
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

İKİ YÖNLÜ AKTİF ÖLÇÜM PROTOKOLÜ (TWAMP) KULLANARAK IP AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ

Kahraman ZAİM

YÜKSEK LİSANS
BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2017

Kahraman ZAİM tarafından hazırlanan "İki Yönlü Aktif Ölçüm Protokolü (TWAMP) Kullanarak IP Ağların Performans Analizi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi BİLİŞİM SİSTEMLERİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Hilal KAYA
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin POLAT
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Tez Savunma Tarihi: 19/06/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN
Bilişim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kahraman ZAİM
…/.../…..

İKİ YÖNLÜ AKTİF ÖLÇÜM PROTOKOLÜ (TWAMP) KULLANARAK IP AĞLARIN PERFORMANS ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kahraman ZAİM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

Haziran 2017

ÖZET

Gelişen internet altyapısının sunduğu hizmetler ile birlikte IP (Internet Protocol) ağlarda gerçek zamanlı multimedya uygulamalarının kullanımı da sürekli artmaktadır. Gerçek zamanlı ses ve görüntü hizmetlerinin kullanıcıların beklentilerini karşılaması açısından hizmet kalitesinin sağlanması servis sağlayıcılar için önem arz etmektedir. Bu nedenle servis sağlayıcıların sunduğu hizmetlerde ağın gecikme, jitter ve paket kaybı gibi servis kalitesi (QoS – Quality of Service) parametrelerinin doğru ve hassas bir şekilde ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Belirtilen parametreleri ölçmek için yaygın olarak kullanılan ICMP (Ping) protokolü istenilen derecede doğru ve hassas sonuçlar vermemektedir. Bu amaçla bu çalışmada, IP ağı QoS parametrelerinin ölçülmesi için İki Yönlü Aktif Ölçüm Protokolünün (Two-Way Active Measurement Protocol-TWAMP) kullanılması önerilmektedir. RFC5357 standardında tanımlı olan TWAMP, internet servis sağlayıcıların IP ağ altyapısındaki performans metrik ölçülebilirliğini tam anlamıyla sağlayan en son yöntemdir. Aktif ölçüm metoduna göre iki uç düğüm arasındaki gidiş-dönüş gecikmesi (Round Trip Delay - RTD), jitter ve paket kaybı parametreleri TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri ile ölçülmüş ve değerler karşılaştırılarak analizleri yapılmıştır. Ayrıca olası bir link saturasyon durumunda protokollerin ölçüm hassasiyetinin gözlemlenmesi amacıyla da aynı topolojideki linklerden bir tanesi sature edilmiş ve protokollere göre testler gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı yapılan test çalışmaları sonucunda multimedya haberleşmesi için önerilen TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinin servis sağlayıcıların hizmet kalitesini ölçmede uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu	:	92407
Anahtar Kelimeler	:	TWAMP, TWAMP-Light, ICMP (Ping), IP ağı performans ölçümü, aktif test yöntemi, DSCP
Sayfa Adedi	:	97
Danışman	:	Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK

PERFORMANCE ANALYSIS OF IP NETWORKS USING TWO-WAY ACTIVE MEASUREMENT PROTOCOL (TWAMP)

(M. Sc. Thesis)

Kahraman ZAIM

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF INFORMATICS

June 2017

ABSTRACT

In addition to the services provided by the emerging Internet infrastructure, the use of real-time multimedia applications in IP (Internet Protocol) networks is constantly increasing. Providing Quality of Service (QoS) is important for service providers in terms of real-time voice and video services to meet users' expectations. For this reason, accurate and precise measurements of quality of service parameters such as network latency, jitter and packet loss have to be made in the services provided by the service providers. The widely used ICMP (Ping) protocol to measure the specified parameters does not give accurate and precise results at the desired level. For this purpose, it is proposed to use the Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) for measuring the IP network QoS parameters. Defined in the RFC5357 standard, TWAMP is the ultimate way to fully measure the performance metrics of Internet service providers in the IP network infrastructure. Round Trip Delay (RTD), jitter and packet loss parameters measured with TWAMP, TWAMP-Light and ICMP (Ping) protocols according to the active measurement method and the values were compared and analyzed. In addition, one of the links in the same topology was saturated and tested according to the protocols in order to observe the measurement accuracy of the protocols in case of a possible link saturation. Real-time testing has shown that the TWAMP and TWAMP-Light protocols recommended for multimedia communications are convenient ways of measuring the service quality of service providers.

Science Code	:	92407
Key Words	:	TWAMP, TWAMP-Light, ICMP (Ping), performance measurement of IP networks, active monitoring method, DSCP
Page Number	:	97
Supervisor	:	Asst. Prof. Dr. Cemal KOÇAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Cemal KOÇAK'a, bu testin Türk Telekom test şebekesi üzerinde yapılabilmesi için destek veren ve inisiyatif alan Türk Telekomünikasyon A.Ş. Yetkililerine, testler esnasında verdikleri teknik destek ve cihaz desteği için Kron Telekomünikasyon Hizmetleri A.Ş. çalışanlarına, tüm hayatım boyunca desteğiyle, sabır ve sevgisiyle hep yanımda olan eşim Gönül ZAİM'e ve kendisine ayırmam gereken zamanı bilim için harcadığım ve biraz ihmal ettiğim afacan oğlum Kuzey ZAİM'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. İKİ YÖNLÜ AKTİF ÖLÇÜM PROTOKOLÜ (TWAMP) 5

2.1. TWAMP Mimarisi 5

2.1.1. TWAMP-kontrol 6

2.1.2. TWAMP-test 6

2.2. TWAMP Protokolüne Genel Bakış 7

2.3. TWAMP-Light Mimarisi 8

3. PERFORMANS ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ 11

3.1. Pasif Ölçüm Yöntemi 11

3.2. Aktif Ölçüm Yöntemi 11

3.2.1. Ping 12

3.2.2. Traceroute 12

4. IP AĞI PERFORMANS METRİKLERİ 13

4.1. Gidiş-Dönüş Gecikme (RTD) 13

4.2. Jitter 13

Sayfa

4.3. Paket Kaybı 14

5. AYRILMIŞ HİZMETLER KOD DEĞERİ (DSCP) 15

6. TWAMP PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLAR 17

6.1. Test Senaryosu 1 17

6.1.1. Normal şartlarda paket boyutu ve trafik sınıfına göre protokollere ait ölçüm sonuçları 18

6.1.2. Normal şartlarda trafik sınıfına göre protokol bazında ölçüm sonuçları 28

6.2. Test Senaryosu 2 35

6.2.1. Saturasyon durumunda paket boyutu ve trafik sınıfına göre TWAMP ve ICMP (Ping) protokol ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması 36

6.2.2. Saturasyon durumunda paket boyutu ve trafik sınıfına göre TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokol ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması 46

6.3. Test Paketlerinin Analizi 58

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 71

KAYNAKLAR 73

ÖZGEÇMİŞ 77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.1. DSCP bit – trafik tipi korelasyonu..... 16

Çizelge 6.1. 1 No'lu senaryo örnekleme tablosu 18

Çizelge 6.2. 2 No'lu senaryo örnekleme tablosu 35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. TWAMP Protokol Mimarisi 5

Şekil 2.2. TWAMP Protokol ve Temel Bileşenlerine ait Test Aşamaları 7

Şekil 2.3. TWAMP-Light Protokol Mimarisi 8

Şekil 3.1. ICMP (Ping) Mesajlaşması 12

Şekil 5.1. ToS Byte ve DSCP Biti Gösterimi 15

Şekil 6.1. 1 No'lu Senaryoya ait Test Topolojisi 18

Şekil 6.2. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri 19

Şekil 6.3. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri 19

Şekil 6.4. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri 20

Şekil 6.5. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri 21

Şekil 6.6. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri 21

Şekil 6.7. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri 22

Şekil 6.8. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri 23

Şekil 6.9. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri 23

Şekil 6.10. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri 24

Şekil 6.11. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri 25

Şekil 6.12. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri 25

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.13. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri 26

Şekil 6.14. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri 27

Şekil 6.15. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri 27

Şekil 6.16. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri 28

Şekil 6.17. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP protokolü RTD değerleri 29

Şekil 6.18. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP protokolü Jitter değerleri 30

Şekil 6.19. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ..... TWAMP protokolü Paket Kaybı değerleri 30

Şekil 6.20. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü RTD değerleri 31

Şekil 6.21. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü Jitter değerleri 32

Şekil 6.22. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü Paket Kaybı değerleri 32

Şekil 6.23. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü RTD değerleri 33

Şekil 6.24. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü Jitter değerleri 34

Şekil 6.25. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü Paket Kaybı değerleri 34

Şekil 6.26. 2 No'lu senaryoya ait test topolojisi 35

Şekil 6.27. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 36

Şekil 6.28. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 37

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.29. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri 38

Şekil 6.30. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 38

Şekil 6.31. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 39

Şekil 6.32. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri 40

Şekil 6.33. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 40

Şekil 6.34. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 41

Şekil 6.35. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri 42

Şekil 6.36. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 42

Şekil 6.37. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 43

Şekil 6.38. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri 44

Şekil 6.39. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 44

Şekil 6.40. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 45

Şekil 6.41. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri 46

Şekil 6.42. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 47

Şekil 6.43. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.44. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri .. 49

Şekil 6.45. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 49

Şekil 6.46. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 50

Şekil 6.47. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri .. 51

Şekil 6.48. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 51

Şekil 6.49. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 52

Şekil 6.50. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri .. 53

Şekil 6.51. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 53

Şekil 6.52. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 54

Şekil 6.53. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri .. 55

Şekil 6.54. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri 56

Şekil 6.55. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri 57

Şekil 6.56. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri .. 58

Şekil 6.57. ICMP (Ping) protokolünde Best Effort trafik sınıfına ait wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan 59

Şekil 6.58. ICMP (Ping) protokolünde Video trafik sınıfına ait wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan 60

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.59. ICMP (Ping) protokolünde Voice trafik sınıfına ait wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan 61

Şekil 6.60. TWAMP protokolü ile Best Effort (DSCP0:CS0) trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketine ait wireshark ekran görüntüsü 61

Şekil 6.61. TWAMP protokolü ile Best Effort (DSCP0:CS0) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 62

Şekil 6.62. TWAMP protokolü ile Video (DSCP34:AF41) trafik sınıfında gönderilen TCP Kontrol Paketine ait wireshark ekran görüntüsü..... 63

Şekil 6.63. TWAMP protokolü ile Video (DSCP34:AF41) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 64

Şekil 6.64. TWAMP protokolü ile Voice (DSCP46:EF) trafik sınıfında gönderilen TCP Kontrol Paketine ait wireshark ekran görüntüsü 65

Şekil 6.65. TWAMP protokolü ile Voice (DSCP46:EF) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 66

Şekil 6.66. TWAMP-Light protokolü ile best effort (DSCP0:CS0) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 67

Şekil 6.67. TWAMP-Light protokolü ile Video (DSCP34:AF41) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 68

Şekil 6.68. TWAMP-Light protokolü ile Voice (DSCP46:EF) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan 69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
ms	Milisaniye

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
DS	Differentiated Services (Ayrılmış Hizmetler)
DSCP	Differentiated Services Code Point (Ayrılmış Hizmetler Kod Değeri)
FIFO	First In, First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
FTP	File Transfer Protocol (Dosya Transfer Protokolü)
ICMP	Internet Control Message Protocol (İnternet Kontrol Mesaj Protokolü)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IETF	Internet Engineering Task Force (İnternet Mühendisliği Görev Grubu)
IP	Internet Protocol (İnternet Protokolü)
IPPM	IP Performance Metrics (IP Performans Metrikleri)
KPI	Key Performance Indicator (Anahtar Performans Göstergesi)
LTE	Long-Term Evoluation (Uzun Süreçli Evrim)
QoS	Quality of Service (Hizmet Önceliği)
OSI	Open Systems Interconnection Model (Açık Sistem Arabağlantı Modeli)

Kısaltmalar	Açıklamalar
OWAMP	One-Way Active Measurement Protocol (Tek Yönlü Aktif Ölçüm Protokolü)
PDV	Packet Delay Variation (Paket Gecikme Varyasyonu)
RTD	Round-Trip Delay (Gidiş-Dönüş Gecikme)
SLA	Service Level Agreement (Servis Seviye Antlaşması)
TCP	Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
TTL	Time-to-Live (Yaşam Süresi)
TOS	Type of Service (Servis Tipi)
TWAMP	Two-Way Active Measurement Protocol (İki Yönlü Aktif Ölçüm Protokolü)
UDP	User Datagram Protocol (Kullanıcı Datagram Protokolü)
VoIP	Voice over IP (IP üzerinden Ses)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
3G	Third Generation (Üçüncü Nesil)

1. GİRİŞ

Servis Kalitesi (QoS), bir kullanıcının ya da uygulamanın ağdan aldığı genel servis deneyimini tanımlamak için kullanılan geniş kapsamlı bir ifadedir. IP ağlarında veri trafiğinin haricinde özellikle ses ve video trafiğinin de yaygın olarak kullanılmaya başlamasından sonra daha da önem kazanmaya başlamıştır. Servis kalitesi uygulamasında asıl amaç, var olan bant genişliğinin en verimli şekilde kullanılabilmesine olanak tanımaktır. Bu kapsamda, internet servis sağlayıcılarının IP ağında uçtan-uca servis kalitesini sağlayabilmeleri için, ağ bileşenlerinin ağ üzerinden geçen veri akışına istikrarlı bir şekilde müdahalede bulunmasını sağlamaları gerekmektedir. Ayrıca servisler tasarlanırken servisin yüksek performans göstermesi ve kalite parametrelerinin ölçülmesi mutlaka yapılması gereken bir kriter haline gelmiştir. İhtiyaç duyulan servis kalitesinin sağlanmasında Gidiş-Dönüş Gecikme (Round-Trip Delay - RTD), Jitter ve Paket Kaybı gibi parametrelerin yönetilmesi, uçtan uca başarılı bir servis sağlanması anlamında kritik bir rol oynamaktadır. Hatta servis sağlayıcılar bir adım daha öteye giderek servis kalite parametrelerinin gerçekleşme değerlerini müşterilerine taahhüt olarak vermekte ve yoğun rekabet ortamında kendilerine katma değerli bir alan yaratmaktadırlar. Bu sebeple servis sağlayıcılarının belirli metotlarla servis kalitesi parametrelerini ölçmeleri gerekmektedir [1].

Servis kalitesi parametrelerinin ölçümünde kullanılan en yaygın ölçüm metodu ICMP (Ping) protokolüdür. Ping, hemen hemen tüm sistemler tarafından desteklenmektedir ve paket gönderimi için İnternet Kontrol Mesaj Protokolünü (Internet Control Message Protocol - ICMP) kullanmaktadır. ICMP paketleri bir sıra numarası içermekte olup gönderilen ve alınan paketlere zaman bilgisinin eklenmesi ile gidiş-dönüş gecikme süresi hesaplanmaktadır. ICMP (Ping), yaygın şekilde kullanılmakta olan bir ölçüm sistemi olmasına rağmen cihazlar üzerinde limitlenebilmekte ya da tamamen gelen paketler reddedilip cevap verilemeyebilmektedir. Bu durum da ölçüm yönteminin sınırlı olduğunu göstermektedir [2].

İki Yönlü Aktif Ölçüm Protokolü (Two-Way Active Measurement Protocol-TWAMP), Açık Sistemler Bağlantısı (Open Systems Interconnection-OSI) referans modelinin katman-3 protokollerini destekleyen ve herhangi iki cihaz arasında IP ağı performans değerlerini ölçmek için kullanılan yeni nesil bir ölçüm metodudur. İnternet servis sağlayıcıları veya ağ

operatörlerinin sunmuş oldukları IP hizmetleri servis kalitesinin ölçülmesi ve müşterilere Hizmet-Seviye Anlaşması (Service-Level Agreement - SLA) taahhütlerinin verebilmesi adına IP ağı performansının ölçülmesi her geçen gün büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde ses ve video gibi multimedya hizmetlerinin önem kazanması nedeniyle operatör ve servis sağlayıcıları tarafından IP ağı iletim performans değerlerinin daha hassas ölçülmesi gerekmektedir. Özellikle ses ve video paketlerinin gerçek zamanlı olarak iletilmesi ve bunların ağ içerisindeki problemlerden çabuk etkilenmesi nedeniyle performans metriklerinin uçtan uca kapsamlı ve sürekli olarak izlenmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ölçümlemeler için ortaya atılan ve son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan en son teknoloji TWAMP protokolüdür [3].

Literatürde, IP ağı performans değerlerinin ölçümünde TWAMP ve TWAMP-Light yeni nesil performans ölçüm protokollerinin kullanılması ile ilgili ve gerçek zamanlı çok fazla sayıda uygulama bulunmamaktadır. Bu ölçüm metodunun son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanması nedeniyle günümüze kadar ortaya atılan çalışmalar daha çok teorik olarak kalmıştır.

Backström'ün 2009 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında bazı özel simülatörlerle OWAMP (One-Way Active Measurement Protocol), TWAMP ve Ping için iki nokta arasında IP ağı performans ölçümleri yapılmış ve çıkan değerler kıyaslanmıştır [3]. Ayrıca aktif ölçüm yönteminin ne şekilde uygulandığından bahsedilmiştir. Yapılan çalışma sonunda TWAMP uygulamasının ağ performans metriklerinin ölçülmesinde ne derece önemli olduğu gösterilmiştir.

Soumyalatha ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada TWAMP protokolü ile IP Kablosuz ağın performansı ölçülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir [4]. Bu çalışma için WIFI ve 3G ağları kullanılmış, mobil telefon üzerine kurulan TWAMP Client ve Server uygulamaları ile testler yapılmış ve performans metriklerine ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

H-Log QOS Telekomünikasyon şirketinin hazırlamış olduğu dokümanda (Whitepaper) [2] TWAMP protokolünün avantajlarından bahsedilmiştir. Ayrıca ölçülebilir KPI'lar (Key Performance Index) ve KPI'ların TWAMP, OWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre ölçüm doğruluk derecesi karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, IP ağında iki nokta arasındaki performans değerleri TWAMP ve TWAMP-Light gibi aktif test yönteminde kullanılan yeni nesil performans ölçüm protokolleri ile ölçümlenmiş ve geleneksel aktif ölçüm metodu olan ICMP (Ping) protokolü ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca saturasyon durumunda protokollerin ölçüm hassasiyetlerinin gözlemlenmesi için aynı topoloji üzerindeki bir port sature edilmiş ve testler tekrardan yapılmıştır. Performans ölçümünde önem arz eden üç ana performans metriği olan Gidiş-Dönüş Gecikmesi (Round-Trip Delay - RTD), Jitter ve Paket Kaybı metrikleri ele alınmıştır. Testlerde Best Effort, Ses ve Video trafik sınıflarında 64, 128, 256, 512 ve 1024-byte'lık test paketleri kullanılmıştır. Çalışma sonunda TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri ile yapılan testlere ait Wireshark [5] çıktıları alınmış ve bu çıktılardaki önemli parametrelerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Özellikle video ve ses trafik sınıfında gönderilen test paketlerine ait paket kaybı ölçüm sonuçlarının TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinde daha hassas olarak ölçüldüğü görülmüştür. Önerilen protokol ölçümleri için IP ağındaki iki uç düğüme sanal trafik üreten probe cihazları yerleştirilmiş ve bir noktadan diğer noktaya doğru probe'lar tarafından test paketleri gönderilmiştir.

Bu çalışmanın 2. Bölümde yeni nesil IP performans ölçüm yöntemleri olan TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri, mimarisi, bileşenleri ve çalışma yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. 3. bölümünde ise performans ölçüm yöntemleri tanımlanmış ve özelliklerinden bahsedilmiştir. 4. bölümde bir IP ağında ölçülmesi gereken temel performans metrikleri ele alınmıştır. 5. Bölümde testlerde kullanılan Ayrıştırılmış Hizmetler Kod Değeri (Differentiated Service Code Point - DSCP) trafik sınıflarının neler olduğu bilgisi verilmiştir. 6. bölümde TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) testleri için kullanılan test topolojisi ve detayları ele alınmış olup çalışmaya ait ölçüm sonuçları ve kıyaslanan verilere ait istatistiklere de yer verilmiştir. Ayrıca testlerde kullanılan trafik sınıflarının doğrulanması, Wireshark ekran çıktıları ile sağlanmıştır. 7. ve son bölümde ise çalışma sonuçları değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

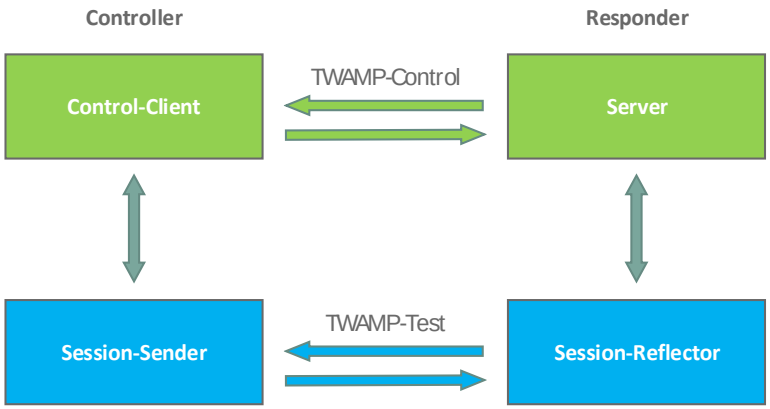
2. İKİ YÖNLÜ AKTİF ÖLÇÜM PROTOKOLÜ (TWAMP)

İki Yönlü Aktif Ölçüm Protokolü (TWAMP), IETF IP Performans Metrik Ölçüm (IETF IP Performance Metrics – IPPM) çalışma grubu tarafından Ekim 2008'de doküman haline getirilmiş olan yeni nesil IP performans ölçüm protokolüdür. TWAMP, son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan popüler bir ölçüm metodudur [6-12]. Bu protokol ile iki-yönlü IP performans metrikleri elde edilmektedir. Mimarisi OWAMP protokolü üzerine kurulu bir yapı olup belirli bir IP ağı içerisinde iki nokta arasındaki ağ performansını ölçmektedir. Ölçümler gidiş-dönüş yönünde ve TWAMP protokol kurallarına göre yapılmaktadır. Ölçüm yapılan IP ağı, kablolu ya da kablosuz bir ağ olabilmektedir [12].

OWAMP protokolünde tek yönlü performans metriklerinin ölçümü yapılabilirken, TWAMP'ta ise iki-yönlü olarak gidiş-dönüş ölçüm metrikleri ve özellikleri kullanılmış olup OWAMP metodu ve mimarisine eklenmiştir [8, 13, 14]. TWAMP ile iki yönlü gidiş-dönüş yönünde performans ölçümlerinin yapılabiliyor olması nedeniyle saat senkronizasyon ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Bu özellik, TWAMP protokolüne artı bir özellik sağlamaktadır [15].

2.1. TWAMP Mimarisi

TWAMP protokolü, birbiri ile ilişkili TWAMP-Kontrol ve TWAMP-Test olmak üzere iki protokolden oluşmaktadır. Şekil 2.1'de TWAMP protokolünün genel mimarisi gösterilmiştir [3, 6, 7, 8, 10, 11, 16].



Şekil 2.1. TWAMP protokol mimarisi

Pratikte, Control-Client ve Session-Sender rolleri tek host üzerinde “Controller” olarak uygulanmakta iken Server ve Session-Reflector rolleri ise diğer host üzerinde “Responder” olarak uygulanmaktadır. Bu model, Full-TWAMP protokol mimarisini desteklemektedir [6, 8, 10, 15].

2.1.1. TWAMP-Kontrol

TWAMP-Kontrol protokolü, test oturumlarını tetikleyen, başlatan ve durduran protokoldür. İki uç nokta arasında performans izleme oturumlarının başlamasına olanak sağlamaktadır. “Control-Client” ve “Server” olmak üzere iki alt bileşeni bulunmaktadır [3, 4, 6, 7, 10, 11].

Control-Client, TWAMP-Test oturumlarını başlatan ve durduran ağ düğümüdür [3, 4, 6, 7, 8, 10, 11]. Server ise aynı ya da farklı istemcilerden gelecek olan bir veya birden fazla test oturumunu yöneten bir ağ düğümüdür. Oturum başına uç noktaları konfigüre etme kabiliyetine sahiptir [4]. Oturum kurulabilmesi için TCP protokolü kullanılmakta olup genellikle tercih edilen port ise TCP 862. porttur. Bu bölüm içerisinde oturum başlatma ve sonlandırma için “Request-TW-Session”, “Start-Session” ve “Stop-Session” komutları kullanılmaktadır [15-17].

2.1.2. TWAMP-Test

TWAMP-Test protokolü, bir ağ içerisinde iki nokta arasındaki performans metriklerini hesaplamak için test paketlerinin değiş tokuşunu sağlayan protokoldür. Test paketlerinin gönderiminde UDP protokolü kullanılmaktadır. TWAMP-Test protokolünde Unauthenticated, Authenticated ve Encrypted olmak üzere üç ayrı mod bulunmaktadır [10, 15]. Bu protokol, “Session-Sender” ve “Session-Reflector” olmak üzere iki alt bileşene sahiptir. Session-Sender, test süresince Session-Reflector tarafına gönderilen ve alınan ileti ya da bilgi test paketlerini alan ağ düğümüdür. Ölçüm verilerini alma ve control-client bölümüne sonuçları gönderme işlevini yerine getirir. Ayrıca, Session-Reflector tarafından iki-yönlü metrikleri ölçmek için iletilen bilgileri toplar ve kaydeder [4].

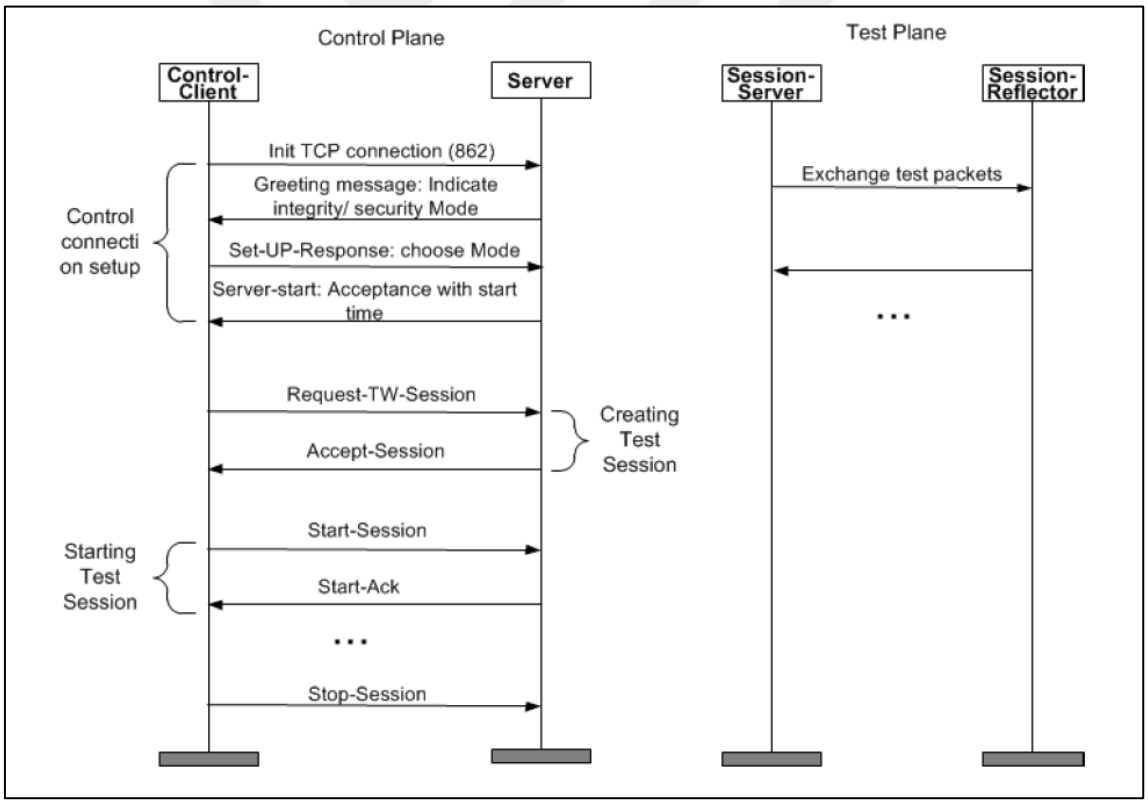
Session-Reflector ise Session-Sender tarafından gönderilen test paketlerinin yalın bir şekilde geri gönderilmesini sağlayan bir ağ düğümüdür. Kaynak IP adres, hedef IP adres, kaynak UDP port ve hedef UDP port konbinasyonlarına sahip olan birden fazla test oturumunu,

Session-Reflector ile birbirinden ayırt edebilmek mümkündür. OWAMP protokolündeki karşılığı "Session-Receiver" protokolüdür. Session-Receiver fonksiyonunun aksine bu bölümde herhangi bir paket bilgisi toplanmaz. Gönderilen ve alınan test paketleri için aynı UDP portları kullanılmaktadır [3, 6, 7, 8, 15, 17].

TWAMP-Test protokolünde Session-Sender ve Session-Reflector aşamalarında gönderilen ve alınan test paketlerine ait ilgili DSCP alanları aynı kod ile kodlanmalıdır [17-20].

2.2. TWAMP Protokolüne Genel Bakış

TWAMP-Kontrol ve TWAMP-Test protokollerinin test aşamaları aşağıda belirtildiği ve şekil 2.2'de gösterildiği biçimde gerçekleşmektedir [6, 7].



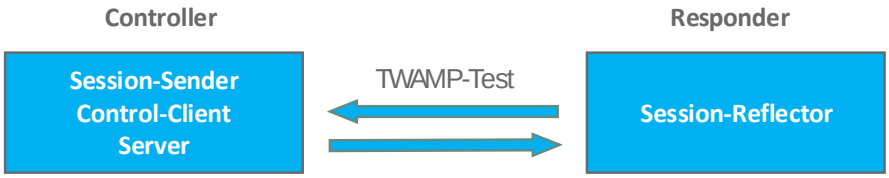
Şekil 2.2. TWAMP protokol ve temel bileşenlerine ait test aşamaları

- Control-Client, TWAMP'a ait en iyi bilinen portu üzerinde TCP bağlantısını başlatır. Bu port genellikle TCP 862. porttur. Server tarafı ise açılan bağlantı üzerine bir "Greeting" yanıtı döner ve aynı zamanda desteklediği modları belirtir. Bu modlar "Unauthenticated, Authenticated, Encrypted" modlarıdır.

- Control-Client, haberleşeceği mod bilgisi ile cevap verir. Server ise isteği kabul edip etmediğini belirtir. Aynı zamanda çalışmaya başladığı zaman bilgisini döner. Bu aşamada TWAMP-Control bağlantısı kurulmuş olur.
- Control-Client, tekil bir TWAMP-Control mesajı ile birlikte bir test oturumu isteğinde bulunur. Server da kabul ettiğini ve desteklediği bilgileri cevap olarak döner. Birden fazla test oturumu protokol içindeki ek mesajlar ile gerçekleştirilebilir.
- Control-Client, lokalde boş bir UDP portu arar. Bulunca ilgili portu dinlemeye geçer. Server tarafına "Request Session" paketi ile hangi UDP portunu dinlediğini hangi remote (uzak) UDP portuna göndermeyi tercih ettiğini, padding uzunluğunu, ilk paketi ne zaman göndereceğini, DSCP değeri olarak ne kullanacağı bilgilerini gönderir.
- Control-Client, "Start-Session" mesajı ile istekte bulunulan tüm testleri başlatır ve Server bilgilendirilir.
- Sonraki adımda Session-Sender ve Sesssion-Reflector, her bir aktif test oturumu için TWAMP-Test protokolüne göre test paketlerini değiş tokuş eder.
- Control-Client, test parametreleri doğrultusunda haberleşen portlara göre UDP test paketlerini göndermeye ve gelen sonuçları işlemeye başlar.
- Tüm paketler cevaplandığında Control-Client tüm test oturumlarını durdurmak için TCP portu üzerinden "Session-Stop" mesajı gönderir ve portu kapatır.
- Son aşamadan sonra Control-Client tarafından test sonuçları analiz edilir.

2.3. TWAMP-Light Mimarisi

TWAMP-Light, basit bir TWAMP protokolü mimarisi ile tasarlanmış ve uygulanması kolay olan bir versiyonudur. Şekil 2.3'te TWAMP-Light protokolüne ait mimari gösterilmektedir.



Şekil 2.3. TWAMP-Light protokol mimarisi

Protokol için "Conroller ve Responder" olarak iki ayrı kullanıcı uygulanmıştır. "Controller" kısmı "Client" tarafını ifade etmekte olup Server, Control-Client ve Session-Sender rollerinin yapılanmasından oluşmaktadır. "Responder" kısmı ise Session-Reflector işlevi

görmektedir. Test oturumları standart olmayan modelde kurulmakta ve TWAMP-Test paketleri değiş tokuş edilmektedir [3, 5, 6, 8, 21]. Protokolde, herhangi bir kontrol oturumu ve el sıkışması gerçekleşmemektedir. TWAMP-Client tarafı test paketlerini üreterek UDP protokolü ile "Responder" tarafına göndermektedir. Bu iletim için default olarak UDP 862. portu kullanılmaktadır [6-8].

Full-TWAMP modelindeki TWAMP-Test protokol aşamasında olduğu gibi TWAMP-Light test aşamasında da Session-Sender ve Session Reflector arasında gönderilen ve alınan test IP paketi içerisindeki DSCP alanları aynı kod ile işaretlenmedir [18].

3. PERFORMANS ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

IP ağları performans ölçümünün servis sağlayıcılar ve müşteriler için kritik bir önemi vardır. IP ağlarının performansını ölçmek ve gözlemlemek için kullanılan iki adet temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar, aktif ölçüm yöntemi ve pasif ölçüm yöntemidir. Performans ölçümünde genellikle dikkate alınan ölçüm parametreleri bant genişliği, gecikme, jitter ve paket kaybıdır [22, 23].

3.1. Pasif Ölçüm Yöntemi

Pasif ölçüm yöntemi; gerçek trafiğin dinlenmesi, farklı bir yere aktarılması, analiz edilmesi ve yorumlanması tekniklerinden faydalanılan bir performans ölçüm yöntemidir. Herhangi bir ekstra trafik üretimi gerektirmeksizin veri istatistikleri toplanabilmekte ve yorumlanabilmektedir. Bu ölçüm yönteminde elde edilen sonuçlar tamamen son kullanıcı deneyimini işaret etmekte ve ölçüm sonuçları çok daha doğru sonuçlar vermektedir. Ancak, dinlenen ve direkt olarak kopyalanan trafik boyutunun çok büyük olması ve ciddi oranda depolama alanına ihtiyaç olması önemli bir durum teşkil etmektedir. Ayrıca, veri büyüklüğünün yanı sıra özel bilgilere ulaşılması yani gizlilik durumunun ihlal edilmesi nedenleriyle ölçüm yöntemi daha az tercih edilen bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [24, 25].

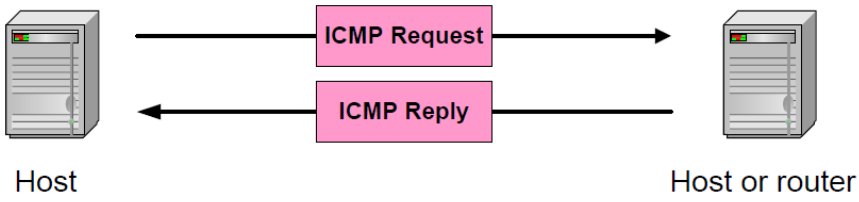
3.2. Aktif Ölçüm Yöntemi

Bir diğer IP ağı performans ölçüm yöntemi olan ve çalışmada kullanılan Aktif Ölçüm Yönteminde ise, trafik üreteçleri tarafından üretilen sanal trafiğin analiz edilmesi ve IP performans değerlerinin elde etmesi söz konusudur [12, 14, 23, 25]. Pasif ölçüm yönteminin aksine, normal bir trafik akışında ekstra bir bant genişliği işgal etmesi nedeniyle ölçüm senaryosunun iyi planlanması gerekmektedir. Aktif ölçüm yöntemiyle performans ölçümleri yapabilmek için çok büyük kapasitede depolama alanına ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü test paketleri, sadece zaman bilgisi (timestamp) ve az miktarda yük (payload) içeren küçük boyutta UDP alanlarına sahiptir. Ayrıca test paketlerinin içeriğinde herhangi bir özel bilgi olmaması nedeniyle gizlilik ilkesi açısından bir problem teşkil etmemektedir. Tüm test paketleri tamamen sanaldır. Bu sanal test paketleri ile elde edilen performans metrikleri

gecikme, jitter ve paket kaybı metrikleridir. En çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan IP performans aktif ölçüm yöntemi araçları ise Ping ve Traceroute'dur [23].

3.2.1. Ping

Ping, yaygın olarak bilinen ve kullanılan bir aktif performans ölçüm yöntemidir. Hemen hemen tüm işletim sistemleri tarafından desteklenmektedir. Ping, 1983 yılında Mike Muuss tarafından yazılan bir program olup, bilgisayarınızdan çıkan bir verinin karşıdaki sunucuya iletilme süresini gösterir. Genellikle kaynak ve hedef uç arasındaki yolun kullanılabilirliğini ve RTD süresini ölçmek için kullanılmaktadır. Paket gönderimi için Internet Control Message Protokolünü (ICMP) kullanmaktadır. Kaynak donanım IP'sinden hedef ekipman IP' sine doğru gönderilen "ICMP echo-request" mesajına hedef ekipman tarafından "ICMP echo-reply" cevabı gönderilmektedir. ICMP paketler bir sıra numarası içermekte olup gönderilen ve alınan paketlere zaman bilgisinin eklenmesi ile RTD süresi hesaplanmaktadır [3, 25, 26]. Şekil 3.1'de ICMP (Ping) protokolü mesajlaşma şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.1. ICMP (Ping) mesajlaşması

Ping, cihazlar üzerinde limitlenebilir bir uygulamadır ve gelen paketler reddedilerek cevap gönderimi yapılamayabilir. Bu durum ölçüm yönteminin sınırlı olduğunu göstermektedir [3].

3.2.2. Traceroute

Traceroute, bir veri paketinin gönderilmek istenildiği adrese ulaşıncaya kadar gecen sürede, veri paketinin hangi hostlar üzerinden geçtiğini ve IP kaynak yönlendirme seçeneğinin hangisi olduğunu görmemizi sağlayan aktif ölçüm yöntemidir. IP başlığındaki TTL (time-to-live) alanını ve ICMP protokolünü kullanır. Ping ölçüm metodu gibi çok yaygın kullanılan ve birçok işletim sisteminin desteklemiş olduğu bir aktif ölçüm aracıdır [24, 27].

4. IP AĞI PERFORMANS METRİKLERİ

IP ağı performans ölçümünde dikkate alınan birçok metrik bulunmaktadır. Bu metriklerden en yaygın kullanılanları ise gecikme, jitter ve paket kaybı metrikleridir [28].

4.1. Gidiş-Dönüş Gecikme (RTD)

Gidiş-Dönüş Gecikme değeri, bir ileti veya bilgi paketinin kaynak donanım tarafından iletilmek istenen hedef ekipmana gönderilmesi ve tekrardan kaynak ekipmana doğru geri iletilmesi aşamalarında geçen süreyi ifade etmektedir. Bir paket, kaynak ekipmandan hedef ekipmana doğru iletimi sağlanırken zaman bilgisi (timestamp) ile işaretlenmektedir. Yine hedef ekipmandan geri iletilen paket de kaynak ekipmana ulaştığında zaman iletilen zaman bilgisi kaydedilmektedir. Paketin kaynak ekipman tarafından alınması ve gönderimi esnasında kaydedilen zaman bilgisi farkı, o pakete ait gidiş-dönüş gecikme süresini göstermektedir. Burada kaynak iletişimini başlatan bir bilgisayar, hedef noktası ise yine bir bilgisayar ya da iletiye cevap veren bir sistemdir. Genellikle milisaniye (ms) mertebesinde zaman dilimiyle ifade edilen bir metriktir. Eğer iletim esnasında paket kaybı söz konusu olur ise o paketin iletişimi için gidiş-dönüş gecikme değeri tanımsız olmaktadır. Kaynak ekipmana ait IP ağı veri gönderim hızı, verinin fiziksel iletim ortamı (bakır, fiber optik vb…), kaynak ve hedef ekipman arasındaki mesafe ve düğüm (node) sayısı, iletimin sağlandığı ortamın bant genişliği ve ortamdaki trafik miktarı gibi etmenler bir IP ağında gidiş-dönüş gecikme değerini etkileyen faktörlerdir [1, 3, 28-30].

4.2. Jitter

Jitter, IP ağı içerisinde gönderimi sağlanan paketler arasındaki gecikmelerin ağırlıklı ortalamasını ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle, aynı türden olan verilerin iletimi sırasında meydana gelen farklı gecikmeler arasındaki farklardır. IP ağlarında, bazı durumlarda, paketlerin belirli sıklıkta iletilmesi beklenir. Bu sıklığın bozulması da bir dalga bozulumu olarak kabul edilebilir. Jitter, başlı başına bir hizmet kalitesi konusudur ve daha çok kabul gören “Packet Delay Variation” (PDV) terimi altında kullanılmaktadır. Jitter değerinin, ses ve video gibi gerçek zamanlı ve gecikmeye duyarlı uygulamalar üzerinde önemli etkileri olabilir. Söz konusu gerçek zamanlı uygulamalar, paketleri sabit bir hızda almak isterler.

Varış hızı değişkenlik gösterdikçe uygulamanın performansı etkilenir. Gecikme değişiklikleri minimum seviyede olduğunda sorun yaşanmayabilir, ancak arttıkça uygulama kullanılamaz hale gelecektir [29, 31].

4.3. Paket Kaybı

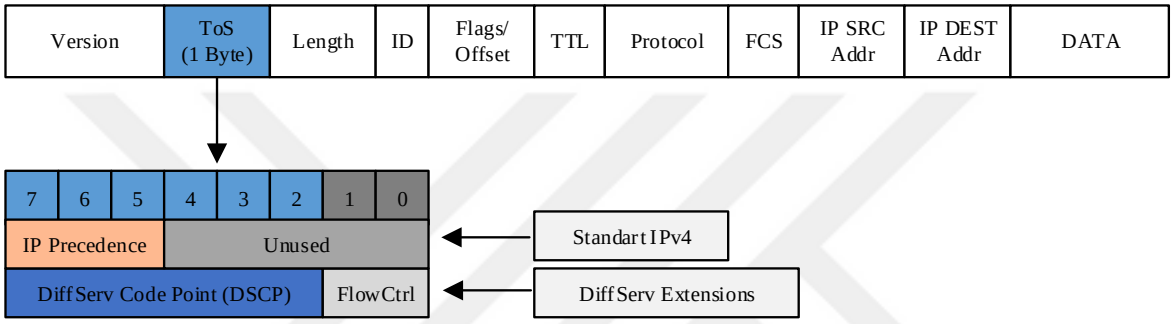
Paket kaybı, bir paketin ağ içerisinde iletilmek istenen noktaya başarılı bir şekilde iletilip iletilmediğini ifade eden performans metriğidir. Veri iletimi sırasında bazı paketlerin kaybolması, farklı yöne yönlendirilmeleri veya bozulması anlamına da gelmektedir. Paket kaybı oranı, hedef tarafta alınan paket sayısı ve gönderilen toplam paket sayısı verilerinden hesaplanmaktadır. Bu orandaki değerler hesaplanırken gönderimi sağlanan paketlerdeki başlık sıra numarası (header sequence number) kullanılmaktadır [1, 32].

$$Paket\ Kaybı\ Oranı\ (\%) = \left(1 - \frac{\text{Alınan Paket Sayısı}}{\text{Gönderilen Paket Sayısı}}\right) x100$$

Paket kaybı metriği servis kalitesi için en anlamlı metriklerden bir tanesidir. Çünkü VoIP, video vb. birçok gerçek zamanlı uygulama paket kaybına çok duyarlıdır ve paket kaybının uçtan uca belirli limitleri aşması durumunda servis ciddi derece etkilenebilmekte ve de kullanılmaz hale gelebilmektedir. Genellikle iki tür problem trafik kaybına neden olabilmektedir. Bunlar, iletim ağındaki tıkanıklık (congestion) ve verinin gönderildiği linkteki hatadır (link failure) [30].

5. AYRILMIŞ HİZMETLER KOD DEĞERİ (DSCP)

Ayrılmış Hizmetler Kod Değeri (The IP Differentiated Services Code Point–DSCP), ağ trafiğine farklı düzeylerde hizmet atanmasını sağlayan bir IP paketi alanıdır. Ağda, yönlendiriciler üzerinde her paket bir DSCP koduyla işaretlenir ve koda karşılık gelen hizmet düzeyi için paketler ayrıştırılarak gönderilir. Şekil 5.1.'de bir IPv4 paketinde Servis Tipi (Type of Service –ToS) byte alanı içerisinde bulunan DSCP bit'lerine ait gösterim bulunmaktadır [10, 11, 19, 20, 32].



Şekil 5.1. ToS byte ve DSCP bit gösterimi

Servis tipi alanı, IPv4 paketinin içerisindeki ikinci byte alanıdır. ToS byte'ının ilk üç biti IP Presedence bit'leri olarak geçmektedir. Yine aynı şekilde ToS byte'ının ilk altı biti ise DSCP bitleri olarak isimlendirilmektedir. Bu 6 bit ile paketin QoS'ı belirlenmektedir. QoS, ağların veri trafiğinin haricinde ses ve video iletimi amacıyla kullanılmaya başlamasından sonra önem kazanmış bir uygulamadır. QoS uygulamalarında asıl amaç var olan bant genişliğini en verimli şekilde kullanılabilmesine olanak sağlamaktır [24].

Best Effort - DSCP0 trafik sınıfı, QoS'in olmadığı durum olarak tanımlanmakta ve "kimin gücü yeterse" veya ilk giren ilk çıkar (First In First Out–FIFO) mantığıyla çalışmaktadır. FTP, internet, mail vb. paketler bu trafik sınıfında konfigüre edilir ise router üzerine geldiklerinde hepsinin aynı şartlarda gönderimi sağlanır. Yani bu paketlerin karşı tarafa ulaşıp ulaşmadığının bilgisi mevcut değildir. Öncelik taşıyan paketlerle iletildiklerinde büyük kayıplar olma olasılığı yüksektir [10, 11, 18-20].

Assured Forwarding– DSCP34 (Garantili İletim) trafik sınıfı, normal trafik içerisinde önceliklendirilmek istenen diğer trafikler için kullanılır. Video paketlerinin gönderimi için kullanılmaktadır. AFxy şeklindeki gösterimde; "x" harfi, trafiğin sınıfını (1, 2, 3, 4) ifade eder. "y" harfi ise, drop durumunu yani cihazın donanımı veya bant genişliği yetmezse,

paketin çöpe atılma önceliğini ifade eder. Drop değeri 1-3 arasındadır. En düşük değer "1" en iyisidir. İlk önce çöpe atılacak olan paket ise, drop değeri "3" olan pakettir [11, 18-21].

Expedited Forwaring–DSCP46 (Hızlandırılmış İletim) trafik sınıfı, genelde gerçek zamanlı ses paketlerini taşımak için kullanılır. Gerçek bir ağda, normal şartlar altında verilebilecek en yüksek öncelik değeridir [11, 18-21].

Çizelge 5.1'de DSCP bit'lerine ait trafik sınıflarını ve karşılıklarını ifade eden değerler gösterilmektedir [20, 28, 33].

Çizelge 5.1. DSCP bit – trafik tipi korelasyonu

Traffic	**DSCP PHB (per-hop behavior)**	**DSCP Binary**	**DSCP Decimal**
Less-than-best-effort Data (app1) Less-than-best-effort Data (app2) Less-than-best-effort Data (app3)	- - -	000010 000100 000110	2 4 6
Bronze-Data (Best Effort)	BE	000000	0
Silver-Data (app1) Silver-Data (app2) Silver-Data (app3)	AF11 AF12 AF13	001010 001100 001110	10 12 14
Gold-Data (app1) Gold-Data (app2) Gold-Data (app3)	AF21 AF22 AF23	010010 010100 010110	18 20 22
Voice-Control	AF31 AF32 AF33	011010 011100 011110	26 28 30
Video	AF41 AF42 AF43	100010 100100 100110	34 36 38
Voice	EF	101110	46

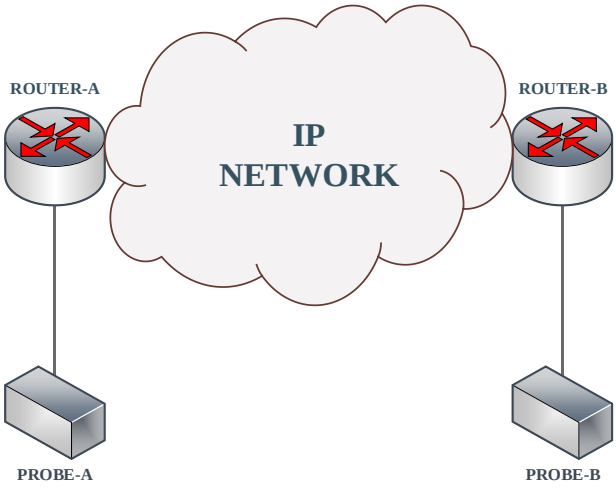
6. TWAMP PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLAR

IP dünyasındaki uygulamaların yaygınlaşması ve performans ölçümlerinin önem kazanması ile TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle gerçek zamanlı çalışan ses ve video servislerine ait performans parametrelerinin hassas olarak ölçülmesi ve servis kalitesinin raporlanması ön plana çıkmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında, test networkünde bulunan iki yönlendiriciye (router) direkt olarak bağlı olan ve sanal trafik üretme özelliği ile TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) gibi aktif ölçüm metotlarını destekleyen Kron marka probe cihazları kullanılmıştır. Çalışmada iki ayrı senaryo gerçekleştirilmiş olup TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait test sonuçları kıyaslanmıştır.

6.1. Test Senaryosu 1

Tez çalışmasının yapıldığı 1 nolu senaryoda, IP ağı içerisinde iki nokta arasındaki performans metrikleri TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre ölçülmüş ve test sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı ağda herhangi bir problem olmadığı ve testlerin normal şartlarda gerçekleştiği varsayılmıştır. Sanal trafik üreten Kron marka probe cihazları ilk önce TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerini destekleyecek şekilde ayarlanmış ve testler yapılmıştır. Sonrasında ise probe cihazları TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerini destekleyecek şekilde tekrardan ayarlanmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Probe cihazlarında eş zamanlı olarak TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinden bir tanesi ayarlanabildiğinden testler iki protokol için de ayrı zamanlarda ancak aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1'de çalışmaya ait topoloji bulunmaktadır.



Şekil 6.1. 1 No'lu senaryoya ait test topolojisi

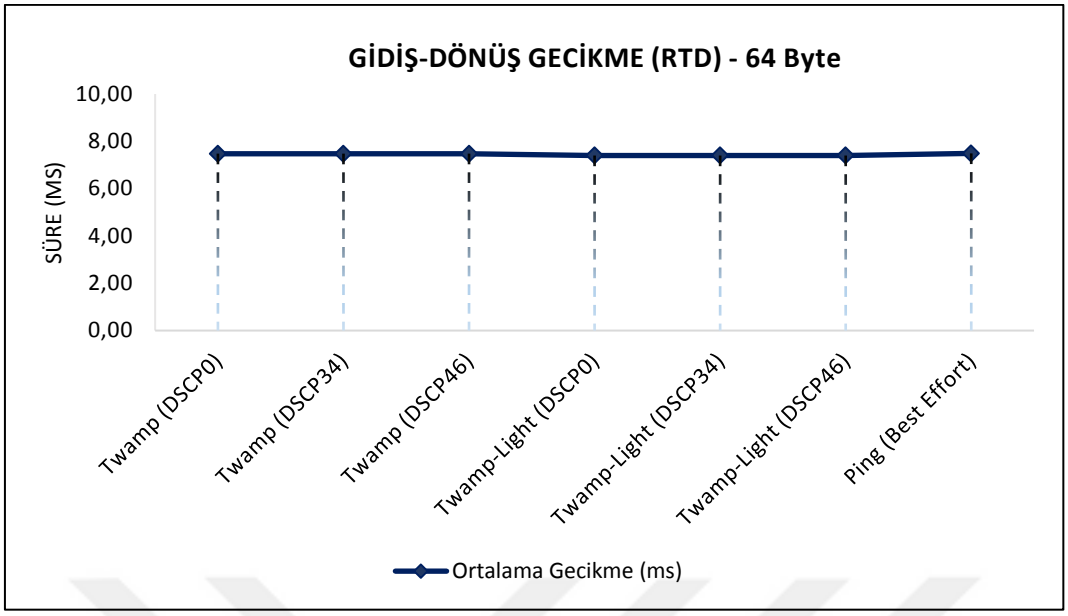
2. bölümde belirtilen TWAMP protokolü çalışma mimarisine göre; Probe A (controller), TWAMP test paketlerini Probe B'ye (responder) göndermekte ve Probe B'de paketlerini geri göndermektedir. Her paket gönderimi arasında 50 ms'lik bir gecikme bulunmaktadır. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping ölçüm metotları için gerçekleştirilen testlerde kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. 1 No'lu senaryo örnekleme tablosu

Test Örnekleme Sayısı	120.000
İki Paket Arası Gecikme (ms)	50
Test Paket Boyutu (byte)	64, 128, 256, 512, 1024

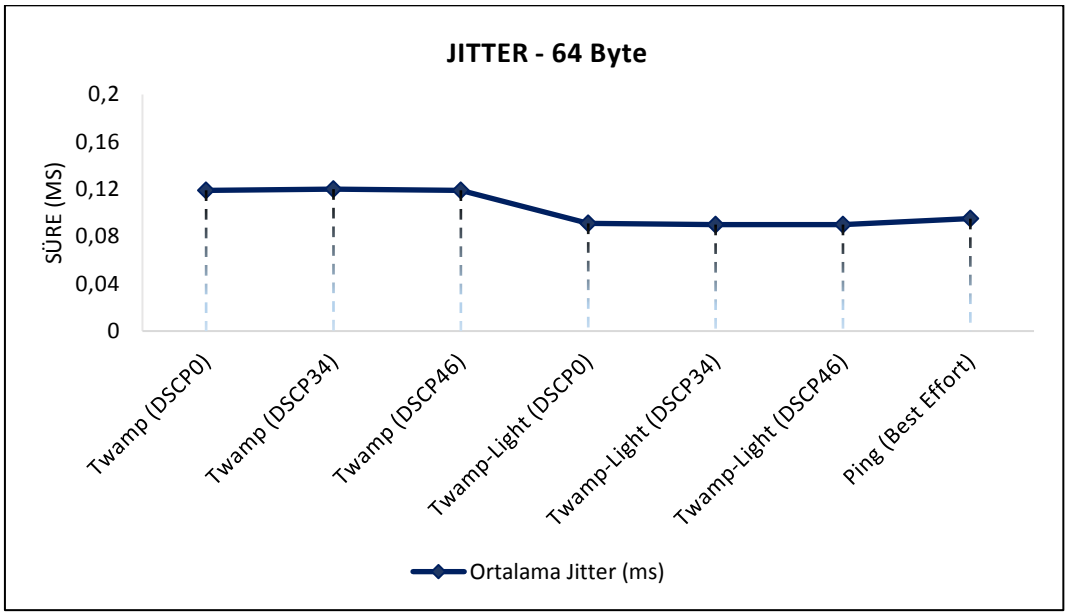
6.1.1. Normal Şartlarda Paket Boyutu ve Trafik Sınıflarına göre Protokollere ait Ölçüm Sonuçları

64-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 6.2'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



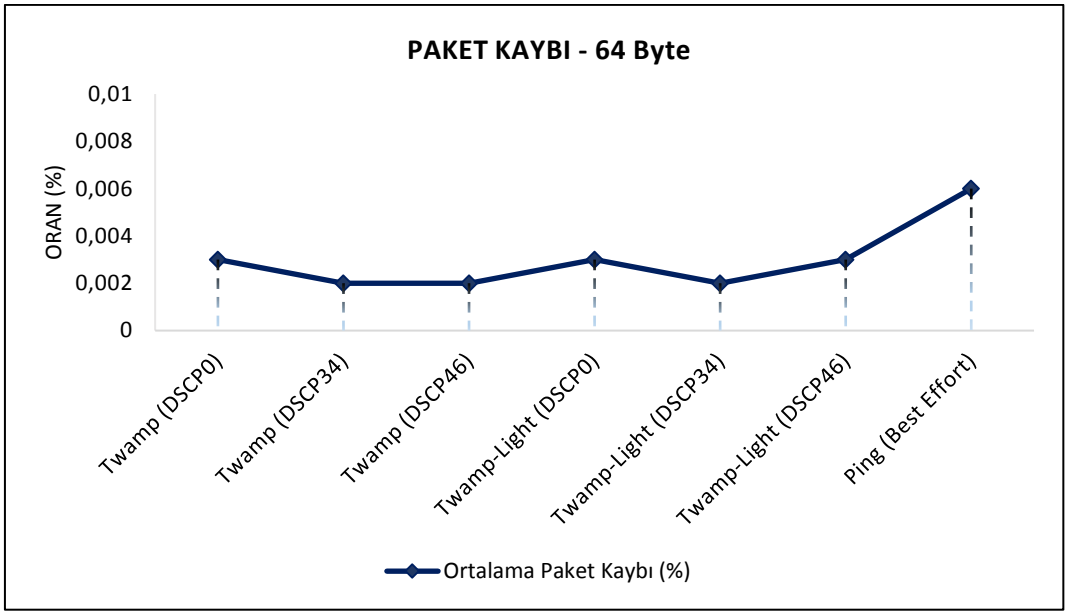
Şekil 6.2. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri

64-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.3'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



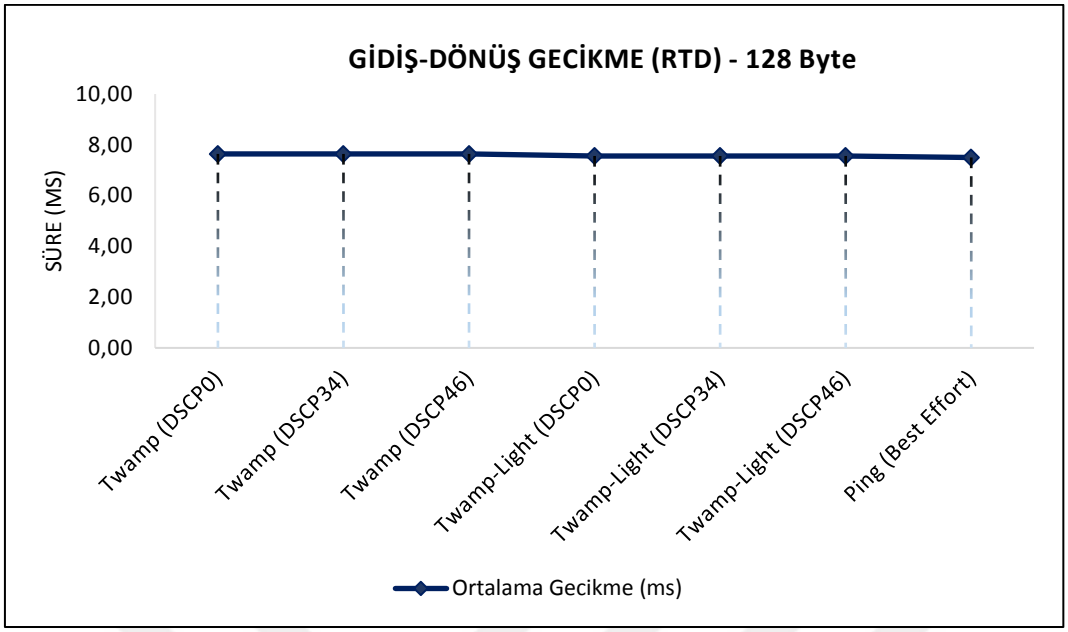
Şekil 6.3. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri

Şekil 6.4'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir. Paket kaybı değerleri için trafik sınıfına ve TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre farklı değerler elde edilmiştir. Trafik öncelik değeri yüksek olan Video (DSCP34) ve Voice (DSCP46) test paketlerindeki kayıpların Best Effort (DSCP0) trafik sınıfındaki test paketlerine göre daha az çıktığı görülmektedir. Ayrıca protokoller arası bir kıyaslama yapıldığında da TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde paket kaybı oranının daha düşük çıkması, bu iki protokolün ICMP (Ping) protokolüne göre daha sağlıklı ve hassas bir şekilde ölçüm yaptığını göstermektedir.



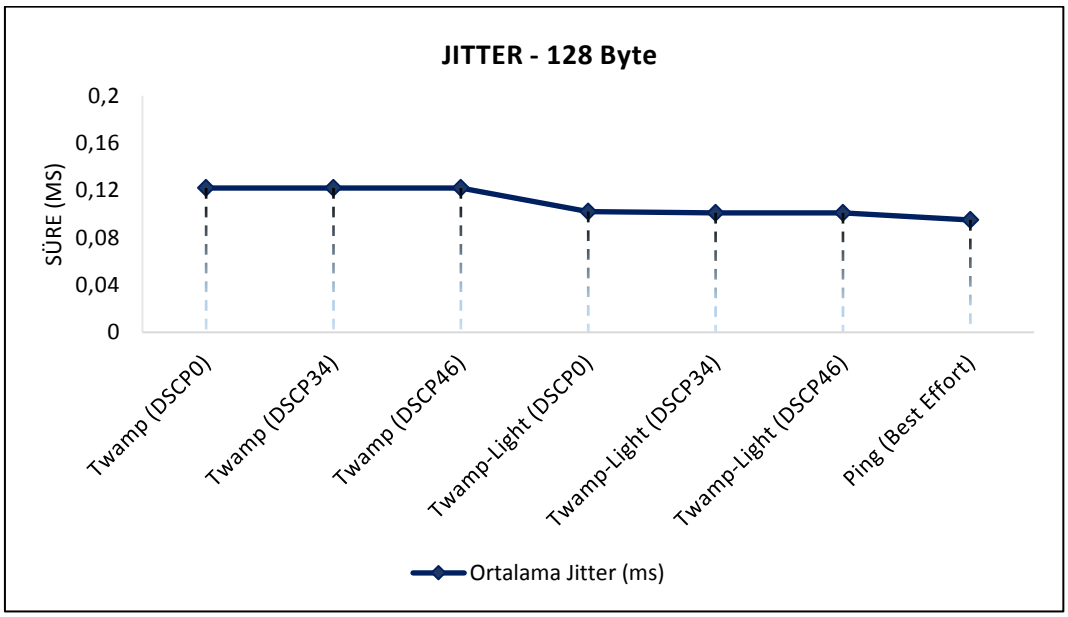
Şekil 6.4. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 64-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri

128-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 6.5'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



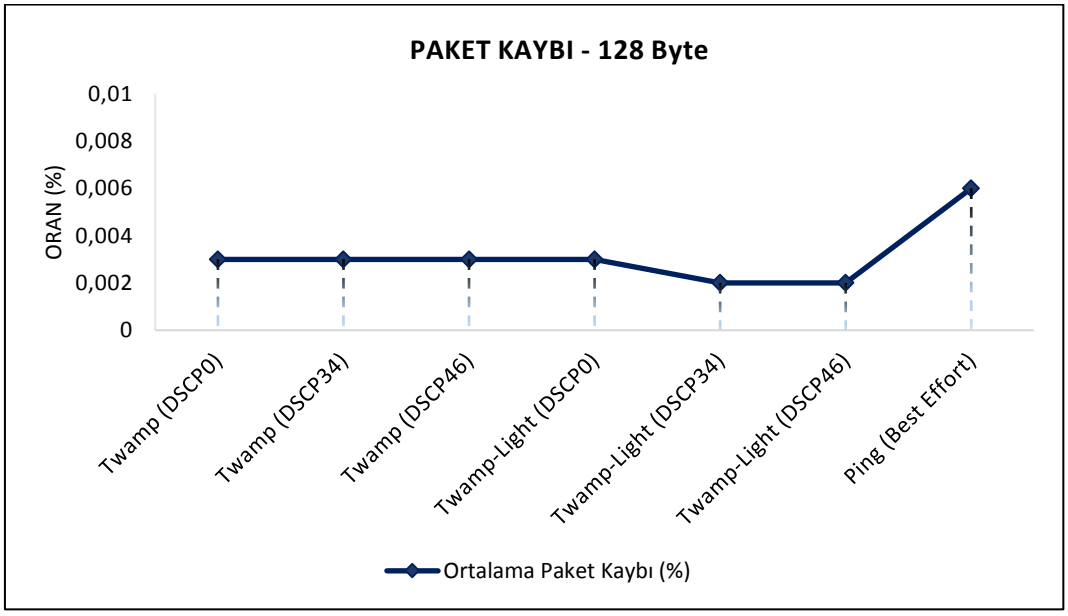
Şekil 6.5. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri

128-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.6'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



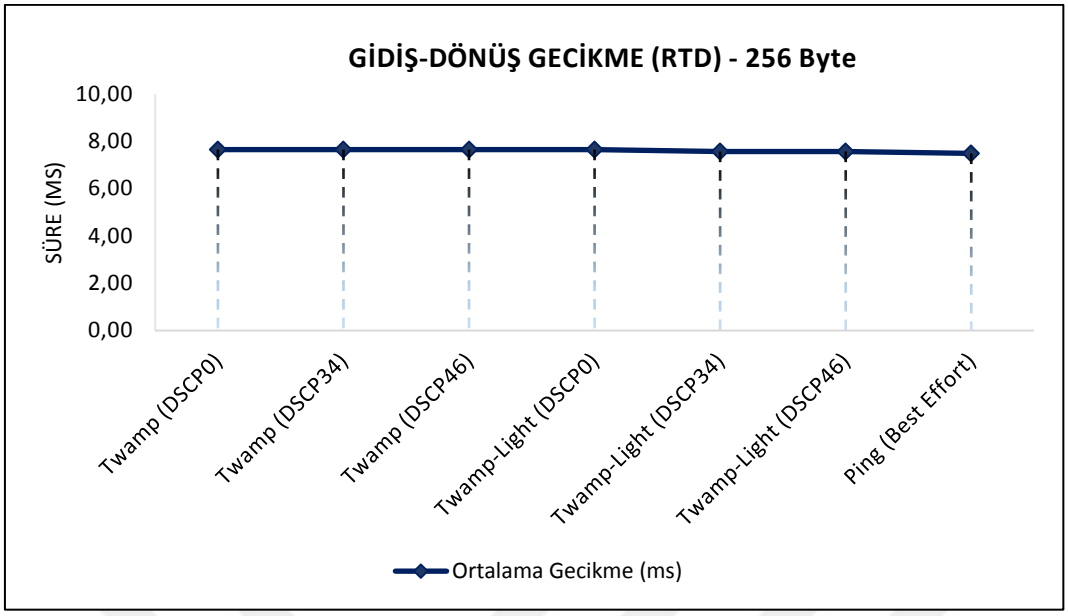
Şekil 6.6. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri

Şekil 6.7'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir. Paket kaybı değerleri için trafik sınıfına ve TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre farklı değerler elde edilmiştir. Trafik öncelik değeri yüksek olan Video (DSCP34) ve Voice (DSCP46) test paketlerindeki kayıpların Best Effort (DSCP0) trafik sınıfındaki test paketlerine göre daha az çıktığı görülmektedir. Ayrıca protokoller arası bir kıyaslama yapıldığında da TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde paket kaybı oranının daha düşük çıkması, bu iki protokolün ICMP (Ping) protokolüne göre daha sağlıklı ve hassas bir şekilde ölçüm yaptığını göstermektedir.



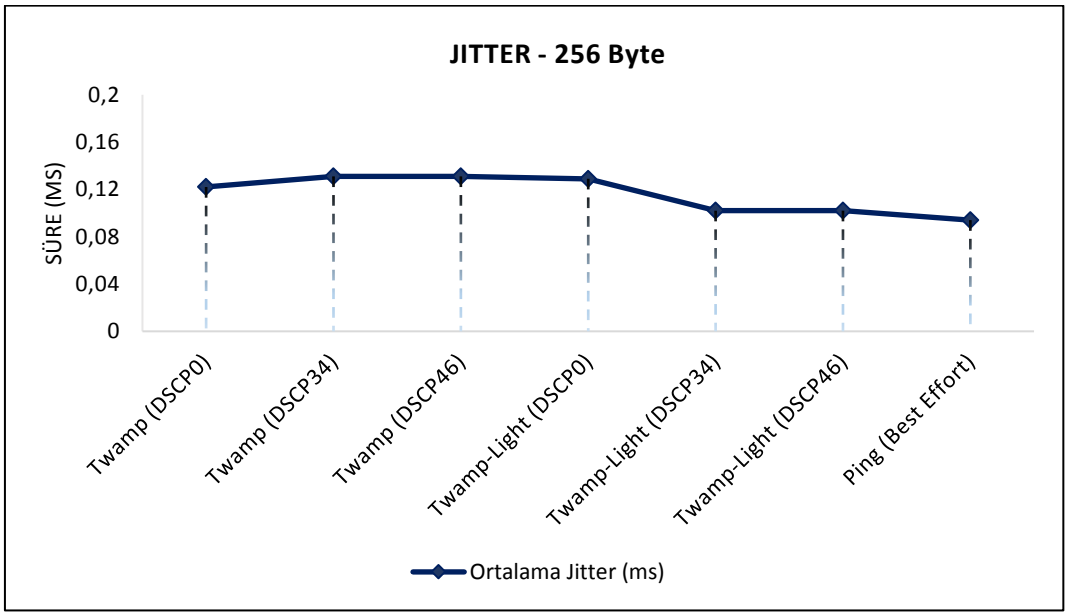
Şekil 6.7. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 128-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri

256-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 6.8'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



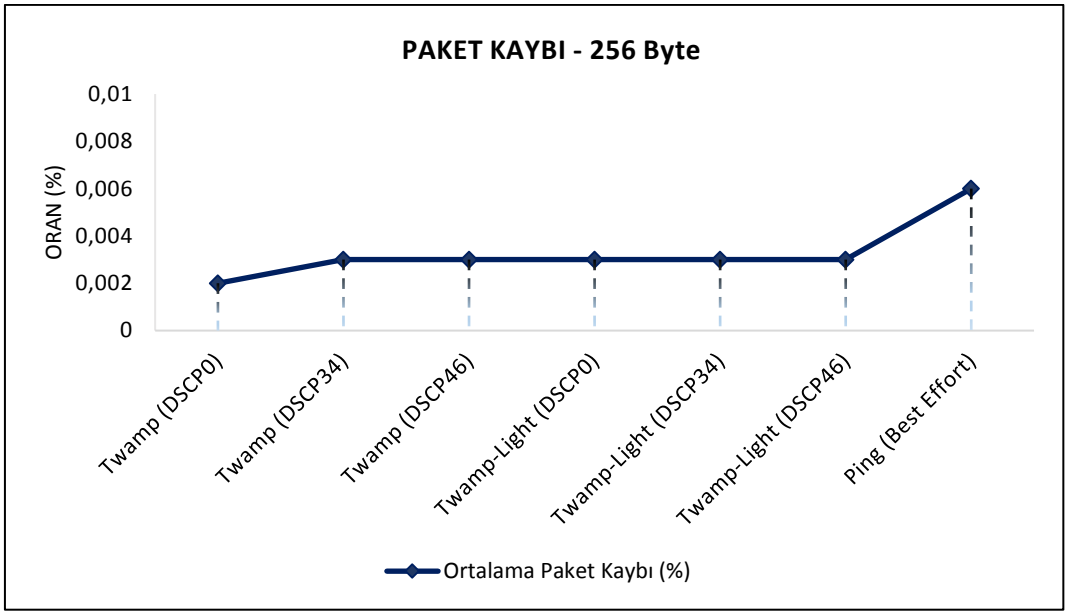
Şekil 6.8. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri

256-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.9'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



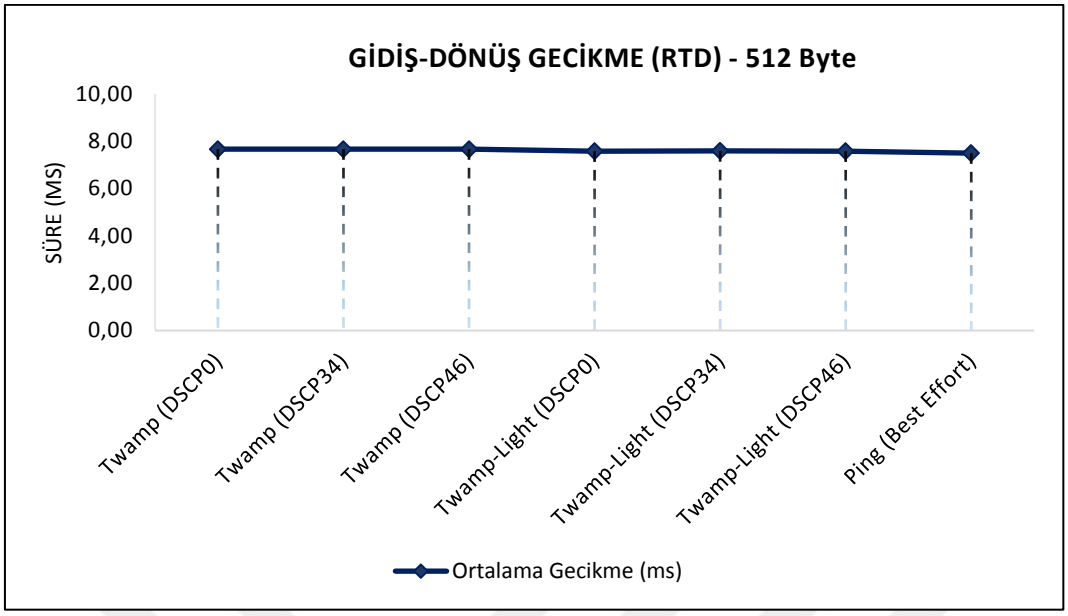
Şekil 6.9. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri

Şekil 6.10'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir. Paket kaybı değerleri için trafik sınıfına ve TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre farklı değerler elde edilmiştir. Trafik öncelik değeri yüksek olan Video (DSCP34) ve Voice (DSCP46) test paketlerindeki kayıpların Best Effort (DSCP0) trafik sınıfındaki test paketlerine göre daha az çıktığı görülmektedir. Ayrıca protokoller arası bir kıyaslama yapıldığında da TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde paket kaybı oranının daha düşük çıkması, bu iki protokolün ICMP (Ping) protokolüne göre daha sağlıklı ve hassas bir şekilde ölçüm yaptığını göstermektedir.



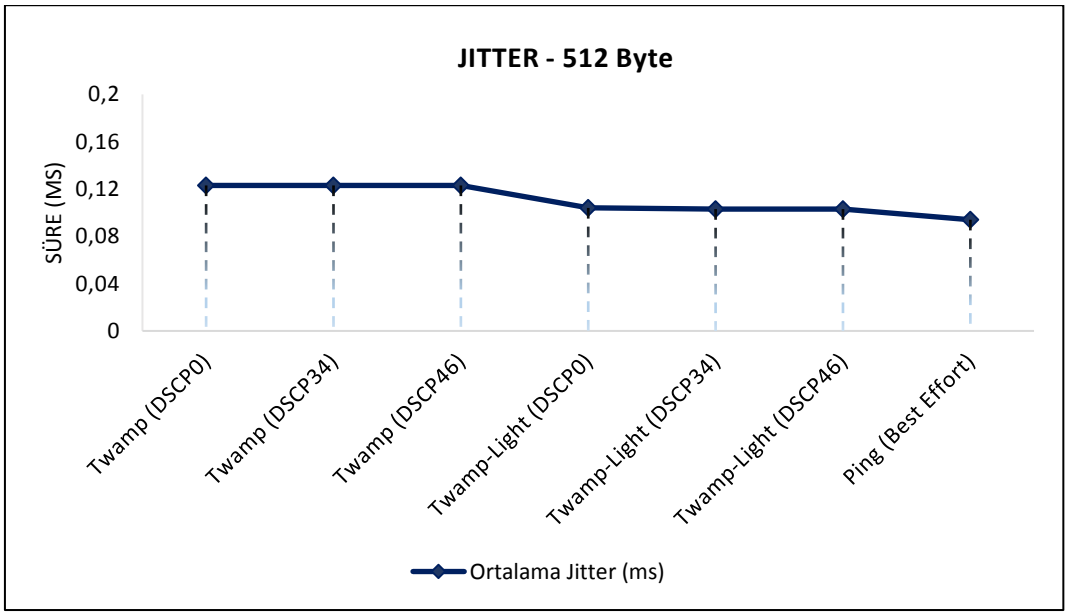
Şekil 6.10. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 256-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri

512-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve IMCP (Ping) protokollerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 6.11'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



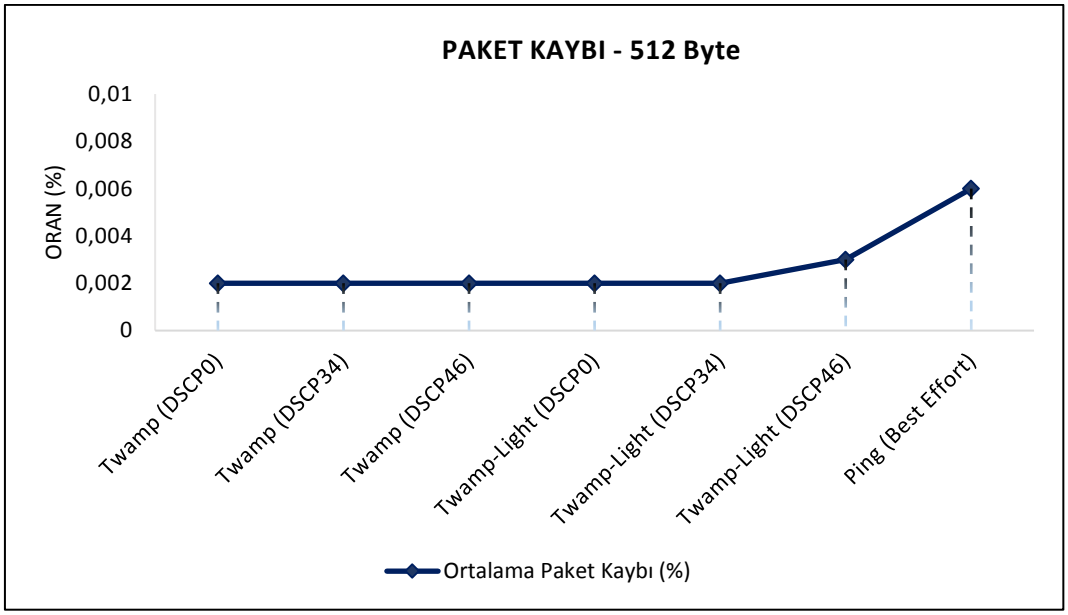
Şekil 6.11. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri

512-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.12'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



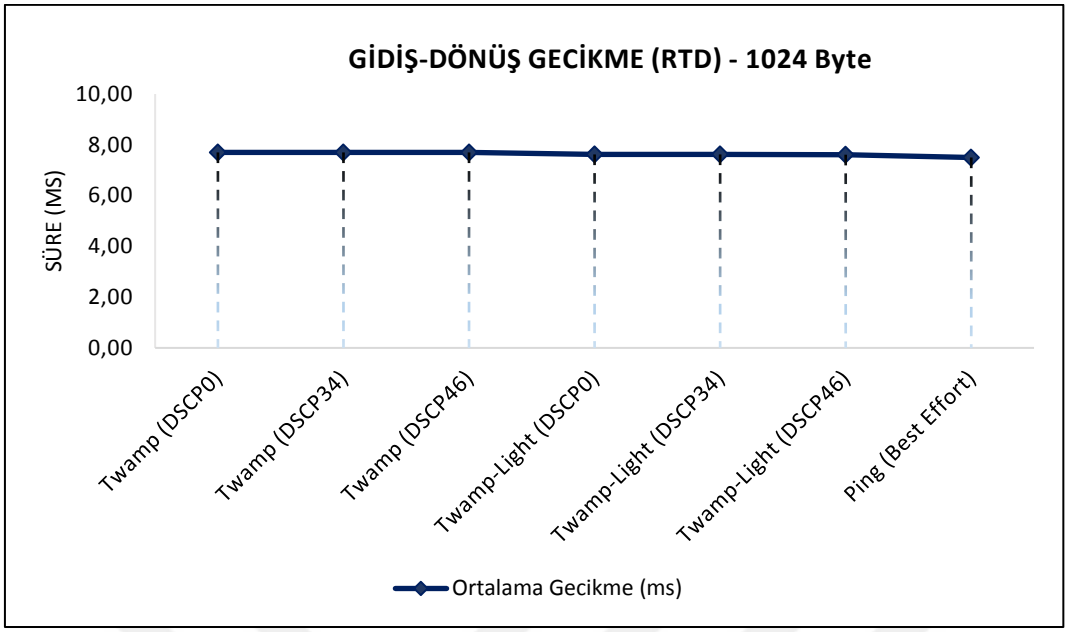
Şekil 6.12. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri

Şekil 6.13'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir. Paket kaybı değerleri için trafik sınıfına ve TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre farklı değerler elde edilmiştir. Trafik öncelik değeri yüksek olan Video (DSCP34) ve Voice (DSCP46) test paketlerindeki kayıpların Best Effort (DSCP0) trafik sınıfındaki test paketlerine göre daha az çıktığı görülmektedir. Ayrıca protokoller arası bir kıyaslama yapıldığında da TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde paket kaybı oranının daha düşük çıkması, bu iki protokolün ICMP (Ping) protokolüne göre daha sağlıklı ve hassas bir şekilde ölçüm yaptığını göstermektedir.



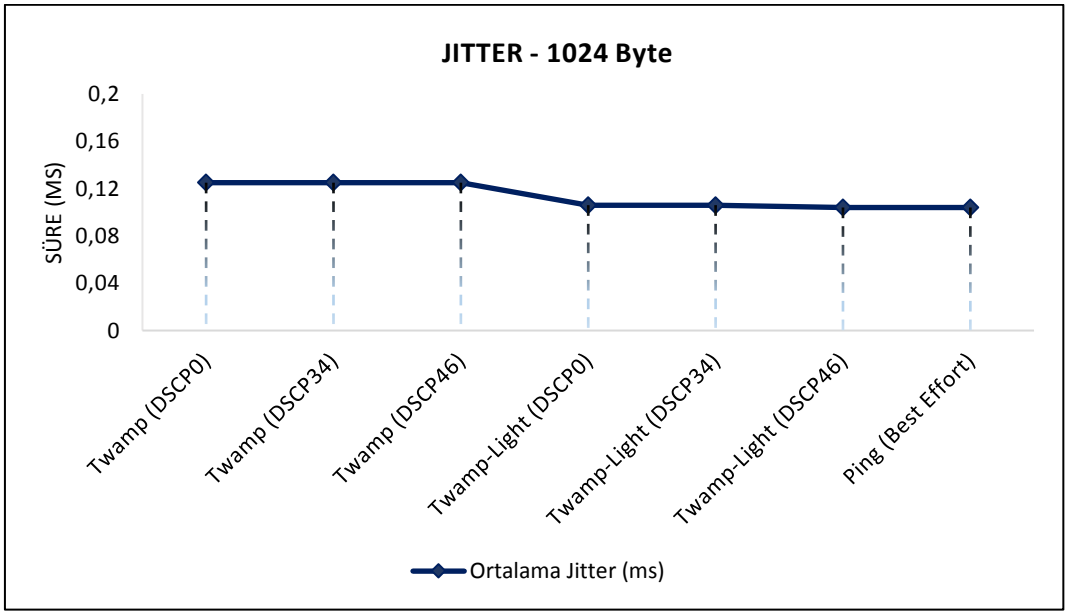
Şekil 6.13. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 512-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri

1024-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 6.14'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



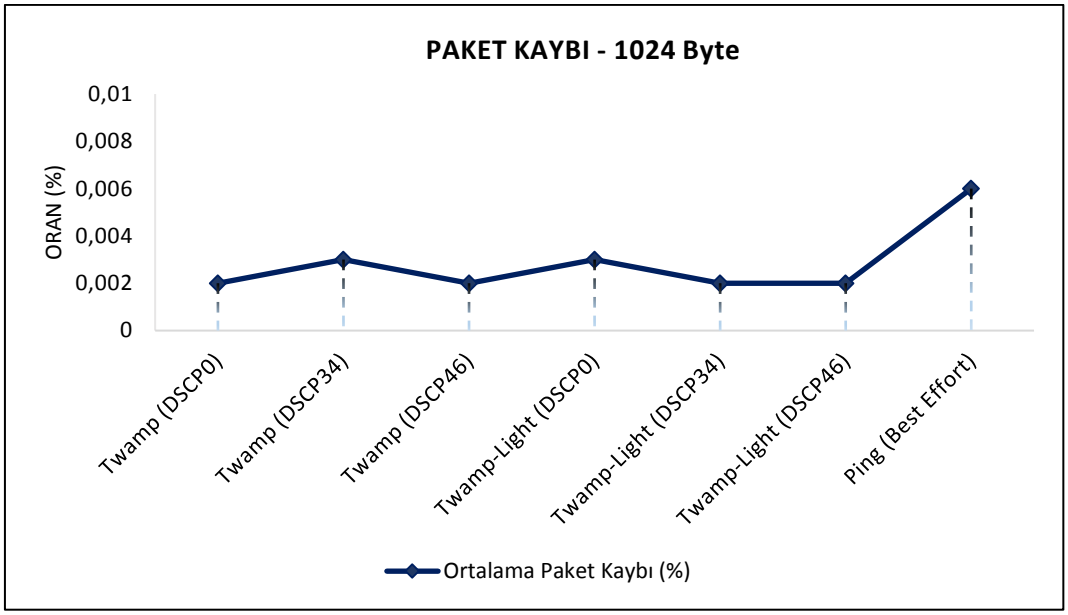
Şekil 6.14. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait RTD değerleri

1024-byte paket boyutu ile gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.15'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.15. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait Jitter değerleri

Şekil 6.16'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir. Paket kaybı değerleri için trafik sınıfına ve TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre farklı değerler elde edilmiştir. Trafik öncelik değeri yüksek olan Video (DSCP34) ve Voice (DSCP46) test paketlerindeki kayıpların Best Effort (DSCP0) trafik sınıfındaki test paketlerine göre daha az çıktığı görülmektedir. Ayrıca protokoller arası bir kıyaslama yapıldığında da TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde paket kaybı oranının daha düşük çıkması, bu iki protokolün ICMP (Ping) protokolüne göre daha sağlıklı ve hassas bir şekilde ölçüm yaptığını göstermektedir.



Şekil 6.16. TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri için 1024-byte'lık test paketlerine ait Paket Kaybı değerleri

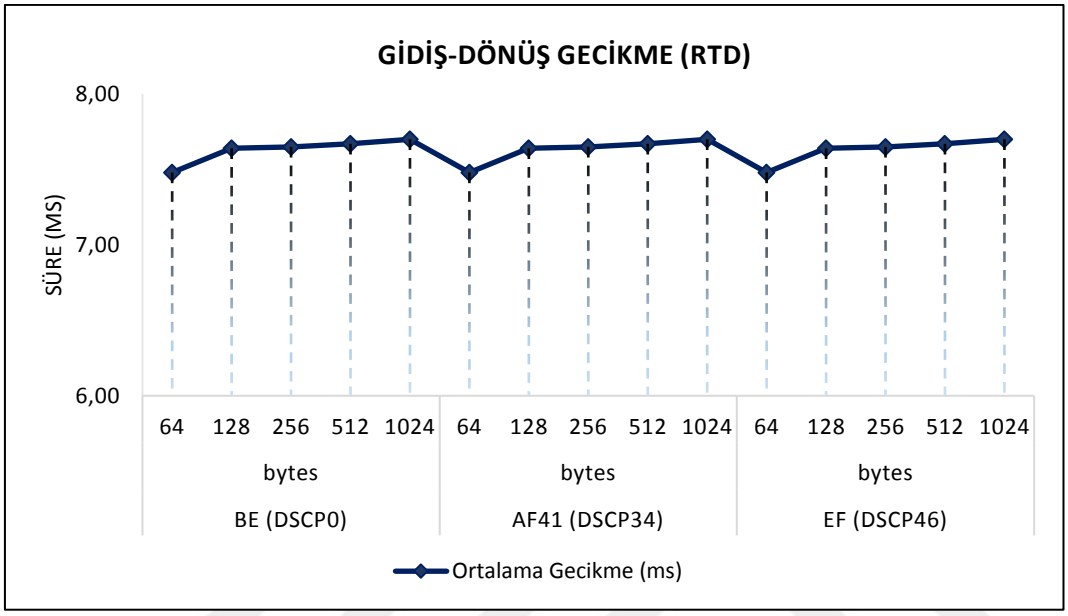
6.1.2. Normal Şartlarda Paket Boyutlarına göre Protokol Bazında Ölçüm Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde 64, 128, 256, 512 ve 1024-byte boyutlarındaki test paketleri ile yapılan testlere ait protokol bazında sonuçlara yer verilmiştir. Test yapılan ortamın normal şartlarda olduğu ve herhangi bir problem teşkil edecek durumun olmadığı varsayılmıştır.

TWAMP Protokolü Test Sonuçları

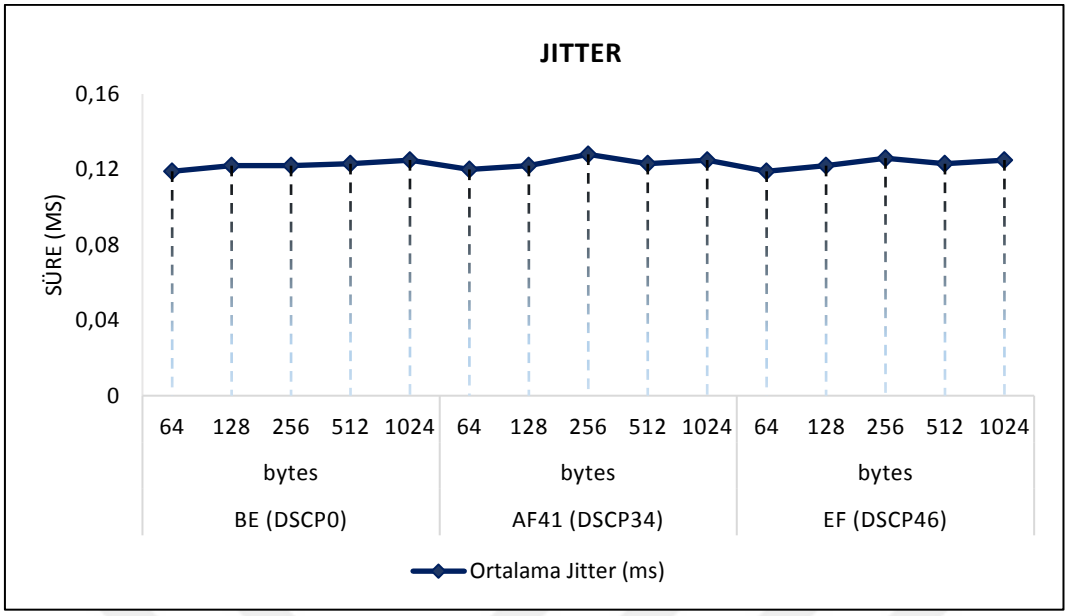
64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin TWAMP protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Sadece paket boyutu büyüklüğüne göre çok hassas

oranda değerlerin artış gösterdiği durum test sonuçlarına yansımıştır. Beklendiği üzere en küçük paket boyutuna sahip olan 64-byte'lık test sonuçlarında RTD değeri diğer paket boyutlarına göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 6.17'de TWAMP protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait RTD sonuçları gösterilmiştir.



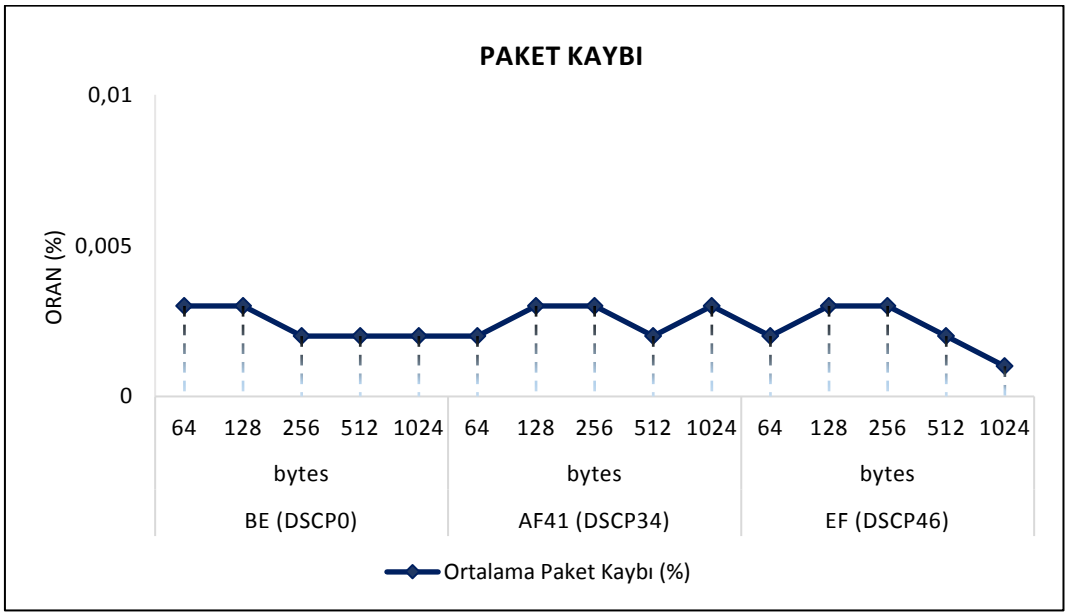
Şekil 6.17. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP protokolü RTD değerleri

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin TWAMP protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.18'de TWAMP protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Jitter sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP protokolü Jitter değerleri

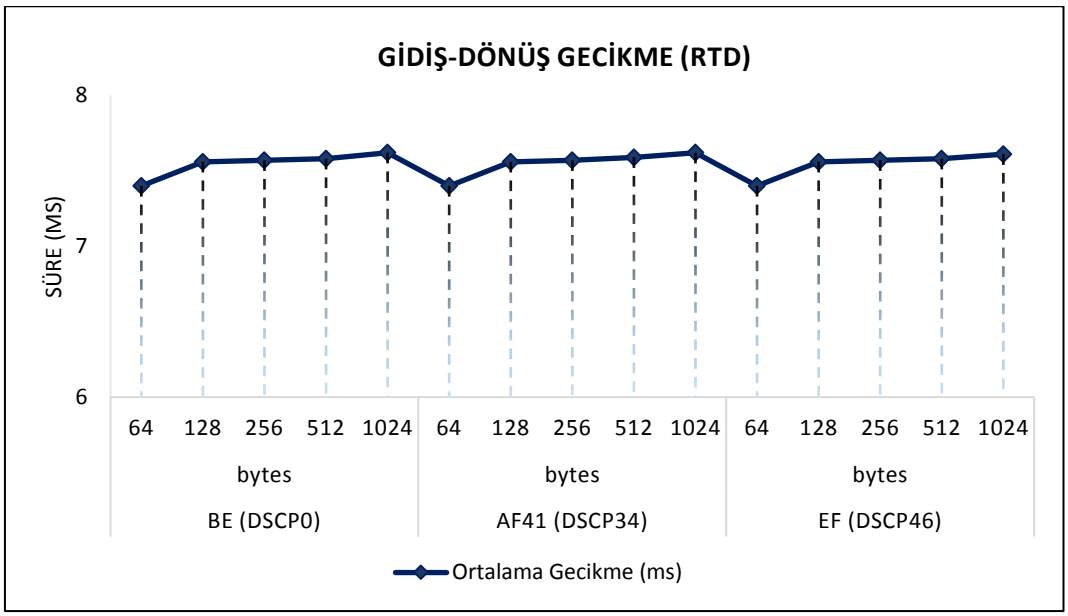
64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.19'da TWAMP protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Paket Kaybı sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP protokolü Paket Kaybı değerleri

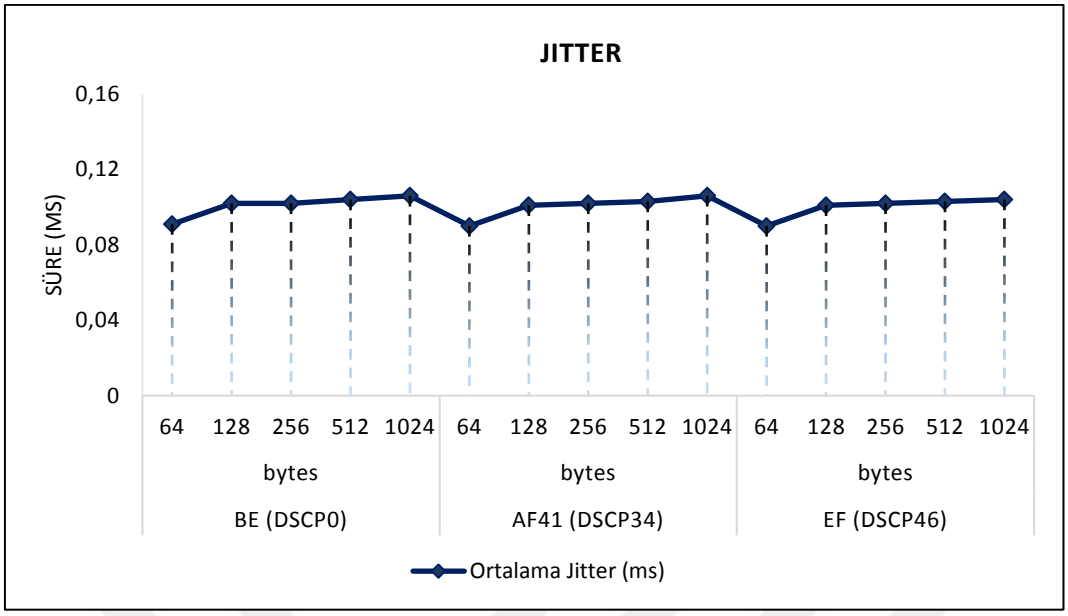
TWAMP-LIGHT Protokolü Test Sonuçları

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin TWAMP-Light protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Sadece paket boyutu büyüklüğüne göre çok hassas oranda değerlerin artış gösterdiği durum test sonuçlarına yansımıştır. Beklendiği üzere en küçük paket boyutuna sahip olan 64-byte'lık test sonuçlarında RTD değeri diğer paket boyutlarına göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 6.20'de TWAMP-Light protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait RTD sonuçları gösterilmiştir.



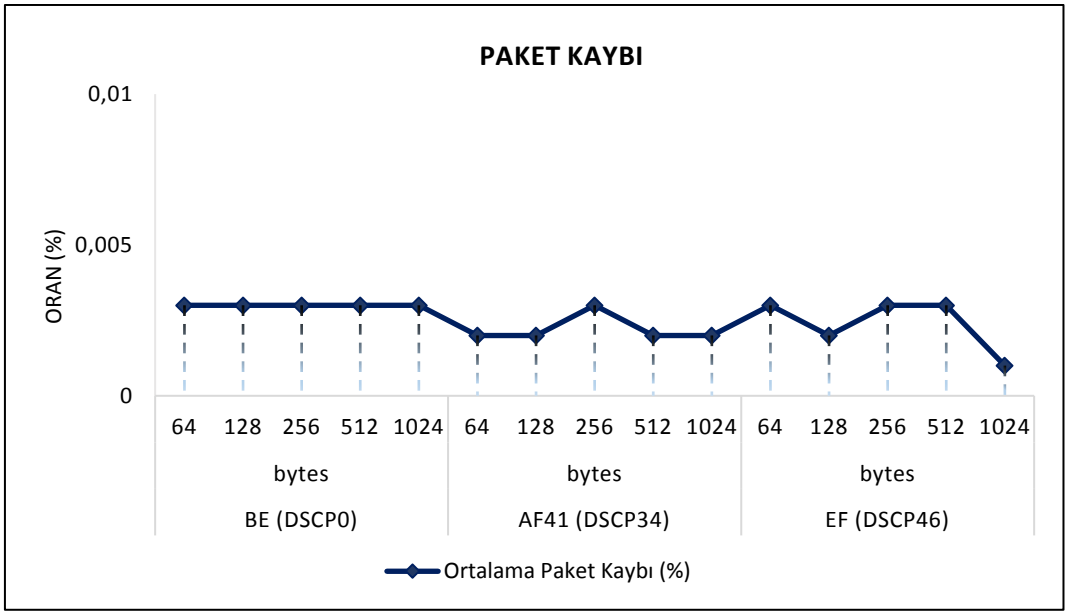
Şekil 6.20. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü RTD değerleri

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin TWAMP-Light protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.21'de TWAMP-Light protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Jitter sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.21. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü Jitter değerleri

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort, Video ve Voice trafik sınıfları kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.22'de TWAMP-Light protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Paket Kaybı sonuçları gösterilmiştir.

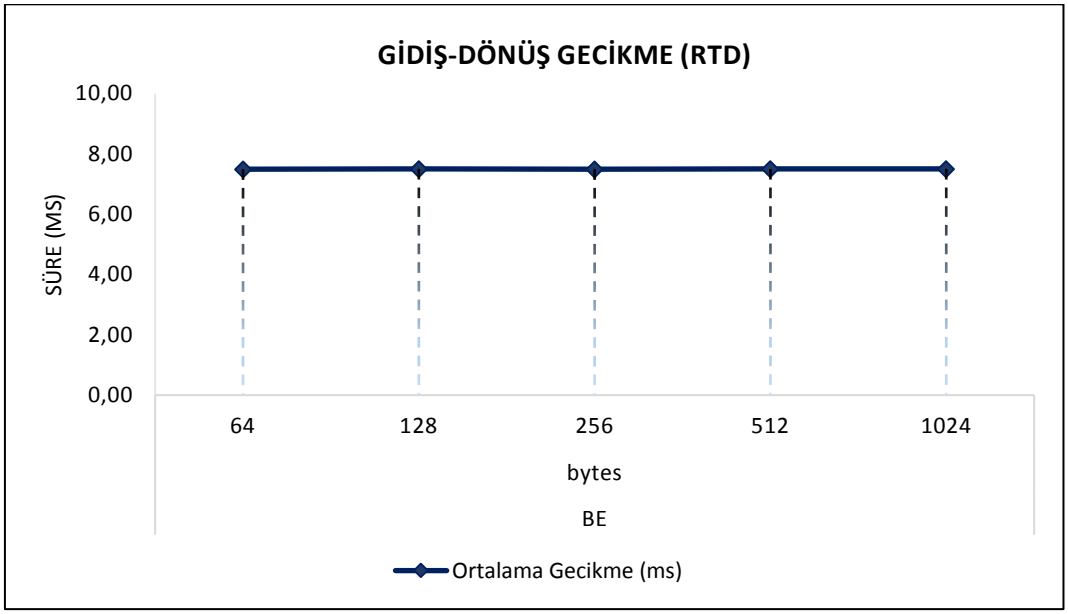


Şekil 6.22. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre TWAMP-Light protokolü Paket Kaybı değerleri

ICMP (Ping) Protokolü Test Sonuçları

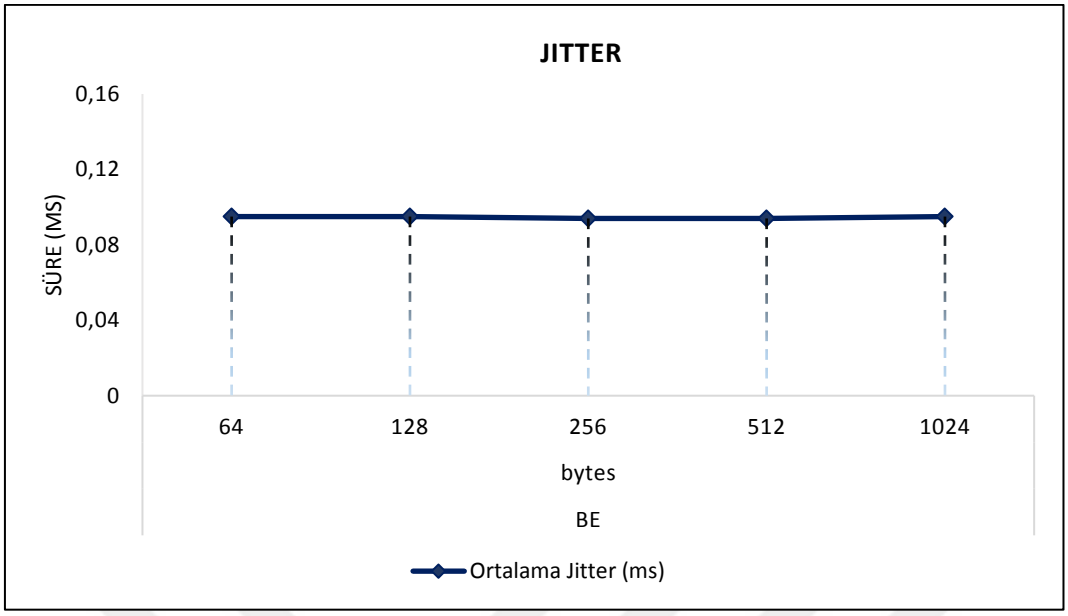
ICMP (Ping) protokolü ile yapılan testlerde sadece Best Effort trafik sınıfı kullanılmıştır. Bunun nedeni ise hedef noktaya gönderilen test paketlerinin trafik sınıfı her ne olursa olsun Best Effort trafik sınıfı ile işaretlenip cevaplandığının tespit edilmiş olmasıdır.

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort sınıfı kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin ICMP (Ping) protokolü için aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.23'te ICMP (Ping) protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait RTD sonuçları gösterilmiştir.



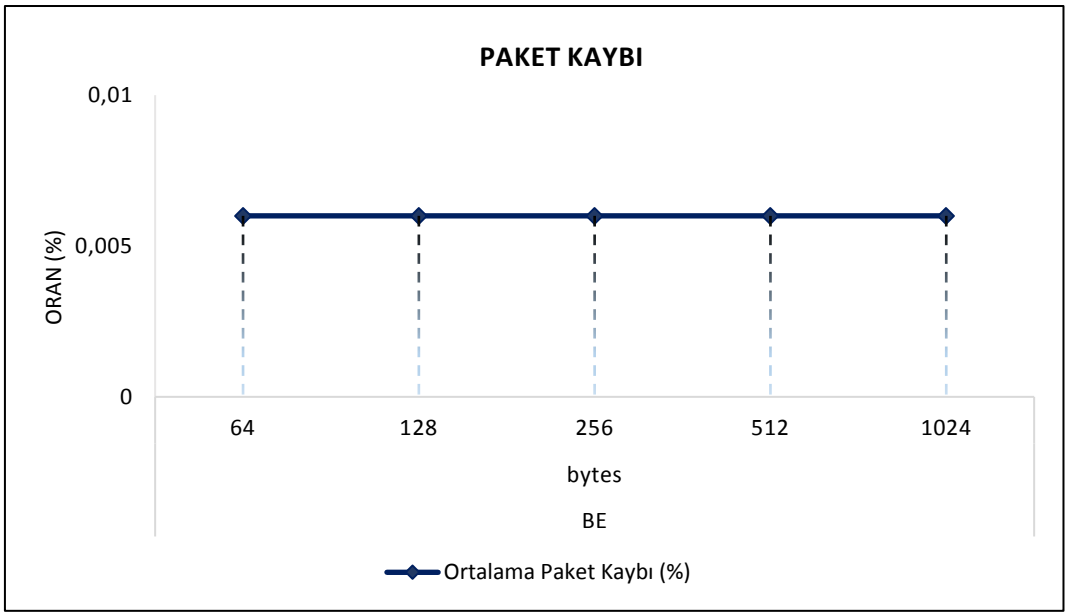
Şekil 6.23. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü RTD değerleri

64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort sınıfı kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin ICMP (Ping) protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.24'te ICMP (Ping) protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Jitter sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.24. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü Jitter değerleri

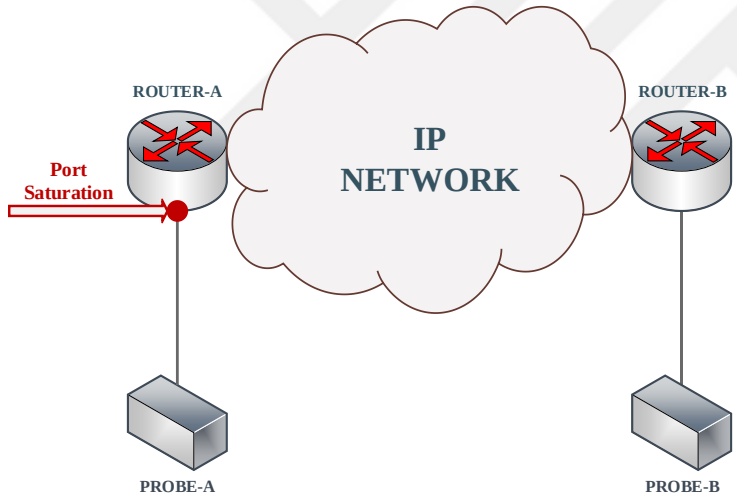
64, 128, 256, 512 ve 1024-byte paket boyutu ile Best Effort sınıfı kullanılarak gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin ICMP (Ping) protokolü için hemen hemen aynı çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 6.25'te ICMP (Ping) protokolü için paket boyutlarına göre yapılan testlere ait Paket Kaybı sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Normal şartlarda gerçekleştirilen testlerde paket boyutlarına göre ICMP (Ping) protokolü Paket Kaybı değerleri

6.2. Test Senaryosu 2

Tez çalışmasının yapıldığı 2 nolu test senaryosuna ait topoloji Şekil 6.26'da gösterilmiştir. İlk senaryodan farklı olarak çalışmanın yapıldığı ağdaki linklerden bir tanesinde bant genişliği kısıtlanmış ve linkin test boyunca sature olması sağlanmıştır. Sature olmuş IP ağı içerisinde iki nokta arasındaki network performans metrikleri TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre ölçülmüş ve test sonuçlarının hassasiyeti karşılaştırılmıştır. Yine 1 nolu senaryoda olduğu gibi sanal trafik üreten Kron marka probe cihazları ilk önce TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerini destekleyecek şekilde ayarlanmış ve testler yapılmıştır. Sonrasında ise probe cihazları TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerini destekleyecek şekilde tekrardan ayarlanmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Probe cihazlarına eş zamanlı olarak TWAMP ya da TWAMP-Light protokollerinden bir tanesi ayarlanabildiğinden testler iki protokol için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir [8].



Şekil 6.26. 2 No'lu senaryoya ait test topolojisi

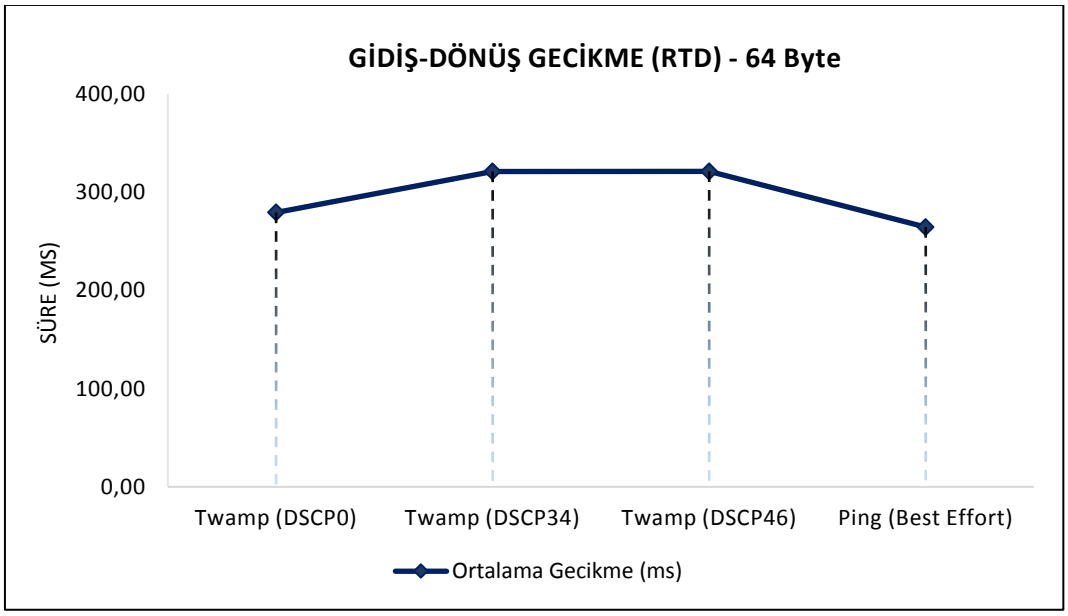
Yapılan testlerdeki test paketlerininin gönderimi arasında 50 ms'lik bir gecikme bulunmaktadır. TWAMP, TWAMP-Light ve Ping ölçüm metotları için gerçekleştirilen testlerde kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 2 No'lu senaryo örnekleme tablosu

Test Örnekleme Sayısı	60.000
İki Paket Arası Gecikme (ms)	50
Test Paket Boyutu (byte)	64, 128, 256, 512, 1024

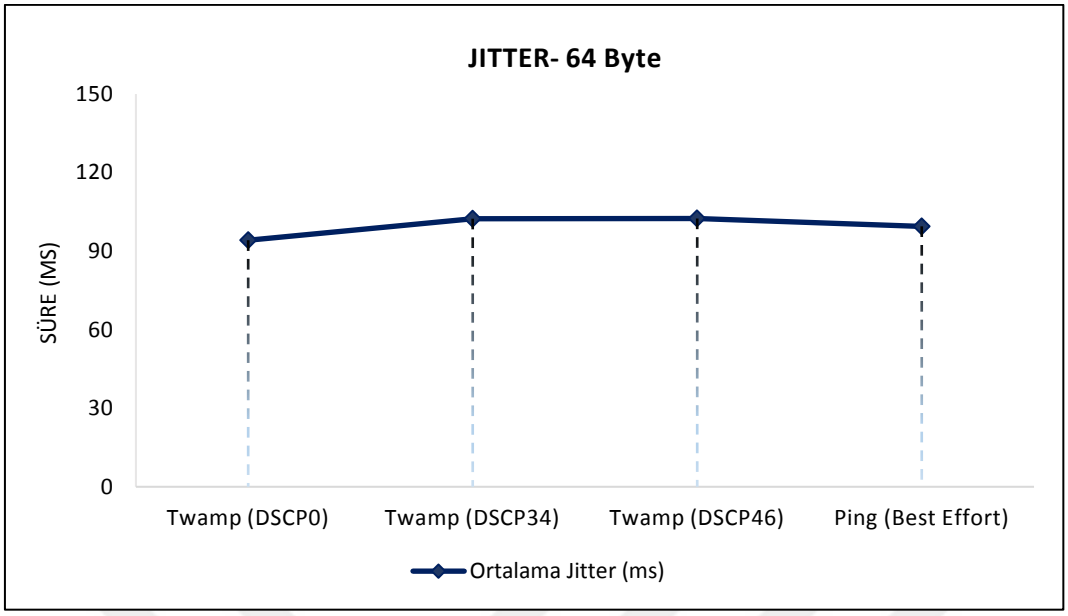
6.2.1. Saturasyon Durumunda Paket Boyutu ve Trafik Sınıflarına Göre TWAMP ve ICMP (Ping) Protokol Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.27'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir [8].



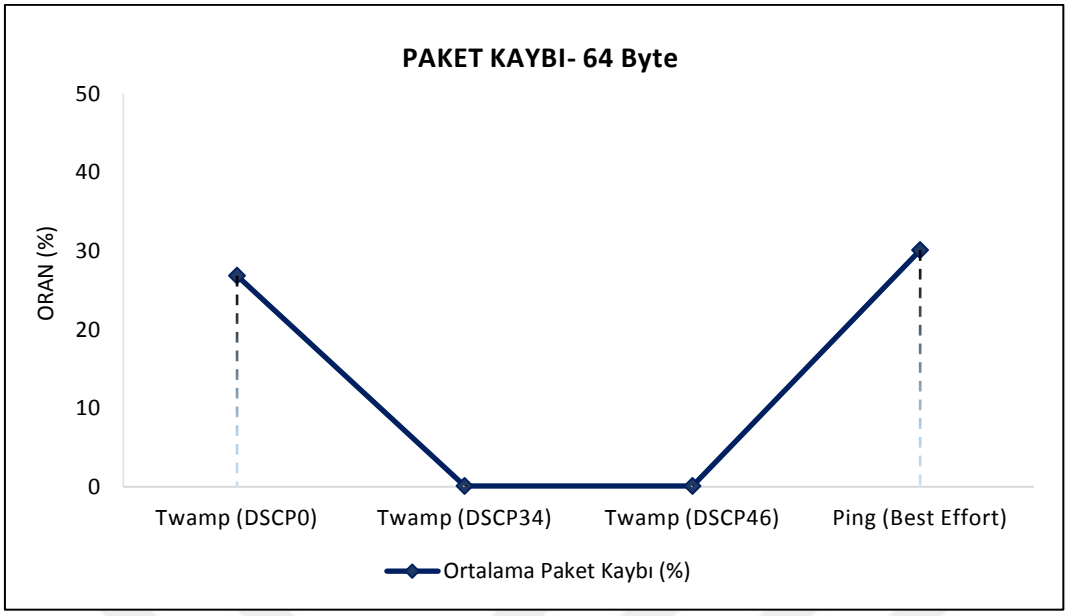
Şekil 6.27. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.28'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir [8].



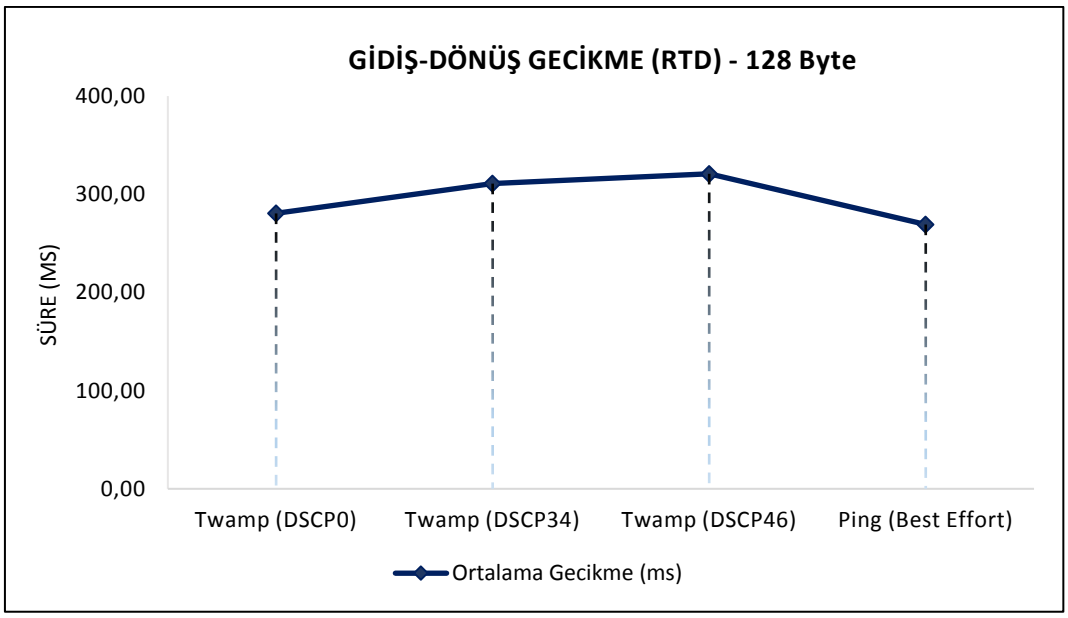
Şekil 6.28. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.29'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir [8].



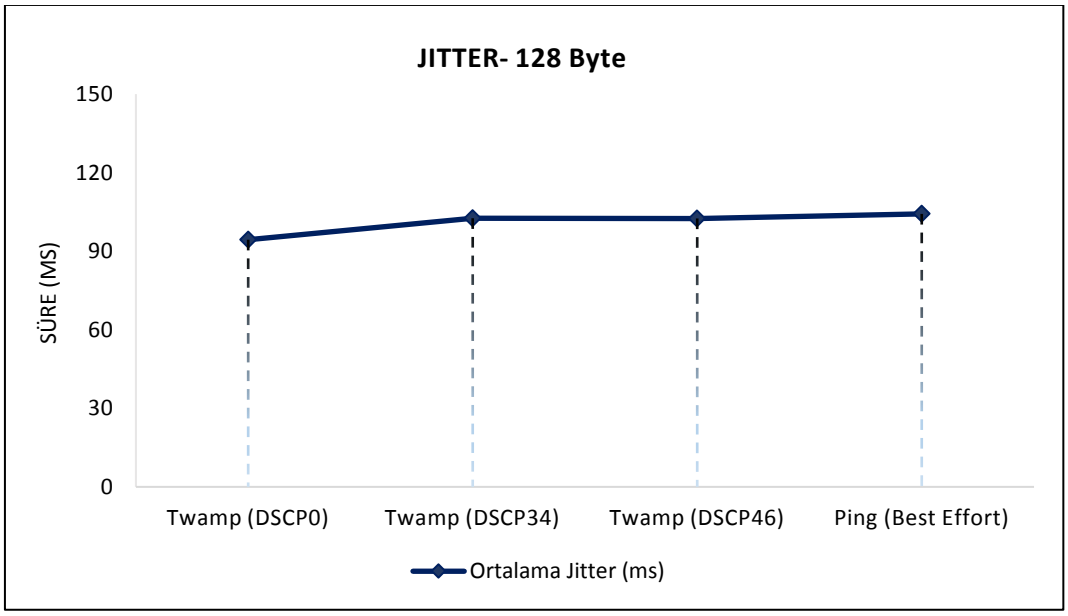
Şekil 6.29. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.30'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir [8].



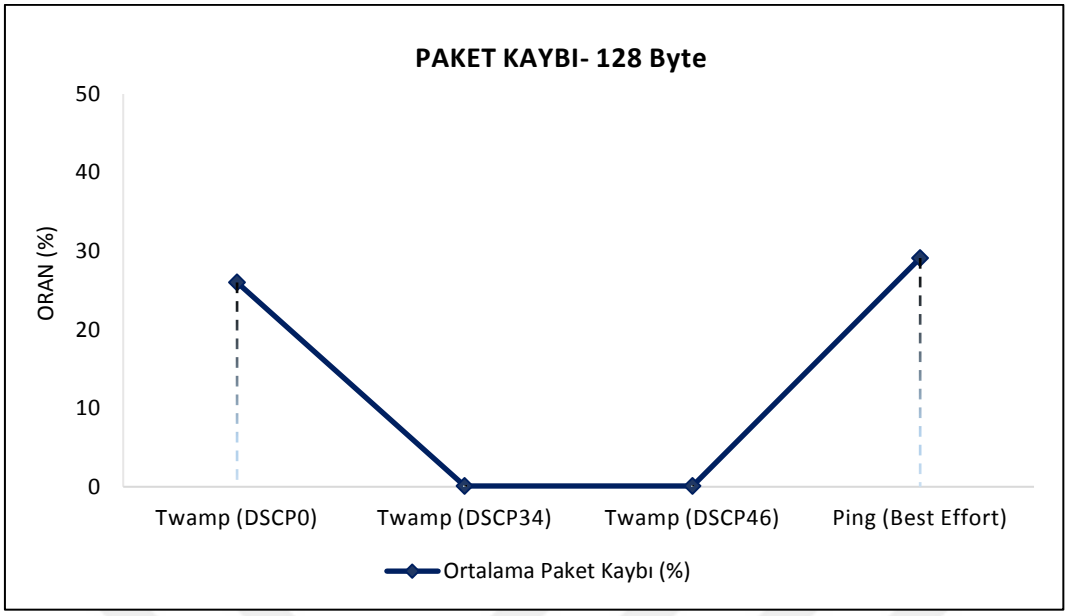
Şekil 6.30. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.31'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



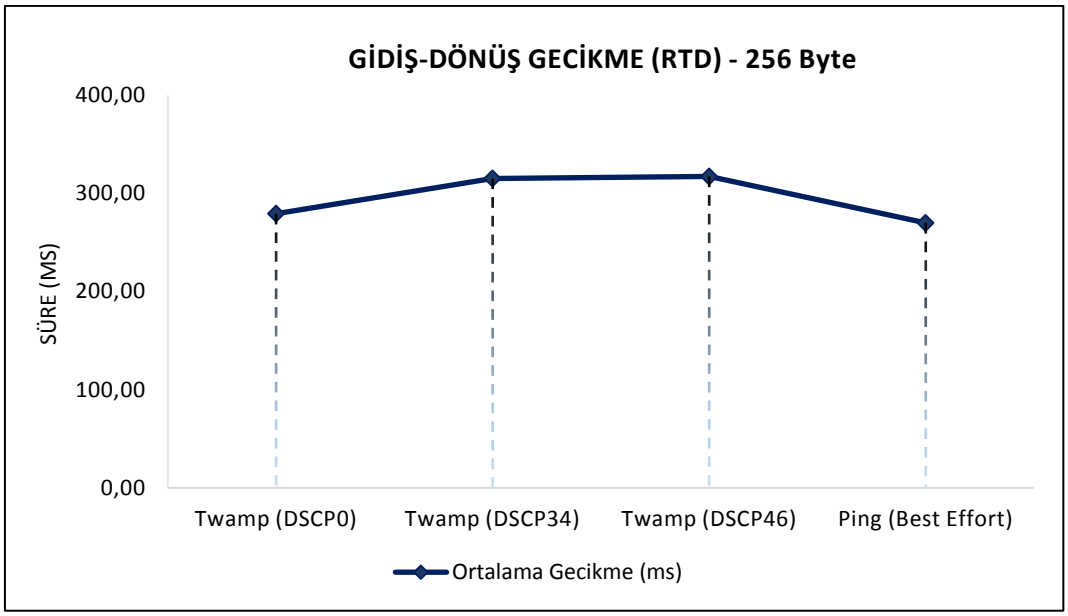
Şekil 6.31. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.32'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



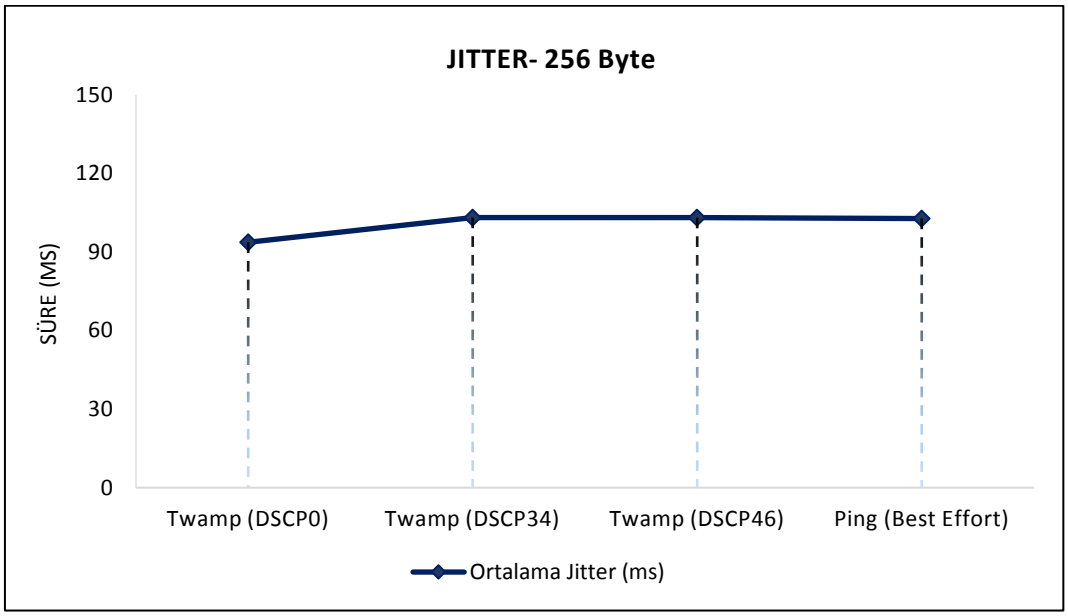
Şekil 6.32. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.33'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



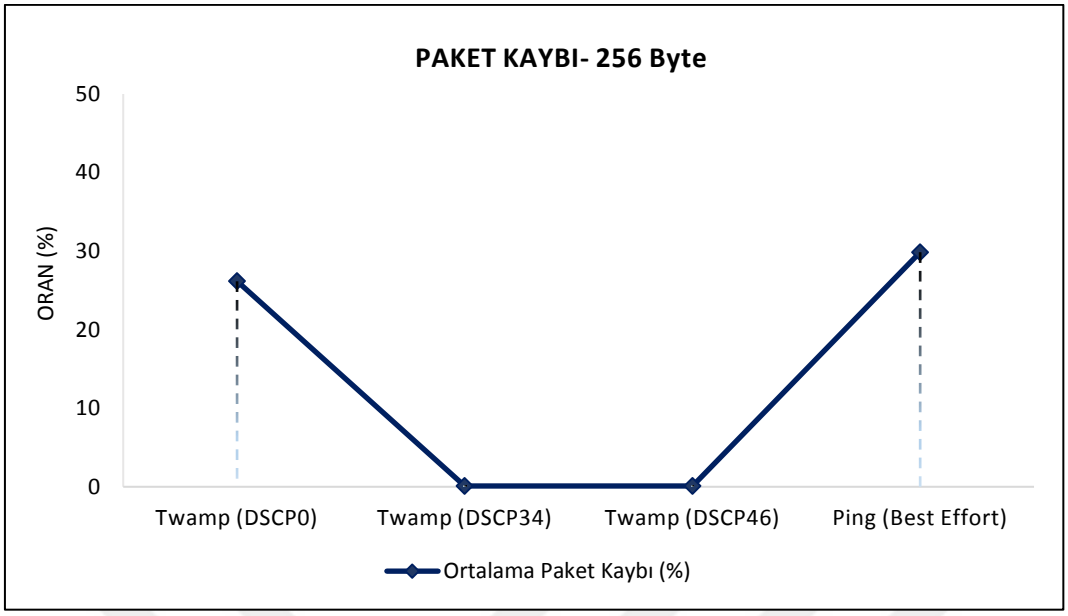
Şekil 6.33. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.34'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



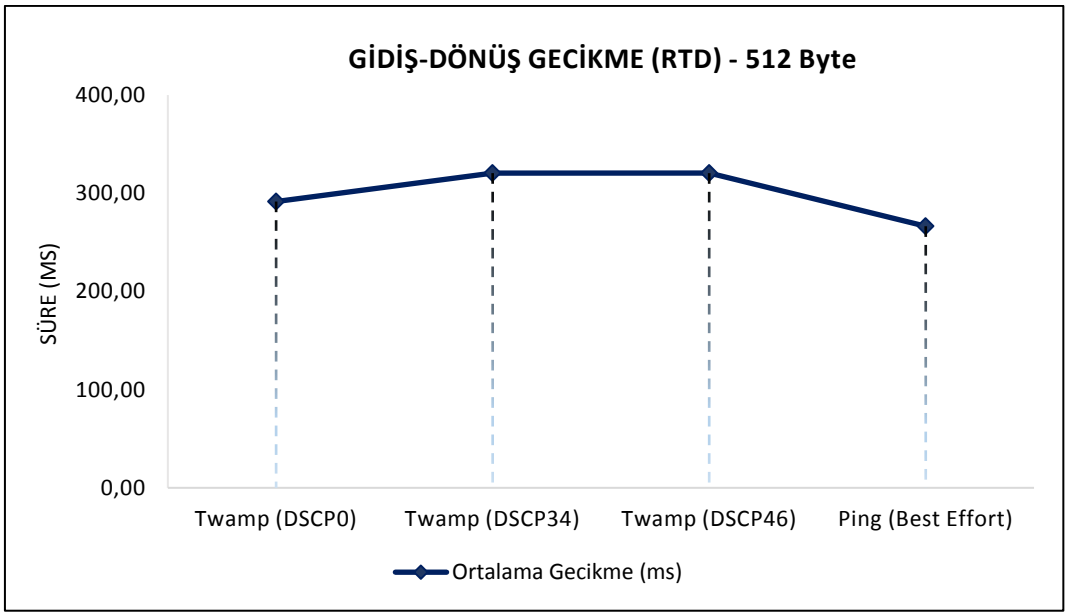
Şekil 6.34. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.35'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



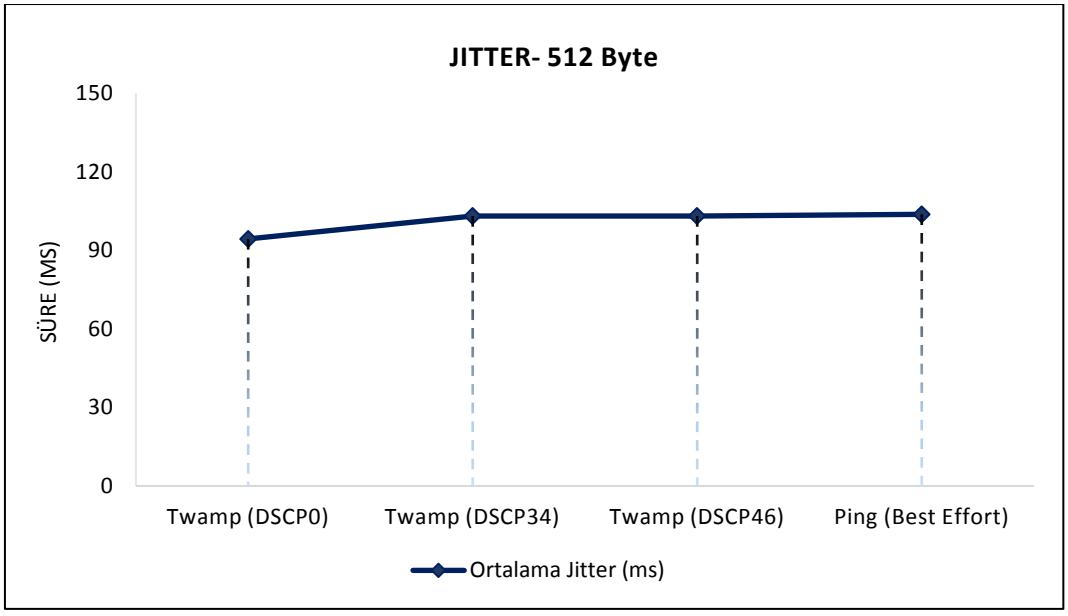
Şekil 6.35. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.36'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



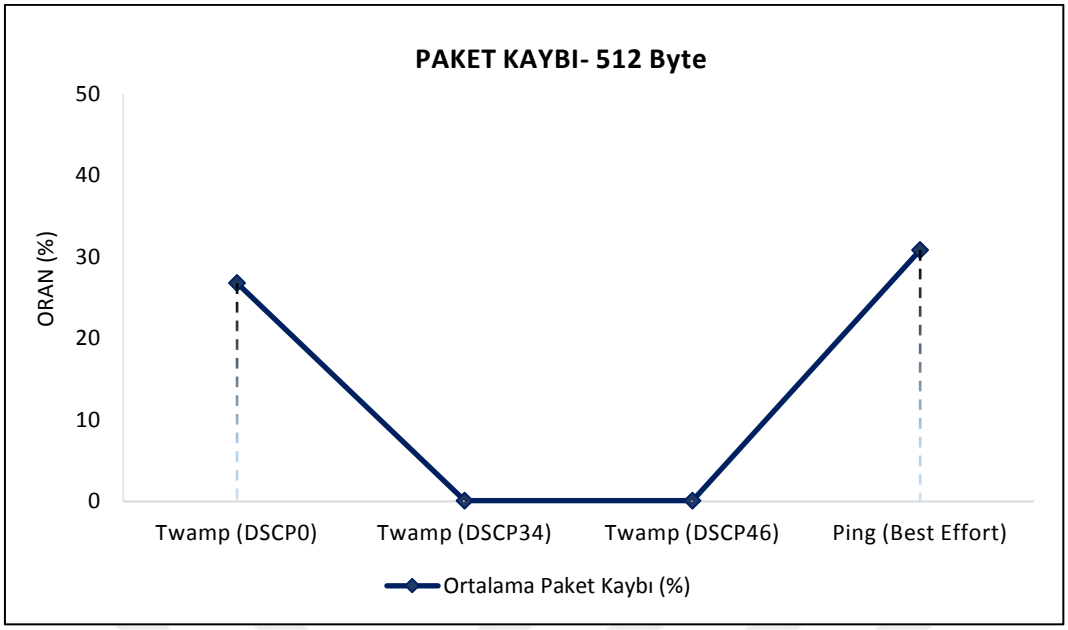
Şekil 6.36. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.37'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



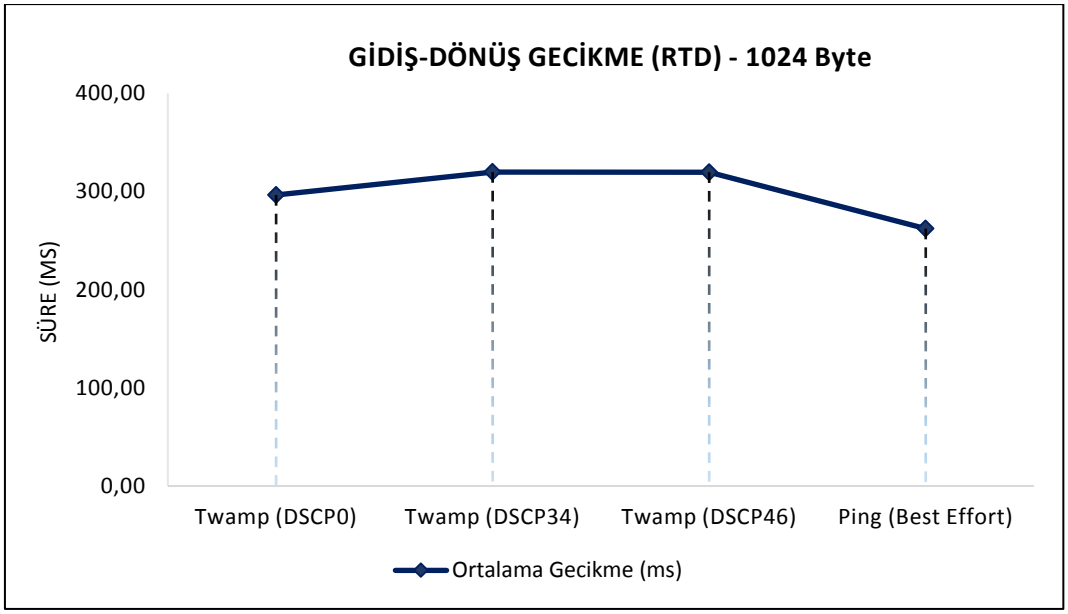
Şekil 6.37. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.38'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



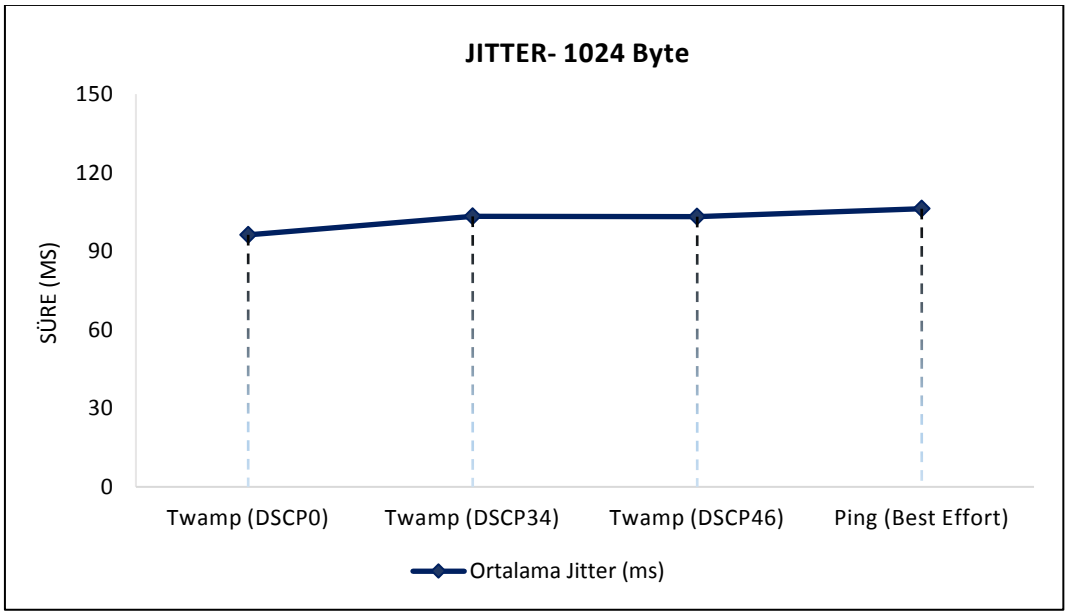
Şekil 6.38. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.39'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



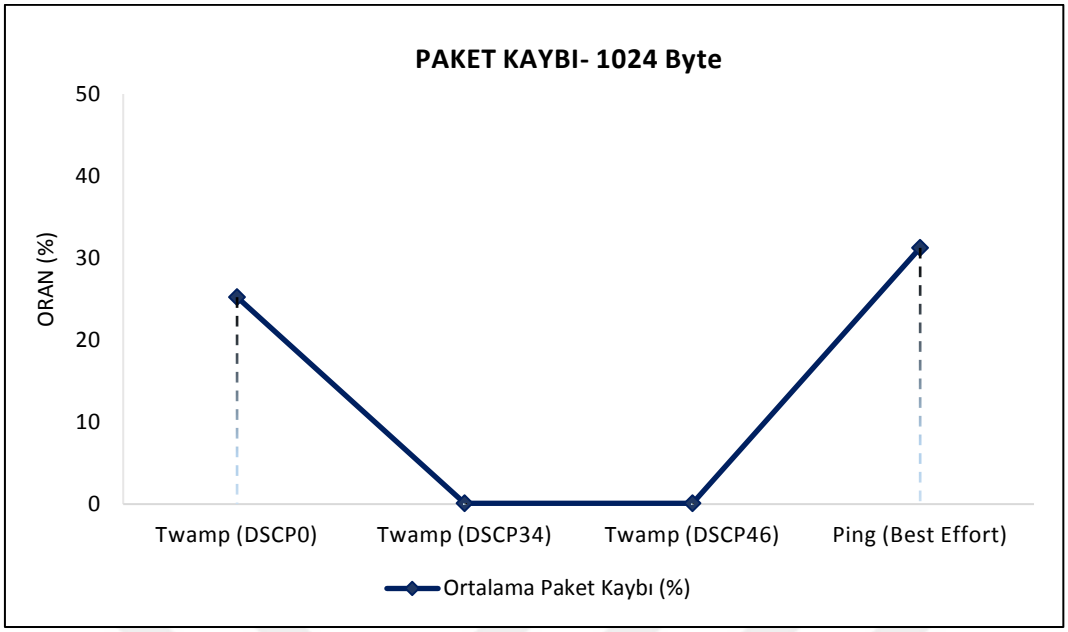
Şekil 6.39. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.40'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.40. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

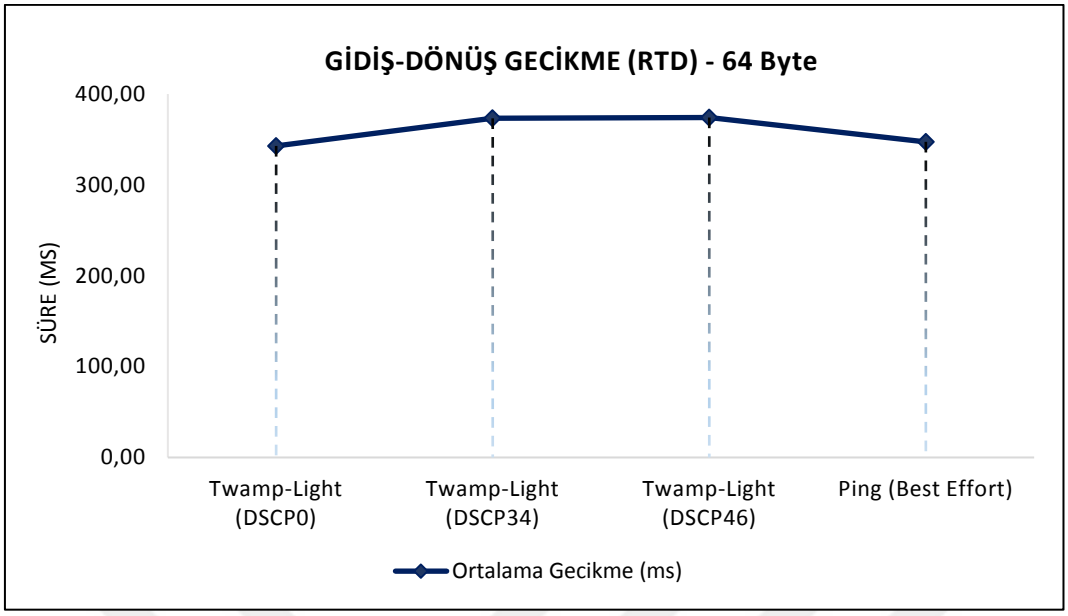
1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP (DSCP34) ve TWAMP (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.41'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.41. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

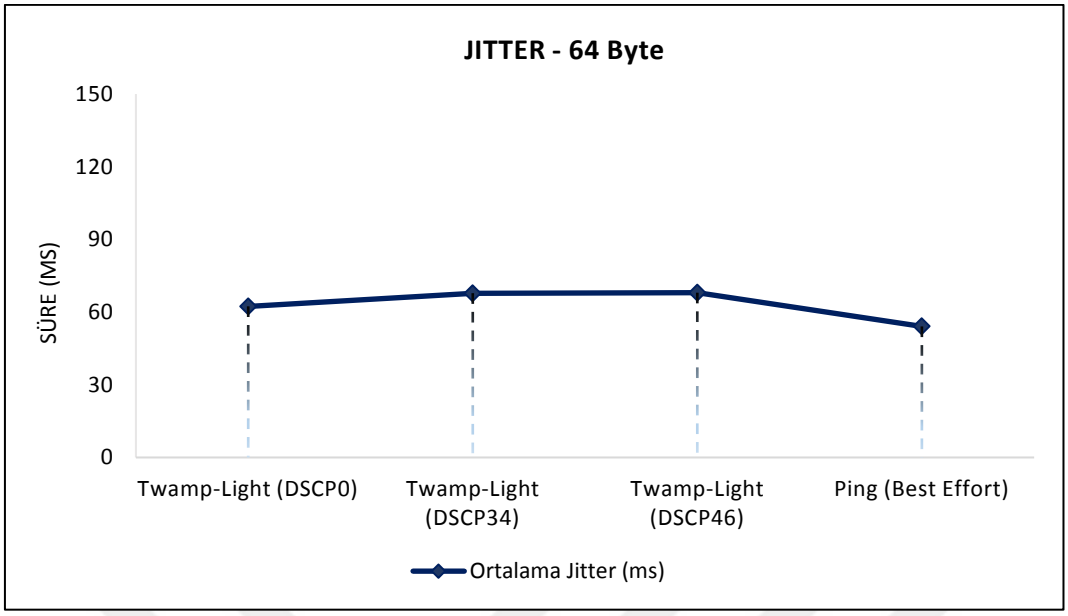
6.2.2. Saturasyon Durumunda Paket Boyutu ve Trafik Sınıflarına Göre TWAMP-Light ve ICMP (Ping) Protokol Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.42'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



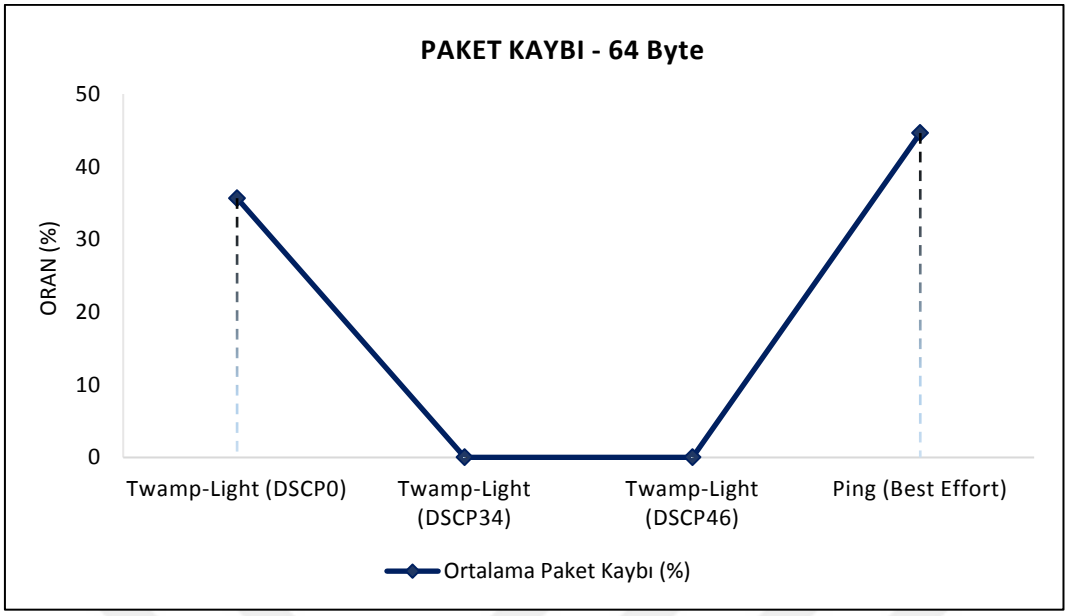
Şekil 6.42. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.43'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



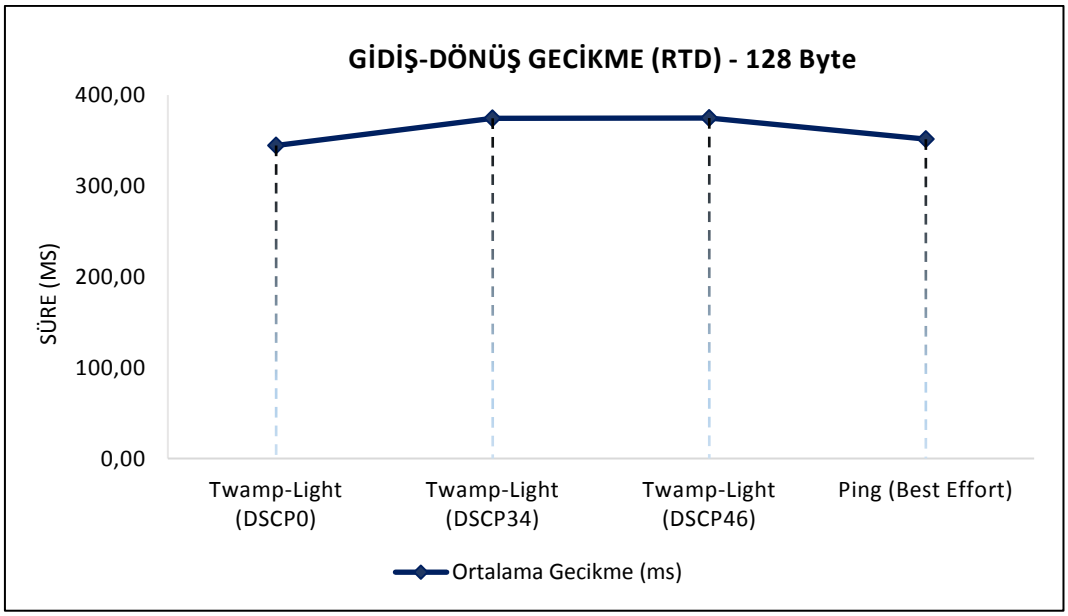
Şekil 6.43. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

64-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP-Light (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.44'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



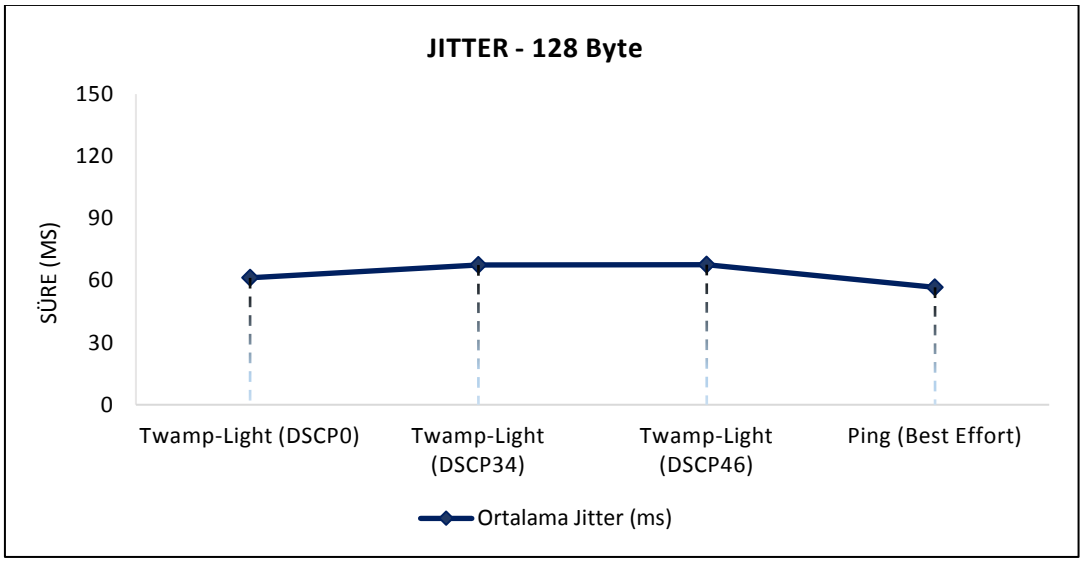
Şekil 6.44. Saturasyon durumunda 64-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.45'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



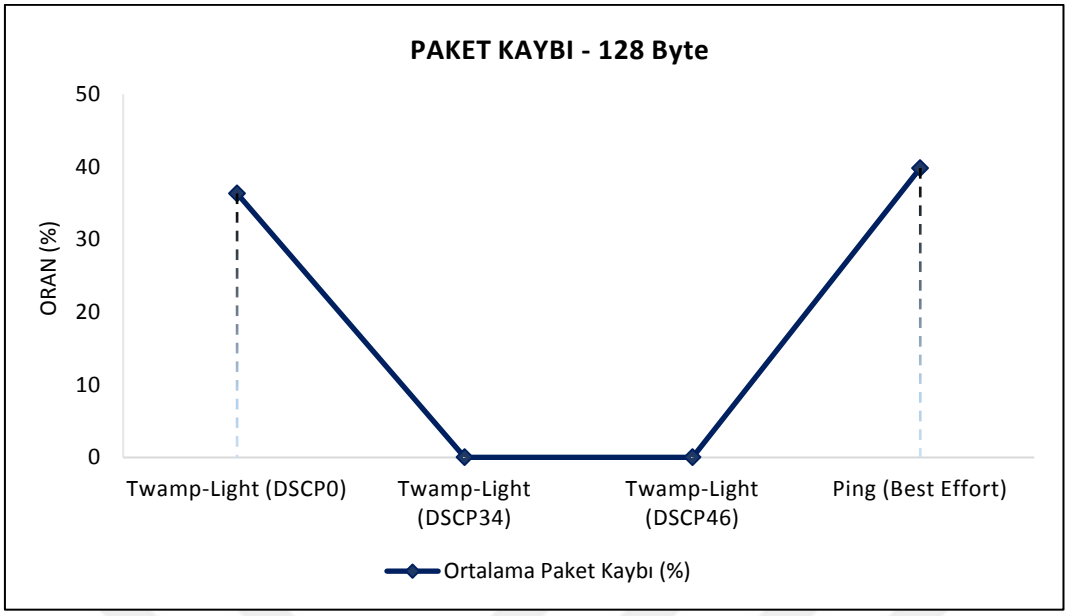
Şekil 6.45. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.46'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



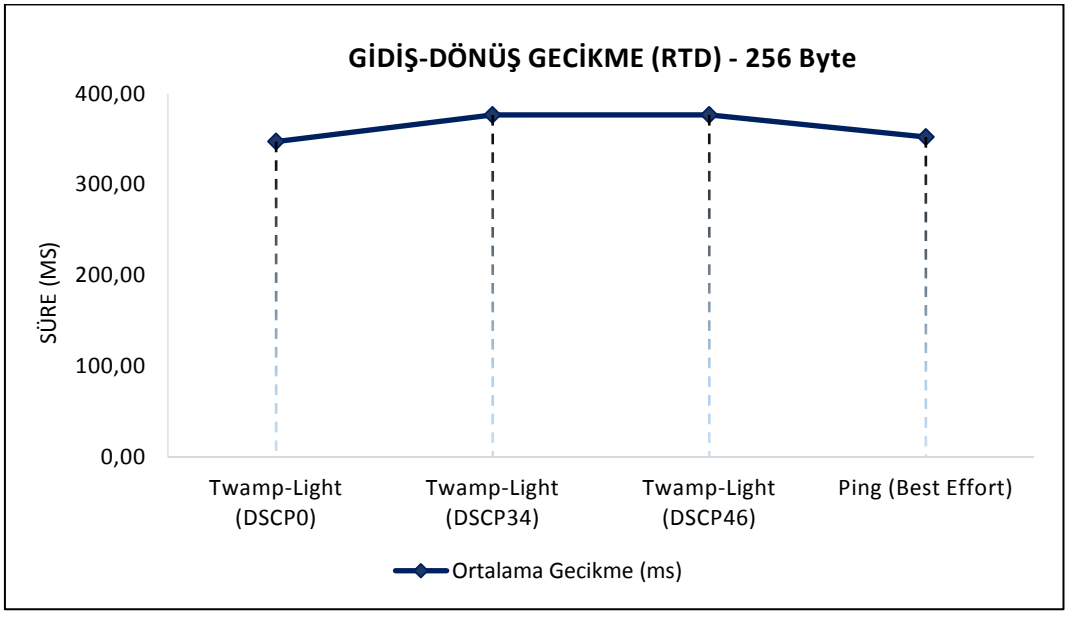
Şekil 6.46. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

128-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP-Light (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.47'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



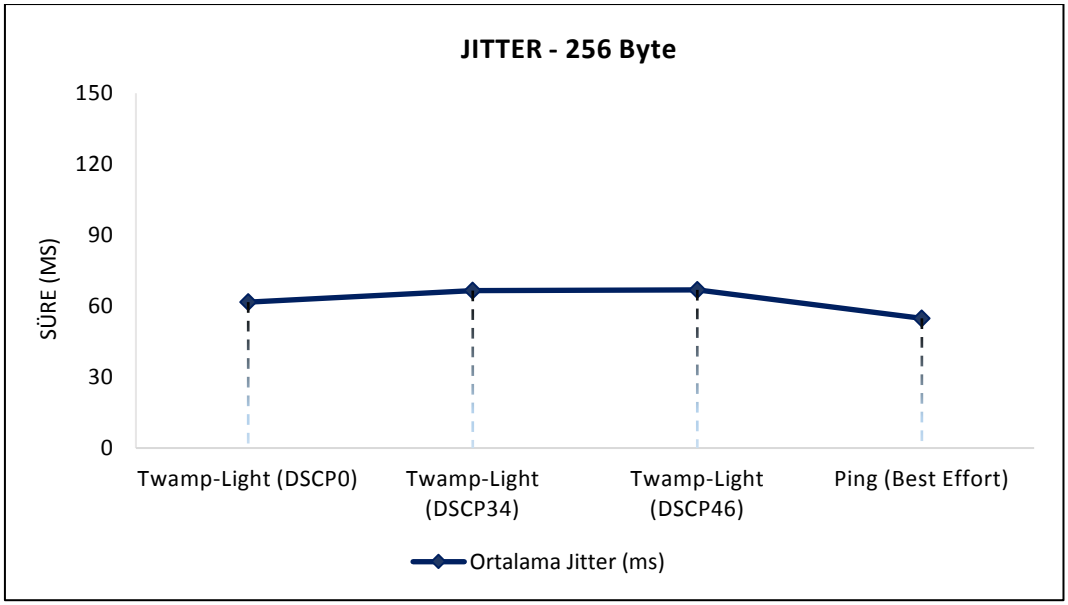
Şekil 6.47. Saturasyon durumunda 128-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.48'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



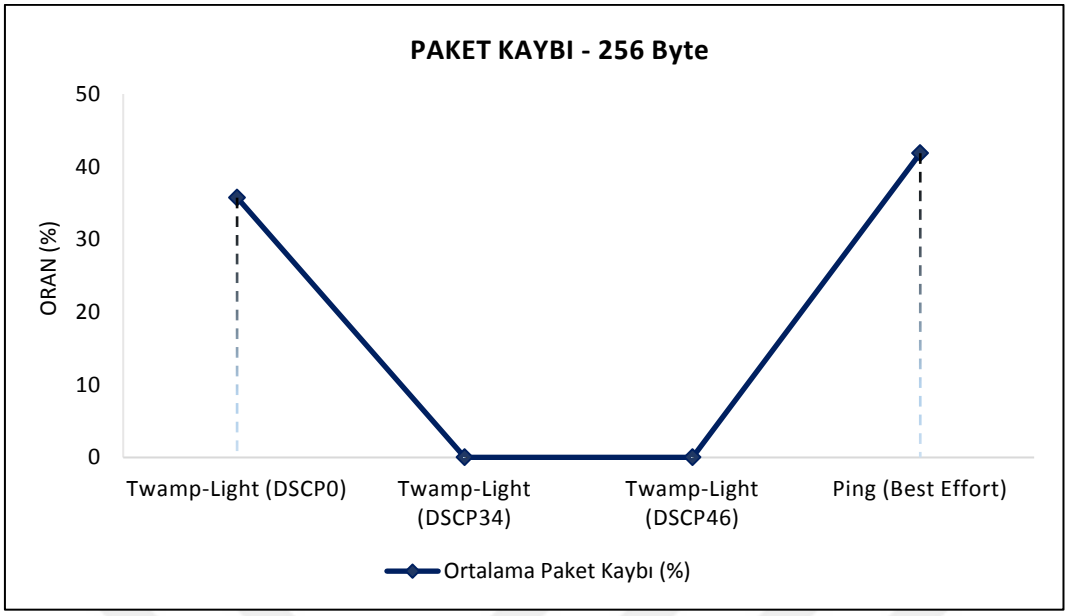
Şekil 6.48. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da Jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.49'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



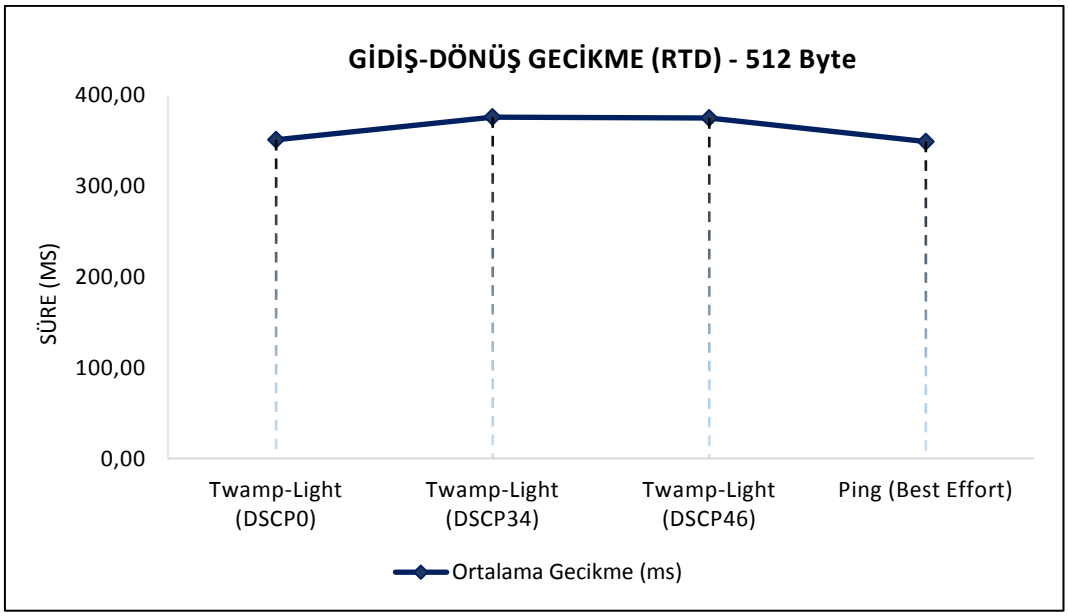
Şekil 6.49. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

256-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP-Light (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.50'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



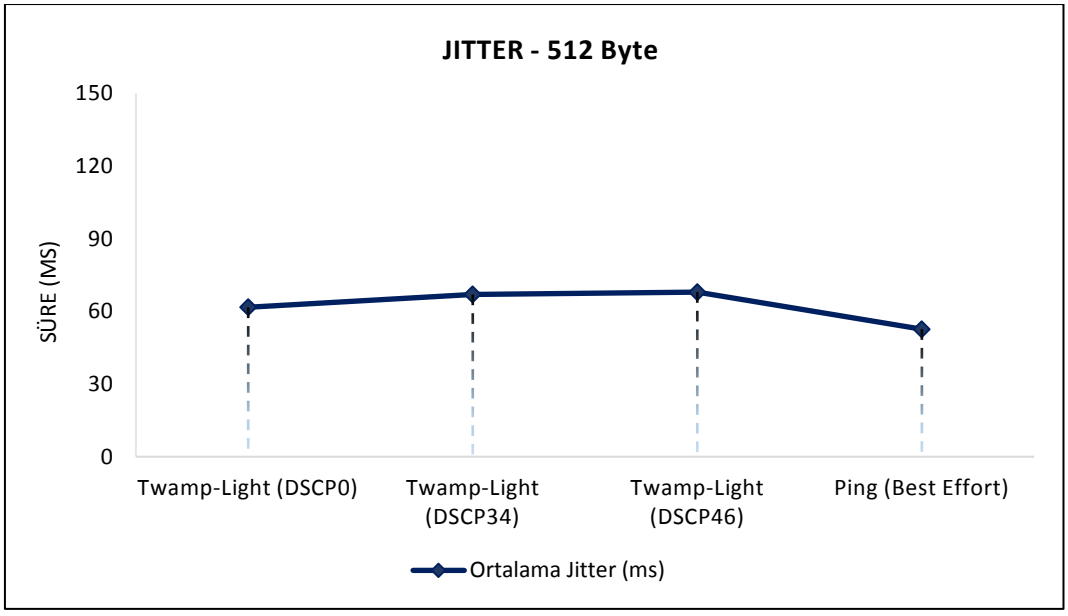
Şekil 6.50. Saturasyon durumunda 256-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.51'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.51. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

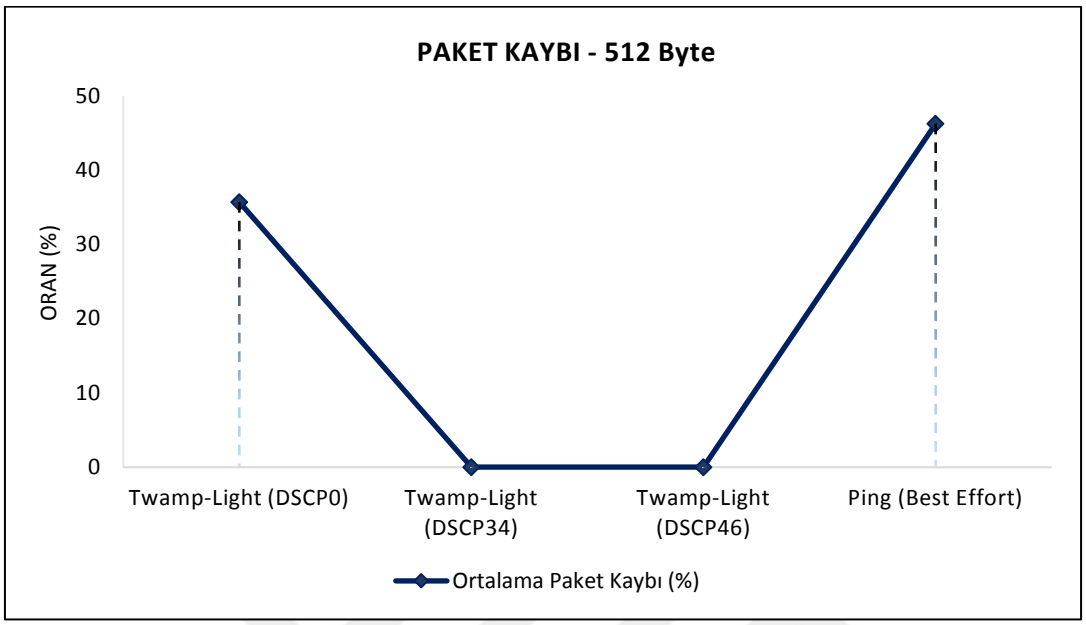
512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.52'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.52. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

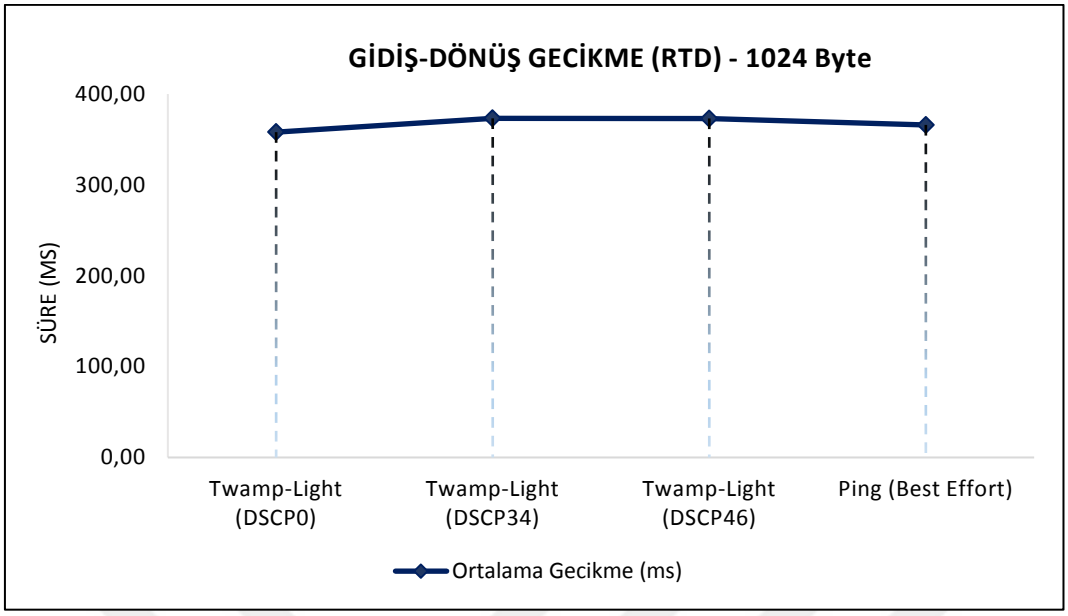
512-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini temsil etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP-Light (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok

düşük olmasıdır. Şekil 6.53'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.



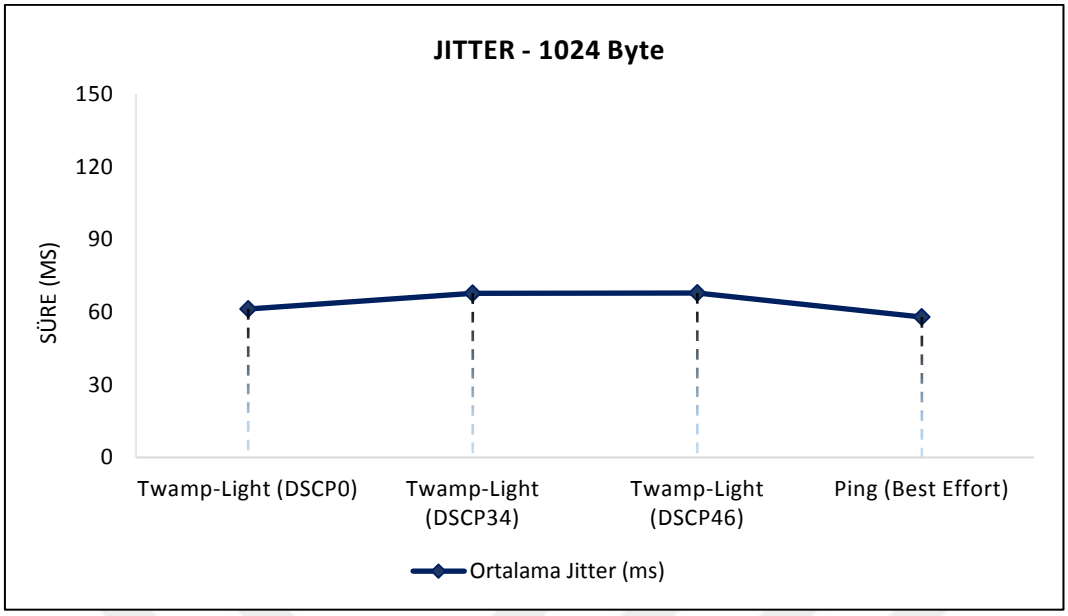
Şekil 6.53. Saturasyon durumunda 512-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, RTD değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Şekil 6.54'de protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen RTD değerleri gösterilmiştir.



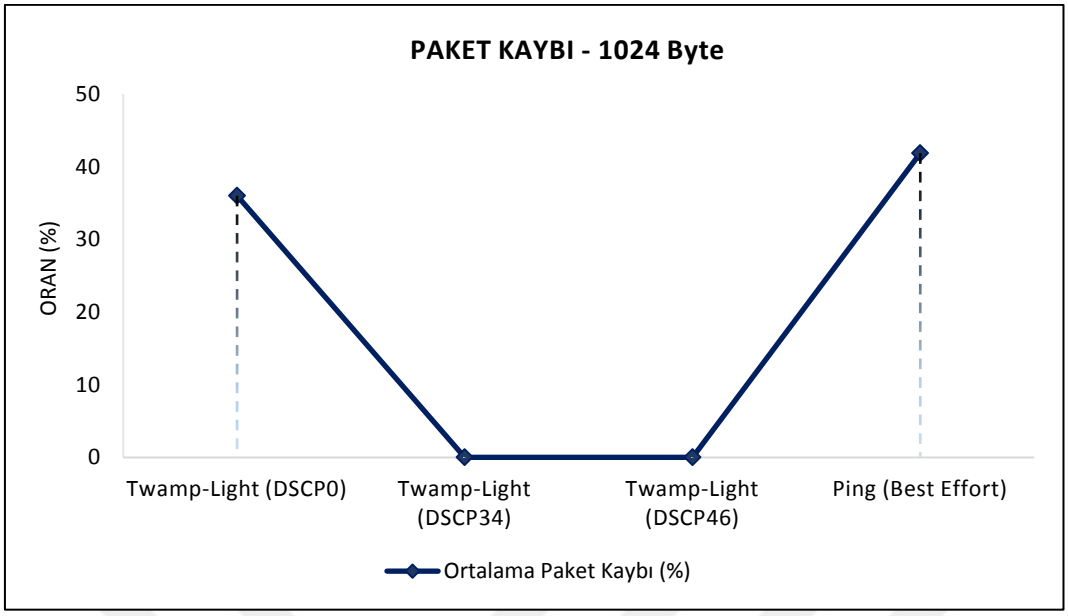
Şekil 6.54. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait RTD değerleri

1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Jitter değerlerinin hem trafik sınıfına hem de TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Test paketlerinin meydana getirdiği trafik miktarı, bant genişliği düşürülen ve sature edilen portun trafik kapasitesinden fazla olması nedeniyle elde edilen sonuçlar olması gereken değerlerden fazla çıkmıştır. Çalışma ortamındaki bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle paket kayıplarının meydana geldiği ya da yüksek miktarda gecikme sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum da jitter değerinin yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Şekil 6.55'te protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Jitter değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.55. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Jitter değerleri

1024-byte paket boyutu ile sature edilmiş ortamda gerçekleştirilen testlere göre, Paket Kaybı değerlerinin TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine göre tamamen farklı çıktığı görülmüştür. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlerdeki paket kayıpları neredeyse sıfıra yakındır. Çünkü bu trafik sınıfları, gerçek zamanlı veri olan video ve voice trafiklerini ifade etmekte olup iletim esnasındaki en yüksek önceliğe sahip paketleri ifade etmektedir. TWAMP-Light (DSCP34) ve TWAMP-Light (DSCP46) trafik sınıflarının aksine, TWAMP-Light (DSCP0) ve Ping (Best Effort) trafik sınıfları ile gerçekleştirilen testlere ait paket kaybı test sonuçları çok yüksek çıkmıştır. Nedeni de bu iki trafik sınıfının iletim esnasındaki öncelik değerinin çok düşük olmasıdır. Şekil 6.56'da protokollere ve trafik sınıfına göre elde edilen Paket Kaybı değerleri gösterilmiştir.

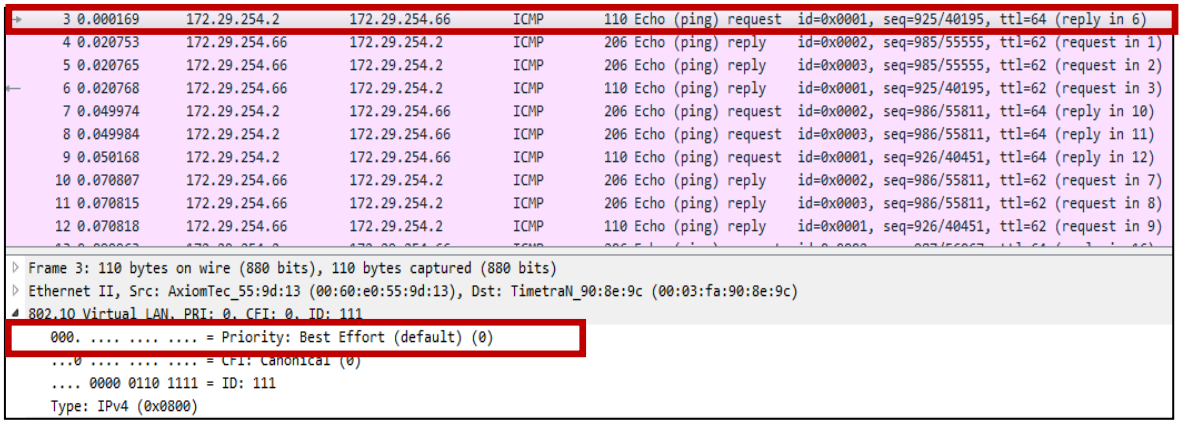


Şekil 6.56. Saturasyon durumunda 1024-byte'lık test paketleri ile gerçekleştirilen TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokollerine ait Paket Kaybı değerleri

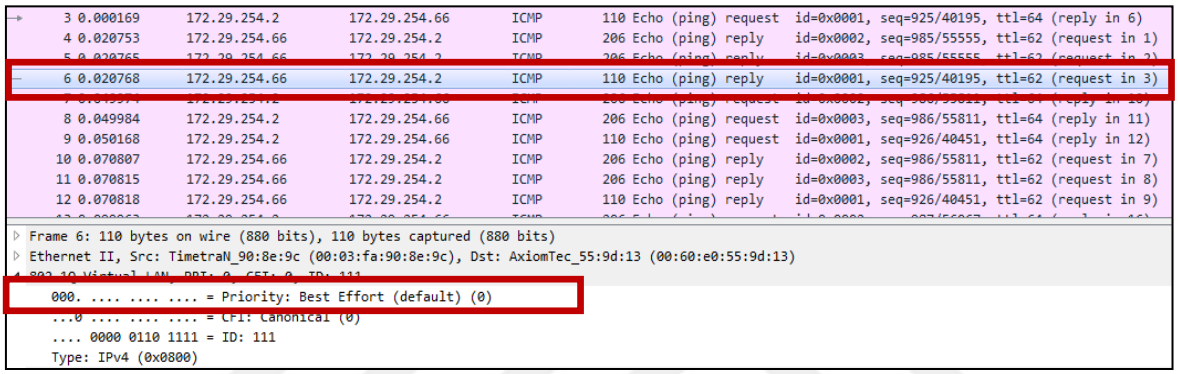
6.3. Test Paketlerinin Analizi

TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri ile yapılan testlerdeki paketler protokol bazında wireshark uygulaması ile tek tek analiz edilmiştir. Bu analizin amacı, protokol standartlarında belirtilen durumların sağlanıp sağlanamadığının tespiti ile TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinin ICMP (Ping) protokolünden neden üstün olduğunun kanıtlanmasıdır.

Şekil 6.57' de belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Best Effort trafik sınıfında gönderimi sağlanan ICMP (Ping) test paketlerinin yine Best Effort trafik sınıfında cevaplandığı görülmektedir.



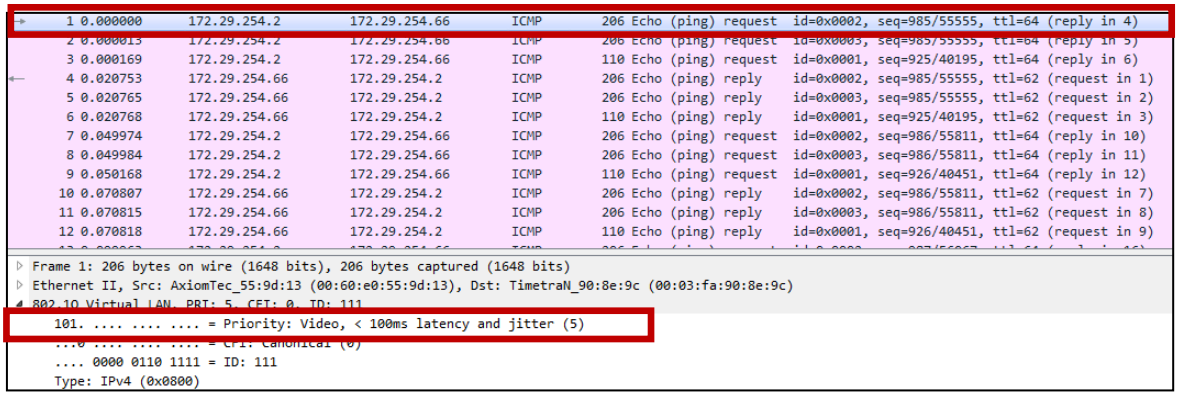
(a)



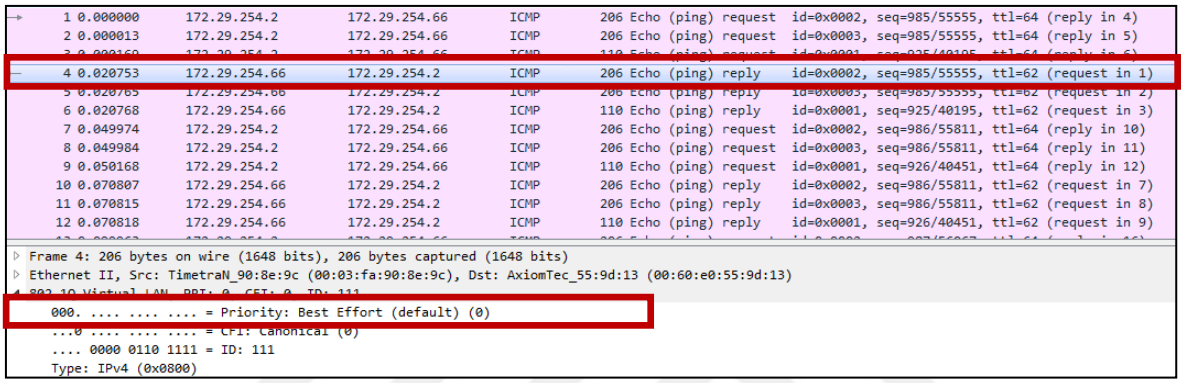
(b)

Şekil 6.57. ICMP (Ping) protokolünde Best Effort trafik sınıfına ait Wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.58’ de belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Video trafik sınıfında gönderimi sağlanan ICMP (Ping) test paketlerinin yine Best Effort trafik sınıfında cevaplandığı görülmektedir. Bu durum, ICMP (Ping) protokolü ile yapılan testlerde gönderimi yapılan test paketinin trafik sınıfına bakılmaksızın diğer veri, ftp, mail vb. trafik sınıfında olan paketlerle aynı öncelikte değerlendirildiğini ve cevaplandığını göstermektedir.



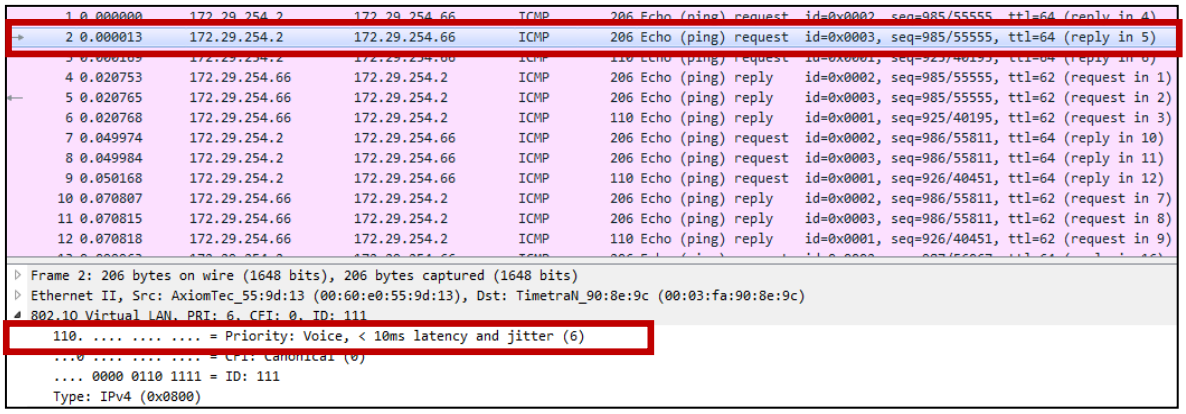
(a)



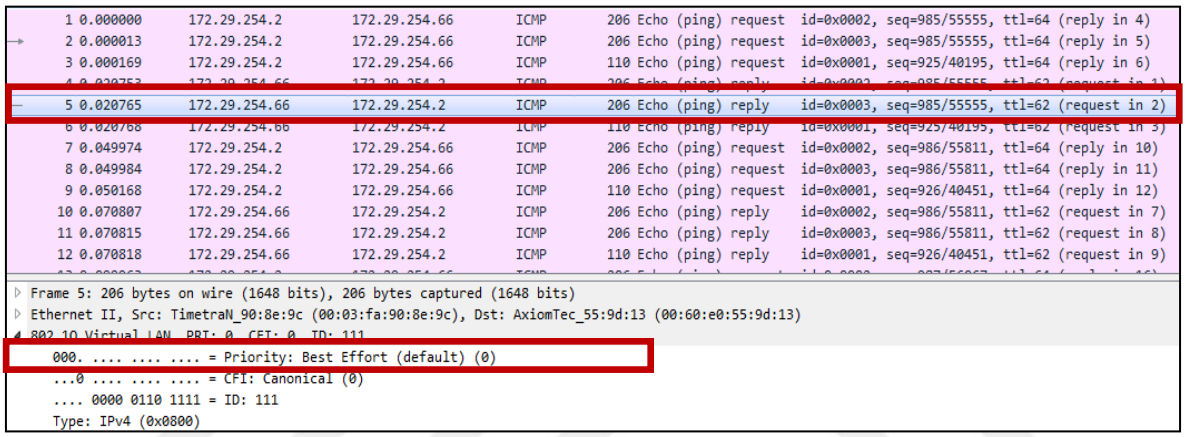
(b)

Şekil 6.58. ICMP (Ping) protokolünde Video trafik sınıfına ait Wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.59' da belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Voice trafik sınıfında gönderimi sağlanan ICMP (Ping) test paketlerinin yine Best Effort trafik sınıfında cevaplandığı görülmektedir. Bu durum, ICMP (Ping) protokolü ile yapılan testlerde gönderimi yapılan test paketinin trafik sınıfına bakılmaksızın diğer veri, ftp, mail vb. trafik sınıfında olan paketlerle aynı öncelikte değerlendirildiğini ve cevaplandığını göstermektedir.



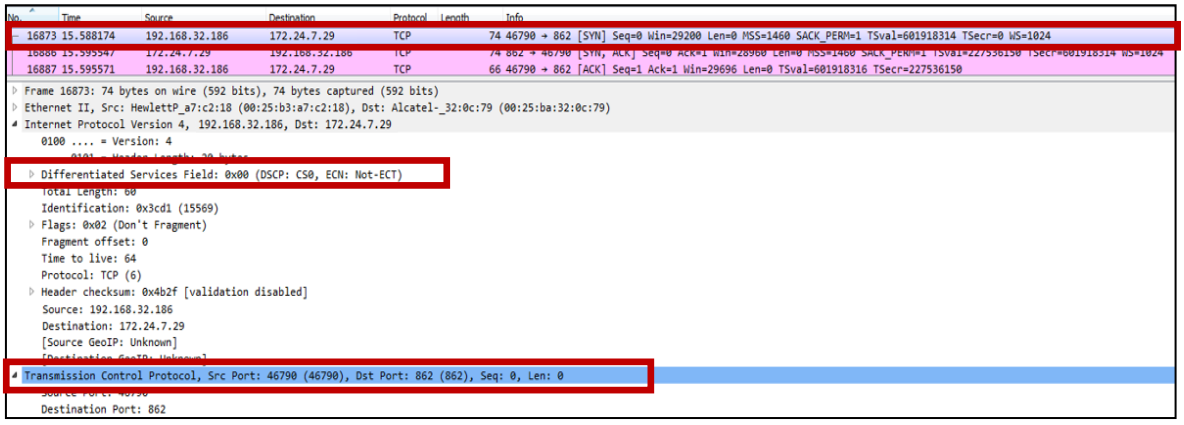
(a)



(b)

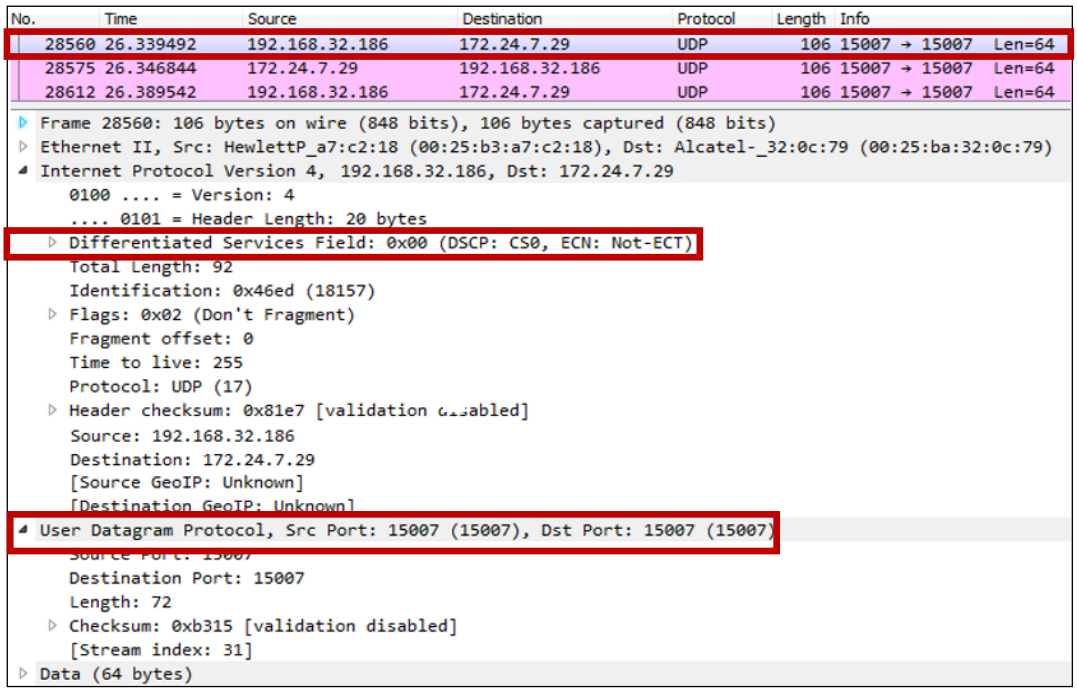
Şekil 6.59. ICMP (Ping) protokolünde Voice trafik sınıfında ait Wireshark ekran görüntüsü a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.60'da belirtilen wireshark ekran görüntüsünde, Best Effort trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketi detayları mevcuttur. Kontrol paketinin TWAMP protokol gereği hedef noktasında TCP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir.

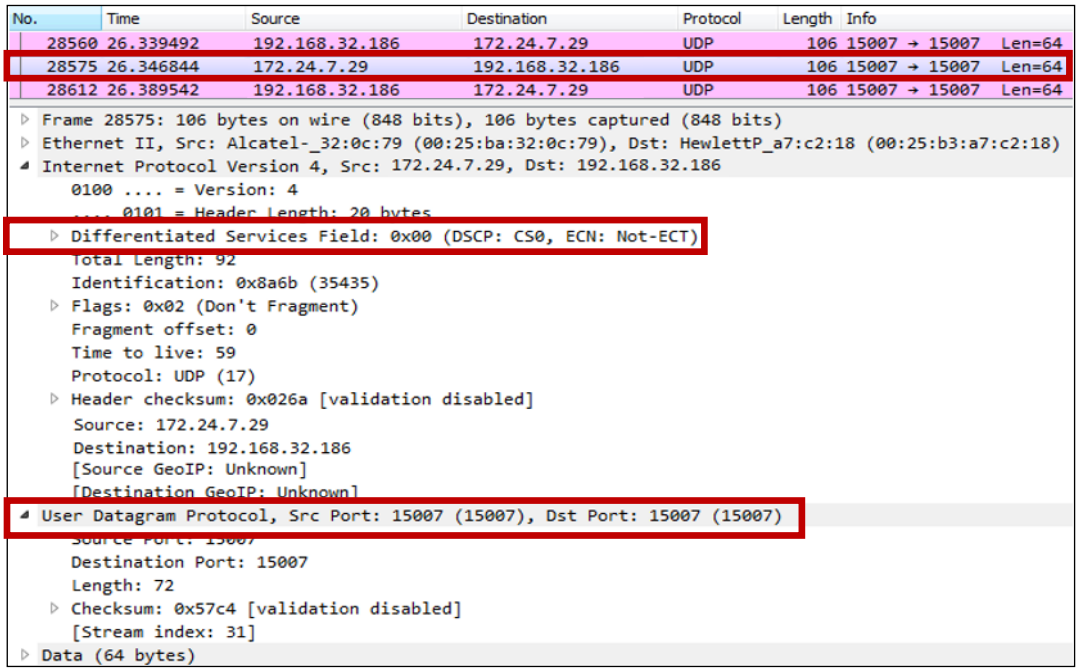


Şekil 6.60. TWAMP protokolü ile Best Effort (DSCP0: CS0) trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketine ait Wireshark ekran görüntüsü

Şekil 6.61' de belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Best Effort trafik sınıfında gönderilen UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Best Effort (DSCP: CS0) trafik sınıfında gönderilen test paketine yine Best Effort (DSCP: CS0) trafik sınıfında etiketlenmiş paket ile cevap verilmiştir. Ayrıca UDP test paketlerinin belirli portlar üzerinden gönderilip alındığı da görülmektedir.



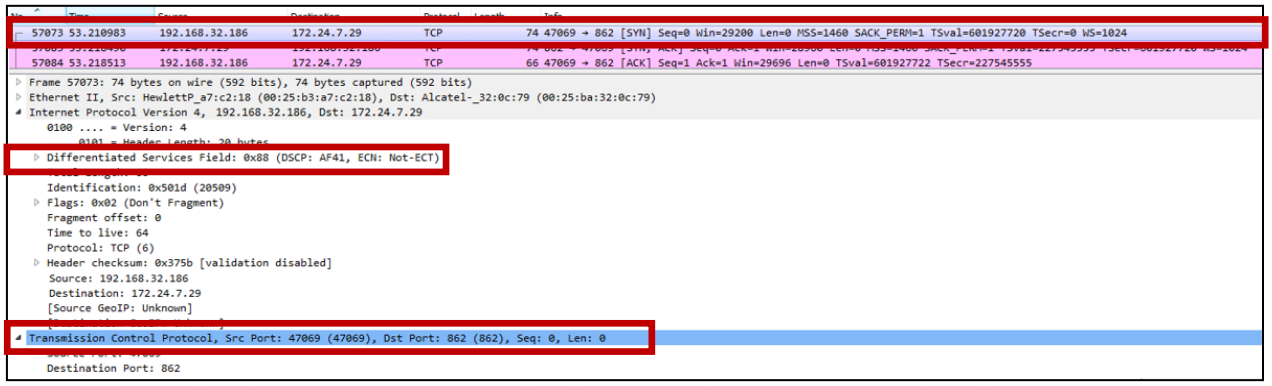
(a)



(b)

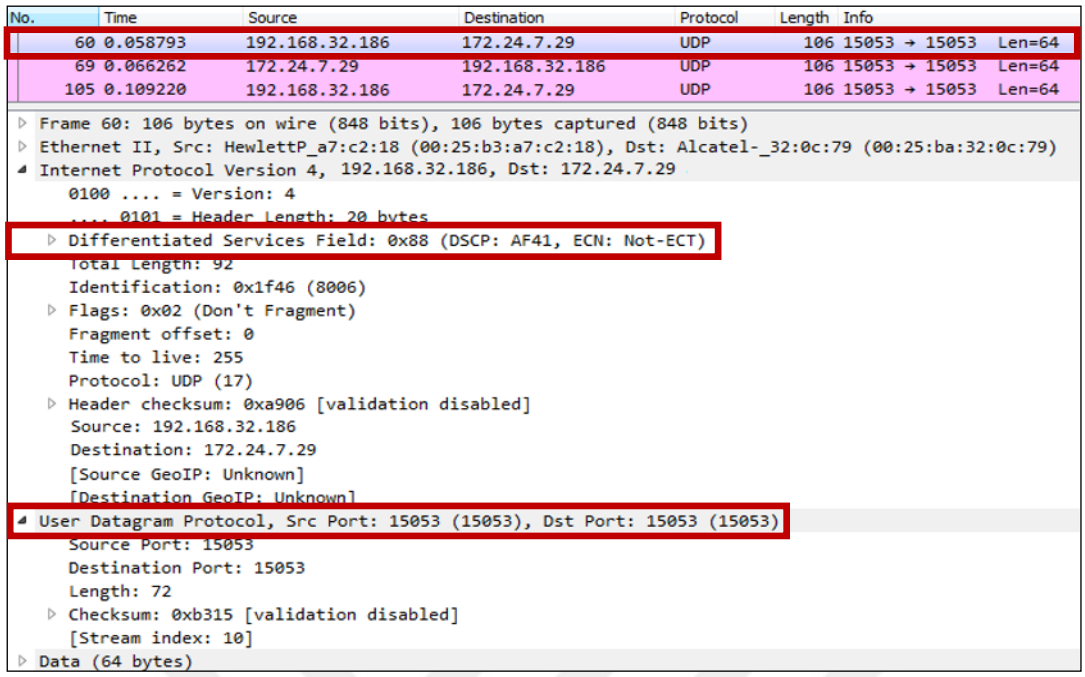
Şekil 6.61. TWAMP protokolü ile Best Effort (DSCP0: CS0) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri
a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.62’ de belirtilen wireshark ekran görüntüsünde, Video trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketi detayları mevcuttur. Kontrol paketinin TWAMP protokol gereği hedef noktasında TCP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir.

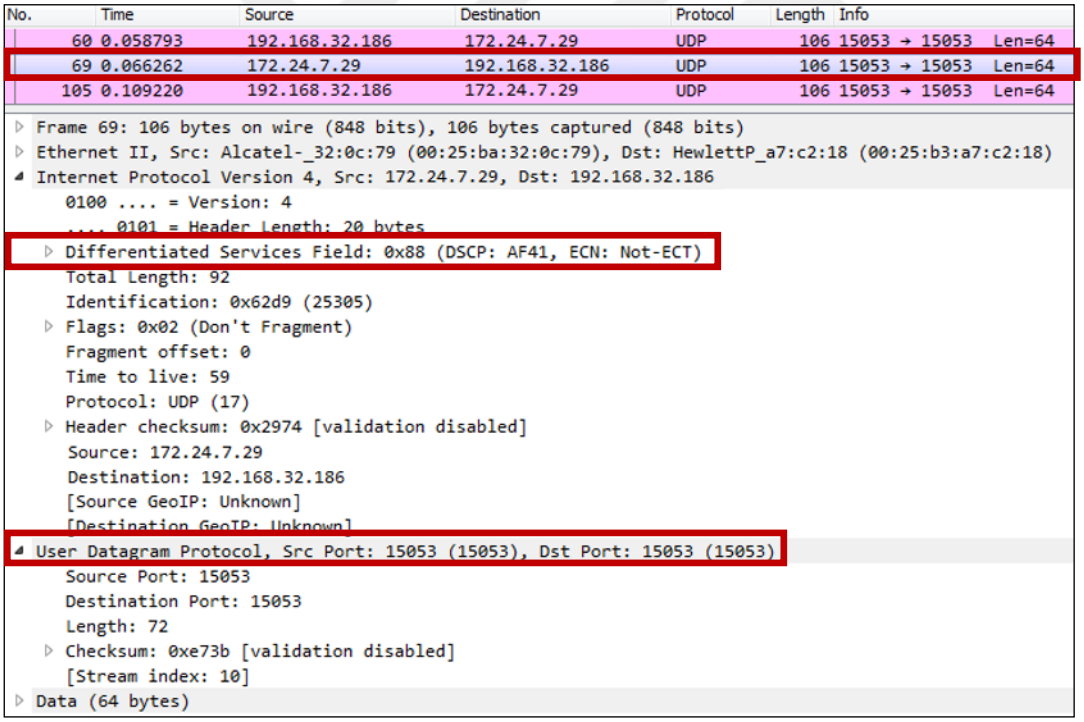


Şekil 6.62. TWAMP protokolü ile Video (DSCP34: AF41) trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketine ait Wireshark ekran görüntüsü

Şekil 6.63’ te belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Video trafik sınıfında gönderilen UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Video trafik sınıfında gönderilen test paketine cevabın yine Video trafik sınıfında olduğu görülmektedir. Bu durum ICMP (Ping) protokolünün aksine TWAMP protokolünün gerçek zamanlı uygulamalardaki IP performans ölçümlerinin daha doğru ve hassas olacağını ifade etmektedir. Ayrıca ekran görüntülerinde UDP test paketlerinin belirli portlar üzerinden gönderilip alındığı da görülmektedir.



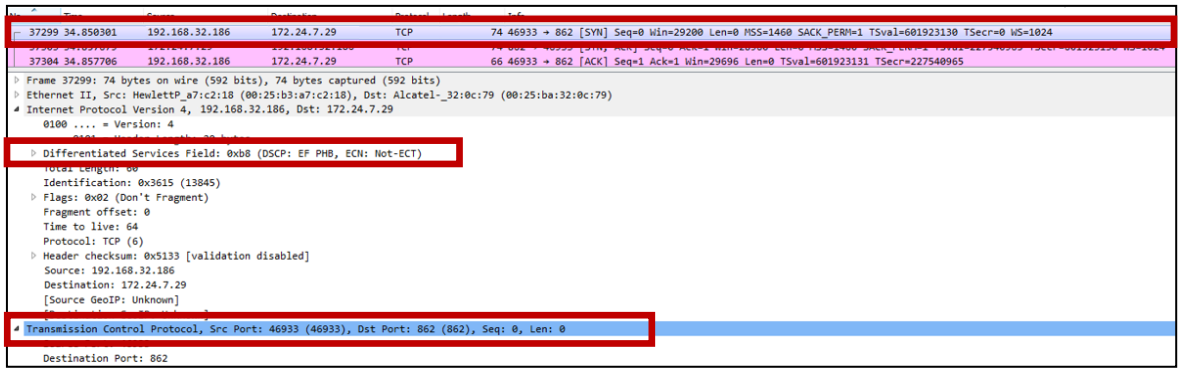
(a)



(b)

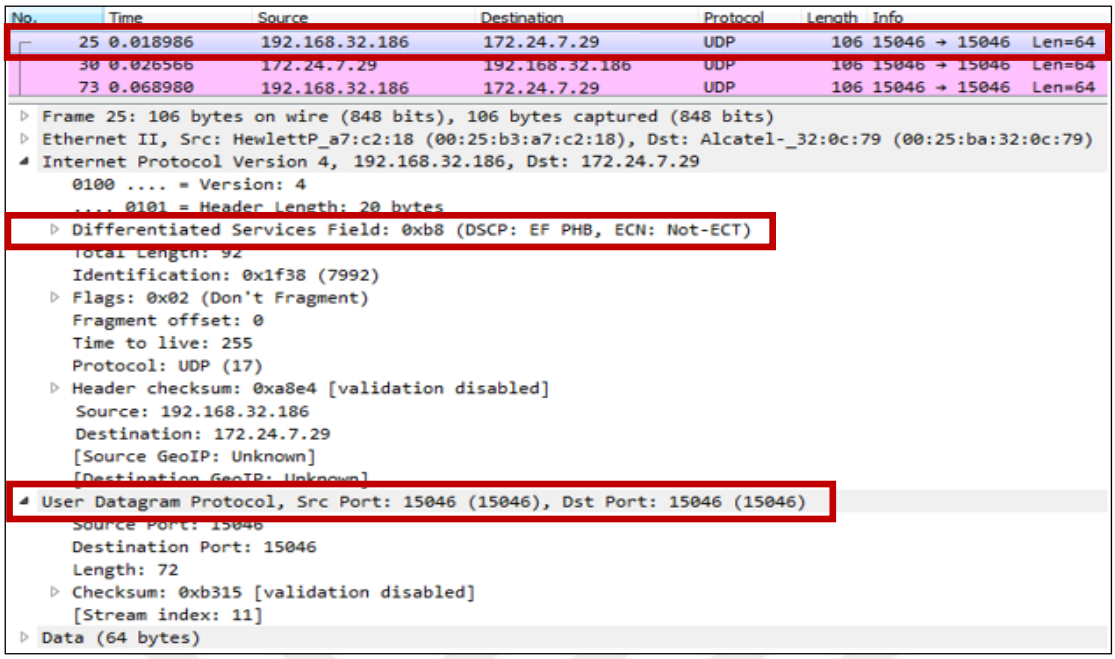
Şekil 6.63. TWAMP protokolü ile Video (DSCP34: AF41) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP Test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri
a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.64' te belirtilen wireshark ekran görüntüsünde, Voice trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketi detayları mevcuttur. Kontrol paketinin TWAMP protokol gereği hedef noktasında TCP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir.

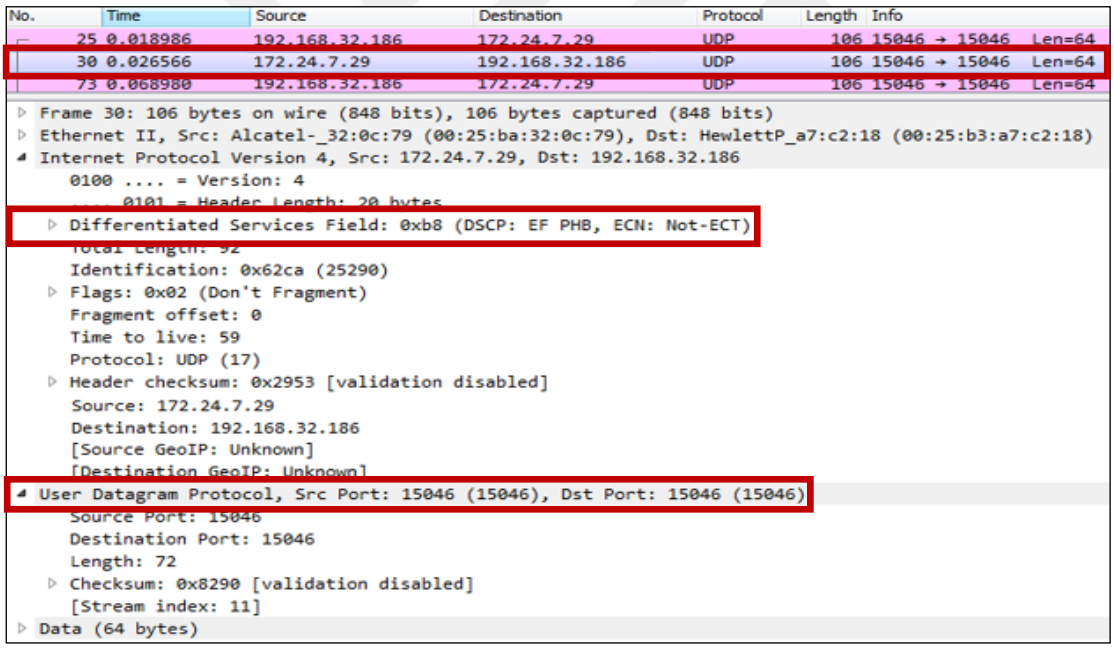


Şekil 6.64. TWAMP protokolü ile Voice (DSCP46: EF) trafik sınıfında gönderilen TCP kontrol paketine ait Wireshark ekran görüntüsü

Şekil 6.65' te belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Voice trafik sınıfında gönderilen UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Voice trafik sınıfında gönderilen test paketine cevabın yine Voice trafik sınıfında olduğu görülmektedir. Bu durum ICMP (Ping) protokolünün aksine TWAMP protokolünün gerçek zamanlı uygulamalardaki IP performans ölçümlerinin daha doğru ve hassas olacağını ifade etmektedir. Ayrıca ekran görüntülerinde UDP test paketlerinin belirli portlar üzerinden gönderilip alındığı da görülmektedir.



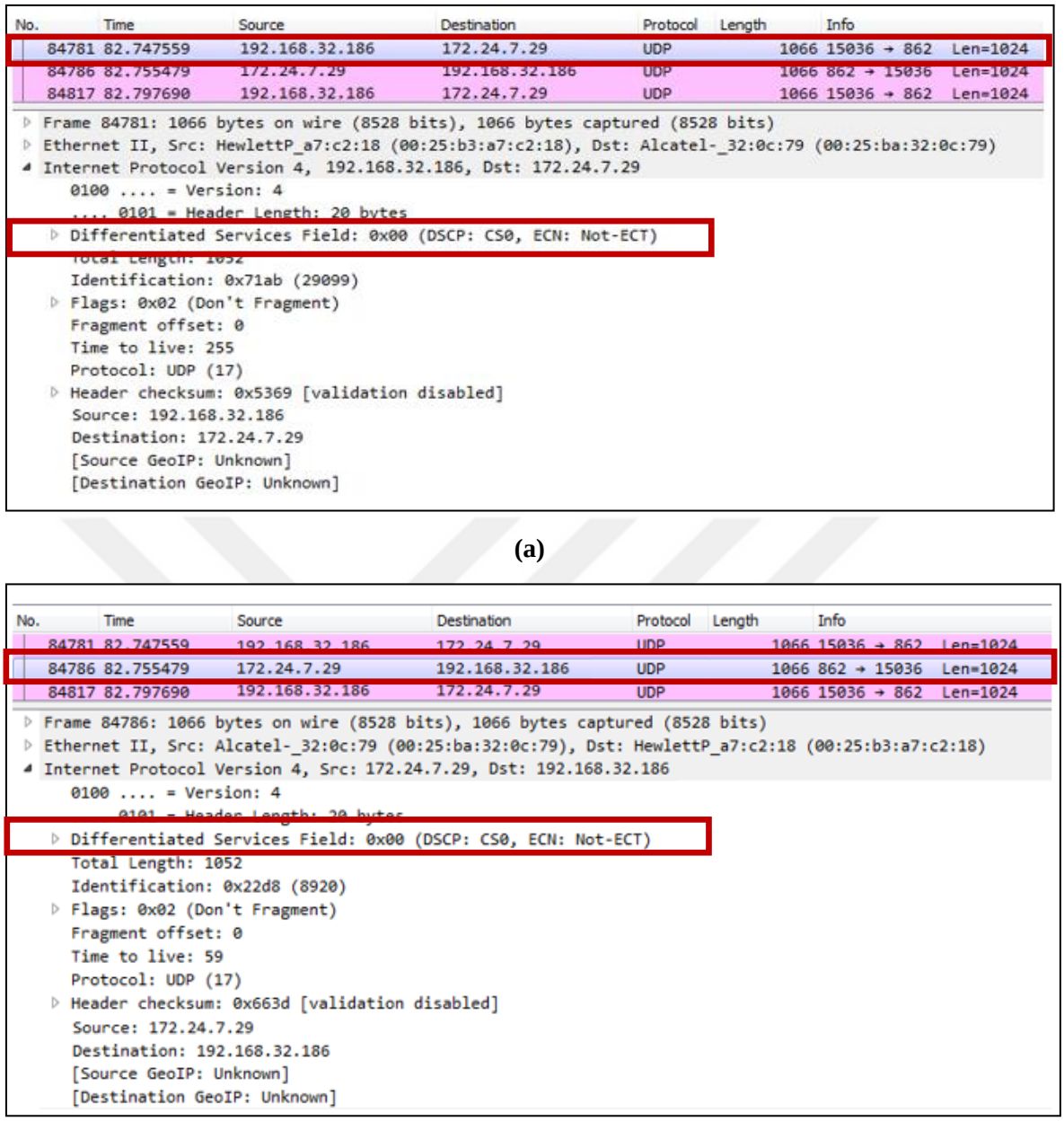
(a)



(b)

Şekil 6.65. TWAMP protokolü ile Voice (DSCP46: EF) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.66' da belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Best Effort trafik sınıfında gönderilen TWAMP-Light UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Test paketinin TWAMP-Light protokol gereği hedef noktasında UDP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir. Best Effort (DSCP0: CS0) trafik sınıfında gönderilen test paketine yine Best Effort (DSCP0: CS0) trafik sınıfında etiketlenmiş paket ile cevap verilmiştir.



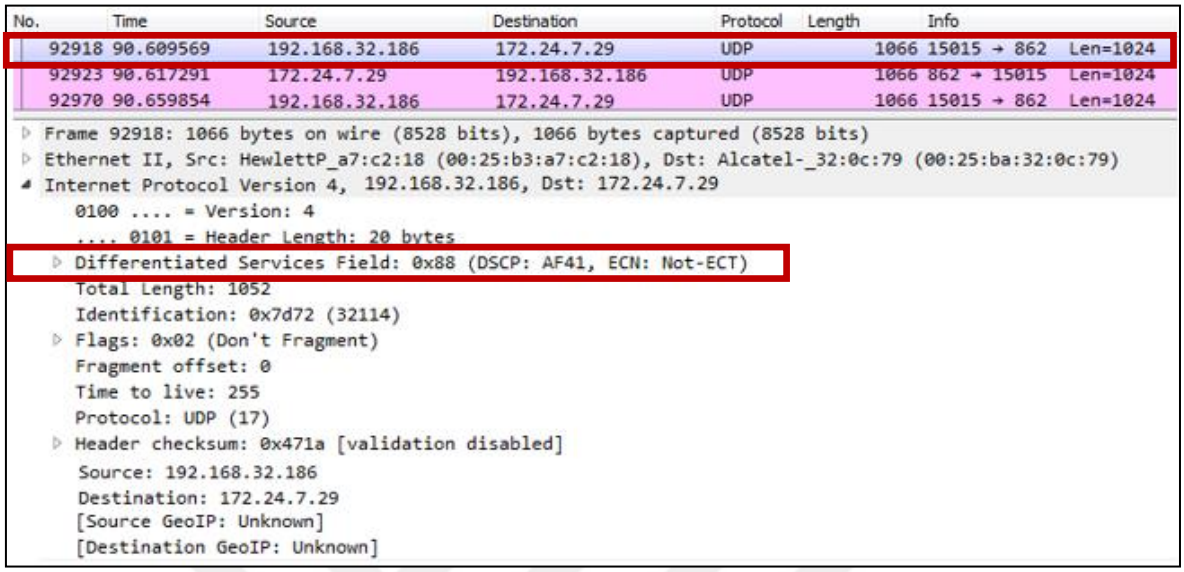
(a)

(b)

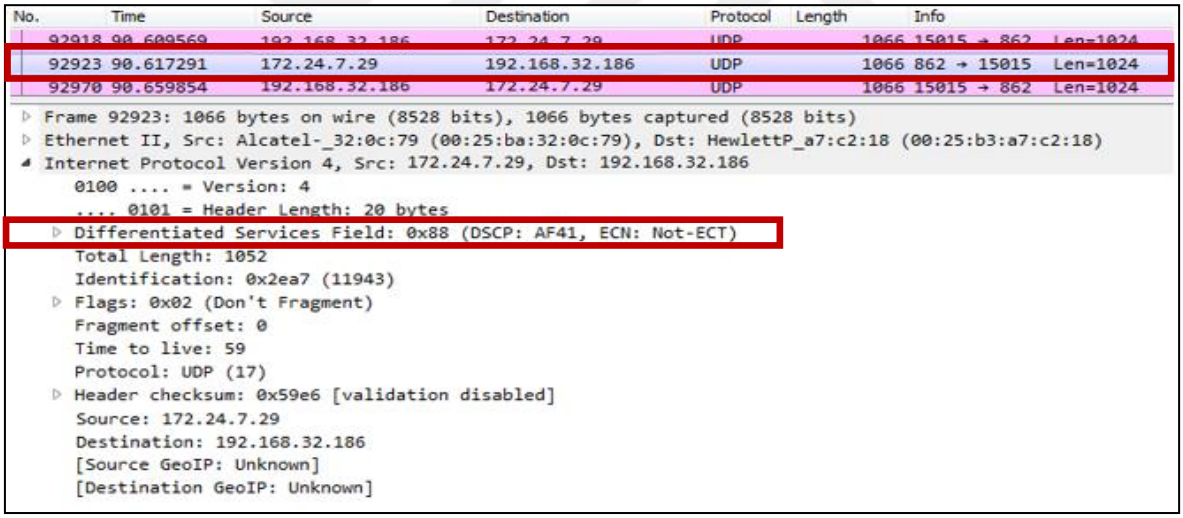
Şekil 6.66. TWAMP-Light protokolü ile Best Effort (DSCP0: CS0) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP Test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.67' de belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Video trafik sınıfında gönderilen UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Test paketinin TWAMP-Light protokol gereği hedef noktasında UDP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir. Video trafik sınıfında gönderilen test paketine cevabın yine Video trafik sınıfında olduğu görülmektedir. Bu durum ICMP (Ping) protokolünün aksine TWAMP-Light protokolünün gerçek zamanlı uygulamalardaki IP performans ölçümlerinin daha doğru ve hassas olacağını ifade

etmektedir. Ayrıca ekran görüntülerinde UDP test paketlerinin belirli portlar üzerinden gönderilip alındığı da görülmektedir.



(a)

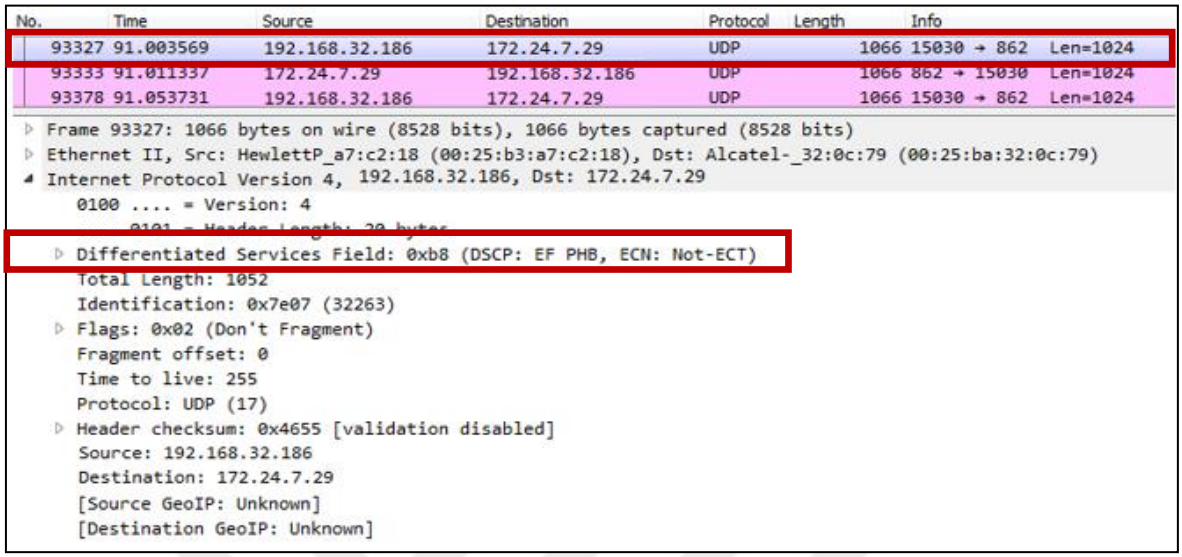


(b)

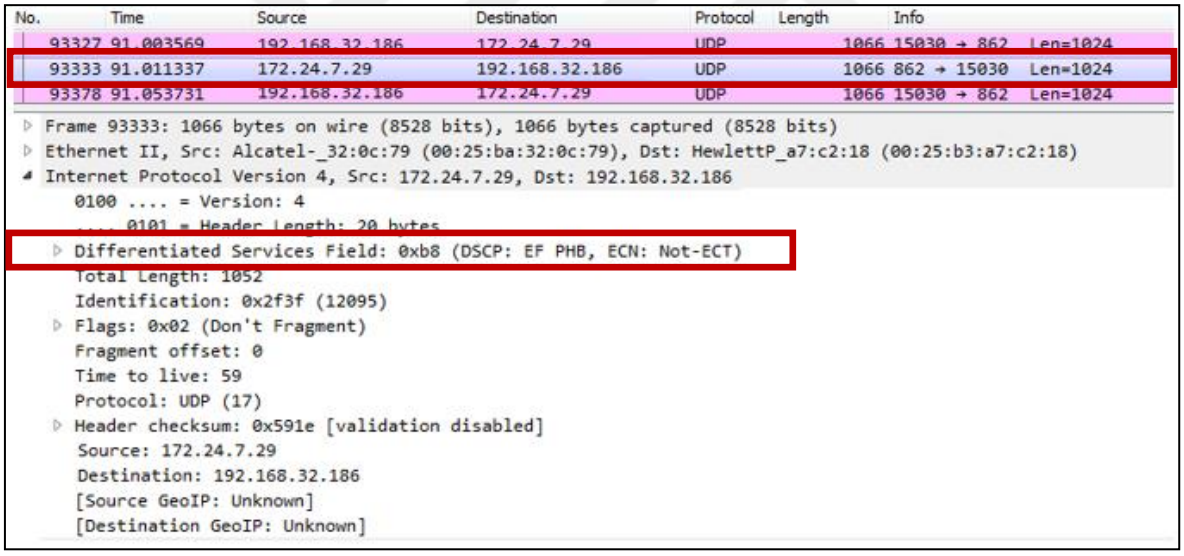
Şekil 6.67. TWAMP-Light protokolü ile Video (DSCP34: AF41) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri
a) Gönderilen b) Alınan

Şekil 6.68' de belirtilen wireshark ekran görüntülerinde, Voice trafik sınıfında gönderilen UDP test paketlerine ait detaylar mevcuttur. Test paketinin TWAMP-Light protokol gereği hedef noktasında UDP 862. portuna gönderildiği de görülmektedir. Voice trafik sınıfında gönderilen test paketine cevabın yine Voice trafik sınıfında olduğu görülmektedir. Bu durum ICMP (Ping) protokolünün aksine TWAMP-Light protokolünün gerçek zamanlı uygulamalardaki IP performans ölçümlerinin daha doğru ve hassas olacağını ifade

etmektedir. Ayrıca ekran görüntülerinde UDP test paketlerinin belirli portlar üzerinden gönderilip alındığı da görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.68. TWAMP-Light protokolü ile Voice (DSCP46: EF) trafik sınıfında gönderilen ve alınan UDP Test paketine ait Wireshark ekran görüntüleri
a) Gönderilen b) Alınan

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

IP dünyasındaki gerçek zamanlı uygulamaların ve servislerin gün geçtikçe yaygınlaşması ve performans ölçümlerinin önem kazanması ile performans metriklerinin hassas olarak ölçülmesi ve servis kalitesinin raporlanması ön plana çıkmıştır. Özellikle internet servis sağlayıcı şirketlerin vermiş oldukları hizmet ile ilgili müşterilere SLA taahhütleri vermesi ve taahhütteki performans metriklerini düzenli olarak ölçüp raporlamak istemesi nedeniyle TWAMP ve TWAMP-Light gibi aktif performans ölçüm metotları gün geçtikçe artarak kullanılmaya başlanmıştır.

Hazırlanan bu tez çalışmasında, IP ağlarında performans metriklerinin ölçümü için son zamanlarda kullanılmaya başlanan TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinin doğruluk ve hassasiyet değerleri test edilmiştir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan ve hemen hemen tüm işletim sistemlerinin desteklediği ICMP (Ping) protokolü ile kıyaslanmış ve bu protokole göre daha doğru ve hassas sonuçları elde edildiği ispatlanmıştır.

Gerçek IP ağı donanımları ile yapılan bu çalışmada, ağ içerisinde iki nokta arasındaki RTD, Jitter ve Paket Kaybı performans değerleri, aktif ölçüm yöntemi olan TWAMP ve TWAMP-Light ile ICMP (Ping) protokolleri için ölçülmüş ve değerler karşılaştırılmıştır. Bu ölçümler için Best Effort, Voice ve Video trafik sınıflarında test paketleri kullanılmıştır. Ölçümler için iki ayrı senaryo üzerinde çalışılmıştır. İlk senaryoda test yapılan topolojinin sorunsuz bir ağa sahip olduğu varsayılırken ikinci senaryoda ise test portlarında bir tanesinde bant genişliği sınırlaması yapılarak ilgili linkin sature olması sağlanmıştır. Bu iki senaryonun uygulanmasından amaçlanan, TWAMP ve TWAMP-Light ile ICMP (Ping) protokolleri ile yapılan testlerdeki hassasiyetin ve doğruluk derecesinin ölçülmesidir.

Ölçüm ve kıyaslama sonucunda RTD ve Jitter değerleri tüm trafik sınıflarında üç protokol için de aynı çıkmıştır. Ancak Paket Kaybı değeri, ICMP (Ping) protokolünde TWAMP ve TWAMP-Light protokollerine göre daha yüksek çıkmıştır. Özellikle sature edilmiş ağda yapılan testlerde Best Effort trafik sınıfında olan ICMP (Ping) protokolüne ait paket kaybı değerleri çok fazla çıkmıştır. Bu durumun analiz edilmesi ve irdelenmesi amacıyla TWAMP, TWAMP-Light ve ICMP (Ping) protokolleri ile yapılan testlere ait paketler Wireshark çıktısı olarak alınmıştır. Yapılan analizde, ICMP (Ping) protokolü ile Best Effort, Voice ve Video

trafik sınıflarında hedef noktaya gönderilen test paketlerine cevapların her durumda Best Effort trafik sınıfında olduğu görülmüştür. Ancak, TWAMP ve TWAMP-Light protokolleri ile yapılan testlerde Best Effort, Voice ve Video trafik sınıflarında karşı tarafa gönderilen test paketlerine verilen cevap, gönderilen trafik sınıfı türüne göre olmuştur. Bu durum, TWAMP ve TWAMP-Light protokollerinin IP ağ performans ölçümlemesinde kullanılmasının daha uygun olacağını göstermiştir.

Yapılan test ve elde edilen sonuçlar çerçevesinde, TWAMP veya TWAMP-Light protokolleri kullanılarak sabit ve mobil şebelerdeki gerçek zamanlı ses ve video servislerine ait performans değerlerinin ölçülmesi tavsiye edilmektedir. Özellikle de gecikme, jitter ve paket kaybı parametrelerinin çok hassas olduğu uzun vadeli evrim (Long Term Evolution - LTE) teknolojisinde TWAMP veya TWAMP-Light protokolleri kullanarak servis kalitesi parametreleri ölçülmelidir. Ayrıca, test senaryoları planlanırken mevcut ağdaki kapasite değerlerinin dikkate alınması ve standartlara göre ölçüm yapacak olan cihazlardaki CPU ve Memory değerlerinin de gözlemlenmesi gerektiği mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Mnisi, N.V., Oyedapo, O. J. ve Kurien, A. (2008), Active Throughput Estimation using RTT of Differing ICMP packet sizes, *Third International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications*, IEEE, 480-485.

2. İnternet: TWAMP White paper. URL: http://www.webcitation.org/6lad28Ub3, Son Erişim Tarihi: 03.06.2016

3. Backström, I. (2009). *Performance Measurement of IP Network using the Two-Way Active Measurement Protocol*, Master of Science Thesis Stockholm, Royal Institute of Technology, Sweden, 15-34.

4. Soumyalatha, N., Ambhati, R. K. ve Kounte. M. R. (2013). Performance Evaluation of IP Wireless Networks using Two Way Active Measurement Protocol, *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 1896-1901.

5. İnternet: Wireshark. URL: http://www.webcitation.org/6lafwTLQv, Son Erişim Tarihi: 19.05.2016.

6. IETF Network Working Group. (2008, Ekim). *A Two-way Active Measurement Protocol*, Request for Comments: 5357 (RFC-5357).

7. Huawei Technologies Co., Ltd. (2014). *Single RAN IP Active Performance Measurement Feature Parameter Description*, Draft A, Chapter 2-3.

8. Hurme, E. (2016). *Evaluation of SLA Monitoring System*, Bachelor of Engineering Thesis, Metropolia University of Applied Sciences, 1-32.

9. IETF Network Working Group. (2012, Kasım). *Ericsson Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) Value-Added Octets*, Request for Comments: 6802 (RFC-6802).

10. Kocak, C., Zaim, K. (2017, Mayıs). *Performance Measurement of IP Networks using Two-Way Active Measurement Protocol*. Paper Presented at The 8th International Conference on Information Technology (ICIT2017), IEEE2017, Amman, Jordan.

11. Zaim, K., Kocak, C. (2016). Performance Analysis of IP Network Using Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) and Comparison with ICMP (Ping) Protocol in a Saturated Condition, *4th Int. Symp. on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES-2016)*, pp.1618-1627, ISSN: 2148-7464, Alanya-Antalya, Turkey.

12. Svante, E. and Humlegårdens, E. *Formerly with Ericsson Research*. Andreas, J. and Christofer, F. *Research Area Cloud Technologies Ericsson Research*, Scalability and Dimensioning of Network-Capacity Measurement System using Reflecting Servers, Sweden.

13. IETF Network Working Group. (2006, Eylül) *A One-way Active Measurement Protocol (OWAMP)*, Request for Comments: 4656 (RFC-4656).

14. İnternet: Technology & Application Overview Whitepaper - Accedian Networks, Automated, End-to-End Carrier Ethernet Deployment & Monitoring. URL: http://www.webcitation.org/6lfI3NIqz, Son Erişim Tarihi: 07.07.2016.

15. Saqlain H. ve Harpal S. (2013). *Available Bandwidth Measurement in 4G Networks*, Master of Science, Luleå University of Technology Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, Luleå, Sweden, 3-44.

16. Cisco Systems, Inc. (2014, Temmuz). *Cisco ME 3800X and ME 3600X and ME 3600X-24CX Switch Software Configuration Guide*, IP SLAs TWAMP Responder, Chapter 70.

17. Civil, R., Morton, A., Zheng, L., Rahman, R., Jethanandani, M., ve K. Pentikousis, *Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) Data Model*, draft-ietf-ippmtwamp-yang-01, Temmuz 2016.

18. IETF Network Working Group. (2016, Şubat). *Differentiated Service Code Point and Explicit Congestion Notification Monitoring in the Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP)*, Request for Comments: 7750 (RFC-7750).

19. IETF Network Working Group. (1998, Aralık). *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*, Request for Comments: 2474 (RFC-2474).

20. Cisco Systems, Inc. *Cisco Nexus 1000V Quality of Service Configuration Guide*, Chapter 6, DSCP and Presedence Values, Release 4.0.4.

21. Ganapathy R. M. (2015, Eylül). *A Tool for Measuring Available Network Bandwidth in the Cloud*, Master's Degree Project, Stockholm, Sweden, 5-57.

22. Thomas, L. *A New Approach to Performance Monitoring in IP Networks – combining active and passive methods*, A New Approach to Performance Monitoring in IP Networks/Talks 102. KTH IMIT and Ki Consulting, Haninge, Sweden.

23. Mohan, V., Reddy, Y. R. J ve Kalpana, K. (2011). Active and Passive Network Measurements: A Survey, *Venkat Mohan et al, / (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 2 (4) , 1372-1385.

24. Lee, H. J., Kim, M. S., Hong, J. W. ve Lee, G. H. (2002). Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH, *QoS Parameters to Network Performance Metrics Mapping for SLA Monitoring*, Pohang Korea.

25. Maheen, H. (2006, Haziran). *Analysis of Packet Loss Probing in Packet Network*, Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, Department of Electronic Engineering, Queen Mary, University of London, 18-72.

26. IETF Network Working Group. (1981, Eylül). *Internet Control Message Protocol*, Request for Comments: 792 (RFC-792).

27. Skurowski1, P., W´ojcicki1, R. ve Jerzak, Z. (2010, Haziran). Evaluation of IP Transmission Jitter Estimators Using One-Way Active Measurement Protocol (OWAMP), *Communication in Computer and Information Science*, 5-10.

28. John, H. (2002). *Assessing the Accuracy of Active Probes for Determining Network Delay, Jitter and Loss, in High Performance Computing*, The University of Edinburgh, 3-7.

29. "The Quality of Internet Service: AT&T's Global IP Network Performance Measurements".

30. IETF Network Working Group. (1999, Eylül). *A Round-trip Delay Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*, Request for Comments: 2681 (RFC 2681).

31. IETF Network Working Group. (2002, Kasım). *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*, Request for Comments: 3393 (RFC 3393).

32. IETF Network Working Group. (2012, Ağustos). *Round-Trip Packet Loss Metrics*, Request for Comments: 6673 (RFC 6673).

33. IETF Network Working Group. (1981, Eylül). *Internet Protocol*, Request for Comments: 791 (RFC-791).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	: ZAİM, Kahraman
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 17.12.1984, Arhavi - Artvin
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0507 558 01 53
E-mail	: kahramanzaim@hotmail.com kahramanzaim@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü/Bilişim Sistemleri	Devam Ediyor
Lisans (2.Üniversite)	Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi/İşletme Bölümü	2010
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (İng.)	2008
Lise	Arhavi Lisesi Yabancı Dil Ağırlıklı Lise	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008 - 2010	Ankara Netmon AŞ (Ankara)	Elektrik-Elektronik Müh
2011 - 2012	Huawei Telekomünikasyon (Ankara)	NGN Teknik Destek Müh
2012-	Türk Telekomünikasyon AŞ GM (Ankara)	Uzman Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. *Zaim, K., Kocak, C. (2016). "Performance Analysis of IP Network Using Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) and Comparison with ICMP (Ping) Protocol in a Saturated Condition", 4th Int. Symp. on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES-2016), pp.1618-1627, ISSN: 2148-7464, Alanya-Antalya, Turkey*
2. *Kocak, C., Zaim, K. (2017, May). Performance Measurement of IP Networks using Two-Way Active Measurement Protocol. Paper Presented at The 8th International Conference on Information Technology (ICIT2017), IEEE 2017, Amman, Jordan*

GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR.