

**İNTERNET TABANLI KONTROL EĞİTİMİ**

**Gürcan ÇETİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2006**

**ANKARA**

Gürcan ÇETİN tarafından hazırlanan internet tabanlı kontrol eğitimi adlı bu tezin  
Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım

.....

Prof. Dr. Çetin ELMAS

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans  
Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Üye : \_\_\_\_\_

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur

# **İNTERNET TABANLI KONTROL EĞİTİMİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Gürcan ÇETİN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2006**

## **ÖZET**

Bu tez çalışması ile Kontrol Sistemleri dersinin öğrenimine olanak sağlayacak internet tabanlı uzaktan eğitim modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu çalışma da kontrol sistemleri konuları sekiz bölüme ayrılmış, gösterim, benzetim, resim ve şekil desteğiyle ders sayfaları hazırlanmıştır. İlk yedi bölümde kontrol sistemleri konuları birinci bölümden başlayarak sistemli bir şekilde verilmiştir. Bölüm sekizde ise ilk yedi bölüm içinde yer alan Java dili kullanılarak hazırlanmış dört gösterim ve on üç benzetim çalışması tek bir bölümde toplanmıştır. Bu çalışmada ayrıca öğrencilerin birbirleriyle ya da eğitmenle eşzamansız etkileşimini sağlayan forum ve download sayfaları hazırlanmıştır. Bu sayede eğitmen anlaşılmayan konular hakkında bilgi edinerek sitenin geliştirilmesini sağlayabilecektir. Bu çalışma her ne kadar eşzamansız uzaktan eğitim için tasarlanmışsa da istenildiği takdirde geleneksel yüz yüze sınıf ortamı öğretimi için de derse destek amaçlı kullanılabilir.

**Bilim Kodu : 704**  
**Anahtar Kelimeler : Web Tabanlı Eğitim, Doğrusal Kontrol Sistemleri, Java**  
**Sayfa Adedi : 102**  
**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Çetin ELMAS**

**INTERNET BASED CONTROL EDUCATION  
(M.Sc. Thesis)**

**Gürcan ÇETİN**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
January 2006**

**ABSTRACT**

**In this thesis an internet based distance learning model provides opportunities for the course of distance learning of control systems has been developed. Thus, control systems course is asynchronously conducted by the internet. In this study, control systems course is divided into eight units and course is developed by animation, simulation, picture and shape aided. In the first seven units, control systems subjects are given starting from the first unit. In the unit eight, four animations which were developed by using Java, and thirteen simulation works were given. Also, forum and download pages, which provide student to student or student to tutorial/instructor interaction, are prepared. Thus instructor may develop the site by having information about the deficient subjects. Although, this web site is prepared for asynchronous distance learning, it can be used for supporting the course in the face to face traditional class atmosphere.**

|                     |                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Science Code</b> | <b>: 704</b>                                               |
| <b>Key Words</b>    | <b>: Web-Based Education, Linear Control Systems, Java</b> |
| <b>Page Number</b>  | <b>: 102</b>                                               |
| <b>Adviser</b>      | <b>: Prof. Dr. Çetin ELMAS</b>                             |

## TEŞEKKÜR

Beni internet tabanlı eğitim alanında yönlendiren bu çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Çetin ELMAS'a, lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca kontrol sistemleri dersini aldığım hocam Prof. Dr. İsmail COŞKUN'a, tez çalışmamda yardımları için Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇETİN'e, manevi desteklerinden dolayı arkadaşlarım Arş. Gör. Osman ÖZKARACA, Arş. Gör. Serdar BİROĞUL ve Eyüp ERCAN'a, katkılarından dolayı Süleyman Burçin ŞÜYUN ve Onur POLAT'a, özellikle beni bu süreçte yalnız bırakmayan ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim Saadet KURU'ya ve öğrenim hayatım boyunca gerekli olan özveriği gösteren aileme teşekkür ederim.

Bu çalışmamı gerçekleştirmemde yardım ve katkıları olan herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET.....                                                 | iii   |
| ABSTRACT.....                                             | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                             | v     |
| İÇİNDEKİLER .....                                         | vi    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                  | ix    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                              | xiii  |
| 1.GİRİŞ .....                                             | 1     |
| 2.WEB TABANLI UZAKTAN EĞİTİM .....                        | 4     |
| 2.1. Neden Web Tabanlı Uzaktan Eğitim?.....               | 5     |
| 2.2. WTUE' in Yapısı .....                                | 6     |
| 2.3. WTUE Sistemlerinde Standartlar.....                  | 7     |
| 3. GELİŞTİRİLEN WTUE SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ.....          | 11    |
| 3.1. Eğitsel İçerik Özellikleri .....                     | 11    |
| 3.2. Yazılım Mimarisinin Seçimi .....                     | 12    |
| 3.3. Programlama Dillerinin Seçimi .....                  | 13    |
| 3.3.1. Java dili .....                                    | 14    |
| 3.3.2. Applet'ler .....                                   | 17    |
| 3.3.3. Applet'lerin HTML dosyalarına yerleştirilmesi..... | 17    |
| 3.3.4. Applet'lerin sunucudan yüklenmesi.....             | 19    |
| 3.3.5. Applet güvenliği.....                              | 20    |
| 3.3.6. ASP.NET.....                                       | 21    |
| 3.3.7. HTML .....                                         | 22    |

|                                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4. GELİŞTİRİLEN WTUE SİSTEMİNİN YAPISI.....                                      | 24           |
| 4.1. Sistem İçi Erişimler.....                                                   | 24           |
| 4.2. Kullanıcı Sayfası .....                                                     | 29           |
| 4.3. Download Sayfası .....                                                      | 31           |
| 4.4. Forum Sayfası .....                                                         | 33           |
| 5. KONTROL SİSTEMLERİ EĞİTİMİ .....                                              | 36           |
| 5.1. Kontrol Sistemlerine Giriş .....                                            | 38           |
| 5.2. Transfer Fonksiyonları, Blok Diyagramları ve İşaret Akış Diyagramları ..... | 40           |
| 5.2.1. Transfer fonksiyonları gösterimi.....                                     | 41           |
| 5.2.2. Blok diyagramları gösterimi .....                                         | 43           |
| 5.2.3. İşaret akış diyagramları gösterimi.....                                   | 45           |
| 5.2.1. Mason kazanç formülü gösterimi.....                                       | 47           |
| 5.3. Durum Değişkenleri Analizi .....                                            | 49           |
| 5.3.1. Durum denklemlerinden transfer fonksiyonlarına geçiş benzetimi .....      | 50           |
| 5.3.2. Karakteristik denklem, özdeğerler ve özvektörler benzetimi .....          | 54           |
| 5.3.3. Benzeşim dönüşümleri benzetimi .....                                      | 56           |
| 5.3.4. Transfer fonksiyonlarının ayrıştırılması benzetimi.....                   | 63           |
| 5.3.5. Kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik benzetimi.....                   | 67           |
| 5.4. Doğrusal Kontrol Sistemlerinin Kararlılığı.....                             | 71           |
| 5.4.1. Routh kararlılık kriteri benzetimi.....                                   | 71           |
| 5.4.2. Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi .....                                | 74           |
| 5.5. Kontrol Sistemlerinde Zaman Tanım Bölgesi Analizi.....                      | 75           |
| 5.5.1. Birim basamak yanıtı benzetimi.....                                       | 76           |

|                                                                | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| 5.6. Köklerin Yer Eğrisi Tekniği.....                          | 81           |
| 5.6.1. Yer kök eğrisi benzetimi .....                          | 81           |
| 5.7. Kontrol Sistemlerinde Frekans Tanım Bölgesi Analizi ..... | 85           |
| 5.7.1. Polar diyagram benzetimi .....                          | 86           |
| 5.7.2. Nyquist eğrisi benzetimi .....                          | 90           |
| 5.7.3. Bode eğrisi benzetimi.....                              | 92           |
| 5.7.4. Nichols eğrisi benzetimi.....                           | 96           |
| 6. SONUÇ .....                                                 | 99           |
| KAYNAKLAR .....                                                | 101          |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                 | 102          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. WTUE sistemi ile karşılıklı etkileşimde bulunulan alan .....         | 7     |
| Şekil 3.1. Geliştirilen WTUE sisteminin yapısı .....                            | 12    |
| Şekil 3.2. Java yürütme zamanı ortamı .....                                     | 15    |
| Şekil 3.3. Java derleme ve yürütme zamanları.....                               | 16    |
| Şekil 3.4. HTML sayfası içerisinde çağırılan bir Applet .....                   | 19    |
| Şekil 4.1. Eğitim sayfasının girişi .....                                       | 25    |
| Şekil 4.2. Kontrol sistemlerine giriş sayfası.....                              | 26    |
| Şekil 4.3. Kontrol sistemleri bölümleri sayfası .....                           | 26    |
| Şekil 4.4. İkinci bölümün sayfası.....                                          | 27    |
| Şekil 4.5. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri alt başlıklı eğitim sayfası ..... | 28    |
| Şekil 4.6. Eğitim sayfaları arası bağlantılar .....                             | 28    |
| Şekil 4.7. Hızlı erişim düğmeleri .....                                         | 29    |
| Şekil 4.8. Kullanıcı sayfası .....                                              | 30    |
| Şekil 4.9. Dosya yükleme sayfası .....                                          | 31    |
| Şekil 4.10. Download sayfası.....                                               | 32    |
| Şekil 4.11. Download sayfasına yüklenmiş bir pdf dosyası .....                  | 32    |
| Şekil 4.12. Forum sayfası.....                                                  | 34    |
| Şekil 4.13. Konu ekleme sayfası.....                                            | 34    |
| Şekil 4.14. Cevap ekleme sayfası.....                                           | 35    |
| Şekil 5.1. Bir kontrol sisteminin temel öğeleri .....                           | 38    |
| Şekil 5.2. Geribeslemeli kontrol sistemi .....                                  | 39    |

| Şekil                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.3. Transfer fonksiyonları benzetimi.....                    | 41    |
| Şekil 5.4. Filtre seçim alanı.....                                  | 42    |
| Şekil 5.5. Blok diyagramları gösterimi .....                        | 43    |
| Şekil 5.6. Bir blok diyagramının elemanları .....                   | 44    |
| Şekil 5.7. İşaret akış diyagramları gösterimi.....                  | 46    |
| Şekil 5.8. $y_2 = a_{12}y_1$ 'ye ilişkin işaret akış diyagramı..... | 47    |
| Şekil 5.9. Mason kazanç formülü gösterimi.....                      | 48    |
| Şekil 5.10. Durum denklemlerinin bulunması .....                    | 50    |
| Şekil 5.11. Transfer matrisi.....                                   | 53    |
| Şekil 5.12. Transfer fonksiyonlar.....                              | 54    |
| Şekil 5.13. Karakteristik denklem.....                              | 55    |
| Şekil 5.14. Özdeğerler-özvektorler .....                            | 56    |
| Şekil 5.15. Kontrol edilebilir kanonik biçim.....                   | 57    |
| Şekil 5.16. Gözlenebilir kanonik biçim.....                         | 59    |
| Şekil 5.17. Köşegen kanonik biçim .....                             | 62    |
| Şekil 5.18. Transfer fonksiyonların ayrıştırılması benzetimi.....   | 64    |
| Şekil 5.19. Kontrol edilebilirlik .....                             | 68    |
| Şekil 5.20. Gözlenebilirlik .....                                   | 69    |
| Şekil 5.21. Routh kararlılık kriteri benzetimi.....                 | 72    |
| Şekil 5.22. Routh tablosu .....                                     | 73    |
| Şekil 5.23. Routh kararlılık durumu.....                            | 73    |
| Şekil 5.24. Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi .....              | 74    |

| Şekil                                                           | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.25. Hurwitz kararlılık durumu .....                     | 75    |
| Şekil 5.26. Birim basamak yanıtı benzetimi .....                | 76    |
| Şekil 5.27. $t_{son} = 0.9$ sn için birim basamak yanıtı .....  | 77    |
| Şekil 5.28. Sistemin Laplace fonksiyonu .....                   | 77    |
| Şekil 5.29. $K=7.2$ için sistemin birim basamak yanıtı .....    | 78    |
| Şekil 5.30. $K=14.5$ için sistemin birim basamak yanıtı .....   | 79    |
| Şekil 5.31. $K=181$ için sistemin birim basamak yanıtı .....    | 79    |
| Şekil 5.32. Gecikme zamanı.....                                 | 80    |
| Şekil 5.33. Yer kök eğrisi benzetimi.....                       | 82    |
| Şekil 5.34. Örnek fonksiyon için yer kök eğrisi .....           | 84    |
| Şekil 5.35. Polar diyagram benzetimi .....                      | 86    |
| Şekil 5.36. $\omega = 3$ rad/s için polar diyagram çizimi ..... | 87    |
| Şekil 5.37. Örnek bir sistemin polar diyagramı .....            | 88    |
| Şekil 5.38. Kazanç payı.....                                    | 89    |
| Şekil 5.39. Faz payı.....                                       | 89    |
| Şekil 5.40. Nyquist eğrisi benzetimi .....                      | 90    |
| Şekil 5.42. Örnek Nyquist çizimi.....                           | 92    |
| Şekil 5.43. Bode eğrisi çizimi .....                            | 92    |
| Şekil 5.44. Frekans aralığı değişimi .....                      | 93    |
| Şekil 5.45. Listeleme alanı .....                               | 94    |
| Şekil 5.46. Açık eğrisi.....                                    | 94    |
| Şekil 5.47. Bode eğrisinin kararlılığı .....                    | 96    |
| Şekil 5.48. Nichols eğrisi benzetimi .....                      | 97    |

| Şekil                                           | Sayfa |
|-------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.49. Nichols eğrisinin kararlılığı ..... | 98    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Kısaltmalar | Açıklama                    |
|-------------|-----------------------------|
| WTUE        | Web Tabanlı Uzaktan Eğitim  |
| HTML        | Hyper Text Markup Language  |
| HTTP        | Hypertext Transfer Protocol |
| URL         | Uniform Resource Locator    |
| WWW         | World Wide Web              |
| ASP.Net     | Active Server Pages.Net     |
| SQL         | Structured Query Language   |
| XML         | Extensible Markup Language  |

| Simgeler | Açıklama                                         |
|----------|--------------------------------------------------|
| $x(t)$   | Durum Vektörü                                    |
| $u(t)$   | Giriş Vektörü                                    |
| $y(t)$   | Çıkış vektörü                                    |
| $I$      | Birim Matris                                     |
| $M$      | Mason Kazancı                                    |
| $y_g$    | Giriş Düğümü                                     |
| $y_ç$    | Çıkış Düğümü                                     |
| $N$      | İleri Yol Sayısı                                 |
| $L$      | Kapalı Çevrim Sayısı                             |
| $S$      | Kontroledilebilirlik Matrisi                     |
| $P$      | Kontroledilebilir Kanonik Biçime Dönüşüm Matrisi |
| $V$      | Gözlenebilirlik Matrisi                          |

| <b>Simgeler</b>        | <b>Açıklama</b>                             |
|------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Q</b>               | Gözlenebilir Kanonik Biçime Dönüşüm Matrisi |
| <b>T</b>               | Köşegen Kanonik Biçime Dönüşüm Matrisi      |
| <b>p</b>               | Özvektör                                    |
| <b>y<sub>mak</sub></b> | Birim Basamak Yanıtının Son Değeri          |
| <b>y<sub>ss</sub></b>  | Sürekli hal değeri                          |
| <b>t<sub>d</sub></b>   | Gecikme Zamanı                              |
| <b>t<sub>r</sub></b>   | Yükselme Zamanı                             |
| <b>t<sub>s</sub></b>   | Yerleşme Zamanı                             |
| <b>α<sub>n</sub></b>   | n. Asimptot Açısı                           |
| <b>x</b>               | Asimptotların Kesişme Noktası               |
| <b>Σp</b>              | Kutuplar Toplamı                            |
| <b>Σz</b>              | Sıfırlar Toplamı                            |
| <b>θ</b>               | Kök Eğrilerinin Uzaklaşma Açısı             |
| <b>Σθp</b>             | Kutup Açıları Toplamı                       |
| <b>Σθz</b>             | Sıfır Açıları Toplamı                       |

## 1.GİRİŞ

Bilgiyi üretebilen, etkin kullanabilen ve yönetebilen toplumlar küreselleşme sürecinde söz sahibi olabilen, yaptırım gücünü elinde tutan toplumlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Toplumun bilgiyi üretebilmesi, toplumu oluşturan bireylerin bu bağlamdaki üretkenliğiyle olanaklıdır. Dolayısıyla bilgi, bireyin toplum içerisindeki yerini belirleyici nitelik kazanmaktadır. Ancak bilgi hiçbir zaman aynı kalmamaktadır. Teknolojide meydana gelen gelişmeler hızlı olmakta, öğrencilere öğretilecek konular artmaktadır. İşte bu noktada bir sorunla karşılaşmaktadır. Çünkü bilgi arttıkça eğitim süresi aynı kalmakta verilmek istenen bilgiler geleneksel sınıf içi eğitim süreci içerisinde verilememekte ya da yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı, hayatın her alanında her zaman uygulanabilecek bir eğitim modeline ihtiyaç duyulmuş ve sonucunda da başta zaman ve mekandan bağımsızlığı ve alışılmış eğitime göre daha düşük maliyeti ile Uzaktan Eğitim ortaya çıkmıştır (1).

Uzaktan Eğitim ya da Uzaktan Öğrenme adı verilen bu eğitim yaklaşımı geçmişten günümüze çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Ancak Uzaktan Eğitim gerçek anlamda uygulama alanını internet ile bulmuştur denilebilir. Son yıllarda internet erişiminin kolaylaşması ve ucuzlaması, bununla birlikte iletişim hızlarının da artması, internet'in uzaktan eğitim alanında çok güçlü bir araç haline gelmesini sağlamıştır. Bilginin sadece kuruluşlar ya da yerel alanlarda değil, aynı zamanda farklı ülkeler arasında en verimli yolla paylaşımını, doğru ve güncel bilgiye ulaşımını sağlayan ve süper bilgi otoyolu adı da verilen internet, bilginin taşınması için günümüzde en önemli alt yapıyı oluşturmaktadır. İnternet farklı noktalar arasındaki iletişim alt yapısını sağlamakta, farklı marka ve iletişim sistemine sahip milyonlarca bilgisayarın birbiri ile sorunsuz bir şekilde iletişim kurmasına olanak tanımaktadır.

İnternet'in araç olarak kullanıldığı bu yeni nesil eğitim yapısına İnternete Dayalı Uzaktan Eğitim adı verilmektedir. İnternete Dayalı Uzaktan Eğitim denildiğinde ise ilk akla gelen Web Tabanlı Uzaktan Eğitim(WTUE) modeli olmaktadır. Eğitimin zaman ve mekan sınırlandırması olmadan gerçekleştirildiği WTUE yaklaşımı, ders

içeriklerinin, kaynakların, ders ile ilgili gösterim ve benzetimlerin Web ortamında sunulduğu, derslerle ilgili belgelere erişimi sağlamak için bağlantıların hazırlandığı, eğitim alacak bireylerin eğitmenlere veya konu uzmanlarına elektronik posta ve forum gibi ortamlarda eş zamanlı ya da eş zamansız olarak erişebildiği bir modeldir.

Bu modelde öğrenci internet aracılığıyla zaman ve mekan sınırlandırması olmaksızın eğitim içeriğine ulaşabilir ve öğrenebilir. Bu esneklik eğitimi alacak kişinin yeterli dikkati sağlayabileceği kendisi için en uygun zaman diliminde eğitimini gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu şekilde birey bir seferde ne kadar çalışmak istediğine karar verebilir, dinlenme aralarını belirleyebilir ve önceden öğrendiklerini gözden geçirebilir.

Çağdaş bir eğitim modeli olan Uzaktan Eğitim ile ilgili yapılan tanımlardan çıkarılan sonuç, bu tür bir eğitimde öğretmen ve öğrencinin birbirinden uzakta olması, farklı zaman ve mekanlarda bulunabilmesi, bilgisayar ve iletişim teknolojisinin sağladığı çoklu ortam desteğinin bulunmasıdır (2).

Eğitim alanında bu kadar önemli bir model olan WTUE modeli Türkiye’de de son yıllarda büyük önem kazanmıştır. İlk olarak 1997 yılında ODTÜ’de Devlet Planlama Teşkilatı destekli yerleşke tabanlı bir proje olan METU-Online ile başlayan WTUE Türkiye’de şu anda beş üniversite WTUE olarak adlandırabileceğimiz bir programa sahiptir.

Bu tez çalışması ile WTUE’ e katkıda bulunmak için bir internet tabanlı eğitim modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen bu eğitim modelinin diğer internet tabanlı eğitim modellerinden farkı internet üzerinden eğitim almak isteyen kullanıcılar için her hangi bir kullanıcı adı veya şifresi gerektirmemesidir. Bu sayede eğitim modeli belli bir gruptan çok hazırlanmış ders üzerine eğitim almak isteyen herkese açıktır.

İnternet tabanlı eğitim modeli içerisinde üniversitelerimizin lisans ve lisansüstü eğitim seviyesi ders müfredatında yer alan Kontrol Sistemleri dersini çoklu-ortam

uygulamalarından faydalanıp internet üzerinden vererek kontrol sistemleri alanında eğitim almak isteyen öğrencilere zaman ve mekan kısıtlaması olmadan üniversite dışında öğretime katılabilmesi amaçlanmıştır.

Kontrol sistemlerinin önemi çağdaş uygarlığın ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte gittikçe artmaya başlamıştır. Uygulamada günlük etkinliklerimizin her yönü bu tür kontrol sistemi uygulamalarıyla etkilenmektedir. Kontrol sistemleri üretilen ürünlerin sürekli olarak kalitelerini artırmakta olup, makine ve aletlerin kontrolünde, uzay teknolojilerinde, robotik uygulamalarda ve benzeri endüstri sektörlerinde kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi kontrol sistemleri bilimler arası bir konudur ve tüm mühendislik alanlarını doğrudan ilgilendirir. Bu nedenle kontrol sistemleri farklı birçok mühendislik alanını yakından ilgilendirmektedir.

Günümüzde hayatımızın her alanında varlığını hissettiğimiz kontrol sistemleri zaman içerisinde yeni teknoloji ile birlikte farklı kullanım alanlarında yine kendisini gösterecektir. Bundan dolayı bugün Kontrol Sistemleri dersini almış bir öğrenci beklide birkaç yıl sonra kendisini bilgi açısından teknolojik uygulamalarda yetersiz hissedebilecektir. Kontrol Sistemleri dersi eğitiminin bu yüzden zamandan ve mekandan bağımsız bir şekilde lisans ve lisansüstü eğitime ek olarak verilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Kontrol Sistemleri dersinin uzaktan öğrenimine olanak sağlayacak bir internet tabanlı eğitim modeli tanıtılmaktadır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde web tabanlı uzaktan eğitim modeli hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde ise sıra ile geliştirilen internet tabanlı uzaktan eğitim modelinin yapısı ve kullanılan Java, ASP.NET, HTML gibi programlama dilleri anlatılmış, geliştirilen modelin kullanım özelliklerine değinilmiş ve öğrencilerin birbirleriyle ya da eğitmenle eşzamansız etkileşimi sağladıkları kullanıcı, forum ve download sayfaları anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise kontrol sistemleri hakkında bilgiler verilip, Java programı ile hazırlanmış benzetimler anlatılmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise tez çalışması ile ilgili düşünceler ve öneriler sonuç olarak anlatılmıştır.

## 2.WEB TABANLI UZAKTAN EĞİTİM

Genel bir ifade ile tanımlayacak olursak öğretmen ve öğrencinin aynı fiziksel ortamda bulunmadıkları eğitim yapısına Uzaktan Eğitim denir. Uzaktan Eğitim belli bir eğitim almış ya da daha önceden alınan eğitime ek olarak kendisini geliştirmek isteyen bireylere yeni eğitim olanakları sağlar.

Uzaktan eğitim çalışmaları geçmişte kendisine radyo, TV gibi kitle iletişim araçlarıyla uygulama alanları bulmuşsa da istenilen düzeyde kitleye ve başarıya ulaştığı söylenemez. Ancak bilgisayar ve ağ teknolojisinin zaman içerisinde gelişmesiyle Uzaktan Eğitim gerçek anlamda uygulama alanını internet ile bulmuştur denilebilir. İnternet'teki eğitim uygulamaları, Uzaktan Eğitimin daha güdüleyici olmasını sağlamıştır. Diğer bir ifadeyle öğrencilerin İnternet ile yapılan eğitim ve öğretime karşı ilgileri artmıştır (2).

İnterneti bir araç olarak kullanan eğitim modelleri içerisinde Web Tabanlı Uzaktan Eğitim, eğitmenin ve eğitimi alacak olan öğrencinin aynı ortamda bulunmadığı, ders içeriklerinin web ortamında sunulduğu, zamandan ve mekandan bağımsızlığı ile öne çıkan bir modeldir.

Ağ teknolojilerinin kullanılmasındaki fayda, öğrenenin web tabanlı uzaktan eğitimde verilmiş olan eğitim kaynağına geleneksel uzaktan eğitimdekilere göre daha kolay ulaşabilmesidir. İnternet kullanıcıları için www ve ağ tarayıcısı daha kullanışlı ve öğrenci merkezli ortam sağlar. Dahası internet kullanıcıları için çoklu ortam oluşturma'nın kolaylığı ile grafikler, yazı, görüntü, gösterim, Java appletleri yükler. Ağ teknolojileri, şirket ve kişilerin özgür bir biçimde kendi web sitelerini oluşturabilmelerini ve diğer sitelerle paylaşılmış bilgilerini birleştirebilmelerini sağlar (3).

WTUE’de iki farklı eğitim yönteminin varlığı söz konusudur. Bunlardan ilki öğretmen ve öğrencinin farklı mekanlarda eş zamanlı(senkron) olarak buluştukları, öğretmen ve öğrencinin aktif etkileşim içerisinde bulundukları eğitim yapısıdır. Böyle bir yapıda dersin zamanı uzaktan eğitimin verildiği web sayfası içerisinde dersi alan öğrencilere duyurulur. İkinci yöntemde ise tek yönlü bilginin aktarımı vardır. Öğretmen ile öğrenci arasında aktif bir etkileşim yoktur. Burada öğrenci ders içeriklerini internet üzerinden eş zamansız(asenkron) olarak öğrenir. Öğrenci tarafından öğretmene yöneltebilecek sorular elektronik posta veya forum gibi alanlar ile mümkün olabilir. WTUE’de bu yöntemlerden her ikisi de aynı anda kullanılabilir. Böyle bir durumda mekandan bağımsız yarı eş zamansız bir eğitim ortamı sağlanır. WTUE’de eğer doğru yöntem ve teknoloji kullanılırsa sistem geleneksel sınıf içi eğitim kadar başarılı olur.

## **2.1. Neden Web Tabanlı Uzaktan Eğitim?**

Web Tabanlı Uzaktan Eğitim yaklaşımının günümüzde bu kadar önemli hale gelişindeki etkenlerden ilk akla gelen web ortamının zamandan ve mekandan bağımsız oluşudur, bu sayede “nerede ve ne zaman olursa olsun bilgiye erişim” ilkesi sağlanmış olmaktadır. WTUE ile insanlar okula gitmeden, yollarda vakit harcamadan eğitim alabilirler. Ancak WTUE sadece zamandan ve mekândan bağımsızlık özellikleri ile ön plana çıkartılırsa, önemli bir yanlış yapılmış olunur. Çünkü WTUE’in kullanılmasını daha da önemli kılan bir takım özellikleri vardır. Bunlar;

**Kişiselleştirilebilir Eğitim:** Verilen eğitimin, şirket, bölüm, grup ve kişiye göre özelleştirilebilmesini sağlar.

**Etkileşimli Eğitim:** Öğrencilerin gerçek hayata uygun olarak geliştirilmiş benzetimlerle, çoklu ortam uygulamalarıyla ve internet ortamının sağladığı araçlarla, öğretmen ve diğer öğrencilerle etkileşimli bir şekilde çalışmasına olanak sağlar.

**Güncel İçerik:** Eğitim içeriğinin her zaman güncel olacak biçimde değiştirilmesinin sağlanabildiği bir ortamdır.

Öğrenci Merkezli Eğitim: Öğrenciye verilecek eğitimin, öğrencinin kapasitesine göre değil, öğrencinin gereksinimlerine göre belirlenebilmesini sağlar. Bu sayede öğrenci merkezli eğitim anlayışı benimsenebilmektedir.

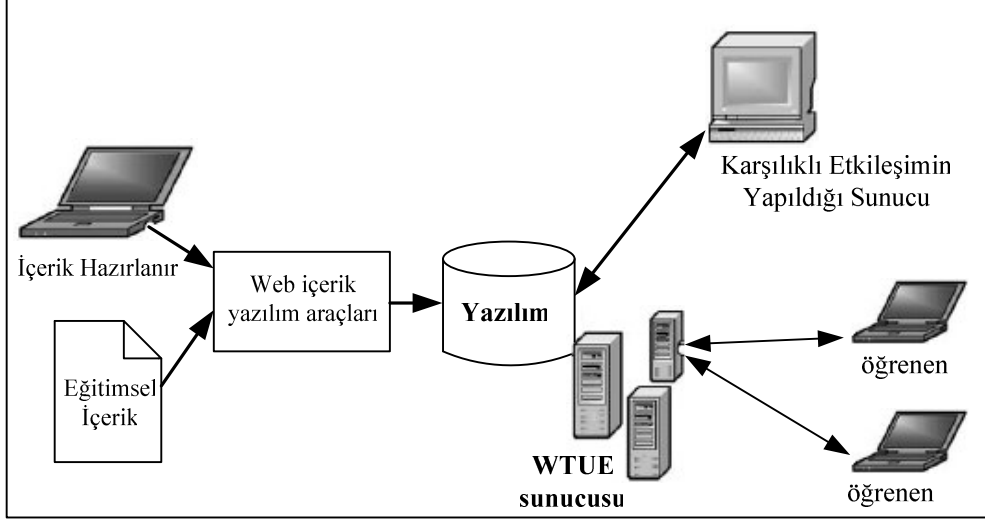
Düşük Maliyetli Eğitim: Maliyeti, geleneksel sınıf içi eğitim maliyetinin ortalama olarak yarısı kadardır.

Görülüyor ki WTUE'in hızlı gelişiminde, zaman/mekan bağımlılığını ortadan kaldırması kadar, eğitim yaklaşımında önemli değişiklikler getirmesi ve maliyeti düşürmesinin de önemli bir rolü vardır. Ayrıca eksik olan nitelikleri eski iş gücüne kazandırarak teknolojik üretim hızının azalmaması olanağı sağlanmıştır (1).

## 2.2. WTUE' in Yapısı

Web Tabanlı Eğitim, geçmişten günümüze kadar farklı uygulama biçimleriyle karşımıza çıkmıştır. İlk uygulamaları, bugün basitçe *sayfa çevirici* olarak adlandırabileceğimiz, öğrencilerin sayfalar arasında gezinmesinden ibaret olan WTUE, metin, grafik, benzetim elemanları ve ileri-geri tuşlarıyla oluşturulan dolaşım şemasını içerisinde bulunduran çevrim-içi bir eğitim yönetim sisteminin hazırlanması ile daha esnek, daha güçlü uygulama biçimlerine kavuşmuştur. Ayrıca sohbet odaları, e-posta, tartışma grupları gibi internet olanakları öğrencilerin kullanımına sokularak etkileşimli bir yapıya kavuşulmuştur.

Şekil 2.1'de WTUE için tasarlanmış bir sistem gösterilmiştir. Burada yeniden yapılandırılabilir bir yapıya sahip karşılıklı etkileşimin sağlandığı bir sunucu vardır. Bu yapı temel işlevlerin yönetilmesi, doğal dil işleme kapasitesi içeriği, öğrenen bilgilerinin değerlendirilmesi ve kullanıcı arabirimi ara yüzlerine sahiptir. Mevcut sistem içerisine bu işlevlere ek olarak sistemi zenginleştirmek ya da iyileştirmek şartıyla uzaktan öğrenenler için kavrama testleri, rehberlik sağlama ve geribildirim eklenebilir (3).



Şekil 2.1. WTUE sistemi ile karşılıklı etkileşimde bulunulan alan

Web Tabanlı Uzaktan Eğitim temelde iki ana yapıdan oluşmaktadır. İlki web ortamında sunulabilecek her türlü veriden oluşabilen eğitsel içerik, diğeri ise bu içeriğin üzerinde konulacağı yazılım alanıdır. Eğitsel içerik, öğrenci tarafından rahatlıkla anlaşılacak bir çerçeve içerisinde ilginç örnekler içermelidir. En iyi örnekler açık ve anlaşılır olanlar ve öğrencilerin sunulan içeriğe yoğunlaşmasını sağlayan örneklerdir. İlgisiz örnekler öğrenmenin başarısız olmasına yol açar. Eğitsel içeriği hazırlarken sistemi yavaşlatacak gereksiz süslemelerden kaçınılması gerekir.

WTUE'in etkili olması için dikkatli bir planlama, eğitimde verilecek olan ders gereklerinin anlaşılması ve öğrenci ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması gerekir. Kullanılacak olan teknoloji ise bu duruma göre belirlenmelidir.

### 2.3. WTUE Sistemlerinde Standartlar

WTUE'de içeriğin oluşturulması sistemin genel iş yükünün büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Eğitimin verileceği sistemin altyapı çalışmaları tamamlandıktan sonra, birçok farklı uygulamada bu altyapı kullanılabilir ya da bu uygulamalarla bütünleştirilebilir. Eğitim içeriği için ise aynı şeyi söylemek oldukça zordur. Bu noktada standartların devreye girdiği görülmektedir. Dünya üzerinde kabul görmüş standartlar çerçevesinde içerik oluşturmak, içeriğin farklı eğitim sistemlerinde de

rahatlıkla kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum, aynı içeriğin yeniden üretilmesini engellemekte, bu sayede emek ve para açısından önemli bir fayda elde edilmiş olmaktadır (3, 4).

WTUE standartlarını anlayabilmek için bu standartların hangi ihtiyaçlardan ortaya çıktıklarını bilmemiz gerekir. Peki, nelerdir bu ihtiyaçlar. İşte birkaç örnek;

“Aradığım içeriğe kolayca ulaşamıyorum.”

“Farklı üreticilerden aldığım içerik ve araçları birlikte çalıştıramıyorum.”

“Binlerce dosya içeren bir dersi farklı bir eğitim yönetim sistemine taşımam lazım. Bunun kolay bir yolu olmalı?”

“İçeriği gerçekten de ihtiyaçlarımızı karşılayan bir ders var ama ya kullandığımız içerik yönetim sistemi içeriği ile uyumlu çalışmazsa.”

Kullanıcılardan ve üreticilerden gelen bu tarz taleplere verilebilecek örneklerin sayısı arttırılabilir. WTUE yazılımları ile ilgili olarak verilen ihtiyaç örnekleri, bilişimin her alanında kullanıma sunulmuş yazılım paketleri ya da ürünleri ile ilgili olarak karşılaşılabilecek ihtiyaçlardır. Bu ihtiyaçlar; bu tür ürünlerin, onları kullanacak bireylere maksimum fayda sağlaması amacıyla, bir takım özelliklere sahip olmaları gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu özellikler şunlardır;

**Birlikte çalışabilirlik:** Farklı kaynaklardan alınan içeriklerin birleştirilmesi, farklı sistemlerde çalıştırılabilmesi, farklı sistemlerin birbirleri ile iletişim kurması ve etkileşim içerisinde olmalıdır.

**Yeniden kullanılabilirlik:** Eğitsel içeriği oluşturan bilgi nesnelerinin yeniden kullanılabilir olması. Bu nesnelerin bir araya getirilerek farklı bir öğrenme nesnesine dönüşebilmelidir.

**Yönetilebilirlik:** Kullanıcıya ya da içeriğe ait bir bilginin eğitim yönetim sistemi tarafından izlenmesi gerekir.

**Ulaşılabilirlik:** Kullanıcı bir öğrenme nesnesine ne zaman isterse ulaşabilmelidir.

**Devamlılık:** Teknolojik bir gelişmenin; örneğin içerik üretilirken kullanılan bir aracın yeni bir sürümünün çıkması ile yeniden tasarım ya da kodlama gerektirmemesidir.

**Ölçeklenirlik:** Teknolojinin kullanıcı sayısında, ders sayısında ya da içerikte olası bir artışı kaldırabilecek nitelikte olması gerekir.

Bu amaçlar göz önünde tutularak, WTUE yazılımından eğitsel içeriğinin kalitesine kadar pek çok farklı alan için bir takım standartlar oluşturulmuş ve geliştirilmiştir(5).

**Üst veri(meta data) Standartları:** Eğitim yönetimi sistemleri, içerisindeki bilgiye ne şekilde ulaşılacağını göstermek için üst verilerle donatılmışlardır. WTUE’ de üst veriler bir e-öğrenme içeriğinin en küçük parçasını(metin, ses, benzetim) ve bu parçaları birleştirerek oluşturulan yapıları tanımlamak için kullanılırlar. Üst veri için geliştirilen standartlar sayesinde kullanıcılar istedikleri içeriğe kolayca ulaşılabilir.

**Paketleme Standartları:** Paketleme standartları farklı türdeki ders içeriklerinin nasıl birleştirileceklerini belirleyen standartlardır. Bu standartlar, farklı üreticiler tarafından, farklı araçlar kullanılarak üretilen nesnelerin parçalar halinde bir araya getirilmesine, eğitim yönetim sistemlerinin parçalardan oluşan bir içeriği kolayca yüklemesine ve organize etmesine olanak tanırırlar.

**İletişim Standartları:** İçerik yönetim sistemleri kullanıcının yaptıklarını takip eder ve raporlar. Bu tür standartlar iletişim standartları olarak adlandırılırlar.

Standartların WTUE’lerde kullanımını genel bir yaklaşımla değerlendirecek olursak, kaynak, zaman ve para israfını önleyebilmek için içeriğin, veri girişlerinin ve bu

bilgilerin tümünü yorumlayacak sistemin belirli standartlar çerçevesinde oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Hazırlanan eğitim materyallerinin geniş bir düzlemde kabul görmesi ve en yüksek düzeyde fayda sağlayabilecek bir yapıya kavuşabilmesi için mutlaka standartlar çerçevesinde çalışmalar yapılmalıdır (6).

### 3. GELİŞTİRİLEN WTUE SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

Web Tabanlı Uzaktan Eğitim sistemi tasarlanırken verilecek olan eğitimin kaliteli olabilmesi için ders içerikleri dersin amaç ve hedefleri doğrultusunda çoklu ortam gereçlerinden yararlanılarak hazırlanmalıdır. Kullanılacak olan resim ve grafikler uygun seçilmeli, öğrencinin dikkatini dağıtacak etmenlerden kaçınılmalıdır.

Web Tabanlı Uzaktan Eğitim’de verilecek olan eğitimin kalitesini etkileyen etkenlerden biriside kullanılacak olan teknolojik alt yapıdır. Kullanılacak mimari yapı sunucuya mümkün olduğu kadar az yük verirken kullanıcıyı gereksiz beklemlerle sıkmamalıdır. Yazılım programları ise farklı düzlemler altında sorunsuz bir şekilde çalışmalıdır. Bu şekilde öğrenciyi gereksiz ayrıntılarla sıkmadan etkin bir eğitim ortamı sağlamış oluruz.

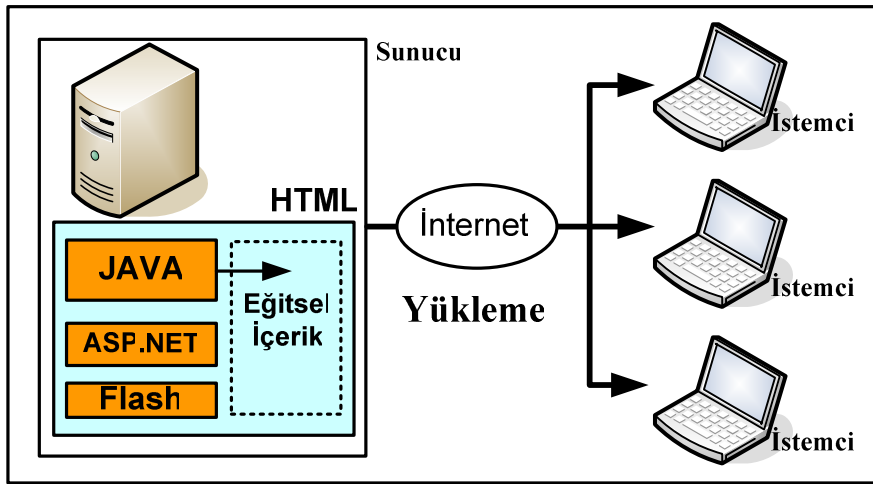
#### 3.1. Eğitsel İçerik Özellikleri

Bu tez çalışmasında, lisans ve lisansüstü öğrenim seviyesinde öğrencilere sunulan Kontrol Sistemleri dersinin içerikleri ayrıntılı bir şekilde, kaynakların sıralanmasını ve dolaşılmasını sağlayan WTUE sistemi içerisine aktarılmıştır.

Geliştirilen eğitimsel içerik, öğrencilerin teorik bilgilerini denedikleri, problem çözme veya işlemleri öğretmek için öğrenciyi gerçek ile benzerlik gösteren durumlarla karşı karşıya bırakan Java benzetimlerinin bulunduğu HTML sayfalarından oluşturulmuştur. Eğitsel içeriğin HTML olarak hazırlanmasının en büyük avantajı içeriklerin çoklu metin özelliğine sahip olabilmesidir. İçeriğin çoklu metin olması, bir içeriğin ya da içeriğin bir parçasının başka bir içerik içerisinde çağırılabilmesini ifade etmektedir. Çağrılan içerik, aynı doküman içinde bir parça ya da ağ üzerinde her hangi bir makinede yer alan başka bir içerik olabilir. Bu şekilde hazırlanan sistem içerisinde kullanıcı istediği bilgiye bir veya birkaç adımda ulaşabilir.

HTML dili kullanılarak sayfa içerisinde ok ve benzeri yön gösteren araçlar, önemli öğeyi vurgulayan daha parlak renkler, vurgulanmak istenen maddeye dikkat çekmek için zemin farklılıkları oluşturulmuştur.

Şekil 3.1’de geliştirilen WTUE sisteminin yapısı görülmektedir. Sunucu üzerindeki eğitsel içerik internet üzerinden istemcinin bilgisayarına yüklenmektedir. Yükleme işlemi, bir sonraki kaynağa ait URL adresindeki içeriği oluşturan verilerin HTTP iletişim kuralları aracılığıyla istemcinin ekranına getirilmesi işlemidir(1).



Şekil 3.1. Geliştirilen WTUE sisteminin yapısı

Hazırlanan içeriğe bağlı olarak tutarlı, konuyla ilişkili gösterimler ve benzetimler içeren HTML sayfaları hazırlanmıştır. Ancak öğretici eksik bilgi olabileceğini düşündüğü durumlarda öğrenciye vermek istediği bilgileri ve dokümanları gönderebileceği kullanıcı sayfası ve öğrencinin bilgi ve dokümanları bilgisayarına indirilebilmesine olanak sağlayan download sayfası sisteme eklenmiştir.

### 3.2. Yazılım Mimarisinin Seçimi

Geliştirilen WTUE sisteminde dağıtımlı yapıya sahip istemci sunucu mimarisi seçilmiştir. Burada istemci üzerinde çalışan bir program yardımı ile uzaktan eğitime katılan öğrenci, benzetimlerin çalıştırılmasında sunucu desteğine ihtiyaç

hissedecektir. İstemci-sunucu mimarisi, kullanılabilirlik, esneklik, birlikte işleyebilirlik ve ölçeklenebilirliği arttırmak amacıyla geliştirilmiş çok yönlü, ileti tabanlı ve birimsel bir alt yapıdır (1).

Sunucu, paylaşılacak kaynağı olan her hangi bir şeydir. Hesaplama yönü ağır basan hesaplama sunucuları, ağ için disk alanı sağlayan disk sunucuları ve Web sayfalarını saklayan Web sunucuları vardır. İstemci ise, belli bir sunucuya erişim elde etmek isteyen herhangi bir diğer varlıktır. Sunucu, kalıcı olarak kullanılabilir bir kaynaktır. İstemci ise servis yapıldıktan sonra çekilmekte serbesttir.

İstemci sunucu mimarisi, sunucunun ortak kullanım alanındaki paylaşılmış kütükleri kullanıcının masaüstüne indirmesi işlemine dayanan kütük paylaşımı mimarisi gibi yapılara oranla daha iyidir. İstemci sunucu mimarisinde istemci tarafından sunucuya gönderilecek yeni parametre sunucudaki hizmet programı tarafından işlenerek sonuçlar istemciye gönderilecektir.

İstemci sunucu mimarilerinde iki farklı yapının kullanımı söz konusu olabilir. Birinci yapı, istemci ile sunucu arasındaki ilişkide sunucu yönelimlidir. İstemci üzerinden eğitime katılan öğrenci, benzetimlerin çalıştırılması esnasında sunucu desteğine ihtiyaç hissedecektir. Sunucunu üzerindeki program tarafından işlenen veriler tekrar istemciye yönlendirilecektir. Fakat kullanıcı sayısının artması durumunda sunucuya fazla yük binerek sistemin yavaşlamasına neden olur. Bu da istenen bir durum değildir. İkinci yapıda ise dağıtılmış bir yönelim söz konusudur. Burada benzetim ve deneme için sadece kodların sunucudan istemciye gönderileceği dağılımlı bir yapı vardır. Böylece talepte bulunan istemcilere kodlar sunucu tarafından dağıtılarak işlemlerin istemcilerde yapılması sağlanmaktadır (7).

### **3.3. Programlama Dillerinin Seçimi**

Kodların sunucudan istemciye dağılımlı bir yapıda gönderildiği sistemlerde, sunucuda hizmet veren güvenli ve aynı zamanda faklı düzlemler için uygun çözümü sunabilecek yazılımlara ihtiyaç vardır. Sunucu, bu tür gereksinimler için VBasic ve

benzeri görsel, nesne tabanlı programlama dillerinin hizmet için kullanımını sınırlamaktadır. Bu kısıtlamalar ve gereksinimler göz önüne alınarak benzetimlerin hazırlanmasında Java gibi düzlemden bağımsız, nesne tabanlı bir dilin sunucuda hizmet programının geliştirilmesi için uygun olacağı görülmüştür (7).

Ayrıca dinamik Web siteleri ve dağıtık Web uygulamaları geliştirilebilmesine olanak sağlayan, düzlemden bağımsız bir dil olan ASP.Net programı kullanılarak öğrenci ile karşılıklı etkileşimin sağlandığı kullanıcı, download ve forum sayfaları hazırlanmıştır.

Sanal bir sınıf oluşturulmasında MATLAB gibi sayısal hesaplama, veri çözümleri ve grafik işlemlerinde kullanılabilecek özel amaçlı modüler paketlere sahip bir programlama ortamı da kullanılabilir. Matlab 6 ve sonrası sürümler Matlab dosyalarının web sayfaları üzerinde etkileşimli olarak sunulmasına imkan sağlamaktadır. Fakat bu sistemin bir dezavantajı vardır. Çünkü Matlab sunucusuna bağlanan bu sistemde çok sayıda kullanıcının hizmet göreceği bir durumda sunucu hızında ciddi düşümlere neden olacaktır. Böylesi bir durum, sunucunun sadece ilgili çoklu ortam uygulamaları için minimum kullanımı gerektirdiğinden kullanıcı sayısının fazla olduğu durumlarda etkisini kaybedecektir (7).

### **3.3.1. Java dili**

İnternet ve Web'in gelişiyle birlikte taşınabilirlik problemi de güçlü bir şekilde yerini aldı. Çünkü internete çok farklı tipte düzlemler bağlanmış olsa da, kullanıcılar bütün düzlemlerde aynı programları çalıştırabilmeyi istemekteydiler. İşte bu noktada Java dili ortaya çıktı. Java'nın taşınabilir yapısı, mimari-bağımsız grafik kullanıcı ara yüzü ve ağ programcılığı için nesne yönelimli bir alt yapısı programcıya internet ortamının kısıtlamaları dışında tam denetim imkanı sağlıyordu.

Sun firmasının tanımına göre Java “basit, nesne yönelimli, sağlam, güvenli, mimari bağımsız ve taşınabilir, yüksek performanslı, yorumlanan, çok kanallı ve dinamik bir dildir”. Bu tanımdaki özelliklerin her biri Java geliştirme ortamının önemli bir

parçası olmasının yanında, Web ve ağ programcılığının önemli özellikleridir. Bu özelliklerin birleşimi, Java'yı günümüz dağıtık sistemlerine yönelik ağ programcılığı için çok güçlü kılmaktadır (8).

Java'nın düzlemden bağımsız oluşu Java programlarının birçok alana taşınabilmesini sağlamıştır. Java temel veri tiplerinin boyutlarını ve aritmetik operatörlerin davranışını sıkı bir şekilde tanımladığı için uygulamaların her düzlemde aynı olmasını sağlamaktadır. Java uygulamaları yazıldıktan sonra Şekil 3.2' de görülen gerçek donanımı taklit eden Java Sanal Makinesi içinde çalıştırılır.

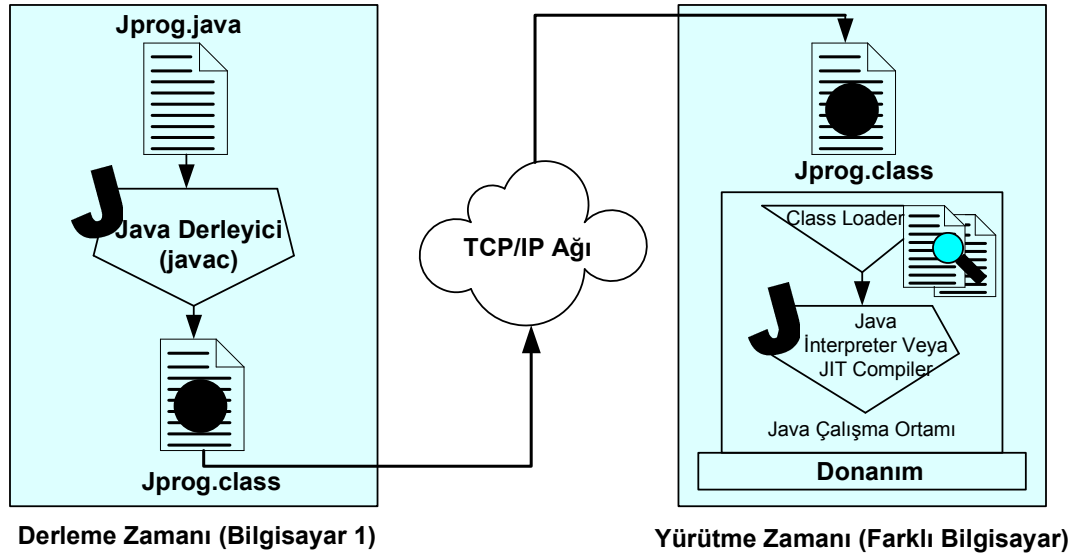
|                        |      |       |        |
|------------------------|------|-------|--------|
| Kullanıcı Uygulamaları |      |       |        |
| Java Nesneleri         |      |       |        |
| Java Sanal Nesnesi     |      |       |        |
| Windows                | UNIX | LINUX | MAC OS |
| İşletim Sistemleri     |      |       |        |
| Donanım                |      |       |        |

Şekil 3.2. Java yürütme zamanı ortamı

Java güvenli bir çalışma ortamı sunar. Java programları dünyanın çok değişik yerlerinden indirilebilir ve bilgisayarlarda güvenle çalıştırılarak sisteme zarar vermez. Java kapsamlı ve yoğun bir şekilde derleme zamanı kontrolü, ardından ikinci bir, çok seviyeli yürütme zamanı kontrolü sağlar.

Bir Java programı .java uzantılı bir metin dosyası olarak oluşturulur. Bu dosya, Java derleyicisi tarafından, bir veya daha çok .class uzantılı, bytecode olarak adlandırılan bir koda çevrilir. Bytecode'lar bir C/C++ veya Pascal gibi bir bilgisayar programı derlendiğinde oluşan makine kodu komutlarına benzer komutlardan oluşur. Fark,

makine kodu derlendiği bilgisayar sisteminde çalışmalıdır. Bytecode'lar ise Java Sanal Makinesini çalıştıran her hangi bir bilgisayarda çalışır. Java programları bir bilgisayarda yazılıp derlenir ve diğer bir bilgisayarda yüklenip çalıştırılabilir. Şekil 3.3'de Java derleme ve yürütme zamanları gösterilmiştir (8).



Şekil 3.3. Java derleme ve yürütme zamanları

Web'in çok düzlemli ortamı bir programdan aşırı taleplerde bulunur. Program değişik sistemlerde güvenilir bir şekilde çalışmak zorundadır. Bu sebeple java'nın tasarımında sağlam programlar oluşturmaya öncelik verilmiştir. Java güvenliği sağlamak için programcıyı birkaç önemli alan içerisinde sınırlayarak program geliştirme sırasında hataları erkenden bulma konusunda programcıyı zorlar. Java sıkı tip denetimli bir dil olduğu için kodu derleme zamanında kontrol eder. Gerçekten, çalışma zamanında izlenmesi zor hataların oluşması, Java' da imkansız gibidir. İyi yazılmış bir Java programında, tüm çalışma zamanı hataları yine program tarafından yönetilebilmektedir (9).

Java'dan önce, birçok kullanıcı genellikle çalıştırılabilir program indirmezdi. İndirenlerde programı çalıştırmadan önde virüs taramasından geçirirlerdi. Buna rağmen pek çok kullanıcı virüslerin bilgisayarlarına bulaşmış olma ihtimalinden endişe ederdi. Virüslerin yanında, istemcinin bilgilerini alan kötü niyetli

programlarda mevcuttu. Java her iki endişeyi de, ağ uygulaması ile bilgisayar arasına bir güvenlik duvarı sağlayarak gidermiştir. Java bu şekilde bir uygulamayı kendi çalışma ortamında sınırlandırarak virüs ve zararlı program korkusu olmadan güvenli bir şekilde istemciye yüklenmesini sağlamıştır (9).

### **3.3.2. Applet’ler**

Java’nın ilk çekiciliği applet olarak adlandırılan küçük Java programcıklarının Web sayfalarının içine gömülebilmesinden gelmiştir. Bu özellik Web programcılarını klasik Web sayfalarının hareketsiz yapısından ileri götürerek, canlı sayfalar oluşturulmasını sağlamıştır.

Applet’ler, bir internet sunucusu üzerinden erişilen, internet üzerinden taşınan, bir web belgesi gibi otomatik olarak kurulan ve çalıştırılan küçük uygulamalardır. Çoğunlukla web tarayıcılarla çalıştırmak üzere tasarlanırlar. Applet’ler yalnızca canlandırma veya ortam dosyası olmayıp, aynı zamanda akıllı programlardır. Diğer bir deyişle, kullanıcının veri girişine göre tepki gösterebilir ve dinamik olarak değişebilirler.

Appletler güvenlik ve taşınabilirlik sorunlarını, ağ uygulaması ile bilgisayar arasına bir güvenlik duvarı sağlayarak giderirler. Java bu korumayı, Java programını kendi çalışma ortamında sınırlandırarak başarır. Applet istemcinin bulunduğu bilgisayardaki Java Sanal Makine’inde çalışır. Böylece bilgisayarın diğer kısımlarına erişmesine izin verilmez. Applet uygulamalarındaki hata kontrolleri kullanıcının makinesinde yapılır ve bu işlemler için sunucu meşgul edilmez. Bu sayede ağ trafiği oluşmaz (9).

### **3.3.3. Applet’lerin HTML dosyalarına yerleştirilmesi**

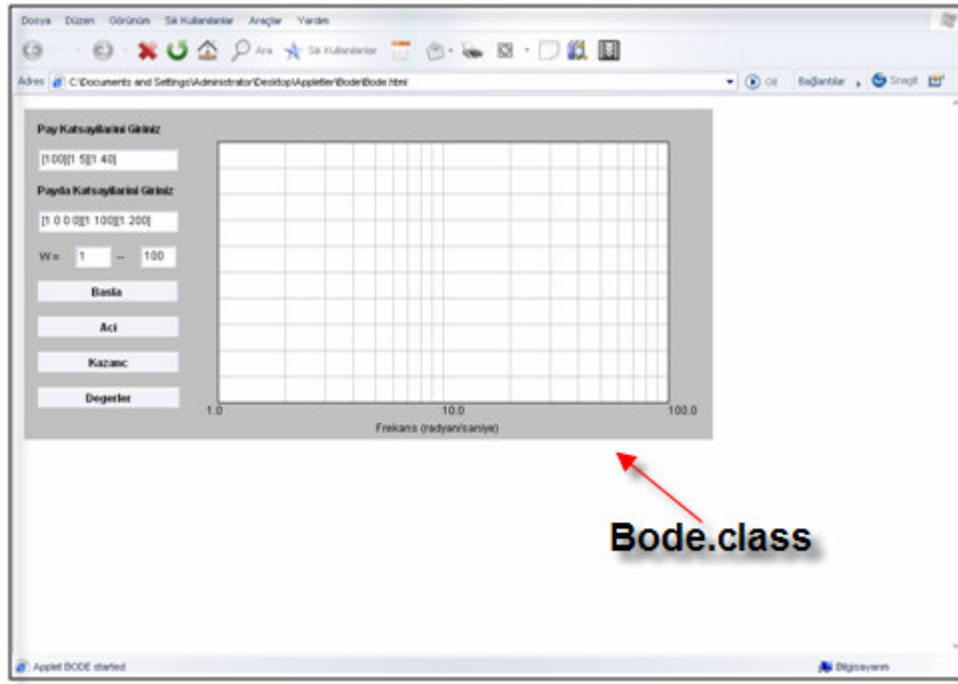
Bir applet’in bir Web tarayıcıda yürütülmesi için özel Java ekleri içeren bir HTML sayfası oluşturulur. Bir applet bir kez derlendiğinde, APPLET etiketi kullanılarak bir HTML dosyası içerisine dahil edilir. Bu etiket sayesinde bir tarayıcı applet’i doğru

bir şekilde yükler ve çalıştırır. APPLELET etiketi HTML dokümanına konulan applet'e isim vermek ve özelliklerini belirtmek için kullanılır. Birçok HTML etiketi gibi, APPLELET etiketi de bir başlama etiketine <APPLELET> ve bir sonlandırma etiketine </APPLELET> sahiptir.

APPLELET etiketi için CODE, WIDTH ve HEIGHT belirleyicileri gereklidir. CODE applet'in ana sınıf dosyasının adını belirlerken WIDTH ve HEIGHT belirleyicileri applet'in gösterileceği alanın piksel olarak genişlik ve yüksekliğini tanımlar. Aşağıda Bode.class adında bir Java applet'i tanımlayan basit bir HTML örneği verilmiştir.

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE> Ana Sayfa </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
<APPLELET CODE = "Bode.class" WIDTH = 700 HEIGHT=300>
</APPLELET>
</BODY>
</HTML>
```

Verilen bu örnekte HTML sayfası ve Bode.class applet'i aynı dizin altında olmalıdır. Eğer applet'ler HTML dosyasından farklı bir dizine konulmak isteniyorsa, CODEBASE belirleyicisi kullanılmalıdır. Bu etiket applet'e ulaşan URL yolunu gösterir. Şekil 3.4'de bir HTML sayfası içerisine yerleştirilen Bode.class applet'i gösterilmiştir.



Şekil 3.4. HTML sayfası içerisinde çağırılan bir Applet

### 3.3.4. Applet'lerin sunucudan yüklenmesi

Bir Web tarayıcısı, bir APPLLET etiketini gördüğünde ve sunucuda bulunan applet'i yüklemeye karar verdiğinde uzun bir olaylar zinciri başlar. Tarayıcının gördüğü applet etiketinin aşağıdaki gibi olduğunu varsayalım.

```
<APPLET CODEBASE = http:// www.gazi.edu.tr /elektrik /
code = Bode.class width = 300 height = 200 >
```

Tarayıcı, sayfada 300 piksel genişliğinde ve 200 piksel yüksekliğinde bir dörtgen alan açar. Birçok tarayıcıda bu alanlar sabittir ve değiştirilemez.

Web tarayıcısı, CODEBASE etiketinde belirtilen sunucuya, CODEBASE URL'inde başka bir port belirtilmedikçe, port 80'i kullanarak bir TCP bağlantısı açar. Eğer CODABASE etiketi yoksa HTML sayfasını sunan aynı sunucuya soket açılır.

Tarayıcı, herhangi diğer bir dosyayı istediği gibi .class dosyasını Web sunucusundan ister. Web sunucusu, bir başlık ve takiben bir boş satır ( \ r \ n) ve daha sonra .class dosyasının ikili verisini göndererek cevap verir. Web tarayıcısı veriyi alır ve onu bir byte dizisinde saklar. Byte kod doğrulayıcısı alınan byte kodlarının uygun olmayan herhangi bir şey yapmamaları için üzerinden geçer. Eğer byte kod doğrulayıcısı, indirilen byte kodlarından problemsiz geçer ise, ham veri o anki ClassLoader nesnesinin defineClass() ve loadClass() metodlarını kullanarak, bir Java sınıfına çevirir. Bir sınıfın bir nesnesi bir başka sınıfa atıfta bulunursa Java yorumlayıcısı önce yeni sınıfı kullanıcının sınıf yolunda arar. Eğer sınıf burada bulunursa, kullanıcının sabit diskindeki .class dosyasından oluşturulur. Aksi halde, Web tarayıcısı bu sınıfın geldiği sunucuya geri gider ve sınıf için .class dosyasını yükler(8).

### 3.3.5. Applet güvenliği

Applet'ler Java dilinde bulunan tüm güvenlik mekanizmalarını kullanabileceği için oldukça güvenli bir iletişim sağlarlar. Applet, pencere tabanlı bir programdır ve Applet ile etkileşimi kullanıcı başlatır. Bunun aksi olmaz. Kullanıcılar Applet'lerle istedikleri şekilde etkileşebilirler.

Applet'ler hafızada rasgele adreslere erişemezler. Tarayıcının güvenlik yöneticisi tarafından uygulanan sınırlamalardan farklı olarak bu sınırlama Java dilinin kendisinin ve byte kod doğrulayıcısının bir özelliğidir.

Applet'ler yerel dosya sistemine herhangi bir yol ile erişemezler. Bir yerel dosyayı okuyamaz veya dosyaya yazamazlar; dosyalar hakkında herhangi bir bilgiye erişemezler.

Applet'ler istemcideki diğer programları çalıştıramazlar. Diğer bir deyişle System.exec() veya Runtime.exec() işlevlerini çalıştıramazlar. Ayrıca herhangi bir yol ile, kullanıcı adı ve izin bilgisi gibi kullanıcının makinesi hakkında bilgi veren

System.getProperty() metodunu kullanamazlar. Sadece Java'nın hangi sürümünün kullanıldığını belirten System.getProperty() metodunu kullanabilirler (8).

### 3.3.6. ASP.NET

ASP.NET, Microsoft'un .Net ile duyurmuş olduğu internet uygulamaları ve web servisleri için kolay, güvenli ve genişleyebilir yapıda sunucu taraflı yazılım geliştirmeyi sağlayan teknolojisidir. .Net'e yazılımı, bir gün tüm araçların birbiri ile bağlı olacağı ve bu bağlantı altyapısının internet ile gerçekleşeceği düşüncesine dayanır. .Net yazılımı bu altyapı üzerine kurulacak olan servislerden oluşur. Bunun içinde .Net ile yapılan uygulamalar bütün düzlemlerde sorunsuz bir şekilde çalışır.

.Net'e baktığımızda çok geniş kurumsal sunucu ailesi ile çok büyük bir destek sağladığı görülmektedir. SQL Server ile veri tabanlarını en etkin biçimde yönetirken, Biztalk Server ile firmalar arasında veri aktarımını XML teknolojisi kullanarak çok kolay gerçekleştirebilmektedir. Internet Security and Acceleration Server ile güvenlik ve internet altyapısında hızlanma sağlarken, Content Management Server ile sitelerin içeriğini kolayca yönetilebilmesini sağlar. Ayrıca Mobile Information Server sayesinde tüm yapılan uygulamaların çok çeşitli düzlemlerde kolayca çalıştırabilmesine olanak verir.

ASP.Net ise .Net Framework altında işletim sistemi ile bütünleşik çalışan bir mimaridedir. Klasik uygulamaların kullanabildiği nesneleri aynen kullanabildiği gibi, .Net'in sahip olduğu tüm nesnelere erişebilir ve türetebilir. ASP.NET sunucu ve istemci tarafını çok iyi bir şekilde birleştirir. İstemcinin kullandığı sistem özelliklerine özgü içeriği sunar, böylelikle istemci tarafında bazı işlemlerin gerçekleşmesi işi hızlandırıyorsa bunu tespit eder ve uygular. İşin güzel yanı bunu yaparken yazılım geliştiricinin ayrıca bir işlem yapmasına gerek kalmaz, bunu otomatik tespit eder ve uygular. İstemci-sunucu mimarisi oldukça başarılı bir şekilde ASP.NET'de uygulanmış, yazılım geliştiricinin arka planda neler olduğunu bilmesine gerek kalmadan uygulamalarda önbellekleme ve performans düzenlenmiştir.

ASP.Net derlenebilir bir programdır. Derlenen kod çok büyük bir performans artışı sağladığından uygulamalar çok daha hızlı çalışacaktır. ASP.NET bileşen mimarisine yeni bir boyut getirmektedir. Artık sisteme nesne yüklerken regsvr32 kullanmak yerine .Net ile gelen üst veri sayesinde dll dosyaları kendi açıklamalarını kendi üzerlerinde taşımaktadırlar. Bu yüzden ayrıca bir kayıt işlemine, sunucuyu yeniden başlatmaya gerek yoktur (10).

Oturum yönetiminde ise sunucu belleği üzerinde yoğunlaşan bir oturum mimarisi yerini dağıtık internet uygulamalarına dönüşmüş, oturum bilgileri SQL Server’da da olmak üzere State Server gibi yeni sunucular kullanılarak sunucunun belleği üzerinden ayrılmıştır. Bu şekilde sunucular arası veri paylaşımı sağlanmış, güvenli ve dengeli bir yapıda sistem kurulmuş olmaktadır.

İnternet uygulamaları geliştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan birisi güvenlidir. Kullanıcıların yetki servisleri, yani rollerine göre gerçekleştirebileceği işlemler denetlenebilmeli, yetkisi olmayan kullanıcılar ise engellenebilmelidir.

ASP.NET teknolojisinde güvenlik iki kısımdan oluşmaktadır, bunlar gerçekliğin doğrulanması ve yetki kontrolüdür. Gerçekliğin doğrulanması işlemi, kullanıcı adı ve şifre bilgilerinin doğru olup olmadığının ilgili kullanıcı bilgilerini saklayan yapının denetlenerek bulunmasıdır. Gerçekliğin doğrulanması işlemi başarı ile sonuçlanırsa, yetki kontrol işlemi aracılığı ile kullanıcının ilgili kaynaklara erişip erişemeyeceğine karar verilmektedir. ASP.NET kod içerisinde de kullanıcı kimliğini kullanarak yetkiye göre davranış sergileyebilmektedir (11).

### **3.3.7. HTML**

HTML, www’nin standart dilidir. Bu dille oluşturulan dosyalar düz yazı olup uzantı isimleri genellikle “.html” dir. HTML web dokümanları hazırlamak için kullanılan

en önemli bir format standardıdır. Kullanıcıların Web siteleri ile iletişimde kullanılan en temel araçtır.

HTML, bir şekillendirme dilidir. Hazırlanan ham dokümanlar HTML' in işaretçileriyle şekillendirilir. Böylece bir ağ üzerinden ya da yerel olarak yazılımın tarayıcı yardımıyla taranması sonucu okunabilir bir doküman hazırlanır. Burada işaretçiler kodun bir parçasıdır ve <> gibi özel işaretlerle gösterilir. Tarayıcı, dokümanı ekranda gösterebilmek amacıyla bu işaretleri okur.

HTML, bazı bilgisayar sistemlerinde olduğu gibi bir sayfayı açıklamaz. Örneğin bazı diller her bir grafik elemanı, onun sayfa düzeni içindeki yerini, karakter tipini, büyüklüğünü, satırların genişliğini ekran değerlerini açıklar. Bunun tam tersi olarak HTML, ne bir metni, ne grafik elemanlarını, ne de bunların yerleşimini açıklar. HTML sadece, tarayıcı tarafından daha sonra, dosyanın görüntülenmesi amacıyla çözülecek olan ve belirli nitelikleri olan işaretleri metin içine yerleştirir.

HTML işaretleri, grafik, ses, görüntü gibi nesneleri bir metin içinde ekler ve çoklu metin ilişkileri kurar. Çoklu metin HTML dilinin en önemli özelliğidir. Bu, herhangi bir metin ya da grafik parçasının diğer bir HTML dokümanına bağlanabileceği anlamına gelir.

Bu dil ile kullanılan işaretler paragrafların, listelerin, başlıkların doküman içinde belirlenmesini sağlar. Bu tanımlar tamamen ASCII işaretler kullanılarak hazırlanır. Bu nedenle bir HTML dokümanı oluşturmak herhangi bir basit metin tabanlı kelime işlemci ile de mümkündür. Fakat bunun yerine Web sayfası tasarımı için Dreamweaver, FrontPage, Netscape Composer gibi gelişmiş araçlar da kullanılabilir(12).

## 4. GELİŞTİRİLEN WTUE SİSTEMİNİN YAPISI

Bu bölümde Kontrol Sistemleri dersinin etkileşimli öğrenimine olanak sağlayacak WTUE sisteminin genel işleyiş yapısı üzerinde durulmuş, sistem içerisinde konular arası geçişin nasıl gerçekleştiği, ders içeriklerine nasıl erişim sağlandığı gibi konular anlatılmıştır. Ayrıca öğretici ile öğrenen arasındaki karşılıklı etkileşimin sağlandığı forum, download ve kullanıcı sayfaları bu bölüm altında incelenmiştir.

### 4.1. Sistem İçi Erişimler

Web Tabanlı Uzaktan Eğitim sistemi için hazırlanan tüm kullanıcı tabanlı işlemler HTML sayfalarına dayandırılarak kullanıcının WTUE sistemini bir Web tarayıcısı üzerinden kullanabilmesi sağlanmıştır. Kullanıcıların farklı işletim düzlemlerinde çalışabileceği göz önünde bulundurularak, mümkün olan en kolay kullanımın sağlanması amaçlanmıştır.

WTUE’de verilen eğitimin kalitesinde eğitsel içeriğin ve yazılım büyük payı olsa da öğrencinin eğitim aldığı süre boyunca etkileşimde bulunduğu sistemin görselliği de önemlidir. Çünkü öğrenci eğitim süresi içerisinde kendini rahat bir ortamda hissetmezse sistem içerisinden bir an önce çıkmak isteyecektir. Bunun için WTUE sisteminin tasarımında görselliğe önem verilerek sistemin öğreneni sıkımasına özen gösterilmiştir. Ayrıca eğitim sisteminin kullanıcı ekranının tamamını kaplaması sağlanmış böylece öğreneni ders içeriğinden uzaklaştıracak etkenler en aza indirgenmiştir. WTUE sistemi, 768x1024 ekran çözünürlüğünde çalıştırılacağı varsayılarak hazırlanmıştır. Bunun için kullanıcıların sistemden en iyi verimi alabilmeleri için bu ekran çözünürlüğünde çalışmaları gereklidir.

Hazırlanmış olan WTUE sisteminin giriş sayfası Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Web tarayıcısı dersin adresine girdiğinde ekranda bu sayfayı görüntüleyecektir. Giriş sayfası üzerinden Kontrol Sistemleri, Kullanıcılar, Download ve Forum alanlarına erişim Flash programı kullanılarak hazırlanan hareketli düğmeler ile sağlanmıştır.

Kullanıcı bu düğmelerden birisinin üzerine geldiğinde düğme hareketlenerek rengi koyulaşmaktadır. Öğrenci eğer bu düğmelerden birisine tıklarsa o bölüme erişim sağlamış olur.



Şekil 4.1. Eğitim sayfasının girişi

Sayfa içi erişimler sağlanırken WTUE sisteminin genel yapısı pencerelere bölünerek korunmuştur. Bu şekilde öğrenci istediği içeriğe eriştiğinde sadece orta alanda bir değişim olurken dış çerçevenin sabit kalması sağlanmıştır.

Hazırlanan WTUE sisteminin giriş sayfasından Kontrol Sistemleri dersi temel konuları ve benzetimleri için bağlantı verilmiştir. Eğitimi alacak öğrenci Kontrol Sistemleri düğmesine tıklayacak olursa Kontrol Sistemleri dersine giriş niteliğinde olan, kontrol sistemlerinin içeriği hakkında bilgi veren Şekil 4.2’deki sayfaya erişim sağlamış olur.



Şekil 4.2. Kontrol sistemlerine giriş sayfası

Eğitim alacak öğrenci sayfa üzerinde *Kontrol Sistemleri Konuları* yazısına tıklarsa kontrol sistemleri dersinin temel konularının ve benzetimlerinin bulunduğu Şekil 4.3’de bulunan *Kontrol Sistemleri Bölümleri* sayfasına erişir.



Şekil 4.3. Kontrol sistemleri bölümleri sayfası

Bu sayfa üzerinde Kontrol Sistemleri konuları yedi bölüme ayrılarak, konu alt başlıkları tanıtılmıştır. Ayrıca ilk yedi bölüm içerisinde yer alan dört gösterim ve on üç benzetimin tek bir bölüm altında toplandığı sekizinci bölüm oluşturulmuştur. Kontrol Sistemleri alanında iyi bir eğitimin alınabilmesi için bölümlerin sıra ile takip edilmesi gerekir. Çünkü Kontrol Sistemleri dersinin konuları birinci bölümden başlayarak sistemli bir şekilde verilmiştir. Özellikle ilk iki bölüm diğer bölümler için temel niteliğinde olduğundan bu iki bölümün iyi kavranması gerekir.

Bölümler sayfası içerisinde öğrenci istediği bölümün üzerine gelerek bağlantısına tıkladığında o bölümün bulunduğu sayfa açılır. Örnek olarak ikinci bölümün konu sayfası Şekil 4.4’de verilmiştir.

**Doğrusal Kontrol Sistemleri**

<< Ana Sayfa << Kontrol Sistemleri

**TRANSFER FONKSİYONLARI, BLOK DİYAGRAMLARI, İŞARET AKIŞ DİYAGRAMLARI**

Kontrol edilen bir sistemin matematiksel modellenmesi sistemin analiz ve sentezinde önemli bir adım oluşturmaktadır. Kontrol edilen bir sistem verildiğinde ilk olarak sistemin dinamik özelliklerini belirleyen bir değişken sınıfını tanımlamak gerekir. Örnek olarak bir motorun sargılarına uygulanan gerilim, sargılardan akan akım, motor milinde oluşan moment, rotor açılma konumu ve hızı bu sistemin sistem değişkenleri olarak tanımlanabilir. Bu değişkenler, motorun dinamiğini ifade eden matematiksel denklemleri tanımlayan fiziksel kurallarla, birbirleriyle ilişkilidir.

Sistemin çalışma prensibini açıklayan fiziksel kurallar gerçek ortamda çok karmaşık olabileceği gibi sistemi belirleyen doğrusal olmayan ve / veya zamanla değişen sistemlerin çözümü de çok zor olabilir. Doğrusal sistemler için geçerli bir dizi analiz ve sentez yöntemini kullanmak gerekir. Doğrusal sistemlerde mümkün olduğunca, bir takım kabuller kullanılır. Birincisi sistem temelde doğrusaldır ya da sistem temelde doğrusal değildir ya da doğrusal olmadığı bir durumu uygulamak amacıyla bir nominal çalışma noktası civarında doğrusallaştırılır. Bu durumda analiz sadece doğrusallaştırmanın geçerli olduğu değişkenlere uygulanabilir. O halde doğrusal kontrol sisteminin analiz ve sentezinde anahtar kelimeler: **kabuller, belirlenme, doğrusallaştırma ve modelleme** dir.

**Bölüm İçi Erişim**

1. Doğrusal Sistemlerde İmpuls Yanıtı ve Transfer Fonksiyonları  
-Transfer Fonksiyonu Benzetimi

2. Blok Diyagramları  
-Blok Diyagramlarının İndirgenmesi

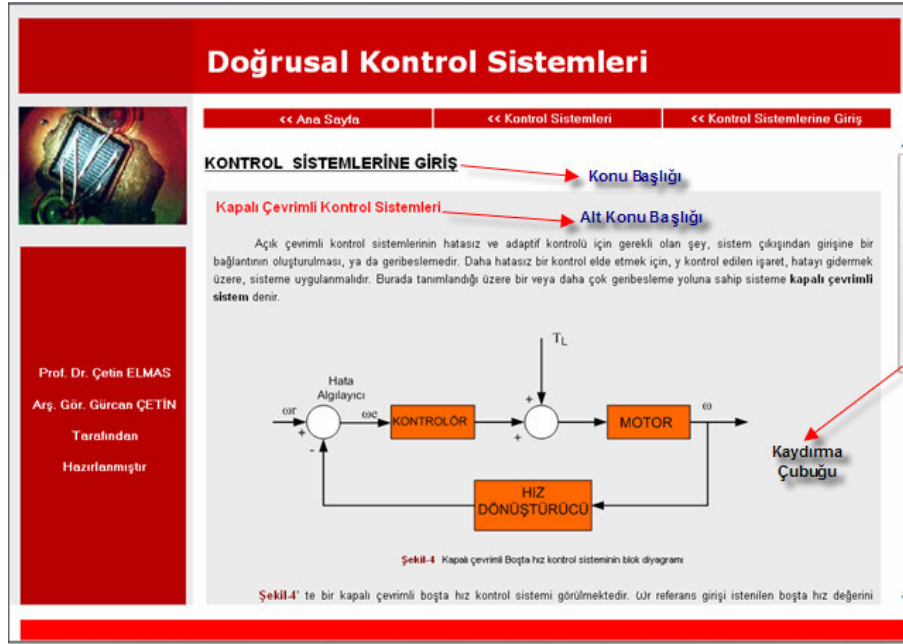
Prof. Dr. Çetin ELMAS  
Arş. Gör. Gürçan ÇETİN  
Tarafından  
Hazırlanmıştır

Block Diagram:  $R(s) \rightarrow \text{Summing Junction} \rightarrow G(s) \rightarrow Y(s)$ . Feedback path:  $Y(s) \rightarrow H(s) \rightarrow \text{Summing Junction}$ .

Şekil 4.4. İkinci bölümün sayfası

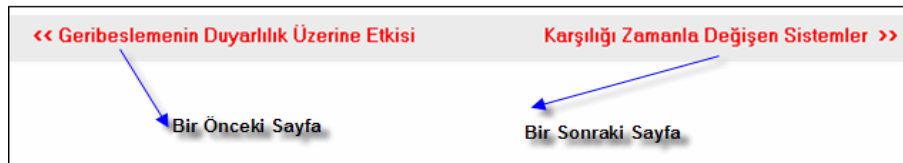
Örnek olarak verilen ikinci bölümün konu sayfası içerisinde transfer fonksiyonları, blok diyagramları ve işaret akış diyagramları hakkında genel bilgiler verilerek işlenecek olan alt başlıklara bölüm içi erişimler sağlanmıştır. Verilen bu erişimler sayesinde öğrenci ulaşmak istediği konuya hızlı bir şekilde ulaşacaktır. Eğer öğrenci

Kontrol Sistemleri dersini temelinden alarak eğitim görmek istiyorsa birinci bölüm sayfası altında yer alan *Açık Çevrimli Kontrol Sistemleri* alt başlığı ile verilen bağlantıya tıklamalıdır. Şekil 4.5’de birinci bölümün sayfasından erişilen *Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemleri* alt başlıklı eğitim sayfası gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri alt başlıklı eğitim sayfası

Eğitim sayfaları içerisinde öğrencinin hangi bölüm altına yer aldığını gösteren bir *Konu Başlığı* ve bölüm içerisindeki hangi konuda olduğunu gösteren *Alt Konu Başlığı* vardır. Öğrenci eğitim sayfası içerisinde verilen içeriğin tamamını görebilmek için kaydırma çubuğu’nu kullanır. Öğrenci kaydırma çubuğu ile sayfanın en altına geldiğinde ise bir sonraki sayfaya ya da bir önceki sayfaya geçişini sağlayan bağlantılara ulaşır. Bu bağlantılar Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Eğitim sayfaları arası bağlantılar

Bu bağlantılar sayesinde bölüm içerisindeki bütün konular sıra ile takip edilebilir. Eğer eğitime ilk sayfadan başlanmışsa eğitim boyunca bölüm içerisinde bir sonraki sayfaya geçilerek bölümün sonuna kadar gelinebilir. Daha sonra gelen bölümler için de aynı yöntem geçerlidir.

Eğitim sayfaları içerisinde konunun anlatıldığı her bölümün üzerinde üst başlıklara hızlı erişimin sağlandığı düğmeler vardır. Bu düğmeler Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Hızlı erişim düğmeleri

#### 4.2. Kullanıcı Sayfası

WTUE’in önemli avantajlarından biriside birçok internet tabanlı iletişim sistemini kendi içerisinde barındırıyor olmasıdır. İnternet ortamı, tartışma grupları, download ve kullanıcı gibi karşılıklı etkileşimin sağlandığı yapılara izin vererek öğretmenin, uzaktan eğitim alacak öğrencinin özelliklerini ve ihtiyaçlarını sınırlı biçimde öğrenmesini sağlar. Bu ihtiyaçlar, hazırlanan konu ile ilgili eksiklikler, konunun kavranması için benzetim ihtiyacı ve daha önceden hazırlanmış konular ile ilgili yeni makale ve bildiriler olabilir.

Öğretmenin, öğrenci ihtiyaçları için hazırladığı benzetimleri ya da ders içeriklerini sistemi tekrar tekrar yenilemesine gerek kalmadan hızlı bir şekilde ulaştırabilmesi gerekir. Çünkü sistemin yenilenmesi sistemin bulunduğu sunucu üzerinden gerçekleştirilebilir ve bu zaman gerektiren bir iştir. Ayrıca öğrenci ihtiyaçlarını belirleyen birden fazla kullanıcıda erişim hakkına sahip olabilir. Böyle bir durumda bütün kullanıcıların her an bu sunucuya ulaşabilmesi mümkün olmayabilir.

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde bütün bu dezavantajları ortadan kaldırmak için Kullanıcı Sayfası hazırlanmıştır. Kullanıcı Sayfası'na ana sayfa üzerinde bulunan *Kullanıcılar* düğmesine tıklanarak ulaşılabilir. Şekil 4.8'de Kullanıcı Sayfası gösterilmiştir.

Şekil 4.8. Kullanıcı sayfası

Kullanıcı sayfası sadece kullanıcı adı ve şifresine sahip özel kullanıcılar için hazırlanmış bir sayfadır. Ancak WTUE sistemi için yeni kullanıcılar sisteme eklenebilir. Belirli kullanıcı ve kullanıcı gruplarına erişim atama ya da yetki verilmemiş erişimleri engelleme web sunucusu üzerinden ayarlanmaktadır.

Kullanıcı Sayfasına giren kullanıcılar sayfa üzerinde bulunan alanlara kullanıcı adı ve şifrelerini girerek Giriş düğmesine tıklarlarsa dosya yükleme sayfasına erişim sağlayabilirler. Şekil 4.9'da Dosya yükleme sayfası gösterilmiştir.

Şekil 4.9. Dosya yükleme sayfası

Dosya yükleme sayfası eğitmenin öğrenciye vermek istediği bilgileri gönderebilmesine olanak sağlayan sayfadır. Eğitmenin göndereceği bilgi hazırlanmış bir dosya olabileceği gibi bir pdf dokümanı ya da html sayfası da olabilir. Eğitmen göndermek istediği verileri *Gözet* düğmesine tıklayarak bilgisayarından bulur ve *Yükle* düğmesine tıklayarak download sayfasına yükler. Yükleme işleminden sonra ekrana *dosya\_adı isimli application/pdf dosya tipindeki 176427 byte dosya boyutuna sahip dosya başarıyla upload edilmiştir* yazısı gelir. Eğer dosya eğitim sayfasına yüklenememişse ekrana bir uyarı mesajı gelir.

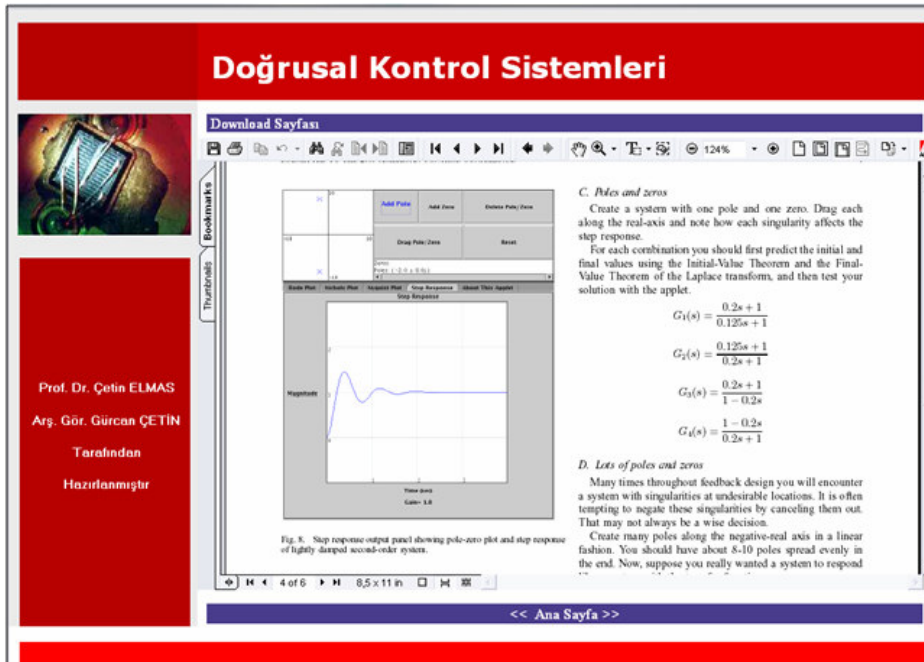
#### 4.3. Download Sayfası

Download Sayfası WTUE sistemi içerisinde öğrencilerin gerekli bilgi ve dokümanları indirilebilmelerine veya açmalarına olanak sağlayan sayfadır. Bu sayfaya erişim ana sayfa üzerinden *Download* düğmesine tıklanarak sağlanmaktadır. Şekil 4.10'da Download sayfası gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Download sayfası

Download alanındaki veriler çeşitli uzantılara sahip olabilirler. Bu veriler öğrenci tarafından bilgisayarına kaydedilebilir ya da WTUE sistemi içerisinde açılabilirler. Şekil 4.11’de pdf uzantılı bir dosyanın sistem içerisinde açılması gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Download sayfasına yüklenmiş bir pdf dosyası

#### 4.4. Forum Sayfası

Geleneksel sınıf içi eğitimde öğretmenler, öğrencilerinden edindikleri izlenimler ve ipuçları doğrultusunda ders verirler. Bu izlenim ve ipuçları, kimlerin nasıl dikkatle not aldığı, güç bir konu üzerinde düşünüp taşındığı ya da bir yorum yapmaya hazırlandığı gibi öğeler olabilir. Dikkatli öğretmen bunları algılayıp, yorumlayarak dersi, öğrencilerin gereksinimlerini karşılayacak biçimde düzenler ve geliştirir.

Buna karşın uzaktan eğitmen, ancak sınırlı ölçüde ipucu ve izlenim edinir. Bunlar teknolojik araçların süzgecinden geçerek gelir eğitmene. Bu yüzden eğitmen yüzünü görmediği öğrenci hakkında tartışma odaları ya da elektronik posta gibi araçlar sayesinde ipuçları edinmeye çalışır.

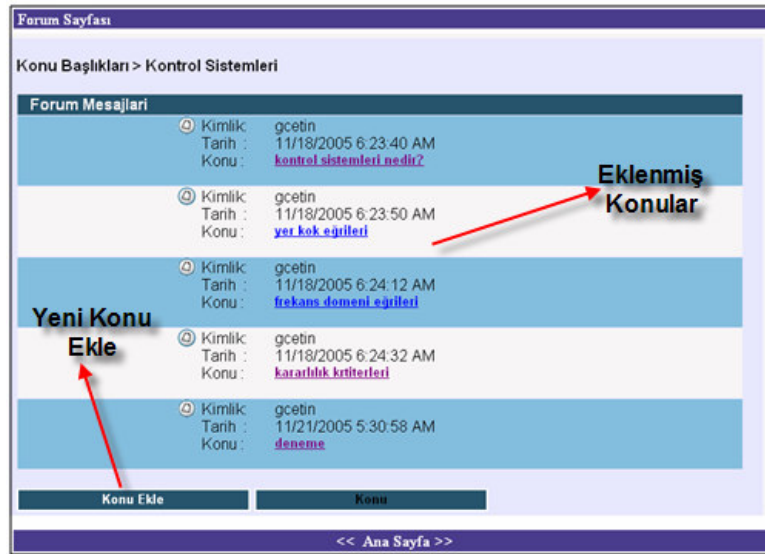
WTUE sistemi içerisinde forum alanı açılarak öğrencilerin birbirleriyle ve eğitmenle karşılıklı etkileşimde bulunmaları sağlanmıştır. Forum sayfası öğrencinin soru sorma ihtiyacı hissettiği ya da eş zamansız tartışmalara katılımının sağlanması için kullanılır. Aynı zamanda eğitmen forum içerisinde gerek farklı öğrenci tartışma grupları gerekse proje grupları oluşturarak öğrencilerin katılımını sağlayabilir. Forumun diğer eğitim yöntemlerine göre bir üstünlüğü de vardır. Çünkü deneyimler, sınıfta utangaç olup soru sormayan öğrencilerin internet'te çok daha rahat ve katılımcı olduklarını göstermiştir (13).

Şekil 4.12'de hazırlanmış olan forum sayfasının girişi gösterilmiştir. Bu sayfaya erişim ana sayfa üzerinden *Forum* düğmesine tıklanarak gerçekleştirilir. Forum sayfasına erişen öğrenci sayfa üzerinde bulunan *Kullanıcı Adı* alanına forum içerisinde kullanmak istediği ismi yazar. Bu isim öğrencinin forum boyunca yeni konu oluşturmasında veya bir konu hakkında yorum yazacağıda kullanacağı isimdir. Kendisine bir forum ismi belirleyen öğrenci *Giriş* düğmesine tıklayarak forum konularının bulunduğu sayfaya geçer. Şu an için sadece Kontrol Sistemleri tartışma grubu etkin durumdadır. Kontrol Sistemleri tartışma grubuna girmek isteyen öğrencinin erişimin verildiği bağlantıya tıklaması yeterlidir.



Şekil 4.12. Forum sayfası

Kontrol sistemleri tartışma grubuna giren öğrenci Şekil 4.13’de gösterilen sayfaya erişir. Bu sayfa içerisinde daha önceki öğrencilerin oluşturdukları forum mesajları vardır. Forum listelemesi, konuya göre olduğundan tartışmaların izlenmesi kolaydır.



Şekil 4.13. Konu ekleme sayfası

Kontrol Sistemleri tartışma grubunda öğrenciler *Konu Ekle* düğmesine tıklayarak yeni bir konu başlığını foruma katılabilecekleri gibi önceden belirlenmiş bir konu hakkındaki yorumlarını da foruma gönderebilirler. Konu hakkında yapılmış olan yorumları görebilmek için veya konu hakkında yorum yapmak için konunun üzerine gelerek bağlantısına tıklamak yeterlidir. Bu sayede konu için yazılmış yorumların bulunduğu sayfa ekrana gelecektir. Eğer yeni bir yorum yapılmak isteniyorsa *cevap yaz* düğmesine tıklamak yeterlidir. Cevap yazma sayfası Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

Şekil 4.14. Cevap ekleme sayfası

Tartışma grupları ile öğrencilerin derslerle ilgili düşünce, soru ve yorumlarını birbirleriyle paylaşmaları amaçlanmıştır. Bunun için eğitimci forumu canlı tutacak mesajlar atması ve bu şekilde öğrencilerin tartışmaları için teşvik etmelidir (13).

## 5. KONTROL SİSTEMLERİ EĞİTİMİ

Kontrol Sistemleriyle yeni karşılaşan birisinin kafasındaki ilk soru genellikle bir kontrol sisteminin ne olduğu sorusudur. Bu soruyu yanıtlayabilmek için öncelikle kontrol sistemi uygulamalarının nerelerde kullanıldığının bilinmesi gerekir. Endüstrideki üretim süreçlerinde, ürünlerin doğru imal edilmeleri ve maliyetleri yönünden, çeşitli amaçlar güdülür. Bir insan, karar verme dahil olmak üzere, çok farklı görevleri yerine getirme yetisine sahiptir. Bu görevlerin bir kısmı, bir nesneyi tutmak ve bir noktadan başka bir noktaya yürümek gibi, çok olağan ve sıradan işlemlerden oluşur. Ancak bazı özel koşullarda bu görevlerin en iyi biçimde yerine getirilmesi istenebilir. Bu hedeflere ulaşabilmek için genellikle kontrol stratejilerini gözeterek kontrol sistemlerini kullanmak gerekir.

Son yıllarda, çağdaş uygarlığın ve teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesi ile birlikte, kontrol sistemlerinin önemi gittikçe artmaya başlamıştır. Uygulamada günlük etkinliklerimizin her yönü bu tür kontrol sistemleriyle etkilenmektedir. Kontrol sistemleri üretilen ürünlerin kalite kontrolünde, otomatik montaj hatlarında, makine ve aletlerin kontrolünde, uzay teknolojilerinde, silah sistemlerinde, bilgisayarlı kontrol sistemlerinde, ulaşım ve güç sistemlerinde, robotik ve benzeri endüstri sektörlerinde çok yaygındır. Nihayet stok kontrolünde, hatta sosyal ve ekonomik sistemlerin kontrolünde bile bugün otomatik kontrol kuramı uygulanmaktadır (14).

Görüldüğü gibi kontrol sistemleri bilimler arası bir konudur ve tüm mühendislik alanlarına girer. Bu nedenle kontrol sistemleri farklı üretimler yapan değişik türde işlemlerde çalışan veya çalışacak olan makine, elektronik, elektrik, tekstil, kimya, uçak, nükleer v.b. mühendisleri çok yakından ilgilendirmektedir. Denetim organları donanımlarında kullanılan teknikler ve bunların tasarımı daha çok doğrudan doğruya elektrik, elektronik ve makine mühendisliğini ilgilendirmektedir. Denetim organlarının sistemlerde kullanımı ve değerlendirmesi ise tüm mühendislik dallarını doğrudan ilgilendirmektedir.

Kontrol sistemleri döngüsü içinde bilgisayarların kullanımı bu konuyu daha da geniş kapsamlı hale getirmiştir. İlk olarak 1950’li yılların sonlarına doğru kontrol sistemlerinin tasarımında sayısal bilgisayarlar kullanılmaya ve kendileri de bir denetim organı olarak uygulanmaya başlamıştır. Böylece çok döngülü sistemlerin sunduğu olasılıklar incelenmeye başlandı. Benzeşik ve sayısal bilgisayarların geliştirilmesi, çok daha karmaşık otomatik denetim sistemlerinin kurulmasına yol açtı, bu doğrultuda oluşturulan kuramlar eski *klasik kontrol* den ayırt edilebilmeleri amacıyla *modern kontrol* olarak adlandırıldı. Modern kontrol kuramı *durum-uzayı* yaklaşımına dayanır ve 1960’larda yapılan tüm kuramsal gelişmelerde bu yaklaşım kullanılmıştır.

1970’lerin başında, durum-uzayı yaklaşımına dayanan modern kontrol kuramının frekans cevabı ve Laplace dönüşümüne dayanan, klasik kontrol kuramının tamamen yerini alamayacağı gerçeğine varıldı. Bu açıdan bugün çağdaş bir kontrol mühendisi her iki yaklaşımın bilgilerine de sahip olmak zorundadır.

Her iki kuramın da konuları hazırlanan WTUE sistemi içerisinde yedi bölüme ayrılarak anlatılmıştır. İlk bölümde kontrol sistemlerine giriş yapılmıştır. Bu bölüm içerisinde bir kontrol sistemi nedir, kontrol sistemleri niçin önemlidir, bir kontrol sisteminin temel öğeleri nelerdir, kontrol sistemlerinde niçin geri besleme uygulanır, açık çevrimli kontrol sistemleri ve kapalı çevrimli kontrol sistemleri konuları anlatılmıştır (15).

İkinci bölümde sistemlerin transfer fonksiyonlarının çıkartılması, blok diyagramları, işaret akış diyagramları ve mason kazanç denkleminin işaret akış diyagramlarına uygulanması anlatılmıştır. Bu bölüm altında her konu için Java gösterimleri hazırlanarak konulara ait örnekler canlandırma ile aktarılmıştır.

Üçüncü bölüm modern kontrol kuramının dayandığı durum-uzayı yaklaşımının temeli olan durum değişkenleri, durum diyagramları, durum matrisi, durum geçiş denklemleri, karakteristik denklemler, benzeşim dönüşümleri, ayrıştırma,

kontroledilebilirlik ve gözlenebilirlik konularını içermektedir. Ayrıca bu bölüm altında beş adet benzetim çalışması aktarılmıştır.

Dördüncü bölümde doğrusal sistemlerin kararlılığını belirleyen yöntemlerden Routh ve Hurwitz kriterleri anlatılmıştır ve bu kriterler için Java benzetimleri hazırlanmıştır.

Beşinci bölümde kontrol sistemlerinde zaman tanım bölgesi analizi incelenmiş ve ikinci mertebeden örnek bir sisteme ilişkin java benzetimi hazırlanmıştır.

Altıncı bölümde yer kök eğrileri tekniği ayrıntılı bir şekilde incelenerek yer kök eğrilerinin çizimi anlatılmıştır. Ayrıca yer kök eğrilerinin çizimine ilişkin bir benzetim hazırlanmıştır.

Yedinci bölümde doğrusal kontrol sistemleri için frekans tanım bölgesi analizi incelenmiştir. Bu bölüm altında frekans tanım bölgesi kriterleri, kutupsal eğriler, Nyquist eğrisi, Bode eğrileri ve Nichols eğrisi anlatılarak benzetimleri hazırlanmıştır.

### 5.1. Kontrol Sistemlerine Giriş

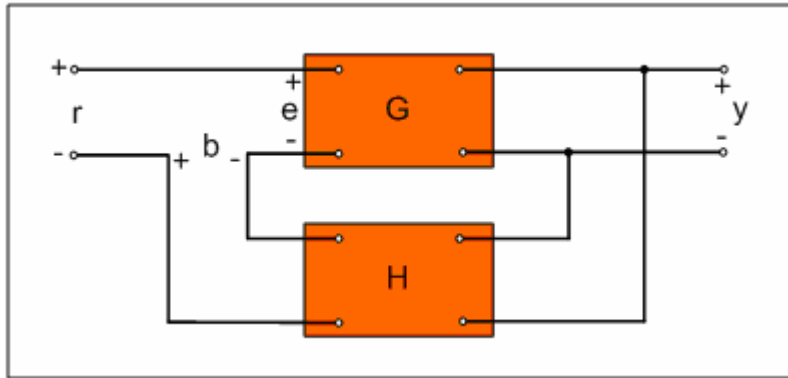
Bir kontrol sisteminin temel ögeleri şöyle açıklanabilir. Kontrolün amaçları, kontrol sistemi ögeleri, sonuçlar ya da çıkışlar. Şekil 5.1'de bu üç ögenin birbirleriyle olan ilişkisi gösterilmiştir. Daha teknik terimlerle ifade edilirse amaçlar  $u$  girişleri ya da sürücü işaretler ile belirlenir, sonuçlar ise  $y$  çıkışları ya da kontrol edilen değişkenleri etkiler. Genel olarak kontrol sisteminin amacı, kontrol sisteminin elemanları aracılığı ile girişleri kullanarak, çıkışları önceden belirlenmiş bir şekilde kontrol etmektir (14).



Şekil 5.1. Bir kontrol sisteminin temel ögeleri

Kontrol sistemleri kontrol edilen büyüklüğün kumanda edilmesi bakımından açık çevrim kontrol sistemleri ve kapalı çevrim kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Açık çevrim kontrol sistemleri girişindeki kumanda ya da kontrol işareti çıkıştan bağımsız olan bir kontrol sistemidir. Fakat açık çevrim kontrol sistemlerinde çıkış, giriş işaretinin bir fonksiyonudur. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin hatasız ve uygun kontrolü için gerekli olan şey, sistem çıkışından girişine bir bağlantının oluşturulması, ya da geribeslemedir. Daha hatasız bir kontrol elde etmek için, y kontrol edilen işaret, hatayı gidermek üzere, sisteme uygulanmalıdır. Burada tanımlandığı üzere bir veya daha çok geribesleme yoluna sahip sisteme kapalı çevrimli kontrol sistemi denir. Şekil 5.2’de geribeslemeli bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Geribeslemeli kontrol sistemi

Verilen basit geribeslemeli sistem yapısında  $r$  giriş işareti,  $y$  çıkış işareti,  $e$  hata ve  $b$  geribesleme işaretini ifade eder.  $G$  ve  $H$  parametreleri sabit kazanç olarak kabul edilebilir. Basit matematiksel işlemlerle sistemin giriş-çıkış ilişkisi Eş.5.1 denklemindeki gibidir.

$$M = \frac{y}{r} = \frac{G}{1 + GH}$$

[5.1]

Kontrol sistemlerinde geribesleme kullanmanın amacı, sistem çıkışı ve referans girişi arasındaki hataları azaltmaktan çok daha karmaşıktır. Sistem hatasının azaltılması sorunu geribeslemenin bir sistem üzerindeki önemli etkilerinden sadece bir tanesidir. Geribesleme bunların dışında kararlılık, band genişliği, toplam kazanç, bozucu ve duyarlılık gibi sistem davranış karakteristikleri üzerinde de etkiler.

Geribeslemenin bir kontrol sistemi üzerindeki etkisini anlayabilmek için bu kavramı daha geniş bir şekilde incelemek gerekir. Geribesleme özellikle kontrol amacıyla kullanıldığında varlığı kolaylıkla hissedilir. Ancak, ayrıca geribeslenmemiş olmasına rağmen, pek çok fiziksel sistem incelendiğinde tabiatında geribeslemenin var olduğu görülür. Genelde sistem değişkenleri arasında bir neden ve etki ilişkisinin, kapalı bir silsile şeklinde mevcut olması halinde, geribeslemenin varlığından bahsedilir. Bu bakış açısı normalde geribeslemesiz olarak tanımlanabilecek birçok sistemi kaçınılmaz olarak geribeslemeli kabul etmemize neden olur. Ancak, yukarıda açıklandığı anlamda, fiziksel geribesleme olsun veya olmasın, genel tanımdan hareket ederek geribeslemenin varlığı bir kez belirlendikten sonra, sistemler geribesleme ve kontrol sistem kuramından yararlanılarak, sistematik bir şekilde incelenebilir (14).

Amaca bağlı olarak geri beslemeli kontrol sistemleri çok farklı şekillerde sınıflandırılabilirler. Örneğin analiz ve tasarım yöntemleri açısından kontrol sistemleri doğrusal ve doğrusal olmayan, zamanla değişen veya zamanla değişmeyen sistemler olarak sınıflandırılırlarken, sistemde kullanılan işaret türleri yönünden sürekli verili ve ayrık verili veya modüle edilmiş ve modüle edilmemiş sistemler olarak ayrılabilirler.

## **5.2. Transfer Fonksiyonları, Blok Diyagramları ve İşaret Akış Diyagramları**

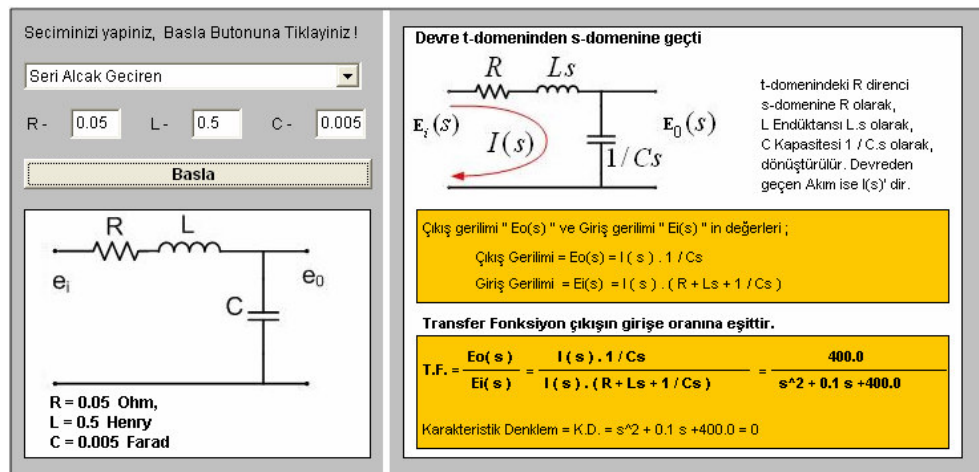
Kontrol edilen bir sistemin matematiksel modellenmesi sistemin analiz ve sentezinde önemli bir adım oluşturur. Kontrol edilen bir sistem verildiğinde ilk olarak sistemin dinamik özelliklerini belirleyen bir değişken sınıfını tanımlamak gerekir. Örnek olarak bir motorun sargılarına uygulanan gerilim, sargılarından akan

akım, motor milinde oluşan moment, rotor açısai konumu ve hızı bu sistemin sistem değişkenleri olarak tanımlanabilir. Bu değişkenler, motorun dinamiğini ifade eden matematiksel denklemleri tanımlayan fiziksel kurallarla, birbirleriyle ilişkilidir.

Doğrusal sistemler için geçerli bir dizi analiz ve sentez yöntemini kontrol sistemlerine uygulayabilmek amacıyla, fiziksel sistemlerde mümkün olabildiği sürece, bir takım modellemeler yapmak gerekir. Doğrusal sistemleri modellemenin geleneksel yöntemi ise değişkenler arasındaki giriş çıkış ilişkisini ifade etmek, ya da transfer fonksiyonları kullanmaktır.

### 5.2.1. Transfer fonksiyonları gösterimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde transfer fonksiyonları konusunun daha iyi öğrenilebilmesi için bir Java gösterimi hazırlanmıştır. Gösterim içerisinde R-L-C devre elemanlarından oluşan çeşitli filtre devrelerinin transfer fonksiyonlarının çıkarılması gösterilmiştir. Hazırlanan transfer fonksiyonları gösterimi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Transfer fonksiyonları benzetimi

Hazırlanan gösterim iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm gösterime başlamadan önce gerekli ayarlamaların yapıldığı bölümdür. Bu bölümde filtre

devresi seçim alanı, R-L-C devre elemanlarına ait büyüklüklerin girileceği metin kutuları, *Basla* düğmesi ve seçilen filtreye ait devreyi R-L-C değerleriyle birlikte gösteren ekran vardır. İkinci bölüm ise gösterimin gerçekleştirildiği alandır. Gösterim uygulaması ilk açıldığında bu alan ekrana boş olarak gelir.



Şekil 5.4. Filtre seçim alanı

Şekil 5.4’de gösterilen seçim alanından istediği filtre devresini seçen kullanıcı *Basla* düğmesine tıkladığı takdirde gösterimi çalıştırmış olur. Gösterim çalışmaya başladığında ilk olarak seçilmiş olan filtre devresinin s domenindeki karşılığı ekrana gelir. t domeninden s domenine çevirme işlemi aynı zamanda Laplace dönüşümü yapmak demektir. Transfer fonksiyonun tanımından hatırlanacağı gibi bir sistemin transfer fonksiyonu çıkış değişkeni Laplace dönüşümünün, giriş değişkeni Laplace dönüşümüne oranı şeklindedir. Tek giriş ve tek çıkışlı bir sistemde  $u(t)$  giriş,  $y(t)$  çıkış ve  $g(t)$  impuls yanıtı olmak üzere,  $G(s)$  sistemin transfer fonksiyonunu ifade etsin. Bu durumda  $G(s)$  Eş.5.2 denkleminde ki gibi tanımlanır.

$$G(s) = L[g(t)] \quad [5.2]$$

$G(s)$  transfer fonksiyonu,  $y(t)$  giriş ve  $u(t)$  çıkış işaretinin Laplace dönüşümü  $Y(s)$  ve  $U(s)$  ve tüm başlangıç koşulları sıfır olmak üzere Eş.5.3 ilişkisini sağlar.

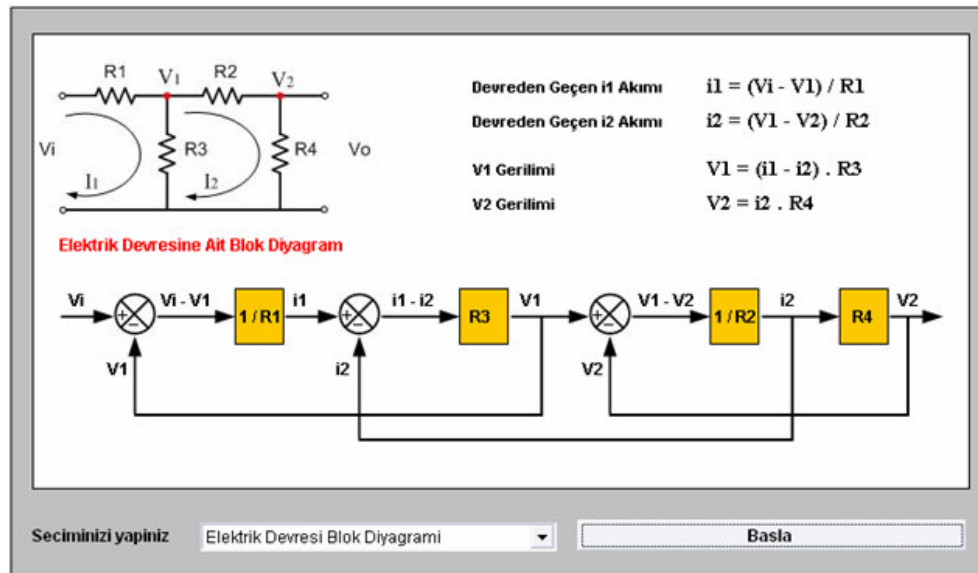
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad [5.3]$$

Örnek olarak Şekil 5.3’de seri alçak geçiren filtre devresinin transfer fonksiyonunun bulunması gösterilmiştir. Bu devrenin çıkış değişkeni çıkış gerilimi, giriş değişkeni ise giriş gerilimidir. Bundan dolayı seri alçak geçiren devrenin transfer fonksiyonu, çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı olarak bulunmuştur. En son olarak transfer fonksiyon R, L ve C değerlerinin de yerlerine konulmasıyla s’ye bağlı bir fonksiyon olarak elde edilmiştir.

Bulunan transfer fonksiyonunun payda polinomu sıfıra eşitlenerek sistemin karakteristik denklemi elde edilir. Karakteristik denklem kökleriyle doğrusal tek girişli ve tek çıkışlı bir sistemin kararlılığı tamamen belirlenebilir.

### 5.2.2. Blok diyagramları gösterimi

Kontrol Sistemleri dersi içerisinde verilen blok diyagramlarının oluşturulması ve blok diyagramlarının indirgenmesi bir alt başlık olarak belirlendi. Bu başlık altında blok diyagramları konusunun daha iyi öğrenilebilmesi için Java gösterimi hazırlanmıştır. Hazırlanan blok diyagramları gösterimi Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

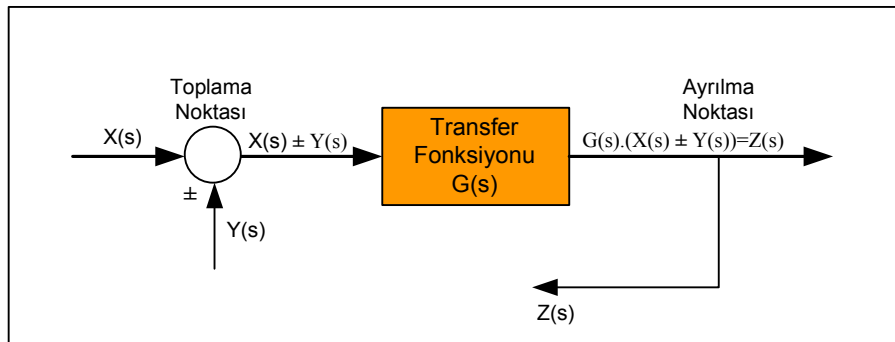


Şekil 5.5. Blok diyagramları gösterimi

Blok diyagramları belli sayıda elemandan meydana gelen kontrol sistemlerinde bu elemanların her biri tarafından yapılan işlemleri göstermek için kullanılır. Blok diyagramı bir sistemin yapısını ve iç bağlantılarını basitçe ifade eder ve transfer fonksiyonları ile birlikte, sistemdeki neden ve etki ilişkisini belirtmede çok yararlı olur. Blok diyagramları sadece, sistem elemanlarının birbirlerine nasıl bağlandığını gösterir ve matematiksel ayrıntıya yer vermez. Sistem elemanlarındaki tüm matematiksel ve fonksiyonel ilişkilerin bilinmesi halinde blok diyagramı, sistemin analitik ya da nümerik çözümünde, araç olarak kullanılabilir (14).

Blok diyagramları için hazırlanan gösterim içerisinde üç adet örneğe yer verilmiştir. Bu örneklerden ilk ikisinde verilen devrelerin blok diyagramlarının nasıl oluşturulacağı gösterilmiştir. Bir blok diyagramı, bloklar, oklar, toplama noktaları ve ayrılma noktalarından meydana gelmiştir. Gösterim sırasında bütün bu parçalar tek tek ekrana gelerek bütün blok diyagramının nasıl oluşturulacağı gösterilmiştir.

Blok diyagramında tüm sistem değişkenleri birbirine işlevsel bloklar boyunca bağlanır. İşlevsel bloklar sistem değişkenleri arasındaki giriş-çıkış bağlantısının belirli bir şeklini gösterir. Blok içine genellikle karşılık gelen sistemin transfer fonksiyonu yazılır. Şekil 5.6’da bir blok diyagramının elemanları gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Bir blok diyagramının elemanları

Her bir blok kendisine yönelmiş ve giriş işaretini gösteren bir ok ile kendisini terk eden ve çıkış işaretini gösteren bir okla birlikte verilir. Bloklar birbirlerine bu oklarla

bağlanır. Okların yönü sinyallerin akış yönünü gösterir ve bir blok diyagramı içinde sinyaller yalnızca oklar yönünde akabilir.

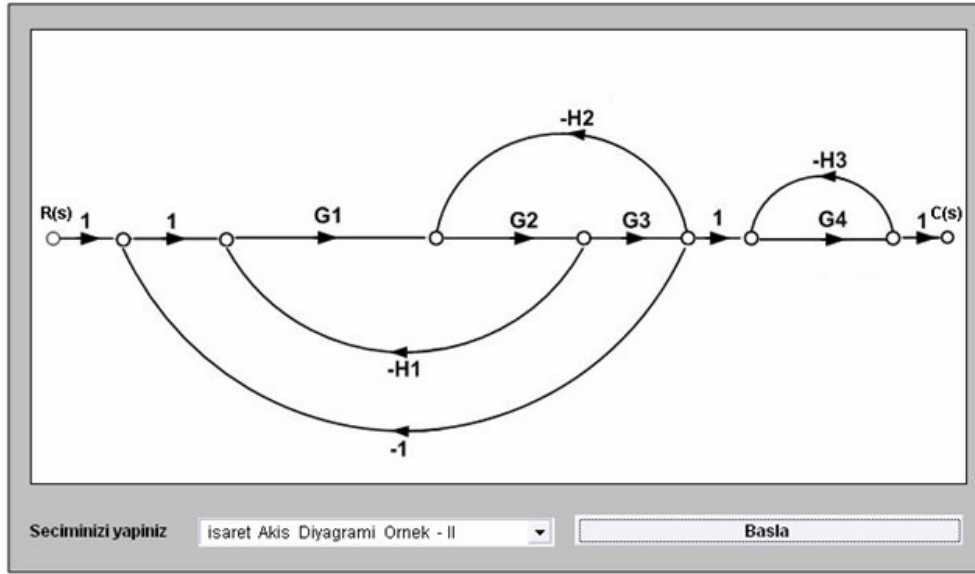
Toplama noktaları, toplama işlemini belirten içi boş veya içine çapraz konmuş bir çemberle gösterilir. Kendisine yönelmiş her bir okun ucunda yer alan artı veya eksi işareti bu sinyallerin birbirleri ile toplanacağını veya birbirlerinden çıkarılacağını belirtir (15).

Gösterim için hazırlanan üçüncü örnekte oluşturulmuş olan bir blok diyagramının sadeleştirilmesi gösterilmiştir. Blok diyagramı indirgenmesinde amaç tüm sisteme ait transfer fonksiyonu bir blok içinde gösterebilmek ve böylece tüm sisteme ait giriş-çıkış bağıntısını elde etmektir. Çok sayıda elemanın oluşturduğu bir sistemde blok diyagramları oldukça karmaşık olabilirler. Karmaşık bir blok diyagramında ise sistemin temel girişi ile temel çıkışı arasındaki bağıntı açık bir şekilde görülemez. Bunun için çok sayıda geribesleme döngüsü içeren karmaşık bir blok diyagramı indirgeme kuralları kullanılarak adım adım yeniden düzenleme yoluyla basitleştirilebilir. Orijinal blok diyagramı ile indirgenmiş blok diyagramı denklemi indirgeme sonunda aynı kalır.

Bir blok diyagramının indirgenmesinde izlenecek yol, ilk önce döngü içinde yer alan ayrılma noktaları ve toplama noktaları uygun bir şekilde yeniden düzenlenerek sistem iç içe geçmiş döngüler haline dönüştürülür ve daha sonra en içteki geribesleme döngüsünden başlanarak içten dışa doğru indirgeme yapılır.

### 5.2.3. İşaret akış diyagramları gösterimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Kontrol Sistemleri dersi içerisinde verilen işaret akış diyagramları konusu ayrı bir alt başlık olarak belirlendi. Bu başlık altında işaret akış diyagramları konusunun daha iyi öğrenilebilmesi için bir Java gösterimi hazırlanmıştır. Hazırlanan işaret akış diyagramları gösterimi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



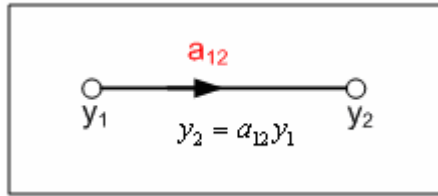
Şekil 5.7. İşaret akış diyagramları gösterimi

İşaret akış diyagramları karmaşık kontrol sistemlerinde, blok diyagramlarının indirgenmesinin zaman alıcı bir duruma gelmesi durumunda sistem değişkenleri arasındaki bağıntıları bulmak için kullanılır. İşaret akış diyagramları blok diyagramlarına göre daha basit inceleme olanağı sağlayan bir yöntemdir (15).

İşaret akış diyagramları için hazırlanan gösterimde iki adet örnek verilmiştir. Bu örneklerde bir blok diyagramının nasıl işaret akış diyagramına dönüştürüldüğü adım adım gösterilmiştir. Oluşturulan işaret akış diyagramları yönlendirilmiş kollar yoluyla bağlanmış düğümlerin teşkil ettiği bir ağdan ibarettir. Her bir düğüm noktası bir sistem değişkenini gösterir. İki düğümü birleştiren her bir kol, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini belirler ve bir işaret çarpanı olarak etki eder. İşaretler yalnızca tek bir yönde, oklar yönünde akar. İşaret akış grafiği sistemin bir noktasından diğer noktasına giden işaretlerin akışını tanımlar ve işaretler arasındaki bağıntıları verir.

İşaret akış diyagramları oluşturulurken bağlantı noktaları ya da düğümler değişkenleri ifade eder. Düğümler neden ve etki denklemleri gereği, doğru parçaları ya da dallarla bağlıdır. Dallara bir dal kazancı ve yön eşlik eder. Bir işaret dal

boyunca sadece ok yönünde iletilebilir. Örneğin doğrusal bir sistemde,  $y_1$  giriş,  $y_2$  çıkış ve  $a_{12}$  kazanç ya da iletkenlik olmak üzere, iki değişken arasında  $y_2 = a_{12}y_1$  matematiksel işleminin olduğunu varsayalım. Bu ifadenin işaret akış diyagramı ile gösterimi Şekil 5.8’de görülmektedir.  $y_1$  (giriş) düğümünden  $y_2$  (çıkış) düğümüne yönelik dal  $y_2$ ’nin  $y_1$ ’e bağımlılığını ifade eder. Giriş düğümü ile çıkış düğümü arasındaki dal kazancı  $a_{12}$  olan tek yönlü bir kuvvetlendirici gibi değerlendirilebilir; buna göre  $y_1$ ’e bir birimlik giriş işareti uygulandığında  $y_2$ ’ye  $a_{12}y_1$  şiddetinde bir işaret iletilmiş olur.



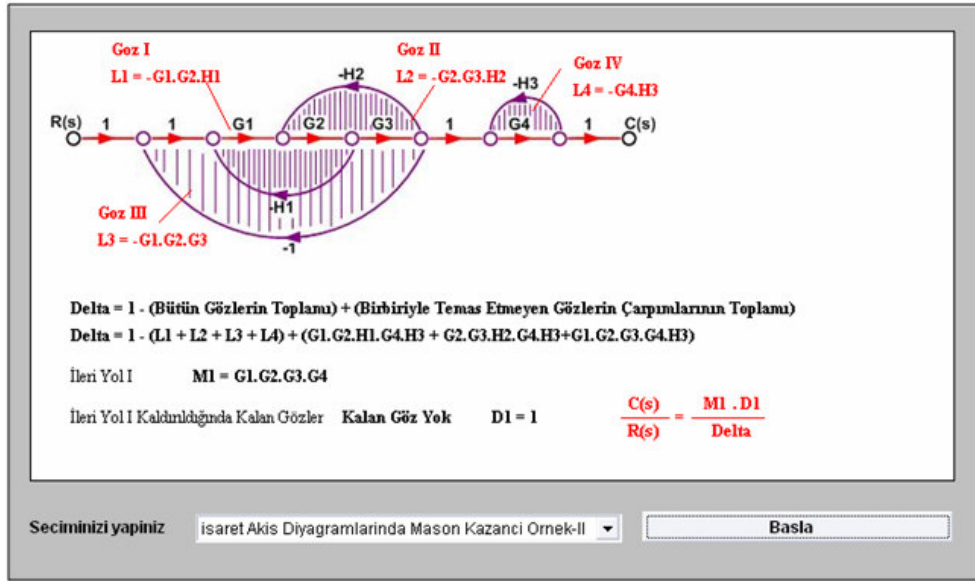
Şekil 5.8.  $y_2 = a_{12}y_1$ ’ye ilişkin işaret akış diyagramı

İşaret akış diyagramının çiziminde genellikle giriş düğümleri sol tarafa ve çıkış düğümleri de sağ tarafa yerleştirilir. Denklemlerin bağımsız değişkenleri giriş düğümleri, bağımlı değişkenleri de çıkış düğümleri olur. Kol kazançları ise denklemlerin katsayılarından elde edilir.

Bir işaret akış grafiği bir blok diyagramı ile aynı bilgiyi taşır. Bir kontrol sistemi gösteriminde işaret akış grafiği kullanmanın üstünlüğü ise bir kazanç formülü (Mason kazanç formülü) yardımı ile grafiğin indirgenmesini gerektirmeden sistem değişkenleri arasındaki bağıntıyı doğrudan doğruya bulabilme olanağı sağlamasıdır.

### 5.2.1. Mason kazanç formülü gösterimi

Hazırlanan bu gösterimde işaret akış diyagramlarına Mason kazancının uygulanması konusunun daha iyi öğrenilebilmesi için bir Java gösterimi hazırlanmıştır. Hazırlanan Mason kazanç formülü gösterimi Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Mason kazanç formülü gösterimi

Mason kazanç formülü işaret akış diyagramını incelemek suretiyle giriş-çıkış ilişkisini belirleyeceğimiz genel bir kazanç formülüdür. Bir giriş düğümü ile bir çıkış düğümü arasındaki kazanç bu iki düğüm arasındaki toplam kazanç veya toplam geçiş fonksiyonudur. Mason kazanç formülü için hazırlanan gösterimde iki adet örnek verilmiştir. Bu örnekler üzerinde bir işaret akış diyagramı kazancının nasıl elde edileceği işlem basamakları adım adım uygulanarak gösterilmiştir (15).

N ileri yolu ve L adet çevrimi bulunan bir işaret akış diyagramı verildiğinde  $y_g$  giriş düğümü ile  $y_c$  çıkış düğümü arasındaki M kazancı Eş.5.4 denklemini ile bulunur.

$$M = \frac{y_c}{y_g} = \sum_{k=1}^N \frac{M_k \Delta_k}{\Delta} \quad [5.4]$$

Burada  $y_g$  ve  $y_c$  arasındaki k' ıncı yolun kazancı  $M_k$ ,  $\Delta$ 'nın k'ninci işaret akış diyagramı ileri yolu ile temas etmeyen kısmı ise  $\Delta_k$ 'dır.  $\Delta$  ise Eş.5.5 ilişkisi ile verilmiştir.

$$\Delta = 1 - (\text{tüm bireysel çevrimlerin kazanç toplamı}) + (\text{temas etmeyen ikili çevrim kombinasyonlarının kazanç çarpımları toplamı}) + (\text{temas etmeyen üçlü çevrim kombinasyonlarının kazanç çarpımları toplamı}) + \dots,$$

[5.5]

Kazanç formülü uygularken formülün giriş ve çıkış düğümleri arasında uygulanmış olduğundan emin olmak gerekir. Mason kazanç formülü sadece bir giriş düğümü ile çıkış düğümü arasında uygulanabilir.

### 5.3. Durum Değişkenleri Analizi

Kontrol sistemlerinin klasik yöntemlerle, analiz, tasarım ve boyutlandırılmasında kullanılan transfer fonksiyonu, doğrusal zamanla değişmeyen (sabit katsayılı) kontrol sistemlerine ilişkin dinamiği, sadece giriş ve çıkış büyüklükleri aracılığı ile verir. Sistemin giriş ve çıkış işaretleri verilen belli koşullar altında kontrol ve kumanda edilirken, sistemin içinde bulunan elemanların durumları hiçbir şekilde kontrol edilmemektedir. Örneğin, çıkışından kararlı değişim özelliği gösteren çıkış işareti alınan bir kontrol sistemi içinde bulunan bir elemanın gerilimi, akımı, basıncı, hızı v.b. istenilen ya da elemanın dayanabileceği çalışma sınırları üzerine çıkarak sistemin çalışamaz duruma gelmesine yol açabilir. Kısaca söylenirse, kontrol sistemlerinde elemanlara ilişkin durum değişkenlerinin de kontrol edilmesi istenir. Oysa transfer fonksiyonu sistemin durumları ile ilgili dinamik yerine, sadece, giriş çıkış dinamiğini göz önüne almaktadır. Bundan başka, transfer fonksiyonu yardımı ile analiz ve tasarımda bütün ilk koşullar ihmal edilmekte ve böylece de sistemin geçmiş ve başlangıç durumuna ilişkin bilgiden yararlanılmamış olmaktadır. Kontrol sistemlerinin klasik analiz ve inceleme yöntemleri, bundan başka, sistemin lineer olmaması, zamanla değişmesi ve çok giriş-çıkışlı olması hallerinde uygulanamaz.

Kontrol sistemlerinin, modern inceleme ve tasarımında ise, bu nedenlerden dolayı, durum değişkenleri ve sistemin başlangıç koşullarından oluşan durum uzayı yaklaşımı kullanılır.

### 5.3.1. Durum denklemlerinden transfer fonksiyonlarına geçiş benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Kontrol Sistemleri dersi içerisinde verilen durum denklemleri ve transfer fonksiyonlar arasındaki ilişki konuları ayrı birer alt başlık olarak verildi. Bu konular tek bir benzetim altında toplanarak konu anlatımının sonunda ayrı bir sayfada verilmiştir. Hazırlanan benzetim Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[0 1 0; 0 -4 3; -1 -1 -2]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[0 0; 1 0; 0 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 0 0; 0 0 1]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0 0; 0 0]

**Durum Denklemleri**

**Y(s) = C . (sI-A)<sup>-1</sup> . B**

**Transfer Fonksiyon**

**A, B, C, D Matrislerine Ait Vektör Matris Biçimindeki Durum ve Çıkış Denklemleri**

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}(t)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & -4.0 & 3.0 \\ -1.0 & -1.0 & -2.0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}(t)$$

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

**A, B, C, D Matrislerine Ait Durum Denklemleri**

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= -4.0 \cdot x_2(t) + 3.0 \cdot x_3(t) + u_1(t) \\ \dot{x}_3(t) &= -x_1(t) - x_2(t) - 2.0 \cdot x_3(t) + u_2(t) \\ y_1(t) &= +x_1(t) \\ y_2(t) &= +x_3(t) \end{aligned}$$

Şekil 5.10. Durum denklemlerinin bulunması

Durum denklemlerinden transfer fonksiyonlarına geçiş için hazırlanan benzetim üzerinde **A**, **B**, **C** ve **D** matris değerlerinin girilmesi için metin kutuları oluşturulmuştur. Eş.5.6'da da görüldüğü gibi **A** matrisi ( $n \times n$ ) boyutunda kare matristir. **A** matrisi program içerisinde en fazla 3x3 boyutunda girilebilir. Matris değerlerinin girilmesi sırasında **B** matrisinin satır sayısı ve **C** matrisinin sütun sayısı **A** matrisinin boyutuna eşit olmalıdır. **D** matrisinin boyutları ise **B** ve **C** matrislerine göre oluşturulmalıdır. **D** matrisinin satır sayısı **C** matrisinin satır sayısına, sütun sayısı ise **B** matrisinin sütun sayısına eşit olmak zorundadır. Aksi takdirde program kullanıcıya bir hata mesajı gösterecektir.

$$\begin{aligned}
\mathbf{A} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & . & a_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ a_{n1} & a_{n2} & . & . & . & a_{nn} \end{bmatrix} (n \times n) & \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & . & . & . & b_{1p} \\ b_{21} & b_{22} & . & . & . & b_{2p} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ b_{n1} & b_{n2} & . & . & . & b_{np} \end{bmatrix} (n \times p) \\
\mathbf{C} &= \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & . & . & . & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & . & . & . & c_{2n} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ c_{q1} & c_{q2} & . & . & . & c_{qn} \end{bmatrix} (q \times n) & \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & . & . & . & d_{1p} \\ d_{21} & d_{22} & . & . & . & d_{2p} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ d_{q1} & d_{q2} & . & . & . & d_{qp} \end{bmatrix} (q \times p)
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Benzetim içerisinde matris tanımlanırken sütunları belirtmek için “;” işareti kullanılır. Örnek olarak 2x2 boyutlu A matrisini [00 01;10 11] şeklinde gireriz. Matrisi tanımlarken kullandığımız “[” ve “]” işaretleri yerine “(” ve “)” işaretleri de kullanılabilir.

Benzetim üzerinde üç ayrı düğme bulunmaktadır. Bu düğmeler, girilen durum matrislerine ait diferansiyel denklemleri ekrana getiren *Durum Denklemleri* düğmesi, sistemin transfer fonksiyonlarının oluşturulma aşamalarını gösteren *Y(s)* düğmesi ve sisteme ait transfer fonksiyonları gösteren *Transfer Fonksiyon* düğmesidir.

*Durum Denklemleri* düğmesine tıklanması durumunda Şekil 5.10’da gösterilen çıktı ekrana gelir. Mertebesi n olan bir dinamik sisteme ait n adet durum denklemi,  $i = 1, 2, \dots, n$  için Eş.5.7 denklemi ile verilmiş olsun.

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = f_i[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)] \tag{5.7}$$

Burada i’ inci durum değişkeni  $x_i(t)$ ; j’ inci giriş  $u_j(t)$  ( $j = 1, 2, \dots, p$ ) ile gösterilmiştir. Sistemin q çıkış değişkeni  $y_1(t), y_2(t), \dots, y_q(t)$  ile verilmiş olsun.

Genelde çıkış değişkenleri durum değişkenleri ve giriş değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Çıkış değişkenleri,  $j = 1, 2, \dots, q$  olmak üzere Eş.5.8 denklemi ile ifade edilebilir.

$$y_j(t) = g_j[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)] \quad [5.8]$$

Eş.5.7 ve Eş.5.8 ifadelerinde verilen n adet durum ve q adet çıkış denklem takımı birlikte sistemin dinamik denklemlerini oluşturur.

| Durum Vektörü                                                                                           | Giriş Vektörü                                                                                           | Çıkış Vektörü                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix} \quad (n \times 1)$ | $\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \vdots \\ u_p(t) \end{bmatrix} \quad (p \times 1)$ | $\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_q(t) \end{bmatrix} \quad (q \times 1)$ |

Doğrusal, zamanla değişmeyen bir sistemde, dinamik denklemler aşağıdaki gibi yazılır:

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \quad [5.9]$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) \quad [5.10]$$

Eş.5.9 ve Eş.5.10 ifadelerinde matris değerleri yerlerine yazılarak sistemi oluşturan durum denklemleri oluşturulur.

İkinci düğme olan  $Y(s)$  düğmesine tıklanması durumunda ise Şekil 5.11’de gösterilen çıktı ekrana gelir. Bu alanda **A**, **B**, **C** ve **D** matrislerine ait transfer fonksiyonları gösteren  $\mathbf{Y}(s) = \mathbf{C} \cdot (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}$  ifadesinin bulunması adım adım gösterilmiştir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[0 1 0; 0 -4 3; -1 -1 -2]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[0 0; 1 0; 0 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 0 0; 0 0 1]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0 0; 0 0]

**Durum Denklemleri**

**Y(s) = C . (sI - A)<sup>-1</sup> . B**

**Transfer Fonksiyon**

**"I" Birim Matris Olmak Üzere (sI - A) Matrisi**

$$(sI - A) = \begin{bmatrix} s & -1.0 & -0.0 \\ -0.0 & s + 4.0 & -3.0 \\ 1.0 & 1.0 & s + 2.0 \end{bmatrix}$$

**(sI - A) Matrisinin Tersi Adjoint(sI - A) / Determinant(sI - A)**

$$(sI - A)^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} [(s + 4.0)(s + 2.0) + 3.0] & [+s + 2.0] & [3.0] \\ [-3.0] & [s(s + 2.0) -] & [+3.0s] \\ [-4.0 - s] & [-s - 1.0] & [s(s + 4.0)] \end{bmatrix}}{(+1.0s^3 + 6.0s^2 + 11.0s + 3.0)}$$

**A, B, C, D Matrislerine Ait Transfer Fonksiyon Y(s) = C . (sI - A)<sup>-1</sup> . B' den Bulunur.**

$$C \cdot (sI - A)^{-1} B = \begin{bmatrix} Y1(s) / u1(s) & Y1(s) / u2(s) \\ Y2(s) / u1(s) & Y2(s) / u2(s) \end{bmatrix}$$

Şekil 5.11. Transfer matrisi

Doğrusal zamanla değişmeyen bir sistemin dinamik denklemleri Eş.5.9 ve Eş.5.10 ifadelerinde verilmişti. Eğer bu denklemlerin her iki tarafının Laplace dönüşümü alınır ve  $X(s)$ ' e göre düzenlenirse Eş.5.11 ifadesi elde edilir.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(s) &= (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{x}(0) + (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B} \mathbf{U}(s) \\ \mathbf{Y}(s) &= \mathbf{C} \mathbf{X}(s) + \mathbf{D} \mathbf{U}(s) \end{aligned} \quad [5.11]$$

Eğer bu ifade de  $Y(s)$ 'de  $X(s)$  yerine yazılır ve transfer fonksiyonunun tanımı gereği başlangıç koşulları sıfır alınırsa ( $x(0) = 0$ ),  $Y(t)$  ile  $u(t)$  arasındaki geçiş matrisi Eş.5.12 ilişkisinde verildiği gibi elde edilir.

$$\mathbf{Y}(s) = \mathbf{C} (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B} \quad [5.12]$$

Program içerisinde elde edilen transfer fonksiyonları *Transfer Fonksiyonları* düğmesine tıklanarak görüntülenebilir. Şekil 5.12'de bulunan transfer fonksiyonları gösterilmiştir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[0 1 0; 0 -4 3; -1 -1 -2]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[0 0; 1 0; 0 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 0 0; 0 0 1]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0 0; 0 0]

**Durum Denklemleri**

**Y(s) = C . (sI-A)^-1 . B**

**Transfer Fonksiyon**

**A, B, C, D Matrislerine Ait Sistemin Transfer Fonksiyonları**

```
>> Y1(s) / u1(s) = ( [s+2.0] ) / ( s^3+6.0*s^2+11.0*s +3.0)
>> Y1(s) / u2(s) = ( [3.0] ) / ( s^3+6.0*s^2+11.0*s +3.0)
>> Y2(s) / u1(s) = ( [-s-1.0] ) / ( s^3+6.0*s^2+11.0*s +3.0)
>> Y2(s) / u2(s) = ( [s '(s +4.0)] ) / ( s^3+6.0*s^2+11.0*s +3.0)
```

Şekil 5.12. Transfer fonksiyonlar

### 5.3.2. Karakteristik denklem, özdeğerler ve özvektörler benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde durum denklemlerinden karakteristik denklemlere geçiş, özdeğerler ve özvektörler konuları ayrı bir alt başlık olarak verildi. Bu konular tek bir benzetim altında toplanarak konu anlatımının sonunda ayrı bir sayfada verilmiştir.

Karakteristik denklem doğrusal denklemlerin incelenmesinde önemli bir rol oynar ve diferansiyel denklem, transfer fonksiyonu ya da durum denklemlerine bağlı olarak tanımlanabilir. Karakteristik denklem durum denklemleri yaklaşımından elde edilen  $Y(s)$  transfer matrisinin paydası sıfıra eşitlenerek bulunur. Buradan karakteristik denklem  $|s\mathbf{I} - \mathbf{A}|$  olarak bulunur. Karakteristik denklemin önemli bir özelliği eğer  $\mathbf{A}$  matrisinin katsayıları gerçektir ise  $|s\mathbf{I} - \mathbf{A}|$  matrisinin de katsayıları gerçektir.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de karakteristik denklem, özdeğerler ve özvektörler için hazırlanan benzetim gösterilmiştir. Benzetimin üst kısmında  $\mathbf{A}$  matrisinin girilmesi için metin kutusu oluşturulmuştur. Bu metin kutusu içerisinde en fazla 7x7 boyutlu  $\mathbf{A}$  matrisi tanımlanabilir.

Karakteristik denklem için hazırlanan benzetim üzerinde iki adet düğme vardır. Şekil 5.13’de *Karakteristik Denklem* düğmesine tıklanılması durumu gösterilmiştir. Bu düğmeye tıklanılması ile birlikte ekrana, girilen  $A$  matrisi,  $|sI - A|$  matrisi ve  $|sI - A|$  matrisinin determinanı gösterilir. Determinant  $|sI - A|$  aynı zamanda  $A$  matrisinin karakteristik denklemdir.

**A Matrisini Giriniz** [1 -2 -3 -2 5; 4 -5 6 0.1 -1; 7 -8 10 11 5; 1 5 4 2 1; -1 -5 -7 -96 1]

**A Matrisi (5 x 5 ) boyutunda**

|       |                                                                                                                                                                                                      |              |                                                                                                                                                                                                                 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A =$ | $\begin{bmatrix} 1.0 & -2.0 & -3.0 & -2.0 & 5.0 \\ 4.0 & -5.0 & 6.0 & 0.1 & -1.0 \\ 7.0 & -8.0 & 10.0 & 11.0 & 5.0 \\ 1.0 & 5.0 & 4.0 & 2.0 & 1.0 \\ -1.0 & -5.0 & -7.0 & -96.0 & 1.0 \end{bmatrix}$ | $(sI - A) =$ | $\begin{bmatrix} s-1.0 & 2.0 & 3.0 & 2.0 & -5.0 \\ -4.0 & s+5.0 & -6.0 & -0.1 & 1.0 \\ -7.0 & 8.0 & s-10.0 & -11.0 & -5.0 \\ -1.0 & -5.0 & -4.0 & s-2.0 & -1.0 \\ 1.0 & 5.0 & 7.0 & 96.0 & s-1.0 \end{bmatrix}$ |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Karakteristik Denklem Det (sI-A) 'ya eşittir.**

**det(A) = + 1.0 s^5 -9.0 s^4 + 140.5 s^3 + 1628.9 s^2 + 53050.8 s^1 -52111.8**

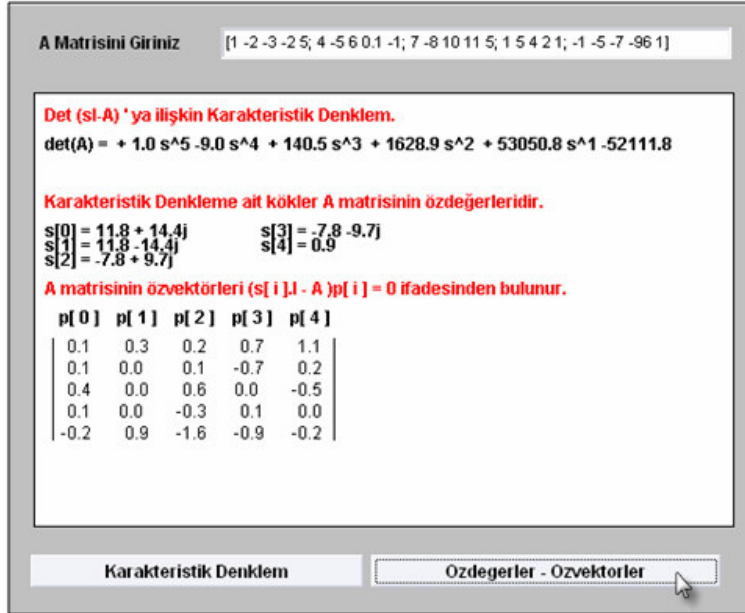
**Karakteristik Denklem** **Özdeğerler - Özvektörler**

Şekil 5.13. Karakteristik denklem

Karakteristik denklem kökleri  $A$  matrisinin öz değerleridir. Şekil 5.14’de *Özdeğerler-Özvektörler* düğmesinde tıklandığı takdirde ekrana  $A$  matrisine ait öz değerler ve öz vektörler gelir.

Benzetim hazırlanırken öz değerler ve öz vektörler JAMA (Java Matrix) paketi kullanılarak bulunmuştur. JAMA Java tarafından matris işlemlerinin çözümü için hazırlanmış bir pakettir. JAMA, benzetimin hazırlanması sırasında program içerisine “import Jama.\*;” komutu kullanılarak dahil edilir ve içerisinde tanımlanmış olan metotların kullanımına olanak verir.

Özdeğerler JAMA paketinde bulunan `getRealEigenvalues()` ve `getImagEigenvalues()` metotları kullanılarak, öz vektörler ise `getV()` metodu kullanılarak çağırılır.

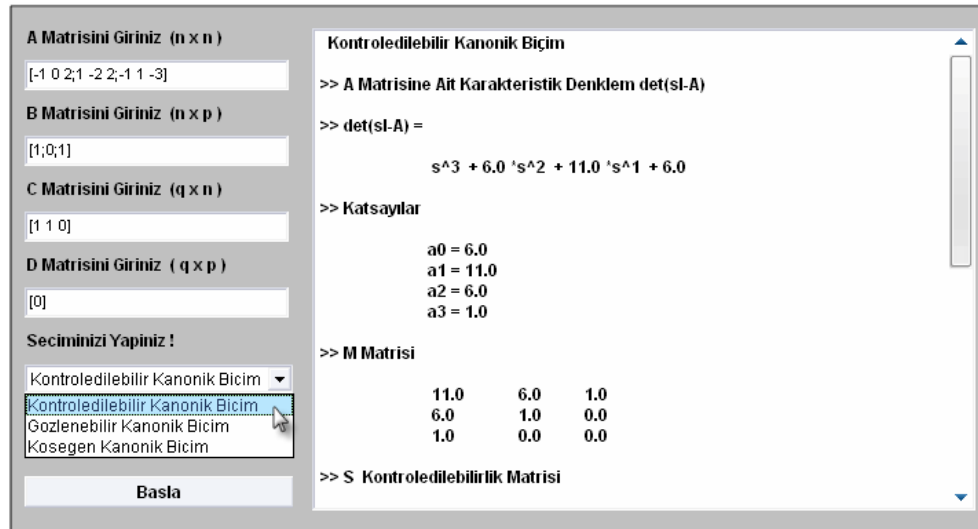


Şekil 5.14. Özdeğerler-özvektörler

### 5.3.3. Benzeşim dönüşümleri benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde benzeşim dönüşümleri altında kontrol edilebilir kanonik biçim, gözlenebilir kanonik biçim ve köşegen kononik biçim konuları ayrı bir alt başlık olarak verildi. Bu konular ise tek bir benzetim altında toplanarak konu anlatımının sonunda ayrı bir sayfada verilmiştir.

Benzeşim dönüşümleri benzetimi Şekil 5.15’de gösterilmektedir. Hazırlanan benzetim üzerinde matris değerlerinin değiştirilebilmesine olanak sağlayan metin kutuları vardır. Hazırlanan benzetim ile öğrencinin kontrol edilebilir kanonik biçimde, gözlenebilir kanonik biçimde ve köşegen kanonik biçimde benzeşim dönüşümlerini görebilmesine olanak verilmiştir. Kontrol edilebilir kanonik biçim uygulaması Şekil 5.15’de gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Kontrol edilebilir kanonik biçim

Benzetim için örnek olarak A matrisini [-1 0 2; 1 -2 2; -1 1 -3], B matrisini [1; 0; 1] ve C matrisinin [1 1 0] değerleri ile programa girildiğine varsayalım. Bu değerler için kontrol edilebilir kanonik biçimde program çıktısı şu şekildedir.

>> A Matrisine Ait Karakteristik Denklem  $\det(sI-A)$

>>  $\det(sI-A) =$

$$s^3 + 6.0 \cdot s^2 + 11.0 \cdot s^1 + 6.0$$

>> Katsayılar

$$a_0 = 6.0$$

$$a_1 = 11.0$$

$$a_2 = 6.0$$

$$a_3 = 1.0$$

>> M Matrisi

$$\begin{matrix} 11.0 & 6.0 & 1.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 6.0 & 1.0 & 0.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{matrix}$$

>> S Kontrol edilebilirlik Matrisi

$$\begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & -9.0 \\ 0.0 & 3.0 & -13.0 \\ 1.0 & -4.0 & 14.0 \end{bmatrix}$$

>> P Dönüşüm Matrisi ( $P = S.M$ )

$$\begin{bmatrix} 8.0 & 7.0 & 1.0 \\ 5.0 & 3.0 & 0.0 \\ 1.0 & 2.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

>> A Dönüşüm Matrisi ( $\hat{A} = P'.A.P$ )

$$\begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \\ -6.0 & -11.0 & -6.0 \end{bmatrix}$$

>> B Dönüşüm Matrisi ( $B = P'.B$ )

$$\begin{bmatrix} 0.0 \\ 0.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

Kontrol edilebilir kanonik biçime dönüştürmek için dönüşüm matrisi  $P = SM$  alınmalıdır.  $S$  burada kontrol edilebilirlik matrisi'dir.  $S$  ve  $M$  matrisleri Eş.5.13 ifadesi gibi elde edilir.

$$S = [B \quad AB \quad A^2B \quad \dots \quad A^{n-1}B] \quad M = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & \dots & a_{n-1} & 1 \\ a_2 & a_3 & \dots & \dots & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1} & 1 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [5.13]$$

$M$  matrisi karakteristik denklemin katsayılarından oluşturulan  $\bar{A}$  matrisinin boyutunda kare bir matristir. Kontrol edilebilir kanonik biçimde  $\bar{A}$  ve  $\bar{B}$  matrisleri Eş.5.14 ifadesi gibi elde edilir.

$$\bar{\mathbf{A}} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{B}} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad [5.14]$$

**C** ve **D** matrisleri kontroledilebilir kanonik biçimde belirli bir biçimde değildir. Kontroledilebilir kanonik biçimin verilmesi  $\mathbf{P}^{-1}$  matrisinin varlığına bağlıdır, çünkü **M** matrisinin determinanı sıfırdan farklı ve  $(-1)^{n-1}$ 'e eşit olduğundan, tersi hep mevcuttur.

Şekil 5.16'da gözlenebilir kanonik biçim seçeneğinin seçilmesi durumundaki ekran çıktısı gösterilmiştir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[-1 0 2; 1 -2 2; -1 1 -3]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[1; 0; 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 1 0]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0]

**Seçiminizi Yapınız !**

**Basla**

**a0 = 6.0**  
**a1 = 11.0**  
**a2 = 6.0**  
**a3 = 1.0**

**>> M Matrisi**

|      |     |     |
|------|-----|-----|
| 11.0 | 6.0 | 1.0 |
| 6.0  | 1.0 | 0.0 |
| 1.0  | 0.0 | 0.0 |

**>> V Gözlenebilirlik Matrisi**

|      |      |       |
|------|------|-------|
| 1.0  | 1.0  | 0.0   |
| 0.0  | -2.0 | 4.0   |
| -6.0 | 8.0  | -16.0 |

**>> Q Dönüşüm Matrisi Q = (M.V)'**

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| -0.16 | 0.33  | -0.16 |
| 0.16  | -0.33 | 1.16  |
| 0.08  | 0.08  | -0.91 |

Şekil 5.16. Gözlenebilir kanonik biçim

Eğer aynı örneği gözlenebilir kanonik biçim için uygularsak program çıktısı şu şekilde elde edilir.

>> A Matrisine Ait Karakteristik Denklem  $\det(sI-A)$

>>  $\det(sI-A) =$

$$s^3 + 6.0 * s^2 + 11.0 * s^1 + 6.0$$

>> Katsayılar

$$a_0 = 6.0$$

$$a_1 = 11.0$$

$$a_2 = 6.0$$

$$a_3 = 1.0$$

>> M Matrisi

$$\begin{matrix} 11.0 & 6.0 & 1.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 6.0 & 1.0 & 0.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{matrix}$$

>> V Gözlenebilirlik Matrisi

$$\begin{matrix} 1.0 & 1.0 & 0.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 0.0 & -2.0 & 4.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} -6.0 & 8.0 & -16.0 \end{matrix}$$

>> Q Dönüşüm Matrisi  $Q = (M.V)'$

$$\begin{matrix} -0.16 & 0.33 & -0.16 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 0.16 & -0.33 & 1.16 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 0.08 & 0.08 & -0.91 \end{matrix}$$

>> A Dönüşüm Matrisi ( $\hat{A} = Q'.A.Q$ )

$$\begin{matrix} 0.0 & 0.0 & -6.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 1.0 & 0.0 & -11.0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 0.0 & 1.0 & -6.0 \end{matrix}$$

>> C Dönüşüm Matrisi ( $C = C.Q$ )

$$\begin{matrix} 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{matrix}$$

>> B Dönüşüm Matrisi ( $B = Q'.B$ )

$$13.0$$

$$10.0$$

$$1.0$$

Gözlenebilir kanonik biçime dönüştürme matrisi  $\mathbf{Q} = (\mathbf{M}\mathbf{V})^{-1}$  olarak verilir. Burada  $\mathbf{M}$  matrisi ve  $\mathbf{V}$  matrisi Eş.5.15 ifadesindeki gibi elde edilir.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & . & . & . & a_{n-1} & 1 \\ a_2 & a_3 & . & . & . & 1 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ a_{n-1} & 1 & . & . & . & 0 & 0 \\ 1 & 0 & . & . & . & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{CA} \\ \mathbf{CA}^2 \\ . \\ . \\ . \\ \mathbf{CA}^{n-1} \end{bmatrix} \quad [5.15]$$

$\mathbf{V}$  matrisi genellikle gözlenebilirlik matrisi olarak tanımlanır ve gözlenebilir kanonik biçime dönüştürmek için  $\mathbf{V}^{-1}$ 'in varlığı gereklidir. Gözlenebilir kanonik biçimde  $\bar{\mathbf{B}}$  ve  $\bar{\mathbf{D}}$  matris elemanları her hangi bir biçimle sınırlandırılmış değildir.  $\bar{\mathbf{A}}$  ve  $\bar{\mathbf{C}}$  matrisleri ise aşağıdaki ifadelerde olduğu gibi elde edilir.

$$\bar{\mathbf{A}} = \mathbf{Q}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & . & . & . & 0 & -a_0 \\ 1 & 0 & . & . & . & 0 & -a_1 \\ 0 & 1 & . & . & . & 0 & -a_2 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & . & . & 0 & -a_{n-1} \end{bmatrix} \quad \bar{\mathbf{C}} = \mathbf{C}\mathbf{Q} = [0 \quad 0 \quad . \quad . \quad . \quad 0 \quad 1]$$

Şekil 5.17'de köşegen kanonik biçim seçeneğinin seçilmesi durumundaki ekran çıktısı gösterilmiştir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[-1 0 2; 1 -2 2; -1 1 -3]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[1; 0; 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 1 0]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0]

**Seciminizi Yapiniz !**  
 Kosegen Kanonik Bicim  
 Kontrol edilebilir Kanonik Bicim  
 Gozlenebilir Kanonik Bicim  
 Kosegen Kanonik Bicim

**Basla**

**>> A Matrisine Ait Özvektörler**

|      |       |     |
|------|-------|-----|
| 0.81 | -1.73 | 1.4 |
| 0.4  | -1.73 | 1.4 |
| -0.4 | 1.73  | 0.0 |

**>> T Köşegen Kanonik Biçime Dönüştürme Matrisi**

|      |       |     |
|------|-------|-----|
| 0.81 | -1.73 | 1.4 |
| 0.4  | -1.73 | 1.4 |
| -0.4 | 1.73  | 0.0 |

**>> A Dönüşüm Matrisi ( $\hat{A} = T'.A.T$ )**

|      |      |      |
|------|------|------|
| -2.0 | 0.0  | 0.0  |
| 0.0  | -3.0 | 0.0  |
| 0.0  | 0.0  | -1.0 |

**>> B Dönüşüm Matrisi ( $B = T'.B$ )**

|      |
|------|
| 1.23 |
| 0.57 |
| 0.7  |

Şekil 5.17. Köşegen kanonik biçim

**A**, **B**, **C** ve **D** matrislerini köşegen kanonik biçim için de uygularsak program çıktısı aşağıdaki şekilde olduğu gibi elde edilir.

>> A Matrisine Ait Özdeğerler

$$s_0 = -2.0 + j 0.0$$

$$s_1 = -3.0 + j 0.0$$

$$s_2 = -1.0 + j 0.0$$

>> A Matrisine Ait Özvektörler

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

>> T Köşegen Kanonik Biçime Dönüştürme Matrisi

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.81 & -1.73 & 1.4 \\ 0.4 & -1.73 & 1.4 \\ -0.4 & 1.73 & 0.0 \end{bmatrix}$$

>> A Dönüşüm Matrisi ( $\hat{A} = T'.A.T$ )

$$\begin{bmatrix} -2.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & -3.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -1.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -2.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & -3.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -1.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -2.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & -3.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -1.0 \end{bmatrix}$$

>> B Dönüşüm Matrisi ( $B = T'.B$ )

1.23

0.57

0.7

$A$ 'nın özdeğerleri farklı olduğu sürece, tekil olmayan bir köşegen dönüşümü vardır ve bu dönüşüm ifadeleri  $\bar{A} = T^{-1}AT$ ,  $\bar{B} = T^{-1}B$ ,  $\bar{C} = CT$ ,  $\bar{D} = D$  şeklinde elde edilir. Burada  $T$ 'nin sütunları  $A$ 'ya ilişkin öz vektörlerden Eş.5.16 ifadesindeki gibi elde edilir.

$$T = [p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad \dots \quad p_n] \quad [5.16]$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$   $A$ 'nın birbirinden farklı öz değerleri olmak üzere  $\bar{A}$  matrisi Eş.5.17 biçiminde elde edilir.  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$  ve  $\bar{D}$  matrisleri ise belirli bir yapıda değildir.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} (n \times n) \quad [5.17]$$

#### 5.3.4. Transfer fonksiyonlarının ayrıştırılması benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde transfer fonksiyonlarının kontroledilebilir kanonik biçimde ve gözlenebilir kanonik biçimde doğrudan ayrıştırılması konuları ayrı birer alt başlık olarak anlatıldı. Bu konular tek bir benzetim altında toplanarak konu anlatımının sonunda ayrı bir sayfada verilmiştir. Şekil 5.18'de transfer fonksiyonlarının ayrıştırılması benzetimi gösterilmiştir.

**Y(s) Polinomunu Giriniz**  
2 1 5

**U(s) Polinomunu Giriniz**  
1 6 11 4

**Basla**

Girişi U(s) ve çıkışı Y(s) olan, n'inci mertebeden tek giriş ve çıkışlı bir sistemin Y(s) / U(s) transfer fonksiyonu Doğrudan Ayrıştırma ile Kontrol edilebilir Kanonik Biçimde ve Gözlenebilir Kanonik Biçimde ayrıştırılabilir.

**Transfer Fonksiyonlarının Ayrıştırılması**

>> Y(s) Polinomu  
 $Y(s) = 2.0 \cdot s^2 + 1.0 \cdot s^1 + 5.0$

>> U(s) Polinomu  
 $U(s) = 1.0 \cdot s^3 + 6.0 \cdot s^2 + 11.0 \cdot s^1 + 4.0$

>> Kontrol edilebilir Kanonik Biçimde Y(s) Polinomu  
 $Y(s) = (1.0 \cdot s^{-1} + 6.0 \cdot s^{-2} + 11.0 \cdot s^{-3}) \cdot X(s)$

>> X(s) Polinomu  
 $X(s) = U(s) - (6.0 \cdot s^{-1} + 11.0 \cdot s^{-2} + 4.0 \cdot s^{-3}) \cdot X(s)$

>> Sistemin Kontrol edilebilir Kanonik Formdaki Durum Matrisleri

>> A Matrisi

Şekil 5.18. Transfer fonksiyonların ayrıştırılması benzetimi

Benzetim üzerinde Y(s) ve U(s) polinom katsayılarının girilmesi için metin kutuları oluşturulmuştur. Benzetim içerisinde Y(s) polinomunun katsayıları “2 1 5”, U(s) polinomunun katsayıları ise “1 6 11 4” olarak girilmiştir. Bu değerler için benzetim çalıştırıldığı takdirde program aşağıdaki çıktıları üretecektir.

>> Y(s) Polinomu

$$Y(s) = 2.0 \cdot s^2 + 1.0 \cdot s^1 + 5.0$$

>> U(s) Polinomu

$$U(s) = 1.0 \cdot s^3 + 6.0 \cdot s^2 + 11.0 \cdot s^1 + 4.0$$

>> Kontrol edilebilir Kanonik Biçimde Y(s) Polinomu

$$Y(s) = (1.0 \cdot s^{-1} + 6.0 \cdot s^{-2} + 11.0 \cdot s^{-3}) \cdot X(s)$$

>> X(s) Polinomu

$$X(s) = U(s) - (6.0 * s^{-1} + 11.0 * s^{-2} + 4.0 * s^{-3}) * X(s)$$

>> Sistemin Kontrol edilebilir Kanonik Formdaki Durum Matrisleri

>> A Matrisi

```
0.0    1.0    0.0
0.0    0.0    1.0
-4.0   -11.0  -6.0
```

>> B Matrisi

```
0
0
1
```

>> C Matrisi

```
5.0    1.0    2.0
```

>>Gözlenebilir Kanonik Biçimde Y(s) Polinomu

$$Y(s) = (1.0*s^{-1} + 6.0*s^{-2} + 11.0*s^{-3}) * U(s) - (6.0*s^{-1} + 11.0*s^{-2} + 4.0*s^{-3}) * Y(s)$$

>> Sistemin Gözlenebilir Kanonik Formdaki Durum Matrisleri

>> A Matrisi

```
0.0    0.0   -4.0
1.0    0.0  -11.0
0.0    1.0   -6.0
```

>> B Matrisi

```
2.0
1.0
5.0
```

>> C Matrisi

```
0    0    1
```

Doğrudan ayrıştırma çarpanlara ayrılmamış bir transfer fonksiyonuna uygulanır. Girişi  $U(s)$  ve çıkışı  $Y(s)$  olan,  $n$ 'inci mertebeden tek giriş ve çıkışlı bir sistemin transfer fonksiyonunun Eş.5.18 ifadesinde ki gibi olduğunu varsayalım;

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_{n-1}s^{n-1} + b_{n-2}s^{n-2} + \dots + b_1s + b_0}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0} \quad [5.18]$$

Kontroledilebilir kanonik biçimde doğrudan ayrıştırmadaki amaç  $Y(s)/U(s)$  transfer fonksiyonundan durum diyagramlarını türetmektir. Bunun için ilk önce Transfer fonksiyonu  $s$ 'nin negatif üstlerine göre düzenlenir. Bunun için transfer fonksiyonunun pay ve paydası  $s^{-n}$  ile çarpılır. Daha sonra transfer fonksiyonun pay ve paydası  $X(s)$  ile çarpılarak Eş.5.19 ifadesi elde edilir. (14)

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(b_{n-1}s^{-1} + b_{n-2}s^{-2} + \dots + b_1s^{-n+1} + b_0s^{-n})X(s)}{(1 + a_{n-1}s^{-1} + \dots + a_1s^{-n+1} + a_0s^{-n})X(s)} \quad [5.19]$$

Eş.5.19 ifadesinde pay ve payda her iki taraftan eşitlenirse Eş.5.20 ifadesi elde edilir.

$$\begin{aligned} Y(s) &= (b_{n-1}s^{-1} + b_{n-2}s^{-2} + \dots + b_1s^{-n+1} + b_0s^{-n})X(s) \\ U(s) &= (1 + a_{n-1}s^{-1} + \dots + a_1s^{-n+1} + a_0s^{-n})X(s) \end{aligned} \quad [5.20]$$

Bu iki denklemden yararlanarak durum diyagramlarını elde etmek için neden-sonuç ilişkileri haline getirmek gerekir.  $Y(s)$  bu koşulu karşılamaktadır. Ancak  $U(s)$  ilişkisinde giriş sol tarafta yer almaktadır ve bu nedenle Eş.5.21 ifadesindeki gibi düzenlenir.

$$X(s) = U(s) - (a_{n-1}s^{-1} + a_{n-2}s^{-2} + \dots + a_1s^{-n+1} + a_0s^{-n})X(s) \quad [5.21]$$

Kontroledilebilir kanonik biçimde ayrıştırma sonucunda **A** ve **B** matrisleri aşağıda görüldüğü gibi kontroledilebilir kanonik biçimde elde edilir.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1], \quad \mathbf{D} = 0$$

Gözlenebilir kanonik biçimde ise  $Y(s)/U(s)$  denklemi  $s^{-n}$  ile çarpılarak tek satırda ifade edilirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$$Y(s) = -(a_{n-1}s^{-1} + \dots + a_1s^{-n+1} + a_0s^{-n})Y(s) + (b_{n-1}s^{-1} + b_{n-2}s^{-2} + \dots + b_1s^{-n+1} + b_0s^{-n})U(s)$$

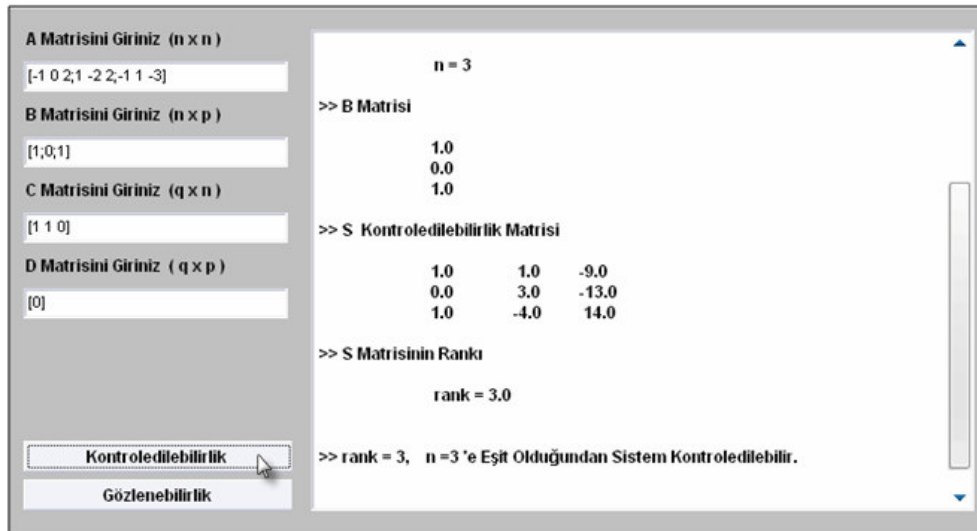
Gözlenebilir kanonik biçimde ayrıştırma sonucunda  $\mathbf{A}$  ve  $\mathbf{C}$  matrisleri aşağıda görüldüğü gibi gözlenebilir kanonik biçimde elde edilir.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & -a_0 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & -a_1 \\ 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & -a_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & -a_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ b_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1], \quad \mathbf{D} = 0$$

### 5.3.5. Kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik konuları ayrı birer alt başlık olarak verildi. Bu konular daha sonra tek bir benzetim altında toplanarak konu anlatımının sonunda ayrı bir sayfada verilmiştir.

Hazırlanan benzetim üzerinde öğrenci, sisteme girdiği durum matrislerinin kontrol edilebilirliğini veya gözlenebilirliğini deneyebileceği iki adet düğme bulunmaktadır.



Şekil 5.19. Kontrol edilebilirlik

Şekil 5.19'da örnek olarak A matrisi [-1 0 2; 1 -2 2; -1 1 -3], B matrisi [1; 0; 1], C matrisi [1 1 0] ve D matrisi [0] olarak girilmiştir. *Kontrol edilebilirlik* düğmesine tıklandığı takdirde benzetim aşağıdaki çıktıyı verecektir.

**>> A Matrisi**

|      |      |      |
|------|------|------|
| -1.0 | 0.0  | 2.0  |
| 1.0  | -2.0 | 2.0  |
| -1.0 | 1.0  | -3.0 |

**>> A Matrisinin Boyutu**

n = 3

**>> B Matrisi**

|     |
|-----|
| 1.0 |
| 0.0 |
| 1.0 |

**>> S Kontrol edilebilirlik Matrisi**

|     |      |       |
|-----|------|-------|
| 1.0 | 1.0  | -9.0  |
| 0.0 | 3.0  | -13.0 |
| 1.0 | -4.0 | 14.0  |

>> S Matrisinin Rankı

rank = 3.0

>> rank = 3, n = 3 'e Eşit Olduğundan Sistem Kontrol edilebilir.

Bir sistemin kontrol edilebilir olması için gerek ve yeter koşul  $(n \times nr)$  boyutlu kontrol edilebilirlik matrisi  $S$ 'nin rankının  $n$ 'e eşit olmasıdır.  $S$  matrisi Eş.5.22 ifadesi ile gösterilmiştir.

$$S = [B \quad AB \quad A^2B \quad . \quad . \quad . \quad A^{n-1}B] \quad [5.22]$$

Eş.5.22 ifadesinden kontrol edilebilirlik koşulunun sistemin  $A$  ve  $B$  katsayı matrislerine bağlı olduğunu görülür. Tek girişli ve tek çıkışlı durum denklemleriyle ifade edilen bir sistemde eğer  $A$  ve  $B$  kontrol edilebilir kanonik biçimde ya da bir benzeşim dönüşümü ile kontrol edilebilir kanonik biçime dönüştürülebilir ise  $[A, B]$  çifti tamamen kontrol edilebilir.

**A Matrisini Giriniz (n x n)**  
[-1 0 2; 1 -2 2; -1 1 -3]

**B Matrisini Giriniz (n x p)**  
[1; 0; 1]

**C Matrisini Giriniz (q x n)**  
[1 1 0]

**D Matrisini Giriniz (q x p)**  
[0]

**Kontrol edilebilirlik**

**Gözlenebilirlik**

**>> A Matrisinin Boyutu**  
n = 3

**>> C Matrisi**  
1.0 1.0 0.0

**>> V Gözlenebilirlik Matrisi**  
1.0 1.0 0.0  
0.0 -2.0 4.0  
-6.0 8.0 -16.0

**>> V Matrisinin Rankı**  
rank = 3.0

**>> rank = 3, n = 3 'e Eşit Olduğundan Sistem Gözlenebilir.**

Şekil 5.20. Gözlenebilirlik

Aynı örnek için *Gözlenebilirlik* düğmesine tıklandığı takdirde Şekil 5.20'deki benzetim aşağıdaki çıktıyı verecektir.

>> A Matrisi

```
-1.0    0.0    2.0
 1.0   -2.0    2.0
-1.0    1.0   -3.0
```

>> A Matrisinin Boyutu

```
n = 3
```

>> C Matrisi

```
1.0    1.0    0.0
```

>> V Gözlenebilirlik Matrisi

```
1.0    1.0    0.0
 0.0   -2.0    4.0
-6.0    8.0   -16.0
```

>> V Matrisinin Rankı

```
rank = 3.0
```

>> rank = 3, n = 3 'e Eşit Olduğundan Sistem Gözlenebilir.

Bir sistemin tamamen gözlenebilir olması için gerek ve yeter koşul  $(n \times np)$  boyutlu gözlenebilirlik matrisi  $V$ 'nin rankının  $n$ 'e eşit olmasıdır.  $V$  matrisi Eş.5.23 ifadesi ile gösterilmiştir.

$$V = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad [5.23]$$

Buradan gözlenebilirlik koşulunun sistemin  $A$  ve  $C$  matrislerine bağlı olduğu görülür. Koşul  $[A, C]$  matris çiftinin gözlenebilirliği olarak da bilinir. Özellikle sistemin sadece bir çıkışı bulunması halinde  $C$ ,  $(1 \times n)$  boyutlu bir sütun matrisine ve  $V$  ise  $(n \times n)$  boyutlu bir kare matrise dönüşür.  $V$ 'nin tekil olmaması halinde sistem tam gözlenebilir.

#### 5.4. Doğrusal Kontrol Sistemlerinin Kararlılığı

Denetim sistemlerinin, kararlılık, hızlı cevap ve hassasiyet şeklinde asgari üç özelliği sağlaması gerekir. Bir denetim sisteminin dinamik davranışının en önemli özelliği kararlılığıdır. Kararlı sistem, sınırlı bir cevaba sahip sistem olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, eğer sistem sınırlı bir başvuru girişi ve bozucu giriş karşısında sınırlı büyüklükte bir cevap veriyorsa kararlıdır denir. Kararlı bir sistem, bir bozucu giriş karşısında geçici-durum davranışı gösterdikten sonra tekrar denge konumuna dönen sistemdir.

Bir dinamik sistemin kararlılığı da benzer şekilde tanımlanır. Bir doğrusal sistemin kararlı olması demek, onun ani darbe cevabının zaman sonsuza giderken sıfıra ulaşması demektir. Eğer sistem cevabı zamana bağlı olarak sürekli artıyorsa veya büyüyen genlikli titreşim şeklinde ise kararsızlık söz konusudur.

Doğrusal denetim sistemlerinin kararlılığı, kapalı-döngü transfer fonksiyonunun kutuplarından diğer bir deyişle özyapısal denklemin köklerinden belirlenebilir. Bir doğrusal sistemin kararlı olup olmadığı o sistemin kendisine ait bir özellik olup sistemin girişinden bağımsızdır. Giriş fonksiyonu kutupları sistemin kararlılığını etkilemez, yalnızca kalıcı durum davranışı üzerinde etkili olabilir.

##### 5.4.1. Routh kararlılık kriteri benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Routh kararlılık kriteri konusunun daha iyi öğrenilebilmesi için bir Java benzetimi hazırlanmıştır. Benzetim üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde karakteristik denklem katsayılarının girildiği metin kutusu bulunmaktadır. İkinci bölüm benzetimin gerçekleştirildiği bölümdür. Üçüncü bölüm ise *Basla*, *Kararlılık* ve benzetim süresinin ayarlandığı metin kutusunun bulunduğu bölümdür. Hazırlanan Routh kararlılık kriteri benzetimi Şekil 5.21’de gösterilmiştir.

Karakteristik Denklem Katsayılarını Giriniz

**ROUTH KARARLILIK KRİTERİ**

Karakteristik Denklem=+1.0s<sup>4</sup> +6.0s<sup>3</sup> +2.0s<sup>2</sup> +1.0s<sup>1</sup> +3.0s<sup>0</sup> 0.0 0.0

4. dereceden denklem

| Routh Tablosu  |      |     |     |     |
|----------------|------|-----|-----|-----|
| s <sup>4</sup> | 1.0  | 2.0 | 3.0 | 0.0 |
| s <sup>3</sup> | 6.0  | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| s <sup>2</sup> | 1.8  | 3.0 | 0.0 | 0.0 |
| s <sup>1</sup> | -8.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| s <sup>0</sup> | 3.0  | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

**Degerler**

A1 = (6.0 \* 2.0) - (1.0 \* 1.0) / 6.0 = 1.8  
A2 = (6.0 \* 3.0) - (1.0 \* 0.0) / 6.0 = 3.0  
B1 = (1.8 \* 1.0) - (6.0 \* 3.0) / 1.8 = -8.8  
C1 = (-8.8 \* 3.0) - (1.8 \* 0.0) / -8.8 = 3.0

Kararlılığı Test Etmek İçin Kararlılık Butonuna Tıklayınız.

Basla Kararlılık Benzetim Süresi 50

Şekil 5.21. Routh kararlılık kriteri benzetimi

Üçüncü bölüm üzerinde bulunan *Kararlılık* düğmesinin etkin olabilmesi için öncelikle *Basla* düğmesine tıklanması gerekmektedir. Çünkü sistemin kararlılığını test edebilmek için Routh tablosunun oluşturulması gerekir. Routh tablosu ise *Basla* düğmesine tıklanarak oluşturulabilir.

Örnek olarak Eş.5.24 ifadesi ile verilen altıncı mertebeden bir denklem için Routh Tablosu oluşturulurken ilk satır, en yüksek mertebeden terimden başlamak üzere, birinci, üçüncü, beşinci terimlerin katsayıları ve ikinci satır ikinci, dördüncü, altıncı, terimlerin katsayılarını kapsamak üzere listelenir (14).

$$a_6 s^6 + a_5 s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 \quad [5.24]$$

Daha sonra altıncı mertebeden bir denklem için belirtilen işlemlerden türetilen sayı dizileri oluşturulur. Şekil 5.22’de altıncı mertebeden bir denklem için Routh tablosu hazırlanmıştır.

|       |                               |                               |                                       |       |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|
| $s^6$ | $a_6$                         | $a_4$                         | $a_2$                                 | $a_0$ |
| $s^5$ | $a_5$                         | $a_3$                         | $a_1$                                 | 0     |
| $s^4$ | $\frac{a_5a_4 - a_6a_3}{a_5}$ | $\frac{a_5a_2 - a_6a_1}{a_5}$ | $\frac{a_5a_0 - a_6 \times 0}{a_5}$   | 0     |
| $s^3$ | $\frac{Aa_3 - a_5B}{A}$       | $\frac{Aa_1 - a_5a_0}{A}$     | $\frac{A \times 0 - a_5 \times 0}{A}$ | 0     |
| $s^2$ | $\frac{BC - AD}{C}$           | $\frac{Ca_0 - A \times 0}{C}$ | $\frac{C \times 0 - A \times 0}{C}$   | 0     |
| $s^1$ | $\frac{ED - Ca_0}{E}$         | 0                             | 0                                     | 0     |
| $s^0$ | $\frac{Fa_0 - E \times 0}{F}$ | 0                             | 0                                     | 0     |

Şekil 5.22. Routh tablosu

Şekil 5.23’de *Kararlılık* düğmesine tıklanması durumunda sistemin kararlılığının test edilmesi gösterilmiştir. Routh listelemesi bir kez tamamlanınca, kriterin uygulanmasında en son adımda, denklem kökleri hakkında bilgi taşıyan, sıralamadaki birinci sütun katsayılarının işaretine bakılır.



Şekil 5.23. Routh kararlılık durumu

Birinci sütun işaretleri ile şu sonuca varılır: Routh listelemesinde birinci sütun elemanlarının işaretleri aynı ise denklem köklerinin tümü sol yarı s-düzleminde. Birinci sütundaki terimlerin işaretinin değişme sayısı kadar, karakteristik denklemin sağ yarı s-düzleminde kökü vardır. Bir sistemin kararlı olabilmesi için gerek ve yeter koşul, birinci sütundaki bütün terimlerin pozitif olmasıdır. Benzetim içerisinde verilen örnekte birinci sütun değerlerinde iki adet işaret değişimi vardır. Bu girilen karakteristik denkleme ait transfer fonksiyonun sağ yarı s-düzleminde iki adet kökü olduğunu gösterir. Bu durumda sistem kararsızdır.

#### 5.4.2. Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Hurwitz kararlılık kriteri konusu alt başlık olarak belirlenerek konunun daha iyi öğrenilebilmesi için bir Java benzetimi hazırlanmıştır. Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi de Routh kararlılık kriteri benzetiminde olduğu gibi üç bölümden oluşmuştur. Hazırlanan Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi Şekil 5.24’de gösterilmiştir.

Karakteristik Denklem Katsayılarını Giriniz: 1 6 2 1 3 1 -1

**HURWITZ KARARLILIK KRİTERİ**

Karakteristik Denklem =  $1.0s^6 + 6.0s^5 + 2.0s^4 + 1.0s^3 + 3.0s^2 + 1.0s^1 - 1.0s^0 + 0.0 + 0.0$

$a_n$   $a_{n-1}$   $a_{n-2}$   $a_{n-3}$   $a_{n-4}$   $a_{n-5}$   $a_{n-6}$

| 6 x 6 Hurwitz Matris Elemanları |           |           |           |           |           | Matris Değerleri |     |     |      |      |      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----|-----|------|------|------|
| $a_{n-1}$                       | $a_{n-3}$ | $a_{n-5}$ | 0         | 0         | 0         | 6.0              | 1.0 | 1.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| $a_n$                           | $a_{n-2}$ | $a_{n-4}$ | $a_{n-6}$ | 0         | 0         | 1.0              | 2.0 | 3.0 | -1.0 | 0.0  | 0.0  |
| 0                               | $a_{n-1}$ | $a_{n-3}$ | $a_{n-5}$ | 0         | 0         | 0.0              | 6.0 | 1.0 | 1.0  | 0.0  | 0.0  |
| 0                               | $a_n$     | $a_{n-2}$ | $a_{n-4}$ | $a_{n-6}$ | 0         | 0.0              | 1.0 | 2.0 | 3.0  | -1.0 | 0.0  |
| 0                               | 0         | $a_{n-1}$ | $a_{n-3}$ | $a_{n-5}$ | 0         | 0.0              | 0.0 | 6.0 | 1.0  | 1.0  | 0.0  |
| 0                               | 0         | $a_n$     | $a_{n-2}$ | $a_{n-4}$ | $a_{n-6}$ | 0.0              | 0.0 | 1.0 | 2.0  | 3.0  | -1.0 |

Kararlılığı Test Etmek İçin Kararlılık Butonuna Tıklayınız.

Basla Kararlılık Benzetim Suresi 50

Şekil 5.24. Hurwitz kararlılık kriteri benzetimi

Hurwitz kararlılık kriteri benzetiminde de *Kararlılık* düğmesinin etkin olabilmesi için öncelikle *Basla* düğmesine tıklanması gerekmektedir. Çünkü sistemin

kararlılığını test edebilmek için Hurwitz matrisinin oluşturulması gerekir. Hurwitz matrisi ise *Basla* düğmesine tıklanarak oluşturulabilir.

Şekil 5.25’de oluşturulan Hurwitz matrisi ile sistemin kararlılığının test edilmesi gösterilmektedir. Sistemin kararlı olabilmesi için gerek ve yeter koşul denkleme ait tüm Hurwitz determinantlarının pozitif olmasıdır. Benzetim için verilen örnekte Hurwitz determinantlarından üç tanesi sıfırdan küçük çıkmıştır. Bundan dolayı sistem kararsızdır.

Karakteristik Denkem Katsayılarını Giriniz: 1 6 2 1 3 1 -1

**HURWITZ KARARLILIK KRİTERİ**

Karakteristik Denkem =  $1.0s^6 + 6.0s^5 + 2.0s^4 + 1.0s^3 + 3.0s^2 + 1.0s^1 - 1.0s^0 + 0.0$

$a_n$   $a_{n-1}$   $a_{n-2}$   $a_{n-3}$   $a_{n-4}$   $a_{n-5}$   $a_{n-6}$

**Hurwitz Matrisleri**

|      |     |     |     |      |      |      |
|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Det1 | 6.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Det2 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | -1.0 | 0.0  | 0.0  |
| Det3 | 0.0 | 6.0 | 1.0 | 1.0  | 0.0  | 0.0  |
| Det4 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0  | -1.0 | 0.0  |
| Det5 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 1.0  | 1.0  | 0.0  |
| Det6 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0  | 3.0  | -1.0 |

**Sistem Kararsızdır**

Det1 = 6.0 > 0  
Det2 = 11.0 > 0  
Det3 = -91.0 < 0  
Det4 = -344.0 < 0  
Det5 = -717.0 < 0  
Det6 = 717.0 > 0

Basla Kararlılık Benzetim Süresi 50

Şekil 5.25. Hurwitz kararlılık durumu

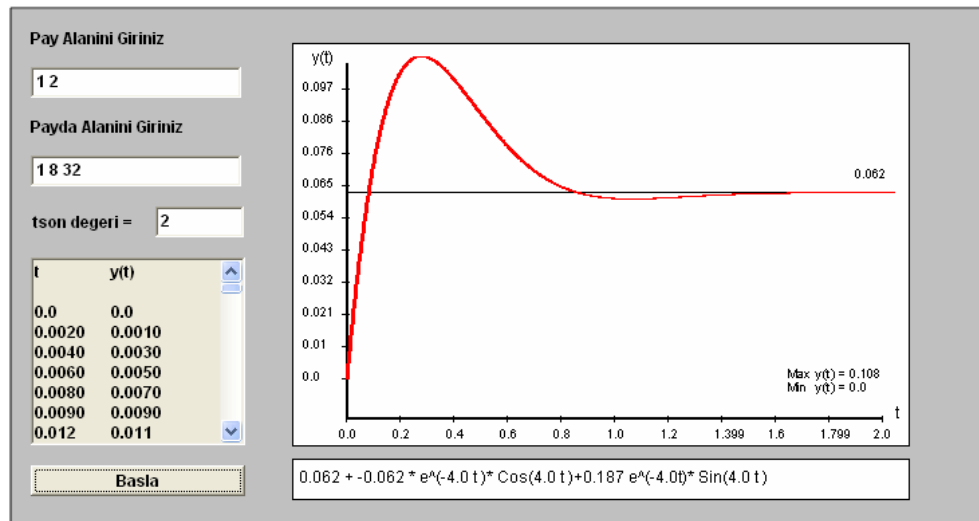
## 5.5. Kontrol Sistemlerinde Zaman Tanım Bölgesi Analizi

Kontrol sistemlerinde zaman genellikle bağımsız bir değişken görevini üstlenir ve bu nedenle durum ve çıkış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ya da zaman yanıtları genel ilgi alanını oluşturur. Analiz problemlerinde sistemlere referans giriş işaretleri uygulanır ve bu işaretlere verilen yanıtlar incelenerek sistemlerin davranışı değerlendirilmeye çalışılır. Bir kontrol sisteminde eğer çıkış işareti giriş işaretini belirli koşullar altında takip etmesi isteniyor ise, giriş ve çıkış işaretleri zaman fonksiyonu olarak karşılaştırılır. Bu nedenle kontrol sistemlerinde sistem davranışının son değerlendirmesi genellikle hep zaman yanıtı üzerinde yapılır.

Bir kontrol sisteminin zaman yanıtı genellikle iki kısımdan oluşur: geçici hal yanıtı ve sürekli hal yanıtı. Kontrol sistemlerinde geçici hal yanıtı, zaman yanıtının, zaman ilerledikçe, sifıra doğru giden kısmı olarak tanımlanır. Sürekli hal yanıtı ise, geçici hal yanıtı söndükten sonra, zaman yanıtının geriye kalan kısmıdır. Buna göre sürekli hal yanıtı zaman ilerledikçe, sinüs ya da rampa fonksiyonu gibi belirli bir şekilde değişmeye devam edebilir.

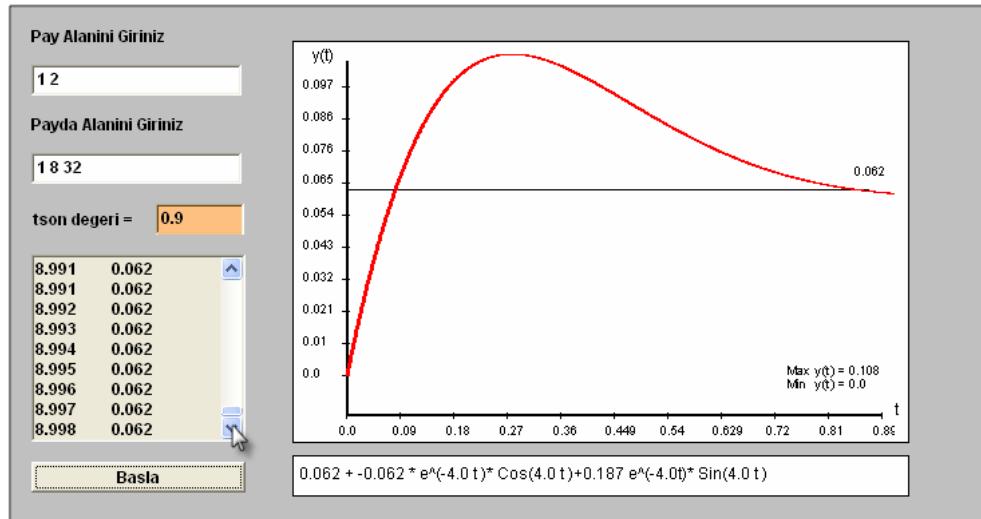
### 5.5.1. Birim basamak yanıtı benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde ikinci mertebeden örnek bir sistemin girişine birim basamak fonksiyonu uygulandığında sistemin verdiği cevabı görmek için bir Java benzetimi hazırlanmıştır. Hazırlanan benzetim ile zaman düzlemi eğrisi, sistemin zamana göre Laplace değerlerinin elde edilmesi sonucu görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmaktadır. Bu benzetim sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonun pay ve payda değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin zaman düzlemindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.26’da gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Birim basamak yanıtı benzetimi

Şekil 5.26’da gösterilen birim basamak yanıtı benzetimi üç farklı alandan oluşmaktadır. Birinci bölüm içerisinde pay ve payda katsayı değerlerinin girildiği metin kutuları alanı, zaman aralığının belirlendiği metin kutusu, zamana bağlı  $y(t)$  değerlerini gösteren liste alanı ve *Basla* düğmesi bulunur. Örnek olarak birinci bölüm üzerinde bulunan pay metin kutusuna “1 2”, payda metin kutusuna ise “1 8 32” katsayıları girilmiştir. Şekil 5.26 üzerinde katsayıları girilen bu fonksiyon  $t_{son} = 2$  sn için çizilmiştir. Eğer bu eğriyi  $t_{son} = 0,9$  sn için çizerseniz Şekil 5.27’deki eğriyi elde ederiz. Bu eğri üzerinde görülmektedir ki  $y(t) = 0,062$  noktasında artık sönüme ulaşmaktadır. Bu sonuca zamana göre  $y(t)$  değerlerini veren listeden de ulaşılabilir. Eğer liste üzerindeki kaydırma çubuğunu en alta indirirsek  $y(t)$  değerinin 0,062 değerinde sabitleştiğini görebiliriz.



Şekil 5.27.  $t_{son} = 0.9$  sn için birim basamak yanıtı

Benzetim üzerinde bulunan ikinci bölüm girilen transfer fonksiyonun Laplace fonksiyonunu gösteren alandır. Bu alan Şekil 5.28’ de gösterilmiştir.

$$0.062 + -0.062 * \exp^{(-4.0 t)} * \cos(4.0 t) + 0.187 \exp^{(-4.0 t)} * \sin(4.0 t)$$

Şekil 5.28. Sistemin Laplace fonksiyonu

Benzetim üzerinde bulunan üçüncü bölüm ise  $y(t)$  eğrisinin zamana bağlı olarak çizildiği alandır. Bu alan üzerinde eğrinin sönüme ulaştığı değer, maksimum  $y(t)$  değeri ve minimum  $y(t)$  değeri gösterilmektedir.

Örnek olarak birim basamak yanıtı benzetimine Eş.5.25 ifadesinde verilen açık çevrim transfer fonksiyonunu girelim.

$$G(s) = \frac{4500K}{(s^2 + 360s + 4500K)} \quad [5.25]$$

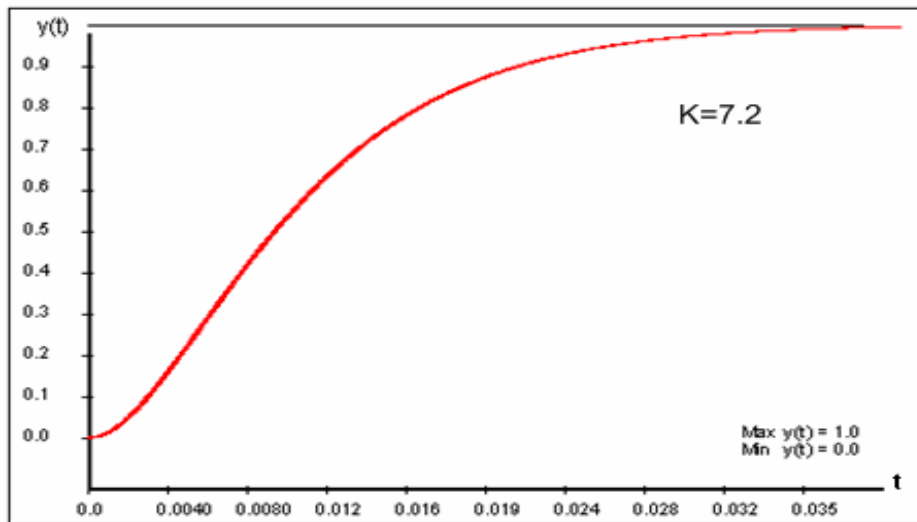
Eğer sıfır başlangıç koşullarında  $G(s)$  fonksiyonunun ters Laplace dönüşümü alınırsa  $G(t)$  değeri çeşitli  $K$  değerleri için aşağıda gösterildiği gibi elde edilir.

$$K = 7.2 \Rightarrow G(t) = (1 - e^{-180t} - 180t.e^{-180t})u_s(t)$$

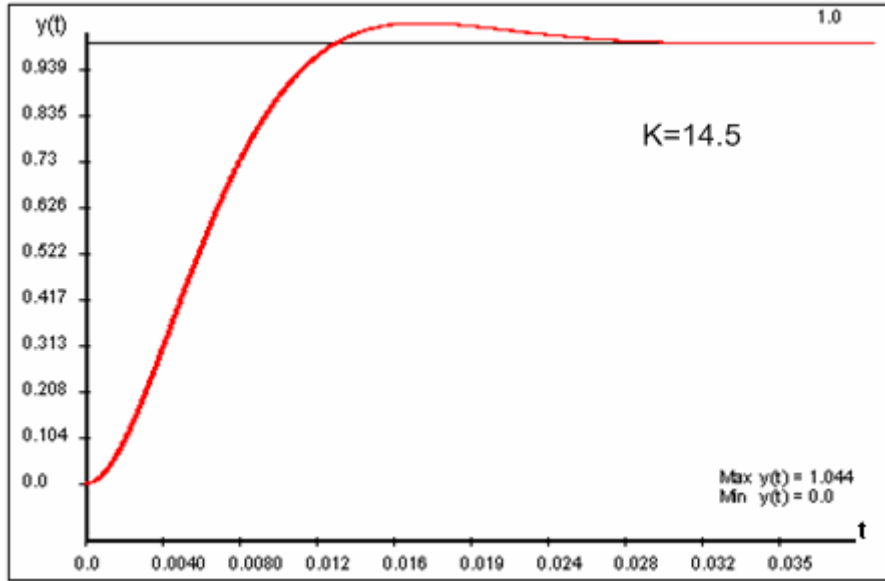
$$K = 14.5 \Rightarrow G(t) = (1 - e^{-180.6t} \cos 180.6t - 0.9997t.e^{-180.6t} \sin 180.6t)u_s(t)$$

$$K = 181 \Rightarrow G(t) = (1 - e^{-180.6t} \cos 884.7t - 0.2041t.e^{-180.6t} \sin 884.7t)u_s(t)$$

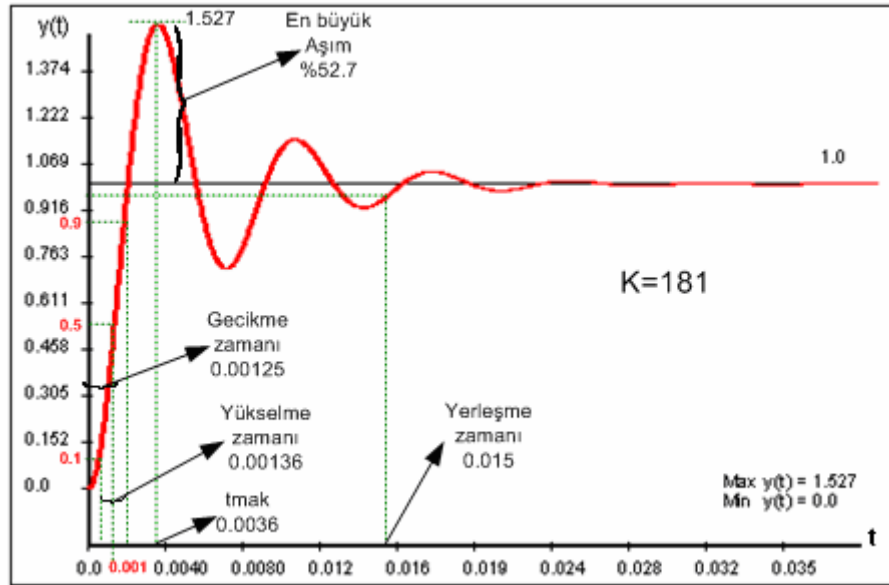
Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de sıra ile  $K=7,2$ ,  $K=14,5$  ve  $K=181$  için sistemin birim basamak yanıtları gösterilmiştir.



Şekil 5.29.  $K=7,2$  için sistemin birim basamak yanıtı



Şekil 5.30.  $K=14,5$  için sistemin birim basamak yanıtı



Şekil 5.31.  $K=181$  için sistemin birim basamak yanıtı

Birim basamak yanıtı ile ilişkili olarak kontrol sistemlerinin zaman tanım bölgesi özellikleri bazı davranış ölçütleriyle değerlendirilir. Şekil 5.31’de sistemin birim basamak yanıtının davranış ölçütlerinin belirlenmesi gösterilmiştir.

Bu ölçütlerden birisi olan en büyük aşım genellikle basamak yanıtı son değerinin yüzdesi ile ifade edilir. Eğer basamak yanıtının son değerini  $y_{mak}$  ve sürekli hal değerini de  $y_{ss}$  ile gösterirsek yüzde olarak en büyük aşım değeri Eş.5.26 denklemi ile hesaplanır.

$$\text{yüzde en büyük aşım} = \frac{y_{mak} - y_{ss}}{y_{ss}} \times \%100 \quad [5.26]$$

En büyük aşım genellikle bir kontrol sisteminin görelî kararlılığını değerlendirme ölçüsü olarak kullanılır. Genellikle sistemde aşımın büyük olması istenmez. Bazı sistemlerde en büyük aşım sonraki değerde oluşabilir ve özellikle sistemin sağ yarı s-düzleminde tek sayıda sıfırı mevcut ise negatif alt aşım bile görülebilir. Benzetim için verilen örnekte  $y_{mak}$  değeri 1,527 çıkarak sürekli hal değeri olan 1'den %52,7 yüksek çıkmıştır. Bundan dolayı yüzde en büyük aşım %52,7'dir.

Diğer bir davranış ölçütü ise gecikme zamanı olan  $t_d$  'dir. Gecikme zamanı basamak yanıtının son değerinin yüzde 50 değerine erişme zamanı olarak tanımlanır. Benzetim için verilen örnekte basamak yanıtının son değerinin yüzde ellisi 0,5'dir. çizim üzerinde  $y(t) = 0,5$  için  $t$  zamanına bakarsak  $t = 0,0125$  olarak elde edilir. Benzetim üzerinde birinci bölümde bulunan listeleme alanı,  $y(t)$  değerinin karşılığı olan  $t$  değerinin tam olarak elde edilmesini sağlar. Şekil 5.32'de listeleme alanı üzerinden gecikme zamanının bulunması gösterilmiştir.

|        |       |
|--------|-------|
| 0.0010 | 0.495 |
| 0.0010 | 0.497 |
| 0.0012 | 0.5   |
| 0.0010 | 0.503 |
| 0.0010 | 0.505 |
| 0.0010 | 0.508 |
| 0.0010 | 0.51  |
| 0.0010 | 0.513 |
| 0.0010 | 0.516 |

Şekil 5.32. Gecikme zamanı

Diğer bir davranış ölçütü olan yükselme zamanı  $t_r$  ise basamak yanıtının son değerinin yüzde 10 değerinden 90 değerine ulaşma zamanı olarak tanımlanır. Benzetim için verilen örnekte bu değer 0,00136 olarak hesaplanmıştır.

En son davranış ölçütü ise yerleşme zamanı  $t_s$ 'dir. Yerleşme zamanı basamak yanıtının son değerinin belirli bir yüzdesine kadar azalması ve bu değer altında kalması için geçmesi gereken zaman olarak tanımlanır. Yüzde 5 çok sık kullanılan bir değerdir. Yerleşme zamanı verilen örnekte 0,015 olarak bulunmuştur.

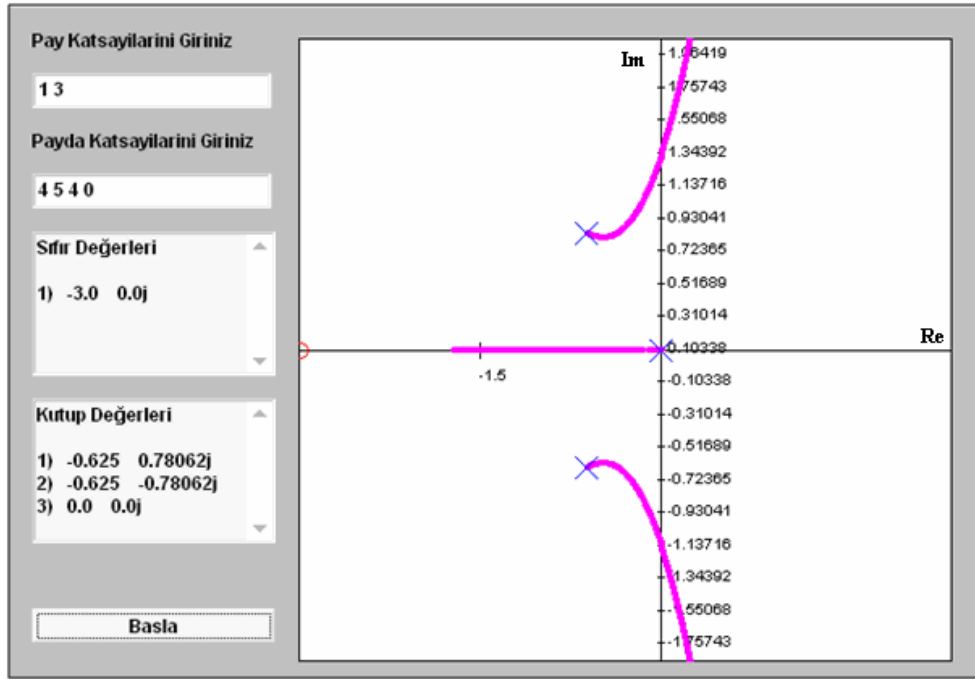
Bulunan bu dört büyüklük, birim basamak yanıtına bağlı olarak, kontrol sisteminin doğrudan geçici hal davranışına ilişkin ölçüleri tanımlar.

## 5.6. Köklerin Yer Eğrisi Tekniği

Doğrusal ve zamanla değişmeyen kontrol sistemlerinin incelenmesinde ve tasarımında kapalı çevrim kutuplarının bilinmesi büyük önem taşır. Kapalı çevrimin karakteristik denkleminin kökleri ya da sistemin kutupları, açık çevrim kontrol sisteminin kutup ve sıfırlarına bağlıdır. Açık çevrim kontrol sisteminin, kutup ve sıfırları bilindiğine göre ya da bunlar istenilen yerlere yerleştirildiğinde, kontrol sisteminin parametrelerinden özellikle K kazancı değiştiğinde kapalı çevrim kontrol sisteminin kutup ve sıfırlarının nasıl değiştiği Köklerin Yer Eğrisi tekniği ile incelenir.

### 5.6.1. Yer kök eğrisi benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde köklerin yer eğrisi tekniği ayrı bir bölüm olarak incelenmiş ve bölümün sonunda yer kök eğrisi için bir Java benzetimi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu benzetim ile yer kök eğrisi görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmaktadır. Bu benzetim sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonunun pay ve payda değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin eğri üzerindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.33'de gösterilmiştir.



Şekil 5.33. Yer kök eğrisi benzetimi

Hazırlanan benzetim iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm pay ve payda katsayılarının girildiği metin kutuları alanı ve sistemin sıfır ve kutuplarını gösteren listeleme alanlarından oluşmaktadır. İkinci bölüm ise sistemin kutup ve sıfırlarına göre yer kök eğrisini çizildiği grafik alanıdır.

Örnek olarak açık çevrim transfer fonksiyonu Eş.5.27 ifadesine verilen sistemi göz önünde bulunduralım.

$$G(s)H(s) = \frac{s + 3}{s^4 + 8s^3 + 21s^2 + 20s} \quad [5.27]$$

Bu fonksiyona ait pay katsayıları “1 3”, payda katsayıları “1 8 21 20 0” olarak metin kutularına girilir. Fonksiyona ait  $m = 4$  adet kutup vardır.

$$\begin{aligned}
s_1 &= 0 \\
s_2 &= -4 \\
s_3 &= -2 + j \\
s_4 &= -2 - j
\end{aligned}$$

Bu kutuplara karşı düşen sıfırlar ise aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
s_1 &= -3 \\
s_2 &= \infty \\
s_3 &= \infty \\
s_4 &= \infty
\end{aligned}$$

Burada sıfır sayısı  $n = 1$  'dir.

Kök eğrisinin dört adet bağımsız kolu vardır ve kök eğrisi gerçek eksene göre simetriktir.  $G(s)$ 'in sonlu dört kutbu ve bir sıfırı bulunduğu göre pozitif kök eğrisi ve negatif kök eğrisi sonsuza asimptotlar boyunca yaklaşır. Pozitif kök eğrisine ilişkin asimptot açıları  $k = 1, 3, 5..$  için aşağıdaki sonuçlar bulunur.

$$\begin{aligned}
k = 1 &\Rightarrow \alpha_1 = \pm \frac{k \cdot 180}{(m - n)} = \pm \frac{1 \cdot 180}{(4 - 1)} = \pm 60^\circ \\
k = 3 &\Rightarrow \alpha_2 = \pm \frac{k \cdot 180}{(m - n)} = \pm \frac{3 \cdot 180}{(4 - 1)} = \pm 180^\circ
\end{aligned}$$

Buna göre kök eğrileri  $\pm 60^\circ$  ve  $\pm 180^\circ$  asimptot açılarıyla sonsuza yaklaşır. Asimptotların kesişme noktası ise Eş.5.28 ifadesi ile hesaplanır.

$$x = \frac{\Sigma p - \Sigma z}{m - n} = \frac{[0 + (-4) + (-2 + j) + (-2 - j)] - [-3]}{4 - 1} = -1.66 \quad [5.28]$$

Genelde asimptot özelliği kök eğrisinin asimptotun hangi tarafında bulunduğunu belirtmez. Asimptot özelliği kök eğrisinin sadece  $s \rightarrow \infty$  için davranışını verir. Kök eğrisi asimptotu sonlu  $s$  değerlerinde kesebilir.

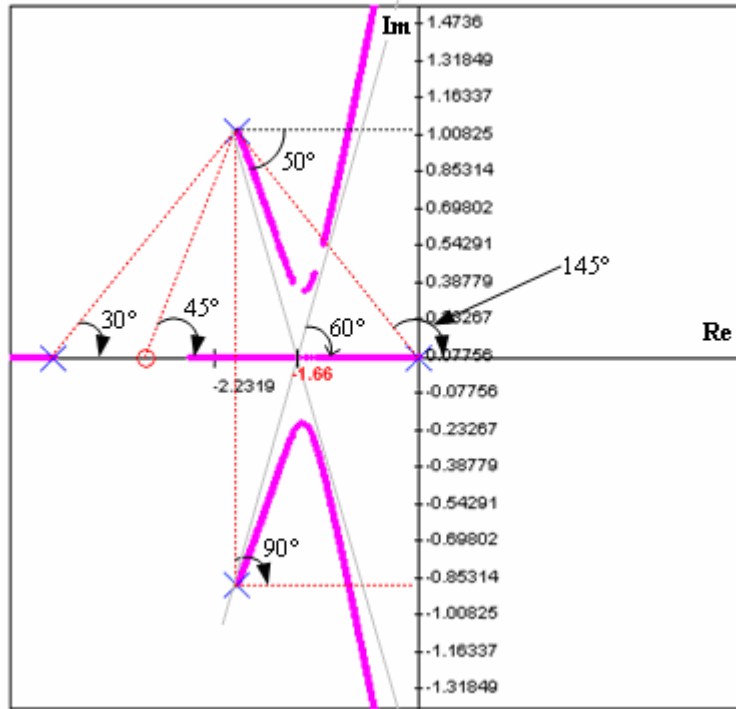
Eğrilerin uzaklaşma açıları kutup yerinin karmaşık kutuplardan uzaklaştığı açı olarak tanımlanır ve Eş.5.29 ifadesi ile hesaplanır.

$$\Sigma \theta_z - \Sigma \theta_p = \pm 180^\circ$$

$$[45^\circ] - [145^\circ + 90^\circ + 30^\circ + \theta] = \pm 180^\circ \quad [5.29]$$

$$\theta = \pm 50^\circ$$

Şekil 5.34’de örnek için verilen fonksiyona ait yer kök eğrisi çizimi gösterilmiştir.



Şekil 5.34. Örnek fonksiyon için yer kök eğrisi

Şekil 5.34’de de görüldüğü gibi kök eğrisi gerçekte eksenine göre simetriktir. Bu, denklemin köklerinin gerçekte ya da karmaşık eşlenik çiftler halinde bulunmasından kaynaklanmaktadır.

S-düzleminin tüm gerçekte eksen pozitif kök eğrisi ya da negatif kök eğrisi tarafından kapsanır. Gerçekte eksenin belirli bir kısmında, eğer bu kısmın sağ tarafında yer alan

$G(s)H(s)$ 'in toplam kutup ve sıfır sayısı tek ise, bu kısım pozitif kök eğrisine ilişkin çift ise negatif kök eğrisine ilişkindir (14).

### 5.7. Kontrol Sistemlerinde Frekans Tanım Bölgesi Analizi

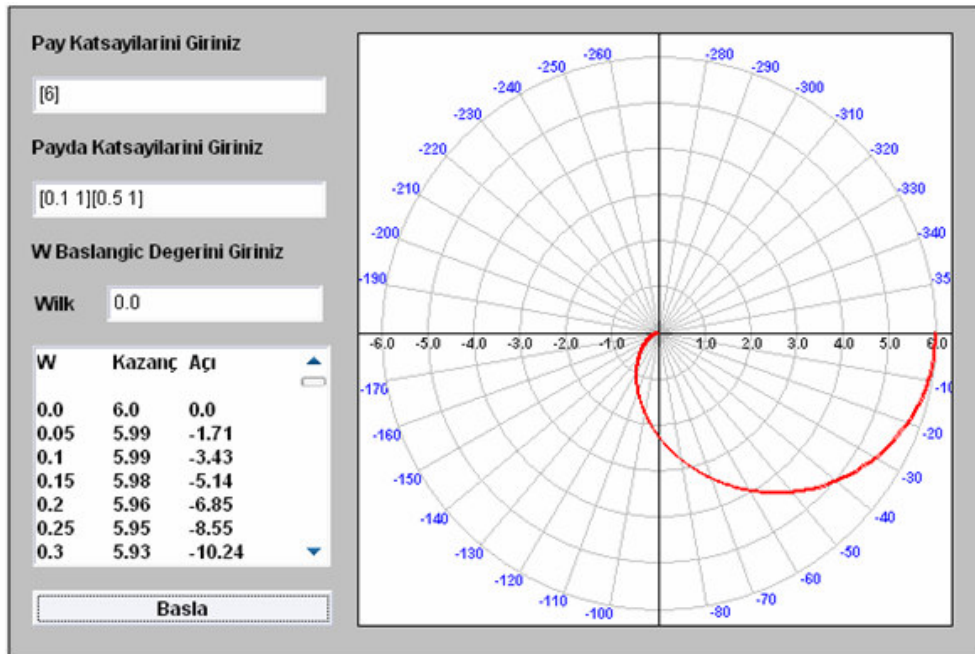
Kontrol sistemleri doğrusal olsun ya da olmasın giriş ve çıkış işaretleri zamanın genel fonksiyonlarıdır. Uygulamada bir kontrol sisteminin davranışı, en gerçekçi ve doğru olarak ancak zaman tanım bölgesi kriterleri ile belirlenir. Bunun nedeni, kontrol sistemlerinde davranışların genellikle sisteme uygulanan test işaretleri etkisindeki sistem yanıtlarına göre değerlendirilmesidir. Sistemin sinüzoidal giriş sinyaline karşı gösterdiği çıkış cevabı, geçici-durum hali ortadan kalktıktan sonra yine bir sinüzoidal sinyal şeklinde olup yalnızca genlik ve faz açısı bakımından girişten farklıdır.

Frekans cevabı yöntemi yoluyla sistemin sinüzoidal kalıcı-durum davranışını tanımlayan transfer fonksiyonunu sistem transfer fonksiyonunda 's' yerine ' $j\omega$ ' koymak suretiyle kolaylıkla elde etmek mümkündür. Bu şekilde elde edilen transfer fonksiyonu karmaşık değişken  $j\omega$ 'nın bir fonksiyonu olup bir karmaşık fonksiyon olarak hem büyüklük hem de faz açısı olmak üzere iki unsura sahiptir. Transfer fonksiyonun büyüklük ve faz açısı denklemleri grafiksel olarak kolaylıkla çizilerek kontrol sistemlerinin çözümlemesi ve tasarımı için bu yöntemle önemli bilgiler sağlanır.

Doğrusal sistemlerde, frekans tanım bölgesi ile zaman tanım bölgesi davranışları arasında ilişkiler bulunduğu göre, zaman tanım bölgesi davranışları frekans tanım bölgesi karakteristikleri üzerinden öngörülerek değerlendirilebilir. Frekans tanım bölgesi ayrıca, sistem gürültü ve parametre değişimlerine karşı duyarlılık ölçümleri için daha uygundur. Buna göre kontrol sistemlerinin analiz ve tasarımının frekans tanım bölgesinde yapılmasının ana nedenlerinin başında kolaylık ve uygun analitik yöntemlerin varlığı gelmektedir (14).

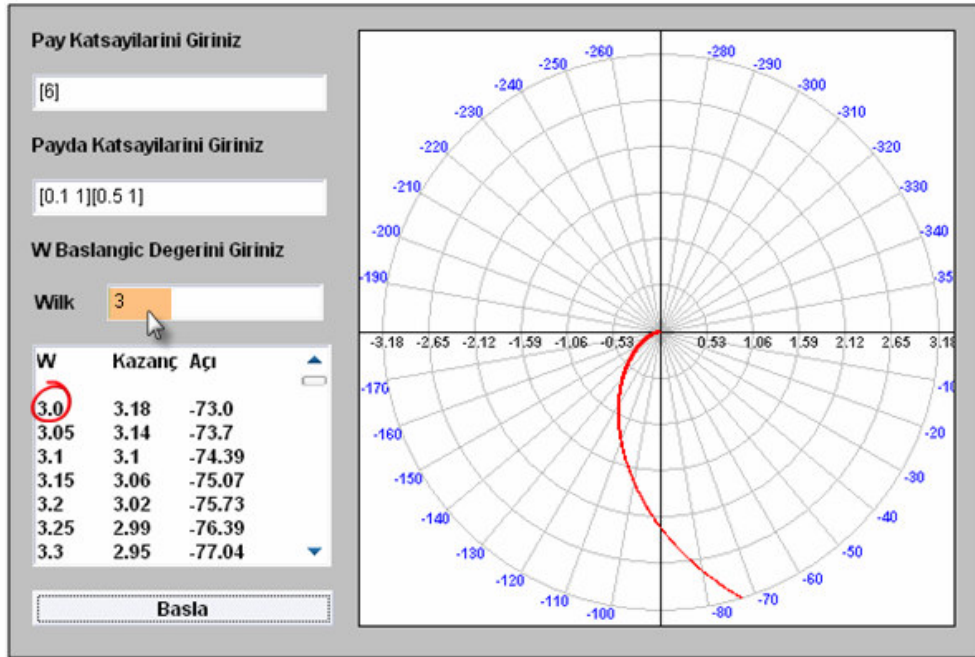
### 5.7.1. Polar diyagram benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Polar diyagram konusu ayrı bir alt başlık olarak incelenmiş ve konunun sonunda bir Java benzetimi hazırlanarak görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmıştır. Bu benzetim sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonun pay ve payda değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin eğri üzerindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.35’de gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Polar diyagram benzetimi

Şekil 5.35’de gösterilen Polar diyagram benzetimi iki farklı alandan oluşmaktadır. Birinci bölüm içerisinde pay ve payda katsayı değerlerinin girildiği metin kutuları alanı,  $\omega$ ’nın başlama değerinin belirlendiği metin kutusu ve  $\omega$ ’ya bağlı kazanç ve açı değerlerini gösteren liste alanından oluşur. Örnek olarak birinci bölüm üzerinde bulunan pay metin kutusuna “6”, payda metin kutusuna ise “[0.1 1][0.5 1]” katsayıları girilmiştir. Şekil 5.35 üzerinde katsayıları girilen bu fonksiyon  $\omega = 0,0$  rad/s başlangıç değeri ile çizilmiştir. Eğer bu eğriyi  $\omega = 3$  rad/s için çizerseniz Şekil 5.36’daki eğriyi elde ederiz.



Şekil 5.36.  $\omega = 3 \text{ rad/s}$  için polar diyagram çizimi

Şekil 5.36'da görüldüğü gibi  $\omega$  değeri değiştirilerek çizilen eğrinin -3 ile 0 değeri arasında çizilmesi sağlanmıştır.  $\omega$  değerinin değiştirilebilir olması öğrencinin istediği bir nokta üzerinde özellikle eğrinin sifıra yaklaşma noktasında ayrıntılı değer görebilmesini sağlar.  $\omega = 3 \text{ rad/s}$  başlangıç noktasında Şekil 5.36'da görülen listeleme alanında kazanç değeri 3,18 ve açı değeri -73,0 derece olduğu görülmektedir.

Örnek olarak hazırlanan benzetim üzerinde açık döngü transfer fonksiyonu Eş.5.29 ilişkisi ile verilen sistemin kararlılığını test edelim.

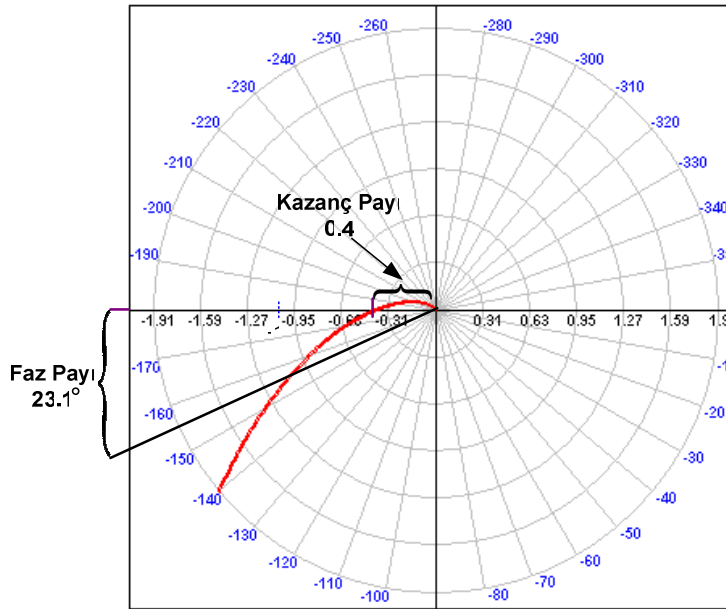
$$G(s) = \frac{10}{s(0.2s + 1)(0.05s + 1)} \quad [5.29]$$

Verilen sistemde  $s$  yerine  $j\omega$  yazarsak  $GH(j\omega)$ 'nın genlik ve faz açısı denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$|GH(j\omega)| = \frac{10}{\omega \sqrt{1 + (0.2\omega)^2} \sqrt{1 + (0.05\omega)^2}}$$

$$\angle GH(j\omega) = -90^\circ - \text{Arc tan } 0.2\omega - \text{Arc tan } 0.05\omega$$

Sınır değerleri,  $\omega = 0$  için  $\infty \angle -90^\circ$  ve  $\omega = \infty$  için  $0 \angle -270^\circ$ 'dir. Hazırlanan benzetim ile verilen transfer fonksiyonu  $\omega = 4$  rad/s başlangıç değeri ile Şekil 5.37'de gösterildiği gibi çizilmiştir.



Şekil 5.37. Örnek bir sistemin polar diyagramı

Şekil 5.37'ye göre eğri alçak frekans bölgesinde ( $\omega \rightarrow 4$ )  $-140^\circ$ 'ye teğet olarak başlar ve yüksek frekans bölgesinde ( $\omega \rightarrow \infty$ ) orijinde  $-270^\circ$  eksene teğet olarak sona erer. Dolayısıyla eğri  $-180^\circ$  eksenini kesmek zorundadır. Kutupsal eğri  $-180^\circ$ 'yi 0,4 noktasında keser. Bu nokta bizim kazanç payımızdır. Sistemin kararlı olup olmadığını belirlemek için önce açık döngü sistemin,  $GH(s)$  sağ yarı s-düzleminde kutupları sayısına bakacak olursak bunun  $P = 0$  olduğunu görürüz. Bu durumda sistemin kararlı olabilmesi için -1 noktasının  $GH(j\omega)$  eğrisinin solunda yer alması diğer bir deyişle eğrinin -1 noktasını içine almaması gerekmektedir. Bu durumun sağlandığı çizilen eğriden görülmektedir ve dolayısıyla sistem kararlıdır.

Bu eğrinin  $-180^\circ$ 'de gerçek eksenini kestiği nokta benzetim üzerinde bulunan listeleme alanından da bulunabilir. Şekil 5.38'de kazanç payının bulunması için listeleme alanının kullanılması gösterilmiştir. Burada açının  $-180^\circ$  yaklaştığında kazanç değerinin 0,4 olduğu görülmektedir.

|       |      |         |
|-------|------|---------|
| 9.75  | 0.42 | -178.83 |
| 9.8   | 0.41 | -179.07 |
| 9.85  | 0.41 | -179.3  |
| 9.9   | 0.4  | -179.53 |
| 9.95  | 0.4  | -179.77 |
| 10.0  | 0.4  | 179.99  |
| 10.05 | 0.39 | 179.77  |
| 10.1  | 0.39 | 179.54  |
| 10.15 | 0.38 | 179.31  |

Şekil 5.38. Kazanç payı

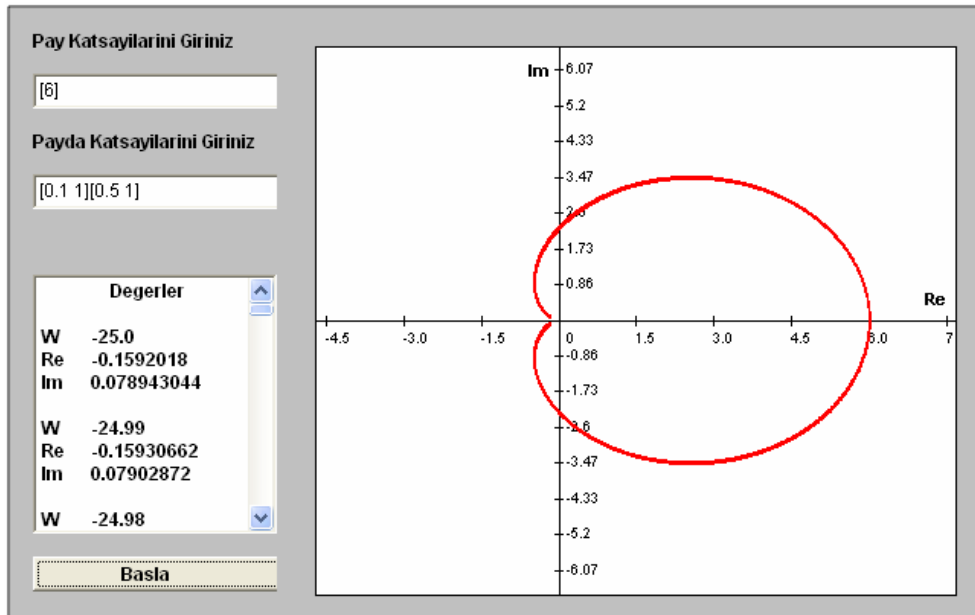
Faz payını bulmak içinse  $GH(j\omega)$  eğrisinin birim çemberi kestiği yerden çizilen doğruya bakarız. Burada birim çember eğriyi  $156,9^\circ$ 'de kesmektedir. Böylece faz payı  $180 - 156,9 = 23,1^\circ$  olarak bulunur. Görüldüğü gibi  $23,1^\circ > 0^\circ$  olduğundan sistem kararlıdır. Şekil 5.39'da kazanç değerinin 1.0 olduğu zaman açının  $156,9^\circ$  olduğu listeleme alanı gösterilmiştir.

|      |      |         |
|------|------|---------|
| 6.0  | 1.02 | -156.89 |
| 6.05 | 1.0  | -157.25 |
| 6.1  | 0.99 | -157.62 |
| 6.15 | 0.98 | -157.98 |
| 6.2  | 0.96 | -158.33 |
| 6.25 | 0.95 | -158.69 |
| 6.3  | 0.94 | -159.04 |
| 6.35 | 0.92 | -159.39 |
| 6.4  | 0.91 | -159.74 |

Şekil 5.39. Faz payı

### 5.7.2. Nyquist eğrisi benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Nyquist eğrisi konusu ayrı bir alt başlık olarak incelenmiş ve konunun sonunda bir Java benzetimi hazırlanarak görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmıştır. Bu benzetim sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonun pay ve payda değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin eğri üzerindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.40'da gösterilmiştir.



Şekil 5.40. Nyquist eğrisi benzetimi

Şekil 5.40'da gösterilen Nyquist eğrisi benzetimi iki farklı alandan oluşmaktadır. Birinci bölüm içerisinde pay ve payda katsayı değerlerinin girildiği metin kutuları alanı, *Basla* düğmesi ve listeleme alanı bulunmaktadır. Listeleme alanı  $\omega$  değerlerine göre gerçekte ve sanal eksen değerlerini gösterir. Listeleme alanı içerisinde  $\omega$ , -25 rad/s'den başlayarak 0,01 artış ile +25'e kadar 5000 ayrı değer almıştır. Gerçek ve sanal eksen değerleri  $\omega$ 'nın bütün değerleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Benzetim üzerindeki ikinci bölüm ise Nyquist eğrisinin çiziminin gerçekte ve sanal eksen üzerinde yapıldığı çizim alanıdır.

Nyquist kriteri kapalı çevrimli sistem kararlılığının belirlendiği, grafiksel bir yöntemdir. Nyquist kriteri karakteristik denklem köklerinin yerlerini sol ve sağ yarı s-düzlemine göre değerlendiren bir yöntemdir. Köklerin yer eğrisinden farklı olarak Nyquist kriteri karakteristik denklem köklerinin konumunu tam olarak belirlemez.

Örnek olarak açık çevrim transfer fonksiyonu Eş.5.30'da verilen sistemin kararlılığını hazırlanan benzetim ile test edelim.

$$G(s)H(s) = \frac{1}{s^3 + 0.2s^2 + s + 3} \quad [5.30]$$

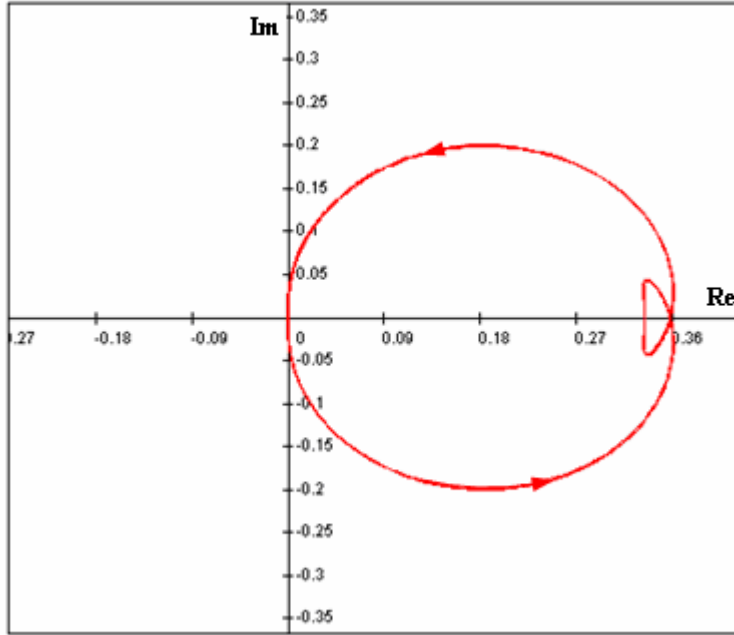
Verilen bu sisteme ait üç adet kutup vardır. Bu kutup değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$s_1 = 0.26229 + j1.14512$$

$$s_2 = 0.26229 - j1.14512$$

$$s_3 = -0.72458$$

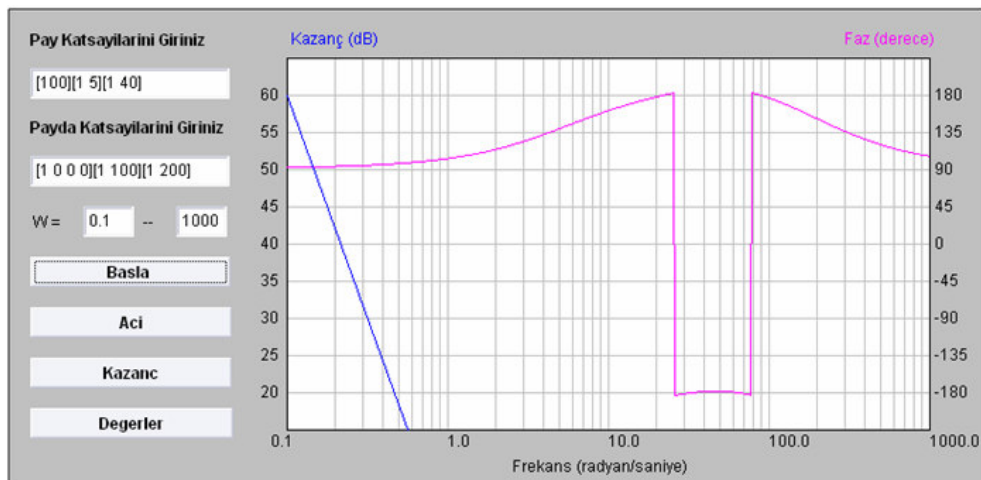
Bu kutuplar içinde s-düzleminin sağ yarısında (sanal eksen hariç) bulunan kutup sayısı  $P = 2$  ' dir. Nyquist eğrisinin -1 noktasını çevreleme sayısı  $N = 0$  olarak bulunur. Çevreleme yönüne bağlı olarak  $N > 0$  veya  $N < 0$  olabilir.  $Z = P + N$  ifadesinden  $Z = 2 > 0$  olduğu için verilen sistem kararsızdır.  $Z'$  ye bağlı olarak sistem  $Z=0$  için kararlı  $Z > 0$  kararsız ve  $Z < 0$  için imkansızdır. Şekil 5.42'de verilen örneğe ait Nyquist eğrisi hazırlanan benzetim ile çizilmiştir.



Şekil 5.42. Örnek Nyquist çizimi

### 5.7.3. Bode eğrisi benzetimi

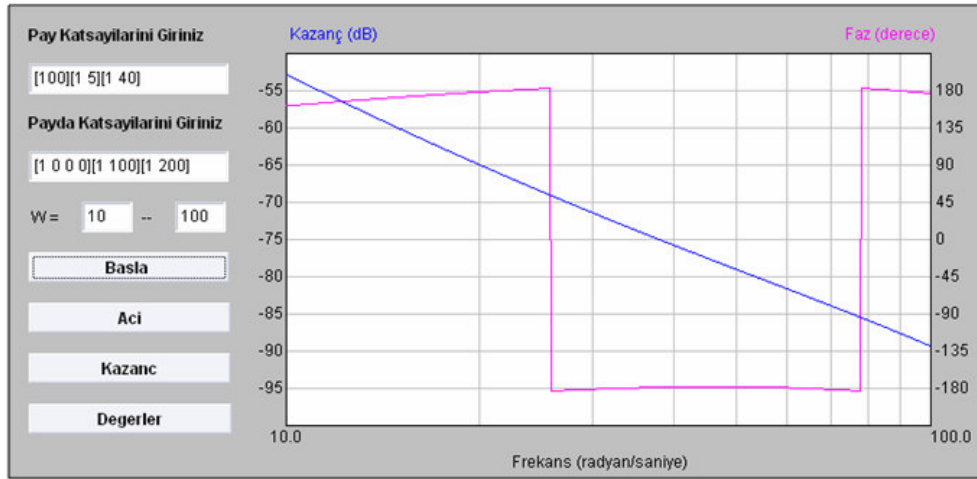
Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Bode eğrisi konusu ayrı bir alt başlık olarak incelenmiş ve konunun sonunda bir Java benzetimi hazırlanarak görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.43’de gösterilmiştir.



Şekil 5.43. Bode eğrisi çizimi

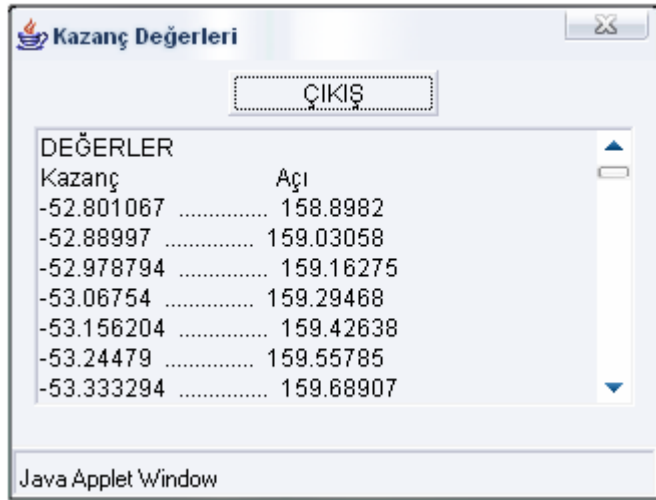
Hazırlanan benzetim üzerinde öğrencinin pay ve payda katsayı değerlerini ve  $\omega$  aralığını değiştirebildiği metin kutuları alanı, *Basla*, *Aci*, *Kazanc* ve *Degerler* düğmeleri alanı ve Bode eğrisinin çizildiği bir grafik alanı mevcuttur. Dışarıdan veri girişine izin veren metin kutuları sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonun pay, payda ve  $\omega$  aralığı değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin eğri üzerindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır.

Benzetim üzerinde bulunan  $\omega$  aralığı değiştirilerek incelenmek istenen değerler arasında daha ayrıntılı çizim elde edilebilir. Şekil 5.43’de frekans aralığı 0,1 rad/s ile 1000 rad/s girilmişti. Eğer bu aralığı 10 rad/s ile 100 rad/s aralığında girersek Bode eğrisi çizimi Şekil 5.44’deki gibi elde edilir.



Şekil 5.44. Frekans aralığı değişimi

Benzetim üzerinde bulunan *Basla* düğmesine tıklanıldığında takdirde program girilen pay ve payda katsayılarına göre kazanç ve açış değerlerinden oluşan Bode eğrisini grafik alanına çizer. Kazanç ve açış değerlerinin gösterildiği listeleme alanı *Degerler* düğmesine tıklanılması ile ayrı bir pencere üzerinde açılır. Listeleme alanı ile kazanç payı ve faz payı değerleri tam olarak elde edilebilir. Şekil 5.45’de listeleme alanı gösterilmiştir.

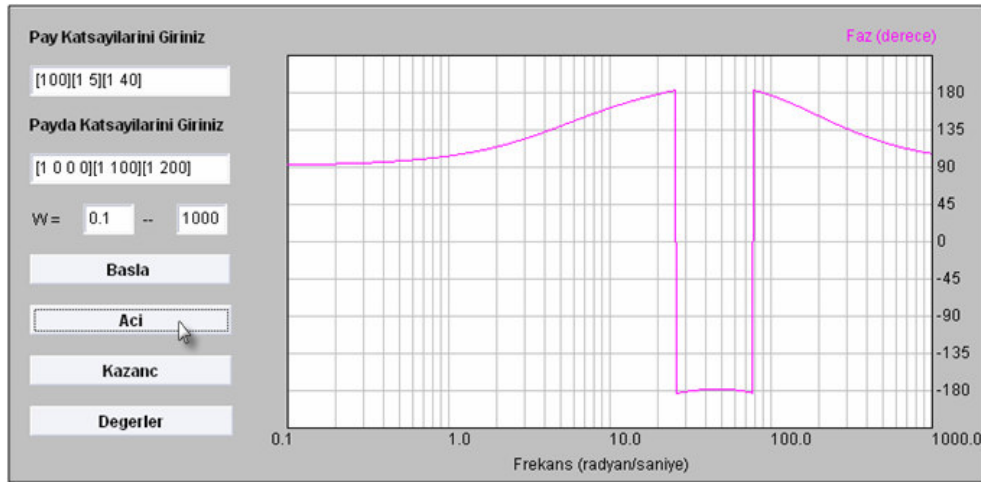


Java Applet Window

| DEĞERLER   |           |
|------------|-----------|
| Kazanç     | Açı       |
| -52.801067 | 158.8982  |
| -52.88997  | 159.03058 |
| -52.978794 | 159.16275 |
| -53.06754  | 159.29468 |
| -53.156204 | 159.42638 |
| -53.24479  | 159.55785 |
| -53.333294 | 159.68907 |

Şekil 5.45. Listeleme alanı

Benzetim üzerinde bulunan *Aci* ve *Kazanc* düğmeleri yalnızca tıklanılan düğmeye ait eğriyi gösterirler. *Aci* düğmesine tıklandığında grafik üzerinde sadece açı eğrisi çizilir. Aynı şekilde *Kazanc* düğmesine tıklandığında ise sadece kazanç eğrisi grafik üzerinde gösterilir. *Aci* düğmesine ait açı eğrisi çizimi Şekil 5.46’da gösterilmiştir.



Şekil 5.46. Açı eğrisi

$G(j\omega)$  Fonksiyonunun Bode diyagramı iki çizimden oluşur, biri  $G(j\omega)$  genliğinin desibel (dB) cinsinden, diğeri  $G(j\omega)$  fazının derece cinsinden  $\log_{10} \omega$  ya da  $\omega$ 'ya bağlı çizimidir.

K gerçekte bir sabit olmak üzere  $G(s)$  transfer fonksiyonunun Eş.5.31 ilişkisinde görüldüğü gibi olduğunu varsayalım. Burada  $z_i$  sıfır ve  $p_i$  kutupları gerçekte ya da karmaşık eşlenik sayılar halindedir (14).

$$G(s) = \frac{K(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{s^t (s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)} \quad [5.31]$$

$G(j\omega)$ 'nın [dB] cinsinden genliği  $|G(j\omega)|$ 'nın 10 tabanlı logaritması 20 ile çarpılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} |G(j\omega)|_{dB} = & 20 \log_{10} |K| + 20 \log_{10} |(j\omega + z_1)| + \dots + 20 \log_{10} |(j\omega + z_m)| \\ & - 20 \log_{10} \omega - 20 \log_{10} |(j\omega + p_1)| - \dots - 20 \log_{10} |(j\omega + p_n)| \end{aligned}$$

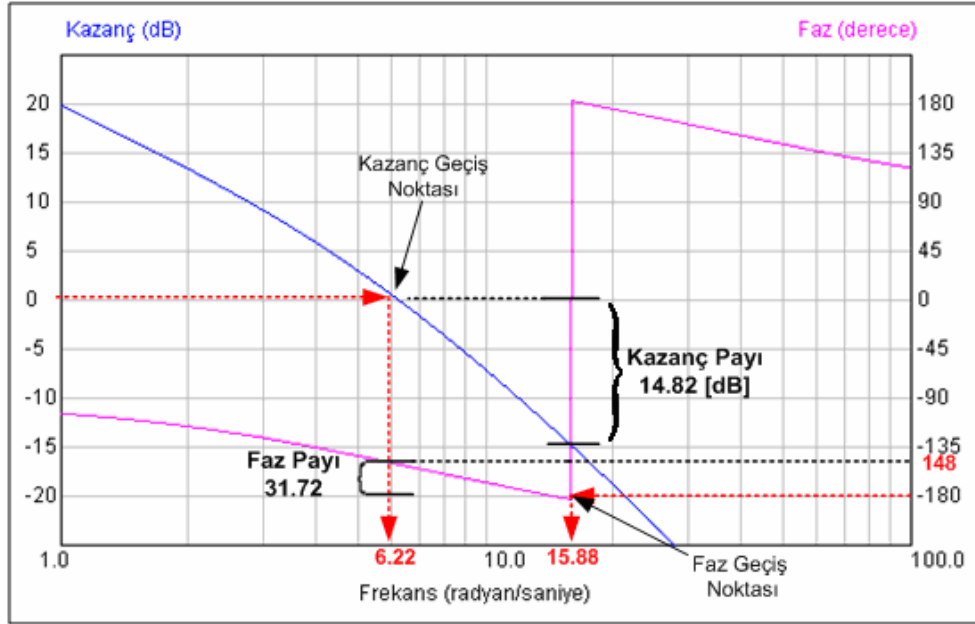
$G(j\omega)$ 'nın fazı ise aşağıdaki şekildedir.

$$\angle G(j\omega) = \angle K + \angle(j\omega + z_1) + \dots + \angle(j\omega + z_m) - \angle(j\omega + p_1) - \dots - \angle(j\omega + p_n)$$

Örnek olarak açık çevrim transfer fonksiyonu Eş.5.32'de verilen sistemin kararlılığını hazırlanan benzetim ile test edelim.

$$G(s) = \frac{2500}{s(s + 5)(s + 50)} \quad [5.32]$$

Bu fonksiyona ait kazanç ve faz açısı eğrileri Şekil 5.47'de gösterildiği gibi elde edilir.



Şekil 5.47. Bode eğrisinin kararlılığı

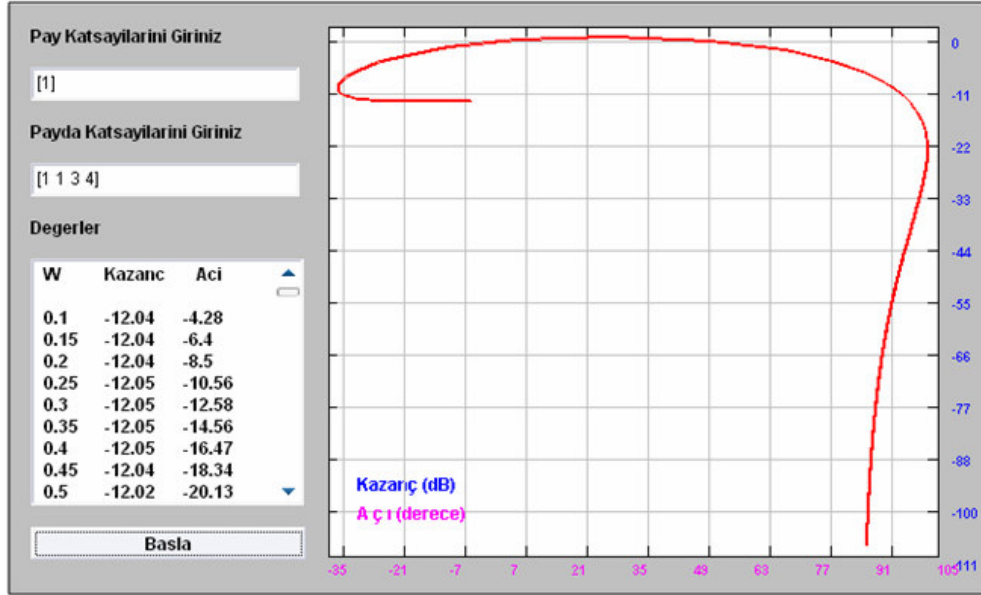
Genlik eğrisinin 0[dB] eksenini kestiği yerde kazanç geçiş noktası bulunur.  $\omega_g$  kazanç geçiş frekansı 6,22 [rad/s]' dir. Faz payı kazanç geçiş noktasında ölçülür. Faz payı  $-180^\circ$  ekseninde ölçülür ve  $31,72^\circ$  dir. Faz payı  $-180^\circ$  'nin üzerinde ölçüldüğüne göre faz payı pozitifdir ve sistem kararlıdır.

Faz eğrisinin  $-180^\circ$  eksenini kestiği yerde faz geçiş noktası bulunur.  $\omega_p$  faz geçiş frekansı 15,88° [rad/s]'dir. Kazanç payı faz geçiş noktasında ölçülür ve 14,82 [dB] bulunur. Kazanç payı 0dB eksenini altında ölçüldüğünden kazanç payı pozitifdir ve sistem kararlıdır.

#### 5.7.4. Nichols eğrisi benzetimi

Hazırlanan WTUE sistemi içerisinde Nichols eğrisi konusu ayrı bir alt başlık olarak incelenmiş ve konunun sonunda bir Java benzetimi hazırlanarak görsel bir ortam aracılığı ile öğrenciye anlatılmıştır. Bu benzetim sayesinde öğrencinin transfer fonksiyonunun pay ve payda değerlerini doğrudan değiştirebilmesi ve bu değişimin eğri

üzerindeki etkisini görebilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan benzetim Şekil 5.48’de gösterilmiştir.



Şekil 5.48. Nichols eğrisi benzetimi

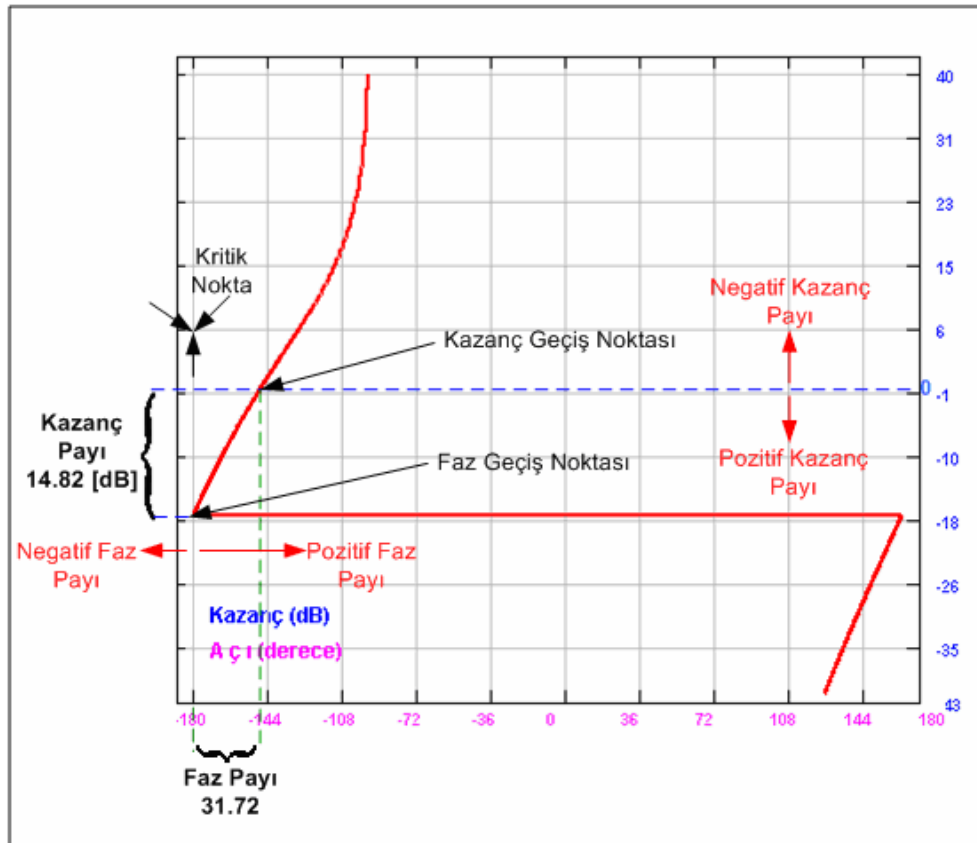
Hazırlanan benzetim üzerinde öğrencinin pay ve payda katsayı değerlerini değiştirebildiği metin kutuları alanı,  $\omega$  değerlerine bağlı kazanç ve açı değerlerini gösteren listeleme alanı ve Nichols eğrisinin kazanç ve faz değerleri için çizildiği bir grafik alanı mevcuttur.

Genlik-faz eğrisi, frekans tanım bölgesi analiz ve tasarımlarında bazı üstünlükler sağlayan bir frekans tanım bölgesi çizimidir.  $G(j\omega)$  genlik-faz eğrisinde kazanç ve faz geçiş noktaları ile kazanç ve faz payları açıkça belirtilmiştir.

Örnek olarak birim geri beslemeli bir sistemin ileri yol transfer fonksiyonu Eş.5.33 denklemi ile ifade edilmiştir.

$$G(s) = \frac{2500}{s(s+5)(s+50)} \quad [5.33]$$

Bu transfer fonksiyonun  $\omega = 0,1$  değerinden başlamak üzere çeşitli frekans değerlerinde faz ve genlik değerleri bulunmuş ve elde olunan bu değerlerden Nichols eğrisi Şekil 5.49'da gösterildiği gibi çizilmiştir. Nichols eğrisinde 0 [dB]'nin eğriyi kestiği nokta kazanç geçiş noktasıdır. Eğer bu noktadan aşağıya dik bir doğru ile inersek bu doğrunun açı çizelgesinde kestiği nokta ile  $-180^\circ$  arasındaki fark bize Faz Payını verir.  $G(s)$  transfer fonksiyonu için faz payı  $31,72^\circ$  dir. Faz payı pozitif bir değere sahiptir.  $-180^\circ$ 'nin Nichols eğrisini kestiği yerde Faz Geçiş Noktası bulunur. Kazanç çizelgesinde 0 [dB] ile faz geçiş noktası arasında kalan fark bize Kazanç Payını verir.  $G(s)$  transfer fonksiyonu için kazanç payı  $(0 - (-14,82)) = 14,82$  [dB] olarak elde edilmiştir. Faz geçiş noktası 0[dB]'nin altında kaldığı için kazanç payı pozitifdir. Kazanç payı ve faz payının pozitif bir değer çıkmasından dolayı sistem kararlı bir sistemdir.



Şekil 5.49. Nichols eğrisinin kararlılığı

## 6. SONUÇ

İster başlı başına bir öğretim yapısı olsun isterse geleneksel eğitim yapısında derslere yardımcı amaçlı hazırlanmış olsun, internet tabanlı dersler her geçen gün daha da yaygınlaşmakta ve önemi artmaktadır. İnternet üzerinden verilen eğitim sayesinde öğrenciler hayat boyu eğitime zaman ve mekan sınırlandırması olmadan devam edebilmektedirler. Ayrıca WTUE modeli sayesinde genç birey nüfusu az olan, mevcut iş gücünün yaşça büyük bireyler tarafından sağlandığı toplumlarda iş gücünde kayıp olmadan çalışanların eğitimi eş zamansız olarak sağlanabilmektedir.

WTUE'in bu faydaları düşünüldüğünde dünyada ve Türkiye'deki önemi zaman ilerledikçe artmaktadır. Bu tez çalışması ile Kontrol Sistemleri dersinin uzaktan öğrenimine katkı sağlayacak internet tabanlı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile Kontrol Sistemleri dersi zamandan ve mekandan bağımsız olarak internet üzerinden anlatılmıştır.

Kontrol sistemleri eğitiminin kalitesi, yoğun teorik bilginin yanı sıra uygulamaya yönelik, problem çözmeye dayalı matematiksel bilgi ile doğru orantılıdır. Geliştirilen bu tez çalışması ile web üzerinden kontrol sistemlerine ait teorik bilgilerin uygulamaya yönelik Java benzetimleriyle desteklenmesiyle, aktarılan bilginin kalıcılığı artırılmış ve eğitim süresinin kısılması sağlanmıştır. Kontrol Sistemleri dersi için geliştirilen Java benzetimleri kullanıcıya sunulan kontrol öğeleri sayesinde benzetimin özneteliklerini değiştirebilme imkanı verilerek etkileşimli çoklu ortam bileşenlerinin kullanıldığı, zamandan ve mekandan bağımsız bir öğretim ortamı oluşturulmuştur. Site içerisine ayrıca kullanıcı, download ve forum alanları eklenerek öğretmen ve öğrenci arasında etkileşim artırılmıştır.

İnternet tabanlı eğitim modelinin tasarımında öğrencinin dikkatini dağıtabilecek etkenler en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Çünkü internet tabanlı bir eğitimin hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hatalı web sayfası geliştirme stratejilerinin ve WTUE sisteminin kötü yönetiminin eğitim için

hazırlanan ve sunulan bilgilerden yararlanılmamasına yol açmasıdır. Ayrıca eğitim sitesinde farklı düzlemlerde çalıştırılabilir Java, Asp.NET gibi programlama dillerinin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Çünkü eğitim malzemesinin hazırlanmasında uygun teknoloji kullanımı ve mümkün olduğunca geniş tabanlı bir destek alınması son derece önemlidir.

Bu etkenler göz önüne alındığında internet tabanlı bir eğitim modeli geliştirirken mümkün olduğunca verilecek olan eğitimin amaçlarından uzaklaşmadan, bütün düzlemlerde sorunsuz çalışacak bir model geliştirilmelidir.

Her ne kadar WTUE alanında büyük gelişmeler sağlansa da diğer taraftan, olumsuz yanlar da vardır. Her öğrenci için bilgisayar ağı altyapısının bütün bir ülkede oluşturulması zaman ve para isteyen bir iştir. Ayrıca Hızlı gelişen bilgisayar ve yazılım teknolojisinde hangi yeniliklerin kullanılacağı sorun oluşturuyor. Çünkü eğitimi veren kuruluş son yenilikleri kullansa bile eğitimden yararlanacak kişinin bilgisayarı bu yenilikleri destekleyemeyebiliyor.

## KAYNAKLAR

1. Aslantürk, O., “Bir Web Tabanlı Uzaktan Eğitim Yönetim Sisteminin Tasarlanması Ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-77 (2002).
2. Karaman, S., Özen, Ü., “Web Tabanlı Uzaktan Eğitimde Sistem Tasarımı”, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 2: 81-102 (2001).
3. Song, K., Hu, X., Olney, A., Graesser, A. C., Tutoring Research Group, “A Framework of Synthesizing Tutoring Conversation Capability with Web-Based Distance Education Courseware”, *Computer & Education*, 42(4): 376-388 (2004).
4. Pahl, C., “Managing Evolution And Change in Web-Based Teaching and Learning Environments”, *Computers & Education*, 40(2): 99-114 (2003).
5. İnternet: e-öğrenme Standartlarına Genel Bir Bakış (27.05.2005), [http://www.enocta.com/tr/kaynaklar\\_makale\\_detay.asp?url=231](http://www.enocta.com/tr/kaynaklar_makale_detay.asp?url=231), (2005).
6. Al, U., Madran, O., "Web Tabanlı Uzaktan Eğitim Sistemleri: Sahip Olması Gereken Özellikler ve Standartlar", *Bilgi Dünyası*, 5(2): 259-271 (2004).
7. Erkan, E., Altun, H., “Java ve WEB Tabanlı Uzaktan Eğitim: e-Eğitim için Sosyal Sınıf ve Sosyal Laboratuvar Projesi”, **Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyum ve Sergisi**, Ankara, 131-134 (2003).
8. Gümüşkaya, H., Boyacı, Ö., “Java Ağ Programcılığı”, **Alfa Kitapevi**, İstanbul, 1-150 (2003).
9. Schildt, H., “Java 2” **Alfa Kitapevi**, İstanbul, 1-590 (2003).
10. İnternet: ASP.Net Nedir?, [http://www.msakademik.net/makaleler\\_detay.aspx?id=1](http://www.msakademik.net/makaleler_detay.aspx?id=1), (2005).
11. İnternet: ASP.Net ve Güvenlik, [http://www.msakademik.net/makaleler\\_detay.aspx?id=267](http://www.msakademik.net/makaleler_detay.aspx?id=267), (2005).
12. Çağıltay, K., “İnternet”, **Metu Press**, Ankara, 105-155 (1997).
13. Özaygen, A., “İnternet’e Dayalı Uzaktan Eğitim”, **Bilim ve Teknik**, 388: 100-103 (2000).
14. Kuo, B., “Otomatik Kontrol Sistemleri”, **Literatür Yayınları**, İstanbul, 1-89 (1999).
15. Yüksel, İ., “Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim ve Denetim Sistemleri”, **VİPAŞ AŞ.**, Bursa, 1-185 (2001).

## ÖZGEÇMİŞ

Gürcan ÇETİN, Kasım 1980 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 1998 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümüne girdi. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.