

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİNİN (ANFIS)

ULTRASONİK MOTOR ÜZERİNDE UYGULAMASI

İZZET ÇAKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

MALATYA
OCAK 2013

Tezin Başlığı : Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS)
Ultrasonik Motor Üzerinde Uygulaması

Tezi Hazırlayan: İzzet ÇAKAN

Sınav Tarihi : 22.01.2013

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Ö. Faruk ÖZGÜVEN**
İnönü Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof. Dr. Nusret TAN**
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Müslüm ARKAN
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Ultrasonik Motor Üzerinde Uygulaması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

İzzet ÇAKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİNİN (ANFIS) ULTRASONİK MOTOR ÜZERİNDE UYGULAMASI

İzzet ÇAKAN

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

70+ vi sayfa

2013

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Ömer Faruk ÖZGÜVEN

Bu tezde ultrasonik motorların (USM) genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu motor çeşitleri üzerinde geliştirilen Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yapısına tepki süresi ve giriş-çıkış arasındaki hata oranını optimum seviyeye indirme üzerinde çalışılmıştır. MATLAB yazılımı kullanılarak PID ve çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan ANFIS yapısı bilgisayar ortamında tasarlanmıştır. Simulink'te ANFIS toolbox kullanılarak Ultrasonik Motor (USM) üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada USM modeli oluşturulmuştur. Kontrol için motor devri bir encoder vasıtasıyla ölçülmüştür. ANFIS yapısının USM sistemini kontrol edebilmesi için eğitilmesinde kullanılan eğitim verileri, motor devrinin analog-dijital çevirici ile MATLAB simulink'te tasarlanan PID denetleyicine aktarılmasıyla elde edilmiştir.

Tasarlanan PID denetleyici ve eğitilmiş ANFIS yapısı ile sistem çıkış eğrileri alınmıştır. Elde edilen bu sonuçları karşılaştırarak ANFIS yapısının USM kontrolü üzerindeki performansının incelenmesi hedeflenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Ultrasonik Motor, USM , ANFIS, Yapay sinir ağları,
Bulanık mantık,

ABSTRACT

Master Thesis

ADAPTIVE NEURAL FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) APPLICATION ON ULTRASONIC MOTOR

İzzet ÇAKAN

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Electrical Electronics Engineering

70+ vi pages

2013

Supervisor : Assist. Prof. Ömer Faruk ÖZGÜVEN

In this thesis, general information about Ultrasonic Motor (USM) is given. The purpose of this study is to see the result of Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) over USM and to reduce the error between real and calculated output values by developed algorithm. By using MATLAB Programme, PID Controller and commonly used ANFIS simulations built and computer application is established. ANFIS is practiced over USM.

USM model is built in the application. For the purpose of control, rpm of the motor is measured by an encoder. The training data, which are used to train the structure of ANFIS to succeed the controlling of the USM motor systems, are produced by transferring the motor RPM to PID controller which is designed in the MATLAB Simulink by the use of analog-digital converter.

In this thesis, USM system output graphics are obtained from the established PID controller and trained ANFIS structure. By comparing these results, it is aimed to examine the ANFIS performans on USM control.

KEYWORDS: Ultrasonic Motor, USM, ANFIS, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başarıya ulaşmasında en büyük paya sahip olan değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Ömer Faruk ÖZGÜVEN'e;

Tez çalışmamda bana destek olan ve her türlü kolaylığı sağlayan tüm mesai arkadaşlarıma;

Ultrasonik motorun yurtdışından getirilmesinde yardımlarını esirgemeyen ve her türlü desteği sağlayan MADOKSAN Tekstil Ltd. Şti. yönetim kurulu Malatyalı işadamları Basri KARAKAYA ve Mahmut KARAKAYA'ya;

İnönü Üniversitesi Mak. Müh. Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Cem ONAT'a;

Bu günlere gelmemde her türlü fedakarlığı gösteren değerli aileme;

Elbette her zaman güven ve sevgilerini yanımda hissettiğim her zaman beni motive eden ve manevi desteğini her an yanımda hissettiğim sevgili Eşime,

Teşekkür Ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER LİSTESİ	v
KISALTMALAR LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Ultrasonik Motorlar	9
1.2. Usm'nin Yapısı Ve Çalışma Prensipleri	11
2. KURAMSAL TEMELLER	15
2.1. Bulanık Mantık	15
2.1.1. Bulanık Mantık denetleyicinin Üstünlük ve Sakıncaları	18
2.1.2. Bulanık (Fuzzy) İşlemler (Kuralların Gerçekleştirilmesi, Bağlılığı)	19
2.1.2.1. Bileşim İşlemi	19
2.1.2.2. Kesişim İşlemi	19
2.1.2.3. Evrik İşlemi	20
2.1.2.4. Bağlılığı İşlemi	20
2.1.3. Netleştirme (Defuzzification)	24
2.1.3.1. Ağırlık Merkezi Metodu	24
2.1.3.2. Yüksek Değerlik Ağırlık Merkezi Metodu	25
2.1.3.3. Maksimum Ölçüt Metodu	25
2.1.3.4. İlk Maksimum Değer Metodu	25
2.2. Yapay Sinir Ağları	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. ANFIS Yapısı	29
3.2. ANFIS İçin Geri Yayılımlı Öğrenme Algoritması	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
4.1. USM'un ANFIS ile Sürülmesi İçin Planlama Safhaları	41
4.2. USM'un Transfer Fonksiyonunun Elde Edilmesi	43
4.3. PID Katsayılarının Elde Edilmesi	48
4.4. ANFIS Uygulaması	48
4.5. PID Çıkış ve Hata eğrileri	49
4.6. ANFIS Eğrileri	53
4.7. PID ve ANFIS Kontrolör Çıkışlarının Karşılaştırılması	57
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	60
6. KAYNAKLAR	62
7. EKLER	65

ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER LİSTESİ

Şekil 1.1	USM Yapısı.....	10
Şekil 1.2	USM Kesit Görünümü.....	12
Şekil 1.3	Baskının Profil Görünümü.....	12
Şekil 1.4	Dönü Hareketi Prensibi.....	13
Şekil 1.5	USR 30-E3 Motor.....	13
Şekil 1.6	USR 6060 Sürücü.....	14
Şekil 2.1	Giriş Üyelik Fonksiyonları.....	16
Şekil 2.2	Çıkış Üyelik Fonsiyonları.....	16
Şekil 2.3	Yaygın kullanılan Üyelik Fonksiyon örnekleri.....	17
Şekil 2.4	Fuzzy İşlemlerin Grafikselsel Gösterimi.....	21
Şekil 2.5	Giriş Üyelik Fonksiyonları Grafiği.....	22
Şekil 2.6	Çıkış Üyelik Fonksiyonları Grafiği.....	23
Şekil 2.7	Sinir Hücresi Yapısı.....	26
Şekil 2.8	“r” Adet Girişli Bir Yapay Sinir Hücresi Modeli.....	27
Şekil 2.9	Sigmoid Fonksiyonu.....	28
Şekil 3.1	Birinci Yapı.....	30
Şekil 3.2	İkinci Yapı.....	30
Şekil 3.3	ANFIS Genel Görünüm.....	31
Şekil 3.4	İki Girişli ve İki Kurallı Sugeno Tip Bulanık Çıkarım.....	32
Şekil 3.5	İki Girişli ve İki Kurallı ANFIS Mimarisi.....	33
Şekil 3.6	Anfisedit Arayüzü.....	39
Şekil 4.1	Genel Çizim.....	41
Şekil 4.2	PID Modellemesi.....	42
Şekil 4.3	Bağlantı Modellemesi.....	42
Şekil 4.4	Oluşturulan Deney Düzenegi.....	43
Şekil 4.5	Simulink Blok Diyagramı.....	44
Şekil 4.6	Giriş Çıkış Sinyallerinin Örnek Gösterimi.....	44
Şekil 4.7	Simulink PID Kontrolör Blok Diyagramı.....	48
Şekil 4.8	Simulink ANFIS Kontrolör Blok Diyagramı.....	48
Şekil 4.9	PID, Genlik 1 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	49
Şekil 4.10	PID, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	50
Şekil 4.11	PID, Genlik 3 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	51
Şekil 4.12	PID, Basamak Sinyal İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	52
Şekil 4.13	ANFIS, Genlik 1 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	53
Şekil 4.14	ANFIS, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	54
Şekil 4.15	ANFIS, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	55
Şekil 4.16	ANFIS, Genlik Basamak Sinyali İçin Çıkış ve Hata Eğrisi.....	56
Şekil 4.17	Genlik 1 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma.....	57
Şekil 4.18	Genlik 2 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma.....	58
Şekil 4.19	Genlik 3 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma.....	58
Şekil 4.20	Basamak Giriş için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma.....	59
Çizelge 4.1	Çıkış Değerleri Çizelgesi.....	46
Çizelge 4.2	Transfer Fonksiyonunu Bulmak İçin Yazılan Program.....	47

KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
ANFIS	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Denetleyici)
DAC	Dijital Analog Dönüştürücü
FNN	Fuzzy Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
FNNC	Fuzzy Neural Network Controller
F/V	Frekans/Voltaj
PID	Proportional–integral–derivative (Doğrusal-İntegral-Türevsel)
YSA	Yapay Sinir Ağları
USM	Ultrasonik Motor

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, kullanılan motor yapılarında da değişiklikler meydana gelmiştir. Bunlardan biri de piezoelektrik malzeme kullanılarak yapılan ultrasonik motorlardır. Bazı kristal ve seramik malzemenin üzerine kuvvet uygulandığında elektrik geriliminin oluşması olayına piezoelektrik etki adı verilir. Bunun tersi de geçerlidir. Yani, piezoelektrik malzemeye elektrik gerilimi uygulanırsa piezoelektrik malzeme titreşimler üretir. Bu titreşimlerden yararlanarak lineer ya da açısal hareket edebilen motorlar üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılan elektromanyetik motorlardan farklı bir çalışma sistemine sahip olan Ultrasonik motorlar, piezoelektrik seramik parça üzerinde oluşan titreşimi kullanarak hareket üreten motorlardır. Ultrasonik motorlar, elektromanyetik parazitlerden etkilenmemeye, dişli sistemine gerek duymadan düşük hızda yüksek tutma momenti, sessiz çalışma, küçük boyut, kontrol esnasında çabuk tepki verme gibi avantajlara sahiptir [1-2].

Bu motorların pratik uygulaması ilk olarak 1973 yılında Berth tarafından ortaya konulmuştur. Günümüzde geliştirilmeye çalışılan bu küçük ve etkili motorlar, robot teknolojisi, uzay araçlarında, fotoğraf ve kamera sistemleri gibi birçok alanlarda kullanılmaktadır [2-5].

Ultrasonik motorların birçok çeşidi olmasına karşın en yaygın olanları; çok modlu ultrasonik motorlar, mod değişmeli ultrasonik motorlar, yürüyen dalga tip ultrasonik motorlardır. Bunlar arasında da en çok tercih edileni yürüyen dalga tip ultrasonik motorlardır. Ultrasonik motorlar 20 Khz üzerindeki insan kulağı ile işitilmeyen ses dalgalarını kullanır. Fakat hava yoluyla aktarılan ses dalgalarını kullanmazlar. Bunun yerine, piezoelektronik seramik elemanlar kullanılarak metal halkanın yüzeyinde ultrasonik seviyedeki frekanslarda titreşim üretilir. Stator ve rotor birbirine presli iki parçadır ve üretilen bu titreşim bu iki ana parça üzerinde sürme işlemini gerçekleştirir [6].

Ultrasonik motorları sürme işlemi yüksek frekanslı mekanik titreşimler ve sürtünme kuvvetine dayanır. Sürme frekansı, kaynak gerilimi ve yük gibi çalışma koşullarındaki değişimler ve sıcaklık değişimleri motor parametrelerini etkilemektedir [1-2,6]. Çalışma koşullarını değiştirerek motorun performansı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Sadece sürme frekansının etkisini görmek amacıyla, adaptif kontrol kullanılarak bu parametrenin hız dalgalanması üzerindeki etkileri

görülmüştür. Aynı şekilde hem sürme frekansı hem de gerilimler arası faz farkı kontrol edilerek elde edildiği için iki modlu olarak adlandırılan PI denetleyici kullanılarak hassas konum kontrolü çalışması da yapılmıştır. Hızlı tepki, iyi geçiş performansı ve kontrol düzlemindeki harici değişiklikler ile parametre değişimlerine duyarlılık gibi avantajlara sahip variable-structure adaptive model-following sürücü devresi üzerinde çalışılmış, USM servo sürücüsünün kontrolü için memnun edici sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber sürme performansını artırmak amaçlı çalışmalarda yapılmıştır [7].

Kontrol devresi için bulanık mantık algoritmasından da yararlanılarak çalışmalar yapılmıştır. Matematik modelinin çıkartılmasının zor olduğundan ve çalışma karakteristikleri doğrusal olmadığından bulanık mantık ile yapılan kontrol çalışması en elverişli sonuçları vermiştir. Oluşturulan üyelik fonksiyonları motorun çalışması esnasında karşılaşılabilecek durumlara göre oluşturulmuş ve referans model ile rotor konumu arasındaki hassasiyet gözlenmiştir [4,8].

USM'lerin devre modelini çıkarmak daha öncede söylediğimiz gibi oldukça zordur. Fakat modelin çıkarılması, motor tasarımı ve çalışma karakteristiklerini tahmin etmede kolaylık sağlayacaktır. Bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Motorun çok önemli parçası olan statorun yapısı ve özellikleri üzerinde durularak performansı artırmak için çalışmalar yapılmıştır [9]. Statorla birlikte rotorun esnekliği ve sürtünme tabakasının motor performansını için önemli olduğu yapılan matematiksel ve deneysel çalışmalar sonucu görülmüştür [10]. Daha iyi motor performansı için sistem dizaynında öngörü sağlayacak şekilde stator, rotor ve bunların etkileşimi göz önünde bulundurularak bütün bir sistem için hibrit bir analitik model geliştirilmiştir [11]. Motorun ana parçalarından statorun matematik modeli çıkararak yapılan çalışmada modelin temel tasarımı kullanılan piezoelektrik malzeme ve mekanik titreşim sistemine dayalıdır. Piezoelektrik sistem elektrik kaynağından ultrasonik frekansta titreşim aldığında bu da stator ve rotor arasında mekanik titreşim oluşturmaktadır. Stator bu titreşimi rotor için sürücü kuvvet olarak iletmektedir. Öncelikle kullanılan piezoelektrik malzeme modeli tasarlanmıştır. Daha sonra da USM'nin çalışma karakteristiğini etkileyen sürtünme, sıcaklık, stator-rotor arasındaki baskı ve yük gibi parametreler modele dâhil edilmiş ve gerçek motor deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta deney verileri ile uyumlu bir model elde edilmiştir [12-13]. Yapılan başka bir modelleme çalışması sonucu, elde edilen eşdeğer devreden devir sayısı ve gerilim arasındaki bağıntı matematiksel olarak çıkarılmıştır [14].

USM motorun hız denetiminin yapılması, sistemi meydana getiren parametrelerin ölçülmesi ve izlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Motorun hızını etkileyen sürme frekansı, genlik değeri ve faz farkı parametreleri değiştirilerek motor hızındaki etkiler gözlenmiştir. Bu parametrelerden en etkilisinin sürme frekansı üzerindeki değişimler olduğu görülmüştür [15]. Bilgisayar ekranı denetimi ile motorun çalışması sayısal ve grafiksel olarak elde edilmiştir. Sürme frekansı değiştirilerek motor hızının kontrolü üzerinde çalışılmıştır [16]. Sürme gerilimi ve sürme frekansı değiştirilerek yapılan hız denetim sisteminde sürme gerilimi ile hız kontrolü için geniş bir çalışma aralığı sağlarken, sürme frekansı ile hız kontrolünde ise dar bir bant aralığı sunduğu görülmüştür [17]. Bekiroğlu'nun yaptığı bir çalışmada, USM denetimi için PIC mikroişlemciden yararlanılmıştır. Bu çalışmada mikroişlemci sayesinde basit, maliyet etkin, hafif, güvenilir ve pratik bir USM denetimi de yapılmıştır. Frekans ve voltaj değerleri aynı anda ayarlanmıştır. Deneysel sonuçlar, çok basit bir teknikle USM için hassas ve çabuk denetim sağlanmıştır [18].

USM için denetleyici oluşturulurken genellikle matematik modelini kullanmayı gerektirmeyen PI kontrolör tasarlanır. Bu tasarım, iyi ayarlanırsa basit yapılarda kararlı ve güvenilir olarak çalışmaktadır. Fakat karmaşık sistemlerde yeterli verim sağlanamamaktadır. Karışık sistemlerin karakteristik çeşitliliği üzerinde olumlu sonuç alınması için çalışılan kontrol sistemlerinde bulanık mantıktan yararlanılmıştır. Hata değeri, hata değerlerindeki değişim ve faz farkı değişkenleri üyelik fonksiyonları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kontrol sistemlerinde faz farkının $\phi=0$ civarında olduğunda ölü bölge oluştuğu ve bu bölge içine girildiğinde USM durduğu ve tekrar kontrolün sağlanamadığı görülmüştür. Ölü bölge etkisinin giderilmesine de yer verilen çalışmada, durumun giderilmesi için P kontrolör kullanılmıştır. Denetleyicide yazılan algoritma içinde kullanılan oransal kazanç faktörüne atanan değer ile ölü bölge etkisinin kaldırıldığı görülmüş ve bulanık mantık ile USM'nin kontrolü sağlanmıştır [19].

Bulanık mantık ile ilgili ilk teori Lofti Zadeh tarafından 60'lı yılların ortasında ortaya konulmuştur. Bulanık mantık denetleyici tasarım öncülüğünü ise E.H. Mamdani ve ekibi 70'li yılların ortasında yapmıştır. Bulanık teorinin konseptinde, altküme (fuzzy subset), bulanık matris (fuzzy matrix), üyelik fonksiyonu (membership functions), dilsel değişkenler (linguistic variables), altkümelerin toplanması veya birleşimi (aggregation), bir mantığa göre dizilmiş üyelik

fonksiyonlarının tek boyutta ifadesi (align turning), matrislerin birleşimi (union), matrislerin kesişimi (intersection), maksimum-minimum bileşimi (max-min composition) ve tümleyen (complement) terimleri yer alır [20].

Bulanık sinir ağı (Fuzzy Neural Network) bulanık mantık ile yapay sinir ağlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Her katman içerisinde nöronlar bulunur. Giriş ve çıkış katmanındaki nöron sayısı giriş ve çıkış sayısına bağlıdır. Gizli katman ve buradaki nöron sayısı ise sistem özelliklerine bağlıdır. Yapay sinir ağları üç temel katmandan oluşur; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı. Bulanık mantık ise girdi değerlerinin bulanıklaştırılması (fuzzification), bu değerlere ilişkin kuralların oluşturulması ve çıktı değerlerinin netleştirilmesi (defuzzification) temeline dayanır.

Bulanık mantıkta kurallar bir uzman tarafından belirlenir. Uzman kişi üyelik fonksiyonlarındaki sınırları belirler ve bu aralıktan seçilecek noktalara karşılık gelen değerler sinir ağı için ilk ağırlık değeri olarak kullanılır. Bu ağırlık değerleri belli bir aralıktan ve dolayısıyla rastgele seçilmediği için sistemin daha hızlı eğitilmesine olanak sunar. Daha sonra bu ağırlık değerleri sistemin çıkış değerine göre ayarlanacaktır. Bu durum sadece bulanık veya sadece sinir ağına nazaran daha hızlı bir sistem sağlar [21].

Bulanık sinir modeli veya bulanık sinir ağı, klasik sinir ağı kadar kısa sürede öğrenme özelliğiyle birlikte çoklu giriş ve çoklu çıkış arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi tanımlayabildiğinden, bu modellemenin gelecekteki yazılım dili olması beklenmektedir. Bulanık sinir ağını tasarlamak için yapılan çalışmalardan Kim, D.H. ve Abraham, A.'nın yapay bağışıklık sistemine dayalı öğrenme algoritması üzerine yaptığı çalışmada, yakalanılan hastalığa karşı vücudun aynı virüsü tanıması ve bunu öğrenmesi düşüncesinden yararlanılarak bağışıklık sistemi mantığından yola çıkılmıştır. Böyle bir çalışma, başlangıç üyelik fonksiyonunu bulmayı ve üyelik fonksiyonlarını kurabilmeyi sağlamıştır. Deneysel sonuçlarda da görülmüştür ki bu şekilde kurulan bulanık sinir ağı oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir [22]. Başka bir bulanık sinir ağı çalışmasında indüksiyon motorunun hız kontrol çalışması yapılmıştır. Motorun modeli çıkarılarak, sinir ağı yapısı ve bulanık PD denetleyici tasarlanmıştır. Simülatör yardımı ile verilen etkilere karşı motorun hız tepkisinin referans tepkiyi takibi ölçülmüştür [23]. Başka bir çalışmada FNN (Fuzzy Neural Network) için farklı bir yaklaşım sunulmuş ve FuNN (Fuzzy Neural Network) olarak adlandırılmıştır. Model içinde algoritmaya kural ekleme veya çıkarma üzerinde

çalışılmıştır. Bu model, sinir ağı, bulanık mantık ve genetik algoritmayı tek bir sistem bünyesinde oluşturmuştur. Bu çoklu bakış açısına sahip yaklaşım geniş kapsamlı problemler için iyi sonuçlar vermiştir [24]. Aynı şekilde genetik algoritma ile delta kuralı kullanılarak kendi kendini ayarlayan bir sistem geliştirilmiş ve bu sistemin ne kadar etkili olduğu ise simülasyonlarla görülmüştür [25]. Genetik algoritma sayesinde sistem otomatik olarak kendi kendine üyelik fonksiyonu ve kural tabanını oluşturabilmektedir [26].

Bulanık sinir ağlarının diğer bir kullanım alanına ise bilgisayar ağlarında haberleşme sağlanması alanında rastlıyoruz. Bilgisayar ağları günümüzde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu kadar önemli yer tutan ve ihtiyacı her geçen gün artan bilgisayar ağları iletişimde, verinin aktarımındaki kalite de büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada ağ üzerindeki veri trafiğinin yönetimi ile ilgili olarak bulanık sinir ağı üzerinde çalışılmıştır. Verileri sınıflandırma konusunda uzaklık, ham bilgi, meydana gelebilecek hatalar ve tıkanıklık gibi problemleri bulanık mantık ile üyelik fonksiyon grupları olarak sınıflandırmıştır. Bu parametrelere ağırlık değerleri atanmıştır. Daha sonra elde edilen bu ağırlıklara göre sinir ağının girişleri oluşturulmuştur. Her 4 parametreden 3 ayrı ağırlık çıkarmış ve toplam 12 giriş ve bu girişlerin 1 çıkışı olacak şekilde sinir ağı oluşturulmuş. Gizli katmanlar ise oluşturulan kurallara göre belirlenmiştir. Elde edilen bu modelin simülasyonu oluşturulmuş ve başarılı sonuç alınmıştır. Bu sayede yeni bir gönderme algoritması oluşturulmuştur [27].

Sinirsel bulanık sistemler iki gruba ayrılır. 1. Sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (neural-fuzzy inference systems), 2. Bulanık sinir ağı sistemleridir (fuzzy neural network systems). Sinirsel bulanık çıkarım sistemleri, yapay sinir ağı kavramlarıyla, bulanık mantığın bir araya gelmesinden doğmuştur. Bulanık sinir ağlarında ise, bulanık fikirler sinir ağları ile birleştirilmiştir. Bulanık sinir ağları, bulanık çıkarımların sinir ağı prensiplerine uygulandığı sistemlerdir. Bu sistemler yalın haldeki bulanık denetleyicilerden daha iyi çalışırlar [28].

Bulanık sinir ağları konusunda yapılan yeni bir çalışmayla “yerel geri besleme ile tekrarlanarak kendi kendini geliştiren bulanık sinir ağı (RSEFNN-LF)” oluşturulmuştur. Çalışma mantığı, sistemin geri beslemesinden alınan bilgiler ile kuralların kendi kendine yeniden düzenlemesine dayanır. Giderek azalan bir eğim algoritması kullanarak sistem eğitilmiş ve bu sayede belirsizlik durumu daha da daraltılarak dinamik sistemlere uygulanmıştır [29].

Web servis sağlayıcılarının geliştirilmesi konusunda yapılan bir çalışmada; kaliteli bir hizmetin göstergesi olan tepki süresi, kullanıcılar için uygun zaman oranı, erişilebilirlik durumu, aktarabileceği veri miktarı, güvenilebilirliği (hata payı), ücreti ve güvenlik seviyesi gibi faktörleri kullanıcıya optimum şekilde sağlamak amacıyla sinirsel bulanık sistemlerden yararlanılmıştır [30].

Bulanık sinir ağı mantığıyla yapılan bir çalışmada, endüstriyel anlamdaki dinamik sistemlerde oluşan hataların tespiti ve teşhisi boyutunda adaptif ve eşzamanlı öğrenilen model geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar bu yaklaşımın hatanın gerçek zamanlı olarak başarılı şekilde tespiti ve teşhisi konusunda güvenilir ve hesaplanabilir olduğunu göstermiştir [31].

Bir başka çalışmada; sabit miktatsız servo motorun, bulanık sinir ağı denetleyicisi ile hız kontrolü yapılmıştır. Sabit miktatsız servo motor sürücü sistemlerinin denetim yapısında meydana gelen belirsizliklerin olumsuz etkileri bulanık sinir ağı denetiminin lineer olmayan, uyarlanabilir ve dayanıklı yapısıyla giderilmiştir. Ancak, herhangi bir nedenle ortaya çıkan sürekli durum hatalarının giderilmesinde kontrol sistemi çıkış hata değerini almış ve sinir ağı yapısında giriş değişkenleri olarak hata ve hatanın integrali kullanılmıştır. Böylece bulanık sinir ağı denetleyicisine integral etkisi kazandırılarak sürekli durum hatalarını da giderilmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmada değişik referans hız değerlerinde, sabit ve doğrusal olmayan yükler kullanılarak denetleyicinin dayanıklılığı ve sürekli durum hatalarını giderebilme yeteneği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, integral etkili bulanık sinir ağı denetleyicisinin uyarlanabilir ve dayanıklı yapısıyla değişen yük koşullarına uyum sağladığı görülmüştür [32].

Chow, Mo-Yuen, motorun bulanık sinir ağına göre kontrol sistemini kurarak hata tespiti çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin girdisi olarak akım ve hız arasındaki bağıntı kullanılmış buna göre üyelik fonksiyonları ve sinir ağı oluşturulmuş, eğitim prosedürünün şeması çıkarılmıştır. Motor hata tespiti amacıyla yapılan bu çalışmada, bulanık mantık kuralı oluşturulurken en başta kullanılan en iyi tahmin başlangıç noktası olarak kullanılmış ve eğitim boyunca bu değer sabit olarak kalmıştır. İlk girilen bu ağırlık değeri değiştirilmeden sürtünme hatası eğitilmiştir [33].

Yürüyen dalga ultrasonik motorlarla ilgili yapılan bir sürme devresinde push-pull DC-DC dönüştürücü kullanılmış ve bulanık sinir ağlarından faydalanılarak kontrol devresi tasarlanmıştır. Bu çalışmada öncelikle dört katmanlı ağ yapısı

tanımlanmıştır. Daha sonra USM 'nin bilinmeyen dinamiklerini daha kolay çözebilmek ve öğrenme oranını hızlandırmak için delta kuralı kullanılarak öğrenme algoritması çıkarılmıştır. Ağ performansı için öğrenme parametrelerinin değerlerini belirlemek çok önemlidir. Bu kapsamda çıktı hatasının yakın değerlerine ulaşabilmek için yakınsama analizleri üzerinde çalışılmıştır. Sürme devresinin blok diyagramı çıkarılmış ve işletme prensipleri anlatılmıştır. En son ise USM 'nin pozisyon kontrolü çalışması yapılmıştır ve deneyler sonucunda tasarlanan bu sürücü ve delta kuralı kullanılan kontrolörün etkisi görülmüştür [34].

Ultrasonik motorların konum denetimi için bulanık sinir ağından yararlanılan başka bir çalışma da frekans ve faz farkı parametreleri eşzamanlı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada bulanık sinir ağı denetleyici (FNNC) ve dual-mod PI denetleyici karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlarda bulanık sinir denetleyici başlangıç konumu için daha kötü bir tepki vermiştir. Bunun nedeni ise PI denetleyicinin ilk giriş değeri için deneysel sonuçlarla elde edilen değer verilirken, FNNC için olgunlaşmamış bir giriş değeri verilmesidir. Fakat kısa süre içinde FNNC hatasız bir şekilde giriş komutlarını izleyebildiği görülmüştür. Ayrıca sinüzoidal sinyal uygulandığı esnada ani uygulanan yük değerinde konum tepkisinde herhangi bir bozulma olmamıştır. Giriş sinyali kare dalga iken sinüs dalgası uygulanmış ve gene herhangi bir bozulma görülmemiştir. Sonuç olarak PI denetleyici ile karşılaştırıldığında her iki sinyal girişinde ve değişen yük durumlarında daha iyi performans elde edildiği görülmüştür [35].

Yapılan literatür taraması neticesinde görüldü ki, kontrol sistemlerinde klasik yöntemlerden farklı algoritmalar kullanılmaya başlanılmıştır. Bizim yapacağımız çalışmada yaygın olarak kullanılmakta olan algoritmalarından biri olan Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Denetleyici (ANFIS, Adaptive Neural-Fuzzy Inference System) algoritması kullanılarak bir uygulama yapmaktır. Yapacağımız uygulama ultrasonik motorun kontrolü üzerine olacaktır.

Çalışmamızda öncelikle ultrasonik motorların özelliklerini anlatarak bilgi verilecektir. Daha sonra ANFIS yapısının oluşturulma basamakları özümünecektir. En son kısımda da ANFIS yapısının ultrasonik motorlar denetimi üzerine uygulamasını yapacağız ve test sonuçlarını değerlendireceğiz.

1.1. Ultrasonik Motorlar

Özellikle 90'lı yılların sonundan itibaren geliştirilmeye çalışılan ultrasonik motorlar, bilinen elektromanyetik motorlardan tamamen farklı özelliklere sahiptir.

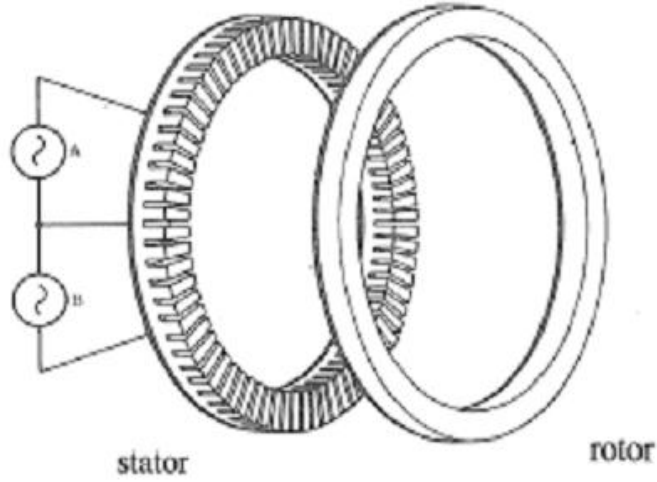
Ultrasonik motorlar, piezoelektrik etki temeline dayanarak çalışan motorlardır. Bazı kristal ve seramik malzemenin üzerine kuvvet uygulandığında elektrik geriliminin oluşması olayına piezoelektrik etki adı verilir. Bunun tersi de geçerlidir. Yani, piezoelektrik malzemeye elektrik gerilimi uygulanırsa piezoelektrik malzeme titreşimler üretir. Bu titreşimlerden yararlanarak lineer ya da açısal hareket edebilen motorlar üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılan elektromanyetik motorlardan farklı bir çalışma sistemine sahip olan Ultrasonik motorlar, piezoelektrik seramik parça üzerinde oluşan titreşimi kullanarak hareket üreten motorlardır.

Ultrasonik motorların sürme prensibi yüksek frekanslı titreşime ve bu titreşimlerin temas ettiği yüzeydeki sürtünme kuvvetine dayanır. İnsan kulağının işitme frekansı 50 Hz ile 20 kHz arasındaki ses dalgalarıdır. Ultrasonik seviyedeki dalgalar 20 kHz'in üzerindeki insan kulağıyla işitilemeyen ses dalgalarıdır. Fakat, ultrasonik motorlar hava yoluyla aktarılan ses dalgalarını kullanmazlar. Piezoelektrik malzeme üzerine uygulanan gerilim sonucu elde edilen titreşimler kullanılır. Aşağıdaki USM yapısında görüldüğü üzere stator ve rotor birbirine preslenmiş iki parçadır ve statorun yapısında rezonansı artıran piezoelektrik malzeme kullanılmaktadır. Stator üzerine uygulanan A ve B gibi iki fazlı gerilim yürüyen dalgayı oluşturur. Stator ile rotorun temas noktalarında eliptik harekete dönüşen dalga stator sabit olduğundan rotoru ters yönde dönmeye zorlar. Tarak dişi şeklinde görülen yapıda uygulanan gerilime bağlı olarak aralıklar genişler veya daralır ve sinyal genlikleri mikrometre seviyesindedir. Bu mikro seviyedeki hareket temas yüzeylerindeki sürtünme kuvveti sayesinde rotor dönüşü sağlanır.

USM'lerde bu genişleme ve daralama etkisini yaratmak için optimum seviye olarak 90° faz farklı iki sinüsoidal gerilim dalgası uygulanır. Bu dalgaların birbiri üzerine binmesi sonucu seramik gövdede veya buna bağlı olan metal gövde de titreşimler üretilir. Daha önce de belirttiğimiz gibi titreşimin genliği mikro seviyededir. Bu titreşimlerden daha yüksek bir kazanç elde etmek için piezoelektrik diye bahsettiğimiz seramik üzerindeki rezonans etkisinden faydalanılır. Hareketin her

bir genliği mikro seviyede olmasına rağmen dđnđ hızını etkileyen faktđr buradaki uygulanan gerilimin frekansıdır. Netice olarak elde edilen dđnđ hareketi gerilimle uyguladığımız yđksek seviyedeki frekans ve stator ve rotor arasındaki sđrtđnme etkisidir.

Fazlardan herhangi birinin işaretinin değişmesi ile rotorun ters yđne dđnmesi sağlanır.



şekil.1.1 USM yapısı

Motor parametreleri; Sđrme frekansı, kaynak gerilimi ve yđk gibi çalışma koşullarındaki değişimler ile sıcaklık değişimlerinden dolayı zamanla değişmektedir. Bu sebeple de motorun hem matematik modelinin çıkartılması zordur hem de kontrol karakteristikleri karmaşık ve oldukça nonlineerdir. Ultrasonik motorun hızı; sđrme frekansı, uygulanan yđksek frekanslı gerilim ve iki faz tarafından üretilen iki-faz gerilimleri arasındaki faz farkı ile kontrol edilebilmektedir. Sđrme işlemi için, kaynak gerilimleri arası faz farkının 90 olması optimum sonucu sağlamaktadır.

USM'ları diğer motorlardan ayıran temel özellikler şunlardır:

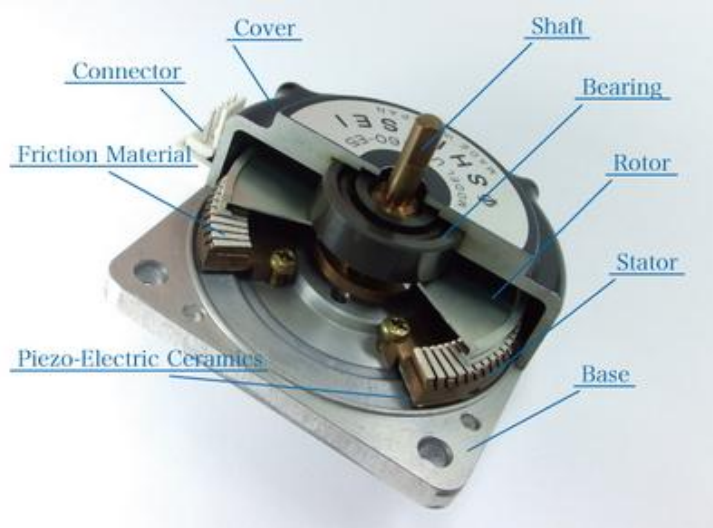
- USM'de dđřđk hızlarda yđksek moment yđksek verim ile birlikte elde edilir.
- Birim ağırlık başına üretilen moment yđksektir. Rotorun ataleti kđđk tutulabildiğinden dolayı başlatma ve durdurma sırasındaki kontrol karakteristikleri dđzgündür.

- Hız azaltıcı dişlilerin meydana getirdiği osilasyon hatalarının olmamasından dolayı motor konumunu hassas olarak elde etmek mümkündür.
- Elektrik enerjisi kesildiğinde temas yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı mevcut konum korunabilir.
- Motor değişik biçimlerde yapılabilir ve küçük boyutlarda tasarlanabilir.
- Doğrusal hareketli (lineer) USM kolaylıkla tasarlanabilir.
- USM'nin sessiz çalışma özelliği vardır.
- USM' de elektromanyetik indüksiyondan dolayı oluşan parazitlerin etkisi yoktur.
- USM' nin hızı yük momenti arttıkça azalmaktadır.
- Motoru sürmek için 90 derece faz farklı yüksek frekanslı 2 faz sinüsoidal gerilim kaynağına ihtiyaç vardır.
- Yüksek aşınma direncine sahip Piezoelektrik malzemeye ihtiyaç gerekmede olup piezoelektrik malzeme pahalıdır.
- Bu motorlarda yüksek güç elde etmek zordur.
- Rotor hareketi Sürtünme ile elde edildiğinden stator ve rotor malzemelerdeki aşınmalardan dolayı motor ömrü sınırlıdır.

1.2. USM'nin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Shinsei firmasının USR serisinde ilk ürettiği motorlar USR-60-4-100 tipi motorlardır. Daha sonra bu teknolojiyi geliştirmişlerdir ve modeli de geliştirerek USR-60 ve USR-30 tipi motorları ürün kategorilerine eklemişlerdir. Üretim olarak USR-60, 60 mm boyutunda; USR-30, 30 mm boyutundadır. Bu motorlar USM teknolojisinin günümüzde kabul gören standart yapısı haline gelmiştir.

Aşağıda görülen resim çalışmamızda da yararlandığımız Shinsei firmasının ürettiği yürüyen dalga ultrasonik motorların genel görünümüdür.



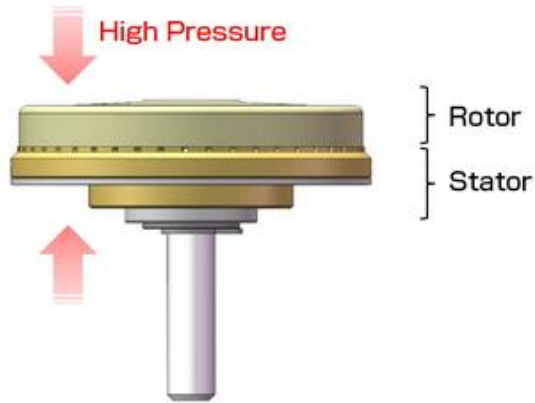
Şekil 1.2 USM Kesit Görünümü

Bu resim üzerinde de görüldüğü gibi motoru oluşturan ana elamanlar;

- Stator; titreşimi ileten kısım,
- Rotor; dönen parça,
- Şaft; dönüyü aktaran kısım,
- Gövde.

Stator yapısında;

- Titreşim üreten piezo-elektrik seramik,
- Titreşimi kuvvetlendiren metal halka veya astar yapı,
- Rotor ve Statoru birbirine temasını sağlayarak titreşimin rotora transferini sağlayan sıkıştırma yatağı.

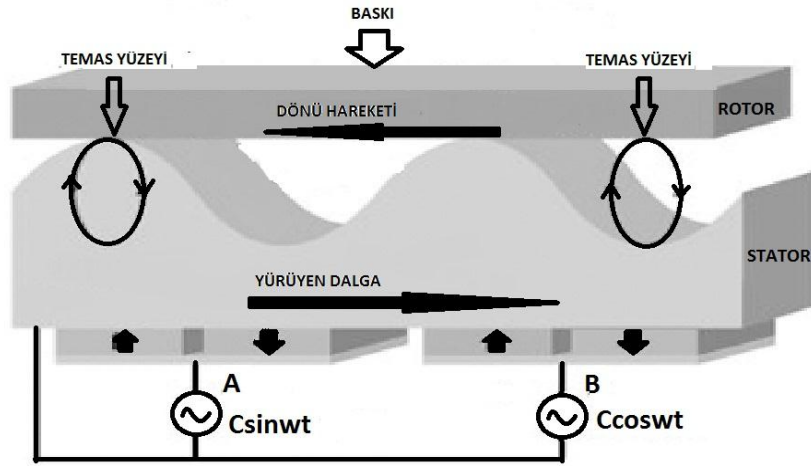


Şekil 1.3 Baskının Profil Görünümü

Görüldüğü üzere klasik elektrik motorlarından farklı olarak içinde herhangi sargı veya bobin gibi yapı bulunmamaktadır. Aslında oldukça basit bir yapısı vardır. Motor üretildikten sonra da stabil dönü performansı, yüksek moment kuvveti ve sessiz çalışması konusunda sıkı hesaplamalar yapılmaktadır.

USM'lerin standart modellerini veya manyetik olmayan modellerini oluşturan parçalar elektromanyetik dalga oluşturmazlar. Ayrıca manyetik olmayan modellerde stator metallerinde ve gövdede kullanılan materyaller hiçbir manyetik etkiden etkilenmemektedirler.

Aşağıdaki şekil, piezoelektrik etkinin oluşturduğu dönü hareketinin prensibini anlatmaktadır.



Şekil 1.4 Dönü Hareketi Prensibi

Ayrıca bizim çalışmamızda yararlandığımız motor, USR 30-E3 modelidir. Teknik bilgileri EK'lerde yer almaktadır.



Şekil 1.5 USR 30-E3 Motor

USR 30 motorumuzu için kullandığımız sürücü ise USR-6060 serisidir. Teknik bilgileri EK'lerde bulabilirsiniz.



Şekil 1.6 USR-6060 Sürücü

2. KURAMSAL TEMELLER:

Eldeki bir sistemin işleyişini en etkili şekilde denetlemek ve onu kontrol edebilmek, bu sistem için en uygun kontrol mekanizmasını tasarlayarak sağlanır. Bu kontrol sistemlerindeki hedef insanı aratmayacak şekilde çalışmasıdır. Kısacası akıllı bir denetleyici elde etmektir [36]. Akıllı kontrol kuramı aşağıda verilen 3 temel madde üzerine oturtulmuştur;

- i) Kullanılan yapay elemanlar sayesinde elde edilen uzmanlaşmış sistemler,
- ii) Karar verme için kullanılan fuzzy hesaplamalar,
- iii) Sinir ağı yapısıyla sağlanan eğitilebilme özelliği.

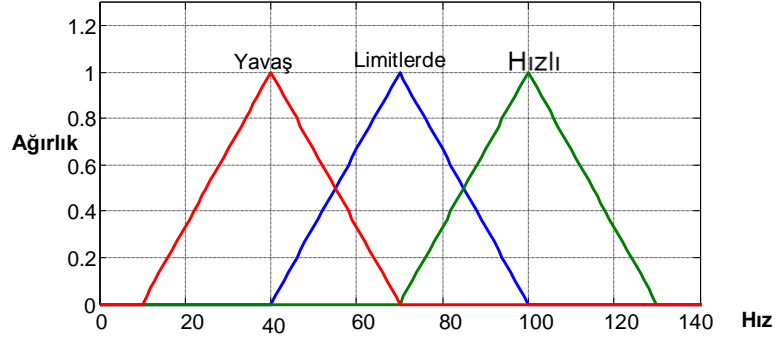
2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantığın temelini bulanık küme ve alt kümeler oluşturmaktadır. Bilinen klasik mantıkta doğru ya da yanlış, öteki ya da beriki, siyah ya da beyaz gibi net değerler yer almaktadır. Bulanık mantık ise bu değer kümelerinin alt kümelerini oluşturmaktadır. Bir arabanın hızını örnek verecek olursak; klasik mantığa göre 90 km üstü hızlı, altı ise yavaş olarak değerlendirilir. Bulanık mantıkta ise çok hızlı az hızlı, yavaş, çok yavaş gibi alt kümeler oluştururuz.

Günlük hayatta aslında yapılan tüm işlerimizi bu çerçevede yaparız. Bulanık kümeler teorisi, ne rastsal ne de stokastik olan insanın zihinsel yapısından kaynaklanan belirsizliğin modellenmesinde mükemmeldir. Belirsiz, kesin olmayan veya dilsel anlatımlar içeren durumlarda bulanık kümeler teorisinin kullanılması kaçınılmazdır. Tüm varlıkları alt kümelere göre sınıflandırmak ve bu şekilde kategorize etmek daha açıklayıcı olmaktadır.

Farkına varmadan yaptığımız günlük faaliyetlerimizde bu mantığı kullanıyor olmamıza paralel olarak sistemlerin bu çerçevede kontrol edilmesine bulanık kontrol denilmektedir. Örneğin bir arabanın hızını kontrol etmek istediğimizde

Şekil 2.1'deki gibi bir küme yapısını oluşturmamız gerekmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi hızlı limitlerde ve yavaş iç içe girmişlerdir. Aynen insan düşünce yapısında olduğu gibi burada da kesin ayrımlar yapılamamakta ve bu sayede bulanıklık dediğimiz olguyu oluşturabilmekteyiz.



Şekil 2.1. Giriş Üyelik Fonksiyonları

Hızın hangi ağırlıklara karşılık geleceği

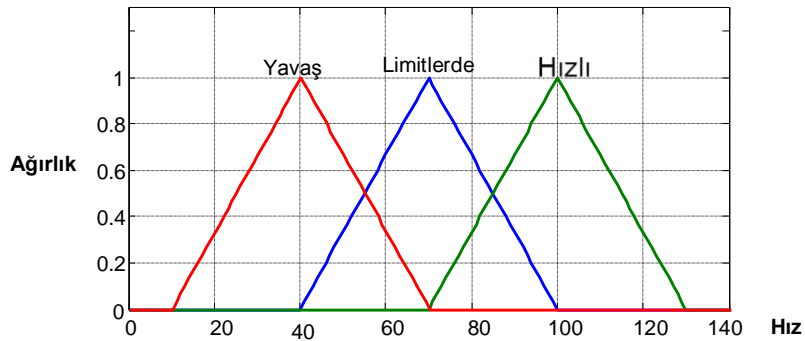
Şekil 2.1'de belirledikten sonra hız kümeleri için hangi işlemin yapılması gerektiği ve kurallarını belirlememiz gerekir. Kurallar;

1. **Eğer Hız Yavaş ise, Hızı Arttır**
2. **Eğer Hız Limitlerde ise, Bekle**
3. **Eğer Hız Hızlı ise, Azalt**

olarak belirlenmiştir.

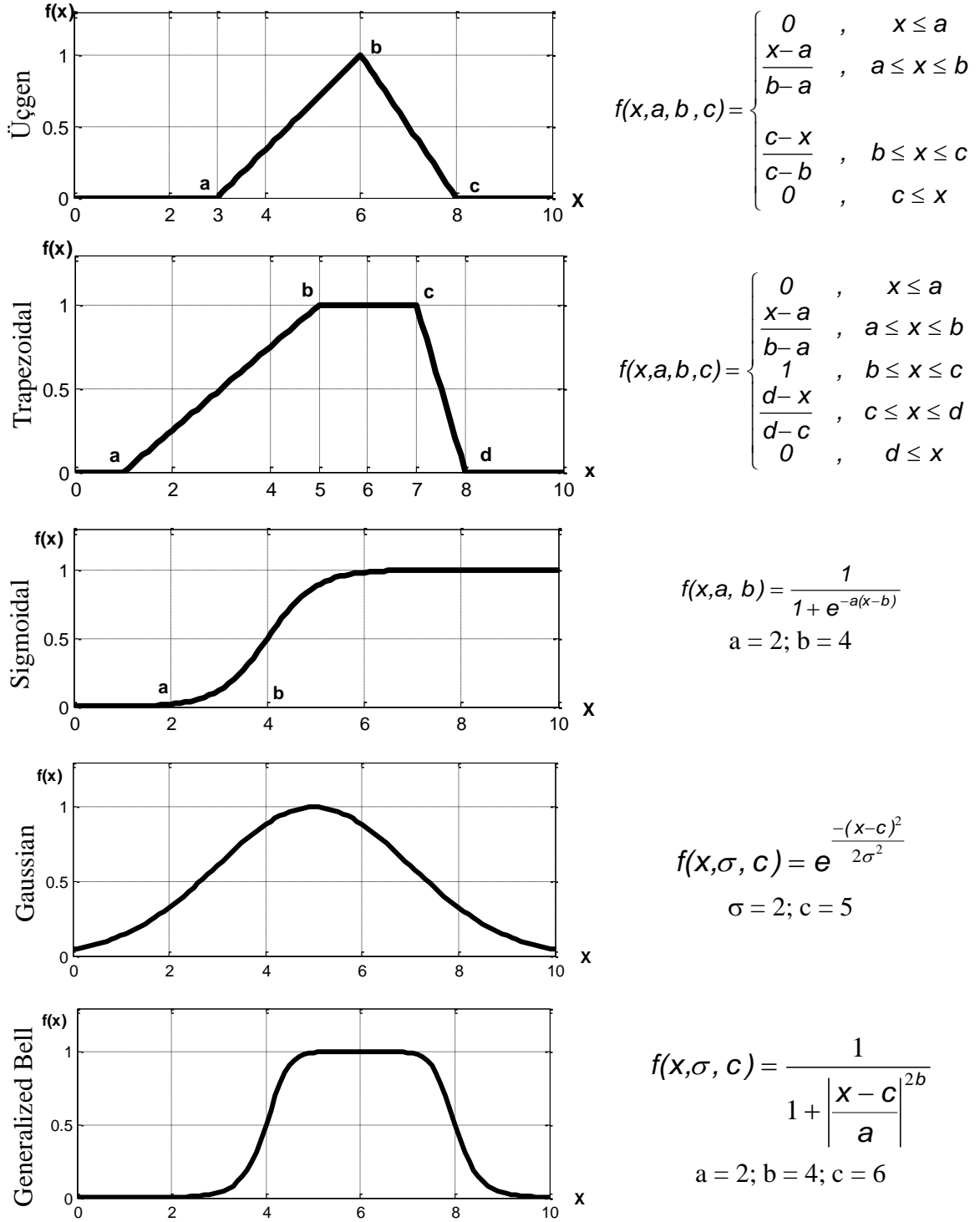
Hızda yapılacak değişiklik durumları için yukarıda yaptığımız gibi hız değişimini gösteren bir küme yapısı

Şekil 2.2'de oluşturuldu.



Şekil 2.2. Çıkış Üyelik Fonksiyonları

Neşet [37] tarafından bildirildiğine göre giriş ve çıkış işlemleri için oluşturulan bu kümelere üyelik fonksiyonları adı verilmektedir [38]. Kullanılan üyelik fonksiyonlarına ait örnekler şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yaygın Kullanılan Üyelik Fonksiyon Örnekleri

Yukarıda belirttiğimiz hızlanma örneğinden açıklayacak olursak; üyelik fonksiyonlarını belirledikten sonra, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları arasında gerçekleştirilecek işlemler belirlenerek sistemin hız kontrolü yapılması sağlanır.

2.1.1 Bulanık Mantık denetleyicinin Üstünlük ve Sakıncaları

Bulanık mantık denetleyicinin klasik denetleyicilere nazaran üstünlükleri olduğu gibi sakıncaları da vardır. Bunları kitabında aşağıdaki şekilde sıralamıştır [39].

Üstünlükleri;

- Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır.
- Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen doğrusal olmayan sistemler bulanık mantık için başarılı uygulama alanlarıdır.
- Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar.

Sakıncaları;

- Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir.
- Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme-yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.
- Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntem olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır.
- Bulanık mantık yaklaşımının da üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur.
- Bunun yanı sıra en sık belirtilen dezavantajları ise üyelik işlevlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması öğrenme yeteneği olmamasıdır.

2.1.2 Bulanık (Fuzzy) İşlemler (Kuralların Gerçekleştirilmesi, Bağını):

Yaygın olarak kullanılan çeşitli işlem modelleri mevcuttur. Kullanılan bu işlem modelleri tek giriş ve tek çıkışlı bir sistem üzerinden incelenecektir.

x 'e bağlı girişe ait üyelik fonksiyonları $A(x)$, y 'e bağlı çıkışa ait üyelik fonksiyonları ise $B(y)$ olsun. Giriş ve çıkış arasındaki işlemler temel olarak $C(x,y)=A(x)\otimes B(y)$ şeklinde gösterilmektedir. \otimes işlemi tasarımcının belirleyeceği bir işlem olacaktır. Yaygın olarak kullanılan işlemler bileşim "VEYA" (\vee), kesişim "VE" (\wedge), evrik ve bağını işlemleridir.

2.1.2.1. Bileşim İşlemi

Fuzzy A ve fuzzy B kümelerinin bileşimi, fuzzy C kümesini verir. C kümesi de A ve B kümelerinin bulunduğu evrensel kümenin alt kümesidir.

$$C=A\cup B \text{ (ya da } C=A+B)$$

C kümesinin herhangi bir $x \in X$ için elemanlarının üyelik derecesi, A ve B kümelerinden üyelik derecesi büyük olanının değerine eşittir.

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max[\mu_A(x), \mu_B(x)], x \in X \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.1.2.2. Kesişim İşlemi

Fuzzy A ve fuzzy B kümelerinin kesişimi aynı evrensel kümenin alt kümesi olan fuzzy C kümesini verir.

$$C=A \cap B \text{ (ya da } C=A \cdot B) \quad (2.2)$$

C kümesinin herhangi bir $x \in X$ için elemanlarının üyelik derecesi, A ve B kümelerinden üyelik derecesi küçük olanının değerine eşittir.

$$\begin{aligned}\mu_C(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min[\mu_A(x), \mu_B(x)], x \in X\end{aligned}\tag{2.3}$$

2.1.2.3. Evrik işlemi

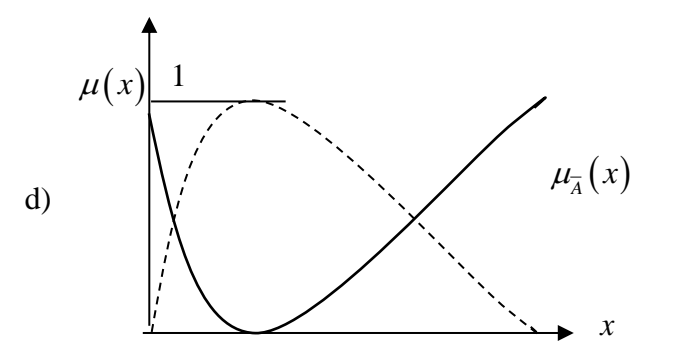
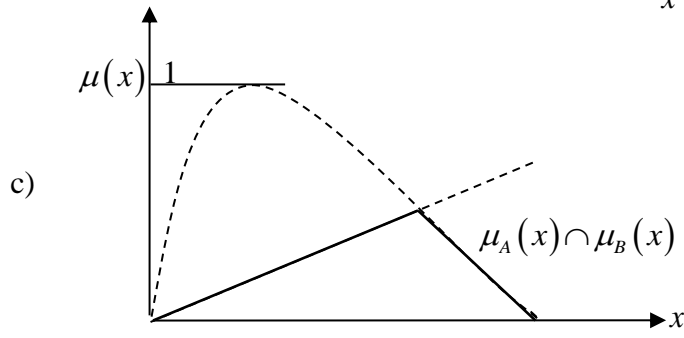
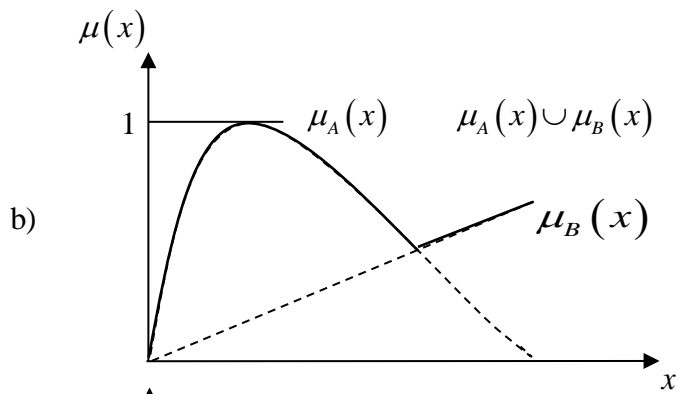
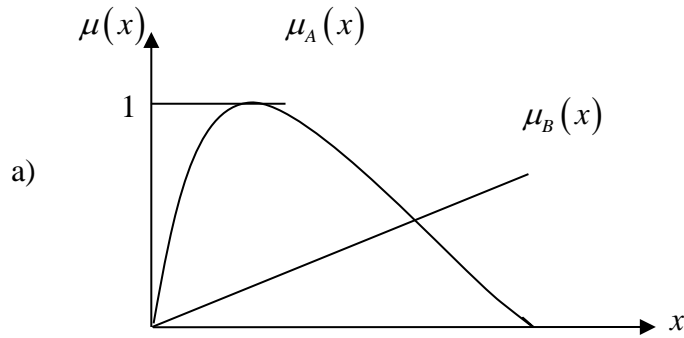
Fuzzy A kümesinin evriği, fuzzy \bar{A} kümesidir. \bar{A} kümesinin üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi, herhangi bir $x \in X$ için aşağıdaki gibidir:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)\tag{2.4}$$

2.1.2.4. Bağntı işlemi

Fuzzy A ve Fuzzy B kümeleri arasındaki bağıntı kartezyen çarpımı ile ifade edilir.

$$R \rightarrow A \times B\tag{2.5}$$



Şekil 2.4. Fuzzy İşlemlerin Grafiksel Gösterimi;

(a) A ve B kümelerinin üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$

(b) A ve B kümelerinin birleşiminden oluşan fuzzy üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

(c) A ve B kümelerinin kesişiminden oluşan fuzzy kümenin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{A \cap B}(x), \mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

(d) A kümesinin evriği \bar{A} kümesinin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Burada bağıntı kümesinin herhangi bir (a,b) elemanı için üyelik fonksiyonu değeri, A ve B kümelerinin (a) ve (b) elemanları için olan üyelik fonksiyonu değerlerinden minimum olanına eşittir.

$$\mu_{R(a,b)} = \min(\mu_A(a), \mu_B(b)) \quad (2.6)$$

$R \rightarrow X \times Y$ ve $S \rightarrow Y \times Z$ olsun, aralarında ortak küme bulunan iki bağıntı arasındaki bağıntı kompozisyonu verir.

$T = R \circ S$ şeklinde gösterilir. $T \rightarrow X \times Z$ 'yi verir.

Kompozisyon'un üyelik fonksiyonu iki şekilde hesaplanabilir.

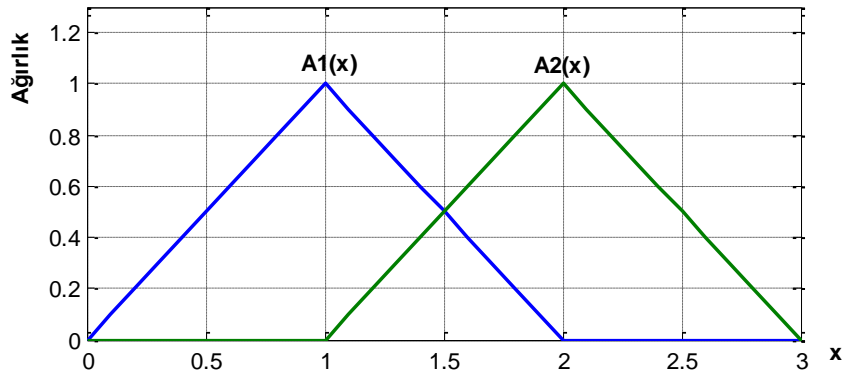
i) Max-min kompozisyon

$$\begin{aligned} \mu_{T(x,z)} &= \bigvee_{y \in Y} (\mu_R(x, y) \wedge \mu_S(y, z)) \\ &= \sup_{y \in Y} (\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)) \end{aligned} \quad (2.7)$$

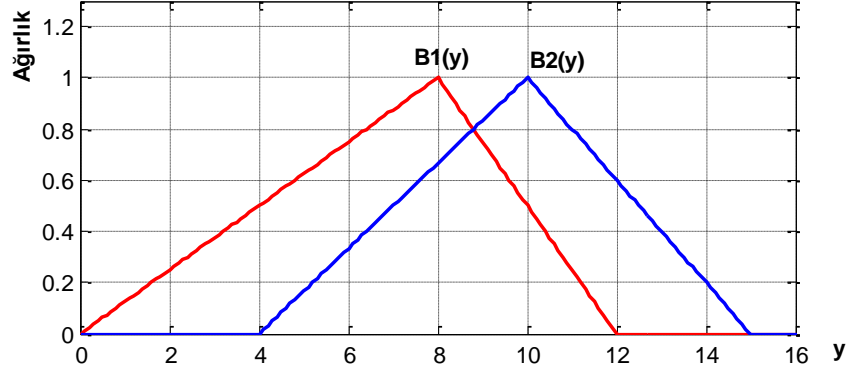
ii) Max-çarpım kompozisyonu

$$\mu_{T(x,z)} = \bigvee_{y \in Y} (\mu_R(x, y) \cdot \mu_S(y, z)) \quad (2.8)$$

Bu hesaplamalardaki $y \in Y$ ifadesi, herhangi x ve z noktaları için x'den z'ye yapılan hesaplamaların bütün y noktaları için yapılması anlamına gelir.



Şekil 2.5. Giriş Üyelik Fonksiyonları Grafiği



Şekil 2.6. Çıkış Üyelik Fonksiyonları Grafiği

$$A_1(x) = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 2-x, & 1 \leq x \leq 2 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} ; \quad A_2(x) = \begin{cases} x-1, & 1 \leq x \leq 2 \\ 3-x, & 2 \leq x \leq 3 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.9)$$

$$B_1(y) = \begin{cases} \frac{1}{8}y, & 0 \leq y \leq 8 \\ -\frac{1}{4}y + 3, & 8 \leq y \leq 12 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} ; \quad B_2(y) = \begin{cases} \frac{1}{6}y - \frac{2}{3}, & 4 \leq y \leq 10 \\ -\frac{1}{5}y + 3, & 10 \leq y \leq 15 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.10)$$

Bağıntılar bulanık mantıkta kural dizisi olarak verilir. Kuralları belirleyen tasarımcı kontrol edeceği sisteme uygun olarak değişik üyelik fonksiyonları belirleyebilir. Üyelik fonksiyonları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki gibi seçilmiş olursa, kurallar aşağıda olduğu gibidir.

“Eğer x girişi $A_i(x)$ üyelik fonksiyonuna ait ise y çıkışı $B_i(y)$ üyelik fonksiyonuna aittir.”

Eğer $x = A_i(x)$ ise $y = B_i(y)$ şeklide kısa gösterilim yapılacaktır. Burada çıkaracağımız anlam, x'in değerinin $A_i(x)$ üyelik fonksiyonunda bir değere sahip olduğudur.

Bağıntı aşaması kontrol mekanizmasının en önemli basamağıdır. Oluşturulan kurallar ve sistem parametrelerinden çıkarım yapılarak fuzzy çıkış değerleri elde edilir.

En çok kullanılan çıkarım sistemi metodları, ‘Mamdani, Larsen, Takagi-Sugeno-Kang ve Tsukamoto metodlarıdır [39].

Mamdani modelinde; bağıntı için uygulanacak işlem “ve” (\wedge) işlemidir.

Larsen modelinde; bağıntı için uygulanacak işlem çarpma (\cdot) işlemidir.

Takagi-Sugeno-Kang (TSK) Modeli; bu modelin özel hali ANFIS yapısını meydana getirmektedir. Fonksiyon katsayıları ve girişlerin üyelik fonksiyonları yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme sisteminin kullanılması ile elde edilmektedir.

Tsukamoto Modelinde; bu yapıda çıkış üyelik işlevi tek yönlü artan bir işlev olarak seçilir. Çıkış değeri ise her bir kuralın keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunur.

2.1.3. Netleştirme (Defuzzification) :

Bulanık mantığın temelindeki bulanıklaştırma işlemi ve bağıntıları anlattık. Bu işlemlerin son basamağında ise netleştirme yapılmalıdır. Neşet [37] netleştirme işleminden bağıntı sonuçlarından sistemin çıkış değerinin elde edilmesi olarak bahsetmiş ve kullanılan 2 teknikten bahsetmiştir [38]. Bir tanesi composite moments (bütün hareketler), diğeri composite maximum (bütün maksimumlar) tekniğidir. Composite moments tekniğinde belirli bir alan kullanılarak, composite maximum tekniğinde bağıntının maksimum değerine ulaştığı noktalar için belirli teknikler kullanılarak netleştirme yapılmaktadır.

Ağırlık Merkezi ve Yüksek Değer Ağırlık Merkezi teknikleri birinci metoda, Maksimum Kriteri, İlk Maksimum tekniği ve Ortalama Maksimum tekniği ikinci metoda ait örneklerdir [38]. Mevcut referansa göre bu metodların kısaca açıklamaları aşağıdaki gibidir.

2.1.3.1. Ağırlık Merkezi Metodu:

Bağıntı eğrisinin altında kalan alanın ağırlık merkezinin bulunması metodudur.

2.1.3.2. Yüksek Değerlik Ağırlık Merkezi Metodu:

Elde edilen bağıntı eğrisinde belirli bir değer üzerinde bulunan kısmına ait alanın ağırlık merkezinin bulunması yöntemidir. Belirlenen değer altında kalan değerlerin sıfır kabul edilmesi sonucu kalan eğrinin yukarıdaki formüller ile ağırlık merkezi hesaplanarak sonuç bulunur.

2.1.3.3. Maksimum Ölçüt Metodu:

Bu metotta en yüksek bağıntı sonucuna sahip değerler arasından rasgele bir değer seçilir. Sonuç bu aralıkta rastgele seçilir.

2.1.3.4. İlk Maksimum Değer Metodu :

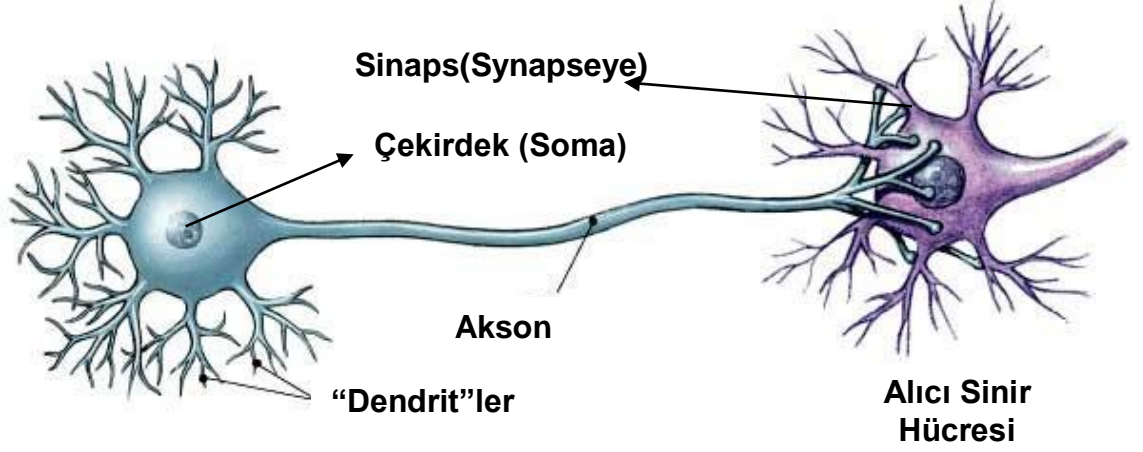
Bu metotta bağıntı fonksiyonun ilk maksimum değerine ulaştığı nokta sonuç olarak alınır.

2.1.3.5. Maksimum Nokta Ortalaması Metodu:

Bu metotta maksimum noktaları veren değerlerin orta noktası alınır. Bağıntı fonksiyonu birden fazla tepe noktasına sahip olduğu zaman bu metot biraz zayıf kalmaktadır.

2.2. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay Sinir Ağları (YSA) sistemleri sinir hücrelerinin çalışma yapısına yönelik bir sistemin oluşturulması amacı ile ortaya çıkarılmıştır. Bir sinir hücresinin yapısı Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Sinir Hücresi Yapısı

Şekil 2.7’ de gösterildiği gibi temel bir biyolojik sinir hücresi sinapsler, çekirdek (soma), axon ve dendritlerden oluşmaktadır. Sinaps iki sinir hücresinin birbirini ile bağlantı noktalarıdır. Bu bağlantı fiziksel bir bağlantının olmayıp, bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Bu sinyaller dendritlerden hücre çekirdeğini ulaşır. Hücre çekirdeğine gelen uyarılar belirli bir uyarı seviyesine geldiğinde hücre bir tepki üretir. Bu tepki akson vasıtası ile sinapslara oradan da diğer sinir hücrelerine bağlantılar sağlanmış olur. Sonuç olarak dendritler vasıtası ile giriş verileri hücre çekirdeğine ulaştırılıp, burada işleminden geçirildikten sonra akson vasıtası ile sinapslara çıkış olarak ulaşır.

Yapay sinir ağları, insan beyni gibi, öğrenme, hatırlama ve genelleme yeteneğine sahiptir [37].

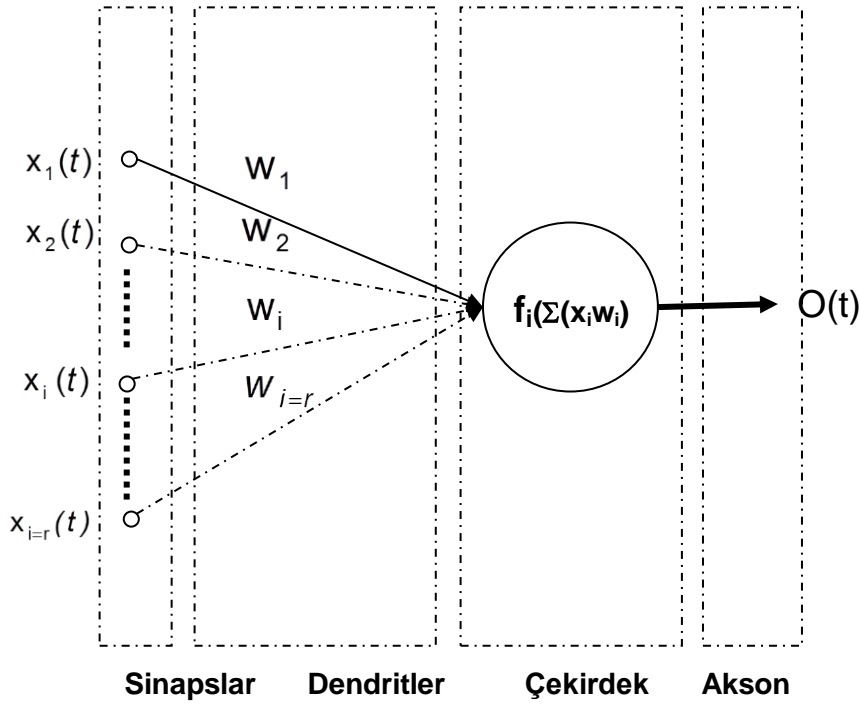
İnsan beyninde öğrenme 3 şekilde olur;

- Yeni aksonlar üreterek,
- Aksonların uyarılmasıyla,
- Mevcut aksonların güçlerini değiştirerek.

Her aksonun, üzerinden geçen işaretleri değerlendirebilecek yetenekte olduğu savunulmaktadır. Aksonun bu özelliği, bir işaretin belli bir sinir için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Biyolojik sinir yapısından kısaca bahsettik sonra bu yapının ışığında tasarlanmış yapay sinir hücresi Şekil 2.' de verilmiştir. r adet girişe sahip yapay sinir hücresinin matematiksel modeli Denklem 2.11' de olduğu gibidir.

$$O(t) = f_i \left(\sum_{i=1}^r x_i(t) \cdot w_i \right) \quad (2.11)$$



Şekil 2.8 “r” Adet Girişli Bir Yapay Sinir Hücresi Modeli

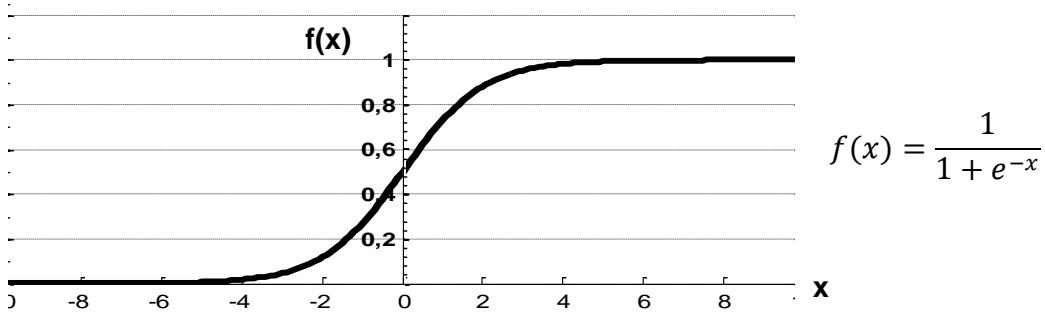
Buradaki “x” değerleri girişleri göstermektedir. Bu giriş değerleri biyolojik sinirlerde aksonların yetenekleri ile değerlendirildiği gibi benzetilmiş olarak “w” katsayıları ile çarpılarak çekirdeğe iletilir. Yapay sinir hücresinin yapacağı işlevi, dendrit katsayıları (w_i) ve çekirdek fonksiyonu belirler.

Giriş değerleri “x” çevreden alınan verileri sinirlere getirir. Bu değeri bir önceki sinirden veya dış girdilerden alır.

Ağırlık “w” değerleri, “x” değerlerine göre sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Bu ağırlığın büyüklüğü sinir ağını ne kadar ilgilendirdiği veya ne kadar önemli olduğu ile alakalıdır.

Çekirdek katmanı üzerinde yapılan toplama işlemi ise her bir giriş değerinin ağırlıklarıyla çarpımının toplamıdır. Buradaki toplama işlemi bazı durumlarda değerlerden en küçük, en büyük veya ortalama alınması gibi işlemlere dönüşebilir.

Toplama işleminin sonucu çekirdek üzerindeki etkinlik işleminden geçirilerek çıkışa iletilir. Bu işlev fonksiyonu olarak değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Ancak amacımız yapay sinir ağlarını kısaca anlatmak olduğu için fonksiyon çeşitlerinden bahsetmeden yaygın olarak kullanılan Şekil 3.3’deki gibi sigmoid fonksiyonunu üzerinden çalışmamızı sürdüreceğiz.



Şekil 2.9 Sigmoid Fonksiyonu

Çekirdek fonksiyonu belirlendikten sonra kullanılacak olan dendrit katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada katsayılar rastgele seçilmekte, öğrenme adı verilen bir takım işlemlerden geçirilerek katsayılar hesaplanmaktadır.

Öğrenme işlemi için en yaygın kullanılan teknik ise Delta öğrenme kuralıdır [39]. Bu kural bir sinirin gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değeri arasındaki farkı azaltmak için giriş bağıntı katsayılarını sürekli olarak geliştirme temeline dayanır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

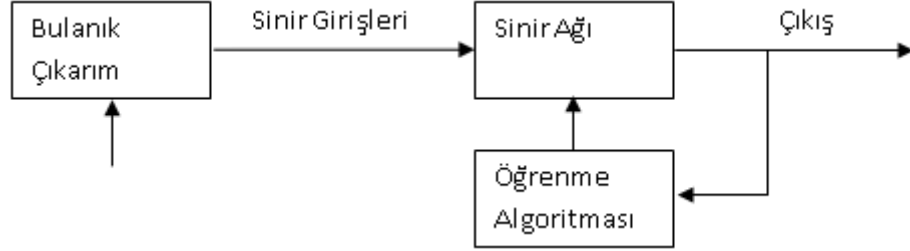
3.1. ANFIS Yapısı

Geleneksel kontrol sistemleri, doğrusal olmayan sistemler için iyi bir çözüm sunamamaktadır. Kolayca matematiksel modelinin elde edilebildiği sistemler için herhangi bir kontrol sistemi tasarlanabilir. Doğrusal olmayan sistemlerde ise bu matematiksel modelleme problem doğurmaktadır. Kalıplaşmış mantık ifadesiyle doğrusal sistemler için kullanılan 1-0 mantığı ile doğrusal olmayan sistemlerde istenilen sonuca ulaşmak zordur. İşte bu sistemler için oldukça sağlıklı sonuçlar alınan kontrol sistemlerinin en önemlisi bulanık mantıkla (Fuzzy modelling) tasarlanan sistemlerdir. Bulanık mantığın temeli 1 ve 0 arasındaki değerleri de hesaplamaya katmasıdır. Bu sebeple özellikle doğrusal olmayan sistemlerde tercih sebebidir. Bulanık mantıkta if-then kural dizisiyle giriş değerlerine göre çıkış değerleri elde edilebilir. Bu konuda ilk modelleme çalışmaları sistematik olarak Takagi ve Sugeno tarafından yapılmıştır [40]. Bulanık mantık kurallarında standart bir yaklaşımdan öte tasarımcının tecrübesi ve isteğine kalmış kurallar dizisi oluşturulur. Sistem için kullanılan değerleri içeren bir aralık belirlenir ki bu da üyelik fonksiyonları olarak adlandırılır. Bu noktada amaç sistemi optimum seviyede kontrol etmek olduğu için aslında kurallar ve üyelik fonksiyonları sağlıklı oluşturulamazsa sonuca ulaşmak bir o kadar zorlaşacaktır. Hata değerini minimuma indirerek sonuçta maksimum fayda elde edilmeye çalışılır.

Bu aşamadan sonra yönümüzü biraz da sinir ağları konusuna çevirirsek; Neural-network olarak adlandırılan ve insan beyninden esinlenerek modellenen sistemde sinir ağlarının birbiriyle ilişkilendirilmesiyle sonuca ulaşmasını öngören bir yapıdır. Bilindiği ve daha önceki konu başlıklarında da bahsedildiği üzere insan beynindeki hücre çekirdeklerini ele aldığımızda birçok girdi-çıkış sağlayan ve adına akson ve sinapsis denilen veri aktarım bağlantıları bulunmaktadır. Bu bağlantılar sayesinde gelen veri birçok merkeze iletilerek içeriğe bağlı olarak istenile yerde kullanılmaktadır. Tasarım alanında ise düğümler ve direk bağlantılar kullanılarak bu mantık modellenmiştir. Bu düğümler başka düğümlere direk bağlanır. İlk düğümlere de önceki katmandan gelen düğümler bağlanmıştır. Anlattığımız bu kısım sinir ağı dediğimiz yapının iskeletidir.

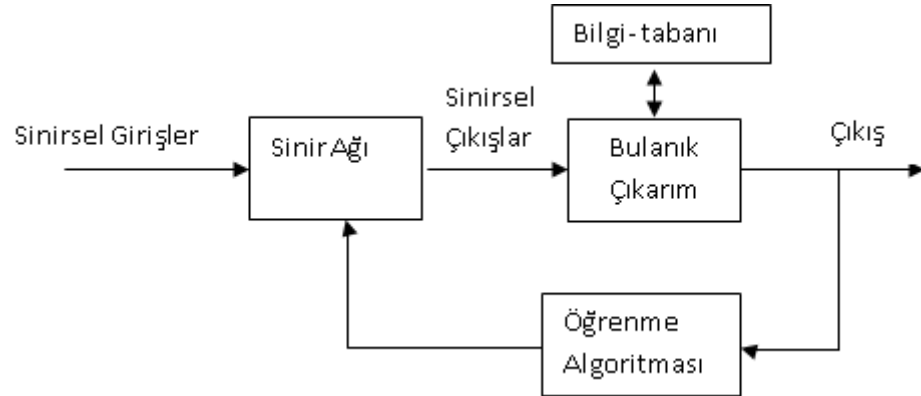
Özetleyecek olursak sinirsel bulanık mantık ağı yapıları temel olarak iki yapıdan oluşmaktadır. Birinci yapıda (Şekil 3.1) bulanık çıkarımın dilsel ifadelerle

göre oluşturduğu çıkışlar çok katmanlı sinir ağına giriş vektörü olarak verilmektedir. Bu yapıda, sinir ağı eğitilmekte ve istenen çıkışları sağlamaktadır.



Şekil 3.1. Birinci Yapı

İkinci yapıda ise (Şekil 3.2) çok katmanlı sinir ağının çıkışları bulanık çıkarım mekanizmasını sürmektedir.



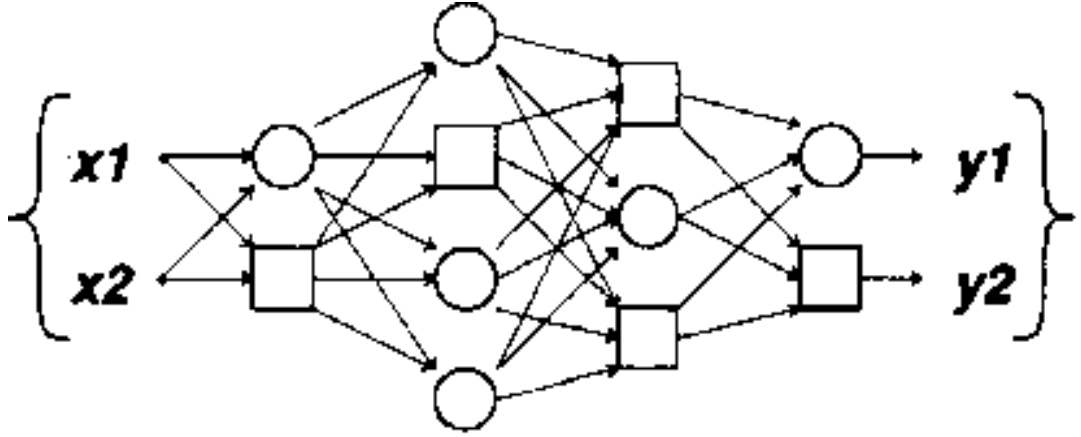
Şekil 3.2. İkinci Yapı

Bulanık mantık yaklaşımında uzman bilgilerinden oluşturulan kurallar dilsel ifadelerle etiketlenebildiği halde genellikle tasarım deneme yanılma yöntemiyle yapıldığından uzun zaman almaktadır. Sinir ağları kullanılarak bu kurallar oluşturulabilmektedir. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımında, sinir ağları bulanık mantık sistemlerin karar verme mekanizmasının üyelik işlevlerini uyarlamada kullanılmaktadır.

ANFIS yapısını yukarıda bahsettiğimiz bilgiler doğrultusunda nasıl oluşturabiliriz dersek; sinir ağları yapısında merkeze gelen bilgilere iletim hattında herhangi bir işlem yapamayız. Fakat düğümlerde oluşturulan kurallar sayesinde giriş değerlerini istediğimiz kural dizisinden geçirip başka bir düğüme iletirken işleme

tabi tutarız ve diğer bir düğüme iletilecek değer veya istenen çıkış elde edilir. Düğümden elde edilen çıkış standart olmayıp belirlenen kurallara ve giriş değerlerine bağlı olarak değiştiği için bu yapı adaptif olarak nitelendirilir. Ayrıca her bir düğüm için ayrı kural belirlenebilir.

ANFIS (adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi) modeline ve öğrenme algoritmasının nasıl gerçekleştiğine değinelim. Adaptif network yapısı düğümler ve bu düğümleri birbirine bağlayan linklerden oluşan bir yapıdır. Ayrıca herbir düğüm için ayrı ayrı üyelik fonksiyonları tanımlanabilir. Düğüm çıkışı giriş parametrelerine bağlı olarak değişebileceği için her bir düğüm de adaptif olarak değerlendirilebilir. Burdaki amaç çıkıştaki hatayı minimize edecek yapıyı oluşturmaktır.



Şekil.3.3 ANFIS genel görünüm

Düğümler arasındaki linkler çıkışı bir diğer düğüme direk olarak iletir. Bu iletim hatlarındaki çıkış değerlerini belli katsayılarla çarparak bir sonraki giriş için istediğimiz aralıkta bir veri girişi sağlayabiliriz. Bu bize bir sonraki safhada hata oranının düşmesini sağlayacaktır. Bu katsayıları belirlemek ise eğitim ile yapılmaktadır. ANFIS modelinin eğitimi noktası burada devreye girmektedir. Bu eğitim sayesinde istediğimiz aralıklarda giriş elde edebiliriz. Eğitim katsayıları ne kadar doğruysa o oranda bir sonraki düğümden çıkış o kadar sağlıklı ve verimli olacaktır.

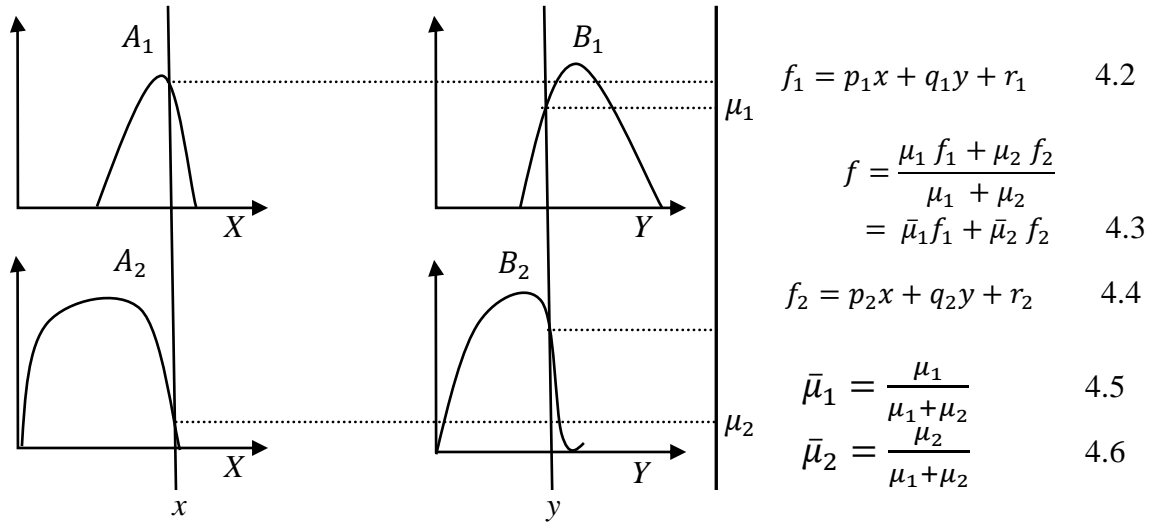
ANFIS denetleyicilerin bazı önemli özellikleri şöyledir [37];

- Öğrenme yeteneği
- Paralel işlem,
- Yapılandırılmış bilgi temsili,
- Diğer denetim tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme.

ANFIS yapısını anlatmak için iki girişli ve iki kurallı bir örnekten yararlanalım. Bu örnekte giriş değerleri olarak x , y ve f gibi bir çıkışı olduğunu düşünelim. Oluşturacağımız kurallar aşağıdaki gibidir.

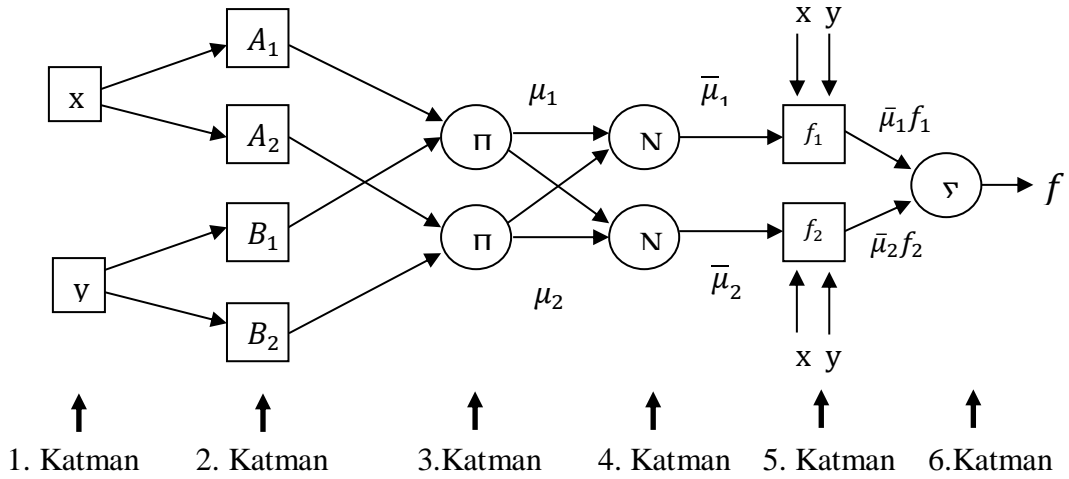
$$\begin{aligned} \text{Kural1: } & \text{IF } x = A_1 \text{ and } y = B_1 \text{ THEN } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{Kural2: } & \text{IF } x = A_2 \text{ and } y = B_2 \text{ THEN } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \end{aligned} \quad 4.1$$

Eşitlikte $i=1,2$ için, x ve y giriş değerlerini, f_i çıkış değişkenini, A_i ve B_i bulanık kümeleri, $p_i, q_i, r_i \in R$ olmak üzere sonuç değişkenleridir. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemi verilmiştir.



Şekil.3.4. İki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım

ANFIS mimarisi içindeki, her katmana ait düğüm işlevleri ve dolayısıyla katmanların işlevleri sırasıyla aşağıda verilmiştir [39].



Şekil 3.5. İki girişli ve iki kurallı ANFIS mimarisi

1.Katman: Bu kademedeki her düğüm, giriş sinyallerin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir. Bu düğümde herhangi bir toplam ya da etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.

2.Katman: Bu katmandaki her bir düğüm A_i ve B_i gibi bir bulanık kümeyi ifade eder. Bu katmandaki düğümlerin çıkışı giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları;

$$o_i^2 = \mu_{A_i}(x) \quad i=1,2 \quad 4.7$$

$$o_{i+2}^2 = \mu_{B_i}(y)$$

Denklem 4.7 de görüldüğü gibi iki farklı girişe bağlı iki farklı düğüm çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağın x ve y gibi iki farklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam 4 düğüm vardır. Her bir düğümde üyelik işlevi olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik işlevleri kullanılır ve sonuç işlevi aşağıdadır.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - m_i}{\sigma_i} \right|^2} \quad 4.8$$

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] \quad 4.9$$

3.Katman: Bu katmandaki her düğüm, Π ile etiketlenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Düğüm çıkışının ifadesi aşağıdadır.

$$o_i^3 = \mu_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y)c \quad i=1,2 \quad 4.10$$

Her bir düğümün çıkışı bir kuralın ateşleme seviyesini temsil eder. Genelleştirilmiş bulanık VE'yi (AND) yerine getiren t-norm operatörlerinden herhangi biri, bu katmandaki düğümler için düğüm işlevi olarak kullanılabilir.

4.Katman: Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir ve bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesi hesaplanır. Bu denklem 4.11'da görüldüğü gibi, i . düğüm için, i . kuralın ateşleme seviyesinin, bütün kuralların ateşleme seviyelerinin toplamına eşittir.

$$o_i^4 = \bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\mu_1 + \mu_2}, \quad i=1,2 \quad 4.11$$

5.Katman: Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevi ile uyarlamalı bir düğümdür. Her I düğümü sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Düğüm çıkış işlevi denklem 4.12'deki gibidir.

$$o_i^5 = \bar{\mu}_i f_i = \bar{\mu}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad 4.12$$

Burada $\bar{\mu}_i$, 4.katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş ateşleme seviyesidir ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ ayar edilebilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6.Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. Katman çıkışından alınan sinyallerin toplanır ve elde edilen sonuç sisteminin gerçek çıkışı f değerini verir. Ağın gerçek çıkışı denklem 4.13'de verilmiştir.

$$o^6 = f = \sum_i \bar{\mu}_i f_i = \frac{\sum_i \mu_i f_i}{\sum_i \mu_i} \quad i=1,2 \quad 4.13$$

Yukarıda katman özelliklerini de açıkladığımız yapı ANFIS modelinin genel işlev düzenidir. Bu düzen sabit değildir ve istenildiği gibi değiştirilebilir.

Yaygın olarak kullanılan iki tip ANFIS yapısı vardır. Bunlar Sugeno tip ve Tsukamoto tiptir.

Sonuç ve üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanmasında geri yayımlı öğrenme algoritması kullanılabilir.

3.2. ANFIS İçin Geri Yayımlı Öğrenme Algoritması

Geri yayımlı öğrenme algoritmasında ağın çıkışından elde edilen hata değeri giriş katmanına doğru yansıtılarak gerekli ağırlık değişkenlerinin ayarlanması gerçekleştirilir. Amaç E hata ölçütünün öğrenme işlemi sonunda bütün giriş örnekleri için sıfıra götürmektir. Ağın çıkışında hata, istenen değer d ile gerçek çıkış f arasındaki farktır ve aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir [39].

$$e = d - f \quad 4.14$$

Bu hata değerine en küçük kareler yöntemi uygulanarak hata ölçütü E aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} e^2 \quad 4.15$$

Bu hesaplama yöntemi en son katmandaki çıkış hatasından yola çıkılır ve ilk katmana kadar yayılarak ilk katmandan itibaren yapılması gereken düzeltme belirlenir. Bu hesaplamalar şu şekilde yapılır [39];

6.Katman: En son katman olduğu için bu katmanda sadece çıkıştaki hata değeri belirlenir.

$$\delta^6 = -\frac{\partial E}{\partial f} = -\left[\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial f}\right] = e \quad 4.16$$

5.Katman: Bu katmanda p_i, q_i ve r_i sonuç değişkenlerinin ayarlanması için gerekli hesaplamalar yapılır,

$$\Delta p_i = -\frac{\partial E}{\partial p_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f}\right]\left[\frac{\partial f}{\partial p_i}\right] \quad 4.17$$

$$f = \sum_i \bar{\mu}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i=1,2 \quad 4.18$$

$$\frac{\partial f}{\partial p_i} = \bar{\mu}_i x \quad 4.19$$

$$\Delta p_i = \delta^6 \bar{\mu}_i x \quad 4.20$$

Aynı işlemleri diğer değişkenlere de uygulanarak değişimler hesaplanır. Buna göre;

$$\Delta q_i = \delta^6 \bar{\mu}_i y \quad 4.21$$

$$\Delta r_i = \delta^6 \bar{\mu}_i \quad 4.22$$

şeklinde olur.

Elde edilen bu ifadelere öğrenme oranı eklenerek üçgen (delta) kuralı uygulanır. $n=\{p,q,r\}$ olarak alınırsa bu ifadeler tek bir eşitlik olarak aşağıdaki gibi gösterilir.

$$n_i(k+1) = n_i(k) + n_n \Delta n_i(k+1) \quad 4.23$$

4.Katman: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^4 = -\frac{\partial E}{\partial \bar{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f}\right]\left[\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i}\right] \quad 4.24$$

$$f = \sum_i \bar{\mu}_i f_i \quad 4.25$$

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} = f_i \quad 4.26$$

$$\delta_i^4 = \delta^6 f_i \quad 4.27$$

3.Katman: Bu katmanda da 4. Katman hesaplamasıyla aynı hesaplamalar yapılır, herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \bar{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \right] \left[\frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \quad i=1,2 \quad 4.28$$

$\bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\sum_i \mu_i}$, bu ifadede $a = \sum_i \mu_i$ olarak alınırsa,

$$\frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} = \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \quad 4.29$$

olarak bulunur. Bu ifade yukarıda yerine konulursa,

$$\delta_i^3 = \delta_i^4 \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \quad 4.30$$

2.Katman: Bu katmanda hem hata değeri hem de giriş üyelik işlevlerin ait değişkenlerin ayarlaması gerçekleştirilir.

$$\delta_i^2 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{A_i}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} \right] \quad i=1,2 \quad 4.31$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} = \mu_{B_i} \quad 4.32$$

$$\delta_i^2 = \delta_i^3 \mu_{B_i} \quad 4.33$$

$$\delta_{i+2}^2 = \frac{\partial E}{\partial \mu_{B_i}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{B_i}} \right] \quad 4.34$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{B_i}} = \mu_{A_i} \quad 4.35$$

$$\delta_{i+2}^2 = \delta_i^3 \mu_{A_i} \quad 4.36$$

Bu katmandaki kullanılan üyelik işlevlerinin değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\mu_{A_i} = \exp \left[-\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right], \quad v_i = -\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right]^2, \quad \mu_{B_i} = \exp[v_i] \quad 4.37$$

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin orta noktalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\Delta m_i = -\frac{\partial E}{\partial m_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}}\right] \left[\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial m_i}\right] \quad i=1,2 \quad 4.38$$

$$\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} = \exp[v_i] = \mu_{A_i} \quad 4.39$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial m_i} = 2 \left[\frac{x-m_i}{\sigma_i^2}\right] \quad 4.40$$

$$\Delta m_i = 2 \left[\frac{x-m_i}{\sigma_i^2}\right] \delta_i^2 \mu_{A_i} \quad \delta_i^2 = \delta_i^3 \mu_{B_i} \quad 4.41$$

$$\Delta m_i = 2 \left[\frac{x-m_i}{\sigma_i^2}\right] \delta_i^3 \mu_{A_i} \mu_{B_i} \quad \mu_i = \mu_{A_i} \mu_{B_i} \quad 4.42$$

$$\Delta m_i = 2 \left[\frac{x-m_i}{\sigma_i^2}\right] \delta_i^3 \mu_i \quad 4.43$$

Aynı şekilde Δm_{i+2} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Delta m_{i+2} = 2 \left[\frac{y-m_{i+2}}{\sigma_{i+2}^2}\right] \delta_i^2 \mu_i \quad 4.44$$

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin standart sapmalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\Delta \sigma_i = -\frac{\partial E}{\partial \sigma_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}}\right] \left[\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i}\right] \quad i = 1,2 \quad 4.45$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i} = 2 \left[\frac{(x-m_i)^2}{\sigma_i^3}\right] \quad 4.46$$

$$\Delta \sigma_i = 2 \left[\frac{(x-m_i)^2}{\sigma_i^3}\right] \delta_i^3 \mu_i \quad 4.47$$

Aynı şekilde $\Delta \sigma_{i+2}$ aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\Delta \sigma_{i+2} = 2 \left[\frac{(x-m_{i+2})^2}{\sigma_{i+2}^3}\right] \delta_i^3 \mu_i \quad 4.48$$

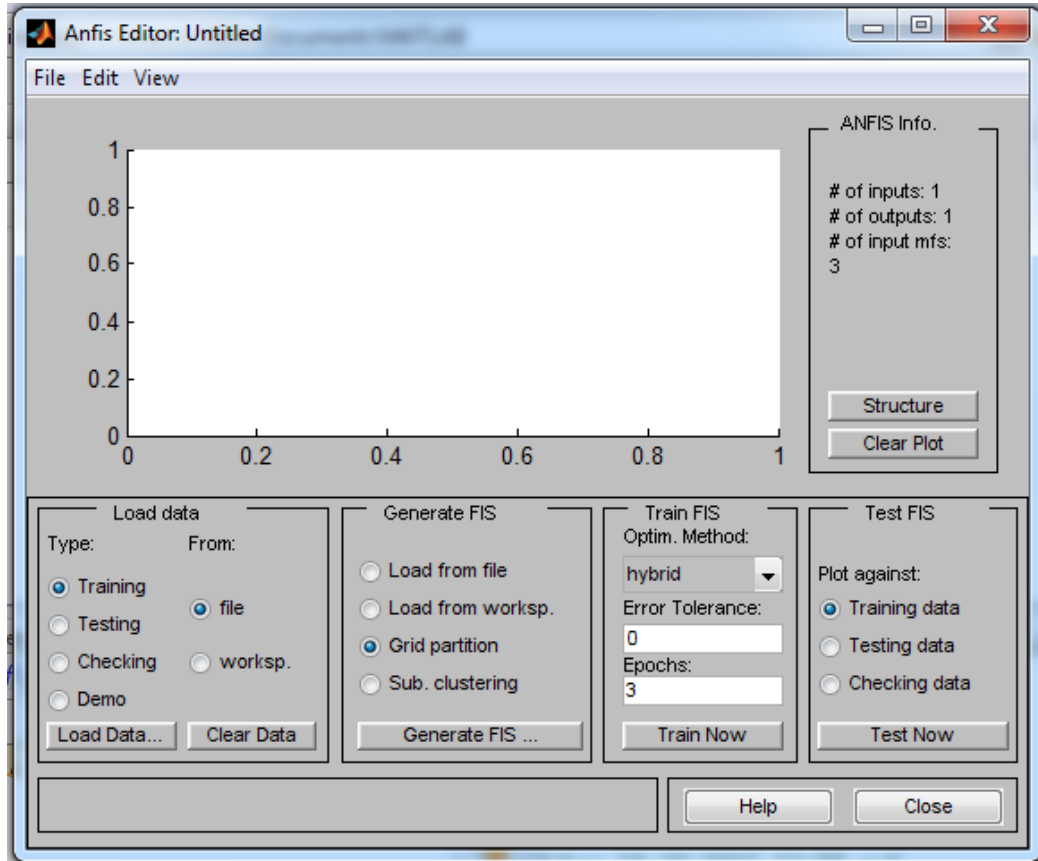
Elde edilen bu değişimlere üçgen kuralı uygulanarak üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir,

$$\begin{aligned}
m_i(k+1) &= m_i(k) + \eta_m \Delta m_i(k+1) \\
\sigma_i(k+1) &= \sigma_i(k) + \eta_m \Delta \sigma_i(k+1)
\end{aligned}
\quad i=1,2,3,4 \quad 4.49$$

Burada toplam 8 değişken ayarlanmaktadır.

ANFIS modelinin genel işleyiş aşamaları anlatılmıştır. Bizim çalışmamızda ANFIS modelini oluşturmak için MATLAB SIMULINK veri tabanındaki “anfisedit” modülünden yararlanacağız. Bu modül ile ANFIS editor GUI kullanarak Sugeno tipindeki bulanık sistemleri oluşturup, eğitip, test edebiliriz.

MATLAB komut satırına anfisedit yazdığımızda aşağıdaki pencere açılacaktır;



Şekil 3.6. Anfisedit arayüzü

Bu pencere üzerinde şu 4 işlemi yapılabilir,

- Yükleme, Çizim ve Dataları temizleme
- Başlangıç FIS yapısını oluşturma veya var olan bir FIS dosyasını yükleme

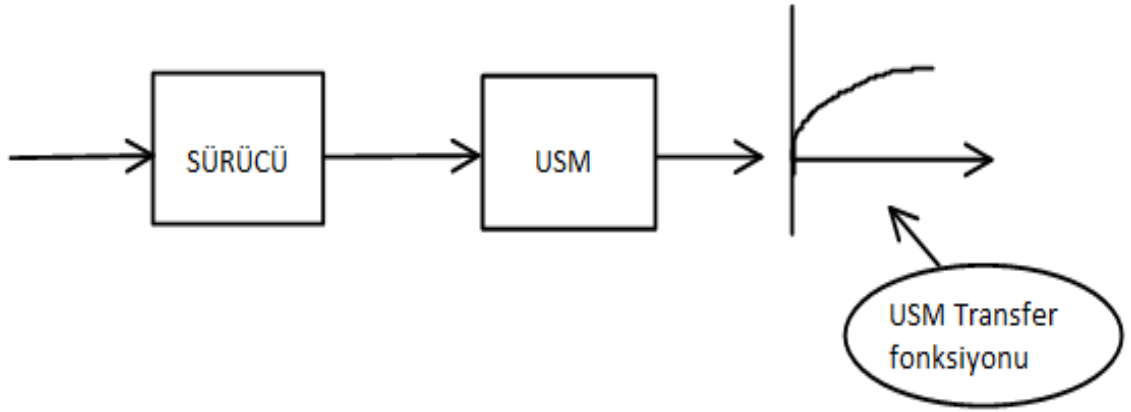
- FIS modelini eğitme
- Eğitilmiş FIS modelinin güvenilirliğini test etmek,

Bu modülün kullanımı ANFIS kullanılacak bir sistemi dizayn etmeden önce simülasyon ortamında bu modelin geliştirilmesini sağlar.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

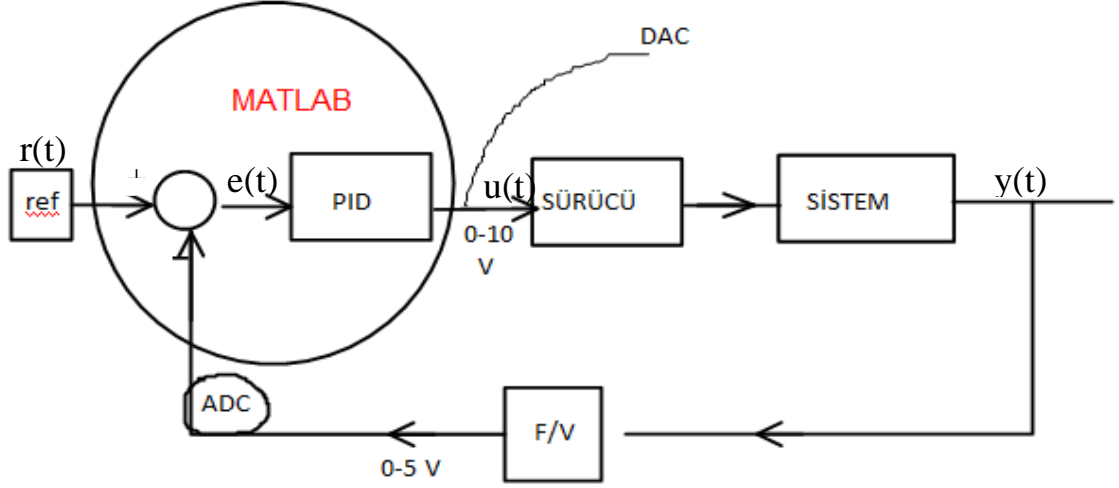
4.1. USM'un ANFIS ile Sürülmesi İçin Planlama Safhaları

Amaç USM'un transfer fonksiyonunun elde edilmesidir. Bir sistemin çalışma karakteristiklerini anlayabilmek ve kontrolünü sağlayabilmek için matematiksel modelini çıkarmak gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda USM'un matematiksel modelini bulmak için stator ve rotorun genel özelliklerinden yola çıkılarak USM'un eşdeğer devresi elde edilmiştir [13]. Bizim çalışmamızda bundan farklı olarak sistemi bütün olarak ele alacağız (Şekil 4.1) ve sistemin sürülmesi esnasında alınan değerlerle transfer fonksiyonuna ulaşmaya çalışacağız.



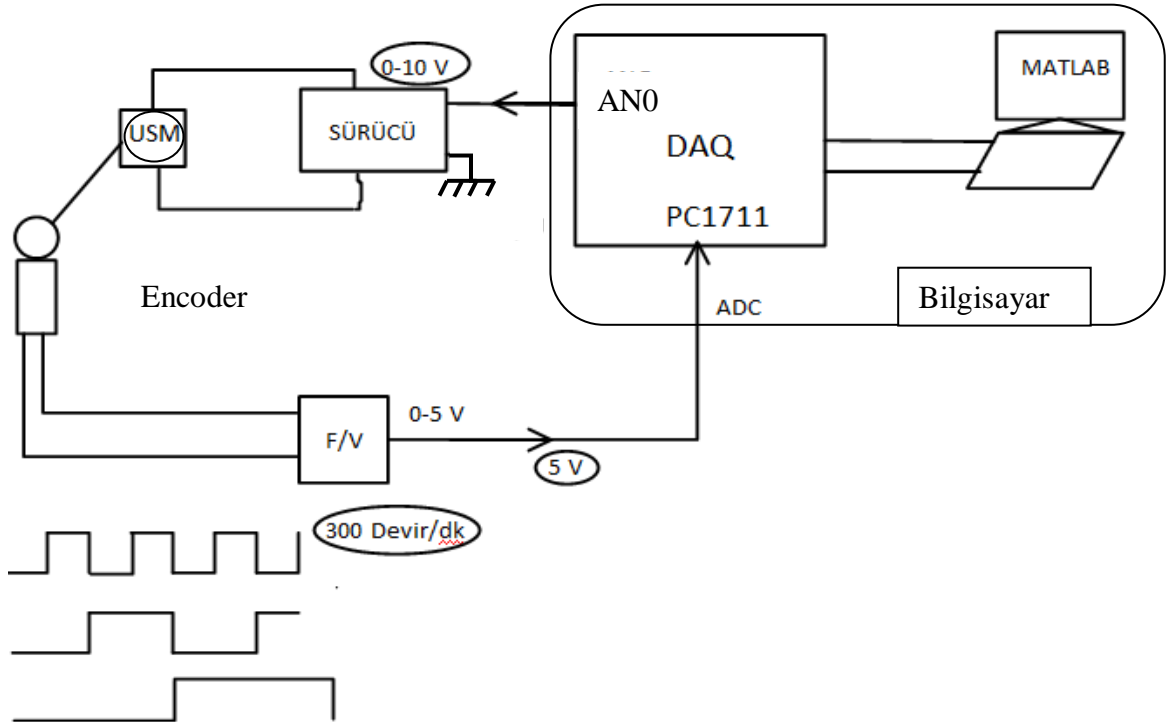
Şekil 4.1 Genel Çizim

MATLAB'da PID kontrolör tasarlayarak referans değerler verilir (Şekil 4.2). Bu değerlerden sistem çıkışları alınarak transfer fonksiyonu elde edilmeye çalışılacaktır.



Şekil 4.2 PID Modellemesi

USM'un sürülmesi için 0-10 V arasında besleme voltajı kullanılacaktır. 0-5 volt arasında da geri besleme voltajı kullanılacaktır. Sistem ve bilgisayar ara yüzü olarak PC1711 kartı kullanılacaktır. Farklı frekanslarda sinüsoidal işaret girilecek ve motor enkoderinden sürücüye gelen çıkışla Frekans/voltaj dönüştürücü sayesinde sistem çıkışı voltaj değeri olarak elde edilecektir. Elde edilen çıkış değerlerinden faydalanarak faz farkı bulunacaktır. Bu değerler sistemin transfer fonksiyonunu oluşturmak için kullanılacaktır (Şekil 4.3).



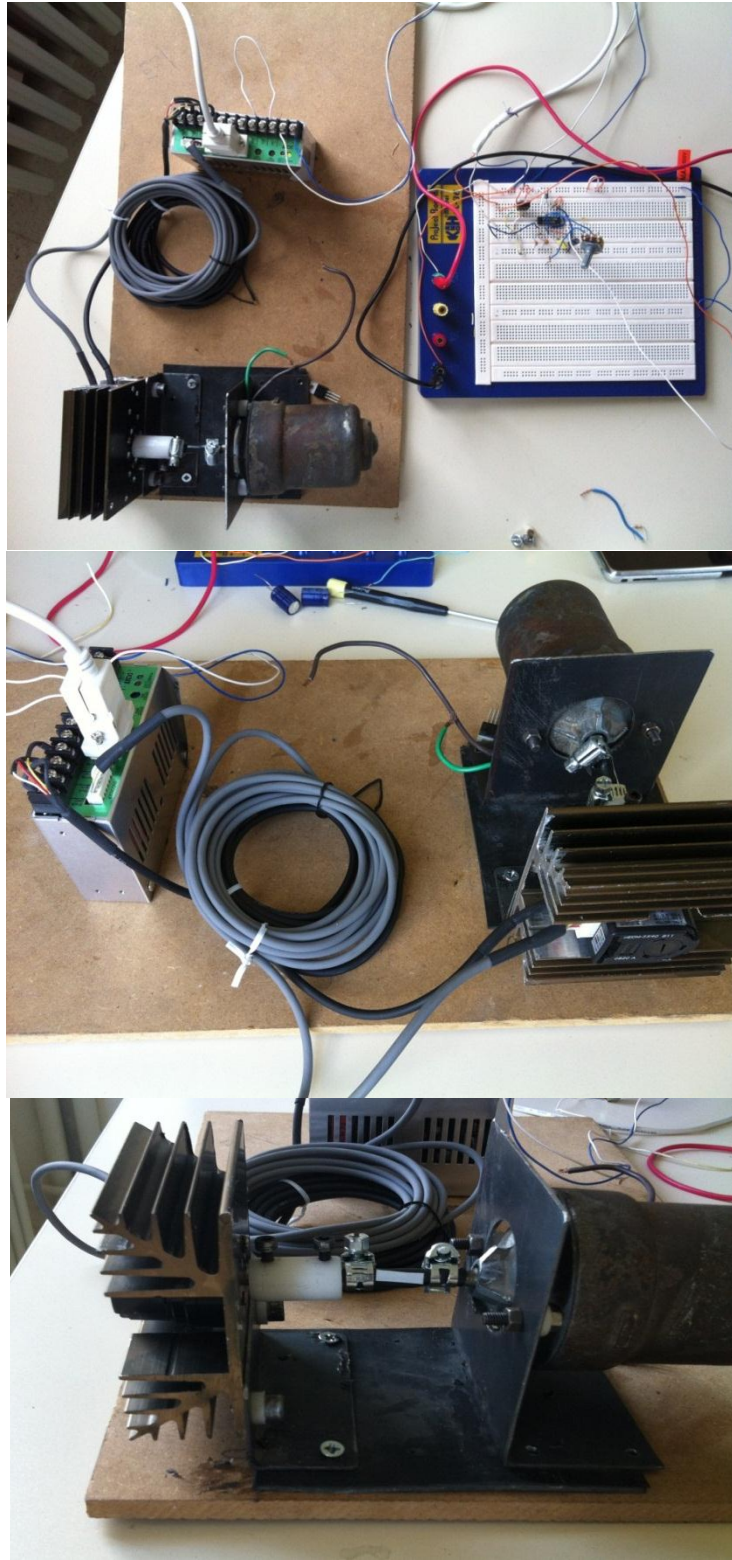
Şekil 4.3 Bağlantı Modellemesi

4.2. USM'un Transfer Fonksiyonunun Elde Edilmesi

Bir sistemin kontrolünün sağlanması ve sürülmesi için öncelikle sistemin matematiksel modelinin elde edilmesi gerekmektedir. USM'un genel özelliklerine değinirken de matematiksel modelinin çıkarılmasının çok zor olduğunu söylemiştik.

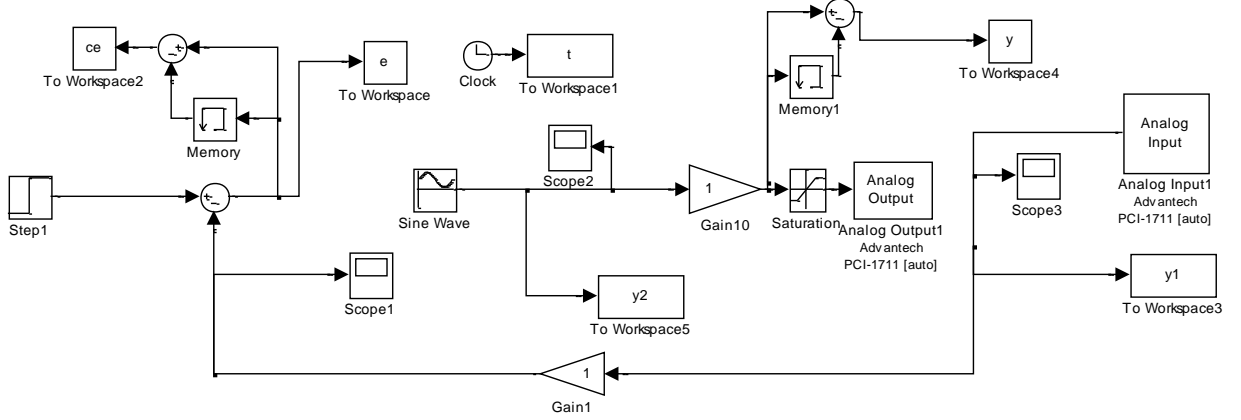
USM'u, Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemiyle (ANFIS) kontrol etmeye ve bunun klasik yöntemden farkını ortaya koymaya çalışacağız.

Sistemimizin deney düzeneğini Şekil 4.4'te görüldüğü gibi oluşturduk. Çalışma sıcaklığını düşürmek için soğutucu taktık.



Şekil 4.4 Oluşturulan deney düzeneği

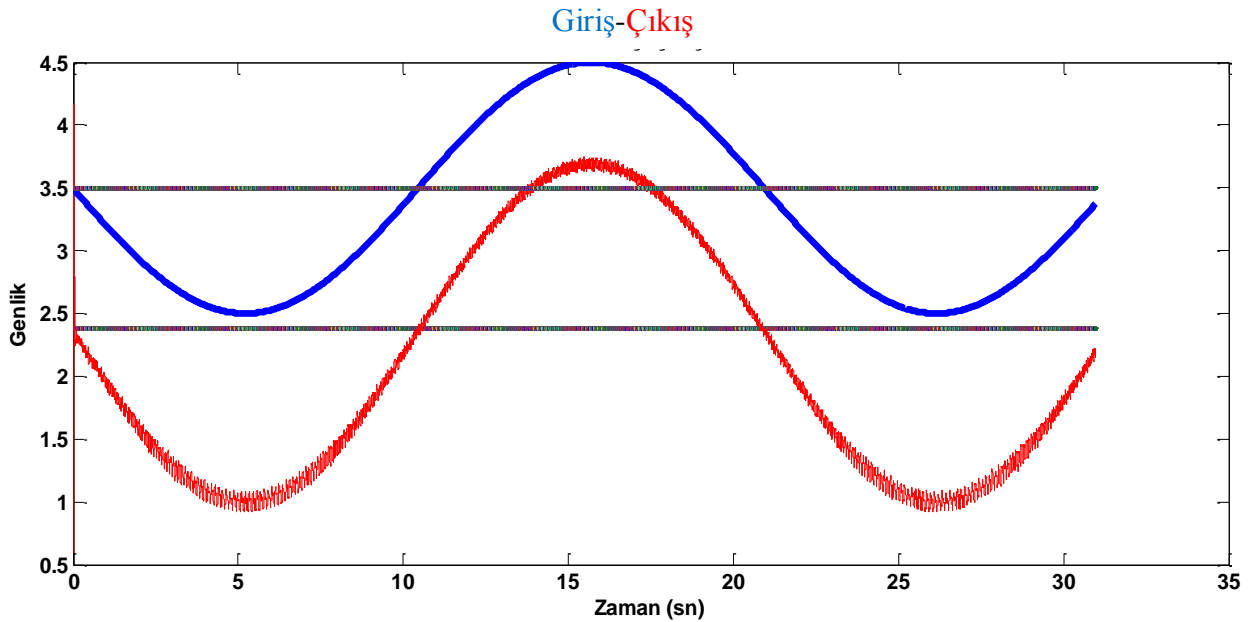
MATLAB Simulink modülü ile hazırladığımız simülasyon üzerinden sisteme farklı frekans değerlerinde sinüs dalgası verilerek sistemin çıkış tepkileri alınmıştır. MATLAB Simulink Blok diyagramı aşağıda şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 Simulink Blok Diyagram

Girişten sinüs sinyalleri verilerek sistemin cevapları alınmıştır. Giriş değerleri ile çıkış değerleri kıyaslanarak sistemin frekans, genlik ve faz farkı elde edilmiştir.

Çıkarım örneği;



Şekil 4.6 Giriş ve Çıkış Sinyallerinin Örnek Gösterimi

Mavi renk sistemin giriş referans sinyalini göstermektedir. Kırmızı ise sistemin çıkış sinyalini göstermektedir. Faz farkını hesaplamak için bu iki sinyalin sıfır

izgilerini kestiği noktaların zaman eksenindeki değerleri baz alınmıştır. Her referans sinyal için bu fark tek tek çıkarılmıştır. Genlik değerleri ise MATLAB programında maksimum-minimum değerler alınarak bulunmuştur. MATLAB'da aşağıdaki gibi basit bir program yazılarak izelge 4.1'de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.1 Çıkış Değerleri Çizelgesi

MATLAB’da yazılan program

```
>> A = max(y1)
B=min(y1)
C=A-B
D=C/2
E=D+B
F=3.5
plot(t,E)
hold on
plot(t,y1)
hold on
plot(t,y2)
hold on
plot(t,F)
```

FREKANS	MİN	MAX	GENLİK	FAZ DEĞERİ (motor-referans)	FAZ FARKI
0,3	0,91	3,7915	0.5298	3.166-3.173	0,007
0,6	0,9229	3,7476	0.4895	10.49-10.47	0,02
0,9	0,9131	3,7549	0.5078	7.009-6.997	0,012
1,2	0,9204	3,7622	0.5005	5,249-5,24	0,009
1,5	0,9204	3,7646	0.5017	4,194-4,188	0,006
1,8	0,9253	3,7646	0.4944	6,981-6,977	0,004
2,1	0,918	3,7622	0.5042	5,982-5,983	0,001
2,4	0,9204	3,7695	0.5042	5,226-5,236	0,01
2,7	0,9131	3,7573	0.5090	4,663-4,656	0,007
3	0,9155	3,7549	0.5042	4,182-4,19	0,008
3,3	0,9131	3,7451	0.5029	3,8-3,808	0,008
3,6	0,9155	3,7476	0.5005	5,234-5,238	0,006
3,9	0,9229	3,7524	0.4919	4,829-4,837	0,008
4,2	0,9253	3,7354	0.4797	4,491-4,488	0,003
4,5	0,9131	3,7549	0.5078	4,183-4,188	0,005
4,8	0,9204	3,7549	0.4968	3,92-3,927	0,007
5,1	0,957	3,7573	0.4431	3,691-3,699	0,008
5,4	0,9204	3,7524	0.4956	2,325-2,328	0,003
5,7	0,9204	3,7622	0.5005	3,3-3,309	0,009
6,0	0,918	3,7573	0.5017	3,139-3,141	0,002
6,3	0,9253	3,7549	0.4895	2,984-2,992	0,008
6,6	0,918	3,7573	0.5017	2,852-2,856	0,004
6,9	0,9106	3,7842	0.5261	1,815-1,821	0,006
7,2	0,9131	3,7451	0.5029	2,61-2,618	0,008
7,5	0,9155	3,7842	0.5188	1,669-1,675	0,006
7,8	0,9277	3,7695	0.4932	1,605-1,611	0,006
8,1	0,9204	3,7671	0.5029	1,545-1,551	0,006
8,4	0,9106	3,772	0.5200	2,242-2,244	0,002
8,7	1,0059	3,7646	0.3735	2,157-2,166	0,009
9	0,9277	3,772	0.4944	2,088-2,094	0,006
9,3	0,9961	3,7671	0.3894	2,691-2,702	0,011
9,6	0,9106	3,7817	0.5249	3,266-3,273	0,007
9,9	0,9106	3,7915	0.5298	3,804-3,808	0,004
10,2	0,9082	3,7866	0.5310	2,455-2,464	0,009
10,5	0,9106	3,7793	0.5237	2,989-2,992	0,003
10,8	0,9106	3,7915	0.5298	1,738-1,745	0,007
11,1	0,9033	3,7915	0.5408	2,258-2,264	0,006
11,4	0,9082	3,8013	0.5383	1,647-1,654	0,007
11,7	0,9204	3,7915	0.5151	2,144-2,148	0,004
12,0	0,9033	3,8037	0.5469	5,231-5,237	0,006
12,3	0,9033	3,811	0.5505	2,088-2,095	0,007
12,6	0,8862	3,7817	0.5615	3,569-3,576	0,007
12,9	0,918	3,7769	0.5115	3,485-3,491	0,006
13,2	0,8984	3,7842	0.5444	3,401-3,409	0,008
13,5	0,8789	3,7793	0.5713	3,325-3,332	0,007
13,8	0,8984	3,7891	0.5469	3,718-3,723	0,005
14,1	0,918	3,8013	0.5237	3,11-3,12	0,01
14,4	0,896	3,7915	0.5518	3,485-3,49	0,005
14,7	0,9009	3,7939	0.5457	3,413-3,419	0,006
15	0,8984	3,8086	0.5566	3,764-3,77	0,006

Çizelge 4.2 Transfer Fonksiyonunu Bulmak İçin Yazılan Program

```

set(0,'DefaultLineLineWidth',.5);
frop1=[
0,3      0,99999118      0,004199988
0,6      0,999712014      0,023997696
0,9      0,999766729      0,02159832
1,2      0,999766729      0,02159832
1,5      0,999838004      0,017999028
...      .....
...      .....
...      .....
14,4     0,989649904      0,143502852
14,7     0,984481823      0,175486584
15,0     0,983843693      0,179029573 ];
freqdata freqmag freqdB freqimg freqreal freqdeg
freq=frop1(:,1);
re=frop1(:,2);
im=frop1(:,3);
w = frop1(:,1);
meas = re+im*1i;
wRads = w*2*pi;
freqdata_pair = vpck(meas,wRads);
morder = 2;
weight = 1;
wcode = 1;
idnum = 100;
discflg = 0;
Ppair = fitsys(freqdata_pair,morder,weight,wcode,idnum,discflg);
Ppairg = frsp(Ppair,freqdata_pair);
[Apair,Bpair,Cpair,Dpair]=unpck(Ppair);
[Gpairnum Gpairden] = ss2tf(Apair,Bpair,Cpair,Dpair);
Gpair = tf(Gpairnum,Gpairden);

```

Program sonrası elde edilen transfer fonksiyonu aşağıdadır;

$$\begin{array}{l}
 \text{Transfer function:} \\
 1.052 s^2 + 37.98 s + 1 \\
 \hline
 s^2 + 16.51 s + 1.70
 \end{array}$$

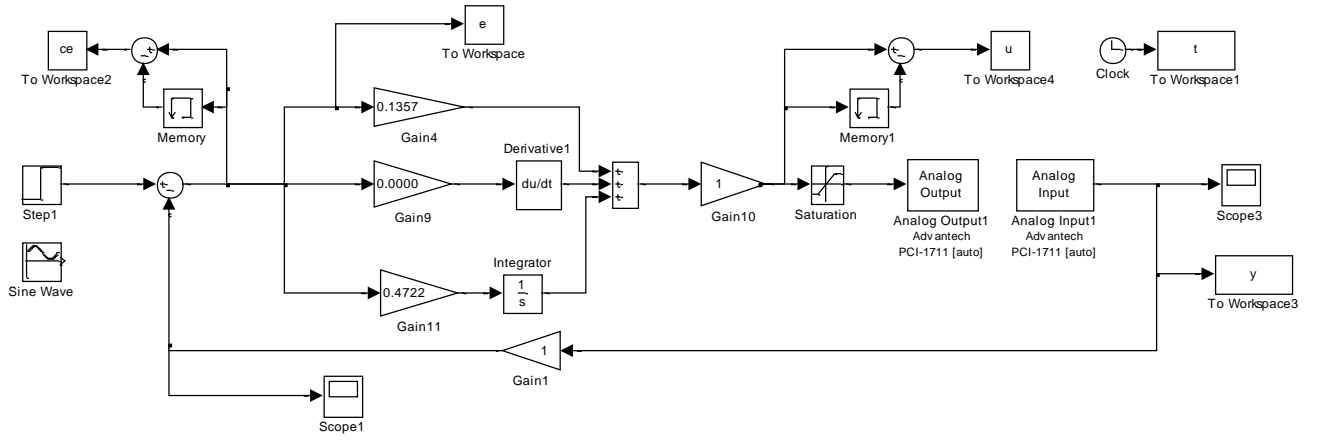
4.3. PID Katsayılarının Elde Edilmesi

PID kontrolör için katsayıların bulunmasını genetik algoritması kullanarak sağladık. Genetik algoritması ile elde edilen PID katsayıları;

$$K_p:0,1357$$

$$K_d:0,00001$$

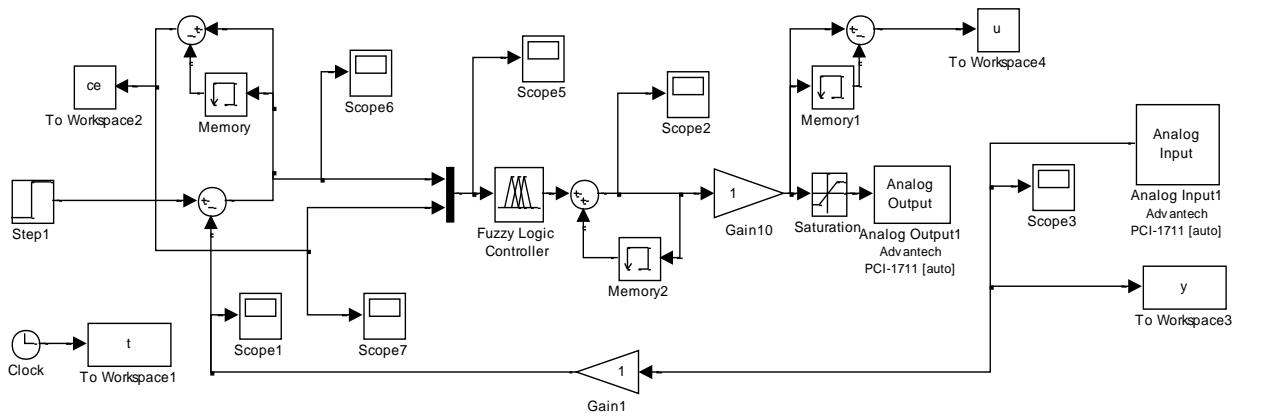
$$K_i:0,4722$$



Şekil 4.7 Simulink PID Kontrolör Blok Diyagramı

4.4. ANFIS Uygulaması

ANFIS kontrolör için simulink blok diyagramı aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.



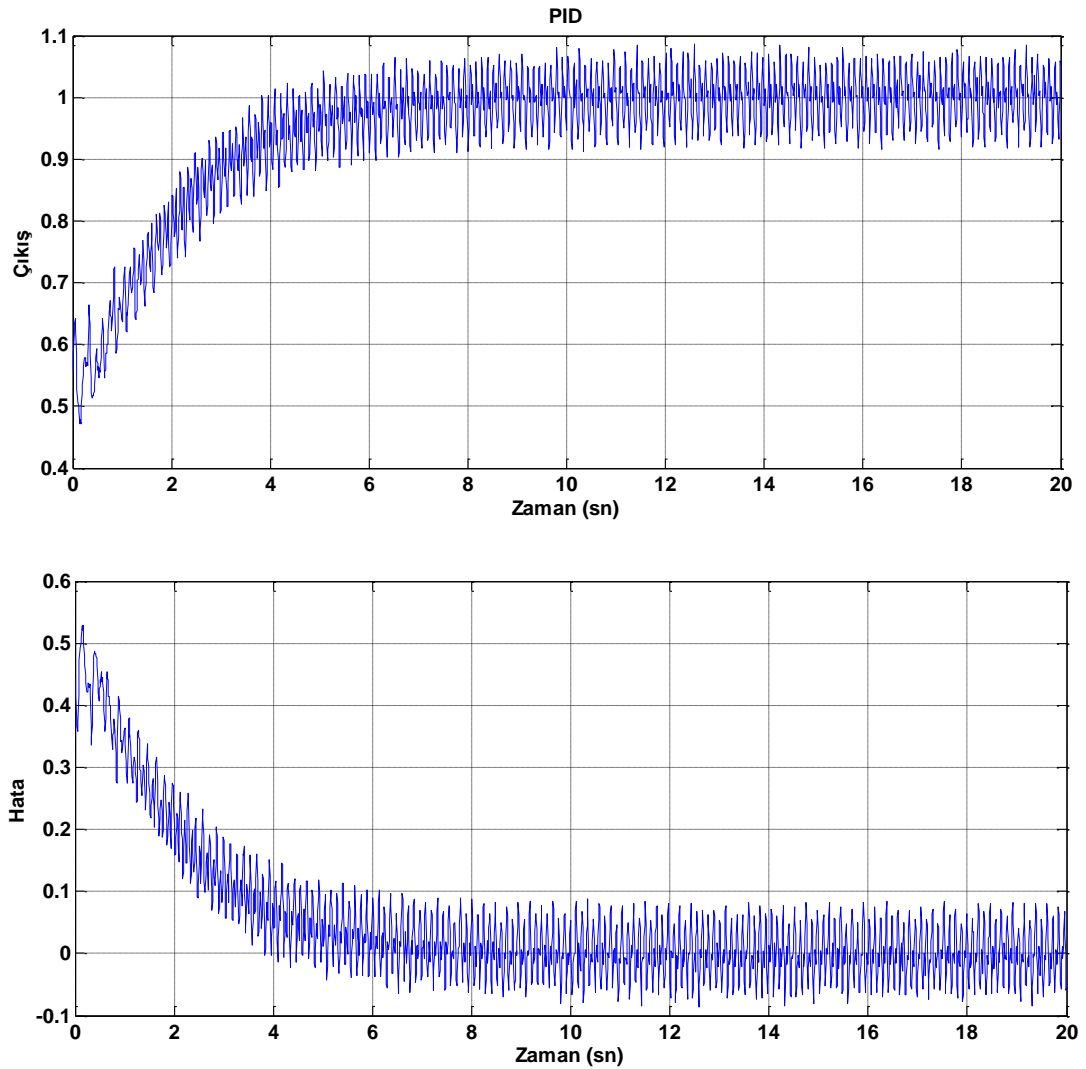
Şekil 4.8 Simulink ANFIS Kontrolör Blok Diyagramı

4.5. PID Çıkış ve Hata eğrileri

PID kontrolör ile sistemin çıkış tepkilerinin eğrilerini aldık. Daha sonra ANFIS kontrolör ile aynı giriş sinyallerinin çıkış cevaplarını aldık ve bunun karşılaştırmalarını yaptık. Sisteme ait aldığımız eğriler aşağıdadır.

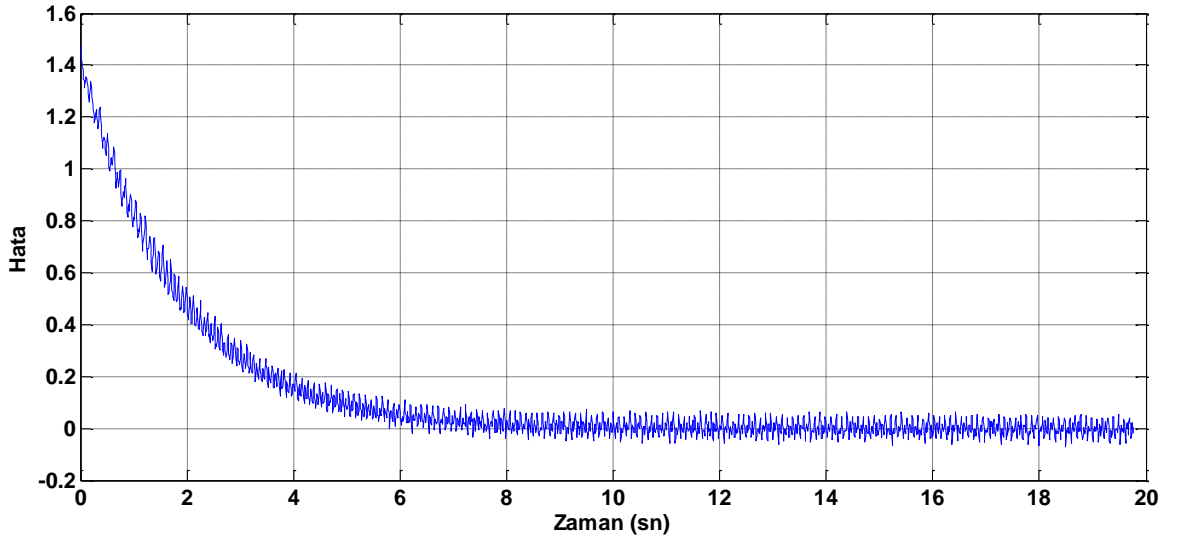
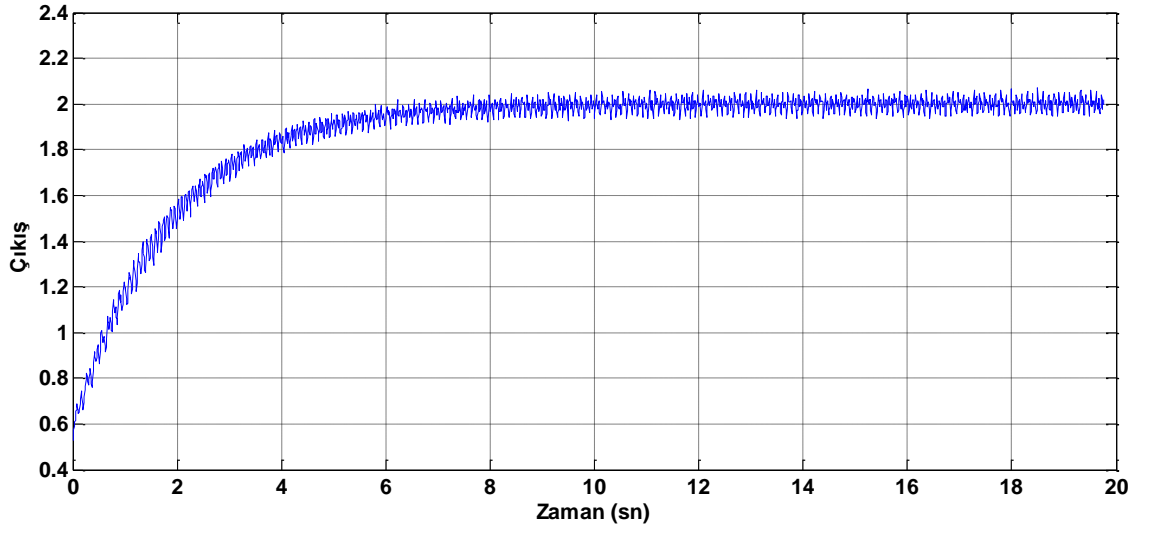
Ayrıca daha sonrasında sisteme birim basamak girişi uygulanmıştır. Bu girişe sırasıyla 1,2 ve 3 genlik değerleri verilerek çıkış eğrileri çizilmiştir. Aşağıda bu eğrileri görüyoruz.

Değer 1 için;



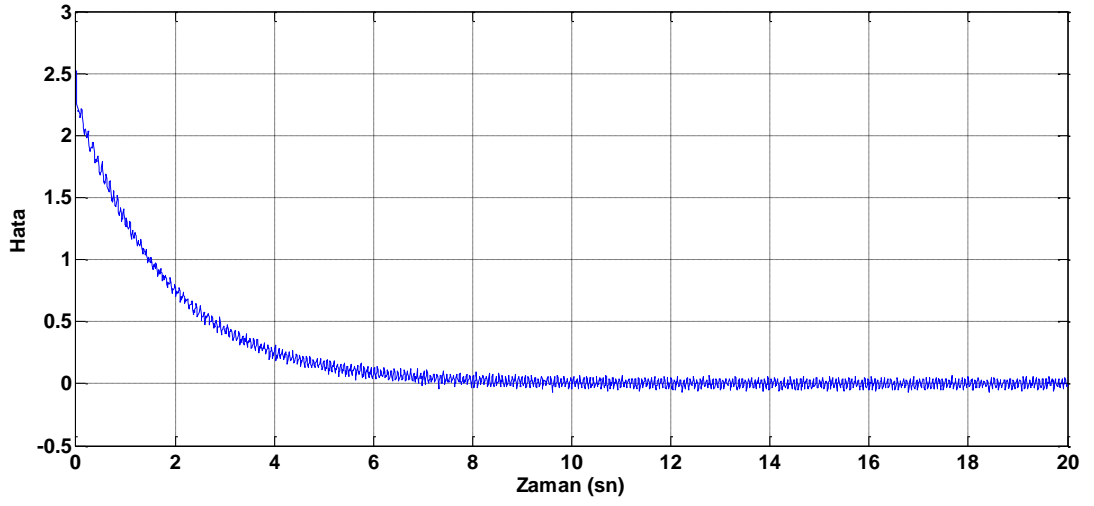
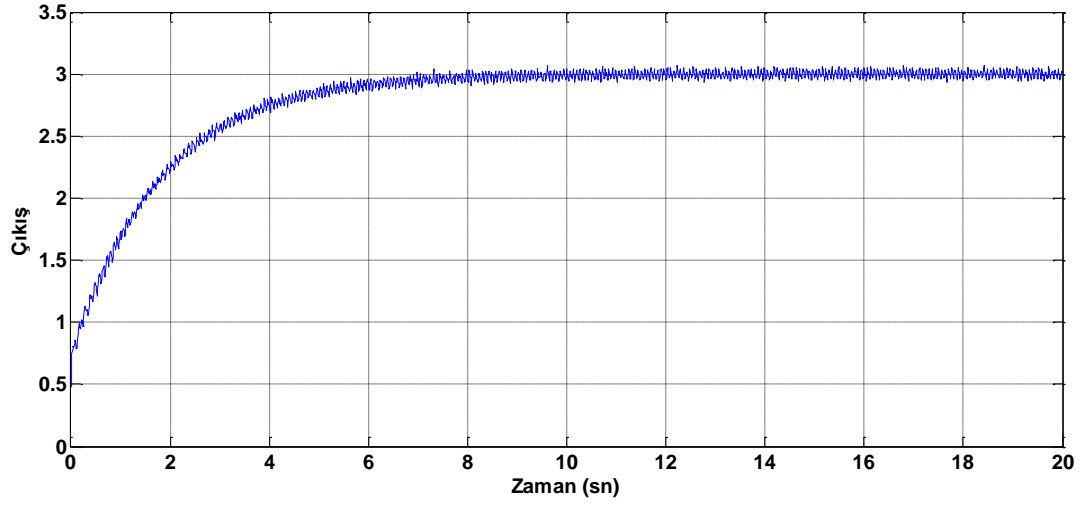
Şekil 4.9 PID, Genlik 1 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

Değer 2 için;



Şekil 4.10 PID, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

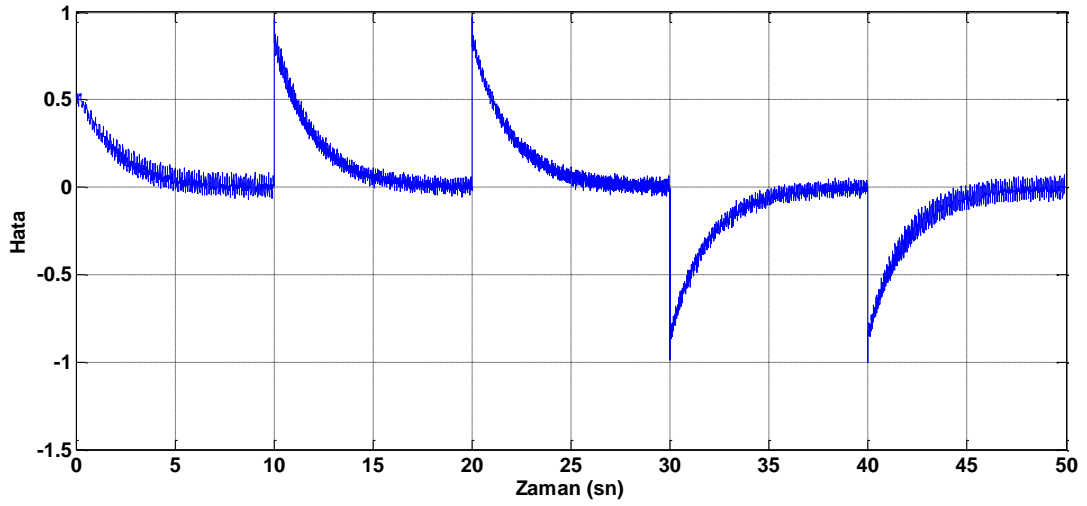
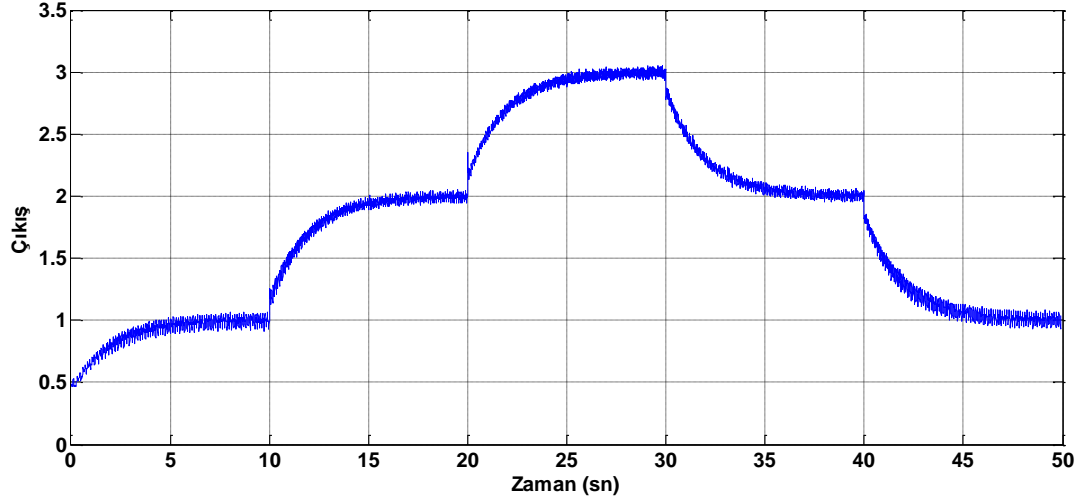
Değer 3 için;



Şekil 4.11 PID, Genlik 3 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

Sistemin birim basamak cevaplarını aldıktan sonra basamak girişi uygulanarak farklı bir kaynağa karşı cevap çıkışı da gözlenmiştir.

Basamak giriş için;

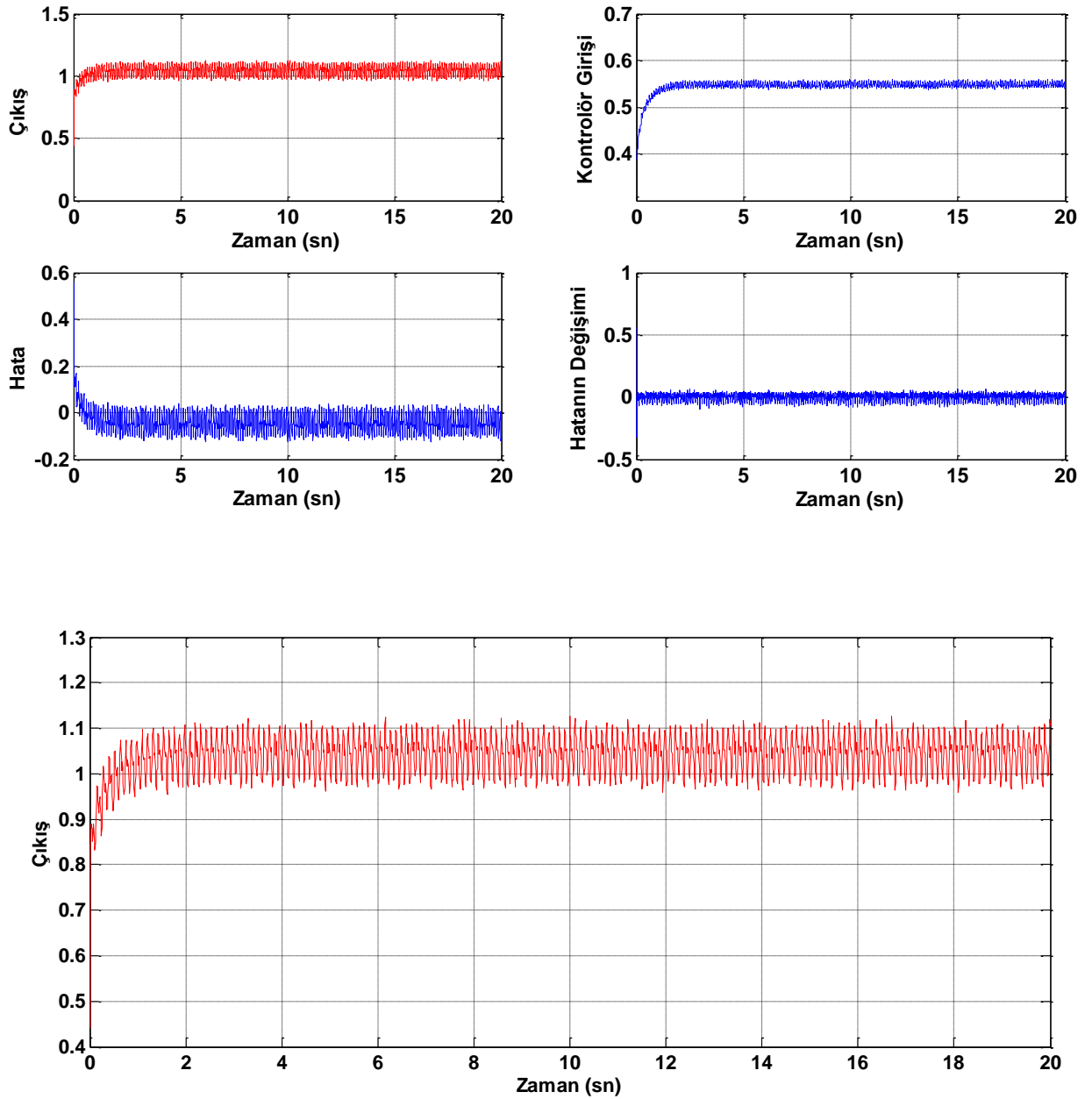


Şekil 4.12 PID, Basamak Sinyal İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

4.6. ANFIS Eğrileri

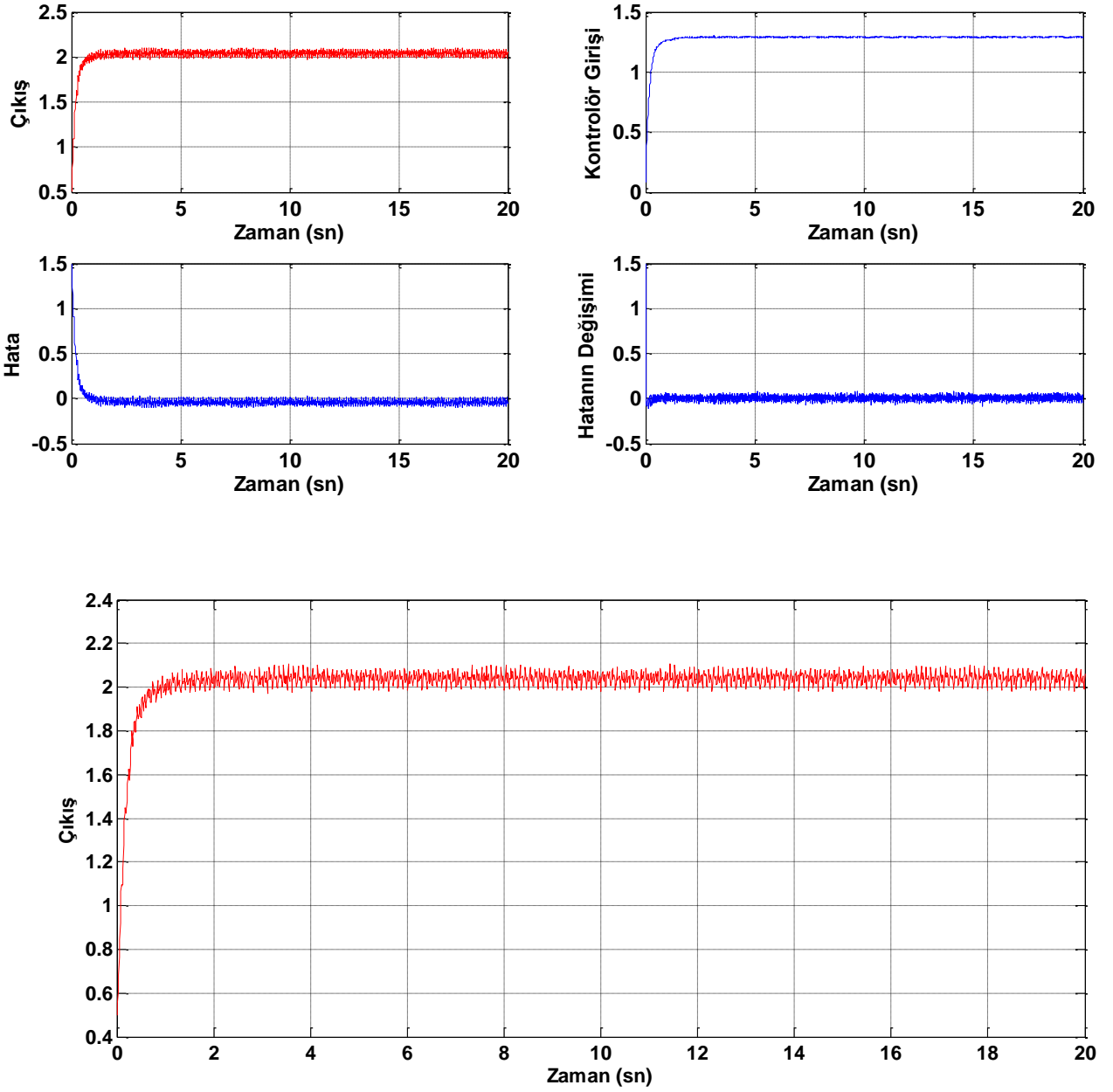
USM motor kontrolünde ANFIS için eğitim verilerini MATLAB Simulink ortamında oluşturduğumuz PID kontrolör modellemesi üzerinden aldık. Hata ve hatanın değişimine karşılık, PID çıkışını eğitim verileri olarak kullandık. Aynı değerler için çıkış eğrileri aşağıdadır.

Değer 1 için;



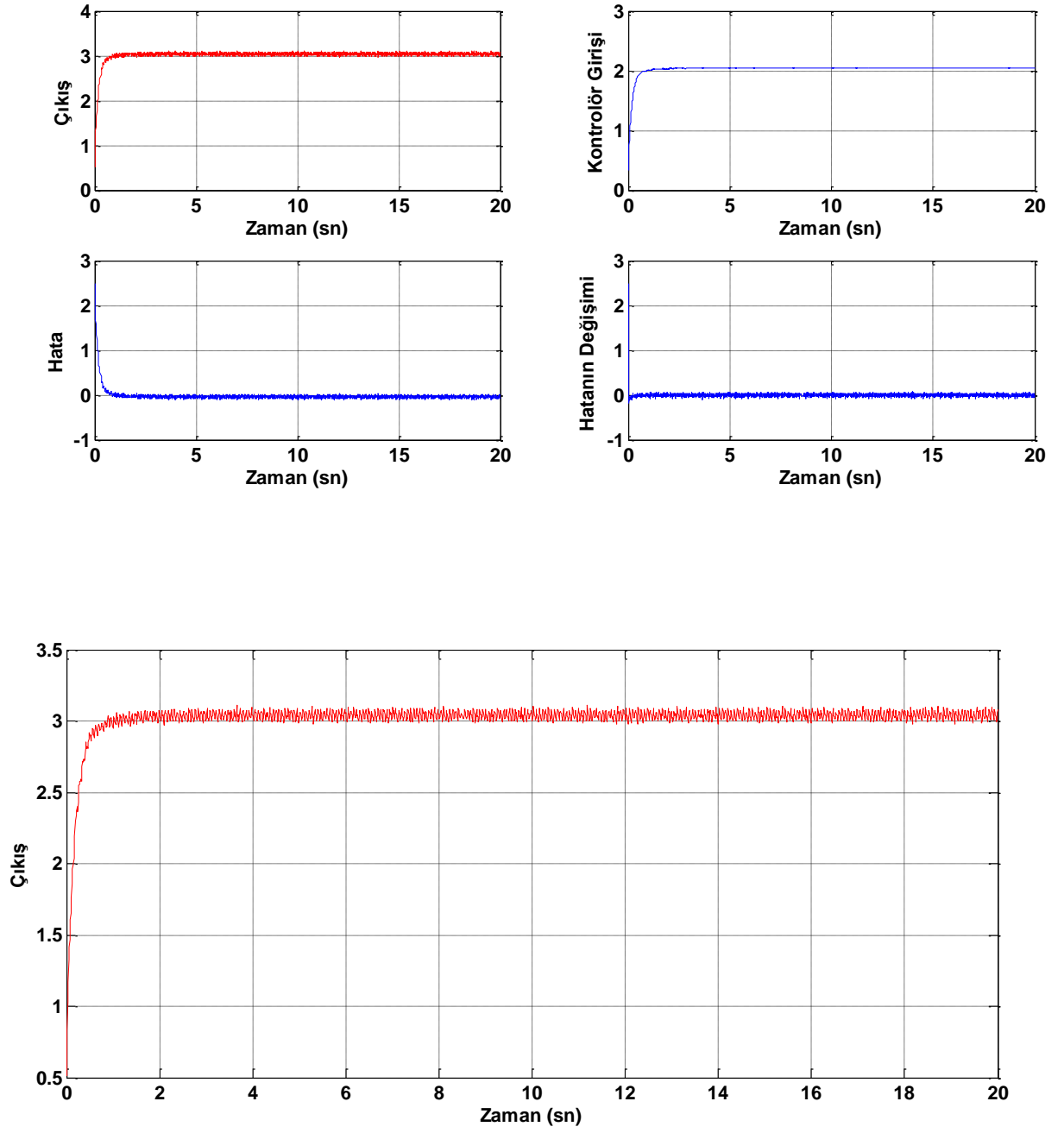
Şekil 4.13 ANFIS, Genlik 1 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

Değer 2 için;



Şekil 4.14 ANFIS, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

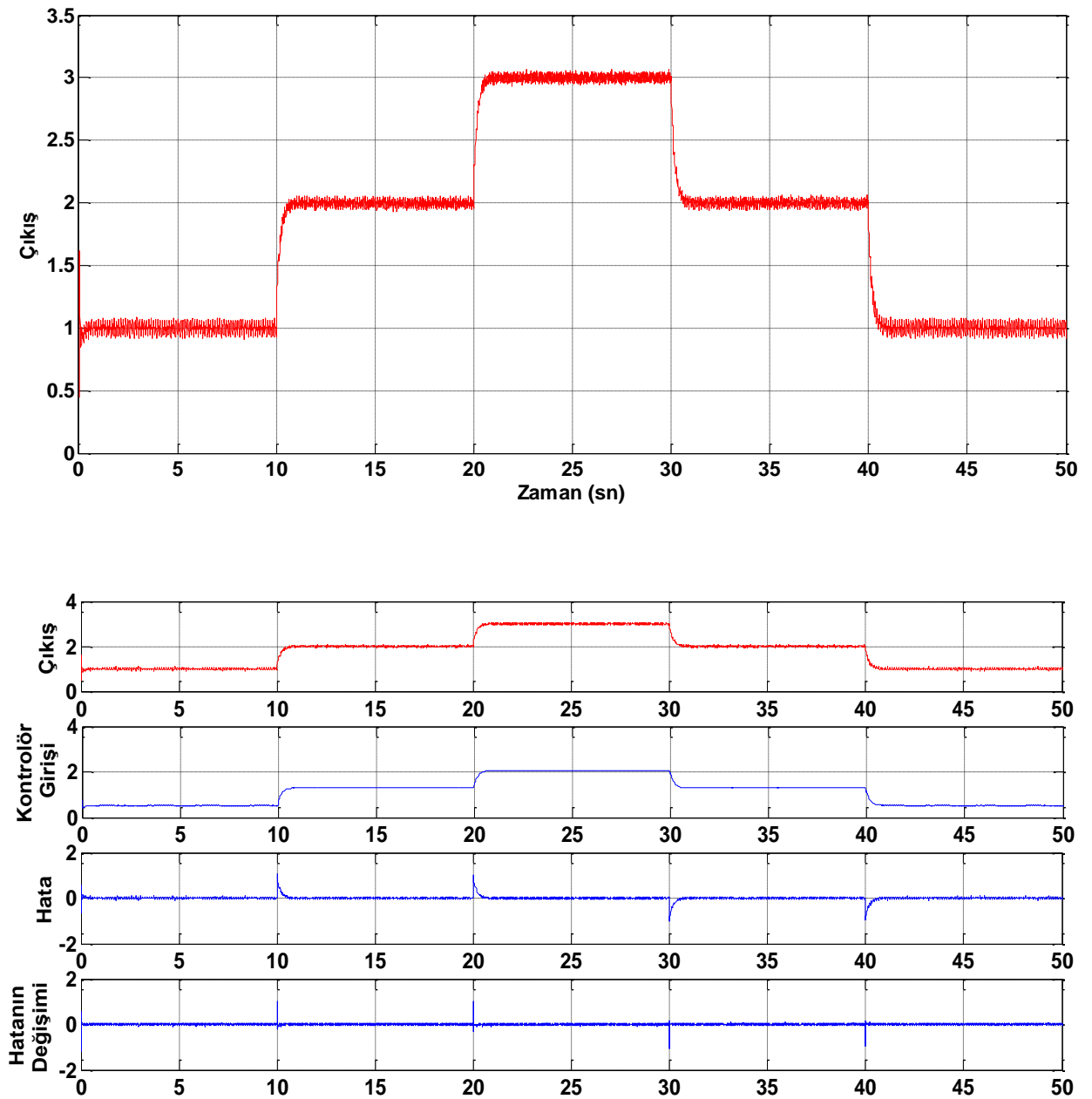
Değer 3 için;



Şekil 4.15 ANFIS, Genlik 2 İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

Basamak Giriş için;

Yapılan testler esnasında daha önce PID kontrolörden elde ettiğimiz birim basamak verilerini kullanamadığımızı gördük. ANFIS'te eğittiğimiz birim basamak girişinden sıralı basamak girişi uyguladığımızda kontrolörün düşüş sinyalini algılamadığını ve giderek artarak çöküşe gittiği sonucuna vardık. Bunun üzerine PID kontrolöre basamak sinyali girerek eğitim verileri elde edip bu verileri eğittik. İstenilen sonuca bu şekilde ulaşabildik. Buradan da şu sonuca vardık; ANFIS uygulamasında hangi giriş verilecekse ona ait veriler eğitilmelidir.

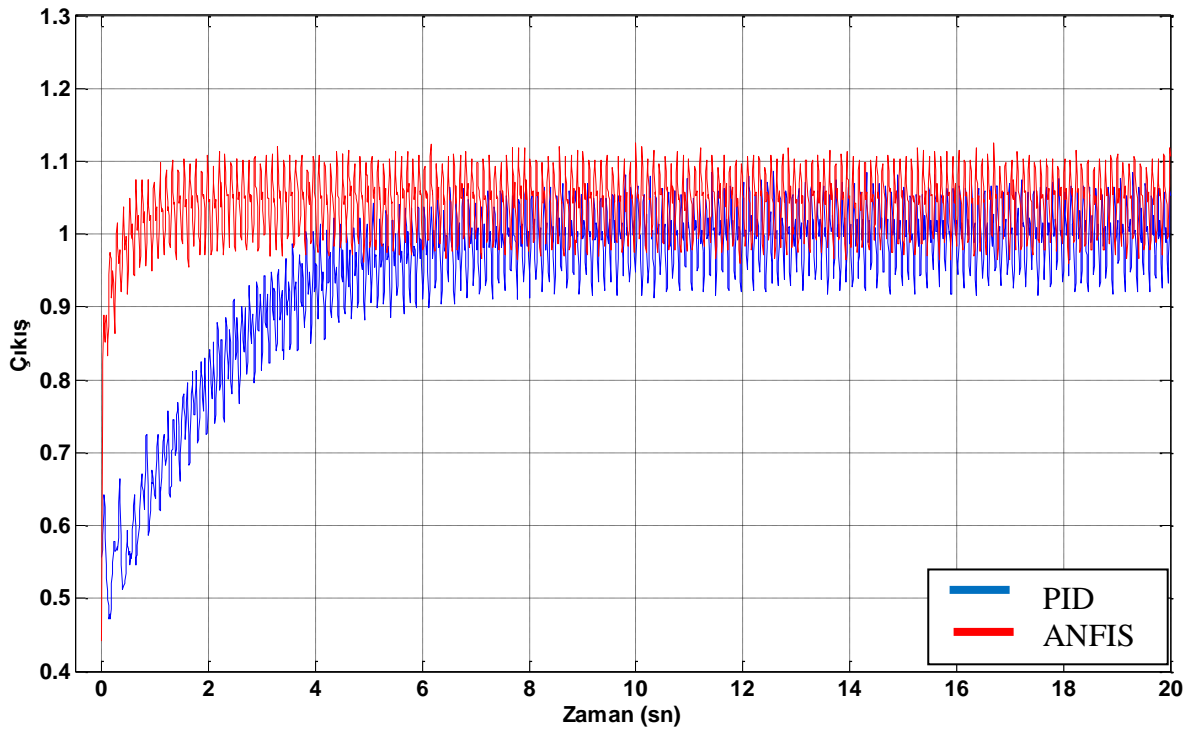


Şekil 4.16 ANFIS, Genlik Basamak Sinyali İçin Çıkış ve Hata Eğrisi

4.7. PID ve ANFIS Kontrolör Çıkışlarının Karşılaştırılması

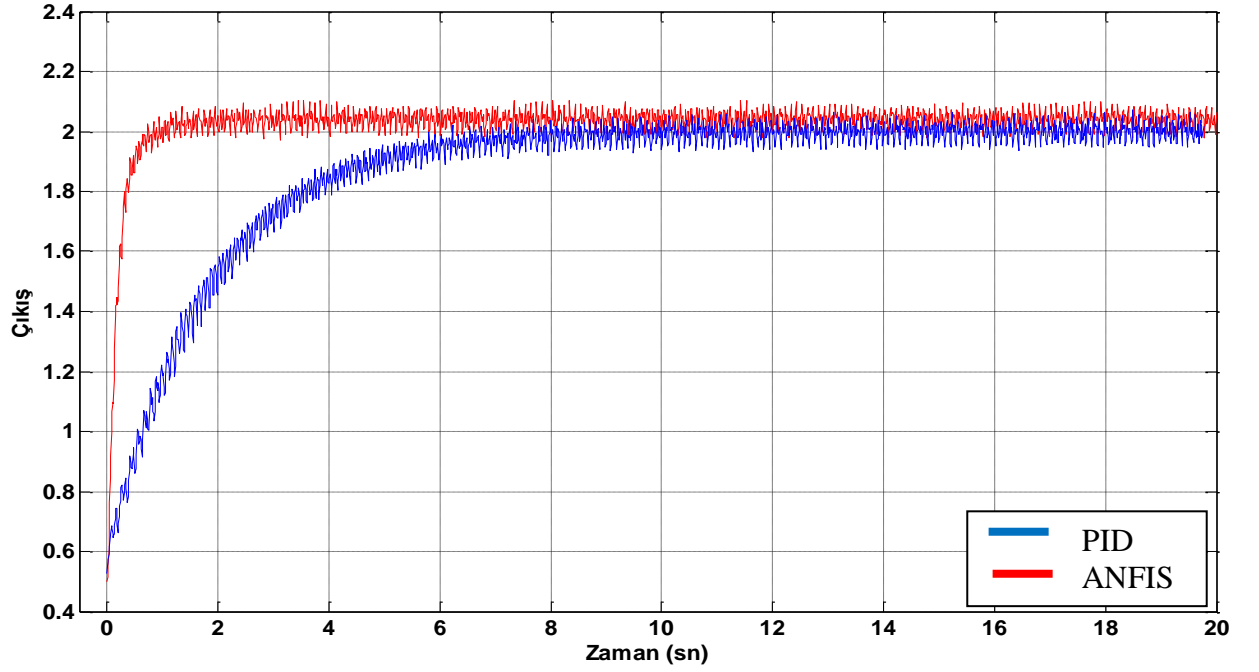
Yapılan kontrolör çalışmaları sonucu elde edilen eğrileri sunduk. Bu eğrilerin karşılaştırması aşağıdaki gibidir.. Mavi renkli eğri PID, kırmızı renkli eğri ise ANFIS uygulaması sonucu alınan sistem çıkışlarıdır. Eğri eksenlerinin birimleri Zaman (sn) ve Çıkış (V) alınmıştır.

Değer 1 için;



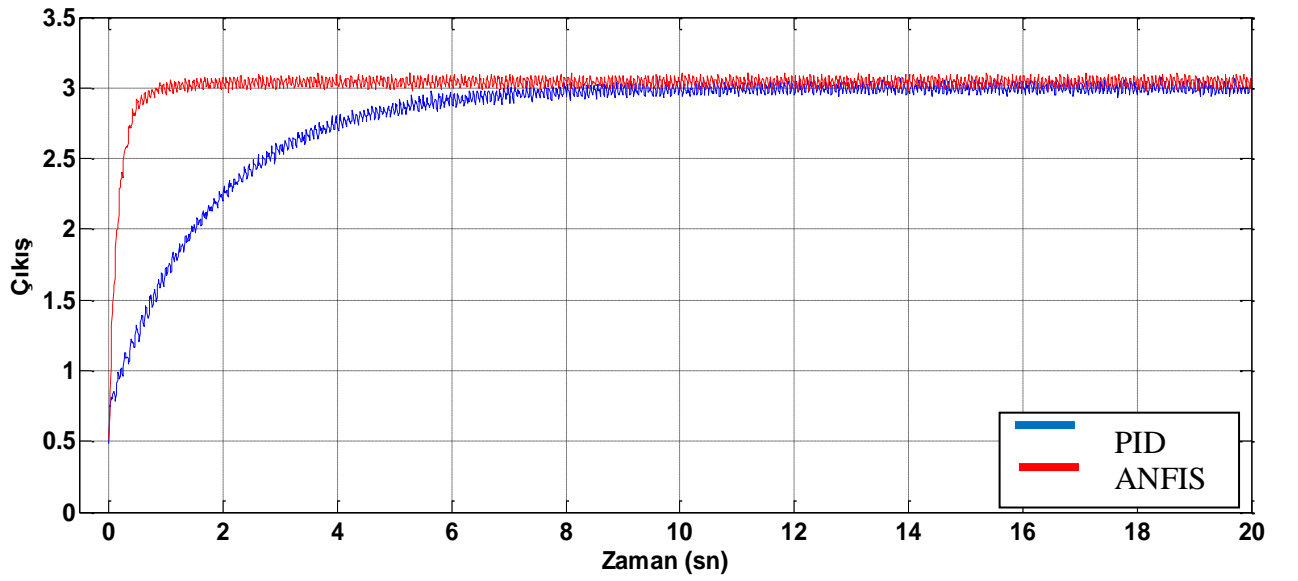
Şekil 4.17 Genlik 1 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma

Değer 2 için;



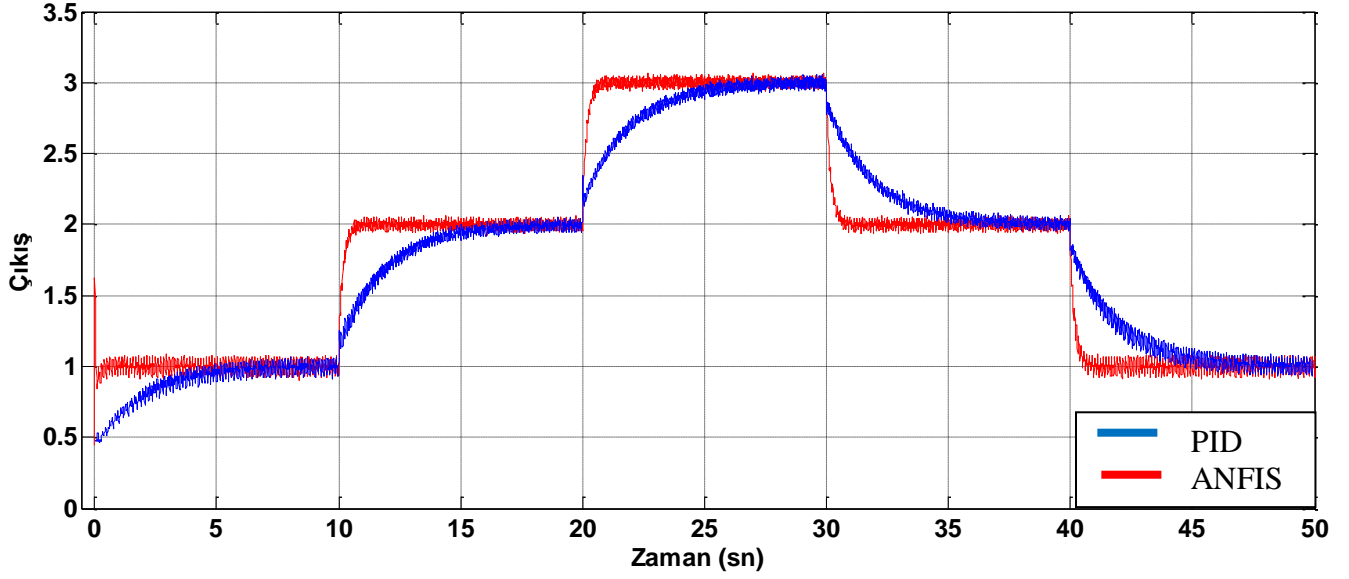
Şekil 4.18 Genlik 2 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma

Değer 3 için;



Şekil 4.19 Genlik 3 için PID ve ANFIS Çıkış Eğrileri Karşılaştırma

Basamak Giriş İçin;



Şekil 4.20 Basamak Giriş için PID ve ANFIS ıkış Eğrileri Karşılaştıırma

NOT: Yapılan testler esnasında devir değerleri ölçülmüştür. Motorun voltaj değerlerine denk gelen devir bilgileri ortalama şu şekildedir;

0,5 V genlik	42 devir/dk
1 V genlik	98 devir/dk
1,5 V genlik	138 devir/dk
2 V genlik	178 devir/dk
2,5 V genlik	223 devir/dk
3 V genlik	272 devir/dk

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ultrasonik motorlar geleneksel motorlardan farklı bir teknolojiye sahiptir. USM'lar piezoelektrik malzemeler kullanılarak üretilmiş motorlardır. Bazı kristal ve seramik malzemenin üzerine kuvvet uygulandığında elektrik geriliminin oluşması olayına piezoelektrik etki adı verilir. Bunun tersi de geçerlidir. Yani, piezoelektrik malzemeye elektrik gerilimi uygulanırsa piezoelektrik malzeme titreşimler üretir. Bu titreşimlerden yararlanarak lineer ya da açısal hareket edebilen motorlar üretilmektedir. Piezoelektrik diye nitelendirilen seramik rotor ve stator yapılar arasında elektrik akımı sonucu elde edilen titreşime piezoelektrik etki denilmektedir. Ultrasonik motorlar 20 Khz üzerindeki insan kulağı ile işitilmeyen ses dalgalarını kullanır fakat hava yoluyla aktarılan ses dalgalarını kullanmazlar. Bunun yerine, piezoelektronik seramik elemanlar kullanılarak metal halkanın yüzeyinde ultrasonik seviyedeki frekanslarda titreşim üretilir. Stator ve rotor birbirine presli iki parçadır ve üretilen bu titreşim bu iki ana parça üzerinde sürme işlemini gerçekleştirir. Giriş olarak çift faz akım verilmektedir. Bu etki sonucu elde edilen titreşimler sayesinde rotora dönüş hareketi veriyor. USM'ların çalışma prensibi genel anlamda bu şekildedir.

Bulanık mantığın temelinde geleneksel yaklaşımın dışında sadece 1 ve 0 değil ara değerlerinde bir ifade içerdiği yaklaşımı vardır. Bu yaklaşım lineer olmayan sistemlerde kullanılan bir kontrol tekniğidir. Sinir ağları yapısı ise katmanlardan ve bu katmanlar arasında veri iletimi sağlayan linklerden oluşur. Her katman içinde isteğe bağlı olarak düğümler oluşturulur. Bu düğümler gelen verilerin toplandığı ve bir sonraki katmana iletiildiği merkezlerdir. ANFIS yapısı, bulanık mantık yaklaşımının yapay sinir ağları ile ilişkilendirilmesi sonucu oluşturulan bir kontrol tekniğidir. Bu uygulamada adaptif ağ yapısı oluşturularak her bir düğüme ayrı ayrı kurallar atanabilir. Ağ yapısını oluşturan ve düğümleri birbiri ile ilişkilendiren linklere katsayılar atayarak çıkış değerlerinin bir sonraki katmanda, ilgili düğüme üyelik fonksiyonundan optimal bir değer alması sağlanabilir.

Ultrasonik motorların matematiksel modelini çıkarmak çok zordur. Bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda USM'u oluşturan stator ve rotorun yapısal özelliklerinden yararlanarak modellenmeye çalışılmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalar ise genelde bu modellemenin temeliyle yapılmıştır.

Bizim çalışmamızda farklı olarak sistemi bütün olarak ele aldık ve bir kontrol verisi elde ettik. Amacımız sistemi ANFIS yardımıyla kontrol edebilmek için eğitebileceğimiz değerleri elde etmektir. İhtiyaç duyduğumuz değerleri elde etmek için MATLAB yardımıyla PID kontrolör oluşturduk. PID kontrolörde ise kullanmamız gereken katsayıları genetik algoritması yazılımıyla elde ettik. Bu yazılımda MATLAB'da yüksek iterasyon ile motoru çalıştırarak optimal değerleri elde ettik. Bu değerleri PID katsayıları olarak girerek ANFIS için eğitim verileri elde ettik. Bu verileri Anfisedit komutu ile MATLAB'da eğittik ve sistemin kontrolünü gerçekleştirdik.

Deney safhalarında PID kontrolör tasarlandığında elde edilen optimal katsayılar ile farklı giriş sinyalleri uygulanarak çıkış eğrileri alınmıştır. Aynı şekilde eğitilmiş ANFIS kontrolör ile aynı sinyal değerleri girilmiş ve çıkış eğrileri alınmıştır. Elde edilen bu eğriler karşılaştırılmıştır. Burada amaç PID ve ANFIS'i karşılaştırmaktan öte bir sistemin ANFIS ile kontrolünün sistem için iyi derecede sonuç verdiğini görmektir. Yapılan çalışmamızda bu sonucu aldık. Test ve deney sonuçlarında girilen değeri oldukça hızlı şekilde takip eden USM için hedefe ulaştık.

Bu çalışma bundan sonra yapılacak gerek USM çalışmaları gerekse ANFIS uygulamalarında faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Sashida,T., Kenjo,T. (1993). An introduction to ultrasonic motors. Oxford University Press, New York.
2. Uchino,K. (1997). Piezoelectric actuators and ultrasonic motors. Kluwer Academic Publisher, Massachusetts.
3. Bekiroğlu,E. (2008). Ultrasonic motors: Their models, drives, controls and applications. J Electroceram 20: 277–286.
4. Das,H., Bao,X., Bar-Cohen,Y., Bonitz,R., Lindemann,R., Maimone,M., Nesnas,I., Voorhees,C. (1999). Robot manipulator technologies for planetary exploration, Jet Propulsion Laboratory, MS 198-219, California Institute of Technology,Pasadena.
5. Morita,T., Kurosawa,M.K. and Higuchi,T. (1999). Cylindrical Micro Ultrasonic Motor Utilizing Bulk Lead Zirconate Titanate (PZT). Japanese Journal of Applied Physics. 38 pp. 3347-3350.
6. Bekiroğlu,E., Bal,G. (2000). Ultrasonik motorlar 1: Yapılarının ve temel prensiplerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol.13 No:4.
7. Bekiroğlu,E., Bal,G. (2001). Ultrasonik motorlar 2:Sürme Ve Kontrol Devrelerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol.14 No:1.
8. Lin,F. J. (1997). Fuzzy adaptive model-following position control for ultrasonic motor. IEEE Transactions on power Electronics, Vol.12, No.2,261-268.
9. Bar-Cohen,Y., Bao,X. and Grandia,W. (1998). Rotary Ultrasonic motors Actuated by Travelling Flexural Waves. Proceeding of the Smart Structures and Materials Symposium, San Diego, CA, Paper 3329-82.
10. Hagedorn,P., Sattel,T., Speziari,D., Schmidt,J. and Diana,G. (1998). The importance of rotor flexibility in ultrasonic traveling wave motors. Smart Materials and Structures, Vol.7, No.3.
11. Bao,X., Bar-Cohen,Y. (2000). Complete modeling of Rotary Ultrasonic motors Actuated by Travelling Flexural waves. Proceeding of SPIE's 7th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Newport, CA. Paper No.3992-103.
12. Bal,G., Bekiroğlu,E. (2001). Characteristics estimation of Travelling-Wave Ultrasonic Motor Using Equivalent Circuit Model. Eleco'2001 International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa.
13. Bal,G., Bekiroğlu,E., t.y., Ultrasonik Motor İçin Eşdeğer Devre Modelinin Uygunluğunun Araştırılması.

14. Hüner,E., Engin,Ş.,N. (2004). Yürüyen Dalga tipli Ultrasonik Motorun Modellenmesi.
15. Bal,G., Bekiroğlu,E. (2003). Experimental Examination of Speed Control Methods For A Travelling Wave Ultrasonic Motor. 3 uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara
16. Bal,G., Bekiroğlu,E., Bayındır,R.,Görgün,A. (2006). Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motor Denetimi ve Bilgisayarla İzlenmesi. Politeknik Dergisi, Cilt 9, Sayı 4.
17. Bal,G., Bekiroğlu,E., Çolak,İ., Yeşilbudak,M. (2009). Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motor Hız Denetimi Benzetimi. 5 uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük,Türkiye.
18. Bekiroğlu,E. (2007). Microcontroller-Based Full Control Of Ultrasonic Motor with Frequency And Voltage Adjusting. Sensors and Actuators, Vol.141, pp.151-159
19. Huafeng,L., Chunsheng,Z., Chenglin,G. (2005). Precise Position Control Of Ultrasonic Motor Using Fuzzy Control With Dead-Zone Compensation. Journal of Electrical Engineering, Vol.56, No.1-2, 49-52.
20. Huang, Shou-Heng (1994). Advabced Fuzzy Logic Controllers and Self-Tuning Strategy. Iowa State University, Ph.D.
21. Masuoka,R., Nobuo,W., Kawamura,A., Owada,Y., and Asakawa,K. (1990). Neurofuzzy system-fuzzy inference using a Structured Neural Network. Proceeding of the international Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks, pp.173-177, Izuka, Japan.
22. Kim,D.H., Abraham, A., (2008). Optimal Learning of Fuzzy Neural Network Using Artificial Immune Algorithm.
23. Zerikat,M., Bendjebbar,M. and Benouzza,N., 2005, Dynamic Fuzzy-Neural Network Controller. World Academy of Science, Engineering and Technology.
24. Kasabov, N. K., Kim, J. S., Gray, A. R., t.y., WattsFuNN, M. J., A Fuzzy Neural Network Architecture for Adaptive Learning and Knowledge Acquisition. Department of Information Science University University of Otago, Dunedin, New Zealand.
25. Ishigami,H., Fukuda,T., Shibata,T. and Arai,F. (1995). Structure optimization of fuzzy neural network by genetic algorithm. Fuzzy sets and Systems ,Vol.71, Issue 3, Pp. 257-264.
26. Vas, P. (1999). Artificial-intelligence-based electrical machines and drives: application of fuzzy, neural, fuzzy-neural, and genetic-algorithm-based techniques. Oxford University Press, P.19
27. Brande, J. K. (1997). Computer Network Routing with a Fuzzy Neural Network. S.1,9,32-41, Blacksburg, Virginia.

28. Tortum,A., Yayla.N., Gökdağ,M., t.y., Yapay sinir ağları ve birleştirilmiş sinirsel bulanık sistemler ile şehirlerarası yük taşıması tür seçiminin Modellenmesi. p.60
29. Juang,C.-F., Lin.,Y.-Y. and Tu,C.-C. (2010). A recurrent self-evolving fuzzy neural network with local feedbacks and its application to dynamic system processing. Fuzzy sets and Systems ,Vol.161, Issue 19, Pp.2552-2568a Department of Electrical Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROCReceived 28 August 2008; revised 15 March 2010; accepted 13 April 2010. Available online 21 April 2010.
30. Missaoui,A., Barkaoui,K. (2010). A Neuro-Fuzzy Model for QoS Based Selection of Web Service. J. Software Engineering & Applications, Vol.3, Pp. 588-592.
31. Bouchon-Meunier,B., Marsala,C., Rifqi,M., Yager,R.R. (2008). Uncertainty An Intelligent Information Systems. World Scientific Publishing, Pp.375-387, Singapore
32. Dandıl,B., Gökbulut,M. (2004). Sabit Mıknatıslı Senkron Motorların Bulanık Sinir Ağı Denetleyici ile Dayanıklı Hız denetimi. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(4), 725-734, Elazığ.
33. Chow,Mo-Yuen (1997). Methodologies of Using Nerual Network and Fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection. World Scientific Publishing, Pp.113-122, Singapore.
34. Lin,F.-J., Wai,R.J., Lee,C.C. (1999). Fuzzy Neural Network Position controller for Ultrasonic motor drive using push-pull DC-DC converter. IEEE Proc.-Control Theory Appl., Vol.146, No.1.
35. Chau,K.,T., Chung,S.W. (2001). Servo Position Control of Ultrasonic Motors Using Fuzzy Neural Network. Electric Power Compenents and Systems, 29:229-246
36. Kavruk, S. (2005). Türbin Jeneratör Sisteminin Neural-Fuzzy Denetleyici ile Kontrolü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi, Malatya.
37. BAYSAL, N. (2008). Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Sayısal İşaret İşlemci İle Gerçekleştirilmesi ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
38. Hung T.Nguyen, N.R.Prasad, C.L.Walker E.A.Walker (2002). A First Course in Fuzzy and Neural Control. A CRC Press Company.
39. ELMAS, Ç. (2007). Yapay Zeka Uygulamaları. p-198,245,99,343. Seçkin Yayınevi, Ankara.
40. Tagaki, T., Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Trans.Syst.,Man, Cybern.,Vol.15, Pp.116-132.

7. EKLER

USR30-E3

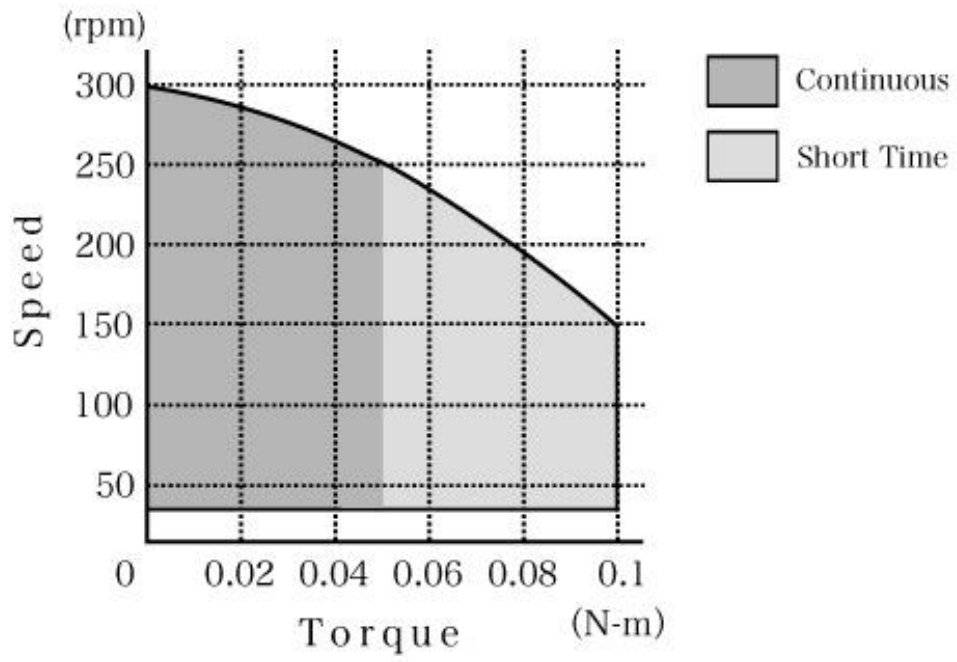


USR30-E3T

USR30-E series is the ultrasonic motor which mounted the incremental encoder. Maximum Torque is 0.1[Nm], Maximum Speed is 300[rpm]. USR30-E3 is mounted with 500 [P/R] encoder.

Model Name	USR30-E3	USR30-E3T
Drive Frequency	47 [KHz] ~ 52 [KHz]	
Drive Voltage	110 [Vrms]	
Rated Output	1.3 [W]	
Maximum Output	2.5 [W] (by Maximum Load)	
Rated Speed	250 [rpm]	
Maximum Speed	300 [rpm]	
Rated Torque	0.05 [N·m] (0.5 [Kg·cm])	
Maximum Torque	0.1 [N·m] (1.0 [Kg·cm])	
Holding Torque	0.1 [N·m] (1.0 [Kg·cm])	
Response	Less than 1 [ms] (No-load)	
Direction of Rotation	CW, CCW	
Operational Temperature Range	-10 [°C] ~ +55 [°C]	
Temperature Limit	Surface of Stator 70 [°C], Surface of Case 60 [°C]	
Operational Humidity Range	0 ~ +45 [%] (without condensation)	
Endurance Time	2,000 [Hours] (Sum of the time when the motor actually moved)	
Weight	64 [g]	64 [g]
Resolution of Encoder	500 [p/r]	1,000 [p/r]

T-N Characteristic



D6060E/24V : Driver for Ultrasonic Motor USR30 and USR60 Series



D6060/24V

D6060 is the driver for Ultrasonic Motor USR60 and USR30 Series.

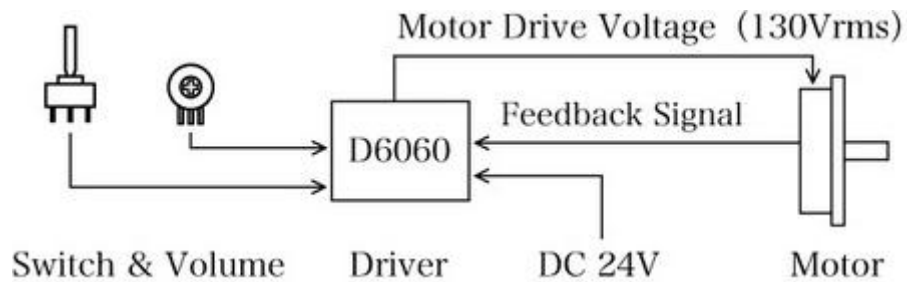
By using TTL level signal(0[V], 5[V]), USM can change the direction of rotation(CW, CCW, Stop).

By using Analog voltage:DC 0[V] ~ 3.2[V], D6060 can change the speed of the USM.

Power Source Voltage	DC24 [V] \pm 0.5 [V]
Oscillation Waveform	Pseudo Sine Wave
Oscillation Frequency	40 [KHz]~45 [KHz]
Speed Adjustment Method	Frequency Modulation Method
Frequency Control	Automatic Tracking Method Using Feedback of Amplitude by Vibration
Motor Drive Voltage	130 [Vrms]
Consumption Current	Maximum 2.0 [A]
Over Current Protection	2.5 [A] (ϕ 5.2 Midget Fuse)
Insulation Resistance	Over 10 [M Ω] (Motor Unconnected)
Withstand Voltage	1 [KVAC] (Motor Unconnected)
Storage Temperature	-20 [°C] ~ +80 [°C]
Working Temperature	-10 [°C] ~ +60 [°C]
Start-Stop Control	Switing TTL Level Voltage
Starting Response	Less than 50 [ms] (with no load)

Stopping Response	Less than 1 [ms] (with no load)
No-load Adjustable Speed Range	15 [rpm] ~ 130 [rpm]
Speed Setting External Voltage	DC 0 [V] ~ 3.2 [V]
Recommended Switch	Toggle Switch(ON-OFF-ON)
Recommended Volume	10 [KΩ], 0.1 [W], B type
Weight	250 [g]
Outline Size	Vertical x Horizontal x Height : 70 [mm]×100 [mm]×35 [mm]

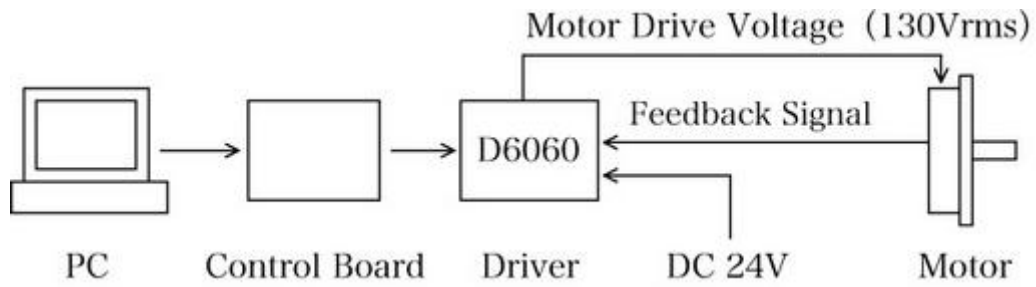
Connection method with Ultrasonic Motor 1: Simple control by Switch and Volume



By connecting an external switch to D6060, the action of a motor can be operated. (Rotative-direction change of CW-CCW, and a Stop of the Ultrasonic Motor)
 And Speed can be changed by connecting volume.
 In order to stabilize the speed of a motor, it is necessary to input a feedback signal into D6060.

* If a Ultrasonic Motor generates heat, the speed of a motor may become slow.

Connection method with Ultrasonic Motor 2: Simple control by Control Board



In order to control a Ultrasonic Motor, signals are sent to D6060 from a control board.

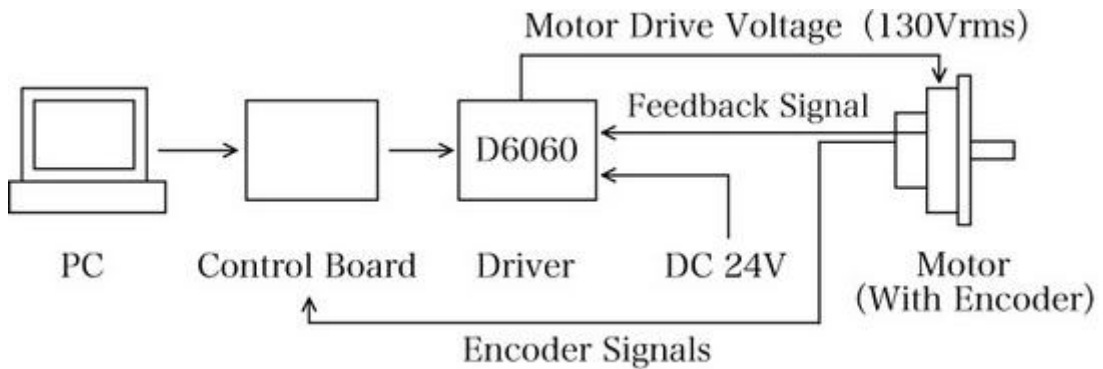
For the rotative-direction change of CW-CCW, and a Stop of the Ultrasonic Motor, two signals of a TTL level are required.

For speed change, the analog signal of DC 0 [V] - 3.2 [V] is required.

In order to stabilize the speed of a motor, it is necessary to input a feedback signal into D6060.

* If a Ultrasonic Motor generates heat, the speed of a motor may become slow.

Connection method with Ultrasonic Motor 3: Speed and Position Control by Encoder



In order to control a Ultrasonic Motor, signals are sent to D6060 from a control board.

For the rotative-direction change of CW-CCW, and a Stop of the Ultrasonic Motor, two signals of a TTL level are required.

For speed change, the analog signal of DC 0 [V] - 3.2 [V] is required.

In order to stabilize the speed of a motor, it is necessary to input a feedback signal into D6060.

By using the encoder signals of a motor by an external control board, the speed and the position of a motor is controllable.

* If the control Board does not control the speed of a motor, there is a possibility that the speed of a motor may become slow by the heat of motor.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : İzzet ÇAKAN

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA/ 1984

Adres : Eryaman Mah. 2. Cad. Cumhuriyet Sit.
ERYAMAN/ANKARA

E-posta : izzetcakan@gmail.com

Lisans : Kara Harp Okulu

Yüksek Lisans : -

Mesleki Deneyim ve Ödüller : -

Yayın Listesi : -