

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU TANKI SİSTEMİNİN İKİ SERBESTLİK DERECELİ
DENETLEÇ İLE DENETLENMESİ**

N. SERHAT GÜNEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
2008**

**SU TANKI SİSTEMİNİN İKİ SERBESTLİK DERECELİ
DENETLEÇ İLE DENETLENMESİ**

**CONTROL OF A WATER TANK SYSTEM WITH A TWO
DEGREE OF FREEDOM CONTROLLER**

N. SERHAT GÜNEŞ

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2008

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan-Danışman

Prof. Dr. Alper URAZ

Üye

Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU

Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

ONAY

Bu tez/...../2008 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../6/2008

Prof.Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŐEKKÜR

Bu tez çalıőmasının yapılmasında engin ve derin bilgilerine baővurduėum, tez çalıőmasının her aőamasında bana yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli hocam Prof.Dr. Alper Uraz'a, tez çalıőmam boyunca sorunların aőılmasında bana her zaman destek veren, hiçbir sorumu yanıtız bırakmayan Prof.Dr. Hüseyn Demircioğlu'na, bilgi ve önerileriyle bana her zaman katkıda bulunan Yrd.Doç.Dr Mustafa Doğan'a, rahat bir çalışma ortamı ile birlikte imkanların kullanılmasını sağlayan Prof.Dr. Emin Akata'ya, bilgilerinden ve önerilerinden yararlanılmasına izin veren Arő. Gör. Serkan Zobar'a, deneysel çalıőmalar boyunca hep yanımda olan değerli arkadaşım Onur Ateő'e ve çalıőmakta olduğum MİKES A.ő.'ye teőekkürlerimi sunarım.

Bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, en değerli varlığım aileme ve Sevinç Odabaőı'na sonsuz teőekkürler.

ÖZ

SU TANKI SİSTEMİNİN İKİ SERBESTLİK DERECELİ DENETLEÇ İLE DENETLENMESİ

N.Serhat GÜNEŞ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Sıvı tankı sistemleri endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadırlar. Bunların denetimine ait birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde sistem modeli kullanılarak veya sistem modeli kullanılmaksızın deneme yanılma yoluyla denetleç parametreleri bulunabilmektedir.

Bu çalışmada su tankı sisteminin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve bu model kullanılarak iki serbestlik dereceli denetleç tasarlanmış ve geribesleme denetimi yapılmıştır. Sistem kestirimi SZÖEKK yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişik örnekleme periyodu ve süzgeç çokterimlileri kullanılarak benzetim çalışmaları ve uygulamalar tekrarlanmıştır. En uygun olan süzgeç çokterimlisi ve örnekleme periyodu için kestirilen model kullanılarak geribesleme denetimi gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada kullanılan sistem üç gözlü su tankıdır. Gözler birbirlerine vanalarla bağlanarak ikinci ve üçüncü derece sistem elde edilebilmektedir. Giriş ve çıkış sinyalleri Texas firmasına ait veri edinme kartı ve Labview 8.2 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve sisteme verilmiştir. Sistem tanıma ve denetim algoritması Matlab 7 yazılımında geliştirilmiş ve Labview 8.2 programına gömülmüştür. Labview 8.2 ve Matlab 7 programları kullanılarak uygun giriş ve çıkış sinyalleri elde edilmiş ve sistem denetimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Su tankı denetimi, sıvı tankı denetimi, iki serbestlik dereceli denetim, sistem tanıma, sürekli zaman en küçük kareler yöntemi

Danışman: Prof.Dr. Alper URAZ Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

CONTROL OF A WATER TANK SYSTEM WITH A TWO DEGREE OF FREEDOM CONTROLLER

N.Serhat GÜNEŞ

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

Liquid tank systems are widely used in industry. There are a number of methods to control them. Some of these methods utilize system model, some are barely based on trial-and-error.

In this study, model of the system is obtained and with this model, a two degree of freedom controller is designed and feedback control is achieved. Estimation of the system is carried out using the Continuous Time Recursive Least Squares method. For different sampling periods and filter polynomials, simulation studies and applications are carried out. On selecting the best fit of the filter polynomial and sampling period for the estimated model, feedback control is implemented.

In this application, a cascaded three equivalent tank system is used. Upon connecting the units to each other with valves, a two degree or three degree system can be constructed. Input and output signals are transferred to computer and applied to the system with the use of Data Acquisition Card and Labview 8.2 software of the Texas Instruments. System identification and control algorithms are developed using Matlab 7 program and embedded to the Labview program. Using Matlab 7 and Labview 8.2, suitable input and output signals are generated and system control is implemented.

Keywords: Water tank control, liquid tank control, two degree of freedom control, system identification, continuous time recursive least squares

Advisor: Prof.Dr. Alper URAZ Baskent University, Department of Electrical and Electronics Engineering

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
1 GİRİŞ	1
2 CEBİRSEL TASARIM YÖNTEMLERİ	4
2.1 Gerçekleştirilebilir Kapalı Döngü Aktarım İşlevleri.....	5
2.2 Sonuşur İzleme.....	6
2.3 Tasarım Ölçütleri	7
2.4 Birim geribesleme Yapılanışı.....	8
2.5 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı	12
2.6 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışında Kalıcı Durum Hatasının Giderilmesi	15
3 UYGULAMADA KULLANILAN SİSTEMİN TANITIMI VE KESTİRİMİ	18
3.1 Uygulamada Kullanılan Sistemin Tanıtımı	18
3.2 İki Gözlü Tank Sistemi Eşitlikleri.....	26
3.3 Üç Gözlü Tank Sistemi Eşitlikleri	29
3.4 Sürekli Zaman Sistem Tanıma.....	31
4 BENZETİM ÇALIŞMALARI	37
4.1 İkinci Derece Aktarım İşlevi Benzetim Sonuçları	37
4.2 Üçüncü Derece Aktarım İşlevi Benzetim Sonuçları	43
5 UYGULAMA SONUÇLARI	49
5.1 İkinci Derece Su Tankı Sistemi Uygulama Sonuçları	49
5.2 Üçüncü Derece Su Tankı Sistemi Uygulama Sonuçları	65
6 SONUÇ	78
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	80
SÖZLÜK.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Birim Geribeslemeli Denetim Sistemi.....	8
Şekil 2.2 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı.....	12
Şekil 2.3 Tümlensel Terimli İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı.....	15
Şekil 2.4 Giriş-Çıkış Geribesleme Yapılanışı.....	16
Şekil 3.1 Uygulamada Kullanılan Sistem.....	18
Şekil 3.2 Su Tankı Sistemi Şematik Gösterimi.....	19
Şekil 3.3 Sistemde Kullanılan Vanalar ve Bağlantıları.....	19
Şekil 3.4 Labview 8.2 Programı ve Matlab 7.....	21
Şekil 3.5 Labview 8.2 Programı Sinyal Görüntüleme Arayüzü.....	22
Şekil 3.6 Su Motorunun Giriş Çıkış İlişkisi.....	23
Şekil 3.7 Gerilim Doluluk Boşluk Oranı Eğrisi.....	24
Şekil 3.8 Algılayıcı Giriş Çıkış İlişkisi.....	25
Şekil 3.9 İkinci Derece Su Tankı Sistemi.....	26
Şekil 3.10 Üçüncü Derece Su Tankı Sistemi.....	29
Şekil 4.1 (4.1)'de Verilen Aktarım İşlevi İçin Giriş ve Çıkış Sinyalleri.....	38
Şekil 4.2 (4.1)'de Verilen Aktarım İşlevi İçin Giriş ve Gürültü Eklenmiş Çıkış Sinyalleri.....	38
Şekil 4.3 $h=0.1$ sn İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	39
Şekil 4.4 $h=0.5$ sn İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	39
Şekil 4.5 $h=1$ sn İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	40
Şekil 4.6 $P(s)=(s+0.05)^3$ İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	41
Şekil 4.7 $P(s)=(s+0.5)^3$ İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	41
Şekil 4.8 $P(s)=(s+2)^3$ İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	42
Şekil 4.9 $h=0.05$ sn İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri.....	44

Şekil 4.10 $h=0.5$ sn İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri	44
Şekil 4.11 $h=1$ sn İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri	45
Şekil 4.12 $P(s)=(s+0.05)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri	46
Şekil 4.13 $P(s)=(s+0.5)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri	46
Şekil 4.14 $P(s)=(s+1)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri	47
Şekil 5.1 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali	49
Şekil 5.2 İkinci Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali	50
Şekil 5.3 Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı.....	50
Şekil 5.4 B_0, A_0, A_1 Parametre Kestirimleri.....	51
Şekil 5.5 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali	52
Şekil 5.6 İkinci Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali	53
Şekil 5.7 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Sıfıra Kaydırılmış Giriş Sinyali.....	53
Şekil 5.8 İkinci Derece Sistemden Alınan Sıfıra Kaydırılmış Çıkış Sinyali	53
Şekil 5.9 $h=1$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı	55
Şekil 5.10 $h=1$ sn İçin B_0, A_0, A_1 Parametre Kestirimleri	55
Şekil 5.11 $h=8$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı	56
Şekil 5.12 $h=8$ sn İçin B_0, A_0, A_1 Parametre Kestirimleri	56
Şekil 5.13 $h=16$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı	57
Şekil 5.14 $h=16$ sn İçin B_0, A_0, A_1 Parametre Kestirimleri	57
Şekil 5.15 $h=40$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı	58
Şekil 5.16 $h=40$ sn İçin B_0, A_0, A_1 Parametre Kestirimleri	58
Şekil 5.17 Tümlsel Etkinin Olmadığı Denetim.....	60
Şekil 5.18 (11-13 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlsel Etkili Denetim.....	61
Şekil 5.19 (11-13 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tüml Alıcı Çıkışı (U).....	61
Şekil 5.20 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlsel Etkili Denetim.....	62
Şekil 5.21 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tüml Alıcı Çıkışı (U).....	62
Şekil 5.22 (10-14 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlsel Etkili Denetim.....	63
Şekil 5.23 (10-14 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tüml Alıcı Çıkışı (U).....	63

Şekil 5.24 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Hızlandırılmış Tümlevsel Etkili Denetim	64
Şekil 5.25 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlev Alıcı Çıkışı (U)	64
Şekil 5.26 Üçüncü Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali	65
Şekil 5.27 Üçüncü Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali	65
Şekil 5.28 Üçüncü Derece Sisteme Uygulanan Sıfıra Kaydırılmış Sinyali	66
Şekil 5.29 Üçüncü Derece Sistemden Alınan Sıfıra Kaydırılmış Sinyali	66
Şekil 5.30 Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı.....	66
Şekil 5.31 B_0, A_0, A_1, A_2 Parametre Kestirimleri.....	67
Şekil 5.32 $h=1$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı	69
Şekil 5.33 $h=1$ sn İçin B_0, A_0, A_1, A_2, d Parametre Kestirimleri	70
Şekil 5.34 $h=4$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı	71
Şekil 5.35 $h=4$ sn İçin B_0, A_0, A_1, A_2, d Parametre Kestirimleri	72
Şekil 5.36 $h=8$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı	72
Şekil 5.37 $h=8$ sn İçin B_0, A_0, A_1, A_2, d Parametre Kestirimleri	74
Şekil 5.38 (4-8 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlevsel Etkili Denetim.....	75
Şekil 5.39(4-8 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlev Alıcı Çıkışı (U).....	76
Şekil 5.40 (6-10 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlevsel Etkili Denetim.....	76
Şekil 5.41 (6-10 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlev Alıcı Çıkışı (U).....	76
Şekil 5.42 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlevsel Etkili Denetim.....	77
Şekil 5.43 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlev Alıcı Çıkışı (U).....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 SonuŖur İzlemenin Sağlanabilmesi İçin EŖit Olması Gereken Katsayılar	6
Çizelge 4.1 İkinci Derece Sistemde DeęiŖik Örnekleme Zamanı ve Süzgeç Çokterimlileri İçin Kestirilen Sistem Parametreleri	43
Çizelge 4.2 Üçüncü Derece Sistemde DeęiŖik Örnekleme Zamanı ve Süzgeç Çokterimlileri İçin Kestirilen Sistem Parametreleri	48
Çizelge 5.1 İkinci Derece Sistemde DeęiŖik Örnekleme Zamanları İçin Kestirilen Sistem Parametreleri	59
Çizelge 5.2 Üçüncü Derece Sistemde DeęiŖik Örnekleme Zamanları İçin Kestirilen Sistem Parametreleri ve Gerçek Sapma Değerleri	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	:Su Tankının Kesit Alanı
C(s)	:Denetleç Aktarım İşlevi
C ₁ (s)	:İleri Beslemedeki Denetleç Aktarım İşlevi
C ₂ (s)	:Geribeslemedeki Denetleç Aktarım İşlevi
DAQ	:Veri Edinme Kartı
DC	:Doğru Akım
der	:Derece
E(s)	:Hurwitz Çokterimlisi
e(t)	:Hata İşlevi
EKK	:En Küçük Kareler
e _{ss}	:Kalıcı Durum Hatası
f	:Su Akışı
G(s)	:Açık Döngü Aktarım İşlevi
h	:Gözlerdeki Düzey Yüksekliği ya da Örnekleme Zamanı
IAE	:Tümlenik Mutlak Hata
ISE	:Tümlenik Karesel Hata
ITAE	:Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği
J	:Maliyet İşlevi
PO	:Yüzde Aşma
R(s)	:Dayanak Girişi
S	:Bilgi Matrisi
SNR	:Sinyal Gürültü Oranı
S _o	:Başlangıç Bilgi Matrisi
SZEKK	:Sürekli Zaman En Küçük Kareler
SZÖEKK	:Sürekli Zaman Özyineli En Küçük Kareler
T(s)	:Kapalı Döngü Aktarım İşlevi ya da Süzgeç Çokterimlisi
T _r	:Yükselme Zamanı
T _s	:Durulma Zamanı
U(s)	:Fiziksel Sistem Girişi
U'(s)	:Tümlev Devresi Girişi

$Y(s)$:Sistem Çıkışı
β	:Unutma Çarpanı
θ	:Parametre Vektörü
φ	:Veri Vektörü
ρ	:Girişin Süzgeçlenmiş Hali
ε	:Hatanın Süzgeçlenmiş Hali
θ_0	:Başlangıç Anındaki Parametre Vektörü

1 GİRİŞ

Sıvı tankı sistemleri gıda endüstrisi, petrol endüstrisi, kimya endüstrisi gibi endüstrinin birçok alanında ve laboratuarlarda deneysel amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Bunların denetimine ait birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en basit ve endüstride en çok kullanılanları oransal-tümlevsel (PI) ve oransal-tümlevsel-türevsel (PID) denetleçlerdir. Fakat bu denetleçlerin parametreleri endüstride sistem modeli çıkartılmaksızın deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Bu da sistemin olması gerekenden daha düşük başarımla çalışmasına neden olmaktadır. Bunun yerine sistem modeli bir kestirim algoritması yardımıyla kestirilir [5, 9, 10, 14, 18, 19, 22, 23]. Daha sonra bu modele dayalı olarak PI ve PID parametreleri bulunabilir [13, 15, 25]. Çalışmalarda sistem modeli bir kestirim algoritması tarafından kestirilmekte ve bu model kullanılarak PID parametreleri kullanıcı istediği zaman ya otomatik olarak ayarlanabilmektedir ya da parametreler sürekli olarak ayarlanabilmektedir. PI ve PID denetim dışında sistem modeline dayalı çeşitli denetim algoritmaları da geliştirilmiştir.

Bunlardan uyarlamalı/özayarlamalı (adaptive/self-tuning) yöntemlerde sistem giriş ve çıkış sinyalleri kullanılarak parametre kestirim algoritmalarıyla ya denetleç parametreleri kestirilmekte, ya doğrusal bir model kullanılarak modellenen sistem parametreleri kestirilip denetleç parametreleri kestirilen sistem modeline göre hesaplanmakta, ya da hem sistem hem de denetleç parametreleri birlikte kestirilmektedir [12, 25].

Öngörülü denetim (predictive control) yöntemlerinde ise ilk olarak denetlenecek sistemin çıkışı belli bir zaman aralığında sistemin geçmişteki giriş ve çıkış sinyalleri ile gelecekteki giriş sinyalleri kullanılarak öngörülür ve buna göre sisteme öngörülen bu sistem çıkışı ve bilindiği varsayılan gelecekteki sistem çıkışı arasındaki fark en küçük olacak şekilde giriş sinyali uygulanır [5, 10, 22, 23].

Bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemlerinde ise sistem modeline ihtiyaç duyulmamaktadır. Sisteme ait gözlem ve deneyimlere dayanılarak çeşitli eğer-

sonra kuralları (if-then rules) çıkartılır. Bu kurallar ve üyelik işlevleri kullanılarak bulanık mantık denetimi gerçekleştirilir [16].

Bu çalışmada sistem modeli su düzeyine göre değiştiği için belli bir çalışma aralığında sistem kestirimi yapılarak sistem modeli çıkartılmış ve bu model kullanılarak iki serbestlik dereceli denetleç (two degree of freedom controller) ile sistem denetimi gerçekleştirilmiştir.

İki serbestlik dereceli denetleç yapısı su tankı sistemine uygulanırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- a) Deney düzeneğinin oluşturulması: Uygulama için üç gözlü su tankı sistemi kullanılmıştır. Sistem bilgisayar, veri edinme kartı, düzey algılayıcı, motor sürücü devresi, doğru akımla çalışan su motoru ve vanalardan oluşmaktadır. Vanalar birbirlerine bağlanarak ikinci ve üçüncü dereceden fiziksel bir sistem elde edilebilmektedir. Çıkış sinyalleri, başka bir ifadeyle gözlerdeki su düzeyleri, algılayıcı tarafından elektriksel sinyallere çevrilmiş ve Texas firmasının veri edinme kartı ile Labview 8.2 programı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Giriş sinyalleri ise yine aynı kart ve yazılım yardımıyla motor sürücü devresine aktarılmış ve motorun sürülmesi sağlanmıştır.
- b) Kestirim ve denetim algoritmalarının geliştirilmesi: Kestirim algoritması Matlab 7 programı kullanılarak geliştirilmiş sistemden alınan çıkış ve sisteme verilen giriş sinyallerinden yararlanılarak sistem kestirimi gerçekleştirilmiştir. Bu sinyaller bilgisayara kaydedilmiş, kaydedilen veriler üzerinden sistem kestirimi belli bir çalışma aralığı için uyarlamalı/özayarlamalı yöntemlerin aksine bir defaya mahsus olmak üzere gerçekleştirilmiş ve kestirilen modele göre uygun denetleç parametreleri hesaplanmıştır. Denetim algoritması ise Matlab 7 programında geliştirilmiş ve Labview 8.2 programına gömülmüştür.
- c) Uygulamada kullanılan sinyallerin toplanması ve sisteme verilmesi: Uygulamada sistem kestirimi yapmak için sisteme Labview 8.2 programı ve veri edinme kartı kullanarak giriş sinyali uygulanmış ve yine Labview 8.2 programı ve veri edinme kartı yardımıyla çıkış sinyalleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Bu alışma altı ana bölümde oluşmaktadır. Birinci bölümde řu ana kadar su tankı sisteminin denetimine yönelik yapılan çalışmalar anlatılmış ve belirgin özelliklerine değinilmiştir. İkinci bölümde gerçeklenebilir aktarım işlevleri, içsel kararlılık (internal stability), sonuşur izleme (asymptotic tracking) , tasarımı ltleri ve iki serbestlik dereceli denetimden bahsedilmiştir. nc bölümde iki gzly ve üç gzly su tankının matematiksel modelinden ve sistem tanıma (identification) algoritmasından söz edilmiştir. Dördüncü bölümde sistem kestirimine ait benzetim (simulation) alışmalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde uygulama sonuçları yer almaktadır. Altıncı bölüm ise sonuç bölümüdür. Bu bölümde çalışma sonuçlarına yer verilmiştir.

2 CEBİRSEL TASARIM YÖNTEMLERİ

Denetim sistemleri tasarımında iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki dışsal yaklaşım, diğeri içsel yaklaşım olarak bilinmektedir. Dışsal yaklaşımda kök yereğrisi ve Bode tasarımlarında olduğu gibi tasarım belirtilmelerini (yüzde aşma, durulma zamanı, kalıcı durum hatası, yükselme zamanı gibi) sağlayacak uygun denetleç tasarımı yapılır. Bu yaklaşım deneme-yanılma yaklaşımıdır. Öncelikle tasarım belirtilmelerini sağlayacağına inanılan bir yapılanış (configuration) ve denetleç seçilir. Genelde en basit düzenleşim olan geribesleme yapısı ve denetleç olarak ise bir kazanç ile başlanır. Tasarım belirtilmeleri sağlanmıyorsa ya düzenleşim yapısı değiştirilir ya da denetlecin derecesi bir arttırılarak tasarım belirtilmeleri sağlanana kadar devam edilir.

İçsel yaklaşımda ise öncelikle tasarım belirtilmelerini topluca sağlayacak bir kapalı döngü aktarım işlevi seçilir. Burada kapalı döngü aktarım işlevi seçimi önemlidir. Daha sonra da bu aktarım işlevini sağlayacak olan denetleç tasarımı uygun düzenleşim yapısı kullanılarak gerçekleştirilir. İçsel yaklaşıma örnek olarak cebirsel tasarım yöntemleri verilebilir [4].

Cebirsel tasarımda ilk adım tasarım belirtilmelerini sağlayan bir kapalı döngü aktarım işlevi seçmektir. İkinci adım ise verilen açık döngü aktarım işlevi için denetleç ve uygun geribesleme yapısı kullanarak kapalı döngü aktarım işlevini elde etmektir. Tasarımı yaparken denetleçlerin tanımlı (proper) olmasına, tasarlanan sistemin içsel kararlı ve iyi konumlanmış olmasına (well posed) dikkat edilmelidir [4]. Tasarımda iki yöntem vardır. Birinci yöntem hem açık döngü sıfırlarının hem de kutuplarının yerini değiştirmek üzere yapılan model uyumlama (model matching), ikinci yöntem ise sadece kutupların yerini değiştirmek olan kutup yerleştirme (pole placement) yöntemidir. Cebirsel tasarım yöntemlerinde üç yapılanış yer almaktadır. Birinci yapılanış birim geribesleme yapılanışı, ikinci yapılanış iki serbestlik derecesi yapılanışı üçüncüsü ise giriş/çıkış geribesleme yapılanışıdır. Bunlardan birim geribesleme yapısında model uyumlama yapılabilmekte, fakat tasarlanan sistemde denetleçlerin tanımlı olmaması ve kutup sıfır götürmelerinden dolayı bu yapı model uyumlama amacıyla kullanılmamaktadır. Bunun yerine sadece kutupların yerini değiştirecek bir tasarım yapılır.

İki serbestlik derecesi ve giriş/çıkış geribesleme yapılarında ise hem kutupların ve hem de sıfırların yerini değiştirmek mümkün olmaktadır. Bu yapılarla elde edilen denetleçler tanımlıdır [4].

2.1 Gerçekleştirilebilir Kapalı Döngü Aktarım İşlevleri

İçsel yaklaşımda ilk adım kapalı döngü aktarım işlevinin seçimi olduğundan, nasıl bir aktarım işlevi seçilmeli sorusu önemlidir. Bu seçim yapılırken aktarım işlevinin gerçekleştirilebilir (implementable) olmasına dikkat edilmelidir.

Açık döngü aktarım işlevini,

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}, \text{ der } N(s) \leq \text{ der } D(s) = n \quad (2.1)$$

ve kapalı döngü aktarım işlevini,

$$T(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} \quad (2.2)$$

olarak gösterelim. Burada $N(s)$, $D(s)$, $Q(s)$ ve $P(s)$ s'nin çokterimlidir.

Kapalı döngü aktarım işlevi, eğer ve ancak aşağıda verilen üç koşul sağlanıyorsa gerçekleştirilebilir olmaktadır:

- i)- $\text{der } P(s) - \text{der } Q(s) \geq \text{der } D(s) - \text{der } N(s)$ (Kutup- Sıfır Aşırılığı Eşitsizliği)
- ii)- Açık döngü aktarım işlevinde sağ yarı s-düzleminde bulunan sıfırlar kapalı döngü aktarım işlevinde de bulunacak (Karma Evre Sıfırlarının Korunması).
- iii)- $P(s)$ Hurwitz olacak [4].

Denetim sistemleri tasarımında tasarlanan sistemin iyi konumlanmış ve içsel kararlı olmasına dikkat edilmelidir. Sistemin iyi konumlanmış olması demek bütün kapalı döngü aktarım işlevlerinin tanımlı olması demektir. Başka bir ifadeyle sistemin herhangi bir giriş/çıkış noktasındaki kapalı döngü aktarım işlevine baktığımızda bu aktarım işlevinin tanımlı olması gerekmektedir. Eğer sistem iyi konumlanmış olmazsa yüksek sıklık gürültüsü sistemde bozucu etki yaratacak ve sistem çalışmaz hale gelebilecektir.

Bir geribesleme yapılanışının içsel kararlı olması için herhangi bir giriş/çıkış noktasındaki kapalı döngü aktarım işlevine baktığımızda bu aktarım işlevinin kararlı olması gerekmektedir. Başka bir deyişle sisteme sınırlı giriş sinyali verdiğimizde sistemin sınırlı çıkış sinyali üretmesi gerekmektedir [4,21].

2.2 Sonuşur İzleme

Bir aktarım işlevinin sonuşur izlemeyi başarabilmesi için çıkışın girişi hatasız izlemesi gerekmektedir. Başka bir deyişle çıkış $y(t)$ ile giriş $r(t)$ arasındaki hatanın sıfır olması gerekmektedir;

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y(t) - r(t)| = 0$$

ya da, Laplace son değer teoremi,

$$\lim_{s \rightarrow 0} sR(s)[1 - T(s)] = 0$$

verir. Burada $T(s)$ kapalı döngü aktarım işlevidir. Eğer aktarım işlevi kararlı değilse çıkışın dayanak girişi izlemesi olanaklı değildir. Bu yüzden öncelikle aktarım işlevinin kararlı olması gerekmektedir. Kararlı bir kapalı döngü aktarım işlevini aşağıdaki gibi seçersek,

$$T(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}$$

sonuşur izlemenin sağlanabilmesi için basamak, yokuş ve ivme girişleri için aktarım işlevinde Çizelge 2.1'deki katsayıların eşit olması yeterlidir.

Çizelge 2.1 Sonuşur İzlemenin Sağlanabilmesi İçin Eşit Olması Gereken Katsayılar

Basamak Girişi	$a_0 = b_0$
Yokuş Girişi	$a_0 = b_0, a_1 = b_1$
İvme Girişi	$a_0 = b_0, a_1 = b_1, a_2 = b_2$

Sonuşur izleme yalnızca çıkışın girişi izleyip izlemediğini belirtir. O da, $t \rightarrow \infty$ giderken kalıcı durum hatasının sıfır olup olmadığını belirtir.

Sistemin geçici yanıtına; başka bir deyişle yükselme zamanı, durulma zamanı ve yüzde aşmaya yönelik birşey belirtmez. Sistemin geçici yanıtı kutupların ve sıfırların s-düzlemindeki yerlerine bağlıdır [4,20].

2.3 Tasarım Ölçütleri

Bir denetim sisteminin başarımı (performance) genellikle yükselme zamanı(T_r), durulma zamanı(T_s), yüzde aşma(PO) ve kalıcı durum hatasıyla (e_{ss}) ölçülür. İstenen, bu başarım ölçütlerinin hepsinin birden olası en küçük değerlerde olmasıdır. Ancak bu uygulamada pek mümkün olmamaktadır. O nedenle farklı tasarlanan sistemlerde bu değerlerde farklı olacaktır. Örneğin bir sistemde kalıcı durum hatası küçük olacak fakat diğer parametreler büyük olacak, başka bir sistemde ise yüzde aşma ve durulma zamanı küçük olacak fakat kalıcı durum hatası büyük olacaktır. Bu sistemlerden hangisinin daha iyi başarıma sahip olacağı yanıtlanması gereken zor bir sorudur. Bu yüzden bu sistemlerden hangisinin daha iyi başarıma sahip olduğunu belirlemek için bir maliyet işlevi tanımlanmakta ve bu maliyet işlevinin en küçük olduğu sistem eniyi (optimal) başarıma sahip denilmektedir. Bu belirleme yapılırken,

$$e(t)=r(t)-y(t), \quad 0 \leq t < \infty .$$

hata ($e(t)$) işlevi kullanılır.

Bu Altbölümde dört adet maliyet işlevi tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda sırayla verilmiştir.

$$J_1 = \int_0^{\infty} e(t) dt \quad (2.3)$$

$$J_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (2.4)$$

$$J_3 = \int_0^{\infty} |e(t)|^2 dt \quad (2.5)$$

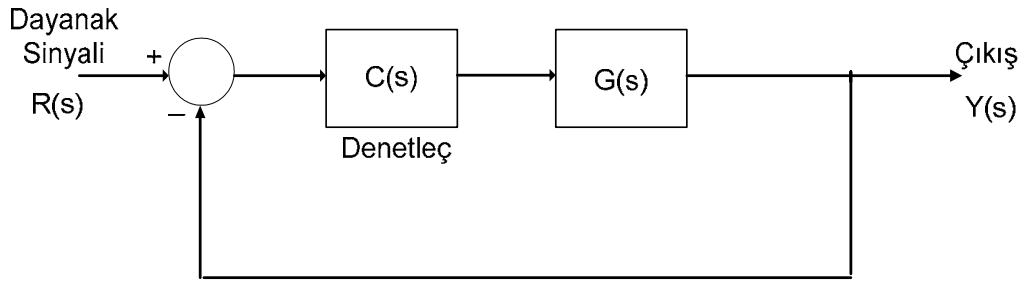
$$J_4 = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (2.6)$$

(2.3)'de verilen maliyet işlevi, hata işlevinin $0 \leq t < \infty$ aralığında hem pozitif hem de negatif değerler alabilmesinden ötürü çok doğru yanıt veremeyebilmektedir.

Bu nedenle J_1 yerine J_2, J_3, J_4 maliyet işlevlerini kullanmak daha uygun olacaktır. J_2 maliyet işlevi *Tümlenik Mutlak Hata (IAE)*, J_3 işlevi *Tümlenik Karesel Hata (ISE)*, J_4 işlevi *Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği (ITAE)* olarak adlandırılmaktadırlar. Kapalı döngü aktarım işlevlerinin yukarıda sözü edilen maliyet işlevlerinden herhangi birini en küçük yapacak şekilde seçilmesi ve ayrıca gerçekleştirilebilir olması tasarım açısından önemlidir [4].

2.4 Birim Geribesleme Yapılanışı

Şekil 2.1' de birim geribeslemeli denetim sistemi verilmiştir.



Şekil 2.1 Birim Geribeslemeli Denetim Sistemi

.Bu yapıda kapalı döngü aktarım işlevi

$$T(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad (2.7)$$

olur. Bu denklemden $C(s)$ 'i çekersek

$$C(s) = \frac{T(s)}{G(s)(1 - T(s))} \quad (2.8)$$

bulunur.

Görüldüğü üzere (2.8) denklemi kullanılarak denetleç hesaplanabilir. Ancak hesaplanan denetleçten kapalı döngü aktarım işlevi yazıldığında bazen kutup/sıfır götürmeleri görülebilir. Eğer götürülen kutup/sıfırlar kararsızsa sistem denetleç kararlı olsa bile altbölüm 2.2'de anlatıldığı gibi sistemin diğer kapalı döngü aktarım işlevlerinden bazıları kararsız yapıya sahip olacağından içsel kararlı olmayacaktır [4].

Kutup yerleştirme yapısında açık döngü kutupları istenilen yere kaydırılabilmektedir. Fakat bu yapıda sıfırlar yerlerinden kaydırılamamaktadırlar. Şekil 2.1’de verilen birim geribeslemeli yapıda,

$$C(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$$

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

olsun. Kapalı döngü aktarım işlevi $T(s)$ ’de

$$T(s) = \frac{N_0(s)}{D_0(s)}$$

olarak alalım. Bunları 2.7’de yerlerine koyarsak,

$$\begin{aligned} T(s) &= \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{\frac{B(s)}{A(s)} \frac{N(s)}{D(s)}}{1 + \frac{B(s)}{A(s)} \frac{N(s)}{D(s)}} \\ &= \frac{B(s)N(s)}{A(s)D(s) + B(s)N(s)} \end{aligned}$$

olur. Bu son bağıntının paydasını $T(s)$ ’in paydasına eşitlersek;

$$A(s)D(s) + B(s)N(s) = D_0(s) \quad (2.9)$$

elde edilir. Burada $D(s), N(s), D_0(s)$ çokterimlileri bilinmekte, $A(s), B(s)$ ise bilinmeyen okterimlilerdir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta kapalı döngü aktarım işlevinin sıfırlarının istenilen değerlere atanamamasıdır. Çünkü $N(s)$ çokterimlisi zaten bilinmekte ve $B(s)$ çokterimlisi ise (2.9) denkleminin çözümünden gelmektedir. Dolayısıyla kapalı döngü aktarım işlevinin sıfırları hesaplamalar sonucu kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Yukarıdaki (2.9) denklemini *Diophantine Denklemi* olarak bilinmektedir [4]. Bu denklemin çözümüne ait birçok yöntem bulunmaktadır [4, 11].

Burada dikkat edilmesi gereken nokta denetleç derecesinin uygun seçilmesidir.

Çokterimlileri,

$$D(s) = D_0 + D_1s + D_2s^2 + \dots + D_ns^n$$

$$N(s) = N_0 + N_1s + N_2s^2 + \dots + N_ns^n$$

$$A(s) = A_0 + A_1s + A_2s^2 + \dots + A_ms^m$$

$$B(s) = B_0 + B_1s + B_2s^2 + \dots + B_ms^m$$

$$D_0(s) = F_0 + F_1s + F_2s^2 + \dots + F_{n+m}s^{n+m}$$

olarak yazalım. Burada n fiziksel sistemin derecesi ve m ise denetlecin derecesidir.

Ayrıca,

$$\text{der}N(s) \leq \text{der}D(s) = n$$

$$\text{der}B(s) \leq \text{der}A(s) = m$$

olarak kabul edilmiştir.

Bu çokterimliler (2.9)'da yerine konulduğunda;

$$(A_0 + A_1s + \dots + A_ms^m)(D_0 + D_1s + \dots + D_ms^m) +$$

$$(B_0 + B_1s + \dots + B_ms^m)(N_0 + N_1s + \dots + N_ms^m)$$

$$= F_0 + F_1s + \dots + F_{n+m}s^{n+m}$$

elde edilir.

Bu eşitliğin her iki yanında aynı güçteki terimlerin katsayıları eşitlendiğinde,

$$A_0D_0 + B_0N_0 = F_0$$

$$A_0D_1 + B_0N_1 + A_1D_0 + B_1N_0 = F_1$$

⋮

$$A_mD_n + B_mN_n = F_{n+m}$$

elde edilir. Bu eşitlikler matris yapısına getirilirse

$$\begin{bmatrix} D_0 & N_0 & 0 & 0 & & & 0 & 0 \\ D_1 & N_1 & D_0 & N_0 & & & \cdot & \cdot \\ D_2 & N_2 & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 \\ D_n & N_n & D_{n-1} & N_{n-1} & & & D_0 & N_0 \\ 0 & 0 & D_n & N_n & & & D_1 & N_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & D_n & N_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ B_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ \cdot \\ A_m \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{n+m} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıyı,

$$SC = F \quad (2.11)$$

olarak yazalım. Burada S matrisi $(n+m+1) \times 2(m+1)$, C $2(m+1) \times 1$, F ise $(n+m+1) \times 1$ boyutundadır. Bu bağıntının çözümünün olabilmesi için,

i)- S matrisinin tam satır kertesine (full row rank) sahip olması gerekmektedir. Başka bir deyişle,

$$n + m + 1 \leq 2(m + 1)$$

veya

$$n - 1 \leq m$$

koşulunun sağlanması gereklidir. Bu koşul denetleç derecesinin fiziksel sistemin derecesinden en az bir küçük olmasını gerektirmektedir.

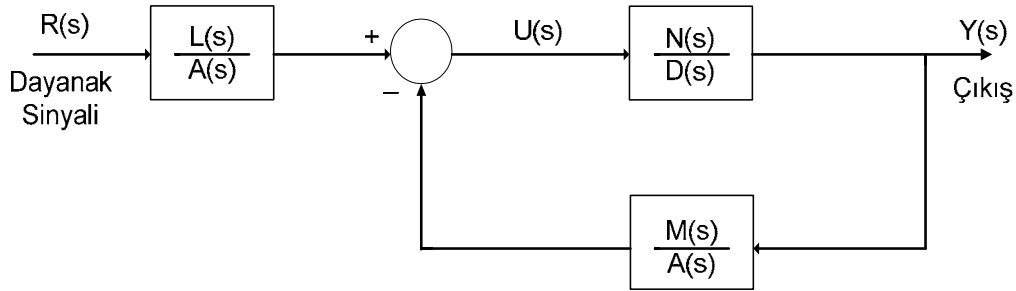
ii)- $m \geq n - 1$ aldığımızda S matrisi $D(s)$ ve $N(s)$ çokterimlilerinin eşasal olmaları durumunda başka bir deyişle, ortak bölenlerinin olmaması durumunda tam satır kertesine sahip olacaktır.

Bunların dışında eğer denetlecin derecesi sistemin derecesinden bir küçük olursa S matrisi kare matris olacak ve biricik (unique) çözüm bulunacaktır. Eğer denetlecin derecesi sistemin derecesinden büyük veya eşit olursa birden fazla çözüm karşımıza çıkacaktır.

2.5 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı

İki serbestlik derecesi yapılanışında açık döngü sistemin hem kutuplarının hem de sıfırlarının yerleri değiştirilebilmekte ve model uyumlama yapılabilmektedir. Bu yapılanışda iki adet denetleç kullanılmaktadır. Denetleçlerden biri geribeslemede diğeri ise sistem girişinde bulunur. Geribeslemedeki denetlece geribesleme denetleci, girişteki denetlece ise ileri besleme denetleci adı verilmektedir. Literatürde birden fazla iki serbestlik derecesi yapılanışı yer almaktadır [4].

Su tankı uygulamasında kullanılan yapılanış Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı

Bu yapıda gerekli eşitlikleri yazarsak;

$$U(s) = \frac{L(s)}{A(s)} R(s) - \frac{M(s)}{A(s)} Y(s) \quad (2.12)$$

$$Y(s) = \frac{N(s)}{D(s)} U(s) \quad (2.13)$$

bulunur. (2.12)'deki bağıntıyı (2.13)'de yerine koyarsak

$$Y(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \left[\frac{L(s)R(s) - M(s)Y(s)}{A(s)} \right] \quad (2.14)$$

elde edilir. Burada gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$[A(s)D(s) + M(s)N(s)]Y(s) = N(s)L(s)R(s)$$

olur. Burada $Y(s)/R(s)$ 'yi çekersek kapalı döngü aktarım işlevi,

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{L(s)N(s)}{A(s)D(s) + M(s)N(s)}$$

olarak bulunur. Bu bağıntıda

$$D(s) = D_0 + D_1s + D_2s^2 + \dots + D_ns^n$$

$$N(s) = N_0 + N_1s + N_2s^2 + \dots + N_ns^n$$

bilinen ve,

(2.15)

$$M(s) = M_0 + M_1s + M_2s^2 + \dots + M_ms^m$$

$$A(s) = A_0 + A_1s + A_2s^2 + \dots + A_ms^m$$

$$L(s) = L_0 + L_1s + L_2s^2 + \dots + L_ns^n$$

bilinmeyen çokterimlilerdir.

Burada $G(s)$ (2.1)'deki gibi alınmıştır ve $D(s)$ ile $N(s)$ çokterimlileri eşasal $G(s)$ aktarım işlevi ise kesin tanımlı kabul edilmiştir.

Kapalı döngü aktarım işlevini $N(s)$ 'e böler ve pay ve payda çokterimlileri arasında tüm götürmeleri yaparsak,

$$\frac{T(s)}{N(s)} = \frac{Y(s)}{R(s)N(s)} = \frac{N_p(s)}{D_p(s)}$$

bulunur. Burada $N_p(s)$ ile $D_p(s)$ eşasaldır. Böylece $T(s)$ yeniden

$$T(s) = \frac{N_p(s)N(s)}{D_p(s)} = \frac{L(s)N(s)}{A(s)D(s) + M(s)N(s)} \quad (2.16)$$

bulunur. (2.16)'da $L(s)$ yerine $N_p(s)$ koyarsak ve içler dışlar çarpımı yaparsak.

$$A(s)D(s) + M(s)N(s) = D_p(s)$$

bulunur. Bu ifadede $D(s)$, $N(s)$ ve $D_p(s)$ çokterimlileri bilindiği için $A(s)$ ile $M(s)$ çokterimlileri bulunabilir. Fakat bu şekilde elde edilen denetleçler genelde tanımlı olmamaktadır. Bu yüzden $L(s)$ yerine $N_p(s)E(s)$ koyularak çözüme ulaşılır ve bulunan denetleçler tanımlı olacaktır. Burada $E(s)$ Hurwitz çokterimlisi olarak seçilir ve aşağıdaki koşulu sağlamalıdır:

$$\text{de } r(D_p(s)E(s)) \geq 2n - 1$$

(2.16)'da $L(s)$ yerine $N_p(s)E(s)$ koyarsak

$$T(s) = \frac{N_p(s)N(s)}{D_p(s)} = \frac{N_p(s)E(s)N(s)}{A(s)D(s) + M(s)N(s)}$$

elde edilir. Burada içler dışlar çarpımı yapılırsa

$$A(s)D(s) + M(s)N(s) = D_p(s)E(s) = F(s) \quad (2.17)$$

bulunur. Burada $D_p(s)$ çokterimlisi seçilen $T(s)$ 'nin payda çokterimlisi, $E(s)$ ise Hurwitz çokterimlisidir. Böylece bu bağıntıda $F(s)$, $D(s)$ ve $N(s)$ çokterimlileri bilinmektedir. Geri kalan $A(s)$ ve $M(s)$ ise bilinmeyen çokterimlilerdir. (2.15)'deki çokterimliler (2.17)'de yerine konur, eşit güçteki terimlerin katsayıları birbirine eşitlenir ve matris biçimine getirilirse (2.11) elde edilir. Burada C matrisi

$$[A_o \quad M_o \quad A_1 \quad M_1 \quad A_2 \quad M_2 \quad \dots \quad A_m \quad M_m]^T \quad (2.18)$$

dir. (2.11) kullanılarak uygun denetleç parametreleri hesaplanabilir. Burada

$$F(s) = F_0 + F_1s + F_2s^2 + \dots + F_{n+m}s^{n+m}$$

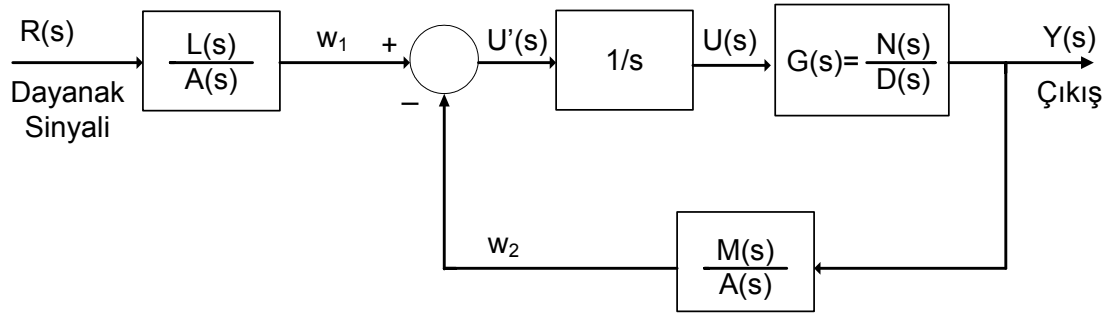
dir.

Tasarım sırasında $E(s)$ çokterimlisi başka bir çarpanla birbirini götürcektir. Bu yüzden sistemin kalıcı durum hatasına etkisi yoktur. Ayrıca $E(s)$ çok terimlisi sistemde bazı giriş/çıkış aktarım işlevlerinde gözükabilir. Bu nedenle bu çokterimlinin kökleri kararlı seçilmelidir. Eğer kökler kararsız seçilirse sistem bozanetken ve gürültüden etkilenebilir [20, 4].

2.6 İki Serbestlik Derecesi Yapılanışında Kalıcı Durum Hatasının Giderilmesi

Bazı denetim problemlerinde sistemler basamak tipi bozuculara maruz kalmaktadırlar. Bu bozucular sistem çıkışında kalıcı durum hatasına yol açmaktadırlar. Bu problem bozucuların sistem modelinde dikkate alınmasıyla; başka bir deyişle sistem modelinin pay ve paydasına Laplace işleci s eklenerek çözülebilmektedir. Bu içsel model ilkesi (internal model principle) olarak bilinmekte ve denetleçlerde tümlevsel etkinin yer almasını sağlamaktadır [22, 23].

Uygulamada kullanılan sistemde kalıcı durum hatası gözlenmiştir. Bu nedenle sistem modelinin pay ve paydasına s -Laplace işleci eklenmiştir. Bu düzenlemeyle iki serbestlik dereceli sistem yapılanışı Şekil 2.3'deki gibi olur.



Şekil 2.3 Tümlevsel Terimli İki Serbestlik Derecesi Yapılanışı

Bu yapılanış elde edilirken sistem çıkışı,

$$Y(s) = \frac{N(s)s}{D(s)s} U(s)$$

alınmıştır. Bu durumda açık döngü sistemi değişmemektedir. Buradan

$$U'(s) = sU(s)$$

gerçek sistem girişi,

$$U(s) = \frac{1}{s} U'(s)$$

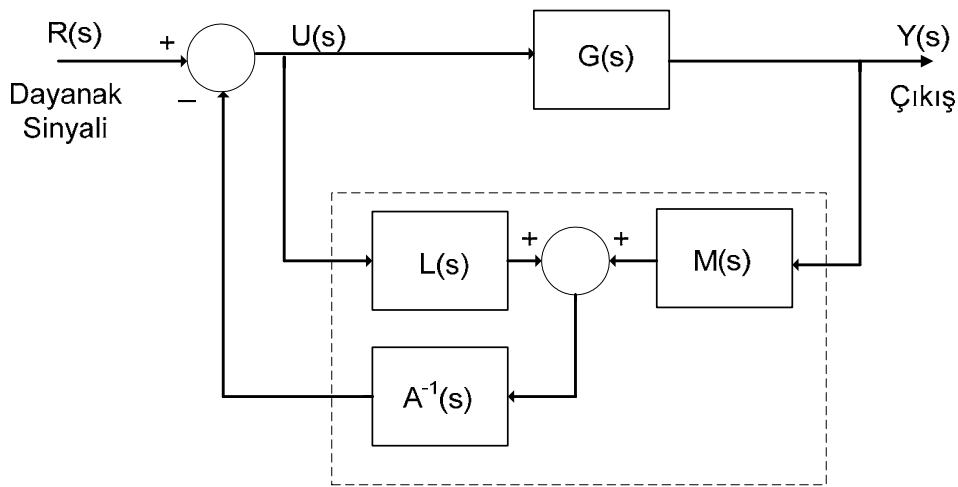
olmaktadır ve iki serbestlik dereceli denetimde kullanılan denetleçler, açık döngü aktarım işlevi

$$G'(s) = \frac{N(s)}{D(s)s}$$

alınarak hesaplanmıştır.

Bu yapılanışta denetleçler açık döngü aktarım işlevinde $D(s)$ yerine $sD(s)$ alınarak Alt bölüm 2.5'de anlatıldığı gibi hesaplanabilir. Tek fark ileri besleme ve geri beslemeden gelen w_1 ve w_2 sinyalleri arasındaki fark olan U' sinyalinin tümlev devresinden geçirilmesi ve model uyumlama yapılacak sistemin ve denetleçlerin derecelerinin bir artırılmasıdır.

Model uyumlamada iki serbestlik derecesi yapılanışının dışında giriş/çıkış geribesleme yapılanışı da kullanılabilir. Şekil 2.4'de giriş/çıkış geribesleme yapılanışının öbek çizeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Giriş-Çıkış Geribesleme Yapılanışı

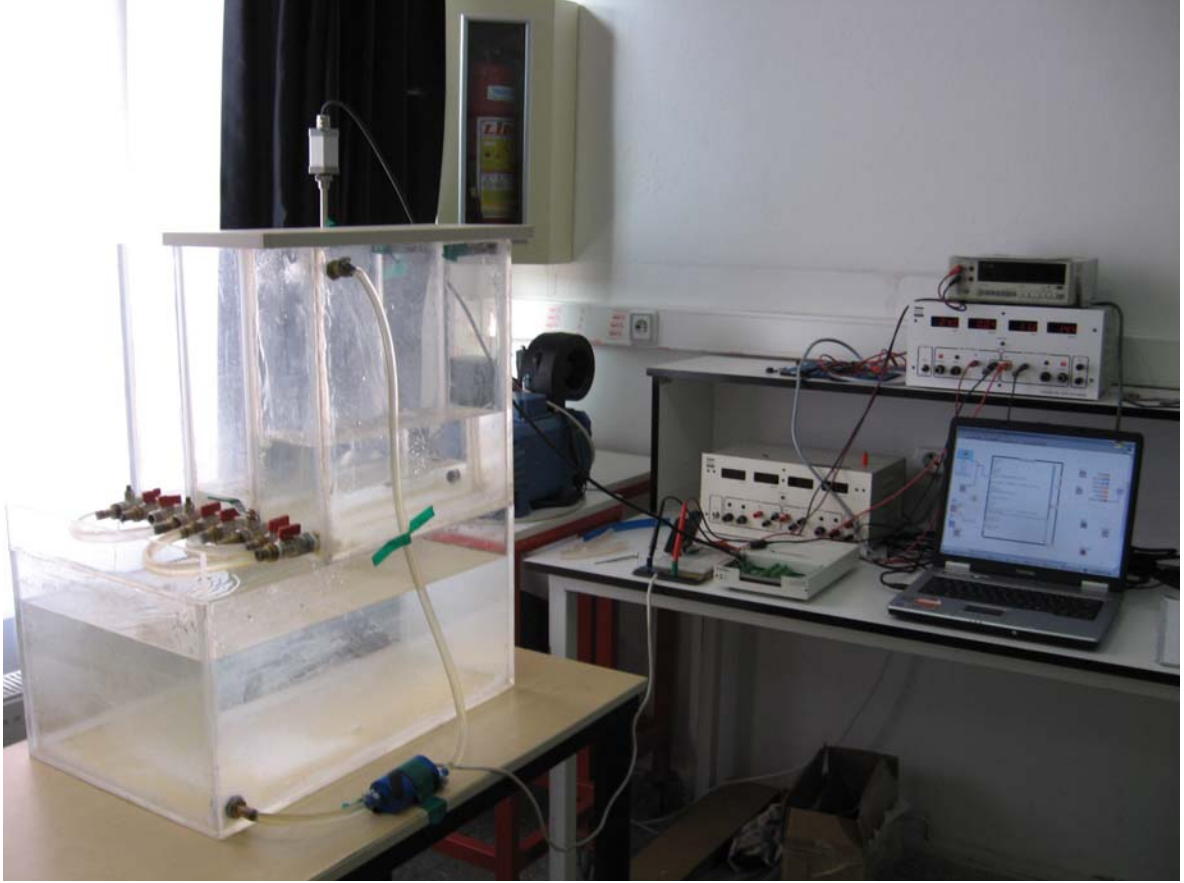
Burada fiziksel sistemin hem girişinden ve hem de çıkışından geribeslemeli denetim yapılmaktadır. Bu yapılanışta iki serbestlik derecesi yapılanışından farklı olarak kesikli çizgilerle gösterilen bölgede iki girişli tek çıkışlı denetleç yapısı öne çıkmaktadır. Bu yapı kullanılarak da sistemin kutupları ve sıfırları istenilen yerlere taşınabilir [4].

Hem iki serbestlik derecesi yapılanışında, hem de giriş/çıkış geribesleme yapısında açık döngü aktarım işlevinde sağ yarı s-düzleminde bulunan sıfırların kapalı döngü aktarım işlevinde de bulunması gerekmektedir. Yoksa bulunan denetleçler kararlı olmaz.

3 UYGULAMADA KULLANILAN SİSTEMİN TANITIMI VE KESTİRİMİ

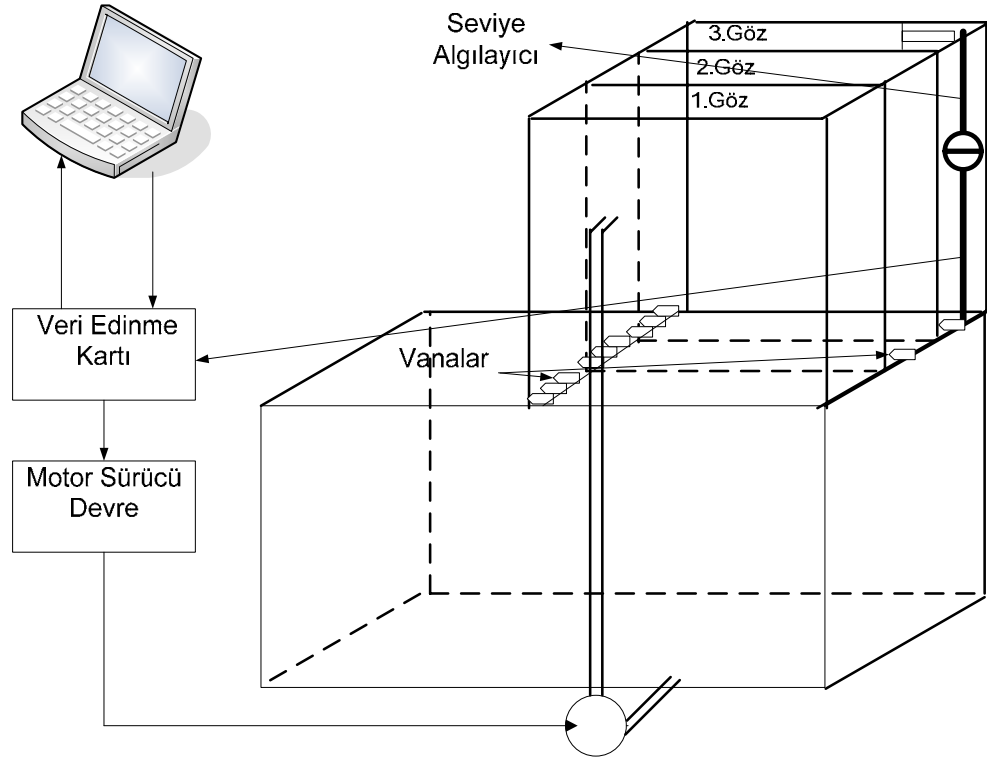
3.1 Uygulamada Kullanılan Sistemin Tanıtımı

Bu çalışmada iki serbestlik derecesi denetimini gerçekleştirebilmek için Şekil 3.1’ de verilen sistem kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Uygulamada Kullanılan Sistem

Sistem su tankı, doğru akımla çalışan su motoru, bilgisayar, motor sürücü devre ve düzey algılayıcıdan oluşmaktadır. Sistemdeki su tankı alt hazneden ve üç adet eşit kesit alanı olan gözden oluşmaktadır. Bu gözlerden su çıkışını sağlamak amacıyla her gözde üç adet vana kullanılmıştır. Bu vanalar yardımıyla gözler birbirine bağlanabilmekte ve böylece birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece tek girişli çok çıkışlı düzey denetimi yapılabilmektedir. Şekil 3.2’de sistemin şematik gösterimi yer almaktadır. Şekil 3.3’de kullanılan vanalar ve üçüncü derece sistem elde etmek için gerekli bağlantılar gösterilmiştir.

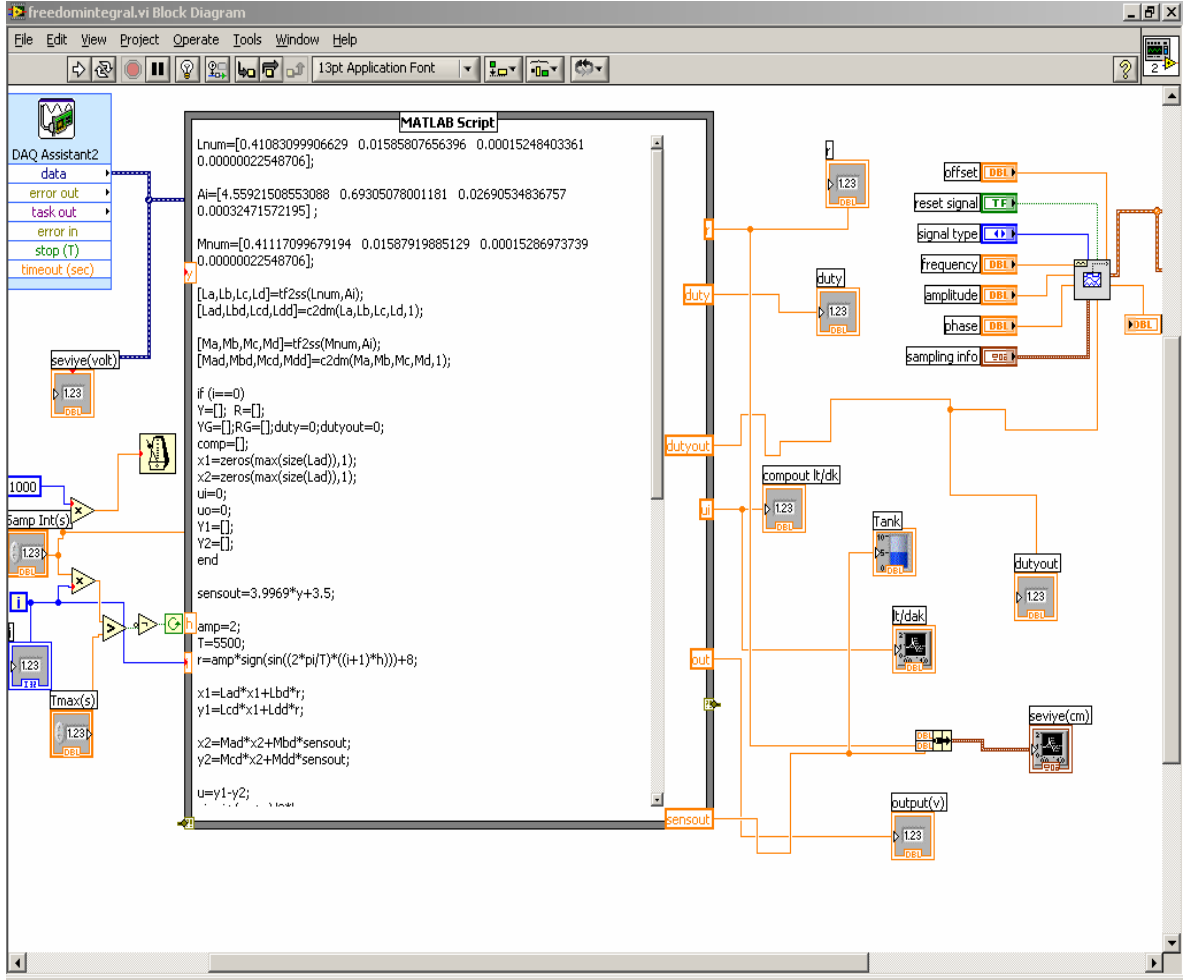


Şekil 3.2 Su Tankı Sistemi Şematik Gösterimi



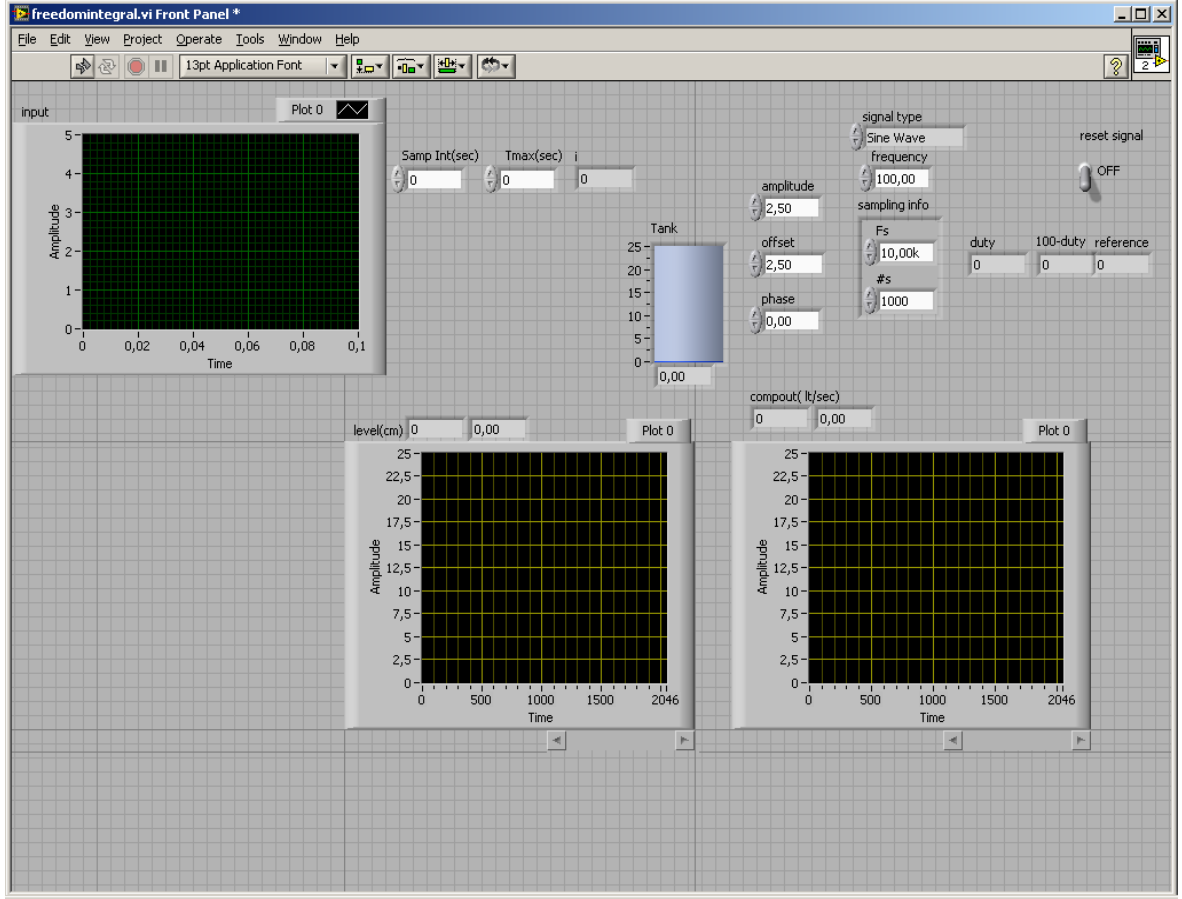
Şekil 3.3 Sistemde Kullanılan Vanalar ve Bağlantıları

Şekil 3.3'de birinci gözden 2. göze dört vana yardımıyla, 2. gözden 3. göze ise yine dört vana yardımıyla su akışı gerçekleşmektedir. 2. göz ile 3. göz arasında ise ön taraftaki iki vana ve arka taraftaki iki vana yardımıyla su geçişi sağlanmaktadır. Sistemde, düzey ölçümü önce yerli bir firmanın 5 mm duyarlılıkla ölçüm yapan algılayıcısıyla yapılmış fakat algılayıcının çok gürültülü ölçüm yapması ve bu nedenle de kestirimin çok iyi yapılamaması nedeniyle bu algılayıcı değiştirilmiştir. Daha sonra 0.5 mm duyarlılıkla ölçüm yapan ithal algılayıcı kullanılmıştır. Bu algılayıcıda gürültünün etkisi daha az görülmüş, kestirim ve denetim için uygun çıkışlar alınabilmiştir. Sistemde giriş sinyallerini okumak ve gerekli çıkış sinyallerini üretmek için Texas firmasına ait veri edinme kartı kullanılmıştır. Bu kartın uygun sinyalleri üretmesi ve denetim algoritması ise bu kartla uyumlu çalışan Labview 8.2 ve Matlab 7 programları yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kestirim ve denetim algoritmaları Matlab programında yazılmış, kartın sinyal üretmesini, sinyallerin görüntülenmesini sağlayan öbekler Labview programında hazırlanmış ve Matlab programı Labview programına gömülmüştür. Bu iki program yardımıyla da kestirim ve denetim işlemi gerçekleştirilmiştir. Labview programından iki görünüş Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Labview 8.2 Programı ve Matlab 7

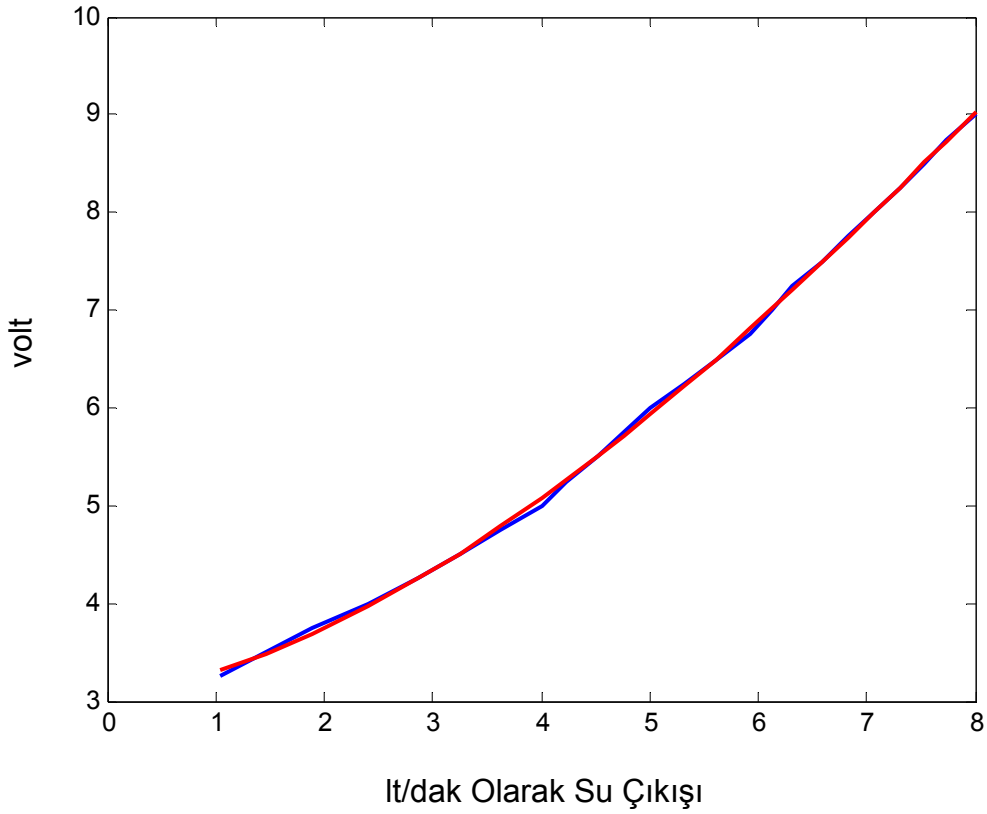
Şekil 3.4'de Labview programı, programda sinyalleri görüntülemek için kullanılan öbekler, sinyal almak ve göndermek için kullanılan öbekler ve Labview programına gömülmüş Matlab programı görülmektedir. Labview ve Matlab programları kullanılarak gerçek zamanlı sistem denetimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 Labview 8.2 Programı Sinyal Görüntüleme Arayüzü

Şekil 3.5'de sinyalleri görüntülemek için Labview programında kullanılan çizim pencereleri gösterilmiştir. Bu pencereler yardımıyla giriş ve çıkış sinyalleri, su düzeyi takip edilebilmektedir.

Su tankı sistemine su basmak için 0-12V gerilim aralığında çalışan doğru akım su motoru kullanılmıştır. Bu motor 0-3.1V aralığında hiç su basmamaktadır ve bu aralıktan sonra su basmaya başlamaktadır. Sistem motorun zarar görmemesi için en yüksek gerilim olan oniki volt'da çalıştırılmamış bunun yerine giriş gerilimi en yüksek dokuz volt olacak şekilde ayarlanmıştır. Motorun ne kadar su basacağı Matlab programında yazılan bir kod yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Matlab programında motora lt/dak cinsinden giriş uygulanmakta, bu bir denklem yardımıyla gerilime çevrilmektedir. Her gerilim değeri için motorun ne kadar lt/dak su basacağı belli gerilim değerleri için hesaplanmıştır. Şekil 3.6'da motorun ne kadar gerilimde ne kadar su basacağına ilişkin çizim verilmiştir. Burada mavi çizgi okunan değerleri kırmızı ise kestirim yapılmış değerleri göstermektedir.



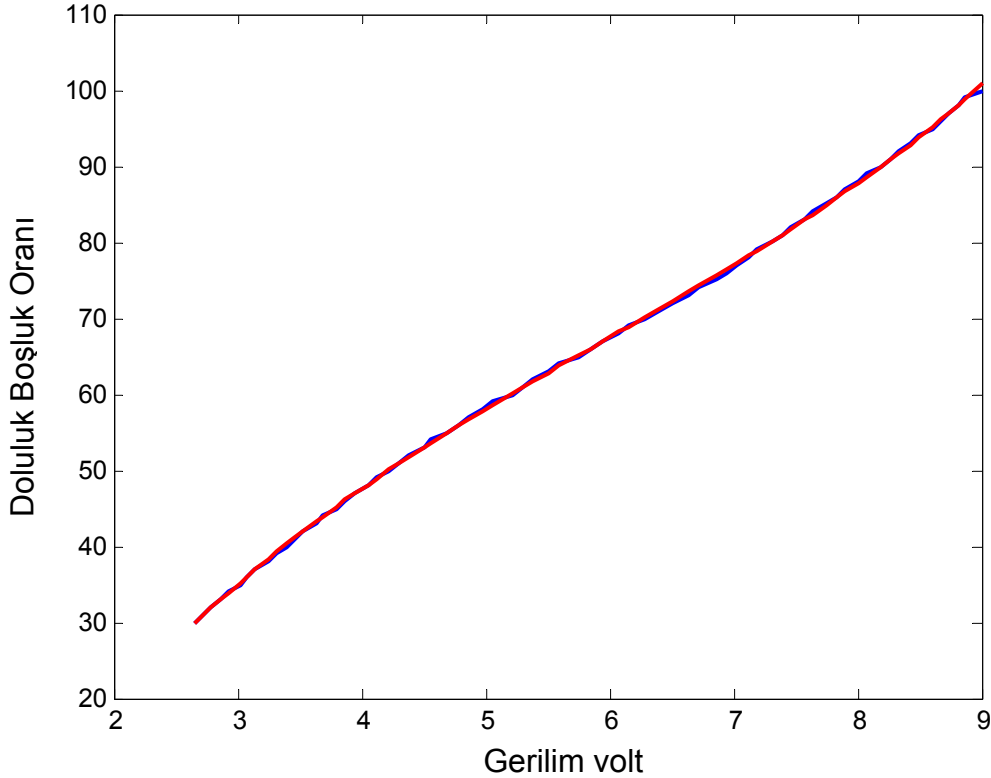
Şekil 3.6 Su Motorunun Giriş Çıkış İlişkisi

Motorun kaç lt/dak suyu hangi gerilimde basacağı

$$Gerilim = -0.003x^3 + 0.0953x^2 + 0.1809x + 3.0215 \quad (3.1)$$

ile verilmiştir. Burada x lt/dak olarak basılan su miktarını göstermektedir. Bu bağıntı motora değişik gerilim değerleri uygulanarak motorun lt/dak olarak bastığı su miktarı ölçülerek çıkartılmıştır. Motora uygulanan gerilim ve lt/dak olarak basılan su miktarı değerleri kesikli zaman EKK kestirim algoritmasına sokularak (3.1) elde edilmiştir [1]. Şekilden de görüldüğü üzere motor en çok dokuz volt düzeyinde çalıştırılabilmekte ve bu düzeyde sekiz lt/dak su basmaktadır. Su motorunun sürülmesinde sistemde motor sürücü devre kullanılmıştır. Motor sürücü devrenin girişine veri edinme kartından kare dalga uygulanmakta ve bu kare dalganın doluluk boşluk oranına göre motor sürücü devrenin çıkışında başka bir deyişle motorun girişinde 3.1-9V gerilim oluşmaktadır. Veri edinme kartından hangi doluluk boşluk oranında kare dalga uygularsak motorun girişinde ne kadar gerilim oluşturacağı sorusu ise her doluluk boşluk oranı için motorun girişine bakılarak hesaplanmış ve bağıntısı çıkarılmıştır. Buna göre Matlab programında motora

It/dak cinsinden ne kadar su basacağı bilgisi verilmekte, bu bilgi programda gerilime dönüştürülmekte, bu gerilim bilgisi ise doluluk boşluk oranına çevrilmekte ve motora uygulanmaktadır. Gerilime karşı doluluk boşluk oranı eğrisi Şekil 3.7’de verilmiştir. Burada mavi çizgi okunan verileri kırmızı çizgi ise kestirimi yapılmış verileri göstermektedir.



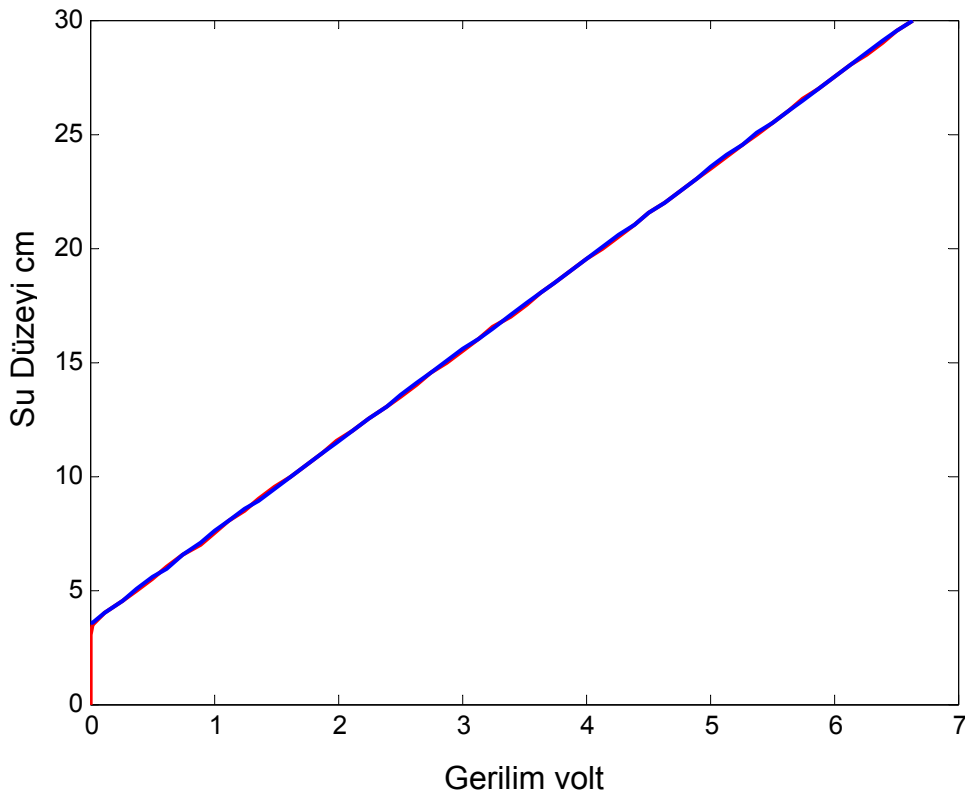
Şekil 3.7 Gerilim Doluluk Boşluk Oranı Eğrisi

Bu ilişkiyi veren bağıntı

$$Doluluk\ Boşluk\ Oranı = 0.1878x_1^3 - 3.3419x_1^2 + 29.1136x_1 - 27.4211 \quad (3.2)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada x_1 motor girişindeki ölçülen gerilim değeridir. Motor sürücü devreye %30’dan %100’e kadar doluluk boşluk oranlı kare dalga verilerek motor girişindeki gerilim ölçülmüştür. Bu değerler kesikli zaman EKK algoritmasına sokularak (3.2) elde edilmiştir [1]. Şekil 3.7’ den de görüldüğü gibi motora yüzde yüz doluluk boşluk oranlı kare dalga gönderildiğinde motor dokuz volt gerilimde çalışmaktadır.

Sistemde düzey algılama işlemi düzey algılayıcı tarafından yapılmaktadır. Düzey algılayıcı su düzeyini gerilim türünden veri edinme kartına göndermekte, bu gerilim değeri Matlab programında cm'ye çevrilmektedir. Her gerilim değerinin kaç cm'ye karşılık geldiği gerekli ölçümler yapılarak hesaplanmıştır. Düzey algılayıcı 3.5 cm'ye kadar bir değer ölçmemektedir. Başka bir deyişle 0-3.5 cm aralığında sıfır gerilim çıkışı vermektedir. Bu nedenle sistemin denetimi gerçekleştirilirken bu aralıkta sistem açık döngü olarak çalışmaktadır. Çıkış sinyalinin denetime etkisi yoktur. Kapalı döngü yapı 3.5 cm 'den sonra devreye girmektedir. Şekil 3.8'de algılayıcının giriş çıkış ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3.8 Algılayıcı Giriş Çıkış İlişkisi

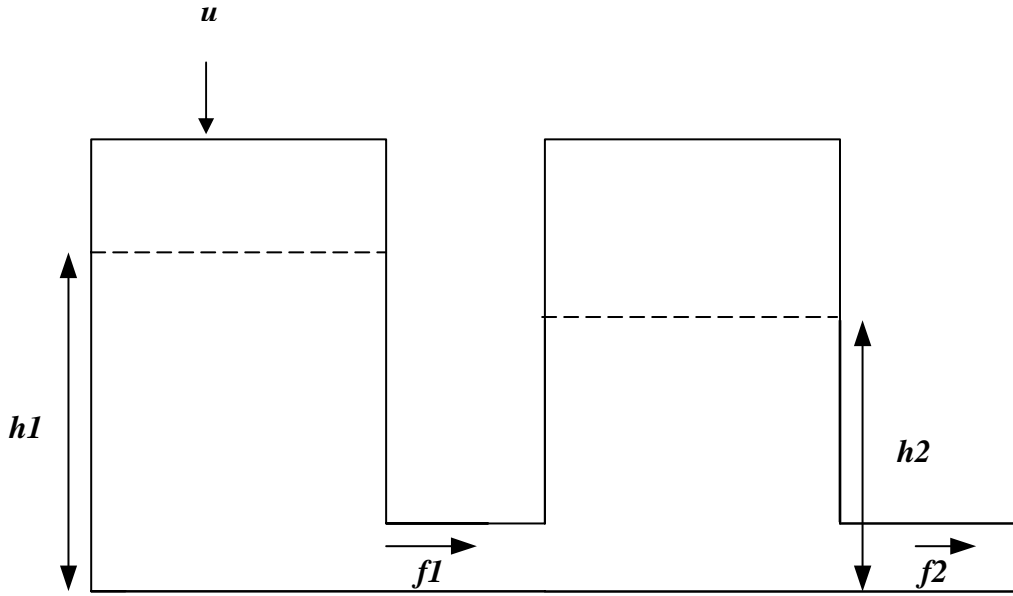
Burada mavi çizgi toplanan verileri kırmızı ise kestirim yapılmış verileri göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere algılayıcı 3.5 cm'ye kadar sıfır gerilim üretmekte, herhangi bir ölçüm yapmamaktadır. Algılayıcının giriş çıkış ilişkisini veren bağıntı,

$$Düzey(cm) = 4x_2 + 3.5 \quad (3.3)$$

olarak bulunmuştur. Bu ifade elde edilirken motora sabit gerilim verilmiş ve cm cinsinden her su düzeyi için algılayıcının çıkış gerilimi ölçülmüştür. Alınan değerler arasındaki ilişki doğrusal olduğu için herhangi bir kestirim algoritması kullanmadan el yordamıyla (3.3) bulunmuştur.

3.2 İki Gözlü Tank Sistemi Eşitlikleri

Şekil 3.9' da verilen ardışık bağlı iki gözlü su tankı sistemini ele alalım.



Şekil 3.9 İkinci Derece su Tankı Sistemi

Şekilde u değişkeni sistem girişini; h_1, h_2 değişkenleri gözlerdeki su düzeylerini; f_1, f_2 değişkenleri ise su akışını göstermektedir. f_1 değişkeni $(h_1 - h_2)$ düzey farkıyla f_2 değişkeni ise h_2 düzeyiyle orantılı olsun. Burada h_2 değişkeni yükseklik türünden sistem çıkışını belirtmektedir. Buna göre birinci ve ikinci gözler için

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1(h_1 - h_2) \quad (3.4)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1(h_1 - h_2) - K_2 h_2 \quad (3.5)$$

eşitlikleri yazılabilir. Burada A parametresi gözlerin sabit kesit alanını göstermektedir ve iki göz için eşittir. K_1 ve K_2 ise orantı sabitleridir. (3.5)'den h_1 parametresi çekilirse;

$$h_1 = \frac{A}{K_1} \frac{dh_2}{dt} + \frac{K_1 + K_2}{K_1} h_2 \quad (3.6)$$

elde edilir.

h_1 ve türevi (3.4)'de yerine koyulursa iki gözlü su tankı sisteminin doğrusal modeli

$$\frac{A^2}{K_1 K_2} \frac{d^2 h_2}{dt^2} + \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2} \frac{dh_2}{dt} + h_2 = \frac{1}{K_2} u \quad (3.7)$$

gibi yazılabilir. Laplace dönüşümü alınır ve başlangıç koşulları sıfır kabul edilirse, iki gözlü su tankı sistemi için giriş çıkış arasındaki ilişkiyi veren sürekli zaman aktarım işlevi

$$G(s) = \frac{H_2(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{K_2}}{\frac{A^2}{K_1 K_2} s^2 + \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2} s + 1} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. Burada,

$$B_0 = \frac{1}{K_2}$$

$$A_0 = \frac{A^2}{K_1 K_2}$$

$$A_1 = \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2}$$

olsun ve h_2 yerine y alınır

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B_0}{A_0 s^2 + A_1 s + 1} \quad (3.9)$$

elde edilir.

(3.8) sistemin doğrusal modelini göstermektedir. Ancak gerçekte sistem doğrusal değildir. f_1 değişkeni gerçekte $\sqrt{h_1 - h_2}$ düzey farkıyla, f_2 değişkeni ise $\sqrt{h_2}$ düzeyi ile orantılıdır.

Birinci ve ikinci gözler için doğrusal olmayan denklemleri yazarsak;

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1 \sqrt{(h_1 - h_2)}$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1 \sqrt{(h_1 - h_2)} - K_2 \sqrt{h_2}$$

elde edilir. Bu eşitliklerde kareköklü terimlerin pay ve paydaları kendileriyle çarpılırsa;

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1 \frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)}}$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1 \frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)}} - K_2 \frac{h_2}{\sqrt{h_2}}$$

elde edilir. Bu eşitlikler kullanılarak (3.9)'daki doğrusal sistemin parametreleri

$$B_0 = \frac{\sqrt{h_2}}{K_2}$$

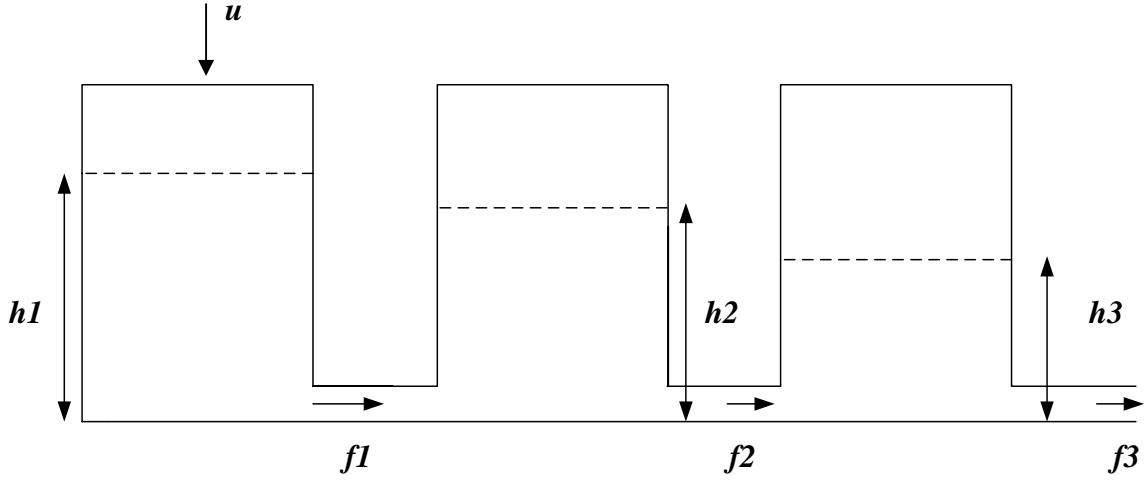
$$A_0 = \frac{A(\sqrt{(h_1 - h_2)h_2})}{K_1 K_2}$$

$$A_1 = A \left[2 \frac{\sqrt{h_2}}{K_2} + \frac{\sqrt{h_1 - h_2}}{K_1} \right]$$

olarak hesaplanır [10, 15, 19, 22, 23]. Görüldüğü üzere doğrusal sistemdeki parametreler birer sabit değildir ve gözlerdeki su düzeylerine bağlıdır. Bu da sisteme doğrusal olmayan bir özellik katmaktadır. Eğer sistem doğrusal olsaydı bütün su düzeyleri için aynı aktarım işlevi geçerli olacaktı, fakat doğrusal olmayan sistemde düzeyler değiştikçe aktarım işlevi de değişecektir. Bu da farklı çalışma noktaları için farklı aktarım işlevleri kullanmayı gerektirmektedir.

3.3 Üç Gözlü Tank Sistemi Eşitlikleri

Şekil 3.10' da verilen ardışık bağlı üç gözlü su tankı sistemini ele alalım.



Şekil 3.10 Üçüncü Derece su Tankı Sistemi

Şekilde u değişkeni sistem girişini; h_1, h_2, h_3 değişkenleri gözlerdeki su düzeylerini f_1, f_2, f_3 değişkenleri ise su akışını göstermektedir. f_1 değişkeni (h_1-h_2) düzey farkıyla; f_2 değişkeni ise (h_1-h_2) ve (h_2-h_3) düzey farklarıyla; f_3 değişkeni ise (h_2-h_3) ve h_3 düzeyleriyle orantılı olsun. Burada h_3 değişkeni yükseklik türünden sistem çıkışını belirtmektedir. Buna göre birinci, ikinci ve üçüncü gözler için,

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1(h_1 - h_2) \quad (3.10)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1(h_1 - h_2) - K_2(h_2 - h_3) \quad (3.11)$$

$$A \frac{dh_3}{dt} = K_2(h_2 - h_3) - K_3 h_3 \quad (3.12)$$

yazılabilir. Burada A parametresi gözlerin sabit kesit alanını göstermektedir ve üç göz için de eşittir. K_1, K_2, K_3 ise birer sabit sayıdır. (3.12)'den h_2 parametresi çekilirse;

$$h_2 = \frac{A}{K_2} \frac{dh_3}{dt} + \frac{K_2 + K_3}{K_2} h_3 \quad (3.13)$$

elde edilir. Bu ve türevi eşitlik (3.11)'de yerine koyulursa

$$h_1 = \frac{A^2}{K_1 K_2} \frac{d^2 h_3}{dt^2} + \frac{A(K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2} \frac{dh_3}{dt} + \frac{K_1 K_2 + K_1 K_3 + K_2 K_3}{K_1 K_2} h_3 \quad (3.14)$$

olur. (3.13) ve (3.14), (3.10)'da yerine yazılırsa ve $h_3=y$ alınırsa üç gözlü su tankı sisteminin doğrusal modeli

$$\frac{1}{K_3} u = \frac{A^3}{K_1 K_2 K_3} \frac{d^3 y}{dt^3} + \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3} \frac{dy}{dt} + y$$

olarak yazılabilir. Laplace dönüşümü alınır ve başlangıç koşulları sıfır kabul edilirse, üç gözlü su tankı sistemi için giriş çıkış arasındaki ilişkiyi veren sürekli zaman aktarım işlevi

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{K_3}}{\frac{A^3}{K_1 K_2 K_3} s^3 + \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3} s^2 + \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3} s + 1}$$

gibi bulunabilir [19]. Burada;

$$B_0 = \frac{1}{K_3}$$

$$A_0 = \frac{A^3}{K_1 K_2 K_3}$$

$$A_1 = \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3}$$

$$A_2 = \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3}$$

olarak alınırsa;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B_0}{A_0s^3 + A_1s^2 + A_2s + 1} \quad (3.15)$$

ifadesi bulunur.

3.4 Sürekli Zaman Sistem Tanıma

Sürekli zamanda tek girişli tek çıkışlı bir sistemi,

$$A(s)Y(s) = B(s)U(s) + E(s) \quad (3.16)$$

biçiminde alalım. Burada $U(s)$ ve $Y(s)$ sırasıyla sistemin giriş ve çıkışını, $E(s)$ ise sistemi etkileyen gürültüye, bozucu etkenlere ve sistemin modellenmemiş dinamiklerine karşılık gelmektedir. $A(s)$ ve $B(s)$ çokterimlileri ise,

$$A(s) = a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n \quad (3.17)$$

$$B(s) = b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_m \quad (3.18)$$

biçiminde yazılabilir. (3.17) çokterimlisinde $a_n=1$ alırsak zaman tanım alanında,

$$y(t) = \varphi^T(t)\theta + e(t) \quad (3.19)$$

olarak yazılabilir. Buna parametreler bakımından doğrusal model denir. Burada parametre ve veri vektörleri sırasıyla,

$$\theta = (b_0 \ b_1 \dots b_m \ a_0 \ a_1 \dots a_{n-1})^T$$

$$\varphi^T = \left(\frac{d^m u(t)}{dt^m} \ \frac{d^{m-1} u(t)}{dt^{m-1}} \ \dots \ u(t) \ - \frac{d^n y(t)}{dt^n} \ - \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} \ \dots \ - \frac{dy(t)}{dt} \right) \quad (3.20)$$

şeklindedir. Görüldüğü üzere veri vektöründe giriş ve çıkış sinyallerinin türevleri yer almaktadır. Türev alma işlemi de sisteme etki eden gürültü ve bozucu etkenleri yükseltir. Bu nedenle veri vektöründeki giriş çıkış sinyalleri yerine bunların uygun bir süzgeçle süzgeçlenmiş hallerinin kullanılması daha yararlı olacaktır. (3.16)'da verilen sistem eşitliği uygun bir süzgeç kullanılarak parametreler bakımından

doğrusal iki model gerçekleştirilebilir. Bu modellerin çıkartılmasına ilişkin iki yöntem verilmiştir [19].

Birinci Yöntem:

Birinci yöntemde $P(s)$ süzgeç çokterimlisini,

$$P(s) = p_0s^n + p_1s^{n-1} + \dots + p_n$$

olarak alalım ve $p_0=a_0$ kabul edelim. Bu durumda (3.16)'da her iki tarafı $P(s)$ 'ye bölersek ve her iki tarafa da $Y(s)$ eklersek,

$$Y(s) + \frac{A(s)Y(s)}{P(s)} = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} + Y(s)$$

olarak yazılabilir. Buradan

$$Y(s) = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + [P(s) - A(s)] \frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} \quad (3.21)$$

olur. (3.21)'deki modeli zaman tanım alanında yazarsak,

$$y(t) = \varphi^T(t)\theta + e_f(t) \quad (3.22)$$

elde edilir. Bu durumda eşitlik (3.22)'de tanımlanan modele göre parametre ve veri vektörleri sırasıyla,

$$\theta = (b_0 \ b_1 \dots \ b_m \ t_1 - a_1 \ t_2 - a_2 \dots \ t_n - a_n)^T$$

$$\varphi^T = \left(\frac{d^m u_f(t)}{dt^m} \ \frac{d^{m-1} u_f(t)}{dt^{m-1}} \dots u_f(t) \ - \frac{d^{n-1} y_f(t)}{dt^{n-1}} \ - \frac{d^{n-2} y_f(t)}{dt^{n-2}} \dots - y_f(t) \right) \quad (3.23)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $y_f(t)$ sistem çıkışının süzgeçten geçirilmiş halini, $u_f(t)$ sistem girişinin süzgeçten geçirilmiş halini, $e_f(t)$ ise hata sinyalinin süzgeçten geçirilmiş halini göstermektedir.

İkinci Yöntem:

Bu yöntemde hem giriş ve hem de çıkış $P(s)$ süzgecinden geçirilmektedir. (3.16)'da her iki tarafa $Y(s)$ eklersek ve her terimi $P(s)$ 'ye bölersek,

$$\frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{A(s)Y(s)}{P(s)} = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} + \frac{Y(s)}{P(s)}$$

bulunur. Bunu düzenlersek

$$\frac{Y(s)}{P(s)} = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + [1 - A(s)] \frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} \quad (3.24)$$

olur. Bunu (3.22)'deki gibi yazarsak

$$y_f(t) = \varphi^T(t)\theta + \varepsilon_f(t)$$

elde edilir. Sırasıyla parametre ve veri vektörlerini yazarsak,

$$\theta = (b_0 \ b_1 \dots b_m \ a_0 \ a_1 \dots a_{n-1})^T$$

$$\varphi^T = \left(\frac{d^m u_f(t)}{dt^m} \ \frac{d^{m-1} u_f(t)}{dt^{m-1}} \dots u_f(t) \ - \frac{d^n y_f(t)}{dt^n} \ - \frac{d^{n-1} y_f(t)}{dt^{n-1}} \dots - \frac{dy_f(t)}{dt} \right) \quad (3.25)$$

olur. Bu ifadede $a_n=1$ alınmıştır ve $P(s)$ 'nin derecesi kestirilecek sistemin derecesinden en az bir büyük seçilmelidir. Çünkü n . dereceden $P(s)$ kullanılarak durum uzayı süzgecinden geçirilecek sinyalin $(n-1)$. dereceden türevleri elde edilebilir. Fakat bu yöntemde çıkış sinyali $Y(s)$ 'in n . dereceden türevi de bize gereklidir. Bu nedenle bu yöntemde süzgecin derecesi $(n+1)$ olacak şekilde seçilir. (3.24)'de bağıntının sol tarafı da süzgeçten geçirilmektedir. Bu nedenle gürültünün ve bozucu etkenlerin çok olduğu sistemlerde bu yöntem daha uygundur. Uygulamada sistem kestirimi yapılırken bu yöntem kullanılmıştır.

Veri vektöründeki parametreler durum değişkeni süzgeci (state variable filter) kullanılarak hesaplanabilir [19]. Örneğin sistem girişinin süzgeçlenmiş türevlerini bulmak istersek,

$$\rho(s) = \frac{1}{P(s)} U(s)$$

olarak yazalım ve bunun durum uzayı gösterimi

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3.26)$$

olur. Burada $P(s)$ 'yi üçüncü dereceye kadar ve $p_0=1$ alırsak,

$$A = \begin{bmatrix} -t_1 & -t_2 & -t_3 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur. (3.26) gösterimindeki durum vektörü girişin süzgeçten geçirilmiş halini ve türevlerini içermektedir.

$$x = \begin{bmatrix} \ddot{\rho} \\ \dot{\rho} \\ \rho \end{bmatrix}$$

Bu şekilde giriş ve çıkış sinyallerinin süzgeçlenmiş türevleri kolaylıkla bulunabilir [19].

Parametreler bakımından doğrusal model elde edildikten sonra, *Sürekli Zaman En Küçük Kareler (SZEKK)* parametre kestirim algoritması kullanılarak sistem modeli parametreleri bulunabilir.

Eşitlik (3.19)'daki model alınır ve t anındaki kestirilen parametreler $\hat{\theta}$ olarak kabul edilirse, kestirim hatası

$$\varepsilon(t, \tau) = y(\tau) - \varphi(\tau) \hat{\theta}(t)$$

olarak tanımlanır. SZEKK yöntemi,

$$J(\hat{\theta}(t), t) = \frac{1}{2} e^{-\beta t} (\hat{\theta}(t) - \hat{\theta}_0)^T S_0 (\hat{\theta}(t) - \hat{\theta}_0) + \frac{1}{2} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varepsilon^2(t, \tau) d\tau \quad (3.27)$$

maliyet işlevini kullanarak kestirim hatasını en küçük yapan $\hat{\theta}(t)$ vektörünü bulmaya çalışır. Kestirim hatası ne kadar küçükse kestirilen sistem gerçek sisteme o kadar yakınsıyor demektir. (3.27)'de

β sabit unutmama katsayısını,

$\hat{\theta}_0$ başlangıç anındaki parametre kestirimi vektörünü,

S_0 başlangıç anındaki bilgi matrisini göstermektedir.

β sıfırdan büyük bir sayı, $\hat{\theta}_0$ genellikle sıfır alınır. S_0 başlangıç bilgi matrisi ise αI biçiminde alınır. Burada α sıfıra çok yakın bir sabit sayı, I ise uygun boyutlu birim matrisdir.

(3.27) deki maliyet işlevini kullanarak kestirim hatasını en küçük yapan $\hat{\theta}(t)$,

$$S(t) = e^{-\beta t} S_0 + \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varphi(\tau) \varphi(\tau)^T d\tau \quad (3.28)$$

olmak üzere

$$\hat{\theta}(t) = S^{-1}(t) \left[e^{-\beta t} S_0 \hat{\theta}_0 + \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varphi(\tau) y(\tau) d(\tau) \right] \quad (3.29)$$

biçiminde hesaplanabilir Burada $S(t)$ bilgi matrisini, $\hat{\theta}(t)$ ise kestirilen parametre vektörünü göstermektedir. (3.28) ile (3.29) SZEKK yöntemini tanımlar.

Bunlar kullanılarak $t+h$ anındaki parametre ve bilgi matrisleri özyineli (recursive) olacak şekilde yeniden düzenlenebilir. (3.28) ve (3.29)'dan $t+h$ anındaki bilgi ve parametre matrisleri

$$S(t+h) = e^{-\beta h} S(t) + \int_h^{t+h} e^{-\beta(t+h-\tau)} \varphi(\tau) \varphi(\tau)^T d\tau \quad (3.30)$$

$$\hat{\theta}(t+h) = \hat{\theta}(t) + S^{-1}(t+h) \int_t^{t+h} e^{-\beta(t+h-\tau)} \varphi(\tau) \left[y(\tau) - \varphi(\tau)^T \hat{\theta}(t) \right] d\tau \quad (3.31)$$

biçiminde hesaplanabilir [19]. Burada h örnekleme aralığıdır.

SZÖEKK yönteminde $P(s)$ süzgecinin bant genişliğinin sistemin bant genişliğine yakın seçilmesi gerekmektedir. $P(s)$ süzgecinin kutupları sistem bant genişliğine yakın olacak şekilde deneme yanılma yoluyla bulunabilir. Örnekleme zamanı ise sistemin zaman sabitinin onda birinden daha küçük seçilebilir.

4 BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde ikinci ve üçüncü derece örnek aktarım işlevlerinin Sürekli Zaman Özyineli En Küçük Kareler (SZÖEKK) kestirim yöntemi kullanılarak kestirimi

yapılmıştır. Benzetim çalışmaları yapılırken Altbölüm 3.4'de anlatılan 2.yöntem kullanılmıştır. Kestirim yapılırken örnekleme zamanının ve kestirimde kullanılan süzgecin etkileri incelenmiştir. Süzgeç çokterimlisinin sistemin bant genişliğine yakın değerleri için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Değişik örnekleme zamanları için benzetim çalışmaları tekrarlanmıştır.

4.1 İkinci Derece Aktarım İşlevi Benzetim Sonuçları

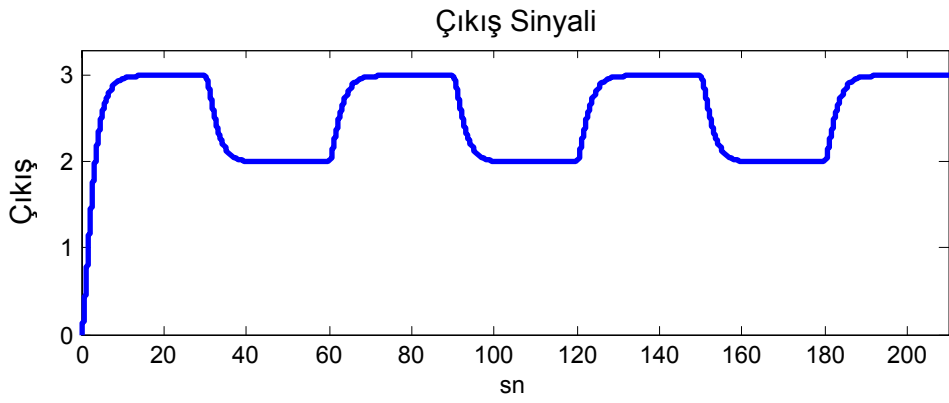
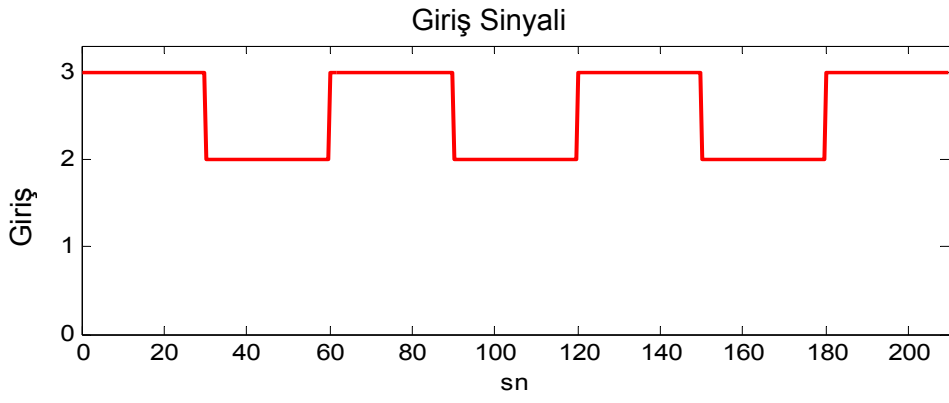
Benzetim çalışmaları yapılırken ilk olarak gerçek kutupları -1 ve -0.5 'de olan kararlı ikinci derece sistem,

$$\frac{1}{2s^2 + 3s + 1} \quad (4.1)$$

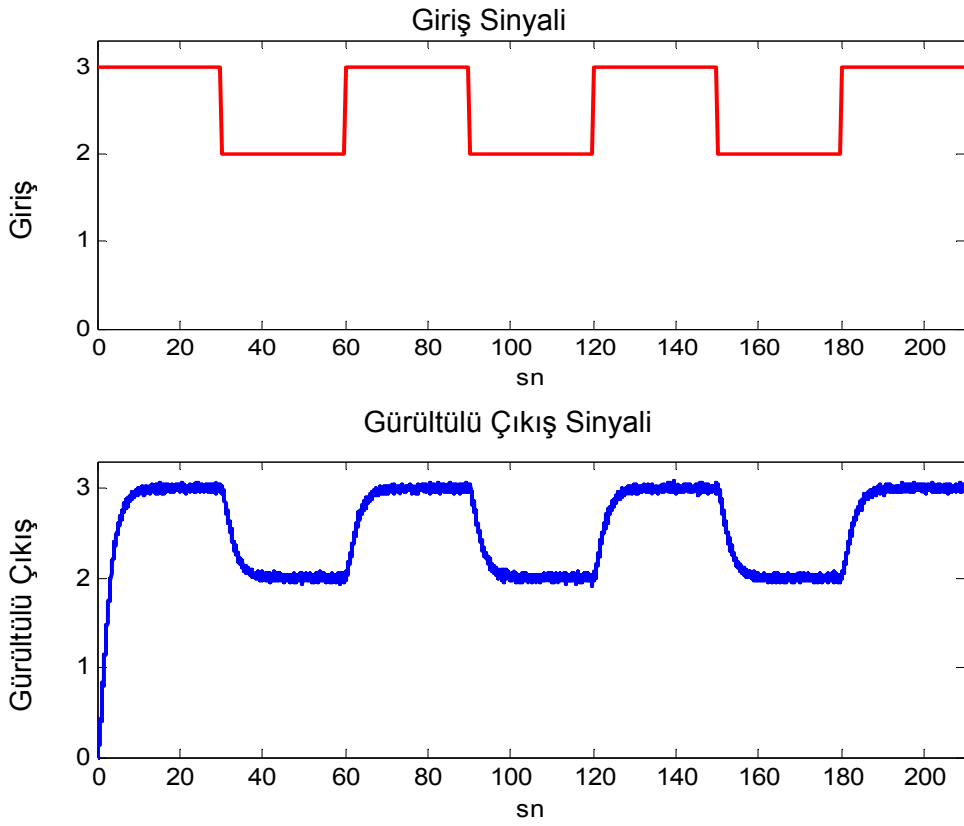
alınmıştır. Bu aktarım işlevinin kestirimi örnekleme zamanı ve süzgeç çokterimlisi değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Süzgeç çokterimlisinin etkisini daha iyi gözlemleyebilmek için sisteme SNR'ı 42 dB olan sıfır ortalamalı Gauss gürültü eklenmiştir. Şekil 4.1'de örnekleme zamanı $h=0.02$ için sisteme uygulanan giriş sinyali ve sistem çıkışı gösterilmektedir. Şekil 4.2'de ise giriş sinyali ve SNR'ı 42 dB olan ve sıfır ortalamalı Gauss gürültü eklenerek elde edilen çıkış sinyali gösterilmiştir. SNR,

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 \dots y_n^2)}{(g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 \dots g_n^2)} \right)$$

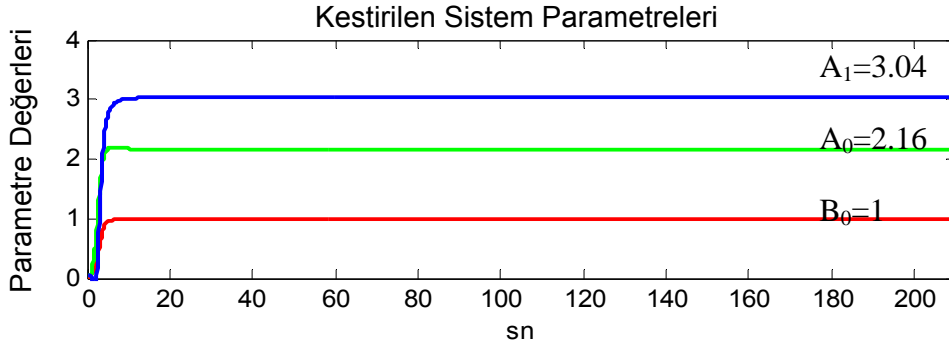
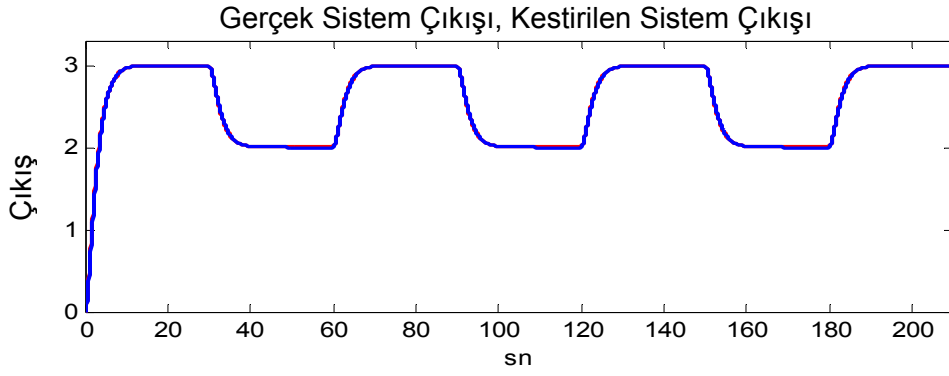
biçiminde hesaplanmıştır. Burada $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ her örnekleme aralığı için sinyalin değerlerini, $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ ise gürültünün değerlerini göstermektedir. Şekil 4.3-4.5'da sırasıyla $h=0.1, 0.5, 1$ saniye için benzetim çalışmaları yapılmıştır. $h=0.1$ 'den küçük değerler için çıkış sinyalleri bütünüyle örtüşmektedir. Burada kırmızı çizgi gerçek sistem çıkışını mavi çizgi ise (3.30) ve (3.31)'deki SZÖEKK kullanılarak elde edilen kestirilmiş sistem çıkışını göstermektedir. Burada $\beta = 0, \alpha = 0.00001$, süzgeç çokterimlisi ise $(s+2)^3$ seçilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere örnekleme aralığı arttıkça kestirilen sistem çıkışı kötüleşmektedir. Bunun nedeni ise giriş ve çıkış sinyallerinden daha az örnek alınmasıdır.



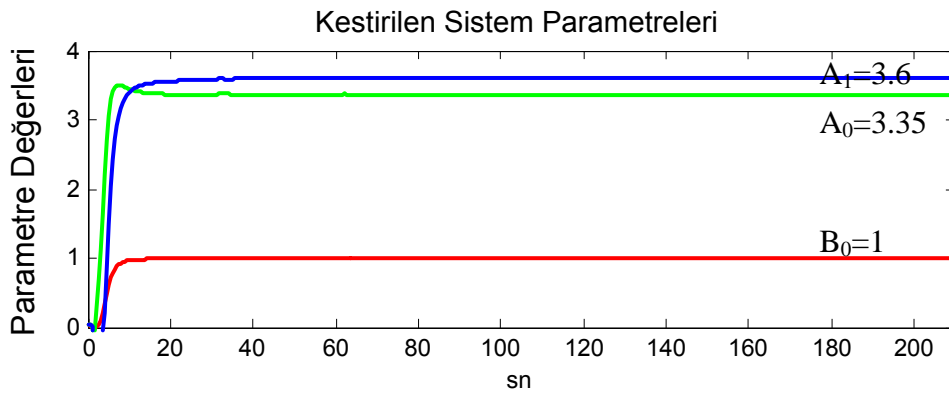
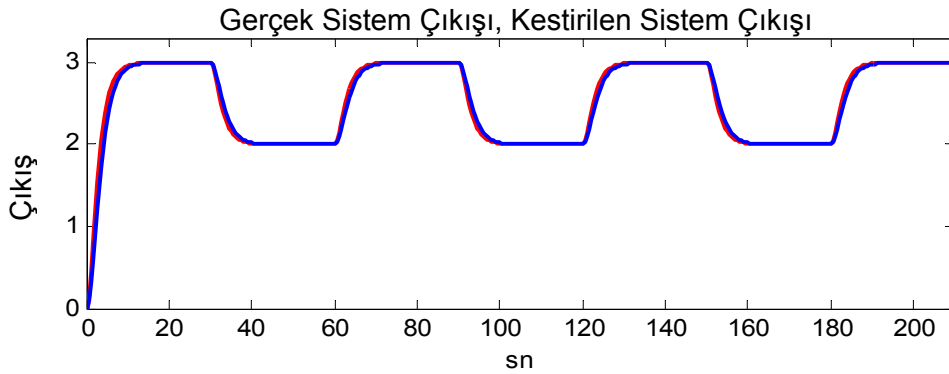
Şekil 4.1 (4.1)'de Verilen Aktarım İşlevi İçin Giriş Çıkış Sinyalleri



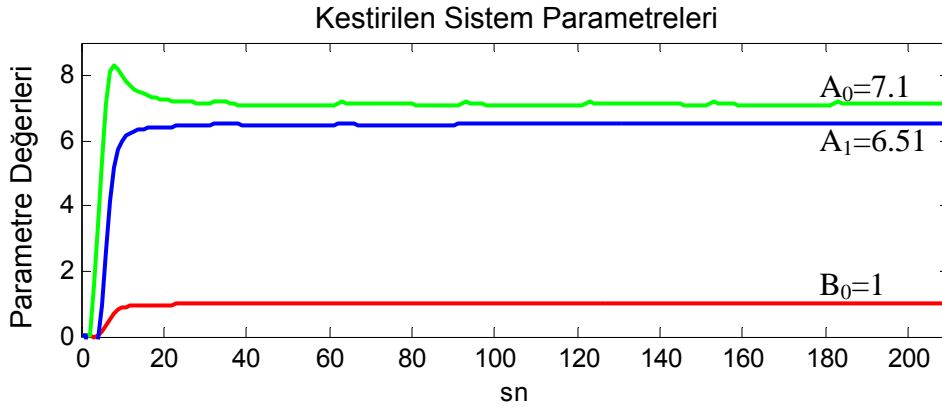
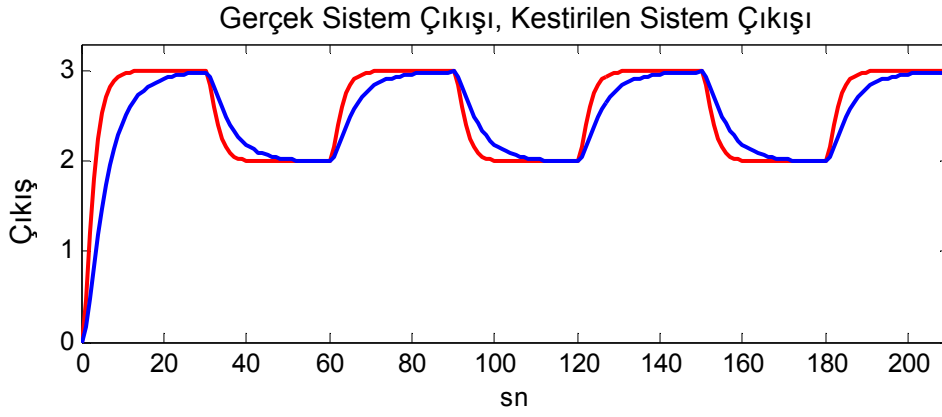
Şekil 4.2 (4.1)'de Verilen Aktarım İşlevi İçin Giriş ve Gürültü Eklenmiş Çıkış Sinyalleri



Şekil 4.3 $h=0.1$ sn İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

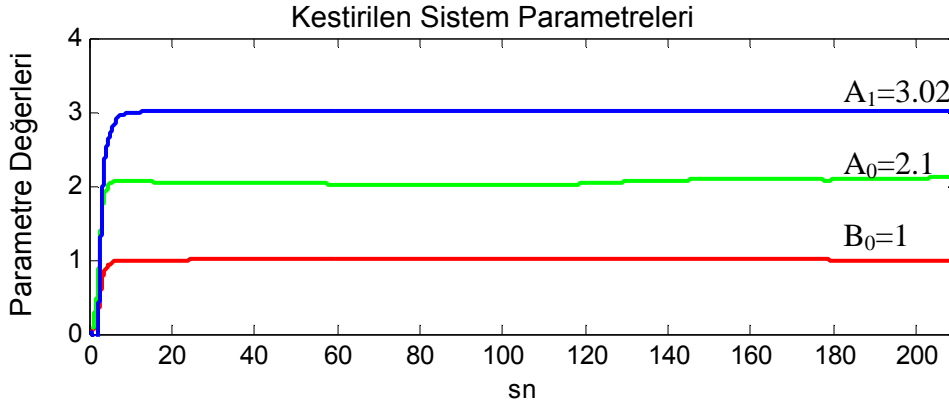
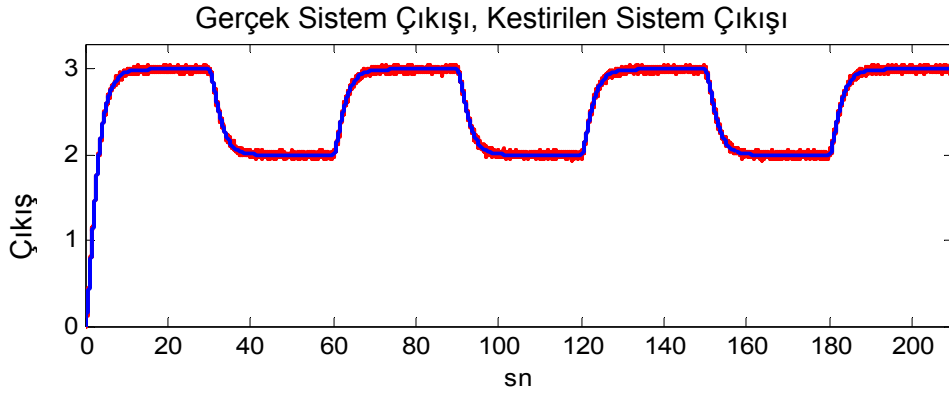


Şekil 4.4 $h=0.5$ sn İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

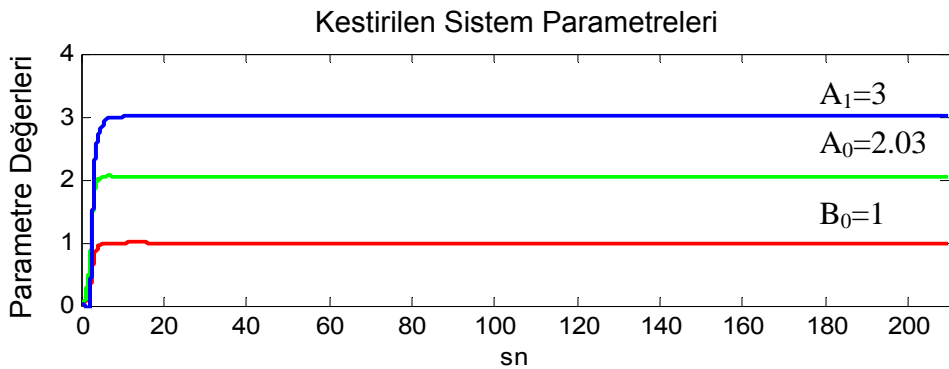
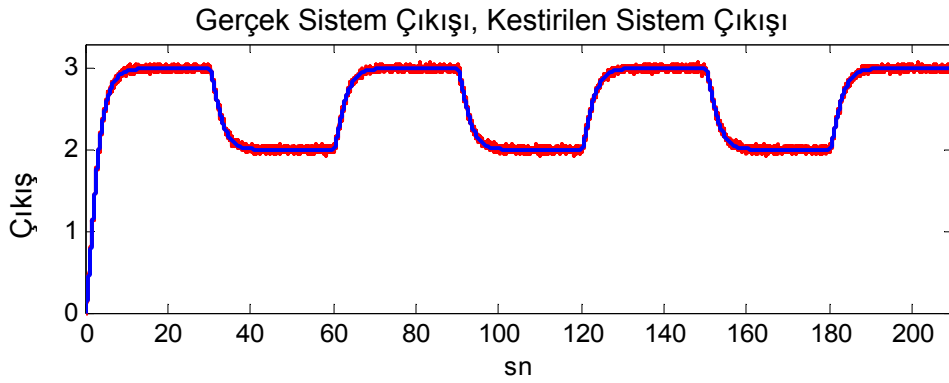


Şekil 4.5 $h=1$ sn için 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

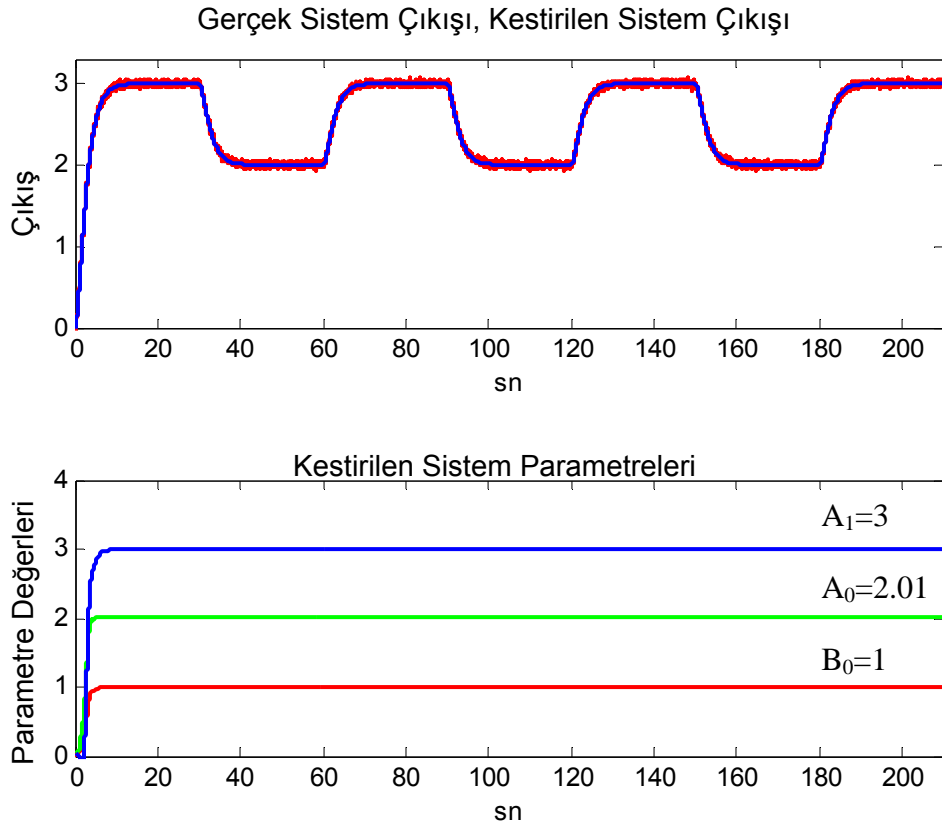
Şekil 4.6-4.8'de ise Şekil 4.2'de verilen giriş çıkış sinyalleri kullanılarak süzgeç çokterimlisinin kestirime etkisi irdelenmiştir. Burada süzgeç çokterimlisi sırasıyla $(s+0.05)^3$, $(s+0.5)^3$, $(s+1)^3$ olarak seçilmiştir. Örnekleme aralığı 0.02 saniye olarak alınmıştır. Şekillerden de görüldüğü gibi en iyi kestirim süzgeç çokterimlisi $(s+1)^3$ olarak seçildiğinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.6 $P(s)=(s+0.05)^3$ İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri



Şekil 4.7 $P(s)=(s+0.5)^3$ İçin 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri



Şekil 4.8 $P(s)=(s+1)^3$ için 2. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

Çizelge 4.1'de kestirimde kullanılan örnekleme aralıkları ve süzgeç çokterimliliği için kestirilen sistem parametreleri topluca verilmiştir.

Çizelge 4.1 İkinci Derece Sistemde Değişik Örnekleme Zamanı ve Süzgeç Çokterimlileri İçin Kestirilen Sistem Parametreleri

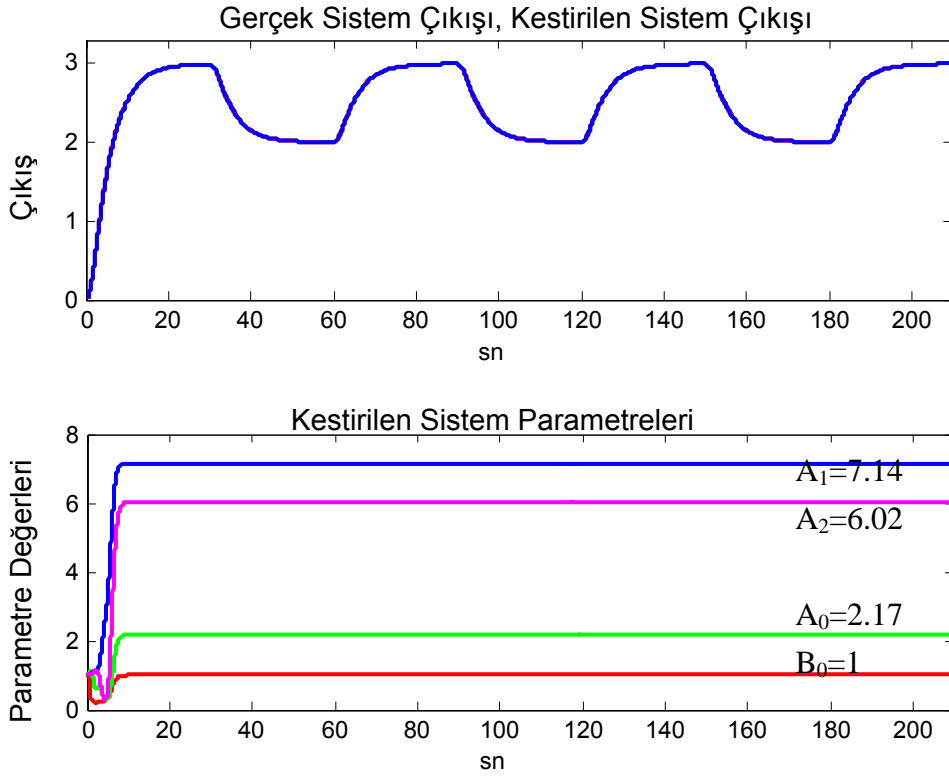
Örnekleme Zamanı	Süzgeç Çokterimlisi	Kestirilen Sistem Parametreleri
$h=0.1$	$(s+2)^3$	$B_0=1$ $A_0=2.16$ $A_1=3.04$
$h=0.5$	$(s+2)^3$	$B_0=1$ $A_0=3.35$ $A_1=3.6$
$h=1$	$(s+2)^3$	$B_0=1$ $A_0=7.1$ $A_1=6.51$
$h=0.02$	$(s+0.05)^3$	$B_0=1$ $A_0=2.1$ $A_1=3.02$
$h=0.02$	$(s+0.5)^3$	$B_0=1$ $A_0=2.03$ $A_1=3$
$h=0.02$	$(s+1)^3$	$B_0=1$ $A_0=2.01$ $A_1=3$

4.2 Üçüncü Derece Aktarım İşlevi Benzetim Sonuçları

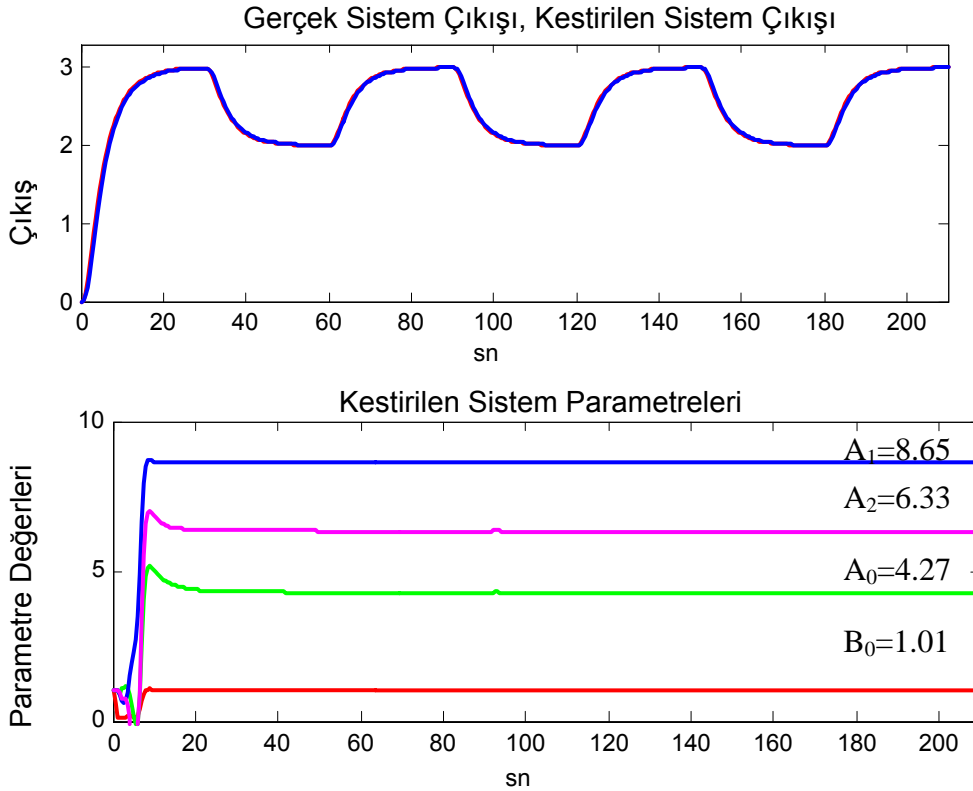
Benzetim çalışmalarında ikinci olarak ise kutupları -2.28 , -1 ve -0.2192 'de olan 3.derece sistem,

$$\frac{1}{2s^3 + 7s^2 + 6s + 1} \quad (4.2)$$

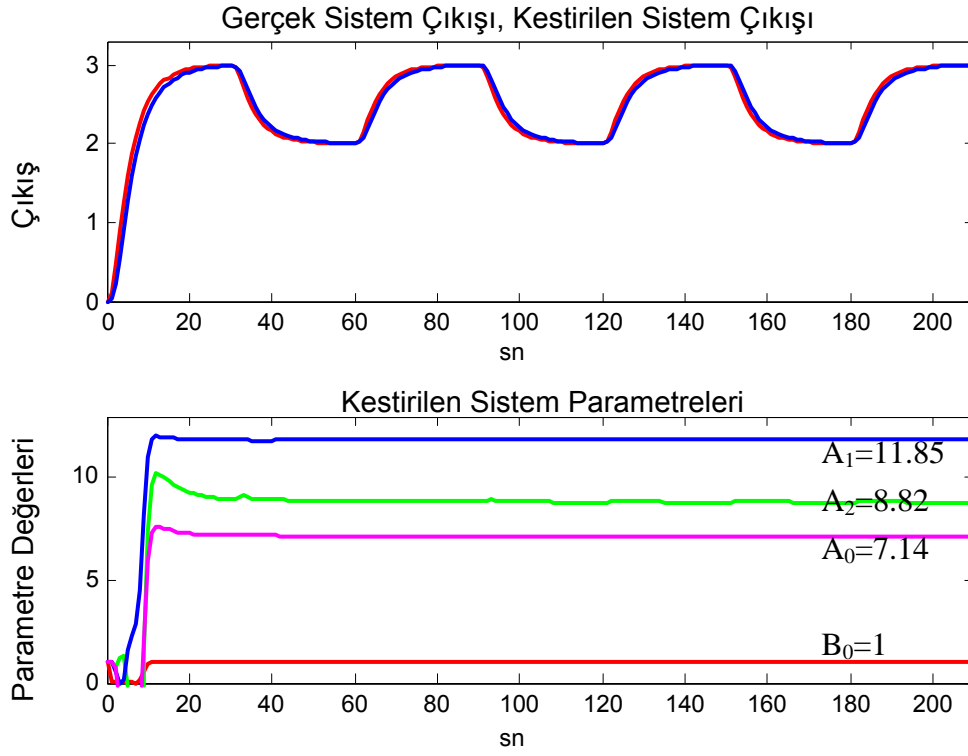
alınmıştır. Sisteme Şekil 4.1 ve 4.2'deki girişler uygulanıp örnekleme zamanı ve süzgeç çokterimlisinin etkilerine bakılmıştır. İlk olarak sisteme Şekil 4.1'deki giriş uygulanıp örnekleme zamanı $h=0.05$, 0.5 , 1 saniye için kestirim sonuçları karşılaştırılmıştır. Örnekleme zamanı büyüdükçe sistem kestiriminin kötüleştiği görülmüştür. Şekil 4.9-4.11'de 3. derece sistem için kestirim sonuçları verilmiştir. Burada kırmızı çizgi gerçek sistem çıkışını, mavi çizgi ise (3.30) ve (3.31)'deki SZÖEKK kullanılarak elde edilen kestirilmiş sistem çıkışını göstermektedir. Kestirim algoritmasında $\beta = 0$, $\alpha = 0.00001$, süzgeç çokterimlisi ise $(s+1)^4$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.9 $h=0.05$ sn İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

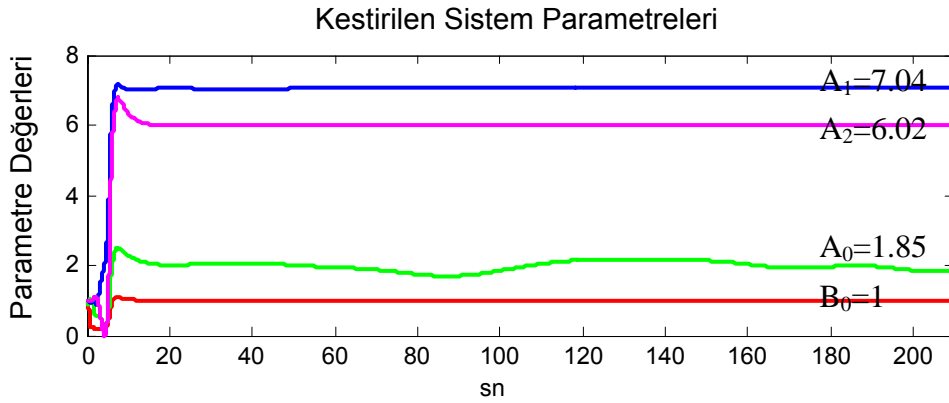
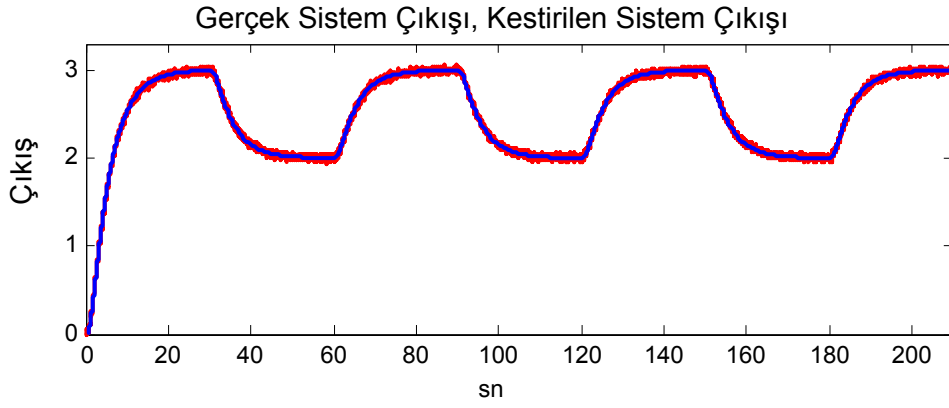


Şekil 4.10 $h=0.5$ sn İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

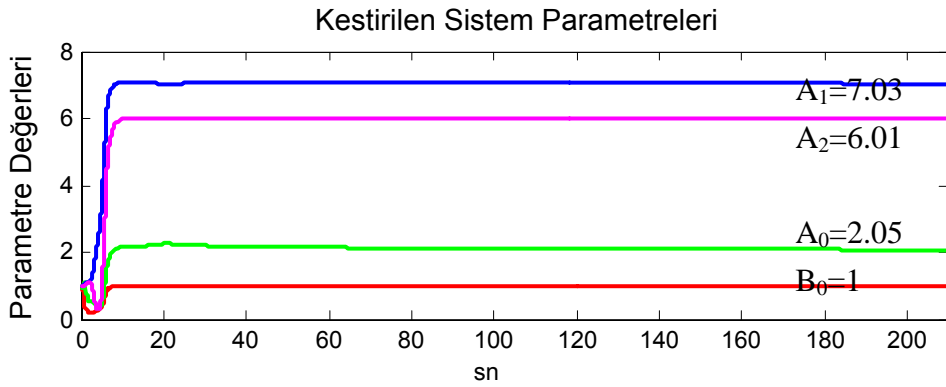
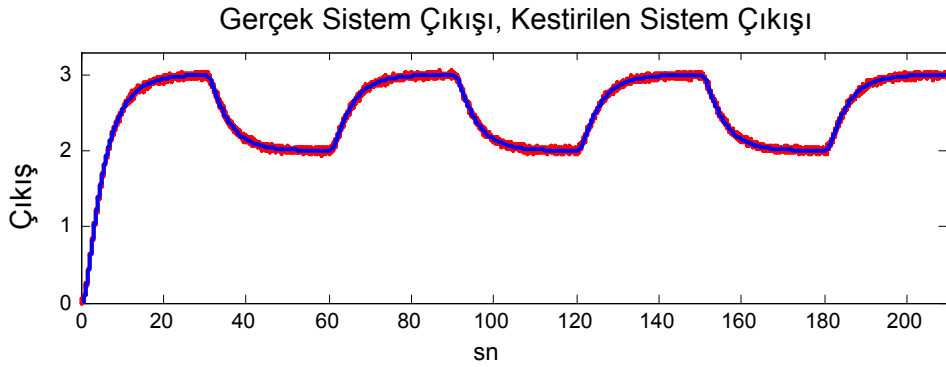


Şekil 4.11 $h=1$ sn için 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

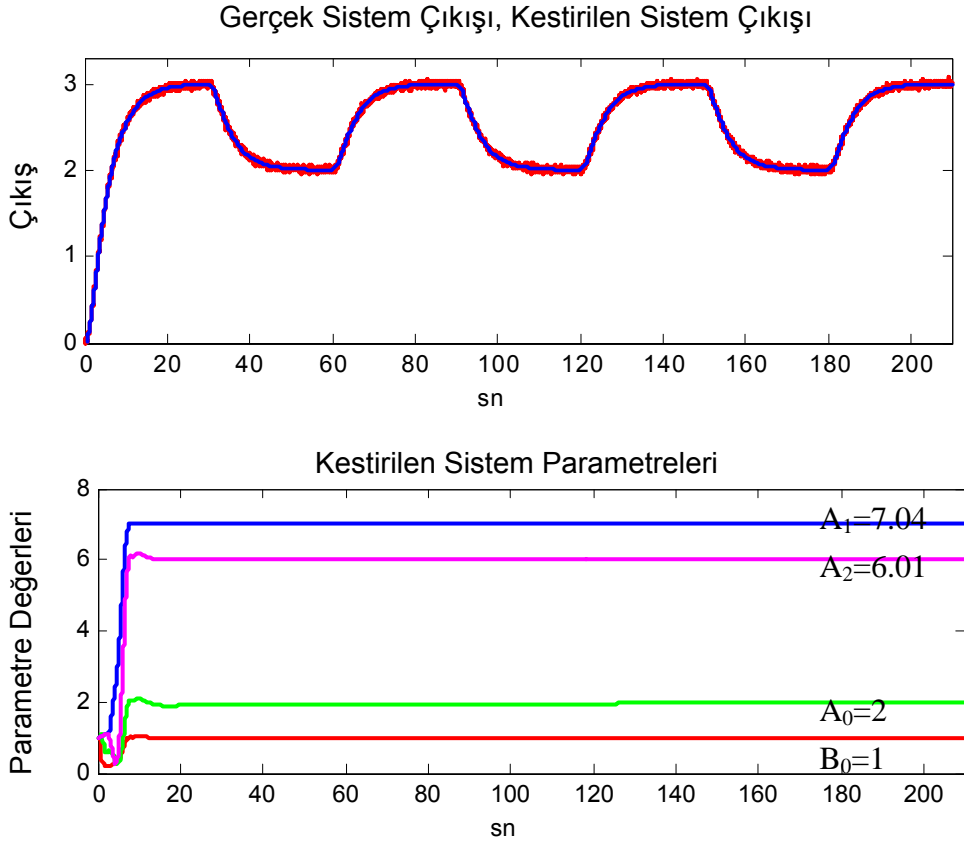
Şekil 4.12-4.14'de, Şekil 4.2'de verilen giriş sinyali kullanılarak süzgeç çokterimlisinin kestirime etkisi irdelenmiştir. Burada süzgeç çokterimlisi sırasıyla $(s+0.05)^4$, $(s+0.5)^4$, $(s+1)^4$ olarak seçilmiştir. Örnekleme aralığı 0.02 saniye olarak alınmıştır. Şekillerden de görüldüğü gibi en iyi kestirim süzgeç çokterimlisi $(s+1)^4$ olarak seçildiğinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.12 $P(s)=(s+0.05)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri



Şekil 4.13 $P(s)=(s+0.5)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri



Şekil 4.14 $P(s)=(s+1)^4$ İçin 3. Derece Gerçek Sistem Çıkışı, Kestirilen Sistem Çıkışı ve SZÖEKK Kullanılarak Kestirilen Sistem Parametreleri

Çizelge 4.2'de kestirimde kullanılan örnekleme aralıkları ve süzgeç çokterimlileri için kestirilen sistem parametreleri topluca verilmiştir.

Çizelge 4.2 Üçüncü Derece Sistemde Değişik Örnekleme Zamanı ve Süzgeç Çokterimlileri İçin Kestirilen Sistem Parametreleri

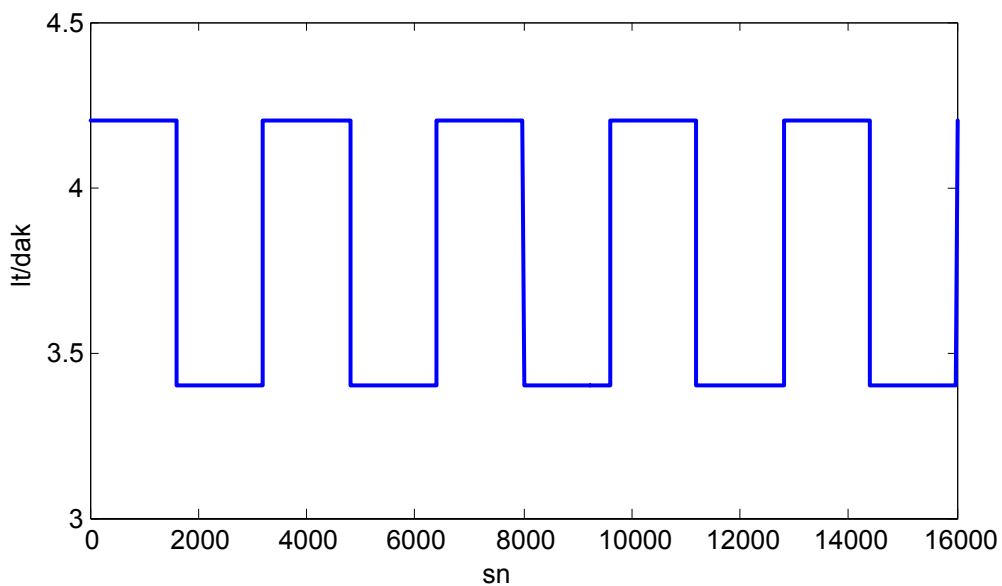
Örnekleme Zamanı	Süzgeç Çokterimlisi	Kestirilen Sistem Parametreleri
$h=0.05$	$(s+1)^4$	$B_0=1$ $A_0=2.17$ $A_1=7.14$ $A_2=6.02$
$h=0.5$	$(s+1)^4$	$B_0=1$ $A_0=4.27$ $A_1=8.65$ $A_2=6.33$
$h=1$	$(s+1)^4$	$B_0=1$ $A_0=7.14$ $A_1=11.85$ $A_2=8.82$
$h=0.02$	$(s+0.05)^4$	$B_0=1$ $A_0=1.85$ $A_1=7.04$ $A_2=6.02$
$h=0.02$	$(s+0.5)^4$	$B_0=1$ $A_0=2.05$ $A_1=7.03$ $A_2=6.01$
$h=0.02$	$(s+1)^4$	$B_0=1$ $A_0=2$ $A_1=7.04$ $A_2=6.01$

5 UYGULAMA SONUÇLARI

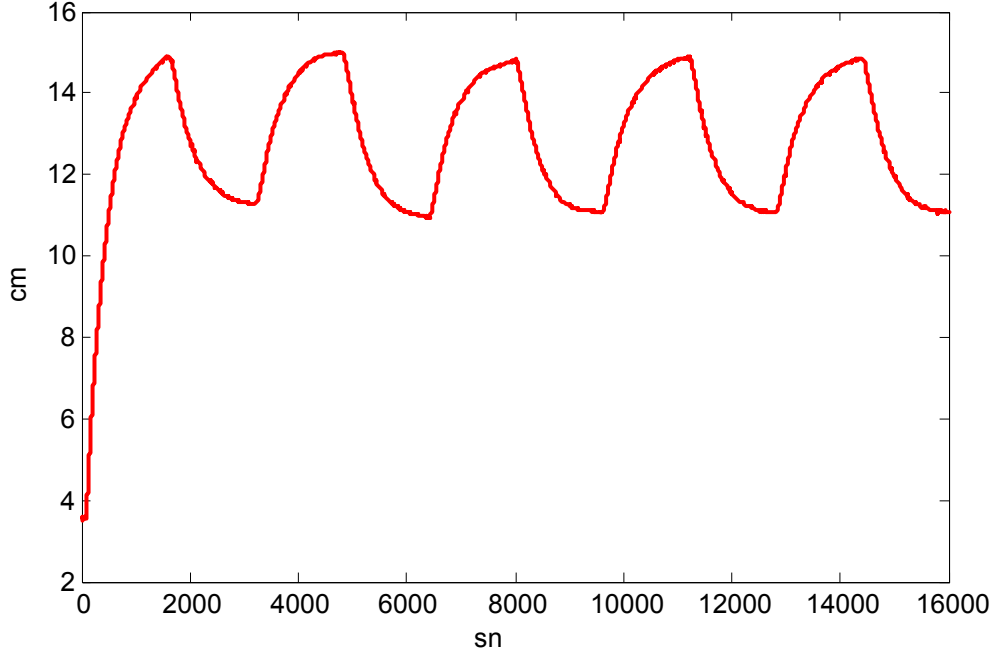
Bu bölümde, 3. bölümde tanıtılan iki gözlü ve üç gözlü su tankı sisteminin kestirimi ve iki serbestlik dereceli denetleç ile denetlenmesi deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. İki gözlü su tankı sistemi ikinci dereceden bir fiziksel sistem özelliği göstermektedir ve kestirim yapılırken (3.9)'da verilen model kullanılmıştır. Üç gözlü su tankı sistemi ise üçüncü derece bir aktarım işlevi ile modellenebilmektedir. Bu sistem modellenirken (3.15) kullanılmıştır.

5.1 İkinci Derece Su Tankı Sistemi Uygulama Sonuçları

Şekil 3.2'deki 1 ve 2 numaralı gözler seçilerek sıvı tankı sistemi modellenirken, sisteme Şekil 5.1'deki periyodu 27 dakika ve genliği (3.4-4.2 lt/dak)-lık kare dalga giriş sinyali uygulanmış ve Şekil 5.2'de görülen çıkış sinyali elde edilmiştir. Çalışmada çıkış sinyali ikinci gözden alınmıştır bu nedenle sistemde sıfır bulunmamaktadır. Sistem ikinci dereceden bir aktarım işleviyle modellenmeye çalışılmış ve bu amaç için (3.9)'da verilen aktarım işlevi kullanılmıştır. Alt bölüm 3.1'de belirtildiği gibi algılayıcı 3.5 cm'den sonra ölçüm yapmaya başlamaktadır. Çıkış sinyalinden görüldüğü gibi bir süre ölçüm alınamamış ve 3.5 cm'den sonra ölçüm alınmaya başlamıştır. Bu giriş ve çıkış sinyalleri kullanılarak sistem modellenmeye çalışılmıştır. (3.30) ve (3.31)'de verilen SZÖEKK kestirimi uygulamasında süzgeç çokterimlisi $(s+0.025)^3$, örnekleme zamanı $h=1$ saniye, $\beta = 0$, $\alpha = 0.00001$ alınmıştır.

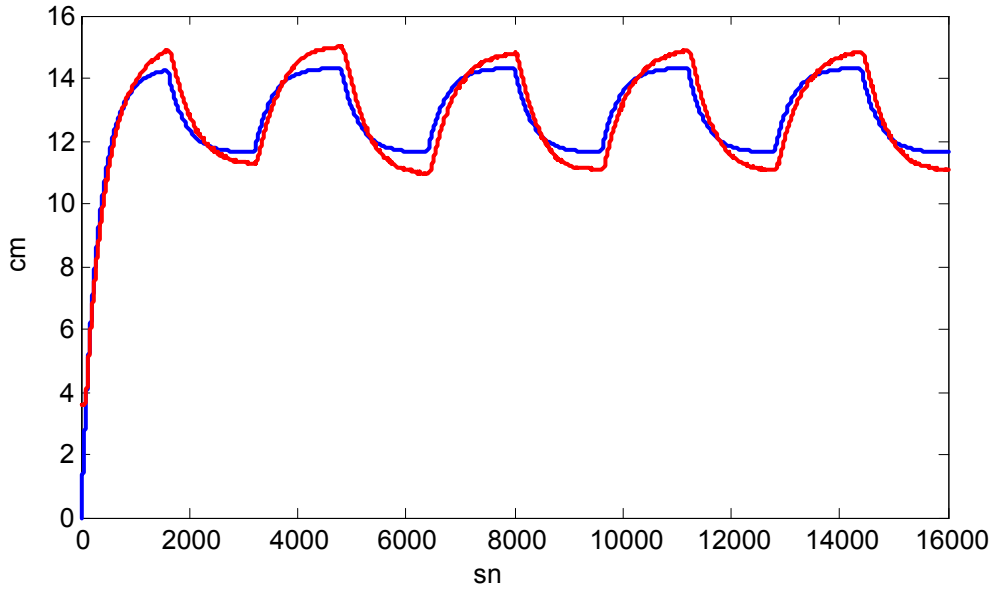


Şekil 5.1 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali

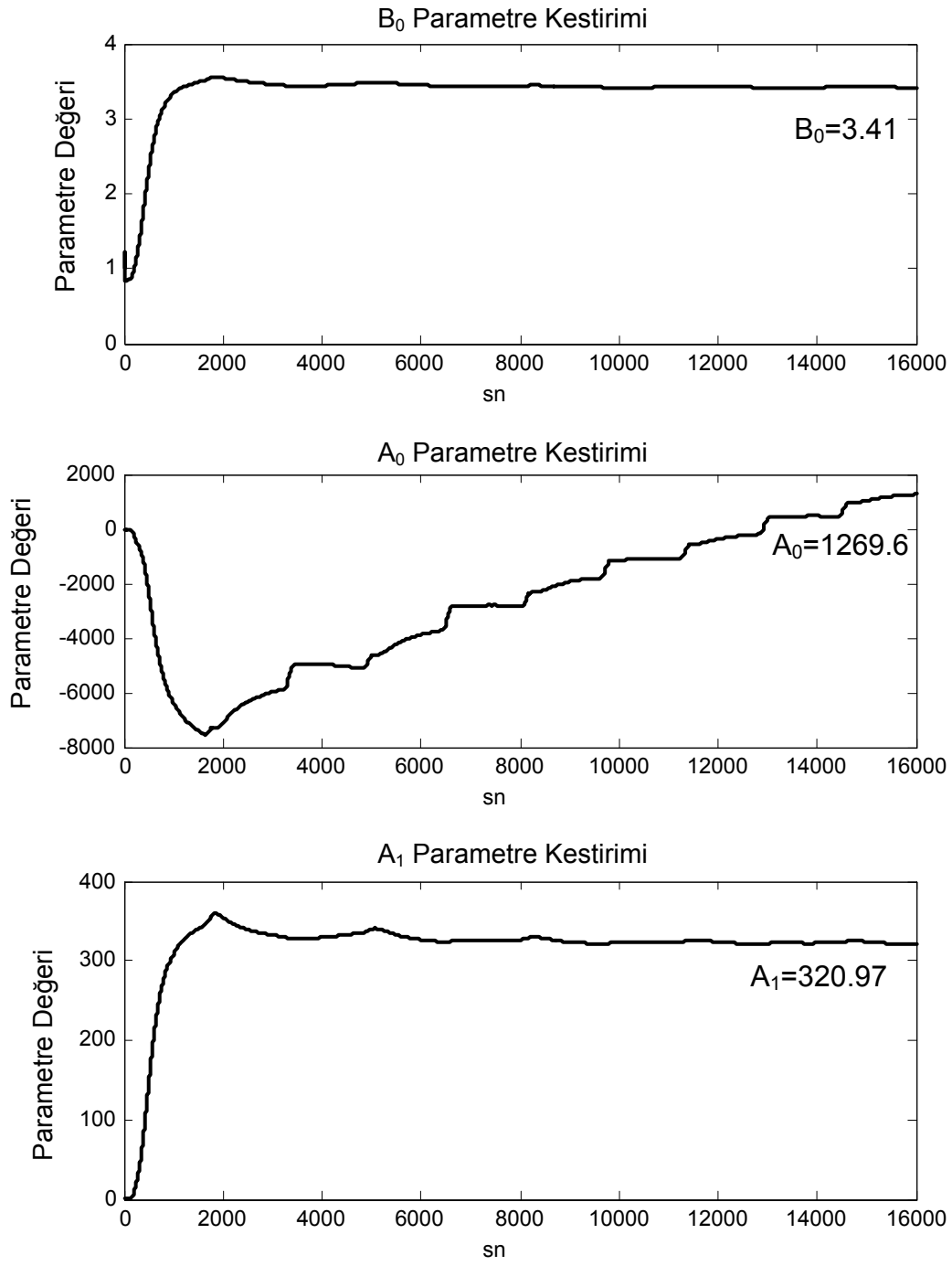


Şekil 5.2 İkinci Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali

Bu giriş ve çıkış sinyalleri kullanılarak sistem kestirimi yapıldığında Şekil 5.3 elde edilmiştir. Burada kırmızı çizgi gerçek sistem çıkışını mavi çizgi ise kestirilen sistem çıkışını göstermektedir. Şekil 5.4'de ise kestirilen sistem parametreleri sırasıyla verilmiştir.



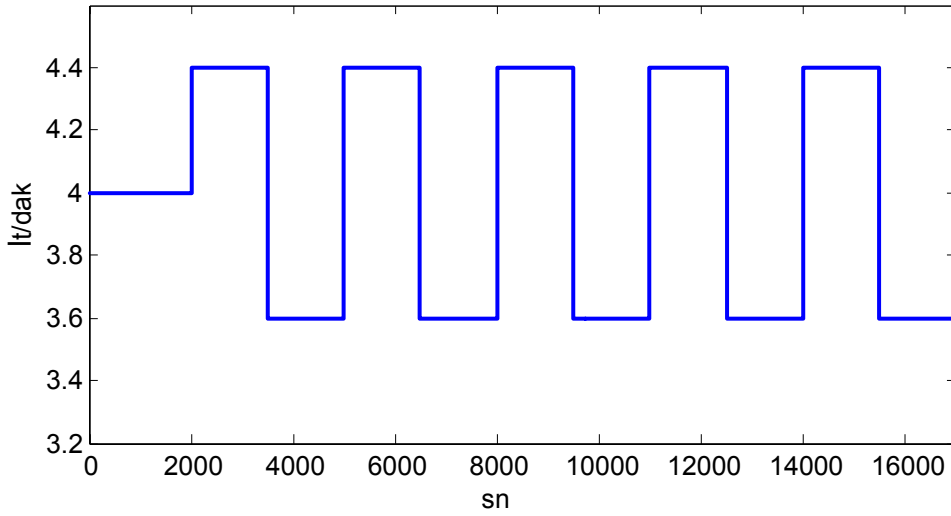
Şekil 5.3 Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı



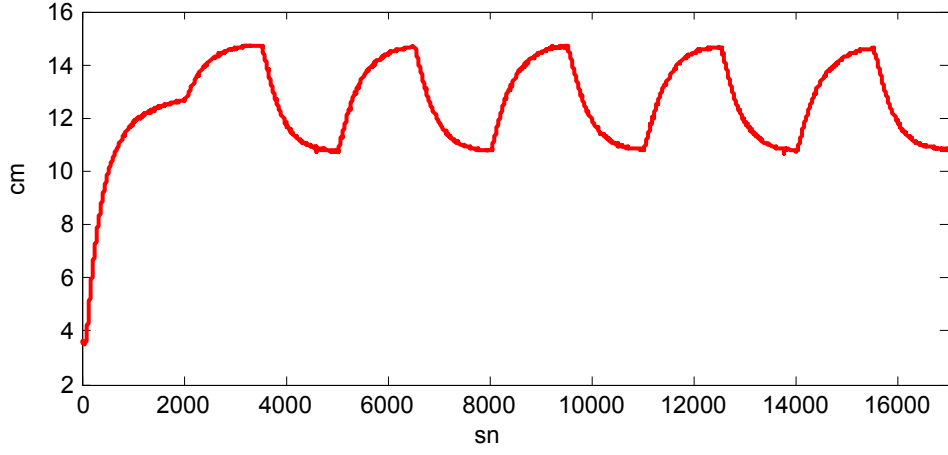
Şekil 5.4 B_0 , A_0 , A_1 Parametre Kestirimleri

Şekillerden de görüldüğü gibi sistem kestirimi başarılı olmamaktadır. Gerçek sistem çıkışı ile kestirilen sistem çıkışı örtüşmemektedir.

Sistem parametrelerinin Alt bölüm 3.2’de anlatıldığı gibi gözlerdeki su düzeylerine bağlı olması, su motorunun farklı sıcaklıklarda farklı çalışma özelliklerine sahip olması ve vanalardaki bağlantılar nedeniyle sistem yoğun bir doğrusal olmayan özellik göstermektedir. Bu nedenlerden ötürü Şekil 3.1 ve 3.2’deki giriş çıkış sinyalleri kullanılarak sistem modellenememiştir. Bunun yerine sistem doğrusal olmayan özellikleri azaltmak için dar bir çalışma aralığında küçük sinyal analizi yapılarak modellenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla sisteme Şekil 5.5’deki giriş sinyali uygulanmış ve Şekil 5.6 daki çıkış sinyali elde edilmiştir. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi sisteme yaklaşık 33 dakikalık 4lt/dak genliğe sahip sabit karedalga giriş uygulanmış ve sistem çıkışının durgun duruma gelmesi beklenmiştir. Daha sonra periyodu 25 dakika olan ve genliği (3.6-4.4 lt/dak)-lık kare dalga uygulanmıştır.

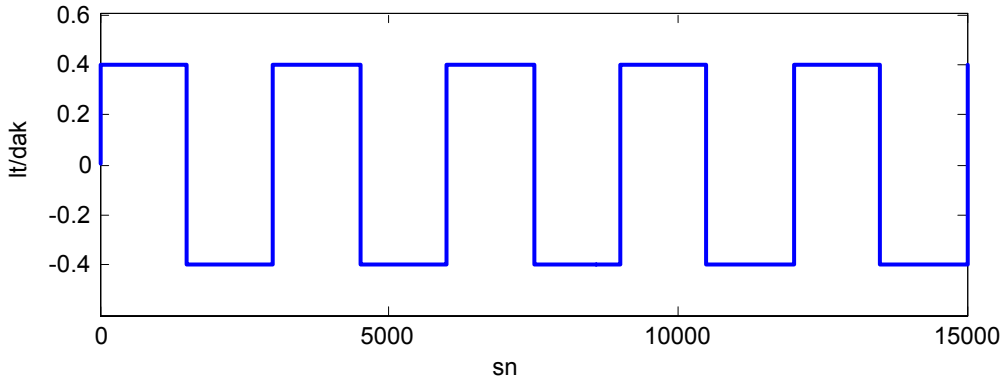


Şekil 5.5 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali

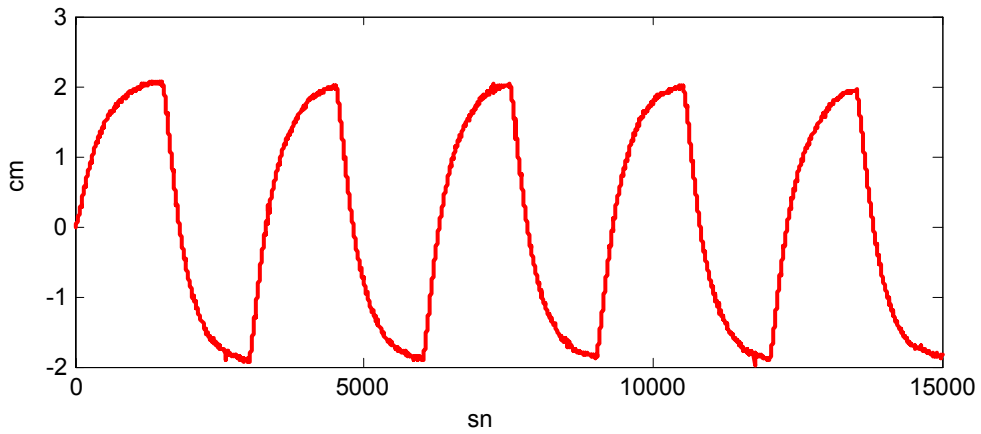


Şekil 5.6 İkinci Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali

Daha sonra giriş sinyalinden 4 lt/dak değeri, çıkış sinyalinden de kalıcı durum değeri olan 12.8 cm çıkartılarak Şekil 5.7 ve 5.8 deki sinyaller elde edilmiştir.

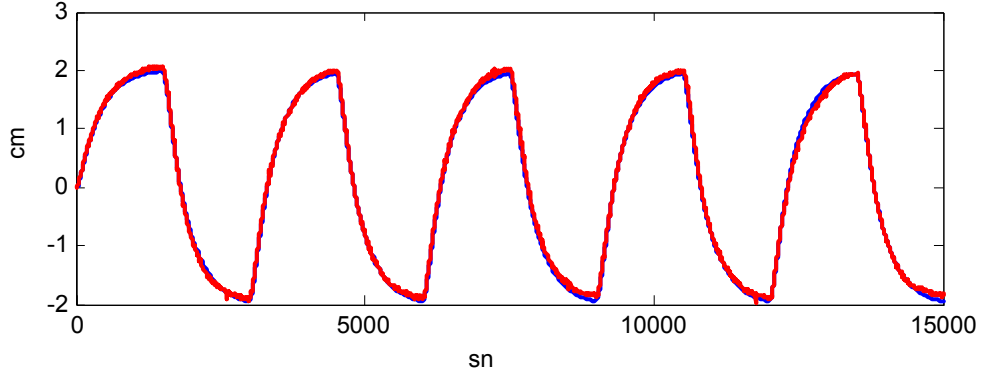


Şekil 5.7 İkinci Derece Sisteme Uygulanan Sıfıra Kaydırılmış Giriş Sinyali

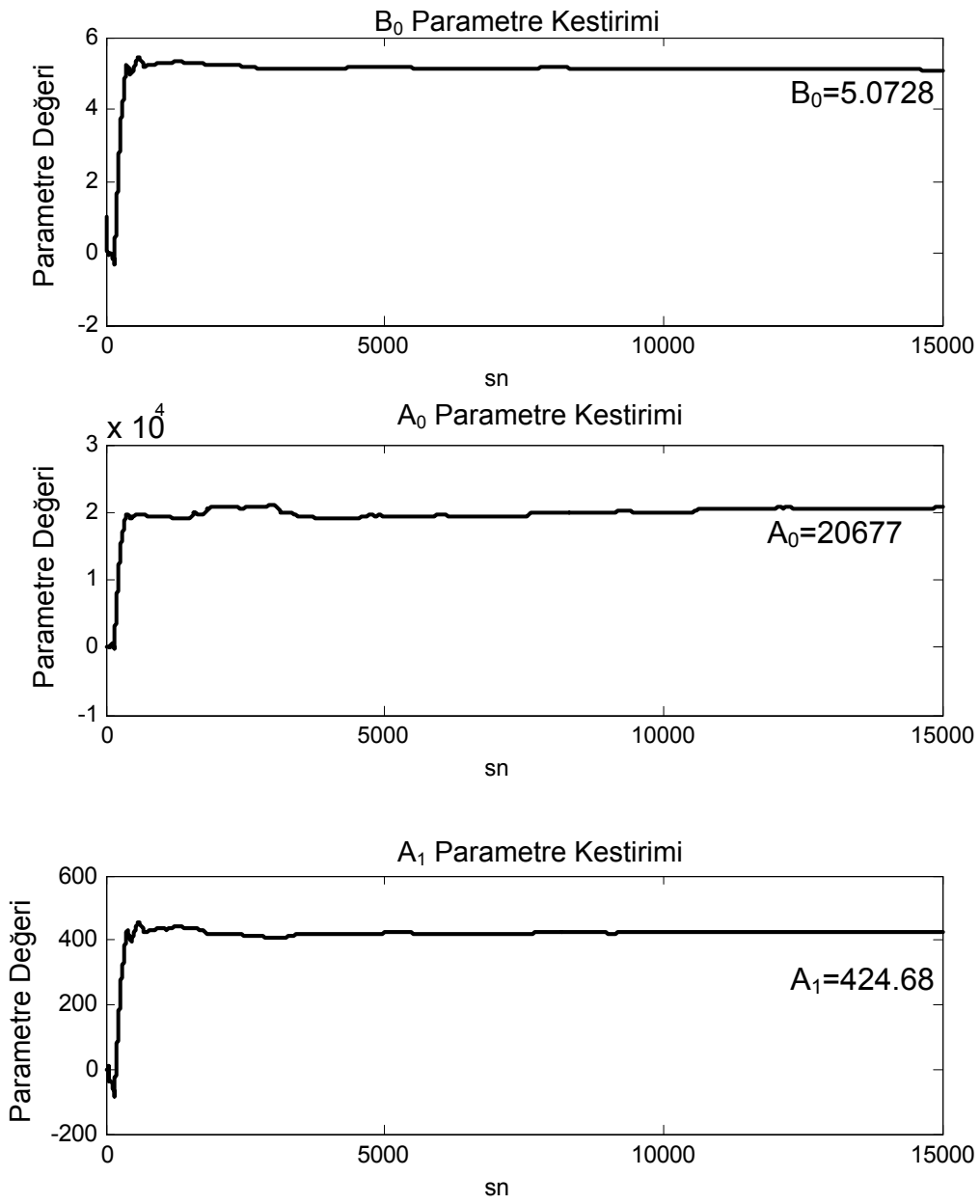


Şekil 5.8 İkinci Derece Sistemden Alınan Sıfıra Kaydırılmış Çıkış Sinyali

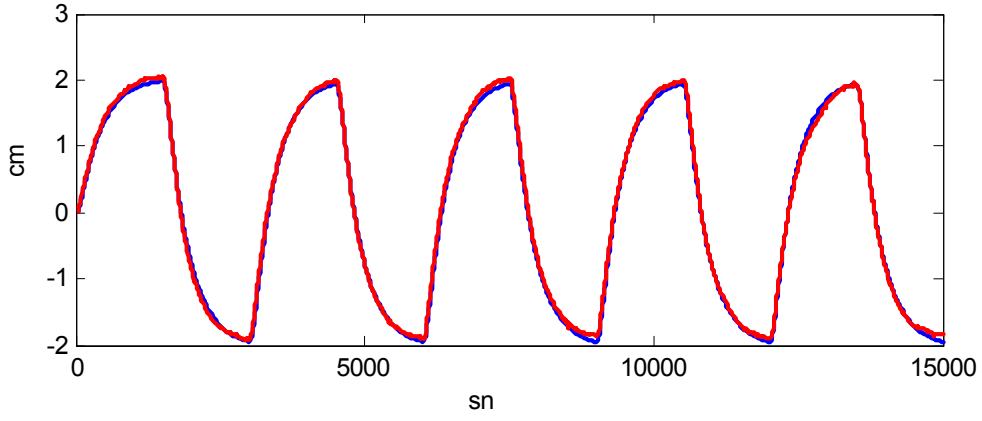
Şekil 5.7 ve 5.8'deki giriş çıkış sinyalleri kullanılarak ve örnekleme aralıkları $h=1, 8, 16, 40$ saniye, süzgeç çokterimlisi $(s+0.025)^3$ için SZÖEKK yöntemi ile yapılan kestirim çalışmaları aşağıda Şekil 5.9-5.16'da verilmiştir. Bu şekilde yapılan kestirim sıfıra kaydırılmadan 12.8 ± 2 cm'de yapılan kestirimle aynı sistem modeline sahip olacaktır.



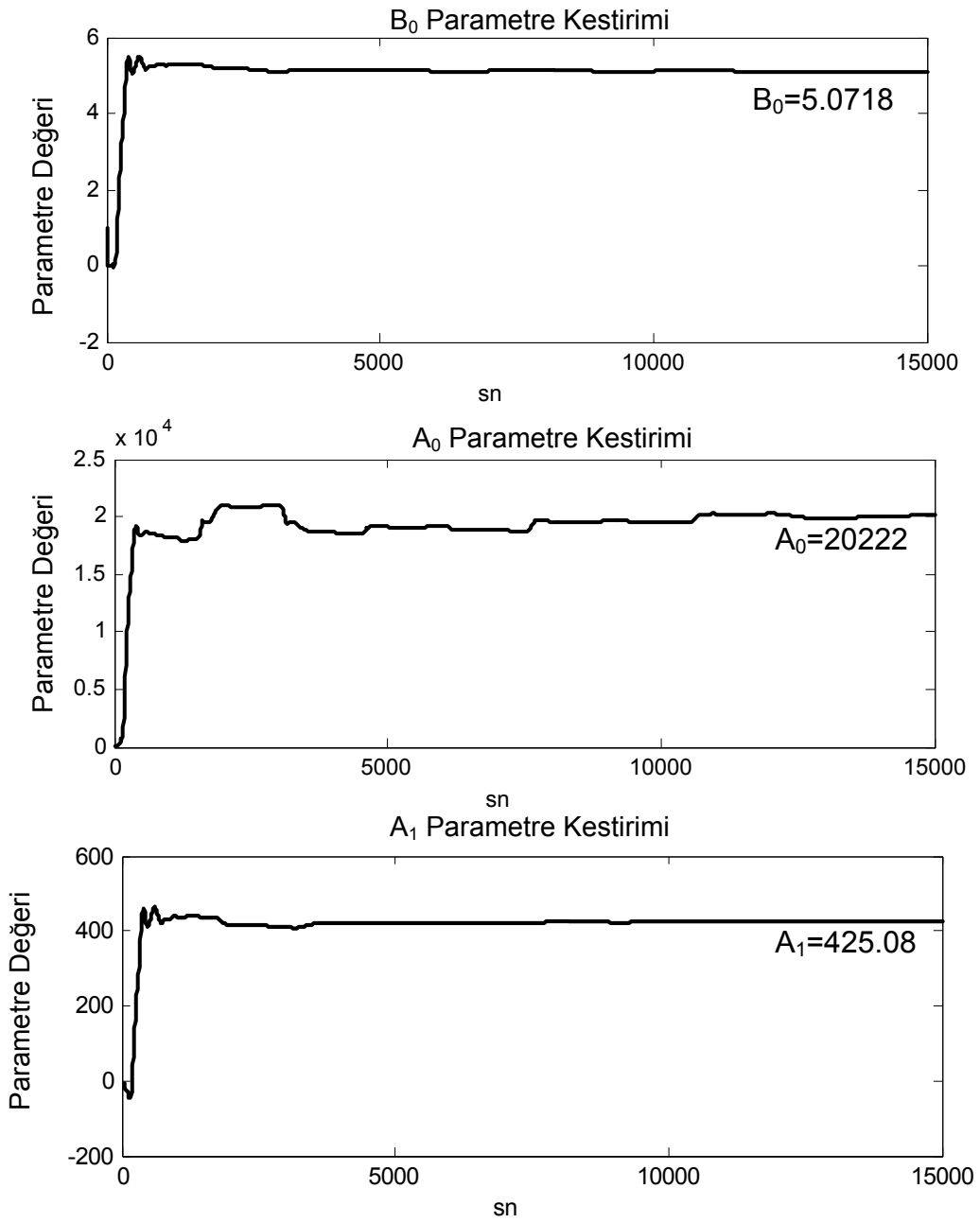
Şekil 5.9 $h=1$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı



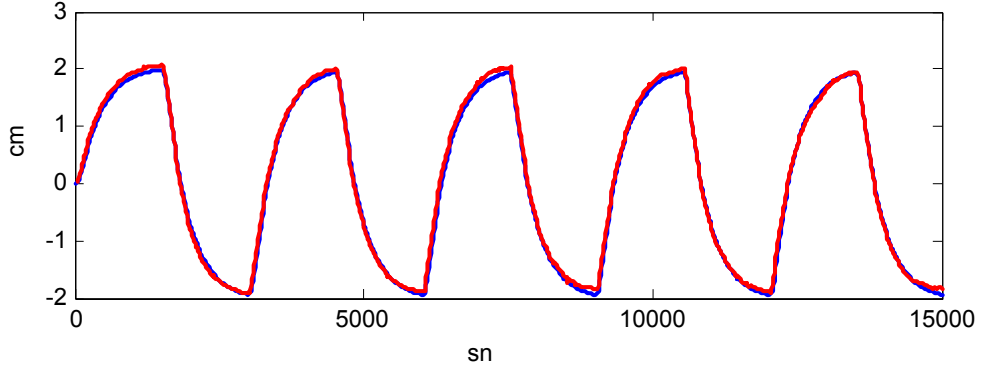
Şekil 5.10 $h=1$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 Parametre Kestirimleri



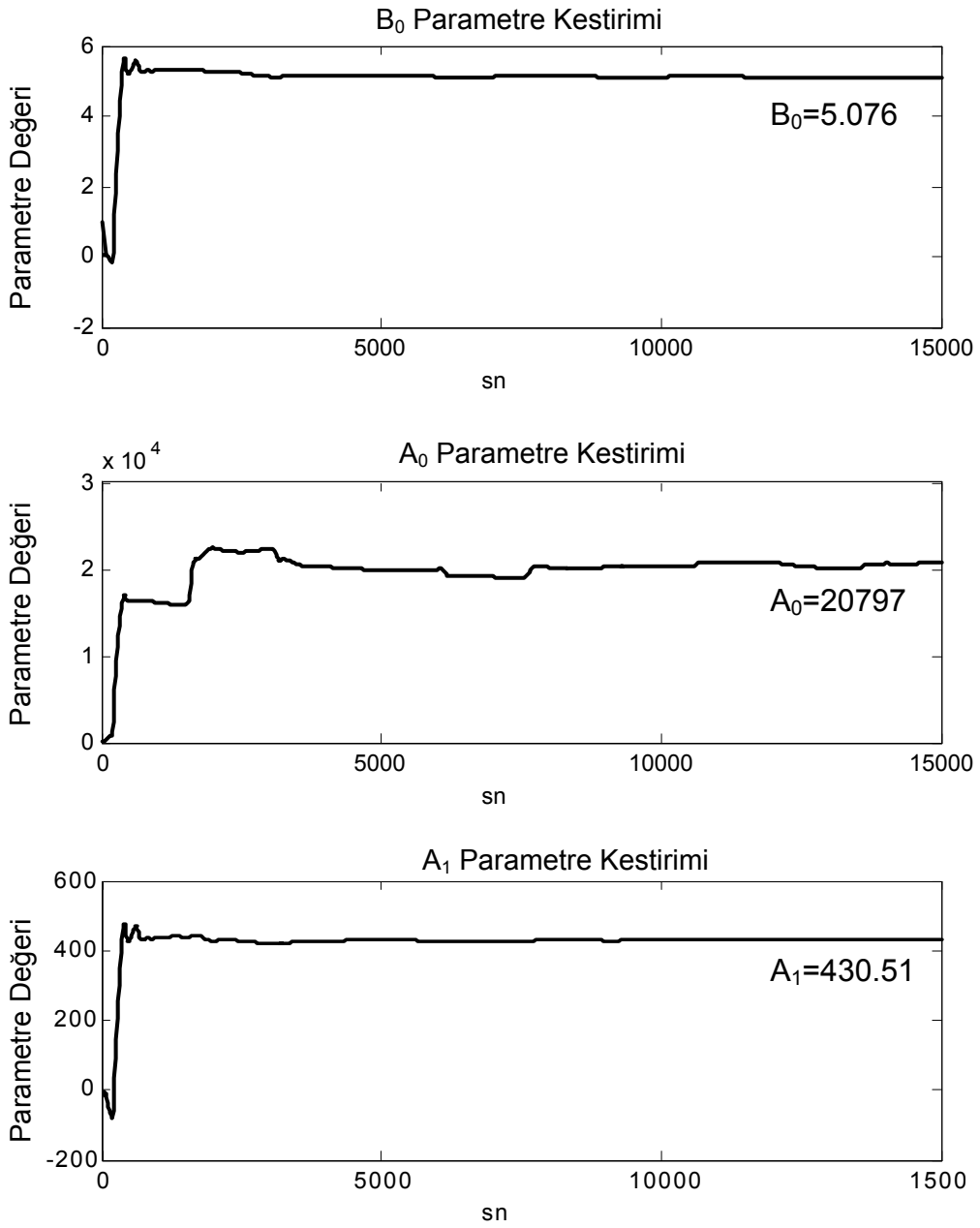
Şekil 5.11 $h=8$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı



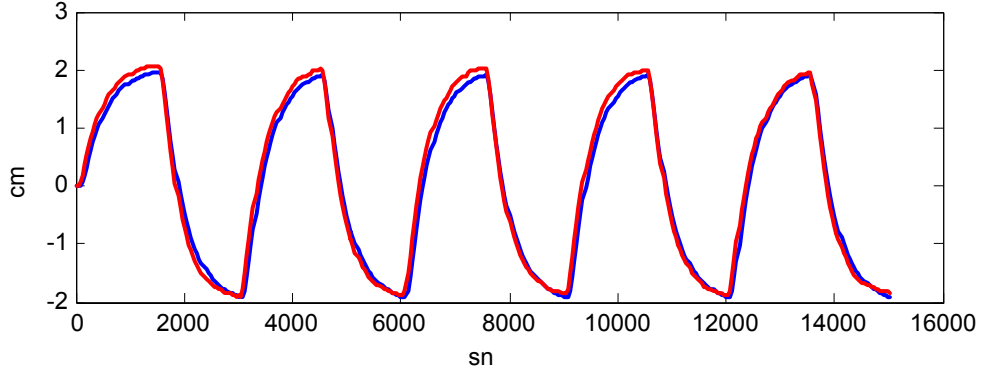
Şekil 5.12 $h=8$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 Parametre Kestirimleri



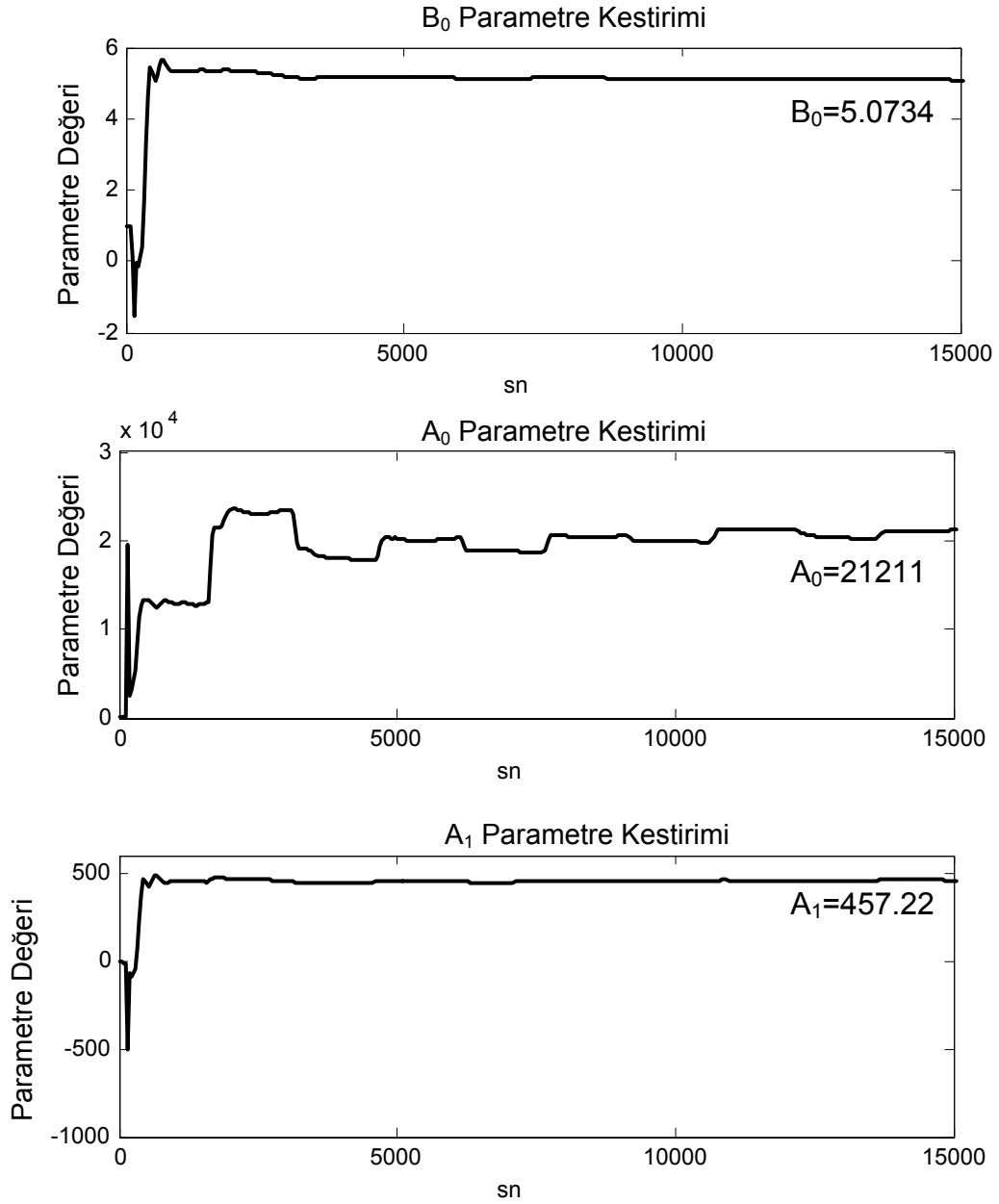
Şekil 5.13 $h=16$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıktısı



Şekil 5.14 $h=16$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 Parametre Kestirimleri



Şekil 5.15 $h=40$ sn İçin Gerçek Sistem ve Kestirilen Sistem Çıkışı



Şekil 5.16 $h=40$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 Parametre Kestirimleri

Çizelge 5.1'de kestirimde kullanılan örnekleme aralıkları için kestirilen sistem parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 İkinci Derece Sistemde Değişik Örnekleme Zamanları İçin Kestirilen Sistem Parametreleri

Örnekleme Zamanı	Süzgeç Çokterimlisi	Kestirilen Sistem Parametreleri
$h=1$	$(s+0.025)^3$	$B_0=5.0728$ $A_0=20677$ $A_1=424.68$
$h=8$	$(s+0.025)^3$	$B_0=5.0718$ $A_0=20222$ $A_1=425.08$
$h=16$	$(s+0.025)^3$	$B_0=5.076$ $A_0=20797$ $A_1=430.51$
$h=40$	$(s+0.025)^3$	$B_0=5.0734$ $A_0=21211$ $A_1=457.52$

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi sistem kestirimi başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir ve giriş çıkış sinyalleri örtüşmektedir. Örnekleme zamanı büyüdükçe kestirim kötüleşmektedir. Bu nedenle 2 gözlü fiziksel sistemin denetimi yapılırken $h=1$ örnekleme aralığıyla kestirilen sistem modeli kullanılmıştır. Bu modelin aktarım işlevi,

$$G(s) = \frac{5.0728}{20677s^2 + 424.68s + 1}$$

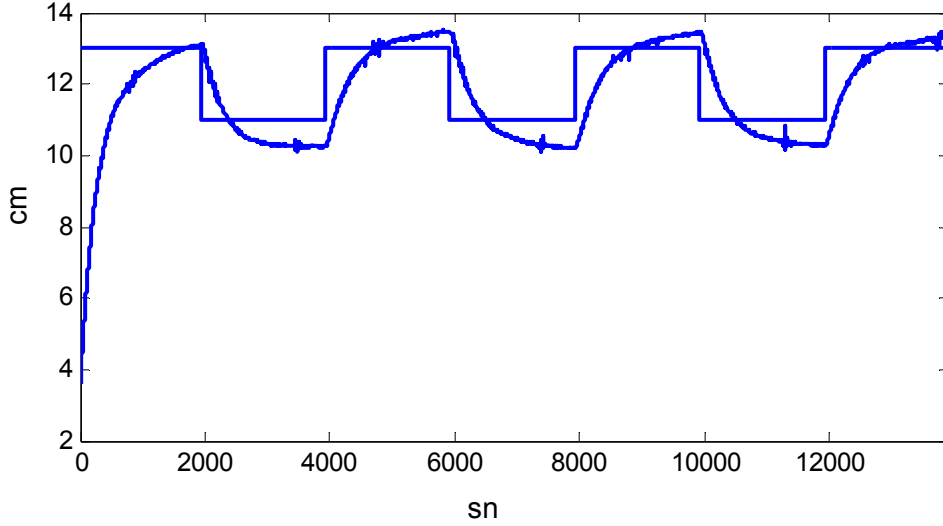
olarak elde edilmiştir. Sistemin kutupları -0.0178 ve -0.0027 olarak hesaplanabilir. Kapalı döngü sistemin kutupları -0.003 , -0.02 olacak şekilde ve Alt bölüm 2.5'de verildiği gibi, $E(s)=(s+0.0178)(s+0.0027)$ seçilip iki serbestlik dereceli denetleç tasarlandığında Şekil 2.3'de verilen ileri ve geribeslemedeki denetleçler sırasıyla,

$$C_1(s) = \frac{L(s)}{A(s)} = \frac{0.197s^2 + 0.004s + 0.0000094}{0.806s^2 + 0.0185s + 0.000048}$$

$$C_2(s) = \frac{M(s)}{A(s)} = \frac{0.00000267s + 0.000000004}{0.806s^2 + 0.0185s + 0.000048}$$

bulunur. Kapalı döngü kutuplarının seçimi aşağıda açıklanmaktadır.

Sisteme (11-13 cm)-lik dayanak sinyali uygulandığında sistem çıkışı Şekil 5.17'deki gibi elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çıkış sinyali dayanak girişini takip etmemektedir.



Şekil 5.17 Tümlensel etkinin olmadığı Denetim

Sistem çıkışında kalıcı durum hatası oluşmaktadır. Bu durum kapalı döngü sistemde tümlen alıcı etkisinin yaratılmasıyla giderilebilir. Bunu yapabilmek için sistem modelinin pay ve paydasına s- Laplace işleci eklenmiş ve buna göre tasarım yapılmıştır.

Bu durumda ileri ve geribeslemedeki denetleçler sırasıyla

$$C_1(s) = \frac{L(s)}{A(s)} = \frac{0.197s^2 + 0.004s + 0.0000094}{8.06s^2 + 0.99s + 0.019}$$

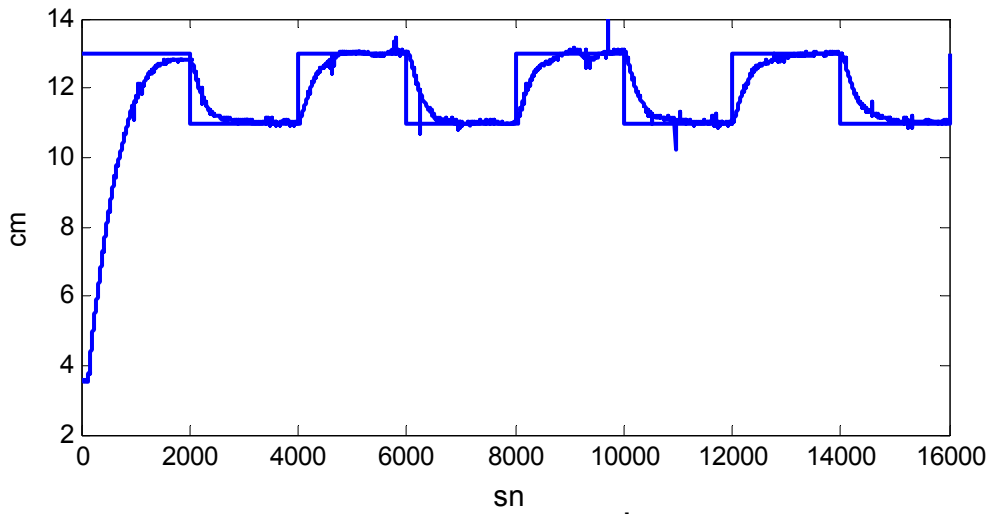
$$C_2(s) = \frac{M(s)}{A(s)} = \frac{0.195s^2 + 0.004s + 0.0000094}{8.06s^2 + 0.99s + 0.019}$$

bulunur.

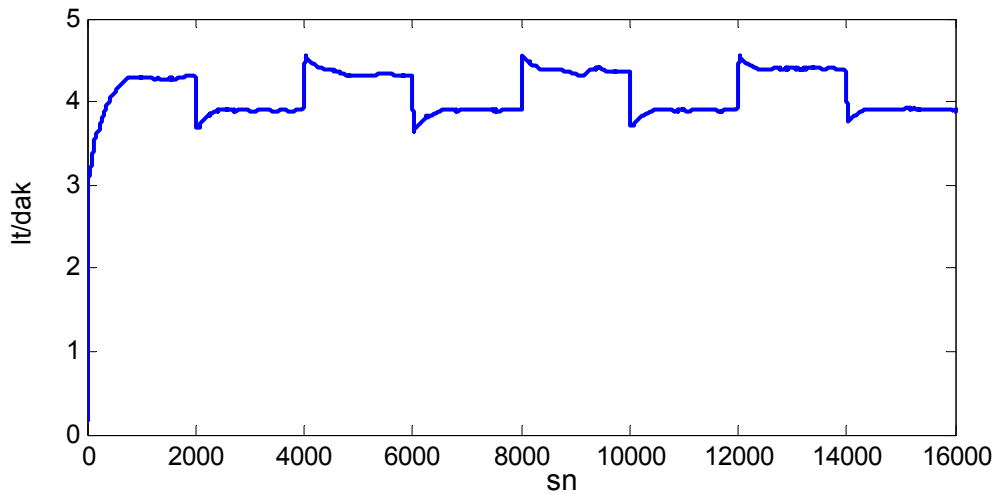
Kapalı döngü kutupları -0.003 , -0.02 , -0.1 olarak seçilmiştir. Kutuplar Alt bölüm 2.6'da belirtildiği gibi açık döngü kutuplarından bir fazla seçilmiştir. Ayrıca iki kutup açık döngü kutuplarına yakın seçilmiştir. Üçüncü kutup ise sistem tepkisini

etkilememesi için diğler iki baskın kutuba uzak seçilmiştir. $E(s)$ çokterimlisi ise deneme-yanılma yoluyla açık döngü kutuplarıyla aynı seçilmiştir.

Bu denetleçler kullanılarak tasarlanan sisteme (11-13 cm), (10-14 cm), (8-12 cm)-lik dayanak sinyalleri uygulanmış, sistem ve denetleç çıkışları (11-13) cm için Şekil 5.18-5.19'de, (10-14) cm için Şekil 5.20-5.21'de ve (8-12) cm için Şekil 5.22-5.23'de verilmiştir. Bu değerlerde dayanak sinyallerinin uygulanmasının nedeni dayanak sinyalini sistem kestiriminin yapıldığı aralık olan 12.8-15 cm'ye yakın seçmektir.

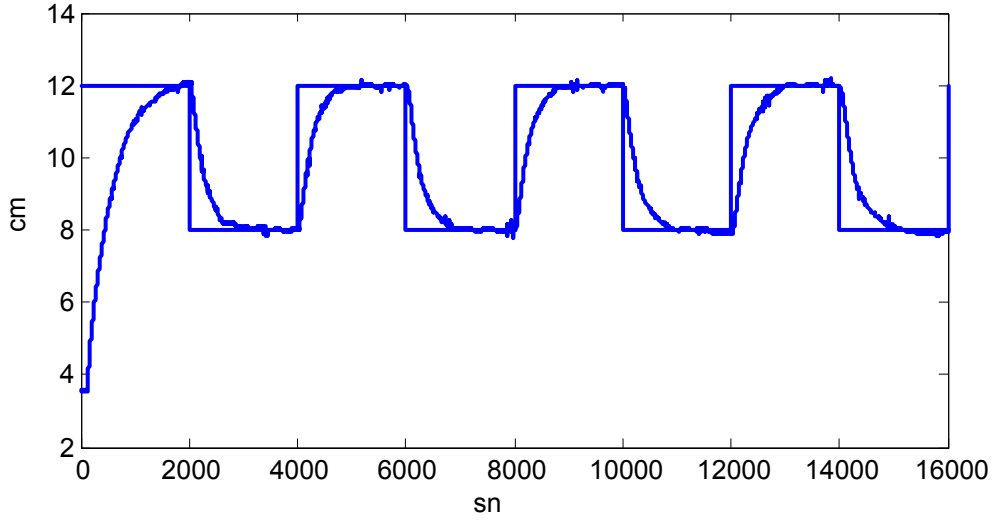


Şekil 5.18 (11-13 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlövsel Etkili Denetim

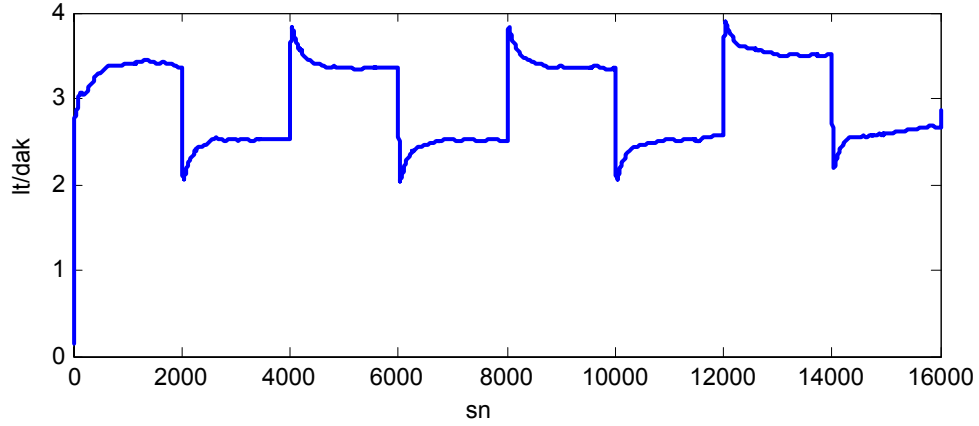


Şekil 5.19 (11-13 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlöv Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.18'den de görüldüğü gibi sistem çıkışı dayanak sinyalini takip etmektedir ve kalıcı durum hatası yaklaşık sıfır olmaktadır. Şekil 5.19'de ise tümlev alıcı çıkışındaki denetim sinyali verilmiştir. 5.19'den görüldüğü gibi tümlev alıcı çıkışındaki denetim sinyali 3-4 lt/dak arasında salınmaktadır ve motor doyuma ulaşmadan düzgün bir şekilde çalışmaktadır.

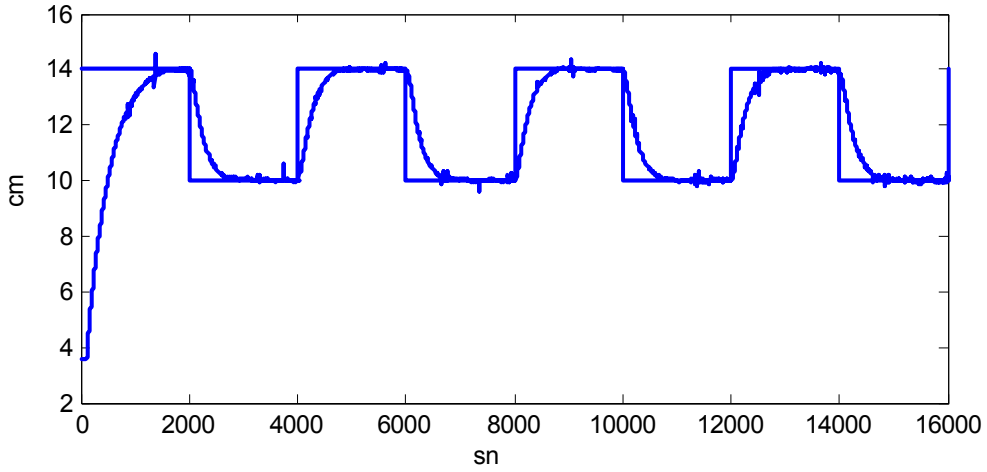


Şekil 5.20 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlevsel Etkili Denetim

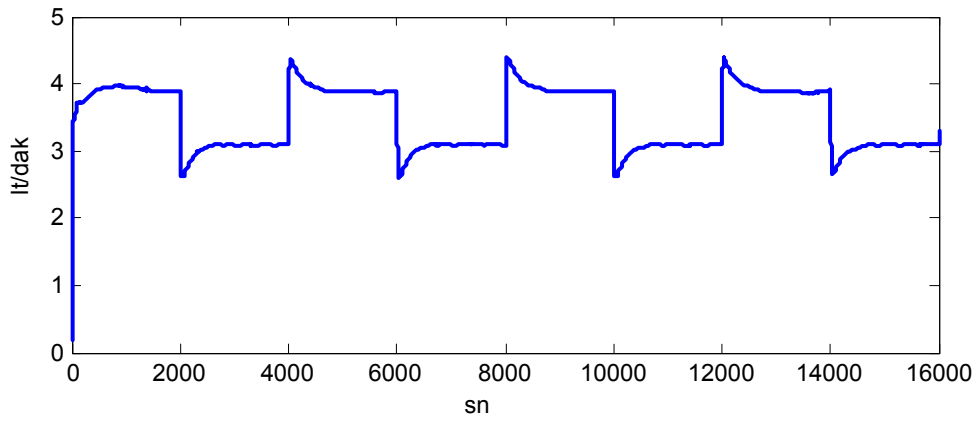


Şekil 5.21 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlev Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.20'de dayanak sinyali kestirim yapılan aralığa yakın verildiği için sistem çıkışı dayanak sinyalini takip etmektedir ve kalıcı durum hatası yaklaşık sıfır olmaktadır. Şekil 5.21'de tümlev alıcı çıkışındaki denetim sinyali verilmiştir. 5.21'den görüldüğü gibi tümlev alıcı çıkışındaki denetim sinyali 2.1-3.9 lt/dak arasında salınmaktadır ve motor doyuma ulaşmadan düzgün bir şekilde çalışmaktadır.



Şekil 5.22 (10-14 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlenmel Etkili Denetim



Şekil 5.23 (10-14 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlen Alıcı Çıkışı (U)

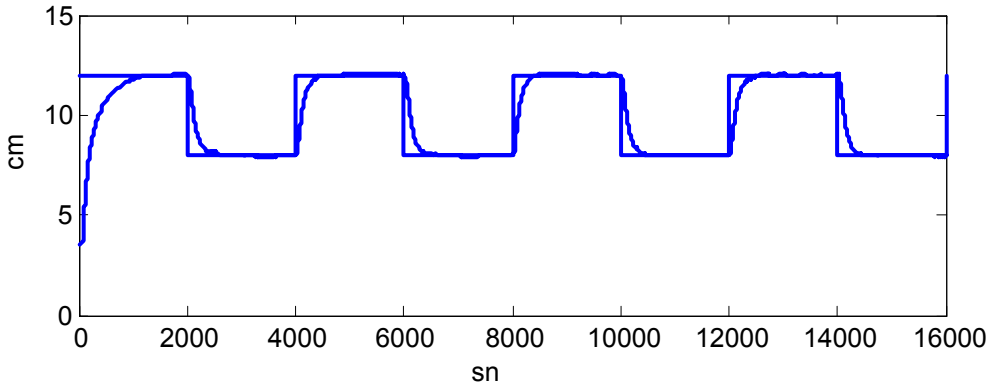
Şekil 5.22'de dayanak sinyali kestirim yapılan aralığa yakın verildiği için sistem çıkışı dayanak sinyalini takip etmektedir ve kalıcı durum hatası yaklaşık sıfır olmaktadır. Şekil 5.23'de ise tümlen alıcı çıkışındaki denetim sinyali verilmiştir. Şekil 5.23'den görüldüğü gibi tümlen alıcı çıkışındaki denetim sinyali 2.7-4.5 lt/dak arasında salınmaktadır ve motor doyuma ulaşmadan düzgün bir şekilde çalışmaktadır.

Şekil 5.24 ve 5.25'de kapalı döngü sistem hızlandırılmaya çalışılmış ve kapalı döngü sistemin kutupları açık döngü kutuplarından daha solda seçilmiştir. Kapalı döngü sistemin kutupları -0.008 , -0.02 ve -0.1 seçilerek iki serbestlik dereceli denetlemler tasarlandığında ileri ve geribeslemedeki denetlemler sırasıyla,

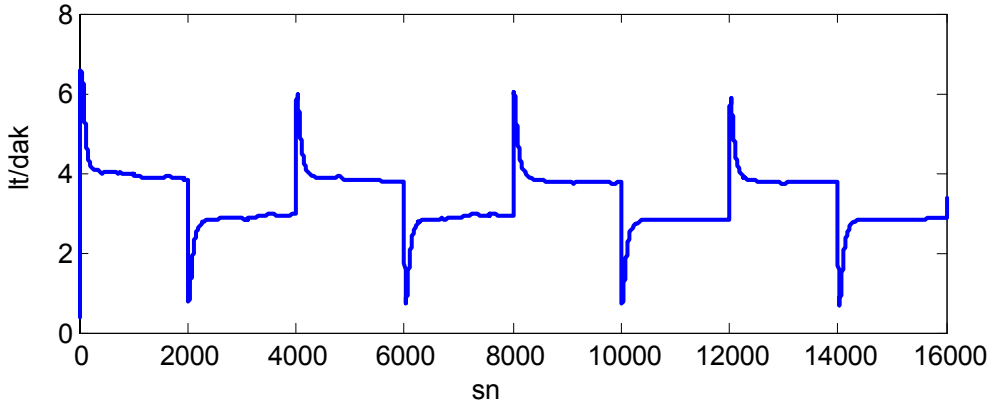
$$C_1(s) = \frac{L(s)}{A(s)} = \frac{0.197s^2 + 0.004s + 0.0000094}{3.02s^2 + 0.386s + 0.0089}$$

$$C_2(s) = \frac{M(s)}{A(s)} = \frac{0.196s^2 + 0.004s + 0.0000094}{3.02s^2 + 0.386s + 0.0089}$$

bulunmuştur.



Şekil 5.24 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Hızlandırılmış Tümlsel Etkili Denetim



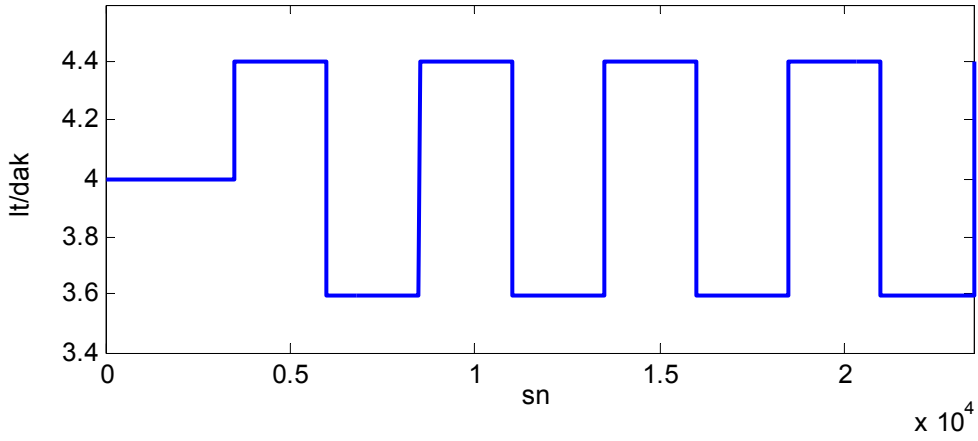
Şekil 5.25 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümler Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.24'den görüldüğü gibi sistemin yükselme zamanı küçülmüş ve sistem kalıcı durumda daha uzun süre kalmıştır. Şekil 5.25'de ise tümler alıcı çıkışı motorun doyuma ulaşmayacağı aralıktadır ve motor doyuma ulaşmadan düzgün bir şekilde çalışmaktadır.

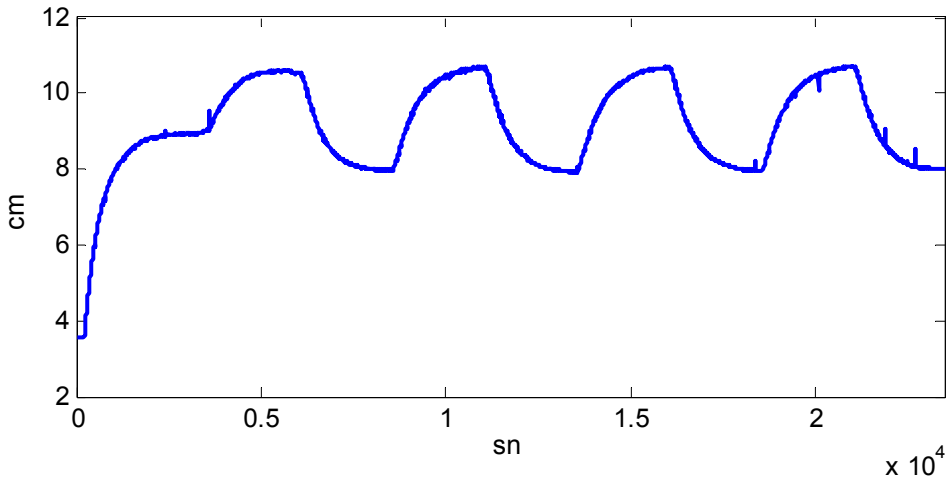
İkinci derece tank sistemi uygulamasında sistem çıkışı kestirim yapılan aralığa yakın dayanak sinyalleri verildiğinde dayanak sinyalini takip etmektedir ve kapalı döngü sistemin kutupları açık döngü sisteme yakın seçildiğinden motor doyuma ulaşmadan düzgün bir şekilde çalışmaktadır.

5.2 Üçüncü Derece Su Tankı Sistemi Uygulama Sonuçları

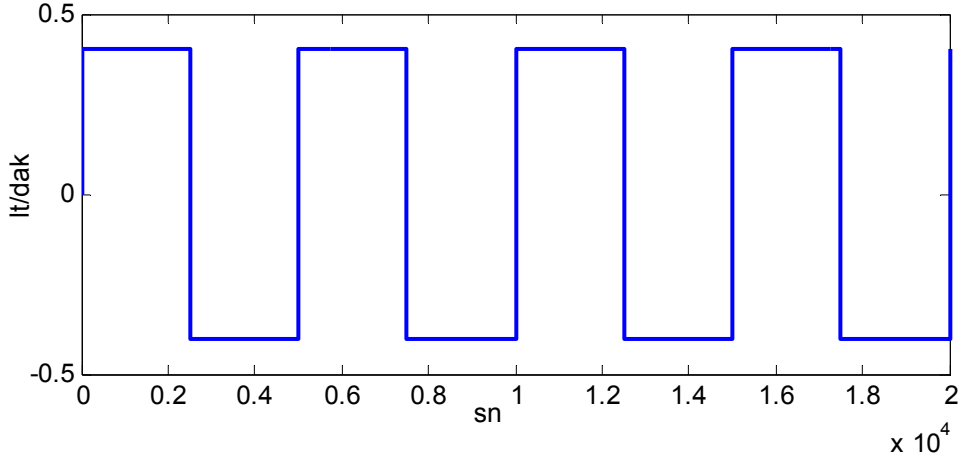
Şekil 3.2'deki üç gözlü sıvı tankı sistemi modellenirken ilk olarak sisteme Şekil 5.26'da görüldüğü gibi periyodu 58 dakika olan ve 4lt/dak genliğe sahip sabit giriş uygulanmış ve sistemin kalıcı duruma gelmesi beklenmiştir. Daha sonra periyodu 42 dakika olan ve (3.6-4.4 lt/dak)-lık kare dalga uygulanmıştır ve Şekil 5.27'de verilen çıkış sinyali elde edilmiştir. Sistem üçüncü derece aktarım işleviyle modellenmeye çalışılmıştır ve çıkış sinyali üçüncü gözden alınmıştır. Sistem modellenirken (3.15)'de verilen aktarım işlevi kullanılmıştır. Altbölüm 5.1'de anlatıldığı gibi bu giriş çıkış sinyalleri sıfıra kaydırılarak Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 elde edilmiştir ve bu şekillerdeki giriş çıkış sinyalleri kullanılarak sistem modellenmeye çalışılmıştır. (3.30) ve (3.31)'de verilen SZÖEKK ile kestirimler yapılırken süzgeç çokterimlisi $(s+0.03)^4$, $\beta = 0$, $\alpha = 0.00001$ alınmıştır.



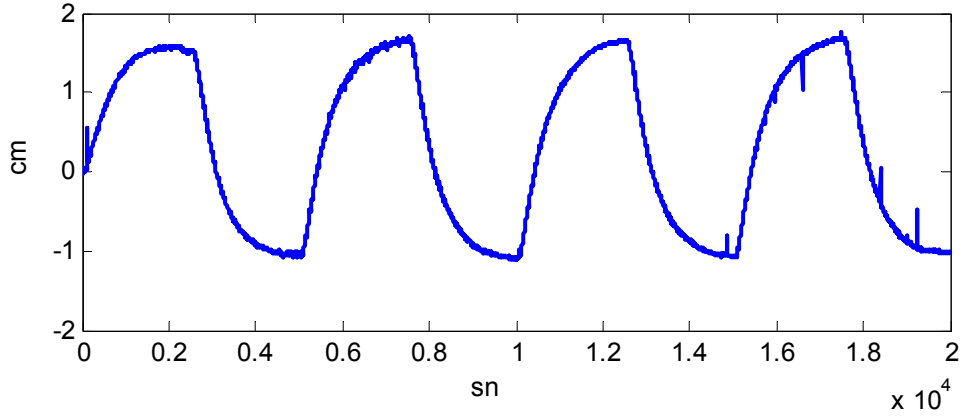
Şekil 5.26 Üçüncü Derece Sisteme Uygulanan Giriş Sinyali



Şekil 5.27 Üçüncü Derece Sistemden Alınan Çıkış Sinyali

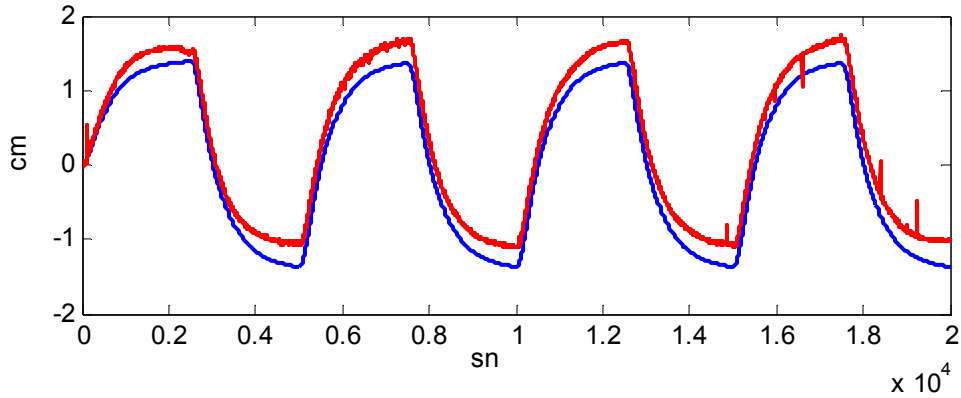


Şekil 5.28 Üçüncü Derece Sisteme Uygulanan Sıfıra Kaydırılmış Giriş Sinyali

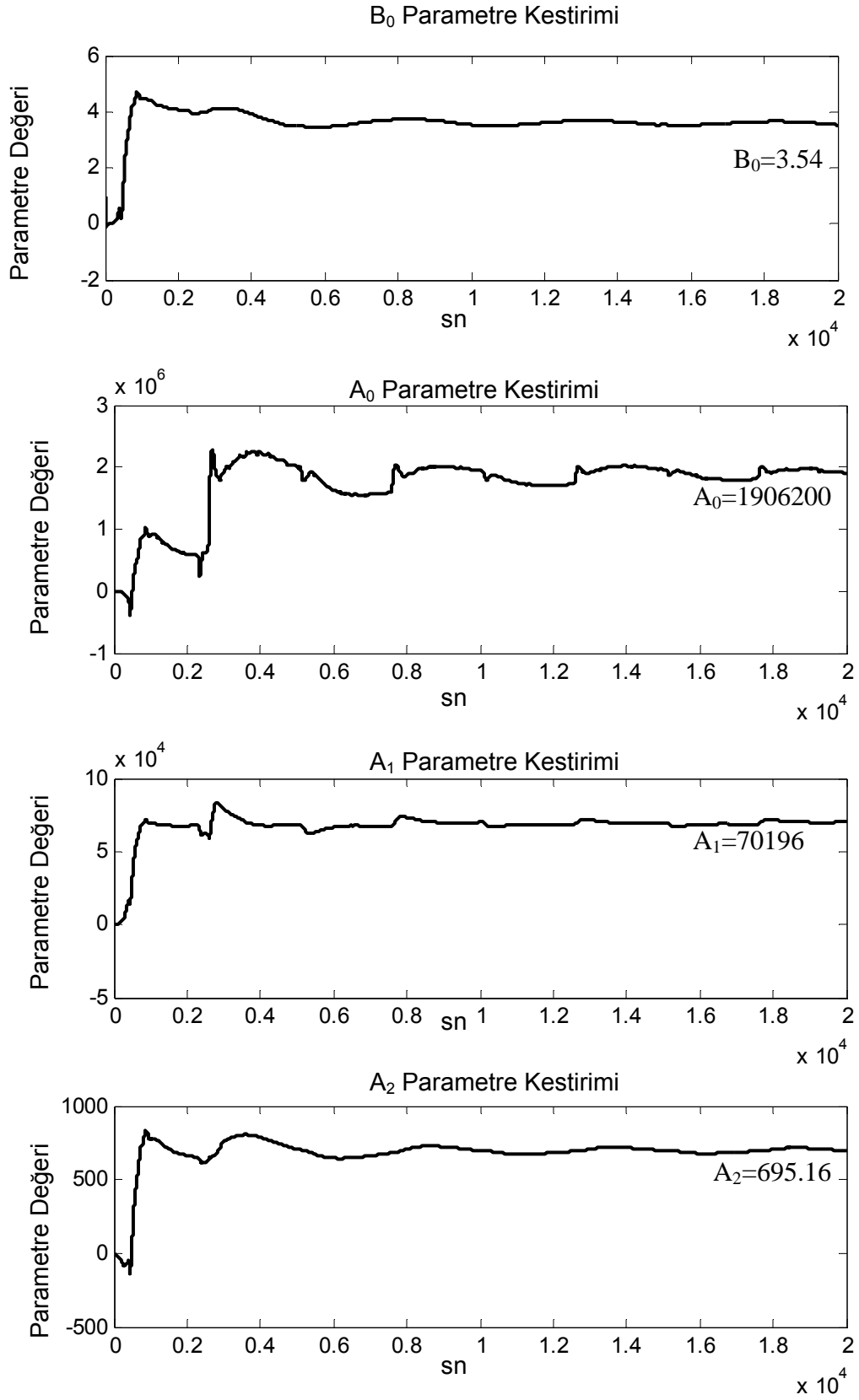


Şekil 5.29 Üçüncü Derece Sistemden Alınan Sıfıra Kaydırılmış Çıkış Sinyali

Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'deki sıfıra kaydırılmış giriş çıkış sinyalleri kullanılarak sistem modellendiğinde Şekil 5.30 elde edilmiştir ve kestirime ait parametreler de Şekil 5.31'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 5.30 Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı



Şekil 5.31 B_0 , A_0 , A_1 , A_2 Parametre Kestirimleri

Şekil 5.30'da görüldüğü gibi gerçek sistem çıkışı ile kestirilen sistem çıkışı örtüşmemektedir. Şekil 5.30'da giriş sinyali $+0.4\text{cm}$ iken çıkış sinyali $+1.6\text{ cm}$, giriş sinyali -0.4 cm iken çıkış sinyali -1 cm 'ye gitmektedir. Oysaki doğrusal bir sistemde bunun -1.6 cm değerine gitmesi beklenirdi. Bu nedenle bu giriş çıkış sinyalleri kullanılarak sistem doğrusal olarak modellenememiştir. Bu sorun çıkışa bir sapma terimi eklenerek çözülmüştür. Bu durumda sistem çıkışı,

$$Y(s) = \frac{B(s)}{A(s)}U(s) + d_g$$

olur. Burada d_g sapma terimidir. Buradan,

$$A(s)Y(s) = B(s)U(s) + A(s)d_g(s)$$

elde edilir. Bu bağıntının her iki tarafına Altbölüm 3.4'de ikinci yöntemde anlatıldığı gibi $Y(s)$ eklersek ve her iki tarafı $T(s)$ 'ye bölersek,

$$\frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{AsY(s)}{P(s)} = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} + \frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{A(s)d_g}{P(s)}$$

olur. Burada gerekli düzenlemeleri yaparsak,

$$\frac{Y(s)}{P(s)} = \frac{B(s)U(s)}{P(s)} + [1 - A(s)]\frac{Y(s)}{P(s)} + \frac{E(s)}{P(s)} + \frac{A(s)d_g}{P(s)}$$

elde edilir. Burada,

$$d = \frac{A(s)d_g}{P(s)}$$

alırsak, Altbölüm 3.4'de (3.25)'de verilen parametre ve veri vektörleri yerine yeni parametre ve veri vektörleri

$$\theta = (b_0 \ b_1 \dots b_m \ a_0 \ a_1 \dots a_{n-1} \ d)^T$$

$$\varphi^T = \left(\frac{d^m u_f(t)}{dt^m} \ \frac{d^{m-1} u_f(t)}{dt^{m-1}} \dots u_f(t) \ - \frac{d^n y_f(t)}{dt^n} \ - \frac{d^{n-1} y_f(t)}{dt^{n-1}} \dots - \frac{dy_f(t)}{dt} \ 1 \right)$$

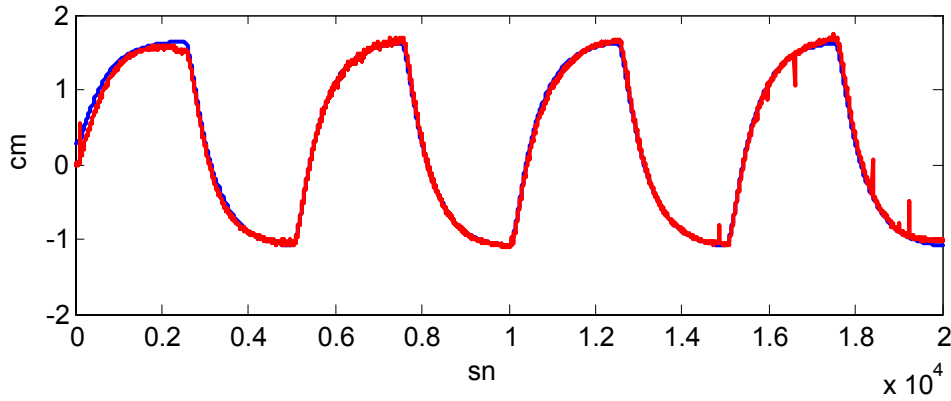
kullanılabilir.

Burada d gerçek sapma değerinin $A(s)/P(s)$ süzgeciyle süzgeçlenmiş halidir. Bu eşitlikler kullanılarak kestirilen sapma değeri ile gerçek sapma değeri arasındaki ilişki

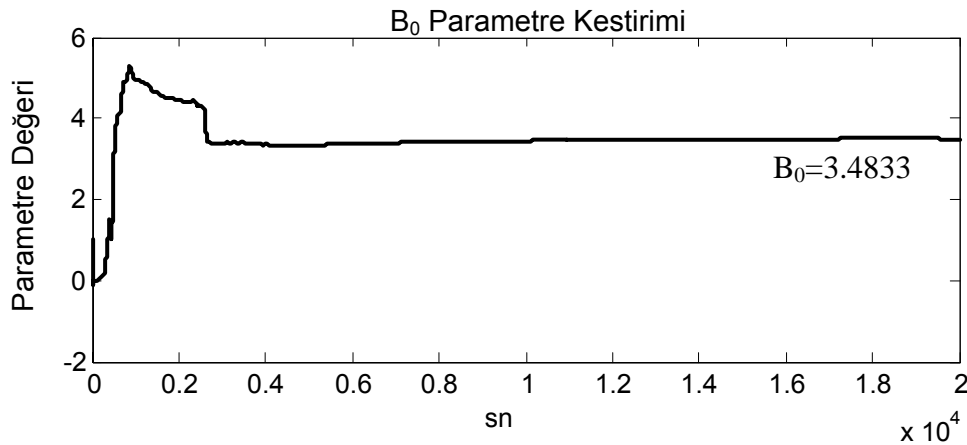
$$d_g = \frac{T(s)}{A(s)} d|_{s=0}$$

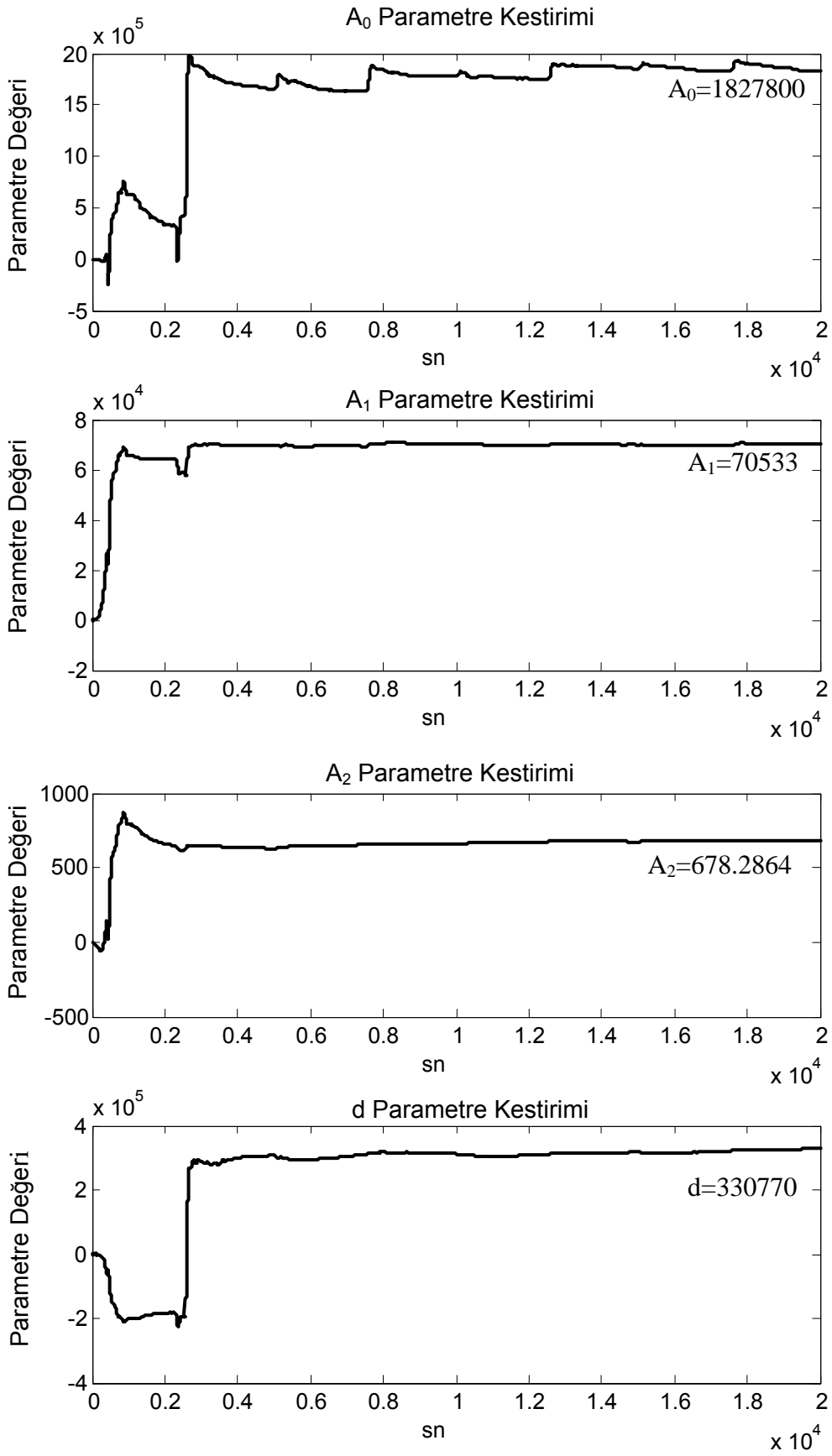
biçiminde yazılabilir [4, 22, 23].

Şekil 5.32-5.33'de $h=1$ saniye, Şekil 5.34-5.35'de $h=4$ saniye için ve Şekil 5.36-5.37'de $h=8$ için sapma terimi eklenerek kestirilen sistem çıkışı, gerçek sistem çıkışı ve kestirilen sistem parametreleri verilmiştir. $h=8$ 'den sonraki örnekleme aralıklarında kestirim oldukça kötüleşmektedir. (3.30) ve (3.31)'de verilen SZÖEKK ile kestirimler yapılırken süzgeç çokterimlisi $(s+0.03)^4$, $\beta = 0$, $\alpha = 0.00001$ alınmıştır. Kırmızı çizgi gerçek sistem çıkışını mavi çizgi ise kestirilen sistem çıkışını göstermektedir.

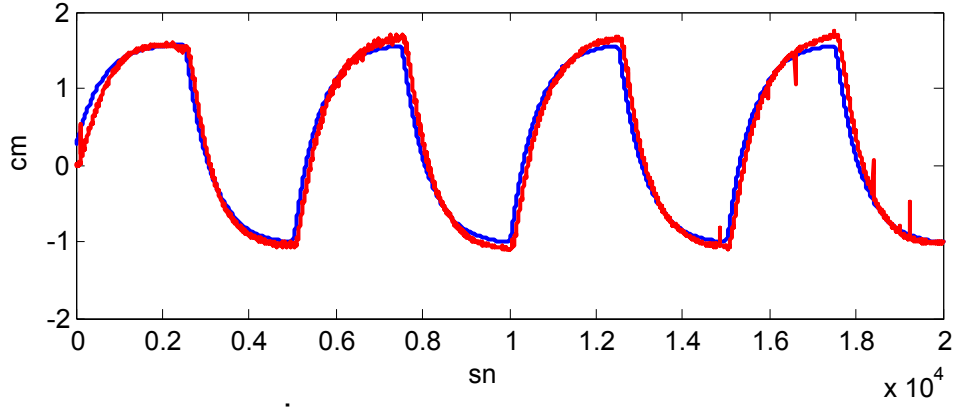


Şekil 5.32 $h=1$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı

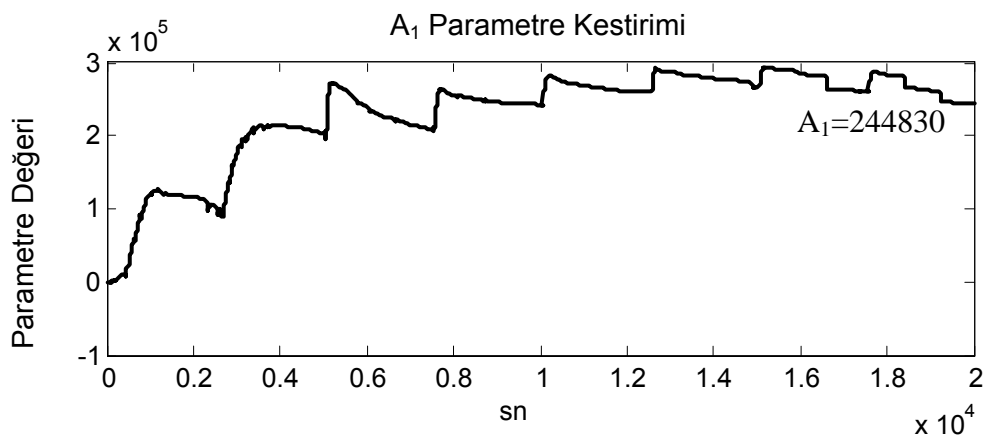
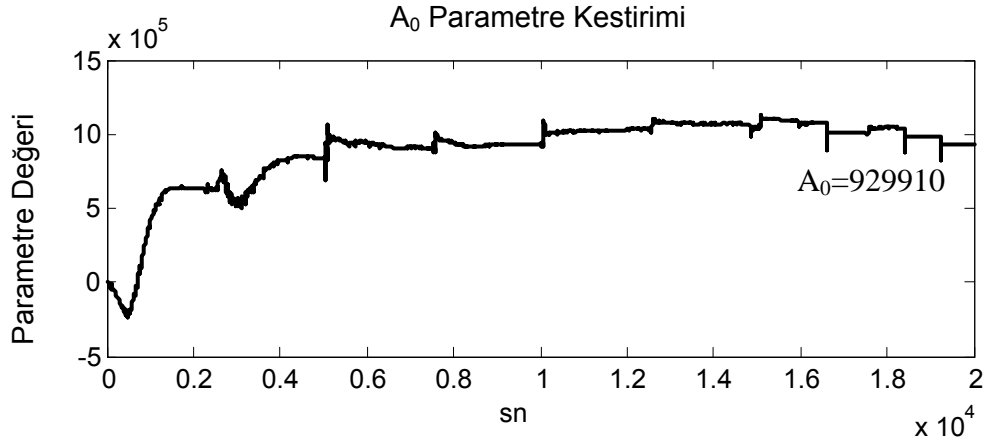
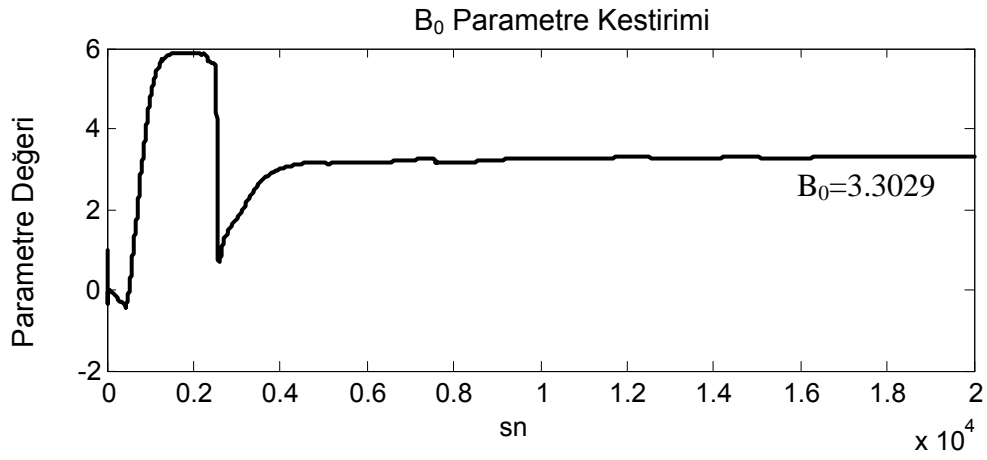


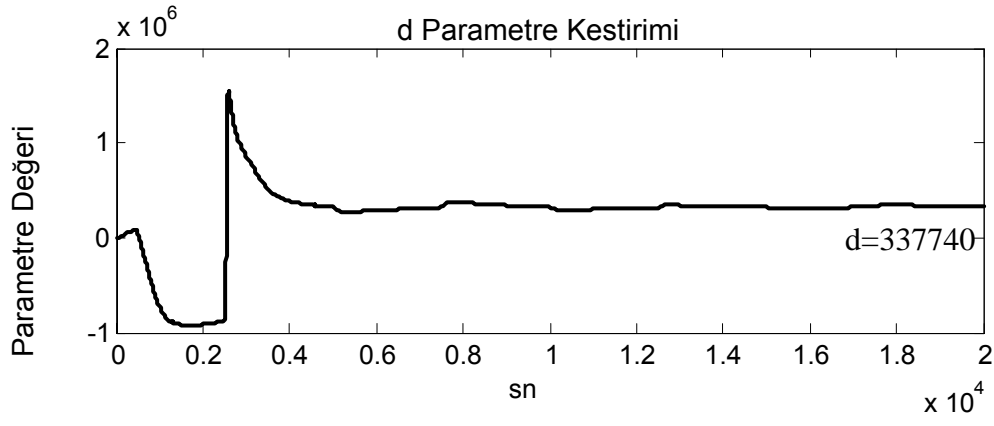
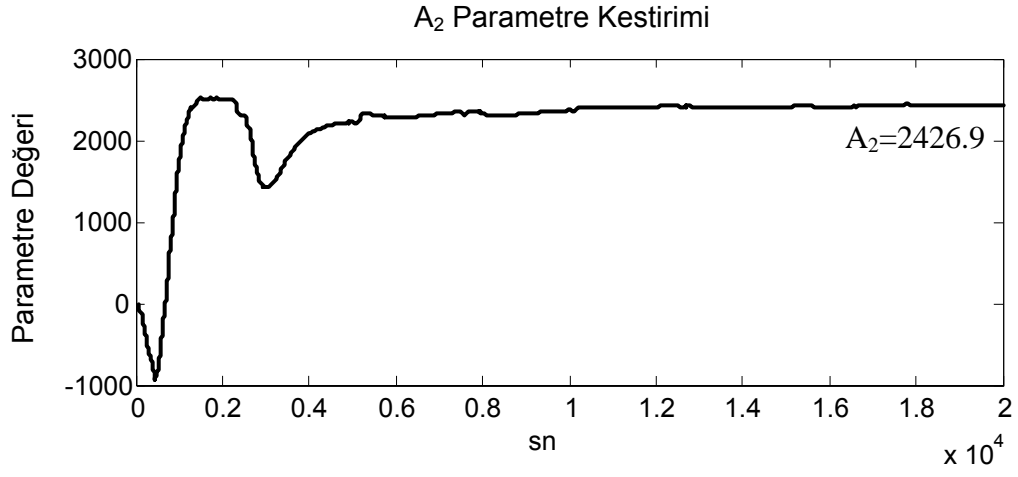


Şekil 5.33 h=1 sn için B₀, A₀, A₁, A₂, d Parametre Kestirimleri

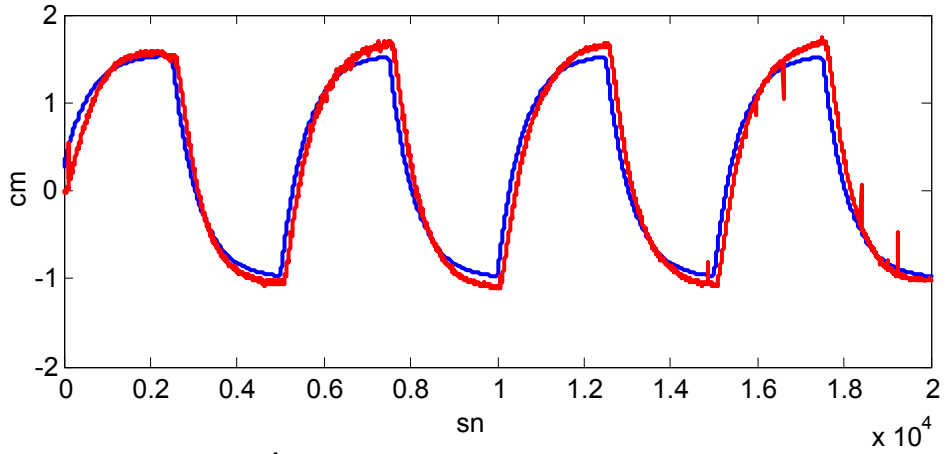


Şekil 5.34 $h=4$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı

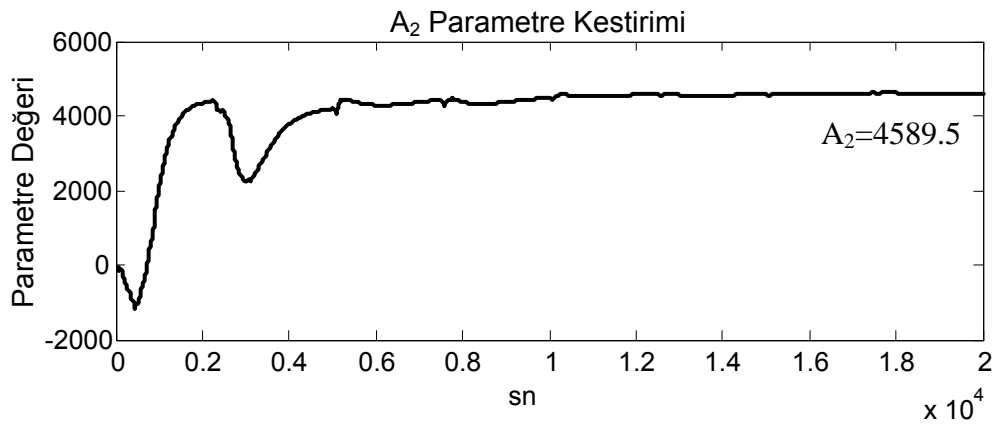
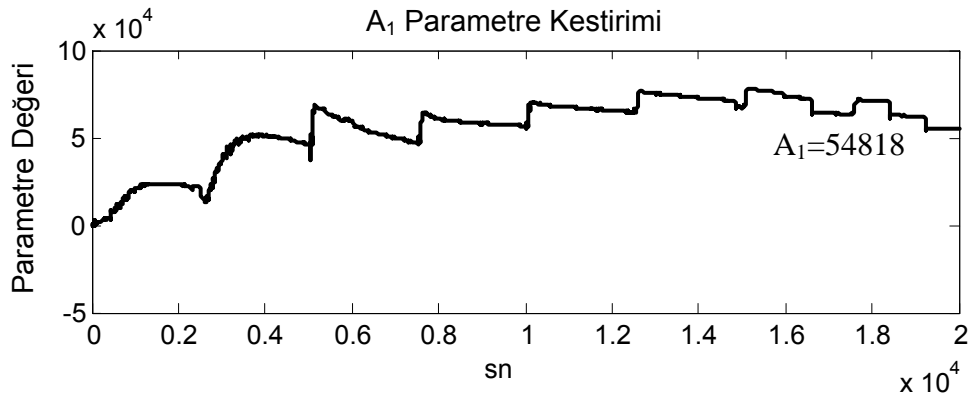
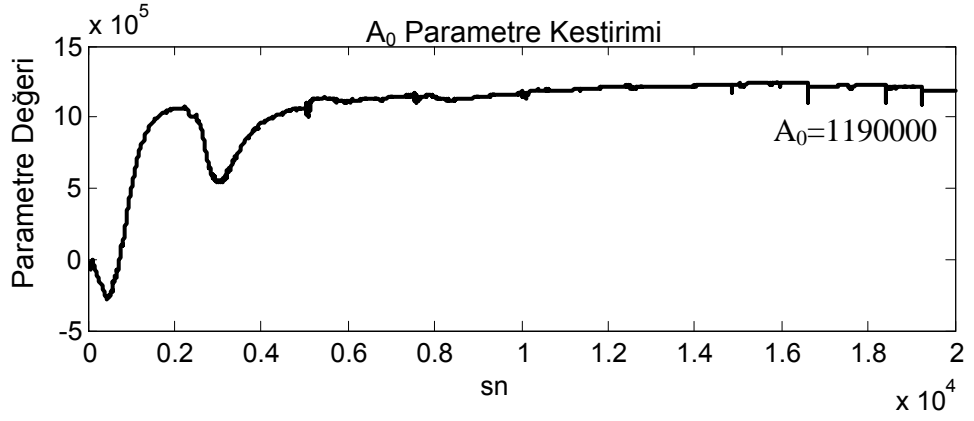
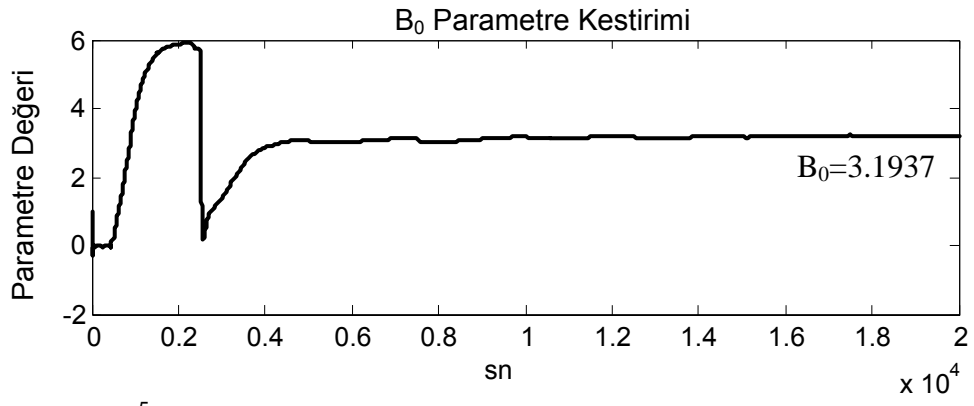


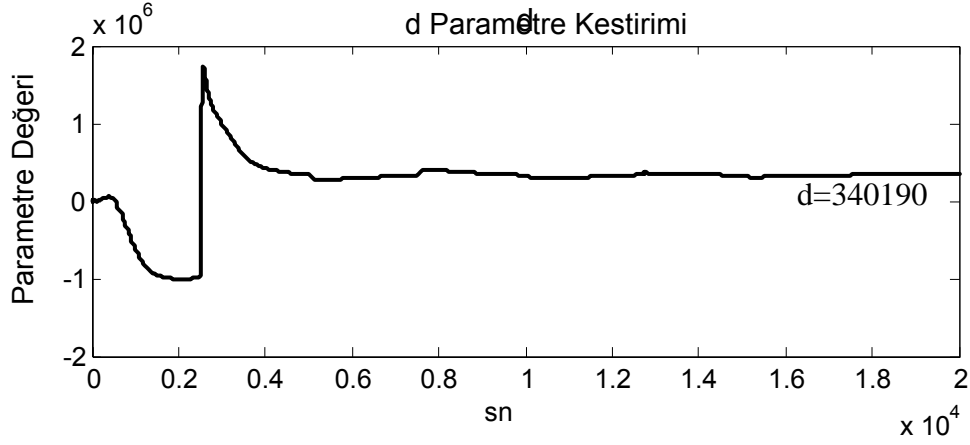


Şekil 5.35 $h=4$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 , A_2 , d Parametre Kestirimleri



Şekil 5.36 $h=8$ sn İçin Gerçek Sistem Çıkışı ve Kestirilen Sistem Çıkışı





Şekil 5.37 $h=8$ sn İçin B_0 , A_0 , A_1 , A_2 , d Parametre Kestirimleri

Çizelge 5.2’de kestirimde kullanılan örnekleme aralıkları için kestirilen sistem parametreleri ve gerçek sapma değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2 Üçüncü Derece Sistemde Değişik Örnekleme Zamanları İçin Kestirilen Sistem Parametreleri ve Gerçek sapma Değerleri

Örnekleme Zamanı	Süzgeç Çokterimlisi	Kestirilen Sistem Parametreleri
$h=1$	$(s+0.03)^4$	$B_0=3.4833$ $A_0=1827800$ $A_1=70533$ $A_2=678.2864$ $d_g=0.2679$ cm
$h=4$	$(s+0.03)^4$	$B_0=3.3029$ $A_0=929910$ $A_1=244830$ $A_2=2426.9$ $d_g=0.2736$ cm
$h=8$	$(s+0.03)^4$	$B_0=3.1937$ $A_0=1190000$ $A_1=54818$ $A_2=4589.5$ $d_g=0.2756$ cm

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi sistem kestirimi en iyi $h=1$ saniye seçildiğinde gerçekleşmektedir. Örnekleme zamanı büyüdükçe kestirim kötüleşmektedir. Bu nedenle 3 gözlü sistemin denetimi yapılırken $h=1$ örnekleme aralığıyla kestirilen sistem modeli kullanılmıştır. Bu model kestirilirken d_g dikkate alınmış, denetimde bu sapma dikkate alınmamıştır. Bu sapmanın tümlev alıcı ile giderilmesi sağlanmıştır.

Sistemin aktarım işlevi,

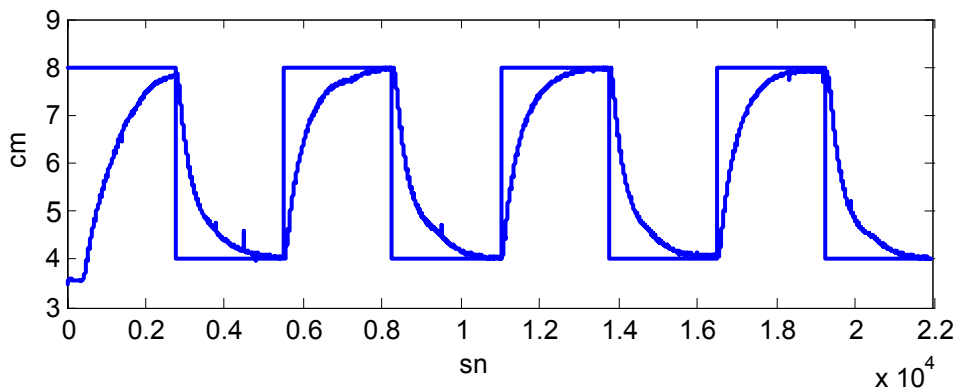
$$G(s) = \frac{3.4843}{1827800s^3 + 70533s^2 + 678.2864s + 1}$$

olarak elde edilmiştir. Sistemin kutupları -0.0242 , -0.0126 ve -0.0018 olarak hesaplanabilir. Kapalı döngü sistemin kutupları -0.002 , -0.03 , -0.1 ve -0.02 olacak şekilde ve $E(s)$ çokterimlisi $(s+0.0242)(s+0.0126)(s+0.0018)$ olarak alınmıştır. Kapalı döngü kutuplarının sayısı Altbölüm 2.6'da belirtildiği gibi açık döngü kutuplarının sayısından bir fazla seçilmiştir. Ayrıca kutupların üçü açık döngü kutuplarına yakın seçilmiştir. Bunun nedeni motorun doyuma ulaşmasını engellemektir. Diğer ise sistem tepkisini etkilememesi için diğer üç kutupa uzak seçilmiştir. $E(s)$ çokterimlisi ise deneme-yanılma yoluyla açık döngü kutuplarının değeriyle aynı seçilmiştir. Tümlevsel etki göz önünde bulundurularak Altbölüm 2.5'de verildiği gibi, iki serbestlik dereceli denetleç tasarlandığında ileri ve geribeslemedeki denetleçler sırasıyla

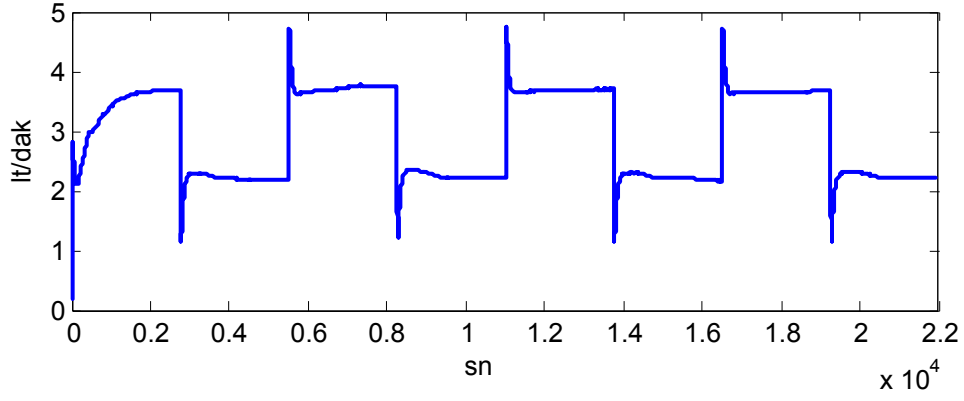
$$C_1(s) = \frac{L(s)}{A(s)} = \frac{0.2872s^3 + 0.011s^2 + 0.0001s + 0.000000157}{4.5592s^3 + 0.6930s^2 + 0.0269s + 0.00032}$$

$$C_2(s) = \frac{M(s)}{A(s)} = \frac{0.287s^3 + 0.011s^2 + 0.0001s + 0.000000157}{4.5592s^3 + 0.6930s^2 + 0.0269s + 0.00032}$$

bulunur. Bu denetleçler kullanılarak tasarlanan sisteme (4-8 cm), (6-10 cm) ve (8-12 cm)-lik dayanak sinyalleri uygulanmış, fiziksel sistem ve denetleç çıkışları Şekil 5.38-5.39'da (4-8) cm'lik dayanak girişi için, Şekil 5.40-5.41'de (6-10) cm'lik dayanak sinyali için, Şekil 5.42-5.43'de (8-12) cm'lik dayanak sinyali girişi için verilmiştir.

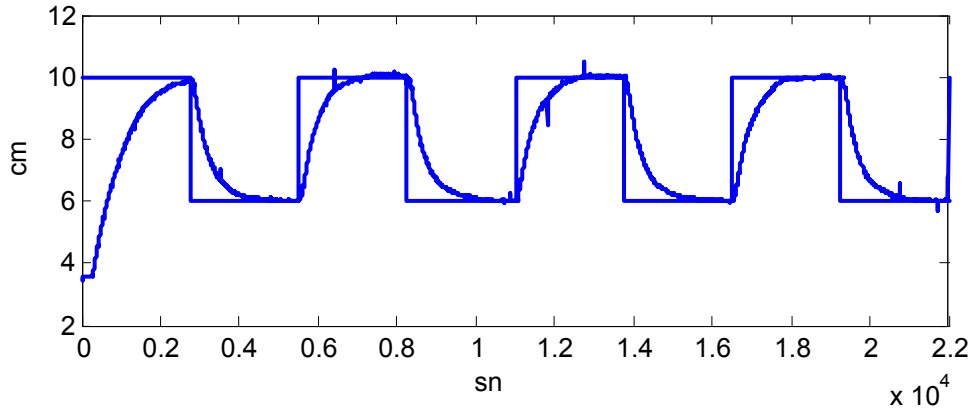


Şekil 5.38 (4-8 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlevsel Etkili Denetim

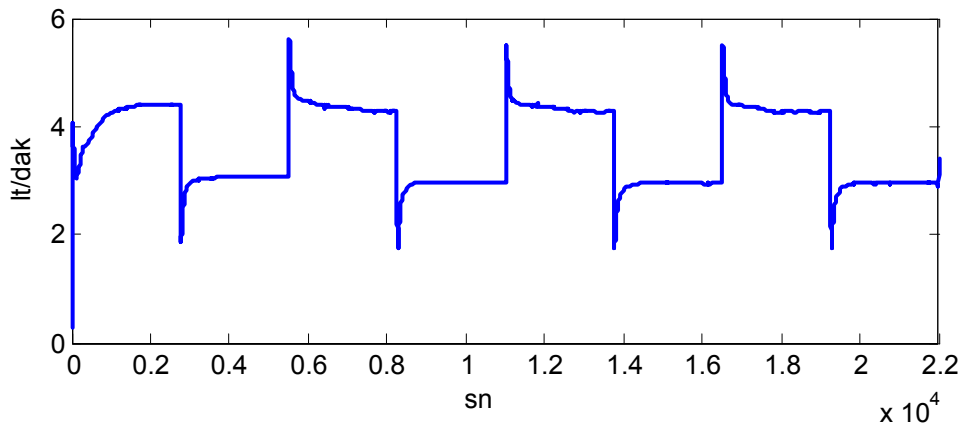


Şekil 5.39 (4-8 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümler Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.38'de görüldüğü gibi sistem çıkışı dayanak sinyalini takip etmektedir fakat yükselme zamanı oldukça yavaş ve kalıcı durum süresi oldukça kısadır. Bunun nedeni dayanak sinyalini kestirim yapılan 8-11 cm aralığından daha aşağıda seçmektir.

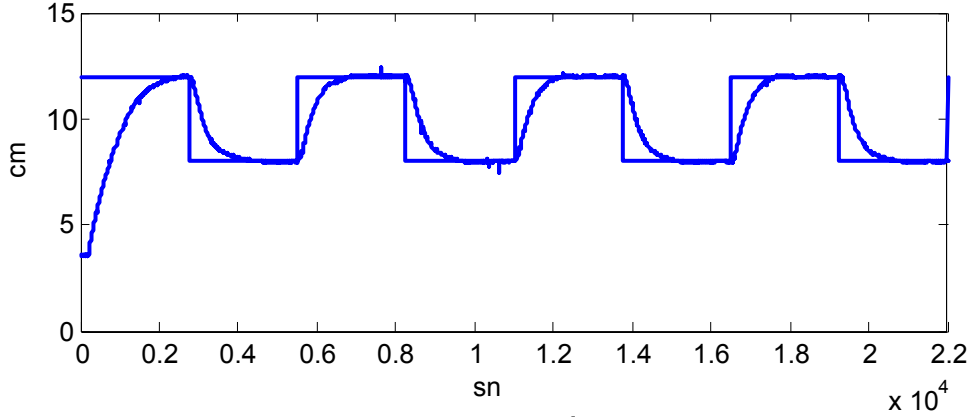


Şekil 5.40 (6-10 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlersel Etkili Denetim

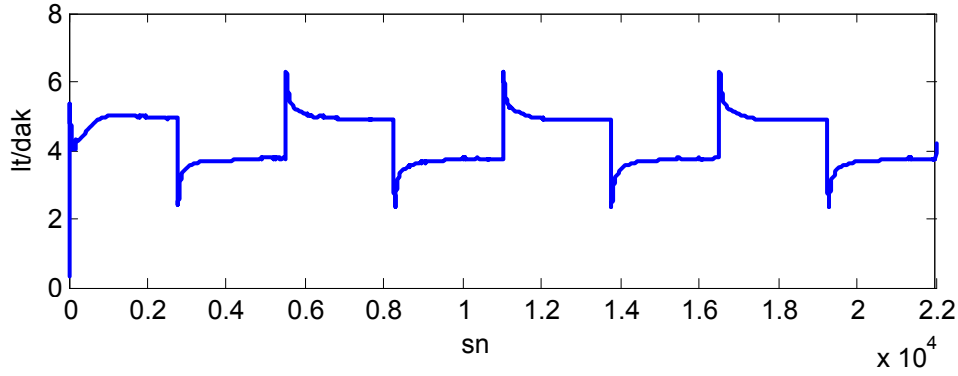


Şekil 5.41 (6-10 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümler Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.40'da dayanak sinyali kestirim yapılan 8-11 cm değerine daha yakın seçilmiştir. Üst sınır olan 10 cm değeri 8-11 cm aralığına düşmektedir. Bu yüzden çıkış sinyali dayanak sinyalini başlangıç kısmı hariç takip etmekte ve kalıcı durum hatası sıfır olmaktadır. Sistem çıkışı kalıcı durumda uzun süre kalmaktadır.



Şekil 5.42 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlensel Etkili Denetim



Şekil 5.43 (8-12 cm)-lik Dayanak Sinyali İçin Tümlen Alıcı Çıkışı (U)

Şekil 5.42'de dayanak sinyali kestirim yapılan 8-11 cm aralığına çok yakın seçildiğinden eniyi denetim bu dayanak sinyali için gerçekleşmektedir. Şekil 5.42'den de görüldüğü gibi sistem hem başlangıç kısmında hem de daha sonra dayanak sinyalini takip etmekte ve kalıcı durum hatası sıfır olmaktadır.

Uygulamada, sistem değişik çalışma noktaları için farklı aktarım işlevlerine sahip olduğu için denetim sistem kestirimini yapıldığı aralıkta veya ona yakın yerlerde yapılmalıdır. Yoksa denetim başarımı iyi olmayabilir. Üçüncü derece su tankı uygulamasında kapalı döngü aktarım işlevinin kökleri birinci su tankının taşması nedeniyle açık döngü kutuplarından daha sola kaydırılmamıştır.

6 SONUÇ

Bu çalışmada iki gözlü ve üç gözlü su tankı sisteminin modellenmesi ve denetlenmesi gerçekleştirilmiştir. Sistem tek girişli tek çıkışlı üçüncü dereceden ve ikinci dereceden bir sistem olarak ayrı ayrı düşünülmüştür. Sistem kestirimi SZÖEKK algoritması kullanılarak yapılmış, ikinci ve üçüncü dereceden farklı iki aktarım işlevi seçilmiş ve değişik örnekleme aralıkları ve süzgeç çokterimlileri için benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Uygulamada, ikinci derece sistemde su düzeyi ikinci gözden, üçüncü derece sistemde ise üçüncü gözden alınmıştır. İkinci ve üçüncü derece su tankı sisteminin modellenmesi SZÖEKK yöntemiyle, denetimi ise iki serbestlik dereceli denetleç kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çıkış sinyali olarak gözlerdeki su düzeyleri alınmıştır. Su düzeyleri algılayıcı tarafından elektriksel sinyallere çevrilmiş Texas firmasının veri edinme kartıyla ve Labview 8.2 programı yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Giriş sinyalleri ise yine aynı kart ve yazılım yardımıyla motor sürücü devreye aktarılmış ve motorun sürülmesi sağlanmıştır. Giriş ve çıkış sinyalleri bilgisayara aktarılıp kaydedilmiş ve Matlab 7 programında, bu veri kullanılarak sistemin modeli, SZÖEKK yöntemiyle elde edilmiştir. Sistem denetimi ise Matlab programında yazılan kodun Labview programına gömülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem giriş ve çıkışları Labview programında yer alan öbekler yardımıyla görsel olarak takip edilmiştir.

Sistem parametrelerinin su düzeylerine göre değişmesi, vana bağlantıları, su motorunun sıcaklıkla değişen özelliklerinden dolayı sistem yoğun bir doğrusal olmayan özellik göstermektedir. İkinci ve üçüncü derece sistem kestiriminde sisteme uygulanan giriş ve çıkış sinyalleri öncelikle sifıra kaydırılmış ve küçük sinyal analizi yapılarak kestirim gerçekleştirilmiştir. Üçüncü derece sistemde ise buna ek olarak sistem çıkışı sistem girişinden farklı yükselmiştir, başka bir deyişle sistem girişine genliği \pm bir değer olan kare dalga giriş sinyali olarak verildiğinde, sistem çıkışı \pm bir değere gitmesi gerekirken gitmemiştir. Bu nedenle bu giriş ve çıkış sinyalleri kullanılarak sistem doğrusal olarak modellenememiştir. Bunun

yerine sistem modeline sapma terimi eklenerek ve SZÖEKK yöntemi kullanılarak kestirim yapılmıştır. Sistem kestiriminin farklı örnekleme zamanları ve farklı süzgeç çokterimlileri için benzetim ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme zamanının en az sistemin zaman sabitinin onda biri olacak şekilde seçilmesinin uygun olacağı, süzgeç çokterimlisinin ise sistem bant genişliğine yakın bir değer alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Örnekleme zamanı küçüldükçe sistem kestiriminin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Sistem denetiminde cebirsel denetim yöntemi olarak iki serbestlik dereceli denetim kullanılmıştır. Bu yöntem ile sistemin hem sınırlarının hem de kutuplarının yerleri değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada açık döngü kutupları su motorunun doyuma ulaşmayacağı şekilde uygun yerlere taşınmışlardır. Su tankı sistemi iki serbestlik dereceli denetleç ile denetlendiğinde sistem çıkışında kalıcı durum hatası gözlenmiş, bu hata sisteme tümlev alıcı eklenerek düzeltilmiştir. Bu durumda denetleç ve kapalı döngü aktarım işlevi derecelerinin bir arttığı gözlenmiştir ve tasarım buna göre yapılmıştır. Bu durumda tümlevsel etkinin denetleçlerde yer alması sağlanmış ve sistem denetimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Denetim farklı aralıklardaki dayanak sinyalleri için yinelenmiştir.

Bu çalışma ileriye yönelik olarak uyarlamalı hale getirilebilir. Sistem parametreleri uyarlamalı olarak kestirilip, Diophantine denklemleri ise her kestirilen sistem için yeniden çözümlenip, denetleçler uyarlamalı olarak elde edilebilir. Bu durumda sistem her çalışma noktasında farklı denetleçler kullanılarak denetlenebilecektir. Ayrıca sistem tek girişli çok çıkışlı olarak yeniden düzenlenebilir ve sistem denetimi yapılabilir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Aström, K J, Wittenmark, B, Adaptive Control, Addison-Wesley, 1989.
- [2] Bateson, R. N., Introduction to Control System Technology, 7th Edition, Prentice Hall, 2002.
- [3] Bequette, B. W., Process Control: Modeling, Design and Simulation, Prentice Hall, 2003
- [4] Chen, C. T., Control System Design: Transfer Function, State-Space and Algebraic Methods, Saunders-HBJ, 1993.
- [5] Civan, G., Çokdeğişkenli SUGÖNDE Yönteminin Pratik Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2004.
- [6] D'Azzo, J. J., Houpis, C. H., Linear Control Systems: Analysis and Design, 4 th Edition, Mc-Graw Hill, 1995.
- [7] Emekli, A. Ö., Çift Tanklı Bir Sıvı Seviye Kontrol Sisteminin Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002.
- [8] Demircioğlu, H, Karasu, E, Generalized Predictive Control: A Practical Application and Comparison of Discrete and Continuous Time Versions, IEEE Control Systems Magazine, Ekim 2000.
- [9] Johansson, R., Identification of Continuous Time Models, 31 st Conference on Decision and Control, Tucson, Arizona, ABD, 1992.
- [10] Karasu, E., GÖNDE ve SUGÖNDE Denetim Yöntemlerinin Gerçek Bir Sisteme Uygulanması ve Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1997.
- [11] Kasap, E., Diofant Denklemleri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 1998.
- [12] Kumbay, Ş., Demircioğlu, H., Model Dayanaklı Uyarlamalı Denetim Uygulamaları, TOK 2006 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Ankara, 2006.
- [13] Küçükavruk, İ., Sıvı Seviyesinin PLC'de PID Yöntemini Kullanarak Scada Destekli Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2002.
- [14] Ljung, L., System Identification: Theory for the User, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, New Jersey, 1987.

- [15] Özcan, A., OTT Denetleçler İçin Otomatik Ayarlama Teknikleri: Uygulamalı ve Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1998.
- [16] Rojas, I, Anguita, M, Pomares, H, Prieto, A, Analysis and Electronic Implementation of a Fuzzy System for the Control of a Liquid Tank, Fuzzy Systems, Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on, s 1541-1547 vol3, Spain, 1997.
- [17] Skogestad, S, Postlethwaite, L, Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, John Wiley & Sons, 1996.
- [18] Söderström, T, Stoica, P, System Identification, Prentice-Hall, 1989.
- [19] Toktaş, A, Sistem Tanıma: Gerçek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1997.
- [20] Uraz, A., Control Systems, Hacettepe University Faculty of Engineering Publications, 2003.
- [21] Uraz, A., Multivariable Control Systems, Lecture Notes, Başkent University Electrical and Electronics Engineering Department, 2003
- [22] Yavuzylmaz, Ç, Kısıtlamalı SUGÖNDE Yönteminin Pratik Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2000.
- [23] Yavuzylmaz, Ç, Kısıtlamalı Sürekli Zaman Öngörülü Denetim, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [24] Zhou, K, Doyle J C, Essentials of Robust Control, Prentice-Hall, 1998.
- [25] Zobar, S, Demircioğlu, H, Kutup Atamaya Dayalı Özayarlama Çokdeğişkenli Otüm Denetim, TOK 2006 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Ankara, 2006.

SÖZLÜK

Acceleration	:İvme
Adaptive Control	:Uyarlamalı Denetim
Asymptotic Tracking	:Sonuşur İzleme
Block Diagram	:Öbek Çizeneği
Closed Loop Transfer Function	:Kapalı Döngü Aktarım İşlevi
Configuration	:Yapılanış, Düzenleşim
Control	:Denetim
Controller	:Denetleç
Coprime	:Eşasal
Cost Function	:Maliyet İşlevi
DC Motor	:Doğru Akım Motoru
External	:Dışsal
Full Row Rank	:Tam Satır Kertesi
Function	:İşlev
Fuzzy Logic	:Bulanık Mantık
Implementable	:Gerçekleştirilebilir
Improper Transfer Function	:Tanımsız Aktarım İşlevi
Input/Output Feedback	:Giriş Çıkış Geribesleme
Integral	:Tümlev
Integral of Absolute Error (IAE)	:Tümlenik Mutlak Hata
Integral of Square Error	:Tümlenik Karesel Hata
Integral of Time Multiplied by Absolute Error (ITAE)	:Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği
Integrator	:Tümlev Devresi
Internal	:İçsel
Internal Model Principle	:İçsel Model İlkesi
Internal Stability	:İçsel Kararlılık
Level	:Düzey
Least Squares	:En Küçük Kareler

Model Matching	:Model Uyumlama
Offset	:Sapma
Open Loop Transfer Function	:Açık Döngü Aktarım İşlevi
Optimal	:Eniyi
Percent Overshoot	:Yüzde Aşma
Performance	:Başarım
Plant	:Fiziksel Sistem
Pole Placement	:Kutup Yerleştirme
Polynomial	:Çokterimli
Prediction	:Öngörü
Predictive Control	:Öngörülü Denetim
Proper Transfer Function	:Tanımlı Aktarım İşlevi
Ramp	:Yokuş
Realizable	:Gerçeklenebilir
Recursive Least Squares	:Özyineli En Küçük Kareler
Rise Time	:Yükselme Zamanı
Self Tuning	:Özayarlamalı
Sensor	:Algılayıcı
Simulation	:Benzetim
Stable	:Kararlı
State Variable Filter	:Durum Değişkeni Süzgeci
Steady State Error	:Kalıcı Durum Hatası
Step	:Basamak
System Identification	:Sistem Tanıma
Two Degree of Freedom Controller	:İki Serbestlik Dereceli Denetleç
Unity Feedback	:Birim Geribesleme
Unstable	:Kararsız
Valve	:Vana
Well Posed	:İyi Konumlanmış