

**GEDİZ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK MALİYETLİ VE ÖĞRETİM AÇISINDAN VERİMLİ BİR BİLGİSAYAR  
AĞLARI LABORATUVAR TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökhan AKYOL  
(60011104)**

**Sistem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halûk GÜMÜŞKAYA**

**HAZİRAN 2014**

Gediz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sistem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı 60011104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan AKYOL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DÜŞÜK MALİYETLİ VE ÖĞRETİM AÇISINDAN VERİMLİ BİR BİLGİSAYAR AĞLARI LABORATUVAR TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı:**            **Prof. Dr. Halûk GÜMÜŞKAYA**            .....

**Jüri Üyeleri:**                **Yrd. Doç. Dr. Hasan BULUT**                .....

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KÜSETOĞULLARI**                .....

## ÖNSÖZ

Öncelikle bu tez konusu üzerinde bana çalışma imkânı sunan tez danışmanım Prof. Dr. Halûk GÜMÜŞKAYA'ya bilgi, tecrübeleri ve önerileriyle araştırmaya yönlendirmesi, sağladığı imkânlar neticesinde tez süresince her türlü yardımı esirgememesinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve görüşlerini paylaşarak destek olan Numan Faruk KARAKAŞ'a, tez taslağını okuyup son halini almasında yardımcı olan öğretim görevlisi arkadaşım Yavuz İNCE'ye teşekkür ederim. Gediz Üniversitesi'nde bulunan bilgi işlem ekibine, idari personele, değerli hocalarıma, tez süresince manevi yardımından dolayı aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2014

Gökhan AKYOL

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Tezin Amacı.....  | 1         |
| 1.2. Tezin Yapısı.....   | 1         |
| <b>2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1. Giriş.....  | 3         |
| 2.2. Bilgisayar Ağları Laboratuvarları Üzerine Akademik ve Diğer Çalışmalar .....        | 3         |
| 2.2.1. Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı Laboratuvarlar .....                                  | 4         |
| 2.2.2. PC Ağ Tabanlı Laboratuvarlar .....  | 6         |
| 2.2.3. Benzetim Tabanlı Laboratuvarlar.....  | 8         |
| 2.2.4. Birden Fazla Yaklaşımın Bulunduğu Laboratuvarlar.....                             | 11        |
| 2.2.5. Uzaktan ve Sanal Erişim Tabanlı Laboratuvarlar .....                              | 12        |
| 2.2.6. Farklı Yaklaşım Teknikleri .....  | 15        |
| <b>3. İLGİLİ KONULAR.....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1. Lisans Seviyesinde Bilgisayar Ağları Eğitimi.....                                   | 17        |
| 3.2. Gediz Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki Bilgisayar Ağları Dersleri.....           | 19        |
| 3.3. Lisans Seviyesinde Uygulanan Bilgisayar Ağları Laboratuvar Çalışmaları .....        | 21        |
| 3.4. Katman-2 Anahtarı (Layer-2 Switch).....   | 22        |
| 3.5. Katman-3 Anahtarı (Layer-3 Switch).....   | 23        |
| 3.6. Yönlendirici (Router).....  | 24        |
| <b>4. LABORATUVAR TASARIMINDAKİ TEMEL PRENSİPLER.....</b>                                | <b>26</b> |
| 4.1. İlk Kurulum ve Bakım Maliyetinin Düşük Olması ve Genişleyebilmesi .....             | 26        |
| 4.2. Etkin Öğretim.....  | 27        |
| 4.3. Hazırlanan Deneylerin Belli Bir Donanım Altyapısı ve Yazılım Temelli Olmaması ..... | 29        |
| <b>5. BİLGİSAYAR AĞLARI LABORATUVAR DERSİ EĞİTİMİ.....</b>                               | <b>31</b> |
| 5.1. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Dersi Tasarımı .....                                  | 31        |
| 5.2. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Eğitim Planı.....                                     | 34        |
| 5.3. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Deneylerinin Ayrıntılı Açıklamaları.....              | 36        |
| <b>6. MODELİMİZİN DİĞER UYGULAMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>                        | <b>59</b> |
| 6.1. Geçmiş Dönemlerde Uygulanan ve Diğer Laboratuvar Modellerinin Dezavantajları .....  | 59        |

|   |           |
|---|-----------|
| 6.2. Geliştirilen Bilgisayar Ağları Laboratuvar Eğitim Modelinin Avantajları..... | 60        |
| <b>7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR .....</b>                                    | <b>63</b> |
| <b>8. KAYNAKLAR.....</b>  | <b>64</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Yönlendiriciler, anahtarlar, KVM anahtar, bilgisayarlar ve kablolar ile oluşturulmuş modüler bir kabin. ....5 | 5  |
| Şekil 2.2. OPNET ile tasarlanmış bir kurumsal ağ örneği. ....10  | 10 |
| Şekil 2.3. CISCO Packet Tracer ile tasarlanmış bir ağ modeli. ....10   | 10 |
| Şekil 2.4. ONL programından bir ağ modelinin gösterimi. ....13   | 13 |
| Şekil 2.5. Netkit ile sanal laboratuvar örneği.....14  | 14 |
| Şekil 2.6. Üç boyutlu animasyon örneği.....15  | 15 |
| Şekil 3.1. Bilgisayar ağları zorunlu derslerinin müfredattaki yerleşimi. ....19  | 19 |
| Şekil 3.2. Katman-2 anahtar, katman-3 anahtar ve yönlendiricinin bir arada olduğu laboratuvar uygulama modeli. .25       | 25 |
| Şekil 4.1. Bir kabinde bulunan cihazların 4 veya daha fazla öğrenci tarafından kullanılması.....28                       | 28 |
| Şekil 5.1. Bilgisayar ağları laboratuvarı eğitim modeli. ....32  | 32 |
| Şekil 5.2. Bilgisayar Ağları Laboratuvarı. ....33  | 33 |
| Şekil 5.3. Kabin içerisinde yer alan ağ cihazlarının gösterimi.....34  | 34 |
| Şekil 5.4. SMTP protokolü kullanarak e-posta gönderme. ....39  | 39 |
| Şekil 5.5. Wireshark ile SMTP paketlerinin yakalanması. ....40   | 40 |
| Şekil 5.6. E-posta ile gönderilen ağ paketlerin yakalanması ve içeriğinin incelenmesi.....41                             | 41 |
| Şekil 5.7. Wireshark programı ile TCP paketlerinin yakalanması. ....42   | 42 |
| Şekil 5.8. Packet Tracer ile tasarlanmış statik yönlendirme örneği. ....45   | 45 |
| Şekil 5.9. Packet Tracer ile PC IP yapılandırması. ....47  | 47 |
| Şekil 5.10. Packet Tracer ile yönlendirici yapılandırması. ....47  | 47 |
| Şekil 5.11. Packet Tracer ile tasarlanan RIP protokolü örneği. ....49  | 49 |
| Şekil 5.12. Packet Tracer ile VLAN tasarımı. ....51  | 51 |
| Şekil 5.13. Bilgisayarların anahtara bağlanması için gereken program ve protokol tipi. ....52                            | 52 |
| Şekil 5.14. CISCO Packet Tracer ile tasarlanmış VLAN laboratuvar sonrası çalışması. ....53                               | 53 |
| Şekil 5.15. Packet Tracer ile tasarlanan DHCP örneği. ....54   | 54 |
| Şekil 5.16. Packet Tracer ile laboratuvar sonrası çalışma örneği. ....55   | 55 |
| Şekil 5.17. Packet Tracer ile tasarlanan DHCP, DNS ve Web sunucu örneği. ....56  | 56 |
| Şekil 5.18. Packet Tracer ile tasarlanan yönlendirme işleminin yapılacağı örnek uygulama. ....57                         | 57 |
| Şekil 5.19. Packet Tracer ile tasarlanan OSPF ile uygulanması örneği. ....58   | 58 |

## TABLO LİSTESİ

|   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| Tablo 2.1. Araştırma metrikleri, kapsamı ve sınıflandırmaları.....                                      | 4                   |
| Tablo 2.2. PC Ağ Tabanlı tipik laboratuvar uygulamaları.....  | 6                   |
| Tablo 2.3. Akademik çalışmalarda kullanılan ağ benzetim programları. ....                               | 11                  |
| Tablo 2.4. Akademik çalışmalarda kullanılan uzaktan ve sanal erişimli programlar. ....                  | 15                  |
| Tablo 3.1. Bilgisayar ağları ve iletişimi dersinin katmanlı zaman çizelgesi.....                        | 18                  |
| Tablo 3.2. COM 362 dersinin konuları, ders ve uygulama zaman çizelgesi.....                             | 20                  |
| Tablo 4.1. Bilgisayar ağları laboratuvarında kullanılan ağ donanımlarının toplam maliyeti.....          | 26                  |
| Tablo 5.1. Bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarının TCP / IP modeline göre planlanması.....        | 35                  |
| Tablo 5.2. Ağ cihazlarının ayar bilgileri.....  | 46                  |
| Tablo 5.3. Topolojide yer alan bilgisayarlara ait IP adresleri, alt ağa maskesi ve VLAN bilgileri. .... | 51                  |
| Tablo 6.1. Bilgisayar ağları laboratuvar yaklaşımlarının karşılaştırılması. ....                        | 62                  |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ACL</b>    | Access Control List                               |
| <b>API</b>    | Application Programming Interface                 |
| <b>ARP</b>    | Address Resolution Protocol                       |
| <b>BGP</b>    | Border Gateway Protocol                           |
| <b>CORBA</b>  | Common Object Request Broker Architecture         |
| <b>DHCP</b>   | Dynamic Host Configuration Protocol               |
| <b>DNS</b>    | Domain Name System                                |
| <b>DVMRP</b>  | Distance Vector Multicast Routing Protocol        |
| <b>HTTP</b>   | Hypertext Transfer Protocol                       |
| <b>ICMP</b>   | Internet Control Message Protocol                 |
| <b>IEEE</b>   | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| <b>IP</b>     | Internet Protocol                                 |
| <b>KVM</b>    | Kernel-based Virtual Machine                      |
| <b>LAN</b>    | Local Area Network                                |
| <b>MAC</b>    | Media Access Control                              |
| <b>NAT</b>    | Network Address Translation                       |
| <b>NS</b>     | Network Simulator                                 |
| <b>ONL</b>    | Open Network Laboratory                           |
| <b>OPNET</b>  | Optimized Network Engineering Tool                |
| <b>OSI</b>    | Open Systems Interconnection                      |
| <b>OSPF</b>   | Open Shortest Path First                          |
| <b>PC</b>     | Personal Computer                                 |
| <b>POP3</b>   | Post Office Protocol 3                            |
| <b>RARP</b>   | Reverse Address Resolution Protocol               |
| <b>RIP</b>    | Routing Information Protocol                      |
| <b>RMI</b>    | Remote Method Invocation                          |
| <b>RTT</b>    | Round Trip Time                                   |
| <b>SMTP</b>   | Simple Mail Transfer Protocol                     |
| <b>TCP</b>    | Transmission Control Protocol                     |
| <b>UDP</b>    | User Datagram Protocol                            |
| <b>VLAN</b>   | Virtual Local Area Network                        |
| <b>VMWare</b> | Virtual Machine Ware                              |
| <b>VNUML</b>  | Virtual Network User Mode Linux                   |
| <b>VPN</b>    | Virtual Private Network                           |
| <b>WAN</b>    | Wide Area Network                                 |



## GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Gökhan AKYOL  
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Programı : Sistem Mühendisliği  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Halûk Gümüşkaya  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Haziran 2014

### DÜŞÜK MALİYETLİ VE ÖĞRETİM AÇISINDAN VERİMLİ BİR BİLGİSAYAR AĞLARI LABORATUVAR TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

#### ÖZET

Bu tezin temel amacı, bilgisayar mühendisliği bölümü lisans müfredatında yer alan zorunlu ve seçmeli Bilgisayar Ağları derslerinde kullanılacak, düşük maliyetli ve öğretim açısından verimli bir bilgisayar ağları laboratuvar ders içeriği ve donanım alt yapısı tasarlamak ve gerçekleştirmektir.

Bilgisayar ağları dersi bilgisayar mühendisliği müfredatındaki çekirdek derslerden biridir. Bilgisayar ağlarını öğretmek zordur, çünkü ciddi teorik ve pratik bilgi ve tecrübe gerektirmektedir. Bilgisayar ağları eğitimi hem teorik hem de pratik olarak verilmesi gerekmektedir. Derste öğretilen teorik bilgiler ve pratik laboratuvar deneyleri senkron tarzda sunulmalıdır. Destekleyici bir laboratuvar ortamında öğrenciler teorik bilgilerini geliştirme imkânları bulabilirler.

Tezde önce bilgisayar ağları laboratuvar eğitimiyle ilgili olarak son on yıl içerisinde yapılmış çalışmalara ve uygulamalara bakılarak sistematik bir sınıflandırma yapılmıştır. Tezimizde, maliyet ve etkili öğretim tekniği kıstaslarına ek olarak, gerçek veri, zaman, yapılandırma yönetimi, asistan ihtiyacı, fiziksel alan gibi kriterleri de en uygun bir biçimde sağlamaya çalıştık.

Bilgisayar ağları laboratuvarı için üç farklı tekniğinin bir arada olduğu bir karma bilgisayar ağları laboratuvar eğitim modeli geliştirilmiştir. PC ağ tabanlı, benzetim tabanlı ve gerçek ağ cihazları tabanlı olan bu deneyler on haftalık bir dönem içerisinde öğrencilere yaptırılmış ve başarılı neticeler alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar Ağları Laboratuvarı, Bilgisayar Ağları Eğitimi, Bilgisayar Ağları Laboratuvar Uygulamaları

## GENERAL INFORMATION

Name and Surname : Gökhan AKYOL  
Field : Industrial Engineering  
Program : System Engineering  
Supervisor : Prof. Dr. Halûk Gümüşkaya  
Degree and Date : Master – June 2014

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LOW COST AND TEACHING EFFECTIVE COMPUTER NETWORKS LABORATORY

### ABSTRACT

The main purpose of this thesis is to design and construct a cost effective and teaching effective computer networks laboratory content and hardware infrastructure that will be used in computer networks courses which are in the undergraduate curriculums of computer engineering departments.

The computer networks course is one of the core courses in the computer engineering curriculum. Teaching computer networks is difficult, since it requires serious theoretical and practical knowledge and experience. Computer networks education should be given both theoretically and practically. The theory given in lectures and practical lab experiments should be coupled in a synchronized manner. Students can find possibilities to improve their theoretical knowledge in a supportive laboratory environment.

In the thesis, first, a systematic classification is derived by examining recent studies and applications on computer network laboratory education in the last ten years. In our thesis, in addition to providing a cost effective and teaching effective method, we try to satisfy some other criteria such as real data, time, configuration management, assistant requirement, and physical area.

A hybrid computer networks laboratory training model which is composed of three different techniques is developed for computer networks laboratory. The experiments which use PC network based, simulation based and real network equipment based approaches were conducted by students in 10-week duration and successful results were obtained.

**Key Words:** Computer Networks Laboratory, Computer Networks Education, Teaching Computer Networks

## **1. GİRİŞ**

Bilgisayar ağları dersi, bilgisayar mühendisliği eğitimindeki en önemli çekirdek derslerin başında gelmektedir. Bilgisayar ağları eğitiminin hem teorik hem de pratik olarak verilmesi gerekmektedir. Teorik derste öğrenilen bilgiler bir laboratuvar ortamında yapılan alıştırmalar ve deneyler ile pekiştirilmelidir. Böylelikle, öğrenciler derste öğrenmiş oldukları teorik bilgiyi, laboratuvar esnasında uygulayarak gelişimlerine katkıda bulunacaklardır.

Geleneksel ve günümüzde de yaygın olarak bilgisayar ağları ders içerikleri öğrencilerin ağ donanımları ve yazılımlarını aktif kullanmalarını göz önüne almadan, yani bir laboratuvar desteği düşünülmeden planlanmaktadır. Sadece teoriyi öğreten ve pratik tarafı olmayan bir bilgisayar ağları dersi, öğrencilerin birçok kavramı öğrenmelerini zorlaştıracak ve ileride pratik ağ problemlerini çözmelerine yardım edemeyecektir.

Laboratuvar çalışmalarıyla desteklenen bilgisayar ağları dersleri, önemli bir çaba ve zaman gerektirmekte, ancak bu durumun başta dersi icra eden öğretim üyesinin ve asistanın tecrübe kazanmasına yol açtığı görülmektedir. Bu tecrübe ve bilgi birikiminin öğrencilere kazandırılması onlar için ileride gerçek hayat ağ problemlerini çözmeye önemli katkıları olacaktır.

### **1.1. Tezin Amacı**

Bu tezin amacı, lisans seviyesinde bilgisayar mühendisliği bölümü altında bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminin mali yönden ve öğretim tekniği açısından verimli ve etkili bir biçimde seçilen bir sınıflandırma modeli etrafında verilmesidir. Tezimizde, her hafta teorik derse bağlı olarak oluşturulan laboratuvar uygulamaları çıkartılarak bir eğitim yöntembilimi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

### **1.2. Tezin Yapısı**

Bu tez sekiz bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde giriş yapıldıktan sonra, ikinci bölümde, ilgili çalışmalar incelenerek özetlenmiştir. Üçüncü bölümde önce bilgisayar ağları ders ve laboratuvar eğitimi üzerine yapılmış önemli çalışmalar sunulmuştur. Ayrıca geliştirdiğimiz laboratuvar ortamında kullanılmış olan cihazlardan ayrıntılı biçimde söz edilmiştir.

Dördüncü bölümde, bilgisayar ağıları laboratuvar eğitim modeli tasarımı anlatılmakta ve bilgisayar ağıları laboratuvar dersinin hangi ilke ve prensipler temel alınarak geliştirildiği sunulmaktadır.

Beşinci bölümde, akademik çalışmalar neticesinde ortaya çıkarılmış olan bilgisayar ağıları laboratuvar modellerinden, birkaçını uygulayarak geliştirilmiş hibrit bir laboratuvar modelinin deneyleri sunulmaktadır. Her hafta derste öğretilen teorik bilgiye eş zamanlı olarak yapılan bu laboratuvar deneylerinin içerikleri özet olarak verilmektedir. Altıncı bölümde, gerçekleştirmiş olduğumuz bu modelin diğer modellere göre kıyaslaması yapılarak avantajları sunulmuştur.

Yedinci bölümde tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenmekte ve bilgisayar ağıları laboratuvarında yapılacak olan gelecek çalışmalar verilmektedir. Sekizinci bölümde tezin akademik ve diğer kaynakları sunulmaktadır.

## **2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

Bu bölümde, tez çalışmalarımıza kaynak oluşturan önemli akademik çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmaların katkıları özetlenmiştir. Tezimizin önemli kaynaklarından biri olan dünyadaki ve Türkiye'deki bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi incelenmiş, bulunan akademik çalışmalar sonucunda son yaklaşımlar tespit edilmiş ve bunlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Akademik çalışmaların sonunda bilgisayar ağları laboratuvar modelleri sınıflandırılarak bu sınıflandırma modelleri tezimizin ana modeline çok önemli katkıda bulunmuştur.

### **2.2. Bilgisayar Ağları Laboratuvarları Üzerine Akademik ve Diğer Çalışmalar**

Belirli metrikler çerçevesinde oluşturulmuş olan lisans seviyesindeki bilgisayar ağları laboratuvar yaklaşımları bir sınıflandırmaya dayandırılmıştır. Bu sınıflandırmalarda esas alınan kıstaslar arasında son 10 yıldaki konferans ve dergi yayınları, bilgisayar ağları kitaplarında yer alan laboratuvar deneyleri ve 2012-2013 yılları arasındaki bilgisayar ağları laboratuvarı bulunduran üniversite web sayfaları olarak sıralayabiliriz. Bütün bu saydığımız metrikler neticesinde bilgisayar ağları laboratuvar yaklaşımlarını 6 kategoride sınıflandırdık [1]. Bu yaklaşımlar şu şekildedir:

1. Gerçek ağ cihazları tabanlı bilgisayar ağları laboratuvarları
2. PC ağ tabanlı bilgisayar ağları laboratuvarları
3. Benzetim tabanlı bilgisayar ağları laboratuvarları
4. Birden fazla yaklaşımın bir arada kullanıldığı bilgisayar ağları laboratuvarları
5. Uzaktan ve sanal erişim tabanlı bilgisayar ağları laboratuvarları
6. Bilgisayar ağları laboratuvarlarındaki diğer farklı yaklaşımlar

Çıkarılmış olduğumuz bu bilgisayar ağları laboratuvar teknikleri tezimizin hazırlanmasına çok büyük katkıda bulunmuştur. Bu teknikler üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda geliştirdiğimiz bilgisayar ağları laboratuvar içeriği, bizim mali yönden ve etkili eğitim verme temel amaçlarımıza yardımcı olmuştur. Araştırmamızın temel metrikleri, kapsamı ve sınıflandırmaları Tablo 2.1'de özetlenmektedir.

**Tablo 2.1.** Araştırma metrikleri, kapsamı ve sınıflandırmaları.

| Metrik                                      | Amaç  |
|---|---|
| Bilgisayar Mühendisliği bölümü müfredatları | Çoğunlukla lisans müfredatları  |
| Yıllara göre akademik yayınlar              | 2003 ve 2013 yılları arasındaki   |
| Kitap yayınları                             | Laboratuvar deneyleri ve materyalleri içeren kitaplar   |
| Bilgisayar ağları derslerinin web sayfaları | 2010-2013 yılları arasındaki  |
| Sınıflandırma                               | Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı Laboratuvarlar<br>PC Ağ Tabanlı Laboratuvarlar<br>Benzetim Tabanlı Laboratuvarlar<br>Birden fazla yaklaşımın bulunduğu laboratuvarlar<br>Uzaktan ve Sanal Erişim Tabanlı Laboratuvarlar<br>Farklı Yaklaşım Teknikleri |

Aşağıdaki kısımlarda son 10 yılda yapılmış olan akademik yayınlardan, kitaplardan ve gerçek laboratuvar uygulamalarından çıkarsadığımız sınıflandırmalar ve eğitim amaçlı bilgisayar ağ laboratuvarları üzerine yapılan çalışmalar sunulacaktır.

### **2.2.1. Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı Laboratuvarlar**

Bilgisayar ağları laboratuvar kurulumundaki en önemli bileşenlerden biri donanım ağ cihazlarıdır. Tipik bir bilgisayar ağları laboratuvarı, anahtar, yönlendirici, ağ arabirim kartı (Ethernet ve IEEE 802.11 gibi), erişim noktası, ağ kabloları ve dağıtım paneli (patch panel) gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu ağ bileşenleri genelde bir kabin içine yerleştirilmektedir. Şekil 2.1’de gerçek ağ cihazları kullanılarak tasarlanmış tipik bir laboratuvar gösterilmektedir. Gerçek ağ cihazları tabanlı laboratuvarlarda, öğrenciler ağ cihazlarını yapılandırıp konsol tabanlı araçlar ile bu cihazlara erişebilmektedirler. Ayrıca, öğrenciler ağ cihazlarıyla LAN ve WAN ağ tasarımları yapabilirler.

Bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi üzerine gerçek ağ cihazları ile çok değişik laboratuvarlar sunan birçok akademik çalışma mevcuttur [2], [3], [4], [5], [6]. Bunlardan [2] donanım cihazları ile kurulmuş bir bilgisayar ağları laboratuvarlarının, lisans ve yüksek lisans bilgisayar ağları dersleri için ilginç projeler sunduğunu belirtmektedir. Bu tip laboratuvarlar, öğrencileri gerçek ağ cihazlarıyla tanıştırmak, bilgisayar ağları dersiyle ilgili gerçek donanım problemleri çözmelerini sağlamaktadır. Modern ağ cihazlarıyla donatılmış gerçekçi bir

laboratuvarın sunacağı test ortamının öğrencilere sağlayacağı bilgi ve tecrübeyi benzetim araçları ve sanal laboratuvarlar ile sağlanmayacağını belirtmektedir.



**Şekil 2.1.** Yönlendiriciler, anahtarlar, KVM anahtar, bilgisayarlar ve kablolar ile oluşturulmuş modüler bir kabin.

Gerçek ağ cihazları tabanlı laboratuvarlar kullanılarak yapılan çalışmalardan [3]'de gerçek cihazlarla gerçekleştirilen bilgisayar ağları laboratuvarlarının önemine vurgu yapılmıştır. Bu çalışmada yazarlar kendi üniversitelerinde kurmuş oldukları büyük bir bilgisayar ağları laboratuvarını tanıtmakta ve ayrıca kurulum aşamasındaki tecrübelerini paylaşmaktadırlar. Akademik çalışma [4]'de, düşük maliyetli bir donanım laboratuvarının kurulmasının, ağ tasarlamada, yönetmede ve yapılandırmada önemli bir faktör olacağı belirtilmektedir.

Diğer bir donanım tabanlı ağ laboratuvarı çalışması olan [5]'te yazarlar bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarını, bir kabin içinde bulunan ağ cihazlarına göre oluşturmuşlardır. Öğrenciler kabin içinde bulunan ağ cihazları ve Linux-Windows işletim sistemiyle çalışan bilgisayarları kullanarak laboratuvar deneylerini gerçekleştirmektedir. Yazarlar, bu ağ cihazlarını deneylerle kullanmaya yönelik bir laboratuvar uygulama kitapçığı geliştirmişlerdir. Tipik bir laboratuvar uygulamasına örnek verirsek, öğrenciler verilen ağ topolojisine göre yönlendiricileri, anahtarı, bilgisayarları kablolar ile bağlar. İstenen ağı kurduktan sonra öğrenciler cihazların ağ ayarlarını yaparlar. Wireshark ağ paketi izleme ve yakalama programı ile ağdaki paket trafiği izlenir ve yakalanan paketler ile analiz tekniklerini öğrenirler.

Diğer bir yandan, akademik çalışma [6]'da bilgisayar ağları laboratuvarı kurmanın önemli bir işlem olduğundan bahsedilmekte fakat laboratuvar kurmanın birçok üniversite için maliyetli olduğuna dikkat çekilmektedir. Günümüzde ağ cihazları fiyatlarının azımsanmayacak şekilde pahalı olduğu ve her bir cihazın yeni sürümünün kısa bir sürede çıktığı bilinmektedir. Bilgisayar ağları laboratuvarındaki cihazların zamanla yeni çıkan ürünlerle güncellemesi gerekmektedir. Bu durum üniversiteler açısından hem maliyetli ve hem de uygun değildir. Bilgisayar ağları laboratuvarları düşük maliyetli olmalı ve bilgisayar ağları dersleri için gereken minimum eğitim gereksinimlerini sağlamalıdır.

### 2.2.2. PC Ağ Tabanlı Laboratuvarlar

PC ağ tabanlı yaklaşımda, öğrenciler ağ protokolleri üzerinde yoğunlaşırlar. Paket yakalama ve analiz araçlarıyla ağ paketleri yakalanıp ağ trafiği incelenir ve ağ protokolleri öğrenilir. Ayrıca öğrenciler, bir PC ağında ağ programlama, sunucu kurma ve yönetimi gibi konularda eğitim görür. PC ağ tabanlı laboratuvarlarda, bütün bilgisayarlar İnternet bağlantısına sahiptir.

Öğrenciler, gerçek ağ paketlerinin yakalanıp içeriklerini görmeleri sayesinde, en önemli TCP/IP protokollerinin görevlerini ve hangi katmanlarda nasıl çalıştığını ayrıntılı olarak öğrenirler ve dolayısıyla İnternet'in alt yapısını öğrenmiş olurlar. PC ağ tabanlı laboratuvarlarda, öğrenciler genellikle paket içeriğini görme, ağ trafiğini dinleme ve izleme gibi çalışmalarda ücretsiz ve yüzlerce protokol desteği sunan Wireshark programını kullanır. Öğrenciler, teoride görmüş olduğu bilgiyi, benzetim programları ve paket yakalama ve analiz programları sayesinde pratik olarak pekiştirir. Yapılan bütün laboratuvar deney çalışmaları aktif katılımlı-uygulamalı (hands-on) bir şekilde icra edilir. Ayrıca, öğrenciler protokol analizi uygulayarak ağda meydana gelen problemleri çözebilir ve ağ trafiğini yönetebilirler. Aşağıdaki Tablo 2.2'de PC ağ tabanlı laboratuvarlar kullanılarak desteklenen çalışmalara bazı örnekler verilmektedir.

**Tablo 2.2.** PC Ağ Tabanlı tipik laboratuvar uygulamaları.

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Wireshark ile paket yakalama ve protokol analizi (HTTP, DNS, SMTP/POP3, TCP/UDP, IP, ICMP, ARP, vb.)</li><li>• Ağ programlama uygulamaları (TCP/UDP istemci-sunucu soket programlama uygulamaları)</li><li>• Sunucu kurulumu ve yapılandırması (Web, DNS, DHCP, e-posta sunucuları kurulumu ve ayarları gibi)</li></ul> |
|---|



PC Ağ Tabanlı ağ laboratuvarlarında, ağ programlama öğretmek yaygın yaklaşımlardan bir tanesidir. Ağ programlama, bilgisayar ağları eğitimi kapsamında olması gereken önemli konuların başında gelir. TCP ve UDP soket programcılığı birçok dil kullanılarak öğretilmektedir. C/C++, Java ve Python, bu dillerden en yaygın olanlarıdır. Öğrenciler farklı soket API'lerini kullanarak ağ programcılığını öğrenirler. Soket açma, sunucuya bağlanma, istemci ve sunucu arasında veri alışverişi ve soketi kapatma başlıca ağ programcılığı faaliyetlerindedir. Öğrencilerin, sunucu kurulum ve yapılandırmasını öğrenmeleri de PC Ağ Tabanlı laboratuvarların örnek uygulamalarındandır.

PC Ağ Tabanlı laboratuvarların kullanıldığı birçok akademik çalışma bulunmaktadır [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Akademik çalışma [7]'de araştırmacılar, protokol bazlı laboratuvar çalışmalarına yoğunlaşmışlardır. Başlıca uygulamalar soket programcılığı ve protokol analizidir. Diğer bir akademik çalışma olan [8]'de, yazarlar bilgisayar ağları eğitiminin pratiği vermesi için, ağ soket programcılığı, protokol analizi ve cihaz yapılandırma ile daha iyileştirilmesini tavsiye etmektedirler. Akademik çalışma [9]'da yazarlar ağ programcılığı ve laboratuvar uygulamalarının çok yararlı olduğunu fakat bu tip uygulamaların, öğrencilere bilgisayar ağlarının özünü yansıtmadığını ve ek olarak öğrencilerin yönlendirme algoritmalarındaki düşük düzeydeki ayrıntıları öğrenmeleri gerektiğini belirtmektedirler.

Bir PC ağında laboratuvar deneyleri destekleyen bazı bilgisayar ağları ders kitapları bulunmaktadır. Bu kitaplardan en iyi bilinen ve geçerli olan J. F. Kurose ve K. W. Rose'ın yazdığı, [10] bilgisayar ağlarını yukarıdan-aşağı yaklaşımla öğretmektedir. TCP/IP modeli uygulama katmanından veri bağı katmanına anlatılmaktadır. Laboratuvar uygulamaları bir PC ağında Wireshark ile paket yakalama ve analizi temellidir. Öğrenciler yakalan paketleri inceler ve ilgili soruları cevaplar.

Bilgisayar ağları üzerine A. S. Tanenbaum tarafından yazılmış diğer önemli bir ders kitabının en son baskısında [11], Kurose ve Rose'un kitabında olduğu gibi, Wireshark laboratuvar uygulamalarını sağlamıştır. Bu kitap ilk baskısını 1981 yılında yapmış ve bilgisayar ağları üzerine yazılmış ilk ders kitabıdır. Kitabın web sitesinde sırasıyla şu laboratuvar uygulamaları verilmektedir: Protokol Katmanları, Ethernet, 802.11, IPv4, ICMP, ARP, DHCP, UDP, TCP, DNS, HTTP ve SSL/TLS. Laboratuvar uygulamalarının sırasından anlaşılacağı gibi, laboratuvar deneyleri Tanenbaum'un kitabındaki klasik aşağıdan-yukarı yaklaşımını takip etmektedir.

Bilgisayar ağları ile ilgili birçok kitaba sahip olan bir diğer isim Comer, kitabındaki [12] laboratuvar deneylerinde bilgisayar ağları temel kavramlarını öğretmek için bir PC ağını kullanmaktadır. Wireshark ile protokol analizi, soketler ile istemci-sunucu ve web sunucu uygulamaları, DNS ayarı yapma, IP yapılandırma ve temel ağ komutlarını kullanma (telnet, ping, ipconfig gibi) kitaptaki laboratuvar deneylerinden bazılarıdır.

### **2.2.3. Benzetim Tabanlı Laboratuvarlar**

Ağ benzetim araçları, bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Günümüzde, bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi kapsamında birçok ağ benzetim araçları kullanılmaktadır. Ağ benzetim araçları mali yönden ve eğitim tekniği açısından etkin bir tercihtir. Son on yıllık bilgisayar ağları eğitimini incelediğimizde, ağ benzetim araçlarının üniversitelerde ve benzeri yerlerde çok fazla kullanıldığını görebiliriz. Ağ araştırmacı ve eğitimecilerini, araştırmalarında, çalışmalarında ve ders anlatımlarında ağ benzetim araçlarını kullanmakta olduklarını görmekteyiz. Ağ benzetim araçlarının genellikle eğitimsel ve ticari amaçlı olmak üzere iki farklı sürümleri bulunmaktadır. Bu benzetim araçları, bilgisayar ağları kavramlarını öğretmede ve uygulamada çok yararlı olmalarına rağmen, öğrencilerin gerçek cihazlarla olan iletişimini sağlayamadıklarından beklentileri tam karşılamamaktadır.

Literatürde, bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi konusunda ağ benzetim araçlarını kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, araştırmacılar ya kendi programlarını yazıp bu programlar üzerinden bilgisayar ağları eğitimini icra etmekte ya da hazır olarak piyasada var olan eğitim amaçlı ağ benzetim araçlarını kullanmaktadırlar [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22].

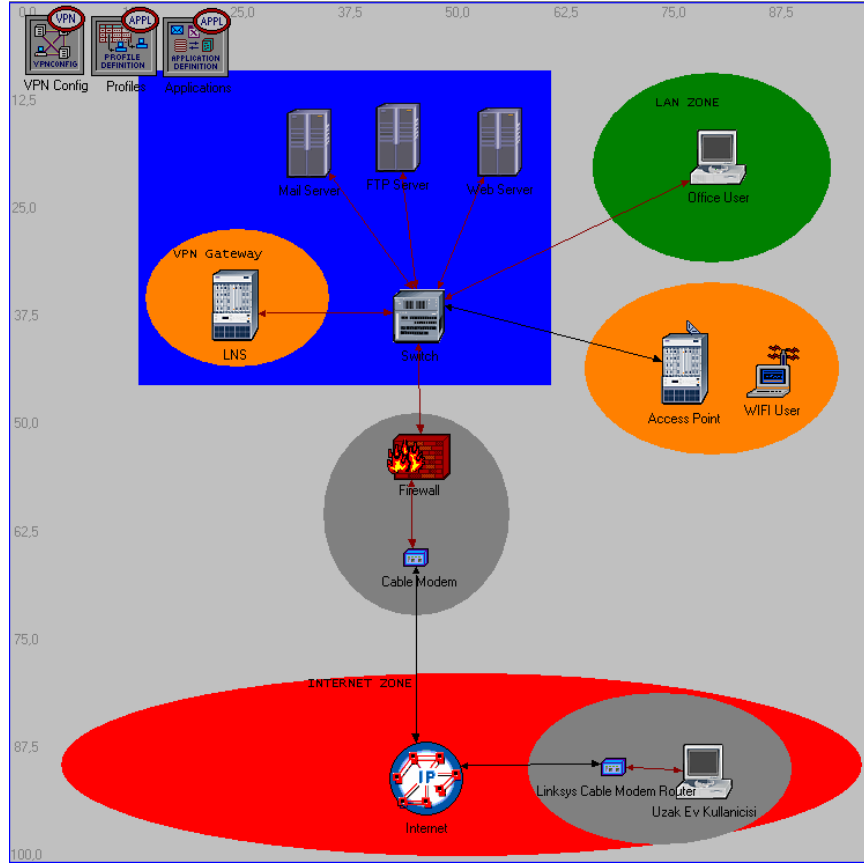
Ağ benzetim tabanlı oluşturulan akademik çalışma [13]'de yazarlar, kendi ağ benzetim aracını oluşturmuşlardır. Öğrenciler moodle sisteminden ağ cihazlarına bu program sayesinde sanal olarak erişebilmektedirler. Yapılan deney çalışmaları çevrim içi olup öğrencilerin çalışmalar hakkında ne yaptıkları gözlemlenebilmektedir. Akademik çalışma [14]'te araştırmacılar bilgisayar ağları dersini öğretmenin zor bir iş olduğu, bunun sonunca laboratuvar çalışmalarının zorunlu olarak yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Araştırmacılar, bu akademik çalışmasında kendi uygulamaları olan ağ benzetim aracından bahsetmişlerdir. Bu aracın iki bileşenden oluştuğunu, sunucu ve istemci olarak çalıştığını ve bu aracın bir nevi sanallaştırma motoru olduğunu aktarmışlardır. Bu tür araçların, öğrenciler tarafından ağ

cihazlarına ulaşmada kolaylık sağladığını ve öğrencilerin ağdaki trafiği ve paket akışını gözlemledikleri belirtilmektedir. Akademik çalışma [15]'te yazar, ağ benzetim programlarının laboratuvar kalitesini arttırdığını ve öğrencilerin gelişimine katkıda bulunduğunu iddia etmiştir. Yazar, bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde NS-3 programını kullandığını ve akademik çalışmada bu programın geri beslemelerini alarak bir sonuca varmıştır. Bir diğer ağ benzetim tabanlı laboratuvarlarla ilgili olarak yapılan akademik çalışma [16]'da yazarlar, son yıllarda kullanılan ağ benzetim programlarını incelemişlerdir. Ayrıca, kullandıkları alanlara göre bu programları sınıflandırmışlardır. Akademik çalışmada, bu tür ağ benzetim programlarının öğrencilerin görsel öğrenimine kaynak tuttuğundan söz edilmiş, öğrencilerin bu programlar sayesinde ağ topoloji tasarımı, protokol ve paket takibi gibi uygulamalarının yanı sıra kafalarındaki düşüncelerin animasyon ve grafikler ile birleştirilmesi sağlanmıştır.

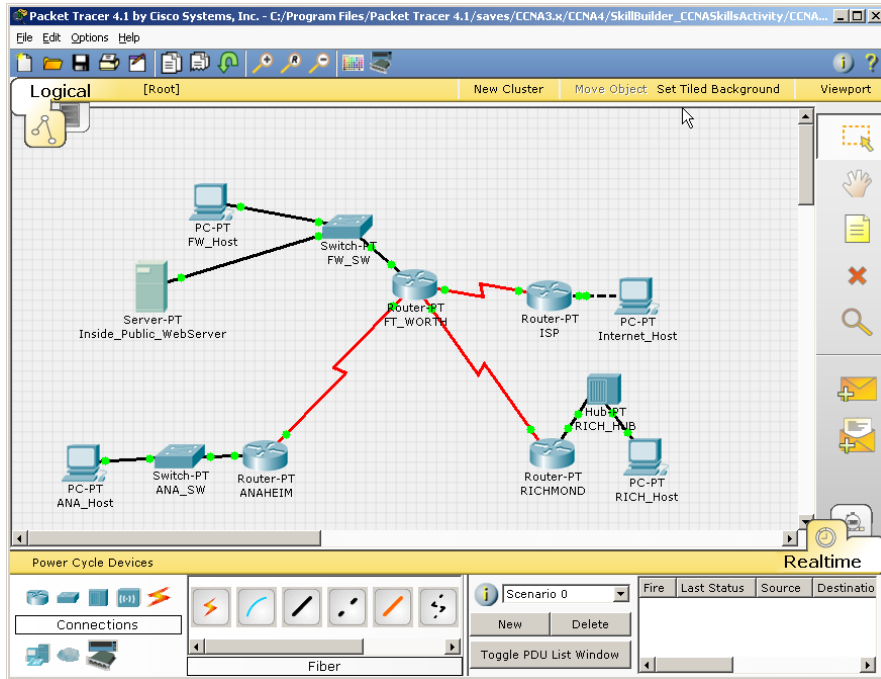
Akademik çalışma [17]'de, yazarlar veri iletişimi dersi içerisinde Wireshark ve OPNET programlarını kullanmışlardır. Yazarlar, bilgisayar ağları laboratuvarında kullanılan benzetim programlarının lisans öğrencileri için ağ kavramlarını anlamalarına yardımcı olmakla birlikte, modelleme ve benzetim tabanlı çalışmaların önemine dikkat çekmişlerdir. Şekil 2.2'de bir kurumsal ağ modelinin OPNET ortamındaki uygulaması gösterilmektedir [18].

Akademik çalışma [19]'u, akademik çalışma [17] ve [18] ile karşılaştırdığımızda, çalışma [19]'da yazarlar farklı bir ağ benzetim programı kullanmışlardır. Yazarlar, laboratuvar ortamında CISCO Packet Tracer programı ile laboratuvar deneylerini oluşturmuşlardır. Yazarlar, öğrencilerin bu programı kullanmaları sonucunda görsel öğrenmeyi geliştirdikleri ve öğrencilerin imgesel düşünmeyi öğrendiklerini iddia etmektedir. Packet Tracer programı, karmaşık ağ topolojilerini anlamada kolaylık sağlamaktadır, ayrıca program gelişmiş ve kolay ara yüzü sayesinde kullanıcı dostudur. Bunlara ek olarak, program komut satırı sayesinde ağ cihazlarına erişmeyi sağlamaktadır. Ayrıca, yönlendirme protokolleri olan OSPF, RIP, BGP gibi protokoller kullanılabilir. Şekil 2.3'te örnek bir ağ tasarımının Packet Tracer ortamında benzetimi gösterilmektedir [18].

Benzetim tabanlı laboratuvar çalışmalarından [21]'de, yazar bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi için bir laboratuvar kitapçığı oluşturmuştur. Bu kitapçık yaygın kullanılan ders kitabı [22]'nin yardımcı ekidir. Laboratuvar kitabının deneyleri OPNET ağ benzetim programı kullanılarak geliştirilmiştir.



Şekil 2.2. OPNET ile tasarlanmış bir kurumsal ağ örneği.



Şekil 2.3. CISCO Packet Tracer ile tasarlanmış bir ağ modeli.

Aşağıdaki Tablo 2.3'te, benzetim tabanlı laboratuvarlar kullanılarak yapılan akademik çalışmaların örneklerini göstermektedir. Tabloda ticari ve isteğe göre yapılan ağ benzetim programları sınıflandırılmıştır.

**Tablo 2.3.** Akademik çalışmalarda kullanılan ağ benzetim programları.

| Kategori   | Örnekler                               |
|--|--|
| İsteğe göre oluşturulmuş ağ benzetim programları           | Partov, Scorm                          |
| Eğitim ve ticari amaçlı kullanılan ağ benzetim programları | NS-2, NS-3, OPNET, CISCO Packet Tracer |

#### **2.2.4. Birden Fazla Yaklaşımın Bulunduğu Laboratuvarlar**

Bu yaklaşım hibrit bir yaklaşım olup bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarının, yukarıda bahsettiğimiz diğer yaklaşımların birleştirilmesi sonucu laboratuvar deneylerinin oluşturulmasıdır. Bu tip yaklaşımda, deneyler, gerçek ağ cihazları kullanılarak, PC ağ tabanlı olarak ve benzetim tabanlı programlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tür yaklaşımın yararı, öğrencilerin bilgisayar ağları ile ilgili kavramları farklı yöntemler ve yaklaşımlar neticesinde öğrenerek, kendilerini geliştirmesi amaçlanmıştır.

Yapılan akademik çalışmaları gözden geçirdiğimizde bazı çalışmaların, bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde birden fazla yaklaşımı bir arada kullandıklarını görmekteyiz [23], [24]. Akademik çalışma [23]'te yazarlar, bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarında birden fazla tekniği kullanmışlardır. Yazarlar, protokol analiz, ağ mühendisliği ve protokol geliştirme deneylerini geliştirerek, teorik bilgiye paralel olarak her hafta bu konularla ilgili öğrencilere çalışma ödevleri vermişlerdir.

Üniversitemiz müfredatında yer alan COM 362 Computer Networks I dersi altıncı yarıyıl bahar döneminde verilmektedir. Kendi üniversitemizde bilgisayar ağları laboratuvar dersini 2013 bahar döneminde ilk önce PC ağ tabanlı ve benzetim tabanlı yaklaşımları kullanarak oluşturduk. Bu yaklaşım bizim için en elverişli yaklaşımdı, çünkü laboratuvarımızda gerçek ağ cihazlarına sahip değildik. Haftalık programımıza uygun olarak laboratuvar planlarımızı oluşturduk ve derste öğrenilen bilgiye paralel olarak laboratuvar deneylerini icra ettik. Bu yöntemle öğrenciler, bilginin pratikte uygulanmasını görerek, ağ kavramları hakkında daha fazla bilgiye sahip oldular.

Laboratuvar uygulamalarında prensibimiz teorik derse binaen yukarıdan aşağı (top-down) yaklaşım şeklinde gerçekleşmiştir. Uygulama katmanından başlayıp veri bağı katmanı ile haftalık laboratuvar çalışmalarımızı oluşturduk. Öğrenciler uygulama katmanında PC ağ tabanlı yaklaşım içerisinde yer alan socket programcılığı ile tanışıp Wireshark ile paket analizi ve protokol takibi ile devam etmişlerdir. Ağ katmanında öğrenciler yönlendirme protokollerini benzetim tabanlı ortamlarda pekiştirip temel ağ bileşenlerini ve komutlarını öğrenmişlerdir. Birden fazla yaklaşımın kullanıldığı bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde öğrenciler birçok konuda bilgi sahibi olurlar. Ayrıca öğrenciler, ders saatinde almış oldukları teorik bilgiyi laboratuvar saatinde pratikleştirerek öğrenmeyi kalıcı hale getirirler [24].

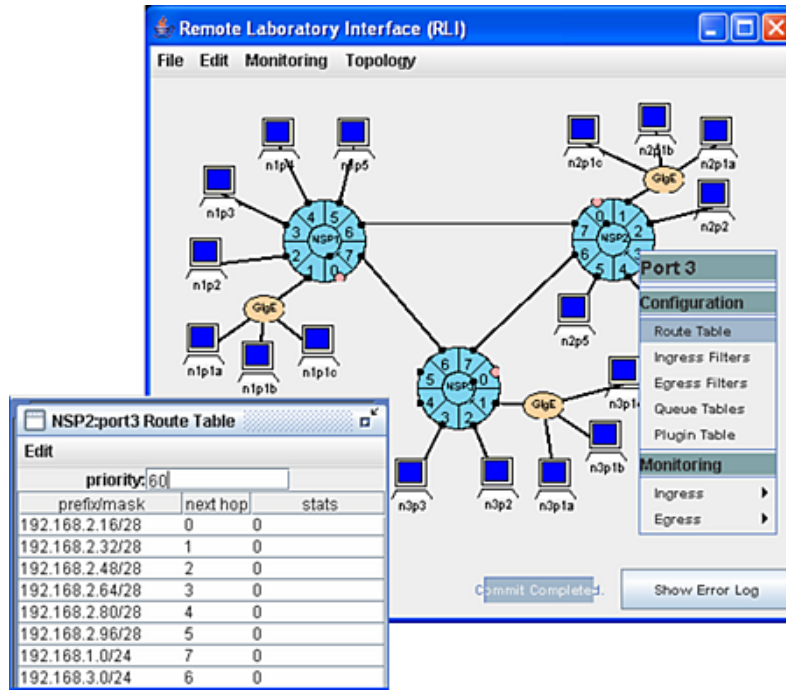
### **2.2.5. Uzaktan ve Sanal Erişim Tabanlı Laboratuvarlar**

Uzaktan ve sanal erişim tabanlı laboratuvarlar son zamanlarda üniversiteler tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Araştırmacılar, uzaktan ve sanal erişim tabanlı laboratuvarların öğrencilerin gelişimlerine ve öğrenimlerine büyük katkısı olduğuna inanmaktadırlar. Uzaktan ve sanal erişim tabanlı laboratuvarların genellikle mali açıdan verimli oldukları iddia edilmektedir.

Bazı araştırmacılar ise uzaktan erişimli ve sanal erişimli laboratuvarlar olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirmişlerdir. Akademik çalışma [25]'te yazarlar uzaktan erişimli ve sanal erişimli laboratuvarların farklı yanlarından söz etmişlerdir. Araştırmacılar, uzaktan erişimli laboratuvarların gerçek ağ cihazlarına ulaşma fırsatı verdiklerini ve uzaktan erişimli laboratuvarların, sanal laboratuvarlardan daha fazla maliyet oluşturduğu üstünde durmuşlardır. Sanal laboratuvarların gerçek ağ cihazlarına erişimi bir eksiklik olarak verilmiş ve ayrıca sanal laboratuvarların öğrenciler için benzetim ortamı sunduğundan söz edilmiştir.

Akademik çalışma [26]'da yazarlar bilgisayar ağları dersi için sanal bir laboratuvar kurmuşlardır. Bu yaklaşım, öğrencilerin bilgisayar ağları konularını öğrenme ve geliştirme konularında uzaktan erişim imkânı ve mali yönden çok büyük tasarruflar getirmiştir. Sanal bilgisayar ağları laboratuvarı maliyeti düşürerek üniversite bütçesine katkı sağlamakla beraber öğrencilerin aynı anda yazılım, protokol analizi ve donanımsal uygulamalara erişimi mümkün kılmıştır. Sanallaştırma ise bilgisayar ağları laboratuvarında kullanılan yöntemlerden biridir. Akademik çalışma [27]'de sanallaştırma teknolojisinin bilgisayar ağları eğitiminde güçlü bir araç olduğu vurgulanmıştır. Yazarlar, sanallaştırmanın, yazılım ile birlikte katılımcı eğitimi birleştirdiğine inanmaktadırlar.

Akademik çalışma [28]'de araştırmacılar, sanal laboratuvarlar ve uygulamalarının öğrenciler açısından yenilikçi ve ilgi çekici olduğunu belirtmektedir. Öğrenciler, laboratuvar uygulamalarının amacına ulaşır ulaşmadığını kolay bir biçimde anlamışlardır. Literatürde, birçok eğitim amaçlı ve açık kaynak kodlu sanallaştırma programları ve platformları bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan akademik çalışmalar da mevcuttur. Yapılan bir akademik çalışma [29]'da yazarlar sanallaştırma olayına farklı bir açıdan yaklaşmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında taşınabilir bir laboratuvar kurup bunu sanal bir programla bütünleştirmişlerdir. Bu sayede öğrenciler ve asistanlar laboratuvara istedikleri yerden erişme fırsatı yakalamışlardır. Bu sanal laboratuvar sistemi ayrıca paket yakalama ve analizi servisini sağlamaktadır. Sistem uzaktan erişim asistanı, NAT sunucu ve VPN gibi ağ bileşenlerini desteklemektedir. Diğer bir akademik çalışma [30]'da ise araştırmacılar, maliyeti ve aktif bir laboratuvar yeri kullanımını azaltmak için bir araç geliştirmişlerdir. VNUML adını verdikleri bu program, bilgisayar ağları laboratuvar gereksinimlerini karşılamaktadır. Program donanım, yazılım ve işletim sistemini bir arada bulundurmaktadır. Uzaktan ve sanal erişimli laboratuvarlar kullanılarak yapılan bir diğer akademik çalışma [31]'de İnternet tabanlı bir sanal laboratuvar geliştirilmiştir. ONL adı verilen bu laboratuvarın bilgisayar ağları eğitimindeki yararları bahsedilmiştir. Şekil 2.4'te ONL programının kullanıcı arayüzü gösterilmiştir [32].



Şekil 2.4. ONL programından bir ağ modelinin gösterimi.

Akademik çalışma [33] uzaktan ve sanal erişimli laboratuvarlara örnek verilebilecek bir diğer çalışmadır. Araştırmacılar bu çalışmada uzaktan erişimli bir laboratuvar kurup öğrenciler üzerindeki başarı performanslarını değerlendirmişlerdir. Öğrenciler çevrimiçi olarak laboratuvar deneylerini yapmakta, yapılan deneyi sisteme yüklemekte ve sonuçlarını görmektedirler. Bu laboratuvarın, diğer laboratuvarlar ve geleneksel laboratuvar yaklaşımları ile karşılaştırılması yapıp sistemin avantajları ve dezavantajları çalışmada tartışılmıştır. Son yıllarda bulut teknolojisi hayatımıza girmekte ve sistemler bulut bilişime aktarılmaktadır. Bu bağlamda bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde de bulut teknolojisinden yararlanılmıştır. Bununla ilgili olarak yapılan akademik çalışma [34]'te yazar, bulut tabanlı bir bilgisayar ağları laboratuvarı oluşturmuş ve öğrencilerin aktif katılımını düzenlemiştir. Araştırmamızın dışında birçok açık kaynak tabanlı sanallaştırılmış bilgisayar ağları laboratuvar eğitim programları bulunmaktadır. Şekil 2.5'te bu programlardan biri olan Netkit'ten bir görüntü mevcuttur [35].

```

Netkit lab - Two switches - Konsole
Sessione Modifica Visualizza Segnalibri Impostazioni Aiuto
bash-3.1$ tar xzf netkit-lab_two-switches.tar.gz
bash-3.1$ cd netkit-lab_two-switches
bash-3.1$ lstart

===== Starting lab =====
Lab directory: /home/max/netkit-lab_two-switches
Version: 2.0
Author: G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzo
Email: contact@netkit.org
Web: http://www.netkit.org/
Description:
Experiments with the source address tables of network switches

Starting "pc1" with options "-q --eth0 "A" --hostlab=/
=/home/max/netkit-lab_two-switches"...
Starting "pc2" with options "-q --eth0 "C" --hostlab=/
=/home/max/netkit-lab_two-switches"...
Starting "pc3" with options "-q --eth0 "C" --hostlab=/
=/home/max/netkit-lab_two-switches"...
Starting "switch1" with options "-q --eth0 "A" --eth1
itches --hostwd=/home/max/netkit-lab_two-switches"...
Starting "switch2" with options "-q --eth0 "C" --eth1
itches --hostwd=/home/max/netkit-lab_two-switches"...

Lab has been started.

bash-3.1$

Web: http://www.netkit.org/
Description:
Experiments with the source address tables of network switches
Web: http://www.netkit.org/
Description:
Experiments with the source address tables of network switches
Web: http://www.netkit.org/
Description:
Experiments with the source address tables of network switches
Web: http://www.netkit.org/
Description:
Experiments with the source address tables of network switches
Modifying /etc/hosts ...
--- Netkit phase 1 init script terminated
Starting kernel log daemon: klogd.
Configuring network interfaces...done.
Starting system log daemon: syslogd.
--- Starting Netkit phase 2 startup script
Starting switch2 specific startup script ...
Virtual host switch2 ready.
--- Netkit phase 2 init script terminated
switch2 login: root (automatic login)
Linux pci 2.6.11.7 #1 Tue Sep 13 18:38:01 CEST 2005 i686 GNU/Linux
Welcome to Netkit

switch2:~# brctl showmacs br0
port no mac addr is local? ageing timer
2 00:00:00:00:01:01 no 0.64
1 00:00:00:00:02:00 yes 0.00
2 00:00:00:00:02:01 yes 0.00
switch2:~#

```

Şekil 2.5. Netkit ile sanal laboratuvar örneği.

Bulut teknolojisi kullanılarak oluşturulan sanal laboratuvar çalışmalarından [36]'da araştırmacılar, sanal kaynakları yönetmek için VMWare yazılımını, farklı sanallaştırma senaryoları yapılandırması için ise NetLab+ kullanmışlardır. Bulut bilişim teknolojisi geniş bir laboratuvar ortamı sunmakta, her yerden erişim imkânı sağlamakta ve pratik, esnek laboratuvar



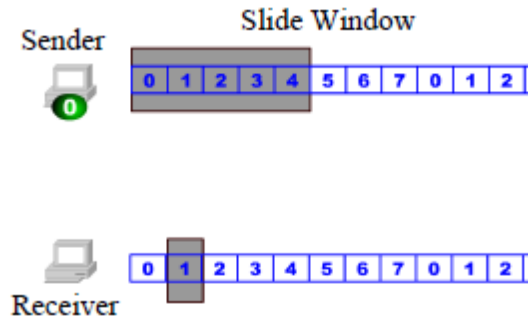
deneyleri tasarımı sağlamaktadır. Son zamanlarda bulut bilişim kullanılarak yapılan bilgisayar ağları eğitimi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmamızda karşılaştığımız uzaktan ve sanal erişimli laboratuvarların bir sınıflandırması Tablo 2.4’te gösterilmektedir.

**Tablo 2.4.** Akademik çalışmalarda kullanılan uzaktan ve sanal erişimli programlar.

| Kategori   | Örnekler  |
|--|---|
| İsteğe bağlı oluşturulmuş uzaktan ve sanal erişim tabanlı laboratuvarlar | Virtual Box ile taşınabilir sanal laboratuvar<br>Çevrimiçi uzaktan erişimli laboratuvar gerçekleştirilmesi<br>Ağ laboratuvarı bulut bilişim servisi |
| Eğitim amaçlı ve açık kaynak kodlu sanal platformlar                     | ONL, VNUML, Netkit, Imunes, Einar, VELNET, VMWare-NetLab+   |

## 2.2.6. Farklı Yaklaşım Teknikleri

Bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi konusunda farklı bakış açıları söz konusudur. Daha önce sunulan yaklaşımların dışında bazı araştırmacılar daha farklı teknik ve metotlar üzerinde de durmuşlardır. Akademik çalışma [37]’de eğitimsel yöntemlerin bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde rolü olduğuna değinilmiştir. Öğrencilerin bu metotları kullanarak laboratuvar alıştırmalarına doğrudan katılımları sağlanmıştır. Ayrıca eğitimsel yöntemler öğrencilerin derse ve laboratuvara olan güvenini ve memnuniyetini arttırmıştır. Grup çalışmaları, makale sunumu ve takım çalışması eğitimsel yöntemlerin örneklerindedir. Bir diğer akademik çalışma [38]’de üç boyutlu öğretim tekniğinin öğrenciler üzerinde olumlu izlenimler bıraktığı saptanmıştır. Görselleştirme, özgülük ve animasyon tekniklerinin öğrencinin motivasyonunu ve farkındalığını arttırdığı vurgulanmıştır. Şekil 2.6’da üç boyutlu bir animasyondan bir örnek gösterilmektedir.



**Şekil 2.6.** Üç boyutlu animasyon örneği

Akademik çalışma [39]’da yazar, bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde animasyon tekniğini denemiş ve öğrenciler üzerindeki etkisini incelemiştir. Yazar, diğer yaklaşımlarla

karşılaştırdığında öğrencilerin dersi geçtiği ve laboratuvar sorularına verdikleri doğru cevap başarı yüzdesinin arttığını tespit etmiştir. Akademik çalışma [40]'da, araştırmacılar, bilgisayar ağları eğitiminin, eğitim içeriği, eğitim yöntemi ve eğitim modelleri etrafında değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durmuştur. Bu şekilde yapılan değerlendirmeler neticesinde laboratuvar eğitiminin pratik yönden de amacına ulaşılacağı tezi savunulmuştur. Diğer bakış açısı ise çalışma [41]'de dersi veren öğretim üyesinin iki yönlü olarak anlatması ele alınmıştır. Öğretim üyesi, bilgisayar ağları kavramlarını öğrencilere iyi bir şekilde izah ederken, bir yandan da öğrencileri uluslararası bilgisayar ağları sertifikasyon sınavına da hazırlaması beklenmektedir.

Bizim tez çalışmamızda, yukarıda incelediğimiz, daha önce yapılmış çalışmalardan farklı olarak, birden fazla yaklaşımı bir arada kullanarak hibrit bir yaklaşım sunmaktayız. Bu yöntemi, daha önce yapılan yaklaşımlarla karşılaştırıp mali yönden ve eğitim tekniği açısından en etkin bilgisayar ağları laboratuvar eğitim programını geliştirmeyi hedefledik.

Yukarıdaki kısımlarda anlatmış olduğumuz bilgisayar ağları laboratuvar yaklaşımlarından her birinin tek başına bazı avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. İncelemiş olduğumuz akademik çalışmalar ve yaşadığımız tecrübelerle dayanarak bu laboratuvar yaklaşımlarını değerlendirdik. Elde ettiğimiz sonuçlara göre bilgisayar ağları laboratuvarını oluşturduk. Ayrıca, yukarıda elde etmiş olduğumuz bilgisayar ağları laboratuvar sınıflandırma modelleri tezimizde gerçekleştirmiş olduğumuz hibrit bilgisayar ağları laboratuvar modelinin temelini oluşturmakla beraber, bilgisayar ağları laboratuvarımız bu sınıflandırma modelleri etrafında şekillenmiştir. Tezimizde, bahsetmiş olduğumuz iki temel unsur; maliyet ve etkin öğretim tekniği kıstaslarına ek olarak, gerçek veri, zaman, yapılandırma yönetimi, asistan ihtiyacı, fiziksel alan gibi kriterleri en uygun bir biçimde sağlamaya çalıştık. Bu kriterler neticesinde bilgisayar ağları laboratuvar yaklaşımlarını karşılaştırıp bizim için önemli olan kriterleri sağlayan yaklaşım ya da yaklaşımları seçmeye özen gösterdik.

### 3. İLGİLİ KONULAR

#### 3.1. Lisans Seviyesinde Bilgisayar Ağları Eğitimi

Bilgisayar Ağları dersi bilgisayar mühendisliği lisans seviyesinde yer alan önemli ve dinamik derslerin başında gelir. Bilgisayar Ağları dersi, genellikle üniversitelerde lisans düzeyinde teorik olarak verilmektedir. Günümüzde bu alanda öğrencilerin teorinin yanında pratik yönden de eğitilmesi çok önem kazanmıştır. Bulut bilişim, dağıtık sistemler, mobil sistemler ve kablosuz ağlar ve ağ güvenliği gibi alanlar bilgisayar ağları dersiyle ilgili alanlar olarak belirtilebilir. Çünkü bu alanların temel teorik ve pratik alt yapıları Bilgisayar Ağları dersinde oluşur. Bilgisayar Ağları ve ilgili diğer dersleri veren öğretim elemanlarının güncel pratik konuları sunabilmesi ve uygulama yeteneği kazandırabilmeleri için, öncelikle ağ uygulamaları üzerine bilgi ve tecrübesine sahip olmaları ve kendilerini sürekli yenilemeleri gerekmektedir.

Bilgisayar ağları dersi için önerilen konular ACM SIGCOMM çalıştayında katılımcılar tarafından tartışılmıştır. Bir günlük yapılan bu çalıştayın sonunda farklı üniversitelerden gelen akademisyenlerin bilgisayar ağları dersi eğitimi ile ilgili olarak uyguladıkları müfredat ve haftalık ders programları tartışılmış karşılıklı görüş alışverişi olmuştur. Bilgisayar ağlarına laboratuvar dersi eklemek isteyen bir öğretim üyesinin bunun için zaman harcaması ve bu dersin farklı bir saat aralığında verilmesi gerektiğinin önemine değinilmiştir. Yapılan oturumlarda daha çok bilgisayar ağları eğitiminde hangi yöntemlerin kullanılacağı üzerine durulmuştur. Hangi konuların işleneceği, teorik mi yoksa aktif-katılımcılı bir eğitim mi olacağı, yukarıdan aşağıya (top-down) yaklaşımın mı yoksa aşağıdan yukarıya (bottom-up) yaklaşımın mı izleneceği, programlama ödevleriyle dersin desteklenip desteklenmeyeceği ve bilgisayar ağları laboratuvar dersinin olup olmayacağı gibi kavramlar raporda sunulmuştur [42].

Tezimizin konusuyla alakalı olarak yapılan bu çalışmayı değerlendirdiğimizde, çoğu konuşmacının bilgisayar ağları laboratuvar eğitimini desteklediği görülmektedir. Teorik dersin pratikte geliştirilmesinin ancak laboratuvar ortamında sağlandığı ve açık bir laboratuvar ortamında öğrencilerin uygulamalar yapması gerektiği ifade edilmiştir. Bu uygulamaların belirli bir sistematige dayalı bir şekilde oluşturulması ve daha çok ağ protokolleri, ağ analizi ve tasarımı gibi konuların yanı sıra temel seviyede ağ programlama ödevleriyle desteklenmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

2011 yılında yapılan aynı çalıştayda, lisans eğitiminde verilen temel bilgisayar ağları dersinde TCP/IP modeli etrafında verilen eğitime ek olarak, kablosuz ağlar ve güvenlik konularının eklenip eklenmeyeceği, bilgisayar ağları dersinde kullanılacak araçların neler olacağı, yüksek lisans ve disiplinler arası bilgisayar ağları eğitimi hakkında oturumlar yapılmış olup bu konular uzman kişiler tarafından görüşülmüştür [43].

Bu konuyla ilgili diğer önemli bir akademik çalışma [44] ACM/IEEE Computer Society tarafından, bilgisayar mühendisliği lisans müfredatlarına ilişkin rehberlik tavsiyelerini içeren rapordur. Uzun süredir üzerinde çalışılan yeni raporun son sürümü 2013 yılında nihai hale gelmiş ve yayımlanmıştır. Bilgisayar Bilimi eğitimi veren bölüm müfredatlarında olması önerilen dersler ve içerikleri uzun yılların birikimleri, yapılan son toplantılar ve akademik çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Derslerin içeriği, temel öğretilecek konular ana katmanda (Core-Tier 1), öğrencilerin faydalanması ve bilgisayar bilimlerini tam anlamıyla öğrenilmesi süreci ikinci katmanda (Core-Tier 2) ve öğrencilerin seçeceği derslerde uzmanlaşması süreci seçmeli derslerle (Elective Courses) tanımlanmıştır. Raporda Bilgisayar Ağları dersinde işlenecek temel teorik konular ve her konu için tavsiye edilen süre saat olarak belirtilmektedir. IEEE/ACM'in en son bu raporunda tavsiye etmiş olduğu bilgisayar ağları ve iletişimi ders planlamasını, katmanlı yapı şeklinde Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Bilgisayar ağları ve iletişimi dersinin katmanlı zaman çizelgesi.

| <b>Bilgisayar Bilimi / Bilgisayar Ağları ve İletişimi (Networking and Communication)</b> |  |   |   |
|--|--|---|---|
| <b>Alt Dallar</b>  | <b>Ana Katman<br/>(Core-Tier 1 Zamanı)</b> | <b>İkinci Katman<br/>(Core-Tier 2 Zamanı)</b> | <b>Seçmeli Ders<br/>(Elective Course)</b> |
| Bilgisayar Ağları/İletişimine Giriş  | 1.5 saat                                   |   | H   |
| Ağ Tabanlı Uygulamalar   | 1.5 saat                                   |   | H   |
| Güvenli Veri Gönderimi   |  | 2 saat  | H   |
| Yönlendirme ve İletim  |  | 1.5 saat                                      | H   |
| Yerel Ağ Yönetimi  |  | 1.5 saat                                      | H   |
| Kaynak Paylaşırma  |  | 1 saat  | H   |
| Mobilite   |  | 1 saat  | H   |
| Sosyal Ağlar   |  |   | E   |

(H: Hayır, E: Evet)

### 3.2. Gediz Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki Bilgisayar Ağları Dersleri

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde COM 362 Computer Networks I dersi içinde TCP/IP modeli yukarıdan-aşağı yaklaşımla anlatılmakta olup laboratuvar dersiyle de bu konular pekiştirilmektedir. COM 463 Computer Networks II dersinde, fiziksel katman ve veri bağı katmanından başlayarak bu kez yukarı doğru gidilmekte, birinci derste verilmeyen fiziksel katman işlenmekte, analog/sayısal veri iletişiminin temelleri sunulmaktadır. Ayrıca kablosuz ağlar, çoklu-medya ağları (multimedia networking) ve güvenlik gibi konular işlenmektedir. Şekil 3.1’de lisans seviyesinde verilen Bilgisayar Ağları zorunlu derslerinin müfredattaki dizilişi verilmiştir.

| V. Semester |                               |    |   |    | VI. Semester |         |                             |    |   |    |    |
|-------------|-------------------------------|----|---|----|--------------|---------|-----------------------------|----|---|----|----|
| Code        | Course Name                   | T  | P | C  | E            | Code    | Course Name                 | T  | P | C  | E  |
| COM 303     | Advanced Programming          | 3  | 0 | 3  | 5            | COM 310 | Web Programming             | 3  | 0 | 3  | 6  |
| COM 341     | Operating Systems             | 3  | 2 | 4  | 6            | COM 320 | Embedded Systems            | 3  | 0 | 3  | 6  |
| COM 351     | Data Man. and File Structures | 3  | 0 | 3  | 4            | COM 352 | Database Management Systems | 3  | 2 | 4  | 6  |
| COM 353     | Microprocessors               | 3  | 2 | 4  | 7            | COM 362 | Computer Networks I         | 3  | 2 | 4  | 7  |
| XXX xxx     | NonTechnical Elective III     | 3  | 0 | 3  | 5            | COM 4xx | Technical Elective I        | 3  | 0 | 3  | 5  |
| COM 299     | Industrial Training I         | 0  | 0 | 0  | 3            |         | Industrial Training II      | -  | - | -  | -  |
|             |                               | 15 | 4 | 17 | 30           |         |                             | 15 | 4 | 17 | 30 |

| VII. Semester |                         |   |   |   | VIII. Semester |         |                          |   |   |   |    |
|---------------|-------------------------|---|---|---|----------------|---------|--------------------------|---|---|---|----|
| Code          | Course Name             | T | P | C | E              | Code    | Course Name              | T | P | C | E  |
| COM 401       | Software Engineering    | 3 | 2 | 4 | 4              | COM 498 | Senior Design Project II | 0 | 6 | 3 | 10 |
| COM 463       | Computer Networks II    | 3 | 0 | 3 | 4              | XXX xxx | NonTechnical Elective IV | 3 | 0 | 3 | 5  |
| COM 497       | Senior Design Project I | 0 | 4 | 2 | 4              | COM 4xx | Technical Elective V     | 3 | 0 | 3 | 5  |

Şekil 3.1. Bilgisayar ağları zorunlu derslerinin müfredattaki yerleşimi.

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde kendi tasarlamış olduğumuz Bilgisayar Ağları dersindeki konular ve bu konulara ayırdığımız teorik ve pratik laboratuvar saatleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Bilgisayar Ağları dersinde toplam 39 saat teorik ders ve 20 saat laboratuvar uygulamaları dersle paralel biçimde verilmektedir. Laboratuvar uygulamaları yalnızca ilk ve son hafta yapılmamaktadır.

**Tablo 3.2.** COM 362 dersinin konuları, ders ve uygulama zaman çizelgesi.

| <b>Bilgisayar Mühendisliği / Bilgisayar Ağları I (COM 362 Computer Networks I)</b> |   |
|--|---|
| <b>Alt Dallar</b>  | <b>Toplam Zaman (Teorik + Laboratuvar) (saat)</b> |
| Bilgisayar Ağlarına Giriş  | <b>3 saat</b> (3 + 0)                             |
| Uygulama Katmanı   | <b>15 saat</b> (9 + 6)                            |
| Taşıma Katmanı   | <b>8 saat</b> (6 + 2)                             |
| Ağ Katmanı   | <b>15 saat</b> (9 + 6)                            |
| Veri Bağı Katmanı  | <b>15 saat</b> (9 + 6)                            |
| Mobil ve Kablosuz Ağlar  | <b>3 saat</b> (3 + 0)                             |
| <b>Toplam:</b>   | <b>39 + 20</b>                                    |

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde bilgisayar ağlarına giriş dersi COM 362 Computer Networks I zorunlu bir ders olarak verilmektedir. Son sınıfta verilen COM 463 Computer Networks II ikinci zorunlu derstir. Ayrıca bilgisayar ağlarıyla ilgili COM 461 Mobile and Wireless Networking, COM 462 Network Security, COM 440 Distributed Systems ve COM 444 Cloud Computing seçmeli dersleri vardır. Bu dersler gerçek bir laboratuvar ortamında, uygulamalı ve katılımcı bir şekilde, laboratuvar uygulamaları veya projeler ile desteklenerek öğrencilere sunulması planlanmaktadır.

Lisans seviyesinde vermiş olduğumuz ilk bilgisayar ağları dersi olan COM 362 Computer Networks dersinde, TCP/IP protokol yığını, yukarıdan aşağı (top-down) yaklaşımla sunulmaktadır. Uygulama katmanından başlayarak taşıma katmanı, ağ katmanı, veri bağı ve mobil ve kablosuz ağlar şeklinde devam etmektedir. COM 362 dersi, bilgisayar ağlarına giriş dersi olup verilen teorik bilgiler, ağ programlama, paket analizi ve benzetim uygulamaları ile İnternet'in temel protokollerini öğretmeye yöneliktir.

Diğer bir zorunlu ders olan COM 463 Computer Networks II dersi fiziksel katman ve veri bağı katmanından başlar. COM 463 dersinde temel olarak protokol mimarileri, analog ve sayısal veri iletişimi, yerel ve geniş ağlar, yönlendiriciler, katman-2 ve katman-3 seviyesindeki anahtarlar, kablosuz ağlar, ağ güvenliği ve çoklu-medya ağları (multi-media networking) konuları işlenmektedir.

### 3.3. Lisans Seviyesinde Uygulanan Bilgisayar Ağları Laboratuvar Çalışmaları

COM 362 dersinin laboratuvar eğitimi, teorik derste olduğu gibi, uygulama katmanıyla başlayıp veri bağı katmanıyla son bulmaktadır. Öğrenciler, uygulama katmanında socket programcılığı ile tanışmakta, bir paket yakalama ve analiz programı (Wireshark) ile ilgili uygulamalarla devam etmekte, bir benzetim programı (CISCO Packet Tracer) ile ağ tasarımı ve yönetimi ve son olarak da gerçek ağ cihazları ile ağ topolojileri oluşturmaktadır.

Bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi programındaki laboratuvar uygulamaları uygulama katmanı ile başlamaktadır. Öğrenciler Java programlama dilini kullanarak TCP/UDP socket programcılığına giriş yapar. Soket açma, veri gönderme-alma ve socket kapatma gibi socket programcılığı ile ilgili konular Java programlama dili ile uygulanır. İstemci-sunucu kod örnekleri laboratuvar oturumunda gösterilmektedir. Ayrıca, öğrenciler uygulama katmanında yer alan protokollerle de tanışmış olurlar. Paket yakalama ve analiz programı ile bu protokoller izlenir. Ağdaki ağ trafiği gözlemlenir ve buna yönelik öğrencilere soru sorulmaktadır. DNS, HTTP, FTP, SMTP ve POP3 gibi uygulama katmanı protokolleri gösterilmektedir.

Laboratuvar çalışmaları taşıma katmanı ile devam etmektedir. Öğrenciler, Wireshark ağ paket aracı ile TCP ve UDP paketlerini yakalayarak içeriklerini öğrenmeye çalışır. Ağdaki akış kontrolü ve trafik yoğunluğu gibi konular taşıma katmanında öğretilmektedir. Öğrenciler, taşıma katmanından sonra ağ katmanına geçiş yaparlar. Ağ katmanına IP katmanı da denilmektedir. IP başlığının içeriğini öğrenme, ağı alt ağlara bölme, temel ağ katmanı komutları, yönlendirme protokolleri (RIP, OSPF, BGP) gibi laboratuvar uygulamaları yerine getirilmektedir. Ağ katmanı, bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde önemli bir yere sahiptir. Bu uygulamalara ek olarak öğrenciler CISCO Packet Tracer programı ile tanışmış olurlar. Bu ortamda öğrenciler basit ağ topolojileri kurarak ve ağ trafiği benzetimleri yaparak, bir sanal ortamda hızlı ve etkin bir şekilde temel konuları öğrenmiş olurlar.

Öğrenciler son olarak veri bağı katmanında gerçek ağ cihazlarıyla tanışırlar. Yönlendirici, anahtar, sunucu gibi cihazları ve aralarındaki kablolamayı yerinde görerek ve kullanarak pratik bilgi ve tecrübe kazanırlar. Öğrenciler aralarında sanal yerel alan ağları (VLAN) oluşturarak birbirleriyle iletişim kurarlar. Ayrıca yönlendirme, gerçek cihazlar üzerinde RIP ve OSPF yönlendirme protokolleriyle uygulamalar da yaparlar.

Bilgisayar ağları eğitiminde laboratuvar uygulamalarının önemi çok büyüktür. Yukarıda sunmuş olduğumuz, Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde uyguladığımız laboratuvar oturumlarında, öğrenciler aktif, katılımcı ve uygulayan bir birey olarak laboratuvar çalışmalarına katılırlar. Böylece, öğrenciler derste öğrenmiş olduğu bilgiyi laboratuvar sırasında kullanma fırsatı bulmaktadır.

Aşağıdaki üç bölümde laboratuvarda kullandığımız temel cihazlar olan Katman-2 Anahtar, Katman-3 Anahtar ve Yönlendirici hakkında kısa bilgi sunulacaktır.

### **3.4. Katman-2 Anahtarı (Layer-2 Switch)**

Katman-2 Anahtar, bir yerel alan ağında farklı ağ noktalarını birbirleriyle bağlamayı sağlayan ağ cihazlarıdır. Katman-2 Anahtarlar, OSI modelinin ikinci katmanında yer alırlar. Bu cihazlar aslında köprü (bridge) yapılarının daha gelişmiş ve akıllı versiyonlarıdır. Katman-2 seviyesinde yer alan anahtarlar ağda yer alan bilgisayarlar arasındaki paket alışverişini bilgisayarların MAC adresleri ile sağlamaktadır. Bu cihazlar paket gönderimi için bir MAC adres tablosu oluşturur ve bu tabloya portlarından paketleri bir yerel alan ağındaki bilgisayara yönlendirir [45]. Paket gönderme işlemi ağ ara yüz kartları sayesinde gerçekleştirilir. Katman-2 anahtarlar ağ paketi üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan ağı bölümlere ayırarak paketlerin çarpışıp ağda kaybolmasını önlemektedir. Ayrıca bu cihazlar iç ağ (intranet) ve sunucu çiftliği (server farms) oluşturma gibi görevlere sahiptir [46].

Birden çok anahtarlama yöntemi mevcuttur. Katman-2 anahtarlara bağlı bulunan kullanıcılar ya da sistemler olabilmektedir. Kullanıcılar ya da sistemler, bir anahtara kapı (port) yoluyla gruplandırılabilir. Bu şekilde gerçekleşen gruplandırmaya VLAN (Virtual LAN) adı verilir. Her bir grubun VLAN'i farklı olup bu durum, performans ve güvenlik açısından önem taşımaktadır. Her bir VLAN kendi arasında bir ağ oluşturduğundan dolayı bu VLAN'lerin birbirleriyle olan iletişimini yönlendiriciler veya katman-3 anahtarları sağlamaktadır.

VLAN'ler statik ve dinamik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Statik VLAN, kullanıcının elle anahtar üzerinden port tanımlamasını yapmasıdır. Dinamik VLAN ise anahtara bağlanan bir cihazın, anahtar tarafından otomatik olarak tanınması ve o VLAN'e atanması işlemidir.

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki Bilgisayar Ağları Laboratuvarında kullandığımız anahtar Cisco Catalyst-C2960-24TC-L modelidir. Bu ağ cihazı 24 portlu olup giriş seviyesinde, orta büyüklükte ve bir nevi şube ofis ağı donanımlarındandır. Bilgisayar Ağları



Laboratuvarında bu cihazdan 2 adet bulunmaktadır. Katman-2 seviyesinde olan bu ağ cihazı aşağıdaki özelliklere sahiptir [47]:

- Paket gönderim hızı 16Gbps ile 32Gbps arasındadır.
- Telnet, Komut Satırı Ara Yüzü (Command Line Interface) ve Web Tabanlı Yönetim seçenekleri ile cihaza erişilebilmektedir.
- Bu cihaz, Servis Kalitesi (Quality of Service – QoS) ve Erişim Kontrol List (Access Control List – ACL) gibi özelliklere sahiptir.
- Fast Ethernet ve Gigabit Ethernet gibi bağlantı seçenekleri vardır.

### **3.5. Katman-3 Anahtarı (Layer-3 Switch)**

Katman-3 anahtarlar, OSI modelinin 3. katmanında yer alırlar. Bu tip anahtarlar, yönlendirici seviyesindeki anahtarlardır. Katman-3 anahtarı paket gönderimi ve filtreleme işlemi IP alt ağlar (subnet) ile sağlanmaktadır. Katman-3 anahtarın anlatıldığı çalışma [48]'de farklı ağlar ve kullanıcılar IP tabanlı haberleştiklerinden katman-3 anahtarları IP yönlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Katman-3 anahtarlar yönlendirme işlemi IP alt ağlar sayesinde yerel ağ bölümlendirmesini içerir. Ayrıca katman-3 anahtarlar, katman-2 anahtarlara göre güvenlik, kontrol ve bant genişliği korunumu gibi özellikler bakımından daha ileridir. Katman-3 anahtarları ile yönlendiriciler arasında sadece bir fark vardır. Yönlendiriciler, ağ üzerindeki paketleri alma ve gönderme işlemini bir mikroişlemci yazılımı ile sağlamaktadır. Buna karşın katman-3 anahtarlar bu işlemi donanım tabanlı olarak gerçekleştirirler. Katman-3 anahtarın diğer tüm fonksiyonları yönlendirici ile aynıdır.

Katman-3 seviyesindeki anahtarlar performans bakımından yönlendiriciler ile karşılaştırıldığında ağ trafiğinde aynı performansı gösterirler. Katman-3 anahtarlar, yönlendiricilerin desteklediği IP yönlendirme algoritmalarını desteklemektedirler. Ayrıca katman-3 anahtarlar dâhili ağ ya da iç ağda (intranet) yönlendirici şeklinde kullanılabilirler. Performans ve yapılandırma yönetiminin yönlendiricilerden hiçbir farkı yoktur. Katman-3 seviyesindeki anahtarların bir başka özelliği ise fiyatlarının genel olarak yönlendiricilerden daha uygun olmasıdır. Katman-3 anahtar DHCP sunucu gibi de davranabilmektedir.

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Ağları Laboratuvarında kullandığımız katman-3 anahtar Cisco Catalyst-C3560-24TC-L modelidir. Bu ağ cihazı 24 portlu

olup küçük kurumsal yerel ağlarda kullanılır ve şube ofis ağ donanımlarındandır. Katman-3 anahtarı aşağıdaki özelliklere sahiptir [48]:

- Paket gönderim hızı 32Gbps ve 128Gbps arasındadır.
- Cihaza erişim için, SNMP, Komut Satırı Ara Yüzü (Command Line Interface) ve Web Tabanlı Yönetim seçenekleri mevcuttur.
- Bu cihaz, Servis Kalitesi (Quality of Service – QoS), Erişim Kontrol Listesi (Access Control List – ACL) ve Ethernet Üzerinden Besleme (Power over Ethernet – PoE) gibi özelliklere sahiptir.
- Fast Ethernet ve Gigabit Ethernet gibi bağlantı seçenekleri vardır.
- RIP, OSPF ve DVMRP gibi yönlendirme protokollerini desteklemektedir.

### **3.6. Yönlendirici (Router)**

Ağ üzerindeki paketlerin buldukları ağdan başka bir ağa gönderilmesi için yönlendiricilere ihtiyaç vardır. Paketlerin gönderilmesi, ağdaki duruma ve trafiğe göre değişmektedir. Yönlendiriciler, OSI modelinde 3. katmanda çalışırlar. Yönlendiriciler LAN veya WAN bağlantısında ağ paket yönlendirme işini yapan cihazlardır.

Yönlendiriciler farklı yöntemler kullanarak ağ paketinin yolunu belirler. Bunlardan ilki statik yönlendirmedir. Statik yönlendirmede, ağ yöneticisi yönlendirme tablosuna yönlendirme yollarını elle ekleyerek yapılandırır. Yönlendirme yolları sabittir. Bu tür yapılandırma hataya toleranslı değildir. Ağ trafiğinde ya da yönlendirme de bir sorun oluştuğunda, ağ yöneticisinin sisteme elle müdahale etmesi gerekmektedir. Statik yönlendirme performans açısından daha iyi olabilmektedir.

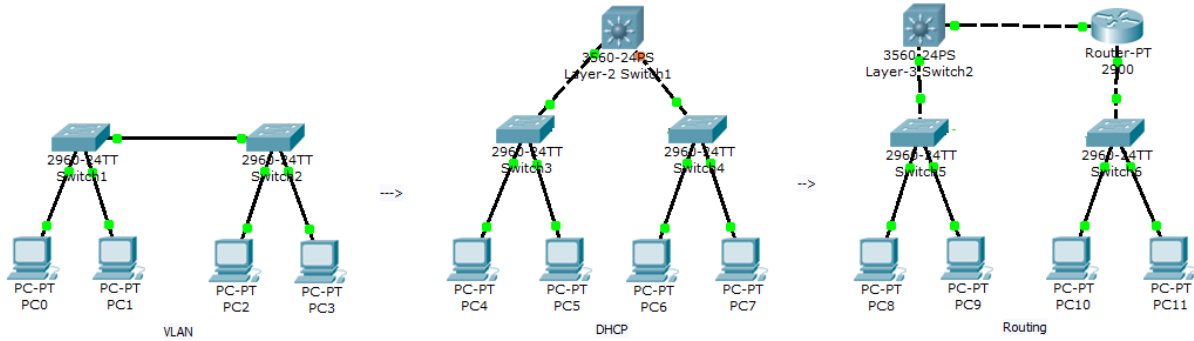
Diğer bir yönlendirme şekli dinamik yönlendirmedir. Dinamik yönlendirmede ağda tutulan bilgiler çeşitli algoritmalar sayesinde kendi kendini güncelleyebilmektedir. Ağ üzerindeki trafiğe bağlı olarak gelişen arızalar ve kesintiler durumunda, yönlendirici dinamik yönlendirme sayesinde ağ tablosunu güncelleyerek farklı yollar bulur ve ağ trafiğinin devamlılığını sağlamaktadır. Dinamik yönlendirme statik yönlendirmeye göre daha karmaşık yapıdadır. Ağ üzerinde dinamik yönlendirme sağlayan bazı protokoller mevcuttur. RIP, OSPF ve BGP dinamik yönlendirme protokollerine örnek olarak verilebilir.

Bilgisayar Ağları Laboratuvarında yönlendirici olarak Cisco 2900 Integrated Service Router kullanılmaktadır. Çok yönlü bir model olan bu yönlendirici bir bilgisayar ağları laboratuvarında olması gereken tüm özellikleri karşılamaktadır. Yönlendiricinin kendi işletim sistemi olup erişim bir işlemci yazılımı olan Cisco iOS sayesinde. Bu yönlendiriciler tüm yönlendirme protokollerini desteklemekle birlikte kablosuz yerel ve geniş ağ donanımına da sahiptir. [49].

Yukarıda teknik özellikleri kısaca sunular cihazlardan 2 adet Katman-2 anahtar, 1 adet Katman-3 anahtar ve 1 adet yönlendirici ile bir kabin oluşturduk. Bu cihazlar ile aşağıdaki temel ağ eğitimlerini vermeyi hedefledik:

- İki adet katman-2 anahtar ile öğrencileri 2 gruba ayırıp VLAN yapısını öğretmeyi,
- Katman-3 anahtar ile hem katman-2 anahtarlama ve hem de yönlendirme temellerini öğretmeyi ve IP atamayı sağlamayı,
- Yönlendirici ve Katman-3 anahtar kullanarak yönlendirme protokollerini öğretmeyi amaçladık.

Yukarıda sunulan ağ cihazları ile oluşturulacak temel ağ topolojileri Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Katman-2 anahtar, katman-3 anahtar ve yönlendiricinin bir arada olduğu laboratuvar uygulama modeli.

#### 4. LABORATUVAR TASARIMINDAKİ TEMEL PRENSİPLER

Bilgisayar ağları laboratuvar dersi için planlanan ve geliştirilen uygulamalar önemli bir zaman yatırımı gerektirmektedir. İyi bir analiz çalışması yapılan ve örneklerle desteklenen laboratuvarlar gelecek yıllara da aktarılabilmektedir. Pahalı ve özel bir yazılım veya donanım altyapısına dayanan bir bilgisayar ağları laboratuvarı üniversite için büyük bir risk oluşturmaktadır. Böyle özel bir bilgisayar ağları laboratuvarının yazılım veya donanım güncellenmesi çok maliyetlidir. Ayrıca eğitimi veren öğretim üyesi veya asistanın üniversiteden ayrılması durumunda yeni gelecek eğitimciler bu özel laboratuvarı öğrenmelerinin zorluğu aşıkârdır. Bu durumda böyle bir laboratuvar belki kullanılamayacaktır.

Laboratuvarımızın tasarımı ve kurulumunda aşağıdaki alt bölümlerde izah edilen şu temel prensipleri takip ettik:

- İlk kurulum ve bakım maliyetinin düşük olması ve genişleyebilmesi
- Etkin öğretim
- Hazırlanan deneylerin belli bir donanım altyapısı ve yazılım temelli olmaması

##### 4.1. İlk Kurulum ve Bakım Maliyetinin Düşük Olması ve Genişleyebilmesi

Laboratuvar altyapısını planlarken en az maliyetle kurulacak ve en verimli eğitimi sağlayacak bir tasarım yapmaya özen gösterdik. Bu amaçla İnternet mimarisinin en temel ve yaygın kullanılan ağ cihazlarından 2 adet katman-2 anahtar, 1 adet katman-3 anahtar ve 1 adet yönlendiriciyi bir kabin içerisine yerleştirdik. Tablo 4.1 bilgisayar ağları laboratuvarında kullanmış olduğumuz ağ cihazlarının fiyatlarını ve toplam maliyeti göstermektedir. Ağ cihazları CISCO firmasının cihazları olup bilgisayar ağları sektöründe yaygın kullanılan cihazlardır.

**Tablo 4.1.** Bilgisayar ağları laboratuvarında kullanılan ağ donanımlarının toplam maliyeti.

| Ürün   | Adet | Birim Maliyet | Toplam        |
|--|------|---------------|---------------|
| Cisco Catalyst 2960-24 Port Katman-2 Anahtar | 2    | \$1295        | \$2590        |
| Cisco Catalyst 3560-24 Port Katman-3 Anahtar | 1    | \$2995        | \$2995        |
| Cisco 2900 Yönlendirici                      | 1    | \$1100        | \$1100        |
| <b>Toplam Maliyet</b>                        |      |               | <b>\$6685</b> |

Öğrenciler temel Internet ağ donanım alt yapısı sayesinde gerçek ağ cihazlarını tanıyarak ağ topolojileri tasarlayabilecekler. Ayrıca öğrenciler, benzetim ortamında yaptıkları ağ tasarımlarını bu gerçek cihazlar üzerinde test ederek sonuçlarını karşılaştırma fırsatı bulacaktır. VLAN ve LAN gibi kavramlar gerçek ağ cihazları kullanılarak daha anlaşılır hale gelecektir. Maliyeti düşük, az ama en temel ağ cihazlarıyla en önemli kavramları vererek verimli bir çalışma tekniği geliştirmeyi hedefledik.

Satın almış olduğumuz bu cihazlar süresiz garantili olup herhangi bir sorun olduğu takdirde tedarikçi firma tarafından masraflar karşılanacaktır. Gelecekte hem bilgisayar ağları dersi için hem de bilgisayar ağları dersi ile ilgili verilecek seçmeli dersler düşünülerek kabin içerisinde daha farklı cihazlar için alan oluşturulmuştur. Bu durum bakım maliyetinin minimum seviyede kalmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bilgisayar ağları için seçmiş olduğumuz bu cihazlar piyasada var olan ve yaygın kullanılan güncel modellerdir. Oluşabilecek sıkıntılarda teknik destek dokümanları da mevcuttur. Zamanla kabinde yer alan bu sağlayıcı cihazlara ek olarak güçlü bir sunucu ve sunucu altyapısı oluşturularak Web sunucu, DHCP sunucu, Mail sunucu ve kablosuz erişim noktası gibi diğer ek bileşenler de kabine konulacak şekilde bir planlama ve kablolama yapılmıştır.

## **4.2. Etkin Öğretim**

Laboratuvar tasarımıımızdaki bir diğer prensibimiz, verimli, etkin ve her bir öğrencinin aktif katılımını sağlayacak ve teorik derse eşlik edecek bir laboratuvar konu içeriği geliştirmektir. Öğrenciler aktif olarak laboratuvar uygulamalarına katılırlar. Dersin laboratuvar kısmını icra eden asistan, laboratuvar deneylerini eksiksiz ve anlaşılır biçimde oluşturarak öğrencilere sunmaktadır. Öğrenciler ise derste öğrenmiş olduğu pratik bilgiyi laboratuvar esnasında test ederek hem dersi pekiştirirler hem de dersin uygulama tarafı etkin bir biçimde icra edilmiş olur.

Şekil 4.1’de gerçek ağ cihazlarıyla yapılan örnek bir ağ laboratuvar ortamı verilmiştir. Bu laboratuvar ortamındaki her kabin içerisinde yönlendiriciler, anahtarlar ve bilgisayarlar gibi cihazlar bulunmaktadır. Böyle bir altyapı için laboratuvar deneyleri oluşturan ve deneylerin yapılmasına yardım eden öğretim üyesi ve asistan için büyük emek ve çalışma gerektirdiği görülmektedir. Çünkü her bir laboratuvar deneyinde kurulacak değişik ağ topolojileri için kabindeki ağ cihazlarının bağlantıları ve yapılandırmasıyla ilgili çok zaman alan çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca laboratuvar oturumunda her bir kabin başında deney yapan 3-4 kişilik

öğrenci gruplarına yardım edilmelidir. Tipik olarak bir kabindeki cihazları 4 öğrencinin kullanması ve laboratuvarında 6 kabin olması durumunda, bir oturumda 24 öğrenci ve 6 grup olacaktır. Böyle bir laboratuvar çalışmasında, haftalık pratik çalışma için ayrılması gereken zaman çok olmakta, tipik asistan eşliğinde yapılan pratik 2 saatlik laboratuvar oturumunda deneyler tamamlanamamakta ve verimli bir laboratuvar eğitimi yapılamamaktadır. Ayrıca, bu tip bir laboratuvar ortamını kurmak ve bakımı mali açıdan da çok yüksektir. Ancak gerçek ağ cihazlarıyla yapılan laboratuvar uygulamalarının gerçek cihazlar ve ağ verileri üzerine inşa edilmesi bu tip laboratuvarların en önemli üstünlüğüdür.



Şekil 4.1. Bir kabinde bulunan cihazların 4 veya daha fazla öğrenci tarafından kullanılması.

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde gerçek ağ cihazları tabanlı yaklaşıma da yer vermekteyiz. Ancak yukarıdaki Şekil 4.1'den farklı olarak bir adet kabin içerisinde ağ cihazlarını bütün öğrencilere geliştirdiğimiz yöntemlerle kullandırarak maliyeti bir kabine düşürmekteyiz. Bu şekilde her hafta asistan eşliğinde yapılan deneyler laboratuvar çalışması için ayrılan 2 saatlik zaman dilimine sığmaktadır ve bunun sonucu laboratuvar eğitimini ve pratik çalışmalarını daha verimli hale getirmiş bulunmaktayız. Ancak öğrenciler, ağ cihazlarının kullanımı, ayarları ve kablolama gibi pratiğini yukarıda sunulan örnekteki gibi bizim modelde tam yapamayıp kısmen bu yeteneği kazanmaktadır. Çünkü

temel topolojiler deneyler öncesi asistan tarafından kurulmakta ve bazı ağ ayarları yapılmaktadır. Öğrenciler, bazı kısmi ayarlar yapmaktadır; ancak yine gerçek cihazların ürettiği paketlerini Wireshark ile yakalayıp protokol analizleri yapabilmektedirler.

Laboratuvarın işleyişi derste öğrenilen teorik bilgiye paraleldir. Derste takip edilen yukarıdan aşağıya (top-down) yaklaşım laboratuvar uygulamalarında da aynıdır. Bu yaklaşımı seçmemizdeki temel amaç, bu yöntemin Bilgisayar Mühendisliği eğitimine daha uygun olmasıdır. Günümüz ağ teknolojilerinin çoğu bilgisayar ağlarının uygulama katmanında gerçekleştirilmesi, uygulama yazılımlarının, servis modellerinin ve uygulama programı ara yüzlerinin uygulama katmanı ile ilişkisinin olması bizi yukarıdan aşağıya (top-down) öğretim metodolojisine yöneltmiştir. Ayrıca öğrencilerin günlük hayatta web tarayıcı, e-posta, veri paylaşım ve sosyal ağ uygulamaları gibi İnternet teknolojileri kullanmasından dolayı uygulama katmanından başlanması öğrencilere daha cazip gelmekte ve onları motive etmektedir. Bu yaklaşım öğrencilerin öğrenmesine kolaylık sağlamakta ve katmanların arasındaki ilişkilerin öğrenciler tarafından çabuk kavranmasına yol açmaktadır [50].

Kanaatimizce Bilgisayar Mühendisliği Bölüm müfredatlarında Bilgisayar Ağları dersi için mutlaka laboratuvar dersinin de ders saati olarak koyulması gerekmektedir. Bilgisayar ağları laboratuvar dersinden yoksun bir bilgisayar ağları dersi, öğrenciler açısından ise sadece teoride kalarak ileride konuları unutulacak bir ders olacaktır. Buna karşın laboratuvar uygulamaları olan bir Bilgisayar Ağları dersini alan öğrenciler, laboratuvar ortamında kazanmış olduğu tecrübeyle ileride bilgisayar ağları uzmanlığı, bilgisayar ağları yönetimi ve ağ mühendisi gibi pozisyonlarda görev almakla birlikte uluslararası bilgisayar ağları sınavlarına da donanımlı bir şekilde girme fırsatı bulacaklardır.

#### **4.3. Hazırlanan Deneylerin Belli Bir Donanım Altyapısı ve Yazılım Temelli Olmaması**

Bilgisayar ağları laboratuvar dersi için uygulamış olduğumuz eğitim modelindeki bir diğer önemli husus ise laboratuvar deneylerinin özel bir donanım ve yazılım alt yapısı düşünülerek oluşturulmamasıdır. Laboratuvar deneyleri derste sunulan teorik bilgiye uygun, öğrencilerin dersteki bilgiyi uygulamaları yönünde geliştirilmiştir. Amacımız satın almış olduğumuz ve kullanmış olduğumuz cihaz ve yazılımların bize verdiği sınırlı imkânlar doğrultusunda değil, dersteki güncellenen bilgilere yönelik günün anlayışına uygun yeni laboratuvar uygulamaları geliştirebilmektir.

Geliřtirdiđimiz laboratuvar içeriđinde PC tabanlı, benzetim tabanlı ve gerçek ađ cihazları tabanlı uygulamalar bulunmaktadır. İdeal bir bilgisayar ađları laboratuvar uygulamaları içeriđinde bu 3 yaklařımın da olması gerektiđini dűřünüyoruz. Benzetim aracı olarak Packet Tracer kullanılmasına rađmen bu sanal laboratuvar ortamı yerine OPNET veya benzeri bařka yazılımlar da kullanılabilir. İnternet'e bađlı bir PC laboratuvar ortamı genellikle bilgisayar műhendisliđi bűlűmlerinde bulunur. Ancak ift Ethernet kartlı bilgisayarların olduđu bir PC laboratuvarı, bir kabin ve içerisinde belirtmiř olduđumuz cihazlar maliyeti dűřük gerçekleřtirilmesi birçok okul için műmkűn olan ۆnemli bir ektir. Bunun olmaması durumunda da laboratuvar uygulamalarında PC tabanlı uygulamalar ve benzetim tabanlı uygulamalar yapılabilir.



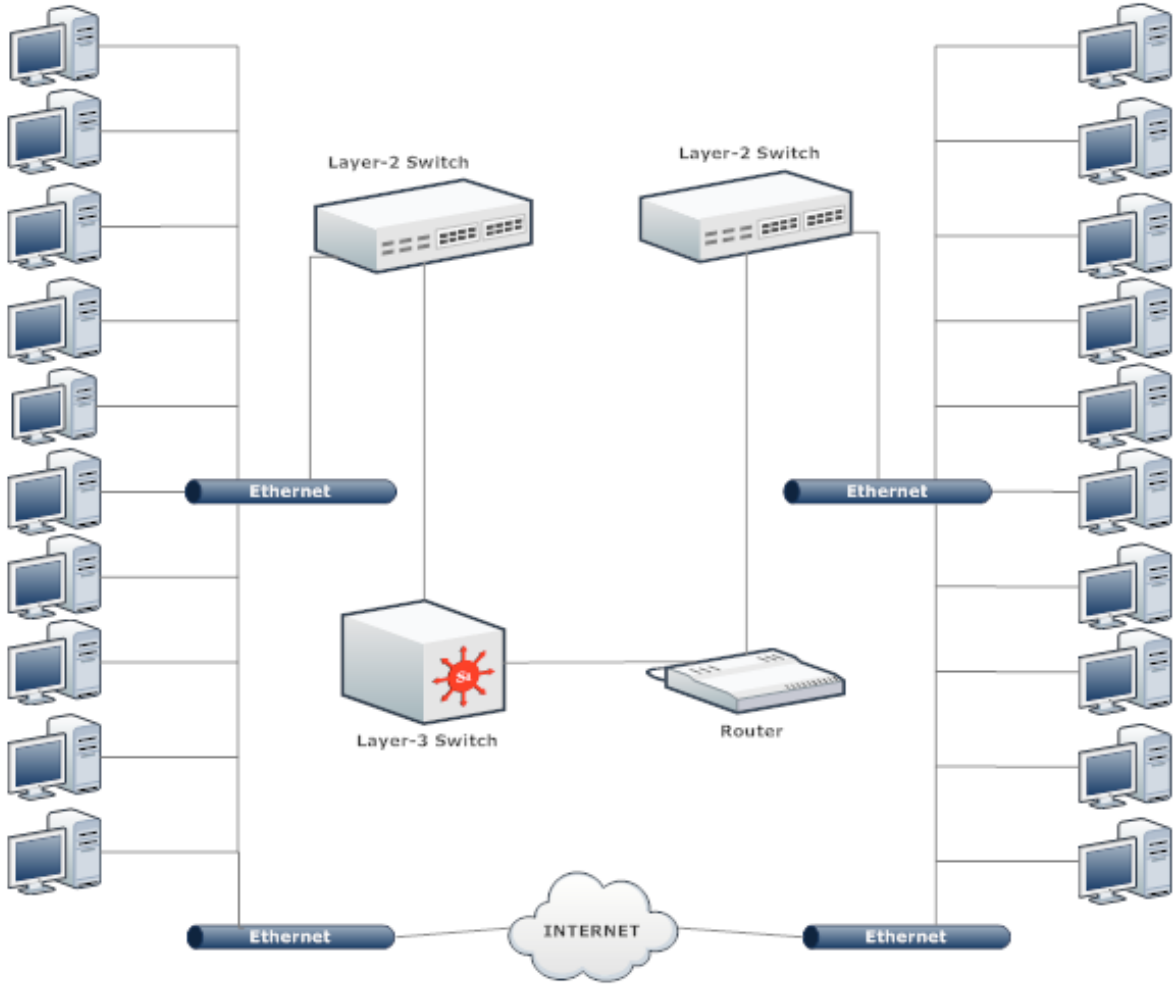
## **5. BİLGİSAYAR AĞLARI LABORATUVAR DERSİ EĞİTİMİ**

Bilgisayar ağı laboratuvar dersi, 3 saatlik teorik dersten hemen sonra 2 saat olarak bilgisayar ağı laboratuvarında yapılmaktadır. Öğrenciler laboratuvar dersine gelirken ön lab sorularını cevaplayarak veya bazı uygulamaları yaparak laboratuvar dersine hazır bir şekilde gelir. Laboratuvar dersi esnasında ise öğrenciler verilen deneyi pratik olarak uygulamaya çalışır. Laboratuvar ortamında alınan sonuçları not ederek, lab uygulamasından en geç 2-3 gün sonra bir laboratuvar raporu hazırlayarak asistana vermektedirler.

Bilgisayar ağı laboratuvar dersi 10 hafta için planlanmıştır. Bu 10 haftanın sonunda öğrenciler ayrıca bir laboratuvar yazılı final imtihanına girerler. Laboratuvar final uygulaması 10 haftalık bir uygulama performansını yazılı olarak da ölçme sağlar.

### **5.1. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Dersi Tasarımı**

Bir önceki bölümde anlatmış olduğumuz bilgisayar ağı laboratuvar dersinin dayanmış olduğu ilke ve prensiplerin başında düşük maliyet ve etkin eğitim tekniği modelinden bahsetmiştik. Araştırmalarımızdan ve edindiğimiz tecrübeler sonucu, Bilgisayar Ağları dersindeki temel konuları öğretebilmek için en gerekli ağ cihazlarını tek bir kabin içinde toplayarak maliyeti düşürdük. Gerçek ağ cihazları ile yapılacak laboratuvar uygulamaları için, bu ağ cihazlarını kullanarak temel ağ topolojileri ve deneyler oluşturduk. Oluşturmuş olduğumuz laboratuvar deneylerini öğrencilere ayrıntılı bir şekilde açıklayarak aktif-katılımcı bir şekilde yapmalarını sağladık. Bu da bizim eğitim tekniğimizi geliştirmemize yardımcı oldu. Şekil 5.1 bilgisayar ağı laboratuvarında ağ cihazlarıyla tasarlanmış olduğumuz eğitim modelimizi göstermektedir. Eğitim modelimizde yer alan bilgisayarlar çift Ethernet kartına sahiptirler. Bir bilgisayardaki ilk Ethernet kartının ağ bağlantısı kabin içinde yer alan katman-2 seviyesindeki anahtarlara gitmektedir. Diğer Ethernet kartıyla da bilgisayarlar İnternet'e bağlanmaktadır. Katman-2 seviyesindeki anahtarlardan bir tanesi Katman-3 seviyesindeki anahtara, diğeri ise yönlendiriciye bağlanmıştır. Katman-3 seviyesindeki anahtar ile yönlendirici arasında da bir bağlantı söz konusudur. Tasarlanmış olduğumuz bu temel eğitim modeli çeşitli laboratuvar senaryolarıyla öğrencilere sunulmaktadır.



Şekil 5.1. Bilgisayar ağları laboratuvarı eğitim modeli.

Bilgisayar ağları laboratuvarında öğrenciler laboratuvar uygulamalarının çoğunu tek kişi olarak yapmaktadır. Az sayıda bazı uygulama (soket programlama, sunucu-istemci uygulamaları gibi) iki kişiyle yapacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir öğrenci laboratuvar deney kâğıdındaki tüm uygulamaları yapmakla yükümlüdür. Şekil 5.2’de yukarıda Şekil 5.1’de ağ topolojisi verilen Bilgisayar Ağları Laboratuvarından bir görüntü yer almaktadır.



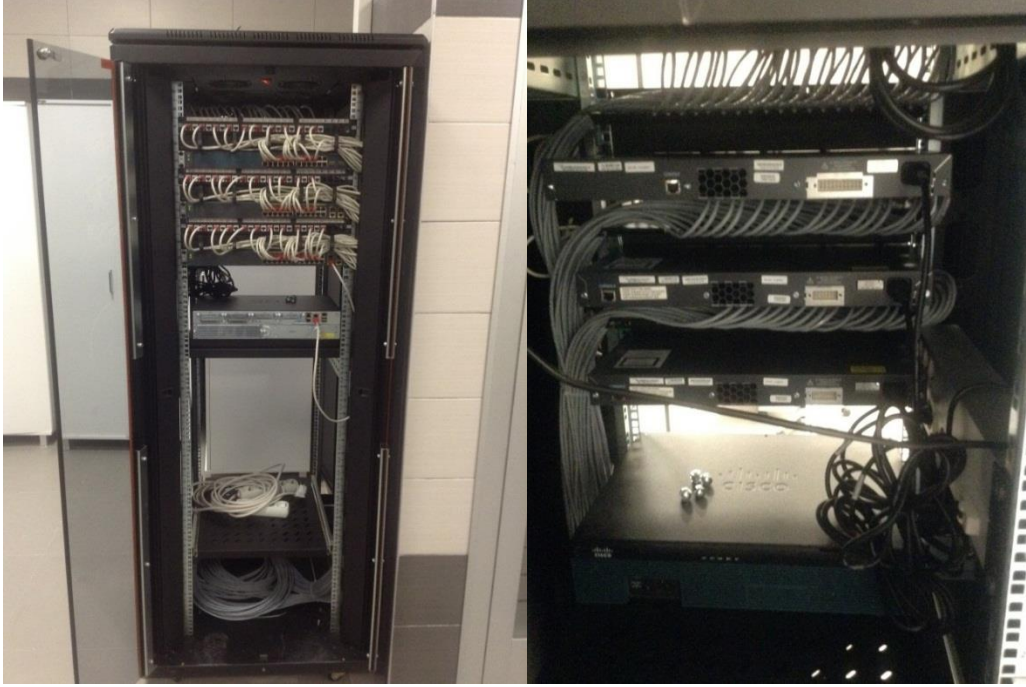
**Şekil 5.2.** Bilgisayar Ağları Laboratuvarı.

Bilgisayar Ağları Laboratuvarında 30 adet çift Ethernet kartlı bilgisayar bulunmaktadır. Her bir bilgisayar iki adet işletim sistemine (Windows + Linux) sahiptir. Tüm bilgisayarlarda laboratuvar dersi boyunca kullanacağımız paket analiz ve benzetim programları yüklüdür. Paket yakalama ve analiz etme programı olan Wireshark ara yüzü anlaşılır, kullanımı kolay ve birçok fonksiyona sahip çok yönlü bir araçtır. Diğer bir yazılım, ağ topolojileri tasarlama, yapılandırma ve benzetimini yapmayı sağlayan CISCO Packet Tracer programıdır.

Bir ağ kabini içinde 2 adet CISCO 2960 katman-2 anahtar, 1 adet CISCO 3560 katman-3 anahtar ve 1 adet CISCO 2900 yönlendirici bulunmaktadır. Şekil 5.3’de kabin içindeki ağ cihazlarının önden ve arkadan görünümü verilmiştir. En üstten baktığımızda baştan iki tane katman-2 anahtar, ardından katman-3 anahtar ve yönlendirici görülmektedir. Her bir anahtara 10 adet bilgisayar girişi ayarlanarak tüm cihazların kullanılması amaçlanmıştır.

Gediz Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde 2013 yılında laboratuvar uygulamalı olarak verilen ilk Bilgisayar Ağları dersi olan COM 362’de, laboratuvar uygulamalarını PC ağ tabanlı ve benzetim tabanlı olarak gerçekleştirildi. Kurmuş olduğumuz temel laboratuvar ortamına, 2014 yılında gerçek ağ cihazlarını da ekleyerek, daha gerçekçi ve ağ öğretimini pekiştiren hibrit bir laboratuvar ortamı oluşturmayı hedefledik. Bu amaçla tasarlamış olduğumuz

laboratuvar uygulamalarını buna göre yeniden elden geçirdik ve bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarını 10 hafta şeklinde tekrar tasarladık. On haftalık dönem içerisinde PC ağ tabanlı, benzetim tabanlı ve gerçek ağ cihazları tabanlı bir bilgisayar ağları laboratuvar planı çıkardık. Bu planda TCP/IP modelinde yer alan katmanların sırasını göz önünde bulundurduk.



Şekil 5.3. Kabin içerisinde yer alan ağ cihazlarının gösterimi.

## 5.2. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Eğitim Planı

Bilgisayar Ağları Laboratuvarında TCP/IP katmanlarını yukarıdan-aşağı sunan eğitim planlaması Tablo 5.1’de verilmiştir. Laboratuvar eğitiminde PC ağ tabanlı yaklaşım, benzetim tabanlı yaklaşım ve gerçek ağ cihazları tabanlı yaklaşım laboratuvar modelleri uygulanmıştır. Laboratuvar eğitim planında deneyler 10 haftalık bir süre için geliştirilmiştir. Bilgisayar ağları laboratuvar pratikleri, uygulama katmanı ile başlayıp veri bağı katmanı ile son bulmaktadır. Bu planda, uygulama katmanı 3 hafta, aktarım katmanı 1 hafta, ağ katmanı 3 hafta ve veri bağı katmanı 3 hafta sürecek şekilde hazırlanmıştır.

Uygulama katmanında yapılan laboratuvar deneyleri socket programlama, HTTP-DNS ve SMTP-POP3 şeklinde olup PC ağ tabanlı yaklaşım modeli içerisinde yapılmıştır. Uygulama katmanı deneyleri 3 haftalık bir periyodu kapsamaktadır.

**Tablo 5.1.** Bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarının TCP / IP modeline göre planlanması.

| <b>Deney</b> | <b>Laboratuvar Konusu</b>   | <b>Gerçek Cihazlar Tabanlı</b> | <b>PC Tabanlı</b> | <b>Benzetim Tabanlı</b> | <b>TCP/IP Katmanı</b>   |
|--------------|---|--------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1            | Soket Programlama: İstemci/Sunucu uygulaması geliştirmeye giriş   |                                | X                 |                         | Uygulama Katmanı (1/3)  |
| 2            | HTTP-DNS Paket Yakalama ve Analizi (Wireshark ile protokol analizi)   |                                | X                 |                         | Uygulama Katmanı (2/3)  |
| 3            | Ağ Programlama ve Protokol Analizi (SMTP, POP3, Java Mail API)  |                                | X                 |                         | Uygulama Katmanı (3/3)  |
| 4            | TCP ve UDP Protokol Analizi: Wireshark ile paket yakalama ve protokol analizi   |                                | X                 |                         | Aktarım Katmanı (1/1)   |
| 5            | Alt ağlar, Windows ve LINUX ile IP yapılandırması, ağ adresi, yayım (broadcast) adresi, gerçek ağ cihazlarını tanıma ve gerçek ağ cihazları ile yapılan laboratuvar tasarım modelini öğrenme, temel ağ komutlarını uygulama (ping, tracert, netstat, nslookup, ipconfig...) | X                              | X                 | X                       | Ağ Katmanı (1/3)        |
| 6            | CISCO Packet Tracer ile ağ tasarımı (statik yönlendirme) ve gerçek cihazlar ile statik yönlendirmeye giriş.   | X                              |                   | X                       | Ağ Katmanı (2/3)        |
| 7            | CISCO Packet Tracer ve Gerçek Cihaz Tabanlı Uygulamalar: Dinamik yönlendirme protokollerinin (OSPF ve RIP) gösterilip, cihazlar üzerinden yapılandırma işlemlerine giriş yapılması.   | X                              |                   | X                       | Ağ Katmanı (3/3)        |
| 8            | CISCO Packet Tracer ve Gerçek Cihazlar üzerinde yapılan anahtarlama ve VLAN (PC üzerinden gerçek ağ cihazlarına erişerek VLAN oluşturma)  | X                              |                   | X                       | Veri Bağı Katmanı (1/3) |
| 9            | CISCO Packet Tracer ve Gerçek Cihazlar ile yapılan DHCP yapılandırması (Benzetim ortamında yapılan uygulamanın gerçek cihazlar üzerinde test edilip Wireshark ile paketlerin yakalanması)   | X                              |                   | X                       | Veri Bağı Katmanı (2/3) |
| 10           | CISCO Packet Tracer ve Gerçek Cihazlar ile yapılan yönlendirme işlemleri (Benzetim ortamında yapılan uygulamanın gerçek cihazlar üzerinde test edilip Wireshark ile paketlerin yakalanması)   | X                              |                   | X                       | Veri Bağı Katmanı (3/3) |

Uygulama katmanının ardından, laboratuvar uygulamaları aktarım katmanı ile devam etmektedir. TCP-UDP protokollerinin uygulandığı ve bir haftalık süren aktarım katmanı PC ağ tabanlı yaklaşım modeliyle icra edilmiştir.

Aktarımda katmanından sonra, laboratuvar uygulamaları ağ katmanı ile sürdürmektedir. Üç hafta deneylerin yapıldığı ağ katmanı, benzetim tabanlı ve gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamaların yapıldığı deneyleri içermektedir. Öğrenciler CISCO Packet Tracer programı ile tanışır ve bu program sayesinde farklı topolojiler kurarak cihazların yapılandırılmalarını bir sanal ortamda öğrenirler. Son olarak 3 haftalık döneme ait veri bağı katmanı deneyleri laboratuvarında yapılır.

Veri bağı katmanı deneyleri gerçek cihazlar üzerinde tasarlanır. VLAN, DHCP ve IP yönlendirme laboratuvar deneyleri örnek uygulama çeşitleridir.

Laboratuvar eğitiminde asistanın rolü büyüktür. Laboratuvar deneyleri asistan tarafından öğrencilere yazılı ve uygulamalı olarak aktarılır. Daha sonra öğrenciler laboratuvar saatinin kalan kısmında bazı soruları yapmaya çalışırlar.

### **5.3. Bilgisayar Ağları Laboratuvar Deneylerinin Ayrıntılı Açıklamaları**

Bu bölümde bilgisayar ağları laboratuvar eğitiminde uyguladığımız 10 haftalık deneylerin ayrıntılı bir şekilde anlatılması yer almaktadır. Laboratuvar deneyleri ön laboratuvar çalışması, laboratuvar uygulaması ve laboratuvar sonrası çalışma şeklinde üç bölümden oluşmaktadır. Laboratuvar öncesi çalışmada öğrenciler laboratuvar dersine gelmeden önce o haftaki laboratuvar deneyi hakkında bilgi sahibi olmaları amaçlı sorularla karşılaşır. Teorik derse paralel ve kısa cevaplı bu ön çalışma soruları öğrenciler için bir nevi ön hazırlık niteliğindedir. Laboratuvar esnasında asistan, hazırlanmış olduğu laboratuvar deneyini öğrencilerin anlayacağı biçimde oluşturur ve bunu aktarır. Laboratuvar uygulaması PC ağ tabanlı ise Wireshark programının o deneyde kullanımı, uygulama benzetim tabanlı ise CISCO Packet Tracer programının kullanımı, uygulama gerçek ağ cihazları tabanlı ise ağ topolojisi ve kullanılacak cihazlar hakkında bilgiler verilir. Birkaç soru öğrenci-asistan iş birliğinde çözüldükten sonra kalan soruları öğrenciler tek başlarına yapmaya çalışırlar. Laboratuvar sonrası çalışma ise laboratuvar deneyine paralel şekilde, öğrenilen bilginin pekiştirilmesi amacıyla ev çalışması olarak verilir. Belli bir zaman aralığında öğrenci yaptığı çalışmayı, örnek uygulaması ve raporu şeklinde asistana göndermektedir.

## **Deney 1: Soket Programlamaya Giriş (İstemci-Sunucu Uygulaması)**

### **Uygulama Yöntemi: PC Ağ Tabanlı Yaklaşım**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler TCP/UDP soketlerini ve hangi amaçlarla nasıl kullanıldığını, Java'da ilgili soket sınıflarının hangi parametreleri aldığını ve uygulama katmanında bir basit Java istemci-sunucu protokolünün nasıl geliştirileceğine yönelik soruları cevaplar.

**Laboratuvarın Amacı:** Öğrencilere temel seviyede soket programcılığını öğretmek, tipik bir istemci-sunucu uygulaması geliştirmek, sunucu ve istemci tarafında kullanılan sınıfları anlayabilmek ve uygulamayı çalıştırmak.

**Adım 1:** Öğrenciler, daha önce hazırlanmış olan bir kod örneği, örneğin istemci tarafından sunucuya gönderilen bir karakter dizisinin, sunucu tarafından büyük harflere dönüştürülmesi ve istemciye yollanması, asistan tarafından Eclipse ortamında anlatılarak öğrencilere pratik soket programcılık uygulaması yaptırılır.

**Adım 2:** İstemci ve sunucu kodlarının öğrenciler tarafından iyi anlaşılması, istemci ve sunucuya özgü sınıflara ait metotların öğrenilmesi, iki taraf arasında bağlantının sağlanabilmesi, IP ve port numaralarının nasıl kullanıldıkları ve verilen programlarda ve parametrelerde değişiklikler yaptırılır.

**Adım 3:** Öğrenciler, Eclipse ortamında eksiksiz ve hatasız yazılmış olan kodları derleyerek sonuçları konsol ekranında test ederler.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Öğrenciler laboratuvar süresince öğrenmiş oldukları soket programlama mantığını laboratuvar sonrası çalışmada da öğrenmeye devam ederler. Laboratuvar sonrası çalışma yine bir istemci-sunucu uygulaması olup iki tane sorudan oluşmaktadır. İlk soru laboratuvar esnasındaki uygulamaya benzer, öğrenciler istemci tarafından bir karakter dizisini sunucuya yollarlar. Sunucu ise bu karakter dizisini MD5 şifreleme algoritmasını kullanarak istemciye geri gönderir. İstemci gönderdiği karakter dizisinin şifrelenmiş halini ekranda görmektedir. İkinci soru ise bir grup çalışması niteliğinde olup bir öğrenci istemci diğer öğrenci sunucu olacak şekilde iki bilgisayarı aynı ağ içerisine alarak bir sohbet (chat) uygulaması geliştirmesi beklenmektedir.

## **Deney 2: HTTP-DNS Paket Yakalama ve Analizi**

### **Uygulama Yöntemi: PC Ağ Tabanlı Yaklaşım**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler HTTP ve DNS protokollerinin işlevlerinin neler olduğunu, hangi katmanda ve hangi port numarası üzerinden çalıştığını, HTTP istek (request) ve cevap (response) işlemlerinin ne anlama geldiğini ve bilgisayarın komut satırından DNS adresi görme ve yenileme işlemleri gibi soruları cevaplandırır.

**Laboratuvarın Amacı:** Öğrencilere HTTP ve DNS paketlerinin içeriğini öğretmek, HTTP GET ve RESPONSE işlemlerini göstermek. Wireshark programı ile HTTP ve DNS paketlerini yakalayıp analiz etmek. Bilgisayar ağları alanında literatürde yer alan kitaplardan [10] ve [11] bize Wireshark deneyleri hakkında bilgi vermektedir. Wireshark deneyleri ile yapılan ağ paketlerini yakalama ve analizi öğrenciler açısından çok yararlıdır.

**Adım 1:** Öğrenciler Wireshark programını açarak uygun olan ağ ara yüz kartını seçerler. Ardından web tarayıcı üzerinden bir siteyi açarak Wireshark programında paketleri yakalamaya başlarlar.

**Adım 2:** Wireshark paket akış penceresinde yer alan filtre kısmına öğrenciler “http” yazıp uygula seçeneğine bastıklarında karşılarında sadece HTTP protokolleri çıkar. Öğrenciler laboratuvar deneyinde HTTP ile ilgili soruları HTTP paketlerini analiz ederek cevaplandırır.

**Adım 3:** HTTP protokolü deneyinin tamamlayan öğrenci DNS ile ilgili soruların olduğu deney föyüne geçer. Öğrenciler tekrar web tarayıcıyı açarak belirtilen site adresini yazarlar. Bu andan itibaren Wireshark programını çalıştıran öğrenci filtre kısmına “*ip.addr == your\_IP\_address*” yazıp DNS paketlerini yakalamaya başlarlar. *Your\_IP\_address* kısmı bilgisayara ayrılmış olan ve **ipconfig** komutuyla öğrenebilen bir adrestir. Öğrenciler DNS mesajlarını, DNS adresinin hangi protokolle taşındığını ve DNS istek ve cevap işlemlerini takip edebilmektedirler.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Laboratuvar saati boyunca bu laboratuvarla ilgili notlar alan öğrenci, laboratuvar sonrası yapmış bu olduğu bu deneyi uygun formatta, rapor halinde, belirlenen zaman aralığında asistana teslim etmiş olur.



### **Deney 3: Ağ Programlama ve Protokol Analizi (SMTP, POP3, JAVAMAIL API)**

#### **Uygulama Yöntemi: PC Ağ Tabanlı Yaklaşım**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler HTTP ve DNS'den farklı olarak uygulama katmanında hangi protokollerin olduğunu, bu protokollerden SMTP ve POP3'ün ne işe yaradığını, sunucu-istemci ve istemci-istemci mimarileri arasındaki farklar ile ilgili soruları cevaplandırır.

**Laboratuvarın Amacı:** SMTP ve POP3 protokollerini kullanılarak Java ile ağ programlama uygulaması geliştirmek, öğrencilerin JAVAMAIL API sınıflarını kullanarak birbirlerine e-posta göndermesi, bu esnada Wireshark programı ile SMTP ve POP3 paketleri yakalama ve analiz etmesi istenmektedir. Her bir öğrencinin tek başına yapmış olduğu bu deneyde, SMTP/POP3 paketlerinin yakalanıp Java uygulamasıyla karşılaştırdıktan sonra verilen sorular cevaplandırılır.

**Adım 1:** İlk olarak aşağıda verilen Java kodunun yazılıp derlenmesi, eksiksiz bir biçimde kütüphanelerin projeye dâhil edilip e-posta gönderme işleminin başlatılması. E-posta adresinin kontrol edilmesi ve e-postanın posta kutusunda görülmesi. Şekil 5.4'te Eclipse ortamında yazılmış bir Java-SMTP uygulaması görülmektedir.

```
package mailApp;
import java.util.Properties;

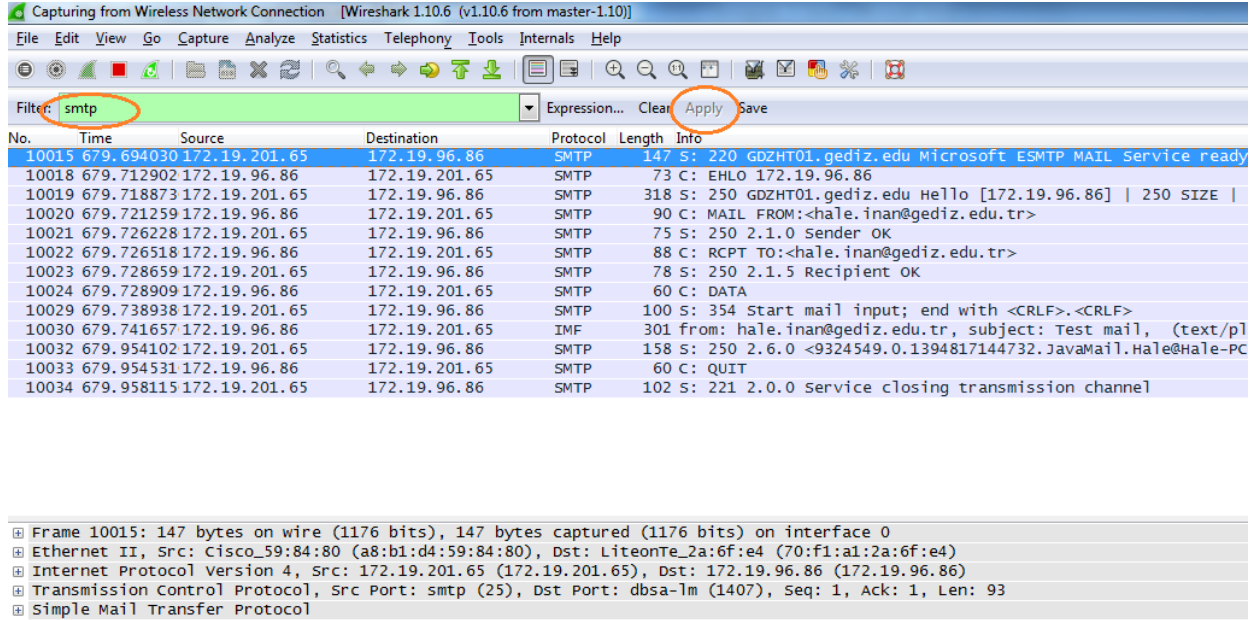
import javax.mail.*;
import javax.mail.internet.*;

public class smtpMailApp {

    public static void main(String[] args) {
        // TODO Auto-generated method stub
        String to = "hale.inan@gediz.edu.tr";
        String from = "hale.inan@gediz.edu.tr";
        String host = "mail.gediz.edu.tr";
        Properties properties = System.getProperties();
        properties.setProperty("mail.smtp.host", host);
        Session session = Session.getDefaultInstance(properties);
        try
        {
            MimeMessage message = new MimeMessage(session);
            message.setFrom(new InternetAddress(from));
            message.addRecipient(Message.RecipientType.TO, new InternetAddress(to));
            message.setSubject("Test mail");
            message.setText("Hello");
            Transport.send(message);
            System.out.println("Send message successfully");
        }
        catch(MessagingException mex)
        {
            mex.printStackTrace();
        }
    }
}
```

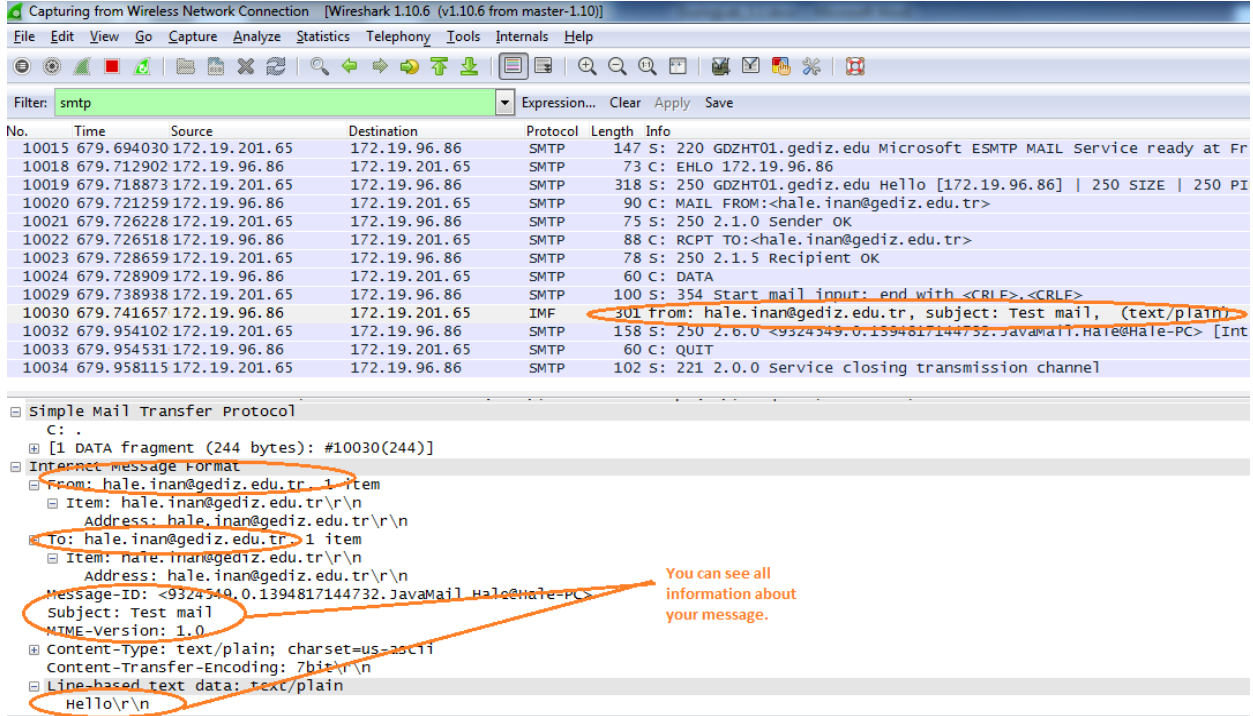
Şekil 5.4. SMTP protokolü kullanarak e-posta gönderme.

**Adım 2:** Wireshark'ın açılması, bilgisayarda yüklü olan İnternet ara yüzünün seçilmesi, Wireshark programının başlatılması, e-posta gönderme programının tekrar çalıştırılması, Wireshark'da paket akış penceresinin görülmesi ve filtre alanına **smtp** yazılıp uygula seçeneğine basılması, SMTP paketlerinin görülmesi, Wireshark programının paket akışının durdurulması ve yakalanan paketlerin analiz edilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Şekil 5.5'te Wireshark ile SMTP paketlerinin yakalanmasına bir örnek görülmektedir. Paketleri dikkatle incelediğimizde ve e-posta programı ile karşılaştırdığımızda, mail sunucusunu, port numarasını, mail sunucu IP adresini ve kaynak PC adresini görmekteyiz.



Şekil 5.5. Wireshark ile SMTP paketlerinin yakalanması.

**Adım 3:** E-posta gönderilen paketin bulunması ve paket içeriğinin incelenmesi, pakete göre verilen soruların cevaplanması öğrencilerden beklenmektedir. Gönderilen e-posta ağ paketlerinin “smtp” filtresi ile bulunup bu paket içeriklerinin analizi Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. E-posta ile gönderilen ağ paketlerin yakalanması ve içeriğinin incelenmesi.

**Adım 4:** Öğrenciler, yakalanan paketlerin içeriğine göre aşağıdaki soruları cevaplandırırılar.

- Kaynak ve hedef bilgisayarın IP adresleri nedir?
- SMTP istemci uygulamasının kullandığı aktarım katmanı protokolü nedir?
- Bu uygulama hangi port üzerinden çalışmaktadır?
- E-posta hangi mail adresinden, hangi konu başlığı ile ve hangi mesaj içeriği ile gönderilmiştir?
- Uygulama verisi hangi protokol ile gönderilmiş olup ne kadarlık bir veri gönderilmiştir?

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Yukarıda yer alan soruları cevaplayan öğrenci ayrıntılı bir şekilde bu deneyin laboratuvar raporunu belli zaman aralığında hazırlayarak teslim eder. Ayrıca, laboratuvarda SMTP protokolünü öğrenmiş olan öğrenci, bir diğer e-posta iletişim protokolü olan POP3'ü ise laboratuvar sonrası herhangi bir e-posta sunucusundan test ederek bu işlemi gerçekleştirmiş olur. Laboratuvar sonrası öğrenci, JAVA programı ile POP3 kullanarak e-posta sunucusuna erişip e-postalarını okumaya çalışmaktadır.

## Deney 4: TCP ve UDP Protokol Analizi

### Uygulama Yöntemi: PC Ağ Tabanlı Yaklaşım

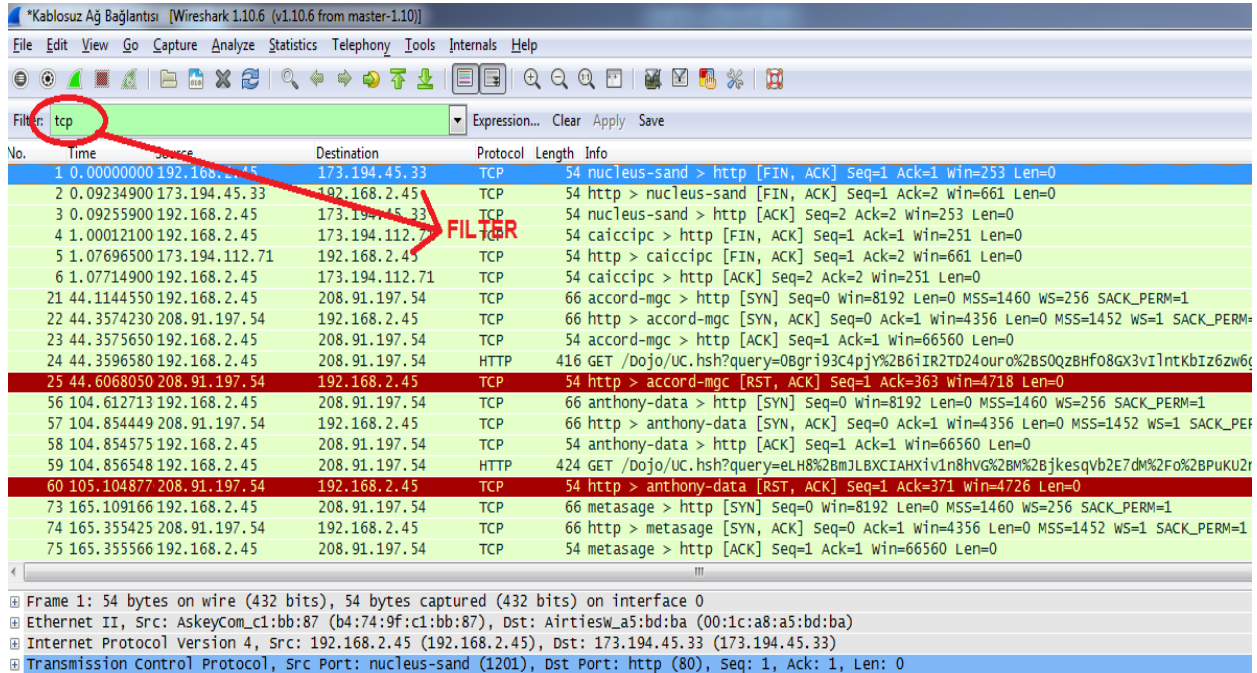
**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, aktarım katmanının bilgisayar ağlarındaki görevinin neler olduğunu, veri bağı katmanında yer alan protokollerden TCP ve UDP'nin farklarını, TCP

ve UDP başlıklarında hangi bileşenlerin olduğunu ve TCP ile sağlanan üçlü el sıkışma (three way handshake) ve akış kontrolü (flow of kontrol) gibi kavramların ne işe yaradığına dair soruları cevaplandırılır.

**Laboratuvarın Amacı:** TCP ve UDP paketlerinin içeriğini anlamak ve bilgisayar ağları kitapları olan [10] ve [11]'da yer alan TCP ve UDP Wireshark deneylerini uygulamak temel amaçtır. Öğrenciler, laboratuvar esnasında TCP Wireshark deneyini uygulayarak bir paketin istemciden sunucuya gidip gelme süresini (RTT) hesaplarlar. Ayrıca tıkanıklık kontrolü (congestion control) Wireshark deneyleriyle test edilmektedir.

**Adım 1:** Öğrenciler, öncelikle bilgisayarlarında var olan bir dosyayı bir siteye yüklerler. Siteye dosyayı göndermeden önce Wireshark programı başlatılır ve gelen-giden paketler Wireshark paket akış ekranında görülmeye başlanır. Ardından öğrenciler dosyayı siteye yüklerler. Eğer yükleme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleşmiş ise öğrenciler onay sayfasına yönlendirilirler.

**Adım 2:** Öğrenciler, gönderilme işleminin başladığı andan itibaren Wireshark paket akış penceresinden TCP paketlerini yakalamaya başlarlar. Şekil 5.7, Wireshark programı üzerinde TCP filtresi uygulayarak TCP paketlerinin daha kolay analiz edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Wireshark programı ile TCP paketlerinin yakalanması.

**Adım 3:** Aşağıda verilen sorular TCP paketlerinin yakalanmasına ve analiz edilmesine yönelik olarak öğrenciler tarafından cevaplandırılacaktır.

- Dosyayı yükleyen istemci bilgisayarın IP adresi ve TCP kapı (port) numarası nedir?
- Dosyayı alan sunucu bilgisayarın IP adresi ve TCP kapı (port) numarası nedir?
- Dosyanın istemciden sunucuya, sunucudan istemciye gidip gelme süresi nedir?
- Gönderilen ilk altı TCP paketinin uzunluğu nedir?
- Bildiğiniz üzere TCP bağlantı gerektiren bir protokoldür. Bu bağlamda paket alışverişi üçlü el sıkışması (three-way handshake) mekanizması ile sağlanmaktadır. TCP paketlerindeki üç el sıkışması mekanizmasını gösteriniz.
- Yapılan bu dosya işleminde meydana gelen TCP bağlantısı için ne kadar işlem hacmi (throughput) gerçekleşmiştir?

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Yukarıdaki soruları belli bir rapor formatında detaylı bir biçimde açıklayan öğrenciler, verilen laboratuvar sonrası çalışmada UDP protokolünün analizini yaparlar. UDP paketlerini yakalayıp UDP başlığında yer alan bileşenleri öğrenirler. Ayrıca, UDP ile verilerin nasıl taşındığına dair bilgileri paketlerde görmeye çalışırlar.

### **Deney 5: IP Yapılandırma İşlemleri, Alt Ağlar ve Temel Ağ Komutları**

**Uygulama Yöntemi: PC Ağ Tabanlı, Benzetim Tabanlı ve Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı Yaklaşımlar**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, laboratuvar ön çalışmasında IP başlığında yer alan bileşenlerin neler olduğunu, ICMP protokolünün ne işe yaradığını, Windows işletim sisteminde ICMP ile ilgili olan komutun ne olduğunu ve IPv4-IPv6 arasındaki farkların neler olduğuna dair soruları cevaplandırır.

**Laboratuvarın Amacı:** Ağ katmanının özelliklerini öğrenmek. LINUX ve Windows işletim sistemlerinde IP yapılandırmasını öğrenmek. Alt ağlara giriş yapmak, bir IP adresi nasıl alt ağlara bölünür, ağ (network) adresi, alt ağ maskesi ve yayım (broadcast) adresinin ne işe yaradığını öğrenmek ve bilmek. CISCO Packet Tracer benzetim ortamına giriş yapmak ve bu ortamda bir PC nin IP yapılandırmasını öğrenmek temel öğretilerdir. Son olarak da öğrenciler gerçek ağ cihazlarıyla tanışır. Öğrenciler, bilgisayar ağları laboratuvar alt yapısını öğrenirler ve ağ cihazlarının nasıl IP adresi aldıklarını uygulamalı olarak görürler.

**Adım 1:** Öğrenciler, IP adresinin işlevini öğrendikten sonra bir IP adresin alt ağlara nasıl ayrıldığını ve alt ağ maskesinin nasıl bulunduğu içeren örneklerle karşılaşır.

**Adım 2:** LINUX ve Windows işletim sisteminde bir bilgisayara nasıl IP adresi atandığını gösteren örnekler yapılır.

LINUX: `ifconfig eth0 192.168.10.2 netmask 255.255.255.0`

Windows: `netsh` komutuyla IP adresi atama işlemi yapılır.

**Adım 3:** CISCO Packet Tracer benzetim ortamına giriş yapılır. Öğrenciler benzetim ortamını tanırlar, bir benzetim nasıl yapılır, paket nasıl gönderilir, paket gönderilirken hangi protokoller görülür, ağ cihazları nasıl benzetim ortamına eklenir gibi uygulamaları yaparlar. Ayrıca uygulama olarak aynı ağ adresine sahip iki bilgisayar bir anahtara bağlanıp birbirlerine erişip erişemedikleri kontrol edilir. Ardından aynı anahtara, farklı bir ağ adresine sahip bir bilgisayar eklenerek aynı işlem gerçekleştirilir.

**Adım 4:** IP yapılandırma işlemini öğrenen öğrenciler, gerçek ağ cihazlarıyla tanışır. Bilgisayar ağları laboratuvarında tasarlanan model öğrencilere aktarılır. Ardından öğrenciler gerçek cihazları kullanarak bilgisayarlarına IP atamayı deneyip birbirlerine erişmeye çalışırlar. Böylece benzetim ortamında yapılan deney gerçek ağ cihazlarıyla test edilip öğrencinin zihninde kalıcı bilgi sağlanmış olur.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** CISCO Packet Tracer ortamını öğrenen öğrenci laboratuvar sonrası basit topolojilerle kendisini benzetim ortamına alıştırmaya çalışır. Öğrenciler, kendi yerel ağlarında temel ağ komutlarını öğrenmeye çalışırlar. Kendi bilgisayarlarından uzaktaki bir bilgisayar **ping**, **tracert** gibi komutları uygularlar. Ayrıca kendi bilgisayarlarında var olan yönlendirme ve ağ istatistiklerini **netstat** komutuyla, IP yapılandırmasını **ipconfig /all** komutuyla, DNS adreslerini ise **nslookup** komutlarıyla gözlemlerler. Buna ek olarak, öğrenciler, benzetim ortamında anahtara bağlanan bilgisayarlar arasında paket alışverişi yaparlar, bilgisayarların IP başlığındaki bileşenleri ve bilgisayarların MAC adreslerini benzetim ortamından öğrenirler.

## **Deneysel 6: CISCO Packet Tracer ile Ağ Tasarımı ve Gerçek Ağ Cihazları ile Yönlendirme: Statik Yönlendirme**

**Uygulama Yöntemi: Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı ve Benzetim Tabanlı Yaklaşımlar**

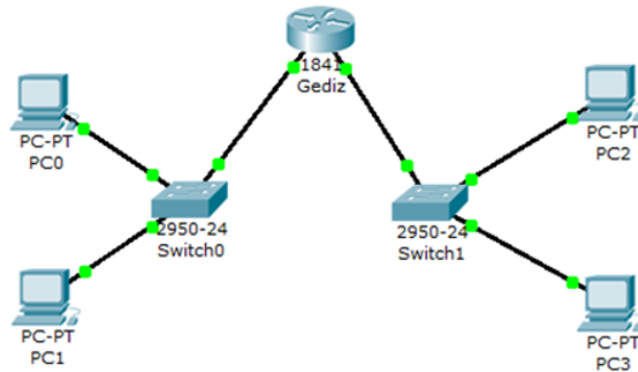
**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, bilgisayar ağlarında kaç tip yönlendirme işlemi olduğunu, statik yönlendirmenin nasıl yapıldığını, statik yönlendirme işlemindeki ağ adresi ve IP adresinin bilgisayarlara nasıl verildiği gibi soruları cevaplarlar. Ayrıca, statik yönlendirmedeki alt ağ mantığını öğrenirler.

**Laboratuvarın Amacı:** CISCO Packet Tracer benzetim programı ile ağ tasarlamak ve yönetmek, ağ topolojilerinin benzetim programı aracılığıyla tasarlanıp test edilmesi, yerel ağ oluşturma, statik yönlendirme işlemleri, topolojideki ağ paketlerinin gözlenmesi, temel ağ komutlarının uygulanması. Ayrıca, öğrencilerin gerçek ağ cihazları ile statik yönlendirme işlemlerine giriş yapması bu deneyin konuları arasındadır.

**Adım 1:** Öğrenciler, CISCO Packet Tracer ortamında statik (elle) bir protokolden bağımsız yapılandırma işlemi yaparlar. Gerçek ağ cihazlarında ise daha önce tasarlanmış olan topolojiye dayanarak asistan gerçek cihazlar üzerinde yapılandırma yapar, öğrenciler bilgisayar üzerinden bağlı olduğu gruba göre IP adresi alarak diğer öğrencilerle iletişim sağlamaya çalışırlar. CISCO Packet Tracer ortamında yapılan aynı topoloji gerçek ağ cihazları üzerinde gösterilmektedir.

**Adım 2:** Şekil 5.8, CISCO Packet Tracer ortamında tasarlanmış giriş düzeyi için basit bir topolojiyi göstermektedir. Topoloji dört bilgisayarın, iki anahtarın ve bir yönlendiricinin yer aldığı bir tasarımdır.

**Adım 3:** Yukarıda verilen laboratuvar örneğinde yer alan ağ cihazları için atanabilecek IP adresleri, alt ağ maskeleri ve varsayılan yönlendirme IP adresleri aşağıdaki Tablo 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.8. Packet Tracer ile tasarlanmış statik yönlendirme örneği.

**Adım 4:** Ağ topolojisi oluşturulup ağ cihazlarının ayarları yapılarak örnek ağın test edilmeye hazır hale getirilmesi. Her bir PC'nin benzetim ortamında, ara yüzüne erişilerek verilen ağ özelliklerinin yüklenmesi ve sistemde var olan yönlendirici yapılandırmasının yapılması, bununla ilgili olarak temel CISCO yönlendirme komutlarının öğrencilere gösterilip uygulanması ile devam edilmektedir.

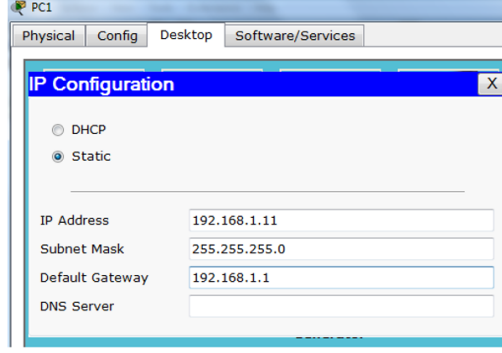
**Tablo 5.2.** Ağ cihazlarının ayar bilgileri.

|              |  |  |
|--------------|--|--|
| Gediz Router | Fast Ethernet0/0<br>IP Address: 192.168.1.1<br>Subnet Mask: 255.255.255.0              | Fast Ethernet0/1<br>IP Address: 172.16.0.1<br>Subnet Mask: 255.255.0.0 |
| PC0          | IP Address: 192.168.1.11<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>Default Gateway: 192.168.1.1 |  |
| PC1          | IP Address: 192.168.1.12<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>Default Gateway: 192.168.1.1 |  |
| PC2          | IP Address: 172.16.0.11<br>Subnet Mask: 255.255.0.0<br>Default Gateway: 172.16.0.1     |  |
| PC3          | IP Address: 172.16.0.12<br>Subnet Mask: 255.255.0.0<br>Default Gateway: 172.16.0.1     |  |

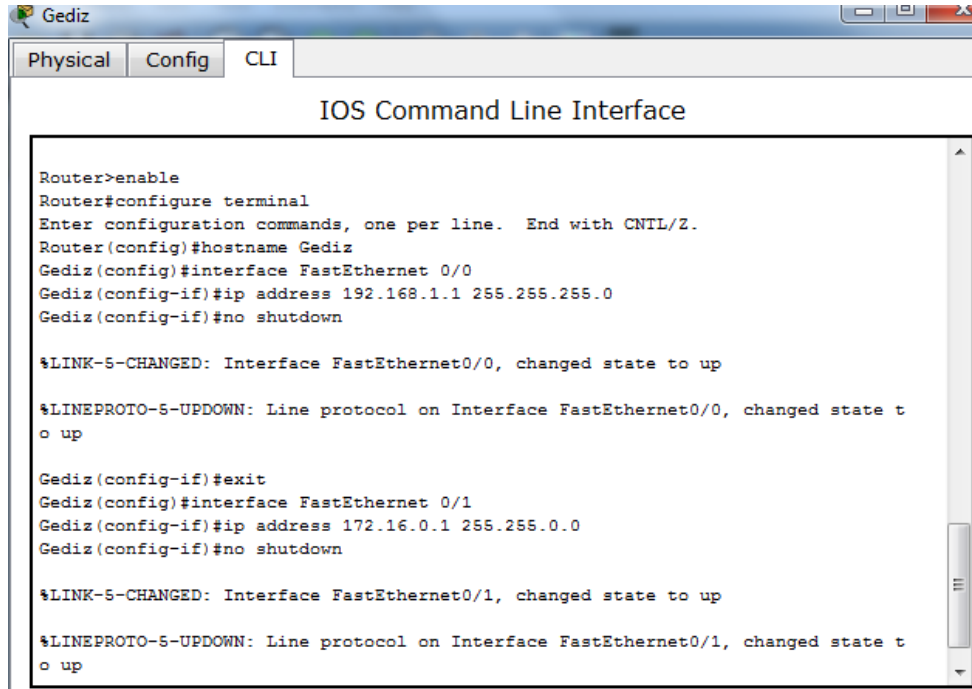
**Router1>** (Yönlendirici yapılandırmasına girdiğimizde varsayılan durum)  
**Router1> enable** (Yönlendiriciyi aktif veya çalışır hale getirme)  
**Router1#** (Yönlendiricinin aktif hale gelmiş durumu)  
**Router1# configure terminal** (Yönlendiriciyi yapılandırma hale getirme komutu)  
**Router1(config)#** (Yönlendirici yapılandırılmak için hazır durumdadır)  
**Router1(config)# interface FastEthernet 0/0** (Seçilen Ethernet aktif)  
**Router1(config-if)#** (Geçerli olan Ethernet bileşeni yapılandırılmak için hazırdır)  
**Router1(config)# exit** (Bir önceki konuma gelmek ya da işlemi sonlandırmak için gerekli komut)

**Adım 5:** Bu bölümde örnek bir yönlendirici ve bilgisayar yapılandırması gösterilmektedir. CISCO Packet Tracer üzerindeki gösterilen bu uygulamada Şekil 5.9 bilgisayar, Şekil 5.10 ise bir CISCO yönlendirici yapılandırmasıdır.





Şekil 5.9. Packet Tracer ile PC IP yapılandırması.



Şekil 5.10. Packet Tracer ile yönlendirici yapılandırması.

**Adım 6:** Aşağıdaki verilen soruların yukarıda yer alan ağ topolojisine göre cevaplandırılması beklenmektedir.

- PC'ler arasında paket gönderme işlemi yapılıyor mu? Paketin gönderilip gönderilmediğini nereden anlarsınız?
- PC'lerin arayüzlerine girerek **ping** komutunun uygulanması, PC'lerin birbirlerine ping atabilmesi mümkün müdür?
- PC'lerin arayüzlerine erişerek **tracert** komutunun uygulanması, bir PC'den bir PC'ye paket gönderilirken paket kaç tane yönlendiriciden geçmiştir açıklayınız.
- Ağ topolojisinde yer alan PC'lerin MAC adresleri nelerdir?
- Benzetim programını simülasyon moduna alarak ICMP paketlerin yakalanması sonucu, hangi OSI katmanlarına erişildiğini gösteriniz. Paketlerin içeriklerinde neler olduğunu anlatınız.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Ağ topolojisinin tasarlanıp gerekli yapılandırma işlemlerinin ardından öğrencilerin yukarıdaki sorulara eksiksiz cevap vererek rapor halinde asistana göndermesi gerekmektedir. Ardından, laboratuvarında yöneltilen soruları cevaplayan öğrenciler, ev ödevi olarak ağ topolojisine erişim noktası (access point) eklenerek ağ topolojisine dizüstü bilgisayarlar eklenir. Bu topolojiye ilişkin öğrenciler dizüstü bilgisayar ve erişim noktası ayarlarını yaparak benzetim gerçekleştirilir.

## **Deney 7: CISCO Packet Tracer ile Ağ Tasarımı ve Gerçek Ağ Cihazları ile Dinamik Yönlendirmeye Giriş**

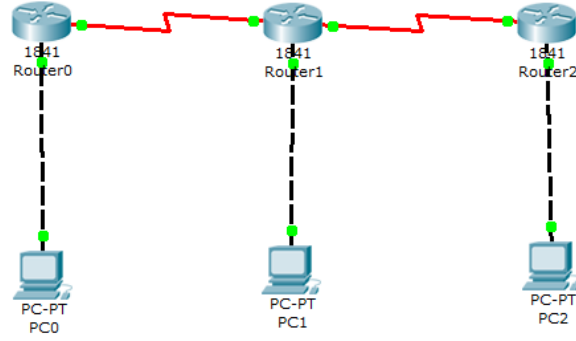
### **Uygulama Yöntemi: Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı ve Benzetim Tabanlı Yaklaşımlar**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, bilgisayar ağlarında kullanılan yönlendirme algoritmalarının neler olduğunu, internet teknolojisinde kullanılan yönlendirme protokollerinin neler olduğunu ve özelliklerini, RIP sürüm 1 ile RIP sürüm 2 arasındaki farkları ve örnek bir Dijkstra algoritma problemine dair soruları çözmeye çalışırlar.

**Laboratuvarın Amacı:** CISCO Packet Tracer ile dinamik yönlendirmeyi sağlamak için ağ tasarlamak, yerel ağ oluşturma, dinamik yönlendirme protokollerinden RIP protokolünün gösterilmesi ve uygulanması. Gerçek ağ cihazları ile RIP protokolünün gösterilmesi ve farklı ağ adresine sahip olan bilgisayarların RIP protokolü ile birbirlerine erişilebilmesi amaçlanmıştır.

**Adım 1:** İlk olarak asistan tarafından öğrencilere RIP protokolü ile ilgili bilgiler verildikten sonra CISCO Packet Tracer ortamında ağ topolojisi tasarlanır.

**Adım 2:** Şekil 5.11 öğrencilerin RIP protokolünü kavrayabilmesi açısından örnek ve basit bir RIP topolojisidir. Topolojide üç adet yönlendirici ve üç adet bilgisayar bulunmaktadır. Bilgisayarlar, yönlendiricilere Ethernet bağlantısıyla, yönlendiriciler birbirlerine seri kablo ile bağlanmıştır. Bu bağlantının amacı farklı kablolama tekniklerini göstermektir. Seri kablolanmanın yapılandırma açısından Ethernet teknolojisine göre hiçbir farkı yoktur.



Şekil 5.11. Packet Tracer ile tasarlanan RIP protokolü örneği.

**Adım 3:** Yukarıdaki topolojiyi tasarlayan ve gerekli yapılandırma işlemlerini başarı ile tamamlayan öğrenciler RIP protokolünü her bir yönlendiriciye uygulayıp bilgisayarlar arasında verinin gidip gitmediğini kontrol eder. CISCO yönlendiriciler için RIP protokolü yapılandırması aşağıdaki biçimdedir.

```
Router0(config)# router rip
Router0(config-router)# network 190.0.0.0
Router0(config-router)# network 200.0.0.0
```

**Adım 4:** Benzetim tabanlı ortamda RIP protokolünü anlayan öğrenci, gerçek ağ cihazları ile daha önceden yapılandırılmış olan RIP protokolünü gözlemler. Böylece öğrenci gerçek ortamda RIP protokolünü kendi bilgisayarında görmüş olur. Bu deneyde gerçek ağ cihazlarıyla sadece öğrenci RIP protokolü ile yapılandırılmış olan ağdan bilgisayarlarına statik olarak IP adresi alarak birbirleriyle iletişim halinde olmaları amaçlanmıştır.

**Adım 5:** RIP protokolünü ağda uygulayan öğrenciler benzetim ile alakalı aşağıdaki soruların cevaplarını bulmaya çalışırlar.

- PC'ler arasında **ping** komutunun uygulanarak PC'lerin birbirlerini görmeleri mümkün müdür?
- Herhangi bir yönlendiricinin ara yüzüne girerek RIP protokolünün hangi ağ adreslerinde uygulandığını gösteriniz.
- PC'ler arasında **tracert** komutunu uygulayarak bir PC'den diğer PC'ye ulaşmak için kaç yönlendirici ağından geçtiğini gösteriniz.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Yukarıdaki soruları detaylı bir biçimde cevaplayan öğrenciler ayrıca laboratuvar sonrası çalışması olarak OSPF protokolü ile karşılaşılır. OSPF protokolü ile tasarlanmış olan topolojiye ait yapılandırma işlemi yapan öğrenciler yönlendiricilere OSPF protokolünü uygularlar. Öğrenciler yönlendiricilerin ara yüzünde giderek `router ospf` komutunu uygularlar. Ayrıca `ip ospf cost` komutu ile yönlendiriciler arasındaki yol uzunluğu arttırılarak paketlerin kısa yoldan gönderildiği benzetim ortamında test edilmektedir.

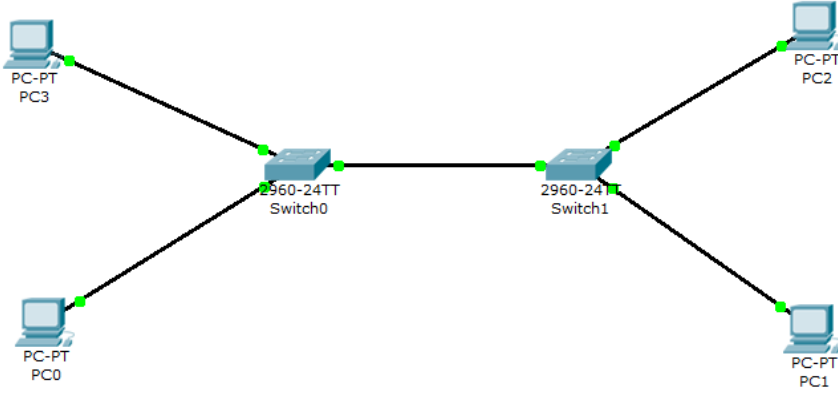
### **Deney 8: CISCO Packet Tracer ile Tasarlanan Ağın Gerçek Ağ Cihazlarında Uygulanması (VLAN Uygulaması)**

#### **Uygulama Yöntemi: Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı ve Benzetim Tabanlı Yaklaşımlar**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Bu deneyle birlikte öğrenciler veri bağı katmanıyla tanışır. Veri bağı katmanının ne işe yaradığını, veri bağı katmanında hangi protokollerin ve cihazların kullanıldığını, ARP ve RARP komutlarının özelliklerini ve VLAN mantığının ne olduğunu ve neden kullanıldığını ilgilendiren sorularla karşılaşılır.

**Laboratuvarın Amacı:** Bu laboratuvarda önce CISCO Packet Tracer ile ağ topolojisinin oluşturulup yapılandırma işleminin ardından benzetimin çalışır hale getirilmesi. Sorunsuz şekilde oluşturulmuş olan ağ topolojisinin gerçek ağ cihazları ile uygulanması. Gerçek ağ cihazlarına erişim. Bilgisayarların belli sayıda gruba ayrılarak bir VLAN'e katılmaları. Öğrencilerin var olan VLAN'den çıkararak kendilerini farklı portlara atayarak farklı VLAN oluşturmaları. Temel ağ komutlarının bilgisayar arasında test edilmesi öğrencilerin başlıca yapacağı çalışmalardır.

**Adım 1:** Öğrencilerin ilk olarak Şekil 5.12'de yer alan ağ topolojisini CISCO Packet Tracer ortamında sorunsuz ve çalışır bir biçimde tasarlaması gerekmektedir. Tasarlanan bu ağ topolojisi bilgisayar ağları laboratuvar eğitim modeli üzerinden oluşturulmuş bir topoloji olup örnek teşkil etmesi ve deneyin anlaşılması açısından birkaç bilgisayarla gösterilen bir VLAN uygulamasıdır. Katman-2 seviyesindeki anahtarların kullanıldığı bu laboratuvarda öğrenciler verilen IP adresleri doğrultusunda bilgisayarları VLAN'e atamaya çalışır.



Şekil 5.12. Packet Tracer ile VLAN tasarımı.

**Adım 2:** Tablo 5.3 ise yukarıdaki topolojiye bağlı olarak verilen PC'lerin hangi VLAN'e katılacağına dair gösterilen bilgileri içermektedir.

**Adım 3:** CISCO anahtarlar ise CISCO yönlendiriciler gibi benzer komutlara sahiptir. Bunlara ek olarak anahtarların VLAN komutları da vardır. Aşağıda CISCO anahtarlar için örnek VLAN komutları gösterilmektedir. Bilgisayarlar, anahtarlara erişim modülü ile (access mode), anahtarlar arasında birden fazla VLAN grubu sağlamak için ise birden fazla bağlantı noktası modülü (trunk mode) oluşturmak gerekir.

```
Switch0(config)# interface Ethernet 0/1
Switch0(config-if)# switchport mode access
Switch0(config-if)# switchport access vlan 2
Switch0(config)# interface Ethernet 0/2
Switch0(config-if)# switchport mode trunk
```

**Tablo 5.3.** Topolojide yer alan bilgisayarlara ait IP adresleri, alt ağa maskesi ve VLAN bilgileri.

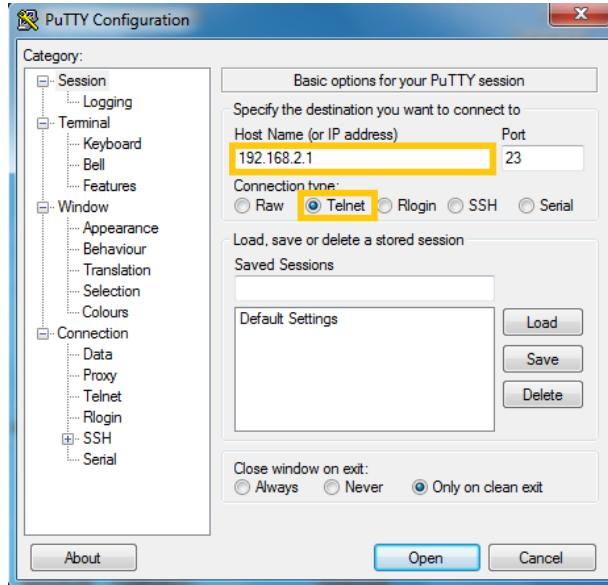
|      |  |
|------|--|
| PC 0 | IP Address: 192.168.10.2 (Fast Ethernet 0/1)<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>VLAN 2 |
| PC 1 | IP Address: 192.168.10.3 (Fast Ethernet 0/1)<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>VLAN 2 |
| PC 2 | IP Address: 192.168.20.2 (Fast Ethernet 0/3)<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>VLAN 3 |
| PC 3 | IP Address: 192.168.20.3 (Fast Ethernet 0/3)<br>Subnet Mask: 255.255.255.0<br>VLAN 3 |

**Adım 4:** CISCO Packet Tracer ile tasarlanmış olan topolojinin sorunsuz bir şekilde çalışması durumunda aynı topoloji gerçek ağ cihazları üzerinde öğrenciler tarafından yapılır. Bu bağlamda öğrenciler anahtara bağlanmak için bir program kullanılırlar ve bu program üzerinden Telnet protokolü ile anahtara erişilir. Her bir bilgisayar kullanıcısı kendisine atanan IP adresi ile komut satırından Telnet ile anahtara bağlanır. Ardından her bir kullanıcı hangi VLAN' e aitse o VLAN' a anahtar üzerinden kendini atar. Şekil 5.13 öğrencilerin program aracılığı ile Telnet üzerinden anahtara erişimini göstermektedir.

**Adım 5:** Her bir öğrenci kendi bilgisayarını ait olduğu VLAN' e aktardıktan sonra her bir VLAN' deki bilgisayar aynı VLAN' de olup olmadığını kontrol eder ve ardından birkaç bilgisayarın kendi VLAN grubundan çıkarak diğer VLAN' e geçme durumunu içeren ayarlar yapılır. Her bir öğrenci bilgisayar üzerinden gerekli yapılandırmayı yaptıktan sonra bağlı olduğu anahtara gider, ağ arabirim kartı kablosunu çıkartıp bir alt porta takarak kendi bilgisayarını ait olduğu VLAN' e atar.

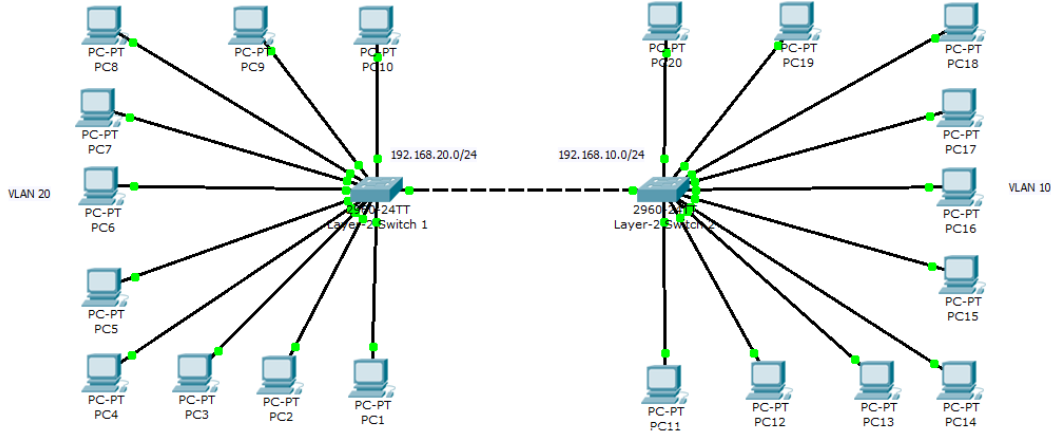
**Adım 6:** Aşağıdaki sorular laboratuvar sonunda öğrenciler tarafından cevaplandırılacaktır. Laboratuvar sonrası cevaplar, laboratuvar sonrası çalışma ile beraber gönderilecektir.

- Her bir bilgisayar kendi VLAN grubundaki bilgisayara erişebildi mi? Erişebildiğini gösteriniz.
- Uygulamış olduğumuz bu deney sonucunda VLAN mantığının amacı nedir?
- Farklı VLAN gruplarının haberleşebilmesi mümkün müdür?



Şekil 5.13. Bilgisayarların anahtara bağlanması için gereken program ve protokol tipi.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Öğrenciler, bilgisayar ağları laboratuvar modeline paralel olarak aşağıda gösterilen Şekil 5.14'teki topolojiyi laboratuvar sonrası çalışma olarak uygularlar. İki VLAN gruba ayrılan bilgisayarların yapılandırılması yapıp bu çalışmaya ait sorular cevaplandırılacaktır.



**Şekil 5.14.** CISCO Packet Tracer ile tasarlanmış VLAN laboratuvar sonrası çalışması.

- VLAN 20’de yer alan PC1 ve PC2 birbirlerini görebilir mi? Eğer görebiliyorsa bunu gösteriniz.
- VLAN 20’de yer alan PC1 ile VLAN 10’da yer alan PC15 birbirlerini görebilir mi? Eğer görebiliyorsa bunu gösteriniz, eğer göremiyorlar ise nedenini açıklayınız.
- Farklı anahtarlara bağlanan fakat aynı VLAN üzerinde yer alan bilgisayarların birbirlerini görmeli mümkün müdür? Bunu sağlamanın bir yolu var mıdır?
- Topolojide VLAN 10 ve VLAN 20 yer almaktadır. VLAN 20’de bulunan bir bilgisayarın IP adresini VLAN 10’da yer alan IP adres aralığından verdiğimiz takdirde VLAN 10’da yer alan bir bilgisayar bu bilgisayara erişebilir mi? Erişebilir ise nasıl erişmelidir, erişemezse nasıl erişemez ayrıntılı olarak açıklayınız.

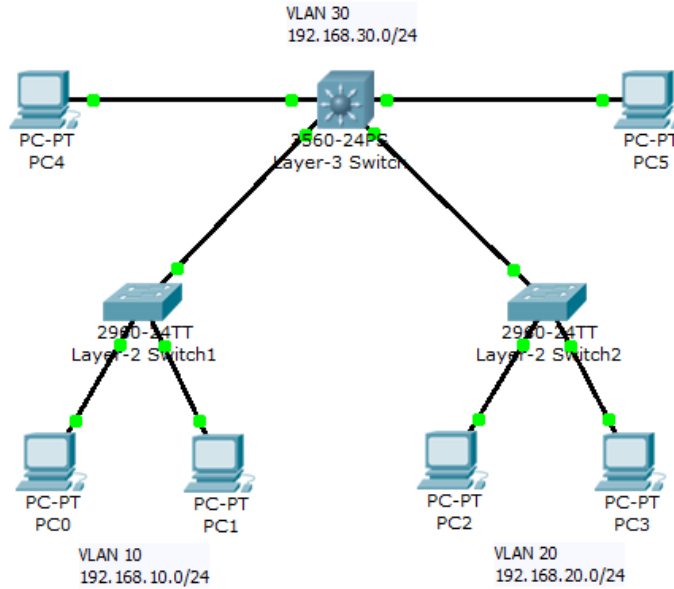
## **Deney 9: CISCO Packet Tracer ile Tasarlanan Ağın Gerçek Ağ Cihazlarında Uygulanması (DHCP Uygulaması)**

### **Uygulama Yöntemi: Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı ve Benzetim Tabanlı Yaklaşımlar**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, DHCP protokolünün ne işe yaradığını, bilgisayarda DHCP’nin etkin olduğunu görmek için hangi komutun kullanılacağını, DHCP ve IP ilişkisinin neler olduğuna yönelik soruları cevaplarlar.

**Laboratuvarın Amacı:** Bu laboratuvarda CISCO Packet Tracer programında tasarlanmış olan bir ağın içinde yer alan PC’lere, bir DHCP sunucu ile IP havuzundan otomatik olarak IP dağıtılması hedeflenmektedir. Benzetim tabanlı uygulamanın eksiksiz bir biçimde çalıştırıldıktan sonra gerçek ağ ortamında uygulanması ile devam edilmektedir. Temel ağ komutları ve bileşenlerinin DHCP sunucu üzerinde uygulanması gösterilecektir.

**Adım 1:** Öğrenciler Şekil 5.15'te yer alan ağ topolojisini CISCO Packet Tracer ortamında kurduktan sonra DHCP sunucu ile IP dağıtmaya başlanır. IP dağıtıcı görevini Katman-3 seviyesindeki anahtar sağlamaktadır. Katman-3 seviyesindeki anahtar bir yönlendirici gibi de çalışmaktadır. Aşağıdaki topoloji örnek olması açısından VLAN ve DHCP'nin bir arada kullanıldığı topolojidir.



Şekil 5.15. Packet Tracer ile tasarlanan DHCP örneği.

**Adım 2:** Katman-3 anahtarı çok yönlü bir cihaz olup bu topolojide üç VLAN grubuna da DHCP sunucu gibi davranarak IP dağıtmaktadır. Katman-3 anahtarı PC'lere IP adresinin yanında varsayılan ağ geçişi adresi ve DNS adresi de sağlayabilmektedir. Aşağıda bilgisayar ağları laboratuvarında kullanmış olduğumuz katman-3 anahtarına ait sadece bir VLAN grubuna ait DHCP sunucu yapılandırması gösterilmektedir.

```
Layer-3Switch(config)# ip dhcp pool vlan10ip
Layer-3Switch(config)# network 192.168.10.0 255.255.255.0
Layer-3Switch(config)# default-router 192.168.10.1
Layer-3Switch(config)# dns-server 8.8.8.8
```

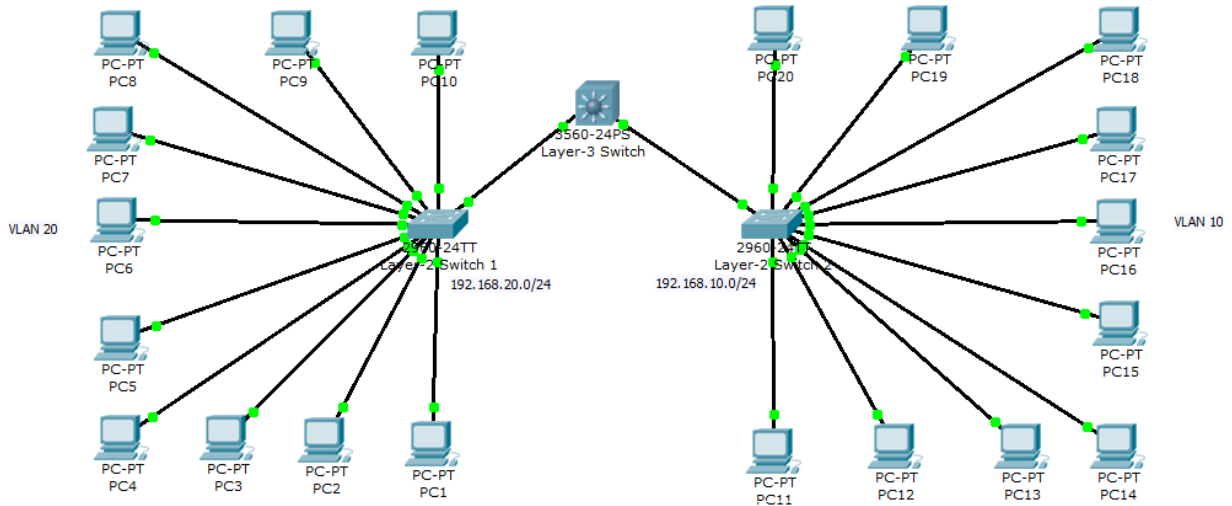
**Adım 3:** VLAN uygulamasına benzer olan bu laboratuvar deneyinde sadece IP havuzundan PC'lere IP, DHCP sunucu tarafından verilmektedir. Gerçek ortamda yapılması gereken katman-2 seviyesinde yer alan anahtarları katman-3 seviyesinde yer alan anahtara bağlayıp aynı işlemleri uygulamak gerekir.



**Adım 4:** Gerçek ağ cihazları ile aynı deneyi uygulayan öğrenciler, asistan tarafından daha önce yapılandırılan ağ cihazları öğrencilerin DHCP sunucu ile IP adreslerini almaları ile devam eder. Ardından öğrenciler Wireshark paket programı ile DHCP paketlerini yakalamaya çalışırlar. Böylelikle gerçek ortamda gerçek ağ cihazları ile deney başarılı bir şekilde amacına ulaşmış olur. Aşağıdaki sorular öğrenciler tarafından laboratuvar süresince cevaplandırılacaktır.

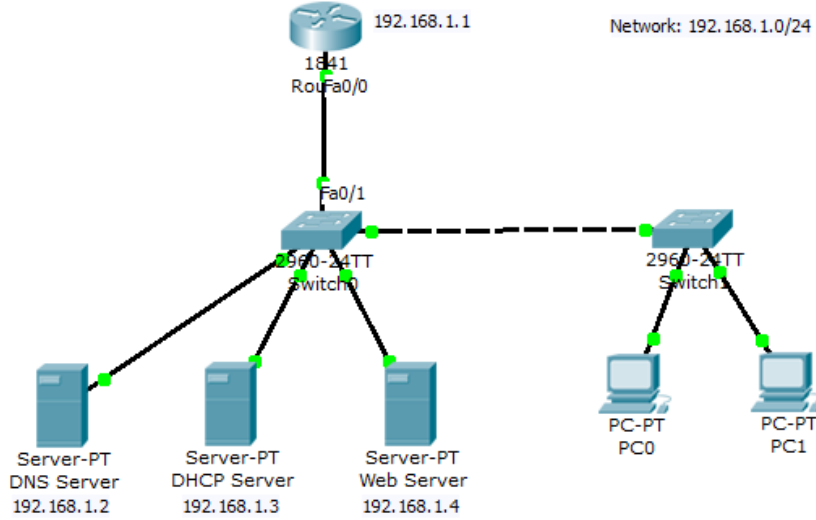
- Her bir öğrenci Wireshark programı ile kendi bilgisayarının varsayılan ağ geçidini ve DNS adresini bulabilir mi? Wireshark paketini yakalayıp gösteriniz.
- Bilgisayarınızın MAC adresi nedir öğreniniz.
- Aynı VLAN grubunda yer alan PC'lerin IP adreslerini karşılaştırınız. Farklı VLAN grubundaki bir bilgisayara erişmeniz mümkün müdür?
- Wireshark programı ile DHCP sunucudan IP talebi ile IP adresi alındıktan sonraki değişikliği gösteren paketleri bulup karşılaştırınız.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Laboratuvar süresince uygulanan çalışmada sorulan sorulara ek olarak öğrenciler laboratuvar sonrası çalışmada bir önceki haftanın laboratuvar sonrası çalışmasına ek olarak katman-3 anahtarı topolojiye ekleyerek ve katman-3 anahtarı bir DHCP sunucu gibi çalıştırarak bilgisayarlara IP adresi ataması sağlanması istenmektedir. Şekil 5.16, öğrencilerin laboratuvar sonrası yapacağı çalışmayı gösteren topolojidir. Bu çalışmaya ek olarak CISCO Packet Tracer ortamında öğrenciler sunucuları ekleyerek de DHCP sunucu, DNS sunucu ve Web sunucu gibi uygulamaları da yapmaktadırlar. Şekil 5.17'de sunucuların olduğu ve öğrencilerin bu sunucuları kullanarak da PC'lere IP ataması yapabildiğini gösteren bir laboratuvar sonrası çalışmadır.



**Şekil 5.16.** Packet Tracer ile laboratuvar sonrası çalışma örneği.

- Ağda yer alan bilgisayarların VLAN'e bağlı olarak atanmış olan IP aralığına göre DHCP sağlayıcı hangi ağ adresini kullanmıştır?
- Ağda yer alan bilgisayarlara DHCP tarafından yayın adresi ve yayın adresinden önceki 5 IP adresini atamamayı sağlayınız.
- Ağda yer alan bilgisayarlara DHCP tarafından "GedizLab" adı altında bir DNS oluşturun. Oluşturulan bu DNS bilgisayarlar tarafından nasıl görülür, gösteriniz.



Şekil 5.17. Packet Tracer ile tasarlanan DHCP, DNS ve Web sunucu örneği.

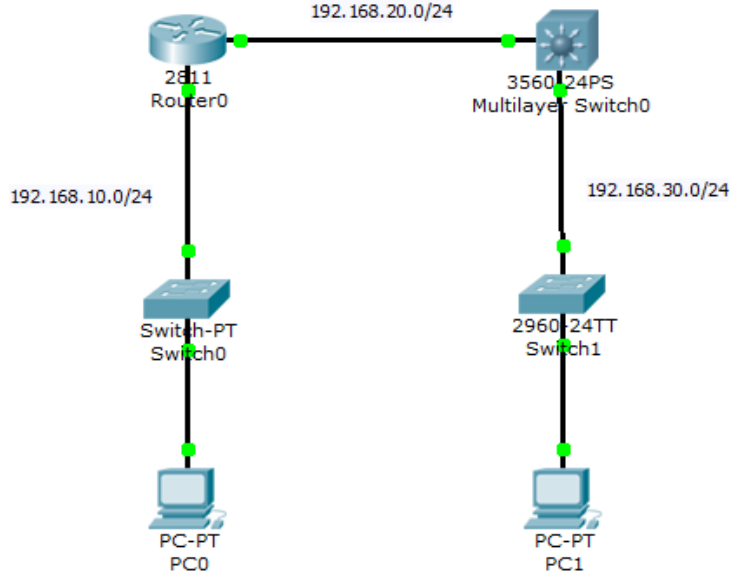
## **Deney 10: CISCO Packet Tracer ile Tasarlanan Ağın Gerçek Ağ Cihazlarında Uygulanması (Yönlendirme ve Anahtarlama)**

### **Uygulama Yöntemi: Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı ve Benzetim Tabanlı Yaklaşımlar**

**Laboratuvar Ön Çalışması:** Öğrenciler, bu deneyle birlikte şimdiye kadar gerçek ağ cihazları deneylerinde hiç kullanmadıkları bir ağ cihazını tanırlar. Yönlendirici (CISCO Router 2900) ile tanışan öğrenciler yönlendiricinin hangi amaçla kullanılacağını ve laboratuvarımızda yer alan yönlendiricinin hangi protokolleri desteklediği gibi sorularla karşılaşılır.

**Laboratuvarın Amacı:** CISCO Packet Tracer ile oluşturulan bilgisayar ağları modelinin gerçek cihazlarda uygulanması örneğidir. Bu örnekte öğrenciler kendilerini bir VLAN'e atadıktan sonra laboratuvar modelimiz doğrultusunda kendilerini bir iç ağa dâhil ederler. Yönlendirici sayesinde VLAN'ler iletişim halinde olurlar. Yönlendirme paketlerin bir uçtan bir uca gönderilmesini sağlar, öğrenciler şimdiye kadar görmüş oldukları tüm deneyleri bu ağ tasarımında uygularlar.

**Adım 1:** CISCO Packet Tracer ile oluşturulan Şekil 5.18’teki ağ modeli test edildikten sonra öğrenciler gerçek ağ cihazlarında bu topolojiyi tasarlamaya çalışırlar. Bilgisayar ağları laboratuvar modelinin özünü oluşturan bu çalışmada öğrenciler kendi iç ağlarını oluşturarak RIP protokolünü uygulamaya çalışırlar.

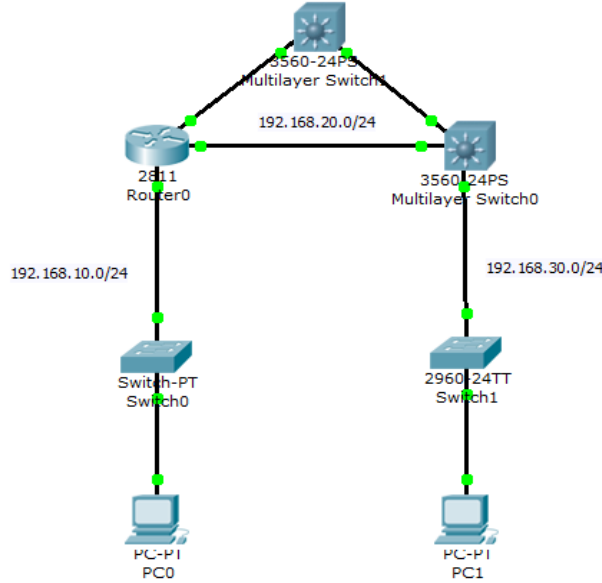


Şekil 5.18. Packet Tracer ile tasarlanan yönlendirme işleminin yapılacağı örnek uygulama.

**Adım 2:** CISCO Packet Tracer ile tasarlanan bu topolojide katman-3 anahtar ve yönlendirici kendi ağında bulunan PC'lere IP adreslerini DHCP sunucu gibi davranarak dağıtırlar. Unutulmaması gereken bir konu ise katman-3 anahtarının VLAN seviyesinde katman-2 anahtarı gibi davranıp DHCP sunucu tarafından ise katman-3 gibi davranmasıdır. Bu nedenler katman-3 anahtarı **no switchport** komutu ile katman-3 seviyesine çıkartılması gerekmektedir. Ayrıca katman-3 anahtar yönlendirme yapabilmesi için global yapılandırma modülünde **ip routing** komutunun da yazılması gerekmektedir.

**Adım 3:** Benzetim ortamında katman-3 anahtarın yönlendirme işlemini öğrenen öğrenci gerçek ağ cihazları ile RIP protokolünü uygular ve ardından Wireshark programı ile RIP protokolünü ve yönlendirme ağ adreslerinin UDP üzerinden yakalamaya çalışır. Böylelikle gerçek veri test edilmiş olup bilgisayarların komut satırından kaç atlama yaparak hedef bilgisayar erişmesi görülmüş olur. Öğrenciler paketlerini yollarken kaç adet yönlendirme adresinden geçtiğini Wireshark programı ile görerek benzetim ortamında yakaladığı veriyi ispatlamış olur.

**Laboratuvar Sonrası Çalışma:** Laboratuvarda uygulanan modelin CISCO Packet Tracer ile OPSF protokolü kullanarak uygulaması, öğrencilerden laboratuvar sonrası çalışma olarak istenmektedir. Öğrencilerin OPSF protokolünü uygulayacakları ağ topolojisi Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19. Packet Tracer ile tasarlanan OPSF ile uygulanması örneği.

Gelecekte katman-3 seviyesinde bir anahtarı daha laboratuvar kabinimize eklemeyi planlamaktayız. Böylece OPSF ve RIP yönlendirme protokollerini daha iyi sunan laboratuvar deneyleri verebileceğiz. OPSF topolojisiyle ilgili aşağıdaki gibi sorular verilmiştir.

- PC’lerin OPSF protokolü uygulandıktan sonra birbirlerine erişme imkanını gösteriniz.
- Bir PC’den diğer PC’ye ulaşmak için gönderilen paketlerin kaç adımda ulaşması beklenmektedir.
- OPSF uygulanan ağ cihazlarından herhangi biri üzerindeki maliyet uzunluğu (**ospf cost**) arttırıldığı takdirde paketin hangi gidiş yolunu tercih ettiğini nedenleriyle açıklayınız.
- Bir PC’den diğer PC’ye gönderilen paketin hangi varsayılan ağ geçidinden geçtiğini gösteren komutu ve içeriğini gösteriniz.

Yukarıda 10 deney ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Öğrenciler aktif-katılımcı bir şekilde deneyleri yaparlar. Asistan ise laboratuvar deneyinin amacını öğrencinin anlayacağı biçimde laboratuvar deney föyüne yansıtma ve deneylerden önce kabindeki ağ cihazlarının gerekli yapılandırma işlemlerini yaparak laboratuvar esnasında sürenin etkin biçimde kullanılmasını sağlamakla yükümlüdür.

## **6. MODELİMİZİN DİĞER UYGULAMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI**

Bilgisayar ağları laboratuvar modelimiz ekonomik maliyetle ve etkin bir eğitim tekniği etrafında oluşturulmuştur. Yaptığımız araştırmalar ve edindiğimiz tecrübelerle dayanarak bilgisayar ağları laboratuvar eğitimini üç laboratuvar eğitim modelinin birleşimiyle oluşturduk. Kullanmış olduğumuz kitap çerçevesinde uygulama katmanından başlayıp veri bağı katmanı ile son bulan laboratuvar uygulamaları dizisi hazırladık. PC ağ tabanlı uygulamalarla başlayıp benzetim tabanlı uygulamalarla devam edip gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamalarla laboratuvar çalışmalarını sonlandırdık. Geçmiş dönemlerde bu laboratuvar eğitim modellerinden yalnız bir veya birkaç model seçilerek laboratuvar uygulamaları yapılmaya çalışıldı.

### **6.1. Geçmiş Dönemlerde Uygulanan ve Diğer Laboratuvar Modellerinin Dezavantajları**

Geçmiş dönemlerde uygulanan bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi yalnızca bir model etrafında yapılmaya çalışılmıştır. Bunlardan PC ağ tabanlı bilgisayar ağları uygulamalarında öğrenciler yaygın olarak Wireshark programını kullanarak TCP/IP katmanlarını ve her katmandaki önemli protokolleri öğrenirler. Bu eğitim protokolleri öğretmek açısından çok faydalıdır ancak ağ cihazlarını öğretmez, ağ tasarımı ve ağ ayarları gibi bilgileri sağlamaz.

Benzetim tabanlı uygulamalar ise günümüzde kullanılan bilgisayar ağları eğitim modellerinin başında gelmektedir. Laboratuvar esnasında kullanılan benzetim programları eğitim amaçlı kullanıldığından maliyet makul seviyededir. Benzetim tabanlı uygulamalar gerçek veriden yoksun olduğundan öğrencilerin gözünde uygulamalar sanal kalabilir. Öğrenciler sanal ortamda kullandığı ağ cihazlarını gerçek hayatta da aynı şekil ve seviyede zannetmektedirler. Bu durum gerçek ortamında ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır.

Gerçek ağ cihazları tabanlı bilgisayar ağları laboratuvar eğitimi günümüzde yok denecek kadar az olmasına rağmen halen kullanılmaya devam edilmektedir. Gerçek veri ve öğrencilerin gerçek cihazlarla laboratuvar deneylerini yapması etkin bir eğitim tekniğini olmasının yanında fiziksel alan, ciddi asistan ihtiyacı ve çok maliyetli oluşu sebebiyle üniversiteler tarafından tercih edilmemeye başlanmıştır.

Uzaktan ve sanal erişimli laboratuvar yaklaşımında, gerçek verinin olması, fiziksel alana gerek duyulmaması ve asistan ihtiyacının da olmaması gibi avantajların olmasına rağmen maliyetin yüksek olması ve yapılandırma yönetimine ihtiyaç duyulması gibi önemli dezavantajlara sahiptir.

Bilgisayar ağları laboratuvarında animasyon teknikleri ve görsel ögelere dayanarak verilen uygulamalar da mevcuttur. Bu çalışmalar farklı yaklaşım tekniklerinin özelliklerindedir. Farklı yaklaşım teknikleri kullanılarak oluşturulan bu laboratuvarlarda maliyet düşük olmasına rağmen etkili ve verimli bir öğretim metodu olmadığı için genellikle çok tercih edilmemektedir. Öğrenciler sadece uygulamaları görsel olarak görme fırsatı bulmaktadırlar.

Tezimizde geliştirilen laboratuvar modeli, yukarıda sunulan laboratuvar modellerinin bir arada olduğu, her bir yaklaşımın en güçlü özelliklerini kullanan, belirli prensipler ve yaygın eğitim kaynakları (müfredat, ders kitapları ve laboratuvar deney föyleri gibi) çerçevesinde oluşturulan, verimli eğitim tekniğine sahip ve düşük maliyetli bir laboratuvar eğitim modelidir.

## **6.2. Geliştirilen Bilgisayar Ağları Laboratuvar Eğitim Modelinin Avantajları**

Tasarlamış ve gerçekleştirmiş olduğumuz bilgisayar ağları laboratuvar modeli yukarı bölümde anlatmış olduğumuz laboratuvar modellerinden çok daha verimli ve etkin bir laboratuvar modelidir. Hem öğrenciler açısından hem de laboratuvar asistanı açısından birçok fayda sağlamaktadır. Her bir öğrenci laboratuvar süresince tek başına deneyi yapmakta olup bu durum öğrencinin öğrenme sürecine büyük bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, laboratuvar ön çalışması ile öğrenciler laboratuvar için ön hazırlık yaparak laboratuvarda hangi konunun işleneceğine dair bilgi sahibi olurlar. Laboratuvar sonrası çalışma ile laboratuvarda öğrenilen bilgi pekiştirilmiş olup etkin öğretimin amacı yerine getirilmiş olur.

Bilgisayar ağları laboratuvarında PC tabanlı, benzetim tabanlı ve gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamaları göstermekteyiz. On haftalık süreçte PC ağ tabanlı uygulamalarla başlayıp benzetim ve gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamalarla devam etmekteyiz. Bilgisayar ağları laboratuvarımız gerçek ağ cihazlarıyla düşük maliyetle kurulmuş olup bakım maliyeti gerektirmemektedir. Bu cihazlara ek olarak yeni bir katman-3 anahtar, sunucu, kablosuz erişim noktası gibi cihazlar ile genişletilebilmesi mümkündür.

Gerçek veri gerçek ağ cihazları ile uygulanan deneylerde desteklenmektedir. Öğrenciler benzetim ortamında tasarlamış olduğu ağ topolojisini gerçek cihazlar ile uygulayıp Wireshark programı ile paketleri yakalayarak gerçek veriye erişmektedirler. Gerçek ağ cihazları tek bir kabin içerisinde bulunduğu için önemli bir fiziksel alan ihtiyacı bulunmamaktadır.

Asistan ihtiyacı bilgisayar ağı laboratuvar deneylerimiz için makul seviyededir. Asistan temel ağ uygulamalarını gösterip gerçek ağ cihazları ile yapılan deneylerde daha önceden yapılandırma işlemini yaparak zaman açısından verimlilik sağlamıştır. Böylelikle öğrenciler hem benzetim tabanlı hem de gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamaları bir arada görebilmektedir.

Öğrencilerin, bizim laboratuvar eğitim modeliyle bir diğer kazanımı cihaz yapılandırma (configuration) yönetim pratiği yeteneğine sahip olmalarıdır. Öğrenciler CISCO anahtar ve yönlendirici cihazlarının yapılandırmaları hakkında bilgi sahibi olup birçok ağ tasarım uygulamalarında sağlam temellere sahip olmaktadır.

Ayrıca, bilgisayar ağı laboratuvar dersi için vermiş olduğumuz bu etkin eğitim modeli, öğrencilerin mezun olduktan sonra ağ uzmanı veya ağ mühendisi olarak çeşitli kuruluşlarda günümüz ağ uygulamalarına yönelik çalışma imkânı sunmakta ve bilgisayar ağı ile ilgili sektörlere kolay uyum sağlamalarına yardım etmektedir.

PC ağ tabanlı yaklaşımda görülen paket yakalama ve protokol analizi paket seviyesinde olup öğrencilerin günlük hayatta internet üzerinden yapmış oldukları birçok işlemin arka tarafında görülmeyen yüzünü göstermesi bakımından çok yararlıdır. Benzetim tabanlı uygulamalar ile öğrenciler tasarlamış oldukları topolojilerle LAN ve WAN gibi kavramları görmenin yanında ağ cihazlarının işlevlerini ve yapılandırmalarını öğrenmektedirler. Gerçek ağ cihazları tabanlı uygulamalarda ise benzetim ortamında yapılan uygulamaların, her bir öğrenci tarafından laboratuvar esnasında kendisine tahsis edilen PC üzerinden gerçekleştirmesi etkin öğrenme tekniğinin son halkası olup bilgisayar ağı laboratuvar dersinin amacı yerine getirmiş olmaktadır.

Tablo 6.1 yukarıda anlatılan bilgisayar ağı laboratuvar yaklaşımlarının karşılaştırmalı olarak özetini sunmaktadır. Tablodan da anlaşılacağı üzere tasarlamış ve gerçekleştirmiş olduğumuz bilgisayar ağı eğitim modelinin diğer sınıflandırma modelleriyle karşılaştırılması belirli kriterler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Oluşturmuş olduğumuz bilgisayar ağı laboratuvarı mali yönden ve etkin öğretim tekniği açısından diğer laboratuvar tasarımlarına göre makul, olumlu, anlamlı ve uygulanabilir niteliktedir. Tabloda gerçekleştirmiş olduğumuz bilgisayar ağı laboratuvarı gri tonda gösterilmektedir.

**Tablo 6.1.** Bilgisayar ağı laboratuvar yaklaşımlarının karşılaştırılması.

|                               | Gerçek Ağ Cihazları Tabanlı Laboratuvarlar | PC Ağ Tabanlı Laboratuvarlar | Benzetim Tabanlı Laboratuvarlar | Birden Fazla Yaklaşımın Kullanıldığı Laboratuvarlar | Uzaktan ve Sanal Erişimli Laboratuvarlar | Farklı Yaklaşım Teknikleri |
|-------------------------------|--|------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------|
| Gerçek Ortam                  | +  | ●                            | -                               | ●   | +  | -                          |
| Zaman                         | -  | ●                            | +                               | ●   | ●  | +                          |
| Yapılandırma Yönetimi         | -  | ●                            | +                               | ●   | ●  | -                          |
| Asistan İhtiyacı              | -  | -                            | +                               | ●   | +  | ●                          |
| Fiziksel Alan                 | -  | -                            | +                               | ●   | ●  | +                          |
| İlk Maliyet ve Bakım Maliyeti | -  | ●                            | +                               | +   | -  | +                          |
| Etkin Öğretim                 | +  | ●                            | ●                               | +   | ●  | -                          |

(+ : Olumlu, - : Olumsuz, ● : Orta)



## 7. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu tezde öncelikli olarak düşük maliyet ve etkin öğretim tekniği sağlayacak bir bilgisayar ağları laboratuvar tasarımı gerçekleştirmeyi amaçladık. Bu bağlamda geçmiş tecrübelerimizden ve bilgisayar ağları dersi için kullanılan kaynaklardan yararlanarak hibrit bir bilgisayar ağları laboratuvarı eğitim modeli oluşturduk. Edindiğimiz bilgiler ve yaptığımız araştırmaların sonucunda bilgisayar ağları laboratuvarı uygulamalarında üç farklı yaklaşım tekniğinin bir arada olduğu bir deney listesi geliştirdik. PC ağ tabanlı, benzetim tabanlı ve gerçek ağ cihazları tabanlı olan bu deneyler on haftalık bir dönem içerisinde öğrencilere gösterilmiştir. Öğrenciler bu bilgisayar ağları laboratuvar modeli ile öğrenebilecekleri bilgiden daha fazlasını bulmuşlardır. Hazırlamış olduğumuz laboratuvar deneyleri herhangi bir yazılımdan ya da donanımdan bağımsız bir şekilde oluşturulmuştur. Deneyler dersteki teorik bilginin üzerine inşa edilmiştir. Bilgisayar ağları dersinin işleyişi TCP / IP modeli etrafında olup yukarıdan aşağı (top-down) yaklaşım ile uygulama katmanı ile başlayıp veri bağı katmanı ile sonlanmaktadır. Bilgisayar ağları laboratuvar uygulamalarımız ise tamamen dersteki bilgiyle paralel oluşturularak öğrencilere gösterilmektedir.

İki saatlik zaman diliminde bir asistanın önderliğinde her bir öğrencinin tek başına yapmış olduğu laboratuvar deneyleri etkin bir öğretim tekniği ile verilmektedir. Laboratuvar uygulamaları ön laboratuvar çalışmasıyla başlar. Gerekli açıklamaların ve temel uygulamaların asistan tarafından yapılmasından sonra öğrenciler kendi bilgisayarları üzerinden laboratuvar sorularını cevaplandırırılar ardından laboratuvar sonrası çalışma ile yapılan laboratuvar uygulaması farklı topolojilerle desteklenmektedir. Böylece etkin öğretimin amacı yerine getirilmiş olur.

Bilgisayar ağları laboratuvar modelimiz düşük maliyetli ve etkin öğretim tekniğine sahip olmasına rağmen gelecekte yapmamız gereken bazı eklemelerin olması gerektiğinin farkına varmış bulunmaktayız. Bazı dinamik yönlendirme protokollerinin uygulamasında zorluklar yaşanmaktadır. Bunu önlemek için bir tane daha katman-3 anahtar alıp kabine yerleştirmeyi planlamaktayız. OSPF protokolü gerçek ağ cihazları uygulamaları esnasında sıkıntı çektiğimiz bir protokoldür. Ayrıca güçlü bir sunucu ile bazı uygulamaların sunucu ilave edilerek revize edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu uygulamalar DNS ve Web sunucu gerektirdiğinden ötürü bu tip laboratuvar uygulamalarında sunucu ihtiyacı hissedilmektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] **Akyol G., Gümüşkaya H.**, 2013, “A Classification of Recent Approaches in Computer Networking Laboratories for Computer Engineering”, *3rd International Symposium on Computing in Science and Engineering (ISCSE 2013)*, 24-25 November, Kuşadası, Aydın.
- [2] **Hong F., Bai Y.**, 2008, “Research on Networking Laboratory Design and Training”, *9th International Conference for Young Computer Scientists (ICYCS)*, 18-21 November, Hunan, China.
- [3] **Bokhari S. H., Ahmed M., bin Sohail S., Khan R. H., Mirza J. A. ve Ali M.**, 2004, “A Networking Laboratory, for the Developing World”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, Issue 2, pp. 106-113.
- [4] **Hong H. ve Shengzhong Y.**, 2009, “A Low-Cost Network Design of Practical Training Laboratory”, *First International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 7-8 March, Hubei, Wuhan, China.
- [5] **Liebeherr J., Zarki M. E.**, 2004, *Mastering Networks: An Internet Lab Manual*, Addison Wesley.
- [6] **Fei H., Yu B.**, 2009, “Research on the Design of Network Testing Laboratory”, *4th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, 25-28 July, Nanning, China.
- [7] **Liu Y., Zhang L., Jiao F.**, 2009, “Teaching Computer Networking Experiment in the Realistic Network Laboratory”, *International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE)*, 11-13 December, Wuhan, China.
- [8] **Li H., Wang C.**, 2010, “Teaching Reform and Exploration in Computer Network Course Based On Cultivation of Practice Ability”, *Second International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 6-7 March, Wuhan, China.
- [9] **Rocky K., Chang C.**, 2004, “Teaching Computer Networking with the Help of Personal Computer Networks”, *ACM*, New York, USA.
- [10] **Kurose J. F., Ross K. W.**, 2012, “*Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*”, 6th Edition, Addison Wesley.
- [11] **Tanenbaum, A. S.**, 2010, *Computer Networks*, 5th Edition, Prentice Hall.
- [12] **Comer D. E.**, 2004, *Hands-on Networking with Internet Technologies*, 2nd Edition, Addison Wesley.
- [13] **Gil P., Candelas F. A., Jara C. A.**, 2011, “Constructive Learning for Network Courses Based on Compact Simulations and SCORM”, *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 4-6 April, Amman, Jordan.
- [14] **Momeni B., Kharrazi M.**, 2012, “Improving a Computer Networks Course Using the Partov Simulation Engine”, *IEEE Transactions on Education*, Vol. 55, Issue 3, pp. 436-443.
- [15] **Riley G. F.**, 2012, “Using Network Simulation in Classroom Education”, *Proceedings of the Winter Simulation Conference (WCS)*, 9-12 December, Berlin, Germany.

- [16] **Rahman M.A., Pakstas A., Wang F.Z.**, 2009, “Network Modelling and Simulation Tools”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Elsevier.
- [17] **Hnatyshin Y. V., Lobo F. A.**, 2008, “Undergraduate Data Communications and Networking Projects Using OPNET and Wireshark Software”, *Proceedings of the 39th Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE)*, Vol. 40, Issue 1, pp. 241-245, ACM, New York, USA.
- [18] **Akbaş D., Gümüşkaya H.**, 2010, “Bir Kurumsal Ağın ve Güvenlik Yapılarının Modellenmesi”, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)*, 2-6 Aralık, Bursa, Türkiye.
- [19] **Janitor J., Jakab F., Kniewald K.**, 2010, “Visual Learning Tools for Teaching/Learning Computer Networks: Cisco Networking Academy and Packet Tracer”, *Sixth International Conference on Networking and Services (ICNS)*, 7-13 March, Cancun, Mexico.
- [20] Cisco Packet Tracer web sitesi: <http://www.packettracernetwork.com>.
- [21] **Aboelela E.**, 2008, *Network Simulation Experiments Manual*, 2nd Edition, Morgan Kaufmann.
- [22] **Peterson L., Davie B.**, 2011, *Computer Networks: A Systems Approach*, 5th Edition, Morgan Kaufmann.
- [23] **Ou-Yang Y., Wang C.**, 2010, “Teaching Research and Practice of Computer Network”, *Second International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 6-7 March, Wuhan, China.
- [24] **Gümüşkaya H.**, *COM 362 Computer Networks I* course, VI. semester <http://www.gumuskaya.com/Teaching/Courses/COM362-2013/net-lab.htm>.
- [25] **Nedic Z., Machotka J., Nafalski A.**, 2003, “Remote Laboratories vs Virtual and Real Laboratories”, 33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 5-8 November, Boulder, Colorado, USA.
- [26] **Zhou Y., Xing C., Chen M.**, 2009, “Design and Implement Computer Networking Virtual Laboratory”, *First International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS)*, 7-8 March, Wuhan, China.
- [27] **Dobrilovic D., Odadzic B.**, 2006, “Virtualization Technology as a Tool for Teaching Computer Networks”, *World Academy of Science, Engineering and Technology, Informatica*, Vol. 13, pp. 126.
- [28] **Xiaofan S., Gang Z.**, 2010, “Study on Virtual Experiment Platform of Computer Network”, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 11-12 May, Changsha, China.
- [29] **Chen F. G., Chen K. Y., Lin C. Y.**, 2010, “A Cooperative Learning of Computer Networking with Portable Laboratories Using Virtual Machine”, *3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, 9-11 July, Chengdu, China.
- [30] **Galan F., Fernandez D., Ruiz J., Walid O., de Miguel T.**, 2004, “Use of Virtualization Tools in Computer Networks Laboratories”, *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 31 May-2 June, pp. 209-214.

- [31] **Wong K., Wolf T., Gorinsky S., Turner J.**, 2007, “Teaching Experiences with a Virtual Network Laboratory”, *Proceedings of the 38th Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE)*, Vol. 39, Issue 1, pp. 481-485, ACM, New York, USA.
- [32] Open Network Laboratory (ONL) ana sayfası: <https://onl.wustl.edu/>
- [33] **Wang S., Zhao H.**, 2012, “Design and Implementation of Remote Virtual Network Lab”, *International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, 19-20 May, Yantai, China.
- [34] **Yan C.**, 2011, “Build a Laboratory Cloud for Computer Network Education”, *6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, 3-5 August, Singapore.
- [35] Netkit web sitesi: [http://wiki.netkit.org/index.php/Main\\_Page](http://wiki.netkit.org/index.php/Main_Page)
- [36] **Dinita R. I., Wilson G., Winckles A., Cirstea M., Jones A.**, 2012, “A Cloud-Based Virtual Computing Laboratory for Teaching Computer Networks”, *13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, 24-26 May, Brasov, Romania.
- [37] **Jayalaxmi G.N., Suvarna G.K., Sujatha C.**, 2012, “Outcome Based Approach to Teaching, Learning and Assessment in Computer Networks: An Experience”, *IEEE International Conference on Engineering Education: Innovative Practices and Future Trends (AICERA)*, 19-21 July, Kottayam, India.
- [38] **Yao L., Gao F., Wei B.**, 2010, “Practice and Research on Tri-dimensional Teaching Resources Construction of the Course of Computer Networks”, *International Forum on Information Technology and Applications (IFITA)*, 16-18 July, Kunming, China.
- [39] **Emiroğlu B. G., Sahin S.**, 2012, “Analysis of Students’ Performances during Lab Sessions of Computer Networks Course”, *Educational Technology and Society*, Vol. 16, Issue 3, pp. 329-346.
- [40] **Yong-Min L., Wei-Dong Z.**, 2010, “Research on Computer Network Course in Information Management and Information System”, *2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC)*, 22-24 June, Shanghai, China.
- [41] **Ma N., Zhai Y., Bao Y., Zhou H., Zhang S.**, 2010, “Research on the Course of Computer Networks in Applied Universities”, *International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics (ICICCI)*, 22-23 June, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [42] **Kurose J. F., Liebeherr J., Ostermann S., Ott-Boisseau T.**, 2002, “Workshop on Computer Networking: Curriculum Designs and Educational Challenges”.
- [43] **Byers J. W., Mogul J. C.**, 2012, “Report on the SIGCOMM 2011 Conference”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 42, Number 1.
- [44] **Computer Science Circula**, 2013, “Curriculum Guideliness for Undergraduate Degree Programs in Computer Science”, *The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery ACM / IEEE Society*.
- [45] **Lesson 2: Layer-2 Switches**, Network Switching Technology, *Nortel Networks*, pp. 37-74.
- [46] **LAN Switching**, [en.wikipedia.org/wiki/LAN\\_switching](http://en.wikipedia.org/wiki/LAN_switching).

- [47] **LAN Switching and Wireless**, 2007, CCNA Exploration 4.0, *Cisco Networking Academy*, Cisco Systems.
- [48] **McNeil P.**, 2008, “The Benefits of Layer 3 Routing at the Network Edge”, L-com Global Connectivity.
- [49] Cisco resmi web sitesi: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/index.html>
- [50] **Kurose J. F., Ross K. W.**, 2010, “Computer Networking: A Top-Down Approach”, 5th Edition, Addison Wesley.