

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TERS SARKAÇ SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK VE KAYAN KIPLI
DENETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülsüm GEZER

Balıkesir, Temmuz - 2011

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TERS SARKAÇ SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK VE KAYAN KIPLI
DENETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülsüm GEZER

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ

Sınav Tarihi: 08/07/2011

Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ

(Danışman – BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Bayram ESEN

(BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Ayhan İSTANBULLU

(BAÜ)

Enstitü Yönetim Kurulunun tarih sayılı oturumunun ..
.... nolu kararı ile mezun olmuştur.

Balıkesir, Temmuz – 2011

“Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2010/08 Kodlu Proje ile desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.”

ÖZET

TERS SARKAÇ SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK VE KAYAN KIPLI DENETİMİ

Gülsüm GEZER

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ)

Balıkesir, 2011

Denetim sistemleri; kalite denetiminde, montaj sistemlerinde, uzay teknolojisinde, ulaşım ve güç sistemlerinde, enerji sektöründe, robotik ve otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Denetim sistemlerine duyulan ihtiyaç denetim tekniklerinin de gelişmesine hız kazandırmıştır.

Denetim tekniklerinin teorik olarak geliştirilmesi ve deneysel olarak gerçekleştirilmesi için elektromekanik sistemler içinde doğrusal olmayan (nonlinear) bir yapıya sahip olan tek ters sarkaç sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple yapılan çalışmada deney düzeneği olarak tek ters sarkaç sistemi kullanılmıştır. Denetleyici olarak kayan kip denetim ve bulanık mantık denetim kullanılmıştır. Tasarlanan denetleyicilerin başarımları simülasyon ve deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bu süreçler LabVIEW™ adı verilen program ve DAQ arabirim elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Tek Ters Sarkaç / Simülasyon / Bulanık Mantık Denetim / Kayan Kip Denetim / LabVIEW / DAQ Kartı

ABSTRACT
**CONTROLLING OF INVERTED PENDULUM WITH FUZZY LOGIC AND
SLIDING MODE CONTROL**

Gülsüm GEZER
Balikesir University, Institute of Science,
Department of Electric – Electronics Engineering

(M.Sc. Thesis / Supervisor: Assist. Dr. Metin DEMIRTAS)

Balikesir - Turkey, 2011

Control systems are widely used in quality control, assembly systems, space technology, transportation and power systems, energy sector, robotics and automation systems. The need for control systems is also accelerated the development of control techniques.

Single inverted pendulum system, which is a one of non- linear structured electromechanical system, is widely used for development and realization of the experiments of control techniques. Therefore, in this study the single inverted pendulum is used. The controllers are sliding mode control and fuzzy logic control. The performances of the designed controllers observed as simulation and experimental. These processes were carried out using the program which is called LabVIEW™ and DAQ interface unit. The obtained results have been analyzed.

KEY WORDS: Single Inverted Pendulum / Simulation / Fuzzy Logic / Sliding Mode Control / LabVIEW / DAQ Card

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMA VE SİMGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
2. DENETİM SİSTEMLERİ.....	4
2.1. Denetim Sistemlerinin Tanımları.....	4
2.2. Denetim Sistemlerinin Amaçları.....	5
2.3. Geri Beslemeli Denetim Sistemleri.....	6
2.3.1. Doğrusal Olmayan Denetim Sistemleri	6
2.3.2. Zamanla Değişen Sistemler	7
2.3.3. Sürekli Denetim Sistemleri	8
3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN DENETİM YÖNTEMLERİ	10
3.1. Bulanık Mantık Temel Kavramları	13
3.1.1. Bulanıklaştırma	15
3.1.2. Kural Tabanı.....	17
3.1.3. Karar Mekanizması	20
3.1.4. Durulaştırma.....	21
3.2. Kayan Kip Denetim.....	25
3.2.1. Değişken Yapılı Denetleyici'nin Özellikleri.....	27
3.2.2. Kayan Kip Denetleyici Tasarımı.....	28

<u>4. LABVIEW™ VE SİMÜLASYONLAR.....</u>	<u>30</u>
4.1. LabVIEW™	30
4.2. LabVIEW™ Arayüzü	31
4.2.1. Ön Panel	31
4.2.2. Blok Diyagram	32
4.2.2.1. Ön Panel Araç Çubuğu.....	32
4.2.2.2. Blok Diyagram Araç Çubuğu.....	34
4.2.3. Paletler.....	35
4.2.3.1. Denetim Paleti.....	35
4.2.3.2. Fonksiyon Paleti.....	37
4.3. Simülasyonlar.....	37
4.3.1. Ters Sarkaç Sisteminin Impulse (Darbe) Cevabı	38
4.3.2. Bulanık Mantık Denetimin Tek Ters Sarkaç Sistemine Uygulanması	41
4.3.3. Kayan Kip Denetimin Tek Ters Sarkaç Sistemine Uygulanması	47
<u>5. MEKANİK-ELEKTRONİK DONANIM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</u>	<u>49</u>
5.1. Motor.....	49
5.2. Potansiyometre.....	50
5.3. DAQ Kartının Özellikleri.....	51
5.4. SC-2075 Deney Modülü	51
5.5. Denetim Bilgisayarı	52
5.6. Motor Sürücü Devresi	53
5.7. Tek Ters Sarkaç.....	56
5.8. Bulanık Mantık Denetim ile Tek Ters Sarkaç Sistemi Denetimi.....	57
5.9. Kayan Kip Denetim ile Tek Ters Sarkaç Sistemi Denetimi	60
5.10. Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması	63
<u>6. SONUÇ</u>	<u>66</u>
<u>7. KAYNAKLAR</u>	<u>67</u>

KISALTMA ve SİMGE LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
SISO	Tek Giriş Tek Çıkış
SIMO	Tek Giriş Çok Çıkış
MIMO	Çok Giriş Çok Çıkış
DA	Doğru Akım
AA	Alternatif Akım
PID	Oransal Integral Türev
A/D	Analog/Sayısal
D/A	Sayısal/Analog
Sign	Signum Fonksiyonu
VI	Virtual Instruments
NI	National Instruments
DAQ	Data Acquisition Card
ADC	Analog/Sayısal Çevirici (Analog to Digital Converter)
DIO	Sayısal Giriş/Çıkış
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
I/O	Giriş/Çıkış (Input/ Output)
BNC	Koaksiyel kablo konektörü (Bayonet Neill-Concelman)
SCXI	Alet Düzeni İçin Sinyal İyileştirme Uzantıları (Signal Conditioning Extensions for Instrumentation)
DAQ- STC	DAQ Sistem Zaman Denetçisi (DAQ System Timing Controller)
TTL	Transistör Transistör Mantık (Transistor Transistor Logic)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
M	Tek Ters Sarkaç sisteminde arabanın kg cinsinden kütlesi
m	Tek Ters Sarkaç sisteminde çubuğun kg cinsinden kütlesi
g	Yer çekim ivmesi
x	Metre cinsinden arabanın konumu
θ	Tek Ters Sarkaç Sisteminde çubuğun dikeyle yaptığı radyan cinsinden açısı
l	Tek Ters Sarkaç Sisteminde çubuğun boyu
u	Denetim işareti
b	Sarkacın sürtünme katsayısı
I	Sarkacın atalet momenti
F	Sarkaca uygulanan kuvvet

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Basit bir denetim sisteminin blok diyagramı	5
Şekil 2.2. Bir DA kapalı çevrim sisteminin şematik blok diyagramı	8
Şekil 2.3. Bir AA kapalı çevrim sisteminin şematik blok diyagramı	9
Şekil 3.1. “Schrödinger’in kedisi” deneyi	11
Şekil 3.2. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması.....	14
Şekil 3.3. Çeşitli üyelik fonksiyonları	14
Şekil 3.4. Bir bulanık mantık denetleyicinin yapısı	15
Şekil 3.5. Yedi etiketli üyelik fonksiyonuna tanım uzayı.....	16
Şekil 3.6. Hava sıcaklığının üyelik fonksiyonlarına dağılımı.....	17
Şekil 3.7. Üçgen üyelik fonksiyonu ve sınırları.....	17
Şekil 3.8. Sıcaklık değişkeni için üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 3.9. Bulanık mantık denetim sisteminin blok diyagramı	21
Şekil 3.10. İki ayrı hata değeri için karşılık gelen üyelik fonksiyonları	22
Şekil 3.11. Girişlere göre bulanık kuralların gerçekleştirilmesi	24
Şekil 4.1. LabVIEW™ programı açılış penceresi	30
Şekil 4.2. LabVIEW™ programında ön panel	31
Şekil 4.3. LabVIEW™ programında blok diyagram	32
Şekil 4.4. Ön panel araç çubuğu	32
Şekil 4.5. Blok diyagram araç çubuğu	34
Şekil 4.6. Denetim paleti.....	36
Şekil 4.7. Fonksiyon paleti	37
Şekil 4.8. Ters sarkaç modellemesi.....	38
Şekil 4.9. PID ile gerçekleştirilen ters sarkaç impulse cevabı ön paneli	39
Şekil 4.10. Ters sarkaç impulse cevabı blok diyagramı.....	40
Şekil 4.11. Ters sarkaç sisteminin impulse cevabı	40
Şekil 4.12. Bulanık sistem tasarımcısı	41
Şekil 4.13. Bulanık mantıkta hata (e), hata farkı (ce) ve çıkış (out) için oluşturulan kümeler.....	42
Şekil 4.14. Bulanık mantık kural çizelgesinin LabVIEW™’de uygulanışı.....	43
Şekil 4.15. Fuzzy.lvm dosyası	44
Şekil 4.16. Bulanık mantık denetim simülasyonu ön paneli.....	45
Şekil 4.17. Bulanık mantık denetim simülasyonu blok diyagramı	46
Şekil 4.18. Kayan kip denetim ile ters sarkaç simülasyonu ön paneli.....	47
Şekil 4.19. Kayan kip denetim ile ters sarkaç simülasyonu blok diyagramı	48
Şekil 5.1. Sistemin genel yapısı	49
Şekil 5.2. DA motorun görünüşü	50
Şekil 5.3. Potansiyometrenin görünüşü	50
Şekil 5.4. DAQ Kartı	51
Şekil 5.5. SC-2075 Deney modülü	52
Şekil 5.6. Motor sürücü devresi	53
Şekil 5.7. Motor sürücü devresinin proteus çizimi	54
Şekil 5.8. Motor sürücünün baskı devresi.....	55
Şekil 5.9. Tek ters sarkaç	56
Şekil 5.10. Bulanık mantık denetim yöntemi ön paneli.....	57

Şekil 5.11. LabVIEW™ programı bulanık mantık deneyi blok diyagramı.....	59
Şekil 5.12. Kayan kip denetim yöntemi ön paneli	60
Şekil 5.13. LabVIEW™ programı kayan kip deneyi blok diyagramı	62
Şekil 5.14. Bulanık mantık denetim deneyinde hata ve türevi	63
Şekil 5.15. Kayan kip denetim deneyinde hata ve türevi.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
Çizelge	3.1.	Hata ve hatanın değişimi örnek kural tablosu	19
Çizelge	3.2.	Bir servo motor için bulanık mantık kuralları	23
Çizelge	4.1.	Bulanık mantık kural çizelgesi	43

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ters sarkaç sistemleri üzerine LabVIEW™ programıyla simülasyon yapılarak, kayan kip denetim ve bulanık mantık denetim uygulanmıştır.

Bu tezin deneysel çalışmaları Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik/Elektronik Mühendisliği Laboratuvarında 2011 yılında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarımın yürütülmesinde bana gösterdiği maddi ve manevi desteklerinden dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmaların yapılmasında teorik ve donanım konusunda bana her zaman destek olan başta Süleyman KAVAK olmak üzere, Yrd. Doç. Dr. Ayhan İSTANBULLU'ya, Öğr. Gör. Ahmet KOÇAK'a, Öğr. Gör. Mehmet YÜKSEK'e ve her zaman desteğini hissettiğim aileme teşekkür ederim.

“Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2010/08 kodlu proje ile desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.”

Balıkesir, 2011

Gülsüm GEZER

1. GİRİŞ

Son yıllarda, uygarlığın ve teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesiyle birlikte, denetim sistemlerinin önemi gittikçe artmaya başlamıştır. Denetim sistemleri üretilen ürünlerin kalite denetiminde, otomatik montaj hatlarında, makine ve aletlerin denetiminde, uzay teknolojisinde, silah sistemlerinde, bilgisayarlı denetim sistemlerinde, ulaşım ve güç sistemlerinde, robotik ve benzeri endüstri sektörlerinde çok yaygındır. Hatta sosyal ve ekonomik sistemlerin denetiminde bile, bugün otomatik denetim kuramı uygulanmaktadır [1].

Denetim sistemleri günümüzde ileri toplumların günlük yaşantısına girmiş ve hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Örneğin yaşanan ortamda konforlu bir yaşam sürdürülebilmesi için binaların sıcaklık ve neminin ayarlanması gerekmektedir. Ulaşımında bir yerden başka bir yere emniyetli bir şekilde gidebilmek için otomobil ve uçakları denetlemek gerekir. Endüstrideki üretim süreçlerinde, ürünlerin doğru imal edilmeleri ve maliyetleri yönünden, çeşitli amaçlar güdülür. Bir insan karar verme dahil olmak üzere, çok farklı görevleri yerine getirme yetisine sahiptir. Bu görevlerin bir kısmı, bir nesneyi tutmak ve bir noktadan başka bir noktaya taşımak gibi, çok olağan ve sıradan işlemlerden oluşur. Bazı özel koşullarda bu görevlerin en iyi biçimde yerine getirilmesi istenebilir. Bu hedeflere ulaşabilmek için genellikle denetim stratejilerini gözetererek sistemleri denetlemek gerekir.

Ters sarkaç sistemleri, denetim yöntemlerinin üzerinde uygulandığı çok yaygın olarak kullanılan deneme sistemleridir. Bu sistemler uçak, füze, robot kontrolü gibi günümüzde kullanılan birçok denetim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Denetim sistemlerinin geliştirilmesi bakımından ters sarkaç sistemleri iyi bir deneme özelliği taşımaktadır. Ters sarkaç sistemlerinin doğrusal olmaması ve kararsız olması nedeniyle modern denetim tekniklerinin gelişmesinde önemli bir yere sahiptir ve bu sistemler literatürde yaygın olarak çalışılmaktadır. Ters sarkaç sistemi denetimiyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları aşağıda açıklanmıştır.

G. A. Medrano-Cerda isimli bilim adamı bilgisayar denetleyicili ters sarkaç denetimi yapmıştır. Bu çalışmada ters sarkacın gürbüzlük performansı incelenmiştir.

Bu çalışma ayrıca durum uzayı ve frekans cevabı kullanılarak yapılan bir sayısal denetleyici tasarımını içermektedir [2]. Chaio-Shiung Chen ve Wen-Liang Chen adlı araştırmacılar da ters sarkaç sistemi için adaptif kayan kip denetim ve bulanık mantık modelini birlikte kullanmışlardır [3]. Mario Magana ve Frank Holzapfel ise Oregon State Üniversitesi'nde kamera geri beslemeli ters sarkaçta bulanık mantık denetimini kullanmışlardır [4]. Yapılan bir diğer çalışmada ise Ahmet Cihan ve Cihan Karakuzu, Bulanık – PID parametrelerinin diferansiyel gelişim algoritmasını ters sarkaç sistemi üzerinde uygulamışlardır. Çalışmada ters sarkaç denetim problemi için bir bulanık denetleyici tasarlanmış, ayrıca diferansiyel gelişim algoritması yardımıyla üçgensel olarak seçilen bulanık üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin etkin bir biçimde belirlenebileceği gösterilmiştir [5]. Rong-Jong Wai ve Li-Jung Chang ise lineer olmayan çift eksenli bir ters sarkaç sisteminin denetimini bulanık-sinir ağı kullanarak gerçekleştirmiştir [6]. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nden Aydın Eresen, Nevrez İmamoğlu ve Mehmet Önder Efe de bir sarkaç sisteminde video geri beslemesi ile gerçek zamanlı denetim gerçekleştirmişlerdir. Burada sarkaç çubuğu üzerine sabitlenen bir mini kamera vasıtasıyla dönme eksenine dik düzlemde bulunan bir cismin video üzerinde önceden tanımlanmış bir bölgeye yerleşmesi problemi ele alınmıştır. Sistemin alt düzey denetimi bir denetim kolu üzerinden elle yapılmış, ardından integral denetleyici ve bulanık mantık denetleyici denenmiştir [7]. Jinshih S. Taur, C. W. Tao, Tzuen Wu Hsieh ve Tzuen Wu Hsieh adlı bilim adamları ise Takagi- Sugeno tipi bulanık mantık modeliyle bulanık mantık denetleyicisi tasarlamışlardır [8]. Yine aynı şekilde F.H.F. Leung, L.K. Wong ve P.K.S. Tam da bir ters sarkaç için bulanık model tabanlı bir denetleyici tasarlamışlardır [9]. Tayvanlı bilim adamları Rong-Jong Wai, ve Li-Jung Chang da kayan kip denetimle ters sarkaç sistemi üzerinde adaptif bir denge sağlamışlardır [10].

Bu çalışmada bulanık mantık denetim ve kayan kip denetim tekniği, tek ters sarkaç sistemi üzerine uygulanmıştır. Çalışmada sistemin deney düzeneği tasarlanarak, deneysel uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemin simülasyonları da yapılmıştır.

Bölüm 2 'de denetim sistemleri hakkında genel ifadeler açıklanmış, sınıflandırılması gibi konularda bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3 'de deneysel çalışmada kullanılan denetim yöntemleri olan kayan kip denetim ve bulanık mantık denetimin temel özellikleri anlatılmıştır. Kayan kip denetim tasarımı ve kayan kip denetimin dayanıklılık özelliği, bulanık küme-klasik küme karşılaştırması, bulanık mantık denetleyicinin yapısı konularından bahsedilmiştir.

Bölüm 4 'de LabVIEW™ programının tanıtımı yapılmış ve belirlenen başlangıç koşullarına göre simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 5 'de deneysel düzeneğin mekanik ve elektronik donanımından bahsedilmiştir. Kayan kip denetimin ve bulanık mantık denetimin tek ters sarkaç sistemlerine uygulanması anlatılmıştır.

Bölüm 6 'da deneysel sonuçlar yorumlanmıştır.

2. DENETİM SİSTEMLERİ

Bu bölümde genel olarak denetim sistemlerinin amaçları, türleri ve sınıflandırılışından bahsedilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan denetim sistemleri, zamanla değişen, sürekli verili sistemler ve blok diyagramları gibi konularda da ayrıntılar verilmiştir.

Son dönemlerde denetim sistemleri uygarlığın gelişmesinde çok önemli bir rol üstlenmiştir. Günümüzde hemen hemen her alanda sistemler veya düzenler otomatik denetim yöntemleri yardımıyla yapılmaktadır. Özellikle endüstride otomatik denetim sistemlerinin sayısız uygulamaları vardır. Örnek verilecek olursa robotlar ve denetimleri, gemilerin denetimleri, sağlık sektöründe ilaçların proses denetimi, güdümlü araçların bilgisayar ile denetimi, trafik denetimleri, fabrika otomasyon denetimleri v.b. gibi örnekler istenildiği kadar çoğaltılabilir.

2.1. Denetim Sistemlerinin Tanımları

Sistem: Bir bütünü oluşturan, birbiri ile bağlı ya da belli bir işlev için bir araya getirilmiş olan elemanların topluluğuna ya da kümesine denir.

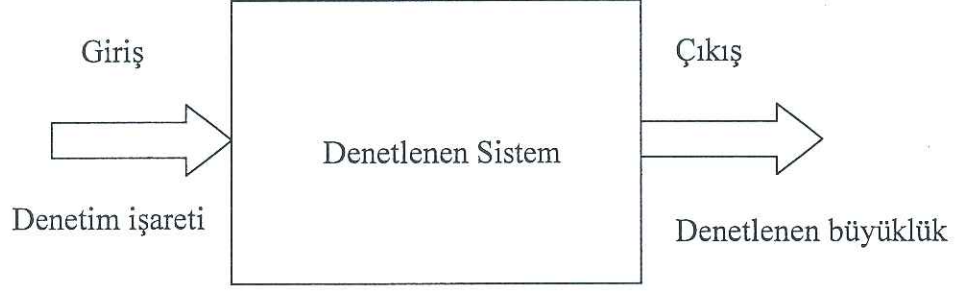
Denetim: Genellikle ayar eden, düzenleyen, yöneten ya da kumanda eden anlamına gelir.

Denetim Sistemi: Kendisini ya da başka bir sistemi düzenlemek, kumanda etmek veya yönetmek üzere uygun bir biçimde bağlanmış fiziksel elemanlar kümesidir.

Giriş: Sistemi, organı ya da denetlenecek düzeni, denetleme amacı ile uygulanan işaretlerdir.

Çıkış: Belli bir girişe ya da girişlere ilişkin olan sistemin çıkış işareti ya da işaretleridir.

Şekil 2.1 de basit bir denetim sistemi gösterilmiştir. Eğer sistemin bir girişi ve bir çıkışı varsa, bu denetim sistemine bir girişli ve bir çıkışlı (SISO) sistem denir. Bu işaretler çok sayıda ise çok girişli ve çok çıkışlı sistem (MIMO) denir. Günümüzde kullanılan sistemler genel itibarıyla çok girişli ve çok çıkışlı sistemlerdir.



Şekil 2.1. Basit bir denetim sisteminin blok diyagramı

2.2. Denetim Sistemlerinin Amaçları

Genel olarak bir denetim sisteminin amacı, denetim sistemlerinin elemanları aracılığı ile girişleri kullanarak, çıkışları önceden belirlendiği şekilde denetlemektir [1]. Denetim sistemlerinin amaçları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Bir takım süreçlerin çıktısını, istenen sabit bir değerde denetim altına almak,
- Süreçlerin çıktısının belirli bir değişim formunu takip etmesini sağlamak,
- Olayların belirli bir sıralamaya göre oluşmasını sağlamak.

Zaman sürürlü veya olay sürürlü şeklinde sıralama yapılabilir. Böylece özel koşullar gerçekleştiğinde daha önceden belirlenen olaylar meydana gelir.

2.3. Geri Beslemeli Denetim Sistemleri

Bu çeşit denetim sistemlerinde denetleyiciye sensörler aracılığı ile sistemin mevcut durumu hakkında bilgi gönderilmekte (geri besleme) ve denetleyici çıkıştaki hataya bağlı olarak girişi düzeltmektedir.

Bir denetim sisteminde denetlenen değişkenin yani çıkışın bir fonksiyonu olan ve giriş sinyali ile karşılaştırılarak hata sinyalinin elde edilmesini sağlayan sinyale geri besleme sinyali, denetlenen çıkış sinyali ile geri besleme sinyali arasında işlevsel bağlantı kuran elemana da geri besleme elemanı denir.

Çıkış işaretlerinin ya da denetlenen büyüklüğün yönetilmesi açısından denetim sistemleri açık çevrim denetim sistemleri ve kapalı çevrim denetim sistemleri şeklinde sınıflandırılır. Açık çevrim ve kapalı çevrim denetim sistemleri arasındaki fark geri besleme etkisidir. Geri besleme etkisi de pozitif geri besleme ve negatif geri besleme olarak sınıflandırılır.

2.3.1. Doğrusal Olmayan Denetim Sistemleri

Genelde doğrusal olmayan ve kompleks sistemler için denetleyici tasarım yaklaşımları iki kategoriye ayrılabilir [11,12]. Bunlardan ilki doğrusal olmayan sistemi doğrusal sisteme yaklaştırmaktır. Klasik doğrusal denetim kanunları dengeye ulaşan yaklaşık sisteme daha sonra uygulanır. Diğer kategorideki yaklaşımlarda ise doğrusal olmayan sistemlere direkt lineer olmayan denetleyiciler uygulanır.

Fiziksel sistemlerin tamamı belirli bir ölçünün ötesinde doğrusal olmadığından uygulamada doğrusal sistem yoktur. Doğrusal geri beslemeli denetim sistemleri, analiz ve tasarım basitliği nedeni ile analizciler tarafından düşünülmüş bir ideal modeldir. Bir denetim sistemindeki işaretlerin genliği, sistem elemanlarını doğrusal davranış göstereceği, belirli sınırlar içinde tutulursa (süperpozisyon ilkesi geçerliyse) sistem ana hatları ile doğrusal çalışma bölgesinin dışına taşarsa doğrusal olmamanın derecesine bağlı olarak sistem artık doğrusal olarak kabul edilemez. Örneğin denetim sistemlerinde kullanılan güç kuvvetlendiricilerinde giriş işaretleri çok büyüdüğünde

doyma etkisi görülür. Bir motorun manyetik alanı da doyma özelliği gösterir. Denetim sistemlerinde sık rastlanan diğer doğrusal olmayan etkenler için birbirlerine geçen dişli takımlar arasındaki boşluk, doğrusal olmayan yay karakteristiği, hareketli elemanlar arasındaki doğrusal olmayan sürtünme, kuvvet ya da moment ilişkileri sayılabilir. Çoğu kez, bir denetim sisteminin davranışını iyileştirmek ya da daha etkin denetleyebilmek için, sisteme doğrusal olmayan bir karakteristik eklenir. Örneğin bir çok güdümlü füze ve uydu denetim sisteminde, en kısa zaman denetimini gerçekleştirmek için, aç-kapa (bang-bang ya da röle) türü denetleyici kullanılır. Bu sistemlerde sistem davranışını etkilemek için aracın her iki tarafına tepki momenti sağlayan jetler yerleştirilir. Genellikle bu jetler tam açık ya da tam kapalı olarak denetlenir. Böylece uzay aracının konumunu denetlemek üzere her bir jete, sabit miktarda hava, belirli bir zaman zarfında uygulanmış olur.

Doğrusal sistemlerin analiz ve tasarımı için çok sayıda analitik ve grafik yöntem geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan sistemlerin matematiksel olarak ele alınması çok zordur. Ayrıca doğrusal olmayan sistemleri çözmek için genel bir yöntem de mevcut değildir. Denetim sistemlerinin tasarımında, sistemlerdeki doğrusalsızlıklar yok sayılarak, öncelikle doğrusal sistem modeline dayanan bir denetleyici tasarlanması çok daha kolaydır. Tasarlanan denetleyici değerlendirilmek üzere doğrusal olmayan sistem modeline uygulanır ya da benzetimi ile tekrar tasarlanır.

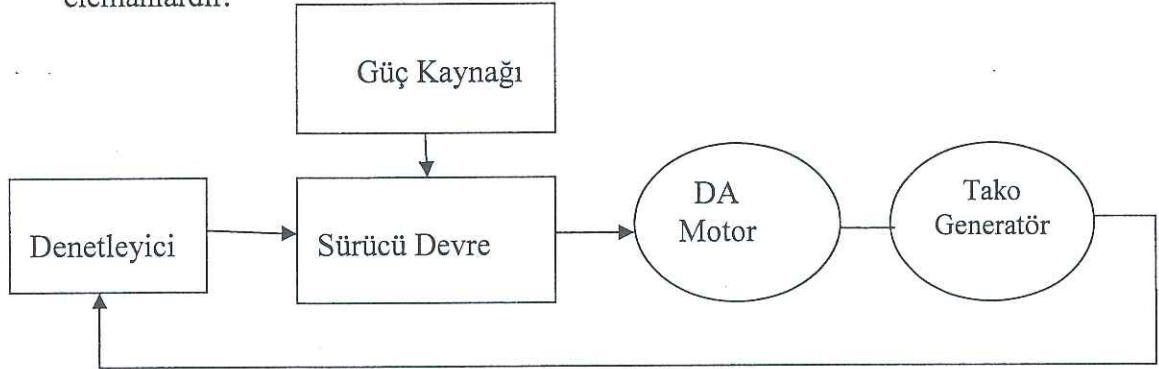
2.3.2. Zamanla Değişen Sistemler

Teoride bir denetim sisteminin parametreleri, sistem çalışırken zamandan bağımsız olarak değişmezse, o sisteme zamanla değişmeyen sistem denir. Uygulamada fiziksel sistemlerin çoğunda zamanla değeri kayan ya da değişen elemanlar bulunur. Örneğin bir elektrik motorunun sargı direnci, motor ilk uyarıldığında sıcaklığı yükselirken değişir. Güdümlü füzeler uçuş sürecince yakıt harcadığından kütleleri genellikle zamanla değişen türdendir. Doğrusal ve zamanla değişen sistemlerin analiz ve tasarımı doğrusal zamanla değişmeyen sistemlere göre genellikle çok daha karmaşıktır.

2.3.3. Sürekli Denetim Sistemleri

Bir sürekli-verili sistem, sistemin farklı kısımlarındaki işaretlerin tümü sürekli t zaman değişkeninin fonksiyonu olan bir sistemdir. Sürekli-verili denetim sistemleri kendi aralarında doğru akım (DA) ve alternatif akım (AA) şeklinde ikiye ayrılırlar. Bir AA denetim sisteminden bahsedildiğinde, genellikle sistem içindeki işaretlerin bir tür modülasyon yöntemiyle modüle edildiği anlaşılır. Buna karşın bir DA denetim sisteminden bahsedildiğinde, sistemdeki bütün işaretlerin tek yönlü olduğu anlamı çıkmaz. Çünkü bu durumda hiçbir düzeltici denetim hareketi oluşmaz. Basit olarak bir DA denetim sistemi, işaretleri modüle edilmemiş, ancak yine de işaretleri AA olan bir sistemdir.

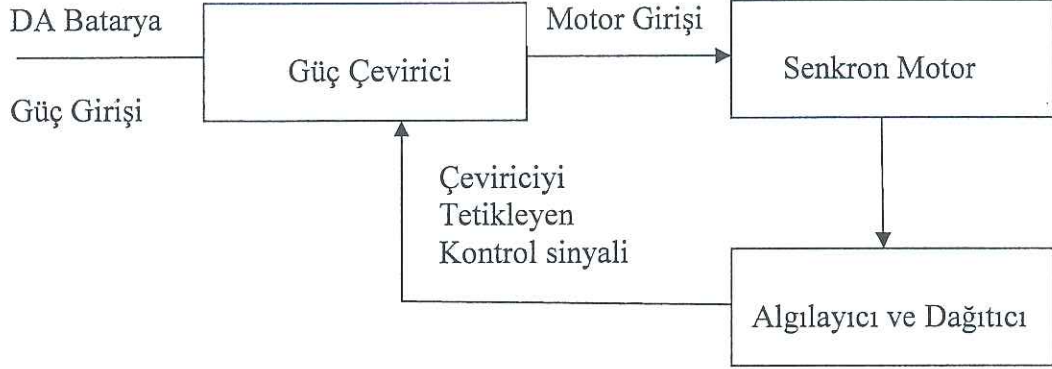
Bir DA denetim sisteminin şematik kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, bir DA denetim sisteminin elemanları, denetleyiciler, DA güç kuvvetlendiricileri, DA motorları, DA takometreleri vb elemanlardır.



Şekil 2.2. Bir DA kapalı çevrim sisteminin şematik blok diyagramı

Genel itibariyle Şekil 2.2. 'deki sistemle aynı olan örneksel bir AA denetim sisteminin blok diyagramı Şekil 2.3.'te verilmiştir. Yani bilgi bir AA taşıyıcı işaret tarafından iletilir. Denetlenen çıkış değişkeninin hala bir DA sistemine benzer davranış gösterdiği görülür. Bu durumda modüle edilmiş işaretler AA motorunun alçak geçiren karakteristiği tarafından demodüle edilir. Genellikle AA denetim sistemleri gürültü ve bozucuların sorun yarattığı uçuş ve uydu denetim sistemlerinde sık kullanılır. 400 Hz ve üstünde taşıyıcı frekanslı, modüle edilmiş AA denetim sistemleri kullanıldığında, sistem alçak frekans gürültülerine karşı daha az duyarlı

hale gelir. Bir AA denetim sisteminin elemanları AA kuvvetlendiricileri, AA motorları, jiroskoplar, ivme ölçerler vb elemanlar olabilir.



Şekil 2.3. Bir AA kapalı çevrim sisteminin şematik blok diyagramı

Uygulamada denetim sistemleri kesin çizgilerle AA ya da DA olarak ayrılmaz. Bir sistemde değişik noktalardaki işaretleri modülatör ve demodülatörler olarak kullanarak uygun hale getirmek, AA ve DA elemanlarını birlikte kullanmak mümkündür.

Sayısal denetim sistemi, sistem içinde bir sayısal bilgisayarın denetleyici olarak kullanıldığı ve işaretlerin ikili kod olarak sayısal kodlandığı denetim sistemidir.

Ayrık verili denetim sistemleri sürekli verili denetim sistemlerinden sistemin bir veya daha çok noktasında işaretlerin bir darbe dizisi ya da sayısal kodlanmış biçimde olmasıyla ayrılır. Ayrık verili denetim sistemleri, örneklenmiş verili denetim sistemleri ve sayısal denetim sistemleri olarak iki alt bölüme ayrılmıştır. Örneklenmiş verili denetim sistemleri, içindeki işaretlerin darbe dizisi biçiminde olduğu, daha genel kapsamlı bir ayrık verili denetim sistemini ifade eder.

Genel anlamda, bir örneklenmiş verili sistem veri ya da bilgiyi sadece belirli aralıklarda kesikli bir biçimde alır. Özellikle denetim sistemlerindeki hata sadece darbeler şeklinde oluşturulabilir. Bu nedenle ardışık iki darbe arasında denetim sistemi hata işareti hakkında hiçbir bilgi edinemez. Daha kesin ifade edilirse, bir örneklenmiş verili sistem bir AA sistemi olarak da sınıflandırılabilir. Çünkü sistem işareti darbe modülasyonludur.

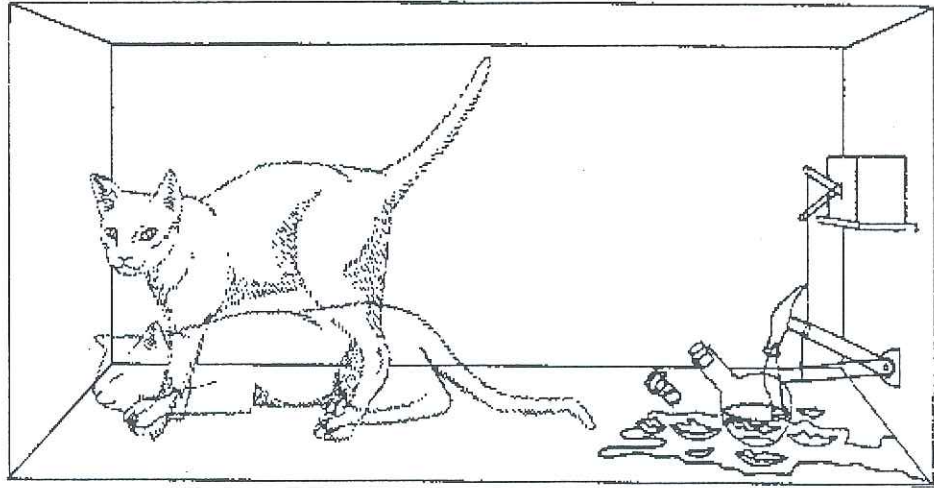
3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN DENETİM YÖNTEMLERİ

Bulanık mantık denetim ilk olarak 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi profesörlerinden Lofti A. Zadeh' in bu konu hakkındaki çalışmalarının yayınlanmasıyla duyuldu. Bu kavram her geçen gün daha fazla önem kazanarak temelinde belirsizlikleri barındıran yapısının da etkisiyle birçok alanda kullanılmaktadır. Bulanık mantık ile gündelik hayatın belirsiz akışında gerçeğe daha yakın analizler yapılabilmekte ve bu da doğru sonuçların oluşması ihtimalini arttırmaktadır [13].

Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve altkümelere dayanır. Klasik mantıkta varlık bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde eğer bu varlık kümenin elemanıysa "1", kümenin elemanı değilse "0" değerini alır. Oysaki bazı önermelerin doğruluk değerleri, ölçümlerin temel sınırlamalarından dolayı belirsiz olabilmektedir [14]. Bu açıdan bulanık mantık, klasik küme gösteriminin genişletilmiş halidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi mevcuttur. Bu derece (0,1) aralığında herhangi bir değer olabilir. Bulanık mantık ve klasik mantık bu noktada birbirinden ayrılır. Klasik mantıkta kesin verilerden söz edilir(1 veya 0, var veya yok). Klasik mantıkta bulunan soğuk-sıcak, doğru-yanlış, güzel-çirkin gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz sıcak, biraz soğuk, çok güzel vb. gibi esnek niteleyicilerle gerçek dünyaya benzetilir.

Eğer bir insan denetleyicilerin yaptığı gibi bu bilgileri otomatik denetimde makinelere kullanılabılırsa, inceden inceye bir matematiksel modelleme yapılmasına gerek kalmayacaktır. Ayrıca bilgilerin mutlaka tecrübeye dayanması da gerekmemektedir. Uzman bir kişinin yeni geliştirilen bir sistem hakkındaki sezgisel bilgileri de bu gibi cümlelerle ifade edilebilmektedir. Bu da sistem dizaynının en zor tarafı olan modelleme, doğrusallaştırma gibi matematiksel kesinlik isteyen çalışmaları ortadan kaldırmaktadır. Bu yönleriyle bulanık mantık denetleyicinin endüstriyel uygulamalarda hızla yaygınlaşacağı anlaşılmaktadır.

İnsanlar, eski çağlardan beri matematiğin içerdiği belirsizleri çözme çabasında olmuşlardır ancak kesin sonuçlara ulaşma noktasında önlerine hep engeller çıkmıştır. Klasik mantıkla bunun çözümünü bulamamışlardır. Einstein'ın izafiyet teorisiyle beraber ortaya çıkan belirsizlik tanımının çözümlenememesi bu sıkıntıyı iyice arttırmıştır. İzafiyet teorisinin oluşumuyla beraber ortaya çıkacak yeni gelişmeler, icatlar ve bilimsel ilerlemelerin klasik mantık yoluyla gerçekleşmesinin zor olmasından kaynaklanan olumsuz etki bulanık mantığın ortaya çıkmasıyla sona ermiş, böylece izafi kavramlar farklı dallar içine daha rahat yerleştirilebilmişlerdir. Schrödinger de izafiyet teorisine “Schrödinger'in kedisi” görüşüyle açıklayıcılık getirmiş ve bilim dünyasında bulanık mantığın sunumuna ve yayılmasına önemli bir katkıda bulunmuştur. Şekil 3.1' de “Schrödinger'in kedisi” deneyi resmedilmiştir.



Şekil 3.1. “Schrödinger'in kedisi” deneyi

Schrödinger'in düşünce deneyi olarak bilinen bu deneyde bir kedi, hava delikleri olan bir kutunun içerisine konuluyor. Bu kutuda zehirli bir gaz şişesi bulunuyor ve gazın havaya karışmasını sağlayacak mekanizma, bozunma yarı ömrü bir saat olan bir radyoaktif parçacık ile denetleniyor. Bu mikroskobik parçacığın davranışı ancak kuantum mekaniği ile ifade edilebilir. Burada kedinin kaderi parçacığın davranışına bağlıdır. Schrödinger'in iddiasına göre bir saat sonunda kedinin canlı veya ölü olma olasılıkları eşit. Klasik mantıkla bu deneyin sonuçları değerlendirilirse; ya “bozunma oldu ve kedi öldü” ya da “bozunma olmadı, kedi

hayatta” gibi iki uç noktadan söz edilir. Ancak burada klasik mantık yetersiz kalır. Schrödinger’in analizi doğru ise kuantum kavramına göre kedinin iki durumunun da eşit olasılıklara sahip olduğu kabul ediliyor: %50 ölü, %50 diri.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok fazladır. Tecrübe edinerek etkili öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle doğrusal olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için uygundur. Otuzdan fazla ülkede bulanık mantık hakkında araştırmalar yapılmaktadır. ABD, Japonya, Çin bu ülkelerin başında gelmektedir. Özellikle Japonlar tarafından önemli uygulamalarda kullanılmıştır. Uzay araştırmaları ve havacılık sektöründe, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, video kameralarda denenmiştir.

Bulanık mantığın uygulamalarına net bir örnek olarak odanın sıcaklığına ve basıncına göre sıcaklığı yükseltip düşüren bir kazan olduğu varsayalım. Bu kazanda sıcaklığın aldığı değere göre basıncın, basıncın aldığı değere göre sıcaklığın değiştiği bir liste olması gerekiyor. Ama her sıcaklık ve basınç değeri için bunu yapmaya kalkılırsa işin içinden çıkılmaz bir hal alır. Bu durumda kazanın aklını bulandırmamak ve net bir karar almak gerekir. Burada oda sıcaklığı 3 kelime ile ifade edilir(bulanıklaştırma): sıcak, normal, soğuk. Bunlar için de çeşitli değerler vermek gerekir. “Şu arayla şu ara sıcaktır, şu dereceler arası soğuktur” şeklinde. Sonrasında bir kural tablosu oluşturulur: Eğer sıcaksa ve basınç yüksekse şu olsun, yoksa bu olsun vs. Sonra makinenin verdiği bu karara göre yükseltilmesi gereken sıcaklığa karar verilmiş olur(durulaştırma).

Bu mantıkla burada kullanılan 3 aşamalı sistemi 7 aşamaya çıkaran Hitachi firması ilk olarak 1978 yılında ulaştırma bakanlığına başvurmuş ve Sedai metro sisteminde çalışan trenlerin otomatik olarak denetimi için bulanık mantık kullanımını önermiştir. Başkanlık öneriye olumlu baktığını belirtmiş fakat bulanık mantık denetleyicinin kullanılmakta olan sisteme göre belirgin üstünlükleri olacağı konusunda kanıt istemiştir. Hitachi firması 9 yıl içerisinde 300.000 benzetim çalışması ve 3.000 insansız operasyon gerçekleştirmiş ve sonunda 1986 yılının sonlarına doğru ulaştırma bakanlığından kullanım iznini almıştır. Geliştirilen

sistemde, daha önce tren operatörü tarafından bir PID temelli denetleyici aracılığı ile yapılan ve yolcuların sarsıntılı bir yolculuk geçirmelerine neden olabilen hızlanma raportörünün yapması gereken işler kapıları kapatmak ve başlatma düğmesine basmak gibi birkaç işlemle sınırlı kalmaktadır. Böylece yolcuların, demirlere tutunma gereksinimi duymadan bir yolculuk yapabilmeleri sağlanmış, daha önce kullanılan sisteme göre trenin istenilen konumda durması üç kat iyileşmiş ve kullanılan enerji % 10 azalmıştır. Sağlanan bu başarının Hitachi firmasına getirdiği mükafat, Tokyo metrosunda böyle bir sistemin kullanılması için alınan kontrat olmuştur.

3.1. Bulanık Mantık Temel Kavramları

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi genel bir matematiksel yaklaşımdır. Çözülmesi güç olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay bir sonuca gidilir. Bulanık küme teorisi kısmi üyeliğe izin veren bir mantık sistemidir. Yani bir kümenin tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeliğinin bulunması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir. Çünkü bulanık küme teorisi, hem tam üyeliğe ve hem de hiç üye olmamaya izin verir [15].

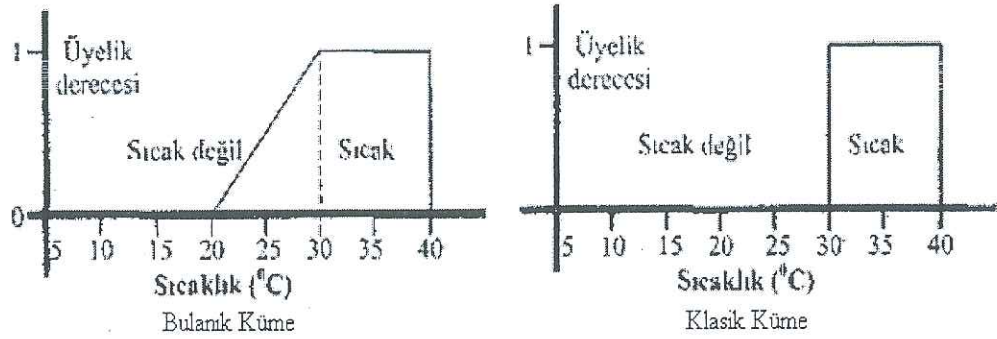
Bulanık mantık ile yapılan bir çözümün ilk aşamasında sistemin giriş ve çıkışlarına, üyelik fonksiyonları tayin edilir. Tipik olarak, bir üyelik fonksiyonu x-y düzleminde bir eğri olarak gösterilir. Bu düzlemde, x-ekseni, giriş ve çıkış değişkenlerinin değer aralığını ve y-ekseni ise 0-1 arasında olmak üzere değişkenin üyelik derecesini gösterir. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması Şekil 3.2 'de gösterilmiştir. Ayrıca, her hava sıcaklığı "sıcak" örneklerine yakınlığına göre bir dereceyle belirtilmiştir. Bu derece "üyelik derecesi" olarak adlandırılır ve "Sıcak" S kümesine X elemanın kümeye ait olma derecesini verir. Burada hava sıcaklığı evrensel küme içinde bir x "temel değişken" olarak adlandırılır.

Böylece;

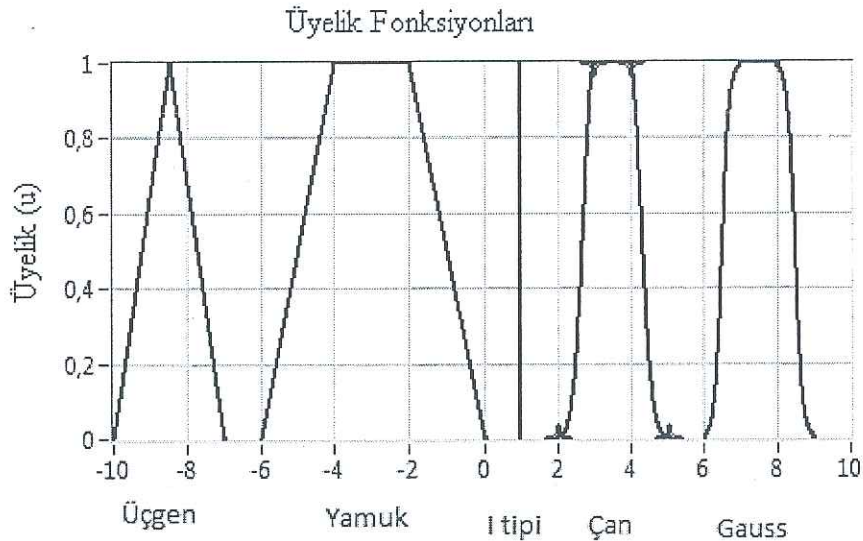
$$S(x) \quad S:[0,1] \quad (3.1)$$

ifadesi, 0-1 aralığındaki değerleri kapsayan S kümesindeki x elemanın üyelik derecesini gösterir. Buna göre çeşitli hava sıcaklıklarının "Sıcak" kümesindeki üyelik dereceleri şu şekilde verilebilir.

$$\begin{array}{lll} \mu_{SF}(5^{\circ}\text{C}) = 0 & \mu_{SF}(21^{\circ}\text{C}) = 0.1 & \mu_{SF}(30^{\circ}\text{C}) = 1 \\ \mu_{SF}(10^{\circ}\text{C}) = 0 & \mu_{SF}(25^{\circ}\text{C}) = 0.35 & \mu_{SF}(35^{\circ}\text{C}) = 1 \\ \mu_{SF}(20^{\circ}\text{C}) = 0 & \mu_{SF}(27^{\circ}\text{C}) = 0.75 & \mu_{SF}(40^{\circ}\text{C}) = 1 \end{array}$$



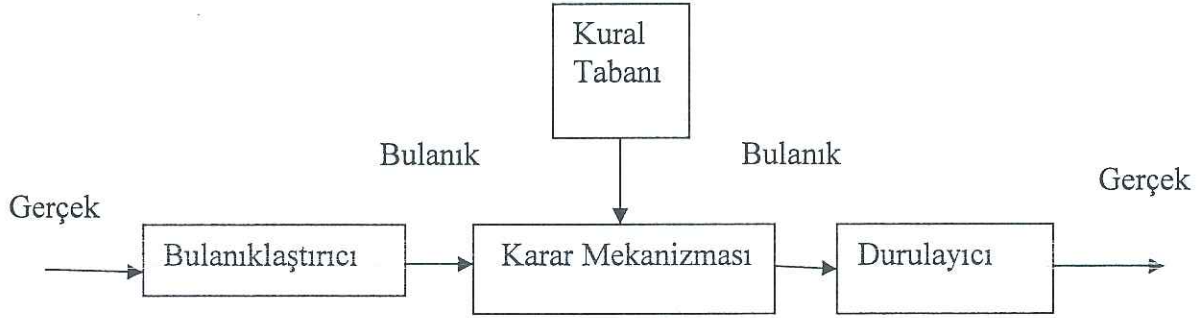
Şekil 3.2. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması



Şekil 3.3. Çeşitli üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları, denetlenen sürecin özelliklerine göre çok değişik biçimlerde şekillenebilirler. Çeşitli üyelik fonksiyonları Şekil 3.3. 'de gösterilmiştir.

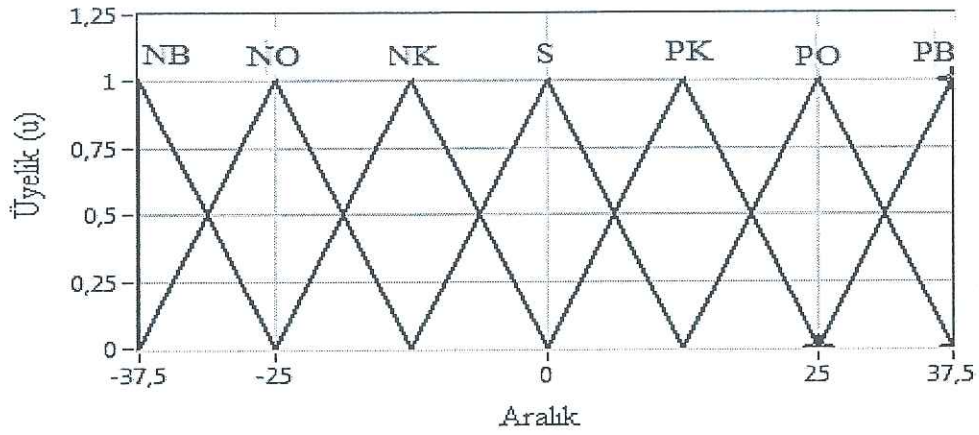
Bulanık mantık denetleyicinin dört bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, kural tabanı, karar mekanizması ve durulaştırma. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı Şekil 3.4. 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir bulanık mantık denetleyicinin yapısı

3.1.1. Bulanıklaştırma

Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Bulanık mantık dilsel terimleri genellikle Eğer-Öyleyse kuralı gibi mantıksal anlamlandırma formu şeklinde tanımlanır. Bu kurallar bulanık üyelik işlevi olarak bilinen değerlerin bir sınırıyla tanımlanır. Sistemin verimli çalışması için üçgen, yamuk, çan eğrisi gibi değişik şekillerde üyelik işlevleri seçilebilir. Sistemde hata, hatanın değişimi ve çıkış için kullanılan 7 bulanık değişkenli üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 3.5 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yedi etiketli üyelik fonksiyonuna tanım uzayı.

Üyelik fonksiyonlarında kullanılacak etiket sayısı 5,7,9 olabilir ve kullanıcı tarafından en uygun olanı seçilir. En yaygın kullanılanı yedi etiket olup Şekil 3.5. 'te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen kısaltmalar :

NB : Negatif Büyük

PB : Pozitif Büyük

NO : Negatif Orta

PO : Pozitif Orta

NK : Negatif Küçük

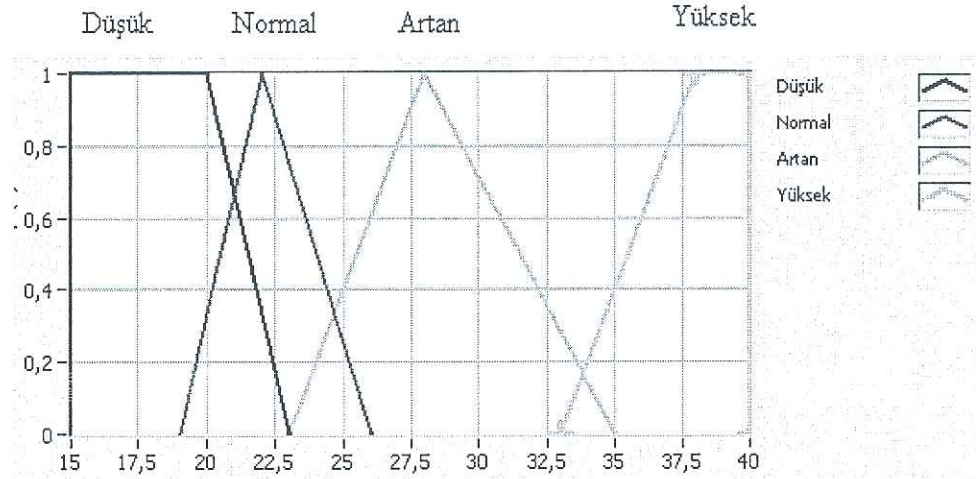
PK : Pozitif Küçük

S: Sıfır

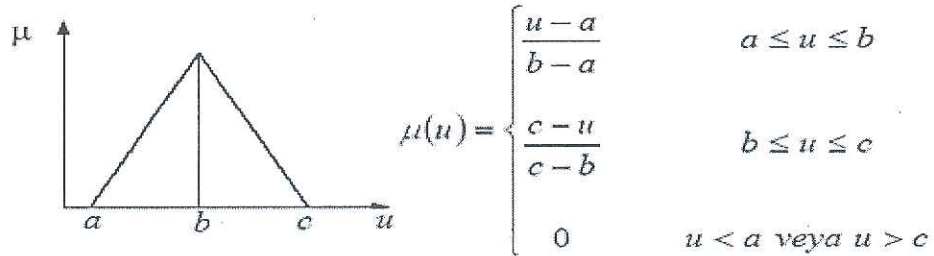
olarak verilmiştir.

Bir bulanık mantık sistemin ilk yapı bloğu “dilsel değişken” olarak adlandırılır. Aynı kavramı tanımlayan kategoriler birleştirilir. Sıcak hava konusunda, yalnız “sıcak” değil “düşük”, “normal”, “artan” ve “yüksek” kümeleri de oluşturulur.

Aşağıdaki şekilde aynı grafik üzerinde birkaç dilsel değişkene ait üyelik fonksiyon gösterilmektedir. Bir dilsel değişken gerçek değerleri dilsel değerlere dönüştürür. Bunu gösteren üyelik fonksiyonları Şekil 3.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Hava sıcaklığının üyelik fonksiyonlarına dağılımı



Şekil 3.7. Üçgen üyelik fonksiyonu ve sınırları

Üçgen üyelik fonksiyonunda herhangi bir giriş veya çıkış değerinin (u) bulanık kümeye ne kadar üye olduğu $\mu(u)$, Şekil 3.7 'de gösterilmiştir.

3.1.2. Kural Tabanı

Kural tabanında denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları bulunur. Bulanık mantık, makinelere operatörünün şahsi düşüncelerini işleyebilme ve deneyimlerinden faydalanarak çalışabilme imkanı sağlar. Bu, bir sistemin bulanık

mantık ile yapılan tasarımında sistemin çalışma mekanizmasını belirleyecek olan “Kural Kümesi” ile gerçekleşir. Bu kurallar sayesinde, insana ait çıkarım şeklinin veya karar verme tarzının sistemlere uygulanması mümkün olur. Kuralların belirlenmesinde kullanılacak belli bir yöntem yoktur. Ama, bir uzmanın bilgi ve deneyimlerine dayanarak, sistemin bir bulanık modelinin kurulmasına göre ya da çeşitli öğrenen algoritmaları kullanarak kuralları oluşturabiliriz. Bir kural yazımı şu şekilde gerçekleşir.

$$\text{EĞER } \langle \text{ön şart} \rangle \text{ SONRA } \langle \text{sonuç} \rangle \quad (3.2)$$

$\langle \text{ön şart} \rangle$, belirli bir durumu tanımlar. $\langle \text{sonuç} \rangle$ ise sistemin bu durum için vermesi gereken tepkisini kapsar. $\langle \text{ön şart} \rangle$ birden fazla şartı içinde bulundurabilir. Bu şartlar aşağıda belirtilen operasyonlar ile birbirlerine bağlanırlar.

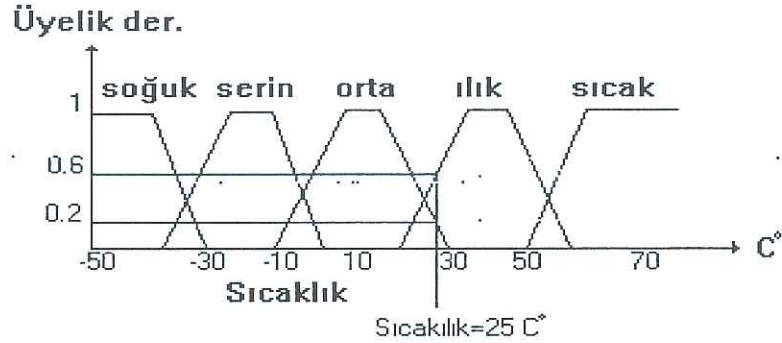
$$x \text{ VE } y = \min(x\text{'in üyelik ağırlığı}, y\text{'nin üyelik ağırlığı}) \quad (3.3)$$

$$x \text{ VEYA } y = \max(x\text{'in üyelik ağırlığı}, y\text{'nin üyelik ağırlığı}) \quad (3.4)$$

$$\text{DEĞİL } x = 1 - x\text{'in üyelik ağırlığı} \quad (3.5)$$

Bir bulanık mantık sisteminin kuralları sistem bilgisini gösterir. Örnek için bir bulanık mantık denetim sisteminin denetim stratejisini ifade etmek için kendisine ait sözcükler (vocabulary) olarak dilsel değişkenler kullanılır. Şekil 3.7 'de giriş sıcaklığı atanan beş üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Bu şekilde y eksenine her giriş değeri için ona karşılık gelen bütün üyelik fonksiyonlarındaki üyelik derecesini vermektedir. Mesela giriş sıcaklığı 25 C° olsun. y eksenine bakıldığında bu giriş değeri için ılık ve orta fonksiyonlarındaki üyelik derecesi sırasıyla 0.2 ve 0.6'dır (Şekil 3.8). Bu giriş değeri için diğer bulanık kümelerindeki üyelik derecesi sıfırdır. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları atandıktan sonra yapılacak iş, sistemin davranışını tanımlamak için bulanık kuralları (rule) üretmektir. Bulanık kurallar tipik olarak EĞER-SONRA şeklindedir. Mesela tipik bir bulanık kural olarak EĞER sıcaklık Düşük VE basınç Orta ise SONRA güç Hızlı. Bu kural iki varsayım ve bir karar içermektedir. Bulanık mantıkta varsayımlar VE işlemi ile kurallar da VEYA işlemi

ile ayrılır. Sıcaklık değişkenlerine göre üyelik fonksiyonlarının değeri Şekil 3.8 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sıcaklık değişkeni için üyelik fonksiyonları

Çizelge 3.1. Hata ve hatanın değişimi örnek kural tablosu

		ce (k) hatanın değişimi						
		NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
e (k) hata	NL	PL	PL	PM	PM	PM	PL	PL
	NM	PL	PL	PM	PM	PS	PM	PL
	NS	PM	PM	PM	PS	PS	PM	PM
	ZE	PM	PM	PS	PS	PS	PM	PM
	PS	PM	PS	PS	PS	PS	PM	PM
	PM	PL	PM	PM	PM	PM	PM	PL
	PL	PL	PL	PM	PM	PM	PL	PL

Denetim sürecinde bulanıklaştırma, bulanık çıkarım(karar mekanizması) ve durulaştırma aşamalarında bu kural tablosundan faydalanılır. “Eğer-Sonra” kural tablosu yapıldığında hata ve hatanın değişim örneği Çizelge 3.1 'de gösterilmiştir. Burada denetleyicinin amacı izleme hatasını azaltmaktır. Hata ne kadar büyük ise denetim girişinin de o kadar büyük olması gerekmektedir.

3.1.3. Karar Mekanizması

Bulanık mantık denetleyici içerisinde karar mekanizması bulanık içerme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içerme ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir. Mamdani'nin min (minimum kuralı), Larsen'in ürün işlemi (çarpım kuralı), Zadeh'in aritmetik ürün (aritmetik kural) ve Boolean kuralı bulanık içerme kurallarından bazılarıdır. Bu içermeler sırasıyla denklem (3.6), (3.7), (3.8) ve (3.9) 'da gösterilmiştir. Denklemlerde, A ve B sırasıyla V ve Y uzaylarında tanımlanmış olan bulanık kümeler olsun.

μ_A ve μ_B ise bu kümelerin üyelik işlevleri olsun. Buna göre bulanık içerme eşitlikleri;

Minimum kuralı;

$$u = AxB = \int_{V \times Y}^+ (\mu_A(u) \cap \mu_B(u)) / (V, Y) \quad (3.6)$$

Çarpım kuralı;

$$u = AxB = \int_{V \times Y}^+ (\mu_A(u) * \mu_B(u)) / (V, Y) \quad (3.7)$$

Aritmetik kuralı;

$$u = AxB = \int_{V \times Y}^+ 1 \cap (1 - \mu_A(u) + \mu_B(u)) / (V, Y) \quad (3.8)$$

Boolean kuralı;

$$u = AxB = \int_{V \times Y}^+ (1 - \mu_A(u)) \cup \mu_B(u) / (V, Y) \quad (3.9)$$

Bulanık içerme sonucu elde edilen değer, kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir.

3.1.4. Durulaştırma

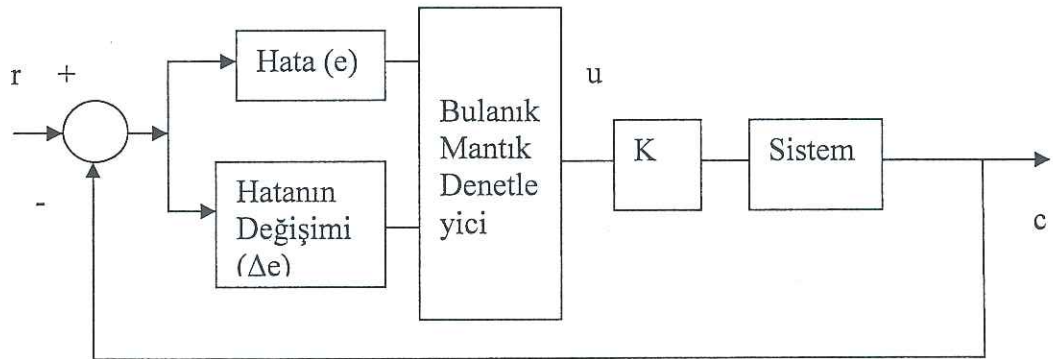
Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Son çıktı değerinin elde edilmesi için bulandırılmış olan bir değer durulaştırılarak keskin değere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bulanık olabilecek çıkarımların kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. İşte bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden “durulaştırma” işlemi adı verilir. Durulama işleminde maksimum üyelik, ağırlık ortalaması gibi değişik yöntemler kullanılır. Maksimum üyelik yönteminde bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşittir. Eğer birden çok yerde maksimum oluşuyorsa her bir maksimuma karşı gelen değerlerin ortalaması alınır. Bu metod pratik uygulamalarda gerçekleştirme yönünden çok kolaydır fakat bulanık mantık denetim uygulamalarında daha çok ‘ağırlık merkezi’ (center of gravity) yöntemi kullanılmaktadır. Ağırlık merkezi yöntemi ise denklem (3.10) ’da verildiği gibidir.

$$du = \frac{\sum \mu(u)u}{\mu(u)} \quad (3.10)$$

Durulama işleminden sonra sistemin çıkışı $u(k)$, denklem (3.11) ile bulunur.

$$u(k) = u(k-1) + du \quad (3.11)$$

Genel bir sistemin bulanık mantık denetim yapısı Şekil 3.9 ‘da sunulmuştur.



Şekil 3.9. Bulanık mantık denetim sisteminin blok diyagramı

Şekil 3.9 'daki bulanık mantık denetim sistemi ile bir servo motorun nasıl denetlendiği aşağıda anlatılmıştır. Bulanık mantık denetim, hata (e) ve hata değişimi (Δe) gibi iki girişe ve konum bilgisi (c) olarak bir çıkışa sahiptir.

Çıkıştan alınan geri besleme ile;

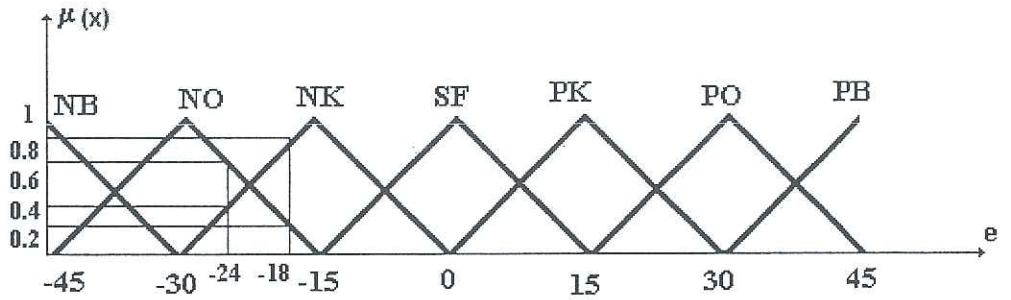
$$u = f(e, \Delta e) \quad (3.12)$$

olmak üzere,

$$\text{Hata}(e) = \text{İstenen Konum } (r) - \text{Çıkış Konumu } (c) \quad (3.13)$$

$$\text{Hata Değişimi } (\Delta e) = \text{Şimdiki Hata}(e_k) - \text{Önceki Hata} \quad (3.14)$$

eşitlikleri yazılır. Bu eşitlikler bulanık mantık denetimin giriş değerleridir. Hata (e) ve Hata değişimi (Δe) değerleri iki ayrı evrensel kümeyi oluştururlar. Bu iki kümeye ait bulanık alt kümeler ve bunların üyelik fonksiyonları Şekil 3.10 'da gösterilmektedir. Bu üyelik fonksiyonlarında kullanılan dilsel değişkenler şu şekildedir.



Şekil 3.10. İki ayrı hata değeri için karşılık gelen üyelik fonksiyonları

Şekil 3.10 'da iki ayrı hata değerine karşılık gelen üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları belirli bir anda hata (e) ve hata değişimi (Δe) değerine karşılık düşen iki ayrı üyelik derecesini belirler. Ayrıca bu fonksiyonlar EĞER-SONRA kurallarındaki şart bölümünü oluştururlar. Kurallar şu şekilde yazılır:

EĞER e =Negatif Orta VE Δe =Negatif Küçük SONRA u =Negatif Büyük

EĞER e =Sıfır VE Δe =Sıfır SONRA u =Sıfır

Hata (e) ve hata değişimi (Δe)'nin ayrı ayrı yedi tane üyelik fonksiyonu olduğu için 49 tane kural yazılabilir. Burada önemli bir husus bu kuralların sistemi bilen ve denetimini yapmış olan bir kişinin kuralları istenilen amaca göre çıkarabilmesidir. Çizelge 3.2 'de bir servo motor için kurallar yazılmıştır.

Çizelge 3.2. Bir servo motor için bulanık mantık kuralları [16]

		Hata (e)							
		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB	
Hata değişimi	NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZR	
	NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZR	PS	
	NS	NB	NM	NS	NS	ZR	PS	PM	
	ZR	NM	NM	NS	ZR	PS	PM	PM	
	KS	NM	NS	ZR	PS	PS	PM	PB	
	PM	NS	ZR	PS	PS	PM	PB	PB	
	PB	ZR	PS	PS	PM	PB	PB	PB	

Çizelge 3.2 'de $e = -24$ ve $\Delta e = -18$ değerleri için bulanık mantık denetiminin üreteceği değerlerin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Hata(e) değeri için NO ve NB üyelik fonksiyonlarında değer üretilmektedir. Hata değişimi değeri de iki üyelik fonksiyonunda değer üretmektedir. Buna göre $e = -24$ ve $\Delta e = -18$ değerleri için bulanık mantık denetim mümkün olan 49 kuraldan sadece 4 kuralı çalıştırmaktadır. Bu kurallar şunlardır:

EĞER e =NM VE Δe =NS SONRA u =NM

EĞER e =NM VE Δe =NM SONRA u =NB

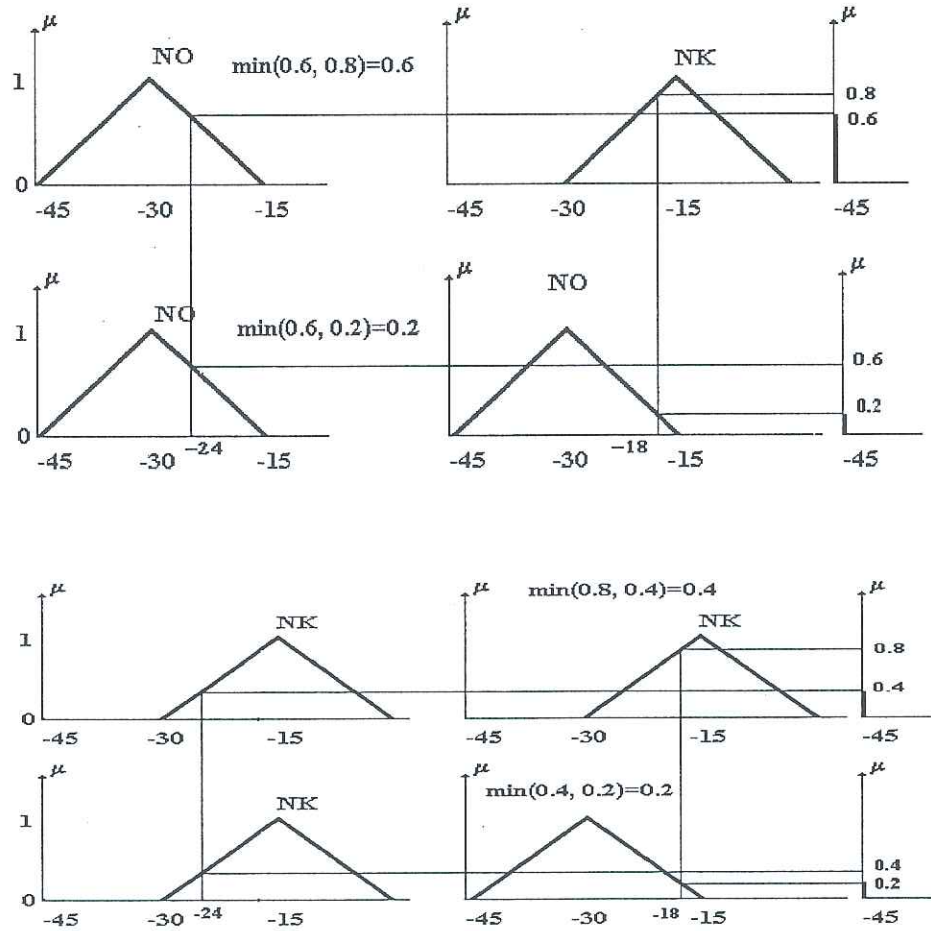
EĞER e =NS VE Δe =NS SONRA u =NS

EĞER e =NS VE Δe =NM SONRA u =NM

Sisteme uygulanan değer bu kurallar sonucuna göre üretilmiştir. İşlem sonunda elde edilecek μ denetim girişi için 4 değer üretilmiştir. Kural tabanında üretilen bu 4 değer, daha sonra durulama ve gerçek değerlere dönüş işlemleri yapıp, sisteme uygulanarak tek bir değere dönüştürülmüştür. Gerçek değer, kural tabanları sonucu oluşan bulanık değerlerin durulama işleminden geçirilmesiyle elde edilmiştir (Şekil 3.11).

Çünkü kurallar sonucu elde edilen değer halen bulanık bir değerdir.

Durulama için ağırlık merkezi bulma yöntemi kullanılırsa; μ denetim işareti değerini bulmak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. Girişlere göre bulanık kuralların gerçekleştirilmesi

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(u_i) u_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(u_i)} = \frac{0.6 \cdot (-45) + 0.2 \cdot (-45) + 0.4 \cdot (-45) + 0.2 \cdot (-45)}{(0.6 + 0.2 + 0.2 + 0.4)} = -45$$

Burada,

u : sisteme uygulanacak keskin değer

n : Kural sayısı

u_i : i. kural sonucu elde edilen değer

$\mu(u_i)$: bulanık kümesindeki üyelik derecesi

anlamlarını ifade eder.

3.2. Kayan Kip Denetim

Bu bölümde, değişken yapılı denetim sistemlerinin tanımı, özellikleri, Lyapunov kararlılık kriterleri incelenmiştir.

Değişken yapılı denetim sistemlerinde kayan kip denetim, dış bozucular ve sistem parametreleri değişimlerine karşı denetim sistemine büyük dayanıklılık sağlayan özel bir yaklaşımdır. Ayrıca, temelde Lyapunov kararlılık koşullarına dayanan bu tasarım yöntemi, doğrusal ya da doğrusal olmayan sistemler için denetleyici tasarımına da büyük bir kolaylık getirmektedir.

Değişken yapıli denetim sistemleri, 1950'lerin başında ilk defa S. V. Emelyanov ve birlikte çalışan araştırmacılar tarafından ortaya atılmıştır. İlk çalışmalarında, faz değişkenleri formunda modellenmiş ikinci derece doğrusal bir sistem üzerinde bu denetim yaklaşımının uygulanmasını göstermiş ve açıklamışlardır. Değişken yapıli denetim sistemleri üzerindeki bu çalışmalar yakın zamana kadar batı dünyasında pek ilgi çekmemiştir. Bu ilginin olmaması, önerilen yöntemlerin değişik sistemlere uygulamaları, çattırtı (chattering) sorunu, tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi gibi konularda batı dillerinde yayınlanmış yeterli birikimin oluşmamasına sebep olmuştur. 1970'lerin sonlarında ise araştırmalar, değişken yapıli denetim sistemlerinin ek özelliklerini ortaya çıkarmış ve denetleyici tasarım kurallarında önemli gelişmeler sağlamıştır. Bu aşamada, genel tasarım yöntemleri ortaya konmuş ve bunlar doğrusal olmayan çok I/O, ayırık zamanlı, geniş ölçekli ve stokastik sistemlere uygulanmıştır. Bu uygulamalarda, Değişken yapıli denetim sistemlerinin başta kararlılık olmak üzere denetim başarımlarına önemli katkılar sağladığı gösterilmiştir. Sonuçlar, denetim sisteminin değişmez denebilecek kadar, parametre belirsizlikleri ve dış bozuculara karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir. Böylece değişken yapıli denetim sistemlerinin başarımlı sadece kuramsal kestirimlerle sınırlı kalmamış, bir çok benzetim ve gerçek uygulamayla gösterilmiştir. Böylece yaklaşım olgunlaşarak uygulamalara hazır hale gelmiştir.

Kayma kipli denetimin en çok üzerinde durulan özelliği, çok dayanıklı ve hatta değişmezlik özelliğine sahip denetim sistemlerine götürebilmesidir. Değişmezlik terimi, sistemin harici bozuculara ve parametre belirsizliklerine karşı bütünüyle duyarsız olması demektir. Bir değişken yapıli sistem süreksiz bir denetim yoluyla yapı adı verilen sürekli alt sistemler arasında anahtarlanarak kurulur. Kayan kip denetim yapılarından seçilen belirli yörüngelere sistemi zorlamakla ortaya çıkar.

Kayan kip denetim, durum uzayında tanımlanmış anahtarlama yüzeyinde hareketi sağlamak için yüksek frekanslı anahtarlamanın kullanıldığı bir değişken yapıli denetim sistemi uygulamasıdır. Gerçekte bu anahtarlama yüzeyi alt sistemleri ayırır. Kayan kip denetimin çalışma mantığı, sistemin davranışının istenen performansta olmasını sağlayan anahtarlama yüzeyine erişmesini, istenen referansa

ulaşıncaya kadar bu yüzey üzerinde kaymasını sağlamaktır. Denetim işareti, frekansı ideal şartlarda sonsuz olan yüksek frekanslı bir anahtarlama şeklinde oluşur.

Sonsuz frekans anahtarlama sayesinde sistem yörüngesi üzerinde kayma yüzeyine mükemmel oturacak ve böylece sistem, tasarımda arzulanan davranışı gösterecektir. Yönteme adını veren “kayma” kelimesi de buradan gelmektedir.

Kayan kip denetim, değişken yapılı denetim sistemi yaklaşımının özel bir halidir. Bu yaklaşımdaki ana amaç, hatayı “anahtarlama yüzeyi (switching surface)” veya “kayma yüzeyi (sliding surface)”ne itmek ve bu yüzeyde tutmaktır. Bundan sonra sistem “kayma rejiminde”dir ve modelleme hataları ve/veya dış bozuculardan etkilenmez.

Klasik kayan kip denetleyicinin bilinen iki temel sorunu vardır. İlki, çatırtı (chattering) adı verilen, denetim çıkışındaki yüksek frekanslı salınımlardır. İkincisi ise eşdeğer denetimin (equivalent control) hesaplanmasındaki zorluktur. Çünkü, eşdeğer denetim terimi denetlenecek sistemin tüm dinamiklerinin bilinmesini ve hesaba katılmasını gerektirir. Literatürde bu sorunları çözmeye yönelik bazı yöntemler önerilmiştir. En iyi bilinen çatırtı giderme yöntemi klasik kayan kip kontrolde kullanılan işaret fonksiyonu (sign) yerine yumuşak geçişli doyma fonksiyonu (saturation) kullanmaktır. Eşdeğer denetimi hesaplama zorluğu da en küçük kareler yöntemiyle kestirim veya ardışıl en küçük kareler yöntemiyle kestirim teknikleri ile aşılmaya çalışılmıştır. Fakat bu yöntemleri uygulamak da çok kolay değildir.

3.2.1 Değişken Yapılı Denetleyici'nin Özellikleri

Bir değişken yapılı sistemin yanıtı üç farklı kipten oluşmaktadır:

1. Yaklaşma kipi
2. Kayma kipi

3. Kararlı hal kipi

Burada bir sistemin kararlı hal kipi, özel bir hal olarak sabit durumunda içerildiği periyodik bir durum olarak ele alınmıştır. Kararlı hal durumunun, sıfır hata durumu, sabit hata durumu ve limit çevrim durumu gibi farklı formları da mevcuttur.

Tüm fiziksel elemanlarda sonlu gecikmeler bulunduğundan, kayma ve kararlı kipleri daima dikkat çekici miktarlarda çatırtı ile birlikte bulunmaktadır. Böylece bir değişken yapılı denetim sisteminde, yanıt karakteristiği, dayanıklılık ve çatırtının miktarı performans ölçütleri olmaktadır.

İstenilen bir kayan kip dinamiği, anahtarlama fonksiyonunun uygun seçilmesiyle sağlanabilir. Kayan kipin daha önce de belirtildiği gibi karakteristiklerinden biri de modelleme hatalarına ve bozucu etkilere karşı dayanıklı ve duyarsız olmasıdır.

Dayanıklılık, değişken yapılı denetim sistemlerinin en önemli özelliklerinden biridir. Yüksek mertebeden doğrusal veya doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerle temsil edilen bir sistem için kayan kipin diferansiyel denklemi, modelleme hataları ve bozucu etkilerin yarattığı etkilerden tamamen bağımsızdır. Böylece kayan kipin modelleme hataları ve bozuculara karşı değişmediği söylenebilir. Bu değişmezlik özelliği birtakım uyumluluk koşullarının sağlanmasını gerektirir.

3.2.2. Kayan Kip Denetleyici Tasarımı

Yapılan çalışmada kayma yüzeyi s ;

$$s = Cx_1 + x_2 \quad (3.15)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada C pozitif bir katsayıdır. x_1 ve x_2 ifadeleri

$$x_1 = \theta_r - \theta \quad (3.16)$$

$$x_2 = \frac{dx_1}{dt} \quad (3.17)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada θ_r referans konumu, θ da gerçek değeri tanımlamaktadır. Bu ifadeler denklem (3.18) 'de yerine yazılırsa

$$s = c(\theta_r - \theta) + \frac{d(\theta_r - \theta)}{dt} \quad (3.18)$$

elde edilir. Denetleyici işareti ise

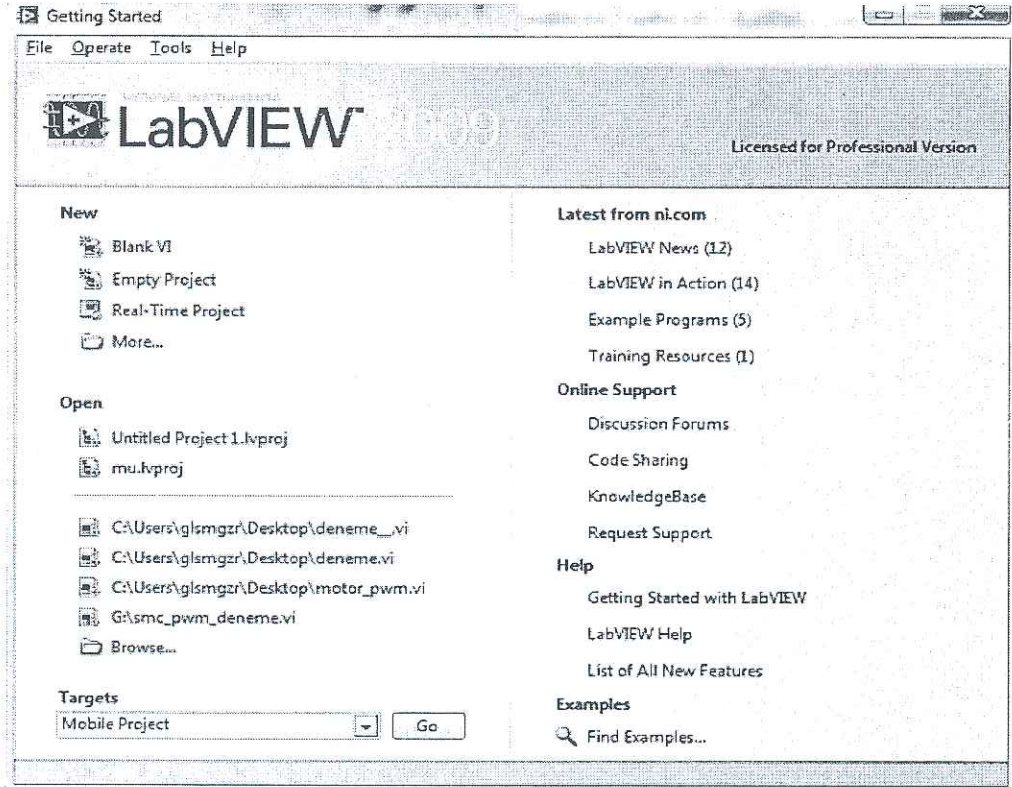
$$u = U_0 \text{sign}(s) \quad (3.19)$$

olarak alınmıştır. Buradaki U_0 değeri H köprü sürücü devresine uygulanan 24 voltluk gerilimdir. Kayan kip denetim deneyinde bu yöntem kullanılmıştır.

4. LABVIEW™ VE SİMÜLASYONLAR

Bu çalışmada kullanılan yazılım aracı LabVIEW™ programıdır. LabVIEW™ (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), National Instruments (NI) firması tarafından geliştirilmiş olup, veri elde etmede kullanılan ve birçok yazılımın özelliklerini tek başına kendi bünyesinde toplayan bir yazılımdır. LabVIEW™ programı veri elde etmede, elde edilen verilerin incelenmesinde ve sunulmasında kullanılmaktadır. Osiloskop, multimetre, spektrum analizör gibi laboratuvar ölçüm aletlerinin görünümünü ve çalışmasını taklit etmekte ve tüm bu aletleri yazılımla bilgisayar ortamında oluşturabilmektedir. LabVIEW™ programı sayesinde hazırlanan sistem üzerinde her türlü değişiklik ve ayarlama yapılabilmektedir [17].

4.1. LabVIEW™



Şekil 4.1. LabVIEW™ programı açılış penceresi

LabVIEW™ bilimsel hesaplamayı, süreç denetimini, araştırmayı, endüstriyel uygulamaları ve ölçüm uygulamalarını basitleştirir. Çünkü test etme, ölçme ve

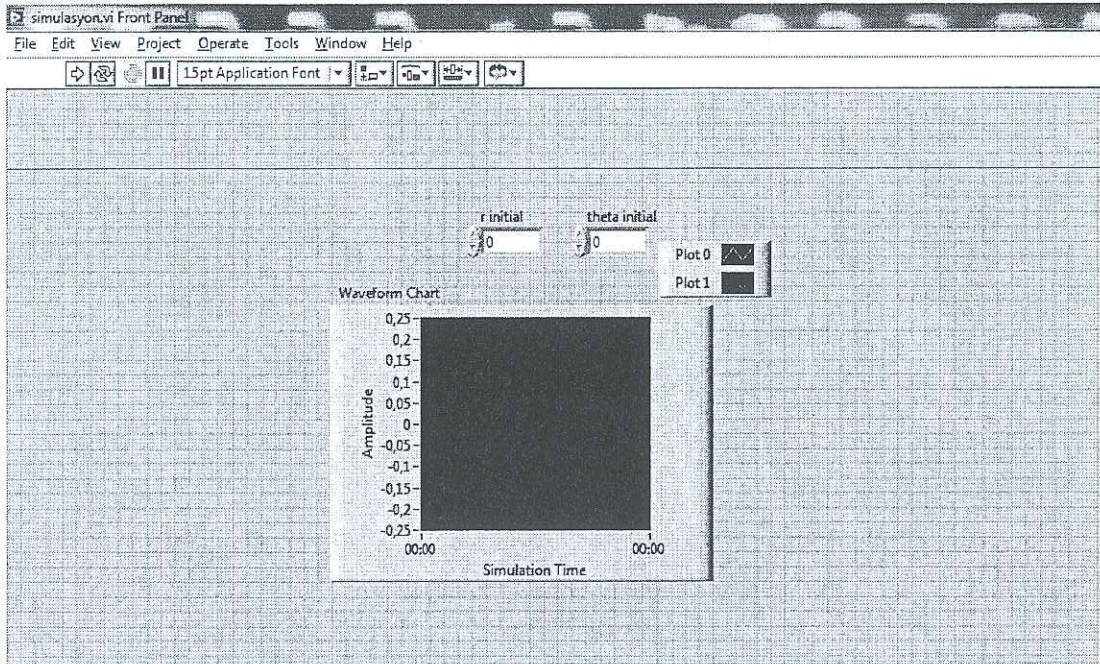
denetim için belirli bir biçimde tasarlanmış yerleşik araçlar ile birleşik programlama dilinin esnekliğine sahiptir. Giriş-çıkış bağlantıları ile denetim uygulamaları için kullanılabilir. Ayrıca test, ölçüm, denetim ve otomasyon uygulamaları için birçok gereksinimler sağlaması bakımından ideal bir seçimdir.

4.2. LabVIEW™ Arayüzü

LabVIEW™ programı, iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar: ön panel (front panel) ve blok diyagram (block diagram) dir.

4.2.1. Ön Panel

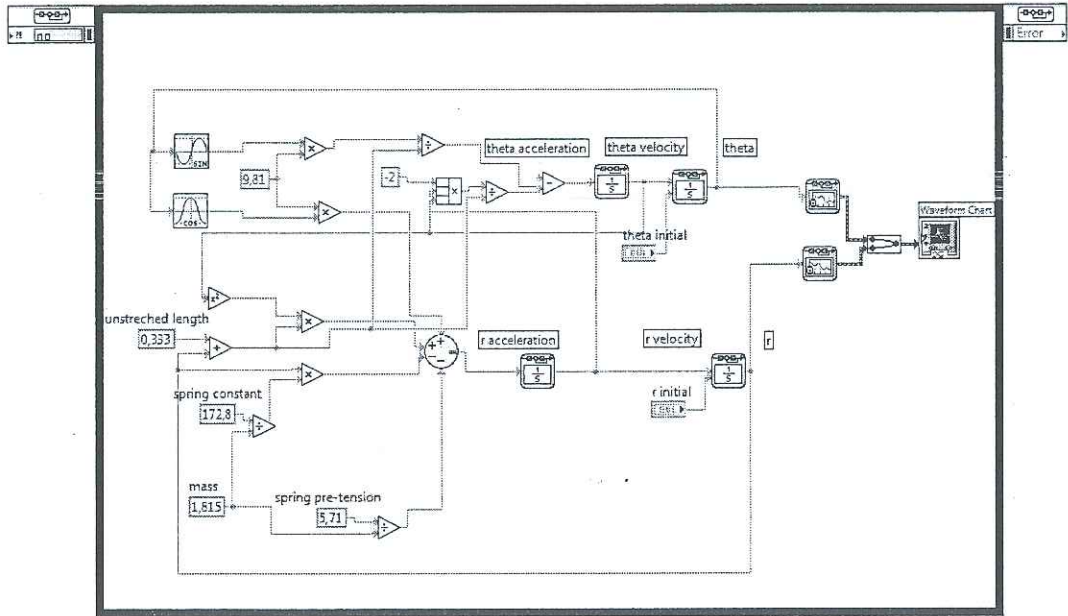
Ön panel, LabVIEW™ programının kullanıcı arayüzüdür. Bu bölümde gerçek aygıtların sanal benzetimi bulunur. Ön panelde denetim elemanları, göstergeler, grafikler, anahtarlar, butonlar ve daha birçok giriş- çıkış elemanı bulunur. Kullanıcı bilgisayarındaki tuş takımı ve fare yardımıyla bilgileri girmekte ve sonuçları ekranda izlemektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. LabVIEW™ programında ön panel

4.2.2. Blok Diyagram

Blok diyagram VI'nin kaynak kodudur. LabVIEW™ programında grafik programlama dili kullanılmaktadır. Blok diyagram gerçekte uygulama programıdır. Blok diyagram bileşenleri düşük seviyedeki VI'lar, fonksiyonlar, sabitler ve program işleyişini denetleyen uygun nesnelere oluşmaktadır. Şekil 4.3. 'de kullanılan araçlar bağlantı hatları ile birleştirilerek veri akışı belirlenmektedir.



Şekil 4.3. LabVIEW™ programında blok diyagram

4.2.2.1. Ön Panel Araç Çubuğu

Ön panel araç çubuğu LabVIEW™ programının hem çalışma durumunda hem de düzenleme durumunda ekranda görülmektedir. Şekil 4.4. 'de istenildiği zaman blok diyagram veya ön panelde iken kullanılabilir [18].



Şekil 4.4. Ön panel araç çubuğu



VI' ı çalıştırmak için kullanılır. İçi dolu beyaz ok görünümündedir.



VI çalışırken çalıştır (Run) butonu yandaki gibi görülür.



VI bir altprogram içeriyorsa çalışırken “Run” butonu yandaki gibi görülür.



“Run” butonu kırık ok şeklinde görüldüğünde, program çalışmasında hata oluşmuştur. Blok diyagram tamamlanıncaya kadar “Run” butonu kırık ok şeklindedir ve VI çalıştırılmaz.



Sürekli çalışma butonu, bu butona basıldığında VI çalışması durdurulana kadar sürekli çalışır durumdadır.



VI çalışırken bu butona basılırsa çalışma derhal durdurulur.



Duraklama (Pause) butonu, bu butona basıldığında çalışma durdurulur, çalışmanın hangi aşamada durdurulduğu blok diyagramda vurgulanmaktadır. “Pause” butonuna basıldığında kırmızı olarak görülmekte ve butona tekrar basıldığında sürekli çalışma devam etmektedir.



Yazı özelliklerini seçmek için kullanılır.



Hizalama butonu, nesnelerin sol, üst, sağ, alt kenarlarının aynı hizaya getirilmesini için kullanılır.



Düzenli dağıt butonu, nesnelerin arasındaki boşlukların eşit şekilde olmasını sağlamaktadır.



Yeniden boyutlandır (Resize) butonu, nesnelerin aynı boyuta getirilmesi için kullanılır.



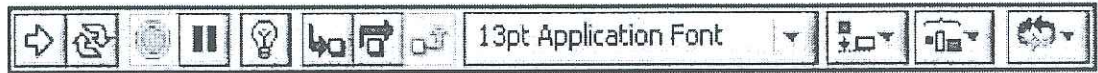
Yeniden düzenle (Reorder) butonu, üst üste gelen nesnelerin sıralanması için kullanılır. (en öne, en arkaya, bir öne, bir arkaya şeklinde düzenleme yapılabilir.)



İçerik yardım penceresinin görülmesi

4.2.2.2. Blok Diyagram Araç Çubuğu

LabVIEW™ programı çalıştığında blok diyagram araç çubuğu görülür. Bu araç çubuğu ile program çalıştırılıp varsa hata ayıklama yapılabilir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Blok diyagram araç çubuğu



Vurgulama butonu: Bu butona basıldıktan sonra VI çalıştırılırsa bilgi akışı izlenebilir. Butona tekrar basıldığında vurgulama iptal edilir.



İçine gir (Step into) butonu, bu butona basıldığında düğüm açılır ve çalışma durur. Butona tekrar basıldığında altprogram veya yapı bir kez çalışır sonra çalışma durur. Bu buton ile VI çalışması adım adım yürütülebilir.



Üzerinden atla (Step over) butonu, bu butona basıldığında bir düğüm için çalışma olur, sonraki çalışma durdurulur. Bu butona basarak döngü veya alt-VI çalışması atlanarak sonraki düğümden çalışma sağlanabilir.



Dışarı çık (Step out) butonu, geçerli düğüm islenir, sonraki düğümde çalışma durmaktadır. Çalışma durduğunda buton soluktur, bu buton ile düğüm boyunca tek tek adımlama tamamlanabilir.



Uyarı (Warning) buton, eğer VI potansiyel bir problem içeriyorsa yandaki uyarı görülür ancak çalışma durdurulmaz.

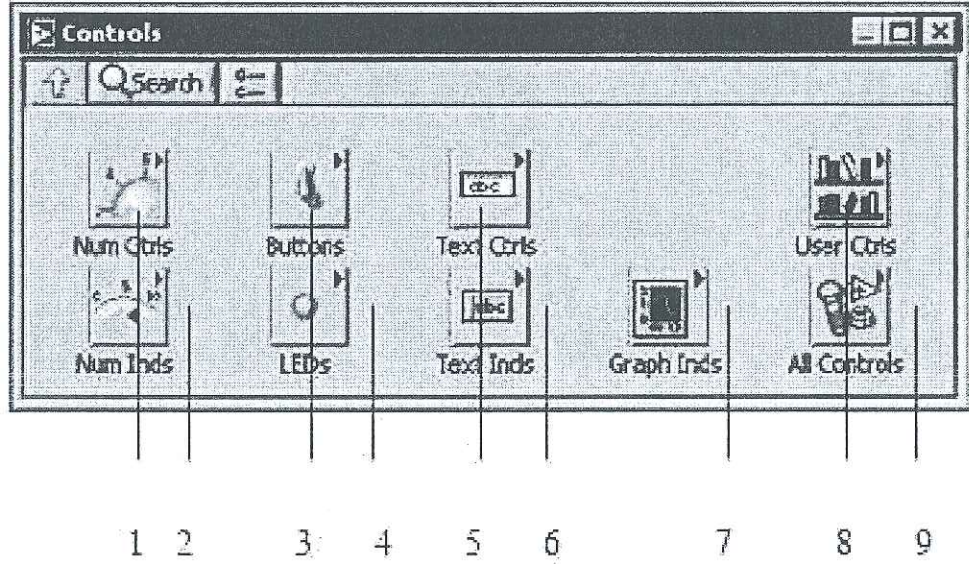
4.2.3. Paletler

LabVIEW™ de yeni bir VI oluştururken iki tane paletten yararlanılmaktadır. Bunlar denetim ve fonksiyon paletleridir. Bu paletler ekranın herhangi bir yerine yerleştirilebilir.

4.2.3.1. Denetim Paleti

Denetim ve fonksiyon paletleri VI oluştururken kullandığımız obje alt paletlerini içermektedir. Bir alt palet simgesini tıkladığımızda seçtiğimiz alt palet için tüm palet değişmektedir. Paletlerdeki bir nesne kullanılmak istendiğinde nesne tıklanıp ön panel veya blok diyagrama yerleştirilebilir.

Denetim paleti Şekil 4.6. 'da görülmektedir. Sadece ön panelden erişilebilir. Denetim paleti, ön paneli oluşturmak için kullanılan denetimler ve göstergeleri içermektedir.

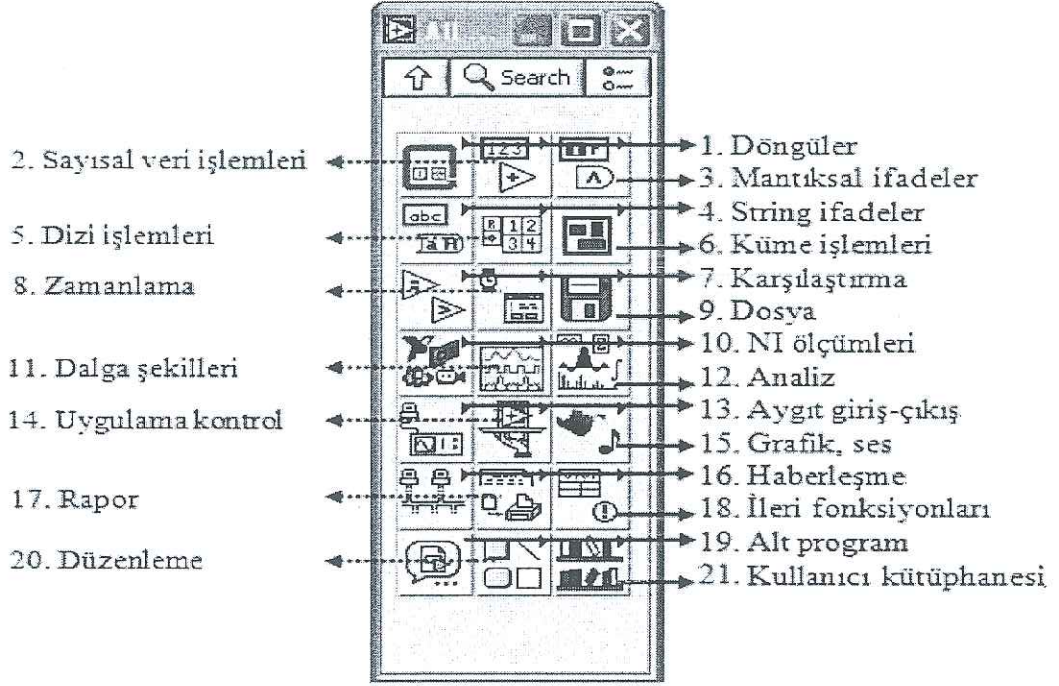


Şekil 4.6. Denetim paleti

1. Num Ctrls: Numaratör, kademeli anahtar, çevirmeli anahtar v.b denetimler,
2. Num. Inds: Dairesel dizge, numaratör, seviye v.b göstergeler,
3. İki konumlu, bas bırak v.b butonlar,
4. Led (Işıklı) göstergeler,
5. Yazı kutuları,
6. Yazı göstergeler,
7. Grafik göstergeler,
8. Kullanıcı denetimleri,
9. LabVIEW™ de kullanılan tüm denetimler,

4.2.3.2. Fonksiyon Paleti

Fonksiyon paleti Şekil 4.7. 'de görülmektedir. Sadece blok diyagramdan erişilebilir. Bu palet, blok diyagramı yaparken kullanacağımız fonksiyon ve VI'ları içermektedir.

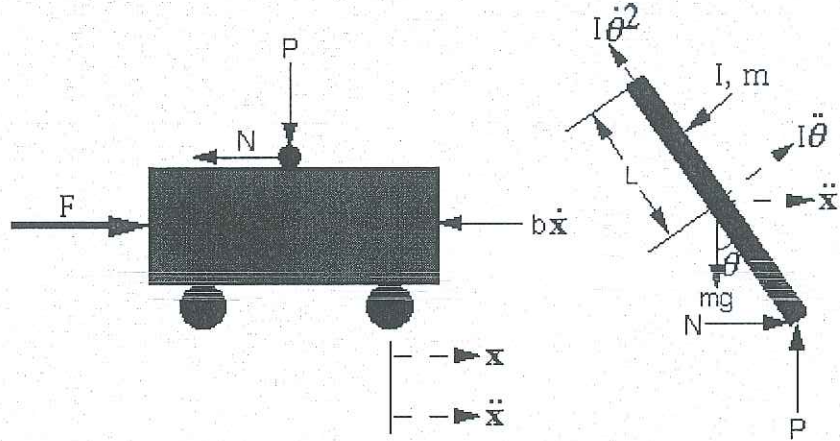


4.3. Simülasyonlar

LabVIEW™ programıyla gerçek zamanlı uygulamalar kadar simülasyonlar da yapılabilmektedir. Bu kısımda ters sarkaç üzerine 3 çeşit simülasyon yapılmıştır. Bunlar ters sarkaç sisteminin impulse (darbe) cevabı, bulanık mantık denetimin tek ters sarkaç sistemine uygulanması ve kayan kip denetimin tek ters sarkaç sistemine uygulanmasıdır.

4.3.1. Ters Sarkaç Sisteminin Impulse (Darbe) Cevabı

Ters sarkaç sistemi, hareketi sağlayan, kuvveti uygulayan, durum değişkenlerini ölçen ve istenen denetim yöntemlerini uygulayan çeşitli kısımlardan oluşur. Bir ters sarkacın modellemesi şu şekildedir [19].



Şekil 4.8. Ters sarkaç modellemesi

Burada ;

M , arabanın kütlesi; b , sarkacın sürtünme katsayısı; F , uygulanan kuvvet; m , sarkacın kütlesi, I , atalet momenti; l , sarkacın boyu; g , yerçekimi ivmesi; x , konum olmak üzere,

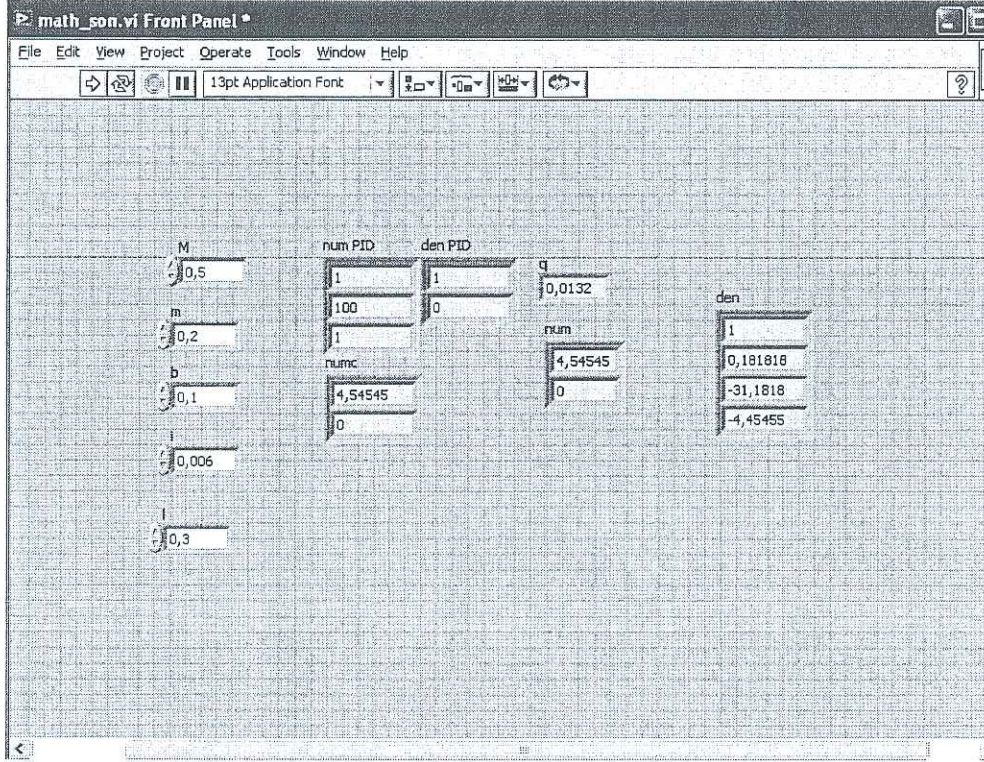
$$M\ddot{x} + b\dot{x} + N = F \quad (4.1)$$

$$N = m\ddot{x} + ml\ddot{\theta} \cos\theta - ml\dot{\theta}^2 \sin\theta \quad (4.2)$$

$$(M + m)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta} \cos\theta - ml\dot{\theta}^2 \sin\theta = F \quad (4.3)$$

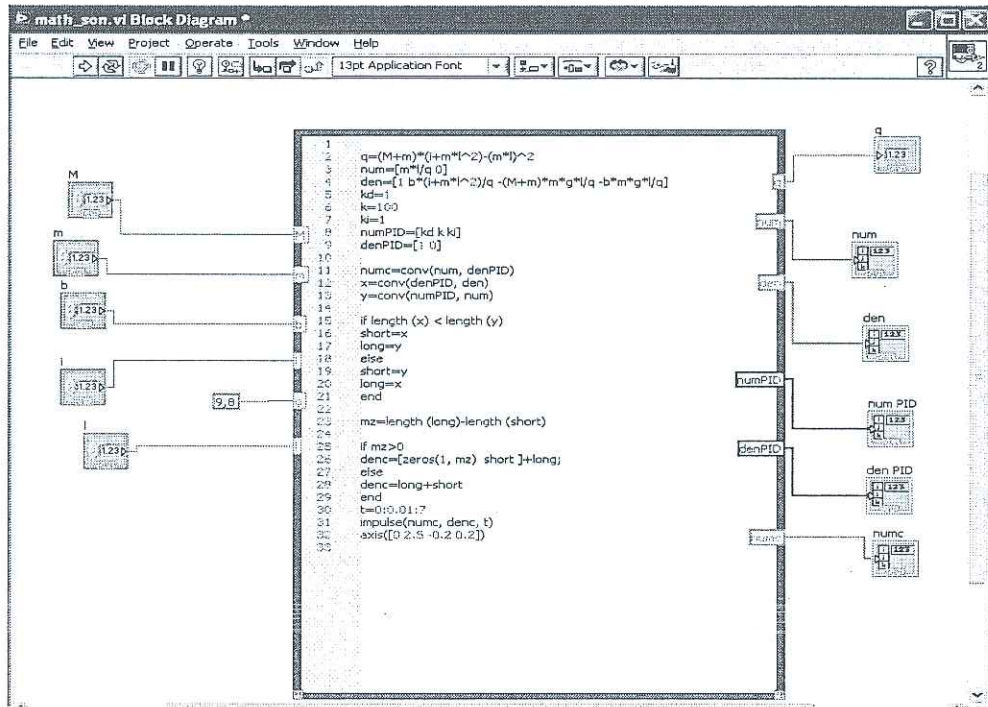
$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + mgl \sin\theta = -ml\ddot{x} \cos\theta \quad (4.4)$$

Burada sisteme PID denetim uygulanmıştır. Şekil 4.9. 'da impulse cevabı ön paneli görülmektedir.

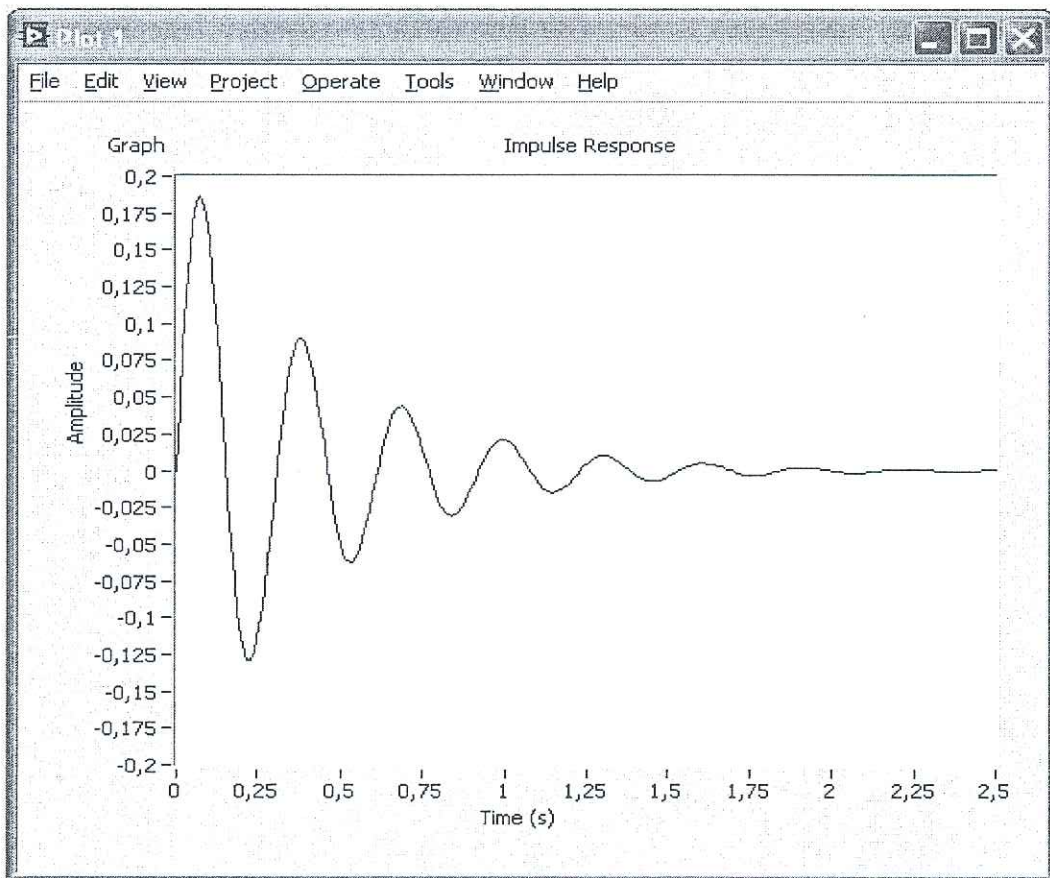


Şekil 4.9. PID ile gerçekleştirilen ters sarkaç impulse cevabı ön paneli

Burada M, m, b, I, l değerlerini kullanıcı kendi sarkaç sistemi değerlerine göre girebilir. Ardından yapılan matematiksel işlemlerle sistemin cevabı elde edilebilir. Şekil 4.10'da gösterilen blok diyagramda matematiksel işlemleri incelemek mümkündür. Şekil 4.11'de de sistemin cevabı çizdirilmiştir.



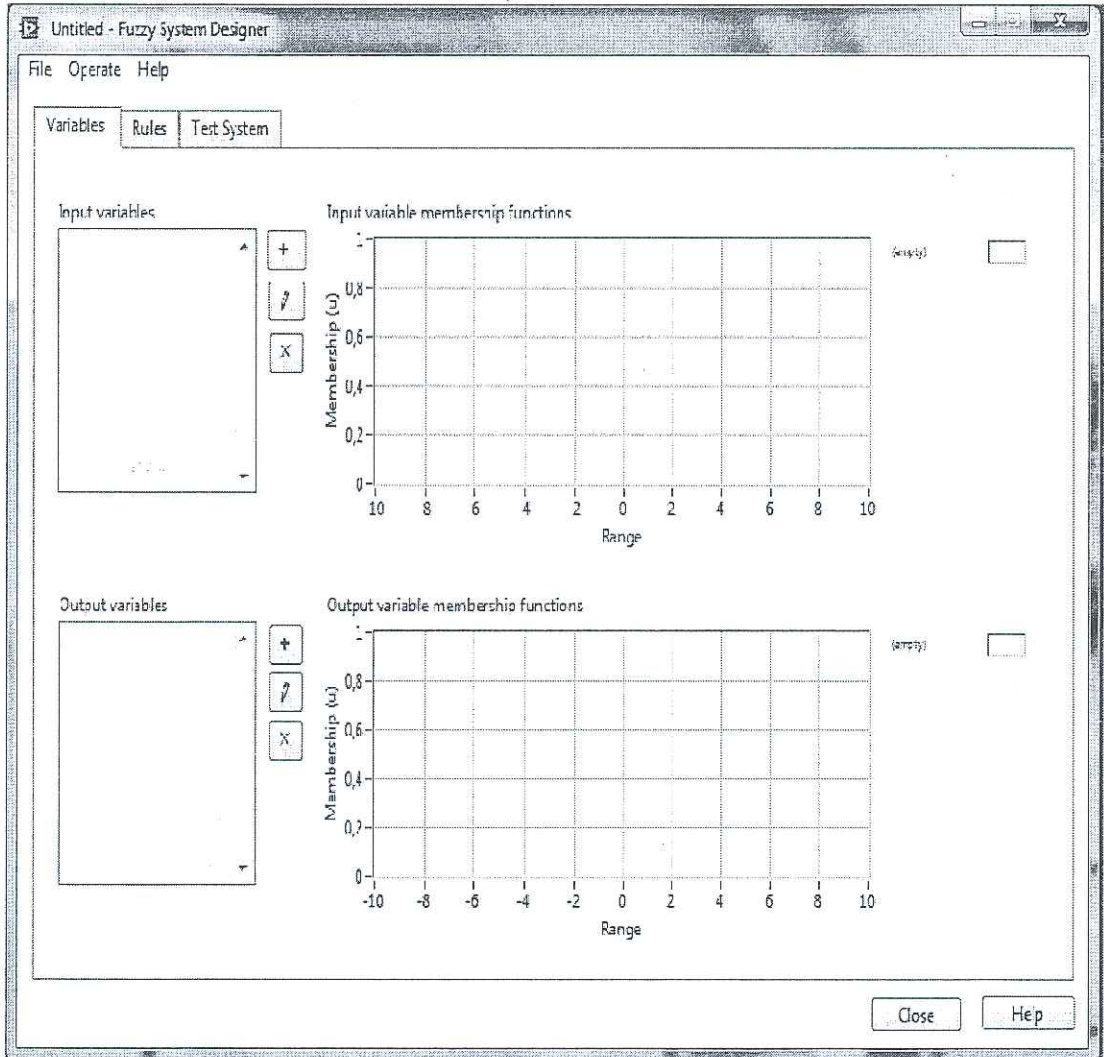
Şekil 4.10. Ters sarkaç impulse cevabı blok diyagramı



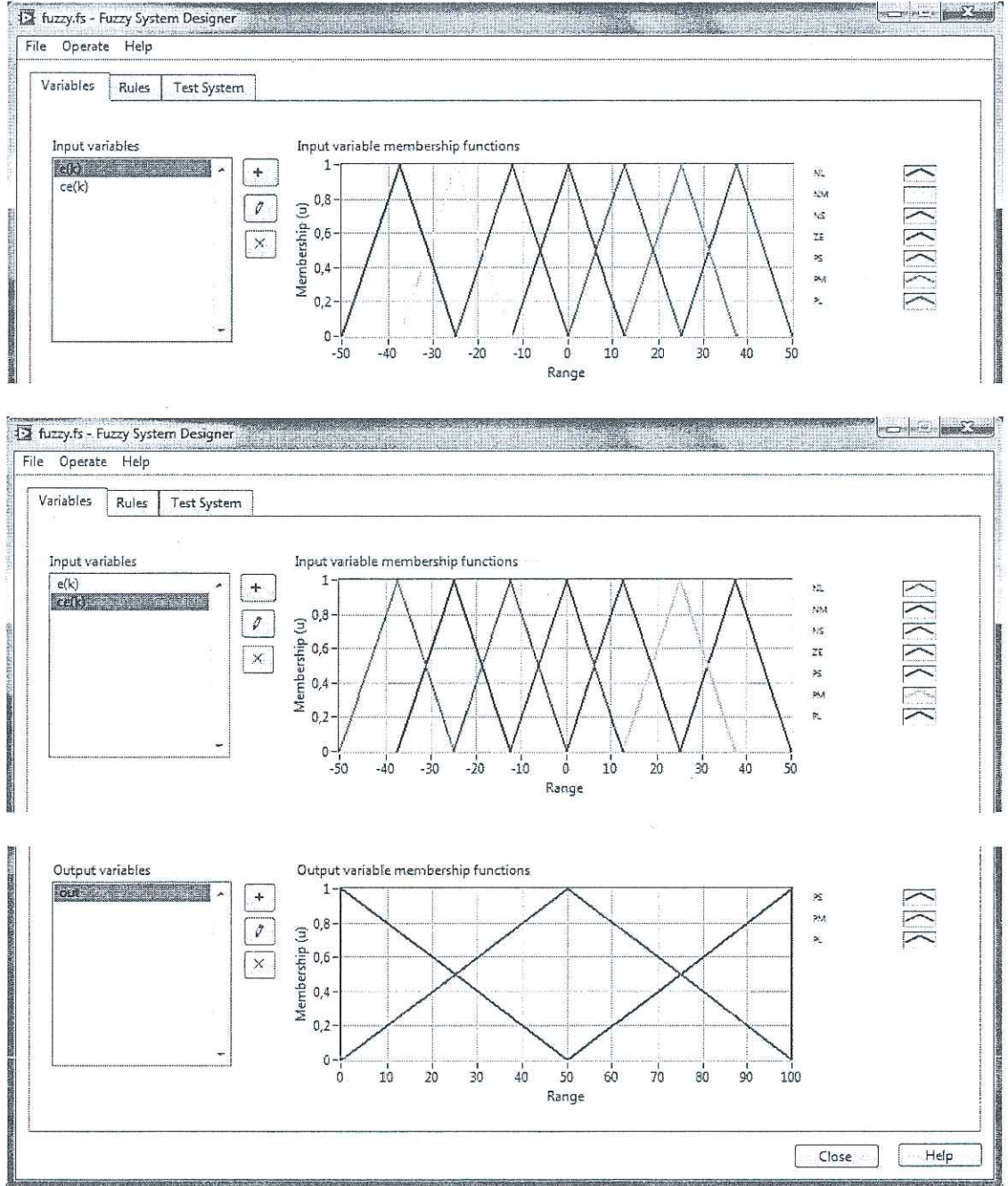
Şekil 4.11. Ters sarkaç sisteminin impulse cevabı

4.3.2. Bulanık Mantık Denetimin Tek Ters Sarkaç Sistemine Uygulanması

Bulanık mantık denetim deneyinde, deneye başlamadan önce Bulanık mantık tasarımcısı programının bilgisayarda yüklü olması gerekmektedir. Kurulumdan sonra programın ara yüz görüntüleri Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14 'de gösterilmiştir. Bulanık mantık tasarımcısına (Fuzzy System Designer) Araç çubuğundaki Tools ögesine tıklayarak Control Design and Simulation'dan ulaşılabilir.



Şekil 4.12. Bulanık sistem tasarımcısı



Şekil 4.13. Bulanık mantıkta hata (e), hata farkı (ce) ve çıkış (out) için oluşturulan kümeler

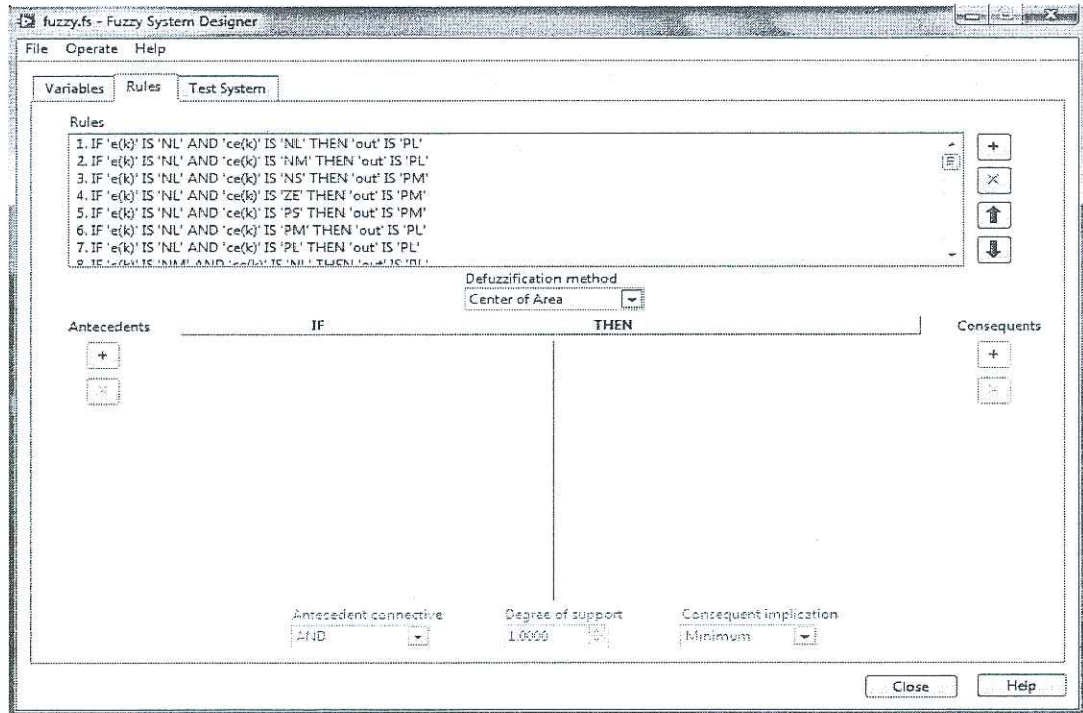
Şekil 4.13'de giriş, çıkış ve aralık değerleri hesaplanır. İsteğe bağlı olarak kural sayısını 3, 5, veya 7'li oluşturmak mümkündür. Deney düzeneğinde 7 tane bulanık küme kullanılmıştır. Giriş olarak hata ve hatanın değişimi, çıkış olarak da PWM işaretinin görev çevrim oranı değişimi alınmıştır.

Çizelge 4.1 'de IF-THEN kural çizelgesinin oluşturulması gösterilmiştir. Şekil 4.14 'de ise bu kural çizelgesinin programın içinde uygulanışı görülmektedir. Kullanıcı bulanık küme sayısı ve değer aralıklarını belirledikten sonra bu panelde kural çizelgesindeki sonuçları LabVIEW™'in bulanık mantık tasarımcısı programında girmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.1. Bulanık mantık kural çizelgesi

		ce (k) hatanın değişimi						
		NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
e (k) hata	NL	PL	PL	PM	PM	PM	PL	PL
	NM	PL	PL	PM	PM	PS	PM	PL
	NS	PM	PM	PM	PS	PS	PM	PM
	ZE	PM	PM	PS	PS	PS	PM	PM
	PS	PM	PS	PS	PS	PS	PM	PM
	PM	PL	PM	PM	PM	PM	PM	PL
	PL	PL	PL	PM	PM	PM	PL	PL

(N:Negatif, P:Pozitif, L:Büyük, M:Orta, S:Küçük, ZE:Sıfır olarak kısaltılmıştır.)

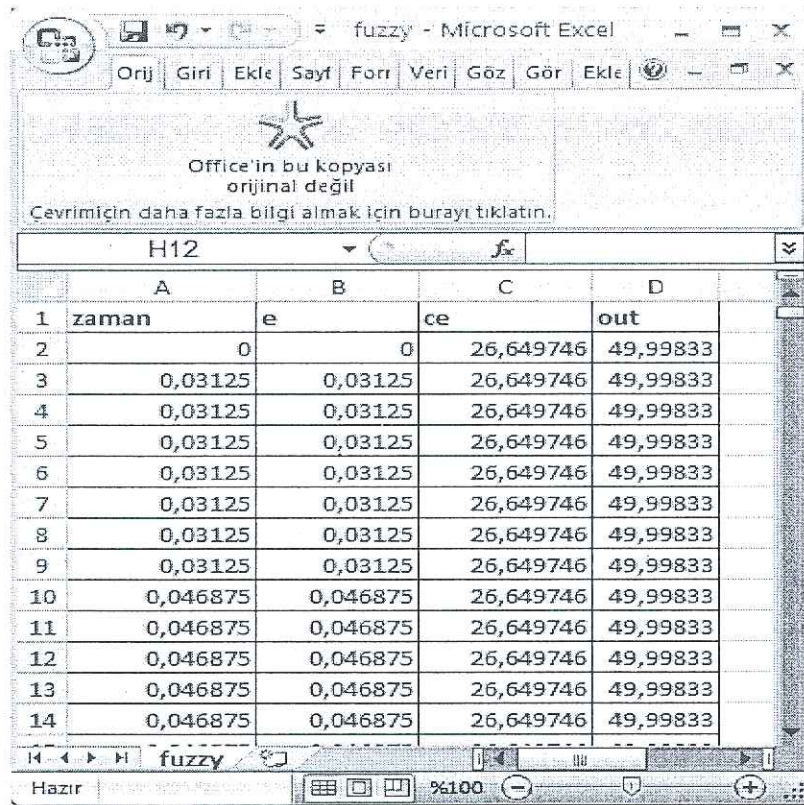


Şekil 4.14. Bulanık mantık kural çizelgesinin LabVIEW™'de uygulanışı

Bulanık mantık kural çizelgesi de oluşturulduktan sonra, Şekil 4.11 'deki ara yüze geri dönülüp File bölümünden, dosya kayıt edilirken dosya ismi "fuzzy.fs" yapılmalıdır. Bu dosya LabVIEW™ yüklü anabilgisayara yüklenir.

Deney düzeneği çalıştırıldığında LabVIEW™ programı buradaki fuzzy.fs dosyasını otomatik olarak tanır ve bulanık mantık denetleyici kısmı aktif hale gelir.

Şekil 4.15'te gösterilen bulanık mantık ön paneldeki "Excel dosyaya yaz" düğmesine basıldığında, fuzzy.lvm dosyası oluşturulur ve bu bilgiler ana bilgisayarda paylaşılmış klasöre kaydedilir. İstenirse bu bilgiler bulanık mantık denetleyicinin giriş ve çıkışlarının zamana göre değişim bilgileri incelenebilir ve bu veriler grafik olarak çizdirilebilir.



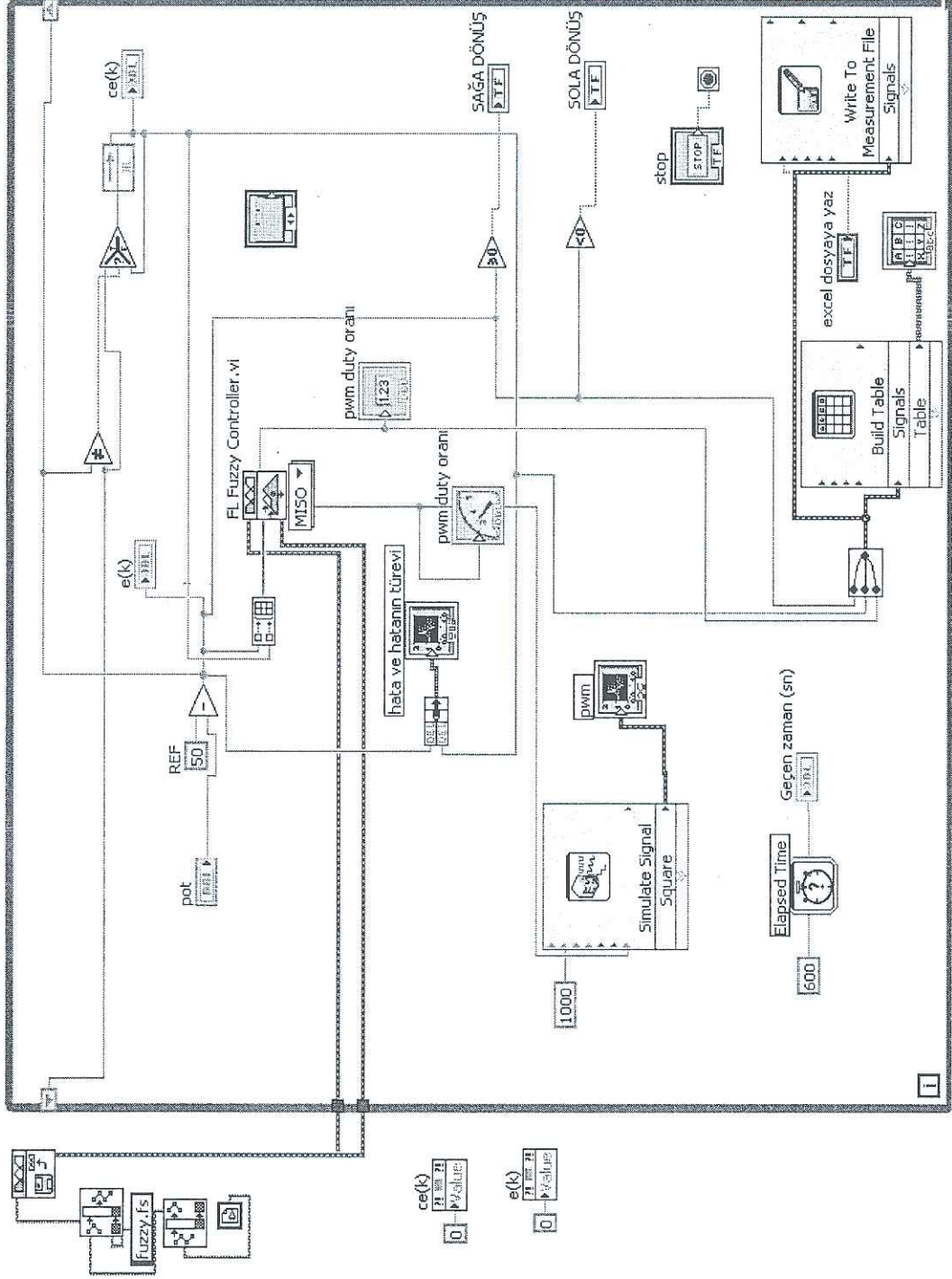
	A	B	C	D
1	zaman	e	ce	out
2	0	0	26,649746	49,99833
3	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
4	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
5	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
6	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
7	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
8	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
9	0,03125	0,03125	26,649746	49,99833
10	0,046875	0,046875	26,649746	49,99833
11	0,046875	0,046875	26,649746	49,99833
12	0,046875	0,046875	26,649746	49,99833
13	0,046875	0,046875	26,649746	49,99833
14	0,046875	0,046875	26,649746	49,99833

Şekil 4.15. Fuzzy.lvm dosyası

Bulanık mantık denetim ile tek ters sarkaç sistemi simülasyonu ön panel arayüzü Şekil 4.16 'da gösterilmiştir.

Bu ön panelde yalnızca potansiyometrenin değeri değiştirilebilmektedir.

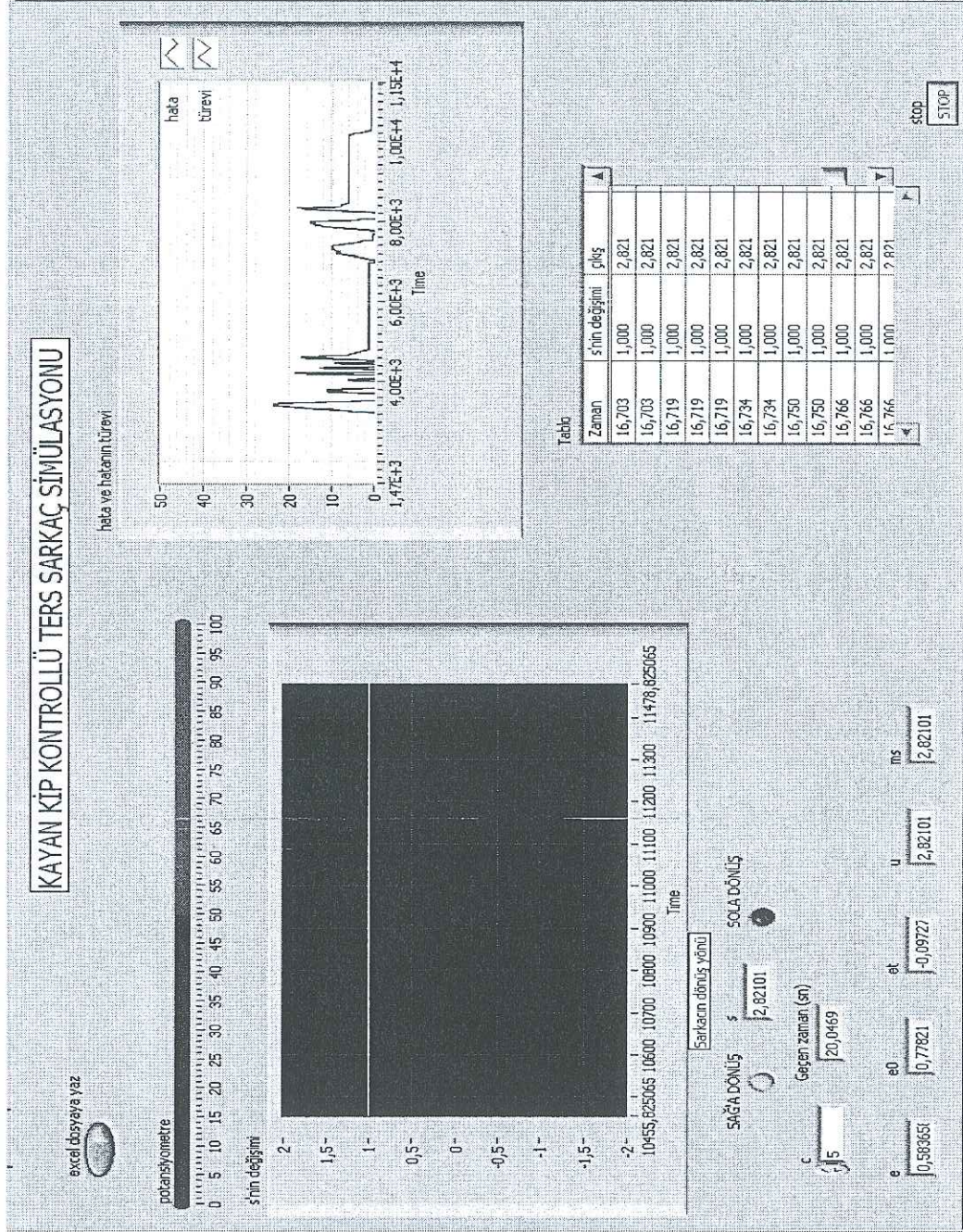
Bulanık mantık ile tek ters sarkaç simülasyonunun blok diyagramı Şekil 4.17 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Bulanık mantık denetim simülasyonu blok diyagramı

4.3.3. Kayan Kip Denetimin Tek Ters Sarkaç Sistemine Uygulanması

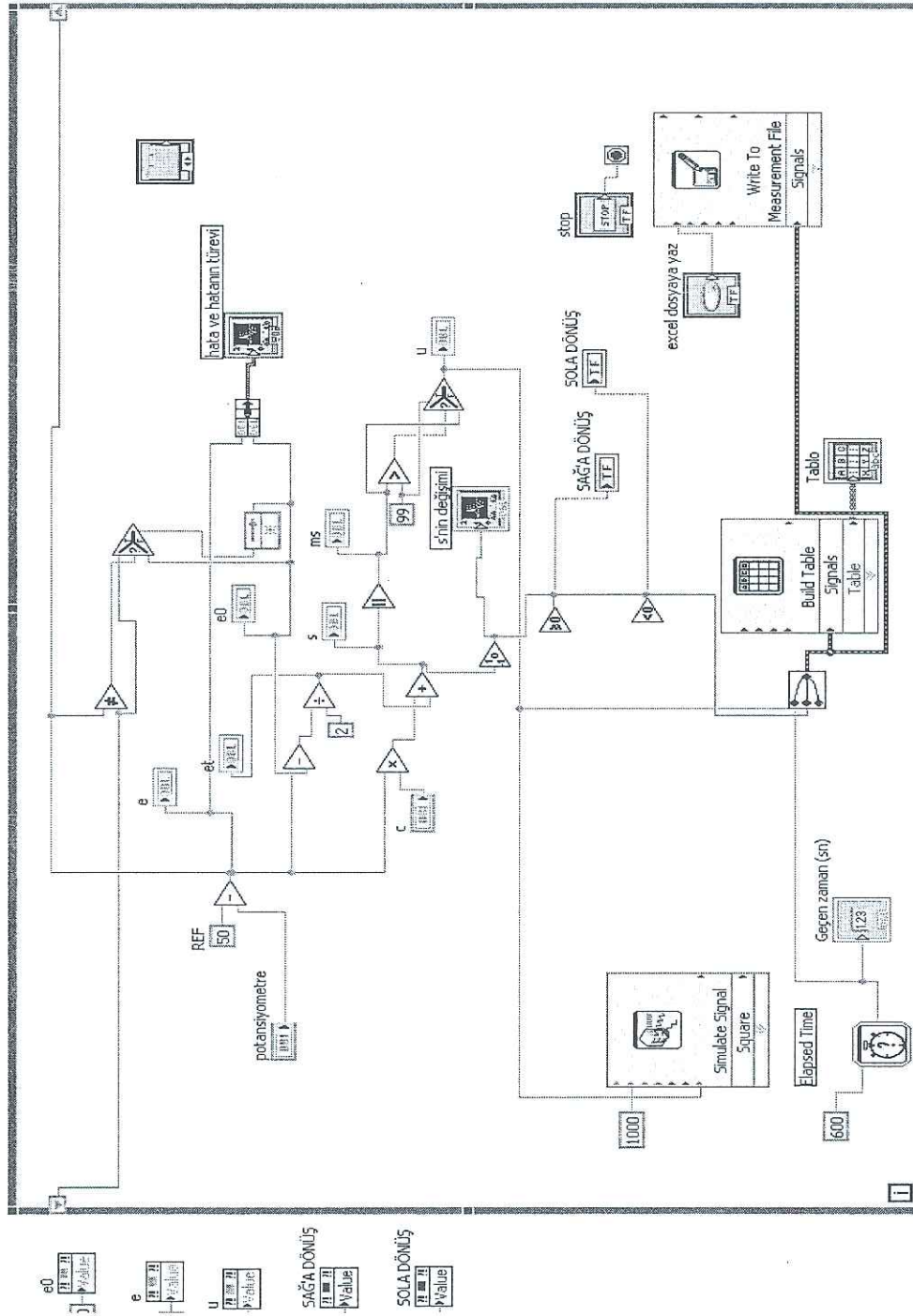
Kayan kip denetim ile tek ters sarkaç sistemi simülasyonu ön panel ara yüzü Şekil 4.18 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Kayan kip denetim ile ters sarkaç simülasyonu ön paneli

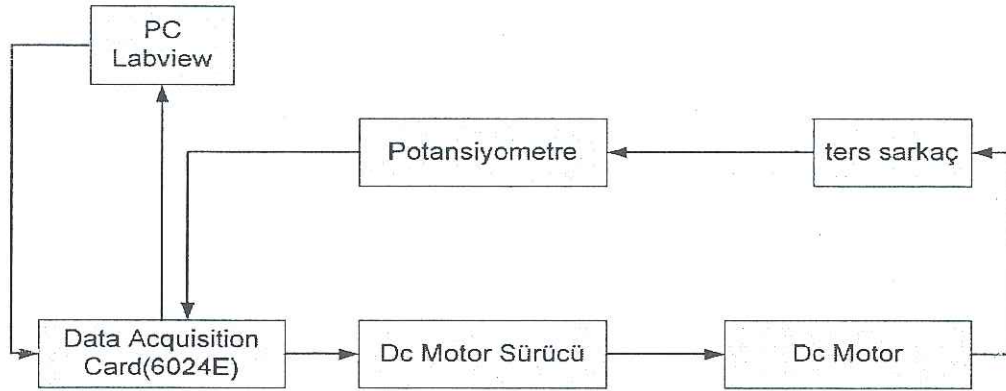
Kullanıcı bu ara yüzde yalnızca potansiyometre değerini ve c değerini değiştirebilmektedir.

Kayan kip denetim ile tek ters sarkaç simülasyonunun blok diyagramı Şekil 4.19 'da gösterilmiştir.



5. MEKANİK-ELEKTRONİK DONANIM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

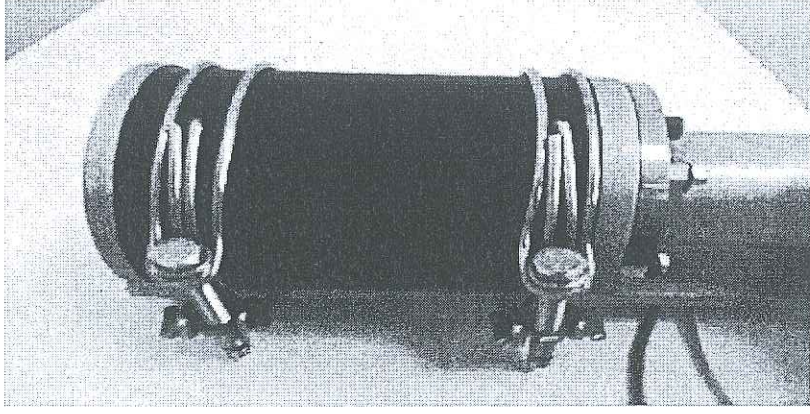
Şekil 5.1’de sistemin genel yapısı görülmektedir. Motorun hareketi kullanılan potansiyometre aracılığıyla voltaj olarak tespit edilmektedir. Burada alınan açı bilgisi DAQ kartı aracılığıyla bilgisayardaki denetim sistemine iletilmektedir. Burada denetim algoritması ile yapılmak istenen harekete bağlı olarak ulaşılması gereken konum hesaplanmakta ve buna uygun çıkış sinyali DAQ cihazı aracılığıyla motor sürücü devresi üzerinden motora uygulanmaktadır.



Şekil 5.1. Sistemin genel yapısı

5.1. Motor

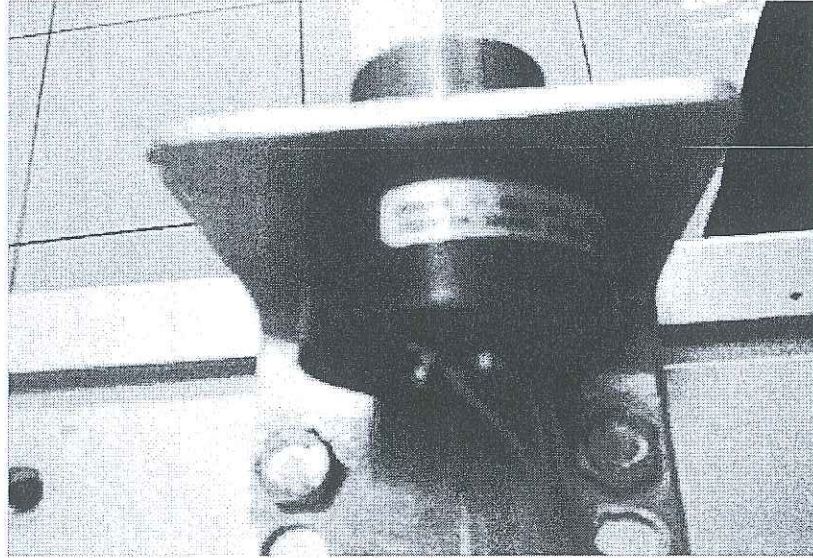
Sarkaç sisteminin hareket etmesini sağlayan 1 adet DA motor bulunmaktadır. Motor şaftı sisteme özel bir dişli kutusu aracılığıyla bağlıdır. Sistemde kullanılan DA motor KORMAS firmasının üretmiş olduğu 400W gücünde, 20A, 24 V ve 1400rpm’lik elektrik motorudur. Şekil 5.2.’ de sistemde kullanılan motor görülmektedir [20].



Şekil 5.2. DA motorun görünüşü

5.2. Potansiyometre

Sarkacın düzlemsel açısını algılayabilmek için kullanılan sensör sonsuz turlu servo potansiyometredir. Potansiyometre sarkaç koluna doğrudan bağlıdır. Sistemde kullanılan potansiyometre Bourns firmasının üretmiş olduğu 5 Kohm, 1.5 watt değerlerinde 6657S-1-502 kodlu potansiyometresidir. Şekil 5.3 'de sistemde kullanılan potansiyometre görülmektedir [21].



Şekil 5.3. Potansiyometrenin görünüşü

5.3. DAQ Kartının Özellikleri

Sistemde kullanılan DAQ kartı NI Firmasının üretmiş olduğu 6024E serisidir. 6024 E model kartta 16 kanal analog giriş, 2 kanal analog çıkış, 68 pim konnektör ve 8 sayısal I/O kanalı bulunmaktadır. 6024 E kartı zamanlama fonksiyonları için NI DAQ-STC Sistem zaman denetçisi kullanılmaktadır. DAQ-STC üç adet zamanlama grubu içermektedir, bunlar, analog giriş, analog çıkış ve genel amaçlı sayıcı/zamanlayıcı fonksiyonlarıdır. Bu gruplar toplam 7 adet 24 bit ve 3 adet 16 bit sayıcı içermektedir. En yüksek zamanlama çözünürlüğü 50ns'dir. Birçok DAQ kartında birkaç zamanlama fonksiyonu beraber çalıştığında uyum sağlamak zor olmaktadır. Ara yüz olarak SCXI sistemi kullanılmaktadır. Böylece gerilme ölçer, voltaj kaynakları ve akım kaynaklarından veri alınabilmektedir. Aynı zamanda haberleşme ve denetim için sayısal sinyaller üretilebilmektedir. Şekil 5.4 'de sistemde kullanılan DAQ Kartı görülmektedir [22].

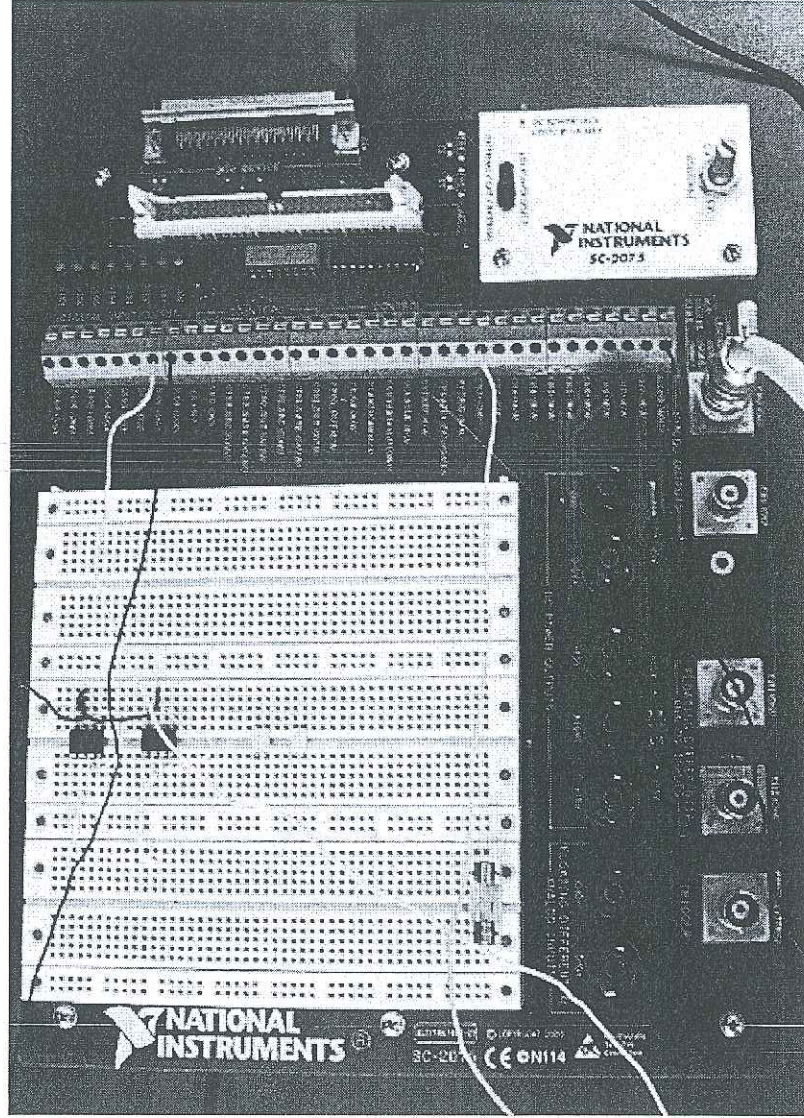


Şekil 5.4. DAQ Kartı

5.4. SC-2075 Deney Modülü

Şekil 5.5'te SC-2075 deney modülü görülmektedir. Motor sürücü devresi ile DAQ kartı arasında haberleşmeyi sağlar. Bu modül 3 tane $\pm 15V$ çıkış, 2 tane 0-5 V çıkış, 2 tane de DC voltaj çıkışına sahiptir. Üzerinde 2 analog giriş, 2 analog çıkış 1 de trigger için BNC konnektör içerir. Terminalleri ise 11 analog giriş, 7 analog

denetim, 7 sayıcı denetim, 2 tane TTL seviyesinde güç ve ground sinyali, 8 tane de sayısal I/O içermektedir [23].



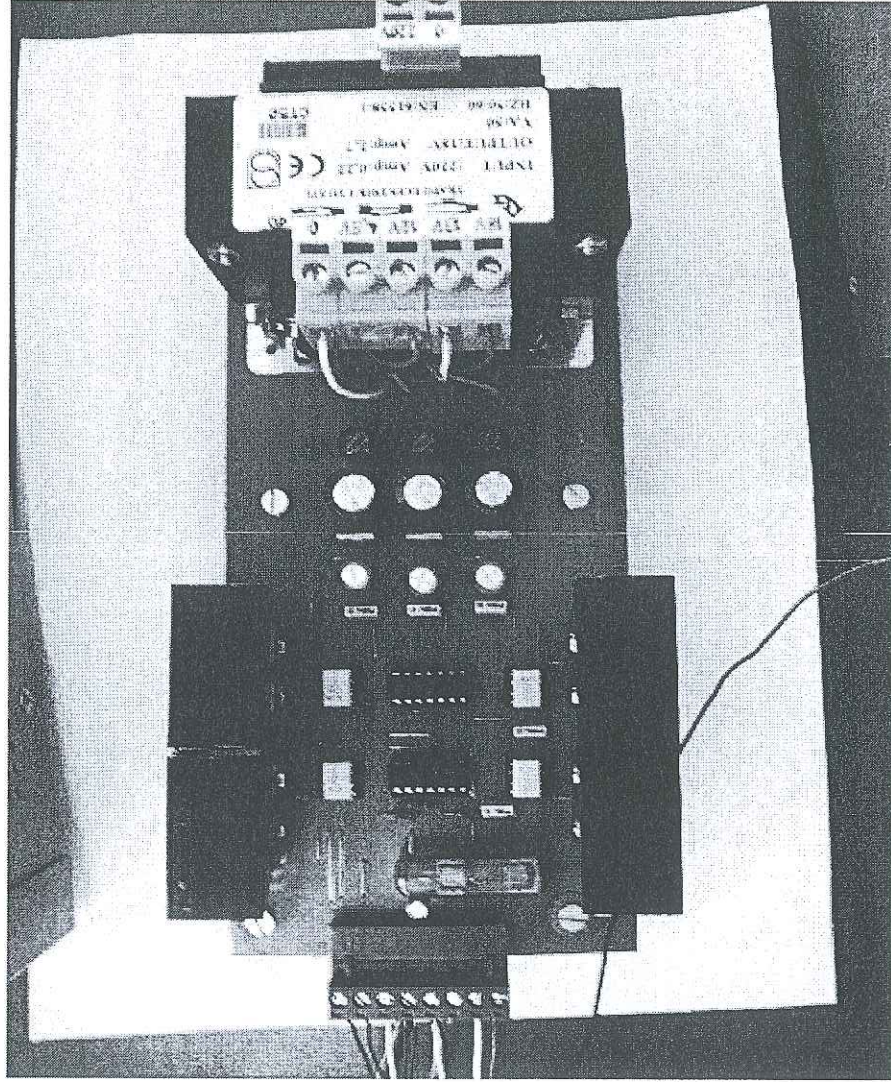
Şekil 5.5. SC-2075 Deney modülü

5.5. Denetim Bilgisayarı

DAQ kartının bağlandığı ve denetim işlemlerinin yapıldığı birim denetim bilgisayarıdır. Bu bilgisayar İntel firmasının 4 çekirdekli 2.40 GHz işlemcili bir sistemdir. İşletim sistemi olarak Windows XP kullanılmaktadır.

5.6. Motor Sürücü Devresi

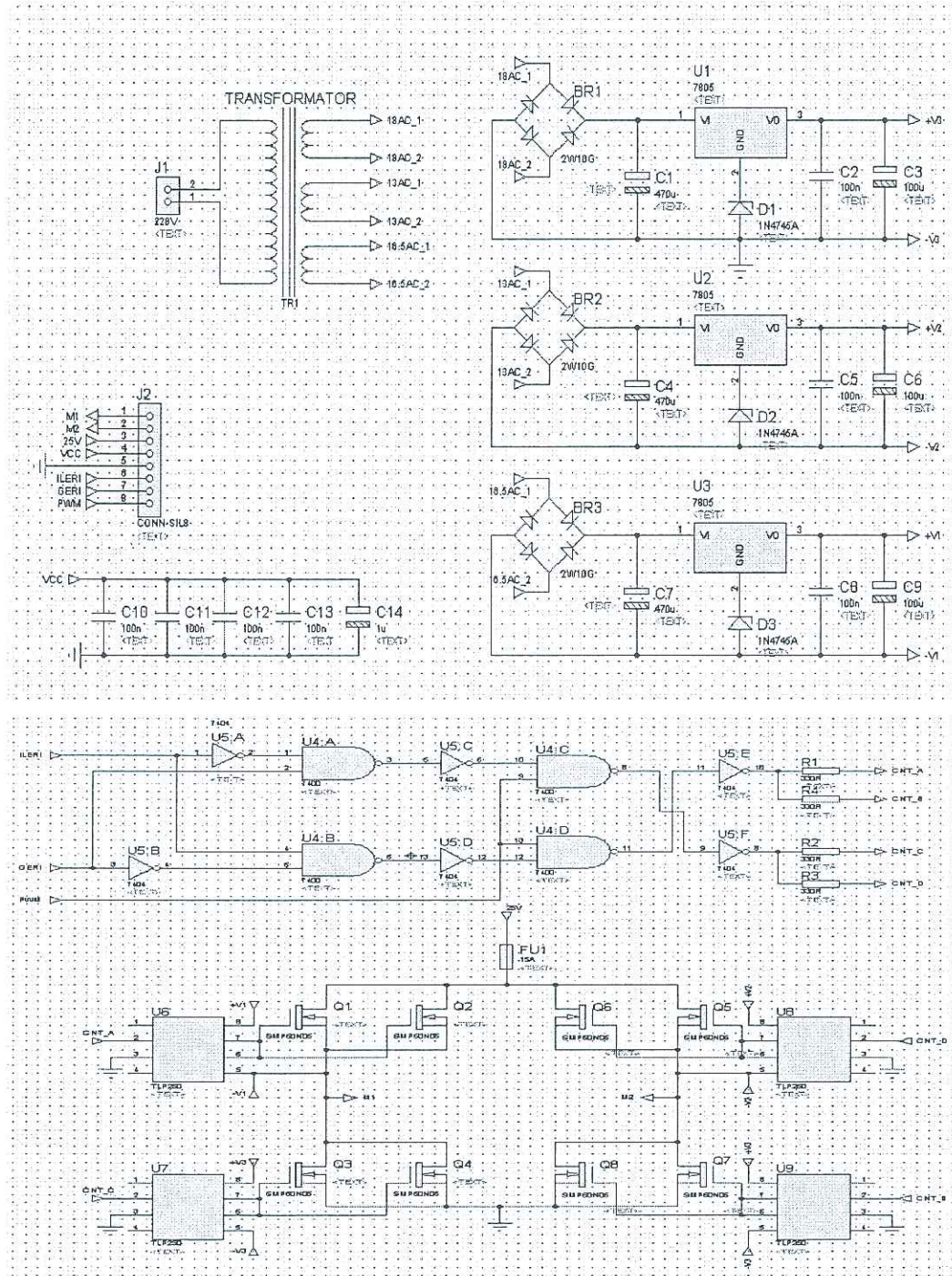
Sarkaç kolunun mevcut konum ve açı bilgisine ulaşabilmek için denetim sistemi tarafından denetim sinyalleri üretilir. Bu sinyalleri denetim bilgisayarından sürücü devrelerine aktaran DAQ kartının portlarından en fazla port başına 10 mA akım alınabilmektedir. Motorları sürmek için gerekli akım değerleri ise 0.1 A – 20 A arasında değişmektedir. Bu güç gereksinimini sağlayabilmek için motor sürücü devresi kullanılmaktadır. Ayrıca DAQ kartının çıkış voltaj aralığı ± 10 Volt'tur. Motorlar ise ± 24 Volt'luk gerilim değerleri arasında çalışabilmektedir. Gerekli voltaj kazancını da bu devre sağlamaktadır. Şekil 5.6'da tasarlanan motor sürücü devresi görülmektedir.



Şekil 5.6. Motor sürücü devresi

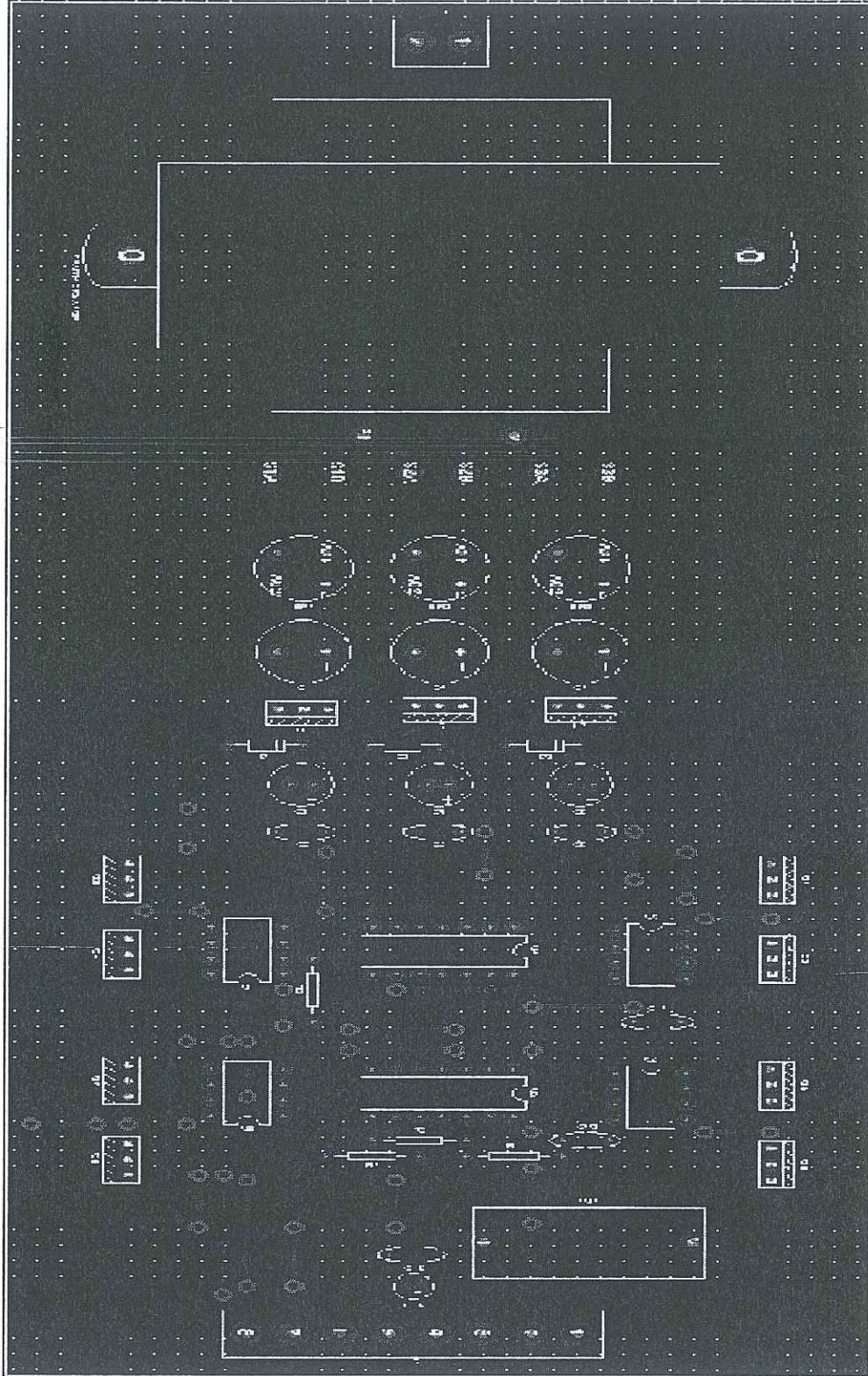
Motor sürücü devresi güç mosfetlerinin (SMP60N06) paralel bağlantısından oluşmaktadır. Her bir mosfet 15 A'lık akım sağlayabilmektedir. Akımı arttırabilmek için bu mosfetler birbirlerine paralel bağlanmıştır.

Şekil 5.7 'de motor sürücü devresinin proteusta çizimi gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Motor sürücü devresinin proteus çizimi

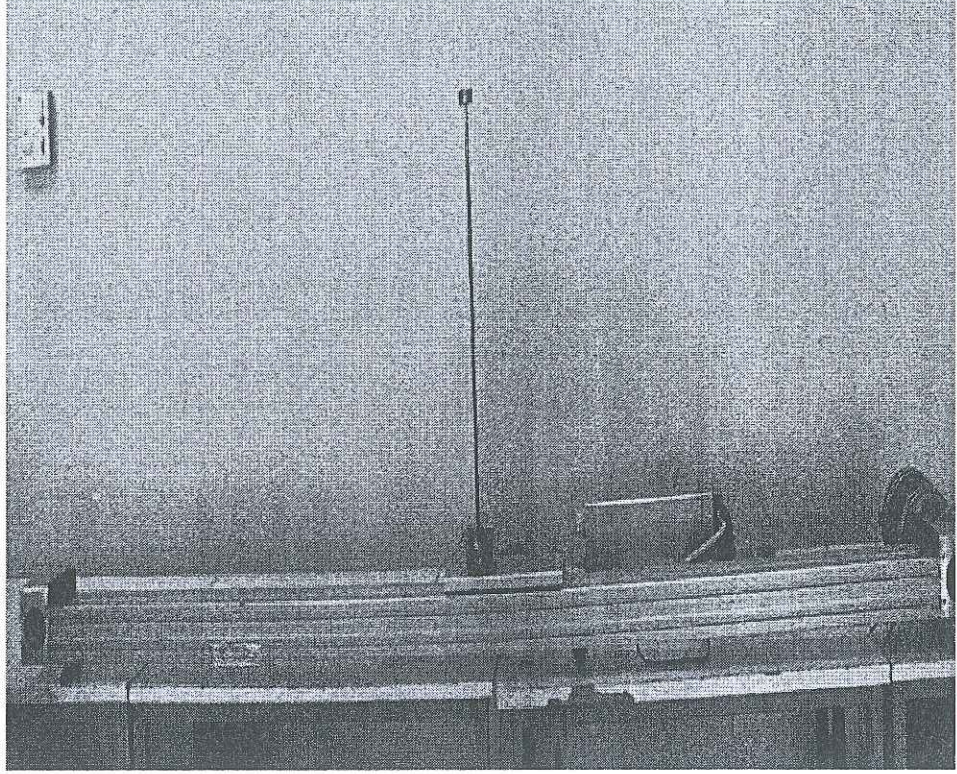
Şekil 5.8 'de ise motor sürücünün baskı devresi görülmektedir.



Şekil 5.8. Motor sürücünün baskı devresi

5.7. Tek Ters Sarkaç

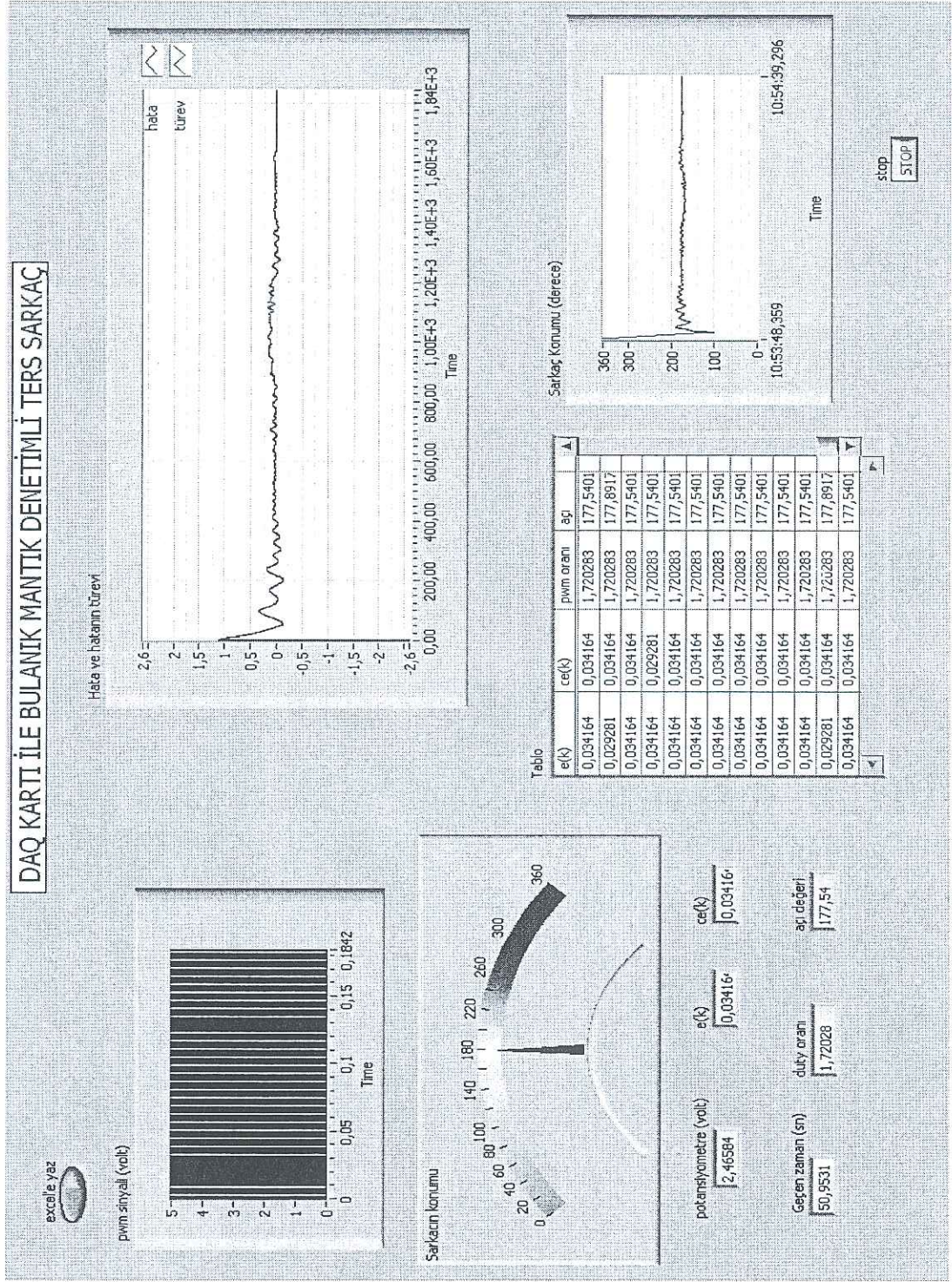
Şekil 5.9 'da tek ters sarkaç sistemi deneysel düzeneği bir bütün olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Tek ters sarkaç

5.8. Bulanık Mantık Denetim ile Tek Ters Sarkaç Sistemi Denetimi

Bulanık mantık denetim ile tek ters sarkaç sistemi denetim deneyinin LabVIEW™ programında ön paneli Şekil 5.10. 'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Bulanık mantık denetim yöntemi ön paneli

Bulanık mantık denetim deneyinde, deneye başlamadan önce bulanık mantık tasarımcısı programının bilgisayarda yüklü olması gerekmektedir. Bu programla üyelik fonksiyonları, giriş ve çıkışlar, ve kural tablosu oluşturulur. Oluşturulan sayfa fuzzy.fs olarak kaydedildi.

Deney düzeneği çalıştırıldığında LabVIEW™ programı buradaki fuzzy.fs dosyasını otomatik olarak tanır ve bulanık mantık denetleyici kısmı aktif hale gelir.

Şekil 5.10. 'da gösterilen bulanık mantık ön panelinde "excel'e yaz" düğmesine basıldığında, fuzzy.lvm dosyası oluşturulur (bu dosya bir çeşit excel dosyasıdır) ve bu bilgiler ana bilgisayarda kullanıcının bu dosyayı kaydettiği yerdedir. Kullanıcı isterse bu bilgileri oradan temin edebilir, aldığı verileri grafik olarak çizdirebilir.

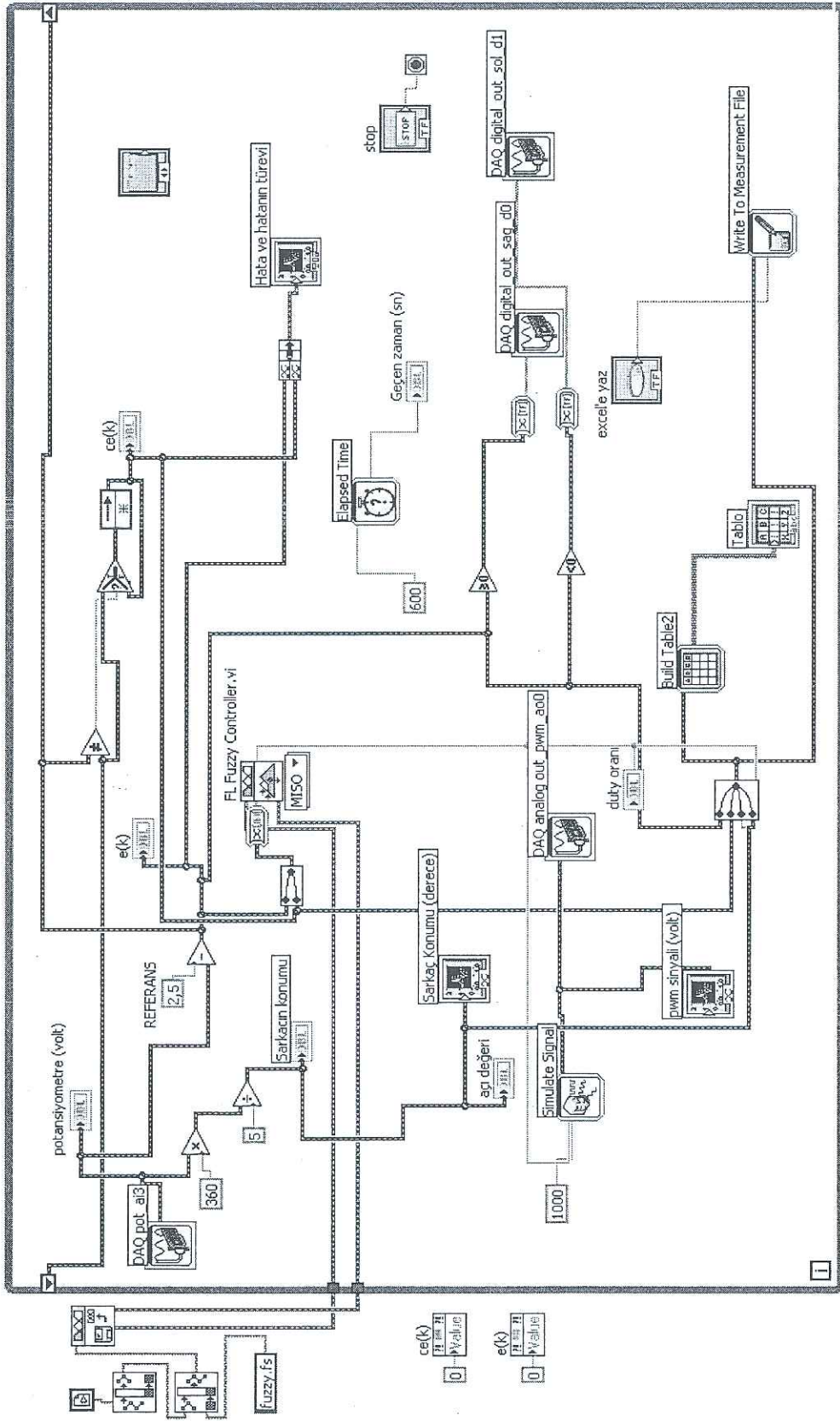
Kullanıcı bu arayüzde kural tablosu ve üyelik fonksiyonlarının değiştirilmesi işlemini yapamamaktadır. Bu ön panelde her şey sabittir.

Burada sarkacın derece olarak konumunu, hatayı, hatanın türevini, süreyi, açış değerini, potansiyometrenin gerilimini, s değerini hem sayısal değer olarak hemde grafik olarak görebilmek mümkündür.

Bulanık mantık denetim ile tek ters sarkaç sistemi denetim deneyinin LabVIEW™ programında blok diyagramı Şekil 5.11. 'de verilmiştir.

Burada görüleceği üzere DAQ kartının portları sistemin giriş ve çıkışları olmuştur. Potansiyometre analog giriş 3. Portuna, oluşan hatanın büyüklüğüne göre de motorun dönüş yönü sayısal çıkış 0. ve 1. Portuna bağlanmıştır. Oluşturulan PWM sinyali ise analog çıkış 0. Porttan alınmaktadır.

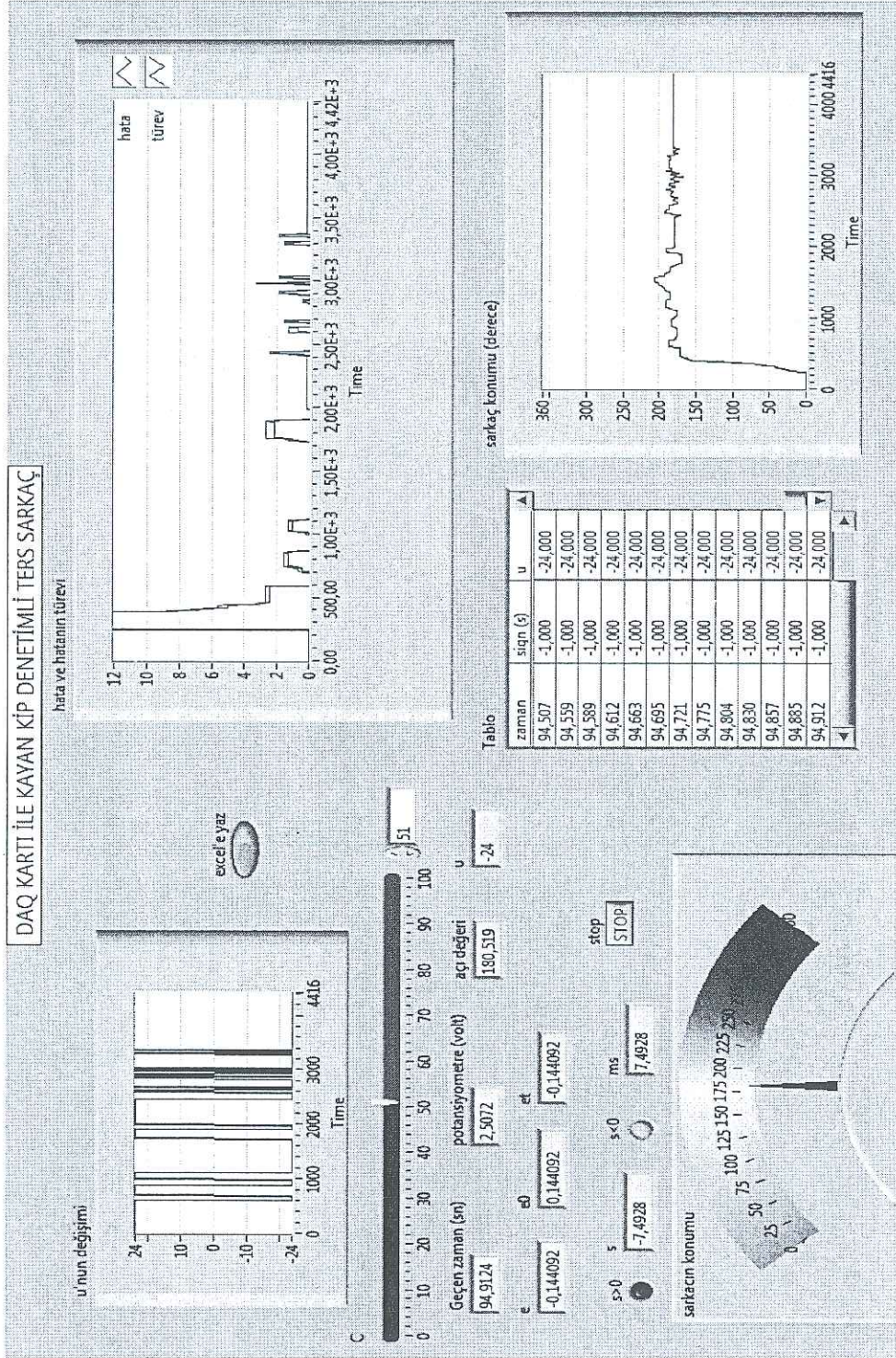
Blok diyagramda göstergeler, denetimler, zamanlama, grafikler, matematiksel işlemler, sanal sinyal üretimi, tablo yapımı ve excel'e yazım işlemleri görülmektedir.



Şekil 5.11. LabVIEW™ programı bulanık mantık deneyi blok diyagram

5.9. Kayan Kip Denetim ile Tek Ters Sarkaç Sistemi Denetimi

Kayan kip denetim ile tek ters sarkaç sistemi denetim deneyinin LabVIEW™ programında ön paneli Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Kayan kip denetim yöntemi ön paneli

Deney düzeneği çalıştırıldığında LabVIEW™ programı kayan kip denetleyici kısmı aktif hale gelir.

şekil 5.12’de gösterilen kayan kip denetim ön panelinde “excel’e yaz” düğmesine basıldığında, smc.lvm dosyası oluşturulur (bu dosya bir çeşit excel dosyasıdır) ve bu bilgiler ana bilgisayarda kullanıcının bu dosyayı kaydettiği yerdedir. Kullanıcı isterse bu bilgileri oradan temin edebilir, aldığı verileri grafik olarak çizdirebilir.

Kullanıcı bu arayüzde yalnızca c katsayısını değiştirebilir. Onun dışında kalanlar ise sabittir.

Burada sarkacın derece olarak konumunu, hatayı, hatanın türevini, süreyi, açđ değerini, potansiyometrenin gerilimini, s değerini hem sayısal değer olarak hemde grafik olarak görebilmek mümkündür.

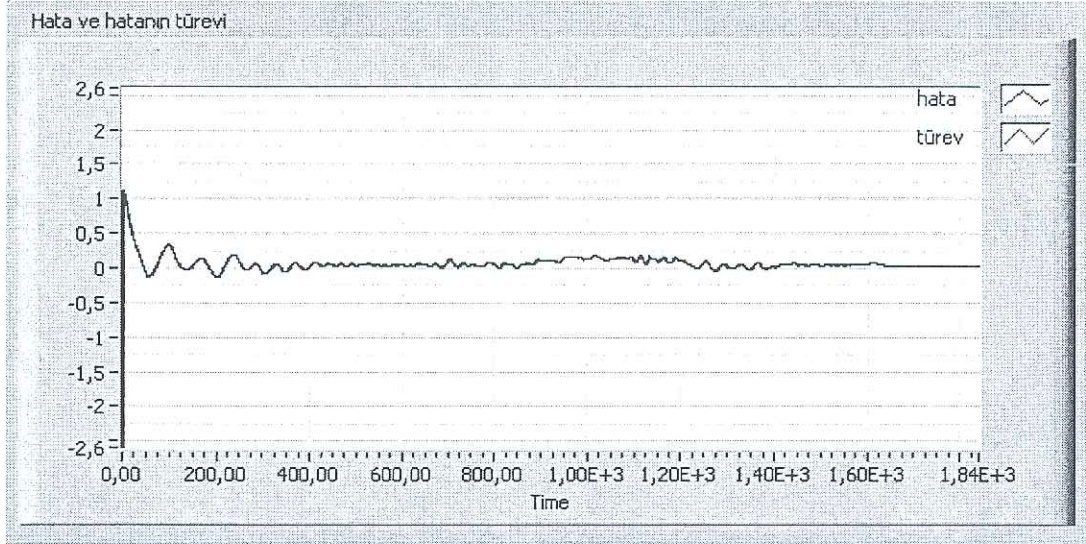
Kayan kip denetim ile tek ters sarkaç sistemi denetim deneyinin LabVIEW™ programında blok diyagramı şekil 5.13’de verilmiştir.

Burada görüleceği üzere DAQ kartının portları sistemin giriş ve ıkışları olmuştur. Potansiyometre analog giriş 3. portuna, oluşan hatanın büyüklüğüne göre de motorun dönüş yönü sayısal çıkış 0. ve 1. portuna bağlanmıştır.

Blok diyagramda göstergeler, denetimler, zamanlama, grafikler, matematiksel işlemler, sanal sinyal üretimi, tablo yapımı ve excel’e yazım işlemleri görülmektedir.

5.10. Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

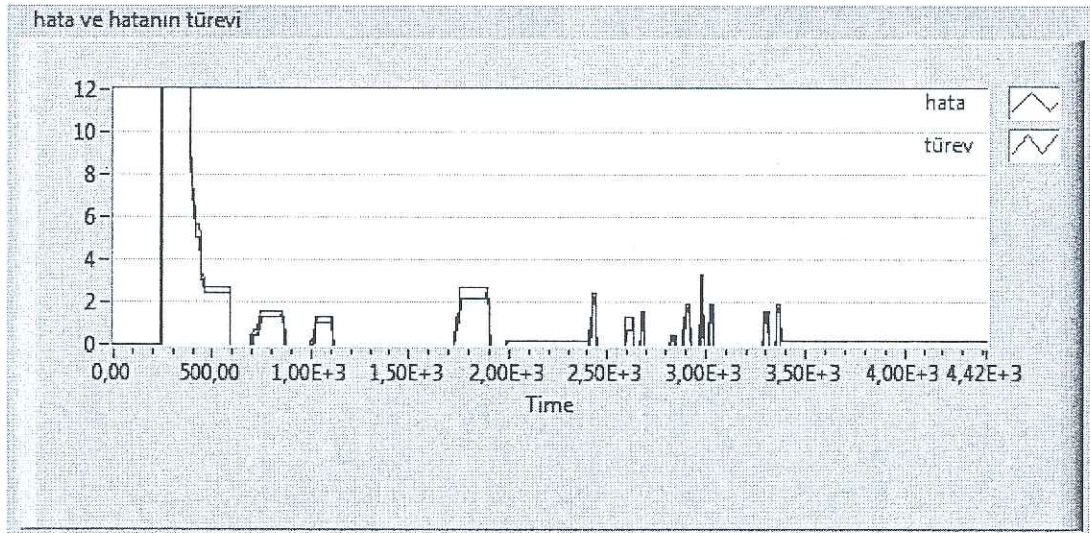
Bulanık mantık denetim geri besleme yapısı üzerine kurulmuştur. Diğer geleneksel denetim yöntemlerine göre üstün özellikleri mevcuttur. Bulanık denetim değişkenler arasında karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerde bile aynı mantığa sahiptir ve pratik olarak uygulaması nispeten daha kolaydır. Bulanık denetleyicileri klasik denetleyicilerden ayıran birkaç özelliği saymak gerekirse klasik denetleyiciler denetim sürecinin matematiksel modeline ihtiyaç duyar. Bulanık denetleyicilerde sürecin matematiksel modeline gerek yoktur. Klasik denetleyicilerde süreç değişkenlerinin ölçümleri kesin ve doğru olmalıdır. Bulanık denetleyici kesin olmayan bilgileri kullanabilir. Bulanık denetleyiciler daha hızlıdır. Buna karşın bulanık denetimin diğer denetim yöntemlerine göre dezavantajları da vardır. Örneğin bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyime çok bağlıdır. Yani denetleyeceği sistemi yeterince tanımayan birinin yazacağı kurallar ile sistemi düzgün çalıştırması zor olacaktır. Üyelik fonksiyonları da deneme şeklinde elde edilebilir. Şekil 5.14. 'de bulanık mantık denetimiyle yapılan deneyin hata ve türevi grafiği gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi denetleyici hatayı 0'a indirmeye çalışıyor.



Şekil 5.14. Bulanık mantık denetim deneyinde hata ve türevi

Kayan kip denetim ise anahtarlama mantığına göre çalışmaktadır. Teorikte sonsuz olarak gerçekleştirilebilecek olan anahtarlama sayısı, elektronik ve

elektromekanik sistemlerin dinamik yapısı nedeniyle sonsuz olamamaktadır. Bu nedenle anahtarlama sürecinde yavaşlamalar olmaktadır. Sisteme maksimum denetim işareti uygulandığında sistemin dinamik tepkisi de hızlı olmaktadır. Klasik kayan kip denetimde kullanılan denetim işaretin matematiksel eşdeğeri signum fonksiyonuna karşılık gelmektedir. Bu yüzden kayma yüzeyinin durumuna bağlı olarak motora +maksimum ve – maksimum gerilimleri uygulanmaktadır. Gerilimin sisteme zıt yönlü ve maksimum olarak uygulanması sistemde çatırtılara (Chattering) neden olmaktadır. Oluşan bu çatırtılar sistemin dinamik yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Kayan kip denetim, bulanık mantığa göre daha hızlı olmasına karşılık, çatırtı nedeniyle dezavantajlı bir konuma sahiptir. Çatırtı giderme yöntemlerinden biri kullanılarak kayan kip denetimin bu dezavantajlı durumu ortadan kaldırılabilir. Literatürde oluşan bu çatırtıların giderilmesine yönelik pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Bunlardan bazıları; alçak geçiren filtre kullanmak, signum fonksiyonu yerine saturasyon fonksiyonu kullanmak yada bulanık mantıkla sınır tabaka oluşturmak şeklinde sayılabilir. Fakat çatırtı gidermeye yönelik oluşturulan bu sınır tabaka içerisinde kayan kipi belirgin bir özelliği olan dayanıklılık kaybolmaktadır. Şekil 5.15. 'de kayan kip denetimiyle yapılan deneyin hata ve türevi grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Kayan kip denetim deneyinde hata ve türevi

Yapılan çalışmada görüldü ki bulanık mantık denetim ve kayan kip denetim ters sarkaç sistemini dengede tutmakta başarılıdır. İki denetim sisteminin de birbirlerine göre üstünlükleri mevcuttur.

Geleneksel programlama dilleri ile LabVIEW™ programlama dili oldukça farklıdır. Diğer programlama dillerinde oldukça zor ve zaman alabilecek bir programın LabVIEW™ ortamında daha kolay ve daha az zamanda yapılabildiği görülmüştür. LabVIEW™, tasarımcının ihtiyacına göre mühendislik, istatistik sinyal işleme ve analizi, gerçek zamanlı işlemler, endüstriyel işlem ve denetim, PID, bulanık mantık denetim ve kayan kip denetim, rapor hazırlama ve sonuçların sunumu konularında proje geliştirmek için sayısız fonksiyon, alt programlar ve hazır şablonlar içermektedir. Tüm bu konularda program geliştirebilecek uzmanlığa erişmenin çok yoğun bir çaba ve uzun bir zaman alacağı düşünülmektedir. Ancak LabVIEW™'in sağladığı üstünlükler göz ardı edilmemelidir.

6. SONUÇ

Denetim sistemleri günümüzde ileri toplumların günlük yaşantısına girmiş ve hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Ters sarkaç sistemleri, denetim yöntemlerinin üzerinde uygulandığı çok yaygın olarak kullanılan deneme sistemleridir. Denetim sistemlerinin geliştirilmesi bakımından ters sarkaç sistemleri iyi bir deneme özelliği taşımaktadır. Ters sarkaç sistemlerinin doğrusal olmaması ve kararsız olması nedeniyle modern denetim tekniklerinin gelişmesinde önemli bir yere sahiptir.

Yapılan çalışmada ters sarkaç sistemlerinden olan tek ters sarkaç sisteminin hem bulanık mantık denetim, hemde kayan kip denetimi yapılmıştır.

Tek ters sarkaç sistemi için mekanik düzen tasarlanarak deneysel düzenek hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde motoru sürebilmek için sürücü devresi tasarlanarak sürme devresi yapılmıştır. Denetleyiciler için 6024E DAQ kartı kullanılarak bilgisayarda LabVIEW™ programı kullanılmıştır.

Bu çalışmanın deney düzeneğine ilave sarkaç kollarının eklenmesi ve daha karmaşık denetim sistemlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

- [1] Kuo, B. C., Automatic Control Systems, Wiley, 7 edition, (1999), 2
- [2] Medrano-Cerda ,G.A., “Robust Computer Control of an Inverted Pendulum”, (1995), 58
- [3] Chen, C. S. , Chen, Wen-L., “Robust Adaptive Sliding-Mode Control Using Fuzzy Modeling for an Inverted-Pendulum System”, **45/2**, (1998), 297
- [4] Magana, M. E., Holzapfel, F., “Fuzzy-Logic Control of an InvertedPendulum with Vision Feedback”, **41/2**, (1998), 165
- [5] “Cihan, A., Karakuzu, C., “Bulanık – PID Denetimör Parametrelerinin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile En Uygunlaması”, EMO
- [6] Wai, Rong-J., Kuo, Meng-An and Lee, Jeng-Dao, “Stabilizing and Tracking Control of Nonlinear Dual-Axis Inverted-Pendulum System Using Fuzzy Neural Network”, **14/1**, (2006), 145
- [7] Eresen, A., İmamoğlu, N., Efe, Mehmeç Ö., “Bir Sarkaç Sisteminde Video Geri Beslemesi ile Gerçek Zamanlı Denetim”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK'08), 13-15 Kasım, İstanbul Teknik Üniversitesi, **2**, (2008), 616
- [8] Tao, C.W., Taur, J.S., Hsieh, T.W., Tsai, C.L. “Design of a Fuzzy Controller With Fuzzy Swing-Up and Parallel Distributed Pole Assignment Schemes for an Inverted Pendulum and Cart System”, **16/6**, (2008), 1277
- [9] Leung, F.H.F., Wong , L.K., Tam, P.K.S., “Fuzzy model based controller for an inverted pendulum”, **32/18**, (1996), **1683**
- [10] Wai, R.-J., Chang, L.-J., “Adaptive Stabilizing and Tracking Control for a Nonlinear Inverted-Pendulum System via Sliding-Mode Technique”, **53/2**, (2006), 674
- [11] J. Q. Huang and F. L. Lewis, “Neural-network predictive control for nonlinear dynamic-systems with time-delay,” **14/2**, (2003), 377
- [12] W. T. Baumann and W. J. Rugh, “Feedback control of nonlinear systems: A extended linearization,” **31/1**, (1986), 40
- [13] <http://www.bilisimdergi.com> (son erişim tarihi 12.05.2011)
- [14] Yüksel İ., Otomatik kontrol sistem dinamiği ve denetim sistemleri, Nobel Yayın Dağıtım, 5. Basım, (2006), 341

[15] King P.J., Mamdani, E.H., "The Applications of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes", **3**, (1977), 235

[16] http://ir.lib.stut.edu.tw/bitstream/987654321/10094/2/MYShieh04_Design.pdf (son erişim tarihi 17.03.2011)

[17] Ünsaçar, F., Eşme, E., Grafik Programlama Dili LabVIEW , (2007), 1. Baskı, 13

[18] Altun, Y., "Hiyerarşik Kayan Kip Denetimin Ters Sarkaç Sistemlerine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, (2008)

[19] <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/examples/pend/invpen.html> (son erişim tarihi 03.04.2011)

[20] <http://www.kormas.com/urunler.asp?id=242> (son erişim tarihi 15.12.2010)

[21] <http://www.bourns.com/pdfs/6657.pdf> (son erişim tarihi 15.12.2010)

[22] Dumanay, A. B., "PID, Bulanık Mantık ve Kayan Kip Denetim Yöntemleri ile İnternet Üzerinden DC Motor Hız Denetimi", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, (2009)

[23] <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/10806> (son erişim tarihi 07.01.2011)