

# MPLS

## (Multi Protocol Label Switching)

Geçtiğimiz birkaç yıl boyunca Internet, her yerden erişilebilen bir ağ haline gelmiş ve kurumsal ve son kullanıcı pazarı için birçok yeni uygulamanın geliştirilmesine ilham olmuştur. Bu yeni uygulamalar da ağı oluşturan omurgada garanti edilen band genişliğine olan ihtiyacı artırmışlardır. Şu anda Internet üzerinde sağlanan klasik veri uygulamalarına ek olarak yeni ses ve çoklu ortam uygulamaları geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Internet bu bütünleştirilmiş (*Converged*) hizmetleri sunmak için bir seçenek haline gelmiştir. Ancak, hız ve band genişliği bağlamında bu yeni uygulama ve hizmetler, varolan Internet omurgasındaki kaynaklar zorlamaktadırlar. Ağın paket ve hücre tabanlı bir altyapıya dönüşümü, geleneksel olarak kesmen deterministik ağlarda ortaya çıkan belirsizliği gündeme getirmiştir.

Kaynak sınırlamaları ile ilgili bu problemlere ek olarak diğer bir problem de kullanıcılar farklı sınıflarda hizmetleri sunmak için omurgada trafiğin taşınması ile ilgilidir. Kullanıcı sayısı ve taşınması gereken trafiğin hacmindeki üstsel artış bu probleme yeni bir boyut da eklemektedir. Hizmet Sınıfı (*Class of Service, CoS*) ve QoS konularının, değişik türde ağ kullanıcılarının çeşitli gereksinimlerini karşılamak için, mutlaka üzerinde durulmalıdır.

Sonuç olarak, başlangıçta baş edilmesi zor görünen şeylere rağmen, MPLS, paketlerin yeni nesil ağlarda ağ kullanıcılarının hizmet gereksinimlerini karşılamak için yönlendirilmesi, anahtarlama ve iletilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.

### 1. Geleneksel Yönlendirme ve Paket Anahtarlama

Internet ilk olarak devreye alındığında, ağın üzerinde temel veri iletimi için gereksinimlere cevap vermekteydi. Bu ağ dosya transferi ve uzaktan bağlantı (*Remote Login*) gibi basit uygulamaları sağlamaktaydı. Bu gereksinimleri karşılamak için, varolan E1/T1 veya E3/T3 tabanlı ağları destekleyen arayüzlere sahip, basit, yazılım tabanlı bir yönlendirici platformu yeterliydi. Daha yüksek hızlara olan ihtiyaç ve daha yüksek band genişliğinde iletim ortamlarına destek gerekliliği ortaya çıkınca donanım olarak 2. katman (*Veri Bağlantısı*) ve 3. katmanda (*Ağ Katmanı*) anahtarlama yeteneğine sahip cihazlar devreye alınması zorunu bir hale gelmiştir. İkinci katman anahtarlama cihazları yerel alan ağı ortamındaki altağlarda anahtarlama problemlerinin çözümünü sağlamıştır. 3. katman anahtarlama cihazları da, 3. kat-

manda iletim için yönlendirme tablolarına başvurma işleminin yüksek hızlı anahtarlama donanımı tarafından gerçekleştirilmesiyle, 3. katman yönlendirmedeki performans problemlerinin azaltılmasına yardımcı olmuştur.

Paketlerin donanımında yüksek hızlı anahtarlama için önceleri ortaya çıkan çözümler temel problemleri çözmüş olsalar da, paketler içinde taşınan bilginin gerektirdiği hizmet gereksinimlerini karşılamamaktaydılar. Ayrıca günümüzde kullanılan yönlendirme protokollerinin çoğu paketlerin ağ üzerinde alıcısına ulaştırılabilmesi için en kısa yolun tespitini sağlayan algoritmalara dayanırlar; ağ performansını oldukça azaltabilecek gecikme, kayma ve trafik sıkışıklığı gibi diğer parametreleri göz önünde bulundurmazlar.

## 2. MPLS ve Bileşenleri

MPLS, Internet Engineering Task Force (*IETF*) tarafından tanımlanan, ağ üzerinde verimli olarak yönlendirme, iletim ve anahtarlama sağlayan bir protokoldür. MPLS aşağıdaki işlevleri yerine getirir:

- Değişik tür donanımlar, makineler ve hatta değişik uygulamalar arasındaki akışlar gibi çeşitli yoğunluklara sahip trafik akışlarını yönetecek mekanizmaları tanımlar.
- 2. ve 3. katman protokollerinden bağımsızlığı sağlar.
- IP adreslerinin değişik türde paket ileten veya anahtarlayan teknolojilerde kullanılan sabit uzunluklu etiketlere eşlenmesini sağlayan bir yol sunar.
- Kaynak Tahsisi Protokolü (*Resource Rezervation Protocol, RSVP*) ve OSPF gibi mevcut yönlendirme protokolleri ile birlikte çalışır.
- IP ile ATM ve Frame Relay gibi 2. katman protokollerini destekler.

MPLS'te veri iletim etiket anahtarlama yolları (*Label Switched Paths, LSP*) üzerinde gerçekleşir. LSP'ler kaynaktan alıcıya kadar yol üzerindeki her noktadaki bir etiket dizisidir. LSP'ler ya veri iletimi üzerine (*Denetim Tabanlı*), ya da belirli bir tür verinin akışının tespiti üzerine (*Veri Tabanlı*) kurulurlar. Protokole has belirteçler olan etiketler ya Etiket Dağıtım Protokolü (*Label Distribution Protocol, LDP*), ya RSVP ya da BGP veya OSPF gibi bir yönlendirme protokolü üzerinden dağıtılırlar. Her veri paketi, etiketleri kapsülleyerek, kaynaktan alıcıya kadar olan yolcuğunda bu etiketleri taşırlar. Bağlantılar arasında paketlerin çabuk bir şekilde anahtarlama için donanım tarafından kullanılabilen sabit uzunluklu etiketler her paket veya hücrenin başına eklendiğinden verinin yüksek hızlı olarak anahtarlama mümkün olabilmektedir.

### LSR'lar ve LER'lar

MPLS protokol mekanizmasına katılabilen cihazlar Etiket Uç Yönlendiricileri (*Label Edge Router, LER*) ve Etiket Anahtarlayan Yönlendiriciler (*Label Switching Router, LSR*) olarak ikiye ayrılabilir.

LSR, MPLS ağının çekirdeğinde yer alan, uygun bir işaretleme protokolü ile LSP'lerin kurulumuna katılan, kurulan yollar üzerinden veri trafiğinin yüksek hızlı bir şekilde anahtarlanmasını sağlayan yüksek hızlı, yönlendirici bir cihazdır. LER, erişim ağının ve MPLS omurgasının kenarında çalışan bir cihazdır. LER'lar farklı türde ağlara (*ATM, Frame Relay ve Ethernet gibi*) bağlantıları destekleyen ve LSP'lerin kurulumunu takiben MPLS ağına trafiği iletirler. LSP'leri kurarlarken, ağa girişte ve trafiğin erişim ağına çıkışında, etiket işleme protokolünü kullanırlar. LER'lar, trafik bir MPLS ağına girerken ve çıkarken, etiketlerin atanması ve ayıklanmasında önemli bir rol oynarlar.

### FEC

İletim Denkliği Sınıfı (*Forward Equivalence Class, FEC*), taşınmalarında aynı tür gereksinimleri paylaşan bir grup paket için kullanılan bir sunum şeklidir. Böyle bir gruba ait tüm paketlere karşı, alıcılarına kadar aldıkları yolda, aynı şekilde davranılır. Klasik IP iletiminin aksine, MPLS'de, belirli bir paketin, belirli bir FEC'ye atanması, paket ağa girdiğinde bir kez gerçekleştirilir. FEC'ler verilen bir küme paket veya basitçe bir adres önekinde dayanan hizmet gereksinimleridir. Her LSR bir paketin nasıl iletileceğini belirten bir tablo oluşturur. Etiket Bilgi Tabanı (*Label Information Base, LIB*) olarak adlandırılan bu tablo FEC'ler ve etiketler arasındaki bağlantılardan oluşur.

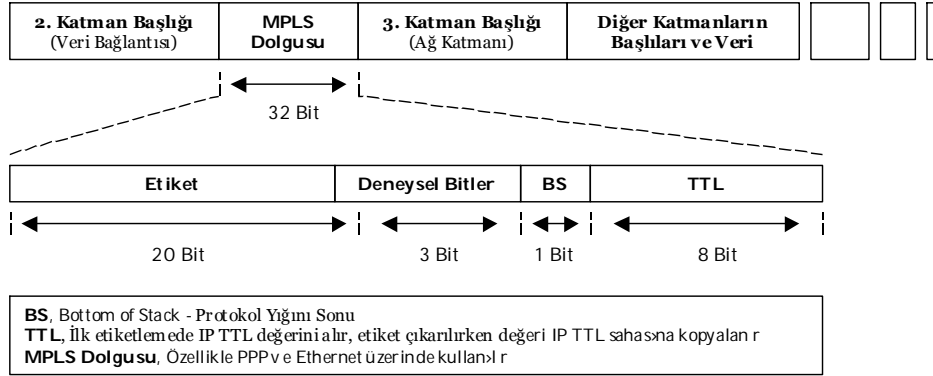
### Etiketler ve Etiket Bağlantıları

Bir etiket, en basit haliyle paketin kat etmesi gereken yolu tanımlar. Bir etiket, paket ile birlikte 2. katman başlığının içinde kapsülленir veya taşınır. Paketi alan yönlendirici bir sonraki atlama noktasını belirlemek için içindeki etiket içeriği için paketi inceler. Bir paket etiketlendikten sonra paketin omurga boyunca iletimi etiket anahtarlama ile gerçekleştirilir. Etiket değerlerinin yerel bir anlamı olduğundan, LSR'lar arasındaki atlama noktaları mahsusturlar.

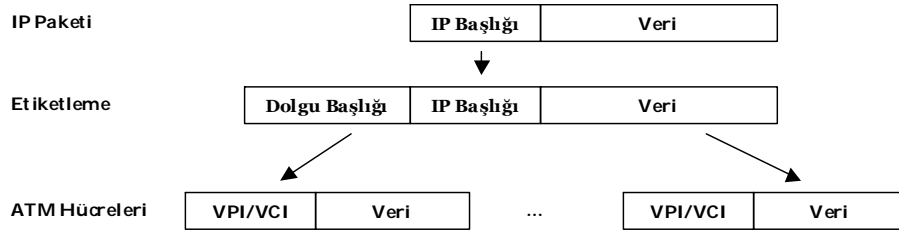
Bir paket yeni veya mevcut bir FEC ile sınıflandırıldıktan sonra, pakete bir etiket atanır. Etiket değerleri bir alt katman olan veri bağlantısı katmanından türetilir. Veri bağlantısı katmanı (*Frame Relay ve ATM gibi*), 2. katman belirteçleri olarak, Frame Relay kullanımı durumunda DLCI değerleri, ATM ağlarında ise VPI/VCI değerleri, doğrudan etiket olarak kullanılabilir. Paketler etiket değerlerine göre iletirler. Etiketler bir FEC'ye, bir olayın sonucunda veya bir koşulun bu tür bir ilişkilendirme gerekliliğine işaret etmesi durumunda bağlanırlar. Bu olaylar veri tabanlı veya denetim tabanlı olabilir. MPLS'de kullanılabilen ileri ölçkleme özelliklerinden dolayı denetim tabanlı olan tercih edilmektedir. Etiket atanmasındaki kararlar aşağıdaki iletim kriterlerine bağlı olabilir:

- Abc Unicast Yönlendirmesi
- Trafik Mühendisliği
- Multicast
- Virtual Private Network (VPN)
- QoS

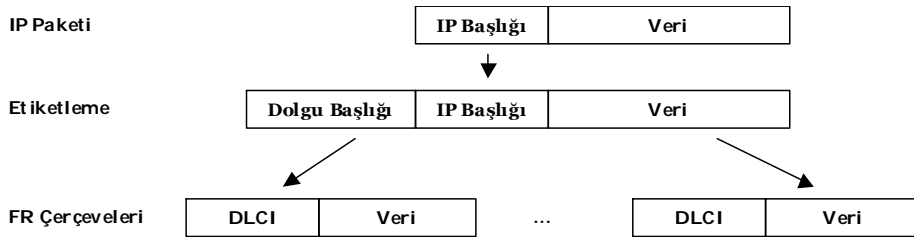
Genel etiket şekli aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Etiket sonraki şekillerde gösterildiği gibi, veri bağlantısı katmanı başlığı içine (Sonraki şekillerde gösterildiği gibi ATM VPI/VCI veya Frame Relay DLCI değeri) veya dolguya (2. katman olan veri bağlantısı ve 3. katman olan ağ katmanı başlığı arasında) gömülebilir.



Şekil 1. MPLS Genel Etiket Şekli



Şekil 2. Veri Bağlantısı Katmanında ATM



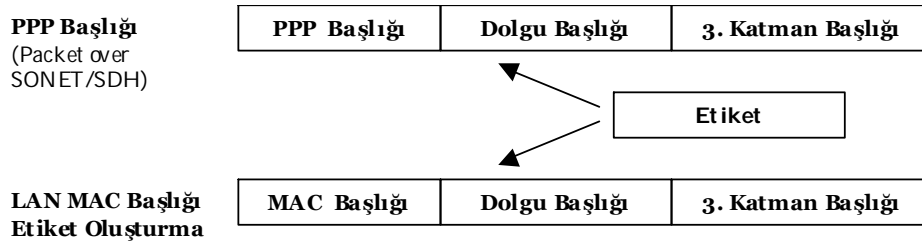
Şekil 3. Veri Bağlantısı Katmanında Frame Relay

## Etiket Oluşturma

Etiket oluşturmak için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır:

- **Topoloji tabanlı** - Yönlendirme protokollerini kullanır (*OSPF ve BGP gibi*)
- **Talep tabanlı** - Talep tabanlı denetim trafiğini kullanır (*RSVP gibi*)
- **Trafik tabanlı** - Bir paketin alınmasını takiben tetiklenen, atama ve etiket dağıtımına dayanır

Topoloji ve talep tabanlı yöntemler denetim tabanlı etiket ilişkilendirmeye örnek teşkil ederken, trafik tabanlı yöntem ise veri tabanlı ilişkilendirmeye bir örnektir.



Şekil 4. Veri Bağlantısı Katmanında PPP Protokolü ve Ethernet

### Etiket Dağıtımı

MPLS mimarisi etiket dağıtımını için tek bir işletme yöntemin kullanımını zorunlu kılmaz. BGP gibi mevcut yönlendirme protokolleri protokol içeriği ile birlikte etiket bilgisinin taşınması için geliştirilmişlerdir. RSVP'nin tanımı, etiketlerin bu protokolün sırtında taşınması için genişletilmiştir. Ayrıca Internet Engineering Task Force (*IETF*), etiket uzayının yönetimi ve işaretleme için, Etiket Dağıtım Protokolü (*Label Distribution Protocol, LDP*) olarak bilinen yeni bir protokolü de tanımlaştır. QoS ve CoS gereksinimlerine dayanan yönlendirme protokollerine destek için, temel LDP protokolüne uzantılar ayrıca tanımlanmıştır. Bu uzantılar Kısıt Tabanlı (*Constraint-Based, CR*) yönlendirme, CR-LDP protokol tanımında da kullanılmıştır. Etiket alışverişi için çeşitli yaklaşımlar:

- **LDP** - Unicast IP alıcılarını etiketlere eşler
- **RSVP, CR-LDP** - Trafik mühendisliği ve kaynak ayırımı için kullanılır
- **Protocol Independent Multicast (PIM)** - Multicast etiket eşlemesi için kullanılır
- **BGP** - Harici etiketler (*VPN*)

### Etiket Anahtarlama Yolları (Label-Switched Paths, LSPs)

- **MPLS'i destekleyen cihazlar topluluğu bir MPLS etki alanını oluşturur.** Bir MPLS etki alanı içinde, verilen bir paket, bir FEC üzerine kurulan bir yolu kateder. LSP veri iletiminden önce kurulur. MPLS bir LSP'in kurulumu için iki seçenek sağlar:

- **Sekmeli yönlendirme** (*Hop-by-hop Routing*) - Her LSR bir sonraki atlama noktasını, verilen bir FEC için bağımsız olarak seçer. Bu yaklaşım şu anda IP ağlarında kullanılan yöntemdir. LSR bu durumda, OSPF, ATM-PNNI gibi herhangi bir mevcut yönlendirme protokolünü kullanabilir.
- **Mutlak Yönlendirme** - Mutlak (*Explicit*) yönlendirme kaynak yönlendirmeye (*Source Routing*) benzer. Girişteki (*Ingress*) LSR, ER-LSP'nin açılacağı tüm ara anahtarların bir listesini oluşturur. Belirlenen yol en uygunu olmayabilir. Yol boyunca veri trafiği için gerekli kaynaklar QoS'in sağlanması için ayrılabilir. Bu, ağ boyunca trafik mühendisliğini kolaylaştırdığı gibi önceden belirlenen koşullar veya ağ yönetim yöntemlerine dayanan trafik akışları için farklılaştırılmış hizmetlerin sunulmasına olanak tanır.

Bir FEC için kurulan bir LSP tek yönlüdür. Dönüş trafiği için başka bir LSP açılmadığıdır.

### Etiket Uzayla >

FEC-Etiket ilişkilendirmeleri için bir LSR tarafından kullanılan etiketler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- **Platform başına** - LSR içindeki etiket değerleri ortak bir havuzdan atanır ve benzersidir. Farklı arayüzlerden dağıtılan etiketler aynı değeri almazlar.
- **Arayüz başına** - Etiket aralıkları arayüz başına belirlenir. Her arayüz için bir etiket havuzu tanımlanır ve farklı arayüzlerden sağlanan etiket değerleri ile aynı olabilir.

### Etiket Birleştirme

Farklı arayüzlerden gelen trafikler eğer aynı alıcıya yönlendirilecekse, tek bir etiket altında birleştirilip, anahtarlanabilir. Bu akış birleştirme veya akışların toplanması olarak bilinir.

Eğer taşıma ortamı ATM ise, LSR'lar Sanal Yol (*Virtual Path, VP*) veya Sanal Kanal (*Virtual Channel, VC*) birleştirmesini gerçekleştirebilirler. Bu senaryoda, çoklu trafik akışlarının ATM ağında birleştirildiğinde ortaya çıkabilecek hücre aralıklama problemlerinden sakınılmalıdır.

### Etiket Tutma

MPLS, LSR'lardan gelen, verilen bir FEC için bir sonraki atlama noktası olmayan etiket ilişkilendirmelerine uygulanabilecek iki tür hareket tarzı tanımlar:

- **Tutucu** - Bu çalışma şeklinde LSR'lardan alınan bir FEC ve bir etiket arasındaki ilişkilendirmeler verilen bir FEC için bir sonraki atlama noktası değilse göz ardı edilirler. Bu çalışma şekli bir LSR'ın az sayıda etiket muhafaza etmesini gerektirir. Bu, ATM-LSR'lar için önerilen çalışma şeklidir.

- **Serbest** - Bu çalışma şeklinde LSR'lerden alınan bir FEC ve bir etiket arasındaki ilişkilendirmeler verilen bir FEC için bir sonraki atlama noktası değilse tutulurlar. Bu çalışma şekli topoloji değişikliklerine daha hızlı uyumu sağlar ve trafiğin değişiklik durumlarında diğer LSP'lere anahtarlanmasını sağlar.

### Etiket Denetimi

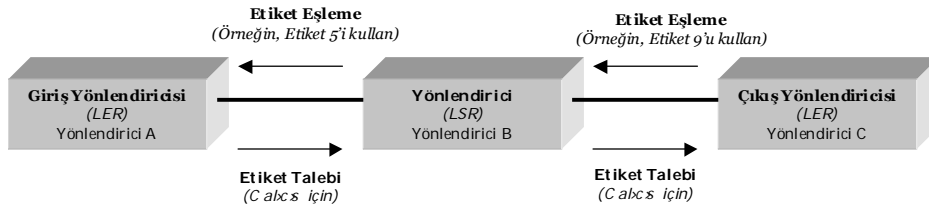
MPLS komşu LSR'lara etiketlerin dağıtılması için çalışma şekillerini de tanımlar.

- **Bağımsız** - Bu çalışma şeklinde, bir LSR belirli bir FEC tanımlayıp, söz konusu FEC'e bir etiketi bağımsız olarak atayıp komşularına dağıtır. Yeni FEC'ler, yönlendiriciye yeni yollar görünür hale geldikçe tanımlanır.
- **Sıra** - Bu çalışma şeklinde, bir LSR belirli bir FEC etiket atamasını, eğer kendisi ağın çıkışındaki yönlendirici ise veya bir sonraki atlama noktasındaki LSR'dan söz konusu FEC için bir etiket ilişkilendirmesi aldıysa, gerçekleştirir. Bu ATM-LSR'lar için tavsiye edilen çalışma şeklidir.

### İşaretleme Mekanizmaları

- **Etiket Talebi** - Bir LSR bu mekanizmayı kullanarak kendinden bir sonraki LSR'dan bir etiket talebinde bulunur ve böylece bunu belirli bir FEC ile ilişkilendirebilir. Bu mekanizma, ağın çıkışındaki LSR'a kadar zincir halinde gerçekleştirilebilir.
- **Etiket Eşleme** - Bir etiket talebine cevaben bir sonraki LSR trafiği başlatan, bir önceki LSR'a etiket eşleme mekanizmasını kullanarak bir etiket gönderir.

Etiket talebi ve eşlemesi için yukarıdaki yaklaşımlar aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:



Şekil 5. İşaretleme Mekanizmaları

### Etiket Dağıtım Protokolü (Label Distribution Protocol, LDP)

LDP, Etiket ilişkilendirme bilgisinin bir MPLS ağında LSR'lara dağıtılması için kullanılan bir protokoldür. Bu protokol FEC'lerin etiketlere eşlenmesi ve daha sonra LSP'lerin oluşturulması için kullanılır. LDP oturumları, MPLS ağındaki LDP uçları (*Komşu olmaları şart değildir*) tarafından kurulur. Uçlar aşağıdaki türlerdeki LDP mesajlarının alışverişini gerçekleştirirler:

- **Keşif Mesajları** - Bir ağda bir LSR'nin varlığının duyurulması ve sürdürülmesini sağlar
- **Oturum Mesajları** - LDP uçları arasında oturumların kurulmasını, sürdürülmesini ve sonlandırılmasını için kullanılır
- **Duyuru mesajlar** - FEC'ler için etiket eşlemelerinin oluşturulması, değiştirilmesi ve silinmesi için kullanılır
- **Uyarı Mesajları** - Tavsiye bilgisini ve hata durumlarının bildirilmesini sağlar

### Etiket Yığıcı

Etiket Yığıcı mekanizması MPLS etki alanı içinde sıradüzenli işleme olanak tanır. Bu temel olarak MPLS'in aynı anda sadece ağdaki iki yönlendirici arasında ve daha üst seviyede etki alanları arasında kullanılabilmesini sağlar. Etiket yığıcıdaki her seviye belirli bir sıradüzeni seviyesine bağlı kalır. Bu yaklaşım MPLS'de tünel çalışması şeklinin gerçekleştirilmesine yardımcı olur.

### Trafik Mühendisliği

Trafik mühendisliği, ağ üzerindeki trafiği düzenli veya ayrık bir şekilde dağıtımını gerçekleştirerek, toplam ağ kullanımını iyileştiren bir işlemdir. Bu işlemin en önemli sonuçlarından biri herhangi bir yol üzerinde tıkanıklıktan kaçınmayı sağlamasıdır. Dikkat edilmesi gereken husus trafik mühendisliğinde, iki cihaz arasındaki trafiğin her zaman en kısa yol üzerinden aktarılması gerekmez. Nihai alıcı ve göndericisi aynı olan iki paketin farklı yollardan gitmesi mümkündür. Bu yolla daha az kullanılan ağ parçaları değerlendirilebilir ve farklılaştırılmış hizmetler sağlanabilir.

MPLS'te trafik mühendisliği yöntemleri, mutlak yönlendirilmiş yolların kullanımıyla miras alınmıştır. LSP'ler kullanıcı tarafından belirlenen koşullar üzerine, farklı yollar belirlenerek bağımsız olarak oluşturulurlar. Ancak bu oldukça fazla operatör etkileşimini gerektirir. RSVP ve CR-LDP, dinamik trafik mühendisliğinin ve QoS'in MPLS'te sağlanması için iki olası yaklaşımdır.

### CR

Kısıt Tabanlı Yönlendirme (*Constraint-based routing, CR*) bağ karakteristikleri (*Band genişliği, gecikme, vs*), atlama sayısı ve QoS gibi parametreleri hesaba katar. CR-LSP türü olabilen LSP'lerde kısıt, mutlak atlama noktaları veya QoS gereksinimleri olabilir. Mutlak atlama noktaları kat edilecek yolu dikte eder. QoS gereksinimleri ise akış için hangi bağlantıların, hangi kuyruklama ve zamanlama mekanizmalarının devreye alınacağını belirtir.

CR kullanıldığında daha uzun ancak daha az yüklü bir yolun seçilmesi mümkündür. Fakat, CR ağ kaynaklarının kullanımını artırdıkça, seçilen yol LSP'nin QoS gereksinimlerini karşılamak zorunda olduğundan, yönlendirme hesapları iyice karışık bir hal almaya başlar. CR, LSP'lerin kurulumu için MPLS ile birlikte kullanılabilir. IETF, CR tabanlı yönlendirmelerin kolaylaştırılması için bir CR-LDP bileşeni tanımlamıştır.

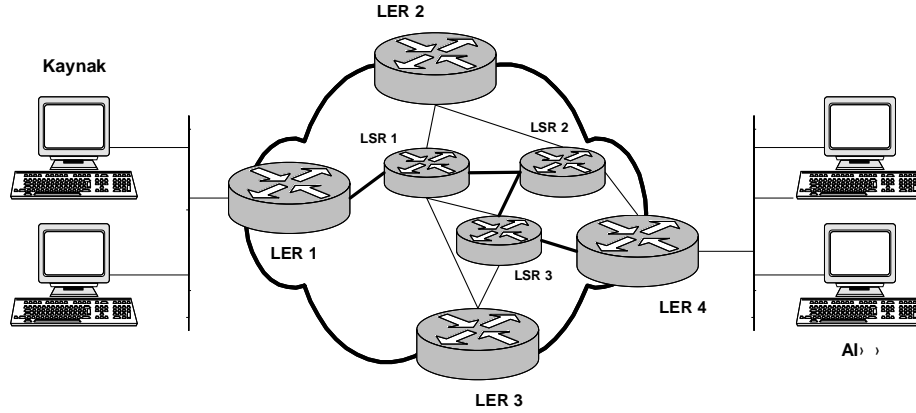


### 3. MPLS İşletimi

Bir MPLS etki alanında, bir paketin yol alması için aşağıdaki adımların gerçekleşmesi gerekir:

- Etiket oluşturma ve dağıtım
- Her yönlendiricide tabloların oluşturulması
- Etiket anahtarlamalı yolun oluşturulması
- Etiket eklenmesi / Tablo araması
- Paket iletimi

MPLS etki alanında tüm trafiğin aynı yoldan taşınması gerekli değildir. Trafik karakteristiğine göre değişik CoS gereksinimleri ile paketler için farklı LSP'ler oluşturulabilir.



Şekil 6. Bir MPLS etki alanı üzerinden LSP oluşturulması ve paket iletimi

Aşağıdaki tabloda bir paketin, bir MPLS etki alanında iletilmesi sırasında yaşanan olaylar adım adım anlatılmaktadır.

Tablo 1. MPLS etki alanında işlemler

| MPLS olaylar                        | Açıklama  |
|-------------------------------------|---|
| Etiket oluşturma ve etiket dağıtımı | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yönlendirici herhangi bir trafik başlamadan önce bir etiketi belirli bir FEC'e ilişkilendirmek için bir karar verir ve kendi tablolarını oluşturur.</li> <li>• LDP ile, ağ üzerindeki yönlendiriciler etiketlerin ve etiket/FEC bağlantılarının dağıtımını başlatırlar.</li> <li>• Ek olarak, LDP kullanılarak trafik ile ilgili karakteristikler ve MPLS yeteneklerinde uzlaşma sağlanır.</li> <li>• İşaretleme protokolü olarak güvenilir ve sıralı bir taşıma protokolü kullanılmalıdır. LDP, TCP'yi kullanır.</li> </ul> |

| MPLS olaylar                            | Açıklama   |
|---|--|
| Tablo oluşturma                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Her LSR etiket ilişkilendirme bilgisini alınca kendi etiket bilgi tabanını (<i>LIB</i>) oluşturur.</li> <li>Tablolardaki satırlar bir etiket ve bir FEC arasındaki eşlemeleri belirtir. <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Giriş portu ve giriş etiket değeri ile çıkış portu ve çıkış etiket değeri arasındaki eşlemeler.</i></li> <li><i>Tablodaki bilgiler etiket ilişkilendirmeleri için her yeni uzlaşıda tazelenir.</i></li> </ul> </li> </ul>   |
| Etiket anahtarlamal yolun oluşturulması | Yukarıdaki şekilde çizgili olarak gösterildiği gibi, LSP'ler, LIB'lerin aksi yönünde oluşturulurlar.   |
| Etiket ekleme Tablo sorgusu             | <ul style="list-style-type: none"> <li>İlk yönlendirici (<i>Yukarıdaki şekilde LER 1</i>) LIB tablosunu kullanarak bir sonraki atlama noktasını bulur ve söz konusu FEC için bir etiket talep eder.</li> <li>Sonraki yönlendiriciler bir sonraki atlama noktasını bulmak için yalnızca etiket değerini kullanırlar.</li> <li>Paket ağın çıkışındaki LSR'a (<i>LER 4</i>) ulaşıncaya, etiket çıkarılır ve alıcısına ulaştırılır.</li> </ul>   |
| Paket iletimi                           | <p>Yukarıda örneği verilen ağda, girişteki LSR olan LER 1'den, çıkıştaki LSR olan LER 4'e kadar olan yolda gerçekleşen olaylar:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>LER 1 bu paket için, talebin ilk kez gerçekleşmesinden dolayı herhangi bir etiket değerine sahip olmayabilir. Bir IP ağında LER 1, bir sonraki atlama noktasını bulmak için en uzun adres eşlemesini arayacaktır. LSR 1, LER 1 için bir sonraki atlama noktası olsun.</li> <li>LER 1, LSR 1'e doğru bir etiket talebinde bulunacaktır.</li> <li>Bu talep ağ boyunca, kalın ara bağlantılarla ile belirtilen yol ile, ağ boyunca yayınacaktır.</li> <li>Her ara yönlendirici, LER 2'den başlayarak kendinden bir sonraki yönlendiriciden bir etiket alacak ve LER 1'e doğru uzayacaktır. LSP kurulumu etiket talebi için takip edilen yolun aksi yönde gerçekleşir ve bu kurulum LDP veya başka bir işaretleme protokolü ile gerçekleştirilir. Eğer trafik mühendisliği gerekli ise, uyulması gereken QoS/CoS gereksinimlerinin sağlanması için CR-LDP asıl yolun belirlenmesi için kullanılır.</li> <li>LER 1 pakete etiketi ekleyerek LSR 1'e gönderir.</li> <li>S radaki her LSR, LSR 2 ve LSR 3 gibi, gelen paketi inceleyip, etiketi kendi çıkış etiketleri ile değiştirerek, bir sonraki yönlendiriciye iletirler.</li> <li>Paket LER 4'e geldiğinde, LER 4, paket MPLS etki alanı dışına çıktığından etiketi paketten ayırır ve alıcısına ulaştırır.</li> <li>Paketin asıl olarak izlediği veri yolu noktalı çizgi ile belirtilmiştir.</li> </ol> |

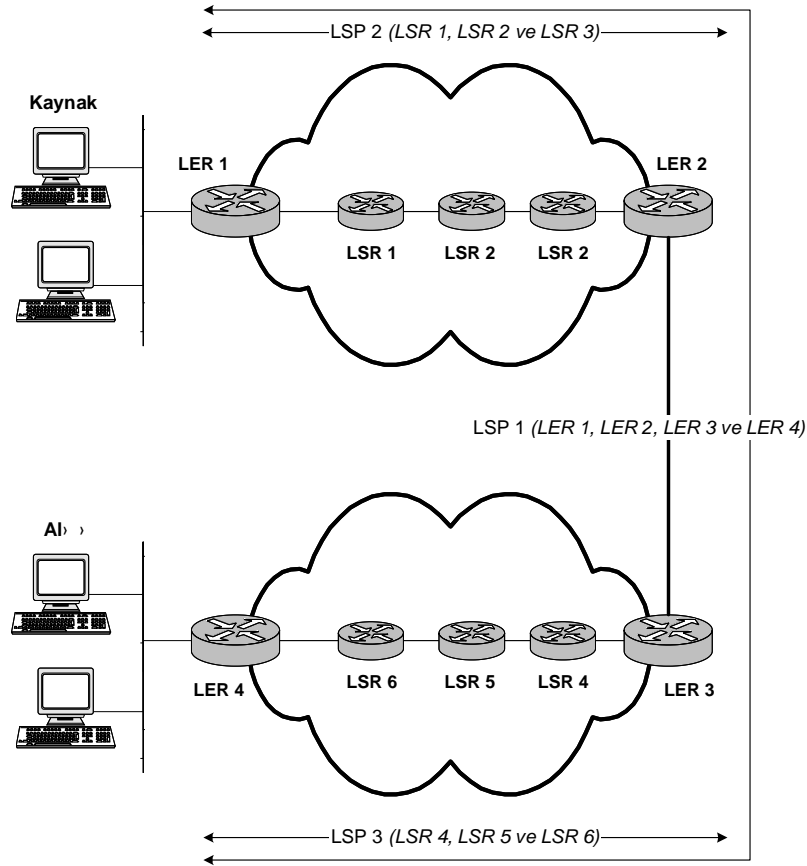
Aşağıdaki örnek bir LIB tablosu gösterilmektedir. Portlardan gelen trafikler farklı FEC'lere atanmışlardır.

**Tablo 23.2.** Örnek LIB tablosu

| Giriş Portu | Giriş Etiketi | Çıkış Portu | Çıkış Etiketi |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 1           | 3             | 3           | 6             |
| 2           | 9             | 1           | 7             |

### MPLS'te Tünelleme

MPLS'in benzersiz bir özelliği de yol üzerindeki ara yönlendiricilerin mutlak olarak belirtilmesine gerek kalmaksızın paketin kat edeceği yolu tümüyle denetleyebilmesidir. Bu bir çok segmene dağılabilen ara yönlendiriciler üzerinde oluşturulan tüneller ile gerçekleştirilir. Bu yaklaşım MPLS tabanlı VPN'lerin oluşturulmasında kullanılır.



**Şekil 23.7.** MPLS'te tünelleme

Yukarıda şekli görülen senaryoda, tüm LER'ler (*LER1*, *LER2*, *LER3* ve *LER4*) BGP kullanmakta ve aralarında bir LSP (*LSP 1*) oluşturmaktadırlar. Veriyi alıcısına gönderdikçe iki farklı segmentten geçilmesi gerektiğinden LER 1 bir sonraki alıcının LER 2 olduğunun farkındadır. Aynı şekilde LER 2, LER 3'ün bir sonraki atlama noktası olduğunun farkındadır ve bu böyle devam etmektedir. LER'ler LDP'yi kullanarak girişteki LER'a (*LER 1*) kadar olan yolda, çıkıştaki LER'dan (*Bu durumda LER 4*) etiketleri almakta ve depolamaktadır.

Ancak LER 1, LER 2'ye verisini gönderirken birçok LSR (*Bu durumda üç tane*) üzerinden geçmek zorundadır. Bu yüzden LER 1 ve LER 2 arasında, LSR 1, LSR 2 ve LSR 3 üzerinden başka bir LSP (*LSP 2*) kurulur. Bu sonuç olarak söz konusu iki LER arasında bir tünelli temsil eder. Bu yol üzerindeki etiketler, LER'lerin LSP 1 için oluşturduklarından farklı olacaktır. Bu durum LER 3, LER 4 ve aralarındaki LSR'lar için de geçerlidir. Bu segment için LSP 3 oluşturulmaktadır.

Ağın farklı segmentleri üzerinden paketlerin iletiminde etiket yığınları kavramı kullanılır. Paketler LSP 1, LSP 2 ve LSP 3 üzerinden yol alırken tüm olarak iki etiket değeri taşırlar. İlk segmentte LSP 1 ve LSP 2 için, ikinci segmentte ise LSP 1 ve LSP 3 için etiket değerleri taşınır.

Paket ağın ilk parçasından çıkıp, LER 3 tarafından alındığında, LER 3 LSP 2 için olan etiketi LSP 3 için olan etiketle değiştirirken, LSP 1 için olan etiket değerini bir sonraki atlama noktası için belirlenen değerle değiştirir. LER paketi alıcısına iletmenden önce her iki etiketi de çıkarır.

### Multicast İşletimi

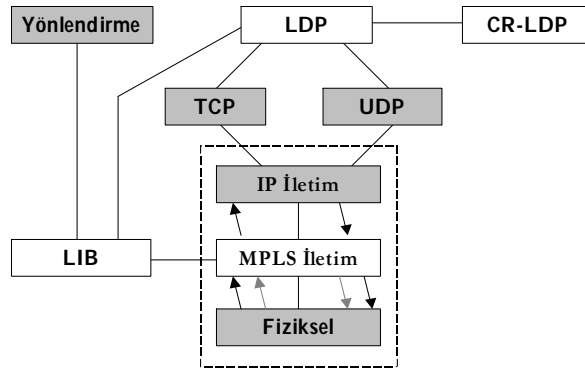
MPLS'in multicast işletimi henüz tanımlanmamıştır. Ancak, gelen bir etiketin, bir küme harici etikete eşlenmeyen bir yaklaşım tavsiye edilmektedir. Bu bir multicast ağacı (*Multicast tree*) ile kurulabilir. Bu durumda gelen bir etiket bir multicast ağacı ile ilişkilendirilecek ve paketi iletmek için bir küme çıkış portu kullanılacaktır. Bu işletim şekli LAN ortamları için oldukça uygundur. ATM gibi bağlantıya yönelik ortamlarda ise noktadan çok noktaya anahtarlama yolları (*VCC*) multicast trafiğinin dağıtılması için kullanılabilir.

## 4. MPLS Protokol Yığını Mimarisi

Çekirdek MPLS bileşenleri aşağıdaki parçalara ayrılabilir:

- Ağ katmanı (*IP*) yönlendirme protokolleri.
- Ağ ucunda ağ katmanı iletimi.
- Ağ çekirdeğinde etiket tabanlı anahtarlama.
- Etiket şematiği ve granüler yapı.
- Etiket dağıtımı için işaretleşme protokolü.
- Trafik mühendisliği.
- Değişik türde 2. katman iletim ortamları ile uyumluluk (*ATM*, *Frame Relay*, *PPP*).

Aşağıdaki şekilde MPLS işlemleri için kullanılacak protokoller gösterilmektedir. Yönlendirme bölümü bilinen herhangi bir protokol olabilir. İşletim ortamına bağlı olarak yönlendirme bölümü, OSPF, BGP veya ATM'in P-NNI' olabilir. LDP bölümü, bir oturum sırasında, bir LSR'dan diğerine denetim verisinin güvenilir iletimi için TCP'yi kullanır. LDP ayrıca LIB'i sağlar. LDP, işletimin keşif aşamasında UDP'yi kullanır. Bu aşamada bir LSR kendi komşuluk birimlerini tanımlamaya çalışır ve kendi varlığını ağ üzerinde duyurur. Bu "Hello" paketlerinin alış verişi ile gerçekleşir.



Şekil 7. MPLS Protokol Yığını

IP İletimi, yönlendirme tabloları üzerinden yapılan eşlemelerle bir sonraki atlama noktasının tespit edildiği klasik IP iletimi bölümüdür. MPLS'de bu sadece LER'ler tarafından kullanılır. MPLS İletimi bölümü verilen bir paket için, bir etiketi bir çıkış portuna eşleyen bölümdür. Şekilde kesikli çizgi ile belirtilen kutu içindeki bileşenler daha verimli iletim için donanımda uygulanabilir.

## 5. MPLS Uygulamala >

MPLS günümüzün omurga gereksinimlerini standartlara dayanan bir çözümle cevap verirken aşağıdakileri sağlar:

- Ağda paket iletim performansını iyileştirir.
  - MPLS, paket iletimini 2. katman anahtarlama ile basitleştir ve geliştirir.
  - MPLS, kolay uyarlanmasını sağlayacak şekilde, basit olarak tasarlanmıştır.
  - MPLS, yönlendirmeyi ara cihazlarda anahtarlama ile gerçekleştirdiğinden ağ performansını artırmaktadır.
- Hizmet ayrımı için QoS ve CoS desteği.
  - MPLS trafik mühendisliğini esas aldığı yol kurulumunu kullanır ve hizmet seviyesi garantilerinin sağlanmasına yardımcı olur.

- MPLS kısıt bazlı ve mutlak yol kurulumu için yapılacak işlemleri birleştirir.
- Ağı ölçeklenebilirliğini artırır.
  - ATM tabanlı IP ağlarında karşılaşılan  $(N^2 - N)/2^1$  probleminden kaçınmak için MPLS kullanılabilir.
- Ağda IP ve ATM bütünleşmesini sağlar.
  - MPLS, ATM çekirdeği ve IP erişim ağı arasında bir köprü oluşturur.
  - MPLS, mevcut yönlendirici ve ATM anahtar donanımlarını kullanarak verimli bir şekilde iki ayrı ağı birleştirir.
- Ağlar arasında birlikte çalışılabilirliği sağlar.
  - MPLS, IP ve ATM ağları arasında birlikteliği sağlayan standartlara dayanan bir çözümdür.
  - MPLS, optik anahtarlama SONET/SDH üzerinde IP bütünleşmesini kolaylaştırır.
  - MPLS, trafik mühendisliği yeteneğine sahip, ölçeklenebilir VPN'lerin inşaa edilmesine yardımcı olur.

## 6. Özet

*Multi Protocol Label Switching (Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama, MPLS) günümüz ağlarının yüz yüze kaldığı problemler için geliştirilen çok yönlü bir çözümdür; hız, ölçeklenebilirlik, QoS yönetimi ve trafik mühendisliği gibi. MPLS, yeni nesil IP tabanlı omurgalar için hizmet gereksinimleri ve band genişliği yönetimi için ortaya çıkmış zarif bir çözümdür. MPLS, ölçeklenebilirlik ve yönlendirme (QoS tabanlı ve hizmet kalitesi metrikleri) ile ilgili problemlere çözüm getirir ve var olan ATM ve Frame Relay ağları üzerinde çalışabilir.*

## 7. Sorular

1. MPLS'ın temel bileşenleri nelerdir?
2. MPLS etiketlerinde 3. Katman yönlendirme bilgisi, 2. Katman başlıklarında ne ile eşlenmektedir? Örnek veriniz.
3. MPLS ağında (*Etiket alan da*) etiket dağıtımını nasıl gerçekleştirilmektedir?
4. MPLS'de tünelleme kavramını açıklayınız.
5. MPLS uygulamalarına örnek veriniz.

---

<sup>1</sup> IP trafiğinin ATM ağındaki N adet uç arasında iletimi için, bu uçlar arasında gerekli olan PVC sayısı .