönlendirir. Bağlama (Binding) ve Olay Raporlama (Event Reporting Function) işlemlerini yönetir. Bu işlem BBERF diye adlandırılır.

BBERF Bearer bağlama ve yönlendirme işlemini PCRF'ten alır. S-GW el değiştirme sırasında aktif olarak görev yapar. MME, SGW el değiştirmesi için komut gönderir. İlgili UE için başka bir eNodeB tüneline aktarmasını söyler. Bunun yanında eNodeB verilerine aktarmasını isteyebilir. Ancak S-GW değişecekse burada önemli olan ve

kontrolü yöneten MME olmaktadır. MME kontrolleri sağlayıp S-GW değişeceğine karar verdikten sonra tünelleri eski S-GW'den silerek yeni S-GW'e tanımlar.

UE donanımı IDLE modunda iken eNodeB üzerindeki kaynaklar serbest bırakılır. İlgili S-GW veri yolunda bu UE için veri alırsa gelen paketleri hafızasında saklar ve MME'den sayfalama yapmasını ister. Sayfalama UE'nin tekrar bağlanmasını sağlar. Bağlandığını anlayan S-GW hafızasındaki veriyi gönderir. S-GW, tünelleri monitör eder ve faturalama için gerekli verileri toplar.

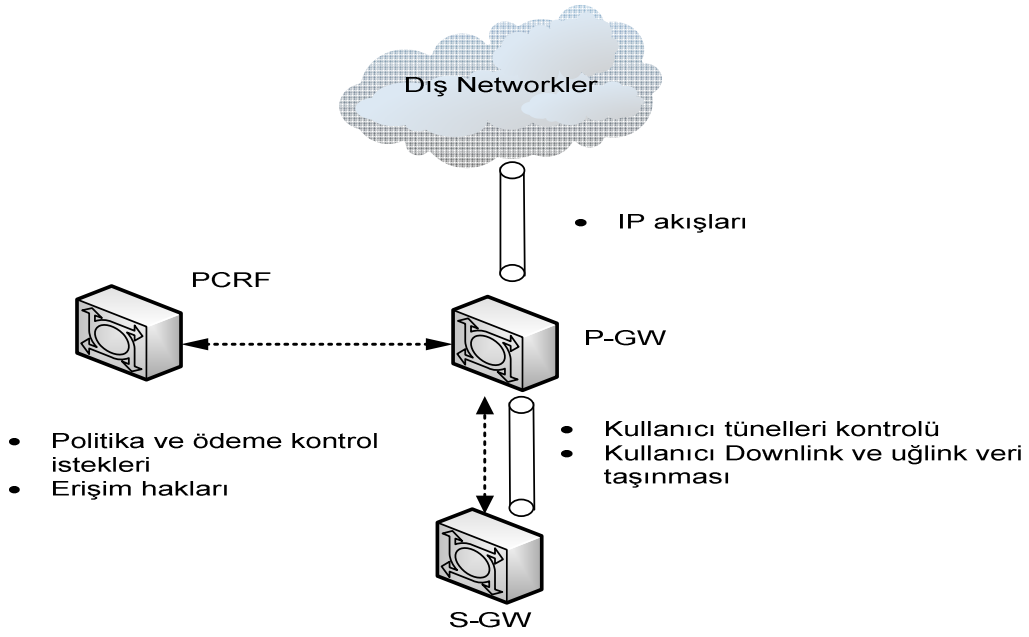
S-GW'nin sorumlu olduğu görevlerden birisi de yasal zorunluluk olan bazı kullanıcı verilerini monitör etmek ve incelemek için bir noktaya göndermektir. Bir tane S-GW bir bölgedeki belli sayıda eNodeB'ye servis vermektedir. Ancak bir S-GW birden fazla farklı P-GW'e bağlanabilir. El değiştirme sırasında P-GW hiçbir zaman değişmemektedir.

Daha önce bahsettiğimiz gibi S-GW değişecekse burada MME tarafından kontrol edilmektedir.

#### **3.4. P-GW Paket Data Ağ Köprüsü**

S-GW gibi P-GW de paket data ağa doğru sonlandırma görevini yapar. Terminallerden gelen paketleri harici ağlara doğru yönlendirir (internet gibi). P-GW bunun yanında kural tabanlı paket yönlendirme, detaylı paket incelemesi, virüs tanımlaması ve ücretlendirme görevlerini üstlenir. "Kullanıcı başına ne kadar veri aktarılmış?," "Kaç web sitesine girilmiş?" gibi istatistiksel bilgileri tutar.[17]

Packet Data Network Gateway (P-GW, veya PDN-GW) kenar yönlendirici olarak EPS(Evolved Packet System) ile harici paket ağ arasında görev yapar. P-GW, UE donanımına IP ataması yapar ve bu IP sayesinde diğer donanımlar ve dış dünya ile bu IP üzerinden konuşur. P-GW'in atadığı IP sayesinde bu UE başka bir P-GW ile de konuşabilir. UE ağa bağlandığında IP ataması her zaman olur. IP ataması günümüzde sıkça kullandığımız DHCP sayesinde olur. IP ataması IPv4 veya IPv6 şeklinde olabilir. IP ataması olduğunda P-GW bu UE için filtreleme bilgisi ve diğer profil bilgilerini PCRF'ten alır ve buna göre gerçek zamanlı olarak bu profil bilgilerini bu UE için tahsis eder.



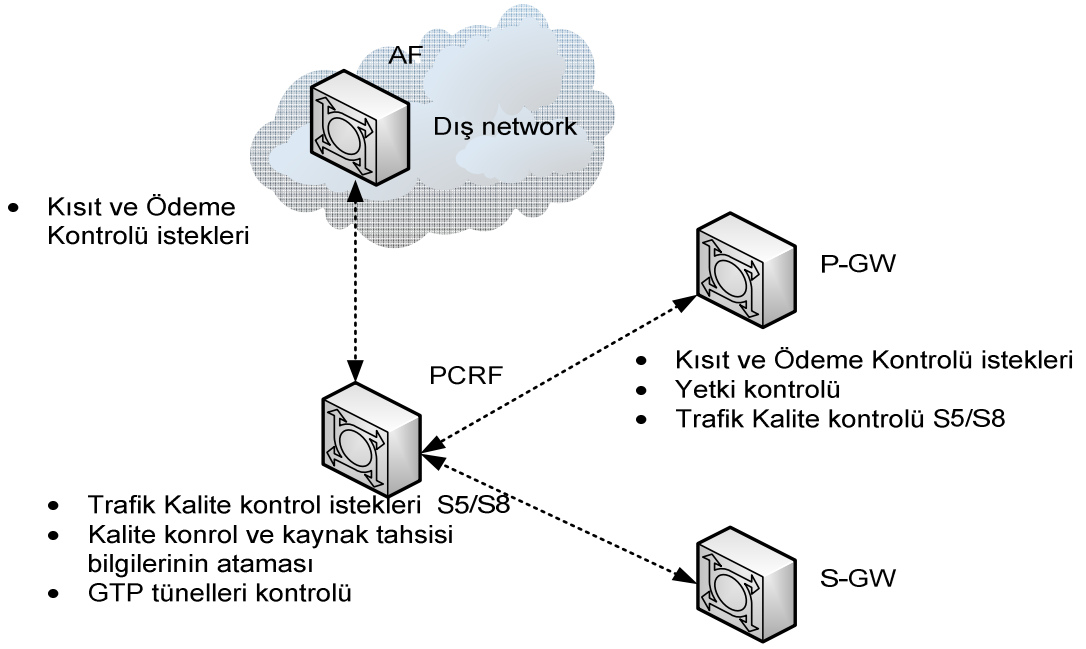
Şekil 3.4: LTE mimarisinde P-GW konumu

Şekil 3.4'te P-GW'nin komşulukları gösterilmiştir. S-GW'de olduğu gibi inceleme işlemleri yapılabilir. P-GW dış ağlara kapı oluğu gibi Wifi, WLAN ve WRAN gibi non 3GPP erişim ağlarına bağlantı oluşturur.

### 3.5. PCRF Politika ve Hesap Kaynak Özelliği

Policy and Charging Resource Function Politika ve Hesap Kaynak Özelliği (PCRF) olarak adlandırılır. UE'den gelen isteklerden servis kalitesi (QoS ve BBERF) bilgisini tutar ve Taşıyıcı atanması gibi görevleri yerine getirir. Genellikle merkezde olan bir veya birkaç adet sunucudan oluşur. PCRF, PCEF bilgisini P-GW'e sunar. Yeni Taşıyıcı isteği UE'den geldiğinden bunun sorgusu ve özellikleri PCRF'ten alınır. Örnek olarak yeni bir UE ağa bağlandığında her zaman bir Bearer kurulur. UE'den başlatılan her uygulama için bir Bearer isteği UE'den başlar. Bu uygulama için uygun servis kalitesi (Qos Policy) PCRF'ten P-GW ve S-GW'e doğru uygulanır. Bir UE sadece bir PCRF'ten bağlantı isteyebilir.[17]

Özetlemek gerekirse PCRF her bir uygulama için P-GW servis kalitesi (Qos jitter delay) ve Bearer ayırımı için gerekli parametrelerin atanmasına yarar. Aşağıda yer alan Şekil 3.5'te PCRF'in bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.5: LTE mimarisinde PCRF konumu

### 3.6. MME Hareketlilik Yönetim Birimi

EPS mimarisinde, Çekirdek Ağ kontrol işlevselliğini içeren bir MME düğümü tanımlanmıştır. İşlevselliği tam olarak aynı olmasa da MME tarafından konsept olarak bir kontrol plane SGSN düğümü oluşturulmaktadır. Kontrol Tabanı terminal protokolleri, UE'lerin hareketlilik içeriklerini de yöneten MME'de sonlanmaktadır. Bir UE, belli bir MME havuz alanı (pool area) içerisinde hareket ettiği sürece UE'nin kontrolü aynı MME'dedir.

Mobility Management Entity (MME) adını almakta ve ana kontrol elmanı olarak görev yapmaktadır. Tipik olarak bir sunucudur ve kontrol tabanı görevi yapar. Kullanıcı tabanı ve Veri tabanı üzerinde işlevi yoktur. Mantıksal olarak UE'ye bağlıdır ve ağ ile UE arasında kontrol bağlantısını tutar.

Aşağıda, MME tarafından yerine getirilen işlevlerin tanımlamaları yer almaktadır. MME, aşağıda listelenen hareketlilik ve oturma yönetme işlevlerini idare etmektedir:

- UE Ekleme/Ayırma İdaresi

Bu fonksiyon UE'nin, ağa kayıt olmasını ya da kaydını sildirmesini sağlamaktadır.

- Güvenlik – AAA

MME Kimlik Denetleme, Yetkilendirme ve Hesaplama (AAA) işlevlerini, abonelerin kimliklerini doğrulama, ağa erişim izni verme ve abonelerin aktivitelerini izleme gibi işlevleri uygulamaktadır. Ek olarak, mesaj sinyalleşmesinin şifrelenmesi ve entegrasyon koruması işlevlerini de yerine getirmektedir.

- EPS Taşıyıcı İdaresi

MME, EPS taşıyıcılarının kurulum, modifikasyon ve yıkma işlemlerini gerçekleştirmektedir. E-UTRAN'da UE'nin ağa eklenmesi anında, tek bir EPS taşıyıcısına sahip olduğu kabul edilmektedir.

- Bekleme Modundaki UE'lerin Hareketlilik Yönetimi

MME, bekleme modülündeki UE'lerin hareketliliklerini yönetmektedir. Bekleme modundaki UE'ler TA (Tracking Area - İzleme Alanı) detayları ile birlikte takip edilmektedirler.

UE ağda ilk defa kayıt olduğunda MME tarafından kimlik doğrulama yapılır ve HSS'e dahil edilir. UE'den gelen kayıt ve kimlik doğrulama işlevini HSS'ten sorgular. Buna ek olarak UE'nin güvenliğini sağlamak için GUTI (Globally Unique Temporary Identity) veya IMSI (International Mobile Subscriber Identity) denilen bir anahtar kullanır. Bu numaraya göre UE için kimlik doğrulama işlevlerini devam ettirir.

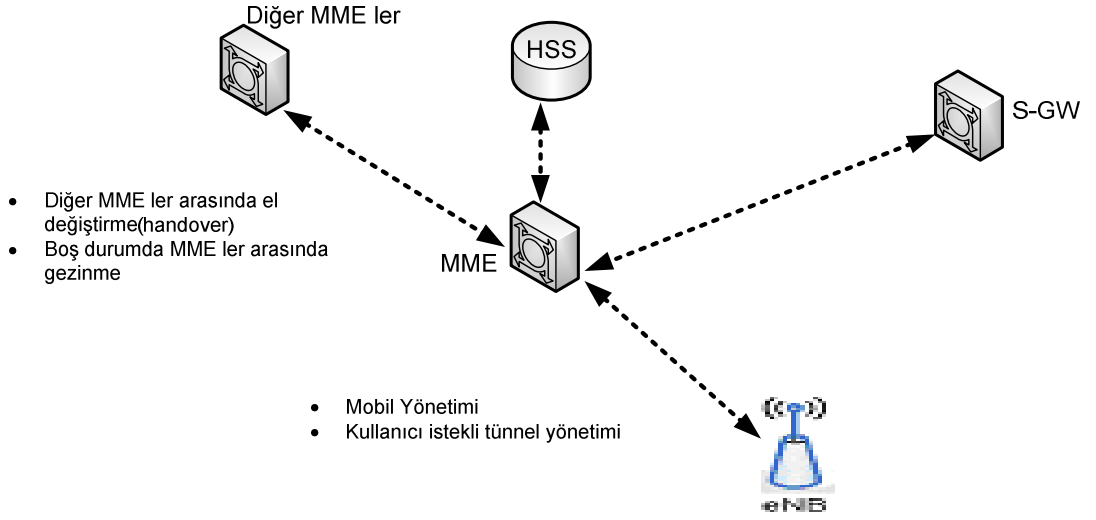
- UE'nin mobil özelliklerini yönetmekle ilgili görevlere sahiptir. UE'nin hangi E-UTRAN'da olduğu, ne zaman kayıtlı olduğu, S-GW ve eNodeB'den kaynak tahsisi gibi işlemleri yapar. Ayrıca UE'nin aktif veya pasif durumu takip eder. Veri yolu açık değil iken yani UE idle durumdayken bile UE'nin hangi eNodeB altında kayıtlı olduğunun bilgisi MME'de tutulur. MME, data tabanı üzerinde kaynak tahsisi yapılacaksa bunun sinyalleşmesinden sorumludur. El değiştirme işleminde de MME bütün bu el değiştirmenin farkındadır. Zira UE'nin TA bilgisini bilmek zorundadır.

S-GW ile UE arasındaki sinyalleşmeye yardımcı olur. Tahsis edilmiş Bearer korunmasından sorumludur. Kontrol tabanı ile kullanıcı tabanı arasındaki sinyalleşmeden sorumludur.

MME'ler arasında bağlantı olmalıdır. UE uzak bir MME'den kayıt olabilir. Örnek olarak kapatılan bir UE başka bir bölgede tekrar açılabilir. Şehirlerarası yolculuk buna örnek olabilir. Bu gibi durumlarda MME'ler birbirleri ile sinyalleşmelidir ve UE'nin doğru bölge bilgisi ağda tutulmalıdır.

UE başka bir MME kontrolü altındaki havuza el değiştirme yapabilir. Bu durumlarda HSS veya MME güncellemesi gerekecektir.

Bir UE bir anda sadece bir MME'e kayıtlı olabilir. Bir sonraki sayfada yer alan şekilde (Şekil 3.6) MME E-Utran konumu görülmektedir.



Şekil 3.6: LTE mimarisinde MME konumu

### 3.7. HSS Abone Yönetim Merkezi

Abone Yönetim Merkezi (Home Subscription Server) kısa adıyla HSS kullanıcı ile ilgili bütün verileri saklayan donanımdır. Bunu yanında UE'nin kayıtlandığı ağ kontrol donanım bilgisi (MME gibi) tutulur. Genel olarak bir veritabanı gibi düşünülebilir. Kullanıcının profil bilgileri kopyası burada saklanır. Bu bilgilerin içinde "P-GW'den bağlantı alabilecek mi?", "Roaming'e izin veriliyor mu?", "Non 3GPP erişimine izin veriliyor mu?" gibi bilgiler bulunur. Bunların tutulabilmesi için kullanıcıyı adresleyen kalıcı anahtar bulunur. Bununla birlikte bu anahtar kimlik doğrulamada kullanılır. HSS ağ'daki bütün MME'lere bağlanabilmelidir. Bu şekilde UE bir MME'den diğerine geçişi veya geçmesine izin verilmesini denetler. UE için



HSS son kayıt olduğu MME bilgisini tutar. Yeni MME, UE yer değiştirdiğinde HSS'e bildirdikten sonra son MME'den HSS kullanıcı bilgilerini siler.

### **3.8. LTE' de Kullanılan Donanımların Ara Yüz Özetleri**

S1: eNodeB ile MME/S-GW arasında olan ara yüzdür. Kullanıcı ve kontrol trafiğinin E-UTRAN ve EPC arasında taşınmasını sağlar.

S2: P-GW ile 3GPP erişime sahip olmayan teknolojiler arasında kullanılan ara yüzdür. Kontrol ve hareketlilik prosedürlerini yönetir. EPC'nin 3GPP erişimine sahip olmayan teknolojilerden haberdar olmasını ve bunları yönetmesini sağlar.

S3: MME ile 2G/3G SGSN arasında olan ara yüzdür. Kullanıcı ve radyo kontrol bilgilerini taşır.

MME ile 2G/3G SGSN GTP protokolünde belirlenen standarda göre boşta ve aktif olarak çalışan terminallerin bilgileri taşınır.

S4: S-GW ile 2G/3G SGSN arasında olan ara yüzdür. 2G/3G kullanıcı veri transferinin sistemler arası değişimine olanak sağlar.

S5: S-GW ile P-GW arasında Bearer yönetimi sağlar. User plane veri trafiğinin 2 gateway arasında tünellendiği ara yüzdür.

S6: EPC ile HSS arasındaki ara yüzdür. Kullanıcı kayıtlanması, bölge güncellemesi gibi görevleri vardır.

S7: P-GW ile PCRF arasındaki ara yüzdür. Kısıtlama kontrolü ve ödeme kuralları ile ilgili bilgilerin PCRF'ten sağlanmasını üstlenir.

S8: S-GW ile kullanıcının kayıtlı olduğu operatörün P-GW'i arasındaki ara yüzdür. Paket ve user plane için Roaming durumlarında desteklendiği ara yüzdür. GTP'de tanımlandığı şekilde standart hale getirilmiştir.

S9: PCRF ile Roaming yapılan PCRF arasında ara yüz olarak tanımlanmıştır.

S10: MME'ler arası ara yüzüdür. Terminal bir MME'den diğerine geçtiğinde kullanılan ara yüzüdür.

S11: MME ile S-GW arasında tanımlanan ara yüzüdür. Beraer kontrol bilgisini taşır. GTP protokolündeki GTP-C'ye göre tanımlanmıştır.

X2: eNodeB'ler arasında bağlantı ara yüzüdür. Komşu olan eNodeB'lerin birbirlerine bu ara yüz üzerinden bağlanması gerekir. El değiştirme anında kullanılan ara yüzüdür.

Rx: PCRF ile P-CSCF arasında kullanılan ara yüzüdür. IETF AAA protokolüdür. Radius sunucu tabanlı hesap tutma işlemlerinin yapıldığı ara yüzüdür.

Sgi: P-GW ile Paket data ağın arasındaki ara yüzüdür. 2G/3G'de kullanılan Gi ara yüzü gibi düşünülebilir.

Ga: CDF ile CGF faturalandırma bilgilerinin taşındığı ara yüzüdür. CDR ücretlendirme bilgilerinin taşındığı UDP/IP tünellenen yapıldığı ara yüzüdür.

Bx: CGF ile BD arasındaki ara yüzüdür. Güvenli FTP veya SCP kullanılarak CDR ücretlendirme verisinin aktarıldığı ara yüzüdür.

Rf: IMS veya uygulama sunucusu ile CDF arasındaki ara yüzüdür. IMS'den veya uygulama sunucusundan CDR ücretlendirme verisi CDF'e doğru aktarılır.

## **4. LTE TAŞIMA ERİŞİM TEKNOLOJİ SEÇENEKLERİ**

### **4.1. Radyo-Link (Radyo ilişim)**

Günümüzde Radyo linkler, 2G ve 3G taşıyıcı hatların kiralama maliyetleri yüzünden, GSM operatörlerinin bu maliyetlerden kaçmak için sıkça kullandıkları bir ara yüz tipi olmuştur. Şu anda Türkiye'deki 2G ve 3G taşıma hatlarının %80'i bu yöntemle yapılmaktadır.

Uzun mesafeli ve kısa mesafeli diye 2 tipte radyo link vardır. Bunlarla 3 km'den 300 km'ye kadar hava üzerinden veri taşımak mümkündür. Radyo link tipleri teknoloji bakımından 3'e ayrılır:

#### **4.1.1. SDH radyo**

E1 hatlarının hava üzerinden sinyalleşerek TDM (Time Devision Mutiplexing) teknolojisi ile taşınmasıyla oluşur. Sadece TDM ara yüzleri vardır. Kanallı SDH'leri hava üzerinden kısa veya uzun mesafede taşır.

#### **4.1.2. NG-SDH radyo**

E1 ara yüzleri maliyetli ve düşük kapasiteli olduğu için bunun yerine havada SDH yani 2 Mbps radyo kullanılmasıdır. Son kullanıcı donanımında ise bağlanma şeklinin ethernet olduğu teknolojidir. Günümüzde 3G aktarmasında çokça kullanılmaktadır. Bu şekilde ethernet ara yüzlerinden gelen frame E1'ler üzerine alınıp hava üzerinden toplu bir şekilde taşınmış olur. Kapasite artırılması gerektiğinde sadece Radyo ağa yeni E1'lerin eklenmesi yeterli olur.

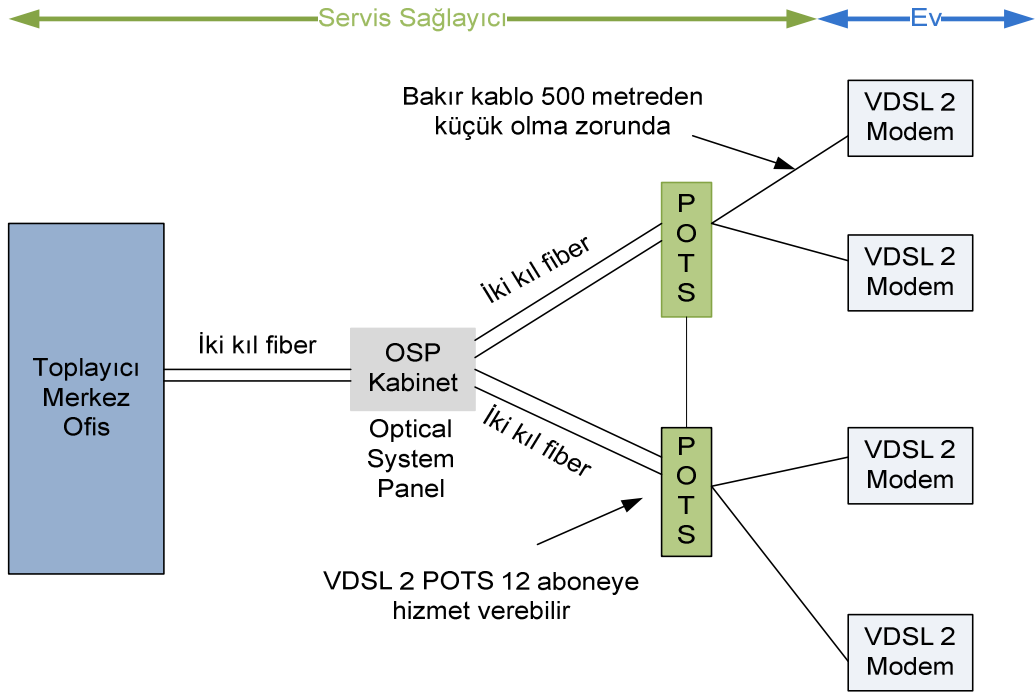
#### 4.1.3. Ethernet radyo:

Eski teknolojiler için ara yüzleri olan ve doğrudan Gigabit hızlarda iletimi sağlayabilen radyo tipidir. Kısa mesafeli yüksek hızlar için tanımlanmış radyo tipidir. Radyo linkler arasında en gelişmiş olanıdır. ATM, TDM, IP ve Ethernet ara yüzlerinin olduğu radyodur. MPLS yapabilen ve MPLS'teki koruma tiplerini kullanarak birden fazla 2. katman teknolojiyi taşımayı gerçekleştirecek türleri çıkmaktadır.[22]

#### 4.2. VDSL2

100 Mbps hıza kadar 2 km çapında hizmet verebilir. Maliyetleri düşürmek açısından başta kullanılabilir. Ancak orta ve uzun vadede yeterli hızları sağlayamayacağı için kullanılması zor olabilir. Bilindiği gibi LTE sadece eNodeB ile çalışabilecek diye bir zorunluluk yoktur. Bunun yanında Wifi veya Femto LTE modemlerin evlerde giriş noktası olarak LTE üzerinden hizmet vermesi düşünülmektedir. Bunlar doğrudan P-GW ile bağlanacaktır.

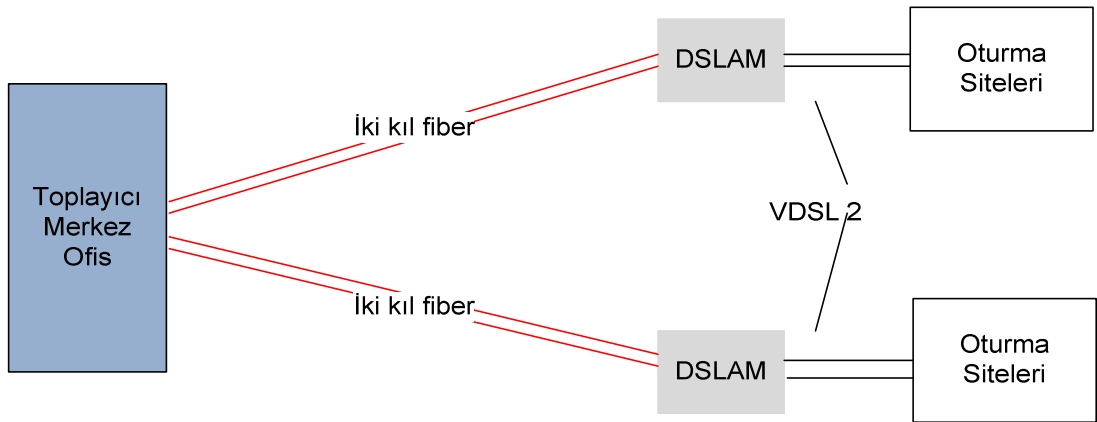
VDSL2 Very High Bit Rate Digital Subscriber Line 2 olarak adlandırılan ve orijinalde VDSL olarak bilenen teknolojidir. ITU tarafından G.993.2 olarak standart haline getirilmiştir. Standart olarak 2 bakır tel üzerinden 100 Mbps hız sağlayabilmektedir. FTTH ve FTTX teknolojileri için bir avantaj sağlayabilmektedir. Aşağı yukarı her evde telefon hattı bulunmaktadır. Fiber maliyetlerinin yüksek olduğunu düşünürsek VDSL2 Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bu maliyetleri azaltmak için önemli bir teknoloji olabilir. Bunun yanında LTE'de PICO ve FEMToCell aktarmak için kullanılabilir.



Şekil 4.1: VDSL2 ağ mimarisi

VDSL2 yongaları ADSL2 yongaları gibi çalışabilmektedir. VDSL2 daha kısa mesafelerde yüksek hızlar sağlayabilirken ADSL daha düşük hızları daha uzun mesafelerde sağlayabilmektedir. Bu yüzden VDSL2 yerine mesafe uzatılarak ADSL de kullanılabilir.

VDSL2 dışarıdaki santrallerde kurularak birçok eNodeB ve Home Gateway taşıyıcısı olarak kullanılabilir. 8 Mhz frekans kullanarak 50 Mbps, 17 Mhz frekans kullanarak 100 Mbps hız sağlayabilir.



Şekil 4.2: VDSL2 Ağ Mimarisi 2

Şekil 4.2'de VDSL2'nin ağ mimarisine bağlantı şekilleri gösterilmiştir. VDSL2'nin VDSL1'den daha fazla başarı kazanması beklenmektedir. Geriye uyumlu olması, ADSL desteklemesi ve aşağıdaki tabloda (Tablo 4.1) gösterilen diğer özellikleri ile LTE erişim transport için kullanılabilmesinin göstergesidir.

Tablo 4.1: VDSL2 ve VDSL karşılaştırma[15]

Özellik	VDSL1	VDSL2	VDSL2 faydası
Bant genişliği	12MHz	30Mhz	100Mbps hız sağlar
LR VDSL	şeyeneksel	zorunlu	uzak mesafe ADSL 2 uyumluluğu
Gürültü temizleme Echo Cancellation	Yok	VAR	Uzun mesafe
ADSL geri uyumluluğu	yok	VAR	VDSL 2 ADSL 2 uyumluluğu
Downstream hat gücü	14dbm	20dbm	Yüksek performans
Online konfigürasyon	Yok	Var	Uygulama için en iyi çalışabilecek noktayı seçebilir
Kontrol Modu	Yok	Var	Hat Kalitesi ölçümü yapabiliyor

### 4.3. GPON (Gigabit Pasif optik Ağ)

Gigabit Passive Optical Ağ olarak adlandırılır. 1 Gbit hızları tek kıl fiber üzerinden taşıyabilen teknolojidir. Günümüzde FTTH diye kullanılmaktadır. Uç noktalarda sahaların aktarımı için iyi ve ucuz bir çözüm olabilir. Şu anda Verizon ve MSO US'deki telekomünikasyon operatörleri içinde çokça kullanılmaktadır. 10 Gigabitlik hızları verebilen GPON'ların standartları geliştirilmeye çalışılmaktadır. GPON teknolojisi ITU-T'nin G984 lisansı ile standart hale gelmiştir.

GPON mimarisini daha yakından inceleyecek olursak 3 adet ana donanımı vardır. Birincisi, OLT (Optical Line Terminal) ağda yoğunlaşmasını sağlayan ve merkez ofiste kurulan donanımdır. İkinci donanım olan ayrıştırıcı bir fiber kılının birden fazla kullanıcıya paylaşılmasını sağlar. Son olarak da ONT denilen Optical Ağ Terminal evdeki elektriksel sinyallerin fiber ışığına dönüştürülmesinden sorumludur.

GPON tek veya çift fiber kullanılarak yapılabilir. Ancak nerdeyse bütün GPON ürünlerinde tek fiber kullanılmaktadır. Standartlara uymak açısından çift kıl fiber de desteklenmektedir.

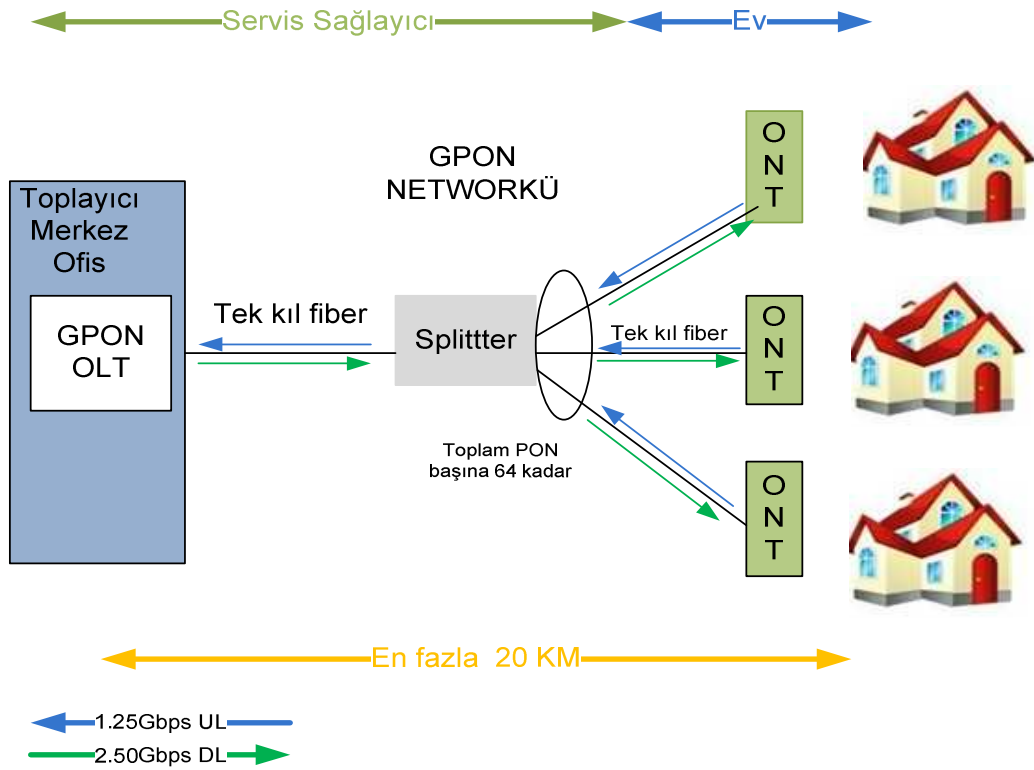
G.984, 20 km ile 60 km arasında 128 kullanıcının tek bir GPON ağında olmasına olanak sağlamaktadır. Fiber maliyetleri yüzünden birçok ürün sadece 20 km uzunluğunda destek vermektedir. ITU G.984.6'da yeni bir uzatıcı tanımlayarak (Mid-Span Extender) bu uzunluğu 60 km'ye kadar çıkarabilmektedir. Birçok taşıyıcı 32 kullanıcı bir GPON bölümü kullanmaktadır. Bu bölümü 20 km çapında kurmaktadır. Standart olarak B+ optik ve C+ optik adında iki seçenek vardır. Bunlardan B+ 20 km'de 32 adet kullanıcıyı taşıyabilirken C+ 20 km'de 64 adet kullanıcıyı taşıyabilir. Ancak C+ yeni ve daha pahalı bir teknolojidir. GPON dalga boyları 1490 nm downlink 1310 nm uplink için kullanılır.

FEC (Forward Error Correction) kullanılabilir ancak bu şebekeye ek etiket olarak %10'luk bir fazla yük sağlar.

GPON ağlarında 2, 3 veya 4 dalga boyu kullanılabilir. Aşağıdaki başlıklara bunlar incelenmiştir.

#### **4.3.1. İki Farklı Dalga Boylu Taşıyıcı Kullanan Sistem(Diplexer)**

Şekil 4.3 basit GPON ağının mimarisini göstermektedir. İndirim için 1490 nm kullanılır ve 2.488 Gbps hız sağlar. Gönderim için de 1310 nm dalga boyu kullanarak 1.244 Gbps hız sağlar. Bkz. Şekil 4.4. Bu bir LTE eNodeB için yeterli olan hızları sağlayarak şebekenin düşük maliyetle kurulmasını sağlayabilir.



Şekil 4.3: GPON ağ diyagramı (iki dalgaboyunu kullanan sistem)

GPON OLT merkez ofise kurulur. Ayrıştırıcı CO (Central Office) ile kullanıcı arasında bir noktaya kurulur. Fiber maliyetlerini azaltmak için kullanıcılara yakın bir noktaya kurulması gerekmektedir. ONT (Optical Ağ Terminal) ise her kullanıcının evinde veya her eNodeB'nin yanında kurulabilir. GPON, IP videoda kullanılan broadcast ve muticast için çok güzel bir ortam sağlar. Broadcast ve multicast akışları verimli bir şekilde taşınır.

Optik olarak GPON ONT'nin 2 dalga boyu ile çalışan sürümüne Diplexer adı verilir. Diplexer'lar genelde PLC (Planar Lightwave Circuit) tasarımı kullanılarak daha az fiyatla üretilebilirler. Burada 3 boyutlu mimari kullanılarak 2 boyutun bütün sıkıntıları çözülebilir. Şekil 4.4'te 2 dalga boyutlu bir Diplexer'ın sağladığı hızlar ve kullandığı frekanslar görülebilir.

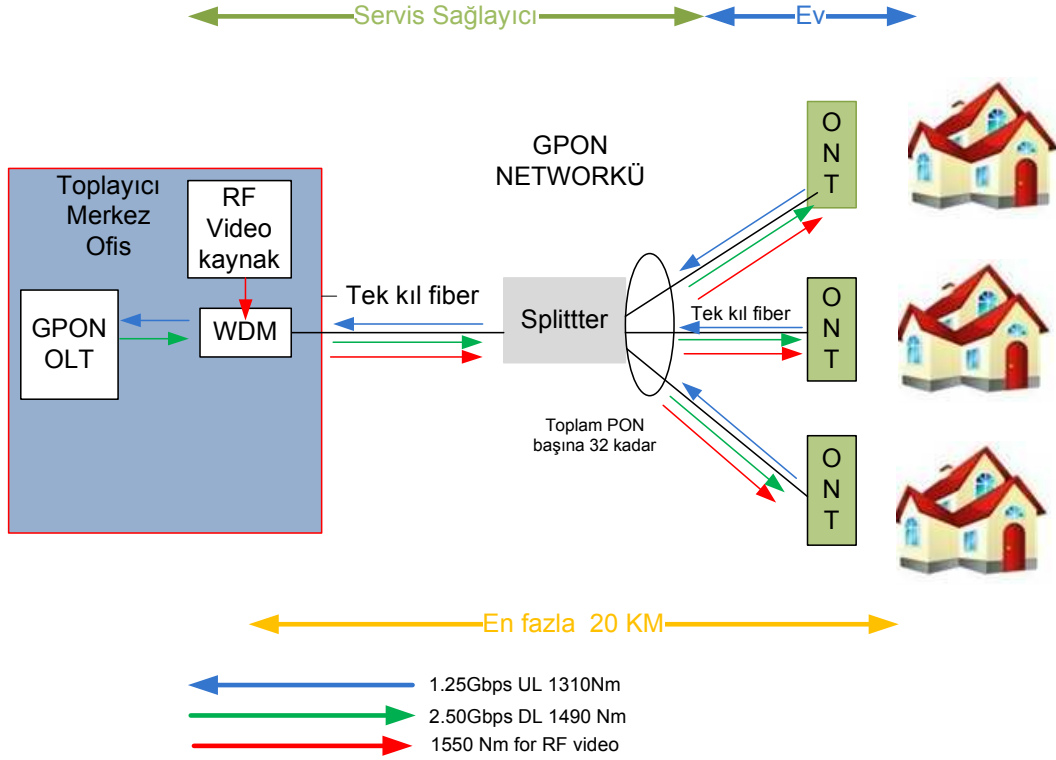


Şekil 4.4: GPON Diplexer



### 4.3.2. Üç Farklı Dalga Boyunu Kullanan Taşıyıcı Sistem (Triplexer)

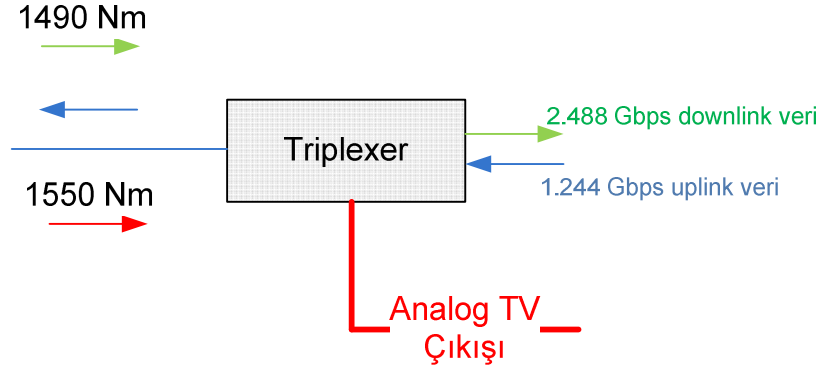
Üç dalga boyutunu kullanan GPON mimarisi de 2 dalga boyulu GPON mimarisi ile aynıdır. Bir önceki bölümde anlatılanlara ek olarak burada 3. dalga boyu eklenmiştir. Bu yeni dalga boyu video için özel olarak kullanılan indirim yönündeki akışlar için tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekil (Şekil 4.5) bunu açıkça göstermektedir.



Şekil 4.5: GPON RF Overlay Ağ

3 dalga boyulu sistemde standart şu an için 32 GPON ONT'li bir GPON'da n-OLT port olmasına olanak vermektedir. RF sinyali GPON sinyali olmadığı için bu koşul oluşmaktadır. 20 km mesafede bir fiber ancak 20 dBm sinyal taşıyabilmektedir. Bu yüzden maksimum 32 tane 1550 nm sinyal gönderilebilmektedir. Optik C+ kullanarak bu arttırılmaz çünkü bu GPON sinyali için geçerlidir. İlerleyen zamanlarda teknolojinin daha da artmasıyla bu değişecektir.

GPON ONT ve GPON RF için kullanılan ONT donanımına Triplexer adı verilir. Diplexer'da olduğu gibi bunun da PLC kullanarak daha az maliyetle yapılmasının yolları aranmaktadır.



Şekil 4.6: GPON Triplexer

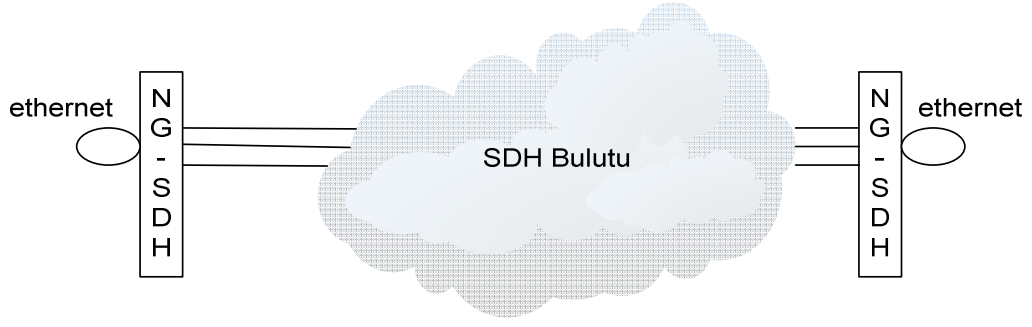
Burada OLT sadece RF alıp fiber üzerine aktarmaktadır. Ancak ONT 1550 nm sinyal alıp 75 ohm'luk anten kablosu üzerinden göndermek için gerekli dönüşümü yapmaktadır. RF için yukarı doğru bir kontrol yolu yoktur bunu sağlamak için IP'ye dönüştürüp 1310 nm kullanılarak yönünde bazı çalışmalar yürütülmektedir.

#### Transmisyon

ITU standardında GPON tek fiber üzerinden 2.5 Gbps indirim ve 1.25 Gbps gönderim taşıyabilir. Tamamen ethernet desteği vardır. ATM ve TDM gibi teknolojilere uyumlu değildir. İndirim için dinamik bant genişliği kullanılabilir. Ancak farklı servis verilecek LTE ses ve sinyalleşmenin data trafiği altında ezilmemesi için bunlara ayrı bir kaynak tahsisi gerekebilir. Saniyede gönderim için yaklaşık 8000 frame aktarılabilir. Bu da faks ve ONT veya ses için yeterli bir sinyal sağlayabilmektedir. GPON, LTE'de kullanılacak eNodeB'lerin çok olduğu durumda toplayıcı olarak kullanılabilir.

#### 4.4. NG-SDH (Gelecek nesil SDH)

Şu an yönlendirici ya da veri ağlarının transmisyon dünyası üzerinden taşınması sağlayan olan teknolojidir. Terminoloji olarak anlaşılabilceği gibi SDH ağlarının gelişmiş halidir. SDH üzerinden Ethernet ara yüzü bulunabilen ve bunları SDH paketlerine çevirerek taşıyan, noktadan noktaya veya çok noktadan çok noktaya modlarında çalışan transmisyon teknolojisidir.

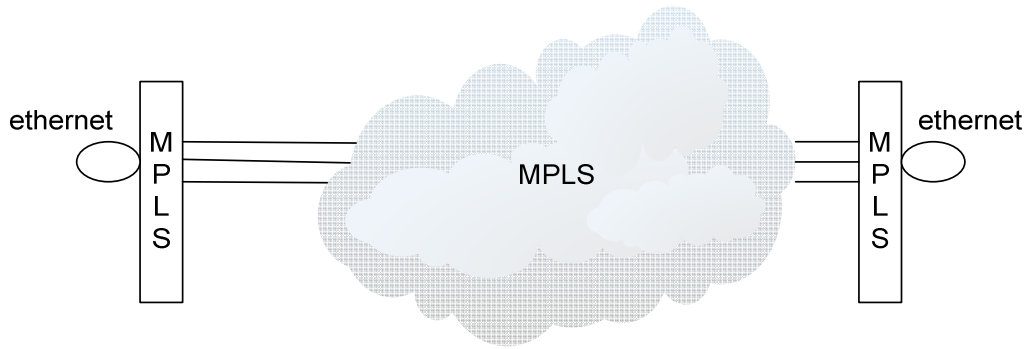


Şekil 4.7: NG-SDH

Şekil 4.7'de NG-SDH ağlarının yapısı gösterilmiştir. VLAN desteği vardır. Bu yüzden birden fazla ara yüz birden fazla servise atanabilir. Donanımların ara yüz bağlantıları daha verimli kullanılabilir. TDM çalıştığı için ayrılmış kaynak tahsisi vardır. Ancak yeniden yönlendirme, koruma ve arıza giderme fiziksel olduğu için zaman alabilmektedir. LTE için kullanılabilir. Ancak pahalı ve fiziksel olarak müdahale gerektiğinden arıza süreleri uzayabilmektedir.

#### 4.5. Metro Ethernet

Superonline ve Türk Telekom gibi firmalardan sağlanan ethernet ara yüz tipleridir. Kendi IP/MPLS omurgalarını kullanarak taşınan servislerdir. Maliyet olarak diğer hat kiralalarına göre daha ucuz ve veri trafikleri için uygundur. Ancak gelişen dünya ile birlikte ses servisleri için uygun olan paketleri çıkartılmıştır. İstenilen ihtiyaçlara göre servis satın almak mümkündür. Bu yüzden LTE transportta kullanılacak bir seçenek olabilir. Şekil 4.8'de Metro Ethernet'in yapısı gösterilmiştir.

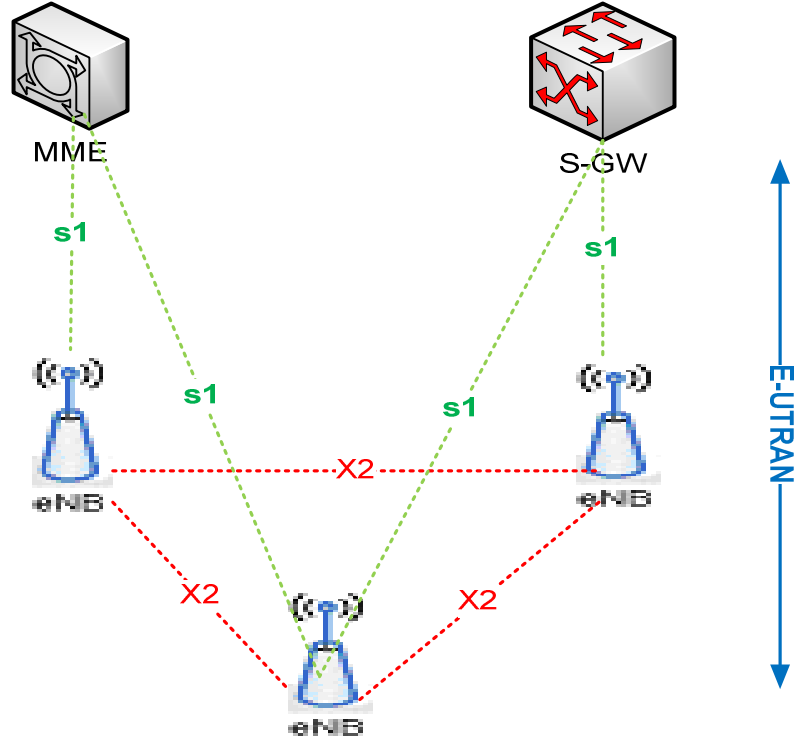


Şekil 4.8: Metro Ethernet

Metro Ethernet Şu an için SLA (Service Level Agreement) vermemekle beraber yakında SLA verecektir. Data transferlerinin yanı sıra ses ve sinyalleşme servisleri için uygun bir transport Şebekesi haline gelecektir. Bu yzden dŐŐük maliyetli ve bant genişliği yzsek olan uygulamalar için iyi bir çözüm olabilir. LTE toplama için veya farklı bölgelerdeki dağıtık MME ve HSS'ler için az maliyetli bir ağda bu günden kullanılabilir bir teknoloji olma yönünde ilerlemektedir.

## 5. LTE TAŞIMA TOPLAMA SEÇENEKLERİ

LTE toplama ve taşıma yapılandırması aşağıdaki gibi olacaktır (Şekil 5.1). Birbirine komşu olan eNodeB'lerin el değiştirme için birbirlerine aşağıdaki gibi X2 ara yüzü ile bağlanması gerekmektedir. Gönderim olarak da Ethernet ile taşınması ve S-GW S1 ara yüzü üzerinden bağlanması gerekir[21].



Şekil 5.1: E-UTRAN LTE bağlantı gereksinimleri

### 5.1. LTE Altyapısını Oluşturmak İçin Gerekli Kıstaslar

1. Yüksek veri hızı: 100/50 Mbps DL/UL'den 1Gbps DL'e kadar S1 ve X2 ara yüzleri için eNodeB ile MME/SAE-GW arasında.

2. Basit yapısal mimari: MME/ S-GW arasında ve eNodeB birbirlerine basit ve yönetilebilir bir şekilde bağlanması gereklidir.
3. Düşük gecikme ve seğirme: Kontrol düzlemi trafiğinin aksamaması ve aktarımın düzgün bir şekilde gecikme olmadan yapılması gereklidir. Bu süre 5ms'den daha düşük olmalıdır[21].
4. Bağlantı özellikleri: Noktadan noktaya (P2P), noktadan çok noktaya (P2MP, Multicast) ve çok noktadan çok noktaya yapılabilmelidir.
5. (MP2MP, Broadcast) trafiklerin olabileceğinden dolayı bunları taşıyabilecek bir mimari olmalıdır.
6. Garanti edilmiş servis kalitesi (Quality of Service) yapılandırmasını desteklemelidir. Bütün trafikler; ses, veri ve sinyalleşme trafiklerinin hepsi IP üzerinden taşınacağı için bunların da çok iyi bir şekilde birbirinden ayrıştırılması gerekir.
7. Bütün ara yüzler için önemli olan yüksek güvenli, kendini otomatik düzeltebilecek, hata ve performans yönetimi sağlayacak bir yapı olmalıdır.

LTE'de taşınacak veri tipleri olarak, 9 ana sınıf belirlenmiştir[21]. Bunların gecikme ve paket kaybı oranları aşağıdaki tabloda (Tablo 5.1) verilmiştir. Transport için kullanılacak teknolojide aşağıdaki parametreler de göz önünde tutulmalıdır. Bunlara göre ağ kurulurken test edilmeli ve önceliklendirme buna göre yapılmalıdır.

Tablo 5.1: E-UTRAN LTE kullanılan trafikler ve karakteristikleri

QCI	Kaynak Tipi	Öncelik	Gecikme Toleransı	Kayıp Oranı	Örnek Uygulama
1	GBR	2	100 ms	1e-2	Voip
2	GBR	4	150 ms	1e-3	Video Araması
3	GBR	5	300 ms	1e-6	Akış
4	GBR	3	50 ms	1e-3	Gerçek zamanlı oyun
5	Non-GBR	1	100 ms	1e-6	IMS sinyalleşmesi
6	Non-GBR	7	100 ms	1e-3	Etkileşimli Oyun
7	Non-GBR	6	300 ms	1e-6	TCP Uygulaması
8	Non-GBR	8			Email,
9	Non-GBR	9			Dosya indirme vb

Bunlara ek olarak toplama ağlarının gereksinimleri ölçeklenebilir olmalı, bant genişliği ihtiyaçları hücre noktaları için artırılabilir olmalıdır. 2G ve 3G için ölçeklenebilir ve bu ara yüz servis aktarımı açısından devam edebilir olmalıdır. TDM, ATM ve Frame Relay gibi teknolojileri de taşırsa CAPEX ve OPEX maliyetleri düşer. Bu eski ağlar için bulundurulması gereken donanım ve operasyon maliyetlerinden kurtulmuş olunur. Tek RAN terminolojisiyle tamamı bir ağ üzerinden taşınabilir.

## 5.2. LTE Toplama Ağı İçin Kullanılacak Teknolojiler

LTE transport altyapısı oluşturulurken, çağımızda neredeyse her noktada kullanılmaya başlanan Ethernet ve MPLS yapısından bahsedilecektir. Son olarak Ethernet ve MPLS birlikte kullanılırsa ethernetin bant genişliği ihtiyaçları ve bunun üzerinden çeşitli servisler vermek için neden MPLS kullanılması gerektiğinin üzerinde durulacaktır.

### 5.2.1. MPLS Çoklu Protokol Etiket Yönetimi

MPLS, IETF (Internet Engineering Task Force)'in ilgili çalışma grubu tarafından geliştirilmeye başlanmış bir teknolojidir. MPLS, var olan IP omurgasına etiket değişim mekanizmasını eklemiştir. Bu mekanizma sayesinde paket tabanlı IP şebekeleri sanal devre şebekelerinin olumlu özelliklerine kavuşmuşlardır. Diğer bir

söylemlerle MPLS, IP şebekelerini sanal devre yapabilen ve güvenli iletişime olanak sağlayan teknolojidir.

#### **5.2.1.1. MPLS'in kullanım nedenleri**

Geleneksel IP bazlı iletim trafik hacimleri çok büyüdükçe çok yavaş kalmaktadır. Bunun sonucunda, yönlendiriciler üzerine binen yük, yönlendiricinin kaldırabileceği miktarın üzerine çıkar. Dolayısıyla trafik kayıpları kopan bağlantılar ve IP şebekesinde genel bir performans kaybı oluşur. Etiket bağlaşması daha hızlı çalışan bir yöntemdir. Geleneksel metot ile yönlendiricilerdeki yönlendirme tablosuna (routing table) bazen binlerce kez bakmak gerekmektedir. Etiket bağlaşmasında ise yönlendiricinin adres tablosuna (lookup table) bir kere erişmek yeterli olur.

Ayrıca bunun sonucunda sadece gecikmeler değil aynı zamanda yönlendiricinin tepki süresi de düşer. Standart IP yönlendirmesinde her paketin içindeki hedef adresi kontrol edilmelidir ve düğümdeki potansiyel hedef adresleri listesiyle karşılaştırılmalıdır. Tabi ki her düğümde böyle işlemler yapıldığından ve belirli bir periyottaki düğümün işlemesi gereken paket sayısına bağlı olarak gecikme varyasyonu (jitter) oluşacak; yani paketlerin hepsi farklı gecikme değerleri ile karşı uç birime ulaşacaklardır. Jitterin artması, ses ve görüntü paketleri iletimi gibi gerçek zaman trafiğini de olumsuz etkileyen bir durumdur. Etiket bağlaşması ile jitter azalır çünkü paket işleme süreleri düşüktür.

MPLS yalnızca hızlı bir servis değildir. Aynı zamanda ölçeklenebilirlik de sağlar. Burada anlatılan ölçeklenebilirlik kavramı, sistemin (bu durumda internet) büyük ve artan sayıda kullanıcıya hizmet verip veremediğinin bir ölçüsüdür. Kullanıcı sayısı arttıkça bir veya birkaç etiketle çok fazla sayıda adres temsil edilebilir ve yönlendiricideki adres tablolarının yerini etiket tabloları (label tables) alır.

MPLS yapı olarak çok basit bir yapıya sahiptir. Genel prensip olarak "Paketi etiketine göre ilet!" mantığını benimser. Kullanıcı trafiğine etiket atama operasyonu karmaşık bir yapıya sahip olsa da etiket atandıktan sonra çalışan mekanizmalar çok basittir. Hatta bu iş yazılımla, uygulamaya özgü devrelerle veya işlemciler yardımıyla çözülebilir. Ayrıca kontrol mekanizmaları da çok fazla sistem kaynağı



tüketmez. Trafik mühendisliği yardımıyla servis sağlayıcılar ağdaki tıkanma noktaları çevresindeki trafiği verimli bir şekilde yönlendirebileceklerdir. Ayrıca MPLS sayesinde istenen servis kalitesi parametrelerinin uygulamaya sokulması da olanaklı hale gelmiştir.

#### **5.2.1.2. MPLS'in çalışma prensibi**

MPLS'in çalışması aşağıda anlatıldığı şekilde özetlenebilir.

- Her yönlendirici yönlendirme tablosundaki her ağ tanımı için bir etiket üretir.
- LTP/TDP protokolü yardımıyla yönlendiriciler arasında etiket değiş tokuşu olur.
- Her yönlendiricide paketler için giden gelen etiket çiftleri oluşturulur ve bu çiftler Etiket Yönlendirme Bilgi Tabanı'na (LFIB) eklenirler.
- Şebekeye giren paketlere varış adreslerine göre izleyeceği yola uygun bir etiket eklenir.
- Şebekedeki yönlendiriciler, gelen paketin sadece etiketine bakıp buna karşılık gelen etiket ile değiştirerek yönlendirme yaparlar.
- MPLS ağındaki son yönlendiriciye kadar 3. katman kontrolü yapılmaz. Yani son yönlendiriciye kadar paketlerin lojik adreslerine bakılmaz.

MPLS'in çalışması posta kodunun işlenmesine benzetilebilir. Pakete adres alanının yanına bir etiket eklenir. Bu bir mektuba adres alanına ek olarak posta kodu yazılması gibidir. Daha sonra etiket şebekenin sonuna kadar yönlendirmeyi yapar. Yani mektup postaneler arasında dolaşırken son postaneye gelene kadar posta koduna göre yönlendirilir. Son düğümde IP adresi devreye girer. Yani mektup ilgili son postaneye geldiği zaman postacılar tarafından üzerinde yazan adrese göre tam adresine ulaştırılır.

#### **5.2.1.3. MPLS'de kullanılan cihazlar ve MPLS terminolojisi**

- LSR (Label Switching Router) – Etiket Bağlaşma Yönlendiricisi
- LER (Label Edge Router) – Etiket Şebeke Giriş Yönlendiricisi
- LSP (Label Switching Path) – Etiket Bağlaşma Yolu
- LDP (Label Distribution Protocol) – Etiket Dağıtma Protokolü

- FEC (Forwarding Equivalence Class) – Eşit İletim Sınıfı
- RSVP(Resource Reservation Protocol) Kaynak Ayırma Protokolü

LSR (Label Switching Router)

Bu cihazın üzerinde iki protokol çalışır. Birinci protokol, paketlerin kaynaktan hedefe doğru iletiminden sorumludur. Bu protokol paket iletilmesini yaparken yönlendirme tablosu ya da etiket tablosu kullanır. İkinci protokol ise, yönlendirme/etiket tablosunun doldurulması için yönlendirme reklamı (routing advertisement) yapar. Bu noktada hem adres hem de ilişiği olduğu etiketin yayını yapılır.

LER (Label Edge Router)

Paketlerin şebekeye girerken ve şebekeden çıkarken karşılaştıkları yönlendiricilerdir.

Şebekede yönlendirmeyi belirleyen ve gerekli yolların kurulması için paketlere etiket eklenmesi ilk bu düğümlerde gerçekleştirilir.

LSP (Label Switching Path)

İki uç birim arasında kurulan sanal yola verilen genel addır. LSP'ler iki şekilde kurulabilir.

1. Kontrol sürmeli (control-driven – hop by hop) kurulum
2. Açık (explicit) yönlendirmeli kurulum

Kontrol Sürmeli (Düğüm Düğüm) Yol Kurulumu

Her LSR, 3.Katman topoloji veritabanına bakarak hangi arabirimini kullanacağına karar verir.

Daha sonra etiket isteğini komşu düğüme iletir. Bu proses çıkış LER'ine ulaşana kadar sürer.

## Açık Yönlendirmeli Yol Kurulumu

Açık yönlendirme şebekeye giriş LER'inden şebekeden çıkış LER'ine kadar olan LSR'lerin adreslerinin oluşturduğu listeyi temsil eder. Tabii ki bu listedeki adresler bir yol oluşturacak şekilde verilmiştir. Açık yönlendirme işlemi iki şekilde yapılabilir.

-Sıkı

-Serbest

İki yönlendirme durumunda sadece LER tarafından önceden belirlenmiş LSR'ler kullanılır. Sıkı yönlendirme durumunda ayrıca LER tarafından verilen sıraya da uyma zorunluluğu vardır. Serbest açık yönlendirme durumunda gerekli görüldüğü takdirde LER tarafından belirlenmişlere ek olarak başka LSR'ler de kullanılabilir.

### 5.2.1.4. LDP

Adından da anlaşılacağı gibi etiketlerin düğümlere dağıtılmasından sorumlu olan protokoldür. LDP bir işaretleme protokolüdür. "MPLS İşaretleme Protokolleri" adı altında daha detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

### 5.2.1.5. FEC

Şebekedeki belirli özelliklere sahip paketlerin oluşturduğu sınıfa verilen genel addır. Mesela aynı hedef adresine sahip olan paketler aynı FEC altında toplanabilirler. Aynı hedefe yönelen paketlerin belirli bir sınıf altında toplanmasını, bu sınıfa tek bir ortak etiket verilmesini ve şebeke içinde ortak yönlendirme yapılmasını sağlar. Ayrıca paketlerin gruplanması bu gruplara çeşitli öncelikler atanmasına da olanak verir. Böylece gerçek zaman trafiğine yüksek, trafik ölçmeleri ya da haber grupları trafiğinin iletimine düşük öncelik verilerek servis kalitesinde iyileştirmelere gidilebilir. FEC'lerin içinde bulunabilen ve yönlendirmeyi etkileyen alanlar aşağıda sıralanmıştır.

2. Katmanda MAC adresi ve sanal devre numarası (VCID). Bu numara çerçeve aktarmada DLCI numarası, asenkron transfer modunda VPI ve VCI numaraları, X.25'de LCN numarasıdır.

3. Katmanda hedef IP ve kaynak IP adresi

4. Katmanda hedef ve kaynak port numarası, IP protokol tanıtıcısı

Not: 4. Katmandaki port numaraları ve IP protokol tanıtıcısı bazen kullanılmayabilir.

### **5.2.1.6. İşaretleşme protokolleri**

MPLS'te kontrol ve işaretleşme amacıyla dört adet farklı protokol kullanılabilir. Bu protokoller:

1. LDP (Etiket Dağıtma Protokolü)
2. RSVP – TE (Kaynak Ayırma Protokolü - Trafik Mühendisliği Genişlemeleri)
3. OSPF – E
4. BGP – E

#### **Etiket Dağıtma Protokolü**

MPLS ağında dolaşan FEC'lere etiket atanmasını sağlar. İki adet temel çalışma modu vardır. Bu modlar paket dağıtım tekniğini de belirlerler.

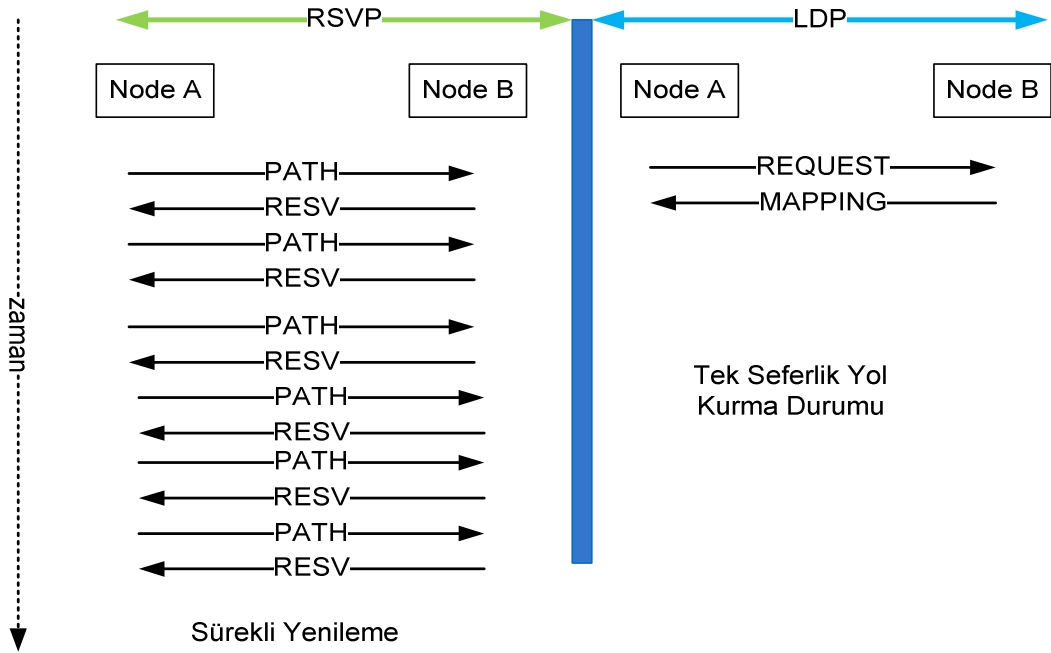
1. DU (Downstream Unsolicited – İsteğe bağlı olmayan akış)
2. DoD (Downstream on Demand – İsteğe bağlı akış)

DU Modu: LDP yönlendiriciler üzerinde aktive edilir. Böylece ilgili yönlendirici çevredeki LDP aktive edilmiş komşulara (diğer yönlendiricilere) onlar üzerinden erişilebilecek IP adres örnekleri için etiket reklamına (yayınına) başlar. Sonuç olarak, şebekedeki her yönlendiricinin diğer yönlendiricilere açılan bir MPLS tüneli kurulmuş olur. Böylece servis sağlayıcılar tünel açmak zorunda kalmazlar fakat IGP (İç ağ geçidi protokolü)'nin şebeke trafiği için en doğru yolu belirlemesine güvenmek

zorunda kalırlar. DU modunda LSR'ler hazır oldukları anda komşularına etiket / FEC eşleştirme çiftlerini yollarlar.

DoD Modu: Bu durumda LDP aktif yönlendiricilere dışarıdan açık (explicit) olarak gerekli IP örnekleri için etiket isteklerinin bildirilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde gerekli yollar (LSP'ler) ilgili komşular ile kurulabilir. Yani DoD modunda isteğe bağlı bir yol kurma söz konusu iken, DU modunda otomatik olarak IGP'nin belirlediği en iyi yolların kurulması söz konusudur. DoD modunda şebekenin belirli bir yerindeki yönlendiriciden çıkıştaki yönlendiriciye bir istek geldiği takdirde gerekli etiket yayını başlatılır. DoD modunda LSR'ler komşu LSR'lerden bir istek geldiğinde etiket / FEC eşleştirme çiftlerini komşu LSR'lere yollarlar.

LDP ile etiket atanması esnasında karşı taraftaki düğüme bir istek mesajı gönderilir. Buna karşılık ilgili düğüm bu istek mesajını alır ve yol kurmak isteyen tarafa eşleştirme (mapping) mesajını yollar. Böylece yol kurulmuş olur. RSVP ile LDP arasındaki en büyük fark Şekil 5.2'de de gösterildiği gibi etiket atanması işleminin sadece bir kere gerçekleşmesidir. Hâlbuki RSVP kullanıldığı takdirde, yol kurma ve rezervasyon mesajları düzenli olarak yenilenecek ve sürekli bir şekilde yollanmaya devam edilecektir.



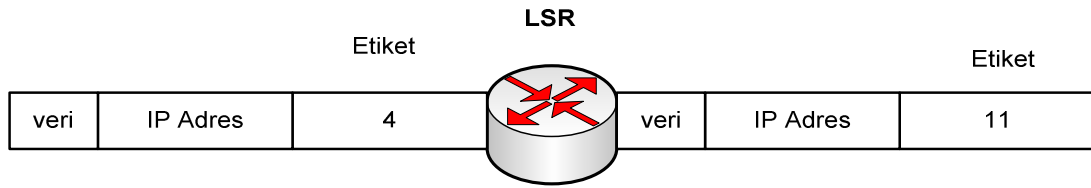
Şekil 5.2: RSVP ve LDP karşılaştırması

### 5.2.1.7. LDP mesajları:

LDP gerekli etiket/FEC eşleştirme mesajlarının değiş-tokuşunu yaparken dört farklı kategoride mesaj kullanır. Bunlar:

- Keşif mesajları (Discovery messages): Şebekede bir LSR'nin varlığını anons etmek için kullanılırlar. LSR'nin kendi varlığını periyodik olarak şebekeye hatırlatmak için "merhaba" mesajı yollamasına da izin verir.
- Oturum mesajları (Session messages): LDP oturumları kurmak, sürdürmek ve sonlandırmak için kullanılırlar.
- Reklam mesajları (Advertisement messages): FEC'ler için etiket eşleştirmelerini oluşturmak, değiştirmek veya silmek için kullanılırlar.
- Bilgilendirme mesajları (Notification messages): Danışma bilgilerini ve işaret hata bilgilerini taşımak için kullanılırlar.

Keşif mesajları haricindeki tüm MPLS mesajları güvenli bir şekilde iletilmelidir. Bunun için de TCP (İletim Kontrol Protokolü) kullanılır. Keşif mesajları ise UDP (Kullanıcı Datagram Protokolü) üzerinden taşınır. Etiket değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Etiket değişimi

### 5.2.1.8. MPLS protokol yığı

IP v.4'den MPLS bölgesine geçildiği zaman IP başlığının önüne MPLS başlığı eklenir. Böylece yönlendirme esnasında binlerce satırlık yönlendirme tablolarına bakmak yerine boyutları çok daha ufak olan etiket tablolarına bakmak yeterli olur. MPLS etiket başlığı ile paketin gideceği yöndeki düğümler belirtilir.

MPLS Katman 2,5 protokolü olarak da adlandırılır; çünkü 2. katman bağlaşması ile 3. katman yönlendirmesi arasına yerleşir. Kullanılan başlık alanı 32 bittir ve paketten pakete bu alan değişmez. Şekil 5.4'te MPLS başlığının nasıl yerleştiği gösterilmiştir.

2 Katman Başlığı	MPLS Başlığı	3 Katman Başlığı	Paket Verisi
------------------	--------------	------------------	--------------

Şekil 5.4: Etiket değişimi

Etiket 20 Bit																			Cos 3 bit			S	TTL 8 bit								
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Şekil 5.5: MPLS etiket formatı

MPLS başlığı 4 alandan oluşur. Bu alanlar, etiket, CoS (Class of Service), S (stack) ve TTL(Time to Live) olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.5'te MPLS etiket formatı gösterilmiştir.

Etiket alanı: Bu alan var olan etiketin güncel değerini taşır.

CoS (hizmet sınıfı) alanı: Bu alan aynı etiketi taşıyan paketlere sekiz taneye kadar farklı öncelik verilmesini sağlar. Bu da etiketlerin öncelikli akışı için kolay bir metot sağlar.

S (yığın) alanı: Bu alan bir veya daha fazla MPLS başlığının yığında olup olmadığını belirler. S=1 değeri bu etiketin yığındaki son etiket olduğunu, S=0 değeri de yığında başka etiketler olacağını gösterir.

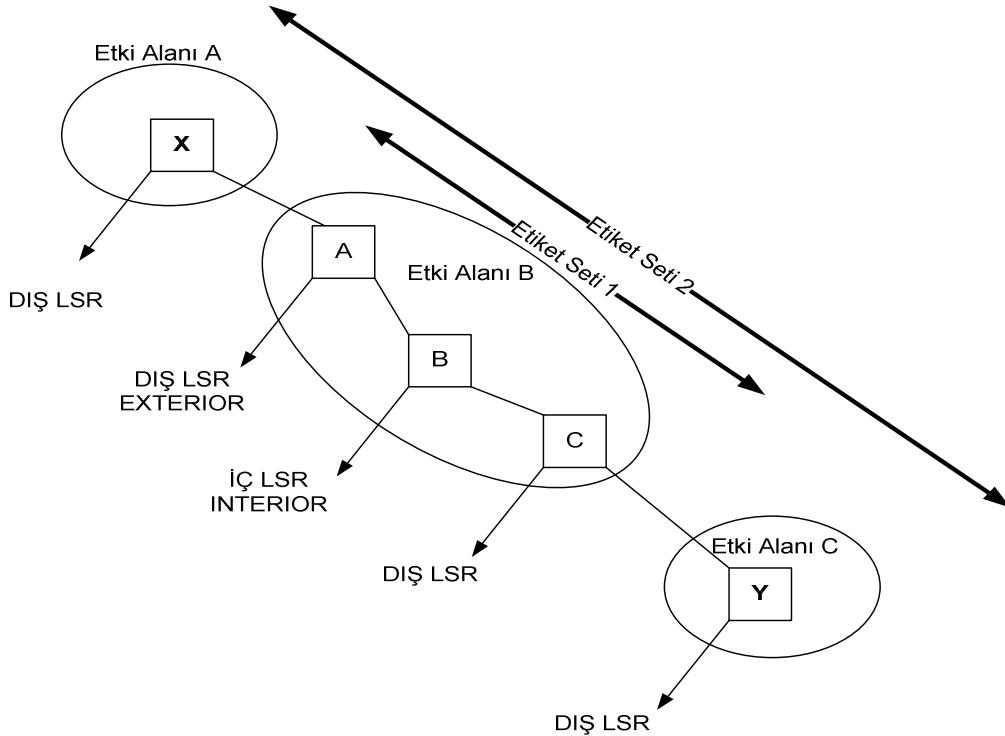
TTL (yaşam süresi) alanı: Bu alan IP'dekine benzer bir görev icra eder. Etiketin şebekede ne kadar süre imha edilmeden kalabileceğini belirtir. Bu süre çok kısa olursa etiketler karşı düğüme ulaşmadan yok edilirler. TTL alanının değeri uygun seçilmelidir. MPLS sadece Ethernet'te değil bütün 2. katman teknolojilerinde taşınabilir. Şekil 5.6'da ATM üzerinden taşındığı gösterilmiştir.

MPLS YIĞINI	IP YÖNLENDİRMESİ	PNNI YÖNLENDİRMESİ	ATM YIĞINI
	LDP İŞARETLEŞMESİ	UNI/NNI İŞARETLEŞMESİ	
	VPI VCI TABLOSU		
	IP QoS	ATM QoS	

Şekil 5.6: MPLS ile ATM arasındaki benzerlikler

### 5.2.1.9. Etiket takası ve verinin aktarılması

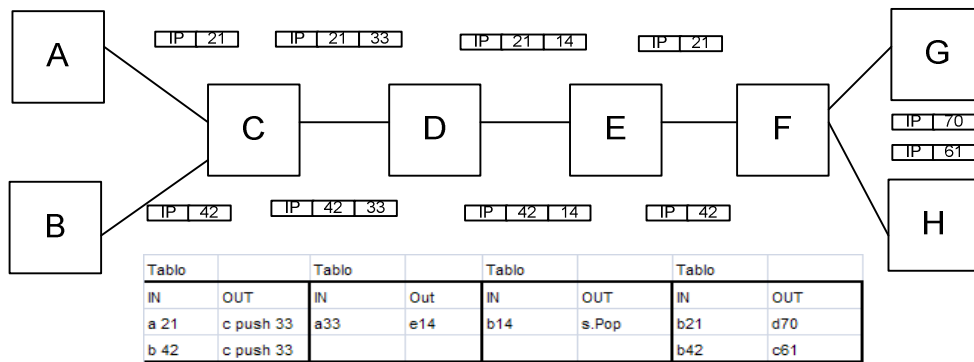
IP paketi belirli etki alanları arasında yol alırken çeşitli etiket setlerini kullanır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.7) veri trafiğinin, etki alanlarının (domain) içinden geçerken iki seviyeli etiketlemeye uğradığı gösterilmiştir. En iç şebekeden geçilirken (A-B-C yönlendiricilerinin bulunduğu) paket iki adet etikete sahip olurken, dış şebekelerde etiketler ayrıştırılır ve etiket sayısı bire düşer.



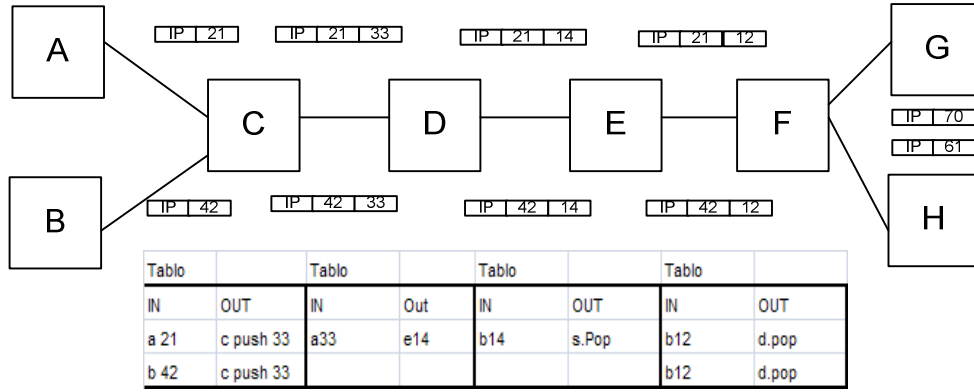
Şekil 5.7: Etiket alanlarının değişimi ile etiket değişimi



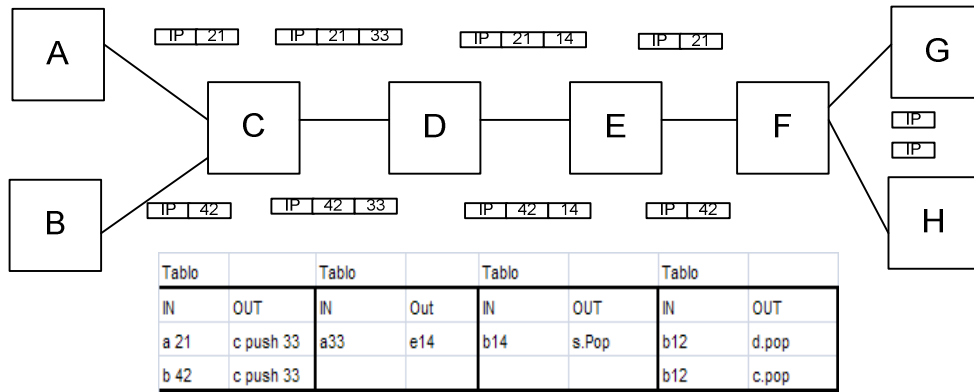
Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da etiketlenmiş paketin iletimi için çeşitli senaryolar gösterilmiştir. Birinci durumda A ve B LER'lerinden şebekeye giren paketler 21. ve 42. sanal yolları kullanacaklardır. Bunun için 21 numaralı yolu kullanacak paket C LSR'sinin A adlı arabirimine gelir. C yönlendiricisi hemen üzerinde bulunan etiket tablosuna bakar ve herhangi bir yol hesabı yapmaksızın 33 numaralı etiketi pakete ekleyip C adlı arabiriminden dışarı yollar. Buradan çıkan paket direkt bağlı olduğu D LSR'sinin A adlı arabirimine gelir ve D yönlendiricisinin etiket tablosundan gerekli etiketleri alır. Eski etiketini burada bırakır ve yoluna devam eder. Aynı şekilde E LSR'sini de geçen paket F LSR'sinin B adlı arabirimine gelir. F yönlendiricisi etiket derinliği 1 olan pakete ilgili etiketi ekler ve bundan sonra izleyeceği yolu pakete bildirir. Bu durum Şekil 5.8 için ana etiket değerinin değiştirilmesi ve paketin ileri iletilmesidir. B LER'inden gelen paketler de aynı şekilde F'den çıkışta farklı bir yola doğru iletilirler. Bu olay, bir yerden bir yere gitmek isteyen bir arabanın öncelikle anayolları sonra ara yolları ve yine ana yolları kullanarak istediği yere gitmesine benzetilebilir. Şekil 5.9'da ise etiket derinliğinin ikiden bire düşürülmesi E'de değil F yönlendiricisinde gerçekleşir. Şekil 5.10'da ise ikinci etiket E LSR'sinde atılırken birinci etiket F LSR'sinde atılır. Etiketsiz kalan IP paketi G ve H düğümlerinde 3. katmana çıkarak sahip olduğu lojik IP adresine göre yönlendirilerek ilgili düğüme ya da bilgisayara iletilir. Şekil 5.10'da gösterilen 3 numaralı senaryodan anlaşılacağı gibi paket G veya H yönlendiricisine geldiğinde MPLS şebekesinden çıkmış, bu düğümlerin arkasındaki şebekede yer alan bir bilgisayara ya da düğüme doğru yönlendirilmiştir.



Şekil 5.8: MPLS' de paket iletimi senaryo 1



Şekil 5.9: MPLS' de paket iletimi senaryo 2



Şekil 5.10: MPLS' de paket iletimi senaryo 3

### 5.2.1.10. Servis kalitesi kısıtları

MPLS çok sıkı hizmet kalitesi isteyen bağlantıları da destekler. Hizmet kalitesini belirleyen kısıtlar aşağıda verilmiştir.

**Bant genişliği provizyonu:** Bir uygulamanın ihtiyaç duyduğu bant genişliğinin sağlanıp sağlanamamasının bir ölçütüdür.

**Gecikme (Latency):** İki türü vardır. Birinci tür tek yönlü gecikme (delay) olarak adlandırılır ve paketin kaynaktan çıkıp hedefe ulaşana kadar geçen süre olarak tanımlanır. İkinci tür gecikme ise çift yönlü gecikme (Round Trip Time - RTT) olarak

adlandırılır ve paketin hedefe ulaşma süresine ek olarak paket alındıktan sonra ilgili alındı bildirimini kaynağa ulaşmasına kadar geçen süredir.

Gecikme Varyasyonu (Jitter): Paketler IP şebekesi üzerinden iki farklı moda iletilirler. Bunlardan birincisi datagram modunda iletimdir ve her paket farklı yollardan geçerek hedefe ulaşır. İkinci çalışma türü ise sanal devre modunda çalışmadır ve paketlerin izleyeceği yol daha önceden belirlidir. Jitter paketlerin hedefe farklı gecikme süreleriyle ulaşmaları sonucu oluşur ve gecikmeler arasındaki en fazla değişim miktarı olarak tanımlanır. Datagram modunda çalışan bir şebekede jitter hem farklı yolların farklı trafik miktarlarına sahip olması nedeniyle hem de düğümlerde paketlerin işleme sürelerinin farklı olması nedeniyle oluşur. Oysaki MPLS'in kullandığı sanal devre modunda çalışmada gecikme varyasyonuna neden olan şey sadece düğümlerde paketlerin işleme süresidir.

Paket Kayıp Oranı: Kaynaktan hedefe yollanan paketlerin kaçta kaçının şebekede çeşitli nedenlerden dolayı kaybolduğunun oranıdır. Paketlerin kaybolma nedenleri arasında gürültülü kanallar, hatalı iletim, yığılma ve yığılma giderme algoritmalarının devreye girip çerçeveleri atması sayılabilir.

MPLS IP şebekesinin sanal devre modunda çalışmasını sağlayarak IP şebekesine ölçeklenebilirlik, trafik yönetimi, servis kalitesi yönetimi ve hız artışı kazandırır. Kullanılan etiket tablolarının kısıtlılığı ve birçok ortak özellikli pakete (FEC) tek bir etiket verilmesiyle düğümlerde paketlerin işleme süreleri, şebekede oluşabilecek gecikmeler, gerçek zaman trafiğini olumsuz yönde etkileyen jitter göze çarpan miktarda azalmıştır. Trafik mühendisliği MPLS ana amaçları arasındadır. IGP, OSPF ve RIP gibi yönlendirme protokolleri kısıtlı özelliklere sahiptir. Bunun nedeni ise, yazılış algoritmaları gereği şebeke topolojisine bakmaları ve çoğu zaman bant genişliği miktarını ve trafik karakteristiklerini hesaba katmamalarından dolayıdır.

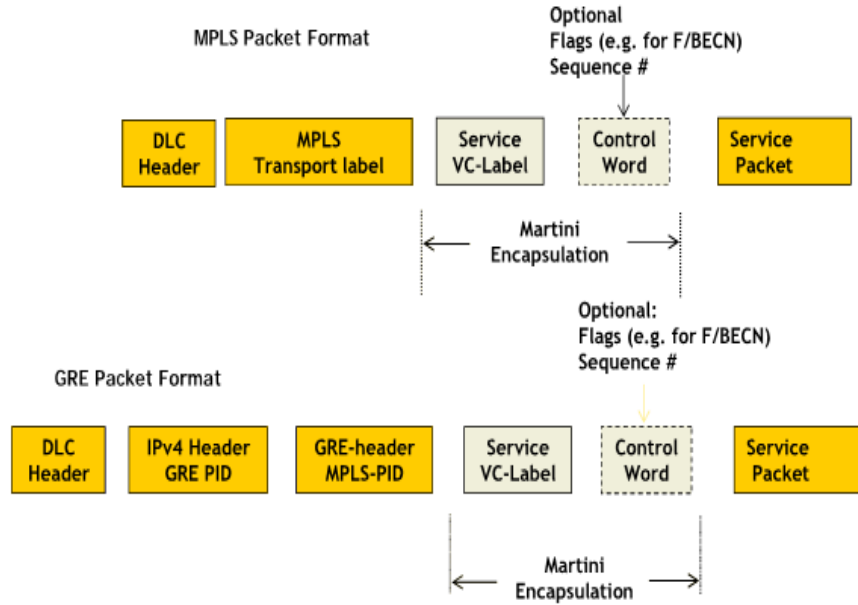
İki adet metot trafik mühendisliği işaretlenmesi için tanımlanmıştır. Bunlar LDP (Kısıtlama bazlı LDP – CRLDP) ve RSVP-TE'dir. CR-LDP birden çok kısıtlanmalı şebekeler için geliştirilmiştir. Bu kısıtlamalar QoS ve kural kısıtlamaları olabilirler. CRLDP güvenli bir iletişim için TCP'yi kullanır. RSVP-TE etiket tahsisi, dağıtımı ve bağlanması (binding) için kullanılan bir işaretlenme protokolüdür. Güvenli olmayan bir haberleşme protokolü olan UDP'yi kullanır. MPLS Türkiye'de de bazı servis sağlayıcılar tarafından yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır. Var olan ATM

altyapısına uygulanabilmesi ve büyük bir ek maliyet getirmemesi ve VPN desteği, onu önümüzdeki yıllarda çok popüler bir endüstri standardı haline getirecektir.

### 5.2.2. MPLS üzerinden verilebilecek servisler

MPLS'te Martini Encapsulation kullanılarak geçmişten gelen ve günümüzde halen kullanılan servislerin devamlılığı, kurulacak taşıyıcı ağlar üzerinden sağlanabilir. Bu şekilde her bir teknoloji için ayrı taşıyıcı yerine bunları tek bir ağdan taşınabilir. Capex ve Opex maliyetleri azaltılabilir.

MPLS Martini Encapsulation'daki yapılan L2 ara yüzden gelen data ne olursa olsun (Ethernet, ATM, TDM, Frame Relay gibi) data olarak bakıp, payload olarak alıp önüne hangi noktadan çıkması için gerekli olan MPLS etiketini atanır. İstenilen noktadan bir tünel üzerinden taşınması sağlanır. L2'deki her teknoloji için özelleşmiş olmasın rağmen bütün noktadan noktaya veya çok noktaya hizmetlerin hepsi için aynı Martini Encapsulation kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 5.11'de Martini Encapsulation'nının nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

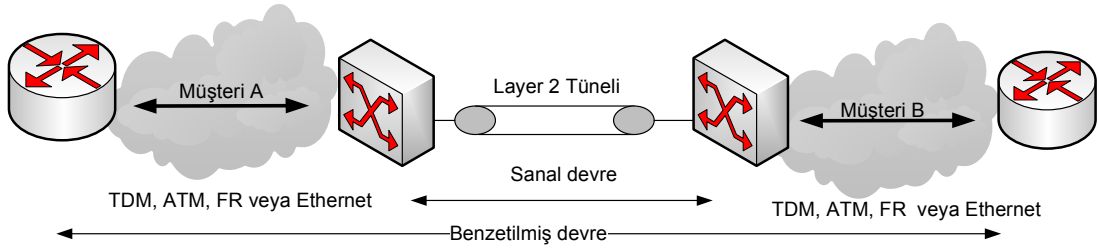


Şekil 5.11: Martini kapsülleme [19]

### 5.2.2.1. Noktadan noktaya Katman 2 Hat

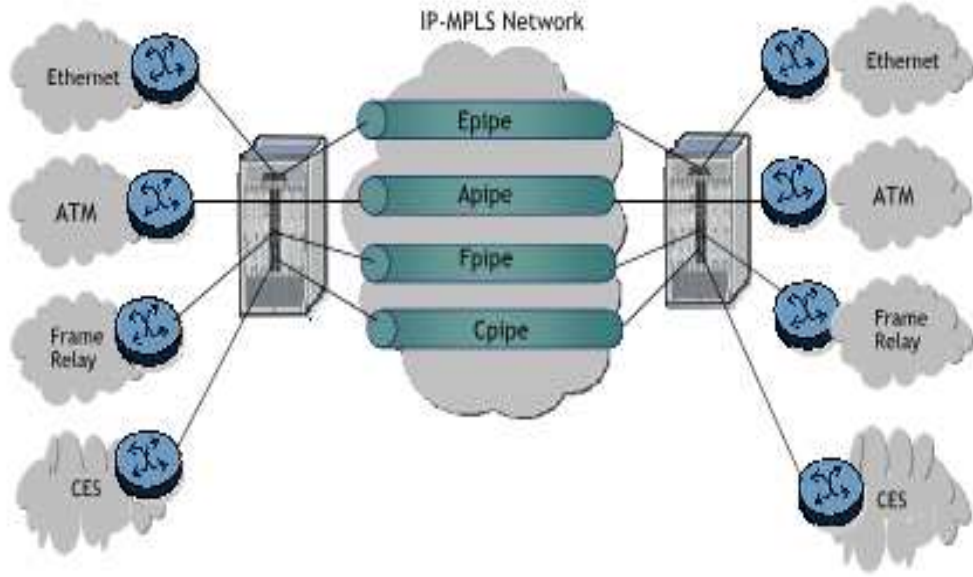
WPWS olarak adlandırılan servislerden noktadan noktaya aktarma servisleri (Şekil 5.12) olarak tanımlanabilir.

Bunlar MPLS üzerinden güvenli bir şekilde geçmişte kalan teknolojileri taşımak için kullanılmaktadır. Martini Encapsulation kullanılarak yapılandırılırlar.



Şekil 5.12: Noktadan noktaya sanal bağlantı

Bir operatörde geçmişten gelen birçok teknoloji bulunmaktadır. Frame Relay, TDM, ATM veya Ethernet gibi çok çeşitli ara yüzü olan donanımlar bulunabilir. Bunların hepsinin yerine yeni tek tipte donanımlar konulabilir. Ancak bu maliyetleri çok yükseltecektir. Bunun yerine taşıyıcı ağ oluşturulurken eski teknolojileri de taşıyabilecek bir ağ kurmak, geçmişten gelen donanımların da bir süre daha şebekede işlevlerini yerine getirmesi anlamına gelmektedir. Şekil 5.13'te gösterildiği gibi. Bu bölümde MPLS üzerinden verilebilecek servislerin detaylarından bahsedilecektir.



Şekil 5.13: Farklı servis tipleri

### Epipe

İki ucu da ethernet olan servis tipidir. Mac öğrenme yoktur. Ethernet domaininden gelen frameler bir tünel içinde kapsülenerak MPLS bulutu üzerinden herhangi bir 2. katman teknolojisi üzerinden taşınır.

### Apipe

İki ucu da ATM olan servis tipidir. ATM domain gelen 53 byte ATM hücreleri tünel içinde kapsülenerak MPLS bulutu üzerinden taşınır. 53 byte için 20 bit MPLS frame kullanmak kötü kullanımı artıracığından dolayı birden fazla ATM hücresi birleştirilerek MPLS bulutu üzerinden daha yüksek verimlilikle taşınabilir. Ses ve sinyalleşme için dünyadaki 3G şebekelerinin %90'ı bunu kullanarak yapılandırılmıştır. Bu yüzden ATM ve TDM taşıyabilen bir ağıımız için ayrı bir yatırımın devam etmesi yerine tek bir taşıyıcı ağ oluşturulabilir.

### Fpipe

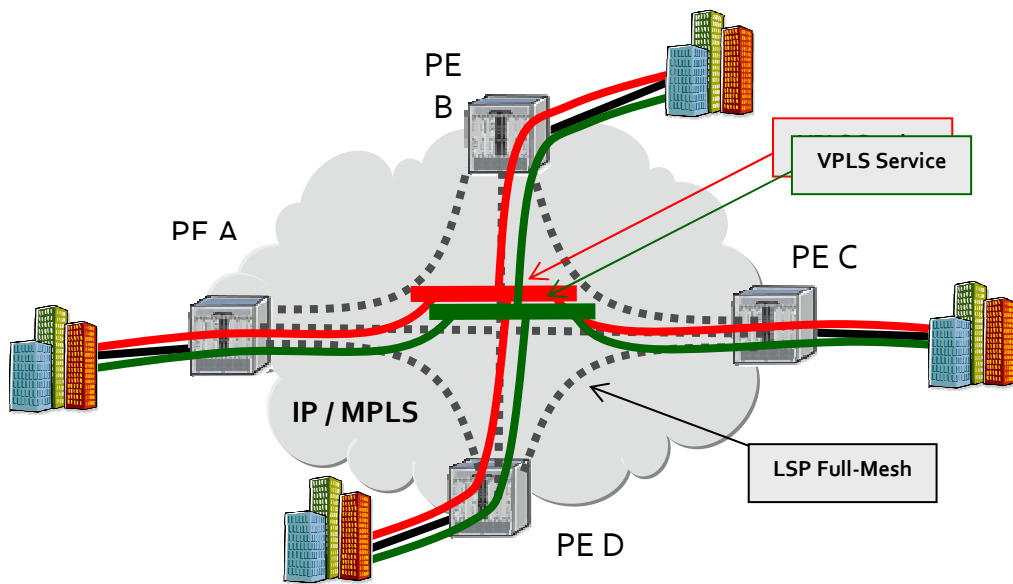
İki ucu da Frame Relay olan service tipidir. Frame Relay domain gelen Frame Relay paketleri DLCI göre ayrıştırılarak ilgili servise atanır. Bunu üzerinden MPLS domain üzerinden taşınabilir.

Cpipe

İki ucu da TDM olan service tipidir. BTS ve BSC gibi ağlarda hala birçok kez TDM taşınabileceği için MPLS ağlarından eski donanımları desteklemesi gereklidir. Bu yüzden TDM servisleri de MPLS üzerinden taşınabilir. TDM servislerinin iki modu vardır. Bunlar CES ve SATOP olarak adlandırılır. 2G ağlarında taşıma daha çok CES (Circuit Emulation Service) üzerinden taşınır. CES modunda gelen port olduğu gibi (TDM'de kullanılan tüm time slotlar) MPLS ağı üzerinden taşınmasını sağlar.

### 5.2.2.2. Çok noktadan çok noktaya katman 2 hat

MPLS üzerinden noktadan noktaya hizmetler verilebildiği gibi çok noktadan çok noktaya olan servis tipleri de verilebilir. Bu şekilde her bir donanım için yeni bir servis açılması ve yaratılması ihtiyacı ortadan kalkmış olur. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.14'te) nasıl yapılacağı gösterilmiştir.



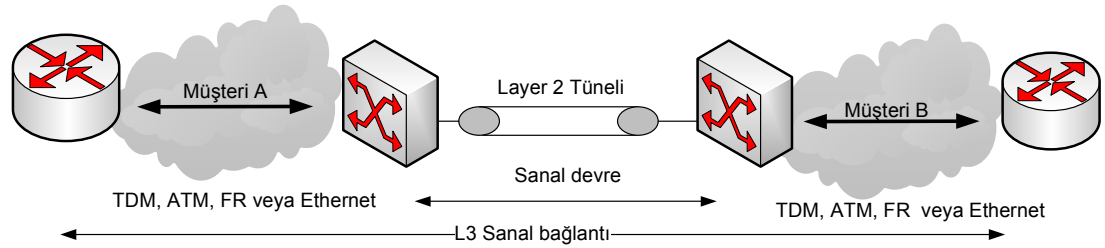
Şekil 5.14: VPLS çok noktadan çok noktaya 2.katman servis[19]

Çok noktadan çok noktaya erişim olacağı için anahtarlama bilgilerinin yani mac adreslerinin öğrenilmesi gerekir. Basit bir switch gibi mac adres tabloları tutulur. Başta bu tablolar boş olarak başlatılır. Daha sonra müşteri verisi bir noktadan bir

noktaya taşındıkça kaynak mac adresine göre aktarma tabloları toplanmaya başlar. Bu şekilde toplama servis ihtiyaçları karşılanmış olur.

### 5.2.2.3. Noktadan noktaya katman 3 hat

OSI referans modelinde L3 olarak tanımlanan yönlendirme katmanında günümüzde kullanılan teknoloji ve standart halini almış olan IP katmanıdır. IP yönlendirme çalışmadan noktadan noktaya verilen hizmete noktadan noktaya L3 VPN hizmeti adı verilir. L3 çalıştığı için uç noktalarda kullanılan L2 erişim teknolojisinin ne olduğu önemli değildir. Bir ucu ATM, bir ucu Ethernet, bir ucu TDM, bir ucu Frame Relay gibi karmaşık ara yüzü olan donanımlar MPLS ağları üzerinden taşınabilir. Noktadan noktaya olan servislerde yönlendirme bilgisi gerekmez. Bir sonraki sayfada (Şekil 5.15'te) noktadan noktaya L3 VPN'in yapısı gösterilmiştir.

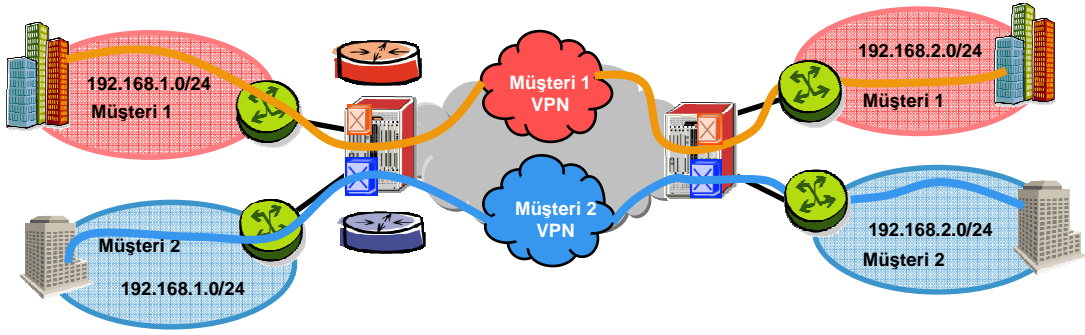


Şekil 5.15: Noktadan Noktaya L3 sanal bağlantı

### 5.2.2.4. Çok noktadan çok noktaya katman 3 hat

Çok noktadan çok noktaya IP üzerinden erişim verilebilmesi hizmetine verilen addır. MPLS üzerinden verilebilecek servislerinden biridir. MPLS üzerinden taşınabilecek çok noktadan çok noktaya hizmetlerdir. L3 olduğu için farklı erişim teknolojileri kullanılabilir (ATM, TDM ve Frame Relay, Ethernet vb.). Çok noktadan çok noktaya erişim gerektiği durumda kullanmak avantajlıdır. Çok noktalı bir servis olduğu için yönlendirme bilgisi gerekmektedir. Bu yüzden PE donanımları arasında MP-BGP denilen yönlendirme protokolü kullanılır. Şekil 5.16'da çok noktadan çok noktaya L3 VPN'in yapısı gösterilmiştir.





Şekil 5.16: Çok noktadan çok noktaya L3 sanal bağlantı

### 5.2.3. Ethernet

Ethernet ilk olarak 1973–1975 yılları arasında Xerox PARC tarafından geliştirildi. 1975 yılında Xerox Robert Metcalfe, David Boggs, Chuck Thacker ve Butler Lampson adına bir patent başvurusunda bulundu (Multipoint veri communication system (with collision detection)). 1976'da, sistemin PARC'da kullanıma girmesinin ardından Metcalfe ve Boggs taslak bir metin yayımladılar.

Bu metinde tanımlanan deneysel Ethernet 3 Mbit/s hızındaydı ve 8-bit kaynak ve hedef adresi alanlarını içermekteydi, yani ilk Ethernet adresleri bugün kullanılan MAC adresleri değildi. Yazılım konvansiyonuna göre kaynak ve hedef adresi alanlarından sonra gelen 16 bit paket tipi alanıydı, ancak metinde söylendiği gibi "farklı protokoller ayırık paket tipi kümeleri kullanabilmekteydi", dolayısıyla bunlar Ethernet'in bugünkü halindeki, kullanılmakta olan protokolü tanımlayan paket tiplerinden ziyade belirlenen protokolün içerdiği paket tipleriydi.

Metcalfe 1979 yılında Xerox'tan ayrılarak kişisel bilgisayarların ve Yerel Ağların kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla 3Com'un kurucu ortağı oldu. DEC, Intel ve Xerox'u Ethernet'i "Digital/Intel/Xerox" 'tan gelen "DIX" standardı olarak teşvik etmek için birlikte çalışmaya ikna etti. Bu standartta 48-bit kaynak ve hedef adresi alanları ile evrensel bir 16-bit paket tipi alanı olan 10 Mbit/s hızında bir Ethernet tanımlanmıştır. Standartın ilk taslağı 30 Eylül 1980'de IEEE tarafından yayınlandı. Standart Token Ring ve Token Bus adlı mevcut iki tescilli standartta rakip olmuştur. Ethernet CSMA/CD standardının sonlandırılmasında IEEE içindeki zor karar süreci ve IBM tarafından desteklenen rakip Token Ring taslağından kaynaklanan

gecikmelerin üstesinden gelmede CSMA/CD standardının ECMA, IEC ve ISO gibi diğer standartlaştırma kuruluşları içinde desteklenmesi önemli bir faktördü. Tescilli sistemler kısa süre içinde Ethernet ürünlerinin istilası ile büyük ölçüde pazar kaybettiler. 3COM bu süreci destekleyen başlıca firma olmuştur. 1981'de 3COM ilk 10 Mbit/s Ethernet adaptörünü üretti. Bunu kısa süre sonra Digital Equipment'in Unibus Ethernet adaptörü izledi.

Bükülü Tel Çifti Ethernet sistemleri geliştirilmesine 80'li yılların ortalarında StarLAN adıyla başlanmış ancak sonrasında geniş ölçüde 10BASE-T olarak adlandırılmıştır. İlk Ethernet sistemleri zırhsız 'Bükülü Tel Çifti' ile birleştirilen dağıtım soketleri ile sunulduğu için eş eksenli kablunun yerini almış, daha sonrasında CSMA/CD yapısı yerine daha yüksek performans sağlayan anahtarlamalı full duplex yapısı kullanılmıştır.

#### **5.2.3.1. Ethernet çerçevesi tipleri ve ethertype alanı**

Birkaç farklı Ethernet çerçevesi vardır. Bunlar:

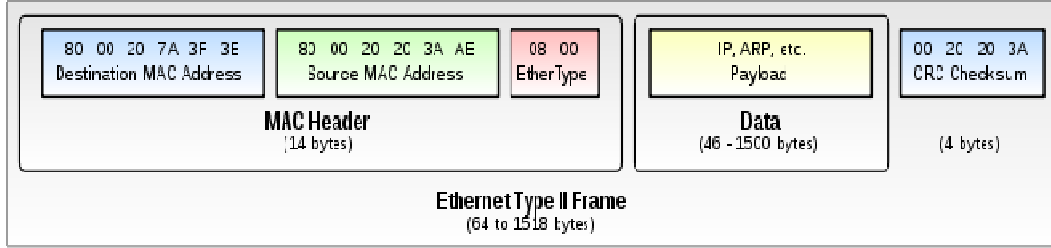
-Ethernet Versiyon 2 ya da Ethernet II çerçevesi, DIX frame olarak da bilinir (DEC, Intel ve Xerox 'un baş harflerinden türetilmiştir); çoğunlukla doğrudan İnternet Protokolü tarafından kullanıldığı için bugün en yaygın olan çerçeve tipidir. Şekil 5.17'de Ethernet type 2 frame yapısı gösterilmiştir.

-Novell'in kullandığı IEEE 802.2 Mantıksal Bağlantı Kontrolü (Logical Link Control(LLC)) başlık kısmı olmayan standart dışı IEEE 802.3 varyasyonu ("taslak 802.3 çerçevesi").

-IEEE 802.2 Mantıksal Bağlantı Kontrolü (LLC) çerçevesi.

-IEEE 802.2 LLC/Alt-Ağ Erişim Protokolü (Subağ Access Protocol(SNAP)) çerçevesi.

İlave olarak her dört Ethernet çerçeve tipi seçmeli olarak hangi Sanal Ağ'a (Virtual LAN(VLAN)) ait olduklarını ve IEEE 802.1p önceliklerini belirtmek için bir IEEE 802.1Q etiketi kullanabilirler. Bu enkapsülasyon IEEE 802.3ac'de tanımlanmıştır ve maksimum çerçeve boyutunu 4 bayt artırarak 1522 bayt'a yükseltir. Farklı çerçeve tipleri farklı formatlara ve MTU değerlerine sahiptir, ancak aynı paylaşımlı ortamda bir arada bulunabilirler.



Şekil 5.17:Ethernet type 2 frame yapısı [20]

Digital/Intel/Xerox (DIX) Ethernet şartnamesinin 1.0 ve 2.0 versiyonlarında EtherType adlı 16-bit alt-protokol etiketi alanı bulunmaktadır. Yeni IEEE 802.3 Ethernet şartnamesinde bunun yerini 16-bit uzunluğundaki ve MAC başlık kısmından sonra gelen Mantıksal Bağlantı Kontrolü (LLC) alanı almıştır. Etiketsiz klasik Ethernet v2 ve IEEE802.3 çerçeveleri için maksimum çerçeve uzunluğu 1518 bayt, 802.1p ya da etiketli 802.1q çerçevesi için ise 1522 bayttır. Nihai olarak bu iki format EtherType alanındaki 64 ile 1522 arası bir değer uzunluk bilgisi olan yeni 802.3 Ethernet formatını, desimal 1536 (hexadecimal 0600) ve daha büyük bir değer 'EtherType' alanı olan orjinal DIX ya da Ethernet II çerçeve formatını ifade edecek şekilde birleştirildi. Bu kural yazılımın aynı fiziksel ortamda birlikte bulunabilecek Ethernet paketleri içinden herhangi bir çerçevenin Ethernet II formatında mı yoksa IEEE 802.3 formatında mı olduğunu anlayabilmesine olanak sağlamıştır.

802.2 LLC başlık kısmı incelenerek sonraki başlık kısmının SNAP (subağ access protocol) protokolünde olup olmadığı tespit edilebilir. Özellikle OSI ağ yığını için tasarlanmış bazı protokoller, veri-bloğu ve bağlantı yönelimli ağ hizmetleri sunan 802.2 LLC üzerinde doğrudan çalışırlar. LLC başlık kısmı hizmet erişim noktası (service access point)ya da OSI terminolojisinde SAP denilen ilave iki adet 8-bitlik adres alanı içerir; hem kaynak hem de hedef SAP alanına 0xAA yazıldığında bu

SNAP hizmeti isteği anlamına gelmektedir. SNAP başlık kısmı EtherType değerlerinin tüm IEEE 802 protokolleriyle kullanımına izin vermesinin yanında özel protokol ID alanlarını da destekler. IEEE 802.3x-1997 ile Ethernet standardı MAC adresi alanlarından sonra gelen 16-bitlik alanın uzunluk ya da tip alanı olarak kullanılmasına izin verecek şekilde değiştirilmiştir.

Novell'in "taslak" 802.3 çerçeve formatı erken dönem IEEE 802.3 çalışmasına dayanmaktadır. Novell bunu kendine ait olan IPX Ethernet üzeri ağ protokolünü geliştirmede başlangıç noktası olarak almıştır. LLC başlık kısmı kullanılmamakta, bunun yerine uzunluk alanından hemen sonra IPX paketi gelmektedir. Bu uygulama IEEE 802.3 standardına uygun olmamakla birlikte diğer Ethernet uygulamalarıyla aynı fiziksel ortamı kullanabilmektedir.

Novell NetWare 1990'ların ortalarına kadar bu çerçeve tipini varsayılan çerçeve olarak kullanmış ve o dönemde Netware IP'den daha yaygın olduğundan dünya Ethernet trafiğinin büyük bölümü IPX taşıyıcı "taslak" 802.3 protokolünde taşınmıştır. Netware 4.10'dan beri Netware, IPX kullanımında varsayılan çerçeve tipi olarak LLC kullanılan IEEE 802.2'yi benimsemiştir(Netware Frame Type Ethernet\_802.2).

Mac OS Ethernet ("EtherTalk") üzerindeki AppleTalk V2 protokol ailesinde 802.2/SNAP çerçevesi, TCP/IP içinse Ethernet II çerçevesi kullanır.

802.2 Ethernet türleri günümüzde henüz IP üzeri Netware'e güncellenmemiş büyük kurumsal Netware altyapıları dışında yaygın olarak kullanılmamaktadır. Geçmişte pek çok kurumsal ağ Ethernet ile IEEE 802.5 Token Ring ya da FDDI ağları arasında çevrim yapabilmek için 802.2 Ethernet'i desteklemiştir. Bugün kullanılmakta olan en yaygın çerçeve tipi Internet Protokolü-tabanlı ağlar tarafından en çok kullanılmakta olan ve IPv4 için EtherType alanında 0x0800, IPv6 için 0x86DD bulunan Ethernet Versiyon 2'dir.

IP versiyon 4 trafiğini IEEE 802.2 çerçevesi içine LLC/SNAP başlık kısmı ile birlikte gömmek için bir Internet standardı 'da mevcuttur. Bu standart FDDI, token ring,

IEEE 802.11 ve diğ er IEEE 802 ağ larında kullanılmasına rağ men Ethernet üzerinde neredeyse hiç kullanılmamaktadır. IP trafiğ i IEEE 802.2 LLC çerçevesi iç ine SNAP olmadan gömülemez, ç ünkü IP iç in bir LLC protokol tipi olmasına rağ men ARP iç in bir LLC protokol tipi yoktur. IP Versiyon 6 'da LLC/SNAP ile birlikte IEEE 802.2 kullanılarak Ethernet üzerinden gönderilebilir, ancak yine bu da neredeyse hiç kullanılmamaktadır.

IEEE 802.1Q etiketi, eđ er mevcutsa, Kaynak MAC ve EtherType ya da Uzunluk alanları arasına yerleştirilir. Etiket in ilk iki baytı 0x8100 değ erinde olan Etiket Protokol Tanımlayıcısıdır (Tag Protocol Identifier (TPID)). Etiketsiz çerçevelerde bu EtherType/Uzunluk alanı ile aynı yerde bulunur, dolayısıyla EtherType alanında bulunan 0x8100 değ eri çerçevenin etiketli olduğ unu belirtir ve gerç ek EtherType/Uzunluk değ eri etiketten sonra gelir. Etiket iç inde TPID'yi Etiket Kontrol Bilgisi(Tag Control Information (TCI)) takip eder (IEEE 802.1p önceliğ i (hizmet kalitesi) bilgisi ve Sanal Ağ kimliğ i).

#### **5.2.4. Yüksek hızlı ethernet**

-100BASE-T: Bükülü tel çifti kullanan tüm 100 Mbit/s Ethernet türleri iç in kullanılan genel terim. 100BASE-TX, 100BASE-T4 ve 100BASE-T2 'yi kapsar. 2009 itibarıyla 100BASE-TX pazara tamamen hakim durumdadır ve literatürde 100BASE-T ile aynı anlama gelmektedir.

-100BASE-TX: Kategori 5 kablo üzerindeki 100 Mbit/s Ethernet (dört tel çiftinden ikisi kullanılır). 10BASE-T ile aynı yıldız biçimli konfigürasyondadır.

-100BASE-T4: Kategori 3 kablo üzerindeki 100 Mbit/s Ethernet (10BASE-T kurulumlarında kullanıldığ ı şekliyle). Dört tel çiftinin hepsi kullanılır ve yarı çift yönlüdür. Kategori 5 kablo standart hale geldiğ inden günümüzde kullanım dışıdır.

-100BASE-T2: Kategori 3 kablo üzerindeki 100 Mbit/s Ethernet. Dört tel çiftinin hepsi kullanılır ve tam çift yönlü iletişimi destekler. Bu standardı destekleyen herhangi bir donanım üretilmemiştir.

-100BASE-FX: Fiber üzeri 100 Mbit/s Ethernet.

### 5.2.5. Gigabit ethernet

-1000BASE-T: Ekransız bükülü tel çifti bakır kablo üzeri 1 Gbit/s Ethernet. (Kategori 5 kablo kullanılabilmeyle birlikte Kategori 5'e kablo tavsiye edilir)

-1000BASE-SX: Kısa erişimli 2 km kadar çoklu mod fiber üzeri 1 Gbit/s Ethernet.

-1000BASE-LX: Uzun erişimli 10 km'ye kadar tekli mod fiber üzeri 1 Gbit/s Ethernet.

-1000BASE-ZX: Uzun erişimli 80 km kadar mod fiber üzeri 1 Gbit/s Ethernet.

-1000BASE-XZX: Uzun erişimli 10-180 km tekli mod fiber üzeri 1 Gbit/s Ethernet.

-1000BASE-: 1 Gbit/s Ethernet'i özel bakır kablo üzerinde kullanmak için geliştirilmiş kısa erişimli bir çözüm. 1000BASE-T'den önce çıkmıştır ve günümüzde kullanım dışıdır.

Farklı ara yüz kullanılarak bir fiber üzerinden tekrarlayıcı olmadan değişik km ışık taşınabilir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 5.2) bu özetlenmiştir.

Tablo 5.2: Ethernet ara yüz tipleri

40km	1310nm DFB	Single Mode
80km	1550nm DFB	Single Mode
120km	1550nm DFB	Single Mode
80km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
120km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
160km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
210km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
300km	DWDM C Band 191.7 - 196.1 THz	Single Mode
80km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
100km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
120km	CWDM 1270nm - 1610nm DFB	Single Mode
180km	DWDM C Band 191.7 - 196.1 THz	Single Mode
80km	1510nm DFB 1590nm DFB	Single Mode

### 5.2.6. 10-Gigabit ethernet

10 Gigabit Ethernet standartları ailesi tekli mod fiber (uzun erimli), çoklu mod fiber (300 m'ye kadar), bakır arka yüzey (1 m'ye kadar) ve bakır bükülü tel çifti (100 m'ye kadar) için ortam tiplerini ihtiva eder. İlk olarak IEEE Std 802.3ae-2002 olarak yayımlanmıştır, ancak halihazırda IEEE Std 802,3-2008 içinde bir bölümdür.

-10GBASE-SR: Yaygın çoklu mod fiber kablolama üzerinden kısa mesafeleri desteklemek için tasarlanmıştır. Kablo tipine göre 26 m ile 82 m arasında bir erişime sahiptir. Aynı zamanda yeni bir 2000 MHz•km çoklu mod fiber üzerinden 300 m'ye kadar çalışmayı destekler.

-10GBASE-LX4: Yaygın çoklu mod fiber kablolama üzerinden 240 m ile 300 m arasındaki mesafeleri desteklemek için dalga boyu bölümü çoğullaması (wavelength division multiplexing) tekniğini kullanır. Ayrıca tekli mod fiber üzerinden 10 km'yi destekler.

-10GBASE-LR ve 10GBASE-ER: Bu standartlar tekli mod fiber üzerinden sırasıyla 10 km ve 40 km'ye kadar olan mesafeleri destekler.

-10GBASE-SW, 10GBASE-LW ve 10GBASE-EW: Bu türler OC-192/STM-64SONET ve SDH ekipmanlarıyla birlikte çalışmak için tasarlanmış WAN PHY kullanırlar. Fiziksel katmanda sırasıyla 10GBASE-SR, 10GBASE-LR ve 10GBASE-ER'ye karşılık gelirler, dolayısıyla aynı fiber tiplerini kullanıp benzer mesafeleri desteklerler. (10GBASE-LX4'e karşılık gelen bir WAN PHY standardı yoktur.)

-10GBASE-T: Bakır bükülü tel çifti kablolama için geliştirilmiştir. IEEE Std 802.3an-2006 ile tanımlanmış ve IEEE Std 802.3-2008 ile birleştirilmiştir.

-2009 yılı itibarıyla, 10 Gigabit Ethernet taşıyıcı ağlarda baskın teknoloji olmuştur ve 10GBASE-LR ile 10GBASE-ER kayda değer pazar payına sahiptir.

### **5.2.7. 40 Gigabit ethernet ve 100 Gigabit ethernet**

2009 yılı itibarıyla, 40 Gigabit Ethernet ve 100 Gigabit Ethernet (100GbE) standartları halen taslak aşamasındadır. Ancak bütün firmaların cihazlarında tanımlama kadarıyla şu anda bu ara yüz tipleri mevcuttur. Gelecek nesil Ethernet olacağını düşünürsek yüksek hızlara da şimdiden bir zemin oluşturacaktır. Wireless LTE ile beraber daha da fazla bireysel bant genişliği ihtiyacı artacağından dolayı yüksek hızlara nerdeyse her noktada ihtiyacımız olacaktır.

### **5.2.8. Ethernet üzerinden verilebilecek servisler**

#### **5.2.8.1. L2 VPN (noktadan noktaya VPN)**

Ethernet üzerinden daha fazla sayıda abone ve bölüme hizmet verebilmek amacıyla Sanal LAN VLAN ismiyle bir parametre ortaya atılmıştır. Bu parametre bir Ethernet portu üzerinde veya bir Ethernet switch üzerinde sanal yollar oluşturmaktan ibarettir. 2 tipte VLAN mevcuttur. Bunlardan bir tanesi Dot1q diğeri Qing olarak adlandırılır.

-Do1q 0–4094'e kadar olan ve her bir Ethernet frame önüne konan bir sayıdır.

-Qing ise iki adet dot1q frame'in ortaya çıkmasıyla oluşur.

Bu şekilde birden fazla müşteriye ait Ethernet frameleri bir kablo üzerinde veya bir switch üzerinde birbirlerine karışmadan taşınmış olur.

Ethernet çok ucuz ve basit bir teknolojidir ancak basit olması sebebiyle yönetilmesi zordur.

Ethernet üzerinden VLAN oluşturularak notadan noktaya Ethernet hizmeti verilebilir; ancak yedeklilik sağlamak için xSTP gibi eski teknolojileri kullanmak gerekebilir. Bu yüzden yönetimi zordur. Ethernet üzerinden sadece Ethernet servisleri verilebilmektedir. MPLS'teki gibi daha karmaşık TDM ve ATM servislerini vermek malesef mümkün değildir.



### **5.2.8.2. L2 çok noktadan çok noktaya VPN**

MPLS'teki VPLS yani çok noktadan çok noktaya olan servis tipidir. Ancak MPLS'teki gibi tünel burada olmadığından her bir taşıyıcı cihazda konfigürasyon yapılması gerekmektedir. Problem çıktığında her bir noktada kontrol yapılması gerekmektedir. O yüzden küçük ağlar için kullanılabilir olmakla birlikte çok büyük ağlarda çok noktadan çok noktaya Ethernet ağlarının kurulmasına yukarıdaki sebeplerden dolayı sıcak bakılmamaktadır.

### **5.2.9. Multicast Mimarisi**

Multicast Mimarisi test kullanılan trafiklerin açıklanması amacıyla detaylandırılmıştır.

#### **5.2.9.1. Muticast (noktadan çok notaya trafik)**

Unicast trafikler tek görüşmeler için uygundur. Büyük konferans, video konferans veya TV yayını gibi trafiklerin unicast olması verimli olmayan kaynak kullanımına yol açar. Çünkü her bir UE için trafiğin kopyalanması anlamına gelmektedir. Bu da ağda çok büyük yükler oluşturacağından dolayı bu gibi trafiklerin multicast taşınması gerekecektir. Multicast trafik taşınabildiği noktaya kadar tek bir akış şeklinde taşınmaktadır. Bu noktadan sonra hatta hava ara yüzünde bile tek bir ortak kanaldan taşınabilir. Multicast, birden fazla UE'nin ortak kanala kayıt olmasıyla uygun bir ortamda minimum kaynakla taşınabilmektedir.

Bir maç yayınında örneğin bir baz istasyonun altında 200 adet UE TV yayını izliyorsa, bu 200 adet akış video kaynağından bütün UE kadar hava dahil muticast taşınırsa 1/200 oranında kaynak kullanım tasarrufu sağlanır. LTE aynı zamanda eNodeB'ler arasındaki mesajlaşmada ve S-GW'in üyeleri olan bütün eNodeB'lere ortak bir mesaj gönderecekse her donanıma tek tek bu mesajı göndermekten tek bir multicast mesaj atarak bütün eNodeB'lere ulaşmış olur. Hatta istenilen konfigürasyon yapılırsa bütün UE'lere tek bir mesaj ile ulaşılabilir. Reklâm ve diğer kontrol mesajları için büyük bir yükten kaçınılmış ve uygun bir kaynak paylaşımı yapılmış olur.

Testleri yapmadan önce multicast protokolleri hakkında genel bir bilgi verilecektir.

### 5.2.9.2. Multicast Yönlendirme Protokolleri

Multicast trafik aynı unicast trafik gibi yönlendirme protokollerine ihtiyaç duymaktadır. Ancak Unicast yönlendirme protokolleri burada işe yaramamaktadır. Bu yüzden multicast dünyası için ayrı bir switching (anahtarlama) ve routing (yönlendirme) protokolleri ortaya çıkmıştır.

#### Multicast Anahtarlama İnternet Grup Yönetim Protokolü (IGMP)

IGMP (Internet Group Management Protocol), TCP/IP'de çoklu dağıtım (multicast) üyelerini yönetmek için kullanılan bir iletişim protokolüdür. Taşıma protokolü gibi davranmamasına rağmen, ağ katmanının üzerinde çalışması IP çoklu dağıtımın önemli bir özelliğidir. Tekli dağıtım (unicast) bağlantılardaki ICMP'ye benzerdir. IGMP çevrimiçi akış videolarında ve oyunlarında kullanılabilir. Bu tip uygulamaları desteklerken kaynaklarının daha verimli şekilde kullanılmasını sağlar.

IGMP kullanarak çoklu dağıtım servisi (video gibi) vermek için tasarlanmış bir ağ bunun gibi basit bir mimariyi kullanıyor olabilir: IGMP istemciyi yerel çoklu dağıtım yapan bir yönlendiriciye bağlamak için hem istemci hem de bitişindeki ağ switchleri tarafından kullanılır. Protokolden bağımsız çoklu dağıtım (Protocol Independent Multicast - PIM) daha sonra video sunucusundan birçok çoklu dağıtım istemcisine trafiği yönlendirmek için, yerel ve uzaktaki çoklu dağıtım yapan yönlendiriciler arasında kullanılır.

#### Host ve Yönlendirici Gerçekleştirmeleri

IGMP protokolü host taraflı ve yönlendirici taraflı olarak uygulanır. Host tarafı gruptaki üyeliğini kendi yerel yönlendiricisine rapor eder. Yönlendirici tarafı Host'tan gelen raporları dinler ve periyodik olarak sorgular, gönderir. Yayın alma isteği (IGMP Subscribe, yani IGMP Aboneliği): bu mesajı, bir yayını almak isteyen bir kullanıcı yönlendiricisine gönderir. Yönlendirici ise eğer o yayını almakta ise yayının bir kopyasını da o kullanıcıya göndermeye başlar. Eğer yönlendirici o yayını almakta değil ise, bağlı olduğu yönlendiricilere yayın alma isteğini gönderir. Diğer yönlendiriciler de aynı işlemi yaparlar, tâ ki yayını bulana kadar.

Yayın almayı kesme isteği (IGMP Unsubscribe, yani IGMP Aboneliği İptali): bu mesajı, bir yayını almak istemeyen bir kullanıcı yönlendiricisine gönderir. Yönlendirici ise eğer o yayını almak isteyen kullanıcı kalmamışsa yayını göndermekte olan yönlendiriciye de aynı mesajdan bir kopya gönderir. Bu sayede, yönlendiriciler gereksiz yere yayın kopyalamaya uğraşmazlar.

IGMP'nin değişik sürümlerinde, hata durumlarıyla baş edebilmek ve servis kalitesini artırabilmek için muhtelif durum mesajları da eklenmiştir. Ayrıca XORP gibi normal bir bilgisayarı tam teşekküllü çoklu dağıtımlı yönlendiriciye dönüştüren tam yönlendirme takımları da vardır.

### Multicast Routing (Protocol-Independent Multicast (PIM))

PIM, multicast yönlendirme protokol ailesinde en çok kullanılan protokollerden biridir. Data IP üzerinden noktadan çok noktaya veya çok noktadan çok noktaya taşınması amacıyla kullanılır. Protokol bağımsız multicast denmesinin sebebi kendi topolojisini ayağa kaldırmak için uğraşmaması sadece diğer yönlendirme protokolleri tarafından gelen topoloji bilgisini kullanmasıdır. BGP, OSPF, ISIS gibi bütün yönlendirme protokolleri ile birlikte çalışabilir.

PIM protokolünün birkaç tane çalışan modu vardır. Bunlar:

#### PIM Sparse Mode

PIM Sparse Mode (PIM-SM) tek yönlü bir ağaç şeklinde oluşturulur ve tepe noktasına yakın bir yerde randevu noktası oluşturulur. Randevu noktası hangi akışın nerde olduğu bilgisini bilir.

#### PIM Dense Mode

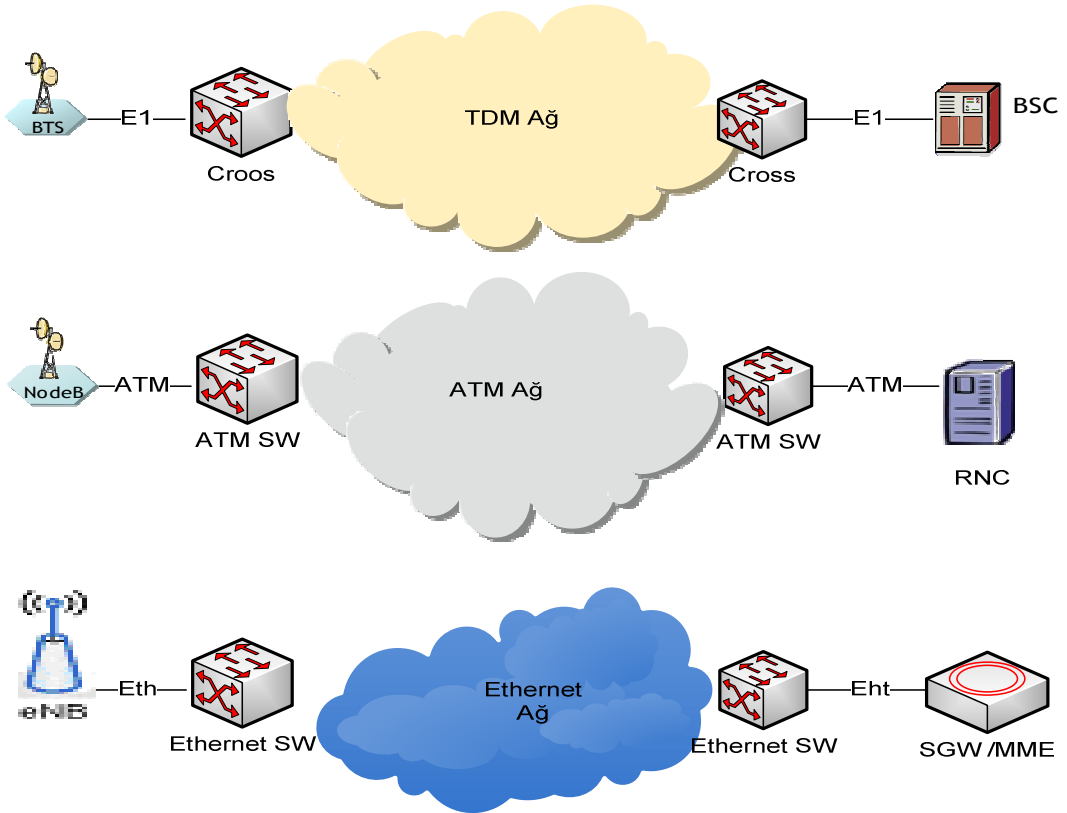
PIM Dense modu bütün olarak bütün kaynak kanallarını tüm ağa oluşturduğu en kısa yol algoritmasından gönderir. Bunda başlangıçta ağda muazzam bir yük yaratır ve ölçeklenebilir değildir. Akış istemeyen uç noktalar geri mesaj gönderir. Bu şekilde multicast ağda dağıtılmış olur. Çok kullanılan bir yöntem değildir. Genelde küçük ve basit ağlarda kullanılır.

## PIM Source-Specific Multicast

PIM Source Specifik multicast uç noktaların önceden belirlenmiş olması esasına dayanır. Bunlarda hangi akışın nereden alınacağı bilgisi daha önceden girilmiştir. Bu şekilde (S, G) Source ve Gateway daha önceden çözülmüş olur. Yük paylaşımı ve diğer doğru kaynak kullanımı çözülmüş olur. Bu IPTV sistemlerinin çoğunda kullanılan ve gayet güvenilir olan popüler bir metottur.

## 6. KABLOSUZ AĞ TAŞIMA ÖNERİSİ

Bundan önceki kısımlarda 2G, 3G ile birlikte geniş bir şekilde tartışılan LTE teknoloji gereksinimleri üzerinde durulmuştur. Özellikle LTE için kullanılabilecek taşıma teknolojileri hakkında bilgiler verilmiştir. Bütün bu kablosuz teknolojilerin her biri için ayrı ayrı kablolu taşıma ağları(TDM, ATM, Ethernet vb.) kurulmuştur. Örnek olarak bir Operatör, 2G için TDM ağları kurmuş, servis sağlayıcıdan E1 hatları kiralamış ve TDM ekipmanlarını kullanmıştır. Bunun yanında aynı bölge için eğer 3G hizmeti veriyorsa bunun için de yine E1 veya E3 hatları kiralayıp ATM ağı kurmuştur. 4G içinse sadece ethernet ve mikrodalga teknolojisi kullanılması düşünülmektedir. Ancak bu düşünceyle devam edilirse birbirinin kopyası veya paralelde bir sürü kurulmuş taşıyıcı cihaz, bunları yöneten ayrı gruplar ve boşa yatan bir sürü kiralık devre olacaktır. Şekil 6.1'de Paralel ağların nasıl oluşacağı gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Paralel Ağlar

Bu çalışmada önerilen ise bütün bunların yerine tek bir ağ kurulması, bu bütün kablosuz teknolojileri taşıyacak kapasitede tasarlanmasıdır. Bütün kablosuz teknolojileri bu şebeke üzerine yüklemek riskli olabileceğinden, başta bu ağ tasarlanırken bazı kıstaslar göz önünde bulundurularak yapılandırılmalıdır. Yüksek performanslı Ethernet tabanlı ağlar önerilmektedir[21].

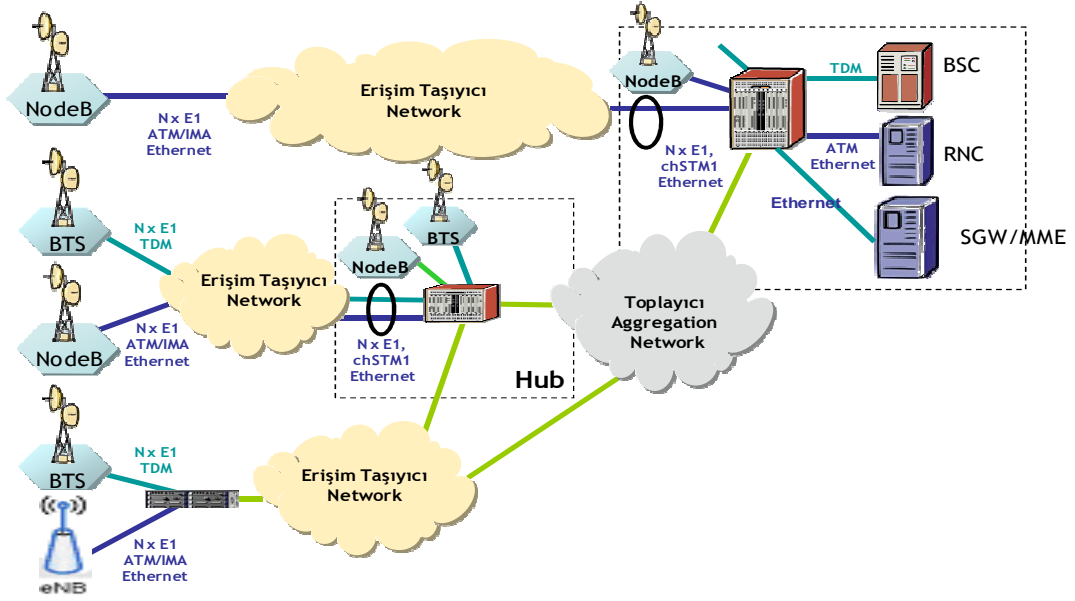
Bu çalışma ise sadece Ethernet değil Ethernet'in ve MPLS'in faydalarından beraber faydalanılmasını desteklemektedir. Bu ağın güvenli, ölçeklenebilir, kaliteli ve yedekli bir yapıda kurulmasını savunmaktadır.

Çalışmada sadece Ethernet veya eski TDM E1 hatlar üzerinde MPLS kullanılması önerilmektedir. Yeni kurulan ağ da sadece LTE ihtiyaçları göz önünde bulundurularak kurulmamalıdır. Bunların yanında 2G ve 3G için de bu şebekenin kullanılabilmesi düşünülerek tasarım seçimine gidilmelidir.

Operatörlere öneriler devre anahtarlama (TDM) ağları bırakıp tamamen IP tabanlı ağlara geçilmesi düşünülmektedir[24].

LTE için gerekli kıstaslar daha önceden verilmiştir. Kabaca bant genişliği ve güvenilirlik gerekmektedir. Bu gereksinimleri Ethernet ile sağlayabilmek mümkündür. Ethernet'in LTE için en uygun altyapı olduğu belirtilmektedir[23]. Sadece Ethernet ağı kurmak başta CAPEX maliyetlerini düşürebilmektedir. Ancak bu ağ sadece LTE hizmet verebilir durumda olacaktır. Daha önce belirttiğim paralel ağlar oluşacaktır.

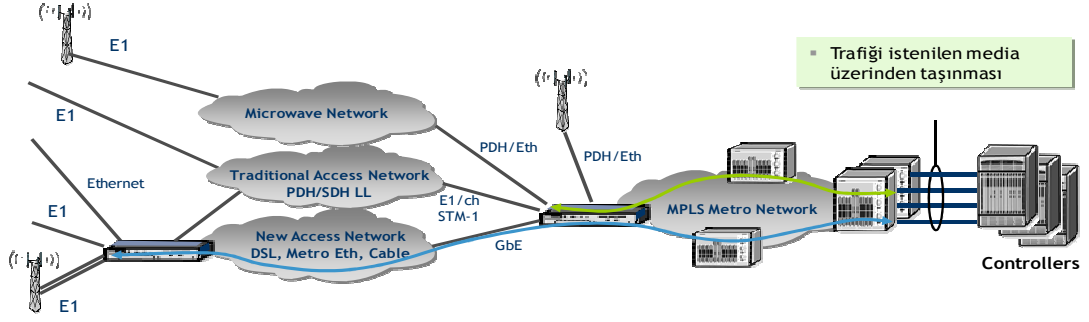
Bunun yerine başlangıçta MPLS, Seri Ara yüz(E1, E3, STM1 vb.) ve Ethernet kapasitesi olan bir teknoloji kullanılmalıdır. Yedekli bir yapıda kurulmalıdır. Bu ağ hem 2G ve 3G için kullanılabilir hem de LTE için gerekli olan ihtiyaç ve bant genişliğini sağlayabilir.



Şekil 6.2: Toplanmış Metot (Aggregated)

Yukarıda önerilen ağın Şekil 6.2'de detaylı gösterimi bulunmaktadır. Burada tam bir toplayıcı ağ oluşturulmuştur. Görülebileceği gibi 2G BTS, 3G Node B ve 4G eNodeB'nin aynı ağ üzerinden taşınabileceği gösterilmiştir. Son bölümde yapılan testlerde bu toplayıcı metodun (aggregated) diğer metotlara göre (sade Ethernet veya MPLS&TDM) daha sağlam yedekli ve güvenilir olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

Bu yapının çalışabilmesi için gerekli koşullar MPLS ve Ethernet kapasitesi olan cihazların uç noktalarda kullanılmasıdır. Bu MPLS kapasitesi olan cihazlar erişim teknolojilerinden bağımsız yukarıya doğru bağlanabilir. Bu uç teknolojiler düşük hızlar için ADSL, yüksek hızlar için VDSL 2, G-PON, 10G-PON, Radyo link, NG-SDH veya Metro Ethernet olabilir. MPLS kapasitesi olan ekipmanların önüne ilgili erişim teknolojisi için ara yüz takılabilir[17].

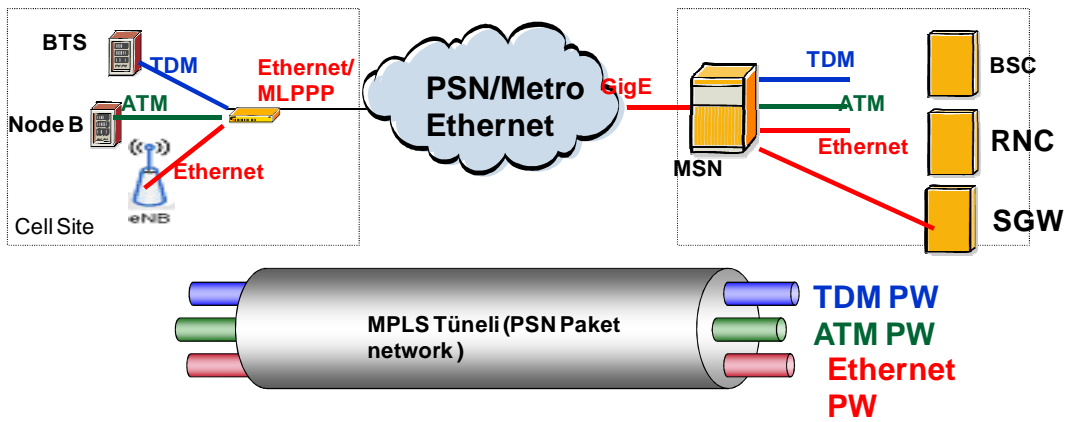


Şekil 6.3: Farklı erişim teknolojileri kullanımı

Her noktaya fiber ile gidilemeyeceği için bütün bu erişim teknolojileri kendi içinde mesafeye ve diğer kısıtlara göre değerlendirilip uygulanabilir. Şekil 6.3'te farklı erişim teknolojileri ile bu önerinin nasıl birleştirilebileceği gösterilmiştir.

Toplama noktalarında ise birden çok eNodeB ve diğer BTS ve Node B bağlanacağı için burada bant genişliği ihtiyacı daha yüksek olacaktır. Bu yüzden bu ağlar için fiber üzerinde 1 Gbps veya 10 Gbps Ethernet gibi hızlar gerekebilir. Ancak Ethernet altyapısı bant genişliği ihtiyacını karşılar. MPLS ile de uçtan uca PW açmak ve servis sağlamak mümkün olacaktır.

MPLS teknolojisinde 2G ve 3G taşıyabilmek için (ATM ve TDM) ara yüzleri gerekecektir. Bunları taşıma için daha önce verdiğimiz sanal devre kullanılması gerekecektir. Sanal devre ile MPLS bulutu üzerinden tünelleme yöntemi ile bütün bu teknolojiler aktarılabilir.



Şekil 6.4: Birden fazla erişim PW teknolojisi



Bir önceki sayfada Şekil 6.4'de MPLS üzerinden diğer teknolojilerin nasıl taşınacağı gösterilmiştir. Bu çalışmada diğer paralel ağlar kullanılması yerine başta Capex(Capital expenditure) maliyeti fazla olsa bile ileride getireceği faydalar ve esneklik bakımından MPLS üzerinden Toplama metodu (aggregated method) ile bütün 2G, 3G ve 4G aktarılmasının tek bir ağ üzerinden taşınması önerilmektedir.

Başta bu yenilik riskli ve güvenilir gibi görünmese de LTE relase 9'da ağların kendilerine yetebilmeleri ve kendi kendilerini yönetebilmeleri ortaya atılmıştır [1]. Bu ancak MPLS ve IP gibi yönlendirmesini kendileri yapabilen akıllı ağlar üzerinden taşınabileceğini düşünüyorum.

LTE'de en çok aktif olacak ve çokça kullanılacak ara yüz X2 ve S1 ara yüzüdür. eNodeB'ler kapsama alanlarının çok güçlü olması için 1/60 oranında diğer donanımlardan daha fazla olacaktır. Bu yüzden en çok kullanılan ara yüz tipleri S1 ve X2 olacaktır. LTE'de ara yüz hem kontrol düzlemi hem de veri düzlemi olarak görev yapmaktadır. Bu yüzden veri düzlemi ve kontrol düzlemi yüksek korumaya sahip olmalıdır. 50 ms altında korumanın gerçekleşmesi gerekir. Bu ara yüzlerin S1 ve X2 iletişimi veya node kesilmesi durumunda servis kesintisi olmaması bakımından korunması sağlanmalıdır.

LTE'de bahsettiğimiz X2 ve S1 ara yüzleri arasında özellikle her noktaya bağlı IP bağlantısı olması istenmektedir. Bu Ethernet ile sağlanabilmektedir ancak Ethernette hala döngü veya hat kalitesini ölçebilen bir mekanizma yoktur. Bağlantı kontrolünde fazladan STP gibi teknolojiler kullanılması gerekmektedir. Bu teknolojiler de büyük ağlarda probleme yol açabilmektedir.

Önerim Ethernetin sadece taşıyıcı olarak kullanılması ve MPLS in Ethernet ile toplanmış metot (aggregated method) yardımıyla beraber kullanılarak bu bütün noktalardan bütün noktalara bağlantının MPLS üzerinden taşınmasını gerekir. MPLS kontrol için L3 IP yapısını iletim içinse L2 Ethernet yapısını kullanarak döngü ve hat kalitesini önceden belirlenip düzenleyebilir.

Çalışmada yapılan testlerde toplanmış metotun (Aggregated method) yalnız MPLS ve yalnız Ethernet'e göre daha üstün olduğunu gösterilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca MPLS ile Multicast çözümlerinin de toplanmış metot (aggregated method)la birlikte daha kolay yapılabildiği ve daha güvenilir olduğu düşünülmektedir.

## 7. LTE TAŞIMA UYGULAMASI TESTLERİ

Kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler bu teknolojiyi kablolu iletişim teknolojileri ile rekabet eder yapıya getirmiştir. Özellikle Wimax ve LTE (4G) ile sağlanan yüksek erişim hızları birçok uygulamanın özellikle çevrimiçi oyun, yüksek kaliteli video (HD video) servisi ve gerçek zamanlı uygulamaların mobil ortamda çalışmasına olanak sağlayacaktır. 4G ile erişim teknolojilerinde altyapı düzenlemeleri gerekecektir. Mevcut taşıyıcı ağlarda çözüme gitmek çok büyük maliyetler gerektirecektir. Fazla kaynak ihtiyaçları yeni bir ağ kurulması için Operatörleri zorlayacaktır.

Bu tez 2G, 3G ve LTE 4G ağların taşınmasının nasıl olması gerektiği üzerinde yoğunlaşarak yapılmıştır. Bundan önce her bir teknoloji için ayrı ayrı ağ kurma yapısı terk edilecektir. Günümüzde görüldüğü gibi 2G için TDM ağları kurulmuş ve 3G geldiğinde ATM ihtiyacı duyulmuş ve ATM ağları kurulmuştur. 4G'de Ethernet ihtiyacı olacak ve Ethernet ağları kurulacaktır. Bu çalışma da MPLS ve Ethernet ile birlikte kullanılması ile 2G'den 4G'ye kadar tek bir ağ kullanılması ve Aggregated method kullanılarak daha önce kullanılan sade Ethernet ve MPLS yerine bunların birleşimi ile daha ölçeklenebilir bir ağın kurulumu üzerine yapılmıştır.

Testler 2 ana teknoloji kullanılarak yapılmıştır. Test 1'de Aktif Ethernet kullanılarak çözüme ulaşılmaya çalışılırken Test 2'de IP/MPLS kullanarak yapılandırılmaya çalışılacaktır. Son olarak Toplanmış metod (Aggregated Method) ile MPLS ve Ethernet bir arada kullanılacak ve MPLS koruma yapısından Ethernet'in bant genişliği gibi özellikleri birleştirilecek ve geçmişten geleceğe uyumlu bir ağ tipi önerilecektir. eNodeB'lerin benzetimini yapmak için PC üzerinde hızlı paket gönderen ve multicast paket gönderen uygulamalar kullanılmıştır.

## 7.1. Kullanılan Trafik Tipleri

Unicast (noktadan noktaya trafik)

Unicast trafikler anlaşılacağı gibi bir noktadan yani bir kaynaktan bir ulaşım noktasına doğru olan trafiklerdir. LTE'de kullanılan kullanıcı düzlemi trafiklerin %90'u bu tipte trafiklerden oluşmaktadır. Veri düzleminde Voip gibi uygulamalar en fazla 300 ms kesintiye dayanabilmektedir. Bu noktadan sonra insan kulağı bir problem olduğunu hisseder. Bu yüzden trafik testlerinde 300 ms kesinti göz önünde bulunarak bu testler yapılacaktır.

Multicast (noktadan çok noktaya trafik)

Unicast trafikler bire bir görüşmeler için uygundur. Büyük konferans, video konferans veya TV yayını gibi trafiklerin unicast olması verimli olmayan kaynak kullanımına yol açar. Çünkü her bir UE için trafiğin kopyalanması anlamına gelmektedir. Bu da ağda çok büyük yükler oluşturacağından dolayı bu gibi trafiklerin multicast taşınması gerekecektir. Multicast trafik taşınabildiği noktaya kadar tek bir akış şeklinde taşınmaktadır. Bu noktadan sonra hatta hava ara yüzünde bile tek bir ortak kanaldan taşınabilir. Multicast, birden fazla UE'nin ortak kanala kayıt olmasıyla uygun bir ortamda minimum kaynakla taşınabilmektedir.

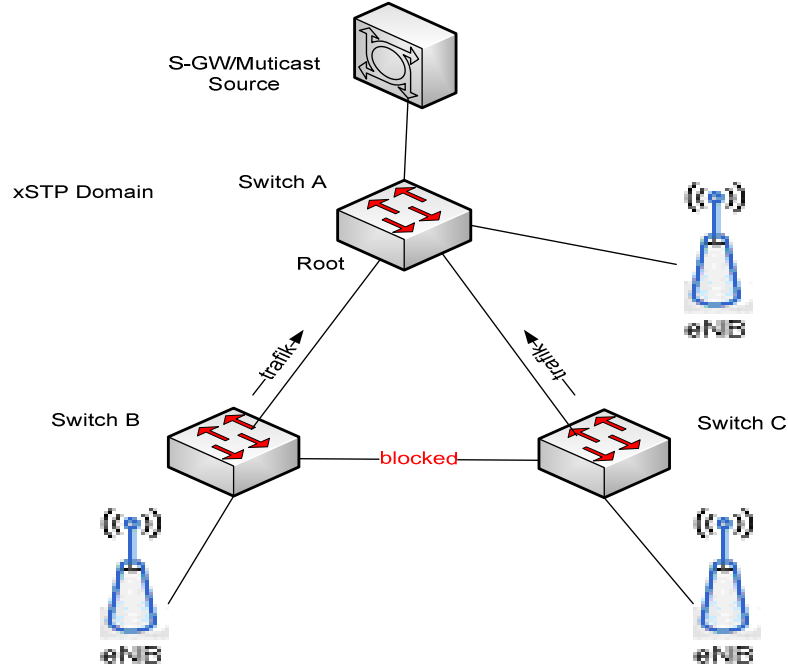
## 7.2. Test 1 Taşıyıcı Ethernet

Ethernet teknolojisinde MPLS dünyasındaki özellikler olmadığından sadece anahtarlama ağı üzerinde durulacaktır.

### 7.2.1. Unicast trafik testi

Ethernet OSI referans modelinde 2. katman ağı olarak tanımlanır. Anahtar ağı olarak yapılandırılmıştır. Yedeklilik için daha önce Ethernet teknolojisinde STP ( Spanning Tree protokol) kullanılmıştır. Yapılan testlerde switch-B ile switch-A arasındaki kablo çekilmiş ve trafiğin 1 sn altında 2. switch üzerinden taşındığı görülmüştür. Şekil 7.1'de unicast trafik için kullanılan test topolojisi görülebilir.(Tablo 6.7 42 paket

kaybı olduğu görülmüştür.) Bir paket kaybı 20 ms kesintiyi ifade etmektedir. Testlerde 840 ms kesinti görülmüştür.



Şekil 7.1: Unicast link kesilme öncesi trafik akışı

Şekil 7.2 ve 7.3'de unicast trafik için link kesilmeden önceki aktarım bilgileri bulunmaktadır. Görüldüğü gibi Port Fa0/2 port yedek (block) durumundadır. Yapılandırma dosyasında switch için gerekli ayarlar gösterilmiştir.

```
vpls 200 customer 1 create
  stp
    shutdown
  exit
  sap Fa0/1 create
  exit
  sap Fa0/2 create
  exit
  sap Fa0/3 create
  exit
  no shutdown
exit
```

Şekil 7.2: Yapılandırma Dosyası

```
Switch#show spanning-tree mst
##### MST0      vlans mapped:    1-4094
-----
Fa0/1           Root FWD 200000    128.1    P2p Pre-STD-Cf
Fa0/2           Altn BLK 200000    128.2    P2p Pre-STD-Cf
```

Şekil 7.3: RSTP tablosu

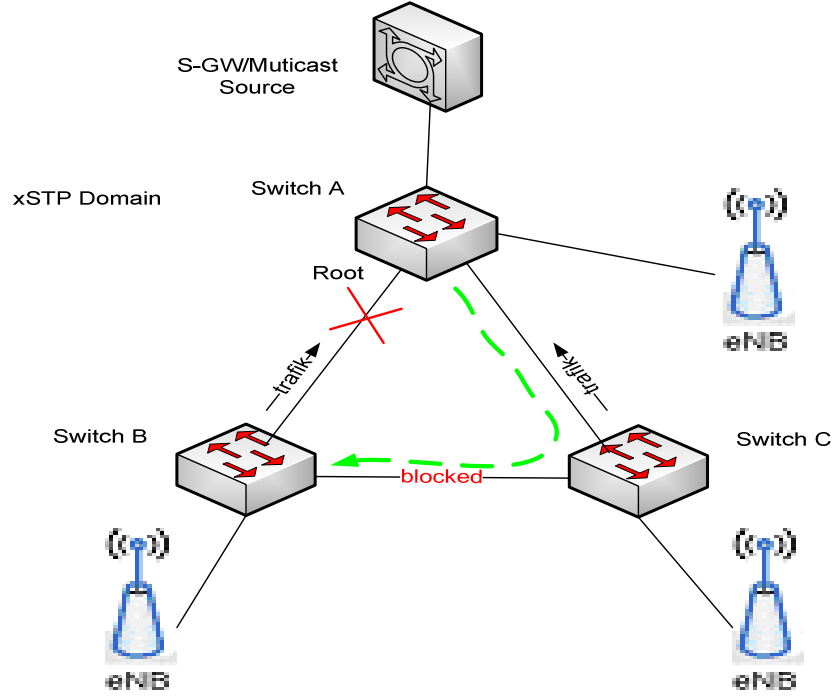
```
Switch#show mac-address-table
100      0017.4d50.b248    DYNAMIC    Fa0/1
100      0024.7e11.4507    DYNAMIC    Fa0/3
```

Şekil 7.4: MAC tablosu

Mac olarak şekil 7.4 ve 7.5'te trafiğin Fa0/1 ara yüzden çıktığı görülebilir. Monitör çıktısı olarak aşağıdaki çıktı görülebilir. Trafik port Fa0/1 aktığı aşağıdaki monitör çıktısında görülebilir.

```
A:PE1# monitor port Fa0/1 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/1
=====
                                     Input          Output
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
Octets                               3200          3200
Packets                              50            50
Errors                               0             0
:PE1# monitor port Fa0/2 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/2
=====
                                     Input          Output
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
```

Şekil 7.5: Portlardaki trafik akışı



Şekil 7.6: Unicast link kesildikten sonra trafik akışı

Şekil 7.6'da gösterildiği gibi switch-A ile switch-B arasındaki link kesilmiş ve trafik artık switch-A, switch-C ve switch-B yolunu izlemiştir.

Şekil 7.7 ve 7.8'de link kesildikten sonraki trafik akışını gösteren çıktılar gösterilmiştir.

```
Switch#show spanning-tree mst
##### MST0    vlans mapped:    1-4094
-----
Fa0/2          Root FWD 200000    128.1    P2p Pre-STD-Cf
```

Şekil 7.7: Link kesildikten sonra RSTP tablosu

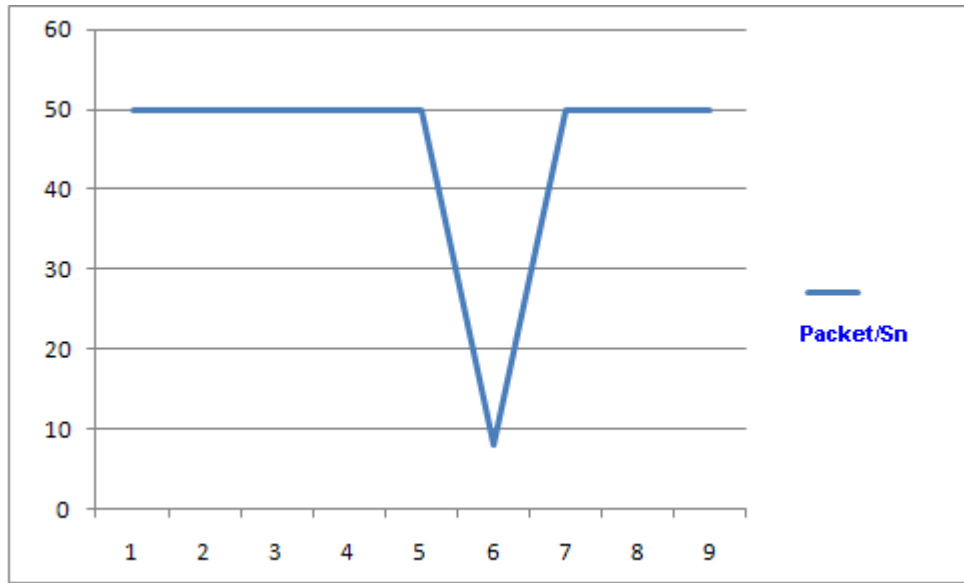
```
Switch#show mac-address-table
100    0016.4d50.b248    DYNAMIC    Fa0/2
100    0024.7e11.4507    DYNAMIC    Fa0/3
```

Şekil 7.8: Link kesildikten sonra mac tablosu

Her bir nokta 20 ms kaybı göstermektedir. Şekil 7.9 , 7.10 ve 7.11 de görüldüğü gibi 2 paket kaybolmuştur. Bu da yaklaşık 50 ms kayıp olduğunu göstermektedir. Şekil 7.11 trafik akışının portlar arasında değiştiğini gösterir.

```
ping router 10 1.1.2.10 count 1000 rapid
PING 1.1.2.10 56 data bytes
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! ..
.....!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

Şekil 7.9: Link kesilme sonucu



Şekil 7.10: Link kesilme sonucu trafik akışı

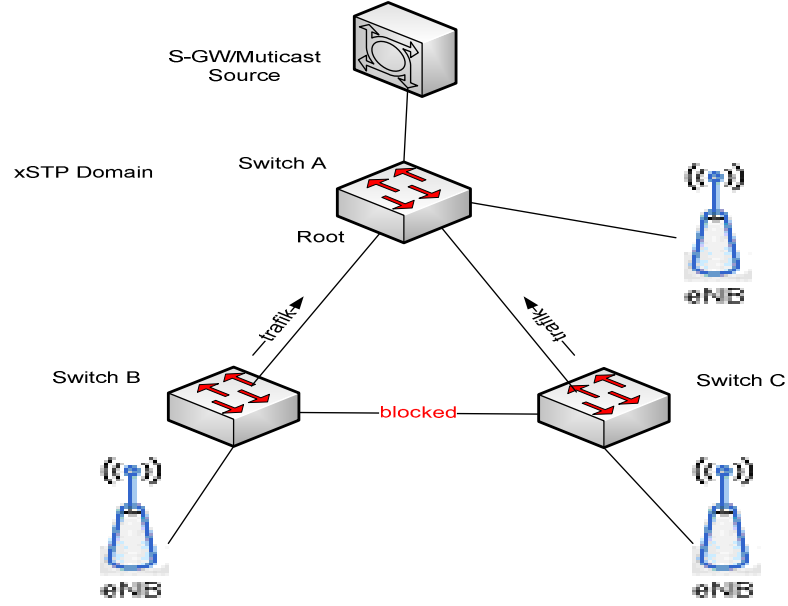


```
Switch:>monitor port Fa0/1 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/1
=====
                                     Input           Output
-----
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
,
Octets                               0             0
Packets                              0             0
Errors                               0             0
Switch:>monitor port Fa0/2 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/2
=====
                                     Input           Output
-----
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
Octets                               3200          3200
Packets                              50            50
Errors                               0             0
-----
```

Şekil 7.11: Link kesilme sonucu trafik akışı

### 7.2.2. Multicast trafik testi

2. katman ağlarda teknoloji limitlerinden dolayı multicast yönlendirme kullanılamaz onun yerine multicast switching kullanılabilir. Daha önce anlatılan multicast switching (IGMP) uygulanacaktır.



Şekil 7.12: Multicast link kesilme öncesi trafik akışı

Çok noktadan çok noktaya trafik (Multicast) link kesilmeden önce yukarıda Şekil 7.12'de gösterildiği gibi taşınmaktadır. Şekil 7.13 IGMP için gerekli konfigürasyonları göstermektedir. Şekil 7.14 ve 15 de ile belirlenen birinci satırda 1/1/1 gelen IGMP stream bilgisi port 1/1/3'ten gönderilmektedir.

```
vpls 200 customer 1 create
  sap 1/1/1:4.* create
    igmp-snooping
    fast-leave
    query-interval 30
    send-queries
  exit
exit
sap 1/1/2:4.* create
  igmp-snooping
  fast-leave
  query-interval 30
  send-queries
exit
exit
no shutdown
```

Şekil 7.13: Multicast yapılandırma dosyası

```

A:PE-1# show service id 4 mfib
=====
Multicast FIB, Service 4
=====
Source Address  Group Address          Sap/Sdp Id                Svc Id  Fwd/Blk
-----
*                *                sap:1/1/1:4.*            Local   Fwd
*                *                sap:1/1/2:4.*            Local   Blk
*                225.1.1.1        sap:1/1/3:4.*            Local   Fwd
-----
Number of entries: 2
=====

```

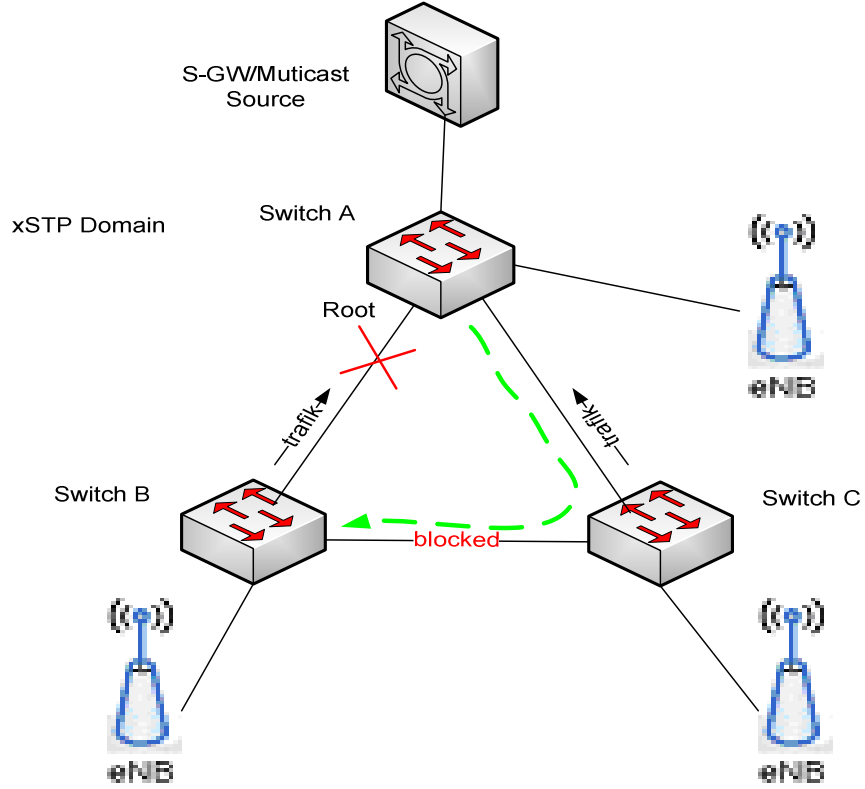
Şekil 7.14: Link kesilmeden önceki IGMP tablosu

```

monitor service id 37 sap 1/1/3:4.* rate interval 11
Sap per Queue Stats
-----
                Packets                Octets                % Port
                Util.
Ingress Queue 1 (Unicast) (Priority)
Off. HiPrio      : 0                0                0.00
Off. LoPrio      : 0                0                0.00
Dro. HiPrio      : 0                0                0.00
Dro. LoPrio      : 0                0                0.00
For. InProf      : 0                0                0.00
For. OutProf     : 0                0                0.00
Ingress Queue 11 (MultiCaST) (Priority)
Off. HiPrio      : 0                0                0.00
Off. LoPrio      : 0                0                0.00
Dro. HiPrio      : 0                0                0.00
Dro. LoPrio      : 0                0                0.00
For. InProf      : 0                0                0.00
For. OutProf     : 0                0                0.00
Egress Queue 1
For. InProf      : 0                0                0.00
For. OutProf     : 50                3200            0.05
Dro. InProf      : 0                0                0.00
Dro. OutProf     : 0                0                0.00

```

Şekil 7.15: Link kesilmeden önceki trafik akışı



Şekil 7.16: Multicast link kesilmesi sonrası trafik akışı

Şekil 7.16'da gösterildiği üzere link kesildikten sonra bir süre akış kesilmiştir çünkü yeniden IGMP mesajlarının gelmesi gerekecektir.

Şekil 7.17'de link kesildikten sonraki IGMP tablosu görülebilir.

```

A:PE-1# show service id 4 mfib
=====
Multicast FIB, Service 4
=====
Source Address  Group Address          Sap/Sdp Id              Svc Id
Fwd/Blk
-----
*                *                      sap:1/1/2:4.*          Local   Fwd
*                225.1.1.1             sap:1/1/3:4.*          Local   Fwd
-----
Number of entries: 2

```

Şekil 7.17: Link kesildikten sonraki IGMP tablosu

Birkaç saniye kesinti ardından yeniden IGMP tablosu oluşmuş ve akış devam etmiştir. Şekil 7.18'de link kesilme sonrası trafik akışının 1/1/2 porta yönlendiği görülmüştür.

```
monitor service id 37 sap 1/1/2:4.* rate interval 11
Sap per Queue Stats
-----
```

	Packets	Octets	% Port Util.
Ingress Queue 1 (Unicast) (Priority)			
Off. HiPrio	: 0	0	0.00
Off. LoPrio	: 0	0	0.00
Dro. HiPrio	: 0	0	0.00
Dro. LoPrio	: 0	0	0.00
For. InProf	: 0	0	0.00
For. OutProf	: 0	0	0.00
Ingress Queue 11 (MultiCaST) (Priority)			
Off. HiPrio	: 0	0	0.00
Off. LoPrio	: 0	0	0.00
Dro. HiPrio	: 0	0	0.00
Dro. LoPrio	: 0	0	0.00
For. InProf	: 0	0	0.00
For. OutProf	: 0	0	0.00
Egress Queue 1			
For. InProf	: 0	0	0.00
For. OutProf	: 50	3200	0.05
Dro. InProf	: 0	0	0.00
Dro. OutProf	: 0	0	0.00

Şekil 7.18: Link kesilmeden sonraki trafik akışı

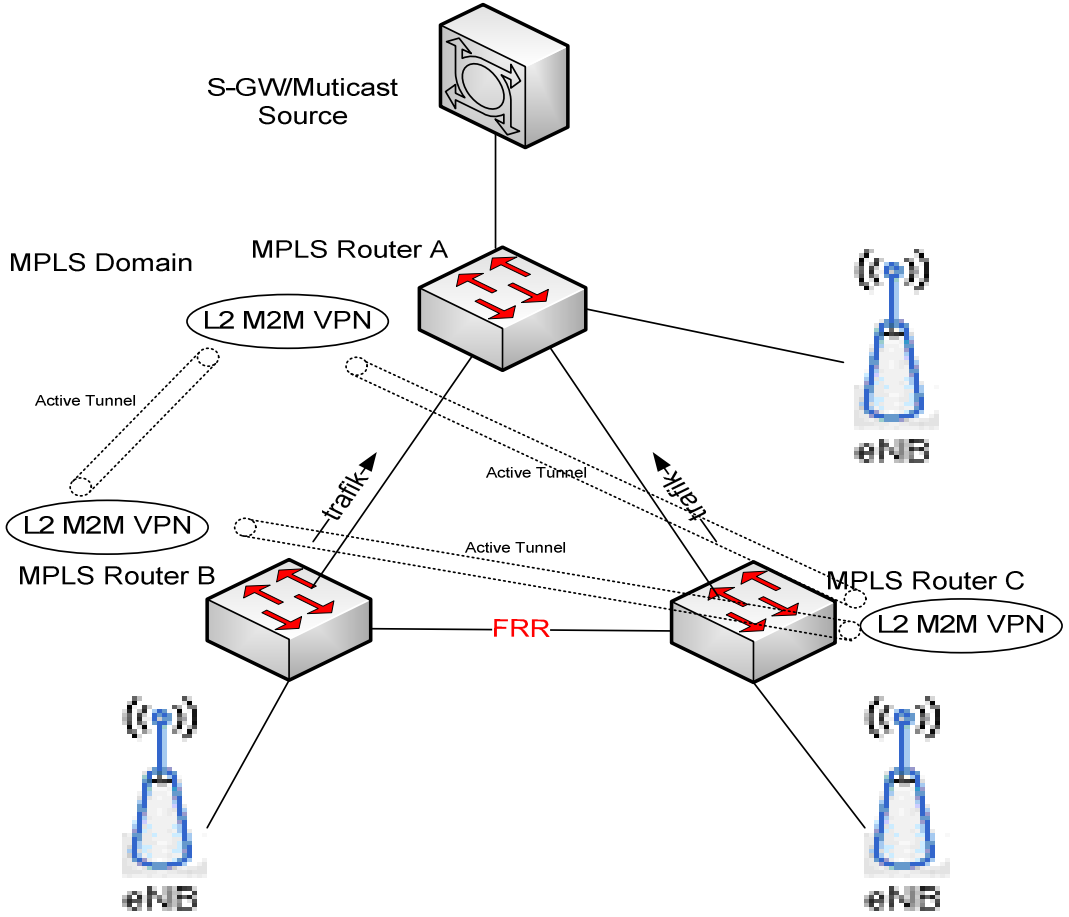
## 7.3. Test 2 IP/MPLS

### 7.3.1. Unicast trafik testi

MPLS'te koruma için XSTP protokollerini kullanmaya ihtiyaç yoktur. Sebebi MPLS doğası gereği daha önce anlatıldığı gibi sinyalleşmeyi 3. katmanda veriyi de 2. katmanda taşıyabilmektedir. MPLS'de kontrol mekanizması olduğu için yedeklilikte xSTP gibi eski protokolleri kullanmaya gerek kalmaz.

#### 7.3.1.1. IP/MPLS Anahtarlama Modu

MPLS'te çalıştırılabilen servislerin özetleri daha önce verilmişti. Burada 2. katman çok noktadan çok noktaya bir VPN kullanılmıştır. X2 ara yüzlerinde komşu eNodeB'ler birbirleriyle el değiştirme yaparken direkt olarak S-GW değil de komşu eNodeB ile konuşmaktadırlar. Bu yüzden MPLS'teki gibi birçok noktadan çok noktaya erişebilen bir servis kullanılır.



Şekil 7.19: IP/MPLS testleri link kesilmeden önceki topoloji

Şekil 7.19 da IP/MPLS test topolojisi gösterilmiştir. Burada MPLS sinyalleşmeleri yapılmıştır. Daha önce anlatılan VPLS topoloji burada kullanılmıştır. Şekil 7.20'de MPLS L2 (VPLS) servis konfigürasyonu gösterilmiştir.

Şekil 7.21, Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'de link kesilmeden önceki trafik akış bilgileri gösterilmiştir. Trafik akışları ve konfigürasyonları öncesini ve sonrasını karşılaştırmak için konulmuştur.

```

vpls 100 customer 1 create
    stp
        shutdown
    exit
    sap 1/1/3:100 create
    exit
    mesh-sdp 100:1000 create
    exit
    mesh-sdp 111:1003 create
    exit
no shutdown

```

Şekil 7.20: IP/MPLS L2 Servis Yapılandırma

```

A:PEA# show service id 1000 fdb detail
=====
Forwarding Database, Service 1000
=====
ServId MAC                Source-Identifier Type/Age Last Change
-----
1000      00:1c:c4:24:ea:00 sap1/1/3:100      Oam 02/18/2007 08:07:30
1000      00:00:00:00:10:10 sdp:100:1000     Oam 02/18/2007 08:07:30
-----
No. of MAC Entries: 2

```

Şekil 7.21: IP/MPLS link kesilmeden önceki mac tablosu

```

PE1# show service id 1000 base
=====
Service Basic Information
=====
Identifier                Type           AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-----
sap:1/1/3:100             q-tag         1518    1518    Up   Up
sdp:100:1000 M(10.0.0.2)         n/a      0        0     Up   Up
sdp:111:1003 M(10.0.0.4)         n/a      0       9190    Up   Up

```

Şekil 7.22: IP/MPLS link kesilmeden önceki tünel tablosu

```

MPLS:> monitor port 1/1/1 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/1
=====
                                     Input                Output
-----
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
Octets                               3200                3200
Packets                               50                  50
Errors                                 0                   0

MPLS:> monitor port 1/1/2 rate interval 3
=====
Monitor statistics for Port Fa0/2
=====
                                     Input                Output
-----
At time t = 0 sec (Base Statistics)
-----
Octets                               0                   0
Packets                               0                   0
Errors                                 0                   0

```

Şekil 7.23: IP/MPLS link kesilmeden önceki trafik akışı

```

A:PEA# show service id 1000 fdb detail
=====
Forwarding Database, Service 1000
=====
ServId  MAC                Source-Identifier Type/Age Last Change
-----
1000     00:1c:c4:24:ea:00  sap1/1/3:100      Oam 02/18/2007 08:07:30
1000     00:00:00:00:10:10  sdp:100:1000     Oam 02/18/2007 08:07:30
-----
No. of MAC Entries: 2

```

Şekil 7.24: IP/MPLS link kesilmesi sonraki mac tablosu



```
PE1# show service id 1000 base
```

```
=====
```

```
Service Basic Information
```

```
=====
```

Identifier	Type	AdmMTU	OprMTU	Adm	Opr
sap:1/1/1:100	q-tag	1518	1518	Up	Up
sdp:100:1000 M(10.0.0.2)	n/a	0	0	Up	Up
sdp:111:1003 M(10.0.0.4)	n/a	0	9190	Up	Up

```
=====
```

Şekil 7.25: IP/MPLS link kesilmesi sonraki tünel tablosu

```
MPLS:> monitor port 1/1/1 rate interval 3
```

```
=====
```

```
Monitor statistics for Port Fa0/1
```

```
=====
```

	Input	Output
At time t = 0 sec (Base Statistics)		
Octets	0	0
<b>Packets</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Errors	0	0

```
MPLS:> monitor port 1/1/2 rate interval 3
```

```
=====
```

```
Monitor statistics for Port Fa0/2
```

```
=====
```

	Input	Output
At time t = 0 sec (Base Statistics)		
Octets	3200	3200
<b>Packets</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
Errors	0	0

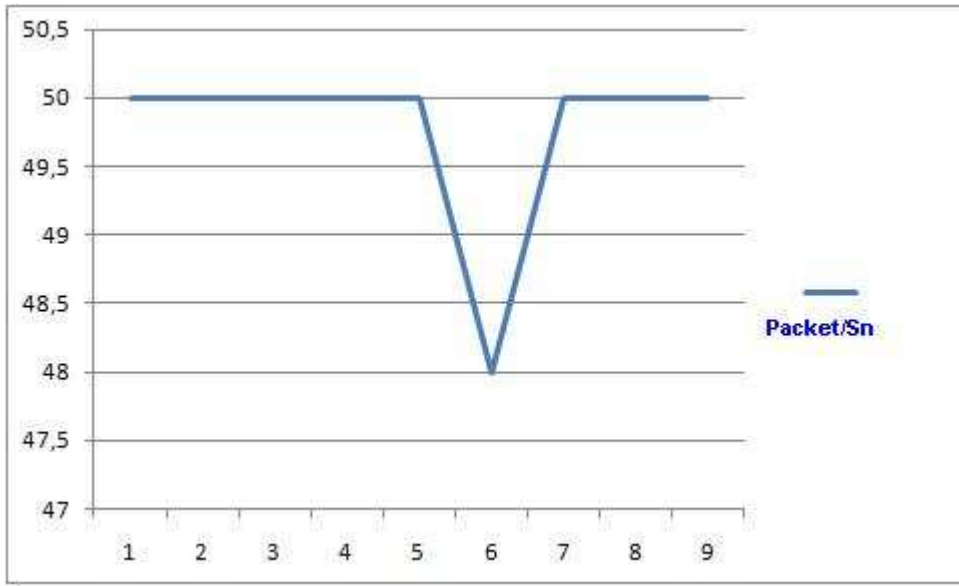
Şekil 7.26: IP/MPLS link kesilmeden sonraki trafik akışı

Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve 7.26 link kesildikten sonraki tablolardır. Görüldüğü gibi Şekil 7.21, Şekil 7.22 ve 7.23 ile aynıdır. MPLS bir değişim olmadan kendini kurtarmıştır. Şekil 7.27 ve Şekil 7.28'de paket test sonucu gösterilmiştir. Her bir nokta 20 ms

kayıbı göstermektedir. Burada görüldüğü gibi 2 paket kaybolmuş bu da yaklaşık 50 ms kayıp olduğunu göstermektedir.

```
ping router 10 1.1.2.10 count 1000 rapid
PING 1.1.2.10 56 data bytes
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! .!.!.!.!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

Şekil 7.27: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu



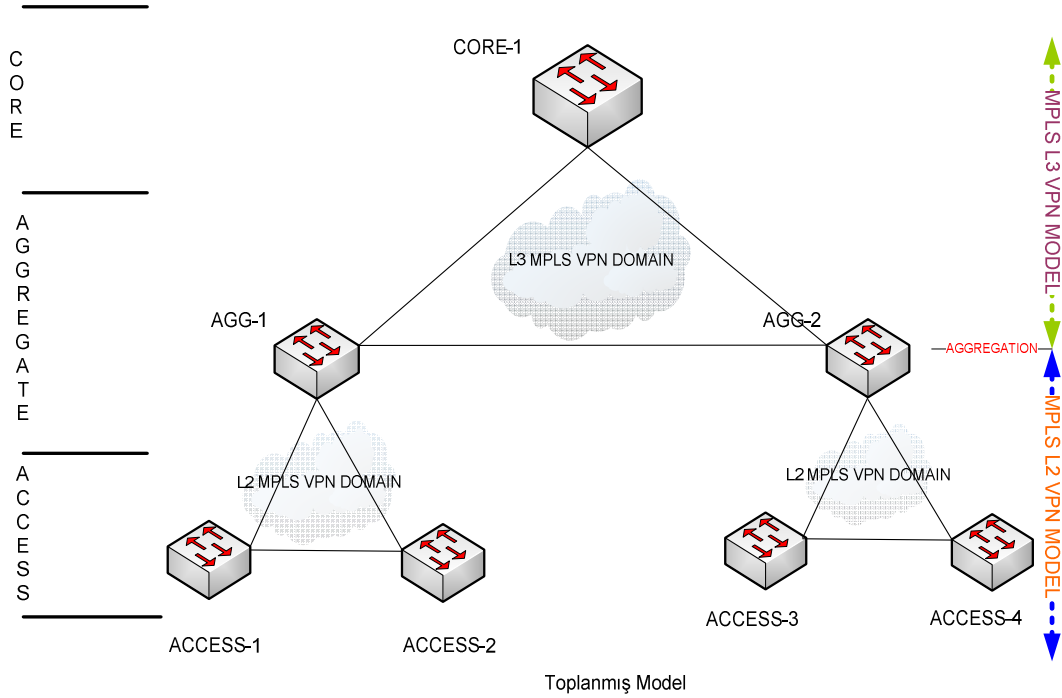
Şekil 7.28: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu

Linklerden bir tanesi kesildiğinde MPLS tünel mimarisinde hiç bir değişiklik olmaz. MPLS doğası gereği tünelleri otomatik düşmeden kurtarır. Sadece data plane de 50 ms kopukluk olur bunun haricinde MAC adres yapısında ve multicast ağında değişme olmaz.

### 7.3.1.2. IP/MPLS ve Ethernet Toplanmış Model testi

MPLS'te veya Ethernet'te bütün noktalarda 2. katman 2 VPN kullanmak basit olup hızlı bir kurulum gerçekleştirilebilmektedir. Ancak Ethernet'te oluşabilecek herhangi bir döngü probleminde bütün eNodeB'leri ve S-GW'i servis dışı bırakır. Bu durum MPLS ağlarda L2 domain büyük olduğunda yaşanabilir. Bu nedenle MPLS kullanmak yerine bir noktaya kadar Ethernet kullanılabilir. Bir noktadan sonra yönlendirme modunda MPLS kullanmak günümüzde ve gelecekte en çok tercih edilecek model olacaktır. Toplanmış model (Aggrated) de L2 parçası(Domain)

MPLS ile birlikte küçük olacak ve L3 parça (domain) yani IP katmanında trafik taşınacaktır.



Şekil 7.29: Toplanmış Model

Şekil 7.29'da toplama modeli gösterilmiştir.

```
Configure service vprn 10
  vrf-export "vprn10export"
    route-distinguisher 65000:10
    auto-bind ldp
    vrf-target target:65000:10
    interface "a" create
      address 10.0.0.1/25
      secondary 10.0.0.129/25
      loopback
    exit
    interface "b" create
      address 10.0.0.1/25
      ip-mtu 150
      spoke-sdp 100:100
    exit
  no shutdown
```

Şekil 7.30: L3 Servis Test

```

vpls 100 customer 1 create
    stp
        shutdown
    exit
    sap 1/1/3:100 create
    exit
    mesh-sdp 100:1000 create
    exit
    mesh-sdp 111:1003 create
    exit

no shutdown

```

Şekil 7.31: L2 Servis konfigürasyonu

Şekil 7.30 ve Şekil 7.31’de bağlantı ayar dosyaları gösterilmiştir.

```

A:PEA# show service id 1000 fdb detail
=====
Forwarding Database, Service 1000
=====
ServId MAC                Source-Identifler Type/Age Last Change
-----
1000      00:1c:c4:24:ea:00 sap1/1/1:100      Oam 02/18/2007 08:07:30
1000      00:00:00:00:10:10 sdp:100:1000     Oam 02/18/2007 08:07:30
-----
No. of MAC Entries: 2

```

Şekil 7.32: Toplanmış model link kesilmeden önceki mac tablosu

```

PE1# show service id 1000 base
=====
Service Basic Information
=====
Identifier                Type           AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-----
sap:1/1/1:100             q-tag         1518    1518    Up   Up
sdp:100:1000 M(10.0.0.2)      n/a          0        0       Up   Up
sdp:111:1003 M(10.0.0.4)      n/a          0       9190    Up   Up
=====
A:PE1#

```

Şekil 7.33: Toplanmış model link kesilmeden önceki tünel tablosu

Şekil 7.32 ve Şekil 7.33’de trafik kesilmeden önceki akış bilgileri bulunabilir.

```
A:PE1# show router interface
=====
Interface-Name          Adm          Opr (v4/v6)  Mode        Port/SapId
  IP-Address            PfxState
-----
to-PE4                  Up           Up/--        Ağ 1/1/6
  10.7.0.2/30          n/a
to-PE2                  Up           Up/--        Ağ 1/1/3
  10.7.0.2/30          n/a
```

Şekil 7.34: Toplanmış model Router Ara yüzleri

```
A:PE1# show router interface
=====
Interface Table (Router: Base)
=====
Interface-Name          Adm          Opr (v4/v6)  Mode        Port/SapId
  IP-Address            PfxState
-----
to-PE4                  Up           Down/--      Ağ 1/1/6
  10.7.0.2/30          n/a
to-PE2                  Up           Up/--        Ağ 1/1/3
  10.7.0.2/30          n/a
```

Şekil 7.35: Toplanmış model Router ara yüz 2

Şekil 7.34 link kesilmeden önceki yönlendiricinin ara yüzlerinin durumunu gösterir. Şekil 7.35 ise link kesilmesi sonrası yönlendiricinin ara yüzlerinin durumunu gösterir.

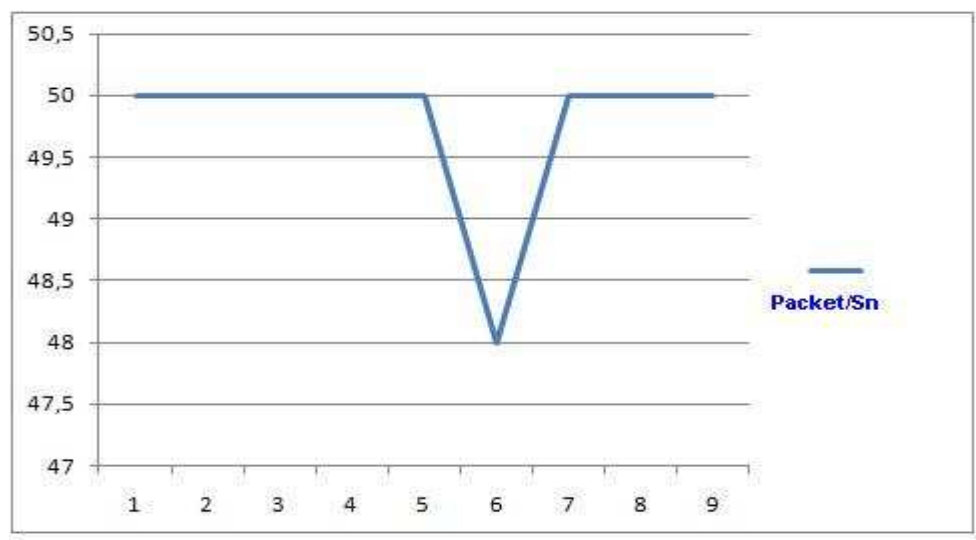
```
A:PEA# show service id 1000 fdb detail
=====
Forwarding Database, Service 1000
=====
ServId MAC                Source-Identifier Type/Age Last Change
-----
1000    00:1c:c4:24:ea:00 sap1/1/1:100      Oam 02/18/2007 08:07:30
1000    00:00:00:00:10:10 sdp:100:1000     Oam 02/18/2007 08:07:30
-----
No. of MAC Entries: 2
```

Şekil 7.36: Toplanmış model link kesilmeden sonraki mac tablosu

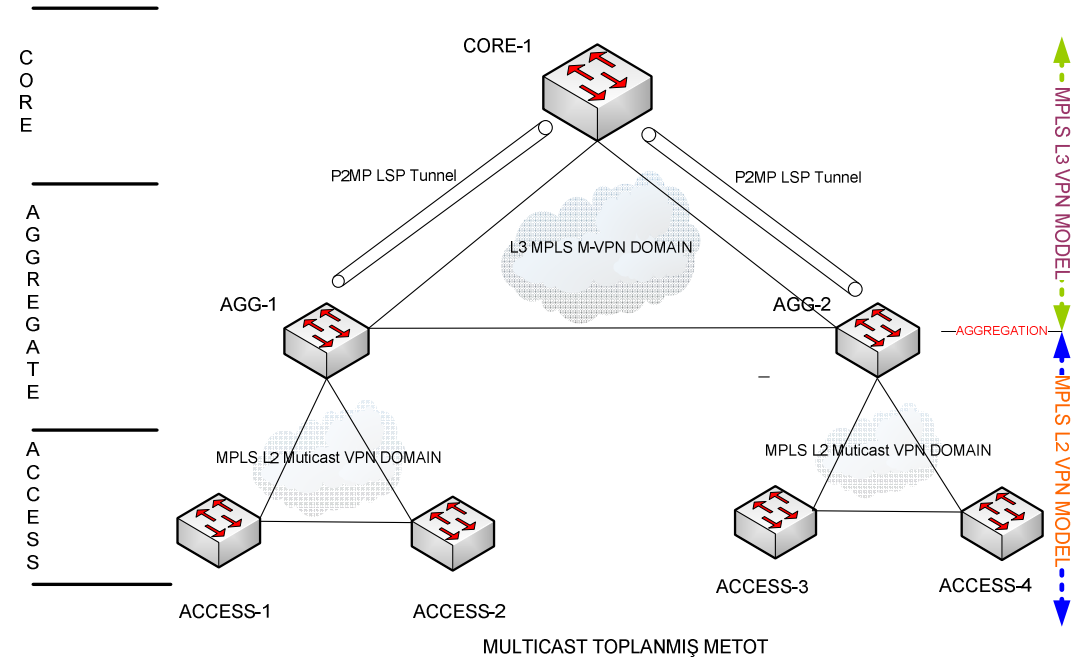
Şekil 7.36'da görüldüğü gibi link kesildikten sonra MAC ve tünel tablosunda hiç bir şey değişmemiştir. Şekil 7.37 ve Şekil 7.38'de görüldüğü üzere sadece data yolunda 50 ms kesinti olmuştur.

```
ping router 10 1.1.2.10 count 1000 rapid
PING 1.1.2.10 56 data bytes
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

Şekil 7.37: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu



Şekil 7.38: IP/MPLS link kesilmesi kayıp tablosu



Şekil 7.39: Mutlicast Toplanmış Model

Şekil 7.39'da görüldüğü gibi mutlicast toplanmış modelde, unicast test için kullanılan topoloji ile aynı topoloji kullanılmıştır. Şekil 7.40'da ve Şekil 7.41'de link kesilmeden önceki IGMP durumları gösterilmiştir.

```
A:PE-1# show service id 1000 mfib
=====
Multicast FIB, Service 4
=====
Source Address  Group Address          Sap/Sdp Id              Svc Id  Fwd/Blk
-----
*                *                sdp:100:1000           Local   Fwd
*                225.1.1.1          sap:1/1/3:4.*          Local   Fwd
-----
Number of entries: 2
```

Şekil 7.40: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden önceki IGMP tablosu

```
PE1# show service id 1000 base
Service Basic Information
=====
Identifier                               Type           AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
sap:1/1/1:100                            q-tag         1518    1518    Up   Up
sdp:100:1000 M(10.0.0.2)                 n/a           0        0        Up   Up
sdp:111:1003 M(10.0.0.4)                 n/a           0        9190    Up   Up
=====
```

Şekil 7.41: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden önceki tünel tablosu

```
A:PE-1# show service id 1000 mfib
=====
Multicast FIB, Service 4
Source Address  Group Address          Sap/Sdp Id              Svc Id
Fwd/Blk
-----
*                *                sdp:100:1000           Local   Fwd
*                225.1.1.1          sap:1/1/3:4.*          Local   Fwd
-----
Number of entries: 2
```

Şekil 7.42: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden sonraki IGMP tablosu

```

PE1# show service id 1000 base
=====
Service Basic Information
=====
Identifier                                Type                AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-----
sap:1/1/1:100                            q-tag              1518    1518    Up   Up
sdp:100:1000 M(10.0.0.2)                 n/a                0        0        Up   Up
sdp:111:1003 M(10.0.0.4)                 n/a                0       9190    Up   Up
=====

```

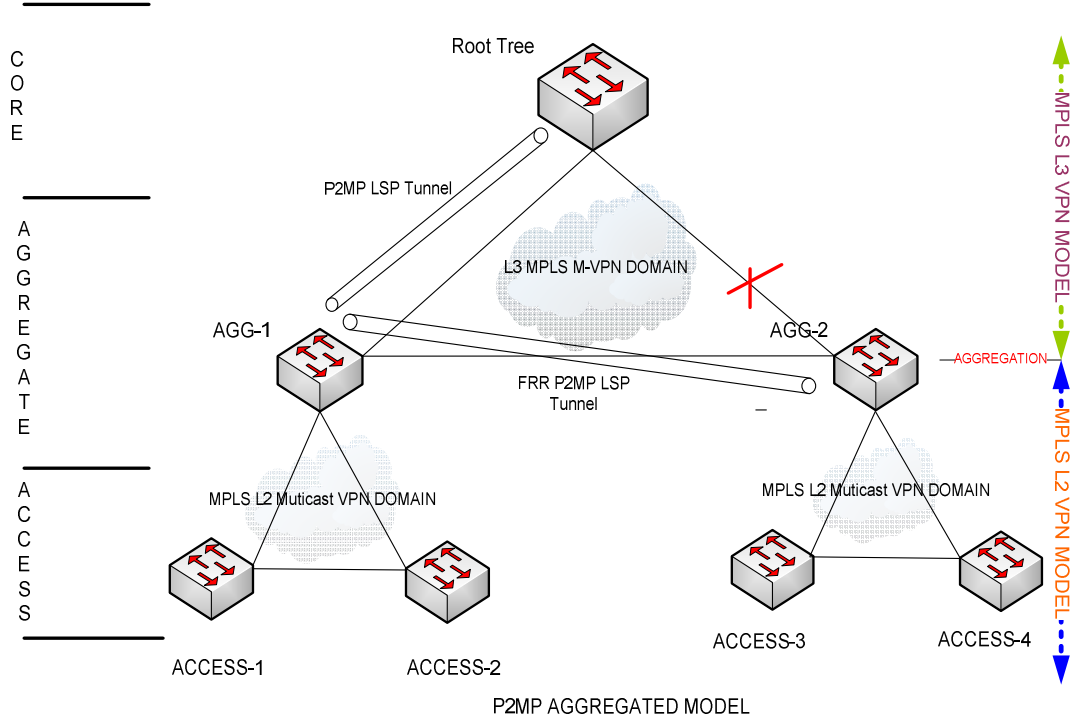
Şekil 7.43: Toplanmış model mutlicast link kesilmeden sonraki tunnel tablosu

Şekil 7.42 ve Şekil 7.43'de görüldüğü gibi link kesildikten sonra hiçbir kesinti ve değişim olmamıştır. Bütün tünel ve IGMP tabloları korunmuştur. Video akışında hiçbir kayıp olmamıştır.

### 7.3.2. P2MP-LSP Testi

Daha önce anlatılan PIM protokolü aynı IP yönlendirme gibi çalışır ve çekirdek ağda bir link kesintisi olduğunda tekrar akışın akması zaman alır. 3-5 saniye arasında olur ve ağın büyüklüğüne göre değişir. Oysaki P2MP LSP kullanılarak hem Mutlicast yapılmış olur hemde MPLS FRR 50 Ms altında koruma sağlanır.





Şekil 7.44: Mutlicast Toplanmış Model

Şekil 7.44'te PIM ile MPLS ile birlikte kullanılacak P2MP LSP L3 de Pim kullanılsaydı PIM IGP kontrol edeceğinden dolayı IGP hesaplamasını beklerdi ve 3-5 saniye kesinti olurdu. Ancak aşığıdaki çıktılardan görüleceği üzerine data yolunda değişim olmamış sadece kullanılan P2MP LSP izlediği kontrol yolu değişmiştir. Link kesildiğinde 50 ms altındaki kesilme soruna yol açmamıştır. Tablo 7.1'de IP multicast ile MPLS multicast arasındaki farklar gösterilmiştir. Şekil 7.45 ve 7.46'da P2MP LSP testlerinin konfigürasyonu gösterilmiştir.

Tablo 7.1: P2MP Konfigürasyonu

IP Multicast PIM	P2MP MPLS LSP TE
Kaynak tahsisi yoktur	Kaynak tahsisi vardır
PIM her yerde açılması gereklidir.	Sadece uçlarda PIM açılması yeterlidir.
PIM 3-10 sn koruma sağlar	Fast Reroute kullanılır
Şıkışıklara karşı çözüm yoktur	Trafik Mühendisliği ile trafik ayrımı yapılabilir.
PIM kullanıldığı için her yerde kopyalama problemi olabilir	PIM olmadığı için daha hızlı kopyala vardır.
	<b>karşılaştırılması</b>

```

lsp "p2mp-4" p2mp-lsp
    cspf
    fast-reroute facility
        no node-protect
    exit
    primary-p2mp-instance "p-p2mp-4"
        s2l-path "R1-AGG1" to 138.203.15.78
        exit
        s2l-path "R1-AGG2" to 138.203.15.81
        exit
    exit
    no shutdown
exit

```

Şekil 7.45: P2MP Konfigurasyonu

LSP nin hangi yollardan nereye aktarıldığı gösterilmiştir. Buna göre s2l-path "R1-AGG1" yolu 138.203.15.78 ip cihaza doğru yönlendirilmiştir.

```

*A:R1# show router mpls p2mp-lsp p2mp-3 detail
=====
MPLS P2MP LSPs (Originating) (Detail)
=====
-----
Type : Originating
-----
LSP Name      : p2mp-3                LSP Tunnel ID : 2
From          : 10.0.0.1              To             : 0.0.0.0
Adm State    : Up                    Oper State     : Up
LSP Up Time  : 0d 00:10:06           LSP Down Time : 0d 00:00:00
Transitions  : 1                     Path Changes   : 1
Retry Limit  : 0                     Retry Timer    : 30 sec
Signaling    : RSVP                  Resv. Style   : SE
Hop Limit    : 255                   Negotiated MTU: n/a
Adaptive     : Enabled                ClassType      : 0
FastReroute  : Enabled                Oper FR        : Enabled
FR Method    : Facility               FR Hop Limit   : 16
FR Bandwidth : 0 Mbps                 FR Node Protect: Disabled
FR Object    : Enabled
CSPF         : Enabled                ADSPEC         : Disabled
Metric       : Disabled               Use TE metric  : Disabled
Include Grps:                         Exclude Grps   :
None
Type         : P2mpLsp                 Least Fill     : Disabled
LdpOverRsvp : Disabled                VprnAutoBind  : Disabled
Oper Metric  : Disabled

P2MPInstance: p-p2mp-3                P2MP-Inst-type : Primary
S2l-Name     : R1-AGG1                 To              : 138.203.15.78
S2l-Name     : R1-AGG2                 To              : 138.203.15.81

```

Şekil 7.46: P2MP LSP durumu

Şekil 7.47 de görüldüğü gibi trafik akışı 138.203.15.78 doğru devam etmiş herhangi bir kesilme olmamıştır.

```
A:R1# show router pim group detail
=====
PIM Source Group ipv4
=====
Group Address      : 227.1.1.1
Source Address     : 192.168.1.100
RP Address         : 0
Flags              :
Type               : (S,G)
MRIB Next Hop     : 192.168.1.100
MRIB Src Flags    : direct
Keepalive Timer   : Not Running
Up Time           : 0d 00:19:52
Resolved By       : rtable-u

Up JP State       : Joined
Up JP Expiry      : 0d 00:00:00
Up JP Rpt         : Not Joined StarG
Up JP Rpt Override : 0d 00:00:00

Register State    : No Info
Reg From Anycast RP: No

Rpf Neighbor      : 192.168.1.100
Incoming Intf     : BTV-Sourcel
Outgoing Intf List : mpls-if-73728

Curr Fwding Rate  : 118.2 kbps
Forwarded Packets : 11899
Discarded Packets : 0
Forwarded Octets  : 17586722
RPF Mismatches    : 0
Spt threshold     : 0 kbps
=====
```

Şekil 7.47: P2MP Trafik akışı

Şekil 7.47’de görüldüğü gibi trafik akışı 118.2 kbps hızında akmış ve link koptuğunda herhangi bir kesilme olmamıştır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bazı çalışmalarda MPLS ve Ethernet birbirine rakip gibi gösterilmiştir [17]. Ancak bu tezde her iki teknolojinin beraberce kullanılarak ne kadar faydalı olabileceği paket kayıpları açısından gösterilmeye çalışılmıştır. Ethernet teknolojisini taşıyıcı olarak kullanmak kapasite ihtiyaçları sağlayacaktır. Koruma dirençlilik açısından MPLS uçtan uça kontrollü bir erişim teknolojisini oluşturmaktadır. MPLS'le eski ağlar taşınabilecek ve bu ileride satın alma maliyetleri fazla olsa bile orta ve uzun vadede operasyonel maliyetleri azaltacaktır. Bütün teknolojilerle uyumlu ara yüzleri barındıracak ve MPLS üzerinden benzetme modeli ile 2G'den 4G'ye kadar bütün ağlara uyumlu bir şebeke sahip olunacaktır.

Bazı uygulamalarda Ethernet teknolojisi denenmiş ancak büyük networklerde kesinti sürelerinin 5 saniyeye kadar çıkabildiği gösterilmiştir. Zaten XSTP gibi protokollerinin kesinti süresi 5 saniye olarak tanımlanmıştır[25]. MPLS standartlarında da 50 ms altında koruma sağlayacağı belirtilmiştir[26].

Soru 1: Neden Etherneti Taşıyıcı Olarak Seçiyoruz?

Cevap 1:

1- Maliyetinin Düşük Olması: Ethernet maliyet bakımından diğer Sonet SDH ve ETM frame relay E1 T1 E3 gibi hatlara oranla 3 kat düşük maliyetle kurulur. Bu teknoloji ile 10 kez daha yüksek hızlara erişmek mümkün olur.

2- Hızlı inşa edilebilmesi: ATM TDM ve E1 T1 gibi hatların senkronizasyonu kurulması ciddi bilgi ve testler gerektiren adımlardan oluşur. Ancak Ethernet sadece hattan sinyal aldığı anda çalışmaya başlar.

3- Paket tabanlı olması: Devre anahtalamalı networklarda dinamik olarak kaynak tahsisi yapılamaz. Ancak Ethernet yüksek hızları dinamik olarak istenilen kullanıcılara paylaşılabilir.

4- Kolay bir şekilde çalıştırılabilmesi: ATM Sonet gibi networkların birden fazla katman barındırması ve bu katmaların birbiri içine geçmiş olması kompleks mimariler oluşturur. Ancak Ethernet tek çalıştır bir mimariye sahiptir. Bu yüzden kolay bir şekilde çalıştırılabilir özelliğe sahiptir.

5- Çok yüksek hızları verebilmesi: Ethernet 1 Mbps tan 100 Gbps a kadar olan hızları desteklemektedir. Link birleştirilmesi ile bu hızlar  $100 \times 8 = 800 \text{ Gbps}$  çıkarılabilir.

Soru 2: MPLS'i neden Ethernet üzerine inşa edip Aggregated metodu gerçekleştiriyoruz?

Cevap 2: Ethernet Sınırlandırmaları

1- Uçtan Uca Service Kalitesi: Ethernet uçtan uca service kalitesi sağlayamamaktadır. Sadece 0'dan 7'ye kadar önceliklendirme yapmaktadır. MPLS hem bu önceliklendirmeyi yapmakta hem de uçtan uca kaynak tahisi yapabilmektedir.

Hat kesildiğinde Ethernet tek başına xSTP protokolleri yardımıyla sadece kullanılabilir bir yol bulmaktadır. Ancak çok fazla nokta atlayan bir yol seçilirse bu jitter delay ve loss'a yol açabilir. MPLS te koruma için kullanılabilecek en fazla atlama noktası belirtilebilir. Kritik trafıklere yapılan bant genişliği rezervasyonu ile bu jitter delay ve loss'un önüne geçilebilir.

Önceliklendirme Ethernet'de 3 bit ile yapılır. (802.Q bitleri) 8 adet önceliklendirme desteklenmektedir. MPLS'te de benzer bir yaklaşım güdülmüş ve 3 bit önceliklendime kullanılmıştır.

2- Koruma Özelliği: Ethernet teknolojisinde link kesildiğinde kayıp oranı çok yüksektir. Yaklaşık 5 saniye boyunca paketler düzgün hatta hiç iletilemeyebilir. Ancak bu oran MPLS FRR yardımıyla 50 ms e kadar düşürülmüştür.

Ethernet üzerinde bu yıl geliştirilmeye çalışılan ancak hala standart haline gelmemiş AIS, LOSS, LOF gibi fiziksel hataları gösteren alarmlar yoktur. ITU G 1731 OAM

standartlaştırılmaya çalışılmaktadır. Ancak MPLS en azından link kesilmesini algılayıp link kapatabilir ve koruma sağlayabilir.

3- Servis bakımı: Sonet SDH ağlarında hat bakımı sağlayan ve kalitesi ölçülebilen BER bit error rate gibi mekanizmalar bulunmaktadır. Ancak Ethernet basit olarak inşa edildiği ve daha önce sadece local networklarda kullanılması düşünüldüğü için bu tarz hat kalitesi ve alarmlarını toplayan sayaçlar bulunmamaktadır. Ancak MPLS de bu sayaçlar yoktur. MPLS keep alive paketleri sayesinde hat kalitesini belli bir değer aşınca iletimi keser.

Ethernet için yine ITU G 1731 OAM altında bu alarmların ve sayaçların toplanması düşünülmektedir.

4- Ayakta kalma oranı: Sadece Ethernet kullanıldığı durumda her donanım bir diğerinin kaderini kendi tayin etmektedir. Yani birinde olabilecek bir problem tüm ağı etkileyebilir. xSTP root id olabilecek 2 byte shift işlemi bütün networku belli bir süre çökeltebilir. Bu yüzden Ethernet'in tek başına Voice ve yüksek öncelikli trafikler için layer 2 kullanılması zordur.

Ancak MPLS Ethernet'i katman 2 olarak kullanıp üzerine 3. katmanda bir kontrol mekanizması kullanır. 3. katmanda döngü sorunları yoktur. Bu gibi durumlarda her donanım kendi kaderini çizmez birinde olabilecek bir problem diğerlerini etkilemez.

5- Uyumluluk: Sadece Ethernet üzerinde eski networkler için servis verilemez. MPLS üzerinden ATM, Frame Relay, TDM gibi hizmetler verilebilir. Bu yüzden MPLS Aggregated geriye uyumlu ve yüksek hızlıdır. Ethernet geriye uyumlu değildir.

6- Multicast: Ethernet PIM ve IGMP kullanılarak multicast yapılabilir. Ancak fail over zamanında görüntü kayıpları ve donmalar yaşanabilir. (5 saniye gibi) Ancak MPLS de "Genelde saniyede 30 frame aktarıldığını düşünürsek" kayıp zamanı yaklaşık 50 ms olur. Ancak bir frame kaybolur ve bu algılanmaz.

7- Kayıp oranı (Bir error rate): Ethernet taşıyıcı MPLS ise Kontrol ve yol tahsisi ile çalışacağı için hatalar kabloda olmaktadır.

Ethernet hata oranı  $2.8 \times 10^{-7}$  dir. Bu da LTE kullanılması için gerekli koşulu sağlamaktadır.

#### Toplanmış Metodun Faydaları

Hem Unicast trafikte hem de multicast trafikte Aggregated metot en işlevsel olanı ve riskleri en aza indirenidir. Kabul görülen 2. katman ağların çok büyük olmamasıdır. Olabilecek bir problemde küçük 2. katman topolojisi ne kadar küçük olursa o kadar az cihaz etkilenecektir.

#### Sade Ethernet ve MPLS ve Ethernet Metot Farklılıkları

Ethernet'te görüldüğü gibi 2. katman ağının uçtan uca yapılması gerekmektedir. MPLS'deki gibi Aggregated metot kullanılmaz. Bu da ölçeklenebilirlik açısından problemlere yol açabilir.

#### Sade Ethernet ve Sade MPLS'in Toplanmış Metoda Oranla Maliyet Hesaplaması

Sadece Ethernet desteği olan donanımlar maliyet olarak %50 daha ucuzlardır. Ancak yedeklilik ve dirençlilik açısından yukarıdaki testlerde görüldüğü gibi riskli bir yapı oluşturabilirler. Bir döngü olduğunda bütün ağda probleme yol açabilirler.

#### Sade Ethernet ve Sade MPLS'in Toplanmış Metoda Oranla Kolaylık Karşılaştırması

MPLS ve Ethernet ile eNodeB ve S-GW eklemek aynı zorluktur. Ancak MPLS tünelleme olduğundan Multicast taşımak daha kolay olacaktır(P2MP-LSP). Ethernet'te hızlı IP yönlendirme olmadığından probleme yol açabilmektedir.

#### Sade Ethernet ve Sade MPLS'in Toplanmış Metoda Oranla Zorlukları

Ethernet'te olabilecek döngü ağı tamamen etkileyebilir. MPLS'te L3 kontrol yapısı olduğundan MPLS ağlarda daha kontrollü bir yapı kurulabilir. Bu yüzden MPLS kullanmak Control Plane açısından bir sağlamlık sağlayacak. Aggregated metot ile birlikte daha yapısal bir ağ oluşturulacaktır.

## Sade Ethernet ve Sade MPLS'in Toplanmış Metoda Geriye ve İleriye Uyumluluk Karşılaştırması

Sadece Ethernet kullanılarak bant genişliği ihtiyaçları LTE için sağlanabilir. Ancak bundan önceki teknolojiler için Ethernet hizmet veremez. Ancak MPLS hem eski teknolojileri(2G,TDM 3G ATM Frame Relay vb gibi) destekler hem de Ethernet üzerinden çalışabilir. İleride yeni bir ihtiyaç doğduğunda MPLS teknolojisi Ethernet'ten daha esnek olduğu için daha kolay uyum sağlayabilir.



## KAYNAKLAR

[1] E-UTRAN Architecture description, 3GPP TS 37.401, 3GPP specifications [online]. :<http://www.3gpp.org>

[2] Metro Ethernet Forum, Temmuz 2008, *Ethernet Services Attributes Phase 2, MEF 10.1.1 specification* [online], <http://www.metroethernetforum.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[3] Metro Ethernet Forum, Temmuz 2008, *Mobile Backhaul Implementation Agreement, MEF D00065\_003* [online], <http://www.metroethernetforum.org> (**Ziyaret Tarihi: Mart 2010**)

[4] IEEE, Mart 2008, *Provider Bridges, IEEE 802.lad, draft 6* [online], <http://ieee802.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[5] IEEE, Ocak 2008, *Provider Backbone Bridges, IEEE 802.lah draft* [online], <http://ieee802.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[6] IEEE, Mart 2008, *Provider Backbone Bridging with Traffic Engineering, IEEE 802.1Qay* [online], <http://ieee802.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[7] Fedyk, D., 2008, *GMPLS control of Ethernet PBB-TE, draft-fedyk-gmpls-ethernet-pbb-te-02, IETF draft* [online], <http://www.ietf.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[8] Allan, D., 2008, *Carrying PWE3 Pseudo Wires over Provider Backbone Transport, draft-allan-pw-o-pbt-03, IETF* [online], <http://www.ietf.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[9] Bocci, 2008, *An Architecture for Multi-Segment Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge draft-ietf-pwe3-ms-pw-arch, IETF* [online], <http://www.ietf.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[10] Muley, 2009, *Pseudowire Redundancy, draft-muley-pwe3-pw-redundancy, IETF draft* [online], <http://www.ietf.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[11] Sajassi, A., 2009, *VPLS Interoperability with Provider Backbone Bridges, draft-sajassi-12vpn-vpls-pbb-interop-01, IETF draft* [online], <http://www.ietf.org> (**Ziyaret Tarihi: Şubat 2010**)

[12] Kulkarni, K., Venkatesan, G. K., "Carrier Ethernet - State of Art and Challenges Ahead", **IEEE ANTS Conference**, Wipro Technologies, Bangalore 560100

[13] Holma, H., Toskala, A., "LTE for UMTS –OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", First edition, **John Wiley & Sons Ltd.**, 4-34, 2009

- [14] Lescuyer, P., and Lucidarme, T., "Wiley.Evolved.Packet.System.The.LTE.and.SAE.Evolution.of.3G.UMTS", First edition, **John Wiley & Sons Ltd. England**, 19-52, 2008
- [15] Bartell, J., 2009, *VDSL2 Overview and Tutorial* [online], <http://www.fttxtra.com/dsl/vdsl2/vdsl2-overview-tutorial/> (**Ziyaret Tarihi:Şubat 2010**)
- [16] Bartell, J., 2009, *GPON Tutorial* [online], <http://www.fttxtra.com/ftth/gpon/gpon-tutorial/> (**Ziyaret Tarihi:Mart 2010**)
- [17] Venkatesan, G. K., Kulkarni, K., "Wireless Backhaul for LTE - Requirements, Challenges and Options", **IEEE ANTS Conference**, Wipro Technologies, Bangalore 560100
- [18] Edam, J. G., Phillip, T.R., 2004, *Multiprotocol Label Switching* [Online] [http://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol\\_Label\\_Switching](http://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching) (**Ziyaret Tarihi:Şubat 2010**)
- [19] Xu, Z.F., "Desingning and implementing IP/MPLS based Ethernet Layer 2 VPN services ", First edition, **John Wiley & Sons Ltd. USA**, ISBN 978-0-470-45656-9, 320-350, 2010
- [20] Gerald, W. B., 2003, *Ethernet* [Online] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>" (**Ziyaret Tarihi:Şubat 2010**)
- [21] Boch, E., "High-capacity ethernet backhaul radio systems for advanced mobile data networks", **Microwave Magazine, IEEE**, ISSN 1527-3342 ,108 – 114, 2009
- [22] Yinggang, L., "E-band radios for LTE/LTE-Advanced mobile backhaul", **Integrated Nonlinear Microwave and Millimeter-Wave Circuits (INMMIC)**, ISBN: 978-1-4244-7410-3, 84, 2010
- [23] Varghese, G., Ghosh, D., "Wireless backhaul for LTE - service OAM considerations", **Advanced Networkss and Telecommunication Systems (ANTS), 2009 IEEE 3rd Conference** , ISBN: 978-1-4244-5989-6, 2009
- [24] Sherif, S.R., Ellinas, G., Hadjiantonis, A., Dorsinville, R., Ali, M.A., "On the Merits of Migrating From Legacy Circuit-Switched Cellular Infrastructure to a Fully Packet-Based RAN Architecture", **Lightwave Technology Journal**, ISSN : 0733-8724, 1968 – 1977, 2009
- [25] IEEE, 2001, xSTP 802.3d, *IEEE 802*, [online], <http://ieee802.org> (**Ziyaret Tarihi: Ocak 2010**)
- [26] IEEE, 2003, MPLS 802.3d, *RFC 3102*, [online], <http://ieee802.org> (**Ziyaret Tarihi: Mart 2010**)

## ÖZGEÇMİŞ

29.04.1983 tarihinde Bursa'da doğdu. İlköğrenim ve ortaöğrenimini Yalova'da tamamladı. 2001 yılında Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünü kazandı ve öğrenimini 2006 yılında tamamladı. 2006 yılında Alcatel-Lucent Şirketinde IP/MPLS Mühendisi olarak göreve başladı. 2006' dan beri gerek yurt içinde gerekse yurtdışında birçok ses ve veri şebekelerinin kurulum, tasarım ve bakımında görev aldı. Şu an yine Alcatel Lucent Şirketinde Teknik Proje Yöneticisi olarak görev almaktadır. Görev Aldığı Projeler: Turkcell 3G Carrier Network (Türkiye), Axione Telecom Migration (Fransa), Arcor Telecom Triple Play Service Support (Almanya), GSM Network HA Tests (Türkiye), AVEA 2G Voice IP/MPLS (Türkiye), Türk Telecom IP/MPLS (Türkiye), Ivory Coast Telecom National Backbone (Fildişi Sahilleri Cumhuriyeti), ARAMCO ATM NMS upgrade (Suudi Arabistan).