Sanal Ortam Ağlarında 6to4 Otomatik Tünelleme Yöntemi ile Performans Değerlendirilmesi

Arsan Adnan Hameed Hameed[1], O. Ayhan ERDEM[2]

[1]Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
[2]Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
ersenadnan@yahoo.com, ayerdem@gazi.edu.tr
(Geliş/Received: 08.05.2013; Kabul/Accepted: 05.05.2014)

DOI: 10.12973/bid.2015

Özet- Bu çalışmada, sanal ortamda 6to4 tünelleme yöntemiyle, IPv4 ve IPv6 ağlar için performans karşılaştırılması yapılmıştır. Oluşturulan senaryolarda TCP ve UDP veri iletim protokolleri test edilmiştir. Performans metrikleri olarak; aktarılan veri oranı, bant genişliği, dalga bozulma oranı ve kayıp paket oranları seçilmiştir. Kurulan IPv4, IPv6 ve 6to4 tünel ağ senaryoları benzetim programları kullanılarak test edilmiştir. Sonuç olarak tünelleme yöntemi kullanarak IPv6'ya geçmenin ağ performansını olumsuz şekilde etkilemediği ve diğer ağlarla eşdeğer performans sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- TCP, UDP, IPv4, IPv6, Iperf, 6to4 tünelleme yöntemi

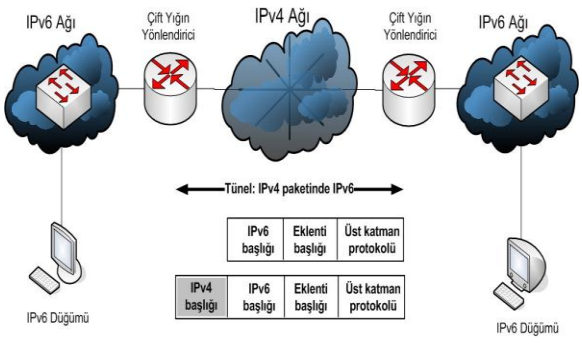
Performance Evaluation of 6to4 Automatic Tunneling Method in Virtual Environment Networking

Abstract- In this study, a network performance analysis was made for the networks of IPv4 and IPv6 by using 6to4 tunneling. The data communication protocols of TCP and UDP were tested by using virtual machine tool for simulating the all network scenarios. The performance metrics such as jitter, datagram/packet loss and bandwidth were measured in both TCP and UPD traffic flow. As a result of adopting IPv6 tunneling methods, there exists no adversely affect of network performance with IPv6, and has shown equivalent performance to other networks.

Keywords- TCP, UDP, IPv4, IPv6, Iperf, 6to4 tunneling method

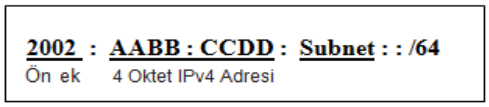
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mevcut internet protokolü IPv4'de, internet ağ sayısı çok fazla arttığından, adres havuzu yetersiz kalmıştır. Yeni sürüm protokol olan IPv6, eski sürüm IPv4'ün yetersizliğini gidermek için geliştirilmiştir. Dünyadaki bütün ağları kısa bir sürede IPv6'ya taşımak uygulaması kolay bir çözüm değildir. Bu nedenle internet IETF (Internet Engineering Task Force) örgütü bu geçişi sağlıklı bir şekilde yapmak için yeni sürüm IPv6'ya geçiş stratejileri geliştirmiştir. IPv6'ya geçiş sırasında oluşan dalga bozulması, bant genişliği, paket kaybı ve zayıf bağlantı sorunları ağ performansını etkilemektedir. Tünelleme IPv4'ten IPv6'ya geçiş için en önemli geçiş yöntemlerinden birisidir (Şekil 1). Tünelleme yönteminin ana işlevi ağ üzerinden gönderilen bir paketin başlığına, başka protokolün başlığını ekleyerek paket gönderimi yapmaktır. Tünelleme yöntemi, bilgisayar ağ güvenliği alanında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca da gelecek yıllarda IPv6'nın yaygın bir şekilde kullanılacağı kesin gözükmektedir.



Şekil 1. 6to4 Tünel Yaklaşımı
(6to4 Tunnel Approach)

6to4 dinamik tünelleme yöntemi tek noktadan, çok noktaya paket gönderme prensibi ile çalışmaktadır. Diğer bir deyimle, 6to4 tünellerinde tünelin hedefi önceden belirlenmemektedir. Bunun yerine önceden yapılandırılmış paket gönderimleri yapılır (Bu durum Tunnel X olarak belirtilir). Otomatik 6to4 yöntemi için RFC 3056'da (Request For Commands 3056) IPv6 için ayrılan adres aralığı 2002::/16 olarak tanıtılmıştır. Bu adres aralığı ne kadar IPv6 Global Unicast adres (2000::/3) gibi görünse de IANA(Internet Assigned Numbers Authority) kurumu 2002::/16 ön ek'ini 6to4 otomatik tünelleme yöntemi için ayırmıştır ve kesinlikle Global Unicast adres olarak tanıtmamıştır.
6to4 tünel yapılandırmasında 2002::/16 ön ek 'ine, tünel uçuna ve tünel sonunda bulunan IPv4 adreslerini 6to4 adresine yani 2002::/16 ön ek'inin 2. ve 3. Oktet'lerine eklenmektedir (Şekil 2.)



Şekil 2. 6to4 tünelleme yönteminin IPv6 adresi
(The IPv6 address of the 6to4 tunneling method)

Bu çalışmada 3 farklı ağ performans açısından analiz edilmiştir. Bunlar;

- IPv4 altyapılı ağda IPv4'ten IPv4'e
- IPv6 altyapılı ağda IPv6'dan IPv6'ya
- IPv4 altyapılı ağda IPv6'dan IPv6'ya (6to4) şeklindedir.

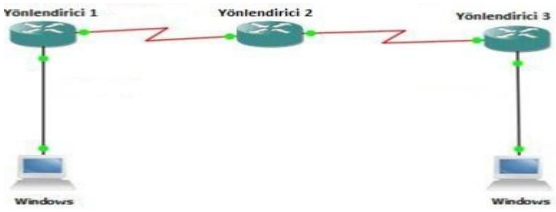
Senaryolar iki sanal bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bilgisayarlardan bir tanesi sunucu, diğeri ise istemci olarak yapılandırılmıştır.

2. BENZER ÇALIŞMALAR (SIMILAR STUDIES)

Sanal altyapı üstünde kurulan benzetim ağında IPv4'ten IPv6'ya geçiş performansı değerlendirilmiştir [1,2]. Küçük paket boyutları kullanarak IPv4 ve IPv6 performans açısından karşılaştırılmıştır [3]. Farklı Windows sürümlerini kullanarak IPv4 ve IPv6 performans karşılaştırması yapılmıştır ve sonuçlarda IPv4 performansını IPv6 daha verimli çalıştığı gösterilmiştir [4-7]. Alınan sonuçlar, bu çalışmanın sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmüştür. IPv6 ile çalışan ağların yükü, IPv4 ağlarına göre daha fazladır. Bu ise ağ performansını düşürmektedir. Bu çalışmada farklı işletim sistemleri kullanılarak IPv4 ve IPv6 ağlarının performansları değerlendirilmiştir.

3. DENEY KURULUMU (EXPERIMENTAL SETUP)

Deneyde IPv4, IPv6 ve 6to4. şeklinde 3 farklı benzetim ağı kurulmuştur ve bu ağlar GNS3 ağ benzetim programında yapılandırılmıştır. Kurulan ağlarda 3 adet 7200 Cisco yönlendiricisi ve 2 adet Windows işletim sistemi kurulu olan sanal bilgisayar kullanılmıştır. Sanal bilgisayarlar VirtualBox programında çalıştırılmıştır. Her iki sanal bilgisayara Iperf 2.0.5 paket üreticisi programı kurulmuştur[1]. Ağda çalışan bilgisayarların bir tanesi istemci, diğeri ise sunucu görevi yapmaktadır. Şekil 3'te benzetim ağı gösterilmiştir.



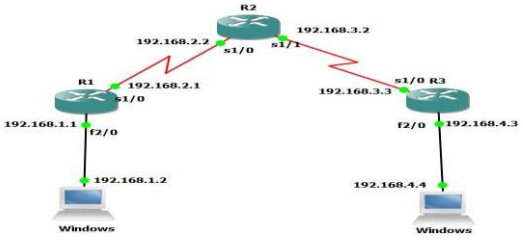
Şekil 3. Benzetim ağı
(Simulation network)

Yönlendiriciler birbirleri ile seri olarak bağlanmıştır. Kenar yönlendiricilere ise, fast ethernet kablosu ile bir adet bilgisayar bağlanmıştır. IPv4 senaryosunda bütün yönlendiriciler ve bilgisayarlar özel IPv4 adresleri ile yapılandırılmıştır. Yönlendirme protokolü olarak OSPF(Open Shortest Path First) yönlendirme protokolü kullanılmıştır. Senaryo sorunsuz bir şekilde çalışmış ve PING komutu ile test edilmiştir. IPv6 senaryosunda yönlendiriciler ve bilgisayarlar 2001:DB8::/32 özel IPv6 ön ek ile yapılandırılmıştır ve bu adres aralığı IANA tarafından örnekler ve belgelendirmek için ayrılmıştır [9]. Yönlendirme protokolü olarak RIP(Routing Information Protocol) yönlendirme protokolü kullanılmıştır. 6to4 senaryosunda IANA tarafından 6to4 yöntemi için ayrılan 2002::/16 adres aralığı kullanılmıştır[10]. Ağdaki diğer IPv4 düğümleri özel C sınıfı adres aralığı ile yapılandırılmıştır, yönlendirmeler ise elle yapılmıştır.

3.1. Deney Sonuçları (Experimental Results)

3.1.1. IPv4 ağı (IPv4 network)

IPv4 ağ senaryosu Şekil 4'de gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 4. IPv4 ağ senaryosu ve adres şeması
(IPv4 network scenario and address scheme)

```
Iperf –s –i  5
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5001
TCP Windows size: 85.3 KByte  (default)
------------------------------------------------------------
[  3]  local 192.168.1.2 port  5001 connected with 192.168.4.4 port  53207
[  3]  0.0- 5.0     sec  43.0 MBytes       87.0 Mbits/sec
[  3]  5.0- 10.0    sec  42.9 MBytes       86.2 Mbits/sec
[  3]  10.0- 15.0   sec  42.5 MBytes       87.4 Mbits/sec
[  3]  15.0- 20.0   sec  43.6 MBytes       88.6 Mbits/sec
[  3]  20.0- 25.0   sec  44.9 MBytes       88.7 Mbits/sec
[  3]  25.0- 30.0   sec  44.5 MBytes       89.2 Mbits/sec
[  3]  30.0- 35.0   sec  45.7 MBytes       87.5 Mbits/sec
[  3]  35.0- 40.0   sec  44.5 MBytes       86.7 Mbits/sec
[  3]  40.0- 45.0   sec  43.7 MBytes       85.3 Mbits/sec
[  3]  45.0- 50.0   sec  44.3 MBytes       86.7 Mbits/sec
[  3]  50.0- 60.0   sec  45.4 MBytes       88.5 Mbits/sec
[  3]  50.0- 60.0   sec  45.6 MBytes       88.5 Mbits/sec
```

Şekil 5a. Sunucu taraf IPv4 ve TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using the IPv4 and TCP)

```
İperf –s  -u  -i 5
------------------------------------------------------------
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1400 byte datagrams
UDP buffer size: 103 KByte  (default)
------------------------------------------------------------
[  3]  local 192.168.1.2 port  5001 connected with 192.168.4.4  port 49432
[  3]  0.0- 5.0     sec  4,35 MBytes      9.22 Mbits/sec   0.645  ms    0/4522  (0%)
[  3]  5.0- 10.0    sec  4,46 MBytes      9.25 Mbits/sec   0.543  ms    0/4216  (0%)
[  3]  10.0- 15.0   sec  4,58 MBytes      9.35 Mbits/sec   0.749  ms    0/4285  (0%)
[  3]  15.0- 20.0   sec  4,56 MBytes      9.24 Mbits/sec   0.639  ms    0/4321  (0%)
[  3]  20.0- 25.0   sec  4,46 MBytes      9.37 Mbits/sec   0.702  ms    0/4521  (0%)
[  3]  25.0- 30.0   sec  4,52 MBytes      9.42 Mbits/sec   0.698  ms    0/4423  (0%)
[  3]  30.0- 35.0   sec  4,56 MBytes      9.35 Mbits/sec   0.685  ms    0/4265  (0%)
[  3]  35.0- 40.0   sec  4,62 MBytes      9.68 Mbits/sec   0.387  ms    0/4373  (0%)
[  3]  40.0- 45.0   sec  4,56 MBytes      9.43 Mbits/sec   0.563  ms    0/4212  (0%)
[  3]  45.0- 50.0   sec  4,57 MBytes      9.38 Mbits/sec   0.458  ms    0/4356  (0%)
[  3]  50.0- 55.0   sec  4,56 MBytes      9.53 Mbits/sec   0.573  ms    0/4212  (0%)
[  3]  55.0- 60.0   sec  4,58 MBytes      9.41 Mbits/sec   0.558  ms    0/4356  (0%)
```

Şekil 5c. Sunucu taraf IPv4 ve UDP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using the IPv4 and UDP)

```
İperf –c 192.168.1.2 –u –t 150 –t 5
------------------------------------------------------------
Client connecting to 192.168.1.2 port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 103 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[  3 ]  local 192.168.4.4 port 49432 connected with 192.168.1.2 port 5001
[  3 ]  0.0- 150.0 sec  119 Mbytes  12.0 Mbits/sec
[  3 ]  Server Report:
[  3 ]  0.0-150.0  sec  115 MBytes  9.68 Mbits/sec   0.453  ms     3/83056  (0.0038%)
```

Şekil 5d. Alıcı taraf IPv4 ve UDP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using IPv4 and UDP)

IPv4 düğümleri başarı ile birbirleri ile bağlantı kurmuştur. Bağlantıda UDP protokolü kullanılmıştır. Bağlantı Iperf programı kullanarak test edilmiştir ve deney 150 saniye sürmüştür, 115 MBytes veri 9,68 Mbits/s bant genişliği ile aktarılmıştır. Aktarılan veride %0,0038 veri kaybı olmuştur Dalga bozulması (Jitter) değeri 0,453 ms olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5c,d).

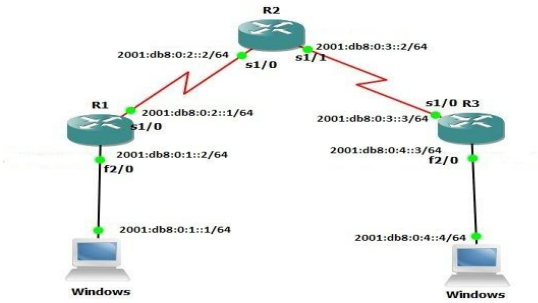
3.1.2. IPv6 ağı (IPv6 network)

IPv6 ağ senaryosu Şekil 6'de gösterildiği şekilde düzenlenmiştir.

```
iperf –c 192.168.1.2 –t  150
------------------------------------------------------------
Client connecting to 192.168.1.2 TCP port 5001
TCP Window size: 16.0 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[  3] local 192.168.4.4 port 53207 connected with 192.168.1.2 port 5001
[  3]  0.0 – 150.0 sec   1.03 GBytes 93.4 Mbits/sec
```

Şekil 5b. Alıcı taraf IPv4 TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using IPv4 and TCP)

Iperf programı IPv4 ağında hem alıcı hem de sunucu tarafında başarılı bir şekilde çalışmıştır. Bağlantıda TCP protokolü kullanılmıştır. Deneme 150 saniye sürmüştür ve bu sürede 1,03GByte veri 93,4 Mbits/s bant genişliğinde aktarılmıştır (Şekil 5a,b).



Şekil 6. IPv6 ağ senaryosu ve adres şeması
(IPv6 network scenario and address scheme)

```
İperf –s –V  –i  5
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5001
TCP Windows size: 85.3 KByte  (default)
------------------------------------------------------------
[  3]  local 2001:db8:0:1::1 port  5001 connected with 2001:db8:0:4::4 port  53207
[  3]     0.0- 5.0   sec  50.4 MBytes       92.1 Mbits/sec
[  3]     5.0- 10.0  sec  51.5 MBytes       93.2 Mbits/sec
[  3]  10.0- 15.0   sec  52.4 MBytes       94.3 Mbits/sec
[  3]  15.0- 20.0   sec  51.6 MBytes       91.3 Mbits/sec
[  3]  20.0- 25.0   sec  52.3 MBytes       92.6 Mbits/sec
[  3]  25.0- 30.0   sec  52.2 MBytes       94.3 Mbits/sec
[  3]  30.0- 35.0   sec  50.4 MBytes       93.3 Mbits/sec
[  3]  35.0- 40.0   sec  52.6 MBytes       94.2 Mbits/sec
[  3]  40.0- 45.0   sec  51.2 MBytes       92.1 Mbits/sec
[  3]  45.0- 50.0   sec  52.5 MBytes       94.0 Mbits/sec
[  3]  50.0- 55.0   sec  51.2 MBytes       93.1 Mbits/sec
[  3]  55.0- 60.0   sec  52.4 MBytes       94.1 Mbits/sec
```

Şekil 7a. Sunucu taraf IPv4 ve TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using the IPv4 and TCP)

```
iperf –c 2001:db8:0:1::1 –V  –t  150
------------------------------------------------------------
Client connecting to 2001:db8:0:1::1 TCP port 5001
TCP Window size: 16.0 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[  3] local 2001:db8:0:4::4port  55137 connected with 2001:db8:0:1::1 port 5001
[  3]  0.0 – 150.0 sec   1.02 GBytes   92.4 Mbits/sec
```

Şekil 7b. Alıcı taraf IPv6 ve TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using IPv6 and TCP)

IPv6 altyapılı ağda IPv6 düğümleri birbirleri ile başarılı bir şekilde bağlanmıştır. Iperf programından çıkan sonuçlar Şekil 7a,b'de gösterilmiştir. Denemede TCP protokolü kullanılmıştır, deney tam 150 saniye sürmüştür, bu sürede 1,20 GBytes veri 92,4 Mbits/s bant genişliğinde aktarılmıştır.

```
İperf –s -u -V -i 5
------------------------------------------------------------
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1400 byte datagrams
UDP buffer size: 103 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[ 3] local 2001:db8:0:1::1 port 5001 connected with 2001:db8:0:4::4 port 32769
[ 3] 0.0- 5.0 sec 5,92 MBytes 9,98 Mbits/sec 0.535 ms 0/4528 (0%)
[ 3] 5.0- 10.0 sec 5,89 MBytes 9,92 Mbits/sec 0.453 ms 0/4212 (0%)
[ 3] 10.0- 15.0 sec 6,01 MBytes 10.0 Mbits/sec 0.429 ms 0/4287 (0%)
[ 3] 15.0- 20.0 sec 5,97 MBytes 9.97 Mbits/sec 0.469 ms 0/4323 (0%)
[ 3] 20.0- 25.0 sec 6,02 MBytes 9,92 Mbits/sec 0.572 ms 0/4524 (0%)
[ 3] 25.0- 30.0 sec 5,92 MBytes 9.92 Mbits/sec 0.568 ms 0/4428 (0%)
[ 3] 30.0- 35.0 sec 5,97 MBytes 9.97 Mbits/sec 0.336 ms 0/4264 (0%)
[ 3] 35.0- 40.0 sec 5,95 MBytes 9.95 Mbits/sec 0.368 ms 0/4373 (0%)
[ 3] 40.0- 45.0 sec 5,98 MBytes 9,98 Mbits/sec 0.444 ms 0/4212 (0%)
[ 3] 45.0- 50.0 sec 5,96 MBytes 9.96 Mbits/sec 0.426 ms 0/4356 (0%)
[ 3] 50.0- 55.0 sec 5,98 MBytes 9.98 Mbits/sec 0.444 ms 0/4212 (0%)
[ 3] 55.0- 60.0 sec 6,01 MBytes 9,96 Mbits/sec 0.426 ms 0/4356 (0%)
```

Şekil 7c. Sunucu taraf IPv6 ve UDP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using the Ipv6 and UDP)

```
İperf –c 2001:db8:0:1::1 –u -V –t 150 –t 5
------------------------------------------------------------
Client connecting to 2001:db8:0:1::1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams

UDP buffer size: 103 KByte (default)

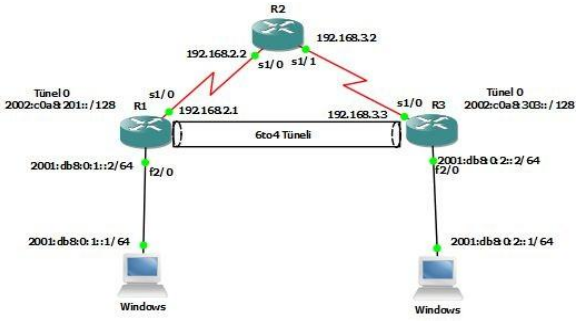
------------------------------------------------------------
[ 3 ] local 2001:db8:0:4::4 port 32769 connected with 2001:db8:0:1::1 port 5001
[ 3 ] 0.0- 150.0 sec 117 Mbytes 12.0 Mbits/sec
[ 3 ] Server Report:
[ 3 ] 0.0-150.0 sec 117 MBytes 12.0 Mbits/sec 0.962 ms 0/89275 ( 0%)
```

Şekil 7d. Alıcı taraf IPv6 ve UDP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using IPv6 and UDP)

IPv6 altyapılı ağda UDP protokolü kullanarak IPv6 düğümleri birbirleri ile başarılı bir şekilde bağlanmıştır. Iperf programından çıkan sonuçlara göre 150 saniye süren denemede hiç paket kaybı olmamıştır. Deneyde 117 MByte veri 12,0 Mbits/s bant genişliğinde aktarılmıştır (Şekil 7c,d), dalga bozulması (Jitter) oranı 0,962 ms olarak saptanmıştır.

3.1.3. 6to4 ağı (6to4 network)

6to4 ağ senaryosu aşağıdaki Şekil 7'de gösterildiği şekilde kurulmuştur.



Şekil 8. 6to4 ağı senaryosu ve adres şeması
(6to4 network scenario and address scheme)

```
İperf –s –V
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5001
TCP Windows size: 85.3 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[ 3] local 2001:db8:0:1::1 port 5001 connected with 2001:db8:0:4::4 port 54214
[ 3] 0.0- 150.0 sec 1.33 GBytes 58.1 Mbits/sec
```

Şekil 9a. Sunucu taraf 6to4 ve TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using the 6to4 and TCP)

```
İperf –c 2001:db8:0:1::1 –V –i 5 –t 150
------------------------------------------------------------
Client connecting to 2001:db8:0:1::1 on TCP port 5001
TCP Windows size: 85.3 KByte (default
------------------------------------------------------------
[ 3] local 2001:db8:0:4::4 port 54214 connected with 2001:db8:0:1::1 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 40.5 MBytes 67.3 Mbits/sec
[ 3] 5.0- 10.0 sec 41.2 MBytes 66.8 Mbits/sec
[ 3] 10.0- 15.0 sec 43.3 MBytes 65.3 Mbits/sec
[ 3] 15.0- 20.0 sec 42.2 MBytes 66.2 Mbits/sec
[ 3] 20.0- 25.0 sec 45.4 MBytes 65.6 Mbits/sec
[ 3] 25.0- 30.0 sec 42.2 MBytes 67.3 Mbits/sec
[ 3] 30.0- 35.0 sec 45.3 MBytes 64.4 Mbits/sec
[ 3] 35.0- 40.0 sec 43.6 MBytes 66.2 Mbits/sec
[ 3] 40.0- 45.0 sec 44.1 MBytes 68.1 Mbits/sec
[ 3] 45.0- 50.0 sec 45.3 MBytes 67.0 Mbits/sec
[ 3] 50.0- 55.0 sec 44.8 MBytes 67.5 Mbits/sec
[ 3] 50.0- 55.0 sec 45.4 MBytes 68.5 Mbits/sec
```

Şekil 9b. Alıcı taraf 6to4 ve TCP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using 6to4 and TCP)

Şekil 9a,b'de 6to4 benzetim ağında TCP veri iletim protokolünü kullanarak, Iperf programı 150 saniye çalıştırılmıştır. Bu sürede 1,33 GByte veri 58,1 Mbits/s bant genişliğinde aktarılmıştır.

```
İperf –s -u -V -i 5
------------------------------------------------------------
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1400 byte datagrams
UDP buffer size: 103 KByte (default)
------------------------------------------------------------
[ 3] local 2001:db8:0:1::1 port 5001 connected with 2001:db8:0:4::4 port 32769
[ 3] 0.0- 5.0 sec 6,01 MBytes 9,88 Mbits/sec 0.624 ms 0/4642 (0%)
[ 3] 5.0- 10.0 sec 6,02 MBytes 9,82 Mbits/sec 0.836 ms 0/4526 (0%)
[ 3] 10.0- 15.0 sec 5,98 MBytes 9.98 Mbits/sec 0.748 ms 0/4487 (0%)
[ 3] 15.0- 20.0 sec 5,97 MBytes 9,85 Mbits/sec 0.656 ms 0/4563 (0%)
[ 3] 20.0- 25.0 sec 6,01 MBytes 9,84 Mbits/sec 0.564 ms 0/4574 (0%)
[ 3] 25.0- 30.0 sec 5,92 MBytes 9.82 Mbits/sec 0.757 ms 0/4428 (0%)
[ 3] 30.0- 35.0 sec 5,98 MBytes 9,87 Mbits/sec 0.845 ms 0/4554 (0%)
[ 3] 35.0- 40.0 sec 5,95 MBytes 9,85 Mbits/sec 0.857 ms 0/4463 (0%)
[ 3] 40.0- 45.0 sec 5,89 MBytes 9,87 Mbits/sec 0.755 ms 0/4542 (0%)
[ 3] 45.0- 50.0 sec 5,94 MBytes 9,89 Mbits/sec 0.637 ms 0/4466 (0%)
[ 3] 50.0- 55.0 sec 5,99 MBytes 9,86 Mbits/sec 0.554 ms 0/4574 (0%)
[ 3] 55.0- 60.0 sec 6,01 MBytes 9,88 Mbits/sec 0.747 ms 0/4428 (0%)
```

Şekil 9c. Sunucu taraf 6to4 ve UDP kullandığında veri paketleri
(Data packets on the server side using 6to4 and UDP)

```
İperf –c 2001:db8:0:1::1 –u -V –t 150 –t 5 –b 12m
------------------------------------------------------------

Client connecting to 2001:db8:0:1::1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams

UDP buffer size: 103 KByte (default)

------------------------------------------------------------
[ 3 ] local 2001:db8:0:4::4 port 32769 connected with 2001:db8:0:1::1 port 5001
[ 3 ] 0.0- 150.0 sec 118 Mbytes 12.0 Mbits/sec
[ 3 ] 0.0-150.0 sec 118 MBytes 12.0 Mbits/sec 0.462 ms 0/78465 ( 0%)
```

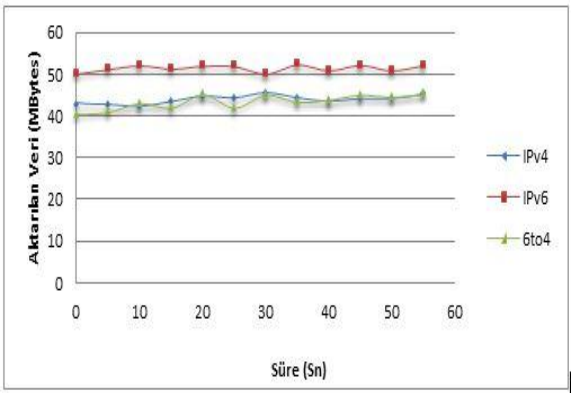
Şekil 9d. Alıcı taraf 6to4 UDP kullanıldığında veri paketleri
(Data packets on the receiver side using 6to4 UDP)

6to4 düğümleri birbirleri ile düzgin bağlantı kurmuştur. Bağlantıda UDP veri iletim protokolü kullanarak Iperf programı ile tam 118 MBytes veri

12,0 Mbits/s bant genişliği ile aktarılmıştır. Gecikme değişimi (Jitter) değeri 0,462 ms olarak görülmüştür (Şekil 9c,d).

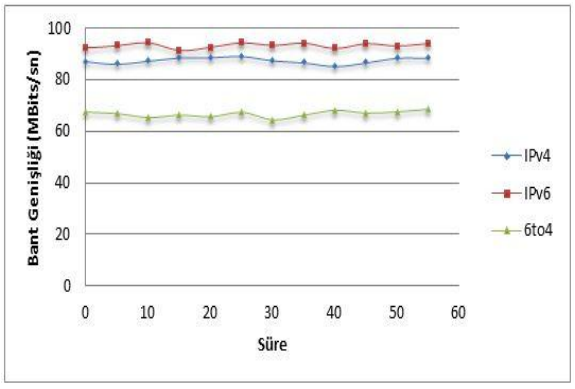
3.1.4. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

Bu çalışmada TCP ve UDP veri iletim protokolleri test edilmiştir. Performans karşılaştırması Iperf programından çıkan veri aktarım miktarı ve bant genişliği oranlarına göre yapılmıştır. Şekil 10'da bütün denemelerden çıkan sonuçları TCP veri iletim protokolü kullanarak grafiksel bir şekilde gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi IPv6 ağı TCP kullanıldığında en iyi performansı sergilemiştir. IPv4 ve 6to4 ile karşılaştırıldığında. IPv4 ve 6to4 ağları benzer performans sergilemiştir. Denemeler toplam 150 saniye sürmüştür, ancak grafikte, denemelerin sadece 60 saniyelik performans değerleri gösterilmiştir.



Şekil 10. TCP Kullanım sonuçları
(The results of the use of TCP)

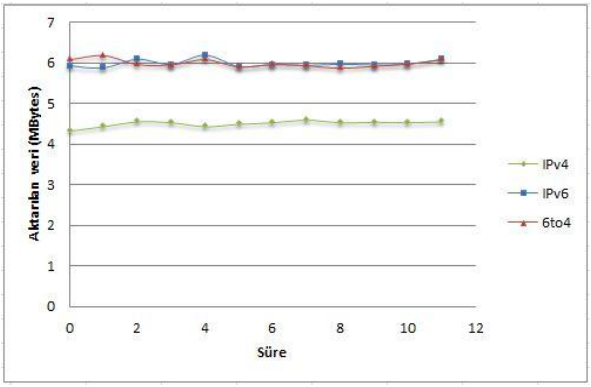
Şekil 11'de TCP kullanımında bütün senaryolarda bant genişliği oranı grafiksel şekilde gösterilmiştir.



Şekil 11. TCP Bant genişliği sonuçları
(TCP bandwidth results)

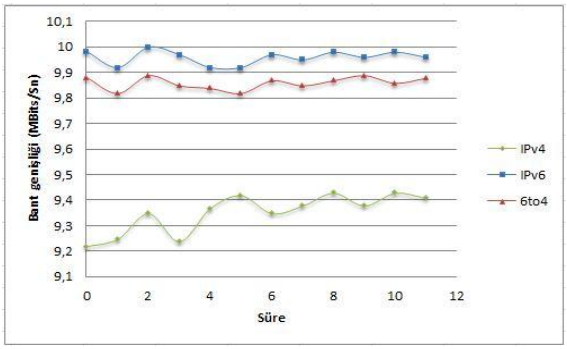
Grafikte IPv6 ve IPv4 ağları IPv6'nın az miktarda üstünlüğü ile yakın performans sergilemiştir. 6to4 ağı en kötü performans sergileyen ağ olmuştur, bu da 6to4 ağının yüksek tünel yükü nedeni ile bant genişliği verimliliği azalmıştır.

Şekil 12'da Iperf programından UDP veri iletim protokolü kullanıldığında çıkan sonuçlar grafiksel bir şekilde gösterilmiştir. UDP denemesi 150 saniyedir ve 5 saniye aralıklarla sürdürülmüştür. IPv6 ve 6to4 ağ senaryoları en iyi veri aktarım oranı göstermiştir. Denemede IPv4 en zayıf veri aktarım performansı sergileyen ağ olmuştur.



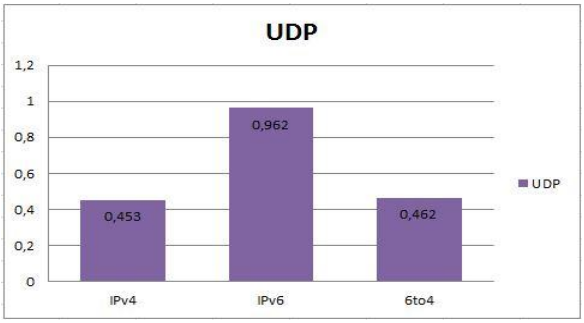
Şekil 12. UDP Kullanım sonuçları
(The results of the use of UDP)

Şekil 13'de görüldüğü gibi UDP bant genişliği performans ölçümünde IPv4 ağı dışında IPv6 ve 6to4 ağ senaryoları IPv6 ağının az miktarda da olsa iyi performans göstermiştir.



Şekil 13. UDP Bant genişliği sonuçları
(UDP bandwidth results)

Şekil 14'da UDP paket dalga bozulma (jitter) oranı grafiği gösterilmiştir. IPv4 ve 6to4 ağları birbirine yakın performans sergilerken, IPv6 ağı en yüksek dalga bozulma (jitter) oranı kaydetmiştir.



Şekil 14. Dalga bozulma oranı
(Wave distortion rate (jitter))

Senaryolarda paket kaybı sadece IPv4 ağında %0,0038 oranında olmuştur. Diğer ağlarda paket kayıbı olmamıştır.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, TCP ve UDP veri iletim protokolleri farklı ağ ortamlarında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda IPv4, IPv6 ve 6to4 şeklinde üç farklı ağ senaryosu kurulmuştur.. Bu ağ senaryoları sanal ortamda GNS3 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Performans ölçümü, Iperf ağ performans ölçüm programı kullanarak yapılmıştır. Ağa bağlı bilgisayarlar Oracle VirtualBox programında sanal ortamda çalıştırılmıştır. Senaryolar arasında karşılaştırma başarılı bir şekilde yapılmıştır. TCP kullanımında IPv4 ve 6to4 tüneli performansları, IPv6 ağından daha kötü bir performans sergilemiştir. UDP kullanımında IPv6 ve 6to4 tünel ağları birbirine benzer performans sergilerken, IPv4 ağ senaryosu yetersiz bir performans sergilemiştir. Senaryolarda sadece IPv4 ağında % 0.0038 oranında bir paket kaybı yaşanmıştır, bu da IPv4 başlık boyutunun IPv6 protokolüne göre daha da karmaşık olmasından kaynaklanmaktadır. Bu oran aktarılan veri miktarı ile karşılaştırıldığında ise önemsiz sayılabilir. Sonuç olarak tünelleme yöntemi kullanarak IPv6'ya geçmenin ağ performansını olumsuz şekilde etkilemediği ve diğer ağlarla eşdeğer performans sergilediği ağ benzetim denemelerinde görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] N. Abu Ali, " Comparison study between IPv4 & IPv6" , International Journal of Computer Science (IJCSI), Vol. 9, Issue 3, No 1, May 2012.

[2] R. Yunos, N. M. Noor, S. A. Ahmed, "Performance Evaluation Between IPv4 and IPv6 on MPLS Platform", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 978-1-4244-5651-2, 2010.

[3] R. Ioan, " An Empricical Analysis of Internet Protocol version 6 " , Msc Thesis, Wayne State University, Detroit, Michigan, 2002.

[4] J. Govil, J. Govil, " On the Investigation of Transactional and Interoperability Issues between IPv4 and IPv6", **Electro/Information Technology Conference**, Chicago, USA, EIT 2007,17-20 May, 2007.

[5] E. Chen, T. Teo, B. Issac and N. Ting, " Analaysis of IPv6 and IPv4 Network Communication Using Simulation", Proceedings of the 4th Student Conferenceon Research and Development, Malaysia, 11-15 June 2006.

[6] J. Govil, j. Govil, N. Kaur , H. Kaur, "An examination of IPv4 and IPv6 networks: Constraints and various transition mechanisms", Proceedings of IEEE Sounteastcon, pp. 178-185, 2008.

[7] M. Mehran, T. Saeed, N. Asif, T. Abdullah, S. Nazeer, A. Hussain, "Network Migration And Performance Analysis of IPv4 And IPv6", European Scientific Journal, Vol. 8, No. 5, March 2010.

[8] İnternet: www.iperf.fr, Jperf Performance Evaluation Tool, University of Illinois at Urbana Champaign,USA. 25.07.2013.

[9] İnternet: http://www.simpledns.com/private-ipv6.aspx, Private IPv6 address range, New Jersey, USA, 25.07.2013.

[10] RFC 6732 6to4 Provider Managed Tunnels, ISSN: 2070-1721, 17.9. 2012.