

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEREL ALAN AĞLARINDA KULLANILAN YÖNLENDİRME
PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE AĞ
PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahdi Ali WARSAME

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah SEVİN

Ağustos 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEREL ALAN AĞLARINDA KULLANILAN
YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE AĞ PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahdi Ali WARSAME

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 13.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi
Sezgin KAÇAR
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi
Muhammed Fatih ADAK
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
Abdullah SEVİN
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mahdi Ali WARSAME

13.08.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdullah SEVİN'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışma Amacı ve Motivasyon	1
1.2. Literatüre Giriş	2
1.3. Tanımlar ve Terminolojiler	2
1.4. Yönlendirme Protokollerinin Geçmişi	6
1.5. Konuyla İlgili Önceki Araştırmalar.....	7

BÖLÜM 2.

YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ	12
2.1. Dinamik Yönlendirme Protokolleri.....	13
2.1.1. Genel bakış ve arka plan.....	13
2.1.2. Dinamik yönlendirme protokollerinin gelişimi	13
2.1.3. Dinamik yönlendirme protokolünün rolü	14
2.1.4. Dinamik yönlendirme protokollerinin amacı.....	15

2.1.5. Dinamik yönlendirme protokolü işlemi.....	16
2.1.6. Dinamik yönlendirme protokolü avantajları.....	16
2.1.7. Dinamik yönlendirme protokolü değerlendirmesi.....	17
2.2. Dinamik Yönlendirme Protokollerini Sınıflandırma.....	18
2.2.1. İç ve dış ağ geçidi protokolleri	18
2.2.2. Mesafe vektör ve bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri....	20
2.2.2.1. Mesafe vektör yönlendirme protokolü	20
2.2.2.2. Bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri	21
2.2.3. Sınıflandırılmış ve sınıflandırılmamış yönlendirme protokolleri	22
2.2.3.1. Sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri	22
2.3. Dinamik Yönlendirme Protokolleri ve Yakınsama.....	23
2.4. Metrikler.....	24
2.4.1. Metriklerin amacı.....	24
2.4.2. Metrikler ve yönlendirme protokolleri	25
2.4.3. Tanımlar.....	25
2.4.4. Yönlendirme tablosundaki metrik alanı.....	26
2.5. Yönetim Mesafe	27
2.5.1. Yönetim mesafenin amacı	27
2.6. Çoklu Yönlendirme Kaynakları	28

BÖLÜM 3.

SİMULASYON ORTAMI.....	29
3.1. Ağ Modelleme ve Simülasyon	29
3.2. Riverbed'e Giriş.....	31
3.3. Riverbed Modeller.....	32
3.4. Riverbed Modeller Kullanıcı Arayüzü	33
3.4.1. Proje yönetimi.....	33
3.4.2. Tercih düzenleyicisi.....	33

3.5. Riverbed Modeler Editörleri	34
3.5.1. Proje editörü.....	34
3.5.2. Düğüm düzenleyicisi	36
3.5.3. Proses düzenleyicisi.....	37
3.5.4. Bağlantı düzenleyicisi.....	37
3.5.5. Paket biçim düzenleyicisi	38
3.5.6. ICI editörü.....	39
3.5.7. PDF editörü.....	40
3.5.8. Prob düzenleyicisi.....	41
3.5.9. Simülasyon sonuçları tarayıcısı	42
3.5.10. Animasyon görüntüleyicisi	43
3.6. Riverbed Belgelerini Kullanma.....	44

BÖLÜM 4.

AĞ SİMULASYONU VE PERFORMANS ANALİZİ.....	46
4.1. Giriş.....	46
4.2. Simülasyon Aracı	46
4.3. Riverbed Tasarım ve Analizi.....	48
4.4. Ağ Topolojisi.....	48
4.5. Senaryolar.....	50
4.5.1. RIP senaryoları	51
4.5.2. EIGRP senaryoları	51
4.5.3. OSPF senaryoları	52
4.6. Simülasyon Yürütme.....	53
4.6.1. Performans metrikleri	53
4.7. Sonuç Değerlendirmeleri.....	54
4.8. Deney Sonuçları	57

BÖLÜM 5.

SONUÇ VE ÖNERİLER 59

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 65

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AD	: Administrative Distance
AÖS	: Ayrık Özerk Sistemi
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
ARPANET	: Advanced Research Projects Agency Network
BGP	: Border Gateway Protocol
CISCO	: Computer Information System Company
DAGP	: Dış Ağ Geçidi Protokolü
DUAM	: Değişken Uzunlukta Alt-ağ Maskesi
EIGRP	: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
GAA	: Geniş Alan Ağı
ICI	: Interface Control Information
İAGP	: İç Ağ Geçidi Protokolü
IGRP	: Interior Gateway Routing Protocol
İSS	: İnternet Servis Sağlayıcısı
MİB	: Merkezi İşlem Birimi
OPNET	: Optimize Edilmiş Ağ Mühendislik Araçlarını
ÖS	: Özerk Sistemi
OSPF	: Open Shortest Path First
PDF	: Probability Density Function
RIP	: Routing Information Protocol
UI	: User Interface
YAA	: Yerel Alan Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yönlendirme protokollerin sınıflandırılması	7
Şekil 2.1. Yönlendirme protokolü hiyerarşisi	12
Şekil 2.2. Yönlendirme protokollerinin gelişimi.....	14
Şekil 2.3. Yönlendirici güncellemeleri.....	14
Şekil 2.4. İç ve dış ağ geçidi protokolleri.....	19
Şekil 2.5. Sınıflandırılmamış yönlendirme protokolü.....	23
Şekil 2.6. Metrikler	24
Şekil 2.7. Atlama sayısı ve bant genişliği	25
Şekil 2.8. RIP yol belirleme tekniği	26
Şekil 2.9. Yönetim mesafeleri karşılaştırması.....	27
Şekil 3.1. Proje editörü.....	35
Şekil 3.2. Düğüm düzenleyicisi	36
Şekil 3.3. Proses editörü.....	37
Şekil 3.4. Bağlantı editörü.....	38
Şekil 3.5. Paket Format editörü.....	39
Şekil 3.6. ICI editörü.....	39
Şekil 3.7. PDF editörü.....	40
Şekil 3.8. Prob düzenleyicisi	42
Şekil 3.9. Sonuç tarayıcısı.....	43
Şekil 3.10. Animasyon görüntüleyicisi	44
Şekil 3.11. Riverbed dokümantasyonu.....	45
Şekil 4.1. Ağ alanı.....	47
Şekil 4.2. Düğüm alanı.....	47
Şekil 4.3. Proses alanı	48
Şekil 4.4. Çalışma akışı.....	48
Şekil 4.5. Yıldız topoloji	49

Şekil 4.6. Örgüsel topoloji	50
Şekil 4.7. RIP senaryosu	51
Şekil 4.8. EIGRP senaryosu	52
Şekil 4.9. OSPF senaryosu	52
Şekil 4.10. Uçtan-uca gecikme (Yıldız topolojisi).....	54
Şekil 4.11. Uçtan-uca gecikme (Örgüsel topolojisi)	55
Şekil 4.12. İş çıkarma oranı (Örgüsel topolojisi)	55
Şekil 4.13. İş çıkarma oranı (Yıldız topolojisi).....	56
Şekil 4.14. Yakınsama süresi (Yıldız topolojisi)	57
Şekil 4.15. Yakınsama süresi (Örgüsel topolojisi).....	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Dinamik ve statik yönlendirmenin karşılaştırılması	17
Tablo 1.2. Yönetim mesafesi	28
Tablo 5.1. Yönlendirme protokollerinin genel karşılaştırılması	60

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yönlendirme Protokolleri, Riverbed, Yerel Alan Ağları, RIP, OSPF, EIGRP.

Son yıllarda farklı ağ türleri için birçok yönlendirme protokolü önerilmiştir. Gerçekleştirilen bu protokollerin davranışları farklı ağ sistemleri üzerinde değişmektedir. Yaygın olarak kullanılan Yerel Alan Ağları (YAA) üzerinde çalışan yönlendirme protokollerinin performans analizi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında, dünya çapında yaygın kullanıma sahip olan RIP, EIGRP, OSPF yönlendirme protokolleri Riverbed Modeler simülasyon programı ile modellenmiş ve analizleri gerçekleştirilerek performans karşılaştırılması yapılmıştır. Yönlendirme protokollerini karşılaştırmak için uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve yakınsama süresi metrikleri kullanılmıştır. Yönlendirme protokollerinin farklı ağ topolojileri üzerindeki davranışlarını incelemek için yıldız ve örgüsel ağ topolojileri ile farklı senaryolar üretilerek bu senaryolar üzerinde simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı ağ sistemleri üzerinde çalışabilecek uygun yönlendirme protokolleri belirlenmiştir. Bu sayede farklı ağ sistemlerine uygun olan yönlendirme protokollerinin tespit edilmesine katkı sağlanmıştır.

COMPARISON OF ROUTING PROTOCOLS USED ON LOCAL AREA NETWORKS AND NETWORK PERFORMANS ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Routing Protocols, Riverbed, Local Area Networks, RIP, OSPF, EIGRP

In recent years, many routing protocols have been proposed for different types of networks. The behavior of these protocols varies on different network systems. A number of studies have been carried out on the performance and analysis of routing protocols working on the widely used Local Area Networks (LAN). In this thesis, RIP, EIGRP, OSPF routing protocols which has widely usage are modeled and analyzed with Riverbed Modeler simulation program. Performance comparison of the protocols are performed according to the results. End-to-end delay, throughput and convergence duration metrics are used to compare these protocols. In order to investigate the behavior of routing protocols on different network topologies, simulation studies have been carried out by producing different scenarios over star and mesh network topologies. According to the results obtained, proper routing protocols are determined which can work on different network systems. In this respect, it has been contributed in determining routing protocols that are suitable for different network systems.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde işletmelerin çoğu, güvenlik nedenlerinden dolayı Yerel Alan Ağlarını (YAA) kendi iç altyapıları üzerinde kullanmayı tercih etmektedir. Bilgisayarlar, YAA üzerinden kablolu olarak birbirleri ile haberleşmektedirler. Ağ içerisinde verilerin kaynaktan hedefe iletilmesi hususunda yönlendirme çok önemlidir. Yönlendirme tekniği her ağ sisteminin kritik bir parçasıdır. Araştırmacılar, farklı ağ türleri üzerinde çok çeşitli yönlendirme protokolü çalışmaları yapmışlardır. Buna benzer bazı araştırmalarda ise (Routing Information Protocol) RIP, (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) EIGRP ve (Open Shortest Path First) OSPF gibi en yaygın yönlendirme protokollerinin fonksiyonlarını analiz etmek ve karşılaştırmak için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların bir sonucu olarak, yönlendirme protokolleri, farklı iletişim ağ sistemleri üzerindeki uygunluğu açısından belirlenebilmektedir. Bu şekilde, yönlendirme protokolü türünün tanımlanmış bir ağ türünde kullanılması önerilmektedir.

1.1. Çalışma Amacı ve Motivasyon

Gerçekleştirilen tez çalışmasında yönlendirme protokollerinin, farklı ağ topolojilerin üzerinde protokol davranışları değerlendirilerek, bu protokollerin ideal ağ topolojisi, veri hızı ve diğer özelliklerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan yönlendirme protokollerinin YAA üzerindeki davranışları farklı topolojiler ve veri hızları ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre farklı ağ sistemleri üzerinde çalışabilecek uygun yönlendirme protokolleri belirlenebilmektedir. Bu sayede ağ sistemlerine uygun olan yönlendirme protokollerinin belirlenmesi ile katkı sağlanmıştır.

1.2. Literatüre Giriş

Bu bölümde seçilen araştırma konusu ile alakalı temel bilgiler, tarihi geçmişi ve araştırmacıların şu ana kadar konu üzerinde yaptıkları araştırmaları incelenerek araştırmanın önemi ortaya konulmuştur. Aşağıdaki kısımlarda, yönlendirme protokollerinin dayandığı temel maddeler, başlangıçtan şimdiye kadar geçtiği durumlar ve bunula beraber araştırmacıların konun üzerinde yaptıkları önemli araştırmalar ve makaleler özetlenmiştir. Bahsedilen çalışmalardan farklı olarak tez çalışmasının literatüre yaptığı katkı belirtilerek bölüm sonlandırılmıştır.

1.3. Tanımlar ve Terminolojiler

Yönlendirici: bilgisayar ağları arasında veri paketlerini ileten bir ağ aygıtıdır. Yönlendiriciler, internetteki trafik yönlendirme işlevlerini gerçekleştirir. İnternet üzerinden gönderilen web sayfa veya e-posta gibi veriler, veri paketleri biçimindedir. Bir paket, genellikle bir yönlendiriciden başka bir yönlendiriciye, hedef düğüme ulaşana kadar bir ağ içinde iletilir.

Yönlendirme protokolü, yönlendiricilerin birbirleriyle nasıl iletişim kurduklarını ve bilgisayar ağındaki herhangi iki düğüm arasındaki rotaları seçmelerini sağlayan kurallardır [1]. Yönlendirme algoritmaları, belirli bir rota seçimini gerçekleştirir. Her yönlendirici, yalnızca kendisine doğrudan bağlı olan ağlar hakkında bilgisi vardır. Yönlendirme protokolü bu bilgileri öncelikle komşuları ve daha sonra ağ boyunca paylaşır. Bu şekilde, yönlendiriciler ağın topolojisi hakkında bilgi sahibi olurlar. Çok sayıda yönlendirme protokolü olmasına rağmen, üç ana sınıf IP ağlarında yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Tip 1: İç ağ geçidi protokolleri OSPF ve Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) gibi, bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri
- Tip 2: İç ağ geçidi, RIP, RIPv2, (Interior Gateway Routing Protocol) IGRP gibi, mesafe-vektör yönlendirme protokolleri.
- Tip 3: Dış ağ geçidi protokolleri, Border Gateway Protocol (BGP), Yol Vektörü Yönlendirme Protokolü gibi Özerk Sistemler arasında yönlendirme bilgilerini değiştirmek için internette kullanılan yönlendirme protokolleridir.

Dış ağ geçidi protokolleri, eski bir yönlendirme protokolü olan Dış Ağ Geçidi Protokolü (DAGP) ile karıştırılmamalıdır.

Yönlendirme protokollerinin spesifik özellikleri; yönlendirme döngüleri, tercih edilen rotaları seçme biçimleri, atlama maliyetleri, yönlendirme yakınsaması, ölçeklenebilirlik ve diğer faktörlere ulaşmak için ihtiyaç duydukları zaman bilgilerini kullanma biçimlerini gibi maddeler olarak sıralanabilir.

İç ağ geçidi protokolü, otonom bir sistemdeki ağ geçitleri (genellikle yönlendiriciler) arasında yönlendirme bilgilerinin (örneğin, bir şirket için yerel alan ağı sistemi) güncellenmesi için kullanılan protokol türüdür. Bu yönlendirme bilgisi daha sonra IP gibi ağ katmanı protokollerini yönlendirmek için kullanılabilir.

İç ağ geçidi protokolleri iki kategoriye ayrılabilir: mesafe-vektör yönlendirme protokolleri ve bağlantı durumu yönlendirme protokolleri. İAGP'lerin spesifik örnekleri arasında OSPF, RIP, IS-IS ve EIGRP bulunur.

Özerk Sistem (ÖS): Bir merkezden kontrol edilen ve hepsi tutarlı bir yönlendirme protokolüne sahip olan bir dizi yönlendiricidir. İç ağ geçidi protokolleri, bir ÖS'nin (yani, ÖS-içi yönlendirme) içindeki yönlendirme bilgilerini dağıtmak için kullanılır [2]. Dış ağ geçidi protokolleri, ÖS'ler (yani, ÖS-içi yönlendirme) arasında yönlendirme bilgilerini güncellemek için kullanılır.

Yakınsama, içinde faaliyet gösterdikleri ağlar arasında aynı topolojik bilgiye sahip olan bir dizi yönlendiricinin durumudur. Bir dizi yönlendiricinin bir araya getirilmesi için, mevcut yönlendirme protokolü aracılığıyla mevcut tüm topoloji bilgilerini bir araya getirmiş olmalı, topladıkları bilgiler kümedeki diğer yönlendiricinin topoloji bilgisiyle çelişmemeli ve ağdaki gerçek durumu yansıtmalıdır. Başka bir deyişle: Bir birleşik ağda tüm yönlendiriciler ağ topolojisinin neye benzediğini bilmektedir.

Yakınsama süresi, bir grup yönlendiricinin yakınsama durumuna ne kadar hızlı ulaştığının ölçüsüdür. Yakınsama süresi, ana tasarım hedeflerinden biridir ve protokolü çalıştıran tüm yönlendiricilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde

yakınsamalarına izin veren bir mekanizma uygulayan yönlendirme protokolleri için önemli bir performans göstergesidir [3]. Tabii ki, ağın boyutu da burada önemli rol oynar. Büyük bir ağ, küçük olandan daha yavaş bir şekilde yakınsanmaktadır.

Dış ağ geçidi protokolü, otonom sistemler arasında yönlendirme bilgilerini güncellemek için kullanılan bir yönlendirme protokolüdür. Bu değişim internet üzerinden iletişim için çok önemlidir. Göze çarpan dış ağ geçidi protokollerinde [4], artık kullanılmayan dış ağ geçidi protokolü yerine sınır geçidi protokolü kullanılmaktadır.

Rota Çarpma: Bilgisayar ağında, bir yönlendirici diğer yönlendiriciye alternatif olarak farklı bir rota önerirse, rota çarpışması gerçekleşir. Rota çarpışması özel durumlardan kaynaklanır (donanım hataları, yazılım hataları, yapılandırma hataları, iletişim bağlantılarında kesintili hatalar, güvenilmez bağlantılar, vb.) Ağ içerisinde belirli erişilebilirlik bilgilerinin tekrar tekrar önerilip çekilmesine neden olur. Bağlantı durumu yönlendirme protokollerine sahip ağlarda, rota çarpışması, tüm katılımcı yönlendiriciler tarafından topolojinin sık tekrar hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Mesafe-vektör yönlendirme protokollerine sahip ağlardaki rota çarpışması [5], durum değişikliği ile yönlendirme güncellemelerini tetikleyebilir. Her iki durumda da, ağın yakınsama gerçekleştirmesi engellenir.

Veri ağlarındaki bir mesafe-vektör yönlendirme protokolü, mesafeye göre veri paketleri için en iyi yolu belirler. Mesafe-vektör yönlendirme protokolleri, bir paketin geçmesi gereken yönlendiricilerin sayısına göre mesafeyi ölçer, bir yönlendirici bir atlama olarak sayılır. Bazı mesafe-vektör protokolleri, ağ gecikmesini ve belirli bir rotadaki trafiği etkileyen diğer faktörleri de hesaba katar. Bir mesafe-vektör protokolünün birbirleriyle güncelleme bilgilerini paylaştığı ağ yönlendiricileri, en iyi rotayı belirlemek için, genellikle hedef ağlar ve muhtemelen diğer trafik bilgileri kullanılarak yönlendirme tabloları ve atlama sayılarına göre rota belirlenir. Mesafe-vektör yönlendirme protokolleri ayrıca bir yönlendiricinin komşularını ağ topolojisi değişimlerini periyodik olarak bildirmesini sağlar ve en iyi rotayı belirlemek için, Ford-Fulkerson ile Bellman-Ford algoritmasını kullanır.

Bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri, bilgisayar haberleşmesi için paket anahtarlama ağlarında kullanılan iki ana yönlendirme protokolü sınıfından biridir. Bağlantı durumu yönlendirme protokollerinin örnekleri arasında, OSPF ve IS-IS yer alır. Bağlantı durumu protokolü, ağdaki her bir anahtarlama düğümü tarafından gerçekleştirilir (yani, paketleri iletmek için hazırlanan düğümler; bunlar yönlendiriciler olarak adlandırılır). Temel bağlantı durumu yönlendirme kavramı, her düğümün diğer düğümlere nasıl bağlandığını gösteren bir grafik biçiminde bir ağ bir bağlantı haritasıdır. Her düğüm, daha sonra, en iyi mantıksal yolu, ağdaki her olası hedefe bağımsız olarak hesaplar. En iyi yolların bir listesi daha sonra her düğümün yönlendirme tablosunu oluşturacaktır. Bu, her bir düğümün kendi yönlendirme tablosunu komşularıyla paylaşmasıyla çalışan mesafe-vektör yönlendirme protokollerinden farklıdır [6]. Bir bağlantı durumu protokolünde, düğümler arasında iletilen tek bilgi bağlantı ile ilgilidir.

Yönlendirme metriği: Veri / trafik aktarımı için bir yönlendirme yolunu seçmek veya reddetmek için bir yönlendirme algoritması tarafından hesaplanan bir birimdir. Ağ trafiğini yönlendirmek için en uygun rotayı belirlerken, yönlendirme algoritmaları tarafından bir yönlendirme değeri hesaplanır. Bu değerler, yönlendirme tablosunda bulunan her farklı rotaya göre hesaplanır ve kullanımdaki yönlendirme algoritmalarına dayanan birçok farklı teknik ve yöntem kullanılarak hesaplanır. Bir yönlendirme değerini hesaplamak için kullanılan bazı parametreler şunlardır:

- Atlama sayısı
- Yol güvenilirliği
- Yol hızı
- Yük
- Bant genişliği
- Gecikme
- Maksimum iletim ünitesi

Yönlendirme tablosu: Ağa bağlı bilgisayar veya başka bir donanıma yüklenen bir veri dosyası türüdür. Yönlendirme tablosu, veri paketleri için en verimli yolları sunmak amacıyla cihazlar arasındaki çeşitli yollar hakkında bilgiler içerir.

Sınır Ağ Geçidi Protokolü: Farklı ağ geçitleri, internet veya otonom sistemler arasında veri ve bilgi aktarmak için kullanılan bir yönlendirme protokolüdür. BGP, farklı ana bilgisayarlara, ağlara ve ağ geçidi yönlendiricilerine giden yolları belirleyen ve yönlendirme kararını veren bir Yol Vektör Protokolüdür (PVP). Yönlendirme kararları için İAGP metriklerini kullanmaz, sadece kendisine özgü bazı ilke ve kural kümelerine göre rotayı belirler. Bazen, BGP bir yönlendirme protokolü yerine bir ulaşılabilirlik protokolü olarak tanımlanır.

1.4. Yönlendirme Protokollerinin Sınıflandırılması

Dinamik yönlendirme protokolleri, 1980'lerin başından beri ağlarda kullanılmaktadır. RIP'in ilk versiyonu 1982'de piyasaya sürülmesine rağmen protokol içindeki bazı temel algoritmalar ARPANET'te 1969'da başlamıştır [7]. Ağlar geliştikçe ve daha karmaşık hale geldikçe, yeni yönlendirme protokolleri ortaya çıkmıştır.

(Şekil 2.1.), çeşitli protokolleri sınıflandırmaya yardımcı olmakla birlikte IP yönlendirme protokollerinin bir zaman çizelgesini göstermektedir. En eski yönlendirme protokollerinden biri RIP'dir. RIP'in daha yeni bir versiyon çıkmıştır: RIPv2. Bununla birlikte, RIP'in daha yeni sürümü hala büyük ağ uygulamalarına ölçeklenememektedir. Büyük ağların gereksinimlerini karşılamak için, iki gelişmiş yönlendirme protokolü geliştirilmiştir: OSPF ve IS-IS. Daha sonraları Cisco, İç Ağ Geçidi Yönlendirme Protokolü (IGRP) ve Geliştirilmiş-IGRP (EIGRP) geliştirdi, EIGRP ayrıca büyük ağ uygulamalarında da iyi ölçeklendirme yapabilmektedir.

Ek olarak, farklı internet ağlarını birbirine bağlamak ve aralarında yönlendirme sağlamak için ihtiyaç vardır. BGP, internet servis sağlayıcıları ile yönlendirme bilgilerini değiştirmek için büyük özel istemciler arasında kullanılmaktadır.

	İç ağ geçidi Protokolleri		Dış ağ geçidi Protokolleri		
	Uzaklık Vektörü Protokolleri	Bağlantı durumu Protokolleri	Yol vektör Protokolleri		
Sınıflandırılmamış	RIP	IGRP			EGP
Sınıflandırılmış	RIPv2	EIGRP	OSPFv2	IS-IS	BGPv4
IPv6	RIPng	EIGRP IPv6	OSPFv3	IS-IS IPv6	BGPv4 for IPv6

Şekil 1.1. Yönlendirme protokollerin sınıflandırılması

1.5. Konuyla İlgili Önceki Araştırmalar

Yönlendirme protokolleri konusunda, çok fazla araştırma yapılmakta olup, önemli yönlendirme ihtiyaçlarını karşılamak için çok sayıda akıllı dinamik yönlendirme protokolü çalışması gerçekleştirilmiştir. Ağ teknolojilerinin gelişmesi ile bu ihtiyaç daha da artmıştır. Araştırmacıların çoğu kablosuz ağlara odaklanmış olup, yapılan araştırmalarda YAA üzerine yoğunlaşmıştır, çünkü bazı araştırmalar büyük şirketlerin çoğunun kablolu ağlar için güvenlik nedenleriyle bu ağı kullandıklarını göstermiştir. Çalıştığımız araştırmaların özetleri aşağıda sunulmuştur;

Jalali ve ark. IPv6 ağında yönlendirme güncellemelerini iletmek için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Yönlendirme güncellemelerini göndermek / almak için ayrı bir paketi kullanmıştır ve yönlendirme protokolü, sınırlı bant genişliği olan ağlar için uygun değildir. Araştırmacılar, tekniklerinin OSPF ve EIGRP tarafından öğrenildiğini ve değerlendirildiğini iddia ediyor ve bu teknikle ağın daha hızlı bir şekilde dengelediğini göstermiştir. Süreç sağlamdır ve bant genişliği sınırlamasına ve diğer yönlendirme protokolleri gibi kayıp paketlere karşı hassas değildir [8].

Shah ve ark. ağ performansı, üç yönlendirme protokolü, RIP, OSPF ve EIGRP kullanılarak incelenmiştir. Video, HTTP ve ses uygulaması kullanılarak örnek bir senaryo gerçekleştirmiştir. Ayrıca, araştırmacılar ağ düğümleri arasındaki bağlantı hatası/kurtarma durumlarına bakarak ağın davranışını incelemiştir. Simülasyon sonuçları, ağdaki etkinlik ve performansa göre protokoller arasında bir karşılaştırma ile analiz etmiştir [9].

Fatigau ve Todorean yaptıkları çalışmada, seçimin mesafe-vektörü veya bağlantı durumu veya her ikisinin birleşimini içeren protokoller arasında yapılması gerektiğinde yapılacak uygulama kararlarını sunmuşlardır. Burada farklı parametreler arasında bir karşılaştırma yapılmış ve farklı yönlendirme protokolleri ile ağ üzerinde detaylı bir simülasyon çalışması yapılmış ve EIGRP'nin daha iyi bir ağ yakınsama süresi, daha az bant genişliği gereksinimi ve OSPF'ye göre daha iyi MIB ve bellek kullanımı sağladığını göstermiştir [10].

[11]'nolu makale açık bir soruyu olumlu bir yanıtla çözmektedir: En iyi trafik mühendisliğinin yalnızca atlama ile iletme protokolleri yani bağlantı kurma yönlendirme protokolleri kullanılarak gerçekleştirilebileceğini öne sürmektedir. Günümüzde bu protokollerin tipik sürümleri, OSPF ve IS-IS'dir, bağlantı ağırlığına dayalı olarak en kısa yollar eşit trafiğe bölünmüştür. Bununla birlikte, OSPF / IS-IS için sunulan bağlantı ağırlıklarının sunulan trafiğe göre optimize edilmesi gereken önemli bir problemdir. Bu makalede, yeni bir bağlantı durumu yönlendirme protokolü önerilmiştir. Uzun bir rotaya üstel bir şekilde negatif değer verilmektedir. Makalede, diğer bir protokol olan DEFT'in aksine, önerilen protokol, düğümden-düğüme iletimin sadeliğini koruyarak en uygun trafik mühendisliğini başardığı öne sürülmektedir. Önerilen protokol aynı zamanda en iyi bağlantı ağırlıklarını hesaplamak için gereken sürede önemli bir azalmaya yol açmaktadır.

[12]'nolu araştırmada, yönlendirme protokollerinin nasıl çalıştığını ve bu dinamik yönlendirme protokollerinin IPv4 ve IPv6 ağında nasıl davrandığını göstermiştir. Bu araştırma, bazı ağ topolojilerini simüle etmekte ve EIGRP'nin birçok farklı topolojide OSPF'den çok daha iyi olduğunu göstermektedir.

[13]'nolu makale, karmaşık metrelerdeki dinamik olarak yönlendirilmiş bağlantıların tutarlı ve beklenen yük devretmesini sağlamak için bağlantı metriklerini kullanarak dinamik yönlendirme sistemlerinin ayarlanması ve EIGRP dinamik yönlendirme protokolüne odaklanma yaklaşımını ele almaktadır. Kurumsal ağ omurgalarını gereksiz bağlantılarla tasarlamak için mimari konuları inceler; "hot spare" yönlendiricileri ve acil durum omurga sitelerini yapılandırma ile ilgili operasyon el

yönlendirme sorunları ve son olarak çoklu yedekli bağlantıların (yedekli bağların yedekli grupları) kullanıldığı yönlendirme sistemini ayarlamak için bir ölçüm sistemi.

[14]'nolu makale, hem EIGRP hem de OSPF'deki bağlantı arızalarının neden olduğu yakınsama gecikmesini karşılaştırmaktadır.

Vetriselvan ve ark. EIGRP protokolünü paket simülasyonu ile değerlendirmiştir. Cisco tarafından geliştirilen bir alan içi yönlendirme protokolü olan EIGRP, esas olarak, yönlendirme tablosu döngüsü sorunu oluşturmadan veya sonsuza kadar sayma sorunu oluşmadan en kısa yolları hesaplayan Yayılma Güncelleme Algoritması'na dayanır. Bu araştırmada, EIGRP'nin ayrıntılı bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve dinamik bir ağ altında EIGRP performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, EIGRP'nin çoğu durumda tek bir TCP zaman aşımından daha hızlı bir şekilde yakınsadığını göstermiştir. Simüle edilen ağ, kablolu ve kablosuz ana bilgisayarların bir bileşimidir ve sonuçlar her iki ortam türü için de ele alınmıştır [15].

Don ve Ljiljana çalışmalarında [16] yönlendirme protokollerinin performansını karşılaştırmak için çeşitli simülasyon senaryoları kullanarak Optimized Network Engineering Tools (OPNET) Modeller üzerinde testi gerçekleştirmişlerdir.

Yehia ve ark. çalışmalarında gerçek zamanlı uygulamalar için RIP, OSPF ve EIGRP gibi yönlendirme protokollerini değerlendirmek için yakınsama süresi, gönderilen trafik, bağlantı kullanımı gibi performans parametrelerini kullanmışlardır [17].

Alex ve ark. [18] popüler yönlendirme protokolleri olan OSPF ve EIGRP'nin IPv4 ve IPv6 sürümlerini karşılaştırmış ve IPv6 desteğini dahil etmek için bu protokollerde yapılan değişiklikleri tanımlamışlardır. Araştırmacılar bu protokollerin yeni özelliklerini ve değişikliklerini vurgulamış ve tartışmışlardır. Ayrıca her protokolün güçlü ve zayıf yönleri de değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, EIGRP protokolünün bazı kilit alanlarda OSPF'ye göre avantajlı olduğu sonucuna varmış, ancak tescilli nitelikleri ve maliyetleri nedeniyle geri kaldığının da altını çizmişlerdir.

[19]'nolu makalede ise veri iletim yolunda bir arıza olduğunda OSPF ve EIGRP için yeniden yönlendirme ve yeniden iletim süresini karşılaştırmışlardır.

[20]'nolu çalışmada GNS3 ve Packet tracer kullanılarak yönlendirme protokollerin IPv4 ve IPv6 de performans analizi yapılmıştır. Yönlendirme protokollerin farklı yapı sistemlerinde davranışlarını karşılaştırmak için üç topoloji oluşturulmuştur. Yapılan performans analizi sonucu olarak EIGRP OSPF'den daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Ranjeesh N. ve ark. IPv6 için RIP ve OSPF gibi farklı yönlendirme protokolünün performansını değerlendirmiştir. Üç ağ modelinde RIP ve OSPF'nin performansını değerlendirmek için OPNET simülasyon aracı 14.5 versiyonu kullanılmıştır. Bu iki ağ modeli sadece yönlendirme protokolleri üzerinde gerçekleştirilirken, üçüncü model ise yönlendirme protokollerinin performansını değerlendirmek için kullanmıştır. Paket gecikmesi, uçtan-uca gecikme, alınan trafik, gönderilen trafik, yanıt süresi, sayfa yanıt zamanı, nesne yanıt zamanı ve IPv6 metrikleri için düşürülmüş trafik değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Bununla beraber protokollerin performansını karşılaştırmak için üç senaryo tasarlanmıştır [21].

[22]'nolu makalede, iki önemli protokolün (Geliştirilmiş İç Ağ Geçidi Yönlendirme Protokolü (EIGRP) ve Açık En Kısa Yol İlk (OSPF) protokolleri araştırması yapılmıştır. Bu yönlendirme protokollerinin değerlendirilmesi, simülasyon üzerinde yapılmış ağ modellerinde, yakınsama zamanı, jitter, uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve paket kaybı gibi metriklere dayanılarak yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları araştırmacılara EIGRP yönlendirme protokolünün gerçek zamanlı uygulamalar için OSPF yönlendirme protokolünden daha iyi bir performans sağladığını göstermiştir. Ağ simülasyonları sayesinde, EIGRP'nin OSPF'den daha fazla işlemci kullandığını ve dolayısıyla çok fazla sistem gücü kullandığını iddia etmişlerdir.

[23]'nolu makalede, RIPv2, EIGRP ve OSPF gibi seçilen iç ağ geçidi dinamik yönlendirme protokollerinin performans analizi ve protokollerin farklı performans sorunları incelenmiştir. Bu araştırmada araştırmacılar, bu üç dinamik yönlendirme

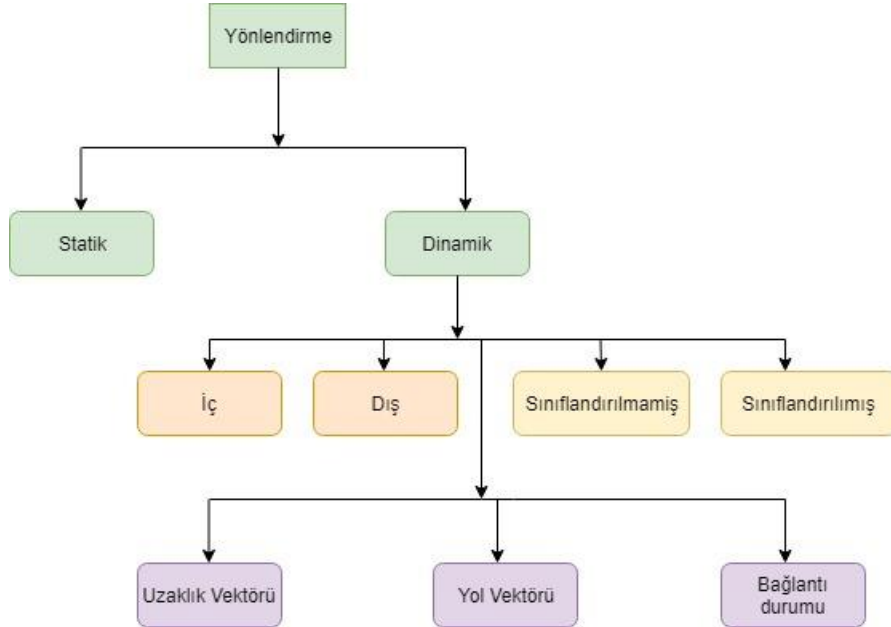
protokolünün performans analizi karşılaştırmasını ve protokoller arasında yeniden dağılımı göstermeye çalışmaktadır. Simülasyon çalışması sunulmuştur. Simüle edilen ağ topolojisinde sekiz adet Cisco yönlendirici ve bir anahtar kullanılmıştır. Topolojide, anahtarla doğrudan bağlanan farklı protokollere sahip dört yönlendiricinin yeniden dağıtım algoritması incelenmiştir.

Archana yapmış olduğu çalışmada farklı yönlendirme protokollerinin performansını analiz etmek için CISCO packet tracer üzerinde simüle edilmiş kablolu yerel alan ağı önermiştir. Araştırmacı, simulasyon ortamında gerçekleştirilen kablolu yerel alan ağı üzerinden farklı yönlendirme protokollerini yapılandırmak için CISCO packet tracer simülatörünü kullanmıştır [24].

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak gerçekleştirilen tez çalışmasında YAA üzerinde çalışan en yaygın yönlendirme protokolleri olan RIP, OSPF ve EIGRP protokollerini karşılaştırmak için farklı ağ topolojileri ve veri hızları ile farklı senaryolar üretilerek performans değerlendirmesi detaylıca ele alınmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışması Riverbed Modeler yazılımı ile 24 farklı senaryo üzerinde testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yönlendirme protokollerinin farklı ağ sistemleri üzerindeki davranışları tespit edilmiş ve uygun olan protokollerin analizi gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Yönlendirme, internetteki herhangi bir bilginin bir kaynaktan bir hedefe taşınması eylemidir. Yol boyunca, en az bir ara düğüm üzerinden gider [25]. Ayrıca, paketleri göndermek için bir yol seçme işlemi olarak da anılır. Yönlendirme, genellikle aynı şeyi gerçekleştirecek gibi görünen köprüleme ile karşılaştırılır. İkisi arasındaki birincil fark, köprülemenin OSI referans modelinin Katman 2'de (veri bağlantı katmanı) meydana gelmesi iken, yönlendirme işleminin Katman 3'te (ağ katmanı) gerçekleşmesidir. Bu ayrım, bilgiyi kaynaktan hedefe taşıma sürecinde kullanmak için farklı yöntemler içeren yönlendirme ve köprülemeyi birbirinden ayırır ve böylece iki işlev görevlerini farklı şekillerde gerçekleştirir. Yönlendirme Protokolü, gelen bir paketin hangi çıkış hattına iletilmesi gerektiğine karar vermekten sorumlu olan ağ katmanı yazılımının bir parçasıdır.



Şekil 2.1. Yönlendirme protokolü hiyerarşisi

Genel olarak yönlendirme protokolleri, Statik yönlendirme protokolleri ve dinamik yönlendirme protokolleri olarak iki gruba ayrılır. Bu bölümde dinamik yönlendirme protokollerine odaklanacağız. Şekil 1.1.'de yönlendirme protokollerinin sınıflandırmasını göstermektedir.

2.1. Dinamik Yönlendirme Protokolleri

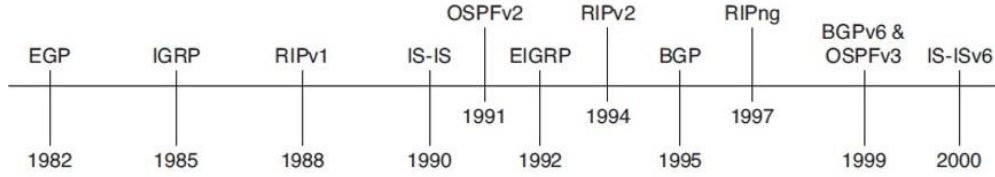
Dinamik yönlendirme protokolleri, günümüzün ağlarında önemli bir rol oynamaktadır. Aşağıdaki bölümlerde dinamik yönlendirme protokollerinin sağladığı bazı önemli faydalar açıklanmaktadır. Birçok ağda, dinamik yönlendirme protokolleri genellikle statik rotalar kullanır.

2.1.1. Genel bakış ve arka plan

Dinamik yönlendirme protokolleri, değişen ağ gereksinimlerinin taleplerini karşılamak için son birkaç yıl içinde geliştirilmiştir [26]. Pek çok kuruluş, Enhanced EIGRP ve OSPF gibi daha yeni yönlendirme protokollerine geçmesine rağmen, RIP gibi eski yönlendirme protokollerinin birçoğu hala günümüzde kullanımdadır.

2.1.2. Dinamik yönlendirme protokollerinin gelişimi

Dinamik yönlendirme protokolleri, 1980'lerin başından beri ağlarda kullanılmaktadır. RIP'in ilk versiyonu 1982'de piyasaya sürüldü, ancak protokol içindeki bazı temel algoritmalar ARPANET'te 1969'da başlamıştı. Ağ teknolojileri geliştikçe ve daha karmaşık hale geldikçe, yeni yönlendirme protokolleri ortaya çıkmıştır. Şekil 1.2.'de, çeşitli yönlendirme protokolleri sınıflandırmaya yardımcı olan bir grafik ve IP protokollerinin zaman çizelgesi gösterilmektedir. En eski yönlendirme protokollerinden biri RIP'dir. RIP'in daha yeni bir versiyonları çıkmıştır; RIPv2 gibi. Bununla birlikte, RIP daha yeni sürümlerinde de büyük ağ uygulamalarına ölçeklenememektedir.

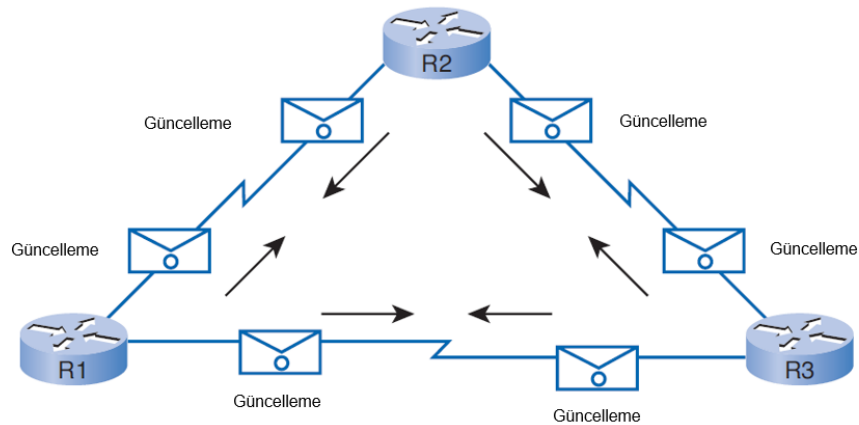


Şekil 2.2. Yönlendirme protokollerinin gelişimi

Daha büyük ağların gereksinimlerini karşılamak için, iki gelişmiş yönlendirme protokolü geliştirilmiştir: OSPF ve IS-IS. Cisco tarafından IGRP ve EIGRP sonradan geliştirilmiştir. EIGRP ayrıca büyük ağ uygulamalarında da iyi ölçeklendirmektedir. Ek olarak, farklı internet ağlarını birbirine bağlamak ve aralarında yönlendirme sağlamak için ihtiyaç oluşmuştur. BGP artık internet servis sağlayıcıları (ISP) ve ISP'ler ile yönlendirme bilgilerini değiştirmek için daha büyük özel istemciler arasında kullanılmaktadır.

2.1.3. Dinamik yönlendirme protokolünün rolü

Dinamik yönlendirme protokolleri tam olarak nedir? Yönlendirme protokolleri, yönlendiriciler arasındaki yönlendirme bilgilerinin değişimini kolaylaştırmak için kullanılır.



Şekil 2.3. Yönlendirici güncellemeleri

Yönlendirme protokolleri, yönlendiricilerin uzak ağlar hakkındaki bilgileri dinamik olarak öğrenmelerine ve bu bilgileri Şekil 1.3.'te gösterildiği gibi kendi yönlendirme

tablolarına otomatik olarak eklemelerine olanak tanır. Yönlendirme protokolleri, her ağın en iyi rotaları belirler ve ardından yönlendirme tablosuna ekler. Dinamik yönlendirme protokolünün kullanılmasının temel yararlarından biri, yönlendiricilerin bir topoloji değişimi olduğunda yönlendirme bilgilerinin güncellenmesidir. Bu değişim, yönlendiricilerin otomatik olarak yeni ağlar hakkında bilgi almasına ve aynı zamanda mevcut bir ağa bağlantı hatası olması durumunda alternatif rotalar bulmasına olanak sağlar. Statik yönlendirme ile karşılaştırıldığında, dinamik yönlendirme protokolleri daha az yönetim yükü gerektirir. Bununla birlikte, dinamik yönlendirme protokolleri kaynakları fazla kullanma pahasına, bir yönlendiricinin, Merkezi İşlem Birimi (MİB) zamanı ve ağ bağlantısı bant genişliği de dahil olmak üzere yönetim işlemi için kaynaklarının bir kısmını ayırır [27]. Dinamik yönlendirme yararlarına rağmen, statik yönlendirme hala yerini korumaktadır. Bazı durumlarda statik yönlendirme daha uygundur ve bazı durumlarda dinamik yönlendirme daha iyi seçenek hale gelebilmektedir. Çok sık olmamakla birlikte, orta dereceli bir karmaşıklığa sahip olan herhangi bir ağdaki her iki yönlendirme türünün bir kombinasyonu bulunabilir. Dinamik yönlendirme protokolleri ile ilgili iki önemli proses; başlangıçta uzak ağları keşfeder ve yönlendirme tablosundaki bu ağların bir listesini tutar.

2.1.4. Dinamik yönlendirme protokollerinin amacı

Yönlendirme protokolü, yönlendirme bilgisini değiştirmek ve yönlendirme protokolünün en iyi rotaların seçimini sağlamak için kullanılan bir dizi işlem, algoritma ve mesajlardır. Yönlendirme protokolünün amacı şunlardır:

- Uzak ağları keşfetme
- Güncel yönlendirme bilgilerini koruması
- Hedef ağlara en iyi yolu seçme
- Mevcut yol artık mevcut değilse yeni bir en iyi yolu bulma yeteneğine sahip olmak

Bir yönlendirme protokolünün bileşenleri şunlardır:

- Veri yapıları: Bazı yönlendirme protokolleri, işlemleri için tablo veya veri tabanları kullanır. Bu bilgi geçici bellekte tutulur.
- Algoritma: Bir algoritma, bir görevin gerçekleştirilmesinde kullanılan adımların sonlu bir listesidir. Yönlendirme protokollerinde, yönlendirme bilgilerinin işlenmesi ve en iyi yol tespiti için algoritmalar kullanılır.
- Yönlendirme protokolü mesajları: Yönlendirme protokolleri, komşu yönlendiricileri bulmak, yönlendirme bilgilerini değiştirmek ve ağ hakkında doğru bilgileri öğrenmek, sürdürmek ve diğer görevleri yapmak için çeşitli mesaj türleri kullanır.

2.1.5. Dinamik yönlendirme protokolü işlemi

Tüm yönlendirme protokolleri aynı amaca sahiptir: uzak ağlar hakkında bilgi edinmek ve topolojide bir değişiklik olduğunda hızla adapte olmak. Bir yönlendirme protokolünün bunu gerçekleştirmek için kullandığı yöntem, kullandığı algoritmaya ve bu protokolün operasyonel özelliklerine bağlıdır. Dinamik yönlendirme protokolünün işlemleri, yönlendirme protokolünün türüne ve bu yönlendirme protokolünün özel işlemlerine bağlı olarak değişir. Genel olarak, bir dinamik yönlendirme protokolünün işlemleri aşağıdaki gibi tarif edilebilir:

- Yönlendirici, arayüzlerinde yönlendirme mesajları gönderir ve alır.
- Yönlendirici, yönlendirme mesajlarını ve yönlendirme bilgilerini aynı yönlendirme protokolünü kullanan diğer yönlendiricilerle paylaşır.
- Yönlendiriciler uzak ağlar hakkında bilgi edinmek için yönlendirme bilgilerini değiştirirler.
- Bir yönlendirici, topolojide değişikliği algıladığında, yönlendirme protokolü bu değişikliği diğer yönlendiricilere bildirebilir.

2.1.6. Dinamik yönlendirme protokolü avantajları

Dinamik yönlendirme protokolleri, çeşitli avantajlar sağlar. Çoğu durumda, ağ topolojisinin karmaşıklığı, ağların sayısı ve ağın değişikliklere otomatik olarak uyarlanması ihtiyacı, bir dinamik yönlendirme protokolünün kullanılmasını gerektirmektedir. Dinamik yönlendirme protokollerinin faydalarını daha ayrıntılı bir

şekilde incelemeden önce, statik yönlendirme kullanmanın nedenlerini dikkate almamız gerekir. Dinamik yönlendirme kesinlikle statik yönlendirme üzerinde çeşitli avantajlara sahiptir; Ancak, bugünlerde ağlarda statik yönlendirme hala kullanılmaktadır. Aslında, ağlar normal olarak hem statik hem de dinamik yönlendirme kombinasyonunu kullanır. Tablo 1.1’de, dinamik ve statik yönlendirme özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, yönlendirme yönteminin başka avantajlarını da listeleyebiliriz.

Tablo 2.1. Dinamik ve statik yönlendirmenin karşılaştırılması

Özellik	Dinamik Yönlendirme	Statik Yönlendirme
Yapılandırma karmaşıklığı	Genel olarak ağ boyutundan bağımsız	Ağ boyutu ile artırır
Gerekli yönetici bilgisi	Gelişmiş bilgi gerekli	Ek bilgi gerektirmez
Topoloji değişiklikleri	Topoloji değişikliklerine otomatik olarak uyum sağlar	Yönetici müdahalesi gerekli
Ölçekleme	Basit ve karmaşık topolojiler için uygun	Basit topolojiler için uygun
Güvenlik	Daha az güvenli	Daha güvenli
Kaynak kullanımı	MİB, bellek ve bağlantı bant genişliğini kullanır	Ekstra kaynak gerekmiyor
Öngörülebilirlik	Rota mevcut topolojiye bağlıdır	Hedefe giden rota her zaman aynıdır

2.1.7. Dinamik yönlendirme protokolü değerlendirilmesi

Dinamik yönlendirme avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yönetici ağları eklerken veya sildiklerinde yapılandırmayı sürdürmek için daha az çalışmaktadır.
- Protokoller topoloji değişikliklerine otomatik olarak tepki gösterir.
- Yapılandırma daha az hata eğilimli.
- Daha ölçeklenebilir; ağın büyümesi genellikle bir sorun teşkil etmez.

Dinamik yönlendirme dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Yönlendirici kaynakları kullanılır (MİB döngüleri, bellek ve bağlantı bant genişliği).
- Yapılandırma, doğrulama ve sorun giderme için daha fazla yönetici bilgisi gerekiyor.

2.2. Dinamik Yönlendirme Protokollerini Sınıflandırma

Şekil 1.2.'de yönlendirme protokollerinin çeşitli özelliklere göre nasıl sınıflandırılabileceği gösterilmiştir. Bu bölüm, en yaygın Internet Protocol (IP) haberleşme protokollerine genel bir bakış sunar. Yönlendirme protokolleri, özelliklerine göre farklı gruplara ayrılabilir:

- İç ve dış ağ geçidi protokolleri
- Uzaklık vektörü ve bağlantı durumu protokolleri
- Sınıflandırılmış ve sınıflandırılmamış protokoller

En yaygın kullanılan yönlendirme protokolleri aşağıdaki gibidir:

- RIP: Bir mesafe vektörü ve iç yönlendirme protokolü
- IGRP: Cisco tarafından geliştirilen mesafe vektörü ve iç yönlendirme protokolü (Cisco IOS Sürüm 12.2 ve sonrası)
- OSPF: Bir bağlantı durumu ve iç yönlendirme protokolü
- IS-IS: Bir bağlantı durumu ve iç yönlendirme protokolü
- EIGRP: Cisco tarafından geliştirilen gelişmiş mesafe vektörü ve iç yönlendirme protokolü
- BGP: Bir yol vektörü ve dış yönlendirme protokolü

2.2.1. İç ve dış ağ geçidi protokolleri

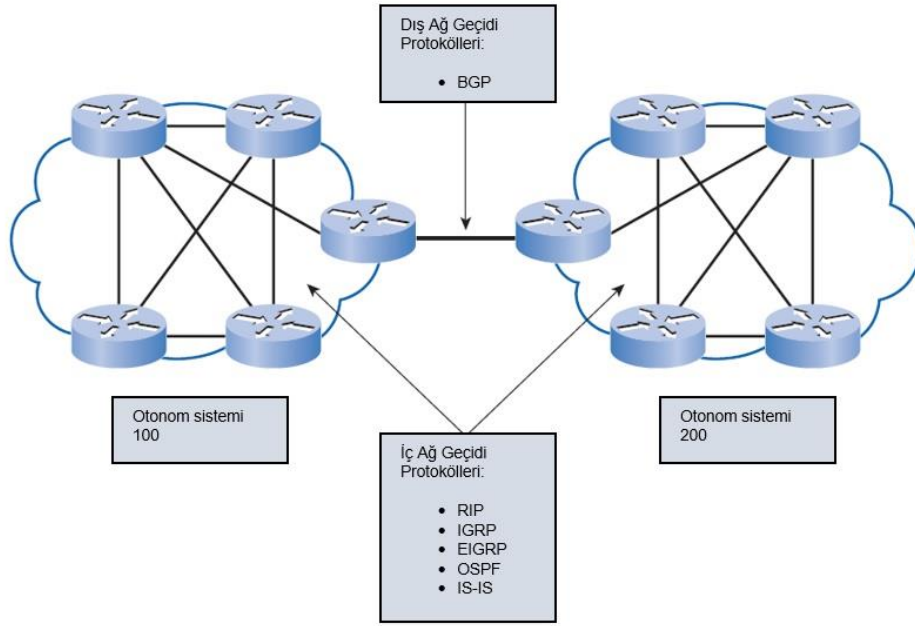
Özerk bir sistem (ÖS) - bir yönlendirme alanı olarak da bilinir - ortak bir yönetim altında yönlendiriciler topluluğudur [28]. Tipik örnekler; bir şirketin dâhili ağı ve bir ISP'nin ağıdır. İnternet, otonom sistem konseptine dayandığından, iki tür yönlendirme protokolü gereklidir: iç ve dış yönlendirme protokolleri.

Bu protokoller şunlardır:

- İç Ağ Geçidi Protokolleri (İAGP): Otonom sistem yönlendirmesi için kullanılır, yani otonom bir sistemin içinde yönlendirmeyi gerçekleştirir.

- Dış Ağ Geçidi Protokolleri (DAGP): Otonom sistemler arası yönlendirme için kullanılır.

(Şekil 2.4.), İç ve dış ağ geçidi protokollerin arasındaki farkın basitleştirilmiş bir görünümüdür. ÖS kavramı daha sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Bu bir aşırı basitleştirme olsa da, şimdilik, bir ISP olarak özerk bir sistem gibi düşünebiliriz.



Şekil 2.4. İç ve dış ağ geçidi protokolleri

İAGP'ler, bir yönlendirme etki alanı içinde tek bir kuruluşun denetimi altındaki ağlar içinde yönlendirme için kullanılır. Özerk bir sistem genellikle şirketlere, okullara ve diğer kurumlara ait birçok bireysel ağdan oluşur. Bir İAGP, özerk sistem içerisinde yönlendirme için kullanılır ve aynı zamanda bireysel ağların içinde yönlendirme için kullanılır. Örneğin Sakarya'daki Yüksek Öğretim Kurumu, Sakarya okulları, kolejleri ve üniversitelerinden oluşan özerk bir sistem işletmektedir. Tüm bu kurumları birbirine bağlamak için kendi özerk sistemi içinde bir İAGP kullanırlar. Eğitim kurumlarının her biri kendi bireysel ağında rota seçmek için kendi tercihlerini kullanır. Her bir düğüm için kullanılan İAGP, kendi yönlendirme alanlarındaki en iyi yol belirlemesini sağlar, tıpkı Sakarya Yükseköğretim tarafından kullanılan İAGP'nin özerk sistem içerisinde en iyi yol güzergâhlarını sağladığı gibi. IP için İAGP'ler RIP, IGRP, EIGRP, OSPF ve IS-IS yönlendirme protokollerini içerebilir.

Yönlendirme protokolleri (ve daha özel olarak, bu yönlendirme protokolü tarafından kullanılan algoritma), bir ağa en iyi yolu belirlemek için bir ölçüm (metrik) kullanır. RIP yönlendirme protokolü tarafından kullanılan metrik, bir paketin başka bir ağa ulaşırken geçiş yapması gereken yönlendiricilerin sayısı olan atlama sayısıdır. OSPF en kısa yolu belirlemek için bant genişliği değerini kullanır.

DAGP'ler ise, farklı idarelerin kontrolü altında olan farklı özerk sistemler arasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır [29]. BGP şu anda geçerli olan tek DAGP 'dir ve İnternet tarafından kullanılan yönlendirme protokolüdür. BGP, rotaları ölçmek için birçok farklı özelliği kullanabilen bir yol vektör protokolüdür. ISP seviyesinde, en hızlı yolu seçmekten çok daha önemli metrikler vardır. BGP tipik olarak ISP'ler arasında ve bazen de bir şirket ve bir ISP arasında kullanılır.

2.2.2. Mesafe vektör ve bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri

İç ağ geçidi protokolleri iki tipe ayrılmaktadır,

- Mesafe vektör yönlendirme protokolleri
- Bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri

2.2.2.1. Mesafe vektör yönlendirme protokolü

Uzaklık vektörü, rotaların mesafe ve yön vektörleri olarak tanıtıldığı anlamına gelir. Mesafe, atlama sayısı gibi bir metrik olarak tanımlanır ve yön sadece bir sonraki atlama yönlendiricisi veya çıkış arabirimidir. Uzaklık vektör protokolleri tipik olarak en iyi güzergâhı belirleme için Bellman-Ford algoritmasını kullanır [30]. Bazı mesafe vektör protokolleri periyodik olarak tüm yönlendirme komşularına yönlendirme tablolarının tamamını gönderir. Büyük ağlarda, bu yönlendirme güncellemeleri çok büyük hale gelebilir ve bağlantılar üzerinde önemli bir trafiğe neden olabilir. Bellman-Ford algoritması erişilebilen ağların bir veritabanını korumak için yeterli bilgi biriktirse de, algoritma bir yönlendiricinin bir tam topolojiyi bilmesine izin vermez. Yönlendirici sadece komşularından alınan yönlendirme bilgisini bilir. Uzaklık vektör protokolleri, yönlendiricileri, son hedefe giden yol boyunca tabelalar olarak kullanır. Bir yönlendiricinin uzak bir ağ hakkında bildiği tek bilgi, o ağa ulaşmak için hangi

mesafeyi veya metriği ve oraya ulaşmak için hangi yolu veya arayüzü kullanmasıdır. Uzaklık vektör yönlendirme protokolleri, ağ topolojisinin gerçek bir haritasını içermez.

Mesafe vektör protokolleri aşağıdaki durumlarda çalışır;

- Ağ basit ve düzdür ve hiyerarşik bir tasarıma ihtiyaç duymaz.
- Yöneticiler, bağlantı durumu protokollerini yapılandırmak ve gidermek için yeterli bilgiye sahip değildir.
- Dağıt-konuş ağları gibi belirli ağ türlerinde uygulanır.
- Bir ağdaki en kötü durum yakınsama süreleri bir sorun teşkil etmediği zamanlarda kullanılır.

2.2.2.2. Bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri

Mesafe vektörü yönlendirme protokolü işleminin aksine, bir bağlantı durumu yönlendirme protokolüyle yapılandırılmış bir yönlendirici, diğer tüm yönlendiricilerinden bilgi toplayarak ağın bir "tam görünümünü" veya topolojisini oluşturabilir. Bir bağlantı durumu yönlendirme protokolünü, ağ topolojisinin tam bir haritasına sahip olarak düşünebiliriz. Tüm bağlantı durumu yönlendiricileri ağın özdeş bir "haritasını" kullandığı için, kaynaktan hedefe giden yol işaretleri gerekli değildir. Bir bağlantı durumu yönlendiricisi, bir topoloji haritası oluşturmak ve topolojideki tüm hedef ağlara en iyi yolu seçmek için bağlantı durumu bilgilerini kullanır. Bazı mesafe vektörleri yönlendirme protokolleri ile, yönlendiriciler kendi yönlendirme bilgilerini periyodik güncellemelerini komşularına gönderirler. Bağlantı-durumu yönlendirme protokolleri periyodik güncellemeleri kullanmaz. Ağ birleştirildikten sonra, bir bağlantı durumu güncellemesi sadece topolojide bir değişiklik olduğunda gönderilir. Bağlantı durumu protokolleri, aşağıdaki durumlarda çalışır;

- Ağ tasarımı hiyerarşiktir
- Yöneticiler, uygulanan bağlantı durumu yönlendirme protokolü hakkında iyi bir bilgiye sahiptir
- Şebekenin hızlı bir şekilde bir araya gelmesi çok önemlidir.

2.2.3. Sınıflandırılmış ve sınıflandırılmamış yönlendirme protokolleri

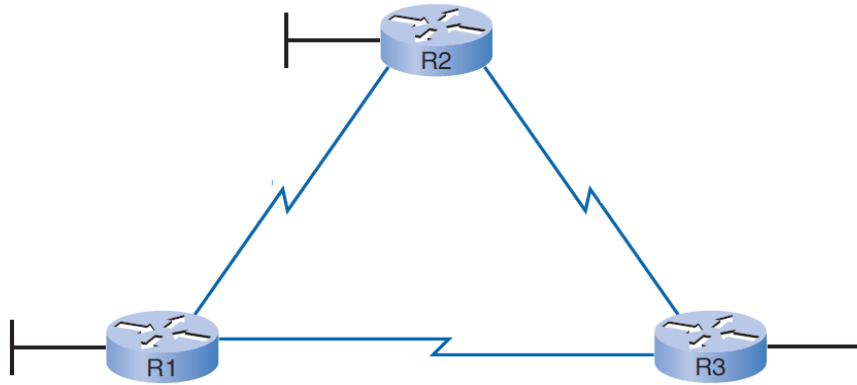
Tüm yönlendirme protokolleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri
- Sınıflandırılmamış yönlendirme protokolleri

2.2.3.1. Sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri

Sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri, yönlendirme güncellemelerinde alt ağ maskesi bilgisi göndermez. RIP gibi ilk yönlendirme protokolleri, sınıflandırılmış yönlendirme protokolüdür. Bu, ağ adreslerinin sınıflara göre tahsis edildiği zamanlarda kullanılırdı: Sınıf A, B veya C. Bir yönlendirme protokolünün, ağ maskesinin ağ adresinin ilk sekiz biti temelinde belirlenebilmesi nedeniyle alt ağ maskesinin yönlendirme güncellemesine dahil edilmesi gerekmemiştir. Günümüzdeki ağların bazılarında sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri hala kullanılabilir, ancak alt ağ maskesini içermedikleri için, her durumda kullanılamazlar [31]. Bir ağ birden fazla alt ağ maskesi kullanılarak alt ağ kullanıldığında, sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri kullanılamaz. Başka bir deyişle, sınıflandırılmış yönlendirme protokolleri Değişken Uzunlukta Alt-ağ Maskelerini (DUAM) desteklemez.

(Şekil 2.5.), aynı ana ağ adresi için tüm alt ağlarında aynı alt ağ maskesini kullanan bir ağ örneğini göstermektedir. Bu durumda, bir sınıflandırılmış veya sınıflandırılmamış yönlendirme protokolü kullanılabilir. Sınıflandırılmamış yönlendirme protokolleri RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS ve BGP'dir.



Şekil 2.5. Sınıflandırılmamış yönlendirme protokolu

2.3. Dinamik Yönlendirme Protokolleri ve Yakınsama

Bir yönlendirme protokolünün önemli bir özelliği, topolojide bir değişiklik olduğunda hızlı bir şekilde adapte olmasıdır. Yakınsama, tüm yönlendiricilerin yönlendirme tabloları bir tutarlılık durumunda olmasıdır.

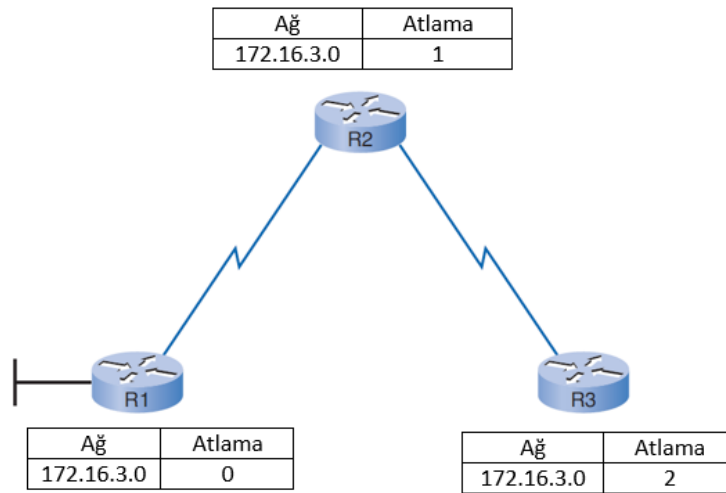
Tüm yönlendiriciler ağ hakkında tam ve doğru bilgiye sahip olduğunda, ağ yakınsanmıştır. Yakınsama süresi, bilgileri paylaşmak, en iyi yolları hesaplamak ve yönlendirme tablolarını güncellemek için yönlendiricilerin aldığı zamandır. Ağ toparlanana kadar bir ağ tamamen çalışmaz; Bu nedenle, çoğu ağ kısa yakınsama süreleri gerektirir. Yakınsama hem işbirlikçi hem de bağımsızdır. Yönlendiriciler birbirleriyle bilgi paylaşırlar, ancak topoloji değişiminin etkilerini kendi yollarına göre bağımsız olarak hesaplamaları gerekir. Yeni topoloji ile bağımsız olarak bir anlaşma geliştirdiklerinden, bu konsensüs üzerinde birleştiği söylenir. Yakınsama özellikleri, yönlendirme bilgilerinin yayılma hızını ve optimal yolların hesaplanmasını içerir. Yönlendirme protokolleri, yakınsama hızına göre derecelendirilebilir; yönlendirme protokolü ne kadar iyi olursa o kadar daha hızlı yakınsama süresine sahiptir. Bizim araştırmamızda, RIP ve IGRP'nin yakınsama hızı yavaşken, EIGRP, OSPF ve IS-IS yakınsama hızı hızlı olduğu gösterilmiştir. Yaklaşan bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

2.4. Metrikler

Metrikler, ölçme veya karşılaştırmanın bir yoludur. Yönlendirme protokolleri, hangi yolun en iyi yol olduğunu belirlemek için metrikleri kullanır [32].

2.4.1. Metriklerin amacı

Bir yönlendirme protokolünün aynı hedefe birden fazla rota belirlediği durumlar vardır. En iyi yolu seçmek için, yönlendirme protokolü mevcut yollar arasında değerlendirip ayırt edebilmelidir. Bu amaçla bir metrik kullanılır. Bir metrik, uzak ağlara ulaşmak için maliyetleri atamak için yönlendirme protokolleri tarafından kullanılan bir değerdir. Metrik, aynı uzak ağa birden fazla yol olduğunda en çok hangi yolun tercih edileceğini belirlemek için kullanılır. Her yönlendirme protokolü metriğini farklı bir şekilde hesaplar. Örneğin, RIP atlama sayısını kullanır, EIGRP bant genişliği ve gecikme kombinasyonu kullanır ve OSPF'nin Cisco uygulaması bant genişliği kullanır. Atlama sayısı, öngörülen en kolay metriktir. Atlama sayısı, bir paketin hedef ağa ulaşmak için çaprazlanması gereken yönlendiricilerin sayısını ifade eder. Şekil 2.6.'daki Yönlendirici R3 için, ağ 172.16.3.0 iki atlama veya iki yönlendirici uzaktadır. Yönlendirici R2 için, ağ 172.16.3.0 bir atlamadır ve Yönlendirici R1 için, 0 atlamadır (ağ doğrudan bağlı olduğu için).



Şekil 2.6. Metrikler

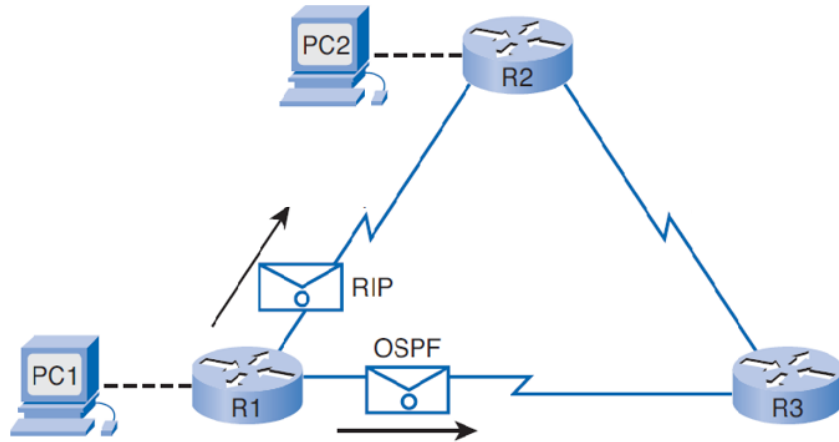
2.4.2. Metrikler ve yönlendirme protokolleri

Farklı yönlendirme protokolleri farklı metrikleri kullanır. Bir yönlendirme protokolü tarafından kullanılan metrik, başka bir yönlendirme protokolü tarafından kullanılan metrik ile karşılaştırılabilir değildir.

2.4.3. Tanımlar

İki farklı yönlendirme protokolü, farklı metrikler kullanması nedeniyle aynı hedefe giden farklı yolları seçebilir. Şekil 2.6.'de, R1'in 172.16.1.0/24 ağına nasıl ulaşacağını göstermektedir. IP yönlendirme protokollerinde kullanılan metrikler şunları içerir:

- Atlama sayısı: Bir paketin yönlendirmesi gereken yönlendiricilerin sayısını ölçen basit bir metrik.
- Bant genişliği: En yüksek bant genişliğine sahip yolu tercih ederek yol seçimini etkiler.
- Yük: Belirli bir bağlantının trafik kullanımını dikkate alır.
- Gecikme: Bir paketin bir yolu geçmek için harcadığı süreyi dikkate alır.
- Güvenilirlik: Arabirim hata sayımı veya önceki bağlantı hatalarından hesaplanan bir bağlantı hatası olasılığını değerlendirir.
- Maliyet: Ağ yöneticisi tarafından, rota tercihini belirtmek için belirlenen bir değer. Maliyet metriği, metriklerin bir birleşimini veya bir politikayı temsil edebilir.



Şekil 2.7. Atlama sayısı ve bant genişliği

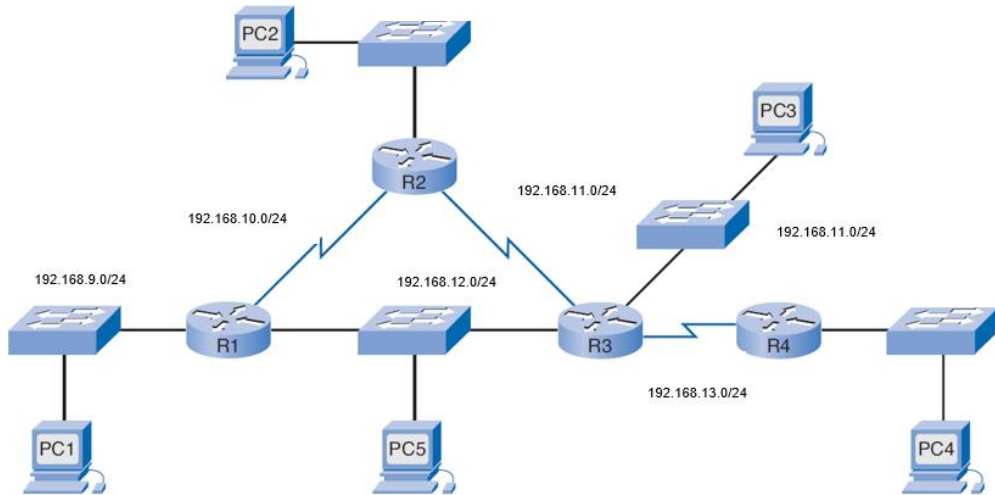
RIP, R2 aracılığıyla en az miktarda atlama ile yolu seçerken, OSPF, R3 boyunca en yüksek bant genişliğine sahip yolu seçecektir.

2.4.4. Yönlendirme tablosundaki metrik alanı

Yönlendirme tablosu, dinamik ve statik yol için metrikleri görüntüler. Statik rotaların her zaman 0 metrik olmaktadır. Aşağıdaki listede her yönlendirme protokolü için metrikler tanımlanmıştır:

- RIP (Atlama sayısı): En iyi yol, en düşük atlama sayısıyla seçilir.
- IGRP ve EIGRP (Bant genişliği, gecikme, güvenilirlik ve yük): En iyi yol, bu çoklu parametrelerden hesaplanan en küçük bileşik metrik değere sahip rota seçilir. Varsayılan olarak sadece bant genişliği ve gecikme kullanılır.
- IS-IS ve OSPF (Maliyet): En iyi yol, en düşük maliyetle rota seçilir.

Yönlendirme protokolleri, en düşük metriğe sahip rotayı temel alarak en iyi yolu belirler. Şekil 2.7.'de, tüm yönlendiriciler RIP yönlendirme protokolünü kullanmaktadır. Belirli bir rotayla ilişkilendirilen metrik, Windows'un komut işleme kısmında "show ip route" komutunu kullanarak en iyi şekilde görüntülenebilir. Metrik değeri, yönlendirme tablosu girdisi için parantez içindeki ikinci değerdir.



Şekil 2.8. RIP yol belirleme tekniği

Tablo 2.2. Yönetim mesafesi

Rota kaynağı	Yönetim Mesafesi
Bağlı	0
Statik	1
EIGRP özet Rota	5
Dış BGP	20
Dahili EIGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
Dış EIGRP	170
Dahili BGP	200

2.6. Çoklu Yönlendirme Kaynakları

Yönlendiricilerin, statik rotalar ve dinamik yönlendirme protokolleri kullanarak doğrudan birbirine bağlı ve uzak ağlar hakkında ve bunlara bitişik ağlar hakkında bilgi sahibi olduğunu biliyoruz. Aslında, bir yönlendirici aynı ağa giden bir yolu birden fazla kaynaktan öğrenebilir. Örneğin, statik bir rota, RIP gibi dinamik bir yönlendirme protokolüyle dinamik olarak öğrenilen aynı ağ / alt ağ maskesi için yapılandırılmış olabilir. Yönlendirici hangi rotayı kuracağını seçmelidir. Daha az yaygın olmasına rağmen, aynı ağda birden fazla dinamik yönlendirme protokolü dağıtılabilir. Bazı durumlarda, aynı ağ adresini RIP ve OSPF gibi çoklu yönlendirme protokolleri kullanılarak yönlendirmek gerekebilir [33]. Çünkü farklı yönlendirme protokolleri farklı metrikler kullanabilir ve en iyi yolu belirlemek için metrikleri karşılaştırmak mümkün değildir.

BÖLÜM 3. SİMULASYON ORTAMI

Bu bölümde, tez çalışması sırasında kullanılan materyal ve yöntemler tartışılmıştır. İlk olarak, diğer yöntemlerin karşılaştırılmasının ardından, kullanılan yöntemin seçilmesinin nedenleri, sonraki kısımlarda ise kullanılan simülasyon ortamının özellikleri ve diğer iyi bilinen simülasyon araçları arasındaki farkları açıklanmıştır.

3.1. Ağ Modelleme ve Simülasyon

Ağ protokollerini araştırmak ve ağ performansını değerlendirmek için birkaç uygun yöntem vardır [1].

- Analiz ve matematiksel modelleme
- Simülasyon - tipik olarak zaman tabanlı simülasyon veya ayrık olay tabanlı simülasyon
- Hem analiz hem de simülasyon ile hibrit simülasyon modeli
- Emülasyon sına ortamı

Analiz ve matematiksel modelleme, incelenen problemlere hızlı bakış ve cevaplar sağlayabilmektedir. Genellikle simülasyondan daha hızlıdır, ancak birçok durumda uygulanamaz. Analitik modeller birçok durum için mevcut değildir. Öyle olsa bile, mevcut modellerin çoğu doğruluktan yoksundur ve bazıları belirli yaklaşımlarla modellenmiştir. Özellikle bir kuyruk ağı için, Kleinrock'un bağımsızlık varsayımı ile ayrıştırılabilir ya da her ikisi de tek bir atlama sistemi kullanılarak çözülebilmektedir. Ağ modellenmesi biraz karmaşık hale geldiğinde zorlukları ve doğruluk kaybı daha da kötüleşebilmektedir. Analitik zorlukları azaltmak için genel modeli tipik ve temsili bir analitik yola indirgeyerek yaklaşımlara başvurmak genellikle gereklidir [34]. Ağ simülasyonu, modelleme cihazları arasındaki etkileşimleri hesaplayarak ağ davranışlarını modellemek için bir yol sağlar. Ayrık Olay Simülasyonu (AOS), basit zaman bazlı bir yöntem yerine büyük ölçekli simülasyon çalışmalarında tipik bir

yöntemdir. AOS, daha doğru ve gerçekçi bir şekilde modellemeyi mümkün kılar ve geniş uygulanabilirliğe sahiptir [1].

AOS, ağın tahmin edileceği faaliyetler için son derece ayrıntılı, paket-pakete bir model oluşturur. Bununla birlikte, genellikle hesaplama gücü için önemli gereksinimlere sahiptir; özellikle, çok büyük ölçekli simülasyon çalışmaları için, süreç zaman alıcı olabilmektedir. Tamamlanması birkaç saat hatta günler sürebilir. Bununla birlikte, simülasyon, her zaman bir tek düğümlü kuyruk sistemi veya bir kuyruk ağı için, basit algoritmadan karmaşık protokole kadar doğru çözümler sağlayabilir. Matematiksel analizde ve açık simülasyonda bu konuların etrafında çalışmanın bir yolu da, bunların hem dezavantajlarından kaçınmak hem de avantajlarına erişim sağlamak için simülasyondaki yöntemleri birleştirmektir. Bu kombine yöntem, tipik olarak hibrit simülasyon olarak adlandırılır, yani, daha hızlı ve daha az hesaplama yükü için kısmen matematiksel analiz ve kısmen AOS ile modellenir [1].

Yaygın olarak kullanılan Riverbed, NS (www.isi.edu/nsnam/ns) ve OMNeTs ++ (www.omnetpg.org) gibi birçok ağ simülatörü vardır. Bunlar arasında Riverbed, hem açık AOS hem de hibrit simülasyon ile simüle edebilir ve ortak simülasyon, paralel simülasyon, üst düzey mimari ve sisteme entegre interaktif simülasyonlar gibi diğer simülasyon özelliklerini desteklemektedir. Sınama ortamı emülasyonu, tipik olarak çalışılan algoritmaları ve protokolleri donanıma uygulamakla birlikte çok daha küçük ölçekte veya boyuta sahiptir. Sınama ortamı emülasyonu, her iki yaklaşımın ve gerçek dünya durumlarının yönlerini ele aldığından, yeni ağ protokollerini göstermenin yararlı bir yoludur. Dezavantajı ise, diğer gerçek dünyadaki zorluklarla ve çalışılan algoritmalar ve protokollerle tamamen ilgisiz olabilecek bazı beklenmedik mühendislik problemleriyle de ilgilenilmesidir. Sınama ortamları büyük sistemleri araştırmak için uygun değildir.

Buna göre, veri trafiği ve ağ iletişimi için araştırma metodolojileri, bu yöntemlerin bazılarının veya hepsinin bir kombinasyonu olabilmektedir. Bu yöntemler, sistemi daha doğru, verimli ve uygun maliyetli bir şekilde oluşturmak ve birbirlerini çapraz kontrol etmek için kullanılmaktadır.

3.2. Riverbed'e Giriş

OPNET, optimize edilmiş ağ mühendislik araçlarını temsil eder ve 1986 yılında kurulan OPNET Technologies Inc. tarafından oluşturulmuştur [1]. OPNET şirketi 2012 yılında el değiştirmiş ve ismi Riverbed olmuştur. Bu araştırma tezi için kullanılan ürünler Riverbed Modeler ve Riverbed Modeler Wireless Suite'dir. Riverbed, bir ağ simülasyon aracıdır. Riverbed ürünleri ve çözümleri, iletişim ağlarının aşağıdaki yönlerini ele almaktadır;

- Uygulama performans yönetimi
- Planlama
- Mühendislik
- Operasyonlar
- Araştırma ve Geliştirme

Bu araç seti birçok açıdan güçlüdür ve büyük ağ ortamlarını yazılım aracılığıyla oluşturabilme ve test edebilme imkanı sunmaktadır. Bu yönlerin her birine hitap etmek için, Riverbed ürünleri ilgili modülleri içermektedir;

- Uygulama performansı yönetimi için Riverbed Modeler, ağ uygulamaları için ACE Analisti,
- Gerçek zamanlı uygulama izleme ve analitiği için Riverbed Panorama
- İşletmelere göre sistem kapasite yönetimi için IT Guru Systems Planner,
- Ağ planlaması, işletmeler, servis sağlayıcılar, mühendislik ve bilgi işlem ağı planlaması için BT/SP Guru Ağ Planlayıcısı,
- Ulaştırma ağı planlaması ve mühendisliği için SP Guru Transport Planlayıcısı,
- Otomatik güncel ağ modelleme için NetMapper
- Şebeke denetimi, hizmet sağlayıcılara göre güvenlik ve politikaya uyumluluk için IT / SP Sentinel
- İşletmeler ve servis sağlayıcılar için büyük, heterojen üretim ağlarının birleşik, grafiksel görselleştirilmesini sağlamak için Riverbed nCompass.

3.3. Riverbed Modeler

Riverbed Modeler, ağ modelleme ve simülasyon çözümü sunan en önde gelen ticari ürünlerden birisidir. Araştırmacılar, mühendisler, üniversite öğrencileri ve Amerika ordusu tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Riverbed Modeler, nesne yönelimli ve hiyerarşik modelleme, hata ayıklama ve analiz ile desteklenen, kullanıcı dostu bir grafik arayüze sahip dinamik bir ayrık olay simülatörüdür. Riverbed Modeler, karma simülasyonu, analitik simülasyonu ve 32-bit ve 64-bit paralel simülasyonu desteklemek için geliştirilmiş, diğer birçok özelliği sağlayan, dağıtılmış simülasyon için gerekli desteğe sahiptir. Arayüz, gerçek dünyadaki verileri ve bilgileri simülasyon ortamına besleyen canlı sistemlerle simülasyona olanak tanır. Harici nesne dosyalarını, kütüphaneleri ve diğer simülatörleri entegre etmek için açık bir ortam sağlar. Geniş protokoller ve teknolojiler paketi içerir ve çok çeşitli ağ türleri ve teknolojilerinin modellenmesini sağlamak için bir geliştirme ortamı sağlar. Güncellenmiş sürümlerin devam eden sürümü ile Riverbed Modeler, iletişim ağlarının, cihazlarının, protokollerinin ve uygulamalarının gelişimine ayak uydurmak için çok fazla özellik içermektedir. Kaynak kodlu yüzlerce protokol ve satıcı cihaz modeli, modelleyici içerisinde hazır bulunmaktadır.

Riverbed Modeler, iletişim ağlarını, cihazlarını, protokollerini ve uygulamalarını analiz etmek ve tasarlamak için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) sürecini hızlandırır (bkz. www.riverbed.com). Riverbed Modeler GUI, kullanıcı dostu olmasını sağlar ve kullanıcıların bu konu hakkında öğrenmeye ve onunla çalışmaya başlamasını kolaylaştırır. Ancak, bu başlangıç aşamasının ötesinde ilerlemeye çalışırken, tam özellikli işlevleri ve güçlü programlama arayüzleri insanların kavramasını zorlaştırır. Riverbed Modeler, model tasarımı, simülasyon, veri toplama, veri analizi, iletişim ağlarının ve dağıtılmış sistemlerin modellenmesini destekleyen bir araç seti ile kapsamlı bir geliştirme ortamı sağlar. Riverbed Modeler, çok çeşitli sistemlerin modellerini geliştirmek için bir platform olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında; temel olarak YAA ve Geniş Alan Ağı (GAA) performansı ve modellemesi, hiyerarşik internet planlaması, yeni protokollerin geliştirilmesi ve iletişim ağı mimarisi, mobil ağ, sensör ağı ve uydu ağı yer almaktadır. Gerçekleştirilen tez çalışmasındaki senaryolarda Riverbed Modeler 14.5 kullanılmıştır.

3.4. Riverbed Modeler Kullanıcı Arayüzü

Bu bölüm, kullanıcının temel işlemleri ile kullanıcının yazılımı tanınmasına yardımcı olmak için Riverbed Modeler grafik kullanıcı arayüzünden bahsedilmiştir. Riverbed Modeler, kullanıcı arayüzü ve temel işlemler hakkında bilgi verilmektedir. Bu bölümde açıklanan kullanıcı arayüzü, Proje Yönetimi İletişim Kutusu, Modeler Tercihleri İletişim Kutusu, Riverbed Editörleri, Simülasyon Sonuçları Tarayıcısı ve Riverbed Dokümantasyon Tarayıcısını içermektedir.

3.4.1. Proje yönetimi

Ağ projeleri Riverbed Modeler'de kolayca yönetilebilmektedir. Kullanıcı yeni bir proje oluşturmayı, mevcut bir projeyi açmayı, bir projeyi silmeyi veya bir model dizini üzerindeki işlemleri burada yapabilmektedir.

3.4.2. Tercih düzenleyicisi

Riverbed Modeler, Tercih Düzenleyicisi aracılığıyla özelleştirilebilir. Tercih Düzenleyicisi, kullanıcının modelleme kullanıcı arayüzleri, simülasyon derleme ve bağlantı, sorun giderme, bellek yönetimi ve lisanslama vb. için yapılandırmayı değiştirmesine izin verir. Riverbed Modeler 14.5 ve sonraki sürümleri otomatik dosya yedeklemeyi destekler [1]. Bu nedenle, bir kullanıcı bir Riverbed projesi açar ve orada bırakırsa, proje dosyaları bir süre sonra otomatik olarak kaydedilir. Bu özellik, elektrik kesintisi, program arızası gibi bazı beklenmedik koşullarda veri kaybını önlemek için kullanışlıdır. Varsayılan yedekleme aralığı tercihi 60 dakikadır.

Simülasyonlar sırasında, hata bildirimleri veya onaylama bildirimleri varsa, Riverbed Modeler makinenizi bip sesi almaya zorlar. Bu bip ses kartı yerine sistem iç hoparlöründen geldiğinden, ses seviyesi ayarlanmayacaktır. Projeniz ilk hata ayıklama aşamasındaysa, birçok hata olabilmektedir; o zaman simülasyon her çalıştırıldığında, bip sesi duyulur.

İşlem modelinde kodu düzenlediğinizde, varsayılan olarak Riverbed Kod Düzenleyicisi tetiklenir. Bu kod editörüne süreç modeli kodu yazılabilmektedir.

Riverbed Kod Düzenleyicisi ile zorlanırsanız, Tercihler iletişim kutusuyla da değiştirebilmektedir.

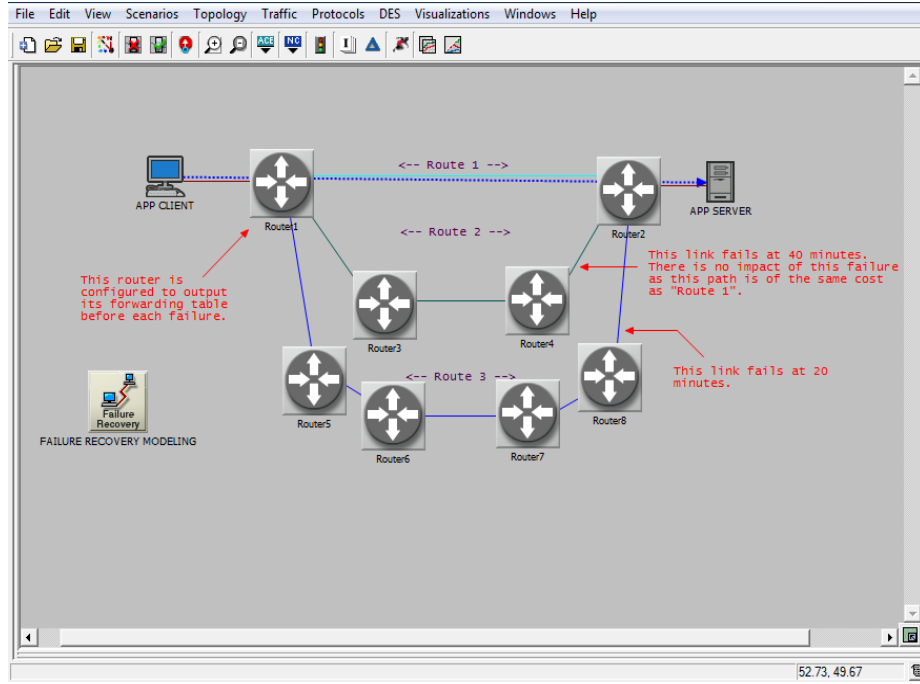
Bir e-tablo programını önceden seçmek için, Tercih Düzenleyicisinde "E-tablo yolu program" tercihinin arayabilir ve bu tercihin değerini favori e-tablo programınızın yoluna değiştirebilirsiniz. Daha sonra Simülasyon Sonuçları Tarayıcısında simülasyon verilerini elektronik tabloya verdiğinizde, veriler belirtilen e-tablo programınıza yüklenir. Simülasyon verilerinin bir elektronik tablo programına nasıl aktarılacağı hakkında daha fazla bilgi için, "Simülasyon Sonuçları Tarayıcısı" Bölümünü kontrol edebilirsiniz. Modellemeyi ve simülasyonunuzu özelleştirebilecek birçok tercih içermektedir.

3.5. Riverbed Modeller Editörleri

Riverbed Modeller'de, kullanımı kolaylaştıran grafik kullanıcı arayüzleri aracılığıyla modelleme ve simülasyon görevlerini basitleştiren birçok editör vardır. Bu bölümde, en çok kullanılan editörlerden bazıları incelenmektedir: Proje Editörü, Düğüm Editörü, Süreç Editörü, Bağlantı Editörü, Paket Formatı Editörü, Interface Control Information (ICI) Editör, Probability Density Function (PDF) Editör ve Prob Editörü. Diğer editörler için detaylar için Riverbed belgelerini kontrol edinilebilmektedir (Bkz. www.riverbed.com).

3.5.1. Proje editörü

Simülasyon projeleri ve senaryoları Proje Editörü tarafından yönetilmektedir. Kullanıcı yeni bir proje oluşturarak ya da mevcut bir projeyi açarak proje düzenleyicisini açmak için Proje Editörü kullanabilmektedir. Şekil 3.1. yüklenen bir simülasyon projesi senaryosu ile Proje Editörünü göstermektedir.



Şekil 3.1. Proje editörü

Proje Editörü şunları sağlar:

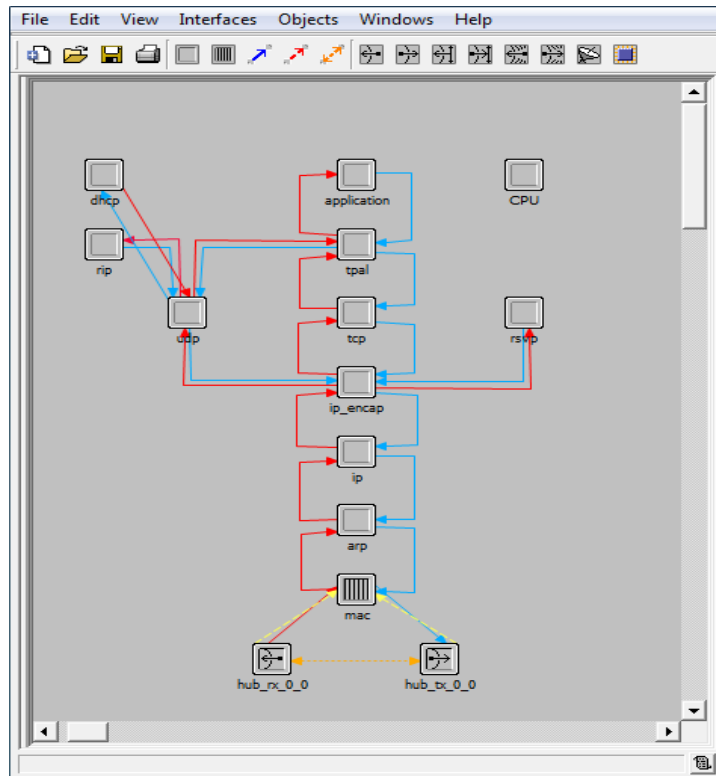
- Ağ modelleri oluşturma ve düzenleme
- Proje senaryoları oluşturma ve yönetme
- Ağ topolojisini yapılandırma ve içe aktarma
- Ağ trafiğini yapılandırın ve içe aktarın
- Ağ ortamlarını özelleştirme
- Bağlantıları doğrulama
- Alt ağ için paket akış animasyonu ve düğüm hareket animasyonunu kaydetme
- Proje senaryoları için simülasyonları yapılandırma ve çalıştırma.

Bu görevler, ilgili menü öğelerini seçerek veya Proje Düzenleyicisindeki kısa yol aracı düğmesine tıklayarak sağlanabilir. Riverbed modelleri, üç katmanlı bir yapıya sahiptir: ağ modeli, düğüm modeli ve süreç modeli. Ağ modelleri, Proje Editörü içerisinde oluşturulur. Düğüm modelleri ve süreç modelleri, sırasıyla Editör ve Süreç Düzenleyicisi içinde oluşturulur. Düğüm Düzenleyicisi ve Süreç Düzenleyicisi aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.5.2. Dügüm düzenleyicisi

Dügüm Düzenleyicisi, bir aygıtın veya dügümün iç yapısını oluşturabileceği ve düzenleyebildiği bir arayüzdür. Bir dügümü, bir bilgisayarı, anahtarı, yönlendiriciyi veya ağ bulutunu temsil etmektedir. Bir dügüm, birkaç modülden oluşur. Bu modüller genellikle mantıksal işlevlerle ayrılır ve birbirleriyle paket akışları aracılığıyla iletişim kurmaktadır. Her modül, bir dügümün belirli bir işlevini temsil eder. Modüller, paketleri iletmek, paketleri almak, veriyi işlemek, veri depolamak, rota paketleri için kullanılmaktadır.

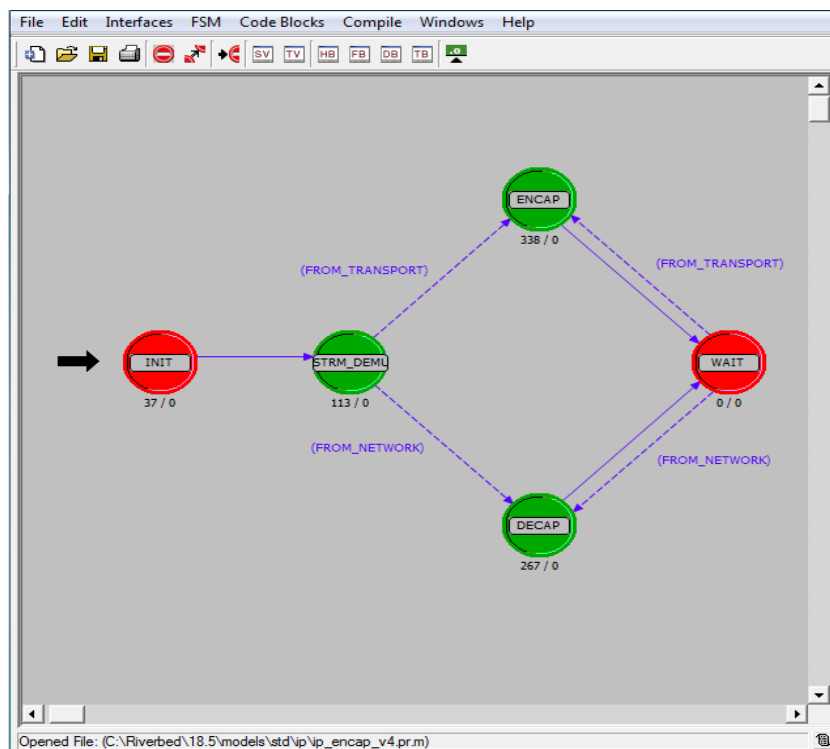
Şekil 3.2., Dügüm Düzenleyicisini gösterir. Dügüm Düzenleyicisi, dügüm modeli için modüller oluşturmanıza ve düzenlemenize izin verir. Modüller; işlemci modülü, sıra modülü, alıcı-verici modülü, anten modülü ve harici sistem modülünü içerir ve bu modüller paket akışları ve istatistik akışları ile bağlanabilir.



Şekil 3.2. Dügüm düzenleyicisi

3.5.3. Proses düzenleyicisi

Proses Editorü, algoritmaları ve protokolleri uygulamak için kod yazabilen yerdir. Proses modeli, Proses Düzenleyicisinde oluşturulur ve düzenlenir. Bir düğüm modeli, her biri belirli bir işlevselliğe sahip olan birkaç modül içerebilir. Bir modül, gerçekte bu modülün temsil ettiği işlevselliği veya mantığı uygulayan bir proses modeli içermelidir. Proses Editörü, mantık durumlarını görsel olarak betimlememize izin vermektedir. Belirli koşullar tetiklenirse, durumlar birbirleri arasında geçiş yapabilmektedir. Bazı işlemleri gerçekleştirmek için C/C++ kodlarına benzeyen Proto-C dilinde bu durumlar içerisinde yazılabilmektedir. (Şekil 3.10.) Proses Düzenleyicisi içerisindeki bir proses modeline ait durumların bir örneğini göstermektedir. Proses Düzenleyicisi, gerçek işlevsellikleri ilgili modüller ile kodlayarak düzenlemenizi sağlar.

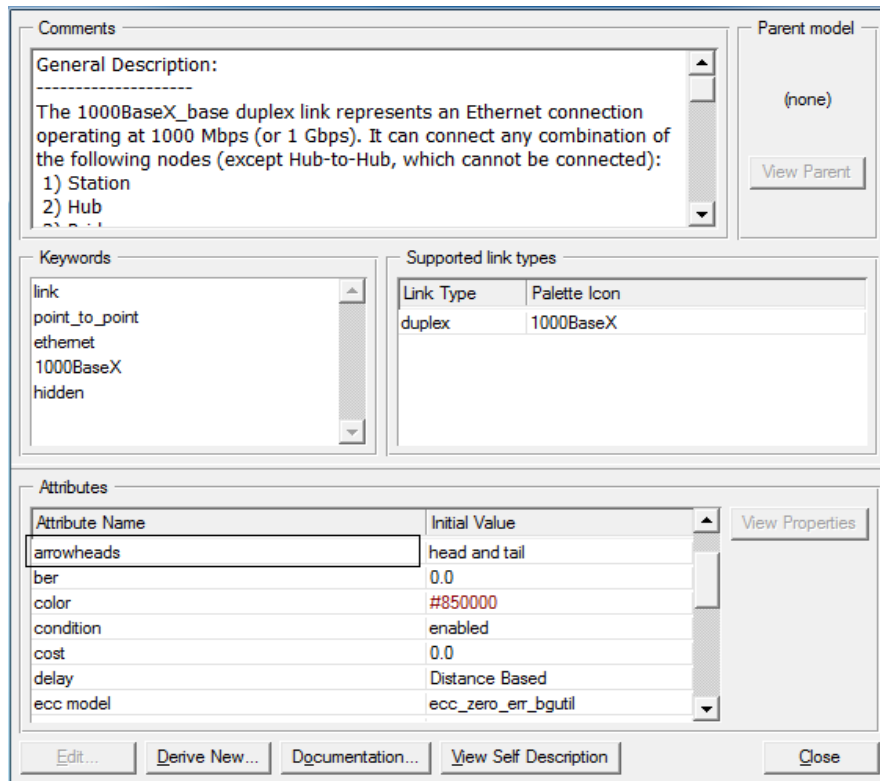


Şekil 3.3. Proses editörü

3.5.4. Bağlantı düzenleyicisi

Bağlantı Düzenleyici, bir bağlantı modeli oluşturmanıza ve tanımlamanıza olanak tanır. Bir bağlantı modeli, düğümler arasındaki fiziksel bağlantıyı temsil eder. Bağlantı

Düzenleyici 'de veri hızını, bit hata oranını, kanal sayısını, yayılma gecikmesini, aktarım gecikmesini, hata modelini, hata düzeltme modelini, desteklenen paket biçimlerini, vb. tanımlayabilirsiniz. Bağlantı Düzenleyicisini yeni bir bağlantı modeli oluşturmak için açabilmektedir. (Şekil 3.4.) yüklenen bir bağlantı modeliyle Bağlantı Düzenleyicisini göstermektedir. Bağlantı modeli şu bağlantı türlerini destekler: tek yönlü, çift yönlü ve veri yolu. Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi Bağlantı Editör 'de "Desteklenen bağlantı tipleri" olarak yapılandırılabilir.

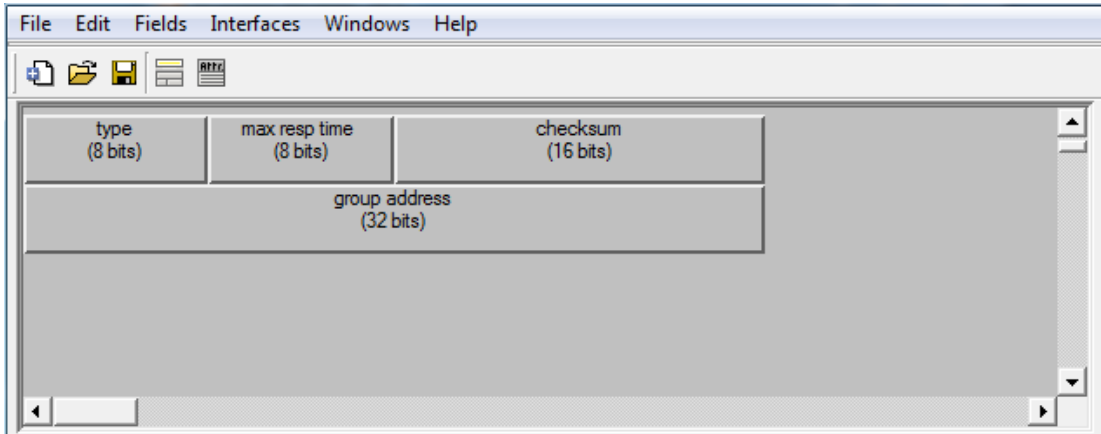


Şekil 3.4. Bağlantı editörü

3.5.5. Paket biçim düzenleyicisi

Riverbed Modeler, paket formatlarının hem biçimlendirilmemiş hem de biçimlendirilmiş formlarda olmasına olanak sağlar. Biçimlendirilmemiş paketler için, paket Uygulama Programlama Arayüzü çağırarak paket nesnelerini doğrudan kod içinde oluşturabilirsiniz. Biçimlendirilmiş paketler için, önce bunları Paket Biçim Düzenleyicisi aracılığıyla oluşturup biçimlendirmeniz [35], ardından biçimlendirilmiş paket Uygulama Programlama Arayüzlerini çağırarak koddaki biçimlendirilmiş paket nesnelerini oluşturmanız gerekir. Biçimlendirilmiş bir paket, farklı alanlardan oluşur.

Paket Format Düzenleyicisinde, her alanın türünü ve boyutunu belirleyebilirsiniz. Şekil 3.5. paket formatı yüklü paket format editörünü göstermektedir. Bir kullanıcı, alanın tür, kodlama, boyut ve renk gibi özelliklerini düzenleyebilir. Alan tipi tamsayı, kayar nokta, yapı, paket, bilgi, paket kimliği veya nesne kimliği olabilir. Desteklenen alan türleri, paketin gerçek dünyadaki bir varlığa sahip olabilecek olası bilgileri taşımasını sağlar. Kodlama, model son hanesi için büyük son haneli veya küçük son haneli olabilir.



Şekil 3.5. Paket format editörü

3.5.6. ICI editörü

ICI (Interface Control Information) kesme-tabanlı prosesler-arası haberleşme için bilgi ve imkânlar sunan bir Riverbed içyapısıdır [36]. Bir proses, diğer proseslerle iletişim kurmak için kesmelerle ilişkili ICI nesnelere erişebilir ve ICI Editörü, ICI formatını görsel olarak düzenlemek için kullanılabilir. (Şekil 3.6.) tanımlanan birkaç özneliği olan ICI Düzenleyicisini göstermektedir.

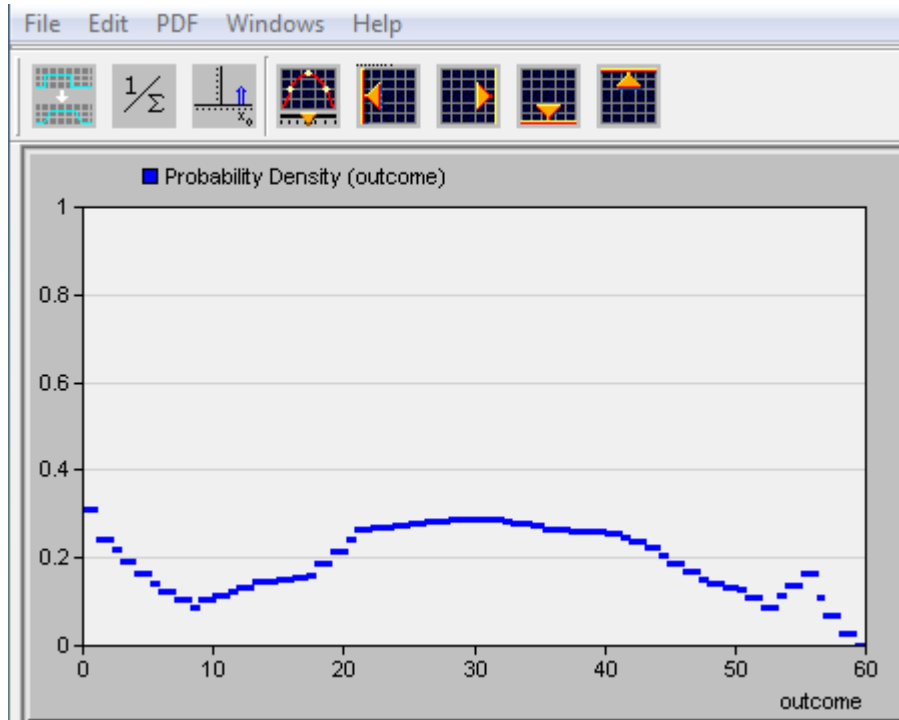
	Attribute Name	Type	Default Value	Description
1	dcss_addr	integer	-1	
2	protocol_type	integer	0	
3	vlan_id	integer	0	
4	src_mac_addr	integer	-1	
5	hsrp_info	structure	OPC_NIL	
6				

Şekil 3.6. ICI editörü

3.5.7. PDF editörü

PDF Editor, bir veri dizisinin olasılık yoğunluğu işlevlerini oluşturmanıza, düzenlemenize ve görüntülemenize olanak tanır. Görüntülemek ve düzenlemek için bir veri dizisini PDF Editöre yükleye bilinmektedir. Simülasyon istatistiksel sonuçları analiz için PDF Editöre aktarılabilir [35]. (Şekil 3.7). yüklenen bir veri dizisine sahip PDF düzenleyiciyi göstermektedir.

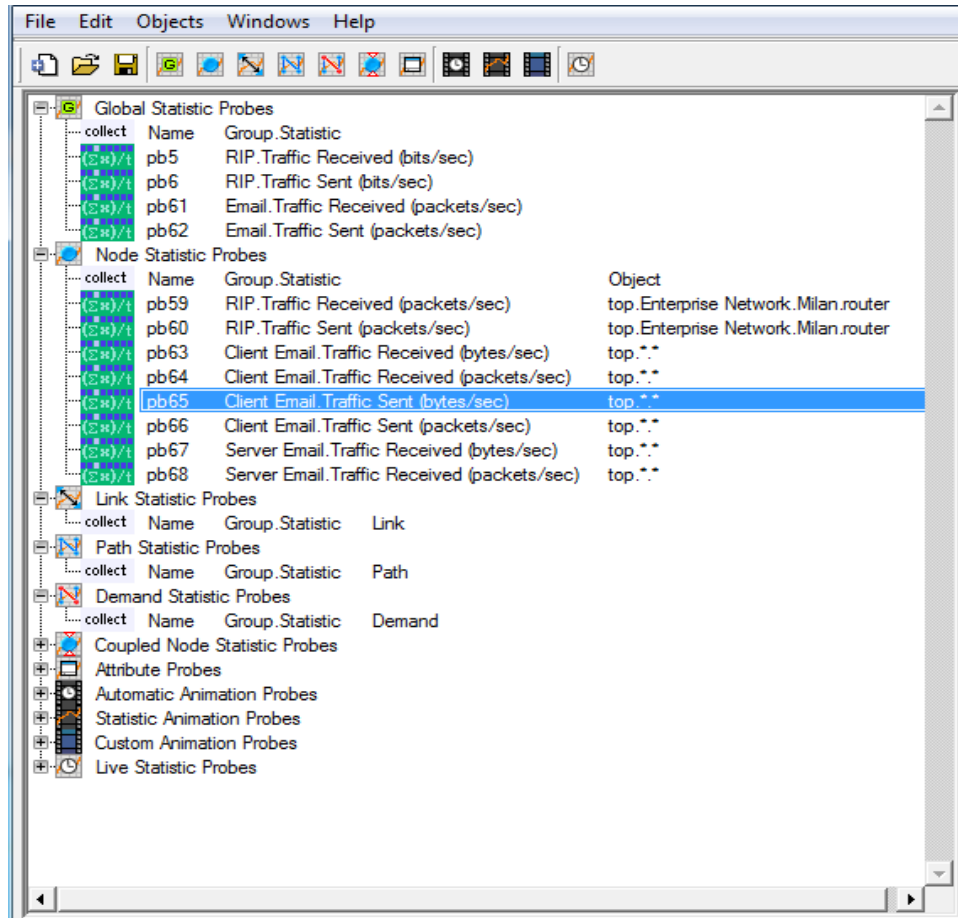
Mevcut bir olasılık yoğunluk fonksiyonu modelini bir veri dizisine göre değiştirebilir veya yeni bir olasılık yoğunluk fonksiyonu modeli oluşturabilirsiniz. Olasılık yoğunluk fonksiyonu modeli, gerekli matematiksel işlemlerle PDF Editör 'de görsel olarak düzenlenebilir. Değiştirilen veya yeni oluşturulan olasılık yoğunluk fonksiyonu modeli, sistem hatası, paket boyutu, vb. gibi stokastik prosesleri modellemek için işlem modelinde kod ile yüklenebilir.



Şekil 3.7. PDF editörü

3.5.8. Prob düzenleyicisi

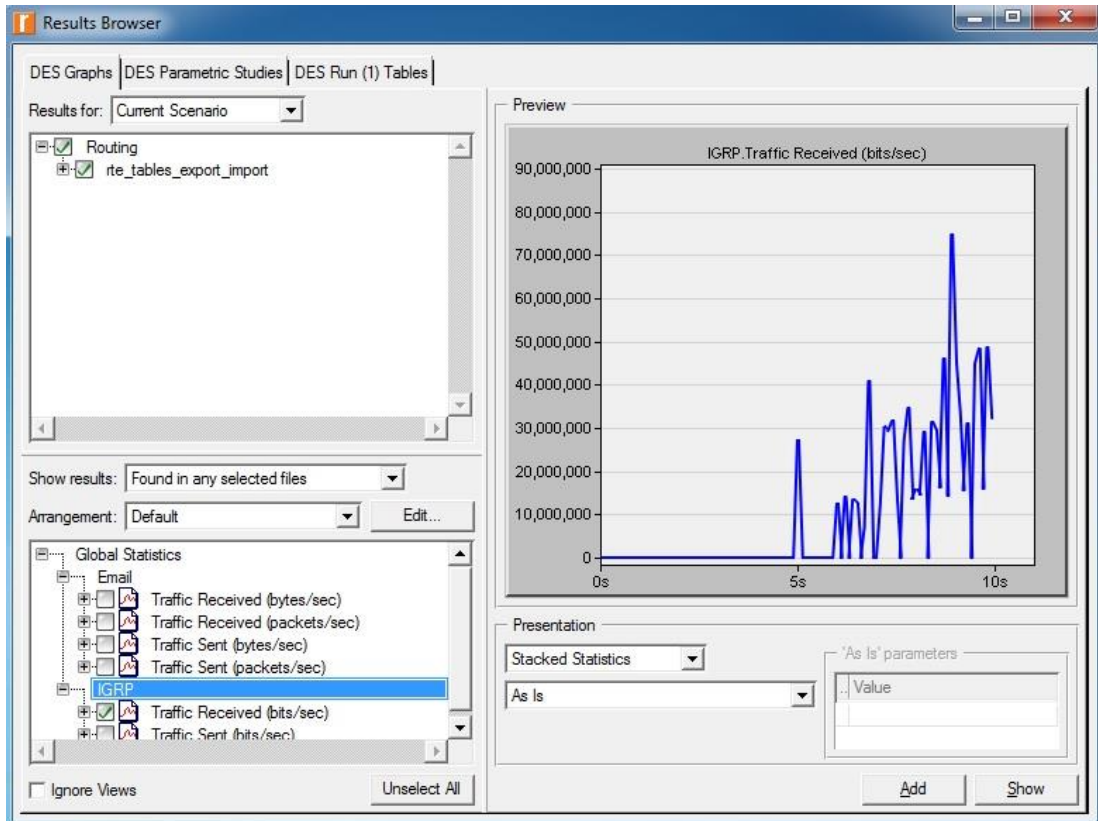
Riverbed simülasyonunda, birçok istatistiksel model türü vardır: global istatistikler, düğüm istatistikleri, bağlantı istatistikleri, yol istatistikleri, vb. Bununla birlikte, ilgilendiğiniz istatistikleri görmek isteyebilirsiniz. Bunu yapmak için simülasyon tamamlandıktan sonra görüntülemek istediğiniz istatistikleri özelleştirmek için Prob Editörü kullanılabilir. Şekil 3.8. ilgili istatistikle yüklenen Prob Editörünü göstermektedir. Farklı türlerde istatistik sorgulaması yapabilmektedir. İlgili istatistik tuşuna basılarak yeni bir istatistik prob türü oluşturulabilmektedir. Örneğin, bir düğüm için bir istatistik oluşturmak istiyorsanız, “Düğüm İstatistik Probu Oluştur” araç düğmesine basabilirsiniz. Prosedür, diğer istatistik problemleri oluşturmak için benzerdir. İstatistiklerin farklı yollarla toplanabileceği belirtilmektedir. Varsayılan olan “Tüm değerler ”in toplanmasıdır. Bu, simülasyon sırasında tüm istatistik noktalarının kaydedileceği anlamına gelir. Başka, farklı istatistik toplama yöntemleri seçebilirsiniz. Bunu yapmak için, ilgili istatistik probunu sağ tıklayın ve içerik menüsünden istatistiğin toplanması için tercih edilen yolu seçin. Örneğin, “Varsayılan Saatte Ortalama Değerleri Topla” yı seçerseniz, tüm değerler istatistiği yerine simülasyon sırasında zaman ortalamalı istatistik kaydedilecektir.



Şekil 3.8. Prob düzenleyicisi

3.5.9. Simülasyon sonuçları tarayıcısı

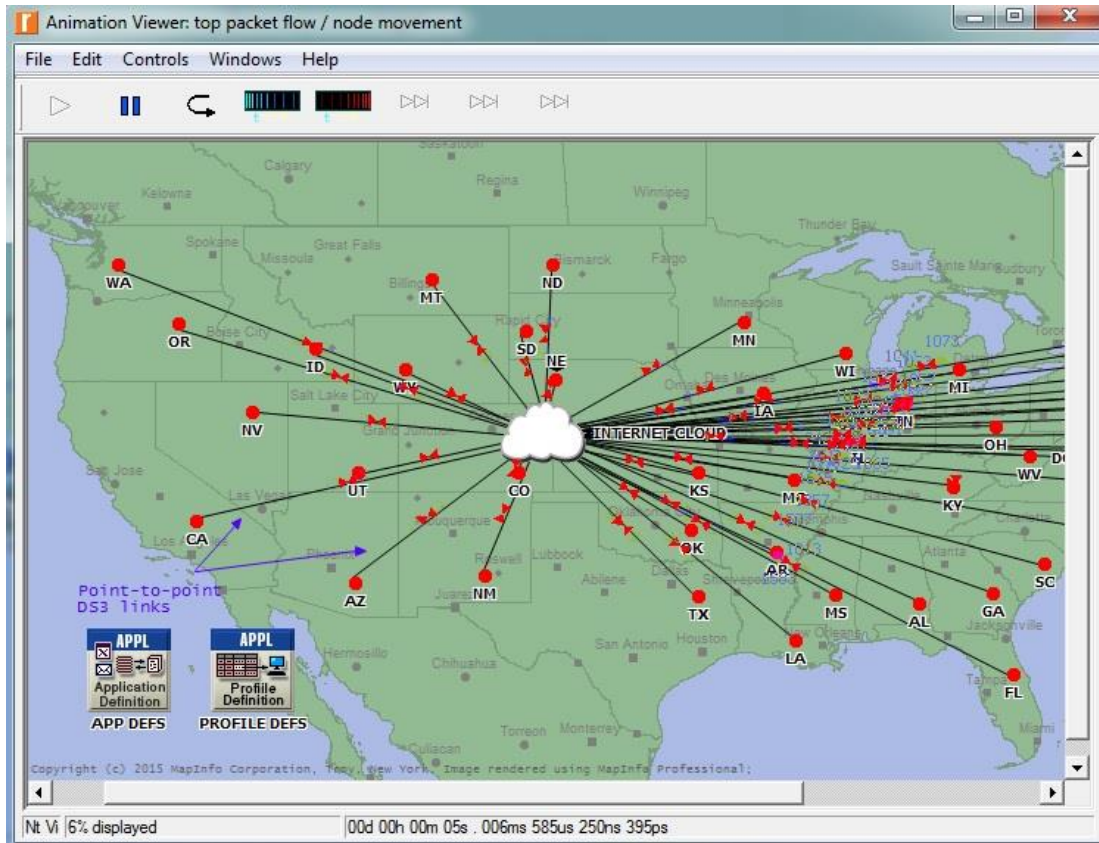
Riverbed Modeler'de, bir simülasyon modeli üzerinde simülasyon yapmak için çeşitli senaryolarınız olabilmektedir. Bu senaryolar, farklı topolojiler, yönlendirme, trafik, yük parametreleri, vb. üzerine dayandırılabilir. Ayrıca, her senaryoda, araştırılacak çok sayıda istatistik bilgisi olabilir. Riverbed Modeler'da Simülasyon Sonuçları Tarayıcısı, simülasyon projenizin tüm senaryoları için birleştirilmiş kullanıcı arayüzündeki tüm simülasyon sonuçlarını görmeye ve karşılaştırmanıza olanak sağlamaktadır. Simülasyon Sonuç Tarayıcısı, istatistiksel sonuçları farklı ölçeklerde logaritma, karşılıklı, zaman ortalaması ve örnek toplamı olarak görmeye ve karşılaştırmanıza olanak sağlayan birçok istatistik aracı sağlar. Ayrıca, sonuçları görmek veya dışa aktarmak gibi daha fazla işlem yapmak için bir elektronik tabloda oluşturabilirsiniz. (Şekil 3.19.) Simülasyon Sonuçları Tarayıcısını göstermektedir.



Şekil 3.9. Sonuç tarayıcısı

3.5.10. Animasyon görüntüleyicisi

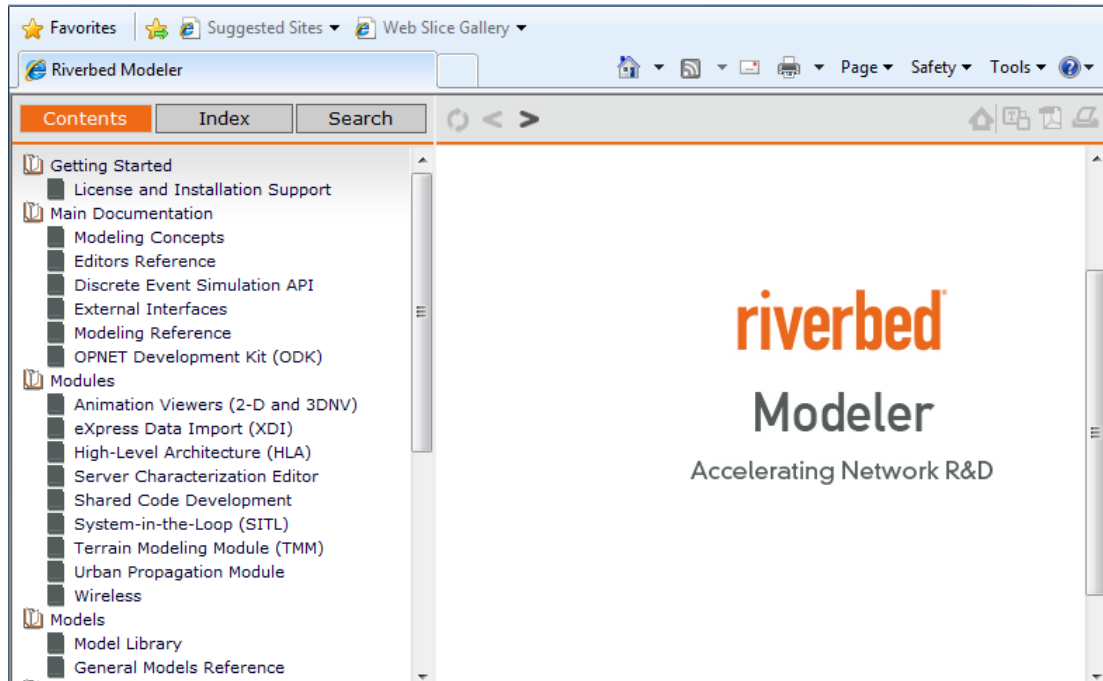
Riverbed Modeler, paket akışı, düğüm hareketi ve istatistik değeri değişiklikleri için animasyon kaydetmenizi ve oynatmanızı sağlar. Simülasyon sırasında (gerçek zamanlı gösterim) veya simülasyon bittikten sonra kaydedilen animasyonu görüntüleyebilirsiniz. Animasyon, Animasyon Görüntüleyici de yüklenir ve oynatılır. Animasyon Görüntüleyicisinde oynatma, duraklatma, durdurma, yeniden başlatma, hızlanma, yavaşlama gibi işlem düğmelerini kullanarak kontrol edilebilmektedir [37]. Animasyon Görüntüleyicinin bir ekran görüntüsü, Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Animasyon görüntüleyicisi

3.6. Riverbed Belgelerini Kullanma

Riverbed Dokümantasyon modülü, modelleme ve simülasyonun çok kapsamlı bir tanımını sunar. Riverbed belgeleri Java tabanlı bir dokümantasyon aracıyla yönetilir ve standart bir web tarayıcısında görüntülenebilmektedir. Riverbed Modeler Dokümantasyonu “Yardım” menüsünden açılabilir. Riverbed dokümantasyon aracı, belirli bir konu veya içeriği bulmanıza yardımcı olacak üç araç sağlar. Riverbed Dokümantasyon Tarayıcısında “İçerik” aracı, “İndeks” aracı veya “Arama” aracı ile bir konu bulabilirsiniz. “İçindekiler” aracı, Şekil 3.18.'de gösterildiği gibi bir hiyerarşik yapıdaki tüm konuları listeler. Riverbed Modeler’ın temel bilgilerini, işlemlerini ve kullanıcı arayüzünü kontrol etmek için “Modeler Reference” kök konusuna bakılabilmektedir. Diğer modelleme genişletme araçlarını kontrol etmek için “Modüller” bölümüne bakılabilmektedir.



Şekil 3.11. Riverbed dokümantasyonu

BÖLÜM 4. AĞ SİMULASYONU VE PERFORMANS ANALİZİ

4.1. Giriş

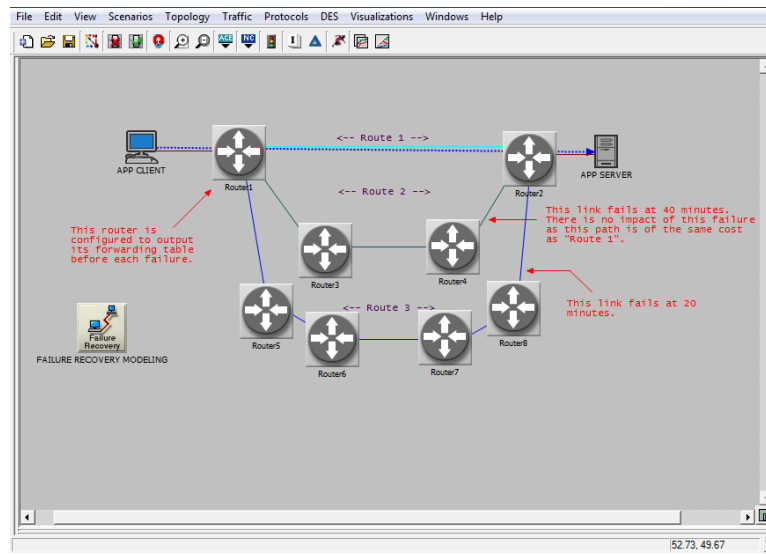
Simülasyon, gözlem altındaki gerçek sistemin davranışını incelemek için bir sistem modeli oluşturmak olarak tanımlanmaktadır. Simülasyon sonuçlarını kullanarak, gerçek sistemin davranışı tahmin edilebilir. Ayrıca, simülasyon yazılımının ve kaynak kodunun doğrulanması, elde edilen sonucun güvenilirliğini ve modelin geçerliliği, gerçek rastgelelik, iyi programlama becerisi, istatistiksel bilgi de simülasyonla yakından ilişkilidir [6]. Simülasyonu tanımlayan üç ana kavram vardır. Bunlar doğrulama, sağlama ve güvenilirliktir. Doğrulama, simülasyonun amaçlandığı gibi çalışıp çalışmadığını kontrol eder [6]. Geçerlilik, kavramsal simülasyon modelinin, çalışılan sistemin doğru bir temsili olup olmadığını kontrol eder [6]. Güvenilirlik, bir simülasyon modeli ve sonuçlarının kullanıcı tarafından geçerli kabul edilmesi olarak tanımlanmaktadır [6].

4.2. Simülasyon Aracı

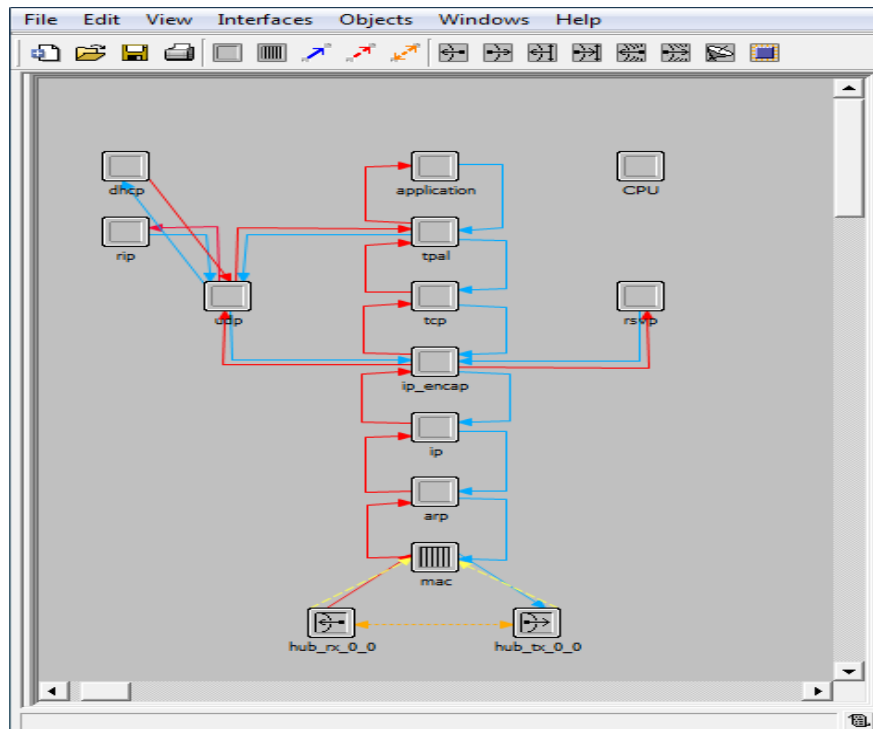
Bu tezde kullanılan simülasyon ortamı Riverbed Modeler'dir. Riverbed Modeler, Riverbed Teknoloji tarafından geliştirilmiş ve dağıtılmıştır. Riverbed Modeler birçok açıdan güçlü bir ağ simülatörüdür. Kullanıcı, küçük ve çok büyük ölçekli ağları, farklı cihazları, ağ protokollerini ve uygulamaları büyük esneklikle tasarlayabilir ve inceleyebilmektedir. Riverbed Modeler, ayrık olay sisteminin üzerine kurulmuş bir simülatördür ve sistemdeki her bir olayın modellenmesiyle sistem davranışını simüle edilir ve kullanıcı tanımlı prosesler aracılığıyla işlenir [3].

Riverbed Modeler'deki modelleme üç farklı alanda yapılmaktadır. Bu alanlar şunlardır: Proje alanı Şekil 4.1.'de, Düğüm alanı Şekil 4.2.'de ve proses alanı Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Ağ alanı, simülatörün grafiksel kullanıcı arabiriminin coğrafi

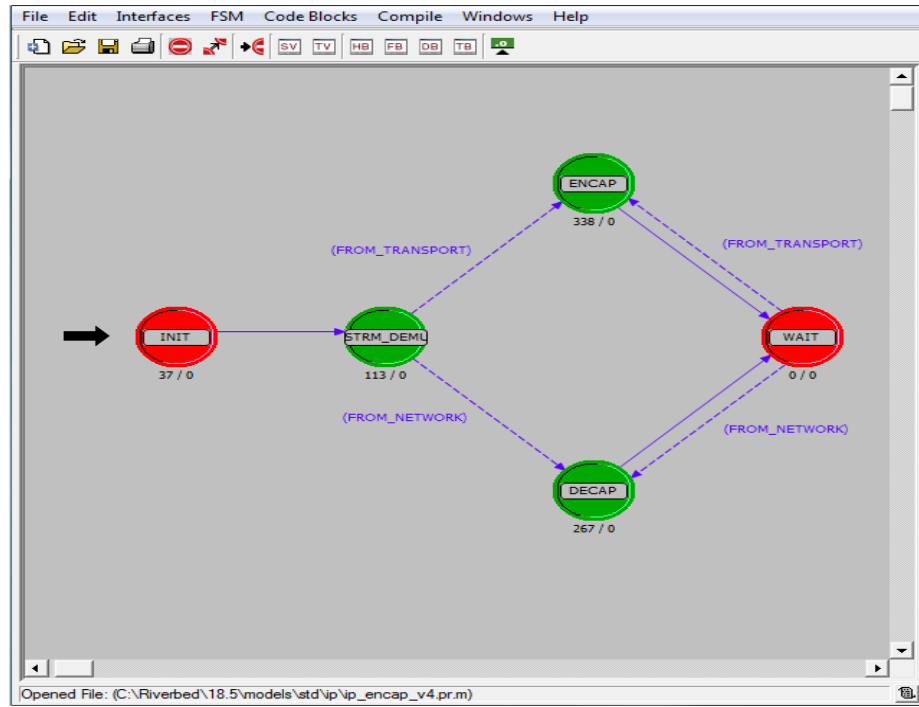
harita üzerindeki ağ ve alt ağın fiziksel bir temsildir. Düğüm alanı, düğümün bir modelini geliştirmek için kullanılır. Proses alanı, programlama kodlarını kullanarak bir model oluşturmak için kullanılır. Riverbed Modeler, Riverbed'e özgü devasa bir kütüphanesi olan C ve C++ kaynak kod bloklarından inşa edilen yüksek seviyeli bir kullanıcı arayüzünden oluşur [33].



Şekil 4.1. Ağ alanı



Şekil 4.2. Düğüm alanı

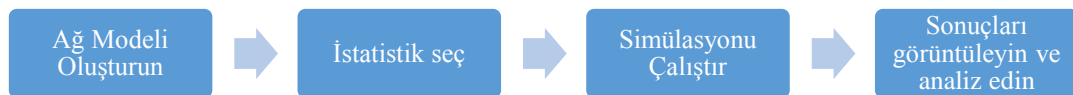


Şekil 4.3. Proses alanı

4.3. Riverbed Tasarım ve Analizi

İlk adım ağ modeli editörü ile ağ modeli oluşturmaktır. Ağ modelini oluşturduktan sonra, grafik olarak görüntülenecek istatistikleri seçmek ikinci adımdır. Bir sonraki proses, simülasyon süresini ayarlamaktır, bu değer bir saat, dakika veya saniye olarak ifade edilir. Simülasyon süresini ayarladıktan sonra, simülasyon çalışması için hazır olacaktır. Son adım ise, sonucu görmek ve analiz etmektir. Şekil 4.4.'te, Riverbed simülatörünü tasarlamak için adım akış şemasını gösterilmektedir.

Şekil 4.4. Çalışma akışı

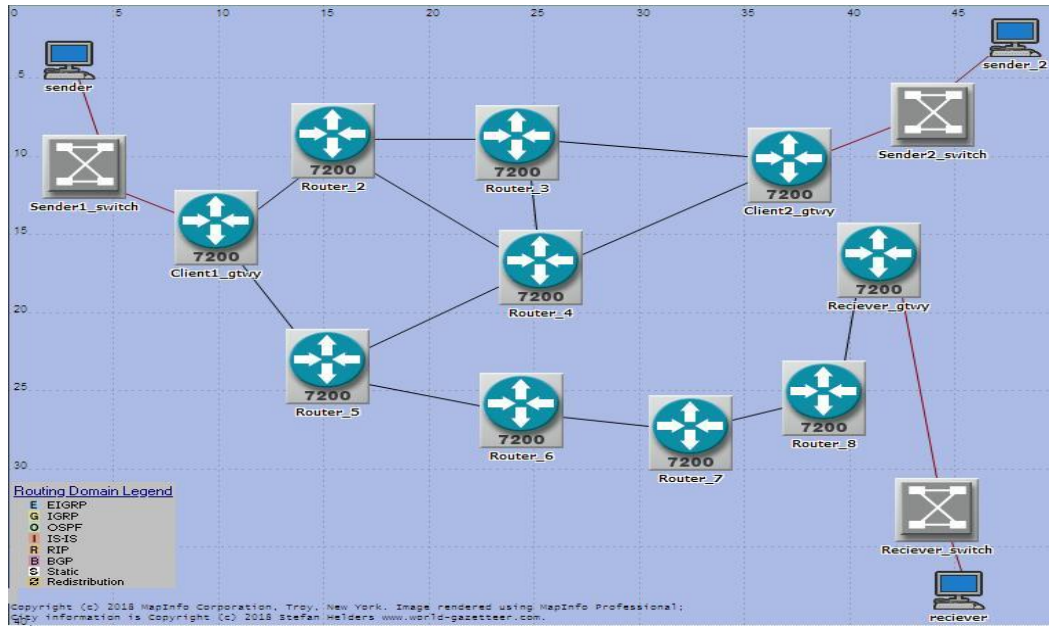


4.4. Ağ Topolojisi

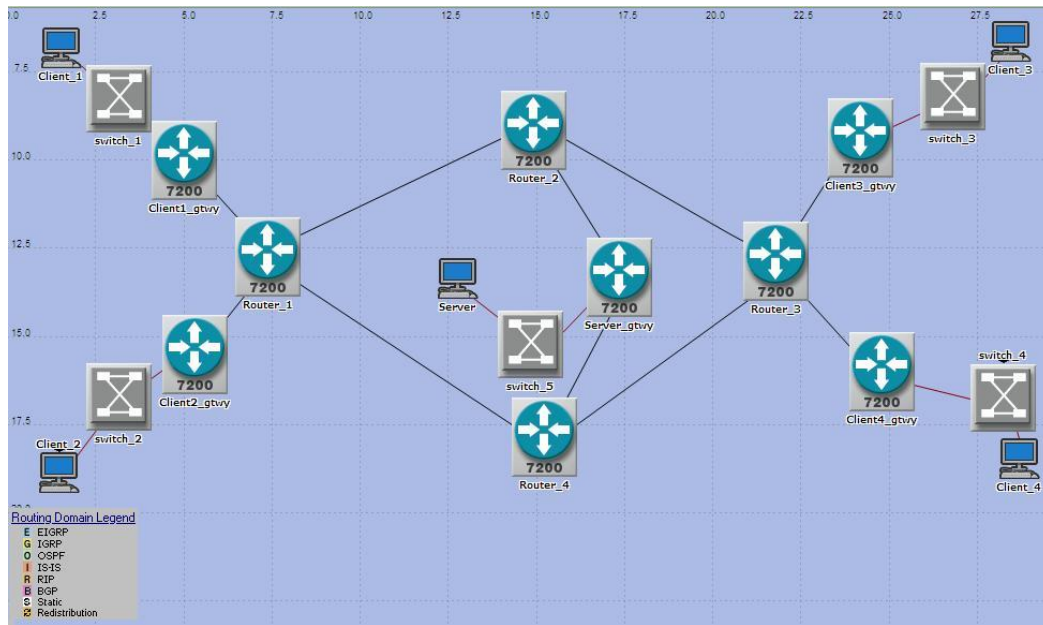
Genel olarak birçok farklı yönlendirme protokolleri bulunmaktadır. Ancak gerçekleştirilen tez çalışmasında yıldız ve örgüsel ağ topolojileri kullanılmıştır. Bunun nedeni yıldız topolojisi merkezi sunucu üzerinde kurulduğundan dolayı ve örgüsel

topoloji ise dağıtık bir yapıya sahip olduğundan dolayı tercih edilmiştir. Böylelikle yönlendirme protokollerinin etkisi gözlemlenebilmektedir. Bunun dışında kalan basit bir yapıya sahip olan ortak yol topolojisi gibi topolojiler veya örgüsel ağa benzer olan ağaç topolojisi gibi topolojiler tercih edilmemiştir. Çalışmanın amacı, YAA'da en çok kullanıma sahip olan yönlendirme protokolleri ve ağ topolojileri üzerinde yönlendirme protokollerinin karşılaştırılması ve ağ performans analizidir. Riverbed Modeler üzerinde kurulan iki topoloji ve ağ özellikleri protokollerin davranış farklılıkları ortaya çıkartmak için yeterli düzeyde belirlenmiştir.

Literatürde, yapılan benzer çalışmaları [33] dikkate alarak simülasyon konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bu tezde, her biri dört senaryo içeren iki farklı topoloji (Şekil 4.5. ve 4.6.'da gösterildiği gibi) kullanılmıştır. Senaryolar, farklı veri oranlarına sahip yönlendirme protokollerine dayanarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.5. Yıldız topoloji



Şekil 4.6. Örgüsel topoloji

Ağ topolojileri, aşağıdaki ağ aygıtlarından ve yapılandırma özelliklerinden oluşur:

- CS_7206 Cisco yönlendiricileri
- Ethernet iş istasyonları
- Anahtar (Ethernet 16)
- 100Base-Duplex bağlantıları
- DS1 ve DS3 Bağlantıları

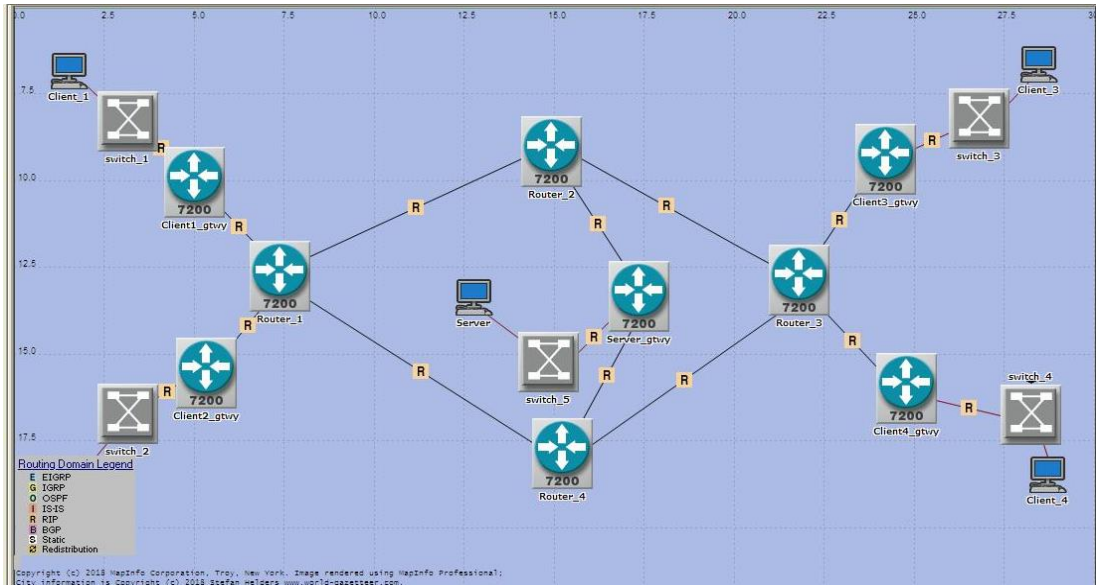
Topolojiler, yıldız ve örgüsel ağ temelinde yapılandırılmıştır. Bu iki topoloji örnek olarak farklı yönlendirme protokolleri analiz edilmiştir. Genel olarak, farklı yönlendirme protokolleri içindeki yönlendiricilerin performansını farklı veri oranlarına göre hesaplamak için iş istasyonları arasında bir trafik oluşturulmuştur.

4.5. Senaryolar

Daha önce de belirttiğimiz gibi, her bir topoloji 4 farklı senaryodan oluşan iki farklı topoloji (yıldız ve örgüsel) oluşturulmuştur. Riverbed Modeler üzerinde RIP, EIGRP ve OSPF olan 3 yönlendirme protokolünün performansını değerlendirilmektir. Bu protokollerin belirli topolojiler ve veri hızları üzerinde nasıl davrandığını bilmek için her protokolda 1, 2, 4 ve 8 Mbps olan 4 veri oranı belirlenmiştir. Hedeflerin daha iyi analiz edilmesi için 15 dakikalık bir simülasyon süreci seçilmiştir.

4.5.1. RIP senaryoları

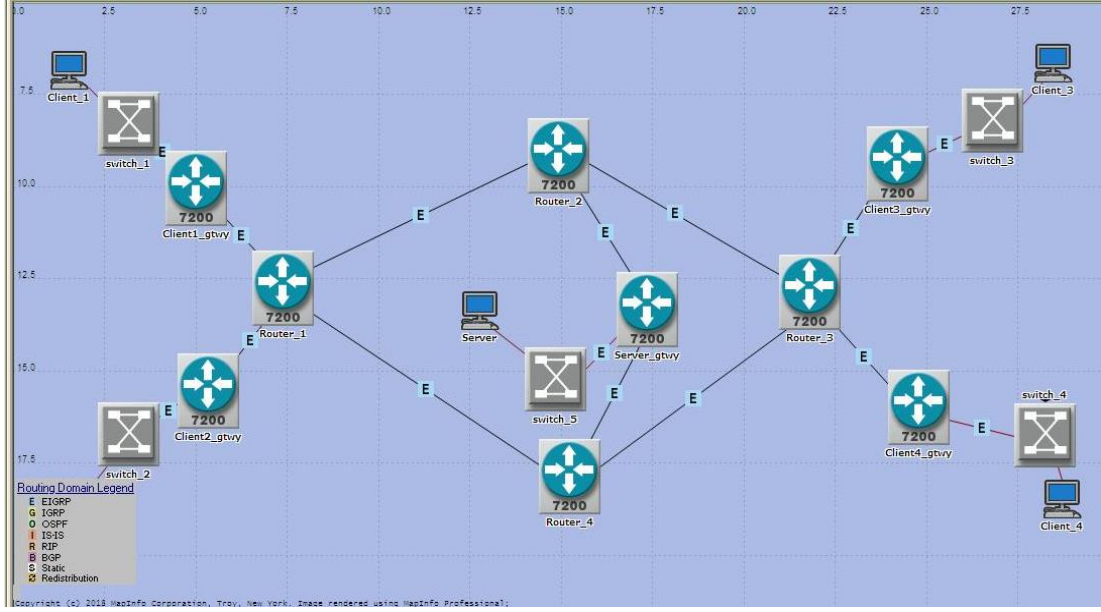
Bu senaryoda, seçilen ağ topolojisinde RIP yönlendirme protokolü olarak uygulanmıştır. İlk adım olarak, ağ topolojisini bir yönlendirme protokolü olmadan oluşturulmuştur ve daha sonra sekiz kez çalıştırılarak farklı veri hızları ve topoloji sonuçları elde edilmiştir. Yönlendirme protokolünü yapılandırdıktan sonra, sonuçta görüntülenecek istatistikler seçilmiştir. Bu istatistikler şunlardır: alınan bit sayısı (bit / s), ağ yakınsama süresi (sn), uçtan-uca gecikme (sn) ve iş çıkarma oranı (bit / sn).



Şekil 4.7. RIP senaryosu

4.5.2. EIGRP senaryoları

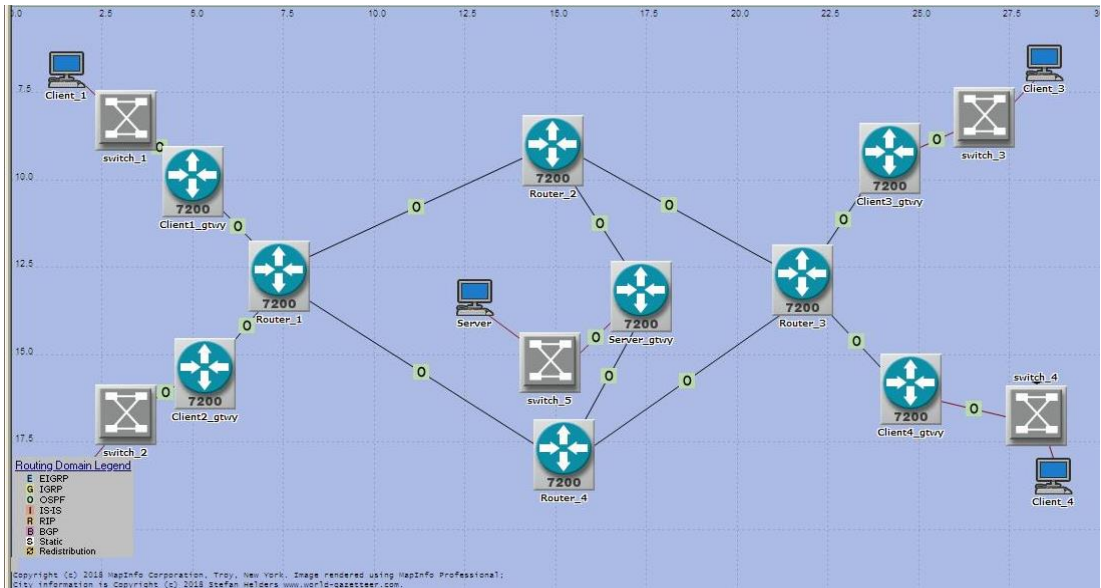
Bu senaryolarda, seçilen ağ topolojileri için EIGRP yönlendirme protokolü kullanılmıştır. Yönlendirme protokolü olmayan çoğaltılmış senaryolardan sekizi kullanılmıştır ve üzerine EIGRP uygulanmıştır. Ardından, sonuçta görüntülenecek istatistikler seçilmiştir: alınan bit sayısı (bit / s), ağ yakınsama süresi (sn), uçtan uca gecikme (sn) ve iş çıkarma oranı (bit / sn.)



Şekil 4.8. EIGRP senaryosu

4.5.3. OSPF senaryoları

Bu senaryolarda ise OSPF, ağ topolojileri için bir yönlendirme protokolü olarak yapılandırılmıştır. Ardından, sonuçta görüntülenecek istatistikler seçilmiştir: alınan bit sayısı (bit / s), ağ yakınsama süresi (sn), uçtan uca gecikme (sn) ve iş çıkarma oranı (bit / sn).



Şekil 4.9. OSPF senaryosu

4.6. Simülasyon Yürütme

Her bir topolojiden, farklı veri hızlarıyla (her protokol 4 farklı veri hızı ile) toplam 12 kez çalıştırılmıştır ve her simülasyon için 15 dakikalık bir süre seçilmiştir. Daha sonra her bir simülasyonun ortalama değerine göre analiz edilmiştir.

Her bir simülasyonun sonuçlarının değişkenliği önemli bulguları gösterir. Simülasyon sonucundaki değişimi büyük olduğunda, sonuçtaki güvensizliği yansıtır. Varyasyon küçük olduğunda, iyi bir güvenilirliği gösterir ve simülasyon sonucunda herhangi bir değişiklik olmadığı zaman, simülasyonda bir hata olduğunu gösterir [38].

4.6.1. Performans metrikleri

Gerçekleştirilen çalışmada, RIP, OSPF ve EIGRP yönlendirme protokolleri analiz edilerek, karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Bunu yapmak için simülasyon metodolojisi kullanılmış ve Riverbed Modeller bir simülasyon aracı olarak tercih edilmiştir. Yukarıda bahsedilen iki adet ağ topolojisi Riverbed Modeller üzerinden modellenmiştir. Yönlendirme protokollerinin performans değerlendirmesini gerçekleştirmek için en çok kullanılan iş çıkarma oranı, uçtan-uca gecikme ve yakınsama süresi metrikleri tercih edilmiştir. Aşağıda performans değerlendirme metrikleri detaylıca aktarılmıştır:

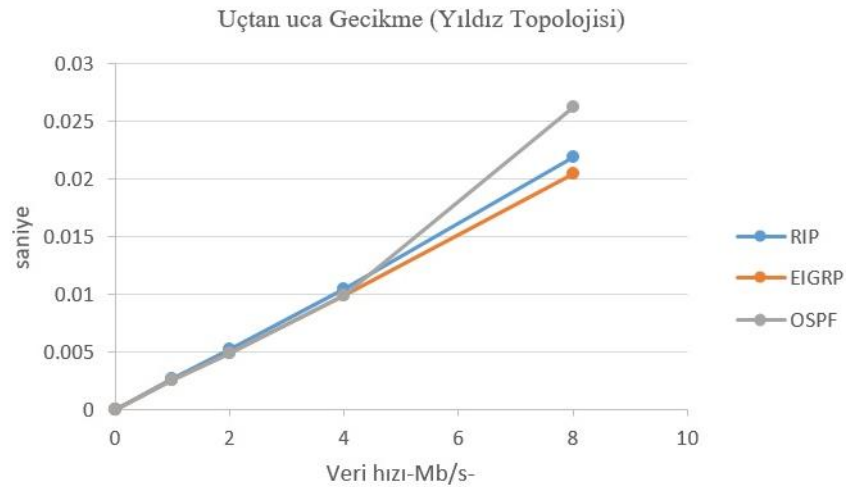
- İş çıkarma oranı: Genel bir ifade ile iş çıkarma oranı, maksimum üretim oranı veya bir şeyin işlenebileceği maksimum orandır. Haberleşme veya ağ çıkışı gibi iletişim ağları bağlamında kullanıldığında, bir iletişim kanalı üzerinden başarılı mesaj iletme hızıdır. Bu mesajlara ait veriler fiziksel veya mantıksal bir bağlantı üzerinden iletilebilir veya belirli bir ağ düğümünden geçebilir. Oran genellikle saniyedeki bit olarak (bit / s), bazen de saniye başına veri paketi (p / s) veya zaman dilimi başına veri paketi ile ölçülür.
- Uçtan uca gecikme: Uçtan uca gecikme, bir paketin bir ağ üzerinden kaynaktan hedefe iletileceği süreyi ifade eder. IP ağı izlemede yaygın bir terimdir ve gidiş-dönüş zamanından farklıdır, çünkü kaynaktan hedefe giden tek yol ölçülür.

- Ağ yakınsama süresi: Bir grup yönlendiricinin yakınsama durumuna ne kadar hızlı ulaştığının bir ölçüsüdür. Ana tasarım hedeflerinden biridir ve protokolü çalıştıran tüm yönlendiricilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde yaklaşmasına izin veren bir mekanizma uygulayan yönlendirme protokolleri için önemli bir performans göstergesidir. [39] Tabii ki, ağın boyutu da önemli bir rol oynar. Daha büyük bir ağ daha küçük olana göre daha yavaş bir yakınsama gerçekleşmektedir.

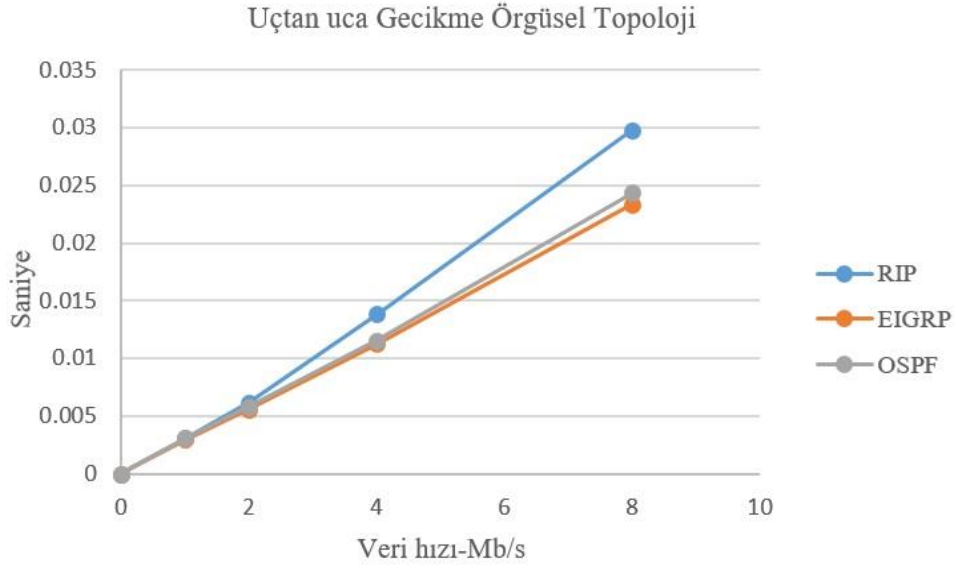
4.7. Sonuç Değerlendirmeleri

Yukarıda bahsedildiği gibi bu tezin amacı, yönlendirme protokolleri karşılaştırması ve Riverbed modeller kullanarak yönlendirme protokollerinin performansı farklı veri hızlarına göre ve farklı topolojilerde değerlendirmesidir. RIP, OSPF ve EIGRP yönlendirme protokolleri şu şekilde değerlendirilmiştir; her protokol toplam olarak 8 senaryoda (4 farklı veri hızında, 2 topoloji üzerinde) protokolün gecikme zamanı, iş çıkarma oranı, yakınsama süresi ve trafikleri değerlendirilmiştir ve sonuç olarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

Şekil 4.10. ve 4.11., RIP ve OSPF'nin EIGRP'den daha çok uçtan-uca gecikmeye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 1 Mbps'den 4 Mbps'ye kadar olan performansının aynı olduğu, düşük bant genişliğinde RIP ve OSPF'nin yüksek bant genişliğinde daha az gecikme oluşturduğu görülmektedir.

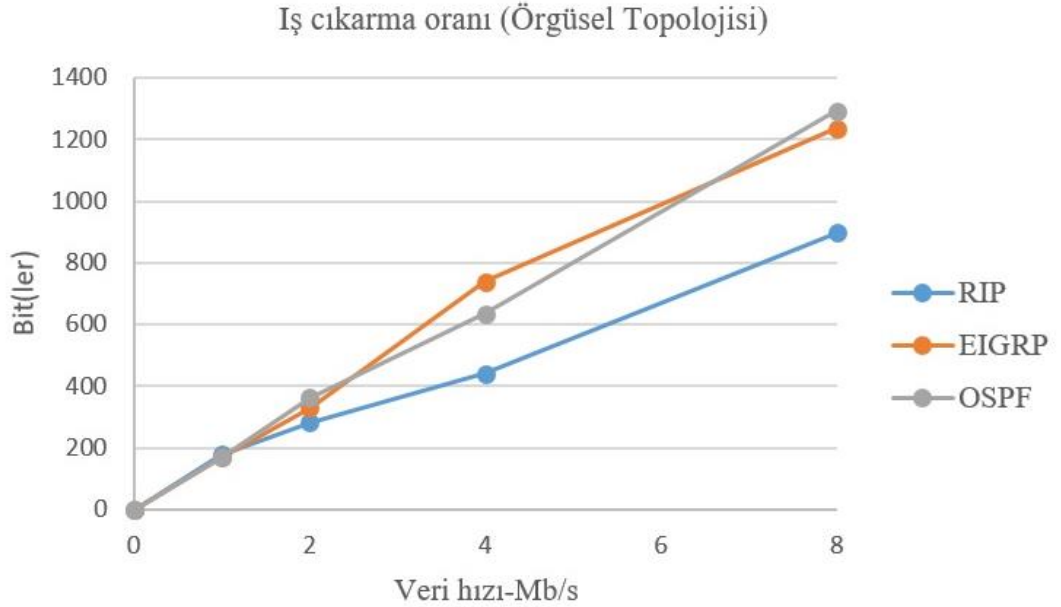


Şekil 4.10. Uçtan-uca gecikme (Yıldız topolojisi)

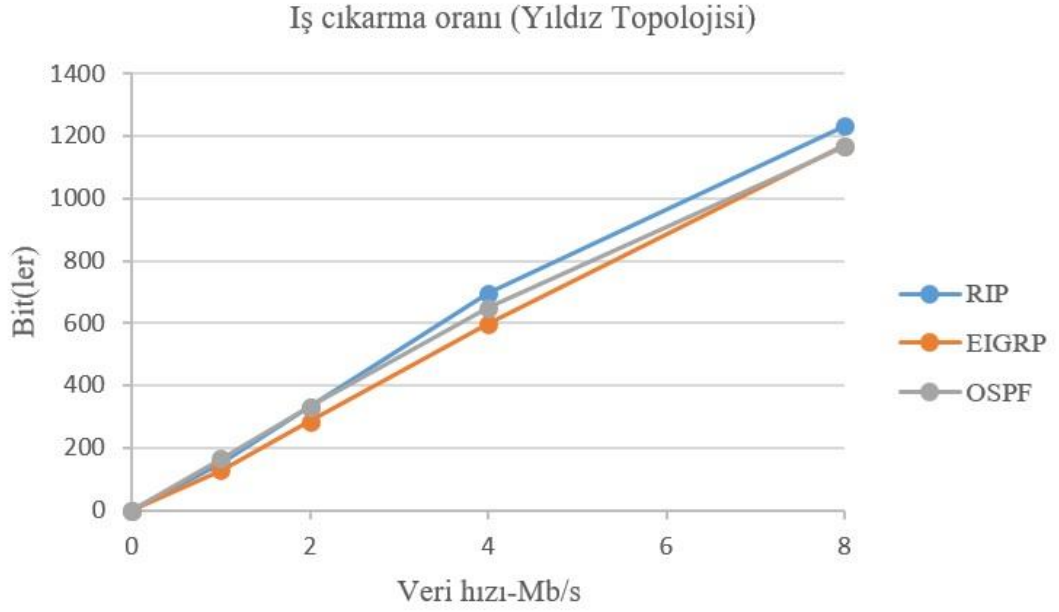


Şekil 4.11. Uçtan-uca gecikme (Örgüsel topolojisi)

İş çıkarma oranı, saniyede gönderilen / alınan bitlerin toplam miktarıdır. RIP, örgüsel topoloji olduğunda iş çıkarma oranında büyük bir düşüş göstermiştir. Grafikte görüldüğü gibi RIP, yıldız topolojide 1200 bitten daha fazla aktarırken (Şekil 4.13.), örgüsel topolojisinde 100 bitten daha az aktarmıştır (Şekil 4.12.). Bunun bir sebebi ise, RIP güncelleme mesajlarını her 30 saniyede bir varsayılan olarak göndermesidir.



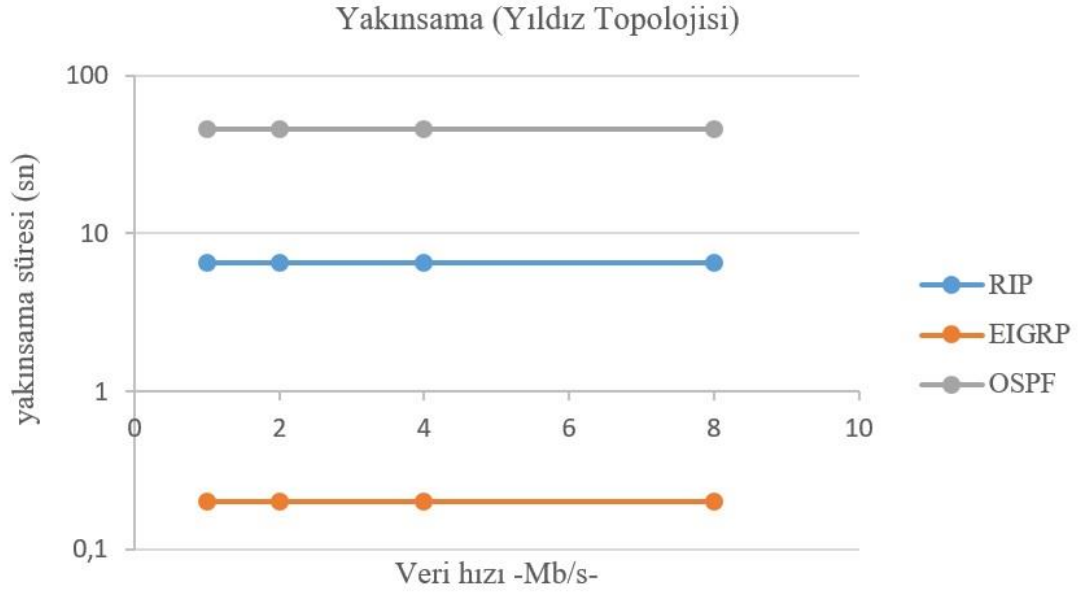
Şekil 4.12. İş çıkarma oranı (Örgüsel topolojisi)



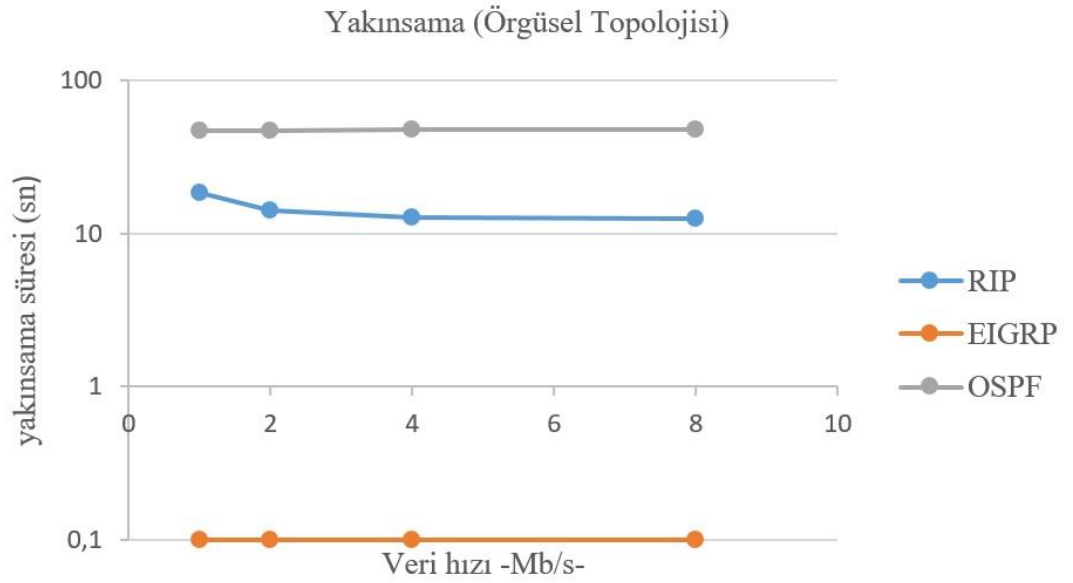
Şekil 4.13. İş çıkarma oranı (Yıldız topolojisi)

Yakınsama süresi, bir grup yönlendiricinin yakınsama durumuna ulaştığı zamandır. Yönlendirme protokolleri hızlı bir yakınsama süresine sahip olmalıdır. Şekil 4.14. ve 4.15. yönlendirme protokollerinin topolojiler (yıldız ve ağ) üzerindeki yakınsama süresini göstermektedir. Sonuçlarımıza göre, OSPF her iki topolojide en yüksek yakınsama süresine sahipken, EIGRP çok düşük yakınsama süresine sahiptir.

Daha az yakınsama süresi, iyi yakınsamaya anlamına gelmektedir. Yakınsama bildiğimiz gibi, protokollerin yönlendirme tablosunu ne kadar hızlı oluşturabileceğini veya yönlendirme mekanizmasını başlatabildiğini belirttiği için, yönlendirme protokolleri için çok önemli bir rol oynar.



Şekil 4.14. Yakınsama süresi (Yıldız topolojisi)



Şekil 4.15. Yakınsama süresi (Örgüsel topolojisi)

4.8. Deney Sonuçları

Bu tez çalışmasında farklı yönlendirme protokolleri analiz edilmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Riverbed Modeler kullanılarak, uçtan uca gecikme, iş çıkarma oranı ve yakınsama süresine göre, EIGRP, RIP ve OSPF yönlendirme protokollerinin davranışları farklı ağlar üzerinde değerlendirilmiştir. Yıldız ve örgüsel topoloji ile

1,2,4 ve 8 Mbps veri hızları seçilerek performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, CISCO tescilli protokol olan EIGRP'nin her iki topolojide en iyi performansı gösterdiği görülmektedir, ancak EIGRP'nin RIP ve OSPF'ye göre daha fazla yönlendirme trafiği oluşturduğu ve yönlendirme trafiğinin ağı fazladan gecikme üretmesi bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, RIP, uçtan uca gecikme grafiğinde gösterildiği gibi uzun gecikme süresine sahip olarak simülasyon zayıf performans sergilemiştir. OSPF protokolü 1 ile 2 Mbps veri hızlarında iyi bir performans göstermiştir, ancak 4 - 8 Mbps veri hızlarında daha fazla gecikme elde edildi. Bununla beraber OSPF'nin düşük bant genişlikli ağlarda daha başarılı olabileceği anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ağ düğümleri birbirilerine bilgi paylaşmak için ağı kullanmaktadırlar. Ağıdaki en önemli aygıtlarından biri yönlendiricidir ve yönlendirici gelen paketleri adreslere göre dağıtan bir aygıttır. Bu aygıtın çalışması için yönlendirme protokolü gerekir. İşte burada yönlendirme protokolleri devreye girer, yönlendirme protokolleri internetin büyümesi ile birlikte ortaya çıkan önemli bir unsurdur. 1980'lerden sonra birçok yönlendirme protokolleri geliştirilmiştir. Bu yönlendirme protokolleri her biri belirli ağ sistemlerinde iyi performans sergilemektedir. Fakat ağ yapıları farklıdır ve farklı topoloji ve veri hızına göre birçok ağ yapısı vardır. Karmaşık hale gelen ağ teknolojileri için gelişmiş yönlendirme protokolleri ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında en çok kullanılan EIGRP, OSPF ve RIP protokolleri performansı analiz edilmiştir. Bu protokollerin performans farklılıkları ve protokollerin uygun oldukları ağ yapıları ortaya çıkarılmıştır. Riverbed Modeller kullanarak farklı ağ topoloji oluşturulmuş ve protokollerin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Protokollerin farklı topolojide ve farklı veri hızlarında (1, 2, 4 ve 8 Mbps olmak üzere) davranışları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yönlendirme protokollerinin çalışabileceği optimum ağ sistemleri belirlenmiştir. Böylelikle ağ sistemlerinde çalışan yönlendirme protokollerinin belirlenmesine katkı sağlanmıştır. Elde edilen bulgular ve sonuçları özetlemesi açısından aşağıdaki tablo hazırlanmıştır.

Tablo 5.1. Yönlendirme protokollerinin genel karşılaştırılması

	RIPv1	RIPv2	EIGRP	OSPF	IS-IS
İç / Dış	İç	İç	İç	İç	İç
Tip	Mesafe Vektör	Mesafe Vektör	Hibrit	Bağlantı	Bağlantı
Varsayılan Metrik	Atlama Sayısı	Atlama Sayısı	Bant genişliği / Gecikme	Maliyet	Maliyet
İdari Mesafe	120	120	90 (İç) 170 (Dış)	110	115
Atlama Sayısı Sınırı	15	15	224 (100 Varsayılan)	Hiçbiri	Hiçbiri
Yakınsama Güncelleme Zamanlayıcıları	Yavaş 30 saniye	Yavaş 30 saniye	Çok hızlı Değişiklikte	Çok hızlı Değişiklikte	Çok hızlı Değişiklikte
Güncellemeler Sınıflandırılmamış	Tam tablo Hayır	Tam tablo Evet	Değişiklikte Hayır	Değişiklikte Evet	Değişiklikte Hayır
DUAM'yi destekler	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet
Algoritma	Bellman-Ford	Bellman-Ford	DUAL	Dijkstra	Dijkstra
Güncelleme Adresi	Broadcast	224.0.0.9	224.0.0.10	224.0.0.5 224.0.0.6	
Protokol ve Port	UDP portu, 520		IP protokol, 88	IP Protokol, 89	

KAYNAKLAR

- [1] Lin, Y. D., Hwang, R. H., & Baker, F. (2012). *Computer networks: an open source approach*. McGraw-Hill.
- [2] Bhat, L. A., Sudan, V., & Singh, K. P. (2013). Interior Gateway Protocols. *International Journal of Electronics & Communication Technology, IJECT Vol, 4, 75-78*.
- [3] Thorenoor, S. G. (2010, April). Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on technical background using OPNET modeler. In *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on* (pp. 191-195). IEEE.
- [4] Mills, D. L. (1984). *Exterior gateway protocol formal specification* (No. RFC 904).
- [5] Ohara, Y., Bhatia, M., Osamu, N., & Murai, J. (2003, January). Route flapping effects on OSPF. In *Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings. 2003 Symposium on* (pp. 232-237). IEEE.
- [6] Perkins, C. E. (2001). *Ad hoc networking* (Vol. 1). Reading: Addison-wesley.
- [7] Deering, S., & Hinden, R. (2017). *Internet protocol, version 6 (IPv6) specification* (No. RFC 8200).
- [8] Jalali, S. Y., Wani, S., & Derwesh, M. (2014). Qualitative Analysis and Performance Evaluation of RIP, IGRP, OSPF and EGRP Using OPNET™. *Advance in Electronic and Electric Engineering, 4(4), 389-396*.
- [9] Shah, A., & Rana, W. J. (2013). Performance Analysis of RIP and OSPF in Network using OPNET. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 10(6), 256*.
- [10] Fițișău, I., & Todorean, G. (2013, June). Network performance evaluation for RIP, OSPF and EIGRP routing protocols. In *Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2013 International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.

- [11] Lemma, E. S., Hussain, S. A., & Anjelo, W. W. (2010). Performance Comparison of EIGRP/IS-IS and OSPF/IS-IS.
- [12] Thorenoor, S. G. (2010, April). Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on technical background using OPNET modeler. In *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on* (pp. 191-195). IEEE.
- [13] Thorenoor, S. G. (2010, April). Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on technical background using OPNET modeler. In *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on* (pp. 191-195). IEEE.
- [14] Hinds, A., Atojoko, A., & Zhu, S. Y. (2013). Evaluation of OSPF and EIGRP routing protocols for ipv6. *International Journal of Future Computer and Communication*, 2(4), 287.
- [15] Vetriselvan, V., Patil, P. R., & Mahendran, M. (2014). Survey on the RIP, OSPF, EIGRP routing protocols. *IJCSIT international journal of computer science and information technologies*, 5(2), 1058-1065.
- [16] Xu, D., & Trajkovic, L. (2011). Performance analysis of RIP, EIGRP, and OSPF using OPNET.
- [17] Yehia, M. A., Aziz, M. S., & Elsayed, H. A. (2011). Analysis of IGP routing protocols for real time applications: a comparative study. *International Journal of Computer Applications*, 26(3).
- [18] Hinds, A., Atojoko, A., & Zhu, S. Y. (2013). Evaluation of OSPF and EIGRP routing protocols for ipv6. *International Journal of Future Computer and Communication*, 2(4), 287.
- [19] Krinpayorm, I., & Pattaramalai, S. (2012). Link Recovery Comparison Between OSPF & EIGRP. In *International Proceedings of Computer Science & Information Tech* (Vol. 27, pp. 192-197).
- [20] Wijaya, C. (2011, December). Performance analysis of dynamic routing protocol EIGRP and OSPF in IPv4 and IPv6 network. In *Informatics and Computational Intelligence (ICI), 2011 First International Conference on* (pp. 355-360). IEEE.
- [21] Narula, R., & Aggarwal, P. (2014). Performance Evaluation of RIP and OSPF in IPv6 using OPNET 14.5 Simulator. *International journal of technical research and applications*, 2(6), 37-41.
- [22] Krishnan, Y. N., & Shobha, G. (2013, March). Performance analysis of OSPF and EIGRP routing protocols for greener internetworking. In *Green High*

- Performance Computing (ICGHPC), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- [23] Dey, G. K., Ahmed, M. M., & Ahmmed, K. T. (2015, November). Performance analysis and redistribution among RIPv2, EIGRP & OSPF Routing Protocol. In *Computer and Information Engineering (ICCIE), 2015 1st International Conference on* (pp. 21-24). IEEE.
- [24] Archana, C. (2015). Analysis of RIPv2, OSPF, EIGRP Configuration on router Using CISCO Packet tracer. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume, 4*.
- [25] Gorantala, K. (2006). Routing protocols in mobile ad-hoc networks. A *Master thesis in computer science, pp-1-36*.
- [26] Royer, E. M., & Toh, C. K. (1999). A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks. *IEEE Personal Commun.*, 6(2), 46-55.
- [27] Dey, G. K., Ahmed, M. M., & Ahmmed, K. T. (2015, November). Performance analysis and redistribution among RIPv2, EIGRP & OSPF Routing Protocol. In *Computer and Information Engineering (ICCIE), 2015 1st International Conference on* (pp. 21-24). IEEE.
- [28] Crawley, E., Nair, R., Rajagopalan, B., & Sandick, H. (1998). *A Framework for QoS-based Routing in the Internet* (No. RFC 2386).
- [29] Verma, B., Singh, S., Singh, S., Dubey, S., & Dumka, A. (2015, March). Implementation and comparison of performance of various EGPs and IGPs with traffic management. In *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2015 2nd International Conference on* (pp. 1044-1047). IEEE.
- [30] Sathyaraj, B. M., Jain, L. C., Finn, A., & Drake, S. (2008). Multiple UAVs path planning algorithms: a comparative study. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 7(3), 257.
- [31] McCabe, J. D. (2010). *Network analysis, architecture, and design*. Elsevier.
- [32] Yang, Y., Wang, J., & Kravets, R. (2005, September). Designing routing metrics for mesh networks. In *IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh)* (pp. 1-9).
- [33] Vetrivelan, V., Patil, P. R., & Mahendran, M. (2014). Survey on the RIP, OSPF, EIGRP routing protocols. *IJCSIT) international journal of computer science and information technologies*, 5(2), 1058-1065.

- [34] Bratley, P., Fox, B. L., & Schrage, L. E. (2011). *A guide to simulation*. Springer Science & Business Media.
- [35] «Riverbed,» [Çevrimiçi]. Available :<https://support.riverbed.com/content/support/software.html>. Erişim Tarihi: 03.06.2018.
- [36] Lucio, G. F., Paredes-Farrera, M., Jammeh, E., Fleury, M., & Reed, M. J. (2003). OPNET modeler and NS-2: Comparing the accuracy of network simulators for packet-level analysis using a network testbed. *WSEAS Transactions on Computers*, 2(3), 700-707.
- [37] «Riverbed,» [Çevrimiçi]. Available: <https://splash.riverbed.com/thread/7473>. Erişim Tarihi: 05.06.2018.
- [38] Law A.M, “Simulation modeling and analysis,”4th edition, McGraw-Hill 2007.
- [39] Renata Teixeira, Jennifer Rexford, “Managing Routing Disruptions in Internet Service Provider Networks,” *IEEE Communications Magazine*, March 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Mahdi Ali Warsame, 01.01.1993'te Mogadişu'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Mogadişu'da tamamladı. 2009 yılında Al-anwar Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Somali'nin başkentinde bulunan Plasma Üniversitesi Bilgisayar Bilimler Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde eğitimi devam etmektedir.