

T.C.
ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik ve Bilgisayar
Mühendisliği

RAYLI ULAŞIMDA TELSİZ SİSTEMİNE AİT NETWORK ALTYAPISININ YENİLENMESİ

Abdulkerim YAZLA

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Doğu Çağdaş Atilla

İstanbul, 2021

RAYLI ULAŞIMDA TELSİZ SİSTEMİNE AİT NETWORK ALTYAPISININ YENİLENMESİ

Abdulkerim YAZLA

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne
Lisansüstü Derece tezi olarak sunulmuştur.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ 2021

“Abdulkerim YAZLA” tarafından hazırlanmış ve 23.06.2021 tarihinde sunulmuş “Raylı Ulaşımda Telsiz Sistemine Ait Network Altyapısının Yenilenmesi” başlıklı tez Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Doğu Çağdaş ATİLLA

Danışman

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Doğu Çağdaş ATİLLA	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Altınbaş Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Muhammad İLYAS	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Altınbaş Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN	Mühendislik Fakültesi Ege Üniversitesi	

Bu tezin yüksek lisans tezi olarak bütün şartları sağladığını beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü kabul tarihi:

___/___/____

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışlara uygun olarak edinildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde, bu çalışmada, orijinal olmayan tüm materyalleri ve sonuçları tamamen alıntı yaptığımı ve referans gösterdiğimi de beyan ederim.

Abdulkerim YAZLA

İTHAF

Eşim ve Yusuf Hamza'ma.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin başından itibaren gerek üniversite de gerek üniversite dışında bana yardımcı olan yol gösteren Dr. Öğretim Üyesi Doğu Çağdaş ATİLLA hocama teşekkür ederim. Ayrıca tez haline getirdiğim projede beraber mesai harcadığım çalışma arkadaşım Ömür Melik KIRBAŞ'a, akademik çalışma yapamam hususunda beni sürekli teşvik eden saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ali AKDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Bugünlere gelene kadar dualarını ve emeklerini üzerimden eksik etmeyen annem, babam, kardeşlerime ve tabi ki hayatımın her anında varlığını hissettiğim eşim ve göz aydınlığım evladıma şükranlarımı sunuyorum.

ÖZET

RAYLI ULAŞIMDA TELSİZ SİSTEMİNE AİT NETWORK ALTYAPISININ YENİLENMESİ

YAZLA, Abdulkerim

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi,

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Doğu Çağdaş ATİLLA

Tarih: Haziran/2021

Sayfa: 127

Şehirlerde nüfus artışıyla birlikte ulaşım en büyük sorunlardan biri haline gelmektedir. Karayolu ulaşımının ekonomik, çevresel ve sistemsel olumsuz etkilerinden dolayı gün geçtikçe alternatif ulaşım çeşitlerine yatırım artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı metropollerde raylı ulaşım yatırımları ile ilgili kısa, orta ve uzun vade projeksiyonlar geliştirilmektedir. Bu tez kapsamında raylı ulaşımda en hayati sistemlerden biri olan telsiz sistemi networkü üzerinde yapılan yenilikler ele alınmıştır. Telsiz sisteminde kullanılan TETRA teknolojisi ve buna ait cihazlar hakkında bilgiler verilmiştir. Mevcut sistem network mimarisinin genişleyen raylı sistemlerde neden şartları karşılamadığı teknik ölçümler ile izah edilmiştir. Tasarlanan yeni mimari sahada aktif olarak kurulmuştur. Kurulan sistem aktif olarak çalıştıktan sonra yeni ölçüm ve veriler toplanmıştır. Eski ve yeni sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yeni kurulan TETRA Telsiz Sistemine ait Network Altyapısının uzun vadede ihtiyacı karşılaması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Telsiz Sistemi, TETRA, TETRA Network Altyapısı.

ABSTRACT

RENEWAL OF THE NETWORK INFRASTRUCTURE OF THE RADIO SYSTEM IN RAIL SYSTEMS

YAZLA, Abdulkerim

M.Sc. Electrical and Computer Engineering, Istanbul Altinbas University,

Supervisor: Asst. Prof. Dogu Cagdas ATİLLA

Date: June,2021

Pages: 127

With the increase in population in cities, transportation becomes one of the biggest problems. Due to the economic, environmental and systemic negative effects of road transportation, investments in alternative transportation types are increasing day by day. For these reasons, short, medium and long-term projections for rail transportation investments in metropolises are being developed. Within the scope of this thesis, the innovations made on the radio system network, which is one of the most vital systems in rail transportation, are handled. Information about TETRA technology used in the radio system and its devices are given. It has been explained by technical measurements why the current system network architecture does not meet the conditions in the expanding rail systems. The newly designed architectural site is actively established. After the established system was active, new measurements and data were collected. Comparison of old and new systems was made. The Network Infrastructure of the newly established TETRA Radio System is aimed to meet the demand in the long term.

Keywords: Radio System, TETRA, TETRA Network Infrastructure.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **xi**

ABSTRACT ..... **xii**

İÇİNDEKİLER ..... **xiii**

TABLO LİSTESİ ..... **xvii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **xviii**

KISALTMALAR ..... **xxv**

1. GİRİŞ **1**

1.1 LİTERATÜR ÖZETİ 1

1.2 TEZİN AMACI 2

1.3 ORİJİNAL KATKI 3

2. SAYISAL HABERLEŞME **4**

2.1 MODÜLASYON 7

2.1.1 Genlik Modülasyonu 7

2.1.2 Frekans Modülasyonu 9

2.1.3 Darbe Kod Modülasyonu 10

2.1.4 Delta Modülasyonu 10

2.1.5 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (MPSK) 11

2.1.6 Dik Genlik Modülasyonu (QAM) 12

2.2 ÇOĞULLAMA 12

2.2.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA) 13

2.2.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) 13

2.2.3 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) 14

2.2.4 Ortogonal Frekans Bömeli Çoklu Erişim (OFDM) 15

2.3 NETWORK SİSTEMLERİ 15

2.3.1 Network Tipleri 15
2.3.2 Uç Cihazlar Arası Ağ Modeli 17
2.3.3 VLAN 19
3. SAYISAL TELSİZ SİSTEMLERİ 21
3.1 APCO 25 21
3.2 DMR 22
3.3 TETRA 23
4. METROPOL ÖRNEĞİ TETRA TELSİZ SİSTEMİ NETWORK ALTYAPISI İLK DURUM ANALİZİ 25
4.1 TETRA TELSİZ SİSTEMİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR 25
4.2 ANALİZ ESNASINDA KULLANILAN TERİMLER- ARAÇLAR 26
4.3 İSTASYON EKİPMAN BİLGİSİ 27
4.4 IP BLOK BİLGİSİ 27
4.5 NETWORK MİMARİSİ 28
4.5 İSTASYON BAZLI VERİLERİN ANALİZİ 30
4.6 İSTASYONLAR 30
4.6.1 A1 İstasyonu 30
4.6.2 A2 İstasyonu 32
4.6.3 C1 İstasyonu 34
4.6.4 C2 İstasyonu 36
4.6.5 C3 İstasyonu 38
4.6.6 E1 İstasyonu 39
4.6.7 E2 İstasyonu 41
4.6.8 E3 İstasyonu 43
4.6.9 E4 İstasyonu 44
4.6.10 E5 İstasyonu 46
4.6.11 E6 İstasyonu 48

4.6.12 E7 İstasyonu 50
4.6.13 E8 İstasyonu 51
4.6.14 E9 İstasyonu 53
4.7 ANALİZ VE BULGULAR 55
5. METROPOL ÖRNEĞİ TETRA TELSİZ SİSTEMİ NETWORK ALTYAPISI YENİ DURUM ANALİZİ 57
5.1 İSTASYON EKİPMAN BİLGİSİ 57
5.2 IP BLOK BİLGİSİ 57
5.3 YENİ DURUM NETWORK MİMARİSİ 59
5.4 NETWORK CİHAZLARINA AİT BİLGİLER 60
5.5 İSTASYON ANALİZİ 61
5.5.1 A1 İstasyonu 62
5.5.2 A2 İstasyonu 65
5.5.3 C1 İstasyonu 68
5.5.4 C2 İstasyonu 71
5.5.5 C3 İstasyonu 74
5.5.6 C4 İstasyonu 76
5.5.7 E1 İstasyonu 78
5.5.8 E2 İstasyonu 81
5.5.9 E3 İstasyonu 84
5.5.10 E4 İstasyonu 87
5.5.11 E5 İstasyonu 90
5.5.12 E6 İstasyonu 93
5.5.13 E7 İstasyonu 96
5.5.14 E8 İstasyonu 99
5.5.15 E9 İstasyonu 102
5.6 ANALİZ VE BULGULAR 105

6. SONUÇ 108

REFERANSLAR..... 110

ÖZGEÇMİŞ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Sayısal telsiz standartları teknik özellikler. 24

Tablo 4.1: İstasyon bazlı ekipman bilgileri..... 27

Tablo 4.2: İlk durum cihaz IP bilgileri örnek kesit. 28

Tablo 5.1: Network cihaz bilgileri. 57

Tablo 5.2: Sistem Vlan tablosu. 57

Tablo 5.3: Metropol Raylı Ulaşım & Atina Olimpiyatları TETRA karşılaştırması. 107

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Basit haberleşme diyagramı. 4

Şekil 2.2: Frekans ve dalga boyu spektrumu [9]. 6

Şekil 2.3: Genlik modülasyonu taşıyıcı ve ileti sinyal. 8

Şekil 2.4: Genlik modülasyonu çıkış sinyali 8

Şekil 2.5: Genlik Modülasyonu $\boldsymbol{xCf}$ frekans spektrumu 9

Şekil 2.6: Taşıyıcı, bilgi sinyali ve çıkış sinyali. 10

Şekil 2.7: Delta Modülasyonu. 11

Şekil 2.8: 4PSK ve 8PSK modülasyon yerleşimi. 11

Şekil 2.9: 16 QAM yerleşimi. 12

Şekil 2.10: Çoğullama temel gösterim. 12

Şekil 2.11: FDMA spektrum kullanımı. 13

Şekil 2.12: TDMA spektrum kullanımı. 14

Şekil 2.13: CDMA spektrum kullanımı. 14

Şekil 2.14: OFDM'nin FDMA kıyasla bant genişliği kazancı. 15

Şekil 2.15: LAN yapısı. 16

Şekil 2.16: WAN yapısı. 16

Şekil 2.17: MAN yapısı. 17

Şekil 2.18: OSI referans modeli. 18

Şekil 2.19: TCP/IP Modeli. 19

Şekil 4.1: Tetra telsiz sisteminin ilk durum network mimarisi. 29

Şekil 4.2: A1 İstasyonu Solarwinds ile ölçüm verileri. 30

Şekil 4.3: 100 Mbit/sn'lik sanal trafik. 31

Şekil 4.4: 1 Gbit/sn sanal trafik. 31

Şekil 4.5: A2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 32

Şekil 4.6: 100 Mbit/sn sanal trafik. 33

Şekil 4.7: 1 Gbit/sn sanal trafik. 33

Şekil 4.8: C1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 34

Şekil 4.9: 100 Mbit/sn sanal trafik. 35

Şekil 4.10: 1 Gbit/sn sanal trafik. 35

Şekil 4.11: C2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 36

Şekil 4.12: 100 Mbit/sn sanal trafik. 36

Şekil 4.13: 1 Gbit/sn sanal trafik. 37

Şekil 4.14: C3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 38

Şekil 4.15: E1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 39

Şekil 4.16: 100 Mbit/sn sanal trafik. 39

Şekil 4.17: 1 Gbit/sn sanal trafik. 40

Şekil 4.18: E2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 41

Şekil 4.19: 100 Mbit/sn sanal trafik. 41

Şekil 4.20: 1 Gbit/sn sanal trafik. 42

Şekil 4.21: 100 Mbit/sn sanal trafik. 43

Şekil 4.22: 1 Gbit/sn sanal trafik. 43

Şekil 4.23: E4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 44

Şekil 4.24: 100 Mbit/sn sanal trafik. 44

Şekil 4.25: 1 Gbit/sn sanal trafik. 45

Şekil 4.26: E5 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 46

Şekil 4.27: 100 Mbit/sn sanal trafik. 46

Şekil 4.28: 1 Gbit/sn sanal trafik. 47

Şekil 4.29: E6 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 48

Şekil 4.30: 100 Mbit/sn sanal trafik. 48

Şekil 4.31: 1 Gbit/sn sanal trafik. 49

Şekil 4.32: 100 Mbit/sn Sanal Trafik 50

Şekil 4.33: 1 Gbit/sn Sanal Trafik. 50

Şekil 4.34: E8 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 51

Şekil 4.35: 100 Mbit/sn sanal trafik. 51

Şekil 4.36: 1 Gbit/sn sanal trafik. 52

Şekil 4.37: E9 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 53

Şekil 4.38: 100 Mbit/sn sanal trafik. 53

Şekil 4.39: 1 Gbit/sn sanal trafik. 54

Şekil 4.40: Tüm istasyonlar ilk durum 100 mbit ölçümleri. 56

Şekil 4.41: Tüm istasyonlar ilk durum 1 gbit ölçümleri. 56

Şekil 5.1: RF donanımları yeni durum IP listesi. 58

Şekil 5.2: Network cihazları yeni durum IP listesi. 58

Şekil 5.3: Tetra telsiz sisteminin yeni durum network mimarisi. 59

Şekil 5.4: C4 İstasyonu (Cisco C9500- 16X) Switch. 60

Şekil 5.5: E9 İstasyonu (Cisco 3560-CX- 8TC-S) Switch & A1 İstasyonu (Cisco IE4000) Switch. 61

Şekil 5.6: A1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 62

Şekil 5.7: A1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 62

Şekil 5.8: A1 İstasyonu ram kullanım oranı. 63

Şekil 5.9: 100 Mbit/sn sanal trafik. 63

Şekil 5.10: 1 Gbit/sn sanal trafik. 64

Şekil 5.11: A2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 65

Şekil 5.12: A2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 65

Şekil 5.13: A2 İstasyonu ram kullanım oranı. 66

Şekil 5.14: 100 Mbit/sn sanal trafik. 66

Şekil 5.15: 1 Gbit/sn sanal trafik. 67

Şekil 5.16: C1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 68

Şekil 5.17: C1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 68

Şekil 5.18: C1 İstasyonu ram kullanım oranı. 69

Şekil 5.19: 100 Mbit/sn sanal trafik. 69

Şekil 5.20: 1 Gbit/sn sanal trafik. 70

Şekil 5.21: C2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 71

Şekil 5.22: C2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 71

Şekil 5.23: C2 İstasyonu ram kullanım oranı. 72

Şekil 5.24: 100 Mbit/sn sanal trafik. 72

Şekil 5.25: 1 Gbit/sn sanal trafik. 73

Şekil 5.26: C3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 74

Şekil 5.27: C3 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 74

Şekil 5.28: C3 İstasyonu ram kullanım oranı. 75

Şekil 5.29: C4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 76

Şekil 5.30: C4 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 76

Şekil 5.31: C4 İstasyonu ram kullanım oranı. 77

Şekil 5.32: E1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 78

Şekil 5.33: E1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 78

Şekil 5.34: E1 İstasyonu ram kullanım oranı. 79

Şekil 5.35: 100 Mbit/sn sanal trafik. 79

Şekil 5.36: 1 Gbit/sn sanal trafik. 80

Şekil 5.37: E2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 81

Şekil 5.38: E2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 81

Şekil 5.39: E2 İstasyonu ram kullanım oranı. 82
Şekil 5.40: 100 Mbit/sn sanal trafik. 82
Şekil 5.41: 1 Gbit/sn sanal trafik. 83
Şekil 5.42: E3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 84
Şekil 5.43: E3 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 84
Şekil 5.44: E3 İstasyonu ram kullanım oranı. 85
Şekil 5.45: 100 Mbit/sn sanal trafik. 85
Şekil 5.46: 1 Gbit/sn sanal trafik. 86
Şekil 5.47: E4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 87
Şekil 5.48: E4 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 87
Şekil 5.49: E4 İstasyonu ram kullanım oranı. 88
Şekil 5.50: 100 Mbit/sn sanal trafik. 88
Şekil 5.51: 1 Gbit/sn sanal trafik. 89
Şekil 5.52: E5 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 90
Şekil 5.53: E5 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 90
Şekil 5.54: E5 İstasyonu ram kullanım oranı. 91
Şekil 5.55: 100 Mbit/sn sanal trafik. 91
Şekil 5.56: 1 Gbit/sn sanal trafik. 92
Şekil 5.57: E6 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 93
Şekil 5.58: E6 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 93

Şekil 5.59: E6 İstasyonu ram kullanım oranı. 94
Şekil 5.60: 100 Mbit/sn sanal trafik. 94
Şekil 5.61: 1 Gbit/sn sanal trafik. 95
Şekil 5.62: E7 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 96
Şekil 5.63: E7 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 96
Şekil 5.64: E7 İstasyonu ram kullanım oranı. 97
Şekil 5.65: 100 Mbit/sn sanal trafik. 97
Şekil 5.66: 1 Gbit/sn sanal trafik. 98
Şekil 5.67: E8 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 99
Şekil 5.68: E8 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 99
Şekil 5.69: E8 İstasyonu ram kullanım oranı. 100
Şekil 5.70: 100 Mbit/sn sanal trafik. 100
Şekil 5.71: 1 Gbit/sn sanal trafik. 101
Şekil 5.72: E9 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri. 102
Şekil 5.73: E9 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı. 102
Şekil 5.74: E9 İstasyonu ram kullanım oranı. 103
Şekil 5.75: 100 Mbit/sn sanal trafik. 103
Şekil 5.76: 1 Gbit/sn sanal trafik. 104
Şekil 5.77: Tüm istasyonlar yeni durum 100 MBit ölçümleri. 105
Şekil 5.78: Tüm istasyonlar yeni durum 1 GBit ölçümleri. 106

KISALTMALAR

APCO : Association of Public-Safety Communications Officials

CPU : Central Processing Unit

DMR : Digital mobile radio

ETSI : European Telecommunications Standarts Institute

FSC : Fallback Site Controller

GSM : Global System for Mobile Communications

LDS : Line Dispatcher Station

PSTN : Public Switched Telephone Network

SNMP : Simple Network Management Protocol

TBS : Tetra Base Station

TCP : Transmission Control Protocol

TEP : Tetra Expansion Platform

TETRA : Terrestial Trunked RAdio

TNX : TetraNode eXchange

UDP : User Datagram Protocol

UHF : Ultra High Frequency

VHF : Very High Frequency

VLAN : Virtual Local Area Network

VLS : Voice Logging Server

1. GİRİŞ

1.1 LİTERATÜR ÖZETİ

Modern Elektromanyetik temelleri 1873 yılında Maxwell tarafından ortaya atılmıştır. Maxwell'in elektromanyetik yayılma ve matematiksel hesaplamalara dayanan teorisi 1886 yılında Olivier Heaviside çalışmaları ile modern hale gelmiştir [1].Alman Fizik Profesörü Heinrich Hertz, Maxwell tarafından ortaya konulan teoriyi yaptığı deneyler ile ispatlamıştır 1887. Elektromanyetik teorinin bu çalışmalar ile başladığı kabul edilmektedir. Bu çalışmaları sırasıyla; 1896 da Gugliemo Marconi ilk kablosuz telgraf icadı, 1901 de kıtalar arası telgraf haberleşmesi takip etmiştir. 1920 de ilk ticari AM istasyonları, 1941 de ilk ticari FM istasyonları, 1978 yılında AT&T şirketi tarafından ilk mobil hücresel kapsama denemesi, 1991 yılında ise ilk dijital hücresel haberleşme hizmeti Finlandiya'da gerçekleşmesi sürecin önemli noktalarından bazılarıdır [2].

Haberleşme sistemleri temel olarak en basit hali ile şekil 1 de görüldüğü üzere 3 kısımdan oluşur. Gönderici (Transmitter), haberleşme kanalı (Channel), alıcı (Receiver) şeklindedir. Bir elektriksel sinyalin göndericiden alıcıya iletimi sırasında farklı şekil ve haberleşme kanalları kullanılır. Bu kanallara örnek; koaksiyel havai hatlar, fiber optik kablolar, mikrodalga radyo, lazer ışınları verile bilir [3].

Bu noktada telsiz haberleşmesi günümüzde teknolojik çalışmaların hız kazandığı alanlardan biridir. Askeri alanlar başta olmak üzere, sağlık, lojistik, kamu güvenliği ve ulaşımda sayısal telsiz haberleşmesi her geçen gün önemini daha da arttırmaktadır. Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan Avrupa'da ETSI (European Telecommunication Standadisation Institute), ABD'de ise ANSI (American National Standards Institute) tarafından standardı tescil edilen TETRA, APCO 25 ve DMR teknolojileri bulunmaktadır [4].

Ülkemizde Ulaşım noktasında Sayısal Telsiz Sistemi uygulamaları; 2005 yılında Eskişehir Tramvay hattında Motorola firması ürünleri ile 425.475 – 415.475 MHz bandında kurulmuştur. Bu sistem Türkiye 'de kurulan ilk TETRA Sayısal Telsiz Sistemidir. Bunu 2008 yılında İstanbul'da Ulaşım A.Ş bünyesinde kurulan sistem takip etmiştir.

Kamu Güvenliğinde ise Jandarma Entegre Muhabere ve Bilgi Sistemi (JEMUS) APCO 25 Standardında ASELSAN A.Ş tarafından 2006 yılında Ege Bölgesinde devreye alınmıştır [5].

1.2 TEZİN AMACI

Metropollerde nüfus artışına bağlı olarak ulaşım problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu problemlere sunulan çözümlerden birisi raylı ulaşımdır. Raylı ulaşımın rahat, hızlı, çevreci olması gün geçtikçe insanlar tarafından tercih edilirliğini arttırmaktadır. Buna bağlı olarak ülkemizde her geçen gün yeni raylı ulaşım projeksiyonları sunulmaktadır [6].

Yeni projeler ve yatırımlar beraberinde raylı ulaşımda sorunsuz işletme modeli ve yolcu güvenliğini en üst noktada ele almayı hedeflemektedir. Bu noktada kusursuz işletme modelini raylı ulaşımda sağlayan en önemli sistemlerden biri telsiz sistemidir.

Bu çalışma kapsamında raylı ulaşımda yolcu güvenliği ve sorunsuz işletme modelini sağlayan telsiz sisteminin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Metropolde mevcut ulaşım ağının gereksinimlerini karşılayamayan Sayısal TETRA Telsiz Sistemi üzerinde analiz ve çalışmalar yapılmıştır. Analizler neticesinde sisteme ait network altyapısı ile ilgili problemler tespit edilmiştir. Belirlenen problemler cihaz, mimari ve IP topolojisi bağlamında değerlendirilmeye başlanılmıştır. Mevcut duruma ait mimari çizilerek çalışmamıza eklenmiştir, cihaz marka model detaylı teknik analizleri ve IP'ler ortaya konulmuştur. Bu problem tespit sürecinde sistemde bulanan farklı marka model network cihazları üzerindeki SNMP (Simple Network Management Protocol) kısımlarından veri elde edilmeye çalışılmıştır ancak cihazların teknik ömürlerini tamamlaması nedeniyle başarılamamıştır. SolarWinds ve Jperf adlı iki adet tool kullanılarak network'ün veri hızı, bant genişliği, paket gecikmesi ve jitter gibi kıstasların analizi gerçekleştirilmiştir. Bu araçlar ile TETRA Telsiz Sistemine ait bütün network cihazlarının istasyon bazlı ölçüm ve durumları ilk durumda ortaya konulmuştur. Bütün bu çalışmalar ile sistemin ihtiyaçları belirlenmiştir.

Yeni durumda, önceki sisteme ait ihtiyaçlar doğrultusunda TETRA Sistemine ait network mimarisi tasarlanmıştır. Tasarlanan mimaride cihazlar sisteminin ihtiyaçları gözetilerek Cisco markasına ait 3 farklı model üzerinden kurulmuştur. Network mimarisi toplanma noktalarına eşit veri miktarı gelecek şekilde ayarlanmıştır. 1 Ana merkez ve buna bağlı hem cihaz hem de

fiber optik altyapı yedekli 3 istasyon üzerine inşa edilmiştir. IP Blokları Metropolün gelişen raylı ulaşım projeksiyonu göz önünde bulundurularak, cihaz gruplarına bağlı (rf ekipman, network ekipman, yedek sistem) 3'e bölünmüştür.

Her bir istasyondan önceki durumda yapıldığı gibi SolarWinds ve Jperf toolları ile ölçümler alınmıştır. Oluşturulan sistem ile paket gecikmesi, jitter IP çakışması, erişilemeyen cihazlar, yedekli olmayan yapı ortadan kaldırılmıştır. Bu sayede yolcu güvenliği ve sorunsuz işletme modeli sağlanmıştır.

1.3 ORİJİNAL KATKI

Bu çalışma neticesinde, 1 Ana merkez ve 3 toplanma merkezi temelli bir sistem mimarisi oluşturulurken her bir merkeze eşit cihaz ve veri trafiği gerçekleştirilmiştir. Asıl hedef olan Sayısal TETRA Telsiz Sisteminin 300 ms olan kritik haberleşme süresi kurduğumuz network altyapısı ile sağlanmıştır [7]. Metropol Raylı Ulaşıma ait bu sistemde tek bir marka cihaz üzerinden kurulan yedekli network altyapısı ile TETRA Sayısal Telsiz Sisteminin teknik şartı olan 25 kHz bant genişliğinde 28.8 kbit/sn veri hızının çok üzerindeki hızlarda paket iletimi sağlanmıştır [5]. Bütün bu veriler doğrultusunda yolcu güvenliği ve sorunsuz işletme hedefine TETRA Telsiz Sistemine ait network çalışması ile katkı sağlamıştır. Ayrıca TETRA Telsiz Sistemine ait network mimari ve modellemenin Raylı ulaşım hususunda yapılacak çalışmalara örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

2. SAYISAL HABERLEŞME

Bir haberleşme sisteminde amaç bilgiyi verici ve alıcı arasında hatasız iletmektir. Şekil 2.1 de haberleşme sistemine ait basit diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.1: Basit haberleşme diyagramı.

Haberleşme kanalı, mesaj işaretinin iletildiği ortamdır. Bu ortam kablolu veya kablosuz olabilmektedir. Örneğin; Fiber Optik kablo, Koaksiyel Kablo, Serbest Uzay gibi örnekler çoğaltılabilir.[8] Radyo Haberleşmesi, elektromanyetik dalganın serbest uzayda antenler vasıtası ile aktarılan haberleşme çeşididir. Burada antenin boyutu, iletilmek istenen işaretine frekansı ile ilgilidir. Sayısal haberleşme ile ilgili bazı kavramlar ve formüller aşağıda gösterilmektedir. Denklem (2.1)'de görüleceği üzere frekans ise saniyedeki titreşim sayısıdır.

$$f = \frac{1}{T} \tag{2. 1}$$

Dalga boyu ortamdaki ışık hızının frekansa oranını ifade etmektedir. Anten boyu ise çeyrek dalga boyu ile denklem (2.3)'te gösterilmektedir.

$$\lambda = \frac{C}{f} \tag{2. 2}$$

$c =$ ışık hızı ($3x10^8$ m/s) $f =$ iletilecek işaret frekans $\lambda =$ dalga boyu

$$\text{Anten Boyu} = \frac{\lambda}{4} \tag{2. 3}$$

Bit kavramı sayısal haberleşme de 0 ve 1 bilgisinin karşılığıdır. BPS (Bit Per Second) saniyede iletilen bit sayısını ifade etmektedir. Bit hata oranı (BER: Bit Error Rate) sayısal haberleşmede gönderilen hatalı bit sayısının, toplam gönderilen bit sayısına oranıdır.

$$BER = \frac{\text{İletilen Hatalı Bit Sayısı}}{\text{Toplam İletilen Bit Sayısı}} \tag{2. 4}$$

Kanal kapasitesi hesaplanırken Shannon eşitliği ile hesaplanmaktadır. SNR Gürültü oranından hareketle Kanal kapasitesi şeklinde hesaplanır.

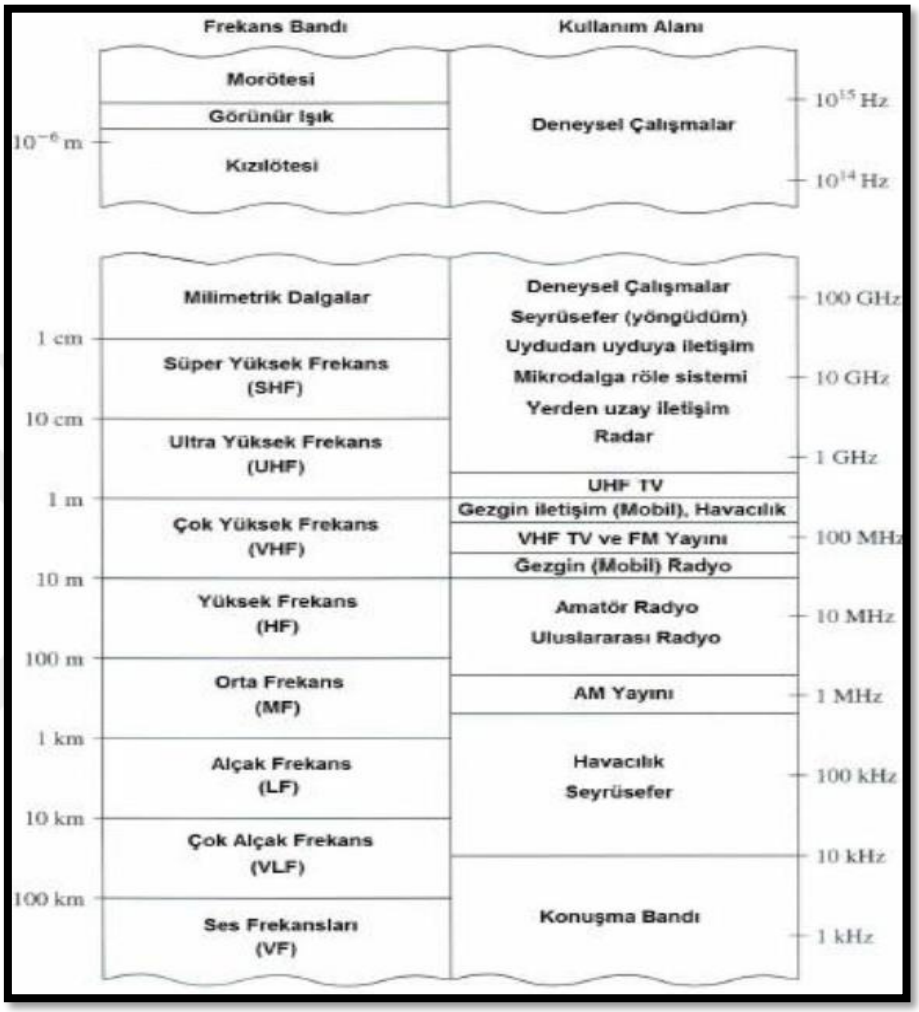
C = Kanal Kapasitesi (bps) B = *Bant* Genişliği (Hertz)

$$SNR = \frac{P_s}{P_G} \tag{2. 5}$$

$$SNR(dB) = 10log\frac{P_s}{P_G} \tag{2. 6}$$

$$C = Blog_2\left(1 + \frac{P_s}{P_G}\right)\ bps \tag{2. 7}$$

Serbest uzayda yapılan telsiz haberleşmesine ait frekans bantları aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.2: Frekans ve dalga boyu spektrumu [9].

Şekil 2.2'deki frekans spektrumundan hareketle elektromanyetik dalgalar atmosferde 3 şekilde yayılmaktadır. Yer dalgası, iyonosferik dalga ve direkt görüş (line of sight) şeklindedir. VLF ve ELF frekans bandı iyonosfer üzerinden haberleşmede kullanılan banttır. Bu haberleşme genellikle deniz haberleşmesinde kullanılmaktadır.

MF bant AM radyo yayıncılığında kullanılmaktadır. VHF ve UHF bantları ise televizyon yayıncılığı ve telsiz haberleşmesinde kullanılmaktadır. EHF bandı ise kızılötesi ve optik haberleşme için deneysel amaç ile kullanılmaktadır [3].

2.1 MODÜLASYON

Temel bantta bulunan bir işaretin taşıyıcı bant ile birleşerek, bilginin uzak noktalara erişimi işlemine verilen isimdir. Bu işlem esnasında işaretin kendinden daha yüksek frekanslı taşıyıcı ile birleştirilmesi ile gerçekleşir. Modülasyon işlemi sırasında sinyalin genlik faz frekans gibi nitelikleri değişmektedir. Modülasyon, haberleşme kanalının daha etkin ve efektif kullanılmasını sağlamaktadır. Kablosuz haberleşmede kullanılan anten gibi ekipmanların boyutlarının minimaliz edilmesi yine modülasyon sayesinde gerçekleşir [8].

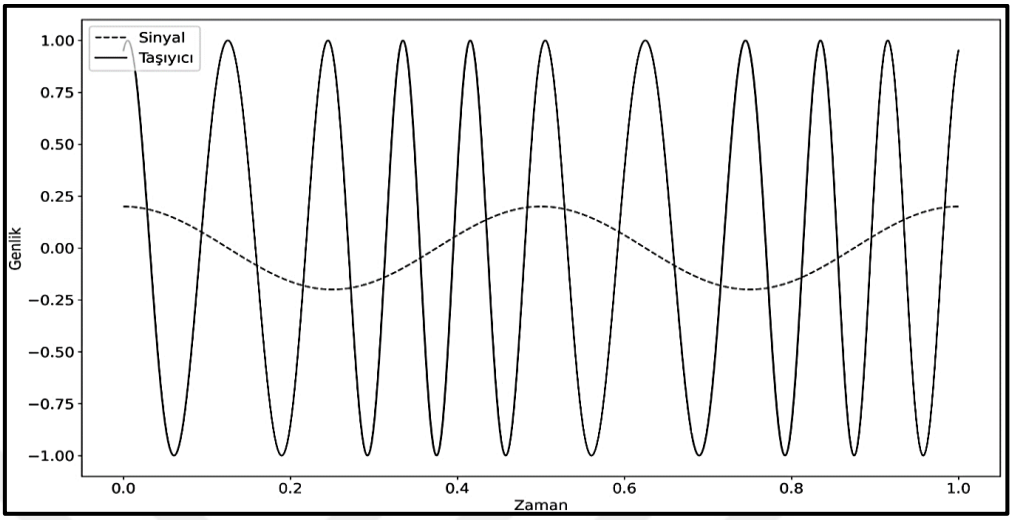
Taşıyıcı sinyali ifadesi 2.8'deki gibi ifade edilmektedir. A taşıyıcı genliği, f taşıyıcı frekansı ve θ taşıyıcı fazı görülmektedir. Bu parametrelerin değişimine göre modülasyon Genlik Modülasyonu (AM), Frekans Modülasyonu (FM) veya Faz Modülasyonu (PM) olarak adlandırılır.

$$m(t) = Acos(2\pi ft + \theta) \tag{2.8}$$

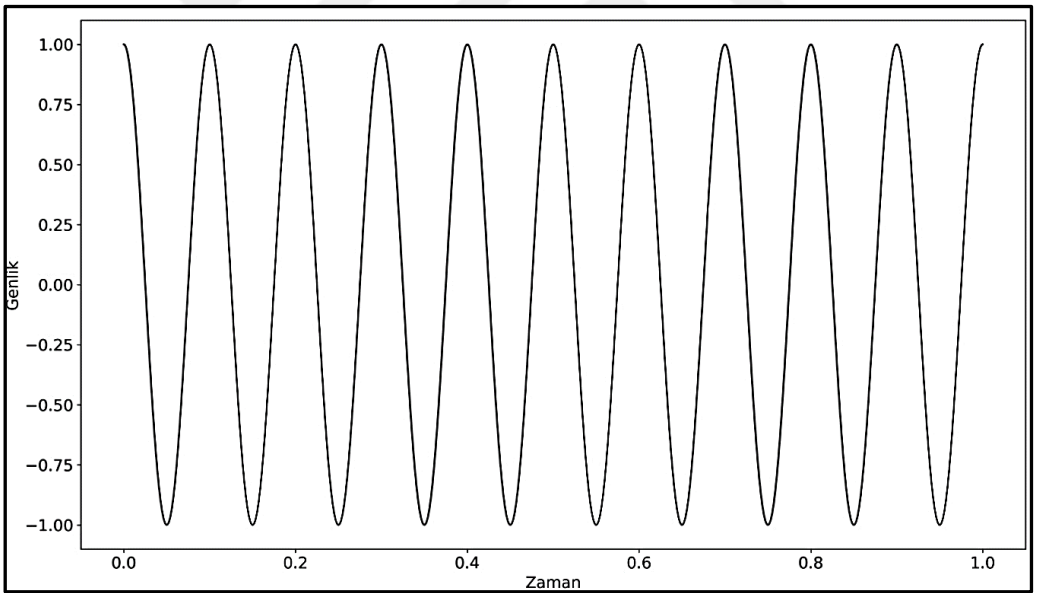
Bu kısımda haberleşme teknolojilerinde çok sık kullanılan bazı modülasyon tekniklerine değinilmektedir.

2.1.1 Genlik Modülasyonu

Gönderilmek istenen analog sinyalin genliğine göre taşıyıcı sinyalin genliğinin değiştiği modülasyon tipidir. Burada $m(t)$ mesaj işareti, $c(t) = A_c cos(2\pi f_c t + \theta)$ genliği üzerinden değişim olmaktadır.



Şekil 2.3: Genlik modülasyonu taşıyıcı ve ileti sinyal.



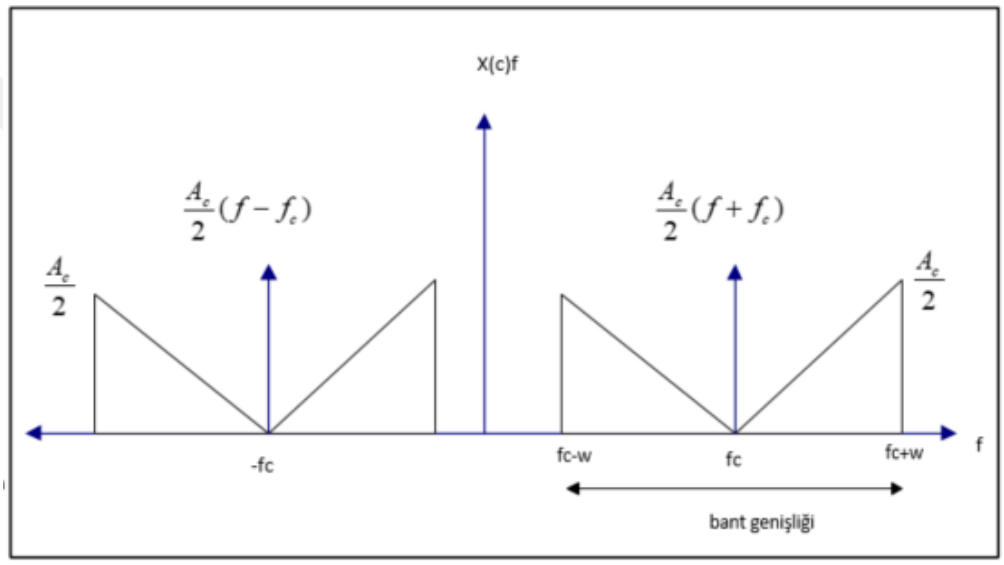
Şekil 2.4: Genlik modülasyonu çıkış sinyali.

Genlik modülasyon ile iletilen bir işaretin matematiksel ifadesi denklem (2.9)'daki gibidir. Burada m modülasyon indeksi, x(t) orijinal mesaj işareti, f_c taşıyıcı frekansı, A_c taşıyıcı genliği ve $X_c(t)$ genlik modülasyonlu işarettir.

$$X_c(t) = A_c[1 + \mathrm{mx(t)}]\cos(w_c t) \tag{2. 9}$$

$X_c(t)$ İşaretinin Fourier dönüşümüne ilişkin ifade denklem (2.10)'da görülmektedir [10]. Ayrıca spektrum şekil 2.5'te verilmiştir.

$$x_C(f) = \frac{A_C}{2}[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c) + mX(f - f_c) + mX(f + f_c)] \tag{2.10}$$

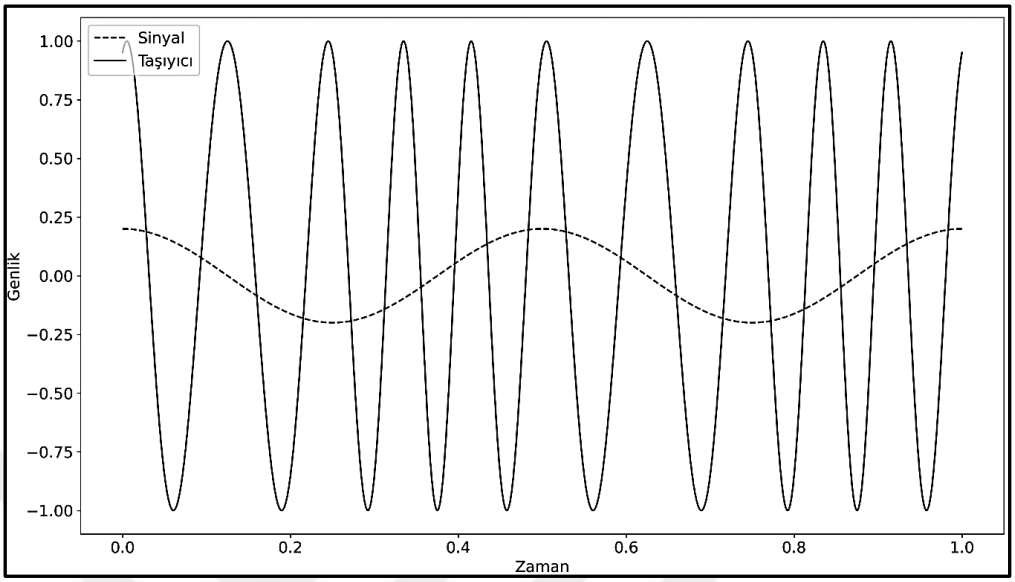


Şekil 2.5: Genlik Modülasyonu $\boldsymbol{x_C(f)}$ frekans spektrumu.

Genlik Modülasyonunun; Artık Yan Bant, Tek Yan Bant ve Çift Yan Bant çeşitleri de bulunmaktadır.

2.1.2 Frekans Modülasyonu

Frekans modülasyonu taşıyıcı sinyalin frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir [11].



Şekil 2.6: Taşıyıcı, bilgi sinyali ve çıkış sinyali.

$$w = 2f_m(\beta + 1) \tag{2. 11}$$

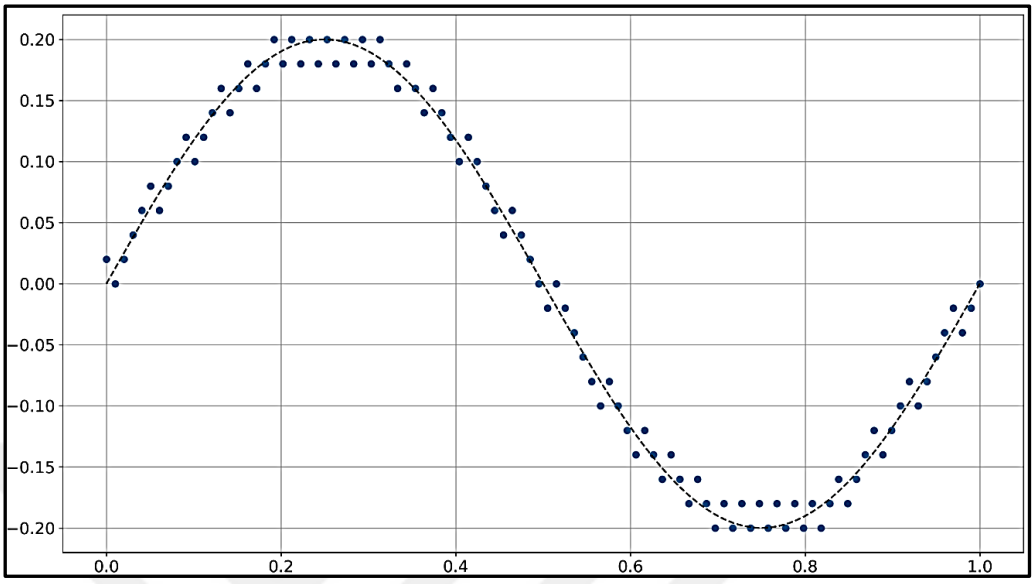
Burada w bant genişliği, f_m işaretin frekansı, β modülasyon indeksini ifade etmektedir. Modülasyon indeksi $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$, f_m modüle edilen işaretin frekansı, Δf frekans sapmasıdır.

2.1.3 Darbe Kod Modülasyonu

Bu modülasyon analog verinin bilgisayar ortamında saklanılabilmesi, iletilmesi için kullanılmaktadır. ADC (Analog Digital Conventer) şeklinde işlem görmektedir. Analog işaretin genliği kuantalanarak her seviyede sayısal diziye dönüştürülmektedir.

2.1.4 Delta Modülasyonu

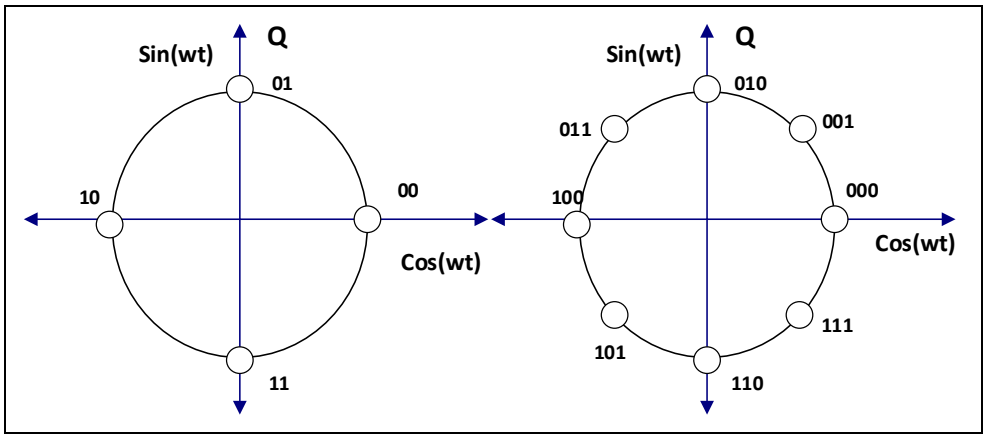
Bu modülasyon, Δ aralıklar analog işaretin pozitif veya negatif durumuna göre 1-0 üretmektedir. Analog işaret yerine bu modülasyon ile oluşan işaret karşı tarafa iletilmektedir.



Şekil 2.7: Delta Modülasyonu.

2.1.5 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (MPSK)

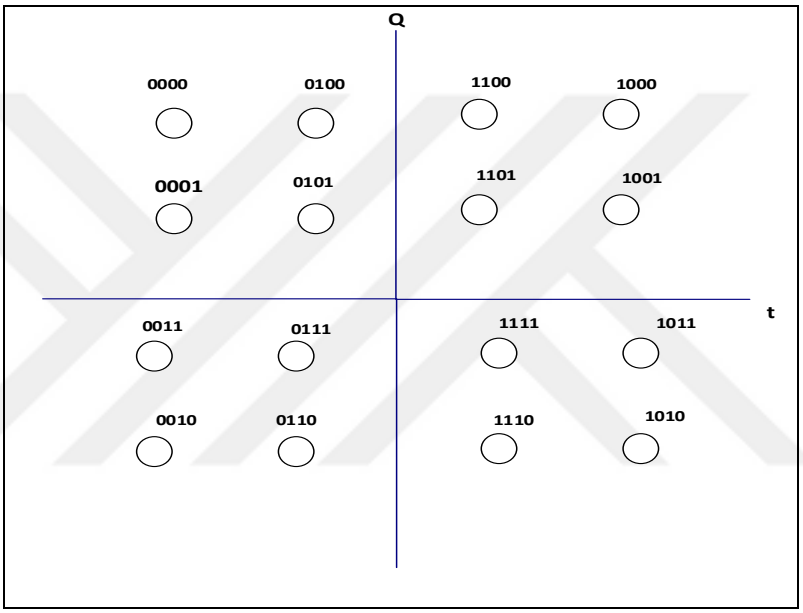
Bu modülasyonda farklı sinyaller farklı fazlarda gönderilmektedir. Bu teknikte taşıyıcının sadece fazı değiştirilerek iletim sağlanmaktadır. PSK önüne gelen sayı veya harf aslında faz sayısını ifade etmektedir. 4-PSK ile QPSK aynı şeyi ifade etmektedir. QPSK da 4 farklı kombinasyonun her birinde iki bitlik veri aktarılmaktadır. Günümüzde faz sayıları 8PSK, 16PSK, 64PSK, 128PSK, 256PSK olabilmektedir. Bu modülasyonlarda sayı arttıkça veri miktarı artarken güç tasarrufu da sağlanmaktadır. Ancak işaret bozulmaları artmaktadır [12].



Şekil 2.8: 4PSK ve 8PSK modülasyon yerleşimi.

2.1.6 Dik Genlik Modülasyonu (QAM)

Bu modülasyon dijital modülasyon tekniği olup hem genlik hem de faz modülasyonunun kombinasyonudur. QAM veri taşıma kapasitesinde QPSK'dan daha başarı bir tekniktir. Şekil 2.9'da 4 bit çıkışı için kullanılan 16'lı QAM sinyal dağılımı görülmektedir [12].



Şekil 2.9: 16 QAM yerleşimi.

2.2 ÇOĞULLAMA

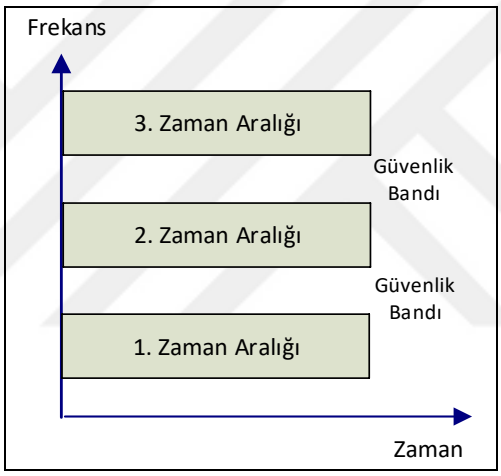
Çoklu Erişim birden fazla işaretin aynı haberleşme ortamında iletilerek farklı alıcılar tarafından ayrışmasını sağlayan haberleşme tekniğidir. Şekil 2.10'de temel gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2.10: Çoğullama temel gösterim.

2.2.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

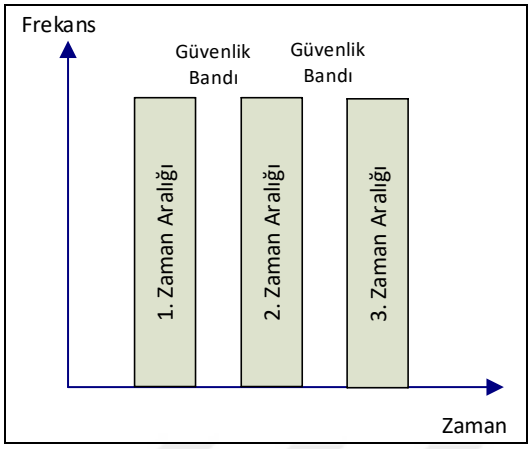
FDMA (Frequency Division Multiple Access) yönteminde her bir iletişim için ayrı bir frekans kullanılmaktadır. Bu sayede haberleşme ortamında işaretler birbirine karışmadan iletilmektedir. Yapılan haberleşmede her kanal bir kullanıcıya tahsis edilmektedir, o kullanıcıya ait haberleşme sonlanmadan başka bir kullanıcı o kanalı kullanamamaktadır [13]. Şekil 2.11'de FDMA olumlu tarafları, sistemin basit ve tasarlana bilir olması, eş zamanlı iletişimin kolay olması buna karşın olumsuz yanı ise frekans spektrumunun etkin kullanılamaması gösterilebilir.[14] Analog haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır [15].



Şekil 2.11: FDMA spektrum kullanımı.

2.2.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

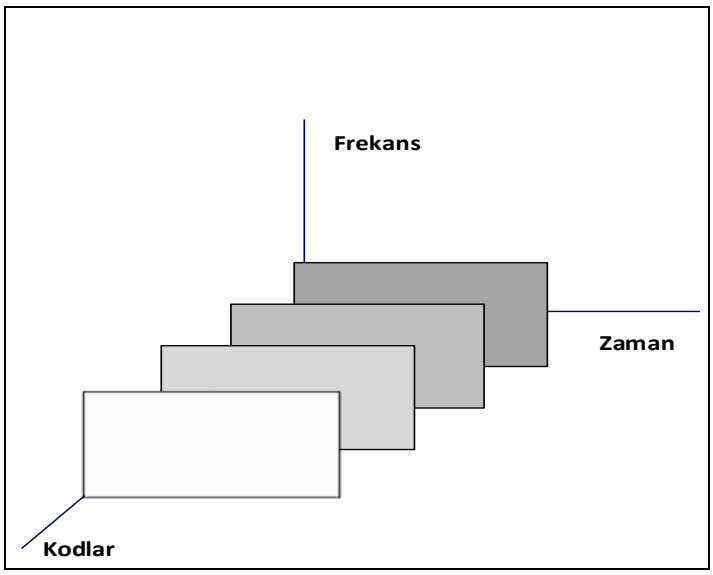
Şekil 2.12'de görüleceği üzere, tek bir frekans kanalına farklı slotlarda erişim sağlayan tekniktir [15]. Her bir işaret aynı frekansta farklı zaman dilimleri içerisinde haberleşmesini gerçekleştirmektedir. TDMA (Time Division Multiple Access) en kritik husus senkronizasyondur, bu sebeple zaman dilimleri arasında koruma bantları mevcuttur. Sayısal Uydu haberleşme sistemlerinde tercih edilen tekniktir [8].



Şekil 2.12: TDMA spektrum kullanımı.

2.2.3 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

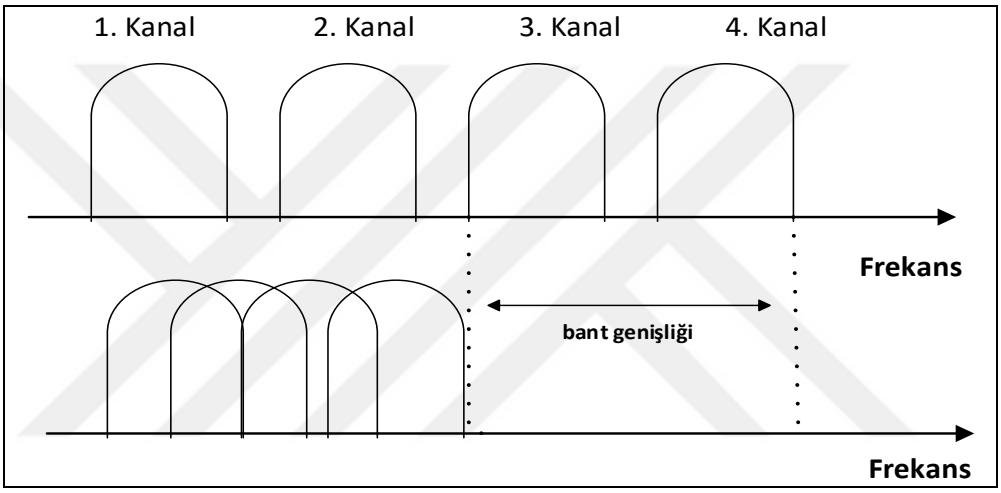
Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access) mobil haberleşmede kullanılan erişim tekniğidir. Bu teknikte frekans ve zamandan bağımsız tüm kullanıcılar bant genişliğinin tamamını bütün süre boyunca kullana bilmektedir. Kullanıcılar arasındaki farklılık kodlar vasıtası ile sağlanmaktadır [16].



Şekil 2.13: CDMA spektrum kullanımı.

2.2.4 Ortogonal Frekans Bömeli Çoklu Erişim (OFDM)

Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Ortogonal Frequence Division Multiplexing) bant genişliğinden daha fazla istifade edilmek için geliştirilen bir tekniktir. OFDM mevcut frekans spektrumunu daha düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek, paralel kanallarda haberleşme sağlamaktadır. Bunun neticesinde bant genişliğinden daha fazla faydalanılmaktadır [17]. FDMA den farkı ve bant genişlik kazancı Şekil 2.14'te görülmektedir [18].



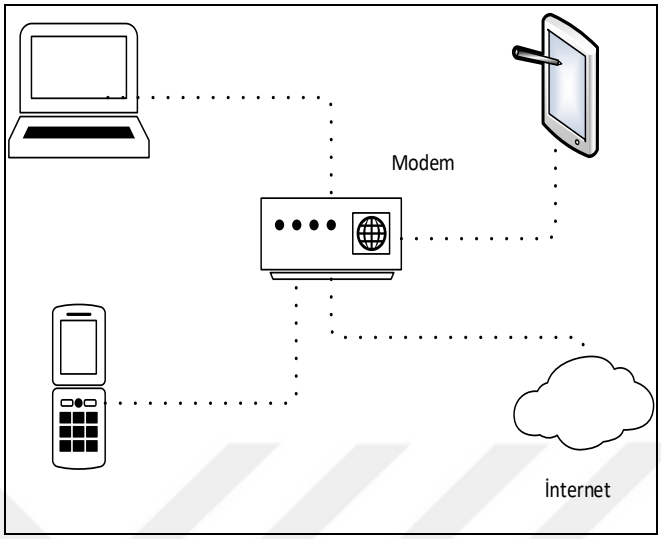
Şekil 2.14: OFDM'nin FDMA kıyasla bant genişliği kazancı.

2.3 NETWORK SİSTEMLERİ

2.3.1 Network Tipleri

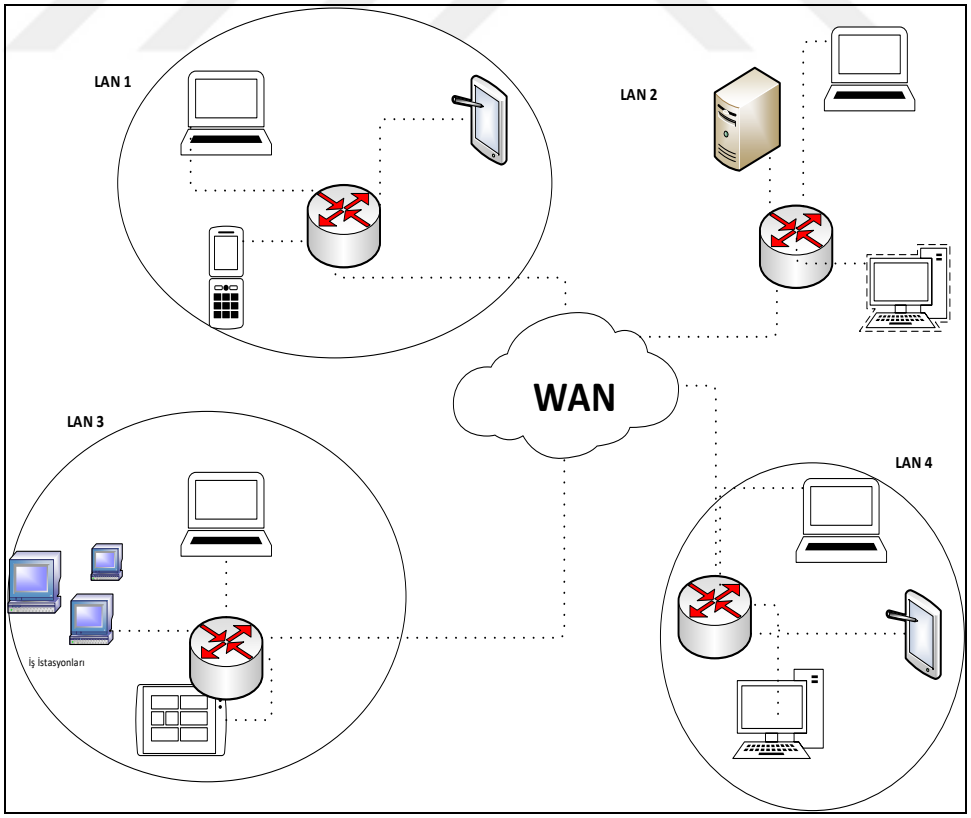
Ağlar büyüklüklerine göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network), MAN (Metropolitan Area Network) şeklindedir.

LAN: Birbirlerine yakın noktalara konumlandırılmış cihazlardan oluşan yapıya verilen addır. Ev okul gibi küçük yapılarda kurulu sistemlerdir.



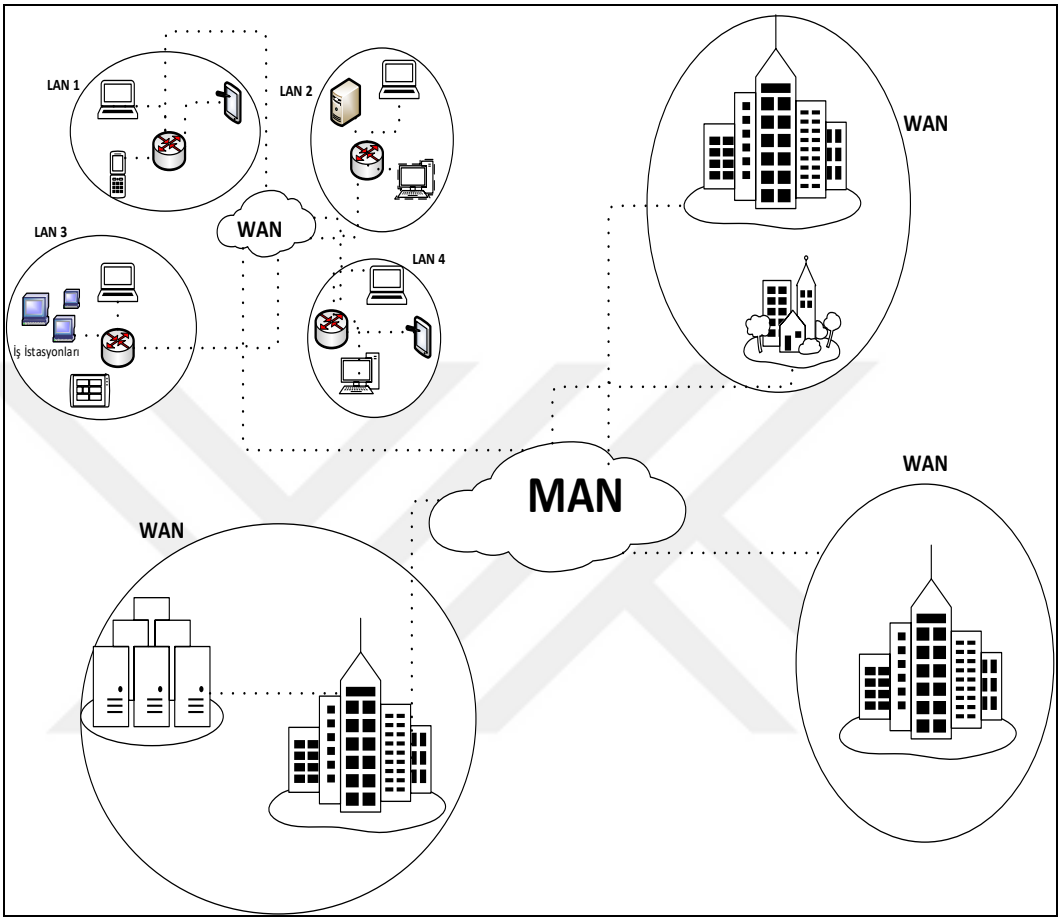
Şekil 2.15: LAN yapısı.

WAN: Farklı İstasyonlardaki LAN yapılarının routerlar (yönlendirici) aracılığıyla oluşturulan ağın adıdır.



Şekil 2.16: WAN yapısı.

MAN: Çok büyük coğrafi ağların birbirleri bağlanması neticesinde ortaya çıkan ağın adıdır.



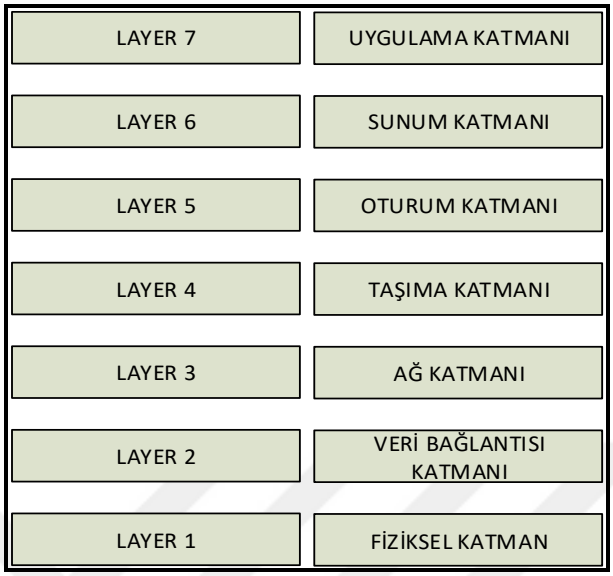
Şekil 2.17: MAN yapısı.

2.3.2 Uç Cihazlar Arası Ağ Modeli

Bilgisayar teknolojilerinin başlangıç dönemlerinde, PC- PC, PC- sunucu, PC – yazıcı gibi uç cihazlar arasında iletişim kurulması için aynı marka bağlı ürünler kullanımı gerekmekteydi. Bu sistem farklı cihazlardan teşekkül eden bir ekosisteme imkân sunmuyordu. Bu durumun önüne geçmek için OSI ve TCP/IP modelleri ortaya konuldu.

2.3.2.1 OSI referans modeli

ISO (International Organization for Standardization) tarafından 1984 yılında ortaya konulan ağ modelidir.[19] OSI (Open Systems Interconnection) referans modelinde farklı üreticilere ait ürünlerin birlikte çalışması sağlanır [20]. 7 Katmanlı yapıdan oluşmaktadır.



Şekil 2.18: OSI referans modeli.

Uygulama Katmanı: Bu katman kullanıcı ile IP alan cihazın karşılaştığı kısımdır. Dosya transferi, e mail gibi işlemlerin yapıldığı kısımdır. HTTP, FTP protokoller bu katmanda kullanılır [21].

Sunum Katmanı: Uygulama katmanında son kullanıcının kullanacağı verinin hazır hale getirildiği katmandır. Sıkıştırma, şifreleme, verinin uygun formata dönüşmesi işlemleri gerçekleşir [22].

Oturum Katmanı: Gönderici ve alıcı bilgisayarların sunum katmanları arasındaki oturumların kurulması ve herhangi bir kesinti durumunda veri akışının kaldığı yerden devam etmesini sağlayan katmandır.

Taşıma Katmanı: Gönderilen ve alınan verinin parçalara ayrıldığı ve tekrar birleştirildiği katmandır. TCP ve UDP protokolleri kullanılır.

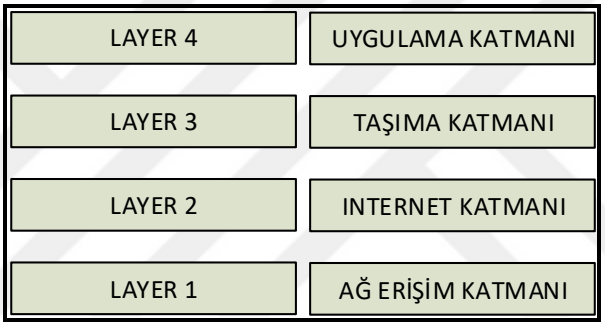
Ağ Katmanı: Cihazların IP aldığı katmandır. Ağ üzerinde verinin aktarılırken kullanacağı yolun (router switch vs) belirlendiği katmandır [20].

Veri Bağlantı Katmanı: Bu katmanda Ethernet ve Token Ring erişim yöntemleri çalışır. Gelen datanın frame olarak iletilmesini ve fiziksel katmanda meydana gelen hataları tespit ederek düzeltilmesini sağlayan katmandır. MAC (Media Access Control) ve LLC (Logical Link Control) olarak iki alt katmana ayrılmaktadır [23].

Fiziksel Katman: Verinin haberleşme kanalına uygun hale gelmesinin tanımlandığı katmandır. Hub cihazı bu katmanda çalışmaktadır [24].

2.3.2.2 TCP/IP protokol kümesi

TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) ABD Savunma bakanlığı projesiyle ortaya çıkmış standarttır. OSI modelinde olduğu gibi açık standarttır. TCP/IP protokolüne ait Ethernet 802.3 gibi standartlar IEEE tarafından geliştirilmektedir. İnternetin temeli olan TCP/IP protokolüdür. İnternetin yaygınlaşması ile bu protokol OSI modeline üstünlük sağlamıştır. 4 katmandan oluşmaktadır [25].



Şekil 2.19: TCP/IP Modeli.

Uygulama Katmanı: OSI modelindeki Uygulama, sunum ve oturum katmanına denk gelmektedir. Http, SSH, FTP gibi protokoller kullanılmaktadır [20].

Taşıma Katmanı: Çift taraflı veri akışının sağlandığı katmandır. TCP ve UDP bu katmandadır [26].

İnternet Katmanı: Cihazların IP aldığı ve verinin izleyeceği yolun tayin edildiği katmandır.

Ağ Erişim Katmanı: OSI modelindeki veri bağlantısı ve fiziksel katmana denk gelmektedir. Verinin 1 ve 0 şeklinde dönüştürülmesi ve taşınması gerçekleştirilir [26].

2.3.3 VLAN

VLAN (Virtual Local Area Network), LAN üzerindeki PC veya cihazları gruplandırarak bunlara port atayan teknolojidir. Bu gruplandırma sayesinde sistemde gereksiz broadcast trafiği azalmaktadır. Ayrıca bant genişliği artarak daha verimli kullanılmaktadır. Ayrıca VLAN ağ güvenliği sağlamaktadır [26].

Veri (Data) Vlan: Standart ses ve video trafiği için kullanılan vlan'dır.

Varsayılan (Default) Vlan: Cihazın ilk kullanıma alındığındaki durumdur. Bütün portlar açık broadcast trafiği yapmaktadır.

Native Vlan: Herhangi bir Vlan atanmayan çerçevelerin trunk porttan iletilmesini sağlayan Vlan'dır.

Yönetim (Management) Vlan: Bir switch'i yönete bilmek Telnet veya SSH ile erişebilmek için oluşturulan Vlan'dır.

Voice Vlan: Veri ile ses trafiğinin aynı porttan geçmesini sağlayan Vlan'dır.

3. SAYISAL TELSİZ SİSTEMLERİ

Telsiz haberleşmesi; verici ve alıcı birimler arasında herhangi bir kablolu bağlantı olmadan elektro manyetik dalgalar vasıtası ile iletimin sağlandığı yöntemdir. Telsiz haberleşmesi kamu ve özel sektör olmak üzere birçok farklı alanda gün geçtikçe yaygınlık kazanmaktadır. İtfaiye, Hızır Acil, emniyet müdürlüğü ve askeriye başta olmak üzere kamunun birçok farklı kurumunda sayısal telsiz sisteminin farklı teknolojileri kullanılmaktadır [27]. Sayısal telsiz sisteminin bu kadar yaygın kullanılmasının nedeni afet , terör saldırısı ve olağan üstü olaylarda Gezgin İletişimde Küresel Sistem (‘Global System for Mobile Communications’, GSM) ve “sabit hat” olarak bilinen Genel Aktarmalı Telefon Şebekesi (‘Public Switched Telephone Network’, PSTN) teknolojilerinin yetersiz kalmasıdır [28]. Afet yönetimi kamu kurumlarının kullandığı sayısal telsiz sistemi üzerinden gerçekleşmiştir. Sayısal telsiz sistemi sağladığı bir çok avantaj ile bu teknolojiyi kullanan kurumların elini güçlendirmektedir. Sayısal telsiz sisteminin avantajları; frekans spektrumu daha verimli kullanılması, haberleşmenin kriptolu hale dönüştürülerek alıcıya iletilmesi ayrıca iletilen sinyale eklenen gürültünün belli bir aşamaya kadar yazılım ile engellenmesidir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de Sayısal telsiz sistemine ait farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bunlardan TETRA (‘Terrestrial Trunk Radio’), APCO 25 (‘Association of Public-Safety Communications Officials’, APCO) ve DMR (‘Digital Mobile Radio’) teknolojileridir. TETRA Emniyet Genel Müdürlüğü tarafından, APCO 25 Jandarma Genel Komutanlığı, DMR çeşitli büyükşehir belediyeleri tarafından kullanılmaktadır.

3.1 APCO 25

APCO 25; Amerika Birleşik Devletleri’nde APCO tarafından 1989 yılında, başta Kamu Güvenliği olmak üzere iç güvenlik, acil durum yardım/destek ve teknolojik altyapı yönetimindeki gereksinimleri karşılamak için, analog telsizlerin çalışma bandını da kapsayacak ve karşılıklı konuşabilecek biçimde geliştirilmeye başlanan, açık mimarili sayısal telsiz haberleşme standardıdır [29]. APCO 25 açık standarda uygundur. Farklı üreticilere ait ekipmanlar bu sistem altında entegre çalışabilmektedir. Hücresel yapı ile kapsama sağlanmaktadır. Simulcast haberleşme kullanılmaktadır. APCO 25 teknolojisinde her taşıyıcı kanal 12,5 KHz bant genişliğine sahiptir. FDMA erişim tekniğine sahip olan APCO 25 standardı

C4FM ile modüle edilmektedir [30]. Kullanılan frekans bandı 38 MHz- 174 MHz, 406 MHz – 512 MHz, 764 MHz – 869 MHz, 380 MHz -400 MHz şeklindedir. APCO 25 standardının en önemli özelliklerinden biri geriye uyumluluktur. Mevcut analog sisteme ait el terminalleri ile APCO 25 standardındaki el terminalleri direkt mod haberleşmesi yapabilmektedir. Bu özellik sayesinde UHF ve VHF bandında haberleşme sistemi bir merkezde kullanılacağı gibi frekans spektrumu etkin hale gelmektedir. Ayrıca Analog telsiz sisteminden sayısal sisteme geçişte yavaş ve kesintisiz bir haberleşme sağlana bilmektedir [31].

3.2 DMR

DMR teknolojisi ETSI (European Telecommunications Standarts Institute) tarafından geliştirilen dijital telsiz standardıdır. 2005 yılında ilk defa ETSI tarafından onaylanmıştır [32]. Bu standardın avantajları mevcut analog sistemden sayısal sisteme geçişi kolaylaştırması ve 12.5 kHz bant genişliği sağlamasıdır. DMR teknolojisi 12.5 kHz bant genişliğini TDMA teknolojisi ile iki eşit kanala bölmesidir. Kullanılan frekans bantları; 68 MHz- 87,5 MHz, 146 MHz – 174 MHz, 406,1 MHz – 430 MHz, 440 MHz – 470 MHz şeklindedir. DMR teknolojisi 3 aşamada geliştirilmiştir [33]. Seviye 1; Lisans gerektirmeyen telsizlerin sadece 446 MHz bandında direkt mod haberleşe bildiği şeklidir. Seviye 2; Kullanıcılara özel kanalların tahsis edildiği haberleşmenin direkt mod yanı sıra baz istasyonu ve repeater üniteler ile sağlandığı lisanslı seviyesidir. Bu seviyede her bir ekipmanın IP almakta ve metin mesajlaşmasını desteklemektedir. Seviye 3 12.5 kHz bant genişliğine sahip ve TDMA teknolojisi kullanılarak bant iki eşit kanala bölünmektedir. Seviye 2'den farklı olarak bireysel çağrı araması mevcuttur [34].

DMR teknolojisi kullanıcılara çeşitli avantajlar sunmaktadır. Açık standart olmasından dolayı birden çok üreticinin ürünleri aynı sistemde kullanılmaktadır. Bu da kurumlara ekonomik avantaj sağlamaktadır. DMR teknolojisinde sadece ses iletimi değil aynı zamanda sistem üzerinden telefon haberleşmesi PSTN (Public Switched Telephone Network), GPS (Global Positioning System), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) bilgilerinin iletimi sağlana bilmektedir.

3.3 TETRA

TETRA ETSI tarafından 1995 yılında geliştirilmeye başlanılan açık mimarili sayısal telsiz sistemi standardıdır. İhtiyaç duyulması ve çıkış noktası Avrupa Birliğine bağlı ülkelerin birbiri ile entegre haberleşme standardının oluşması hedefidir [35]. TETRA standardını kullanan profesyonel kullanıcılar; polis, ambulans, itfaiye gibi kamu kuruluşlarının yanı sıra raylı sistemlerde, havacılıkta aynı zamanda ticari hizmet veren kurumlarda kullanılmaktadır. TETRA Standardında TDMA teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknolojide taşıyıcılar 25 kHz'lik bant genişliğine sahiptir.25 kHz'lik bant da 4 adet eşit kanala bölünmektedir bu sayede frekans daha etkin ve verimli kullanılmaktadır. Her bir kanalda 7.2 KBit/sn veri iletilirken tüm kanalların kullanılması ile iletilen veri miktarı 28,8 Kbit/sn çıkmaktadır [36]. Kullanılan frekans bantları 380-400 MHz, 410-430 MHz, 450-470 MHz, 870-933 MHz şeklindedir. TETRA standardında el terminalleri (telsiz) arasında Direkt Mod haberleşmesi sağlandığı (half duplex) gibi röleler üzerinden grup çağrıları da (full duplex) gerçekleştirilmektedir. TETRA standardı GSM ile benzer olarak hücre yapısı şeklinde sistem mimarisine sahiptir, hücreler arası geçişi (roaming) desteklemektedir. [37] TETRA en önemli özelliklerinden biri çağrı kurma süresinin 300 ms altında olmasıdır [7]. Üretici çözümlü uçtan uca kriptolama özelliği sayesinde kullanılan sistemlerde güvenlik sağlanmaktadır.

Tablo 3.1: Sayısal telsiz standartları teknik özellikler.

SAYISAL TELSİZ STANDARTLARI			
	APCO 25	TETRA	DMR
Erişim Tekniği	FDMA	TDMA	TDMA
Bant Genişliği	12,5 kHz	25 kHz	12,5 kHz
Modülasyon	C4FM	π/4 DQPSK	4FSK
Frekans Bant	38-174 MHz 406-512 MHz 764-869 MHz 380-400 MHz	380-400 MHz 410-430 MHz 450-470 MHz 870-933 MHz	68-87.5 MHz 146-174 MHz 406-430 MHz 440-470 MHz
Veri Hızı	9,6 kbit/sn	28,8 kbit/sn	9,6 kbit/sn
Çalışma Modu	Trunk	Trunk -Direkt	Üretici Kaynaklı Değişmektedir

4. METROPOL ÖRNEĞİ TETRA TELSİZ SİSTEMİ NETWORK ALTYAPISI İLK DURUM ANALİZİ

Bu kısımda raylı ulaşıma ait TETRA Telsiz Sisteminin Network Altyapısı tüm hatları ile incelenmiştir.

4.1 TETRA TELSİZ SİSTEMİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Bu tez kapsamında Tetra Telsiz Sisteminde Rohill marka ürünler ile çalışılmıştır. Burada IP alan cihazlar hakkında bilgiler verilmektedir.

TNX (TetraNode eXchange): Merkezi anahtarlama Birimi, Baz istasyonları ve sistemi kontrol eden içerisinde Linux tabanlı işletim sistemi olan cihazdır.

TBS (Tetra Base Station): TETRA Baz İstasyonudur.

FSC (Fallback Site Controller): Merkezi anahtarlama birimi ile baz istasyonunun bağlantısı kesildiğinde local olarak rf kapsamayı devam ettiren cihazdır.

Senkronizasyon Ünitesi: Baz istasyonuna saat sinyali üreten cihazdır. Tüm sisteme ait cihazların eş zamanlı çalışması sağlamaktadır. GPS (Global Positioning System) bir kez aldığı zaman sinyali ile 10 yıl boyunca aktif olarak çalışabilmektedir.

TEP (Tetra Expansion Platform): Telefon santralini TETRA sistemine ait ağa bağlamak için kullanılan cihazdır. Seri port haberleşme bulunmaktadır.

VLS (Voice Logging Server): Ses kayıt sunucusudur. Sistemdeki bütün çağrıları kayıt altına almaktadır.

LDS (Line Dispatcher Station): Bilgisayar üzerinden telsizlerle iletişim kuran program.

4.2 ANALİZ ESNASINDA KULLANILAN TERİMLER- ARAÇLAR

i. **SNMP (Simple Network Management Protocol):** Ağda bulunan Switch, Access Server, Router, Bridge veya bilgisayar gibi cihazların sıcaklık, cihaza bağlı kullanıcılar, İnternet bağlantı hızı, cihaz çalışma süresi gibi temel bilgiler elde edilebilir. Yönetici birimde çalışan ve tüm ağdaki cihazların bilgilerinin eş zamanlı olarak izlenmesini ve yönetimini sağlayan protokoldür. [38]

ii. **Jperf:** Ağ performansını test etmek için kullanılabilecek açık kaynaklı bir araçtır. Ağ üzerinde noktadan noktaya Server-Client ilişkisini kurulduğu ve veri elde edilen araçtır. Jperf de kullanılan terimler;

iii. **İnterval:** Veri aktarımı için geçen toplam süreyi ifade etmektedir.

iv. **Transfer:** Test esnasında aktarılan toplam veri boyutunu gösterir.

v. **Lost datagram:** Host ile Client arasında belli bir zaman diliminde karşı tarafa iletilemeyen veri miktarıdır.

vi. **Total datagram:** Host ile Client arasında belli bir zamanda karşı tarafa gönderilen tüm veri miktarıdır.

vii. **SolarWinds Network Performance Monitor:** SNMP özelliği üzerinden ağın performans durumunu ortaya koyan araçtır. Kullanıcının belirlediği süreye göre ara yüz üzerinden ağ monitör edilebilmektedir.

viii. **Packet Loss:** Ağ üzerinde gönderilen bir paketin ulaştığı noktalardaki hafıza kısıtlarından dolayı nokta tarafından kabul edilmemesi veya ağdaki ulaşım yollarında karşılaşılan sorunlardan dolayı hedefe ulaşmadan kaybedilmesine verilen addır.

ix. **Average Response Time:** Bir veri iletimindeki paketin iletimi boyunca geçen toplam süredir.

4.3 İSTASYON EKİPMAN BİLGİSİ

TETRA Telsiz sistemine ait ilk durumda Rf ekipman envanteri C1, C2 ve C3 istasyonlarında olmak üzere 3 adet TNX ve VLS cihazları; E1, E2, E3, E4, E6, E7, E8, E9, A1, A2, A3 istasyonlarında toplam 22 adet röle, 11 adet FSC; E1ve E3 istasyonlarında toplam 2 adet Temp Rei cihazı bulunduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca C1, C2, C3, A1, A2, A3, E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9 istasyonlarında Zyxel, Dell, Advantech, Hirschmann markalarında toplam 14 adet switch projelendirilmiştir.

Tablo 4.1: İstasyon bazlı ekipman bilgileri.

İstasyon & Ekipman	C1	C2	C3	A1	A2	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Carrier				xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
FSC				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
VLS	x	x	x											
Temp Rei						x		x						
Zyxel	x	x	x	x		x	x			x	x			
Dell					x				x				x	
Advantech												x		x
Hırschman								x						
Radyo Link								x			x			
TNX	x	x	x											

4.4 IP BLOK BİLGİSİ

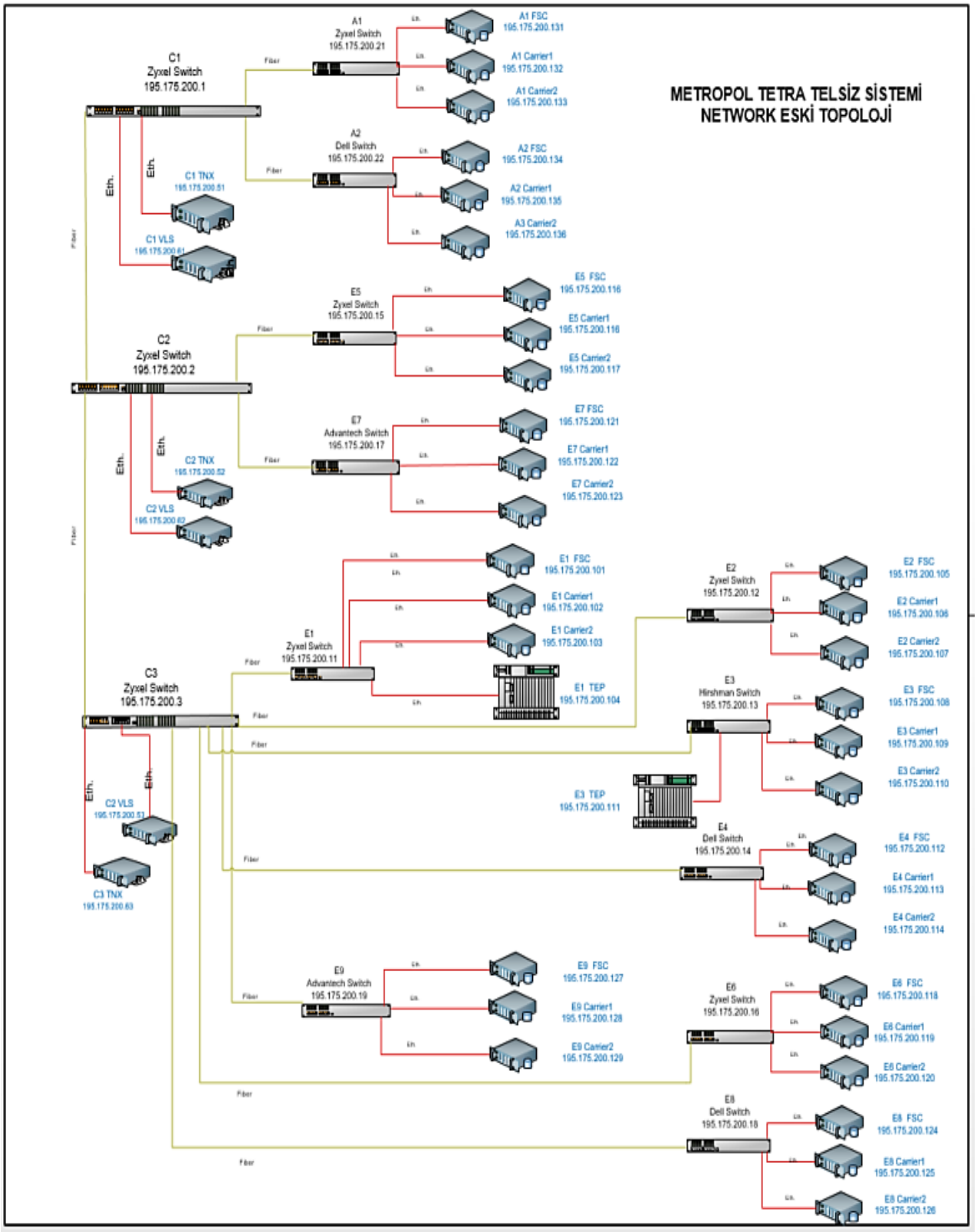
TETRA Telsiz Sisteminin ilk durumunda bütün ekipmanlar aynı IP bloğunda olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan IP bloğunun 195.175.200.0/24 olmakla beraber switch- rf ekipman ve sisteme ait pc lerin tek vlan da toplandığı görülmüştür.

Tablo 4.2: İlk durum cihaz IP bilgileri örnek kesit.

Switch	E7	Switch	Zyxel ES-2024A	195.175.200.24
Fallback Site Controller	A3	FSC186		195.175.200.32
TepRei	E3	8951	8951318016	195.175.200.30
Carrier	E6	8070	R80701501013	195.175.200.27
PC	C1	Sistem İzleme	HP	195.175.200.55
LDS	C3	LDS 1	Motorola	195.175.200.41

4.5 NETWORK MİMARİSİ

İlk durumda tüm IP alan cihazlarının gösterildiği raylı sisteme ait network mimarisi şekil 1'de çizilmiştir.



Şekil 4.1: Tetra telsiz sisteminin ilk durum network mimarisi.

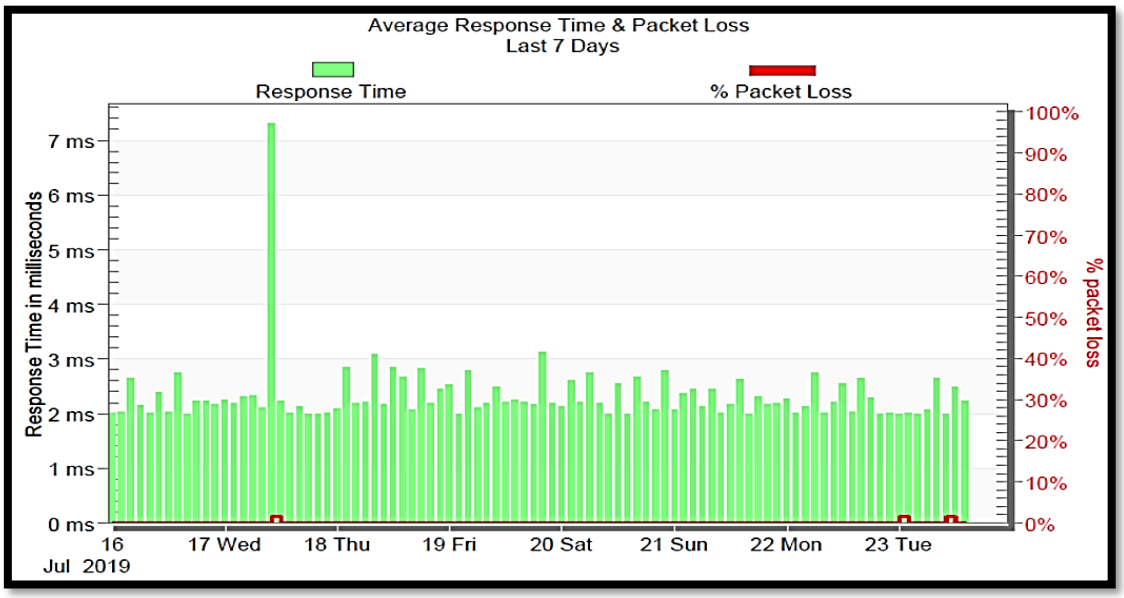
4.5 İSTASYON BAZLI VERİLERİN ANALİZİ

İlk durumda mevcut switchlerin sorunlarını anlayabilmek adına iki farklı ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin ilki SNMP protokolü kullanılarak SolarWinds Network Performance Monitor programı aracılığıyla alınmıştır. SNMP protokolünü destekleyen bütün switchlerde bu özellik tek tek aktif hale getirilmiştir. C3 istasyonunda bulunan VLS bilgisayarına kurulan SolarWinds programı ile 1 hafta boyunca switchler ayrı ayrı monitör edilmiştir.

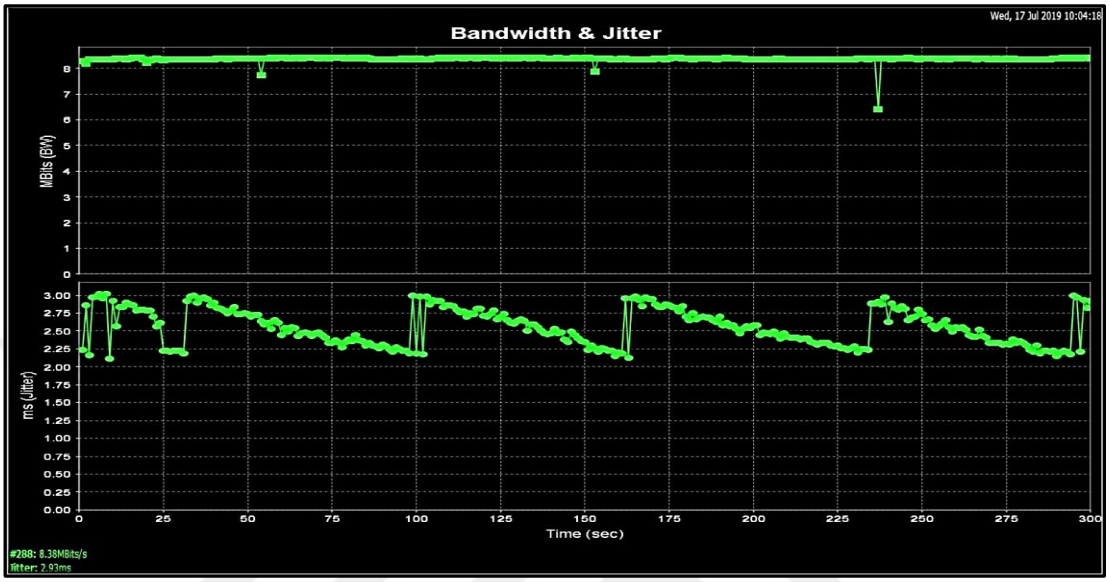
İkinci ölçümde Jperf programı ile sanal trafik oluşturularak mevcut fiber altyapısı ve switchlerin durumu gözlemlenmiştir. Bant genişlik ölçümleri C3 İstasyonunda bulunan switch'e bağlı PC ve uç noktalardaki switchlere bağlı ikinci bir PC ile her istasyon tek tek gezilerek 1 GBit ve 100 MBit ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler neticesinde her bir istasyona ait aşağıdaki ölçüm sonuçları ortaya çıkarılmıştır.

4.6 İSTASYONLAR

4.6.1 A1 İstasyonu



Şekil 4.2: A1 İstasyonu Solarwinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.3: 100 Mbit/sn'lik sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	0.99 MBytes	8.33 Mbits/sec	2.731 ms	61827/62535 (99%)
[284]	21.0-22.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.703 ms	61870/62580 (99%)
[284]	22.0-23.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.885 ms	61748/62458 (99%)
[284]	23.0-24.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.864 ms	61762/62472 (99%)
[284]	24.0-25.0 sec	0.94 MBytes	7.89 Mbits/sec	2.821 ms	53218/53889 (99%)
[284]	25.0-26.0 sec	0.99 MBytes	8.34 Mbits/sec	2.782 ms	61968/62677 (99%)
[284]	26.0-27.0 sec	1.00 MBytes	8.36 Mbits/sec	2.745 ms	61908/62619 (99%)
[284]	27.0-28.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.810 ms	61478/62188 (99%)
[284]	28.0-29.0 sec	0.56 MBytes	4.68 Mbits/sec	2.130 ms	34620/35018 (99%)
[284]	29.0-30.0 sec	0.51 MBytes	4.26 Mbits/sec	2.619 ms	151279/151641 (1e+002%)
[284]	30.0-31.0 sec	0.99 MBytes	8.34 Mbits/sec	2.649 ms	60837/61546 (99%)
[284]	31.0-32.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.794 ms	61848/62558 (99%)
[284]	32.0-33.0 sec	1.00 MBytes	8.35 Mbits/sec	2.753 ms	61806/62516 (99%)
[284]	33.0-34.0 sec	1.00 MBytes	8.36 Mbits/sec	2.621 ms	61832/62543 (99%)
[284]	34.0-35.0 sec	0.96 MBytes	8.06 Mbits/sec	2.031 ms	56805/57490 (99%)
[284]	35.0-36.0 sec	0.99 MBytes	8.30 Mbits/sec	2.540 ms	59824/60530 (99%)
[284]	36.0-37.0 sec	0.97 MBytes	8.17 Mbits/sec	2.602 ms	56054/56749 (99%)
[284]	37.0-38.0 sec	0.99 MBytes	8.31 Mbits/sec	2.577 ms	61782/62489 (99%)
[284]	38.0-39.0 sec	0.99 MBytes	8.33 Mbits/sec	2.582 ms	61709/62417 (99%)
[284]	39.0-40.0 sec	0.99 MBytes	8.33 Mbits/sec	2.541 ms	61832/62540 (99%)

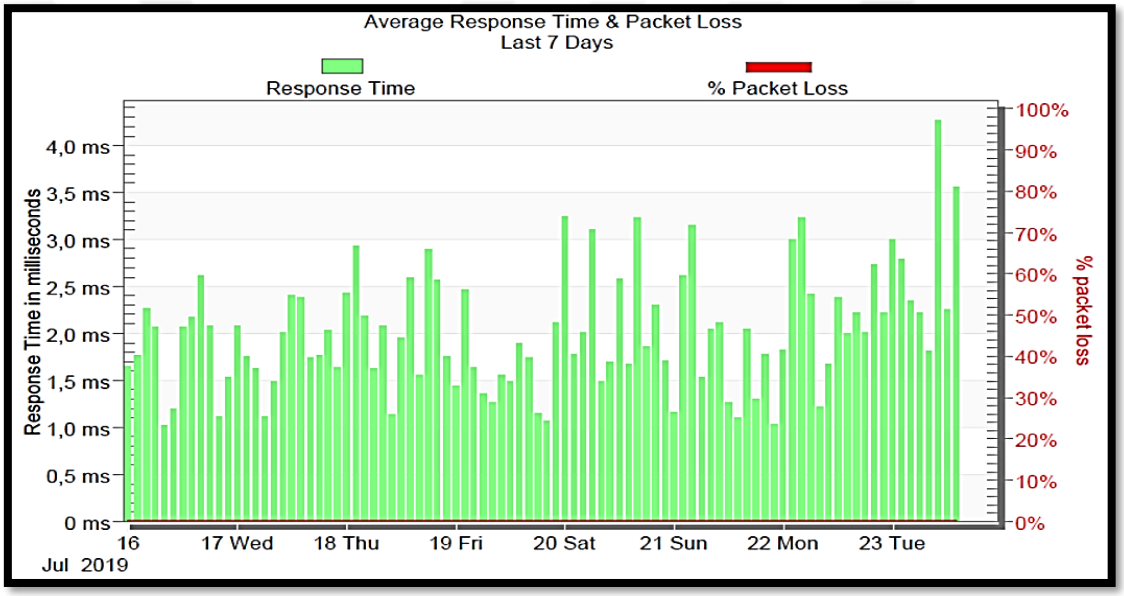
Şekil 4.4: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2- 3 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

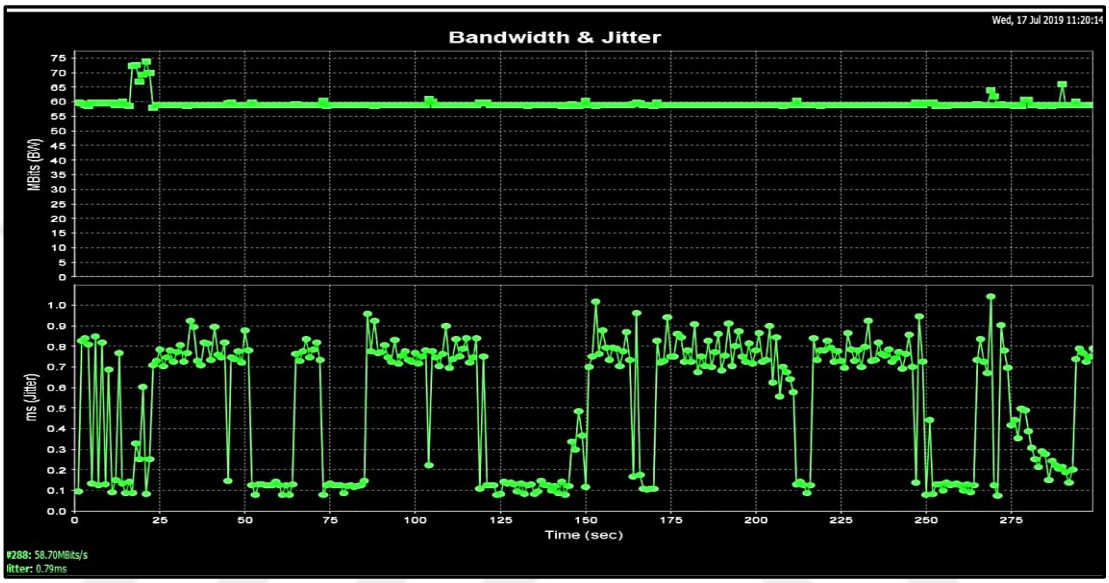
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 8,35 MBit/sn, ortalama jitter değeri 13,445 ms, Lost/Total Datagrams oranı 2746724/2960041 (93%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 8,23 MBit/sn, ortalama jitter değeri 12,352 ms, Lost/Total Datagrams oranı 18585219/18795310 (99%) şeklinde görüldü.

4.6.2 A2 İstasyonu



Şekil 4.5: A2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.6: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[288]	20.0-21.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.187 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	21.0-22.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.196 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.153 ms	2/ 7874	(0.025%)
[288]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.115 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.114 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.111 ms	0/ 7875	(0%)
[288]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.108 ms	0/ 7876	(0%)
[288]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.151 ms	0/ 7868	(0%)
[288]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.103 ms	0/ 7880	(0%)
[288]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.158 ms	0/ 7867	(0%)
[288]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.150 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.106 ms	2/ 7873	(0.025%)
[288]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.144 ms	0/ 7872	(0%)
[288]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.142 ms	0/ 7876	(0%)
[288]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.095 ms	0/ 7874	(0%)
[288]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.142 ms	0/ 7872	(0%)
[288]	36.0-37.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.094 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.141 ms	0/ 7867	(0%)
[288]	38.0-39.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.088 ms	0/ 7879	(0%)
[288]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.078 ms	0/ 7871	(0%)

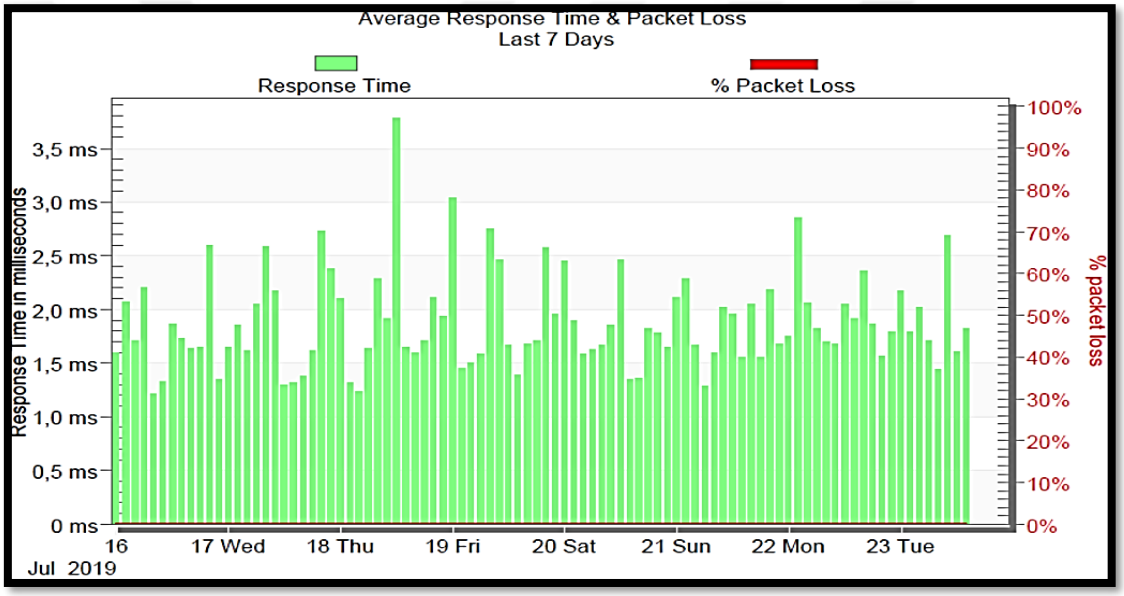
Şekil 4.7: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1,5 – 2 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

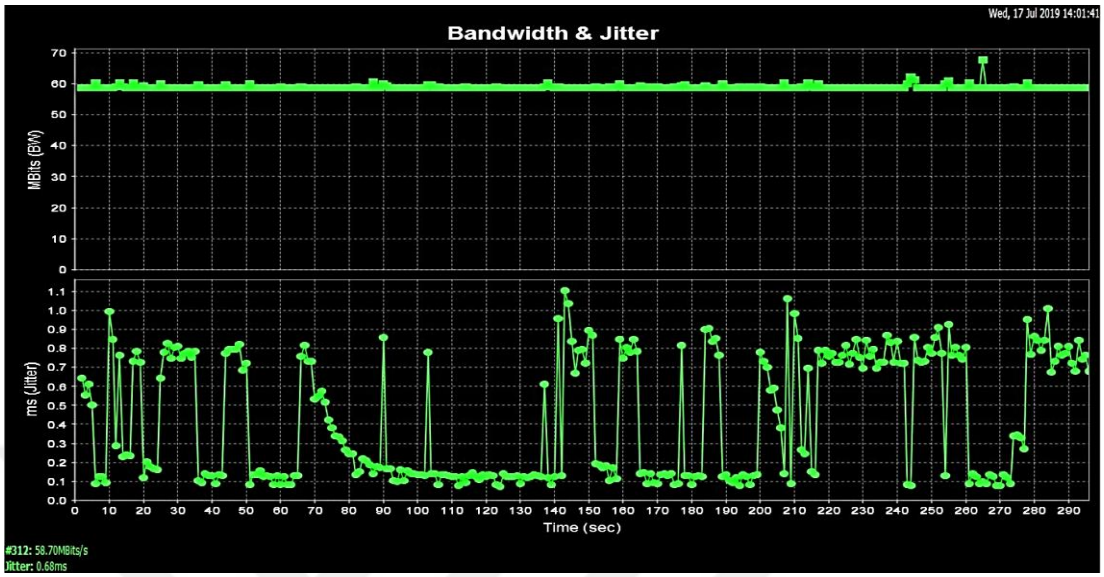
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 59.1 MBits/sn, ortalama jitter değeri 1.030 ms, Lost/Total Datagrams oranı 178/1507873 (0.012%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92.6 MBits/sn, ortalama jitter değeri 0.940 ms, Lost/Total Datagrams oranı 145/2362434 (0.0061%) şeklinde görüldü.

4.6.3 C1 İstasyonu



Şekil 4.8: C1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.9: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[284] 20.0-21.0 sec	10.4 MBytes	87.5 Mbits/sec	0.532 ms	0/ 7444	(0%)
[284] 21.0-22.0 sec	11.3 MBytes	94.5 Mbits/sec	0.082 ms	0/ 8032	(0%)
[284] 22.0-23.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.090 ms	0/ 7888	(0%)
[284] 23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.128 ms	0/ 7877	(0%)
[284] 24.0-25.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.134 ms	0/ 7887	(0%)
[284] 25.0-26.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7886	(0%)
[284] 26.0-27.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7888	(0%)
[284] 27.0-28.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.135 ms	0/ 7886	(0%)
[284] 28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.127 ms	0/ 7879	(0%)
[284] 29.0-30.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.118 ms	0/ 7883	(0%)
[284] 30.0-31.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.125 ms	0/ 7883	(0%)
[284] 31.0-32.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.120 ms	0/ 7884	(0%)
[284] 32.0-33.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.082 ms	0/ 7890	(0%)
[284] 33.0-34.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.090 ms	0/ 7887	(0%)
[284] 34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.136 ms	0/ 7881	(0%)
[284] 35.0-36.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7888	(0%)
[284] 36.0-37.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7885	(0%)
[284] 37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7881	(0%)
[284] 38.0-39.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.124 ms	0/ 7886	(0%)
[284] 39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.126 ms	0/ 7879	(0%)

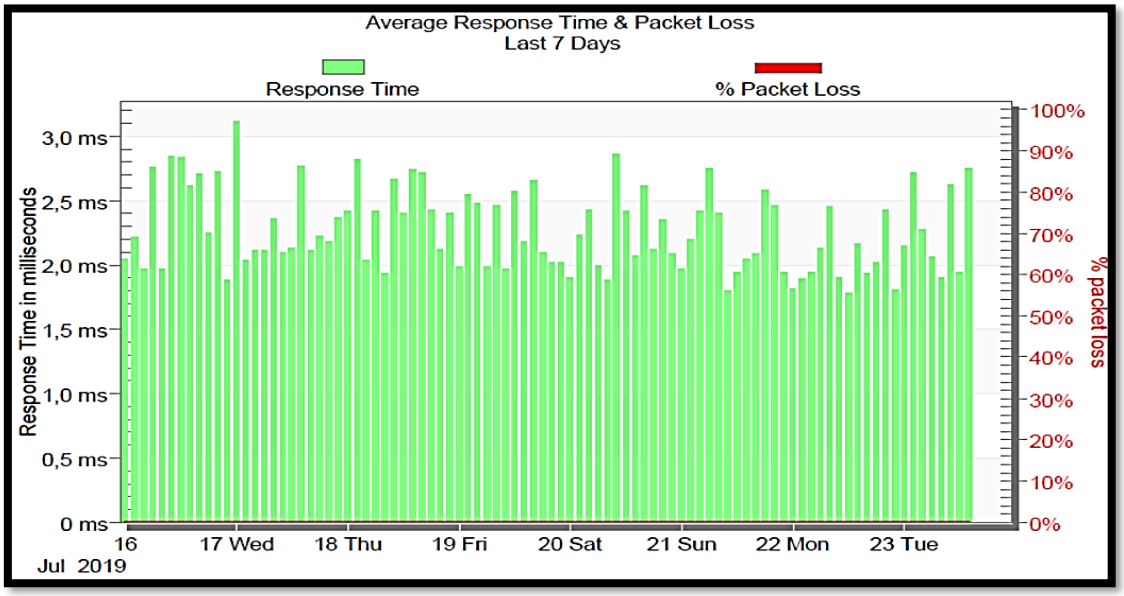
Şekil 4.10: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1,5- 2 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

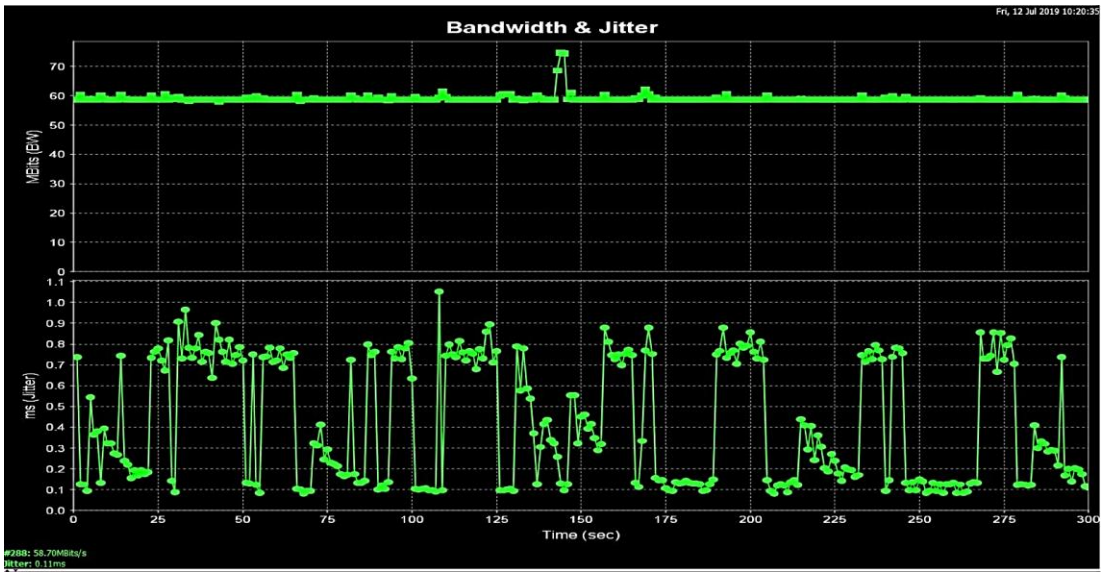
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58,9 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,905 ms, Lost/Total Datagrams oranı 16683/1501528 (1.1%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,012 ms, Lost/Total Datagrams oranı 2/2365259 (0%) şeklinde görüldü.

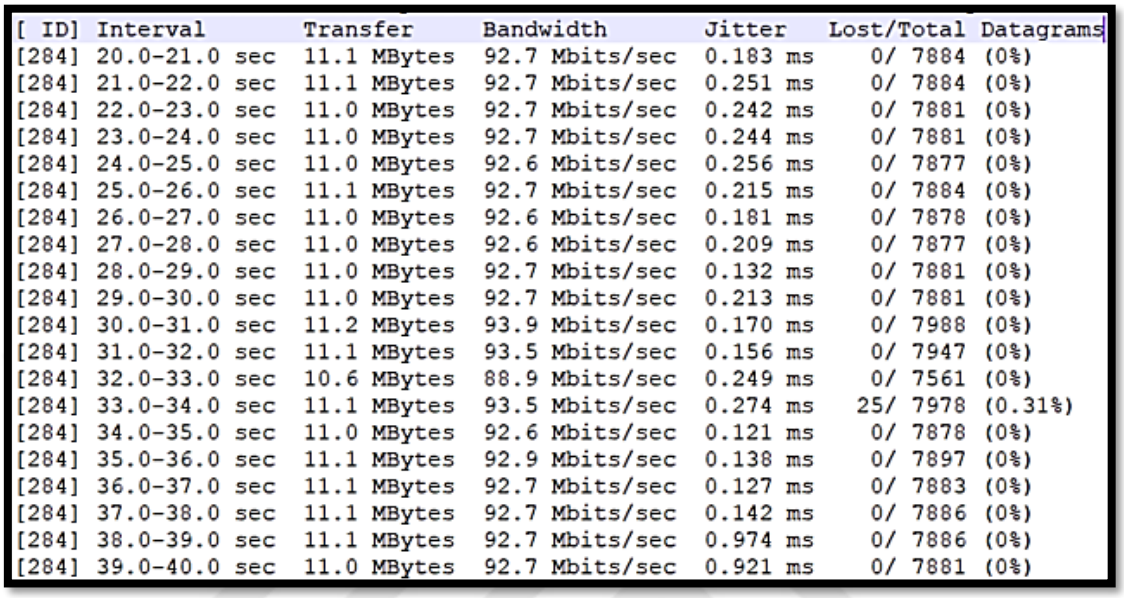
4.6.4 C2 İstasyonu



Şekil 4.11: C2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.12: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.183 ms	0/ 7884	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.251 ms	0/ 7884	(0%)
[284]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.242 ms	0/ 7881	(0%)
[284]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.244 ms	0/ 7881	(0%)
[284]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.256 ms	0/ 7877	(0%)
[284]	25.0-26.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.215 ms	0/ 7884	(0%)
[284]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.181 ms	0/ 7878	(0%)
[284]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.209 ms	0/ 7877	(0%)
[284]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.132 ms	0/ 7881	(0%)
[284]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.213 ms	0/ 7881	(0%)
[284]	30.0-31.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.170 ms	0/ 7988	(0%)
[284]	31.0-32.0 sec	11.1 MBytes	93.5 Mbits/sec	0.156 ms	0/ 7947	(0%)
[284]	32.0-33.0 sec	10.6 MBytes	88.9 Mbits/sec	0.249 ms	0/ 7561	(0%)
[284]	33.0-34.0 sec	11.1 MBytes	93.5 Mbits/sec	0.274 ms	25/ 7978	(0.31%)
[284]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.121 ms	0/ 7878	(0%)
[284]	35.0-36.0 sec	11.1 MBytes	92.9 Mbits/sec	0.138 ms	0/ 7897	(0%)
[284]	36.0-37.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.127 ms	0/ 7883	(0%)
[284]	37.0-38.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.142 ms	0/ 7886	(0%)
[284]	38.0-39.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.974 ms	0/ 7886	(0%)
[284]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.921 ms	0/ 7881	(0%)

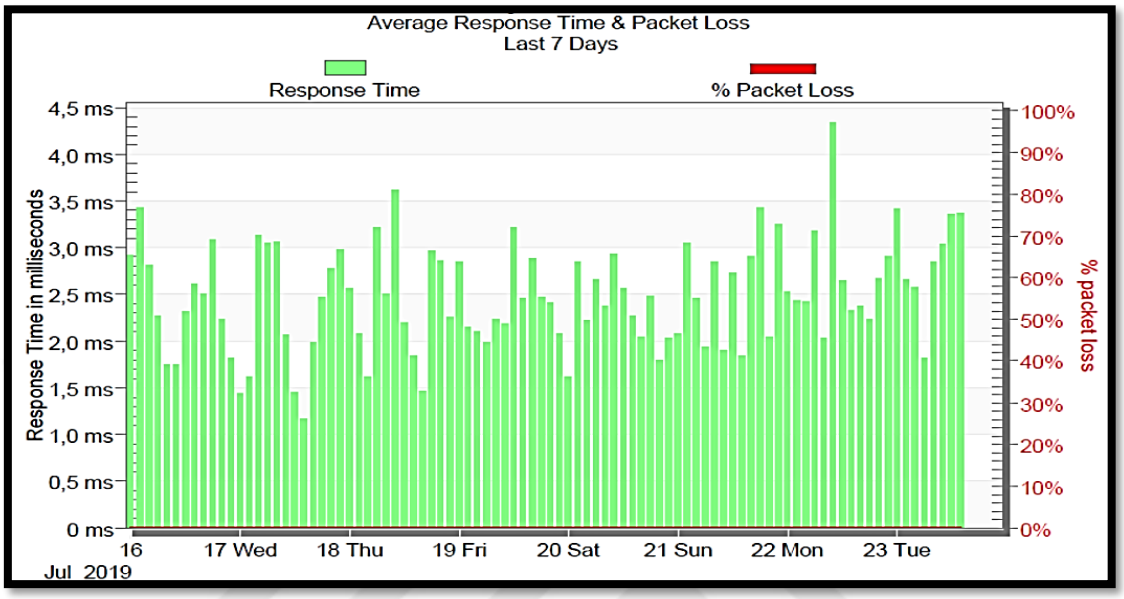
Şekil 4.13: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2 – 2,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın olduğu gözlemlendi.

ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 59 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,045 ms, Lost/Total Datagrams oranı 201/1505661 (0.013%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,015 ms, Lost/Total Datagrams oranı 29/2365434 (0.0012%) şeklinde görüldü.

4.6.5 C3 İstasyonu

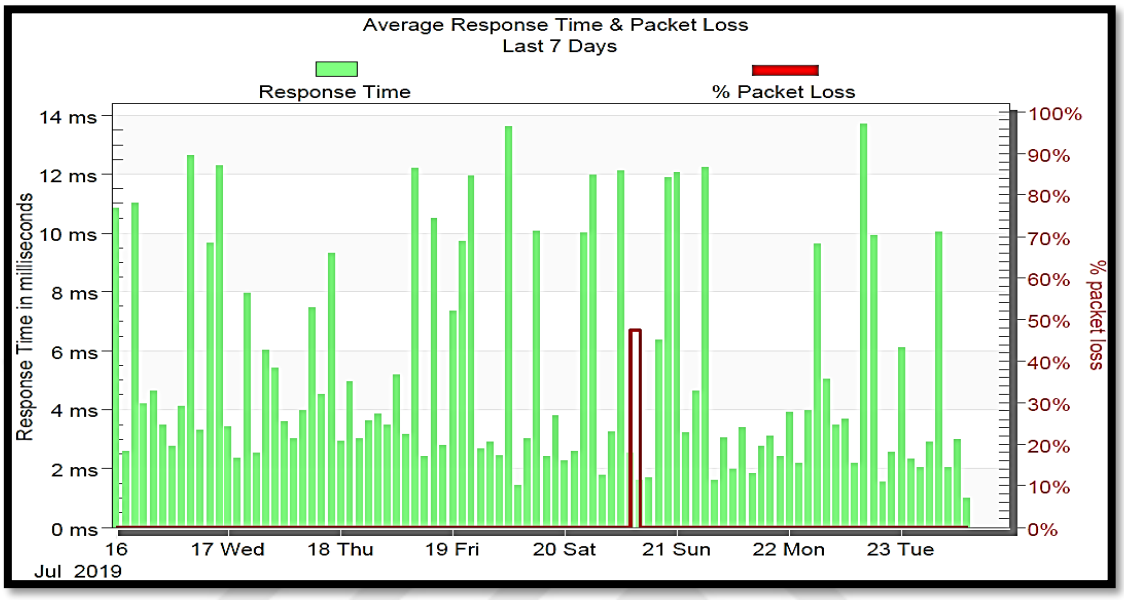


Şekil 4.14: C3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.

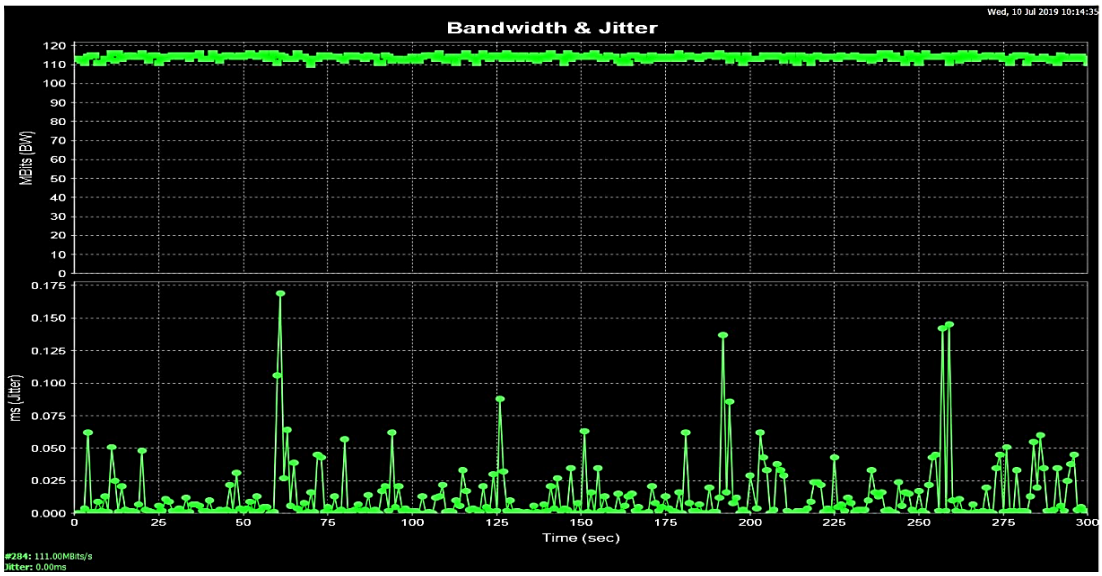
i. Average Response Time 2 – 2,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. C3 İstasyonu Merkez konumda ve diğer istasyonların ölçümleri bu noktadaki ana pc'ye kurulan SolarWinds programından alındığından dolayı burada 100 Mbit/s ve 1 Gbit/s bant genişliğinde ölçümler bulunmamaktadır.

4.6.6 E1 İstasyonu



Şekil 4.15: E1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.16: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	86.5 MBytes	726 Mbits/sec	0.001 ms	0/61697	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	87.9 MBytes	738 Mbits/sec	0.000 ms	93/62817	(0.15%)
[284]	22.0-23.0 sec	87.3 MBytes	732 Mbits/sec	0.001 ms	280/62550	(0.45%)
[284]	23.0-24.0 sec	86.3 MBytes	724 Mbits/sec	0.000 ms	824/62409	(1.3%)
[284]	24.0-25.0 sec	87.5 MBytes	734 Mbits/sec	0.001 ms	16/62420	(0.026%)
[284]	25.0-26.0 sec	84.3 MBytes	707 Mbits/sec	0.002 ms	234/60372	(0.39%)
[284]	26.0-27.0 sec	85.4 MBytes	716 Mbits/sec	0.000 ms	720/61628	(1.2%)
[284]	27.0-28.0 sec	85.8 MBytes	720 Mbits/sec	0.002 ms	1239/62465	(2%)
[284]	28.0-29.0 sec	87.4 MBytes	734 Mbits/sec	0.001 ms	275/62652	(0.44%)
[284]	29.0-30.0 sec	78.2 MBytes	656 Mbits/sec	0.001 ms	155/55911	(0.28%)
[284]	30.0-31.0 sec	87.1 MBytes	731 Mbits/sec	0.003 ms	392/62546	(0.63%)
[284]	31.0-32.0 sec	84.7 MBytes	711 Mbits/sec	0.001 ms	851/61288	(1.4%)
[284]	32.0-33.0 sec	85.9 MBytes	721 Mbits/sec	0.002 ms	140/61445	(0.23%)
[284]	33.0-34.0 sec	86.4 MBytes	725 Mbits/sec	0.002 ms	31/61642	(0.05%)
[284]	34.0-35.0 sec	85.3 MBytes	716 Mbits/sec	0.001 ms	1694/62539	(2.7%)
[284]	35.0-36.0 sec	86.9 MBytes	729 Mbits/sec	0.001 ms	591/62573	(0.94%)
[284]	36.0-37.0 sec	81.9 MBytes	687 Mbits/sec	0.001 ms	183/58581	(0.31%)
[284]	37.0-38.0 sec	87.3 MBytes	733 Mbits/sec	0.000 ms	236/62530	(0.38%)
[284]	38.0-39.0 sec	87.2 MBytes	731 Mbits/sec	0.001 ms	343/62519	(0.55%)
[284]	39.0-40.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.006 ms	666/61700	(1.1%)

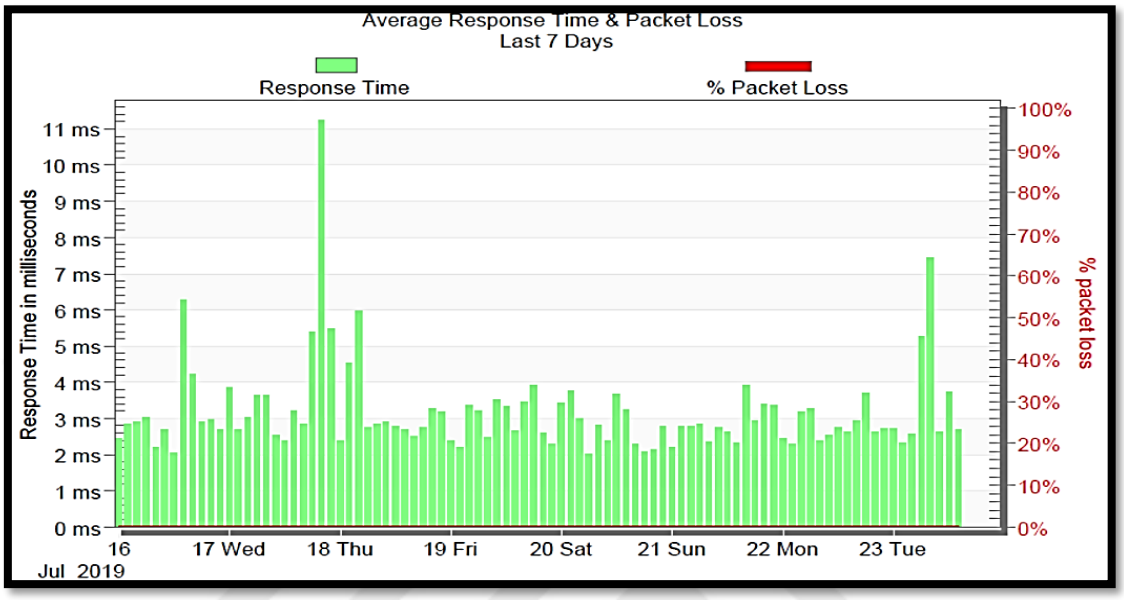
Şekil 4.17: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2- 4 ms arasında olup packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 114 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,215 ms, Lost/Total Datagrams oranı 67555/2970217 (2.3%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 703 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,948 ms, Lost/Total Datagrams oranı 260369/18199811 (1.4%) şeklinde görüldü.

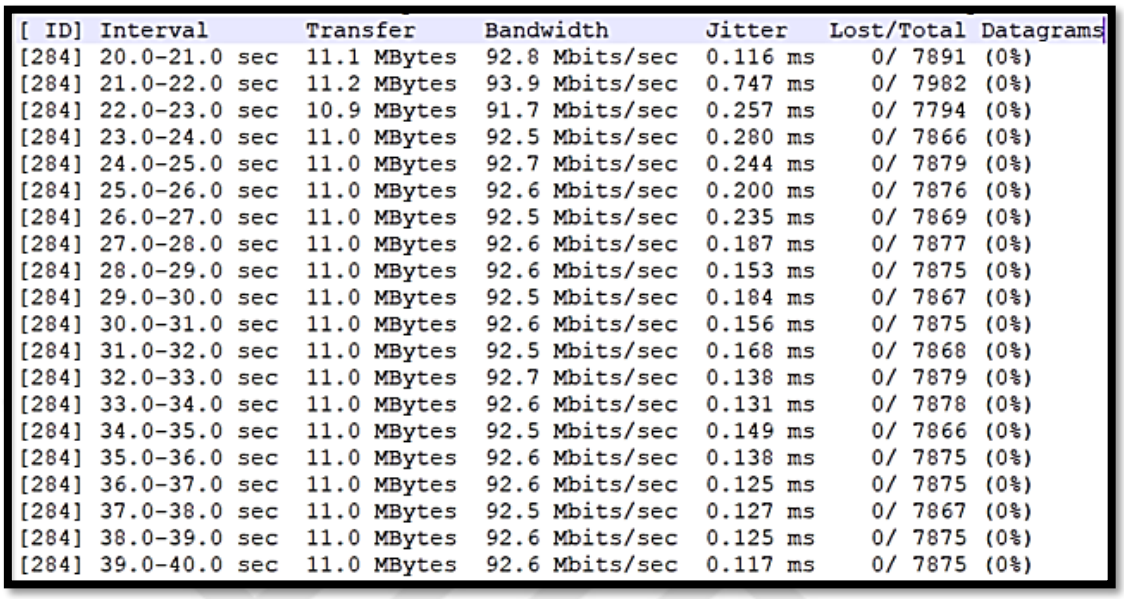
4.6.7 E2 İstasyonu



Şekil 4.18: E2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.19: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.116 ms	0/ 7891	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.747 ms	0/ 7982	(0%)
[284]	22.0-23.0 sec	10.9 MBytes	91.7 Mbits/sec	0.257 ms	0/ 7794	(0%)
[284]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.280 ms	0/ 7866	(0%)
[284]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.244 ms	0/ 7879	(0%)
[284]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.200 ms	0/ 7876	(0%)
[284]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.235 ms	0/ 7869	(0%)
[284]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.187 ms	0/ 7877	(0%)
[284]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.153 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.184 ms	0/ 7867	(0%)
[284]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.156 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.168 ms	0/ 7868	(0%)
[284]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.138 ms	0/ 7879	(0%)
[284]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.131 ms	0/ 7878	(0%)
[284]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.149 ms	0/ 7866	(0%)
[284]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.138 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	36.0-37.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.125 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.127 ms	0/ 7867	(0%)
[284]	38.0-39.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.125 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.117 ms	0/ 7875	(0%)

Şekil 4.20: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 3- 4 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58,9 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,947 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/1501269 (0%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,6 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,022 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/2361976 (0%) şeklinde görüldü.

4.6.8 E3 İstasyonu



Şekil 4.21: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[288]	20.0-21.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.613 ms	0/ 7870	(0%)
[288]	21.0-22.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.419 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.276 ms	0/ 7876	(0%)
[288]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.347 ms	0/ 7872	(0%)
[288]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.252 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.403 ms	0/ 7864	(0%)
[288]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.370 ms	2/ 7882	(0.025%)
[288]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.357 ms	0/ 7870	(0%)
[288]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.359 ms	0/ 7872	(0%)
[288]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.132 ms	0/ 7871	(0%)
[288]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.400 ms	0/ 7875	(0%)
[288]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.4 Mbits/sec	0.404 ms	13/ 7874	(0.17%)
[288]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.178 ms	0/ 7875	(0%)
[288]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.465 ms	0/ 7874	(0%)
[288]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.347 ms	0/ 7874	(0%)
[288]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.181 ms	0/ 7871	(0%)
[288]	36.0-37.0 sec	11.1 MBytes	93.2 Mbits/sec	0.116 ms	11/ 7940	(0.14%)
[288]	37.0-38.0 sec	11.2 MBytes	94.1 Mbits/sec	0.112 ms	0/ 8005	(0%)
[288]	38.0-39.0 sec	11.2 MBytes	93.7 Mbits/sec	0.123 ms	0/ 7964	(0%)
[288]	39.0-40.0 sec	11.2 MBytes	94.1 Mbits/sec	0.127 ms	11/ 8011	(0.14%)

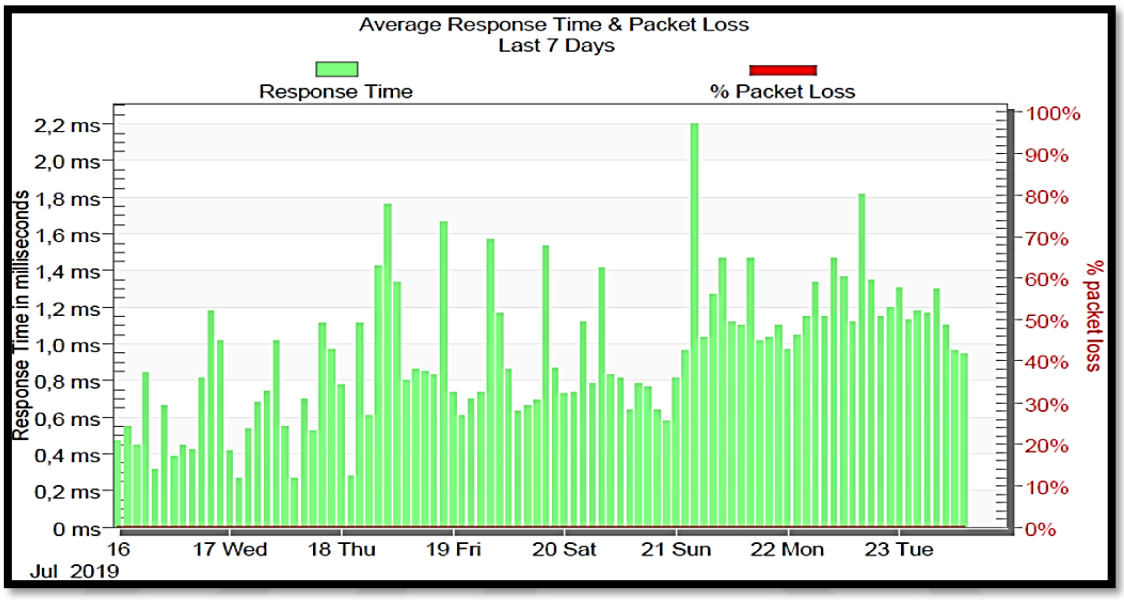
Şekil 4.22: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. E3 İstasyonunda bulunan Hirshman switch SNMP özelliğini desteklemediği için Average Response Time ve Packet loss oran bilgileri görülemedi.

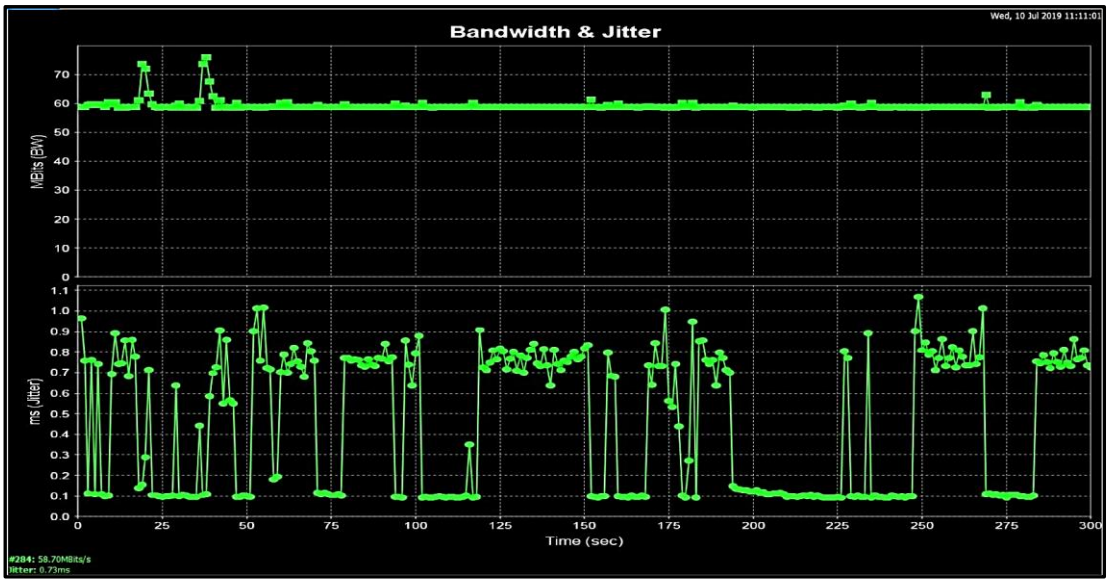
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,027 ms, Lost/Total Datagrams oranı 10/1497021 (0.00067%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1.030 ms, Lost/Total Datagrams oranı 105/2365855 (0.0044%) şeklinde görüldü.

4.6.9 E4 İstasyonu



Şekil 4.23: E4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.24: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.245 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.311 ms	0/ 7873	(0%)
[284]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.242 ms	0/ 7878	(0%)
[284]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.167 ms	0/ 7877	(0%)
[284]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.202 ms	0/ 7868	(0%)
[284]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.165 ms	0/ 7877	(0%)
[284]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.189 ms	0/ 7868	(0%)
[284]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.127 ms	0/ 7879	(0%)
[284]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.153 ms	0/ 7867	(0%)
[284]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.134 ms	0/ 7876	(0%)
[284]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.141 ms	0/ 7874	(0%)
[284]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.136 ms	0/ 7869	(0%)
[284]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.133 ms	0/ 7876	(0%)
[284]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.132 ms	0/ 7867	(0%)
[284]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.110 ms	0/ 7882	(0%)
[284]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.115 ms	0/ 7867	(0%)
[284]	36.0-37.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.115 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.120 ms	0/ 7869	(0%)
[284]	38.0-39.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.112 ms	0/ 7876	(0%)
[284]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.105 ms	0/ 7870	(0%)

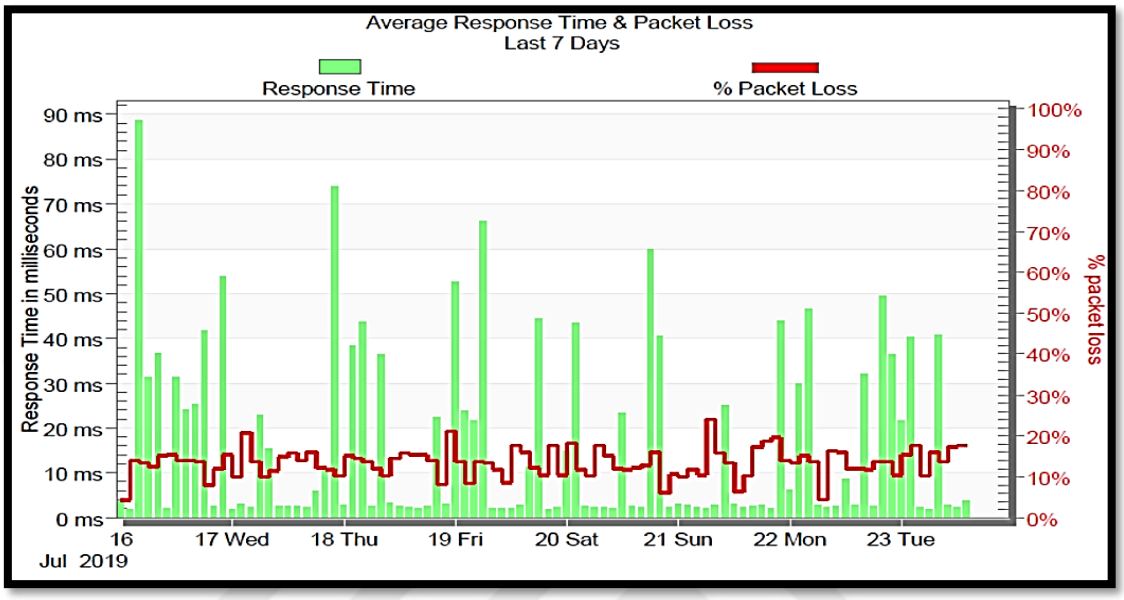
Şekil 4.25: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 0,8- 1 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

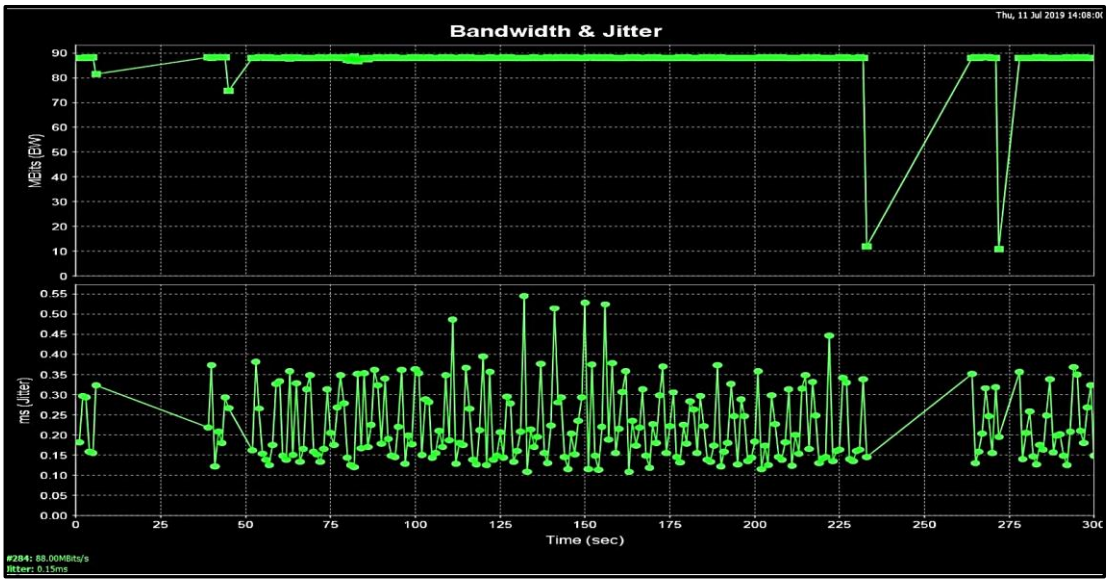
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,739 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/1507832 (0%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,013 ms, Lost/Total Datagrams oranı 18/2364849 (0.00076%) şeklinde görüldü.

4.6.10 E5 İstasyonu



Şekil 4.26: E5 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.27: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	11.2 MBytes	94.3 Mbits/sec	0.115 ms	0/ 8016	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	11.3 MBytes	94.6 Mbits/sec	0.130 ms	0/ 8043	(0%)
[284]	22.0-23.0 sec	11.2 MBytes	94.1 Mbits/sec	0.259 ms	0/ 8003	(0%)
[284]	23.0-24.0 sec	11.3 MBytes	94.8 Mbits/sec	0.117 ms	0/ 8063	(0%)
[284]	24.0-25.0 sec	11.3 MBytes	95.0 Mbits/sec	0.357 ms	0/ 8075	(0%)
[284]	25.0-26.0 sec	11.2 MBytes	94.3 Mbits/sec	0.339 ms	0/ 8020	(0%)
[284]	26.0-27.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.188 ms	0/ 7984	(0%)
[284]	27.0-28.0 sec	11.3 MBytes	94.8 Mbits/sec	0.123 ms	0/ 8064	(0%)
[284]	28.0-29.0 sec	11.2 MBytes	94.1 Mbits/sec	0.588 ms	0/ 8001	(0%)
[284]	29.0-30.0 sec	11.2 MBytes	94.1 Mbits/sec	0.113 ms	0/ 8004	(0%)
[284]	30.0-31.0 sec	11.3 MBytes	94.8 Mbits/sec	0.317 ms	0/ 8063	(0%)
[284]	31.0-32.0 sec	11.3 MBytes	94.5 Mbits/sec	0.144 ms	0/ 8039	(0%)
[284]	32.0-33.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.546 ms	0/ 7987	(0%)
[284]	33.0-34.0 sec	11.2 MBytes	94.4 Mbits/sec	0.123 ms	0/ 8023	(0%)
[284]	34.0-35.0 sec	11.2 MBytes	94.4 Mbits/sec	0.307 ms	0/ 8023	(0%)
[284]	35.0-36.0 sec	11.2 MBytes	94.2 Mbits/sec	0.177 ms	0/ 8012	(0%)
[284]	36.0-37.0 sec	11.3 MBytes	94.6 Mbits/sec	0.124 ms	0/ 8041	(0%)
[284]	37.0-38.0 sec	11.3 MBytes	94.4 Mbits/sec	0.142 ms	0/ 8029	(0%)
[284]	38.0-39.0 sec	11.3 MBytes	95.0 Mbits/sec	0.178 ms	0/ 8079	(0%)
[284]	39.0-40.0 sec	11.3 MBytes	94.5 Mbits/sec	0.373 ms	0/ 8035	(0%)

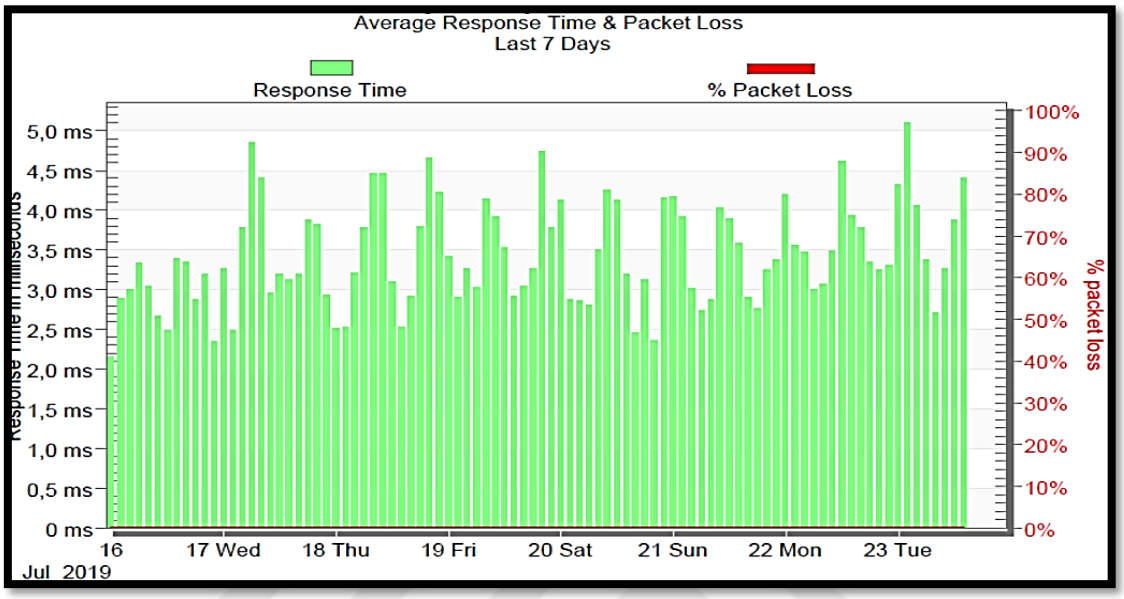
Şekil 4.28: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 30-40 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %15'e yakın gözlemlendi.

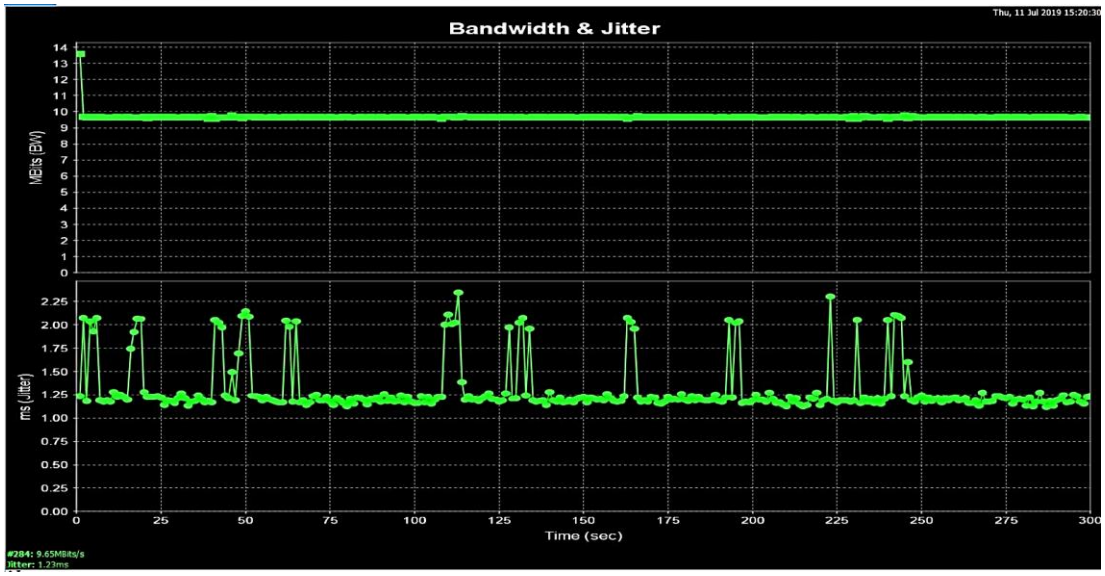
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 66,8 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,393ms, Lost/Total Datagrams oranı 692644/2397680 (29%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 83,2 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,398 ms, Lost/Total Datagrams oranı 4033685/6155857 (66%) şeklinde görüldü.

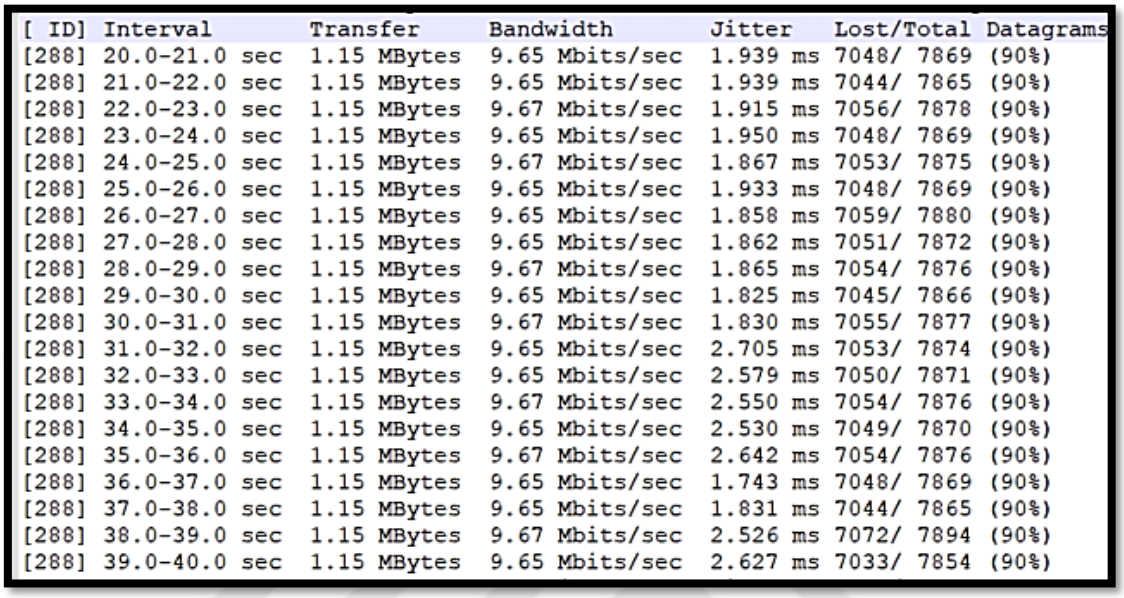
4.6.11 E6 İstasyonu



Şekil 4.29: E6 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.30: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[288]	20.0-21.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.939 ms	7048/ 7869	(90%)
[288]	21.0-22.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.939 ms	7044/ 7865	(90%)
[288]	22.0-23.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	1.915 ms	7056/ 7878	(90%)
[288]	23.0-24.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.950 ms	7048/ 7869	(90%)
[288]	24.0-25.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	1.867 ms	7053/ 7875	(90%)
[288]	25.0-26.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.933 ms	7048/ 7869	(90%)
[288]	26.0-27.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.858 ms	7059/ 7880	(90%)
[288]	27.0-28.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.862 ms	7051/ 7872	(90%)
[288]	28.0-29.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	1.865 ms	7054/ 7876	(90%)
[288]	29.0-30.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.825 ms	7045/ 7866	(90%)
[288]	30.0-31.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	1.830 ms	7055/ 7877	(90%)
[288]	31.0-32.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	2.705 ms	7053/ 7874	(90%)
[288]	32.0-33.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	2.579 ms	7050/ 7871	(90%)
[288]	33.0-34.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	2.550 ms	7054/ 7876	(90%)
[288]	34.0-35.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	2.530 ms	7049/ 7870	(90%)
[288]	35.0-36.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	2.642 ms	7054/ 7876	(90%)
[288]	36.0-37.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.743 ms	7048/ 7869	(90%)
[288]	37.0-38.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	1.831 ms	7044/ 7865	(90%)
[288]	38.0-39.0 sec	1.15 MBytes	9.67 Mbits/sec	2.526 ms	7072/ 7894	(90%)
[288]	39.0-40.0 sec	1.15 MBytes	9.65 Mbits/sec	2.627 ms	7033/ 7854	(90%)

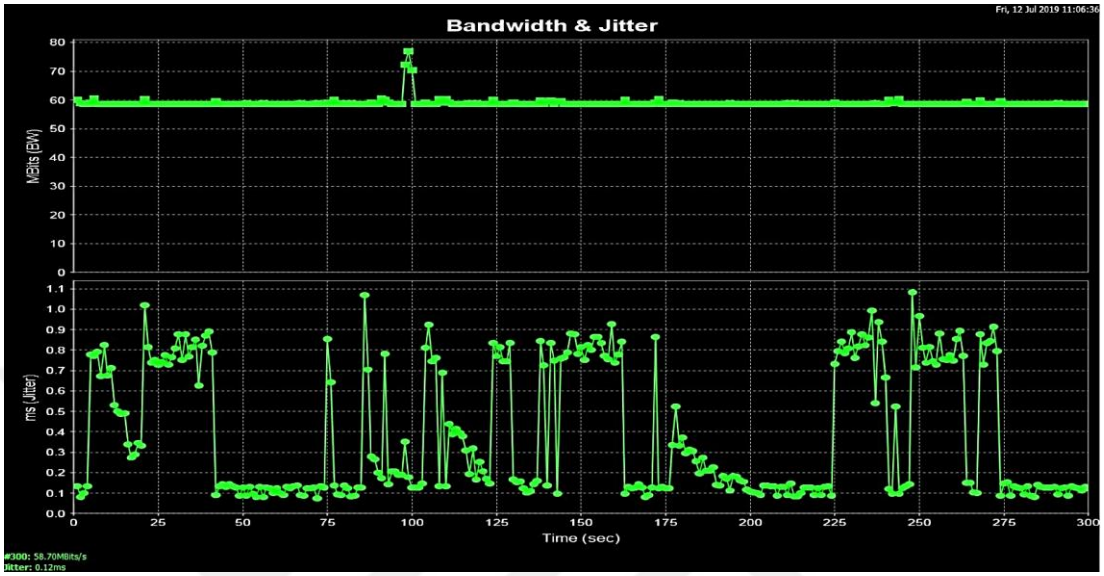
Şekil 4.31: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2,5-3 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 9,66 MBit/sn, ortalama jitter değeri 15,591 ms, Lost/Total Datagrams oranı 1255148/1501880 (84%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 9,66 MBit/sn, ortalama jitter değeri 15,022 ms, Lost/Total Datagrams oranı 2116064/2362805 (90%) şeklinde görüldü.

4.6.12 E7 İstasyonu



Şekil 4.32: 100 Mbit/sn Sanal Trafik

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[292]	20.0-21.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.357 ms	0/ 7987	(0%)
[292]	21.0-22.0 sec	11.2 MBytes	93.9 Mbits/sec	0.824 ms	0/ 7987	(0%)
[292]	22.0-23.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.665 ms	0/ 7886	(0%)
[292]	23.0-24.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.624 ms	0/ 7883	(0%)
[292]	24.0-25.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.592 ms	0/ 7883	(0%)
[292]	25.0-26.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.507 ms	0/ 7884	(0%)
[292]	26.0-27.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.364 ms	0/ 7888	(0%)
[292]	27.0-28.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.480 ms	0/ 7883	(0%)
[292]	28.0-29.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.381 ms	0/ 7883	(0%)
[292]	29.0-30.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.361 ms	0/ 7884	(0%)
[292]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.351 ms	0/ 7882	(0%)
[292]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.305 ms	0/ 7882	(0%)
[292]	32.0-33.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.257 ms	0/ 7884	(0%)
[292]	33.0-34.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.261 ms	0/ 7886	(0%)
[292]	34.0-35.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.254 ms	0/ 7886	(0%)
[292]	35.0-36.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.241 ms	0/ 7886	(0%)
[292]	36.0-37.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.221 ms	0/ 7887	(0%)
[292]	37.0-38.0 sec	11.1 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.224 ms	0/ 7886	(0%)
[292]	38.0-39.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.211 ms	0/ 7887	(0%)
[292]	39.0-40.0 sec	11.1 MBytes	92.8 Mbits/sec	0.114 ms	0/ 7890	(0%)

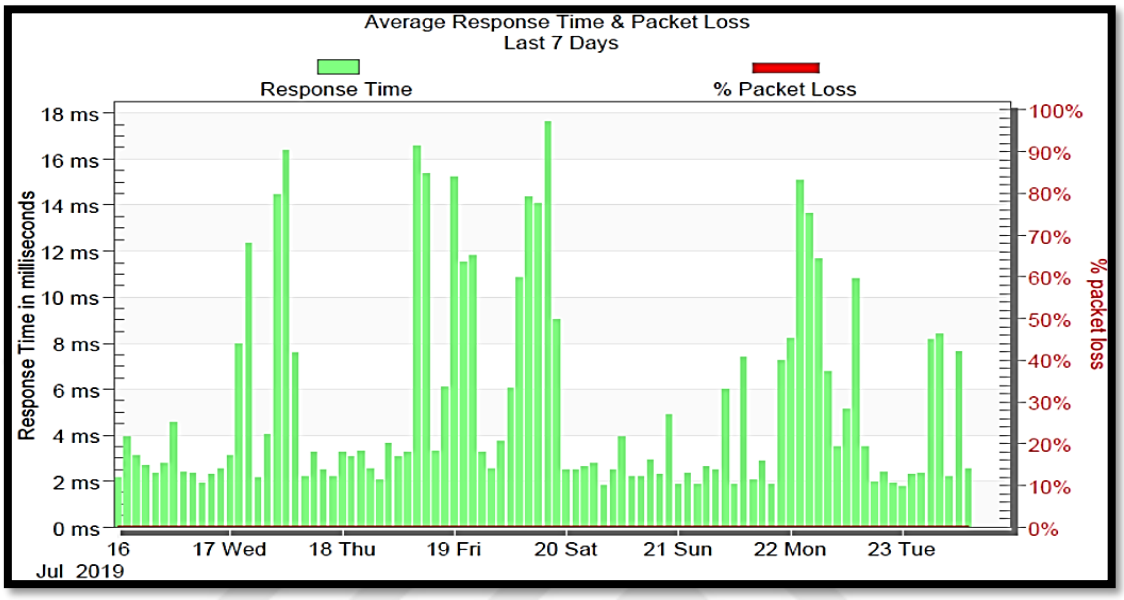
Şekil 4.33: 1 Gbit/sn Sanal Trafik

i. E7 istasyonunda bulunan Zyxel switch yönetim ara yüzüne müdahale edilemediği için SNMP tanımlamaları yapılamamıştır.

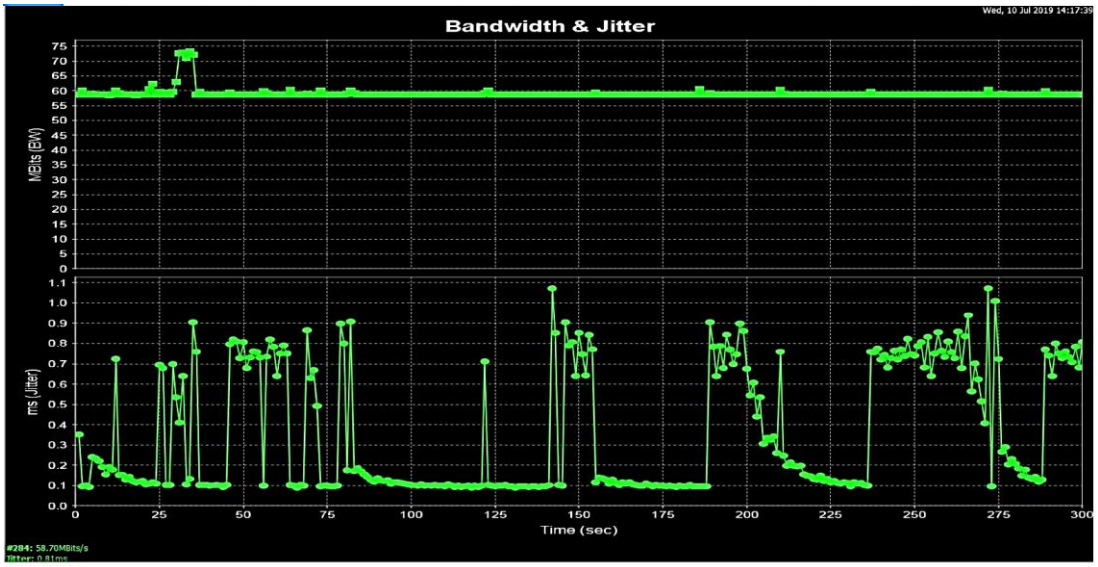
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58,9 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,035 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/1503548 (0%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92,7 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1,045 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/2365800 (0%) şeklinde görüldü.

4.6.13 E8 İstasyonu



Şekil 4.34: E8 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.35: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[288]	20.0-21.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.122 ms	0/ 7877	(0%)
[288]	21.0-22.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.117 ms	0/ 7869	(0%)
[288]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.118 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.111 ms	0/ 7868	(0%)
[288]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.119 ms	0/ 7873	(0%)
[288]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.118 ms	0/ 7867	(0%)
[288]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.092 ms	0/ 7877	(0%)
[288]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.114 ms	0/ 7865	(0%)
[288]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.101 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.103 ms	0/ 7867	(0%)
[288]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.110 ms	0/ 7875	(0%)
[288]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.107 ms	0/ 7876	(0%)
[288]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.098 ms	0/ 7868	(0%)
[288]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.105 ms	0/ 7877	(0%)
[288]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.099 ms	0/ 7869	(0%)
[288]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.104 ms	0/ 7872	(0%)
[288]	36.0-37.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.095 ms	0/ 7878	(0%)
[288]	37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.5 Mbits/sec	0.096 ms	0/ 7866	(0%)
[288]	38.0-39.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.093 ms	0/ 7875	(0%)
[288]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.7 Mbits/sec	0.104 ms	0/ 7879	(0%)

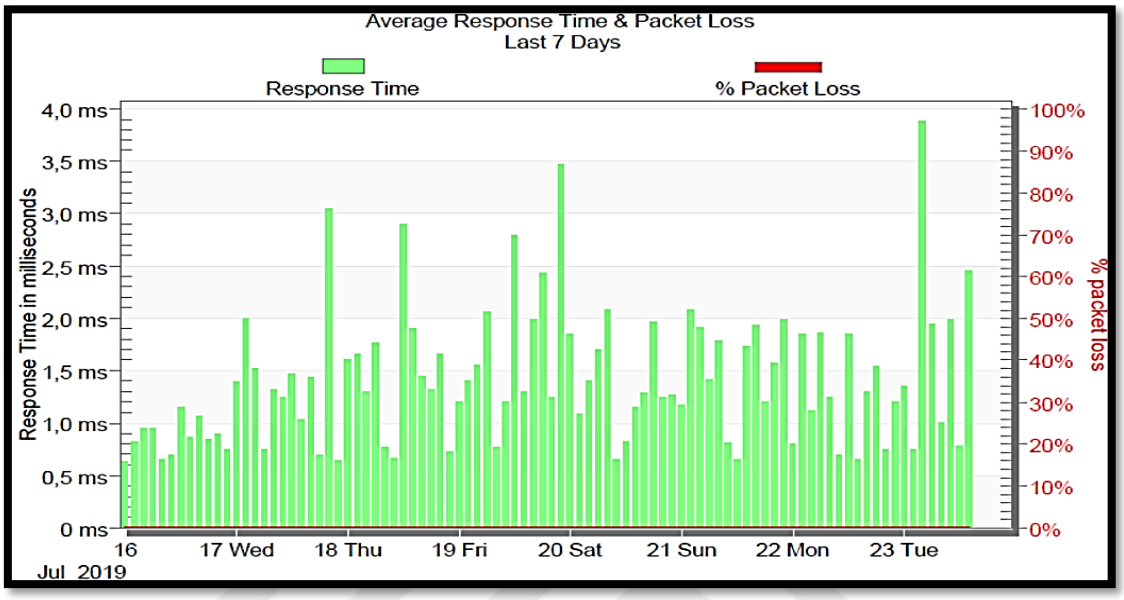
Şekil 4.36: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 4 – 6 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

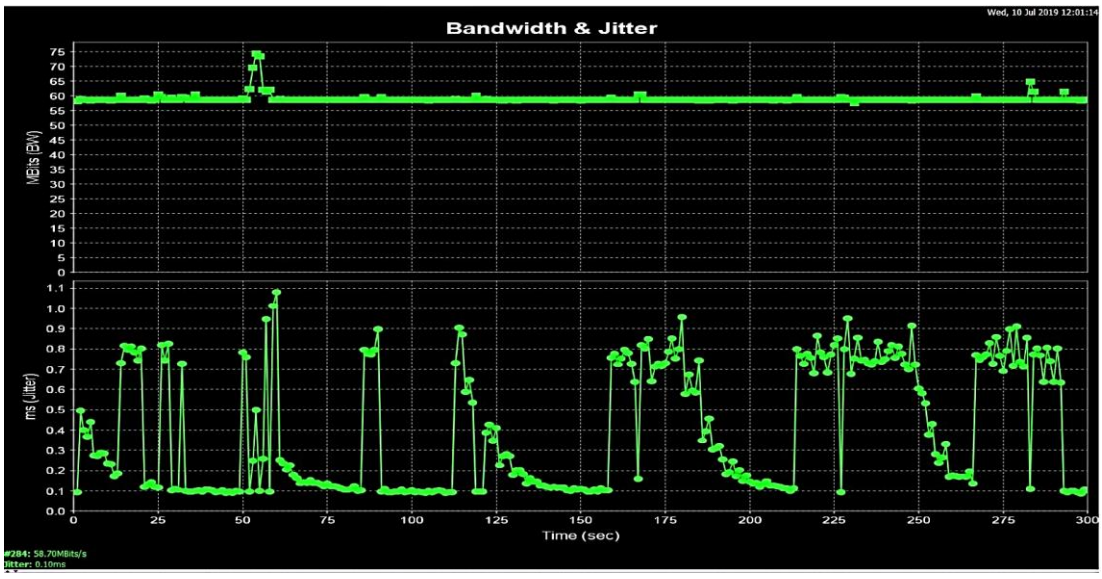
ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 59 MBits/sn, ortalama jitter değeri 0.917 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/1505797 (0%) şeklinde görüldü.

iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92.6 MBits/sn, ortalama jitter değeri 0.638 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/2361803 (0%) şeklinde görüldü.

4.6.14 E9 İstasyonu



Şekil 4.37: E9 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 4.38: 100 Mbit/sn sanal trafik.

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total	Datagrams
[284]	20.0-21.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.187 ms	0/ 7875	(0%)
[284]	21.0-22.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.194 ms	0/ 7874	(0%)
[284]	22.0-23.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.163 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	23.0-24.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.206 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	24.0-25.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.184 ms	0/ 7871	(0%)
[284]	25.0-26.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.218 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	26.0-27.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.187 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	27.0-28.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.168 ms	0/ 7871	(0%)
[284]	28.0-29.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.176 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	29.0-30.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.156 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	30.0-31.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.226 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	31.0-32.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.170 ms	0/ 7871	(0%)
[284]	32.0-33.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.205 ms	0/ 7871	(0%)
[284]	33.0-34.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.179 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	34.0-35.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.160 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	35.0-36.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.198 ms	0/ 7871	(0%)
[284]	36.0-37.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.224 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	37.0-38.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.199 ms	0/ 7872	(0%)
[284]	38.0-39.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.175 ms	0/ 7870	(0%)
[284]	39.0-40.0 sec	11.0 MBytes	92.6 Mbits/sec	0.210 ms	0/ 7870	(0%)

Şekil 4.39: 1 Gbit/sn sanal trafik.

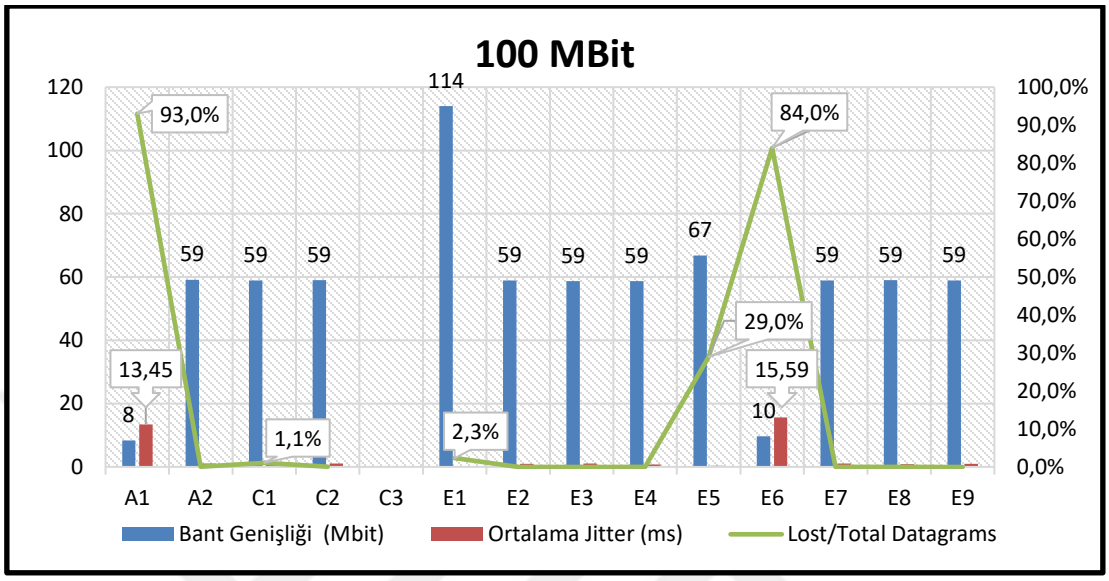
i. Average Response Time 2,5 – 3 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 58.9 MBits/sn, ortalama jitter değeri 1.015 ms, Lost/Total Datagrams oranı 94/1502482 (0.0063%) şeklinde görüldü.

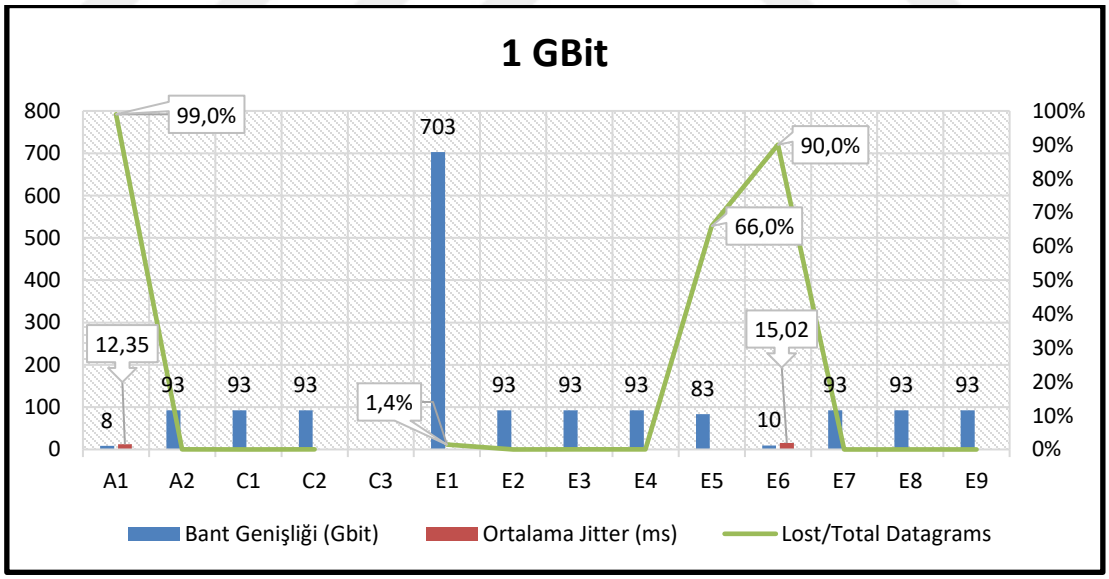
iii. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 92.6 MBits/sn, ortalama jitter değeri 1.055 ms, Lost/Total Datagrams oranı 0/2361801 (0%) şeklinde görüldü.

4.7 ANALİZ VE BULGULAR

Raylı Sisteme ait TETRA Telsiz Sisteminin Network Altyapısı ilk durumda çeşitli analizler ile değerlendirilmiştir. SolarWinds ve Jperf programları ile yapılan analizler neticesinde birçok sorun tespit edilmiştir. Sisteme ait sorunların, cihaz ve mimari yapıdan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Cihaz kaynaklı sorunlar şunlardır; bazı noktalarda network cihazlarının ara yüzüne erişilememiştir, bazı noktalarda SNMP özelliği aktif olmayan veya desteklemeyen cihazlar tespit edilmiştir, bazı istasyonlarda ise cihazların ethernet ve fiber portlarında arıza ile karşılaşılmıştır. Mimari kaynaklı problemlerde ise, Network mimarisi yedekli ve trafiğin sisteme eşit dağıtıldığı bir yapıda olmadığı görülmüştür. Network de PC-Switch-RF ekipmanlar aynı IP bloğunda kurgulandığı tespit edilmiştir. Yukarı'da belirtilen sorunlara saha çalışmalarından hareketle örnekler şu şekilde verilebilir; SNMP özelliğini desteklemeyen cihaz ile E3 istasyonunda karşılaşılmıştır. SNMP özelliğini destekleyen Zyxel, Dell marka switchlerde ise CPU-RAM, cihaz sıcaklığı gibi verilere detaylı ulaşılamamıştır. E7 istasyonunda switch konfigürasyonu yapılabilmesi için cihaz ara yüzüne erişim sağlanamamıştır. E1, E2 istasyonlarında bulunan network cihazlarında port arızaları ile karşılaşılmıştır. Şekil 4.40 ve Şekil 41'de bütün noktaların 100 MBit ve 1 GBit ölçümleri tek grafikte gösterilmiştir. Bu şekillerde kullanım ömrü dolan A1, E5, E6 istasyonlarındaki cihazlarda paket kayıp oranları %25 ve üzerinde olduğu her iki ölçümde de görülmüştür. Jitter değerlerinin ise A1, E6 istasyonlarında ayrı ayrı her iki ölçümde de 12 ms üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Ortalama bant genişliği ise 100 MBit ölçümlerinde 60 MBit/sn, 1 GBit ölçümlerinde ise 100 MBit/sn seviyelerinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.40: Tüm istasyonlar ilk durum 100 mbit ölçümleri.



Şekil 4.41: Tüm istasyonlar ilk durum 1 gbit ölçümleri.

5. METROPOL ÖRNEĞİ TETRA TELSİZ SİSTEMİ NETWORK ALTYAPISI YENİ DURUM ANALİZİ

5.1 İSTASYON EKİPMAN BİLGİSİ

TETRA Telsiz Sisteminin Network'üne ait ilk kısımda cihaz bilgileri, ölçümler ve saha verilerinin doğrultusunda detaylı analizler yapılmıştır. Bu analizler neticesinde tek bir marka ile sistemin kurulması planlanmıştır. Bu kapsamda Cisco markasına ait 3 farklı switch modeli tercih edilmiştir.

Tablo 5.1: Network cihaz bilgileri.

Marka	Model
Cisco	9500
Cisco	3560-CX
Cisco	IE 4000

5.2 IP BLOK BİLGİSİ

Yeni kurulan TETRA Telsiz Sisteminin IP Bloğu 52.53.240.0/22 bloğu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu Subnet Mask ihtiyaca göre 3 ayrı vlan'a bölünmüştür. Vlan 20 TETRA Telsiz Sistemine ait Rf ekipmanlar için, vlan 30 Network cihazları için, vlan 40 ise Raylı Ulaşıma eklenebilecek sistem ve cihazlar için rezerve planlanmıştır.

Tablo 5.2: Sistem Vlan tablosu.

Vlan	IP Bloğu	Sistem Adı
Vlan 20	52.53.240.0 / 24	Rf Ekipmanlar
Vlan 30	52.53.241.0 / 24	Network Ekipmanlar
Vlan 40	52.53.242.0 / 24	Rezerve

RF Donanımları IP Bloğu (52.53.240.0 / 24)															
Ana Sunucular			Baz İstasyonları Yedek			MKS ve Ses Kayıt Sunucuları			TEP (TetraNode Expansion			Bilgisayarlar & Yedek IP		
1-10 arası			11-50 arası			51-60 arası			61-70 arası			70-254 arası		
lokasyon	ekipman	IP	lokasyon	ekipman	IP	lokasyon	ekipman	IP	lokasyon	ekipman	IP	lokasyon	ekipman	IP
C1	TNX	52.53.240.1	A1	Röle1	52.53.240.11	C1	VLS	52.53.240.51	E1	TempRei	52.53.240.61	C1	VLC	52.53.240.71
C2	TNX	52.53.240.2	A1	Röle2	52.53.240.12	C2	VLS	52.53.240.52	E3	TempRei	52.53.240.62	C2	VLC	52.53.240.72
C3	TNX	52.53.240.3	A2	Röle1	52.53.240.13	C4	VLS	52.53.240.53	rezerve	rezerve	52.53.240.63	C4	VLC	52.53.240.73
rezerve		52.53.240.4	A2	Röle2	52.53.240.14	rezerve		52.53.240.54	rezerve	rezerve	52.53.240.64	A2	LDS	52.53.240.74
rezerve		52.53.240.5	E1	Röle1	52.53.240.15	rezerve		52.53.240.55	rezerve	rezerve	52.53.240.65	E6	LDS	52.53.240.75
rezerve		52.53.240.6	E1	Röle2	52.53.240.16	rezerve		52.53.240.56	rezerve	rezerve	52.53.240.66	E9	LDS	52.53.240.76
rezerve		52.53.240.7	E2	Röle1	52.53.240.17	rezerve		52.53.240.57	rezerve	rezerve	52.53.240.67	A2	PC	52.53.240.77
rezerve		52.53.240.8	E2	Röle2	52.53.240.18	rezerve		52.53.240.58	rezerve	rezerve	52.53.240.68	E6	PC	52.53.240.78
rezerve		52.53.240.9	E3	Röle1	52.53.240.19	rezerve		52.53.240.59	rezerve	rezerve	52.53.240.69	E9	PC	52.53.240.79
rezerve		52.53.240.10	E3	Röle2	52.53.240.20	rezerve		52.53.240.60	rezerve	rezerve	52.53.240.70	rezerve		52.53.240.80
			E4	Röle1	52.53.240.21							rezerve		52.53.240.81
			E4	Röle2	52.53.240.22							rezerve		52.53.240.82
			E5	Röle1	52.53.240.23							rezerve		52.53.240.83
			E5	Röle2	52.53.240.24							rezerve		52.53.240.84
			E6	Röle1	52.53.240.25							rezerve		52.53.240.85
			E6	Röle2	52.53.240.26							rezerve		52.53.240.86
			E7	Röle1	52.53.240.27							rezerve		52.53.240.87
			E7	Röle2	52.53.240.28							rezerve		52.53.240.88
			E8	Röle1	52.53.240.29							rezerve		52.53.240.89
			E8	Röle2	52.53.240.30							rezerve		52.53.240.90
			E9	Röle1	52.53.240.31							.		.
			E9	Röle2	52.53.240.32							.		.
			rezerve	rezerve	52.53.240.33							.		.
			.	.	.							.		.
			.	.	.							.		.
			rezerve	rezerve	52.53.240.50							rezerve		52.53.240.254

RF
vlan20 - 52.53.240.0/24

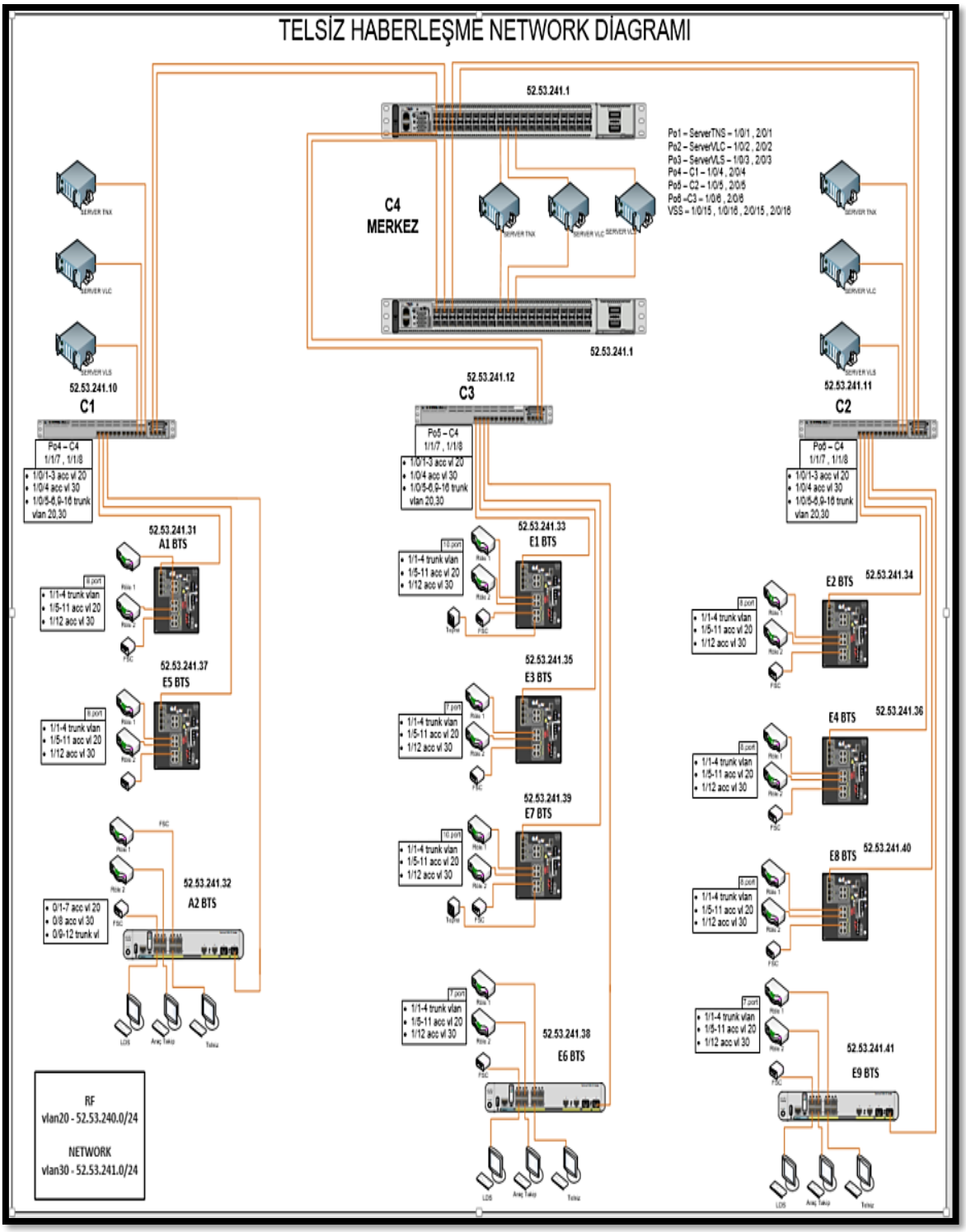
Şekil 5.1: RF donanımları yeni durum IP listesi.

Switch IP Bloğu (52.53.241.0 / 24)								
Backbone SW			Kenar SW			Uç Nokta SW		
1-9 arası			10-30 arası			31-254 arası		
lokasyon	model	IP	lokasyon	model	IP	lokasyon	model	IP
C4	Cisco C9500- 16X	52.53.241.1	C1	Cisco C9500- 16X	52.53.241.10	A1	Cisco IE4000	52.53.241.31
rezerve		52.53.241.2	C2	Cisco C9500- 16X	52.53.241.11	A2	Cisco 3560	52.53.241.32
.		.	C3	Cisco C9500- 16X	52.53.241.12	E1	Cisco IE4000	52.53.241.33
.		.	rezerve		52.53.241.13	E2	Cisco IE4000	52.53.241.34
.		.	.		.	E3	Cisco IE4000	52.53.241.35
rezerve		52.53.241.9	rezerve		52.53.241.30	E4	Cisco IE4000	52.53.241.36
						E5	Cisco IE4000	52.53.241.37
						E6	Cisco 3560	52.53.241.38
						E7	Cisco IE4000	52.53.241.39
						E8	Cisco IE4000	52.53.241.40
						E9	Cisco 3560	52.53.241.41
						rezerve		52.53.241.42
						rezerve		52.53.241.43
						rezerve		52.53.241.44
						.		.
						.		.
						.		.
						.		.
						.		.
						.		.
						rezerve		52.53.241.254

NETWORK
vlan30 - 52.53.241.0/24

Şekil 5.2: Network cihazları yeni durum IP listesi.

5.3 YENİ DURUM NETWORK MİMARİSİ



Şekil 5.3: Tetra telsiz sisteminin yeni durum network mimarisi.

5.4 NETWORK CİHAZLARINA AİT BİLGİLER

Cisco Markasına ait sistemde kullanılan 3 farklı switch modeline ait aşağıdaki özellikler sahada kullanılmıştır. Cisco 9500, 3560-CX ve IE4000 modelleridir.

i. Switchlerin tümü yönetilebilirdir. Gerek Web ara yüzünden gerekse Telnet ve SSH protokolleri kullanılarak cihazlara erişim sağlanmıştır.
ii. Merkez backbone switch ve toplama noktalarında Cisco 9500 -16X kullanılmıştır.
iii. Uç noktalarda ise cisco 3560 CX switchler veya Endüstriyel IE4000 kullanılmıştır.
iv. Sistem 1 adet ana merkez (C4 İstasyonu), 3 adet toplama merkezi (C1, C2, C3 İstasyonları) ve 11 adet uç noktadan (A1, A2, E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10 istasyonları) oluşmuştur.
v. Uç noktalardan 8 tanesinde endüstriyel tip, 3 tanesinde ise endüstriyel olmayan tip tercih edilmiştir.
vi. Toplama noktalarındaki switchler ile merkez backbone switchler arası haberleşme 10 GBit desteklemektedir. Toplama noktaları ve uç noktalar arası bağlantılar GBit tasarlanmıştır.
vii. Bütün switchlerde 10/100/1000 bakır portlarında TDR (time domain reflector) desteği mevcuttur. Bu sayede cihaz, bu portlardaki kablolama hatalarını teşhis ederek, kabloda kopukluk olması durumunda ne kadar uzakta olduğunu belirlenmektedir.



Şekil 5.4: C4 İstasyonu (Cisco C9500- 16X) Switch.

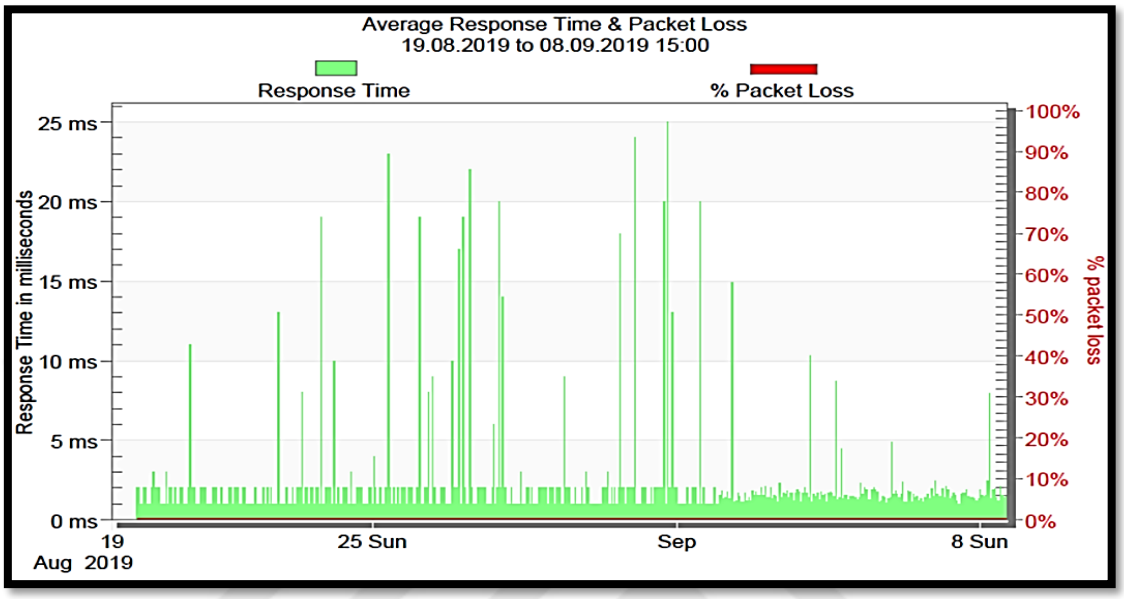


Şekil 5.5: E9 İstasyonu (Cisco 3560-CX- 8TC-S) Switch & A1 İstasyonu (Cisco IE4000) Switch.

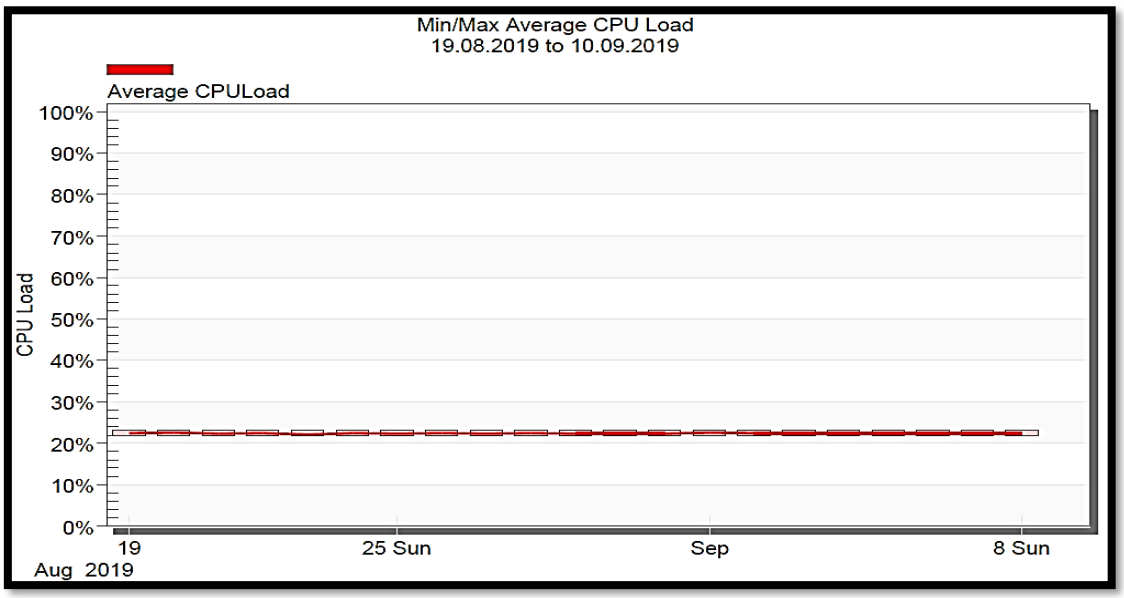
5.5 İSTASYON ANALİZİ

Yeni Durumda sistem mimarisi kurulduktan sonra saha da testleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler ilk durumda olduğu gibi SolarWinds Network Performance Monitor ve Jperf programları ile gerçekleştirilmiştir. İlk durumda C3 istasyonunda bulunan L3 switch'den SolarWinds programı ile elde edilen veriler yeni durumda Network'ün merkez noktası olan C4 istasyonundaki L3 switch'den 1 hafta boyunca alınmıştır. Burada tüm kenar ve endüstriyel switchlerin verileri elde edilmiştir. İkinci ölçümde Jperf programı ile sanal trafik oluşturularak mevcut fiber optik altyapısı ve switchlerin durumu gözlemlenmiştir. Bant genişlik ölçümleri C3 İstasyonunda bulunan switch'e bağlı PC ve uç noktalardaki switchlere bağlı ikinci bir PC ile her istasyon tek tek gezilerek 1 GBit ve 100 MBit ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler neticesinde her bir istasyona ait aşağıdaki ölçüm sonuçları ortaya çıkarılmıştır.

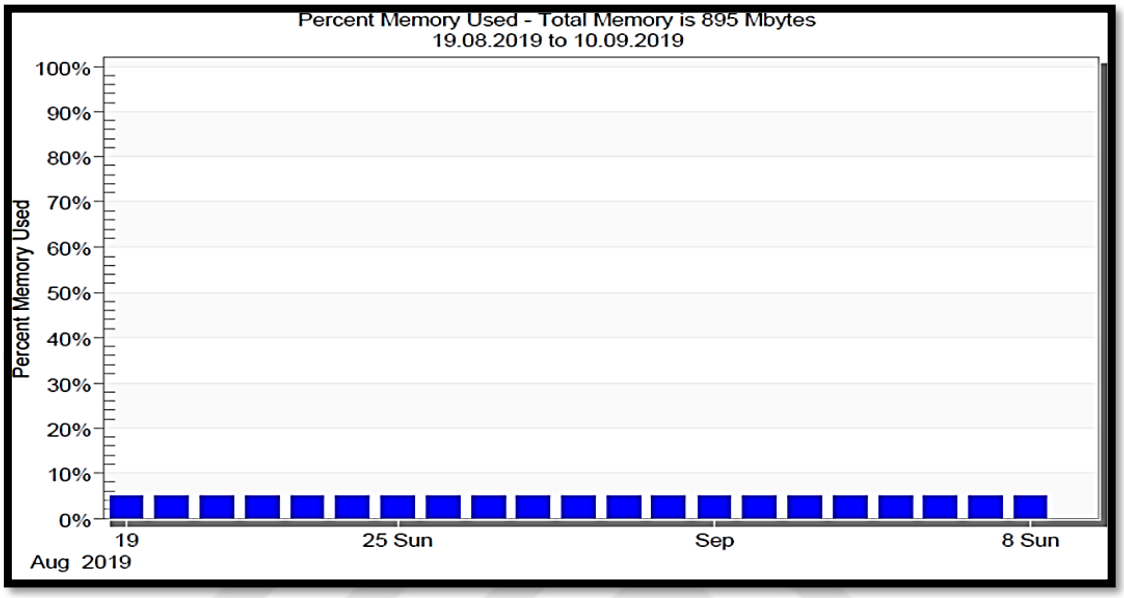
5.5.1 A1 İstasyonu



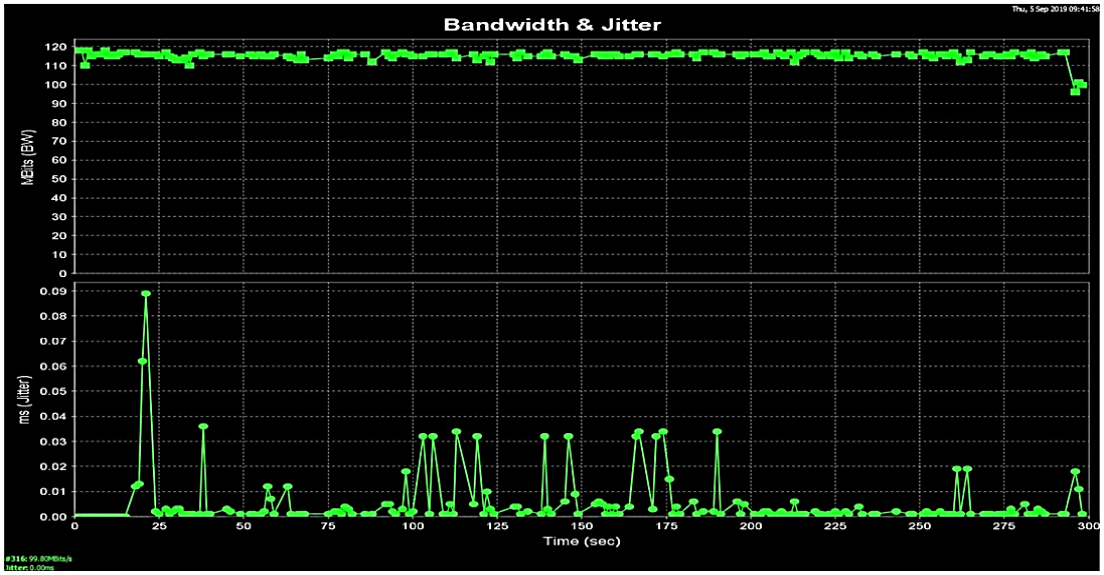
Şekil 5.6: A1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



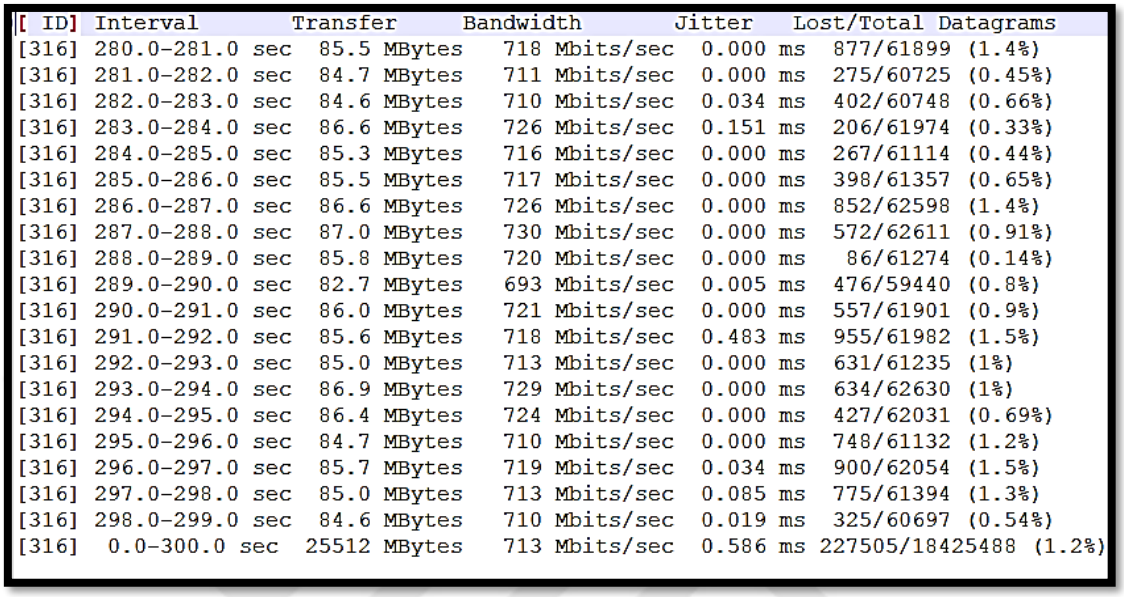
Şekil 5.7: A1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.8: A1 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.9: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[316]	280.0-281.0 sec	85.5 MBytes	718 Mbits/sec	0.000 ms	877/61899 (1.4%)
[316]	281.0-282.0 sec	84.7 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	275/60725 (0.45%)
[316]	282.0-283.0 sec	84.6 MBytes	710 Mbits/sec	0.034 ms	402/60748 (0.66%)
[316]	283.0-284.0 sec	86.6 MBytes	726 Mbits/sec	0.151 ms	206/61974 (0.33%)
[316]	284.0-285.0 sec	85.3 MBytes	716 Mbits/sec	0.000 ms	267/61114 (0.44%)
[316]	285.0-286.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.000 ms	398/61357 (0.65%)
[316]	286.0-287.0 sec	86.6 MBytes	726 Mbits/sec	0.000 ms	852/62598 (1.4%)
[316]	287.0-288.0 sec	87.0 MBytes	730 Mbits/sec	0.000 ms	572/62611 (0.91%)
[316]	288.0-289.0 sec	85.8 MBytes	720 Mbits/sec	0.000 ms	86/61274 (0.14%)
[316]	289.0-290.0 sec	82.7 MBytes	693 Mbits/sec	0.005 ms	476/59440 (0.8%)
[316]	290.0-291.0 sec	86.0 MBytes	721 Mbits/sec	0.000 ms	557/61901 (0.9%)
[316]	291.0-292.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.483 ms	955/61982 (1.5%)
[316]	292.0-293.0 sec	85.0 MBytes	713 Mbits/sec	0.000 ms	631/61235 (1%)
[316]	293.0-294.0 sec	86.9 MBytes	729 Mbits/sec	0.000 ms	634/62630 (1%)
[316]	294.0-295.0 sec	86.4 MBytes	724 Mbits/sec	0.000 ms	427/62031 (0.69%)
[316]	295.0-296.0 sec	84.7 MBytes	710 Mbits/sec	0.000 ms	748/61132 (1.2%)
[316]	296.0-297.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.034 ms	900/62054 (1.5%)
[316]	297.0-298.0 sec	85.0 MBytes	713 Mbits/sec	0.085 ms	775/61394 (1.3%)
[316]	298.0-299.0 sec	84.6 MBytes	710 Mbits/sec	0.019 ms	325/60697 (0.54%)
[316]	0.0-300.0 sec	25512 MBytes	713 Mbits/sec	0.586 ms	227505/18425488 (1.2%)

Şekil 5.10: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 4 ms civarında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

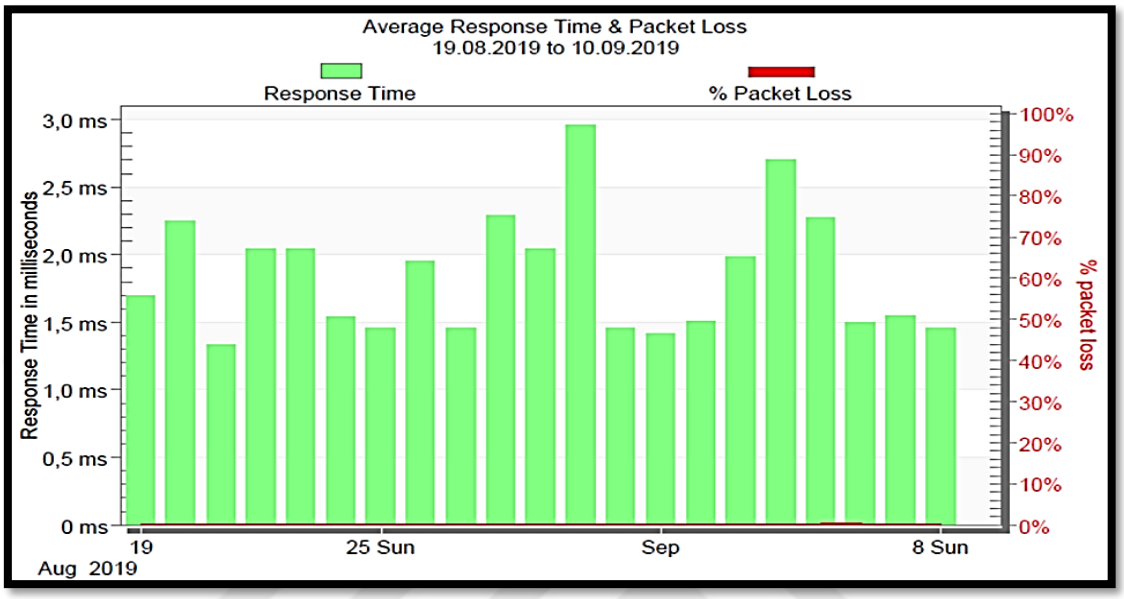
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. RAM kullanım oranının %6 civarında olduğu görüldü.

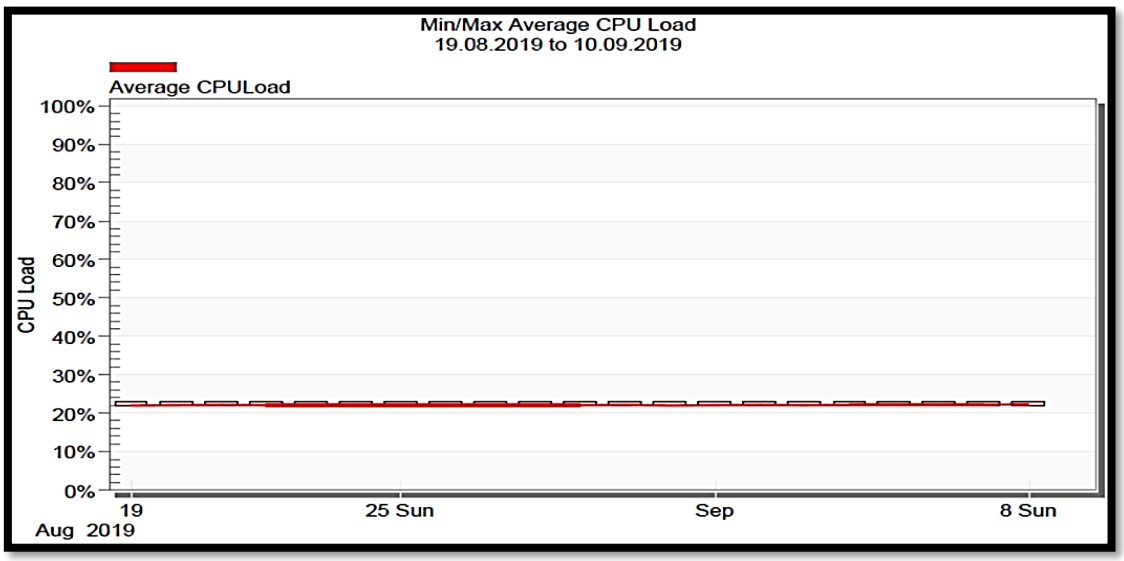
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 116 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.325 ms, Lost/Total Datagrams oranı 38723/2988422 (1.3%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 713 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 227505/18425488 (1.2%) şeklinde görüldü.

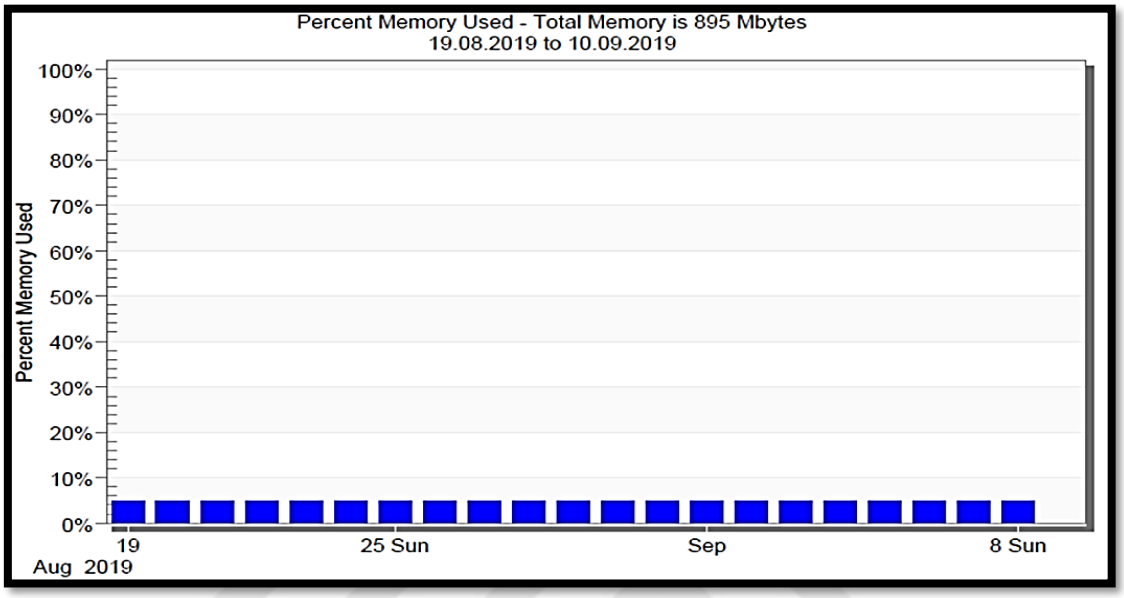
5.5.2 A2 İstasyonu



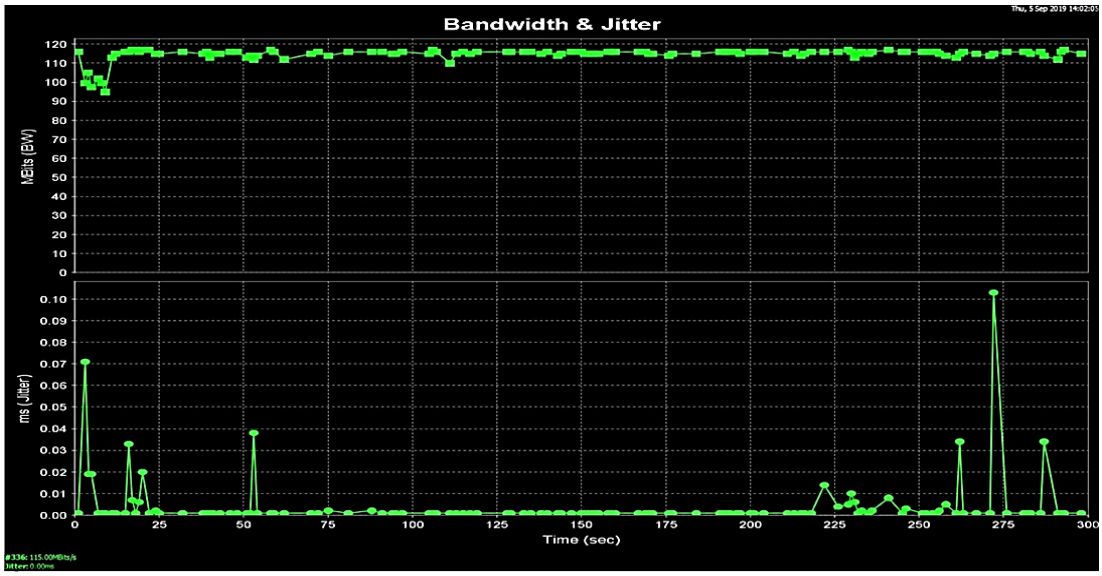
Şekil 5.11: A2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



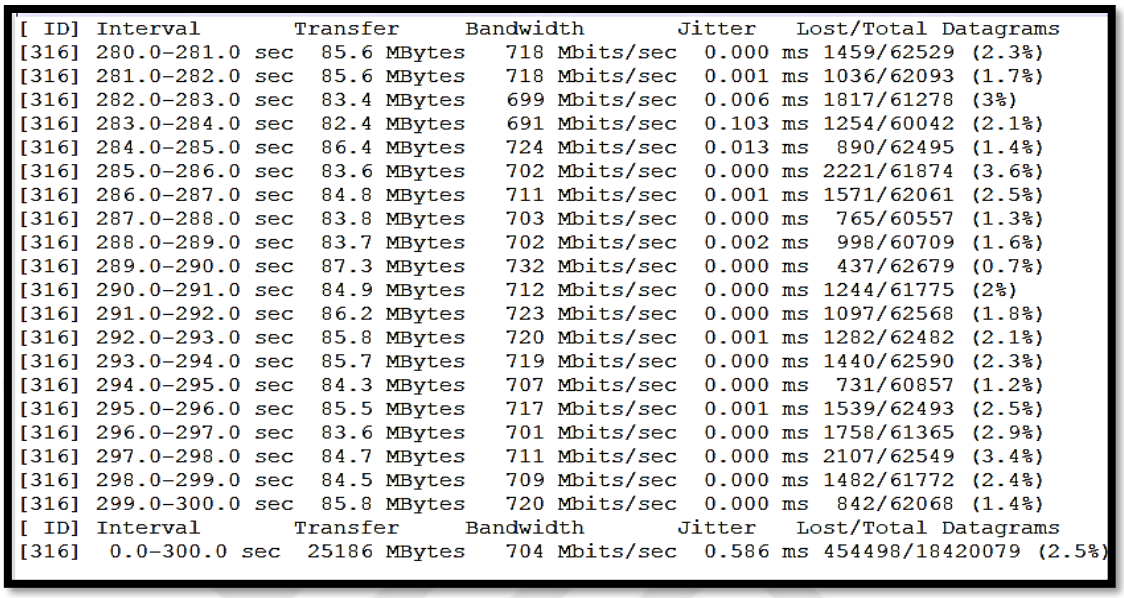
Şekil 5.12: A2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.13: A2 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.14: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[316]	280.0-281.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.000 ms	1459/62529 (2.3%)
[316]	281.0-282.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.001 ms	1036/62093 (1.7%)
[316]	282.0-283.0 sec	83.4 MBytes	699 Mbits/sec	0.006 ms	1817/61278 (3%)
[316]	283.0-284.0 sec	82.4 MBytes	691 Mbits/sec	0.103 ms	1254/60042 (2.1%)
[316]	284.0-285.0 sec	86.4 MBytes	724 Mbits/sec	0.013 ms	890/62495 (1.4%)
[316]	285.0-286.0 sec	83.6 MBytes	702 Mbits/sec	0.000 ms	2221/61874 (3.6%)
[316]	286.0-287.0 sec	84.8 MBytes	711 Mbits/sec	0.001 ms	1571/62061 (2.5%)
[316]	287.0-288.0 sec	83.8 MBytes	703 Mbits/sec	0.000 ms	765/60557 (1.3%)
[316]	288.0-289.0 sec	83.7 MBytes	702 Mbits/sec	0.002 ms	998/60709 (1.6%)
[316]	289.0-290.0 sec	87.3 MBytes	732 Mbits/sec	0.000 ms	437/62679 (0.7%)
[316]	290.0-291.0 sec	84.9 MBytes	712 Mbits/sec	0.000 ms	1244/61775 (2%)
[316]	291.0-292.0 sec	86.2 MBytes	723 Mbits/sec	0.000 ms	1097/62568 (1.8%)
[316]	292.0-293.0 sec	85.8 MBytes	720 Mbits/sec	0.001 ms	1282/62482 (2.1%)
[316]	293.0-294.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.000 ms	1440/62590 (2.3%)
[316]	294.0-295.0 sec	84.3 MBytes	707 Mbits/sec	0.000 ms	731/60857 (1.2%)
[316]	295.0-296.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.001 ms	1539/62493 (2.5%)
[316]	296.0-297.0 sec	83.6 MBytes	701 Mbits/sec	0.000 ms	1758/61365 (2.9%)
[316]	297.0-298.0 sec	84.7 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	2107/62549 (3.4%)
[316]	298.0-299.0 sec	84.5 MBytes	709 Mbits/sec	0.000 ms	1482/61772 (2.4%)
[316]	299.0-300.0 sec	85.8 MBytes	720 Mbits/sec	0.000 ms	842/62068 (1.4%)
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[316]	0.0-300.0 sec	25186 MBytes	704 Mbits/sec	0.586 ms	454498/18420079 (2.5%)

Şekil 5.15: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1,5- 2 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

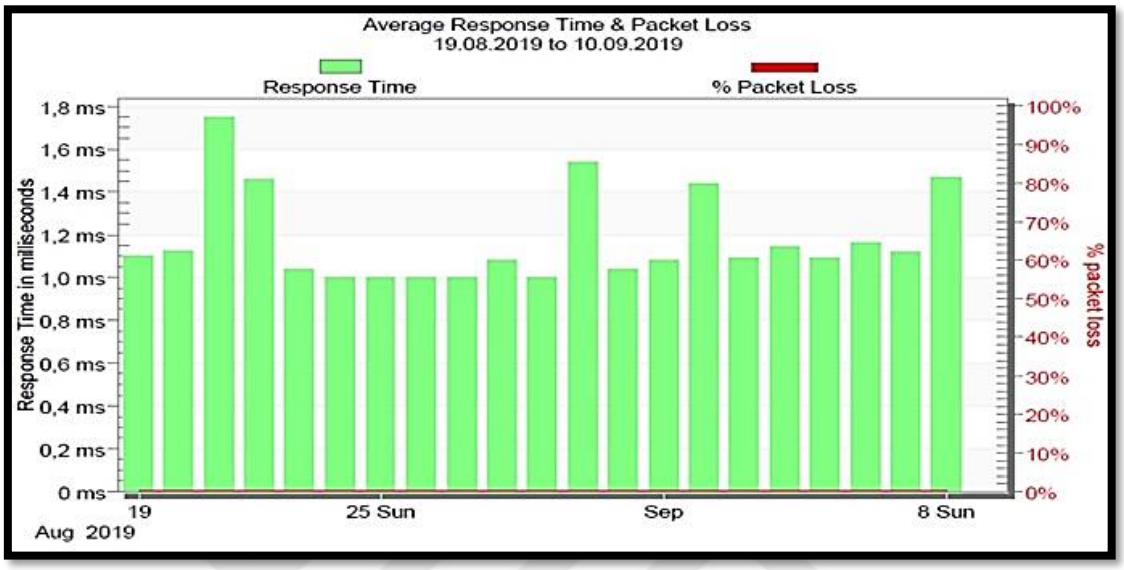
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. RAM kullanım oranının %4 civarında olduğu görüldü.

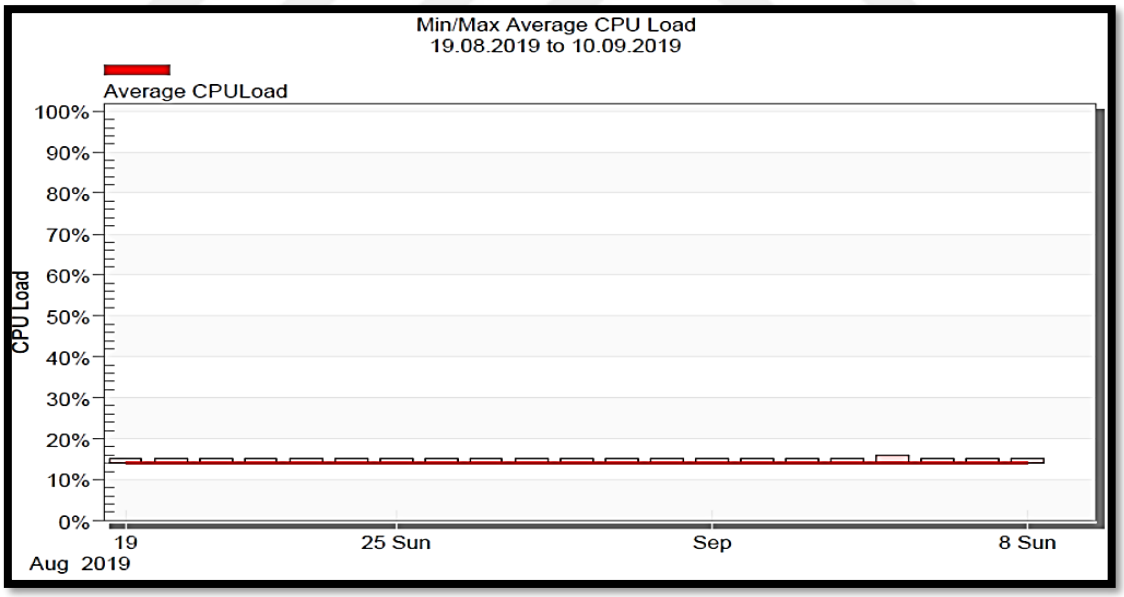
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 116 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.335 ms, Lost/Total Datagrams oranı 41654/2988963 (1.4%) şeklinde görüldü

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 704 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 454498/18420079 (2.5%) şeklinde görüldü.

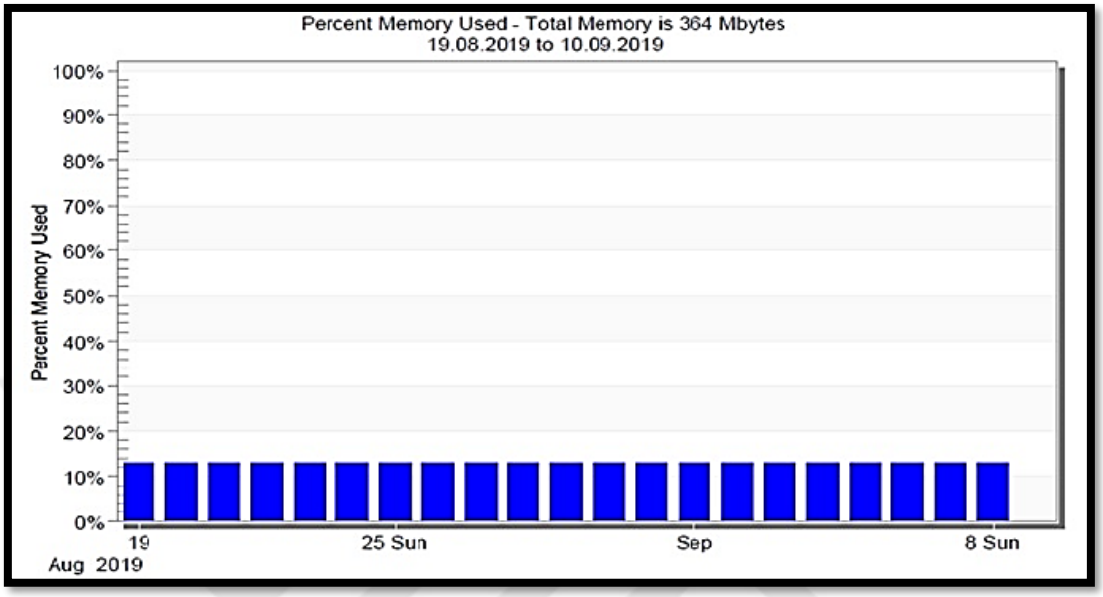
5.5.3 C1 İstasyonu



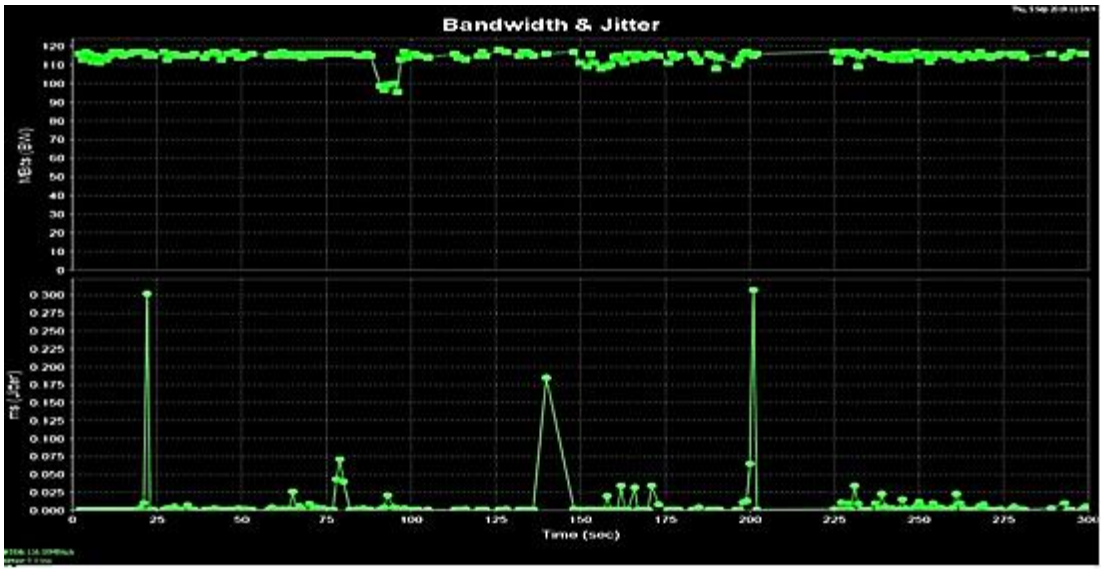
Şekil 5.16: C1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



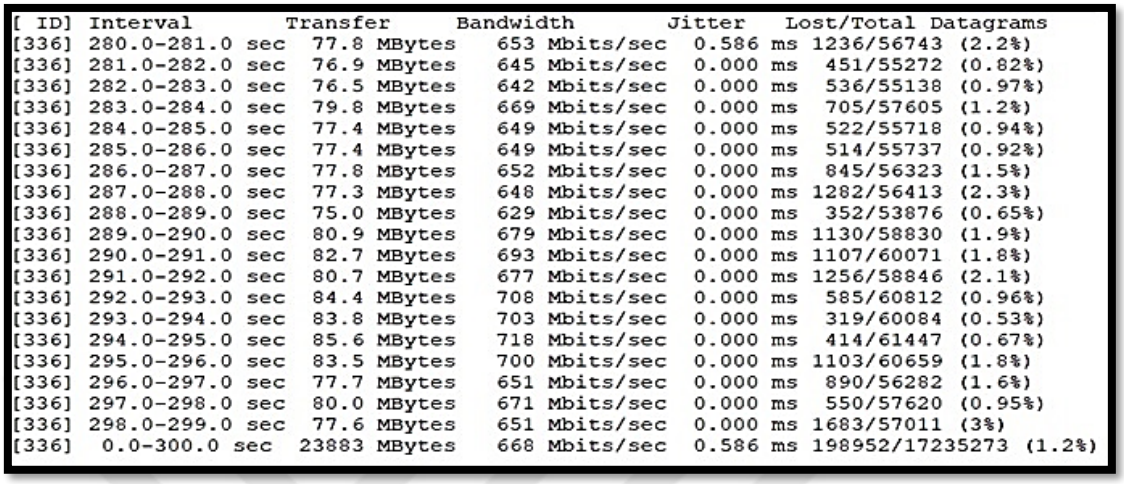
Şekil 5.17: C1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.18: C1 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.19: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[336]	280.0-281.0 sec	77.8 MBytes	653 Mbits/sec	0.586 ms	1236/56743 (2.2%)
[336]	281.0-282.0 sec	76.9 MBytes	645 Mbits/sec	0.000 ms	451/55272 (0.82%)
[336]	282.0-283.0 sec	76.5 MBytes	642 Mbits/sec	0.000 ms	536/55138 (0.97%)
[336]	283.0-284.0 sec	79.8 MBytes	669 Mbits/sec	0.000 ms	705/57605 (1.2%)
[336]	284.0-285.0 sec	77.4 MBytes	649 Mbits/sec	0.000 ms	522/55718 (0.94%)
[336]	285.0-286.0 sec	77.4 MBytes	649 Mbits/sec	0.000 ms	514/55737 (0.92%)
[336]	286.0-287.0 sec	77.8 MBytes	652 Mbits/sec	0.000 ms	845/56323 (1.5%)
[336]	287.0-288.0 sec	77.3 MBytes	648 Mbits/sec	0.000 ms	1282/56413 (2.3%)
[336]	288.0-289.0 sec	75.0 MBytes	629 Mbits/sec	0.000 ms	352/53876 (0.65%)
[336]	289.0-290.0 sec	80.9 MBytes	679 Mbits/sec	0.000 ms	1130/58830 (1.9%)
[336]	290.0-291.0 sec	82.7 MBytes	693 Mbits/sec	0.000 ms	1107/60071 (1.8%)
[336]	291.0-292.0 sec	80.7 MBytes	677 Mbits/sec	0.000 ms	1256/58846 (2.1%)
[336]	292.0-293.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.000 ms	585/60812 (0.96%)
[336]	293.0-294.0 sec	83.8 MBytes	703 Mbits/sec	0.000 ms	319/60084 (0.53%)
[336]	294.0-295.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.000 ms	414/61447 (0.67%)
[336]	295.0-296.0 sec	83.5 MBytes	700 Mbits/sec	0.000 ms	1103/60659 (1.8%)
[336]	296.0-297.0 sec	77.7 MBytes	651 Mbits/sec	0.000 ms	890/56282 (1.6%)
[336]	297.0-298.0 sec	80.0 MBytes	671 Mbits/sec	0.000 ms	550/57620 (0.95%)
[336]	298.0-299.0 sec	77.6 MBytes	651 Mbits/sec	0.000 ms	1683/57011 (3%)
[336]	0.0-300.0 sec	23883 MBytes	668 Mbits/sec	0.586 ms	198952/17235273 (1.2%)

Şekil 5.20: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1- 1,2 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

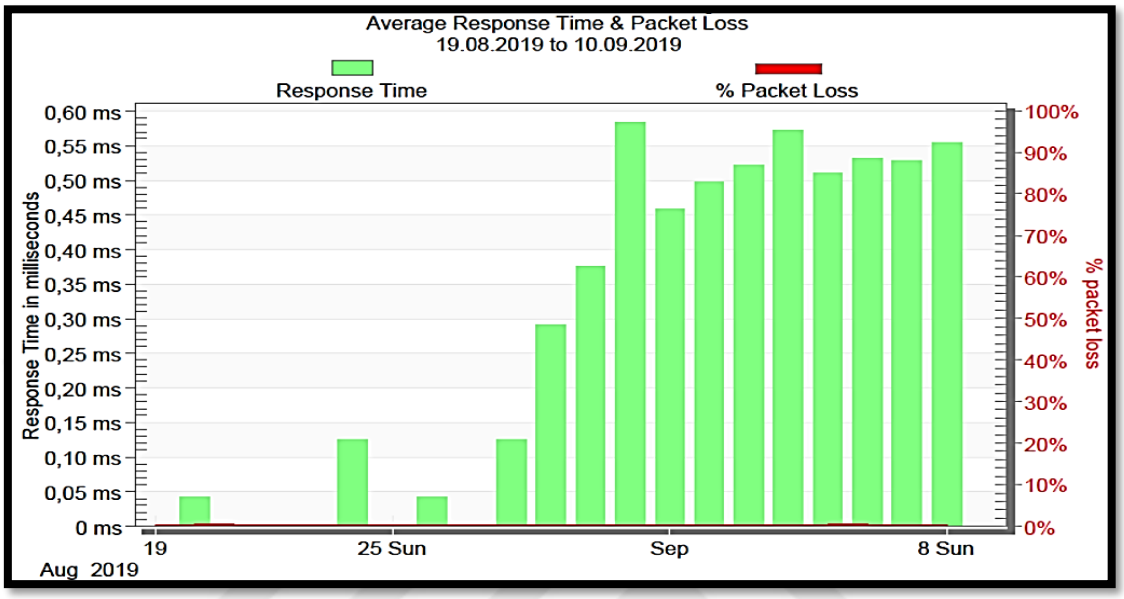
ii. Average CPU Load değeri %14 seviyelerindedir.

iii. RAM Kullanım oranı %12 civarında olduğu görüldü.

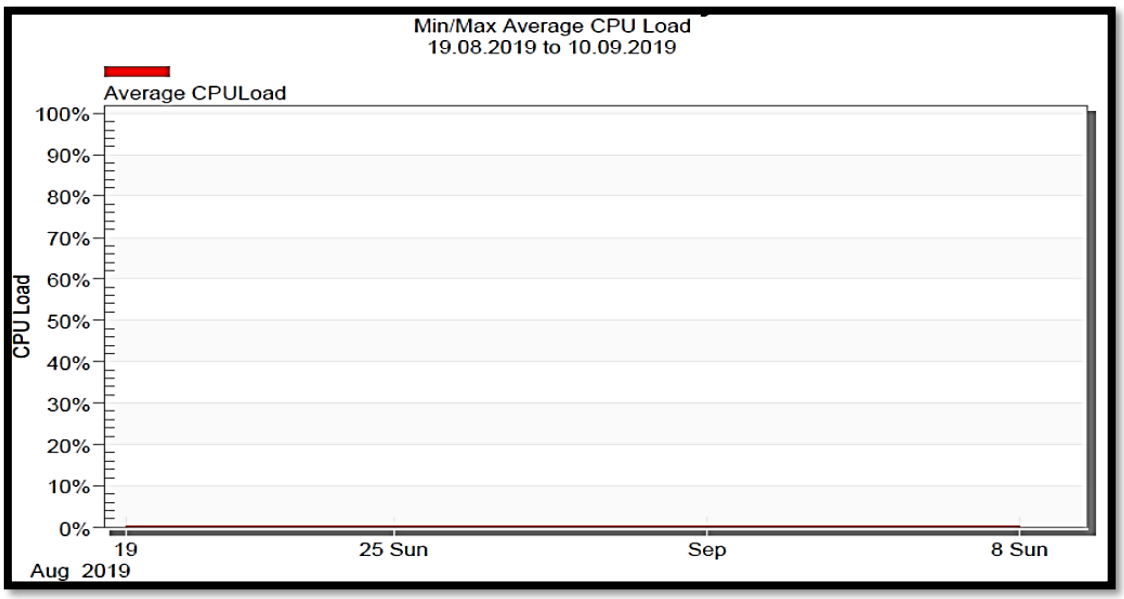
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 115 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.340 ms, Lost/Total Datagrams oranı 41605/2978393 (1.4%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 668 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 198952/17235273 (1.2%) şeklinde görüldü.

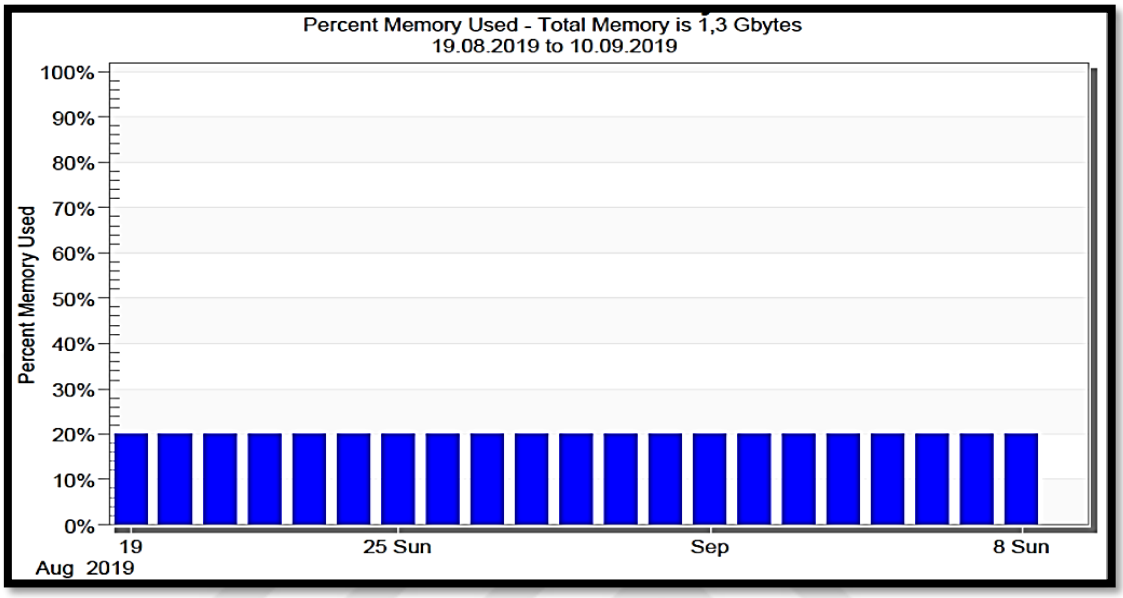
5.5.4 C2 İstasyonu



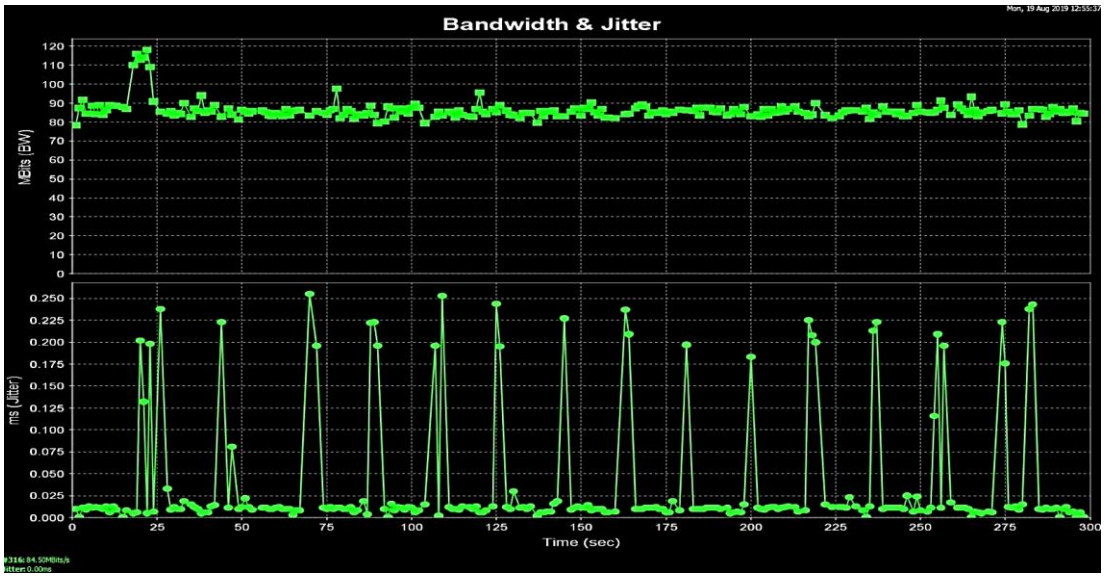
Şekil 5.21: C2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



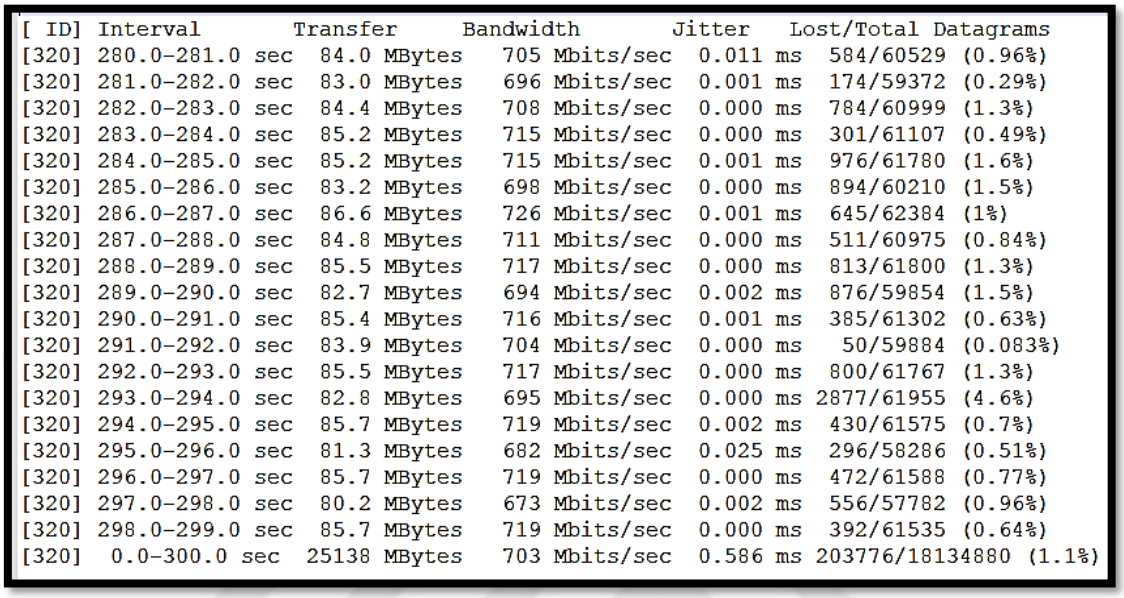
Şekil 5.22: C2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.23: C2 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.24: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[320]	280.0-281.0 sec	84.0 MBytes	705 Mbits/sec	0.011 ms	584/60529 (0.96%)
[320]	281.0-282.0 sec	83.0 MBytes	696 Mbits/sec	0.001 ms	174/59372 (0.29%)
[320]	282.0-283.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.000 ms	784/60999 (1.3%)
[320]	283.0-284.0 sec	85.2 MBytes	715 Mbits/sec	0.000 ms	301/61107 (0.49%)
[320]	284.0-285.0 sec	85.2 MBytes	715 Mbits/sec	0.001 ms	976/61780 (1.6%)
[320]	285.0-286.0 sec	83.2 MBytes	698 Mbits/sec	0.000 ms	894/60210 (1.5%)
[320]	286.0-287.0 sec	86.6 MBytes	726 Mbits/sec	0.001 ms	645/62384 (1%)
[320]	287.0-288.0 sec	84.8 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	511/60975 (0.84%)
[320]	288.0-289.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.000 ms	813/61800 (1.3%)
[320]	289.0-290.0 sec	82.7 MBytes	694 Mbits/sec	0.002 ms	876/59854 (1.5%)
[320]	290.0-291.0 sec	85.4 MBytes	716 Mbits/sec	0.001 ms	385/61302 (0.63%)
[320]	291.0-292.0 sec	83.9 MBytes	704 Mbits/sec	0.000 ms	50/59884 (0.083%)
[320]	292.0-293.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.000 ms	800/61767 (1.3%)
[320]	293.0-294.0 sec	82.8 MBytes	695 Mbits/sec	0.000 ms	2877/61955 (4.6%)
[320]	294.0-295.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.002 ms	430/61575 (0.7%)
[320]	295.0-296.0 sec	81.3 MBytes	682 Mbits/sec	0.025 ms	296/58286 (0.51%)
[320]	296.0-297.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.000 ms	472/61588 (0.77%)
[320]	297.0-298.0 sec	80.2 MBytes	673 Mbits/sec	0.002 ms	556/57782 (0.96%)
[320]	298.0-299.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.000 ms	392/61535 (0.64%)
[320]	0.0-300.0 sec	25138 MBytes	703 Mbits/sec	0.586 ms	203776/18134880 (1.1%)

Şekil 5.25: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 0,3 – 0,35 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

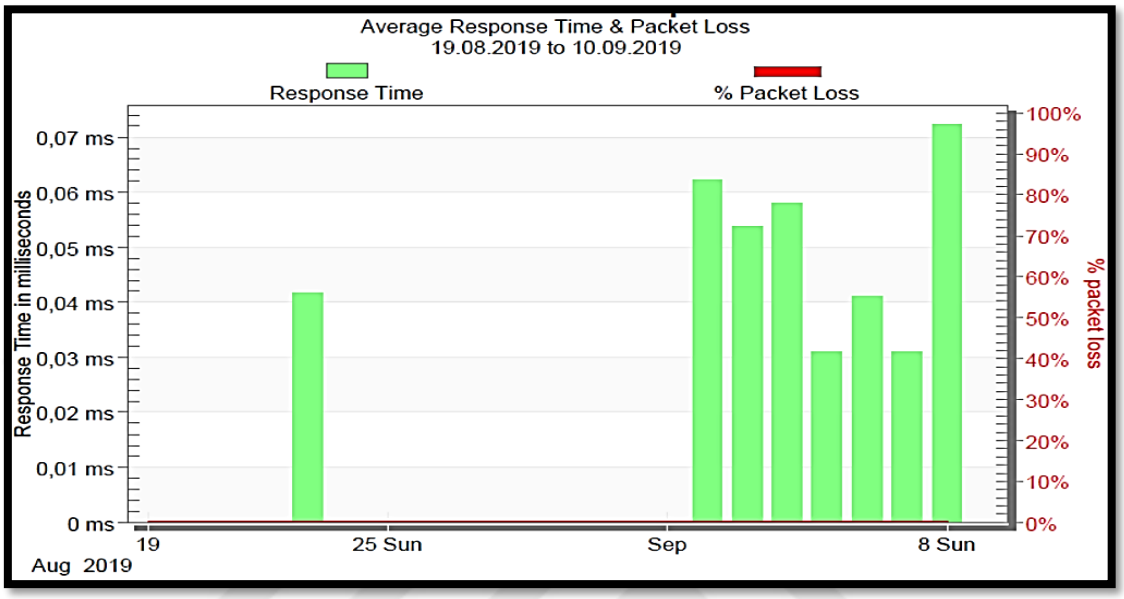
ii. Average CPU Load değeri %0 seviyelerindedir.

iii. Ram Kullanım oranı %20 civarındadır.

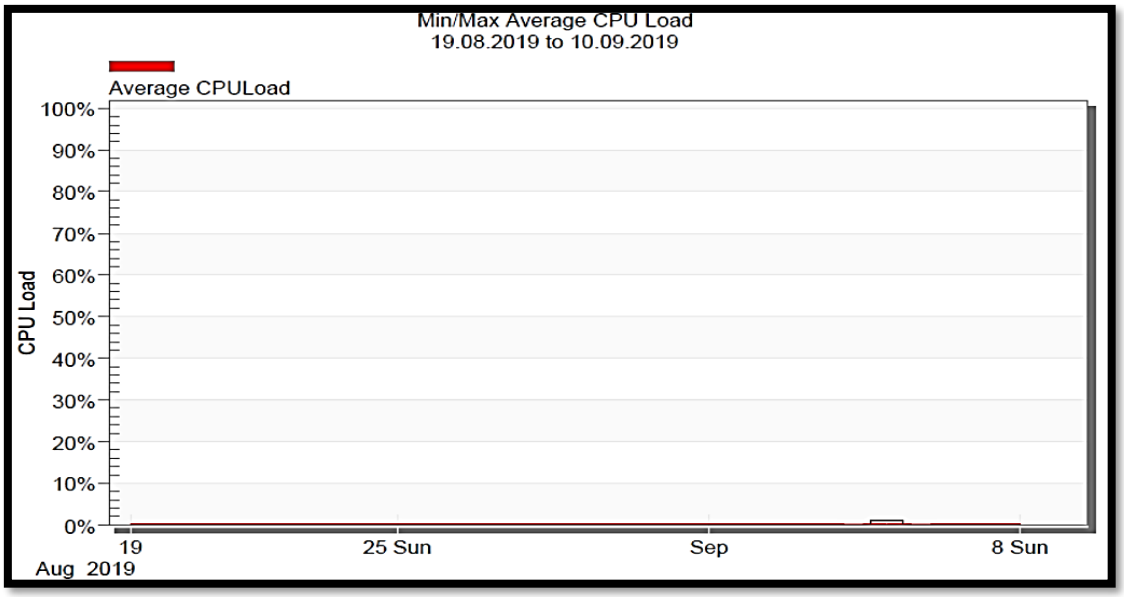
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 86.4 MBits/sec, ortalama jitter değeri 0.615 ms, Lost/Total Datagrams oranı 784703/2989196 (26%) şeklinde görüldü

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 703 MBits/sec, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 203776/18134880 (1.1%) şeklinde görüldü.

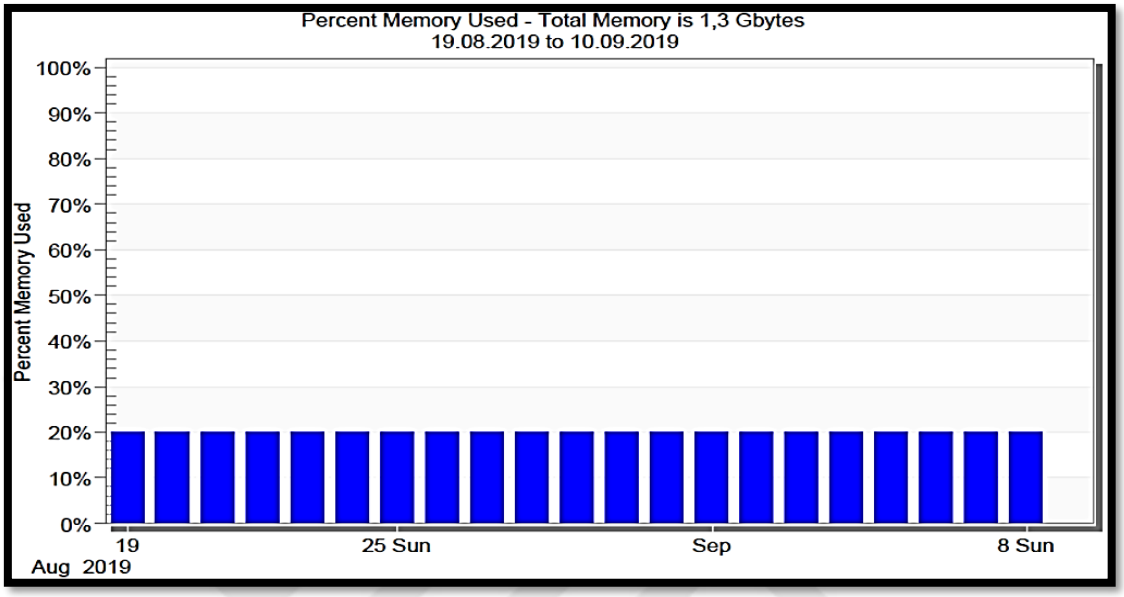
5.5.5 C3 İstasyonu



Şekil 5.26: C3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 5.27: C3 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.28: C3 İstasyonu ram kullanım oranı.

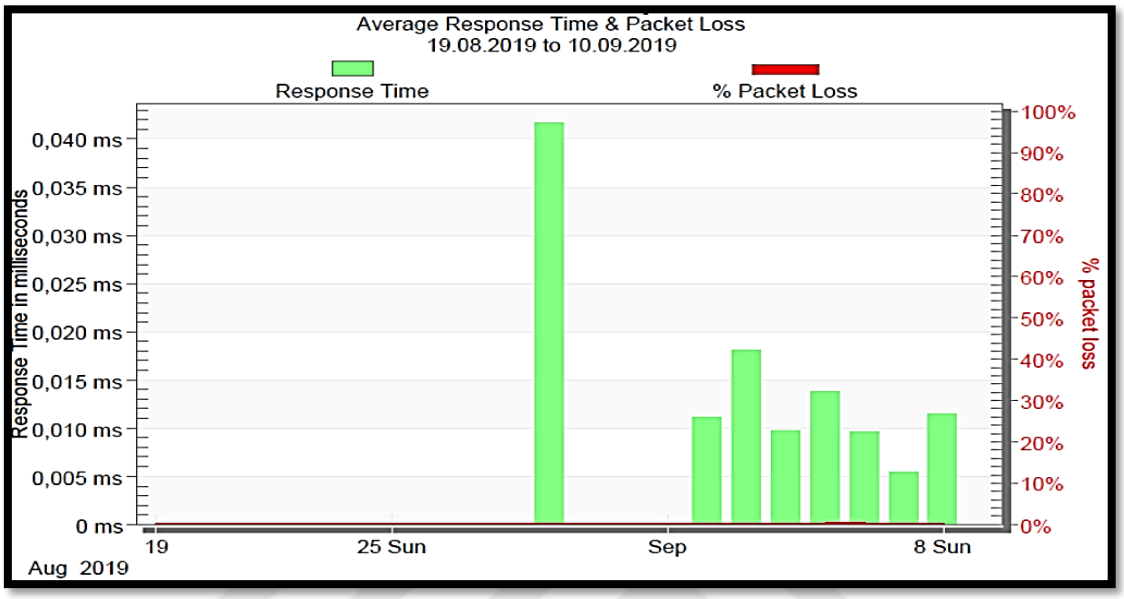
i. Average Response Time 0,01- 0,02 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. Average CPU Load değeri %0'a yakın olup çok çok düşük bir değer olduğu tespit edildi.

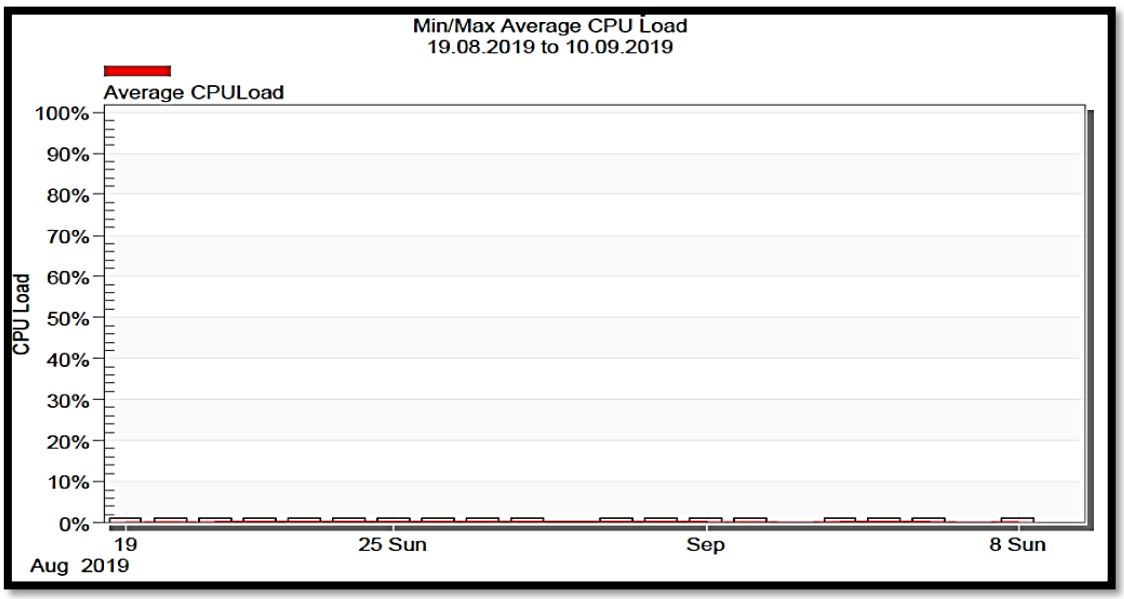
iii. Ram Kullanım oranı %20 civarındadır.

iv. Ölçümler C3 İstasyonundan alındığı için bant genişliği görülememektedir.

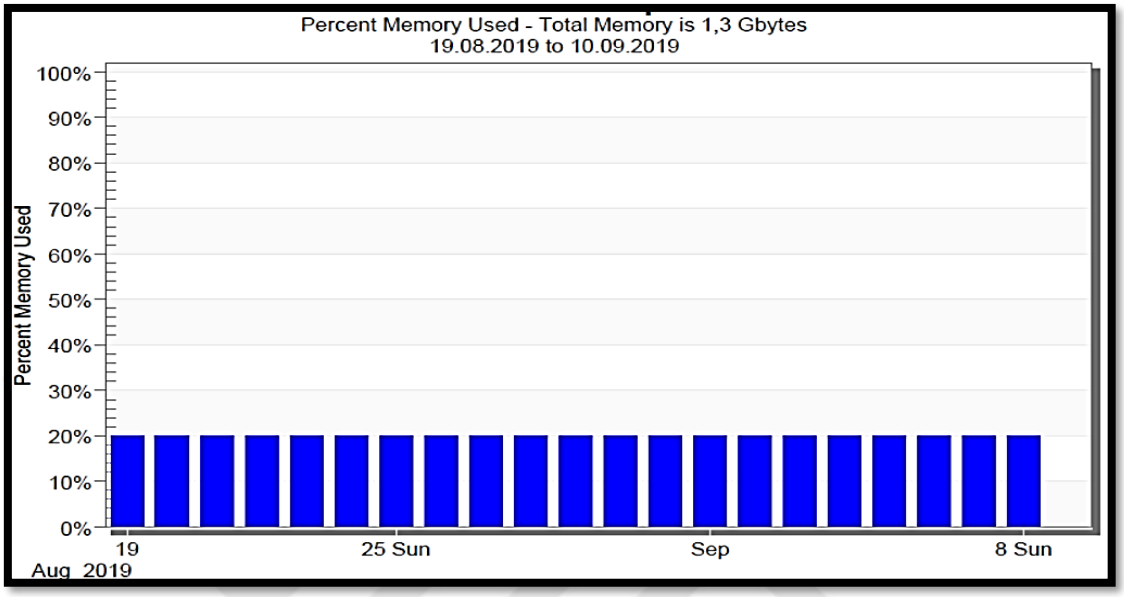
5.5.6 C4 İstasyonu



Şekil 5.29: C4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



Şekil 5.30: C4 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.31: C4 İstasyonu ram kullanım oranı.

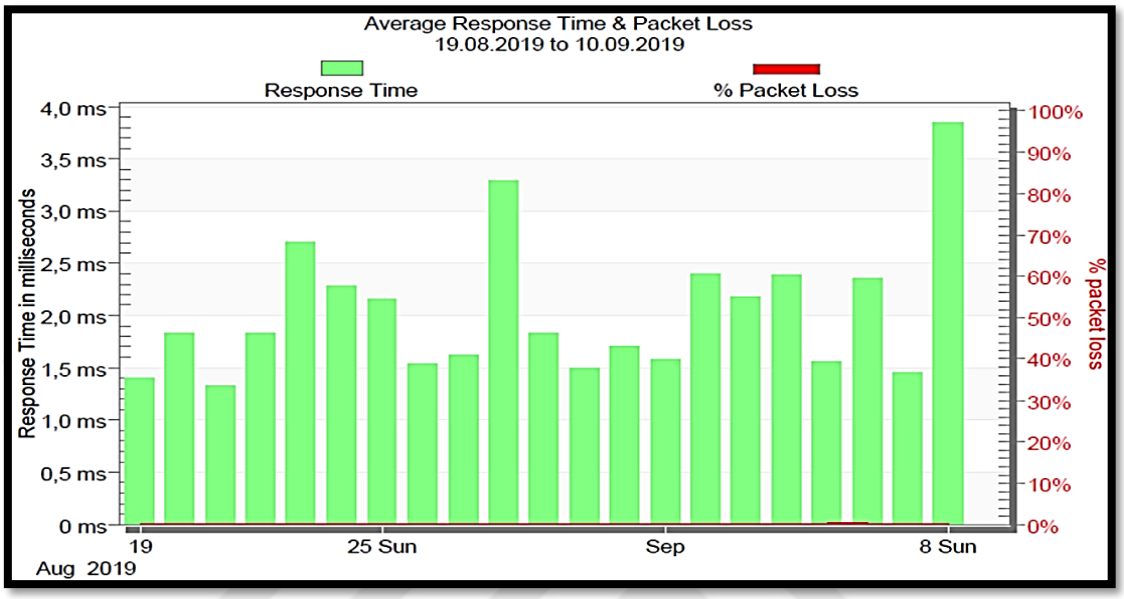
i. Average Response Time 0,01 – 0,02 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

ii. Average CPU Load değeri %2 civarında çok çok düşük bir değer olduğu tespit edildi.

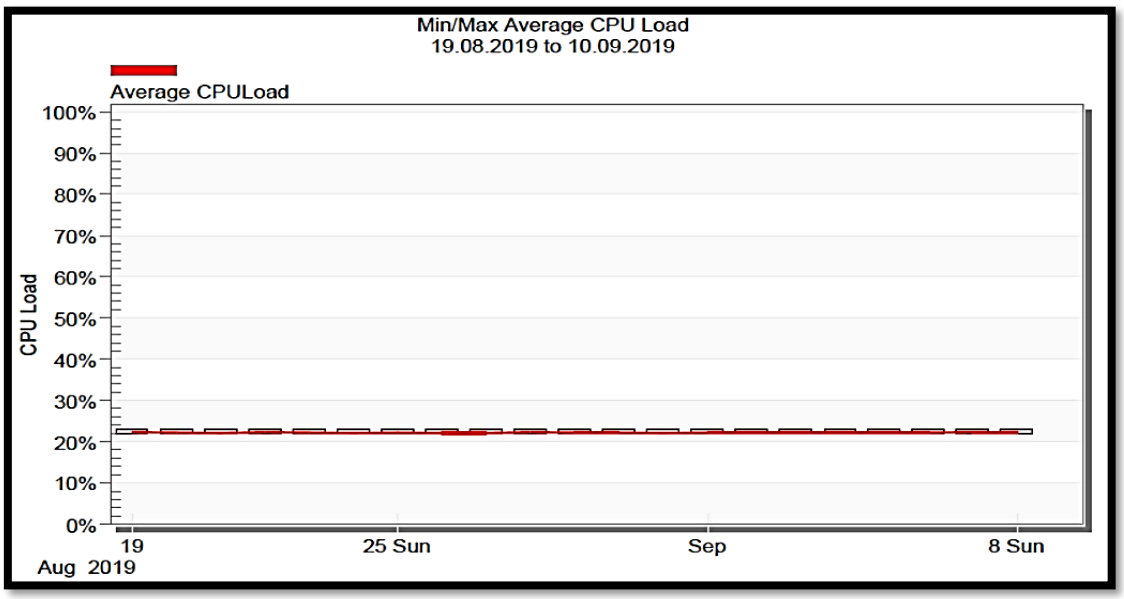
iii. Toplam RAM miktarının kullanılan Ram Miktarına oranı %20 civarındadır.

iv. Ölçümler C3- C4'ten alındığı için bant genişliği görülememektedir.

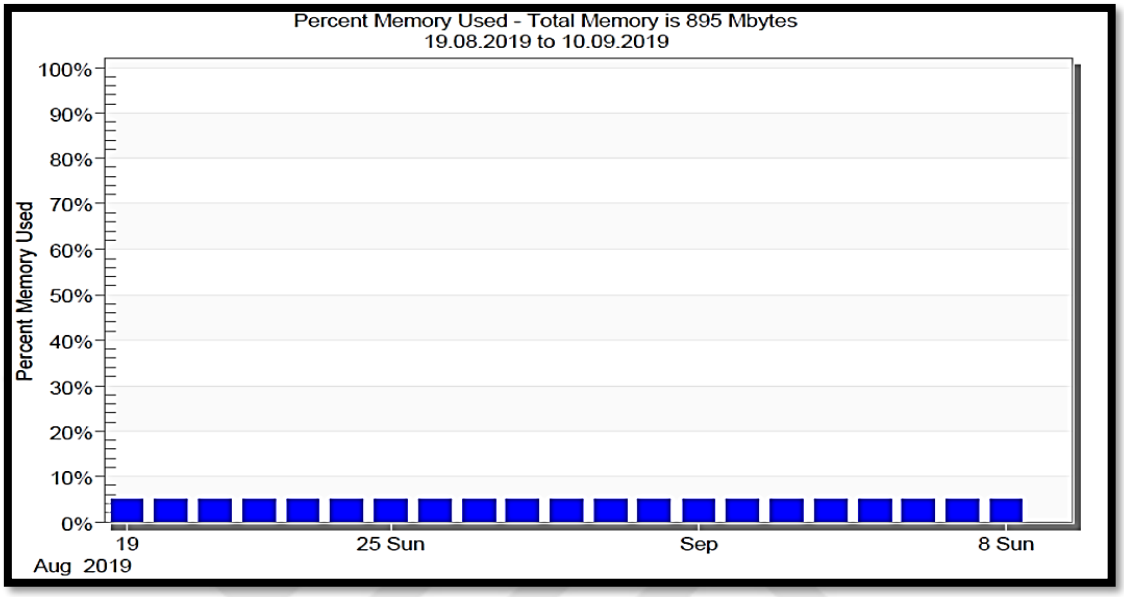
5.5.7 E1 İstasyonu



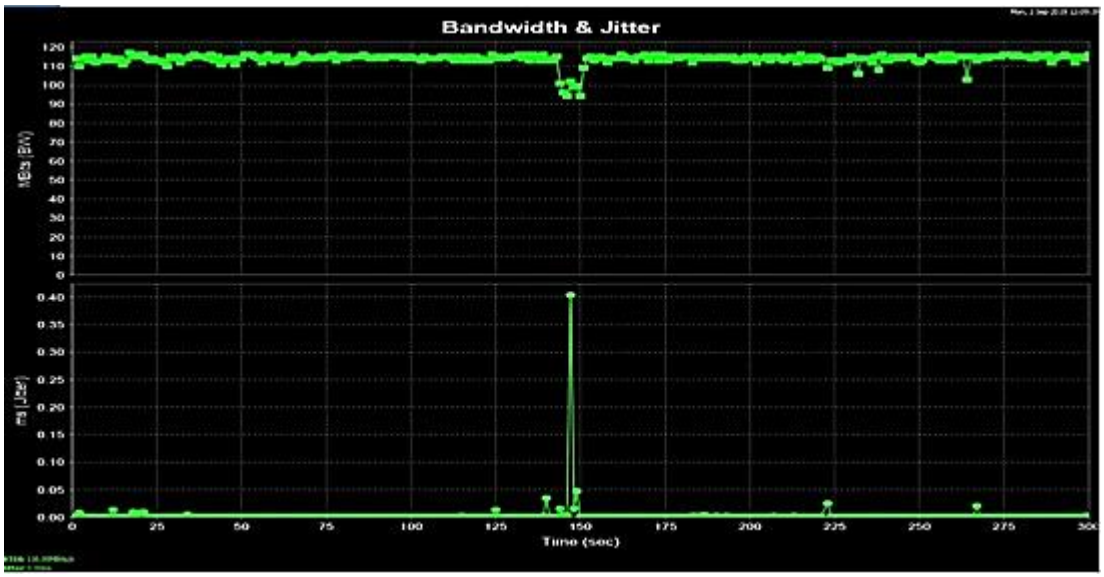
Şekil 5.32: E1 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



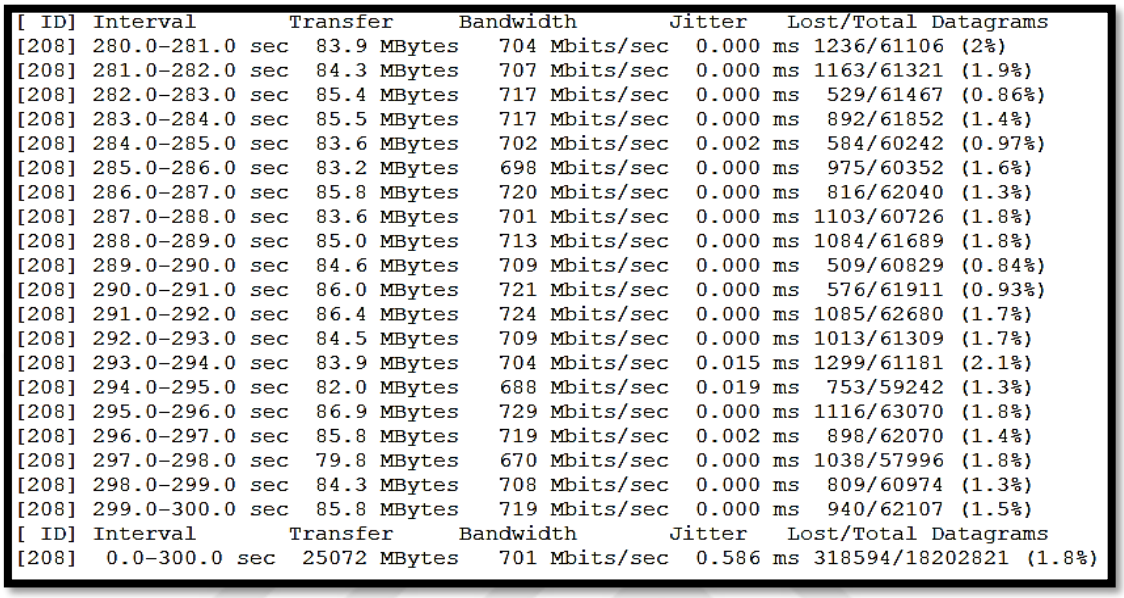
Şekil 5.33: E1 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.34: E1 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.35: 100 Mbit/sn sanal trafik.



```
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth       Jitter   Lost/Total Datagrams
[208] 280.0-281.0 sec  83.9 MBytes   704 Mbits/sec  0.000 ms 1236/61106 (2%)
[208] 281.0-282.0 sec  84.3 MBytes   707 Mbits/sec  0.000 ms 1163/61321 (1.9%)
[208] 282.0-283.0 sec  85.4 MBytes   717 Mbits/sec  0.000 ms  529/61467 (0.86%)
[208] 283.0-284.0 sec  85.5 MBytes   717 Mbits/sec  0.000 ms  892/61852 (1.4%)
[208] 284.0-285.0 sec  83.6 MBytes   702 Mbits/sec  0.002 ms  584/60242 (0.97%)
[208] 285.0-286.0 sec  83.2 MBytes   698 Mbits/sec  0.000 ms  975/60352 (1.6%)
[208] 286.0-287.0 sec  85.8 MBytes   720 Mbits/sec  0.000 ms  816/62040 (1.3%)
[208] 287.0-288.0 sec  83.6 MBytes   701 Mbits/sec  0.000 ms 1103/60726 (1.8%)
[208] 288.0-289.0 sec  85.0 MBytes   713 Mbits/sec  0.000 ms 1084/61689 (1.8%)
[208] 289.0-290.0 sec  84.6 MBytes   709 Mbits/sec  0.000 ms  509/60829 (0.84%)
[208] 290.0-291.0 sec  86.0 MBytes   721 Mbits/sec  0.000 ms  576/61911 (0.93%)
[208] 291.0-292.0 sec  86.4 MBytes   724 Mbits/sec  0.000 ms 1085/62680 (1.7%)
[208] 292.0-293.0 sec  84.5 MBytes   709 Mbits/sec  0.000 ms 1013/61309 (1.7%)
[208] 293.0-294.0 sec  83.9 MBytes   704 Mbits/sec  0.015 ms 1299/61181 (2.1%)
[208] 294.0-295.0 sec  82.0 MBytes   688 Mbits/sec  0.019 ms  753/59242 (1.3%)
[208] 295.0-296.0 sec  86.9 MBytes   729 Mbits/sec  0.000 ms 1116/63070 (1.8%)
[208] 296.0-297.0 sec  85.8 MBytes   719 Mbits/sec  0.002 ms  898/62070 (1.4%)
[208] 297.0-298.0 sec  79.8 MBytes   670 Mbits/sec  0.000 ms 1038/57996 (1.8%)
[208] 298.0-299.0 sec  84.3 MBytes   708 Mbits/sec  0.000 ms  809/60974 (1.3%)
[208] 299.0-300.0 sec  85.8 MBytes   719 Mbits/sec  0.000 ms  940/62107 (1.5%)
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth       Jitter   Lost/Total Datagrams
[208]  0.0-300.0 sec  25072 MBytes   701 Mbits/sec  0.586 ms 318594/18202821 (1.8%)
```

Şekil 5.36: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2- 2,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

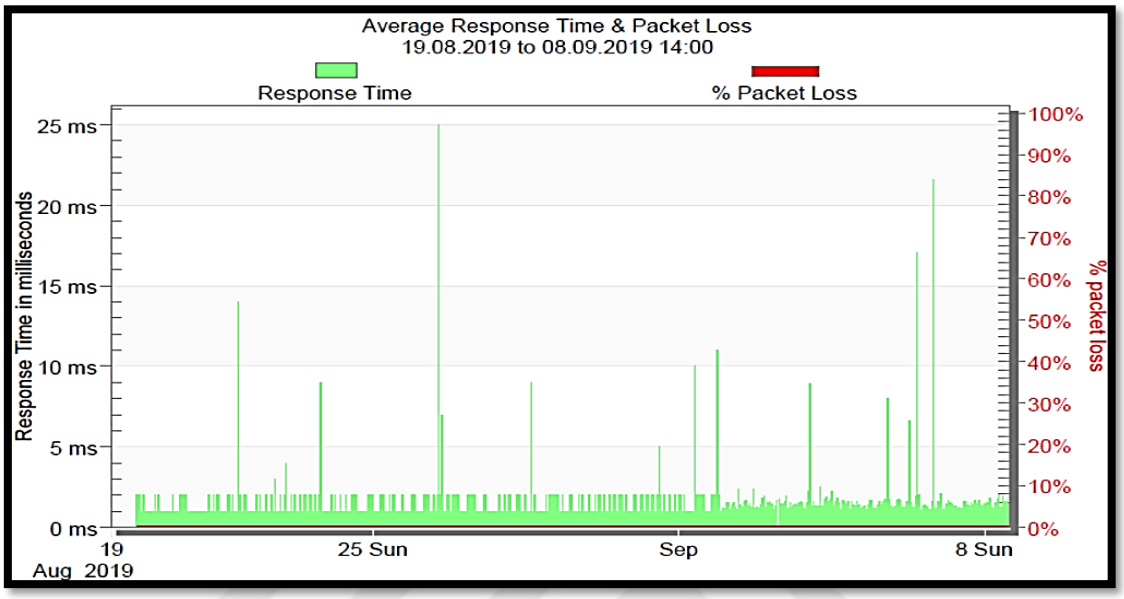
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. RAM kullanım oranının %6 civarında olduğu görüldü.

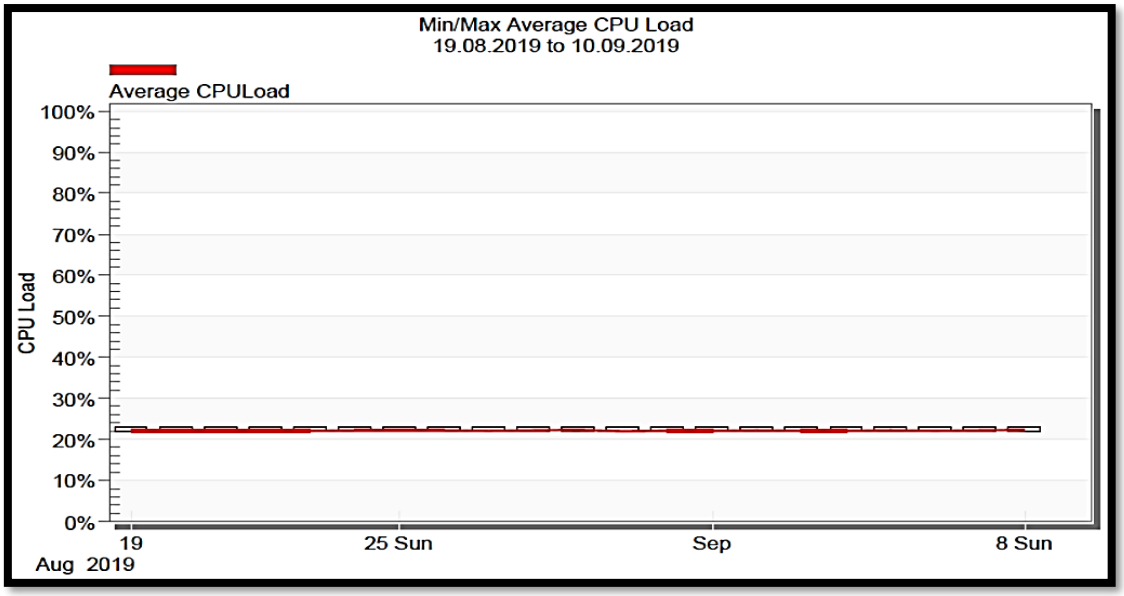
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 114 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.294 ms, Lost/Total Datagrams oranı 57237/2959289 (1.9%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 701 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 318594/18202821 (1.8%) şeklinde görüldü.

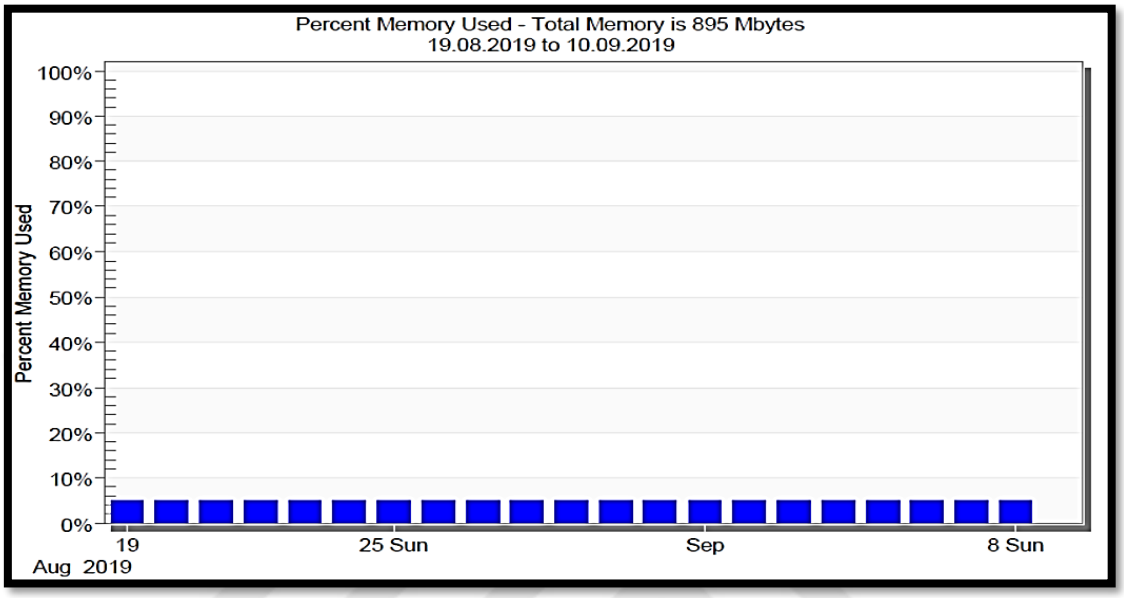
5.5.8 E2 İstasyonu



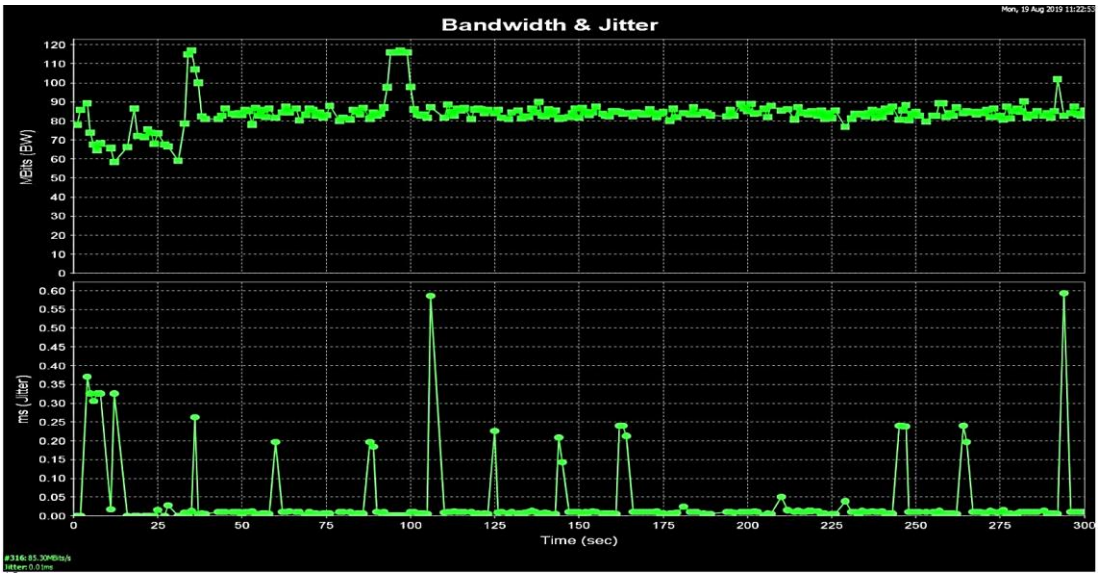
Şekil 5.37: E2 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



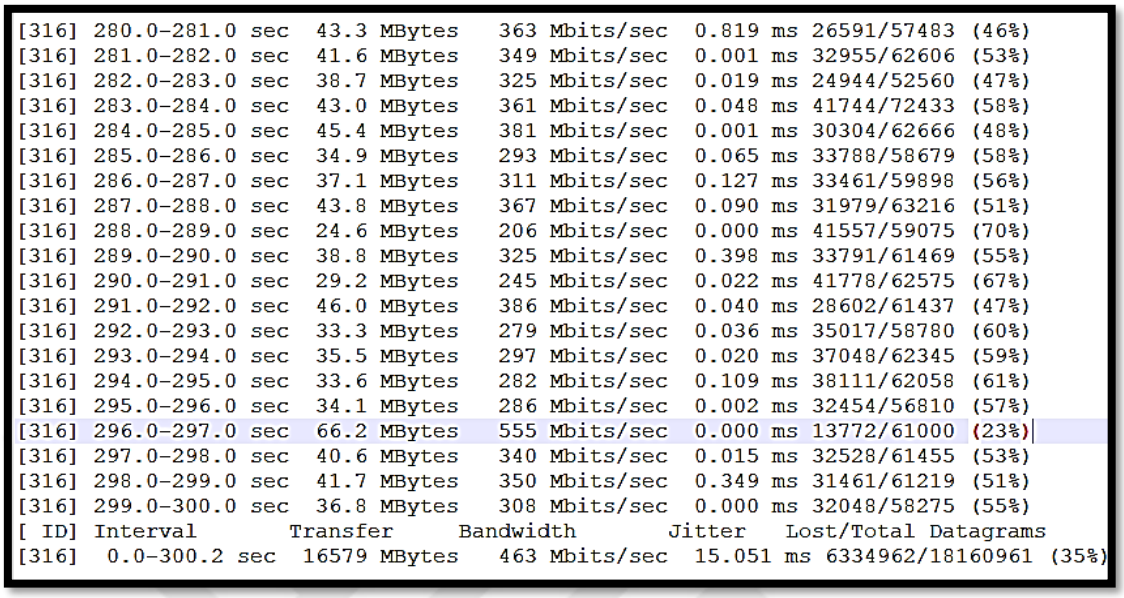
Şekil 5.38: E2 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.39: E2 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.40: 100 Mbit/sn sanal trafik.



```
[316] 280.0-281.0 sec  43.3 MBytes   363 Mbits/sec  0.819 ms 26591/57483 (46%)
[316] 281.0-282.0 sec  41.6 MBytes   349 Mbits/sec  0.001 ms 32955/62606 (53%)
[316] 282.0-283.0 sec  38.7 MBytes   325 Mbits/sec  0.019 ms 24944/52560 (47%)
[316] 283.0-284.0 sec  43.0 MBytes   361 Mbits/sec  0.048 ms 41744/72433 (58%)
[316] 284.0-285.0 sec  45.4 MBytes   381 Mbits/sec  0.001 ms 30304/62666 (48%)
[316] 285.0-286.0 sec  34.9 MBytes   293 Mbits/sec  0.065 ms 33788/58679 (58%)
[316] 286.0-287.0 sec  37.1 MBytes   311 Mbits/sec  0.127 ms 33461/59898 (56%)
[316] 287.0-288.0 sec  43.8 MBytes   367 Mbits/sec  0.090 ms 31979/63216 (51%)
[316] 288.0-289.0 sec  24.6 MBytes   206 Mbits/sec  0.000 ms 41557/59075 (70%)
[316] 289.0-290.0 sec  38.8 MBytes   325 Mbits/sec  0.398 ms 33791/61469 (55%)
[316] 290.0-291.0 sec  29.2 MBytes   245 Mbits/sec  0.022 ms 41778/62575 (67%)
[316] 291.0-292.0 sec  46.0 MBytes   386 Mbits/sec  0.040 ms 28602/61437 (47%)
[316] 292.0-293.0 sec  33.3 MBytes   279 Mbits/sec  0.036 ms 35017/58780 (60%)
[316] 293.0-294.0 sec  35.5 MBytes   297 Mbits/sec  0.020 ms 37048/62345 (59%)
[316] 294.0-295.0 sec  33.6 MBytes   282 Mbits/sec  0.109 ms 38111/62058 (61%)
[316] 295.0-296.0 sec  34.1 MBytes   286 Mbits/sec  0.002 ms 32454/56810 (57%)
[316] 296.0-297.0 sec  66.2 MBytes   555 Mbits/sec  0.000 ms 13772/61000 (23%)
[316] 297.0-298.0 sec  40.6 MBytes   340 Mbits/sec  0.015 ms 32528/61455 (53%)
[316] 298.0-299.0 sec  41.7 MBytes   350 Mbits/sec  0.349 ms 31461/61219 (51%)
[316] 299.0-300.0 sec  36.8 MBytes   308 Mbits/sec  0.000 ms 32048/58275 (55%)
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth       Jitter   Lost/Total Datagrams
[316]  0.0-300.2 sec  16579 MBytes   463 Mbits/sec  15.051 ms 6334962/18160961 (35%)
```

Şekil 5.41: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2 ms civarında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

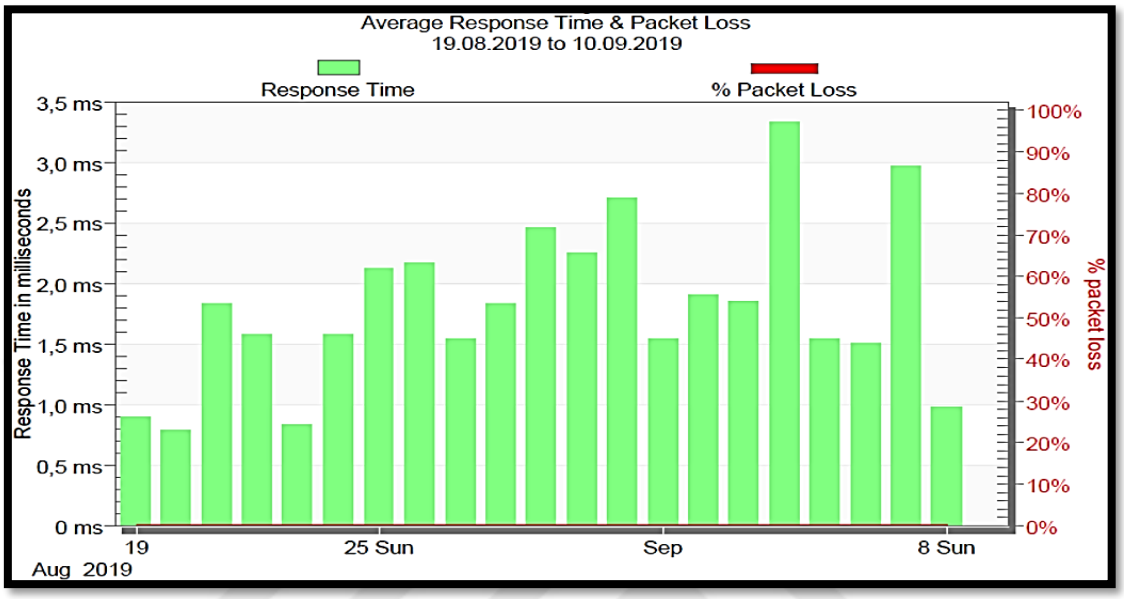
ii. Average CPU Load değeri %21 seviyelerindedir.

iii. RAM kullanım oranının %8 civarında olduğu görüldü.

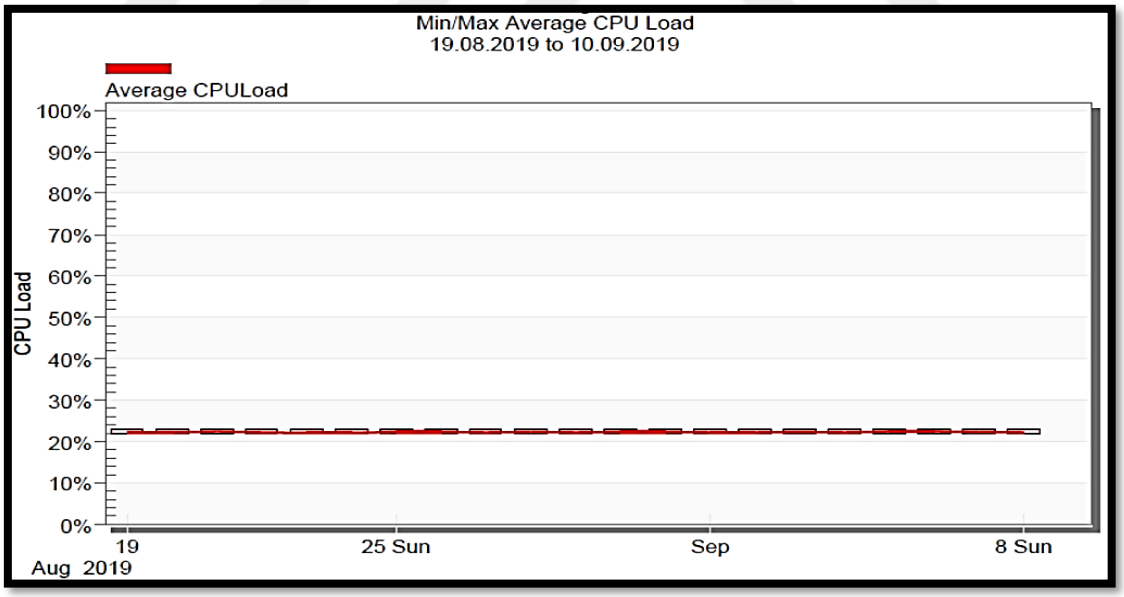
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 83,8 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.347 ms, Lost/Total Datagrams oranı 849779/2987342 (28%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 463 MBit/sn, ortalama jitter değeri 15.051 ms, Lost/Total Datagrams oranı 6334962/18160961 (35%) şeklinde görüldü.

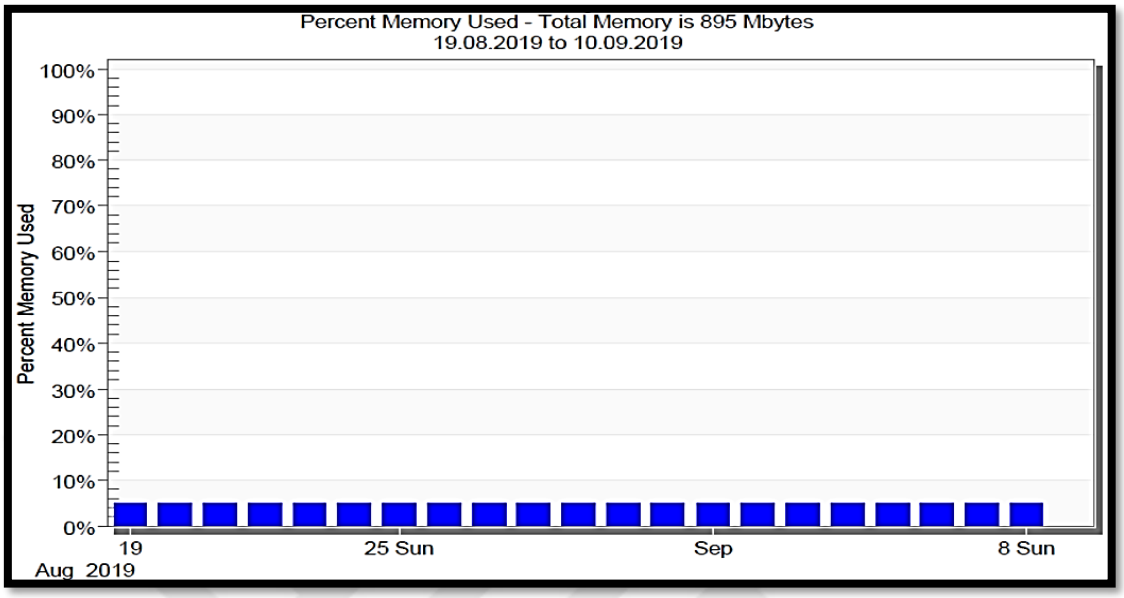
5.5.9 E3 İstasyonu



Şekil 5.42: E3 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



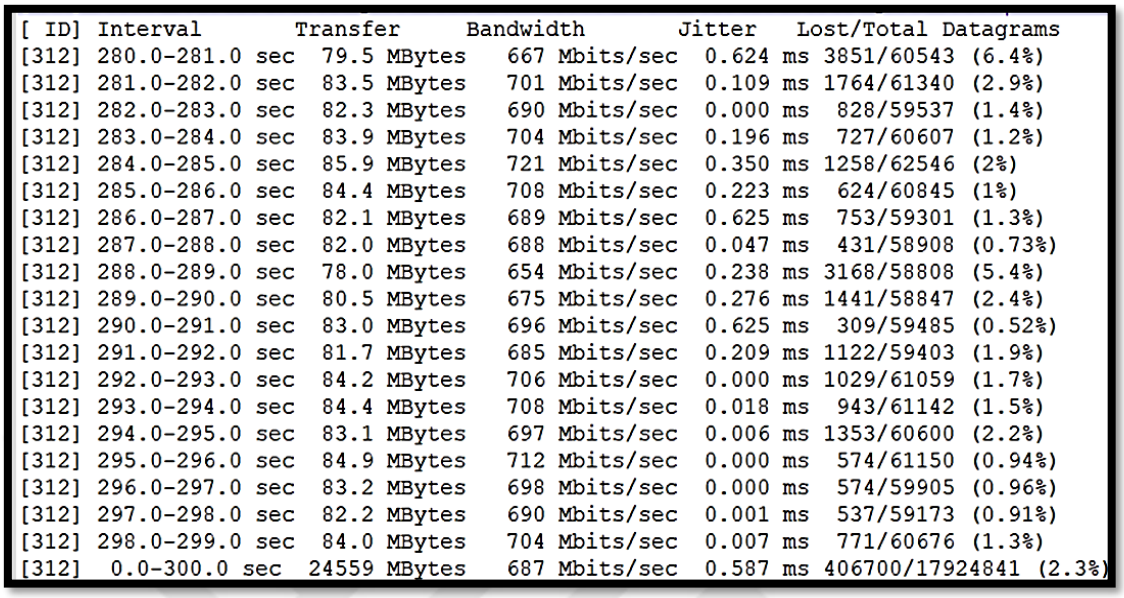
Şekil 5.43: E3 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.44: E3 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.45: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[312]	280.0-281.0 sec	79.5 MBytes	667 Mbits/sec	0.624 ms	3851/60543 (6.4%)
[312]	281.0-282.0 sec	83.5 MBytes	701 Mbits/sec	0.109 ms	1764/61340 (2.9%)
[312]	282.0-283.0 sec	82.3 MBytes	690 Mbits/sec	0.000 ms	828/59537 (1.4%)
[312]	283.0-284.0 sec	83.9 MBytes	704 Mbits/sec	0.196 ms	727/60607 (1.2%)
[312]	284.0-285.0 sec	85.9 MBytes	721 Mbits/sec	0.350 ms	1258/62546 (2%)
[312]	285.0-286.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.223 ms	624/60845 (1%)
[312]	286.0-287.0 sec	82.1 MBytes	689 Mbits/sec	0.625 ms	753/59301 (1.3%)
[312]	287.0-288.0 sec	82.0 MBytes	688 Mbits/sec	0.047 ms	431/58908 (0.73%)
[312]	288.0-289.0 sec	78.0 MBytes	654 Mbits/sec	0.238 ms	3168/58808 (5.4%)
[312]	289.0-290.0 sec	80.5 MBytes	675 Mbits/sec	0.276 ms	1441/58847 (2.4%)
[312]	290.0-291.0 sec	83.0 MBytes	696 Mbits/sec	0.625 ms	309/59485 (0.52%)
[312]	291.0-292.0 sec	81.7 MBytes	685 Mbits/sec	0.209 ms	1122/59403 (1.9%)
[312]	292.0-293.0 sec	84.2 MBytes	706 Mbits/sec	0.000 ms	1029/61059 (1.7%)
[312]	293.0-294.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.018 ms	943/61142 (1.5%)
[312]	294.0-295.0 sec	83.1 MBytes	697 Mbits/sec	0.006 ms	1353/60600 (2.2%)
[312]	295.0-296.0 sec	84.9 MBytes	712 Mbits/sec	0.000 ms	574/61150 (0.94%)
[312]	296.0-297.0 sec	83.2 MBytes	698 Mbits/sec	0.000 ms	574/59905 (0.96%)
[312]	297.0-298.0 sec	82.2 MBytes	690 Mbits/sec	0.001 ms	537/59173 (0.91%)
[312]	298.0-299.0 sec	84.0 MBytes	704 Mbits/sec	0.007 ms	771/60676 (1.3%)
[312]	0.0-300.0 sec	24559 MBytes	687 Mbits/sec	0.587 ms	406700/17924841 (2.3%)

Şekil 5.46: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2 ms civarında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

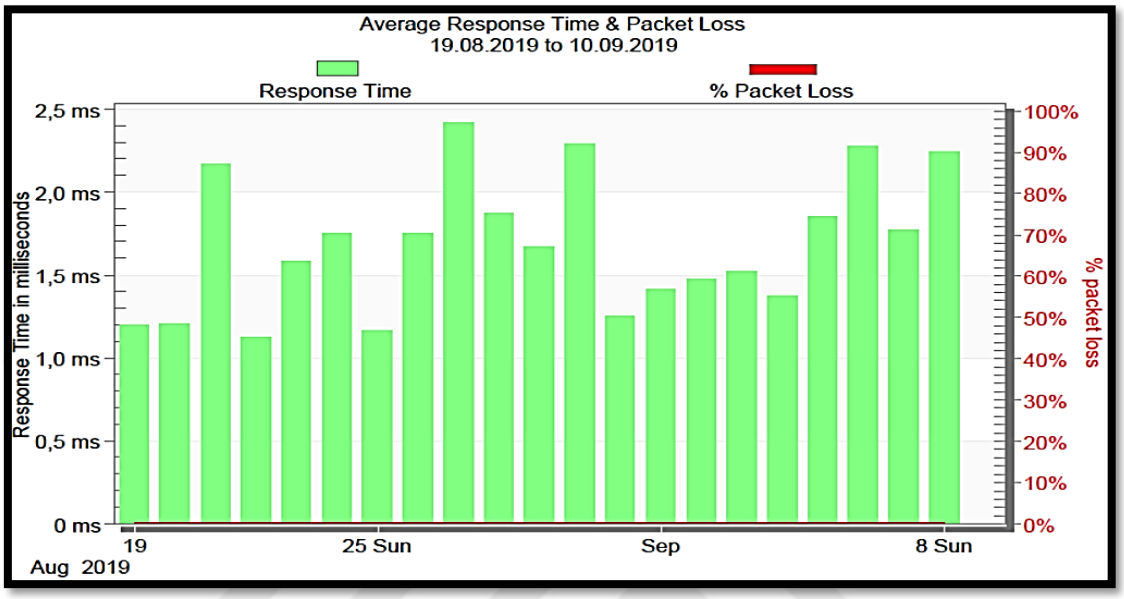
ii. Average CPU Load değeri %21 seviyelerindedir.

iii. RAM kullanım oranının %8 civarında olduğu görüldü.

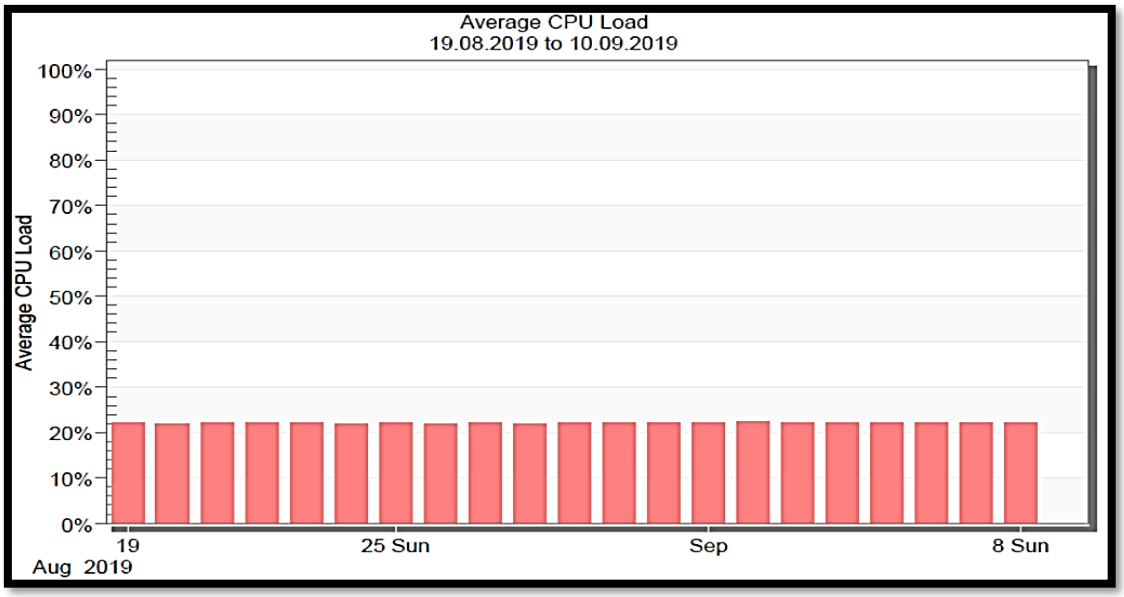
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 115 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 57219/2985908 (1.9%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 687 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.587 ms, Lost/Total Datagrams oranı 406700/17924841 (2.3%) şeklinde görüldü.

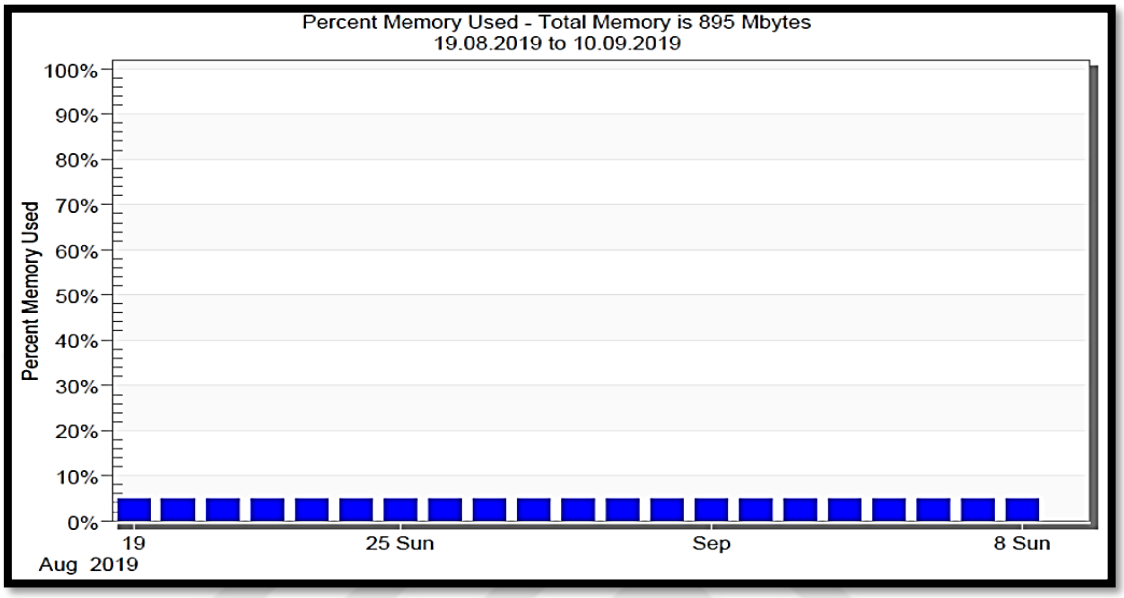
5.5.10 E4 İstasyonu



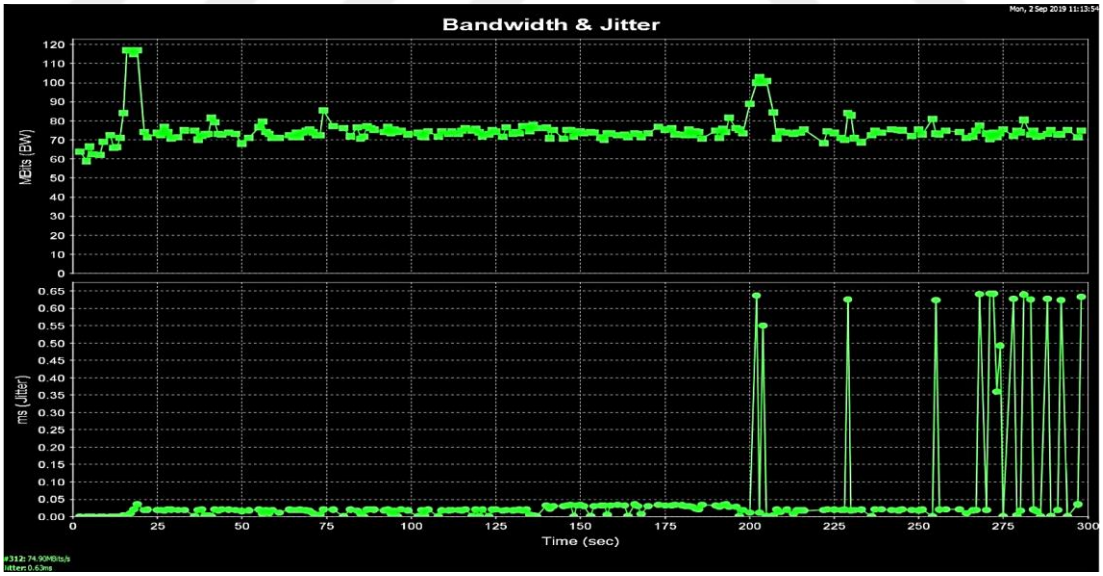
Şekil 5.47: E4 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



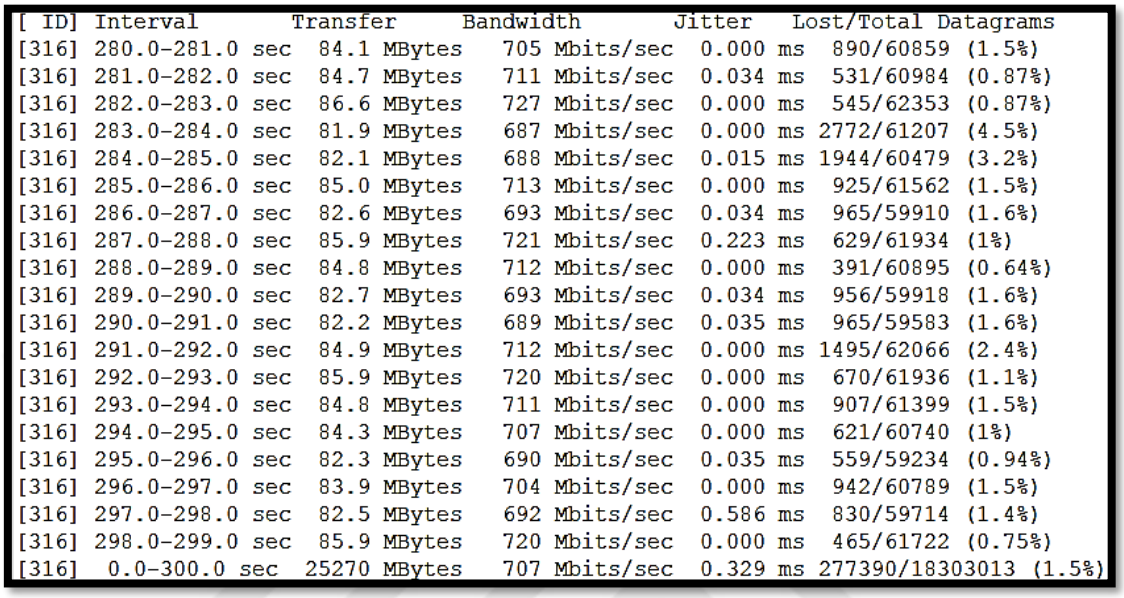
Şekil 5.48: E4 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.49: E4 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.50: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[316]	280.0-281.0 sec	84.1 MBytes	705 Mbits/sec	0.000 ms	890/60859 (1.5%)
[316]	281.0-282.0 sec	84.7 MBytes	711 Mbits/sec	0.034 ms	531/60984 (0.87%)
[316]	282.0-283.0 sec	86.6 MBytes	727 Mbits/sec	0.000 ms	545/62353 (0.87%)
[316]	283.0-284.0 sec	81.9 MBytes	687 Mbits/sec	0.000 ms	2772/61207 (4.5%)
[316]	284.0-285.0 sec	82.1 MBytes	688 Mbits/sec	0.015 ms	1944/60479 (3.2%)
[316]	285.0-286.0 sec	85.0 MBytes	713 Mbits/sec	0.000 ms	925/61562 (1.5%)
[316]	286.0-287.0 sec	82.6 MBytes	693 Mbits/sec	0.034 ms	965/59910 (1.6%)
[316]	287.0-288.0 sec	85.9 MBytes	721 Mbits/sec	0.223 ms	629/61934 (1%)
[316]	288.0-289.0 sec	84.8 MBytes	712 Mbits/sec	0.000 ms	391/60895 (0.64%)
[316]	289.0-290.0 sec	82.7 MBytes	693 Mbits/sec	0.034 ms	956/59918 (1.6%)
[316]	290.0-291.0 sec	82.2 MBytes	689 Mbits/sec	0.035 ms	965/59583 (1.6%)
[316]	291.0-292.0 sec	84.9 MBytes	712 Mbits/sec	0.000 ms	1495/62066 (2.4%)
[316]	292.0-293.0 sec	85.9 MBytes	720 Mbits/sec	0.000 ms	670/61936 (1.1%)
[316]	293.0-294.0 sec	84.8 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	907/61399 (1.5%)
[316]	294.0-295.0 sec	84.3 MBytes	707 Mbits/sec	0.000 ms	621/60740 (1%)
[316]	295.0-296.0 sec	82.3 MBytes	690 Mbits/sec	0.035 ms	559/59234 (0.94%)
[316]	296.0-297.0 sec	83.9 MBytes	704 Mbits/sec	0.000 ms	942/60789 (1.5%)
[316]	297.0-298.0 sec	82.5 MBytes	692 Mbits/sec	0.586 ms	830/59714 (1.4%)
[316]	298.0-299.0 sec	85.9 MBytes	720 Mbits/sec	0.000 ms	465/61722 (0.75%)
[316]	0.0-300.0 sec	25270 MBytes	707 Mbits/sec	0.329 ms	277390/18303013 (1.5%)

Şekil 5.51: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1- 1.5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi

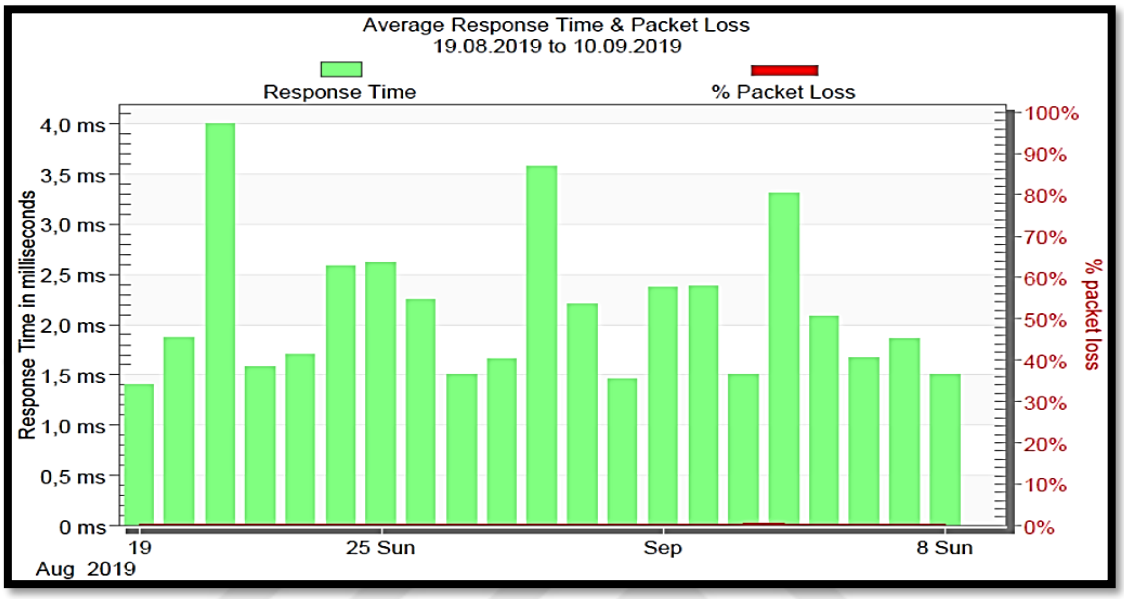
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. RAM Kullanım oranı %4 civarındadır.

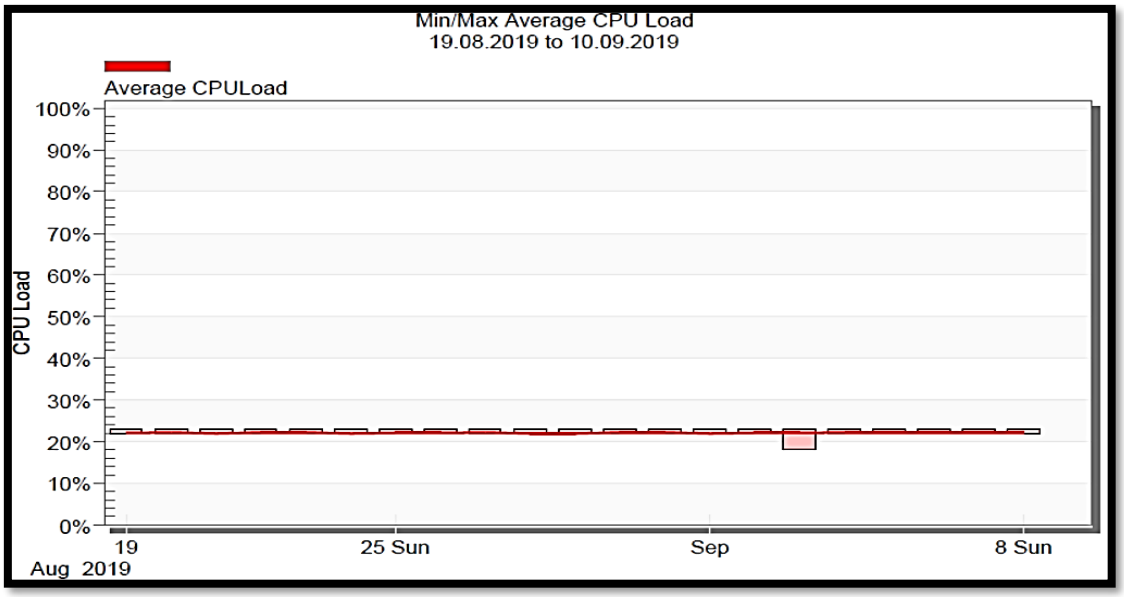
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 75,1 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 1073829/2988452 (36%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 707 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.329 ms, Lost/Total Datagrams oranı 277390/18303013 (1,5%) şeklinde görüldü.

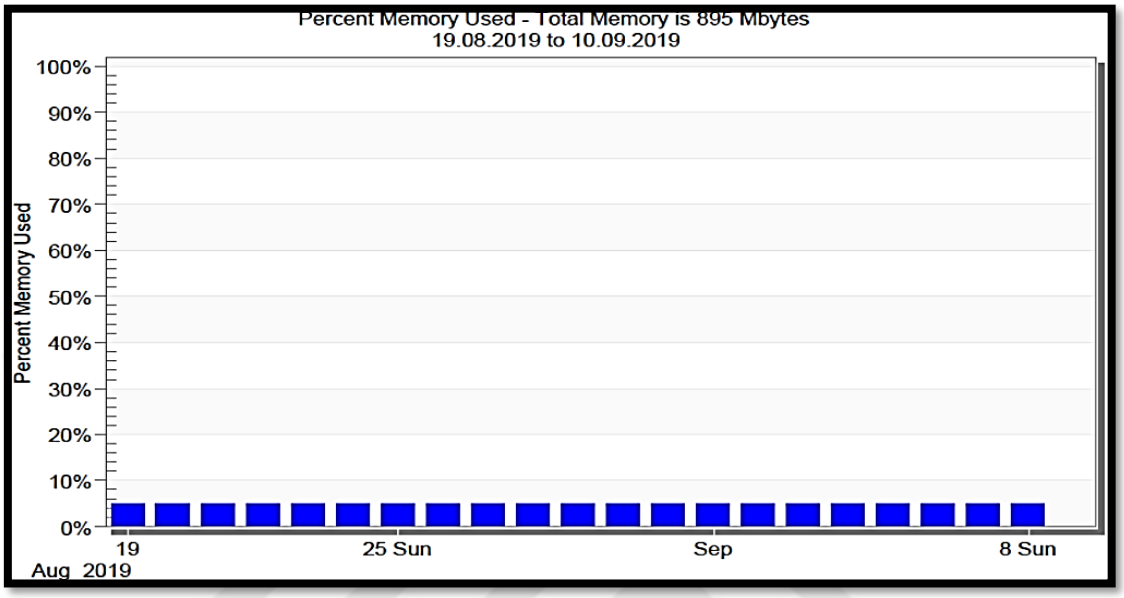
5.5.11 E5 İstasyonu



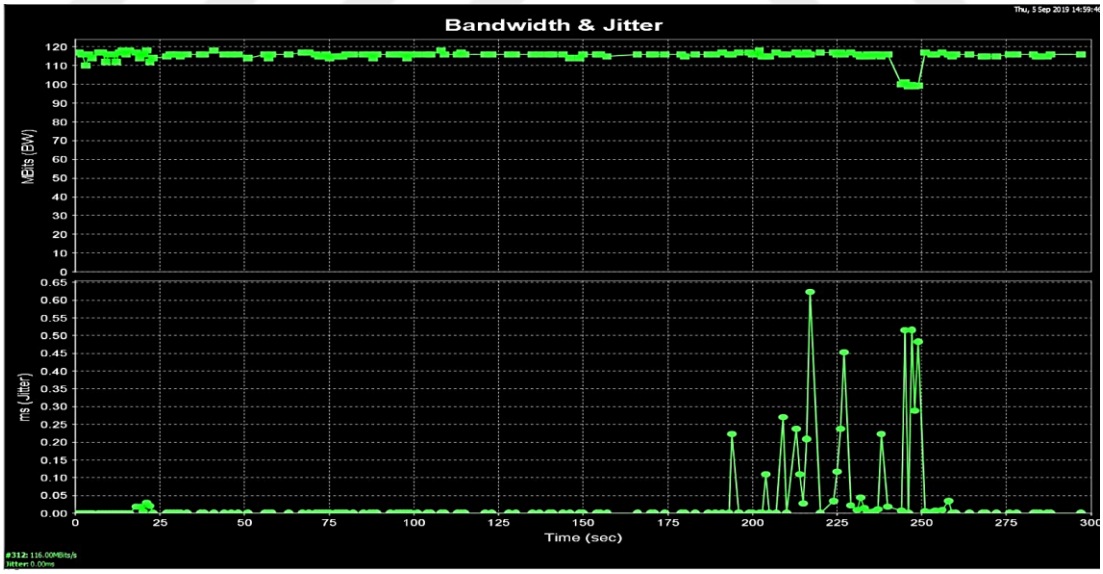
Şekil 5.52: E5 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



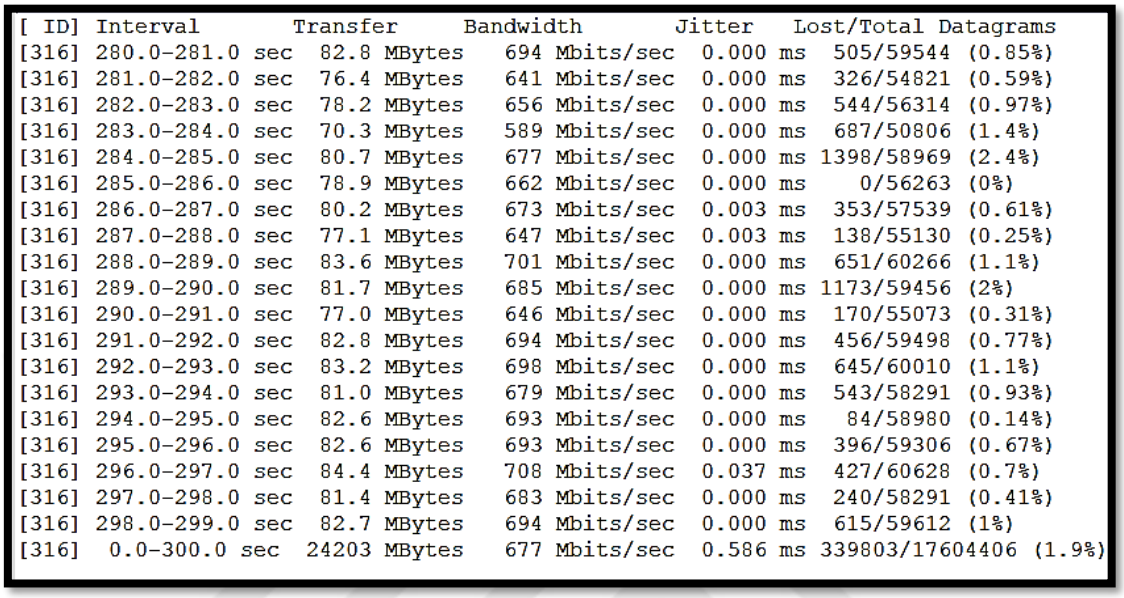
Şekil 5.53: E5 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.54: E5 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.55: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[316]	280.0-281.0 sec	82.8 MBytes	694 Mbits/sec	0.000 ms	505/59544 (0.85%)
[316]	281.0-282.0 sec	76.4 MBytes	641 Mbits/sec	0.000 ms	326/54821 (0.59%)
[316]	282.0-283.0 sec	78.2 MBytes	656 Mbits/sec	0.000 ms	544/56314 (0.97%)
[316]	283.0-284.0 sec	70.3 MBytes	589 Mbits/sec	0.000 ms	687/50806 (1.4%)
[316]	284.0-285.0 sec	80.7 MBytes	677 Mbits/sec	0.000 ms	1398/58969 (2.4%)
[316]	285.0-286.0 sec	78.9 MBytes	662 Mbits/sec	0.000 ms	0/56263 (0%)
[316]	286.0-287.0 sec	80.2 MBytes	673 Mbits/sec	0.003 ms	353/57539 (0.61%)
[316]	287.0-288.0 sec	77.1 MBytes	647 Mbits/sec	0.003 ms	138/55130 (0.25%)
[316]	288.0-289.0 sec	83.6 MBytes	701 Mbits/sec	0.000 ms	651/60266 (1.1%)
[316]	289.0-290.0 sec	81.7 MBytes	685 Mbits/sec	0.000 ms	1173/59456 (2%)
[316]	290.0-291.0 sec	77.0 MBytes	646 Mbits/sec	0.000 ms	170/55073 (0.31%)
[316]	291.0-292.0 sec	82.8 MBytes	694 Mbits/sec	0.000 ms	456/59498 (0.77%)
[316]	292.0-293.0 sec	83.2 MBytes	698 Mbits/sec	0.000 ms	645/60010 (1.1%)
[316]	293.0-294.0 sec	81.0 MBytes	679 Mbits/sec	0.000 ms	543/58291 (0.93%)
[316]	294.0-295.0 sec	82.6 MBytes	693 Mbits/sec	0.000 ms	84/58980 (0.14%)
[316]	295.0-296.0 sec	82.6 MBytes	693 Mbits/sec	0.000 ms	396/59306 (0.67%)
[316]	296.0-297.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.037 ms	427/60628 (0.7%)
[316]	297.0-298.0 sec	81.4 MBytes	683 Mbits/sec	0.000 ms	240/58291 (0.41%)
[316]	298.0-299.0 sec	82.7 MBytes	694 Mbits/sec	0.000 ms	615/59612 (1%)
[316]	0.0-300.0 sec	24203 MBytes	677 Mbits/sec	0.586 ms	339803/17604406 (1.9%)

Şekil 5.56: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 2 – 2,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

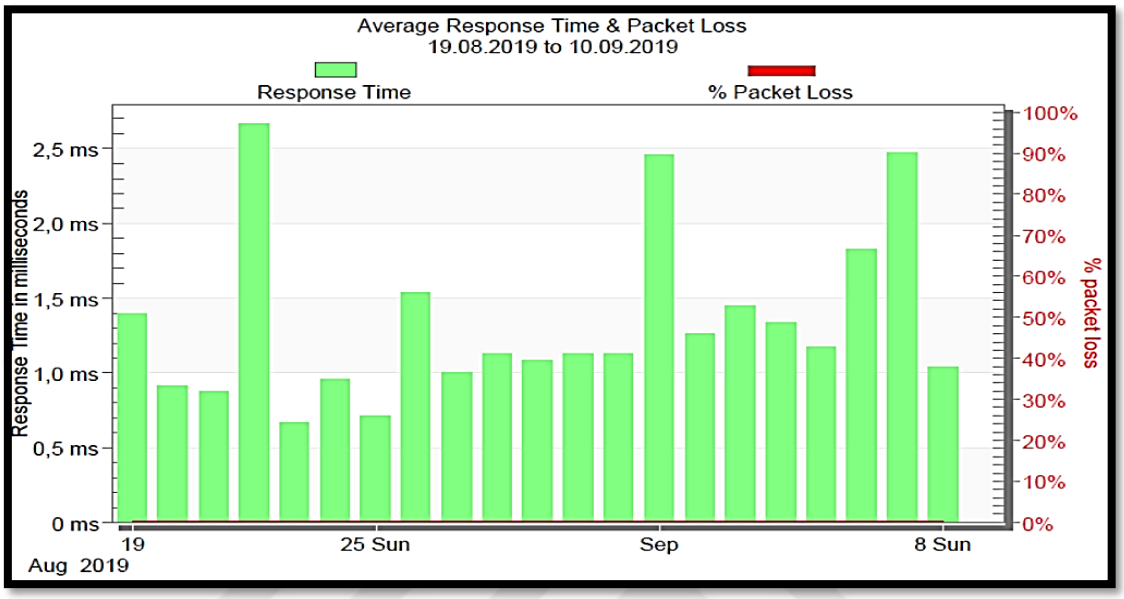
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. Ram kullanım oranı %5 civarındadır.

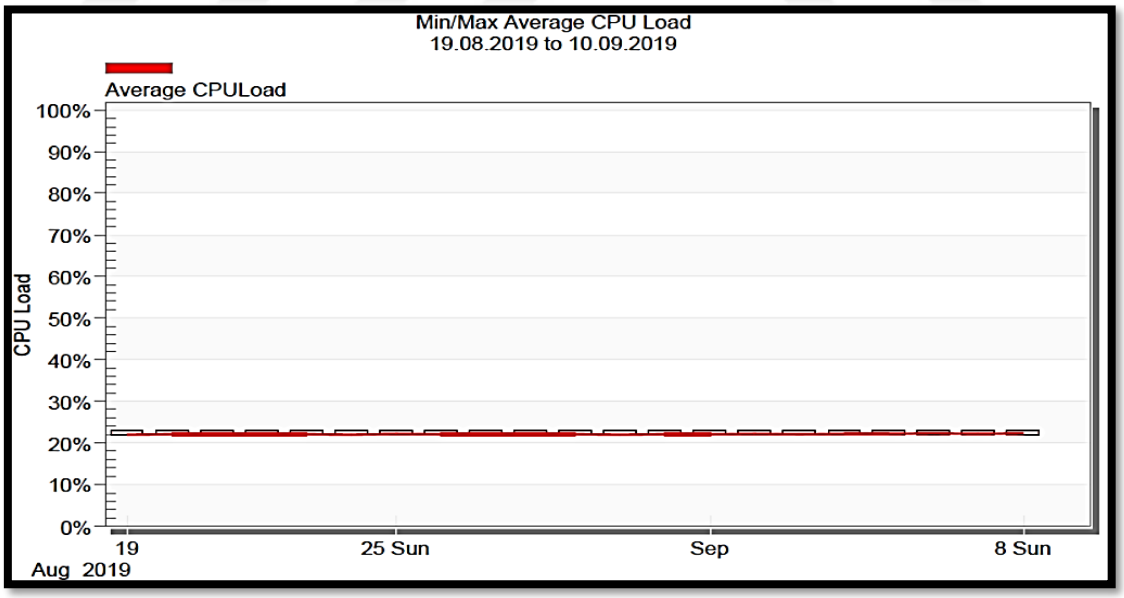
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 116 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.298 ms, Lost/Total Datagrams oranı 35323/2989327 (1.2%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 677 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 339803/17604406 (1.9%) şeklinde görüldü.

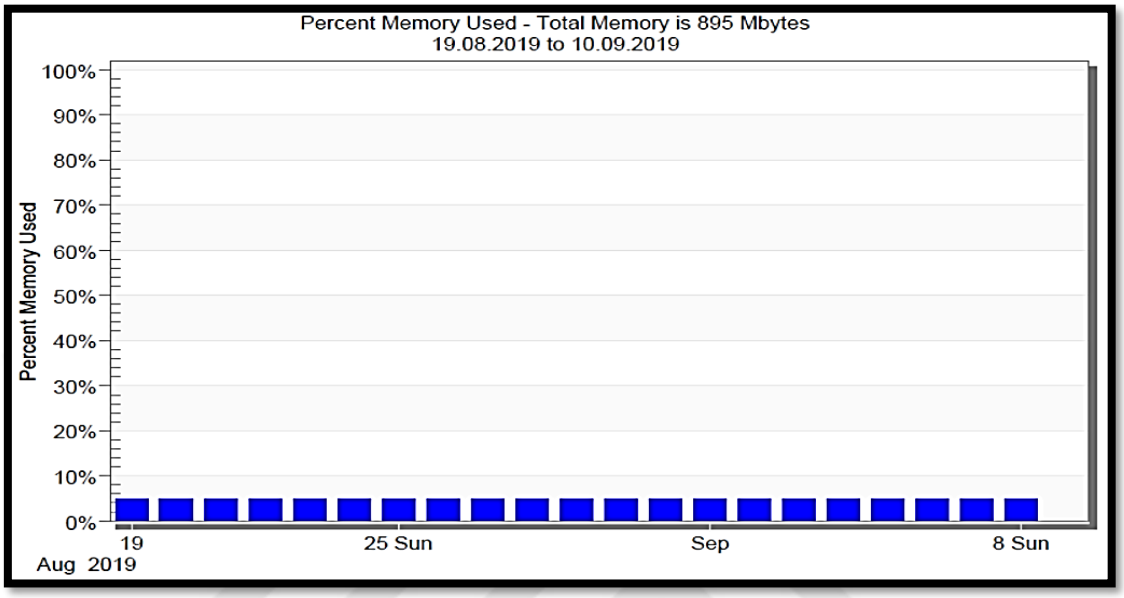
5.5.12 E6 İstasyonu



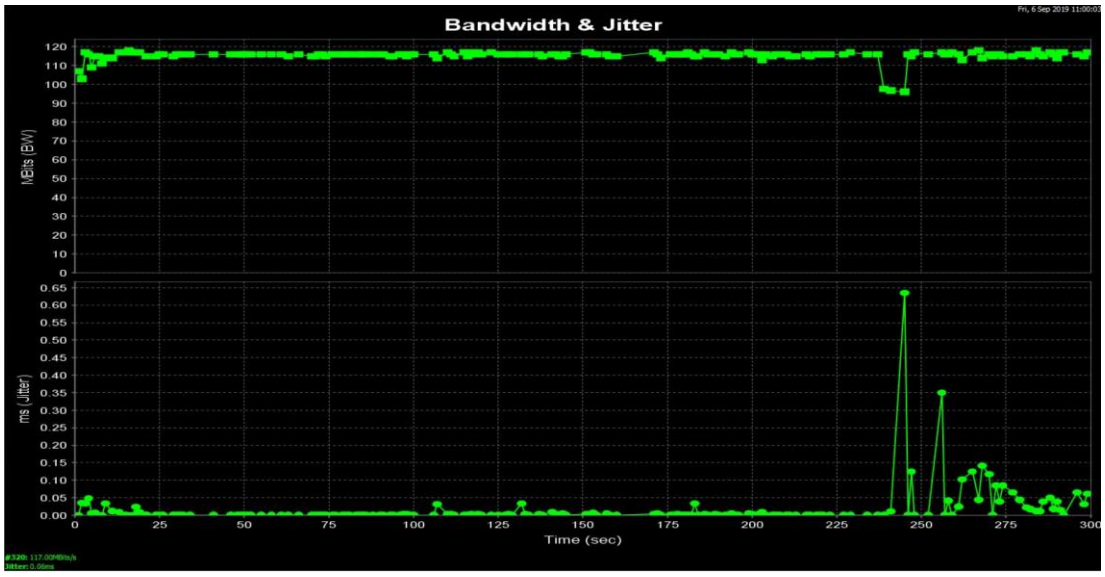
Şekil 5.57: E6 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



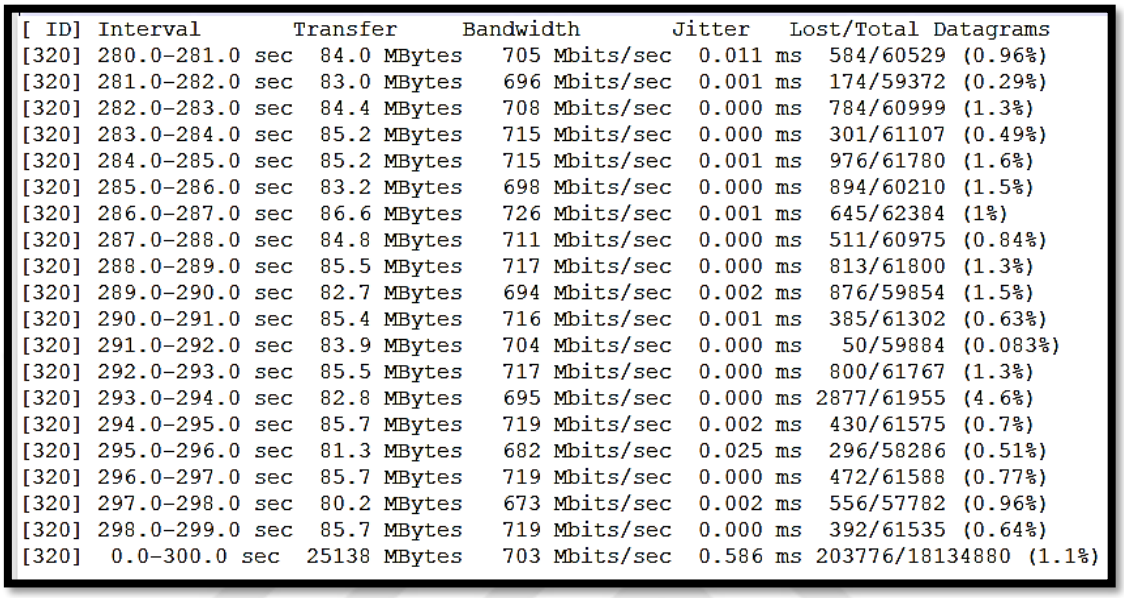
Şekil 5.58: E6 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.59: E6 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.60: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[320]	280.0-281.0 sec	84.0 MBytes	705 Mbits/sec	0.011 ms	584/60529 (0.96%)
[320]	281.0-282.0 sec	83.0 MBytes	696 Mbits/sec	0.001 ms	174/59372 (0.29%)
[320]	282.0-283.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.000 ms	784/60999 (1.3%)
[320]	283.0-284.0 sec	85.2 MBytes	715 Mbits/sec	0.000 ms	301/61107 (0.49%)
[320]	284.0-285.0 sec	85.2 MBytes	715 Mbits/sec	0.001 ms	976/61780 (1.6%)
[320]	285.0-286.0 sec	83.2 MBytes	698 Mbits/sec	0.000 ms	894/60210 (1.5%)
[320]	286.0-287.0 sec	86.6 MBytes	726 Mbits/sec	0.001 ms	645/62384 (1%)
[320]	287.0-288.0 sec	84.8 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	511/60975 (0.84%)
[320]	288.0-289.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.000 ms	813/61800 (1.3%)
[320]	289.0-290.0 sec	82.7 MBytes	694 Mbits/sec	0.002 ms	876/59854 (1.5%)
[320]	290.0-291.0 sec	85.4 MBytes	716 Mbits/sec	0.001 ms	385/61302 (0.63%)
[320]	291.0-292.0 sec	83.9 MBytes	704 Mbits/sec	0.000 ms	50/59884 (0.083%)
[320]	292.0-293.0 sec	85.5 MBytes	717 Mbits/sec	0.000 ms	800/61767 (1.3%)
[320]	293.0-294.0 sec	82.8 MBytes	695 Mbits/sec	0.000 ms	2877/61955 (4.6%)
[320]	294.0-295.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.002 ms	430/61575 (0.7%)
[320]	295.0-296.0 sec	81.3 MBytes	682 Mbits/sec	0.025 ms	296/58286 (0.51%)
[320]	296.0-297.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.000 ms	472/61588 (0.77%)
[320]	297.0-298.0 sec	80.2 MBytes	673 Mbits/sec	0.002 ms	556/57782 (0.96%)
[320]	298.0-299.0 sec	85.7 MBytes	719 Mbits/sec	0.000 ms	392/61535 (0.64%)
[320]	0.0-300.0 sec	25138 MBytes	703 Mbits/sec	0.586 ms	203776/18134880 (1.1%)

Şekil 5.61: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1– 1,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

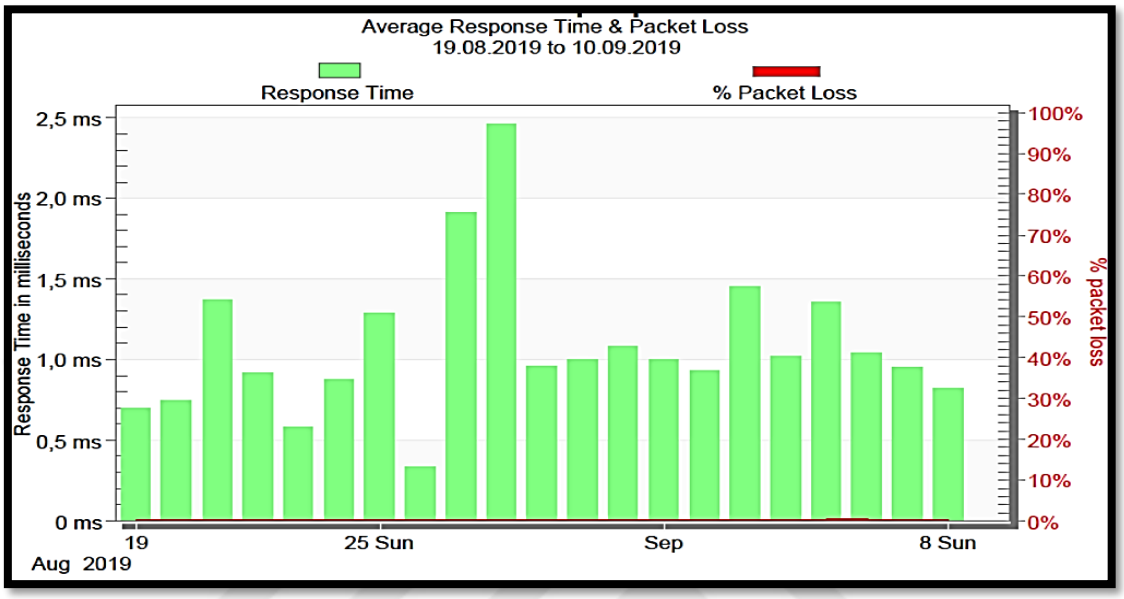
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. Ram Kullanım oranı %4 civarındadır.

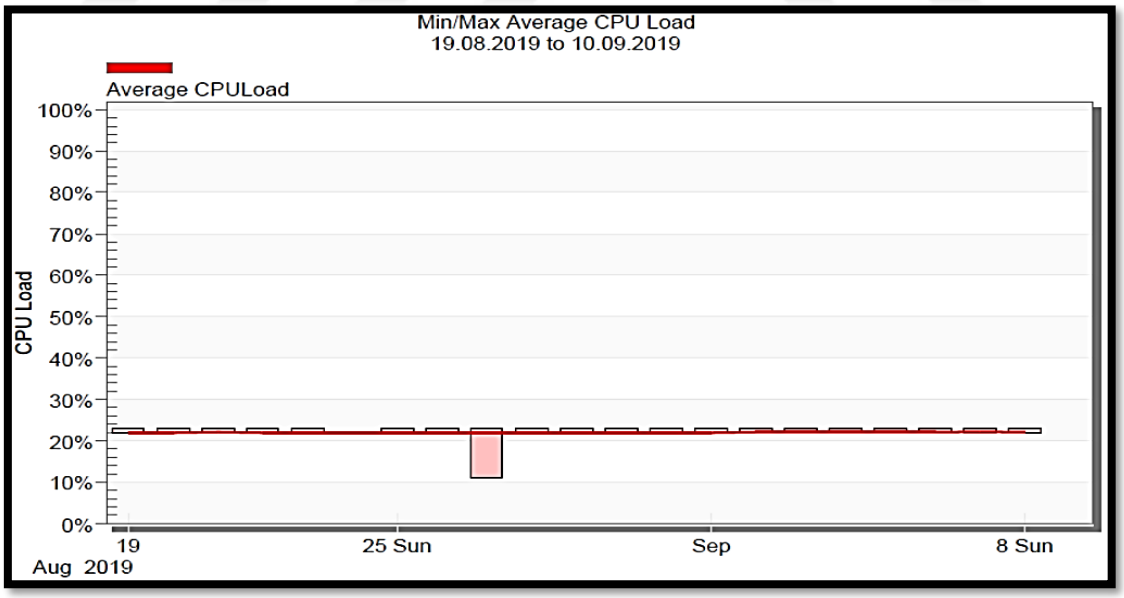
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 116 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 34060/2985716 (1.1%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 703 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 203776/18134880 (1.1%) şeklinde görüldü.

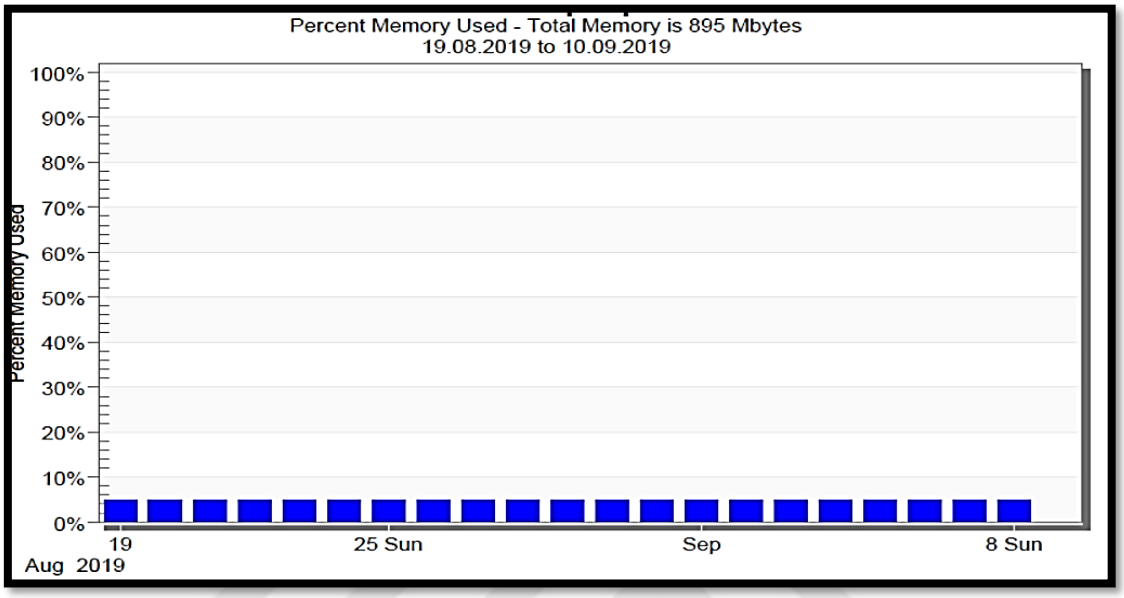
5.5.13 E7 İstasyonu



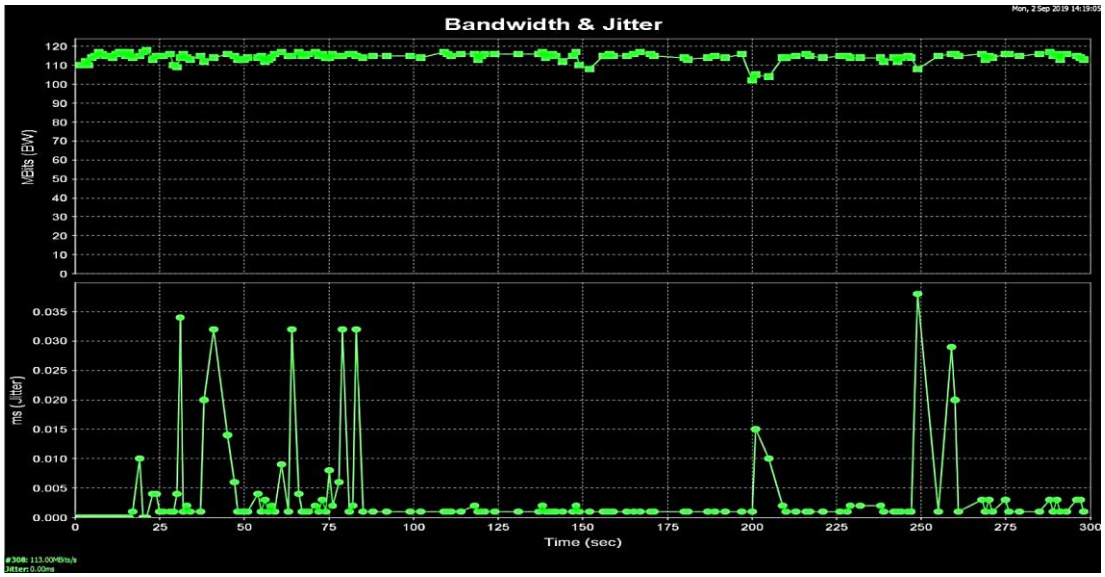
Şekil 5.62: E7 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



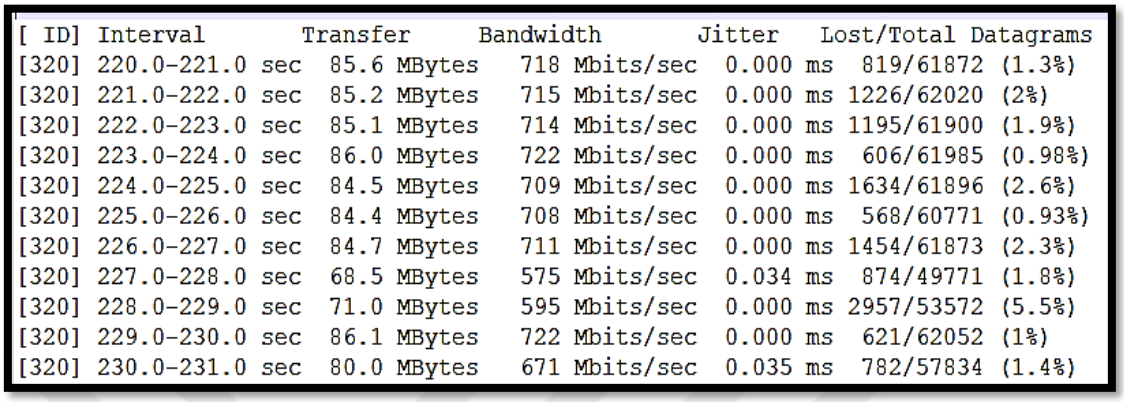
Şekil 5.63: E7 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.64: E7 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.65: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[320]	220.0-221.0 sec	85.6 MBytes	718 Mbits/sec	0.000 ms	819/61872 (1.3%)
[320]	221.0-222.0 sec	85.2 MBytes	715 Mbits/sec	0.000 ms	1226/62020 (2%)
[320]	222.0-223.0 sec	85.1 MBytes	714 Mbits/sec	0.000 ms	1195/61900 (1.9%)
[320]	223.0-224.0 sec	86.0 MBytes	722 Mbits/sec	0.000 ms	606/61985 (0.98%)
[320]	224.0-225.0 sec	84.5 MBytes	709 Mbits/sec	0.000 ms	1634/61896 (2.6%)
[320]	225.0-226.0 sec	84.4 MBytes	708 Mbits/sec	0.000 ms	568/60771 (0.93%)
[320]	226.0-227.0 sec	84.7 MBytes	711 Mbits/sec	0.000 ms	1454/61873 (2.3%)
[320]	227.0-228.0 sec	68.5 MBytes	575 Mbits/sec	0.034 ms	874/49771 (1.8%)
[320]	228.0-229.0 sec	71.0 MBytes	595 Mbits/sec	0.000 ms	2957/53572 (5.5%)
[320]	229.0-230.0 sec	86.1 MBytes	722 Mbits/sec	0.000 ms	621/62052 (1%)
[320]	230.0-231.0 sec	80.0 MBytes	671 Mbits/sec	0.035 ms	782/57834 (1.4%)

Şekil 5.66: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1 – 1,5 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

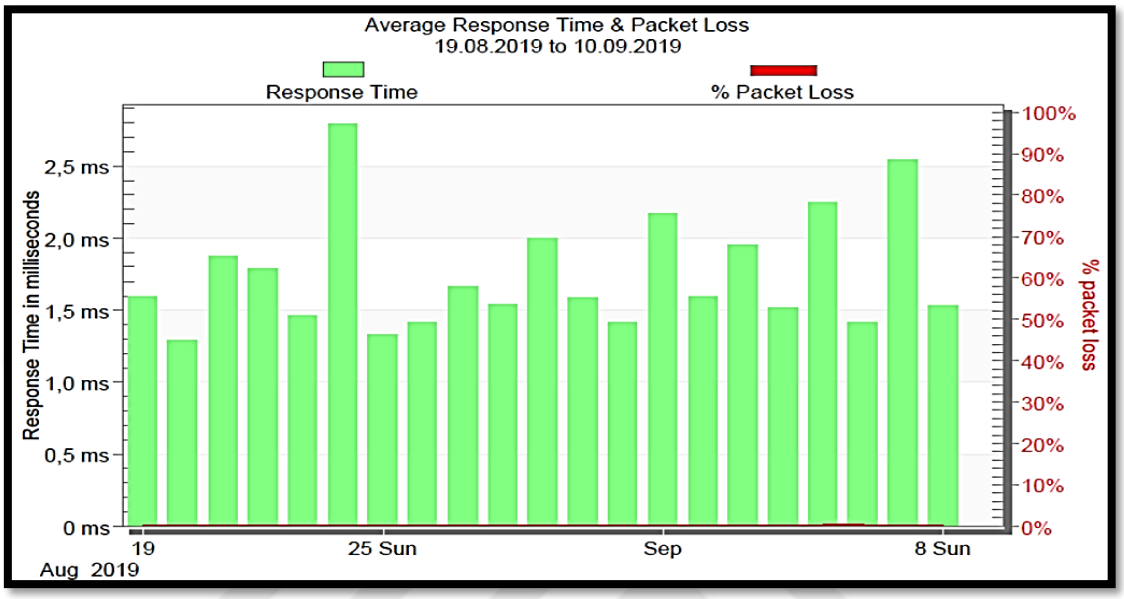
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. Ram Kullanım oranı %4 civarındadır.

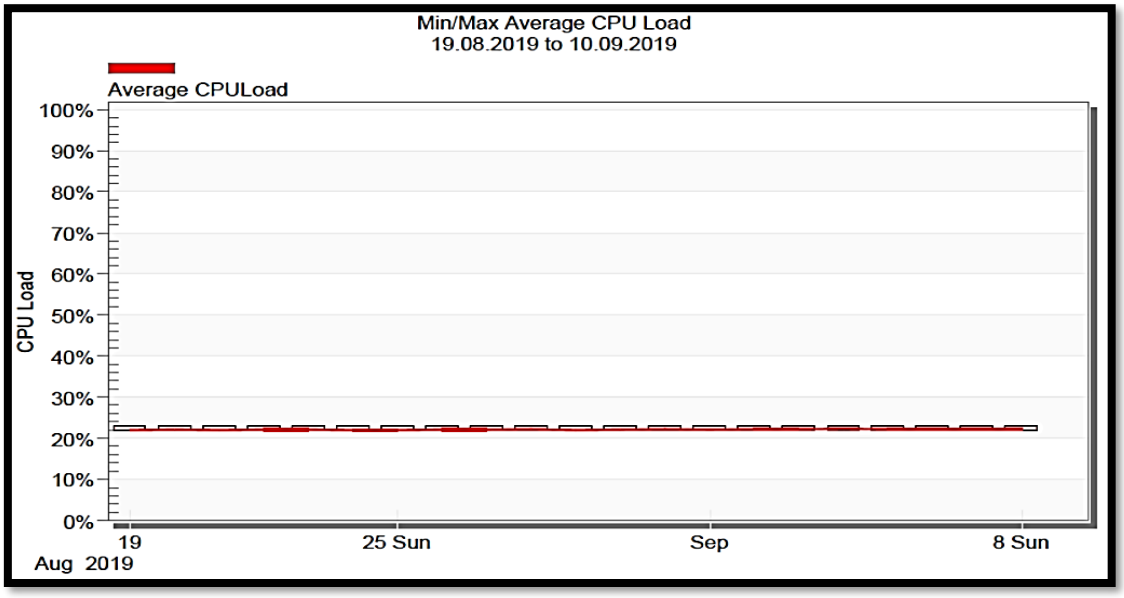
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 115 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.586 ms, Lost/Total Datagrams oranı 59601/2990201 (2%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 671 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.35 ms, Lost/Total Datagrams oranı 782/57834 (1.4%) şeklinde görüldü.

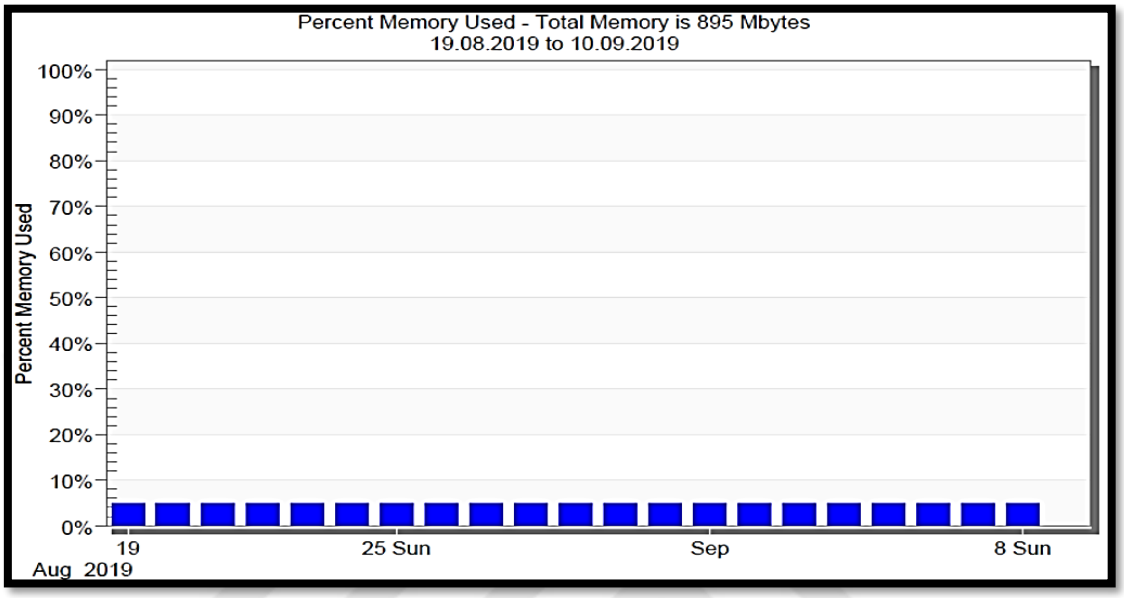
5.5.14 E8 İstasyonu



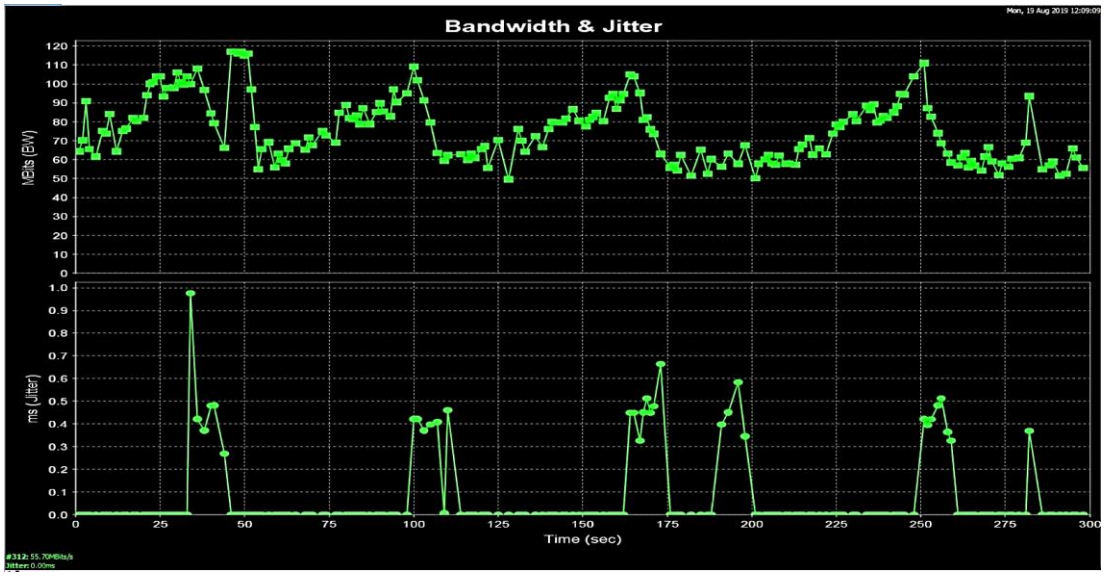
Şekil 5.67: E8 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



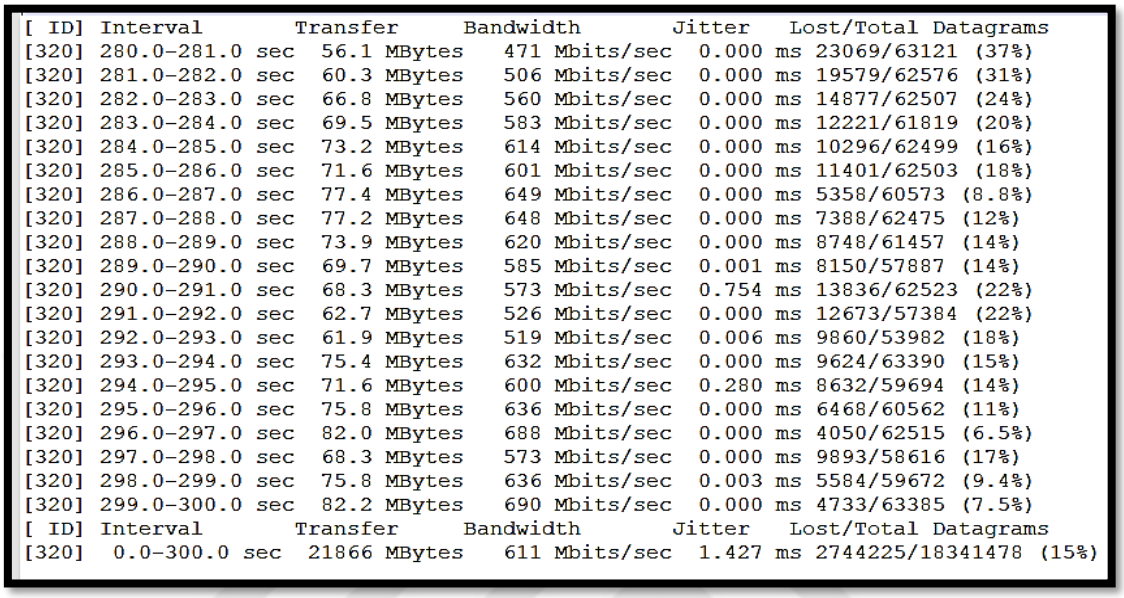
Şekil 5.68: E8 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.69: E8 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.70: 100 Mbit/sn sanal trafik.



[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[320]	280.0-281.0 sec	56.1 MBytes	471 Mbits/sec	0.000 ms	23069/63121 (37%)
[320]	281.0-282.0 sec	60.3 MBytes	506 Mbits/sec	0.000 ms	19579/62576 (31%)
[320]	282.0-283.0 sec	66.8 MBytes	560 Mbits/sec	0.000 ms	14877/62507 (24%)
[320]	283.0-284.0 sec	69.5 MBytes	583 Mbits/sec	0.000 ms	12221/61819 (20%)
[320]	284.0-285.0 sec	73.2 MBytes	614 Mbits/sec	0.000 ms	10296/62499 (16%)
[320]	285.0-286.0 sec	71.6 MBytes	601 Mbits/sec	0.000 ms	11401/62503 (18%)
[320]	286.0-287.0 sec	77.4 MBytes	649 Mbits/sec	0.000 ms	5358/60573 (8.8%)
[320]	287.0-288.0 sec	77.2 MBytes	648 Mbits/sec	0.000 ms	7388/62475 (12%)
[320]	288.0-289.0 sec	73.9 MBytes	620 Mbits/sec	0.000 ms	8748/61457 (14%)
[320]	289.0-290.0 sec	69.7 MBytes	585 Mbits/sec	0.001 ms	8150/57887 (14%)
[320]	290.0-291.0 sec	68.3 MBytes	573 Mbits/sec	0.754 ms	13836/62523 (22%)
[320]	291.0-292.0 sec	62.7 MBytes	526 Mbits/sec	0.000 ms	12673/57384 (22%)
[320]	292.0-293.0 sec	61.9 MBytes	519 Mbits/sec	0.006 ms	9860/53982 (18%)
[320]	293.0-294.0 sec	75.4 MBytes	632 Mbits/sec	0.000 ms	9624/63390 (15%)
[320]	294.0-295.0 sec	71.6 MBytes	600 Mbits/sec	0.280 ms	8632/59694 (14%)
[320]	295.0-296.0 sec	75.8 MBytes	636 Mbits/sec	0.000 ms	6468/60562 (11%)
[320]	296.0-297.0 sec	82.0 MBytes	688 Mbits/sec	0.000 ms	4050/62515 (6.5%)
[320]	297.0-298.0 sec	68.3 MBytes	573 Mbits/sec	0.000 ms	9893/58616 (17%)
[320]	298.0-299.0 sec	75.8 MBytes	636 Mbits/sec	0.003 ms	5584/59672 (9.4%)
[320]	299.0-300.0 sec	82.2 MBytes	690 Mbits/sec	0.000 ms	4733/63385 (7.5%)
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[320]	0.0-300.0 sec	21866 MBytes	611 Mbits/sec	1.427 ms	2744225/18341478 (15%)

Şekil 5.71: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1,5- 2 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

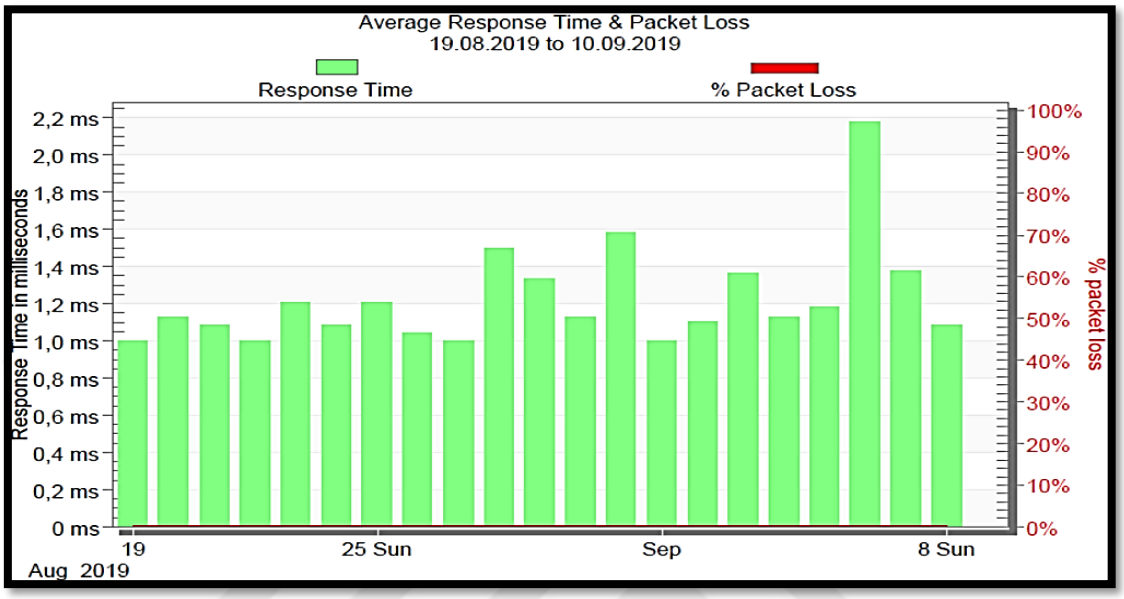
ii. Average CPU Load değeri %22 seviyelerindedir.

iii. Ram Kullanım oranı %4 civarındadır.

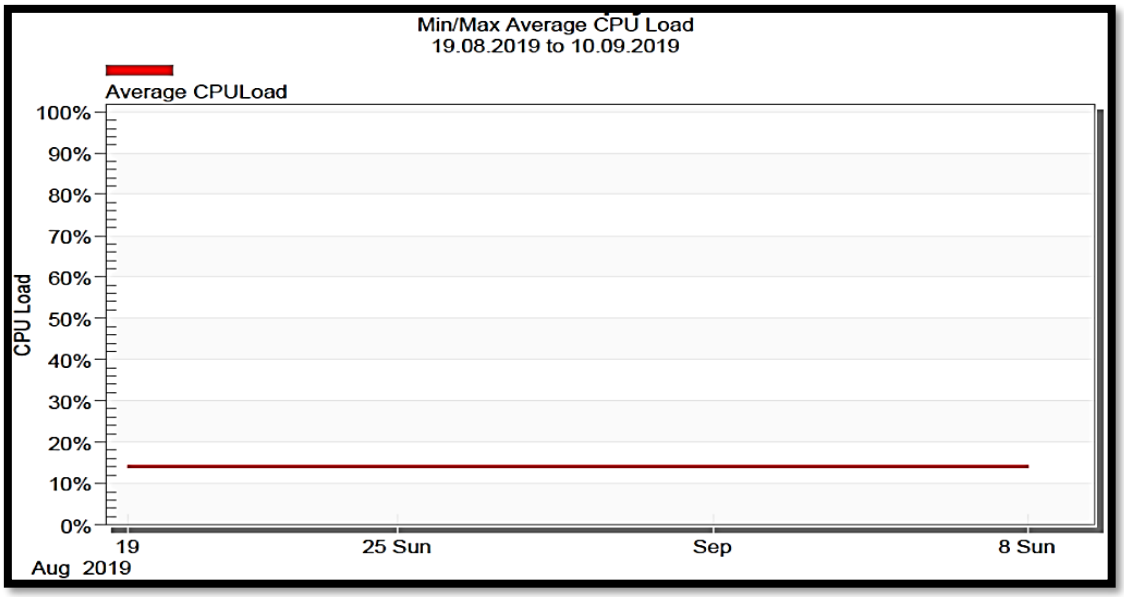
iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 75.2 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.009 ms, Lost/Total Datagrams oranı 1078407/2997641 (36%) şeklinde görüldü.

v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 611 MBit/sn, ortalama jitter değeri 1.427 ms, Lost/Total Datagrams oranı 2744225/18341478 (15%) şeklinde görüldü.

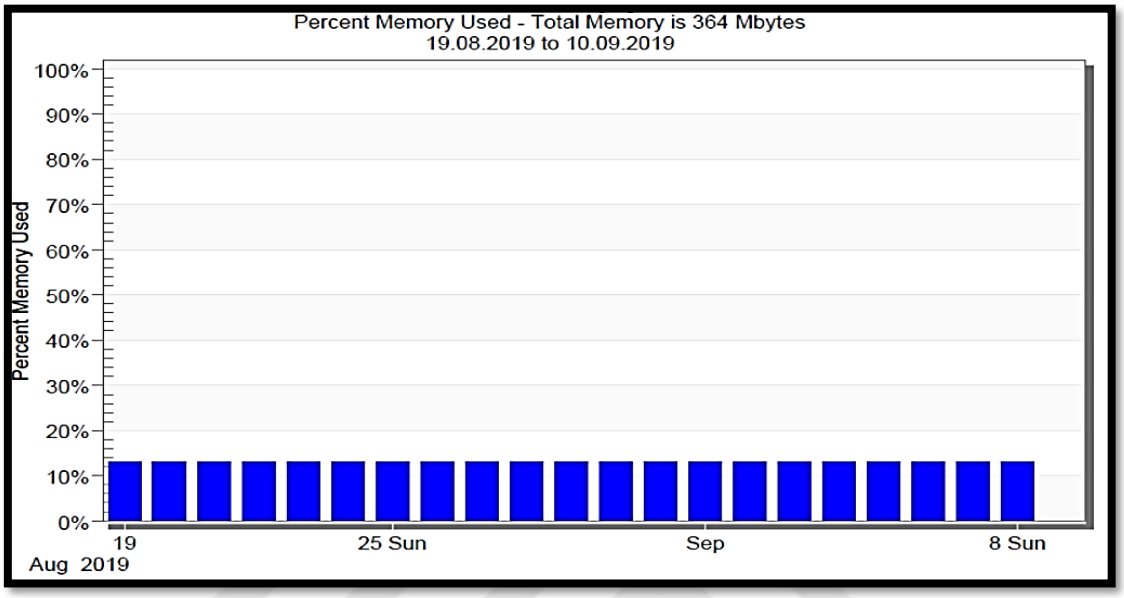
5.5.15 E9 İstasyonu



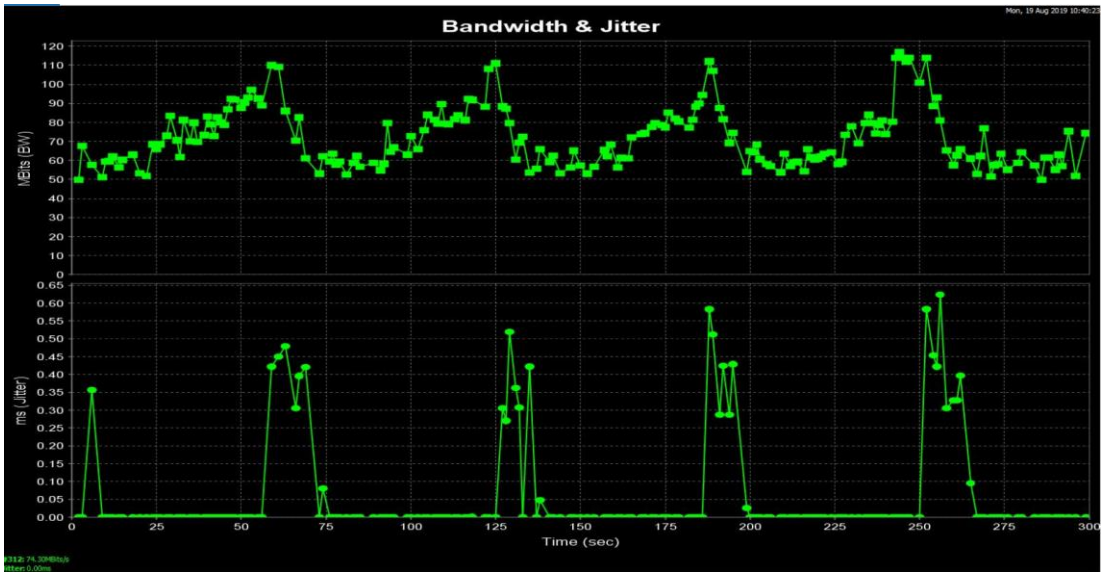
Şekil 5.72: E9 İstasyonu SolarWinds ile ölçüm verileri.



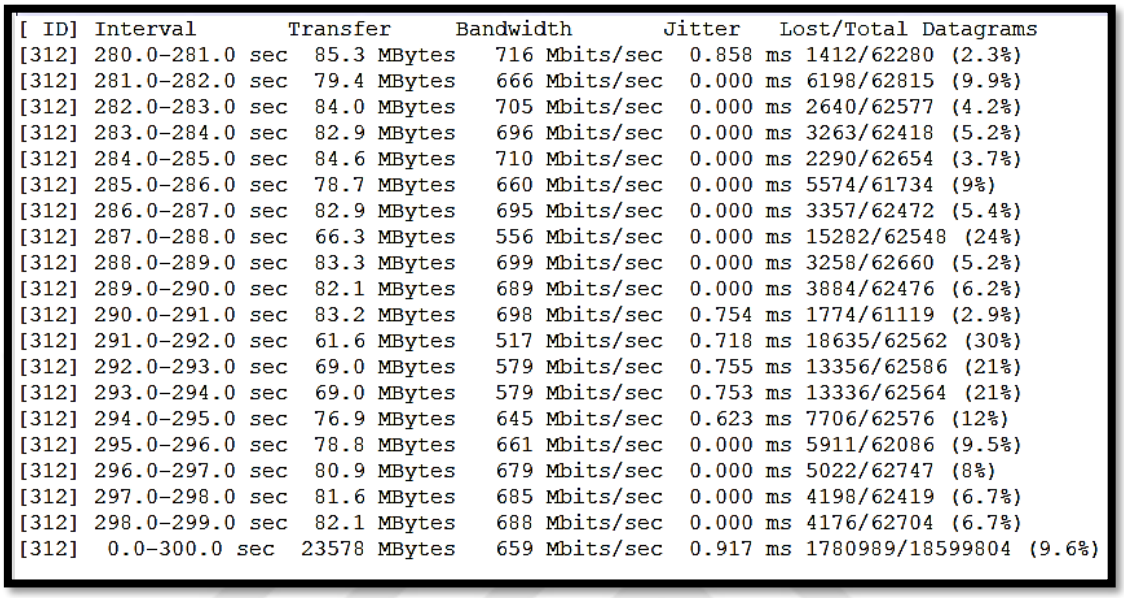
Şekil 5.73: E9 İstasyonu ortalama CPU kullanım oranı.



Şekil 5.74: E9 İstasyonu ram kullanım oranı.



Şekil 5.75: 100 Mbit/sn sanal trafik.



```
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth       Jitter   Lost/Total Datagrams
[312] 280.0-281.0 sec  85.3 MBytes   716 Mbits/sec  0.858 ms 1412/62280 (2.3%)
[312] 281.0-282.0 sec  79.4 MBytes   666 Mbits/sec  0.000 ms 6198/62815 (9.9%)
[312] 282.0-283.0 sec  84.0 MBytes   705 Mbits/sec  0.000 ms 2640/62577 (4.2%)
[312] 283.0-284.0 sec  82.9 MBytes   696 Mbits/sec  0.000 ms 3263/62418 (5.2%)
[312] 284.0-285.0 sec  84.6 MBytes   710 Mbits/sec  0.000 ms 2290/62654 (3.7%)
[312] 285.0-286.0 sec  78.7 MBytes   660 Mbits/sec  0.000 ms 5574/61734 (9%)
[312] 286.0-287.0 sec  82.9 MBytes   695 Mbits/sec  0.000 ms 3357/62472 (5.4%)
[312] 287.0-288.0 sec  66.3 MBytes   556 Mbits/sec  0.000 ms 15282/62548 (24%)
[312] 288.0-289.0 sec  83.3 MBytes   699 Mbits/sec  0.000 ms 3258/62660 (5.2%)
[312] 289.0-290.0 sec  82.1 MBytes   689 Mbits/sec  0.000 ms 3884/62476 (6.2%)
[312] 290.0-291.0 sec  83.2 MBytes   698 Mbits/sec  0.754 ms 1774/61119 (2.9%)
[312] 291.0-292.0 sec  61.6 MBytes   517 Mbits/sec  0.718 ms 18635/62562 (30%)
[312] 292.0-293.0 sec  69.0 MBytes   579 Mbits/sec  0.755 ms 13356/62586 (21%)
[312] 293.0-294.0 sec  69.0 MBytes   579 Mbits/sec  0.753 ms 13336/62564 (21%)
[312] 294.0-295.0 sec  76.9 MBytes   645 Mbits/sec  0.623 ms 7706/62576 (12%)
[312] 295.0-296.0 sec  78.8 MBytes   661 Mbits/sec  0.000 ms 5911/62086 (9.5%)
[312] 296.0-297.0 sec  80.9 MBytes   679 Mbits/sec  0.000 ms 5022/62747 (8%)
[312] 297.0-298.0 sec  81.6 MBytes   685 Mbits/sec  0.000 ms 4198/62419 (6.7%)
[312] 298.0-299.0 sec  82.1 MBytes   688 Mbits/sec  0.000 ms 4176/62704 (6.7%)
[312]  0.0-300.0 sec  23578 MBytes   659 Mbits/sec  0.917 ms 1780989/18599804 (9.6%)
```

Şekil 5.76: 1 Gbit/sn sanal trafik.

i. Average Response Time 1,2 – 1,4 ms arasında olup Packet loss oranı tüm ölçüm periyodunda %0'a yakın gözlemlendi.

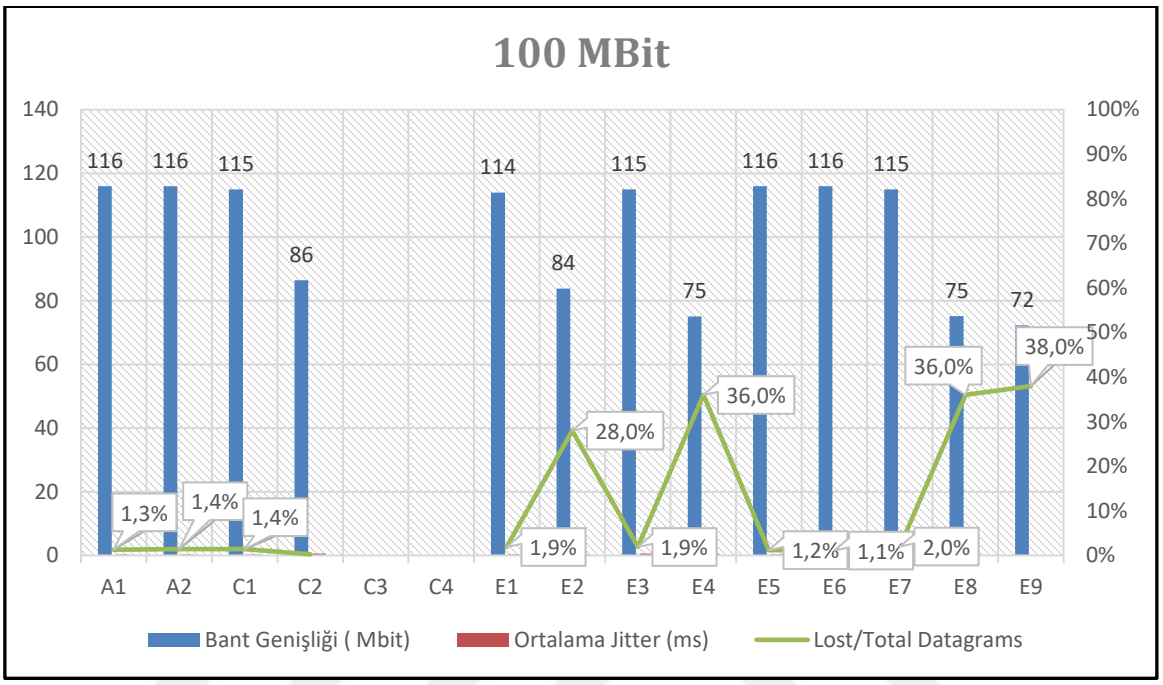
ii. Average CPU Load değeri %14 seviyelerindedir.

iii. Ram Kullanım oranı %12 civarındadır.

iv. 100 MBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 72,3 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.008 ms, Lost/Total Datagrams oranı 1153952/2997446 (38%) şeklinde görüldü.

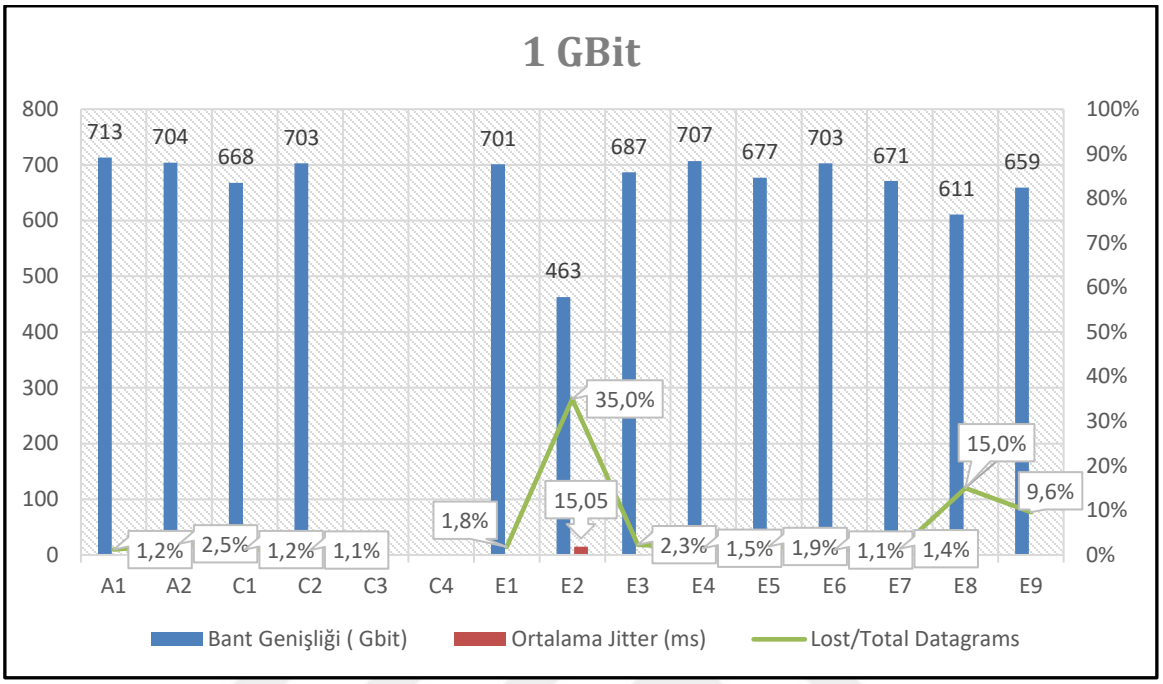
v. 1 GBit bant genişliği ölçümünde ortalama bant genişliği 659 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0.917 ms, Lost/Total Datagrams oranı 1780989/18599804 (9,6%) şeklinde görüldü.

5.6 ANALİZ VE BULGULAR



Şekil 5.77: Tüm istasyonlar yeni durum 100 MBit ölçümleri.

Yeni yapıda C3 ve C4 istasyonlarındaki switchler merkez kabul edilmiştir. Her bir istasyonda bulunan switchler için ilk durumda olduğu gibi ayrı ayrı ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümlerde 100 MBit ve 1 GBit sanal trafik oluşturulmuştur. Şekil 5.77'de 100 MBit ölçümlerinde bant genişlik verisi ortalama 101 MBit/sn, ortalama jitter değeri 0,37 ms ve ortalama paket kaybı %12 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.40 'da ilk duruma ait 100 MBit ölçümlerinde ise bant genişliği 56,07 MBit/sn, ortalama jitter 2,94 ms ortalama paket kaybı %16 seviyelerinde görülmüştür. Yeni durumda paket kayıpları E2, E4, E8 ve E9 istasyonları hariç %1 mertebelerine indirilmiştir. İlk durumda 2,94 ms seviyelerinde olan jitter değeri ise yeni yapıda 0,37 ms kadar düşürülmüştür. Sistem bant genişliği kazanımında ise 56,7 MBit/sn seviyelerinden 100 MBit/sn'e kadar çıkarılmıştır.4 noktadaki switchlerde paket kayıplarının yüksek olmasının sebebinin fiber optik altyapı ve ölçümler esnasındaki fiziksel şartlar olduğu öngörülmüştür.



Şekil 5.78: Tüm istasyonlar yeni durum 1 GBit ölçümleri.

Şekil 5.78'de 1 GBit sanal trafikte bütün noktalara ait ortalama; Bant genişliği 666 MBit/sn, jitter değeri 1,75 ms ve paket kaybı ise %6 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.41'de İlk duruma ait 1 GBit ölçümlerinde ise; ortalama bant genişliği 125 MBit/sn, ortalama jitter değeri 2,88 ms ve ortalama paket kaybı %20 seviyelerinde görülmüştür. Yeni mimari ile 1 GBit ölçüm verilerinde, ortalama jitter 2,88 ms den 1,75 ms düşürülmüştür. Paket kaybındaki kazanımlar ise A1 istasyonundan örnek verilirse %99 olan ilk durum verisi yeni durumda %1,2 seviyelerine indirilmiştir. Paket kaybı verisi tüm ortalamada ise %20 den %6'ya gerilemiştir. Bu oranı E2 ve E8 noktalarından alınan veriler olumsuz etkilemiştir. Bant genişliği kullanımdaki kapasite artışı ise 125 MBit/sn den 666 MBit/sn çıkarılmıştır. E2 ve E8 noktalarındaki paket kayıplarının diğer ölçümde olduğu gibi fiber optik altyapıdan kaynaklandığı öngörülmüştür.

Tablo 5.3: Metropol Raylı Ulaşım & Atina Olimpiyatları TETRA karşılaştırması.

UYGULAMA ALANI	*RAYLI ULAŞIM*	*ATİNA OLİMPİYATLARI*
TARİH	*2019*	*2004*
BAZ İSTASYONU ADEDİ	*20*	*90*
KULLANICI SAYISI	*2.500*	*16.000*
TELSİZ STANDARDI	*TETRA*	*TETRA*
FREKANS ARALIĞI UPLİNK & DOWLİNK	*410.000/410.400 420.000/420.400*	*413.750/415.725 423.750/425.725*
MAX VERİ TRAFİĞİ	*101 MBit/sn 666 MBit/sn*	*3 KBit/sn*

Bugüne kadar kurularak kayıtlara geçen TETRA sisteminin en büyük uygulaması 2004 Atina Olimpiyatlarında gerçekleşmiştir. Burada 90 baz istasyonu ile 16000 kişinin kapsaması sağlanmıştır. Atina'da 413.750 -415.725 MHz uplink ve 423.750 -425.725 MHz dowlink frekans bantları kullanılarak max 3 KBit/sn ses trafiği sistemde elde edilmiştir[39]. Raylı Ulaşımda yapılan çalışmada 20 baz istasyonu ile 2500 kişinin kapsaması sağlanmıştır, aynı frekans bandında Atina olimpiyatlarında ise 90 baz istasyonu ile 16000 kişi kapsaması görülmüştür. TETRA Sisteminde oluşan veri trafiğinde ise Raylı Ulaşıma ait iki farklı ölçümde 101 MBit/sn ve 666 MBit/sn iken Atina Olimpiyatlarında 3 KBit/sn olduğu tespit edilmiştir. Tablo 5.3'te Raylı Ulaşıma ait TETRA Sisteminde yapılan çalışma ile elde edilen veri hızlarının, Atina Olimpiyatlarında tespit edilen hızların çok çok üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇ

Raylı Ulaşımda TETRA Telsiz Sistemi Network Altyapı yenilenmesine ait uygulama ve bunun neticesindeki sonuçlar bu kısımda değerlendirilmiştir. İlk durumda sistemde 3 adet backbone switch ve 11 adet kenar switch tespit edilmiştir. Bu sistemde Zyxel, Dell, Advantech ve Hirschmann gibi birden fazla marka ve modele ait cihazlar görülmüştür. Yeni sistem tek bir markaya (Cisco) ait 3 farklı model üzerinden tasarlanmıştır. İstasyonların fiziksel şartlarına göre Cisco 9500, Cisco 3560-CX, Cisco IE 4000 modellerinden biri tercih edilmiştir. Böylece kullanım ömrünü tamamlamış, SNMP ara yüzüne erişilemeyen ve port konfigürasyon problemi yaşanılan cihazların yerine tek bir marka ile kontrol kolaylığı sağlanmıştır. İlk mimaride sistemin yedekli yapıda olmadığı ve sisteme ait trafiğin büyük kısmının C3 konumundaki Zyxel Switch üzerinden geçtiği görülmüştür. C3 istasyonunda bulunan switchte yaşanan en ufak olumsuzluğun bütün sistemi etkilediği analiz edilmiştir. Yeni durumda bu yapı tamamen değiştirilmiştir. Şekil 5.3'te veri trafiği hiyerarşik ağ tasarımına uygun şekilde C4 üzerinde bulunan yedekli iki adet (Cisco 9500) üzerinden C1, C2 ve C3 üzerine eşit olarak dağıtılmıştır. Böylece herhangi bir olumsuz durumda sistemin C1, C2, C3, C4 noktalarındaki cihazlar üzerinden yedekli yapıda kesintisiz olarak çalışmaya devam etmesi planlanmıştır. IP yapısı ilk durumda (195.175.200.0/24) bloğunda ve bütün aktif pasif cihazların (switch, röle, PC, FSC) aynı vlan'da kurgulandığı gözlemlenmiştir. Belirlenen IP yapısında bütün switchlerin herhangi bir konfigürasyon yapılmadan direkt (tak-çalıştır) kullanıldığı görülmüştür (default vlan). Ölçümlerde bu durumun gereksiz veri trafiğine sebep olduğu ortaya konulmuştur. Yeni durumda mevcuttaki ihtiyaç ve gelecekte muhtemel eklenecek cihaz sayıları öngörülerek subnetler geniş belirlenmiştir. Rf ekipmanları (vlan 20 52.53.240.0 / 24), network cihazları (vlan 30 52.53.241.0/ 24) ve revize (vlan 40 52.53.242.0 / 24) olmak üzere 3 ayrı vlan oluşturulmuştur. Şekil 5.3'te vlanlar sahadaki switchler üzerinde port bazlı ayrılarak konfigürasyon yapılmıştır.Bu durum sahada aksiyon almayı kolaylaştırmanın yanında gereksiz broadcast trafiğini engellemiştir. Aynı zamanda Switch port desteği 100MBit/sn'den 10 GBit/sn çıkarılmıştır. Uluslararası standartlarda TETRA 25 kHz bant genişliğinin 4 ayrı slotta toplam 28,8 KBit/s veri iletmesi beklenmektedir [36], [40]. Ayrıca kritik haberleşmenin şartlarından olan çağrı kurma süresi 300 ms olarak kabul edilmektedir [7].

Tüm bu veriler ışığında 20 baz istasyonu ile Rf kapsamanın sağlandığı Raylı Ulaşıma ait Network Altyapı çalışması ile teoride belirlenen bant genişliğinin çok üzerinde değerler elde edilmiştir. İki farklı ölçümde 101 MBit/sn ve 666 MBit/sn gibi bir bant genişliği ve veri trafiği sisteme kazandırılmıştır. Çağrı kurma süresinde ise yapılan çalışma ile max jitter değeri 1,75 ms kadar düşürülerek belirlenen standardın çok daha ötesinde değerler yakalanmıştır. Bu değerler 2004 yılında Atina Olimpiyatlarındaki sistemden alınan değerlerin de üzerindedir (Tablo 5.3). Raylı Ulaşımdaki en hayati sistemlerden biri olan Telsiz Sistemine ait bu çalışma ile, makinist- makinist, makinist- kumanda merkezi, makinist- teknik birimler arasında kritik haberleşme kesintisiz sağlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile yolcu güvenliği ve sorunsuz işletme hedefine büyük katkı sağlanmıştır.

REFERANSLAR

[1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Fourth Edition. Of 111 River Street, Hoboken Nj 07030-5774, U.S.A: John Wiley and Sons International Rights, Inc.

[2] B. P. Lathi ve Z. Ding, *Modern digital and analog communication systems*, International 4th ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 2010.

[3] J. G. Proakis ve M. Salehi, *Communication systems engineering*, 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2002.

[4] M. Kalaç, "Telli-telsiz haberleşme sistem entegrasyonu ve ses-veri trafik analizi", Yüksek Lisans, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2006.

[5] E. Yalçın, "Acil Durum Haberleşme Sisteminde Sayısal Telsiz Modellemesi: İstanbul İçin Öneriler", Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, İstanbul, 2013.

[6] H. Ulvi, F. Akdemir, ve H. Kutlu, "Gelişmekte olan ülkelerde raylı sistem yatırım kararlarını etkileyen ölçütlerin belirlenmesi: AB ve Türkiye özelinde bir araştırma", c. 9, ss. 61-78, Oca. 2019.

[7] A. Donner, J. Saleemi, ve J. Mulero Chaves, "TETRA backhauling via satellite: improving call setup times and saving bandwidth", J. Comput. Netw. Commun., Eki. 2014, doi: 10.1155/2014/562546.

[8] S. Prof. Dr. ERTÜRK, *Sayısal Haberleşme*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2016.

[9] D. K. Cheng, *Mühendislik Elektromanyetiğinin Temelleri*, 2. bs. Palme Yayıncılık, 2017.

[10] H. Hsu, *Schaum's outlines*, 2. bs. Ankara: Nobel Yayın, 2015.

[11] B. Sklar, *Digital Communications Fundamental and Applications*, 2. bs. Los Angeles: Prentice Hall.

[12] G. P. John ve S. Masoud, *İletişim Sistemlerinin Temelleri*, 1. bs. Ankara: Nobel Yayın, 2010.

[13] M. A. Reşat, "Sıfır alt-taşıyıcılı çoklu taşıyıcı frekans ötelenmesi senkronizasyonu kullanan SC-FDMA yukarı hat haberleşme sistemlerinden performans analizi", Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, 2013.

[14] M. Balki, "Tek taşıyıcılı frekans bölmeli çoklu erişim SC-FDMA sistemlerinde taşıyıcı frekans kaymasının kestirim", Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi, 2016.

[15] N. Bandırmalı, C. Bayılmış, C. Çeken, ve İ. Ertürk, "Kablosuz erişim yöntemlerinin karşılaştırılmalı incelenmesi", s. 4.

[16] B. Yavuz, "2. ve 3. Nesil CDMA temelli mobil haberleşme protokolleri", Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2001.

[17] S. Akkaya ve N. Taşpınar, "Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) sistemlerinde konvolüsyon kodlarını kullanan II. türden kod birleştirmeli karma SR ARQ protokolü", Elazığ, 2011, s. 6.

[18] G. Özdemir ve N. Taşpınar, "OFDM ile MC-CDMA sistemlerinin karşılaştırılması", s. 3.

[19] H. G. Zihni, "TCP/IP ile kablosuz algılayıcı ağlara erişim", Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2011.

[20] C. Taner, *Ağ Yöneticiliğinin Temelleri*, 3. bs. İstanbul: Abaküs, 2018.

[21] R. Crowder, "11-Cyber Physical systems and security", içinde *Electric Drives and Electromechanical Systems (Second Edition)*, R. Crowder, Ed. Butterworth-Heinemann, 2020, ss. 271-289. doi: 10.1016/B978-0-08-102884-1.00011-X.

[22] M. M. Alani, "OSI Model", içinde *Guide to OSI and TCP/IP Models*, M. M. Alani, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2014, ss. 5-17. doi: 10.1007/978-3-319-05152-9_2.

[23] H. Toprak ve S. Kardas, "2. KATMAN iç ağ saldırıları ve önlemler", Tem. 2020.

[24] O. Başkaya, "OSI katman modelinde 3. katman güvenlik duvarı uygulaması", Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.

[25] M. Yıldırım, *Her Yönüyle İnternetin Altyapısı TCP/IP*, 13. bs. İstanbul: Pusula, 2017.

[26] W. Goralski, "TCP/IP Protocols and Devices", içinde *The Illustrated Network*, Elsevier, 2009, ss. 47-70. doi: 10.1016/B978-0-12-374541-5.50007-9.

[27] A. Sobacı, "Spektrumun etkin kullanılması amacıyla 450-470 MHz frekans bandında yapılan düzenlemeler ve düzenlemelerin Marmara Bölgesine etkisi ve öneriler", Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, İstanbul, 2012.

[28] H. Özer ve M. Çeven, "Sayısal telsiz sistemleri için ağ geçidi uygulaması", Bilgem Tübitak, sy 6, ss. 126-130, 2011.

[29] İ. Gülsoy, M. Sandalcı, ve M. S. Küçük, "Geniş ağ telsiz haberleşme sistemi ve frekans optimizasyonu, Kocaeli modeli", IESKO 2019 VI Int. Earthq. Symp. Kocaeli 2019, 2019.

[30] M. Ceven, A. B. Sayinti, ve H. Dincer, "IP header reduction for APCO Project-25 data links", içinde 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, Antalya, Turkey, Nis. 2009, ss. 724-727. doi: 10.1109/SIU.2009.5136498.

[31] I. Elhart, W. T. Miller, ve A. L. Kun, "APCO Project 25 wireless data services for smaller public safety agencies", içinde 2009 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, Waltham, MA, USA, May. 2009, ss. 177-181. doi: 10.1109/THS.2009.5168031.

[32] S. Ezen, "Sayısal trunk telsiz sistemi teknolojisinin uygulamaları ile frekans spektrumunun etkin kullanılmasında ve acil haberleşmede ülkemize sağlayacağı kaynak tasarrufu analizi", Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Samsun, 2013.

[33] A. Nikitin, A. Manakov, I. Kushpil, A. Kostrominov, ve A. Osminin, "On the issue of using digital radio communications of the DMR standard to control the train traffic on Russian railways", içinde 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (E*WDTS)*, Varna, Bulgaria, Eyl. 2020, ss. 1-6. doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224707.

[34] "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) General System Design", ETSI, FRANCE, Technical Report ETSI TR 102 398, 2006.

[35] "Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)", ETSI, FRANCE, European Standard (Telecommunications series) ETSI EN 300 392-2 V2.3.2, 2001.

[36] "TETRA and critical communications evolution (TCCE); critical communications architecture; part 2: critical communications application mobile to network interface architecture", ETSI, FRANCE, Technical Report ETSI TS 103 269-2 V1.1.1, 2015.

[37] F. Şahin, "Telsiz haberleşme standartları", İstanbul Aydın Üniversitesi Derg., c. 5, sy 18, s. 16, 2013, doi: 10.17932.

[38] serdar kırışoğlu, R. Kara, ve İ. ÖzçeliK, "Sanal yerel alan ağlarında ağ trafiği dengeleme için SNMP tabanlı yeni bir algoritma", Gazi Üniversitesi Mühendis.-Mimar. Fakültesi Derg., c. 2018, sy 2018, Nis. 2018, doi: 10.17341/gazimmfd.416499.

[39] P. Stavroulakis, *TErrestrial Trunked RAdio-TETRA: A Global Security Tool*. Springer Science & Business Media, 2007.

[40] "Transmission systems and media, digital systems and networks", International Telecommunication Union, Switzerland, G.114, 2003.