BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK TEST MAKİNALARININ PERFORMANSININ BULANIK MANTIK TEMELLİ BİR YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ANLAK

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL- 2021

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK TEST MAKİNALARININ PERFORMANSININ BULANIK MANTIK TEMELLİ BİR YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ANLAK
(171081513)

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ekrem DÜVEN

EYLÜL- 2021

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171081513 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Serkan ANLAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "HİDROLİK TEST MAKİNALARININ PERFORMANSININ BULANIK MANTIK TEMELLİ BİR YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Öğr. Üyesi Ekrem DÜVEN** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Gökhan GELEN** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU Bursa Uludağ Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 26 Ağustos 2021
Savunma Tarihi : 1 Eylül 2021

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere göre uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Serkan ANLAK

İmzası

Eşime ve oğluma,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tecrübelerinden yararlandığım, çalışmalarımda beni her zaman büyük özveriyle destekleyen ve çalışmamın bütün aşamalarında her türlü yardımı gösteren başta tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ekrem DÜVEN'e teşekkürlerimi bildiririm.

Bu tez çalışmamda bulanık mantık uygulamalarında fikirlerine danıştığım, her türlü desteği ve beni bugünlere getiren, tüm hayatım boyunca her koşulda yanımda olan canım aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2021

Serkan ANLAK
Elektrik - Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ…. vii
KISALTMALAR LİSTESİ vii
SEMBOLLER x
ÇİZELGE LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
ÖZET…. xiv
SUMMARY xv
1.GİRİŞ… 1
1.1.Tezin Amacı 1
1.2. Literatür Araştırması 3
2. BULANIK MANTIK 7
2.1. Bulanık Mantık Kavramı 7
2.1.1 Klasik Küme 10
2.1.2 Bulanık Küme 11
2.1.3 Üyelik Fonksiyonları 16
2.2 Bulanık Mantık Kontrol Sistemleri (Fuzzy Logic Control) 19
2.3 Bulanık DenetçininYapısı 20
2.3.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification) 20
2.3.2 Kural Tabanı Oluşturma (Rule Base) 21
2.3.3 Bulanık Çıkarım Metodu (Fuzzy Inference Method) 22
2.3.4 Durulaştırma (Defuzzification) 24
2.3.4.1 Durulaştırma Yöntemleri 24
2.4 Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları 26
3. HİDROLİK SİSTEMLER 28
3.1 Hidrolik Sistem Tanımı ve Özellikleri 28
3.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları 30
4. UYGULAMA 33
4.1 Deney Düzeneği 33
4.2 Mevcut Durumda Kullanılan Standart Denetim Yapısı 35
4.3 Bulanık Mantık Temelli Hesaplama Yaklaşımı 40
4.3.1 Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması 44
4.4 Elde Edilen Sonuçlar 46
5. SONUÇ 51
KAYNAKLAR 53
ÖZGEÇMİŞ 57

KISALTMALAR LİSTESİ

AI	Artificial Intelligence
ANFIS	Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System
BÇS	Bulanık Çıkarım Sistemi
CNC	Computer Numerical Control
FIS	Fuzzy Inference System
FL	Fuzzy Logic
Kp	Proportional (Oransal) Denetim Katsayısı
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
Max	Maximum
Min	Minimum
MÖ	Millattan Önce
NI	National Instruments Corporation
PCA	Principal Component Analysis
PID	Proportional Integral Derivative
SAFIS	Sequential Adaptive Fuzzy Inference System

SEMBOLLER

$\bar{A}$	A'nın tümleyeni
$\forall$	Her, bütün
^0C	Derece
$\sum$	Kartezyen toplam
μ	Üyelik fonksiyonu
u^*	Durulanmış değer
$\in$	Elemanıdır
$\notin$	Elemanı değildir
$<$	Küçüktür
$\leq$	Küçük eşittir
$\geq$	Büyük eşittir
$\wedge$	Ve
$\vee$	Veya
$[a,b]$	a b kapalı aralığı
∞	Sonsuzluk
$\cup$	Birleşim
$(\sim)$	Yaklaşık
Φ	Yunan Phi Sembolü
$\subset$	Alt küme
/	Bölme işareti
$e(k)$	Hata
$\Delta e(k)$	Hatadaki değişim miktarı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kural Tabanı Örneği..... 21
Çizelge 4.1: Giriş Parametreleri ve Değer Aralıkları 42
Çizelge 4.2: Çıkış Parametreleri ve Değer Aralıkları..... 42
Çizelge 4.3: Frekans girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları 42
Çizelge 4.4: Genlik girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları.. 43
Çizelge 4.5: Sıcaklık girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları 43
Çizelge 4.6: Kp-geri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları 44
Çizelge 4.7: Kp-ileri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları..... 45
Çizelge 4.8: Bulanık Kural Tabanını Oluşturan Kurallar Listesi 46
Çizelge 5.1: Bulanık mantık temelli yaklaşımla sistem performansında elde edilen iyileşme oranları..... 54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Bulanık mantık mimarisi 9
Şekil 2.2: Klasik küme teorisi 11
Şekil 2.3: Bulanık mantıkta üyelik derecesi 12
Şekil 2.4: Bulanık küme teorisi 14
Şekil 2.5. Bulanık kümede örtüşüm 14
Şekil 2.6. Örnek üyelik fonksiyonu grafiği 15
Şekil 2.7: Örnek üyelik fonksiyonları ve üyelik derecelerinin tespiti 16
Şekil 2.8: Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonu ve etiketi 16
Şekil 2.9: Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları 18
Şekil 2.10: Standart gauss eğrisi 18
Şekil 2.11: S tipi sigmoid fonksiyonunun grafiği 19
Şekil 2.12: Z tipi sigmoid fonksiyonunun grafiği 19
Şekil 2.13: **e** ve **Δe** giriş üyelik fonksiyonları 20
Şekil 2.14: Çıkış değişkeni için üyelik fonksiyonları 22
Şekil 2.15: İma edilen bulanık çıkış kümesi değişimi 23
Şekil 2.16: Toplama işleminden sonraki **μ-u** grafiği 24
Şekil 3.1: Açık devre sistemli hidrolik sistemin çalışması 30
Şekil 3.2: Hidrolik sistem 32
Şekil 4.1: Oluşturulan Hidrolik Test Makinası Deney Düzeneği 36
Şekil 4.2: Beckhoff Endüstriyel Denetleyici üzerinde elde edilen örnek sistem cevap eğrisi 38
Şekil 4.3: Frekans girdisi 4Hz, genlik girdisi ±3mm için bir periyotluk çıkış işareti üzerinde gerçekleştirilen örnek veri çıkarım işlemi 38
Şekil 4.4: Frekans girdisi 4Hz, genlik girdisi ±3mm örnek gösterimi 39
Şekil 4.5: Hidrolik test makinası düzeneği denetimine ilişkin blok diyagramı 41
Şekil 4.6. Frekans girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi 42
Şekil 4.7: Genlik girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi 43
Şekil 4.8: Sıcaklık girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi 43
Şekil 4.9: Kp-geri üst sınır değer çıktısı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi 44
Şekil 4.10: Kp-ileri üst sınır değer çıktısı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi 45
Şekil 4.11: Frekans girdisi 2 Hz, Genlik girdisi ±1 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması 49
Şekil 4.12: Frekans girdisi 5 Hz, Genlik girdisi ±1 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması 49
Şekil 4.13: Frekans girdisi 4 Hz, Genlik girdisi ±3 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması 49
Şekil 4.14: Frekans girdisi 4 Hz, Genlik girdisi ±4 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması 50

Şekil 4.15: Uzun süreli (300 dk'lık) bir testte ardışıl parametre değişimlerine karşı elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması 50
Şekil 4.16: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 1 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay 51
Şekil 4.17: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 2 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay 51
Şekil 4.18: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 3 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay 51

HİDROLİK TEST MAKİNALARININ PERFORMANSININ BULANIK MANTIK TEMELLİ BİR YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

ÖZET

Hidrolik test makinalarının çalışması esnasında sistem çıkışında (uç noktada) arzu edilmeyen titreşimler ve set değerine oturmama gibi bazı olumsuzluklar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, bulanık mantık temelli bir yaklaşım ile bu olumsuzlukların giderilmesi ve sistem performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan geliştirmelerin üzerinde denenmesi için laboratuvar ortamında örnek bir hidrolik sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Test sistemi üzerinde denetleyici olarak endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilen Beckhoff Endüstriyel Sistemleri kullanılmıştır. Pratik uygulamalarda bu türden sistemlerde yaygın olarak PID denetim kullanılmaktadır. Ancak standart PID denetim kullanımında çalışma ortamı kaynaklı parametre değişimleri ya da sistem çalışmasını belirleyen parametre değişimleri sebebiyle başta belirtilen titreşim ya da set değerine oturmama sorunlarının üstesinden tam olarak gelinememektedir. Bu türden bir durumla karşılaşıldığında mevcut uygulamalarda PID katsayılarının operatör tarafından yeniden ayarlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada işte bu PID katsayılarının bulanık mantık temelli bir metod ile otomatik olarak belirlenmesi ve böylelikle hidrolik test makinasının performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Hidrolik Sistem

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF HYDRAULIC TESTING MACHINES WITH A FUZZY LOGIC BASED APPROACH

SUMMARY

During the operation of hydraulic test machines, some problems such as undesired vibrations at the system output (at the end point) and not reaching the set value may occur. In this study, it is aimed to eliminate these problems and improve system performance with a fuzzy logic-based approach. An exemplary hydraulic system design was carried out in the laboratory environment to test the improvements made. Beckhoff Industrial Systems, which is frequently preferred in industrial applications, was used as a controller on the test system. However, in the use of standard PID control, it is not possible to completely overcome the problems of vibration or not reaching the set value specified at the beginning due to parameter changes caused by the working environment or parameter changes that determine the system operation. When such a situation is encountered, the PID coefficients need to be readjusted by the operator in current applications. In the study, it is aimed to determine these PID coefficients automatically with a fuzzy logic-based method and thus to improve the performance of the hydraulic test machine.

Keywords: Fuzzy Logic, Hydraulic System

1.GİRİŞ

1.1.Tezin Amacı

Günümüzde daha hassas cihazlara sürekli artan ihtiyaç ve artan talepler, bir problemin sonuçlarının yorumunu daha kesin bir ifadeden daha genel bir ifadeye götürmektedir. Bu kararların alınmasında bilgisayarların kullanılması ve sistem otomasyonunun tüm kullanımlarının için bilgisayarların gelen girişverilerini yorumlayıp bu girişdeki verilerin hassasiyetlerine göre karar vererek sonuçları çıkış biriminden otomasyona göndermektedir. Bu durum, bu alanda giderek daha fazla ihtiyaç duyulan yapay sinir ağları, bulanık mantık, yapay zeka, bulanık sinir ağları ve benzeri yöntemlerin ortaya çıkmasına ve geliştirilmesine sebep olmaktadır (Şen, 2003).

Mantık alanında en son gelişmeler, "fuzzy logic" sözcüklerinin anlamı olan bulanık mantık olarak tanımlanmaktadır. Bulanık mantık, Berkeley'deki California Üniversitesi'nden Lotfi Zadeh tarafından tanıtılan bulanık kümeler teorisi bağlamında ortaya çıkmıştır (Zadeh 1965). Bulanık mantık belirsizlikler üzerine oluşturulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanmıştır. Bulanık mantık, önermelere doğruluk dereceleri atayarak ortaya çıkmaktadır. Bulanık Mantık, insan muhakemesine benzeyen bir akıl yürütme yöntemidir (Baykal ve Beyan, 2004). Günümüzde, bulanık mantığın kullanım alanları hem akademik çalışmalarda hem de uygulama alanlarında artmaktadır (Ahamed ve diğ. 2017).

Bulanık mantık, bir problemin çözümünde kullanılan bir kontrol yöntemidir. Sistemlerde eksik veya kayıp bilgi girişi yapıldığında yada meydana gelen belirsizliklerde bile kesin bir sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır. Bulanık mantık, belirsizlik, kesinlik, ve/veya tamamlanmamışlıkların temsili için sistematik bir temel sağlar. Başka bir deyişle, bulanık mantık sadece sayısal değişkenleri içeren karmaşık sistemleri modellemek için uygun maliyetli bir yol sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sistemin anlaşılması kolay nicel bir tanımını da sunmaktadır (Altaş, 1999).

Bulanık mantık ilk olarak geleneksel matematiksel araçların karşılaştığı karmaşık sistemleri geliştirme ve analiz etme zorluklarını hafifletmeyi amaçlamaktadır. Bu

motivasyon, nicel ve sayısal alanlarda çalışmak için bulanık mantık gerektirmektedir. İkincisi, insan akıl yürütmesinin iyi tanımlanmış, keskin sınırları olmayan (yani belirsiz kavramlar) kavram ve bilgileri kullanabileceğini gözlemleyerek motive edilmektedir. Bu motivasyon, bulanık mantığın tanımlayıcı ve nitel bir forma sahip olmasını sağlamaktadır. Sistemde genellikle matematiksel modellemenin yerine, bir kontrol sorununu çözümlemek için kural-tabanlı "Eğer ve İse" mantığı kullanılmaktadır. Bulanık mantık ve olasılık birbirini tamamlamaktadır. Bulanık bir sistemin davranışı tamamen deterministiktir (Baykal ve Beyan, 2004).

Son yıllarda dünyada otomasyon sektöründeki gelişmeler sonucunda, otomasyon sektöründe kullanımlarının kolaylığı ve elverişli olmaları nedeniyle hidrolik sistemlerin öneminin gitgide artmasını sağlamıştır. Hidrolik sistemler, birçok endüstriyel uygulamada önemli bir yere sahip olmaktadırlar. Hidrolik sistemin temel görevi motordan aldığı gücü işin gerekli olduğu yere iletmektir. Hidrolik sistemler mekanik güç iletim sistemlerine nazaran hidrolik hatlarla güç iletimi her yöne ve her yere kolaylıkla iletilebilir. Hidrolik sistemde çok küçük bir kuvvetle çok ağır yükler kolaylıkla kaldırılabilir. Hidrolik sistemin daha az sayıda parçası vardır ve aşınma düşüktür. Sistem kendi kendisini yağlamaktadır. Hidrolik motorun büyüklüğü aynı güçteki bir elektrik motoruyla karşılaştırıldığında çok küçük boyutta olduğu anlaşılacaktır. Hidrolik sistem boyutuna göre çok büyük güçlerin iletimide kullanılacak özelliktedir. Bu özellik basitliğin ve kompaktlığın doğal bir sonucudur. Güç ve sürtünme kayıpları daha az olmaktadır. Diğer mekanik sistemlerde bulunan dişil, zincir, mil ve kayış gibi elemanlar hidrolik sistemde olmadığından yani daha az hareketli parçaya sahip olduğundan daha emniyetlidir (Çınar, 2013).

Hidrolikte akışkanın sisteme etki gücü önemli olduğu için ağır ekipmanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir hidrolik sistemde, akışkana uygulanan basınç kabın her noktasına etki eder. Bu kuvvetin kullanımı ve nasıl uygulandığına bağlı olarak operatörler ağır yükleri kaldırabilir ve tekrarlanan hassas görevler kolaylıkla yapılabilir. Hidrolik sistemlerde aşırı yükler kolayca emniyet valfleri sayesinde kontrol edilebilir. Hidrolik devreler, özellikle yüksek güç yoğunluğu gerektiren hemen hemen tüm otomatik makinelerde kullanılmaktadırlar. Uygulama alanları olarak, bilgisayar denetimli sayısal takım tezgâhları (CNC), uçaklar, gezici iş makineleri, presler, enjeksiyon makineleri, vb. sayılabilir. Bu makinaların bir elektrik sinyali yardımı ile uzaktan kumandalı çalışmasını sağlayan temel eleman servo valftir. Servo

valfler, elektriksel aygıtlar ile hidrolik sistemler arasında arayüz elemanıdır (Eryılmaz ve Wilson, 2000).

Hidrolik sistemlerde fiziksel olarak farklı alanlar bulunduğundan her iki yöne farklı bulanık mantık kural tabanı yazılabilinir. Böylelikle kontrol daha etkin şekilde kullanılmış olunur. Yine hidrolik sistemlerde Bulanık mantık kontrol tekniği ile diğer kontrol teknikleri beraber kullanılarak daha etkin bir kontrol tekniği ortaya çıkabilir. Örnek vermek gerekirse bulanık mantık ile PID kontrolün beraber kullanılması olabilir. PID kontrolün giriş kazanç katsayıları, bulanık mantık çıkış fonksiyonu ile geniş bir aralıkta kontrol edilebilinir. Bu durumda nonlineer olan sistemler in kontrolü daha etkin bir şekilde kullanılmış olacaktır. Günümüzde endüstride oldukça yaygın kullanılan kontrol türlerinin oldukça büyük bir bölümünü PID denetleyiciler oluşturmaktadırlar (Jian ve diğ, 2009).

Hidrolik sistemler, hızlı tepki, fazla oranda güç uygulama ve yüksek duyarlılık gibi üstünlüklerinden dolayı plastik enjeksiyon makineleri, ekstrüzyon presleri, uçaklar, savunma sanayi ve bilgisayar kontrollü takım tezgahlarında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Bu alanlardaki hidrolik sistemlerin bir çoğunun kontrolü bulanık mantık yoluyla oluşturulmuş denetim sistemleri ile yapalabilir. Bu alanda bulanık mantık sisteminin geliştirilmesi, kontrollü mekanik sistemin dinamik modeli ve kullanılan servovalf, hidrolik silindir, pompa vb. sistem elemanlarının performans özelliklerini göz önünde bulundurarak hassas konum kontrolü yapmak ve ayrıca sistemde darbe, titreşim gibi istenmeyen davranışların oluşmasını engellemektir (Jones ve diğ. 2000).

Bu çalışmada, bulanık mantık temelli bir yaklaşım ile sistem performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan geliştirmelerin üzerinde denenmesi için laboratuvar ortamında örnek bir hidrolik sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde denetçi olarak Beckhoff Endüstriyel Sistemleri kullanılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Mamdani(1974) çalışmasında, laboratuar ortamında buhar motoru ile bir tesisi kontrol etmek için bulanık algoritmanın kullanıldığı bir şema tesis etmiştir. Tesisin, çevrimiçi olarak bu bulanık algoritma ile yönetiminin faydalarını ortaya koymuştur.

Mamdani ve Assillian (1975), bulanık mantıkta çığır açan bu çalışmalarında, bir insan operatörünün belirttiği sezgisel kontrol aşamalarını otomatik bir kontrol stratejisine dönüştürmek için literatürde ilk kez bulanık mantığı kullanmışlardır. Bir öğrenme kontrolörü ile insan etkileşimi olasılığını araştırmak için başlattıkları çalışmalarında, dilbilimsel olarak kurulan kontrol stratejisinin, kendi başına beklenenden çok daha başarılı sonuçlar çıkardıklarını kanıtlanmıştır.

Yıldız ve Kişoğlu (2011), kadın giyim sektöründe hazır giyim üzerine üretim yapan işletmelerinden alınan ölçü tabloları ve beden numaralarından bulanık çıkarım sistemi (BÇS) kullanımıyla ortak bir beden numaralama sistemi modellemeyi başarmışlardır.

Kikuchi ve Chakroborty (1992), trafik stabilitesi ve hız-yoğunluk analizlerinin ilişkisine dayalı olarak, araç-takip sistemi geliştirilmesinde bulanık çıkarım sistemi kullanmışlardır.

Sun (1994), çalışmasında bulanık kural tabanlı çıkarım sistemlerinde varsayılan paralel işlemenin faydasını korumak için, doğrusal hızlanma ile model eşleştirmesi için paralel bir algoritma eliştirmiştir.

Şen (2009), güneş ışını süresinin güneş ışınımı ölçümlerinden hesaplanmasında Türkiye için, bulanık mantık algoritması geliştirmiştir. Bu çalışmada Şen'in, güneş ışınımının hesaplanması için geliştirdiği bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) türü bulunmaktadır ve ŞEN-BÇS olarak isimlendirilmektedir.

Aydın (2004), yaptığı doktora çalışmasında, yalıtkan malzemelerin kablo yalıtkanı olarak seçiminde BÇS ile eniyi (optimum) tercih olabilirliğini test etmiştir.

Chang ve Chang (2006), su rezervuarlarına bağlı olarak su kaynaklarının yönetiminde tahmin modeli geliştirmek için bulanık mantık ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemlerini (ANFIS) kullanmışlardır. İnsan tecrübelerini önemseyen ANFIS ile bu tecrübeyi önemsemeyen iki sistemin karşılaştırmasını yapmışlar ve ANFIS'ın üstün yönlerini ortaya koymuşlardır.

Ront ve diğ. (2006), Ardışık Uyarlamalı Bulanık Çıkarım Sistemini (SAFIS) olarak isimlendirdikleri bulanık çıkarım sistemini, bir radyal temel fonksiyon ağı ve bir BÇS arasında fonksiyonel eşdeğerliliğe dayanarak geliştirilmiştir. İki doğrusal olmayan sistem tanımlama testi problemi ve bir kaotik zaman dizisi tahmin problemi üzerinde, mevcut birkaç algoritma ile modellerini karşılaştırılmışlar ve diğer algoritmalara

kıyasla daha az sayıda kural ile benzer veya daha iyi doğruluklar ürettiğini ortaya çıkarmışlardır.

Polat ve Güneş (2007), temel bileşen analizi (PCA) ve ANFIS kullanılarak diyabet hastalığının tanısal doğruluğunu artıracak bir model geliştirmeye çalışmışlar ve güçlü bir algoritma oluşturmuşlardır.

Amindoust ve diğ. (2012), sürekli tedarikçi seçiminde bulanık mantık kullanımını araştırmış, karar vericilerin tedarikçi seçiminizdeki kriterleri sözel değişkenler olarak kodlayıp BÇS ile karar vericilere tedarikçi performanslarını dikkate alan yeni bir seçim algoritması sunmuşlardır.

Sancar ve Tabrizi (2017), vücut kitle indeksi verilerini dikkate alarak, bireylerde ortaya çıkabilecek obezlik vb. hastalıkların erken teşhisinde bulanık çıkarım sistemlerinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Bu amaçla bir modelleme yapmışlar ve tahmin- teşhis aşamasında başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Mardanov ve diğ. (2017), çalışmalarında rastgele seçilmiş beş üniversitenin eğitim hizmetlerinin kalitesinin ve hizmet kalitesinin değerlendirilmesini BÇS ile değerlendirmişlerdir.

Rout ve diğ. (2017), çalışmalarında değişken ücret tespitinde Sugeno-BÇS ile performansa dayalı güvenilir bir yeni ücret belirleme sistemi üretmişlerdir.

Ma ve diğ. (2018), çiğ süt depolama güvenliğini sağlamak için depolama aşamasında süt sıcaklık değişiminin belirlenmesinde KB sinir ağları ve tahmin verileri ve tarih verilerinin karşılaştırılmasında BÇS sistemi kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarla, sistemdeki çiğ süt izleme ve uyarı ekipmanı tarafından temin edilerek veri eğrisinin, çiğ süt sağım sürecini tam olarak tekrar faaliyete geçirdiğini (re-aktifleştirdiğini) tespit etmişlerdir.

Çelikel (2006) çalışmasında PID kontrol yöntemindeki oransal, türev ve integral etki katsayılarının bir bulanık mantıklı kontrolcü vasıtasıyla belirlenerek geliştirilen yöntem vasıtasıyla, taşıtlarda süspansiyon daralması problemi teşkil etmeyecek şekilde çeyrek taşıt modeli baz alınarak taşıt süspansiyon sistemlerine uygulanmıştır. Böylelikle yol girişine bağlı oluşan titreşimlerin sönümlenmesi için en uygun katsayılar dinamik olarak belirlenmesi sağlanmıştır.

Krasucki ve diğ. (2009) çalışmalarında mobil bir vincin hidrolik silindirleri PID-Fuzzy hibrit sistemi ile kontrol etmişlerdir. Kontrol sistemi simulasyon modelini Matlab Simulink programında geliştirmişlerdir.

Salhi ve diğ. (2010) çalışmalarında elektrik enerjisi üretiminde kullanılan hidrolik türbünün kontrol edilmesinde takagi-sugeno yöntemini kullanmışlar ve deneylerinde PID kontrolü ile bulanık mantığın sentezlenmesini yapmışlardır. PID girişlerini bulanık mantık çıkışları ile kontrolünü sağlamışlardır.

Çınar ve diğ. (2013) çalışmalarında bulanık mantık ile elektro-hidrolik oransal bir sistemin açık çevrim davranışları laboratuar ortamında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında öncelikle sistemi tanımlayan kural tabanı oluşturulmuş ve giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Böylelikle hidrolik silindirin konum kontrolü sağlanabilmiştir. Piston konum bilgisi ise, Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ile Simulink'e aktarılarak istenilen konum ile silindirin o andaki konum karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunada hata bulunabilmiştir.

Young ve Kopp (2001) çalışmalarında bulanık mantık kontrolü ile çalışan hidrolik dövme makinesi geliştirmişlerdir. Deneylerinde üç farklı iş parçası kullanmışlar ve bu iş parçalarına belirli bir form vermişlerdir. İş parçasını bükmede kullanılan silindirin hareketini bulanık mantık ile kontrol etmişlerdir. Bulanık mantık algoritmasını C programlama dilinde yazmışlardır. Ayrıca fuzzyTECH© programını da kullanmışlardır. Deneyleri sonucunda sac bükümünde ±0,6 mm hassasiyeti yakalamışlardır. Ayrıca çalışmada bulanık mantık kullanıldığından dolayı sistemin matematiksel modelini çıkarmaya gerek olmadığını da göstermişlerdir.

Jian ve diğ. (2009) çalışmalarında hidrolik presin pompasından gönderilen yağın hacmini kontrol etmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında pompanın elektrik motorunu PID-Fuzzy hibrit sistem ile kontrol etmişlerdir. PID girişlerini Fuzzy çıkışları ile kontrol etmişlerdir. Sonuçlarına baktığımızda kendi kendine ayarlayan PID sisteminin pozisyon izleme yeteneğini artırdığını göstermişlerdir.

Singhala ve diğ. (2014) yılında yaptıkları çalışmada mikrodenetleyici kullanarak bulanık mantık temelli sıcaklık kontrolü uygulaması gerçekleştirmişlerdir.

2. BULANIK MANTIK

2.1. Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık mantık yaklaşık akıl yürütmenin mantığıdır. Bulanık mantık, doğruluk ve yanlışlık kavramlarının kademeli bir şekilde ele alındığı muhakeme sistemlerini inceleyen bir tekniktir. Bulanık mantık, doğal dildeki ve diğer birkaç uygulama alanındaki belirsizliği analiz eder. Bulanık mantık, alt optimalliği ve belirsizliği tolere eden ve böylece çok iyi çözümler üreten yumuşak bir hesaplama tekniğidir. Temelde, bulanık mantık yüksek veya düşük, doğru veya yanlış gibi ikili geçiş değerlerine nispeten ara durumların değerlendirilmesini de mümkün kılar (Rout ve diğ. 2017).

Bulanık mantık, belirsiz veya yaklaşık verilerle akıl yürütme yeteneğimizden yararlanan, insan karar vermesinden ilham alan bir problem çözme metodolojisidir. Bulanık Mantık (FL), belirsiz karmaşık süreçler için sağduyulu akıl yürütme gibi kesin olmayan akıl yürütme modellerini modellemeyi amaçlar. Bir değişken üzerinde bulanık kısıtlamalar olarak temsil edilen önerme aracılığıyla, doğal dil yapısında sözcüksel olarak kesin olmayan önermenin anlamını temsil etmek için bir sistem sağlanır. Bulanık mantık, kontrol sistemleri, sinir ağları ve yapay zeka (AI) dahil olmak üzere birçok alana uygulanabilir (Şahiner, 2013).

Kökenleri antik Yunan düşünce tarzından gelen geleneksel küme üyeliği düşünceleri, bulanık mantıkla çelişmektedir. Aristoteles ve kendisinden önce gelen diğer filozofların bir girişiminde, kısa bir mantık teorisi ve düşünce yasaları olarak adlandırılmıştır. Parmenides bu yasanın orijinal yorumunu önermiştir (yaklaşık MÖ 400), ancak Herakleitos ve Platon gibi filozoflar yasaya karşı çıkmışlardır. Herakleitos, şeylerin ya doğru olabileceğini ya da doğru olmadığını öne sürmüştür. Şimdi bulanık mantık olarak adlandırılan çerçeve Plato tarafından kurulmuştur. Hegel, Marx ve Engels gibi diğer yeni filozoflar buna itiraz etseler de, bulanık mantık bir Boolean mantığın uzantısını oluşturmaktadır. Bulanık kümelerin matematiksel teorisine dayanmaktadır (Günal, 1997).

Bulanık mantık, bilginin insan beyninde nasıl işlendiğini açıklamak için kullanılabilir. Sıfır ve birin uç noktaları arasındaki değişkenler olasılık kavramına daha yakındır, bu da olasılık bilimi ile bulanık mantık arasında büyük bir korelasyon olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte, bulanık mantık gerçeğin yoğunluğunu ifade ederken, olasılık olasılığı ifade eder. Lotfi Zadeh, 1960'larda California Üniversitesi için çalışırken geliştirdiği bulanık mantığın formülasyonu ile tanınır. Zadeh'in araştırması, sıfırlar ve birler olarak tanımlanamayan çok sayıda öznitelik derecesi gibi bilgisayarların insan dilini anlamasını sağlayan yöntemleri uygulamaya odaklanmıştır (Aydın, 2004).

Bulanık mantık sistemleri, girdi ve çıktı değişkenlerinin belirsizliğini, bunları dilsel terimlerle (örneğin, küçük, orta ve büyük) ifade edilebilen bulanık sayılar (ve bulanık kümeler) ile tanımlayarak doğrudan ele alır. Bulanık mantık stratejilerini uygulamada kritik bir adım, karar vericinin modelleme tercihlerini göstermek için uygun olan bir değişkenin üyelik fonksiyonu değerlendirmesidir. Genel bulanık mantık yapısı üç işleme aşamasından oluşur: bulanıklaştırma , kural çıkarımları ve durulaştırma. Ayrıca tasarlanan kuralların bir kenara bırakıldığı bir kural tablosuna sahiptir.

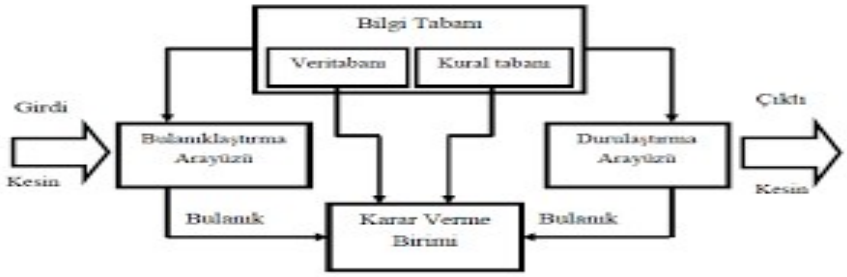
Bulanık mantıktaki uygulamalarının çoğunda merkezi bir rol oynayan diğer bir temel kavram, bulanık eğer-o zaman kuralı veya basitçe bulanık kuraldır. Kural tabanlı sistemlerin yapay zekada (AI) uzun süredir kullanılmasına rağmen, bu tür sistemlerdeki eksiklikler genellikle bulanık sonuçlar ve öncüllerle başa çıkmak için bir mekanizmanın bulunmamasıdır. Bulanık mantıkta bu mekanizma, bulanık kural hesaplaması ile sağlanmaktadır. Bulanık kurallar hesabı, Bulanık Bağımlılık ve Komut Dili olarak adlandırılabilecek olanın temeli olarak hizmet eder. Bulanık Bağımlılık ve Komut Dili araç kutusunda açıkça kullanılmamasına rağmen, etkin bir şekilde temel bileşenlerinden biridir. Bulanık mantık uygulamalarının çoğunda, bir bulanık mantık çözümü, gerçekte, bir insan çözümünün Bulanık Bağımlılık ve Komut Diline çevirisidir (Sahiner ve diğ., 2015).

Zadeh tarafından tanımlandığı şekliyle bulanıklık, doğası gereği istatistiksel değildir. Bulanık bir kümedeki üyelik, genellikle grafiksel olarak temsil edilir. Üyelik işlevleri, belirli uygulamaya bağlı olan hem teorik hem de deneysel yöntemlerle belirlenir ve sinir ağları veya genetik algoritmalar gibi öğrenme ve optimizasyon tekniklerinin kullanımını içerebilir (Şahiner ve diğ, 2016).

Bulanık mantık, muhakemedeki belirsizlikle ilgilenen bulanık küme teorisinin bir uygulama alanıdır. Bulanık tasarım içinde kendi kullanımında, ilkelerini ve kullanımıyla ilgili içerik geliştirme tasarımlarını formüle eder. Bulanık mantık , küme özellikleri değerlerinin (dahil olarak) 0 1 "hafif olarak", "oldukça" ve "çok" gibi kesin olmayan görünümün izin verir. Spesifik olarak, bir kümeye üyeliğe izin verir. Bulanık mantık, genellikle Boolean Mantığından çok doğruluk derecelerine dayanan bir hesaplama yöntemi olmaktadır. Boolean mantığında, nesneleri tanımlamak için iki kategori (0 ve 1) kullanılmaktadır. Bulanık mantık sistemi, belirli bir çıktı üretmek için girdinin doğruluk derecesini ve dilsel değişkenleri kullanır. Bu girdinin durumu, çıktının doğasını belirlemektedir. Bulanık mantık uygulamalarında, kuralların ve gerçeklerin ifadesini kolaylaştırmak için genellikle sayısal olmayan değerler kullanılmaktadır. Yaş gibi bir dilsel değişken, genç ve onun zıt anlamlısı yaşlı gibi değerleri kabul edebilir. Aristoteles mantığının siyah beyaz ikilemine karşı bulanık mantık teorisi, Zadeh'in çeşitli derecelerde grinin varlığının bilimsel ifadesidir (Şen 2009; Şahiner, 2013; Sahiner ve diğ, 2014; Şahiner ve diğ, 2015).

Bulanık mantığın genel özellikleri şu şekilde ifade edilmiştir;

- Bulanık mantık kavramsal olarak anlaşılması kolaydır.
- Bulanık mantık esnektir.
- Bulanık mantık, keyfi karmaşıklığın doğrusal olmayan işlevlerini modelleyebilir.
- Herhangi bir girdi-çıktı verisi kümesini eşleştirmek için bulanık bir sistem oluşturabilirsiniz. Bu süreç, Fuzzy Logic Toolbox yazılımında bulunan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) gibi uyarlanabilir tekniklerle özellikle kolaylaştırılmıştır.
- Bulanık mantık, uzmanların deneyimi üzerine inşa edilebilir. Eğitim verilerini alan ve opak, aşılmaz modeller oluşturan sinir ağlarının doğrudan aksine, bulanık mantık, sisteminizi zaten anlayan kişilerin deneyimine güvenmenizi sağlar.
- Bulanık mantık, uzmanların tam rehberliği ile oluşturulmalıdır.
- Bulanık mantık, geleneksel kontrol teknikleri ile karıştırılabilir (Işıklı, 2010; Ivan, 2017; Karakış, 2018) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Bulanık Mantık mimarisi (Çobanoğlu ve diğ. 2000)

Teori günümüzde insan yeteneklerinin taklit edilmesi, bilişsel psikoloji, düşünce-davranış modelleri, risk alma, planlama optimizasyonu ve sigorta sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

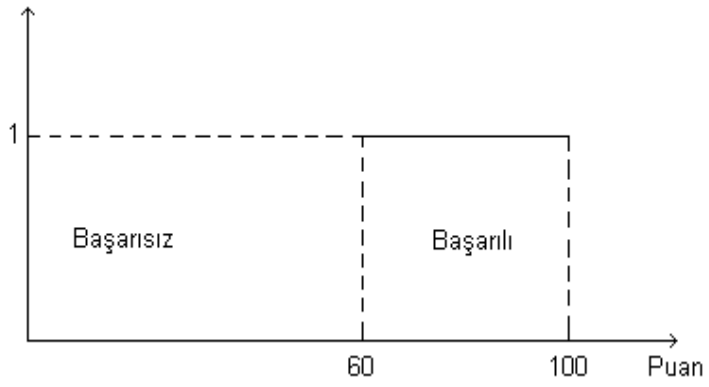
2.1.1 Klasik Küme

Klasik küme, farklı nesnelerin sırasız bir koleksiyonudur. Küme teorisi, bir Alman matematikçi olan Georg Cantor (1845-1918) tarafından önerildi. Küme teorisinde küme ve eleman ilkeldir. Klasik küme, genel evreni üyeler ve üye olmayanlar olarak iki gruptan ayrılacak şekildedir. Bulanık kümeler, klasik kümelerin bir uzantısı ve aşırı basitleştirilmesi şekli olarak görülebilir. En iyi küme üyeliği amacı bulunmaktadır. Genel olarak kısmi üyeliğe izin vermekte, bu durum kümede değişen derecelerde üyeliklere sahip elemanların bulunduğu anlamına gelmektedir. Klasik küme, üyeliğin kesin özelliklerini karşılayan öğeleri kapsarken, bulanık küme net olamayan üyelik özelliklerini karşılayan öğeleri içermektedir. Elemanların sırası değiştirilirse veya bir kümenin herhangi bir elemanı tekrarlanırsa, kümede herhangi bir değişiklik yapmaz (Yüksel, 2011).

Bir x elemanı herhangi bir S kümesinin üyesiyse, $x \in S$ ile gösterilir ve bir y elemanı S kümesinin üyesi değilse, $y \notin S$ ile gösterilir. $|S||S|$ ile gösterilen bir S kümesinin kardinalitesi, kümenin eleman sayısıdır. Sayı aynı zamanda kardinal sayı olarak da adlandırılır. Bir kümenin sonsuz sayıda elemanı varsa, kardinalitesi $\infty\infty$'dir. X ve Y olmak üzere iki küme varsa, $|X| = |Y|$ aynı kardinaliteye sahip iki X ve Y kümesini belirtir. X'deki eleman sayısı, Y'deki eleman sayısına tam olarak eşit olduğunda oluşur. Bu durumda, X'ten Y'ye bir 'f' bijective fonksiyonu vardır. $|X| \leq |Y|$ X kümesinin kardinalitesinin, Y'nin kardinalitesinden küçük veya ona eşit olduğunu belirtir. X'teki eleman sayısı Y'den az veya ona eşit olduğunda oluşur. Burada, X'ten Y'ye bir 'f' injektif fonksiyonu vardır. $|X| < |E|$ X kümesinin kardinalitesinin Y kümesinin

kardinalitesinden küçük olduğunu belirtir. X'teki eleman sayısı Y'ninkinden az olduğunda oluşur. Burada, X'ten Y'ye 'f' fonksiyonu, injektif fonksiyondur, fakat bijective değildir. Eğer $|X| \leq |Y|$ ve $|X| \leq |Y|$ sonra $|X| = |Y|$. X ve Y kümeleri genellikle eşdeğer kümeler olarak adlandırılır (Gottwald, 2014).

Klasik küme teorisine göre, bir eleman o kümeye ya aittir yada ait olmamaktadır. Ait olduğu elemanına 1 veya 0 değerini atayarak, o elemanın kendisiyle olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Şekil 2.2'deki grafikte görüldüğü gibi 60 puan alan öğrenci başarılı sayılırken, ikili mantığa ve klasik kümelere göre 59.5 puan alan öğrenci başarısız duruma düşmektedir (Özkan, 2014).



Şekil 2.2: Klasik Küme Teorisi

2.1.2 Bulanık Küme

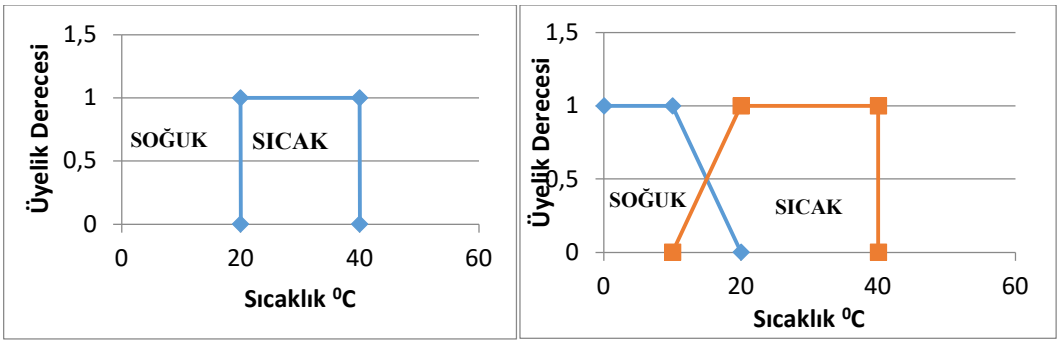
Bulanık kümeler, küme elemanlarının kısmi üyeliklerine izin veren ve bu yönleriyle keskin kümelerden ayrılan küme yapılarıdır. Bulanık küme teorisi klasik küme teorisinin aksine, bizlere gerçek yaşamda oluşan belirsizlikleri ölçmek için güçlü ve anlamlı araçlar sunarken, aynı zamanda belirsiz kavramların doğal dilde anlamlı bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. 1965 yılından bu yana, bulanık küme teorisi, Zadeh ve diğer birçok araştırmacı tarafından önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu teori çok çeşitli bilimsel ortamlarda uygulanmaya başlanmıştır. Bulanık küme teorisi üzerine matematiksel olarak Negoita ve Ralescu (1975) tarafından yazılan birçok kitap bulunmaktadır. Gupta ve diğerleri tarafından düzenlenen iki araştırma koleksiyonu da vardır (Çelikyılmaz ve Türkşen, 2009).

Bulanık kümeler arasında, işaretlerleri 1 ile 0 olan bir kümedir. Bulanık kümeler, yaklaşık karakter (~) ile temsil edilir. Bir bulanık küme, evrensel U kümesinden [0,1]

aralığına bir eşleme olan bir üyelik fonksiyonu cinsinden tanımlanır. Karakteristik bir fonksiyon, üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur ve düzenli bir küme (diğer adıyla kesin küme), bir bulanık kümenin özel bir durumudur. Bu nedenle bulanık küme kavramı, standart küme teorisi kavramının doğal bir genellemesidir. Standart küme teorisinin standart işlemlerinin olup olmadığı kanıtlanmamıştır; yani, birleşim, kesişim ve tamamlama, bulanık küme teorisinde uygun analoglara sahiptir (Güneş ve İncekırık, 2015).

Bir üyelik fonksiyonu, evrensel bir U kümesinden [0,1] aralığına bir fonksiyondur. Bir bulanık küme A, üyelik fonksiyonu φ A bölü U ile tanımlanır. Birleşim, kesişim ve tümleme işlemleri, karakteristik fonksiyon açısından standart kümeler için olduğu gibi tanımlanır. Küme dahil etme ve küme eşitliği, bulanık kümeler için doğal bir tanıma sahiptir; yani, A ⊂ B ancak ve ancak ∀x (tüm x için) φ A (x)≤φ B (x) ise olmaktadır. Bulanık küme birleşimi ve kesişiminin birleştirilebilirliği ve değişebilirliği, maksimum ve minimum fonksiyonların tanımından ve birleştirilebilirlik ve değişebilirliğinden gelmektedir. Bulanık küme teorisi ile düzenli küme teorisi arasındaki diğer bir fark, bir kümenin tümleyeni ile birleşimi ile ilgilidir. Düzenli küme teorisinde, bir kümenin tümleyeniyle birleşimi evrensel kümeyi verir (Şen, 2004).

Bir bulanık küme elemanı benzer veya farklı üyelik dereceleri ile aynı anda iki kümeye de aitliği olabilmektedir (Şekil 2.3). Klasik küme anlayışında olduğu gibi bulanık kümelerde ya hep ya hiç anlayışı geçerli değildir. Bulanık mantıkta kümenin sınırları ve elemanların nitelikleri belirli olmadığından bulanık küme kavramının gerçek hayatın ruhuna daha yakın olduğu söylenebilir.



Şekil 2.3: Bulanık mantıkta üyelik derecesi

Bulanık küme teorisinin üyelikten üye olmamaya aşamalı geçişi ifade etme yeteneği bize belirsizliği ölçmek için güçlü ve anlamlı araçlar sağlar ve ayrıca bize doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir temsilini verir.

Bulanık kümenin yatay eksende yeralan reel sayıların her bir tanesi, düşey eksende 0 ile 1 arasında değişim gösteren üyelik derecelerine dönüştürülebilmektedir. Böylece yatay eksendeki bir gerçek sayı x ile gösterilirse bunun üyelik derecesi de $\mu_A(x)$ ile gösterilmektedir. $0 \leq \mu(x) \leq 1$ olduğu anlaşılmaktadır.

Bir klasik x kümesinin elemanları,

$$X = \{x1,x2,x3,\ldots..\} \tag{2.1}$$

olarak gösterilirken, elemanlar ve üyelik dereceleri kesikli ve sonlu bir fonksiyonla açıklandığı zaman bunun bulanık hali ;

$$X = \{ \mu(x_1)/x_1 + \mu(x_2)/x_2 + \ldots\ldots \} = \{\Sigma \mu(x_i)/x_i\} \tag{2.2}$$

olarak gösterilir. Bulanık kümenin sürekli ve sonsuz bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda ise;

$$X = \{\int \mu(x)/x\} \tag{2.3}$$

olur.

Her iki gösterimde de yatay çizgi sınır çizgisi olup bölme çizgisi değildir. Artı işareti ayrıca toplama işlemini değil küme elemanlarının toplanmasını temsil eder. İntegral ve toplama sembolü de topluluğu temsil eder.

Bulanık Tümleme Fonksiyonu: A'nın tümleyeni $\bar{A}$ ile gösterilir ve X'in A'ya ait olmayan tüm öğelerinden oluşur.

*c(0) = 1 ve c(1)=0 ; sınır koşulları

*$\forall a,b \in [0,1]$ için, eğer a<b iken c(a)>c(b) ise, c monoton artmayandır.

Burada x, y $\in$X için a = μA(x) ve b = μA(y) 'dir.

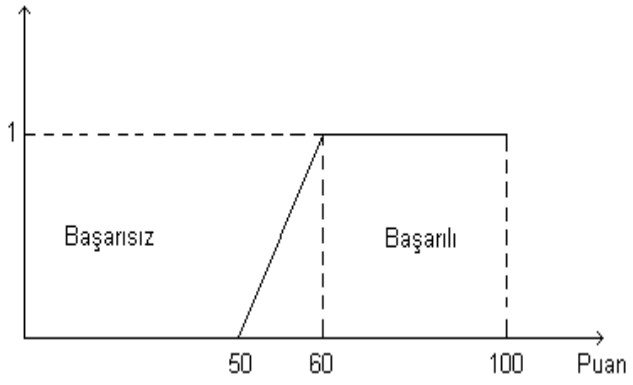
Bulanık Birleşim Fonksiyonu: Bu fonksiyon, A ve B bulanık kümelerinin birleşiminden oluşan bulanık kümeye evrensel kümenin elemanlarının üyelik derecelerini verir. A veya B'ye veya her ikisine birden ait olan elemanların aynı anda oluşturduğu kümedir. A $\cup$ B ile gösterilir.

$$\mu AUB\ (x) = \max\ [\mu A(x), \mu B(x)] \tag{2.4}$$

Bulanık Kesişim Fonksiyonu : Bu fonksiyon, A ∩ B ile gösterilir ve X'in A ve B'ye ait olan elemanlarının aynı anda oluşturduğu küme olarak tanımlanır. x elemanının üyelik derecesi A ve B kümelerinden daha küçük olanın derecesidir.

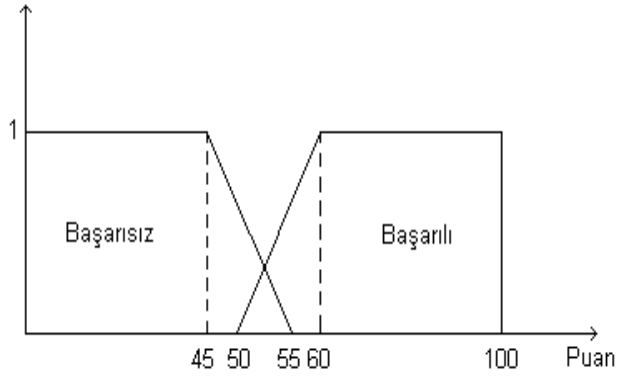
$$\mu A \cap B(x) = \min [\mu A(x), \mu B(x)] \quad (2.5)$$

Bulanık kümeler, yetersiz tanımlanmış nesneler kümesidir. Bu gibi toplulukların tanımlanmış sınırları vardır. Bunun gibi bilgi yetersizlikleri matematiksel modellemeyi daha güçlü yapmakta ve hatta imkansız bir hal almasına neden olmaktadır. Günümüzde gerçek hayatta görülen bazı nesne kümeleri, açıkça tanımlanmış üyelik kriterlerine sahip olmamaktadırlar. Örneğin; bir hayvanlar kümesinin köpek, at, kuşlardan oluştuğu ve bu kümeye taş, sıvı, bitkinin dâhil olmadığı rahatça söylenebilir. Fakat denizyıldızı, bakteri gibi statülerinin ne olduğu çok açık olmayan gruplar da vardır. Benzer bir belirsizlik "1'den büyük reel sayıların topluluğu", "güzel kadınların oluşturduğu topluluk", "uzun boylu erkeklerin oluşturduğu topluluk" gibi tanımlamalarda ortaya çıkar çünkü bunlar matematiksel anlamda küme veya sınıf oluşturamazlar (Jian ve diğ. 2009). Gerçek yaşamda kesin olarak tanımlanmayan topluluklar veya kümeler, insan düşünüşünde önemli rol oynar (Yıldız ve Kişoğlu, 2011) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Bulanık Küme Teorisi

Bir adım daha ilerleyerek Şekil 2.5'de elde edildiğinde,



Şekil 2.5: Bulanık Kümede Örtüşüm

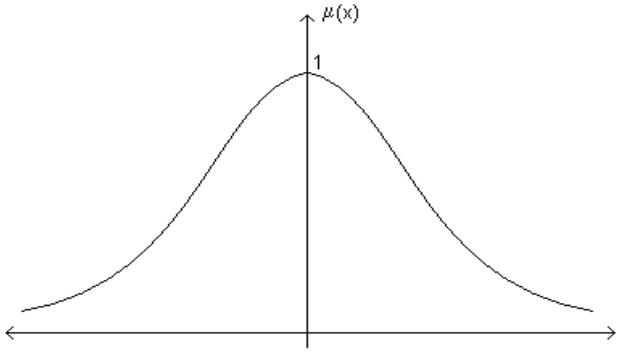
Şekil 2.5'de görüldüğü üzere; 0'dan 45'e kadar olan puan başarısız kabul edilir ve bu bölge başarısız bulanık kümeye tam üye olduğunu göstermektedir (üyelik derecesi 1'dir). 45 ile 55 puan arasında başarısız bir bulanık küme derece üyeliği vardır. Bulanık kümelerin birbirini kesmesi durumu olan 50 ile 55 puan arasında örtüşme gözlenmektedir. Bu bölge hem başarılı hem de başarısız olarak değerlendirilebilir. Bu bölgedeki üyelik derecesi yaklaşık 0,3'tür. X evrensel kümesinde ifade edilen bulanık küme A için, üyelik fonksiyonu μA şu şekilde elde edilir (Zadeh, 1975).

$$\mu_A = X \rightarrow [0,1] \tag{2.6}$$

μ_A üyelik fonksiyonu [0,1] kapalı aralığında gerçek bir sayıyı göstermektedir. Örnek olarak gerçek sayılar kümesinde üyelik fonksiyonu $\boldsymbol{\mu_A(x)}$ aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanabilir:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1+10x^2} \tag{2.7}$$

bu fonksiyonun grafiği Şekil 2.6'de görülmektedir (Klir ve Folger, 1988).



Şekil 2.6: Örnek Üyelik Fonksiyonu Grafiği

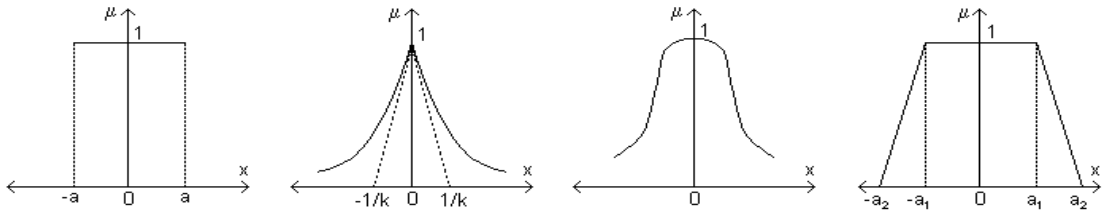
2.1.3 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu, her bir değişkenin alt kümelerinin (veya sınıflarının) her biri için tanımlanır. Klasik kümelerde elemanların kümeye üyelikleri kesindir ve bu üyelik üzerinde herhangi bir belirsizlik taşımaz. Örneğin R, reel sayıları ifade etmek üzere, 1'den 3'e kadar olan sayıları bir küme altında toplamak istersek, kümeyi; $A = \{x \in R \mid 1 \leq x \leq 3\}$ olarak ifade ederiz. F kümesini ise 2 sayısına yakın değerler olarak tanımlarsak, oluşacak küme bulanık küme özelliğini taşıyacaktır. 'Yakın' ifadesi F kümesine bulanık küme özelliğini verir (Üstüntaş ve diğ, 2006).

Üyelik derecesi tanım olarak, küme elemanlarının üyelik fonksiyonunda alacağı değerler olarak ifade edilmektedir. Bu tanımdan yola çıkılarak, bulanık bir kümenin sahip olacağı üyelik fonksiyonunun değer kümesi [0,1] aralığıdır (Thiagarajah ve diğ., 2007).

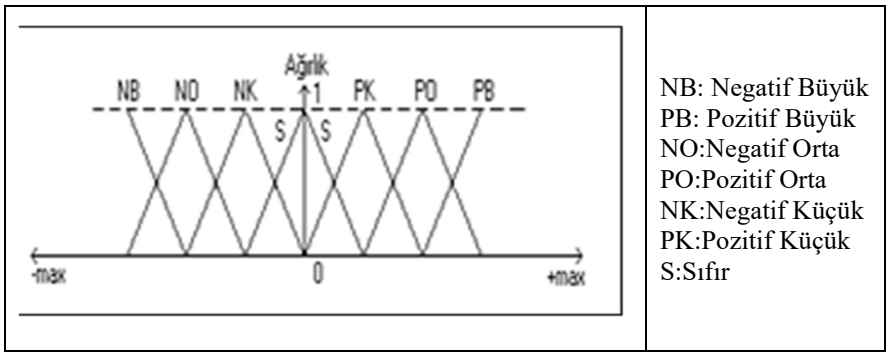
Bulanık bir değişkene üyelik fonksiyonu atama süreci, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak yapılabilir. Kullanıcı tarafından belirlenen üyelik fonksiyonları kullanıcının tecrübesine, kültürüne, bakış açısına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir.

Genelde Şekil 2.7'de gösterildiği üzere, üyelik fonksiyonları üçgen, çan veya yamuk şeklinde olabildiği gibi çok değişik fonksiyonlar da olabilir (Kıray, 1997).



Şekil 2.7: Örnek Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Derecelerinin Tespiti

Üyelik fonksiyonlarında kullanılacak etiket (üyelik fonksiyonlarındaki değişkenlere verilen isim örneğin NB:Negatif Büyük) sayısı kullanıcıya bağlıdır. Fakat en yaygın kullanılanı yedi ayrı etiket olup Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonu ve Etiketi

Üyelik fonksiyonlarının bulanık kümeler teorisinin esasını teşkil etmesi sebebiyle, uygulamayla örtüşen üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi çok önemlidir. Çünkü üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra, bulanık küme teorisinde bulanıklık kalmamaktadır.

Bulanık kümelerin gösteriminde kullanılan yöntem, daha önce de değindiğimiz gibi karakteristik fonksiyon yönteminden türetilmiş olan ve onun gibi A (x) ile gösterilen üyelik fonksiyonu yöntemidir. Klasik kümeler, üyeleri "1" ya da "0" üyelik derecesine sahip bulanık kümeler olarak değerlendirilebildiğine göre, (klasik ya da puslu) bütün kümeler için ilgili yöntem üyelik fonksiyonu yöntemi olarak ifade edilebilir. Klasik bir küme için A(x) üyelik fonksiyonu, X konuşma evreni içerisindeki bir x elemanı için xÎA olduğunda 1; xÎA olduğunda 0 değerini alır. Bu ilişki A:X®{0,1} şeklinde gösterilebilecek bir eşlemedir (mapping). Ancak bulanık kümeler için ilgili eşleme klasikbir kümenin fonksiyon alanının (range) {0, 1} ikili çiftinden [0, 1] birim aralığına genişletilmesi suretiyle A:X®[0,1] ya da A:X®[0,1] şeklinde gösterilmektedir. Bu eşleme, her x için A(x) gibi bir bulanık küme üyelik fonksiyonunun, x'in A kümesinin bir üyesi oluşuna ilişkin ([0, 1] birim aralığında) bir "derece" (grade) belirttiğini vurgular.

Üyelik fonksiyonları grafikle gösterilirler. Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları sadece " dikdörtgen biçimli" (rectangular) olmaktayken bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları, üyelik derecelerinin dağılımına bağlı olarak "üçgen içimli"(triangular), "yamuk biçimli" (trapezoidal) ya da "çan eğrisi biçimli" (bell-shaped) olabilmektedir. Pratik uygulamalarda en fazla kullanılanlar üçgen biçimli olanlardır.

Herhangi bir küme, üyelik fonksiyonu cinsinden ifade edilebileceği gibi, liste yöntemine benzer şekilde, elemanlarının üyelik dereceleriyle birlikte gösterilmesi suretiyle de ifade edilebilir. X'in {x1, x2, x3, x4}'e ve klasik bir küme olan A'nın {x1,

x4}'e eşit olduğu varsayılırsa, bu küme A={1/x1, 0/x2, 0/x3, 1/x4} şeklinde gösterilebilir. X={x1, x2, x3} iken B={0.5/x1, 1/x2, 0/x3} gibi bir ifadenin ise X üzerindeki bir B bulanık kümesini gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu kümelerin gösterimlerdeki a/x biçimindeki ifadeler, her iki tür kümede de x elemanının ilgili küme içerisindeki durumunu belirtir. a'daki değer A gibi klasik kümelerde x'in o küme içerisinde bulunup bulunmadığını ifade ederken; B gibi bulanık kümelerde x'in o küme içerisinde bulunma yani üyelik derecesini belirtmektedir. Böyle bir gösterimde en büyük üyelik derecesi, ilişkili olduğu üyeyi B bulanık kümesinin en kuvvetli üyesi yapmaktadır. Bazı durumlarda sıfır üyelik derecesine sahip terimler dikkate alınmaz. Buna göre yukarıdaki gösterim B={0.5/x1, 1/x2}şeklinde de olabilir. Bir bulanık sayı da üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

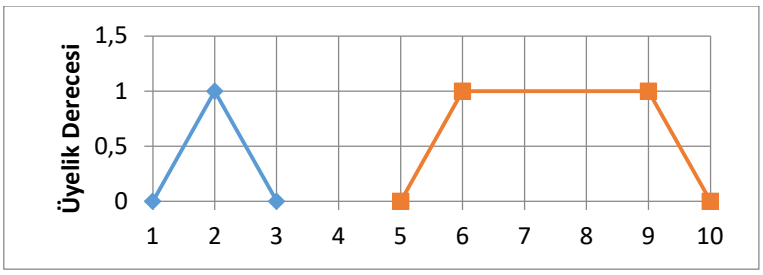
Üçgen üyelik fonksiyonu; a alt sınır, b üst sınır ve $a < m < b$ olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$\mu(x;a,b,m)\begin{cases}0, x \le a\\ \frac{x-a}{m-a}, a < x \le m\\ \frac{b-x}{b-m}, m < x \le b\\ 0, x > b.\end{cases} \tag{2.8}$$

***Yamuk üyelik fonksiyonu*;** a alt sınır, d üst sınır ve $a < b < c < d$ olmak üzere b ve c aradaki değerler ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

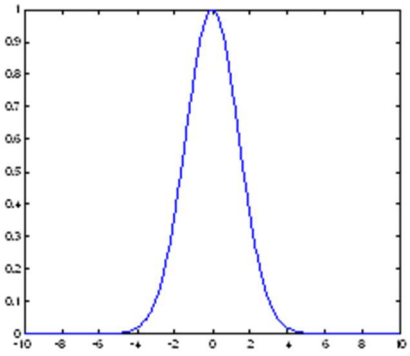
$$\mu(x;a,b,m)\begin{cases}0, x < a\\ \frac{x-a}{b-a}, a \le x \le b\\ 1, b \le x \le c\\ \frac{d-x}{d-c}, c \le x \le d\\ 0, x > d.\end{cases} \tag{2.9}$$

En çok ve en genel kullanılan bulanık sayılar (üyelik fonksyonları) üçgen ve yamuk üyelik fonksyonlarıdır (Şekil 2.9).



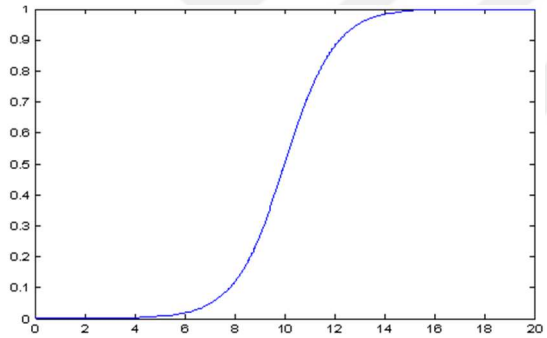
Şekil 2.9: Üçgen ve Yamuk Üyelik Fonksiyonları

Gauss Üyelik Fonksiyonları; Gauss üyelik fonksiyonu, Gauss eğrisinin iki eşit kısma ayrılarak arasına üyelik dereceleri 1 olan birden fazla elemanın (bir aralığın) gelmesi ile elde edilen bir fonksiyondur (Şekil 2.10).

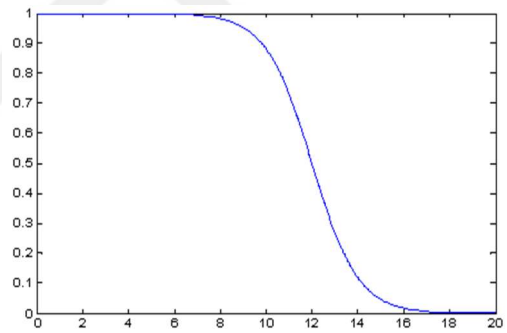


Şekil 2.10: Standart Gauss Eğrisi

S ve Z şeklindeki sigmoid fonksiyonları; Pozitif değerleri S tipi, negatifler ise Z tipi eğri oluşturur (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12).



Şekil 2.11: S tipi sigmoid fonk. Grafiği



Şekil 2.12: Z tipi sigmoid fonk. Grafiği

2.2. Bulanık Mantık Kontrol Sistemleri (Fuzzy Logic Control)

Bulanık mantık kontrolü, doğrusal olmayan denetleyicilerin tasarımına insan düşüncesinin bilgisini ve temel unsurlarını kolayca yerleştiren sezgisel bir yaklaşımdır. Geleneksel kontrol teorisi tarafından ele alınamayan nitel ve sezgisel değerlendirmeler, bulanık kontrol kavramları uygulanarak sistematik bir biçimde kontrol amaçları için kullanılabilir. Bulanık mantık kontrolü, doğru bir matematiksel modele ihtiyaç duymaz, kesin olmayan girdilerle çalışabilir, doğrusal olmamayı işleyebilir ve çoğu doğrusal olmayan kontrolörden daha büyük bozulma duyarsızlığı gösterebilirler. Bulanık mantık denetleyicileri, genellikle, iyi bir pratik bilginin mevcut olduğu karmaşık, doğrusal olmayan veya tanımsız sistemlerde diğer denetleyicilerden

daha iyi performans göstermektedir. Bulanık mantık, çeşitli kontrol uygulamalarında büyük başarı ile uygulanmaktadır. Kontrol sistemlerinde bulanık mantık kullanmanın bazı nedenleri şunlardır;

- Geleneksel kontrolü uygularken, model ve kesin terimlerle formüle edilen amaç fonksiyonu hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Bu, birçok durumda uygulamayı çok zorlaştırır.
- Kontrol için bulanık mantık uygulayarak, bir kontrolör tasarlamak için insan uzmanlığından ve deneyiminden yararlanalabilinir.
- Bulanık kontrol kuralları, temel olarak IF-THEN kuralları, bir kontrolör tasarımında en iyi şekilde kullanılabilir (Zadeh, 2002).

Bulanık mantık denetleyicisi tasarlarken, bulanık kurallar oluşturma süreci hayati bir rol oynar. Bulanık üretim kural sisteminin dört yapısı vardır (Weiss ve Donnel, 1979):

- Uzman karar vericinin politikalarını ve buluşsal stratejilerini temsil eden bir dizi kural.
- Fiili karardan hemen önce değerlendirilen bir dizi girdi verisi.
- Mevcut veriler olduğunda, önerilen herhangi bir eylemin ifade edilen kurallara uygunluğu açısından değerlendirilmesi için bir yöntem.
- Gelecek vaat eden eylemler oluşturmak ve daha iyilerini aramayı ne zaman durduracağını belirlemek için bir yöntem.

Bulanık mantık denetleyicisinde kullanılan tüm gerekli parametreler üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanır. Kurallar, yaklaşık akıl yürütme veya enterpolatif akıl yürütme gibi teknikler kullanılarak değerlendirilir. Bu dört bulanık kural yapısı, kontrol eylemini ölçülen durum veya çıktı değişkeni ile ilişkilendiren kontrol yüzeyinin elde edilmesine yardımcı olur. Kontrol yüzeyi daha sonra sınırlı sayıda noktaya kadar örneklenebilir ve bu bilgilere dayanarak bir arama tablosu oluşturulabilir (Yedamale, 2003; Ibrahim, 2004; Coskun ve Terzioğlu, 2009).

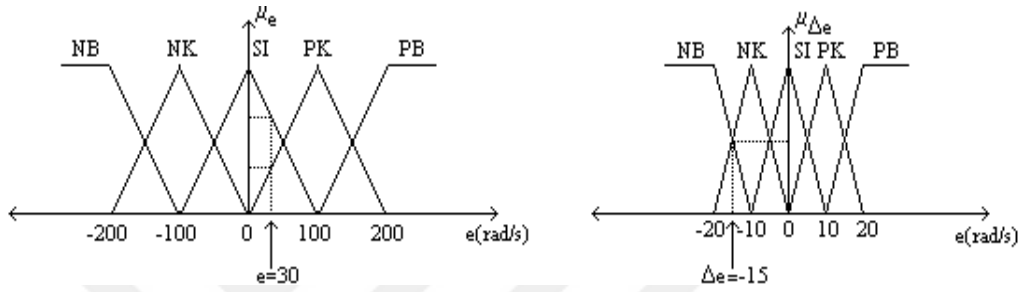
2.3 Bulanık DenetçininYapısı

2.3.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Kesin bir kümenin bulanık kümeye veya bulanık kümenin bulanık kümeye dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Temel olarak, bu işlem doğru net girdi değerlerini dilsel değişkenlere çevirir. Bulanıklaştırma, bilgi tabanındaki bilgilerin

kullanılmasıyla gerçekleştirilen kesin bir girdi değerini bulanık bir değere dönüştürme işlemidir. Literatürde çeşitli eğri türleri görülebilmesine rağmen, bulanıklaştırma işleminde en yaygın olarak Gauss, üçgen ve yamuk MF'ler kullanılır. Bulanıklaştırma, bulanık kümeler için uygun üyelik fonksiyonlarının seçilmesiyle başlar (Tuncer, 1999).

Örneğin, endüstriyel denetleyicilerin çoğunda olduğu gibi denetleyicilere uygulanan giriş değişkenlerinin hata **e(k)** ve hatadaki değişim **Δe(k)=e(k)-e(k-1)** olduğunu kabul edilmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: e ve **Δe** Giriş Üyelik Fonksiyonları

Bu şekillerde, örnek olarak, **e(k)**=30 ve **Δe(k)**=-15 değerleri için üyelik derecelerinin belirlenmesi de gösterilmiştir. Bu anlamda bulanıklaştırma modülü, kendine uygulanan her giriş değeri için bir üyelik derecesi hesaplayarak çıkarım mekanizmasına iletir.

2.3.2 Kural Tabanı Oluşturma (Rule Base)

Kural tabanında, otomatik eylemler gerçekleştirmek için kesintiler ve seçimler yapmak için önceden tanımlanmış kuralları kullanan mantıklı bir programdır. Kural tabanlı sistem, verileri depolamak, sıralamak ve işlemek için insan yapımı kuralları uygulayan bir sistemdir. Bunu yaparken, insan zekasını taklit eder. Kural tabanlı sistemlerin çalışması için bir dizi gerçek veya veri kaynağı ve bu verileri işlemek için bir dizi kural gerekir. Kural tabanlı sistemler, insanların bir bilgisayara bir dizi talimatı programlamasıyla başlar. Kural tabanlı sistemler, prensipte benzer kalırken, pratikte genellikle birbirinden farklıdır.

Her kural tabanlı sistem dört temel bileşen içerir. İlk olarak, sistem kural tabanı olarak da bilinen bir dizi kural içerir ve bilgisayar için bilgi alanı olarak hareket eder. İkincisi, anlamsal akıl yürütücü olarak da adlandırılan bir girişim motoru vardır. Bu bileşen,

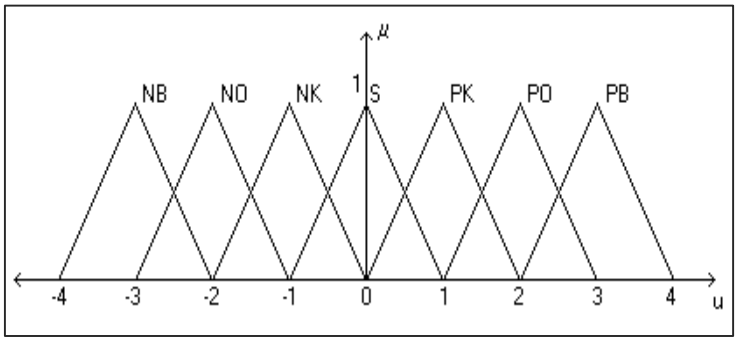
kuralların yorumlanmasından ve buna göre aksiyon alınmasından sorumludur. Müdahale motoru üç adımda çalışır: eşleştirme, çatışma çözme ve harekete geçme. Üçüncüsü, sistem, girişim motorunun bir üretim sistemi programını yürüttüğü geçici bir çalışma belleği içerir. Son olarak, kural tabanlı sistem, insanların giriş ve çıkış sinyallerinin alınma ve gönderilme yollarını eklemeye, çıkarmaya veya değiştirmeye devam etmesine izin veren bir kullanıcı arayüzü içerir (Young, 2001).

Bulanık kural tabanı, bulanık EĞER-İSE kurallarından oluşmaktadır. Bu kurallar bulanık sistemin temelini oluşturmaktadır. Kural, " EĞER x = A ve y = B ve … İSE z = C " şeklindedir (Tuncer, 1999). Çizelge 2.1 25 kuraldan oluşan bir kural tabanını göstermektedir.

Çizelge 2.1: Kural Tabanı Örneği

	Δe (hatadaki değişim)					
e (hata)	μ	NB	NK	S	PK	PB
	NB	NB	NB	NO	NK	S
	NK	NB	NO	NK	S	PK
	S	NO	NK	S	PK	PO
	PK	NK	S	PK	PO	PB
	PB	S	PK	PO	PB	PB

Giriş değişkenleri hata (**e**) ve hatadaki değişim (**Δe**) dir ki bunlar için tanımlanan üyelik fonksiyonları Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14: Çıkış Değişkeni için Üyelik Fonksiyonları

2.3.3 Bulanık Çıkarım Metodu (Fuzzy Inference Method)

"a⟹b" şeklindeki bir anlam ilişkisi, dilsel terimlerle, "EĞER, a doğru İSE b'de doğrudur" şeklinde yorumlanabilir. Elbette, bu hem klasik (iki değerli) hem de bulanık mantık için geçerlidir (Chen ve Pham, 2000). Çünkü klasik kümeler, bulanık kümelerin bir alt kümesidir.

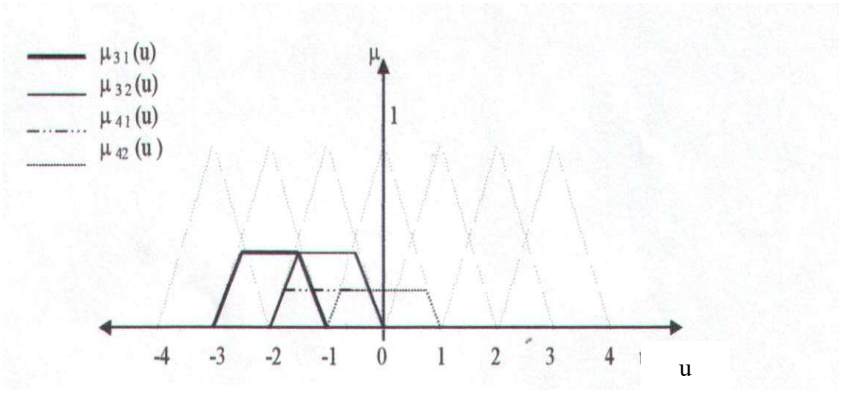
Bir bulanık çıkarım sistemi (BÇS) [Fuzzy Inference System (FIS)], “eğer ise” kurallarında belirtilen bilgiler üzerinde çalışır ve tanımlanmamış birçok sistemin ve veriye dayalı karar verme sürecinin davranışını tahmin etmek için uygulanabilir. BÇS'nin ana avantajı, bu yönteme başvurmak için ön koşul olan temel fiziksel süreçler hakkında derinlemesine bilgiler gerektirmemesidir (Ahamad ve diğ., 2017). En temel ifade ile bir bulanık çıkarım süreci, “eğer- ise” kurallarını, mantıksal bağlantı işlemlerini (örneğin “ve”, “veya”, “değil”) ve toplama operatörlerini (örn. “min”, “max”) kullanarak bulanık çıktı için bulanık değerleri birleştirmek olarak ifade edilebilir. Standart ikili mantık, üyelik değerlerinin her zaman 1(tamamen doğru) veya 0 (tamamen yanlış) olduğu, özel bir bulanık mantık alt kümesidir. BÇS ise standart mantıksal işlemler olarak, tutarlı mantıksal işlemleri içinde bulundurmak zorundadır. Klasik mantıkta, temel mantıksal işlemler "ve", "veya" ve "değil" şeklindedir. Standart mantıksal işlemden farklı olarak, bulanık mantıkta A ve B işlenenleri, aralığındaki üyelik değerleridir. Bulanık mantık işlemlerinde, mantıksal "ve", minimum fonksiyonu ile ifade edilir. Bu yüzden, "A ve B" ifadesi, min(A, B)’ye eşittir. Mantıksal "veya", maksimum fonksiyonu ile tanımlanır. Böylece "A veya B", max(A, B)’ye eşdeğer hale gelir. Son olarak, mantıksal "değil" işlemi, A’yı “1-A” olarak tanımlar (Wang, 2015).

Literatürde çeşitli BÇS türleri bulunmaktadır. Bazıları özel amaçlı olarak spesifik alanlarda kullanılabilirken, bazıları birçok sisteme entegre edilebilmektedir. Genel olarak, üç tip bulanık çıkarım sistemi önerilmektedir. Bunlar sırası ile Mamdani, Sugeno (Takagi-Sugeno-Kang-TSK) ve son olarak Tsukamoto-BÇS türleridir (Wang, 2015).

Çıkarım mekanizmasında, üç ana işlem mevcuttur.

i. Kuralların varsayım kısmındaki terimler arasındaki işlemlerdir. Terimler genellikle AND, OR veya NOT işlemleriyle bağlanmışlardır. Matematiksel çarpma işlemi **μA(x)*μB(x)** işlemi gerçekleştirir ve sonuç olarak her kural için bir “kuralın kesinlik derecesi” elde edilir.

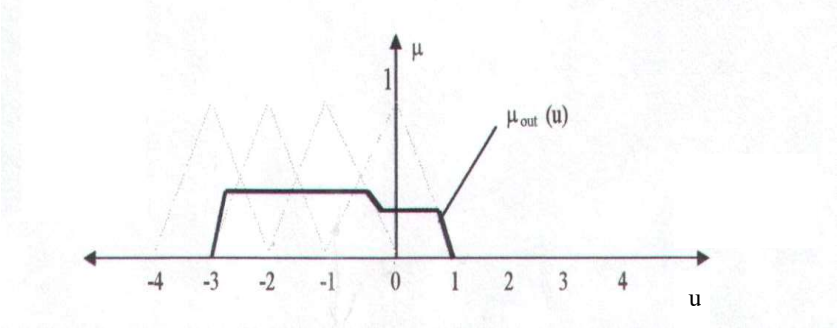
ii. Kuralın kesinlik derecesi ile, ilgili kuralın bulanık çıkış kümesi arasındaki IMA işlemidir. İma işleminden sonra kural tabanındaki her kural bir ima edilen bulanık çıkış kümesi oluşturulur (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: İma Edilen Bulanık Çıkış Kümesi Değişimi

iii. İma edilen bulanık çıkış kümelerini TOPARLAMA işlemidir (Şekil 2.16). Dolayısıyla bu tip durultucular için toparlama işlemi gerekmez. Dolayısıyla bu tip durultucular için toparlama işlemi gerekmez. AND, OR, IMA ve TOPARLAMA işlemleri için en sık kullanılan operatörler aşağıdaki gibidir.

VE (AND)	: min veya cebirsel çarpma
VEYA (OR)	: max VEYA'sı
İMA (IMA)	: min veya cebirsel çarpma
TOPARLAMA (Aggregation)	: max veya cebirsel toplam



Şekil 2.16: Toplama İşleminden Sonraki **μ-u** Grafiği

2.3.4 Durulaştırma (Defuzzification)

Durulaştırma, kümelenmiş bulanık kümenin çıktısından tek bir sayı elde etme işlemidir. Durulaştırma, bulanık kümeler ve karşılık gelen üyelik dereceleri verilen bulanık mantıkta ölçülebilir bir sonuç üretme sürecidir. Bulanık kontrol sistemlerinde genellikle gereklidir. Bunlar, bir dizi değişkeni bulanık bir sonuca dönüştüren bir dizi kurala sahip olacaktır, yani sonuç, bulanık kümelere üyelik açısından tanımlanır. Bulanık çıkarım sonuçlarını net bir çıktıya aktarmak için kullanılır. Diğer bir deyişle, durulaştırma, bulanık bir kümeye dayalı olarak en iyi kesin değeri seçen bir karar

verme algoritması ile gerçekleştirilir. Durulaştırma , verilen bulanık kümeler ve ilgili üyelik dereceleri ile kesin mantıkta ölçülebilir bir sonuç üretme sürecidir . Bulanık bir kümeyi net bir kümeye eşleyen süreçtir. Genellikle bulanık kontrol sistemlerinde gereklidir. Bu sistemler, bir dizi değişkeni bulanık bir sonuca dönüştüren bir dizi kurala sahip olmaktadırlar.

Bulanık girdi değerleri tüm kurallara tabi tutulduktan sonra her girdi için bir bulanık çıkarım değeri üretilir. Bu bulanık değerleri girdi değerleri gibi keskin değerlere dönüştürme işlemine "durulaştırma" denir. Birçok pratik uygulamada kontrol komutu mutlak değer olarak verilir. Bu nedenle, bulanık çıkarım sonucunun durulanması gerekir. Durulama, elde edilen bir bulanık kontrol aktivitesinde olasılık dağılımını en iyi gösteren bulanık olmayan bir kontrol verimi elde etme sürecidir (Elmas, 2003; Harris 2009).

Yaygın ve kullanışlı bir durulaştırma tekniği ağırlık merkezidir . İlk olarak, kuralların sonuçları bir şekilde birlikte eklenmelidir. En tipik bulanık küme üyelik fonksiyonu, bir üçgenin grafiğine sahiptir . Durulaştırmanın ilk adımı, tipik olarak, yamukları oluşturmak için grafik parçalarını kesmektir. En yaygın teknikte, tüm bu yamuklar birbiri üzerine bindirilerek tek bir geometrik şekil oluşturulur. Ardından, ağırlık merkezi adı verilen bu şeklin, bulanık ağırlık merkezi , hesaplanmaktadır. Merkezin x koordinatı, durulaştırılmış değerdir (Baykal ve Beyan, 2004).

2.3.4.1 Durulaştırma yöntemleri

***Maksimum Üyelik İlkesi*:** Bu yöntem aynı zamanda yükseklik yöntemi olarak da bilinir ve tepe çıkış işlevleriyle sınırlıdır.

Centroid Yöntemi: Bu yöntem aynı zamanda kütle merkezi, alan merkezi veya ağırlık merkezi olarak da bilinir. En yaygın olarak kullanılan durulaştırma yöntemidir.

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bu yöntem yalnızca simetrik çıktı üyelik fonksiyonları için geçerlidir. Her üyelik fonksiyonu, maksimum üyelik değeri ile ağırlıklandırılır.

Ortalama-Maksimum Üyelik: Bu yöntem aynı zamanda maksimumun ortası olarak da bilinir. Bu, maksimum üyelik konumlarının benzersiz olmaması dışında, maksimum üyelik yöntemiyle yakından ilgilidir.

Toplamların Merkezi: Bu yöntem, bunların birleşimi yerine tek tek bulanık alt kümelerin cebirsel toplamını kullanır. Buradaki hesaplamalar çok hızlıdır, ancak asıl dezavantaj, kesişen alanların iki kez eklenmesidir.

En Büyük Alanın Merkezi: Bu yöntem, örtüşmeyen en az iki dışbükey bulanık alt kümenin çıktısı olduğunda kullanılabilir. Bu durumda çıktı, bir üyelik fonksiyonunun bir tarafına doğru eğilimlidir. Çıktı bulanık st en az iki dışbükey bölgeye sahip olduğunda, durulaştırılmış z* değerini elde etmek için en büyük olan dışbükey bulanık alt bölgenin ağırlık merkezi kullanılır (Baykal ve Beyan, 2004).

2.4 Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık mantık kullanmanın en önemli avantajlarından birisi, mevcut sistemi dilsel niteleyicilerle açıklayabilmesidir. Sahip olunan karışık bir sistemde yalnızca kendi başımıza yönettiğimiz terimlerle anlatma imkanına sahibiz. Ayrıca, kontrol sisteminin aşırı hassas olması gerekmez. Bulanık mantık insanın düşünme biçimine uyduğundan, matematiksel problemlerin belirgin bir avantajıdır. Bulanık kontrolün en iyi uygulama alanları, doğrusal olmayan, yetersiz tanımlanmış, zamanla değişen sistemlerdir. Ancak sistem karmaşık hal aldıkça klasik veya modern kontrol teorilerini uygulamak zorlaşacak ve burada bulanık kontrole dönüş ekonomik bir alternatif olarak ortaya çıkacaktır (Deborah vd., 2015).

Bulanık mantık, daha küçük yazılımlarla daha hızlı sonuç alır. Bunun nedeni, bulanık mantıkta sinyallerin önceden işlenmesi ve geniş yayılımlı değerlere sahip az sayıda fonksiyona indirgenmesidir. Bulanık mantık kontrolünün bir başka avantajı, doğrudan kullanıcı girdilerinin kullanıcının deneyiminden faydalanmasına izin vermesidir. Bulanık mantığın avantajı, sınıflandırılmış bilgilerin mevcudiyetinde yatmaktadır. Bulanık mantık kontrol uygulamalarının diğer yöntemlere göre avantajları şu şekilde sıralanabilir (Sattarov 2015).

Bulanık Mantık Sisteminin Avantajları

- Bulanık Mantık sistemlerinin yapısı basit ve gerekçelendirilebilir
- Kesin bilgi kaynakları gerekmediği için genellikle güçlüdür
- Detaylı bir matematiksel model gerektirmezler.

- Sistem performansını iyileştirmek veya değiştirmek için kolayca değiştirilebilir
- Genel sistem maliyetini ve karmaşıklığını düşük tutmanıza yardımcı olan ucuz sensörler kullanılabilir
- Karmaşık sorunlara en etkili çözümü sağlar. Mantık sisteminde geri besleme sistemi başarısız olursa, kolayca yeniden programlanabilir.

Bulanık Mantık Sistemlerinin Dezavantajları

- Bulanık mantık sürekli olarak kesin değildir. Dolayısıyla sonuçlar şüphelere bağlı olarak görülür ve genel olarak kabul edilmeyebilir.
- Yapay zekayı tıpkı sinir sistemi tipi tasarımlar gibi algılayamaz.
- Bulanık bilgi tabanlı bir çerçevenin onaylanması ve doğrulanması, ekipmanla kapsamlı test gerektirir
- Büyük ölçüde hatalı girdiler üzerinde çalıştıkları için sistemin verimliliği yüksek değildir.
- Bir bulanık mantık denetleyicisi tamamen insan bilgisine ve uzmanlığına bağlıdır. Bu denetleyiciler, makine öğrenimini veya sinir ağlarını tanıyamaz.

Kontrol sistemlerinin en büyük sorunu, kontrol edilecek sistemin matematiksel modelinin her zaman oluşturulamaması veya bu model oluşturulsa dahi pratik uygulamaya dönüştürülmesinin zor olmasıdır. Bulanık mantık, klasik mantık gibi kontrol edilecek sistemin matematiksel bir modeline ihtiyaç duymadan dilsel değişkenler kullanarak daha basit bir kontrol ünitesi oluşturabilmektedir. Bulanık mantığın kontrol sistemleri açısından birçok avantajı olmasına rağmen, kontrol tasarımında uzman deneyiminden yararlanmak ve yüksek performans elde etmek için birçok deneme yanılma yöntemini kullanmak Bulanık Mantık açısından dezavantaj olarak görülmektedir. (Şahiner ve diğ. 2015).

3. HİDROLİK SİSTEMLER

3.1 Hidrolik Sistem Tanımı ve Özellikleri

Hidrolik kelimesi, Yunanca boru anlamına gelen aulos ile su anlamına gelen hydro kelimelerinin birleşmesiyle oluşturulmuştur. Hidrolik sistemler, günümüzde küçük montaj işlemlerinden entegre çelik ve kağıt fabrikası uygulamalarına kadar çok çeşitli uygulamalarda bulunabilir. (Çınar ve diğ. 2013). Günümüzde "hidrolik" akışkanlar aracılığıyla kuvvet ve hareketlerin iletimi ve kumandası anlamında kullanılmaktadır (İstif, 2003). Çeşitli uygulamalarla, hidrolik sistemler her türlü büyük ve küçük endüstriyel ortamlarda, ayrıca binalarda, inşaat ekipmanlarında ve araçlarda kullanılmaktadır. Hidrolik ayrıca çok esnek olabilir ve birçok farklı hidrolik sistem türü vardır. Akışkanları çok dar borulardan geçirebilir ve diğer ekipmanların etrafına sarabilirsiniz. Çeşitli boyutlara ve şekillere sahiptirler ve hatta birden fazla yola ayrılarak bir pistonun diğerlerine güç vermesine izin verebilirler. Araba frenleri genellikle buna bir örnektir. Hidrolik sistemler, birçok endüstriyel uygulamada önemli bir yere sahip olmaktadırlar. Hidrolik sistemin temel görevi motordan aldığı gücü işin gerekli olduğu yere iletmektir.

Hidrolik sistemler, birkaç temel bileşene sahiptir:

Tank: Hidrolik sistemler genellikle fazla sıvıyı tutmak ve mekanizmaya güç sağlamak için bir rezervuar kullanır. Karşılaştığı tüm sürtünmeden üretilen ısıyı serbest bırakmak için metal duvarlar kullanarak sıvıyı soğutmak önemlidir.

Akışkan: Hidrolik akışkanlar değişebilir, ancak bunlar tipik olarak petrol, mineral veya bitkisel bazlı yağlardır. Akışkanlar, uygulamalarına bağlı olarak farklı özelliklere sahip olabilir. Hidrolik sıvı, sistem içindeki pompalar, aktüatörler ve motorlar için bir yağlayıcı görevi görür.

Motor: Hidrolik sistemin çalışmasını sağlar. Hidrolik basıncın ve akışın torka (veya bir büküm kuvvetine) dönüştürülmesi motorun işlevidir. Hidrolik silindirler ve

hidrolik pompalarla birlikte, hidrolik motorlar bir hidrolik tahrik sisteminde birleştirilebilir.

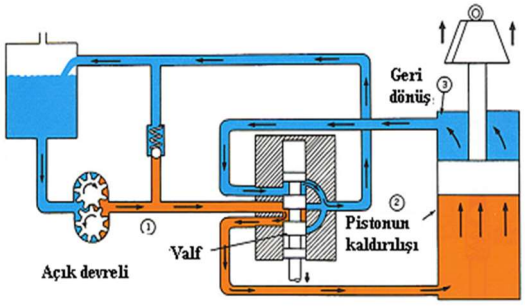
Silindir: Silindir, valflerden gelen akışkan vasıtasıyla silindir pistonunun hareketi gerçekleşir. Akışkan gücü mekanik güce çevrilir. Tek etkili ve çift etkili vb. Pek çok farklı yapıda silindir çeşidi bulunmaktadır.

Valf: Valfler, basınç, yön ve akış gibi işlevleri kontrol ederek sıvının sistem etrafında taşınmasına yardımcı olur.

Akümülatörler: Hidrolik akümülatör, hidrolik sıvının harici bir enerji kaynağı tarafından basınç altında tutulduğu bir basınç depolama deposudur. Harici kaynak bir yay veya sıkıştırılmış bir gaz olabilir. Bir akümülatör, bir hidrolik sistemin daha az güçlü bir pompa kullanarak aşırı taleplerle başa çıkmasını ve geçici bir talebe daha hızlı yanıt vermesini sağlar.

Pompa: Hidrolik sistemlerde basınçlı akışkanı üreten iş elemanı hidrolik pompalardır. Pompa, mekanik gücü hidrolik güce dönüştürürken, silindir hidrolik gücü mekanik güce dönüştürür.

Şekil 3.1 de hidrolik bir sistemin temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Açık devre sistemli hidrolik sistemin çalışması

Açık bir sistemde, pompa her zaman çalışır, yağı borularda basınç oluşturmadan hareket ettirir. Hem pompaya giriş hem de dönüş valfi bir hidrolik depoya bağlanmıştır. Bunlara, kontrol vanasının nötr durumdayken açık merkezi yolu nedeniyle "açık merkez" sistemleri de denir. Bu durumda hidrolik sıvısı hazneye geri döner. Pompadan gelen sıvı cihaza gider ve daha sonra rezervuara geri döner. Fazla sıvıyı rezervuara yönlendirmek için devrede bir tahliye vanası da olabilir. Filtreler genellikle sıvıyı temiz tutmak için yerindedir.

Açık sistemler, düşük basınçlı uygulamalar için daha iyi olma eğilimindedir. Ayrıca daha ucuz ve bakımı daha kolay olma eğilimindedirler. Dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, basınç valf ayarlarını aşarsa sistemde aşırı ısı oluşturabilmeleridir. İlave ısı için başka bir yer, içinden geçen sıvıyı soğutmak için yeterince büyük olması gereken haznedir. Açık sistemler ayrıca direksiyon veya kontrol gibi farklı sistemlere güç sağlamak için birden fazla pompa kullanabilir.

Kapalı bir sistem, dönüş valfini doğrudan hidrolik pompa girişine bağlar. Akışkanı sürekli bir döngüde hareket ettirmek için tek bir merkezi pompa kullanır. Bir valf ayrıca pompadaki yağı bloke eder, bunun yerine onu basınçlı kaldığı bir akümülatöre gönderir. Yağ basınç altında kalır ancak etkinleştirilmedikçe hareket etmez. Bir şarj pompası, düşük basınç tarafına soğuk, filtrelenmiş yağ sağlar. Bu adım, döngü içindeki basıncı korur. Kapalı bir sistem genellikle hidrostatik şanzımanlı mobil uygulamalarda kullanılır ve birden fazla sisteme güç sağlamak için bir pompa kullanır.

Bunlar daha küçük rezervuarlara sahip olabilir, çünkü sadece nispeten küçük olan doldurma pompası için yeterli sıvıya ihtiyaçları vardır. Açık bir sistem daha yüksek basınçlı uygulamaları işleyebilir. Kapalı sistem, açık bir sisteme göre biraz daha fazla esneklik sunar, ancak bu aynı zamanda biraz daha yüksek fiyat etiketi ve daha karmaşık onarım ile birlikte gelir. Kapalı sistemler daha küçük hidrolik hatlarda daha az akışkan ile çalışabilir ve vanalar akış yönünü tersine çevirmek için kullanılabilir.

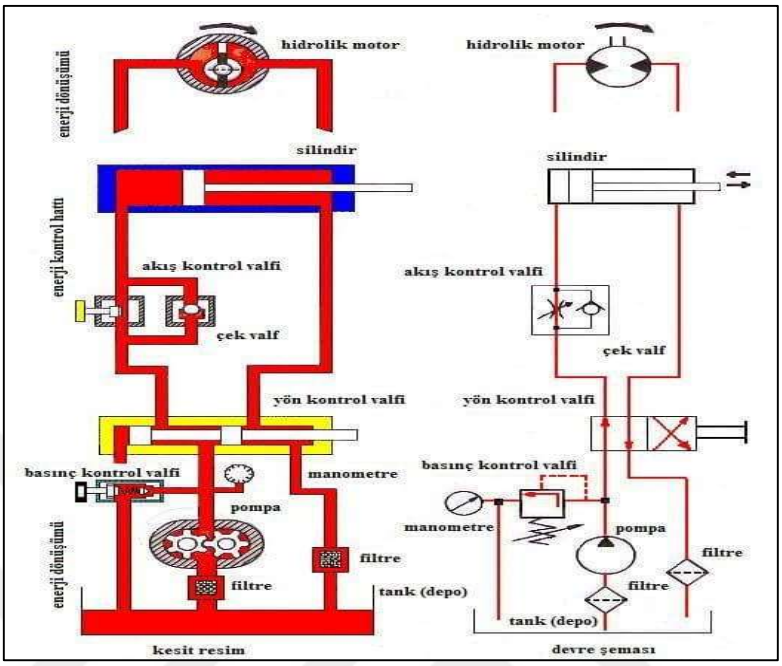
3.2. Hidrolik Sistemlerin Kullanım Alanları

Hidrolik sistemler, endüstriyel kullanımlarda büyük bir tercih nedeni olmuştur. Enjeksiyon makineleri, metal işleme presleri, montaj makineleri ve test makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde hidrolik sistemler yüksek güç gerektiren alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Özellikle pres sistemlerinde ve test makinelerinde aktif olarak kullanılmaktadırlar.

Test makineleri günümüzde üretimde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Bütün ürünlerin test edilmesi ve arge aşamasında denemelerle uygun ürünü oluşturmakta aktif olarak kullanılmaktadırlar. Hidrolik sistemler de test makinelerinin vazgeçilmez bir bölümünü oluşturmaktadırlar. Özelliklet test makinelerin de hidrolik sistemlerin deplasman/yük kontrollü sistemleri en çok kullanılan sistemler olmaktadır. Örneğin motor takoz test makinesi , koltuk test makinesi , rot kol test makinesi , amortisor test

makinesi gibi örnek verilebilir. Bu test makineleri yük kontrolü ve deplasman kontrolü olarak tasarlanmaktadır. Hidrolik sistemi bu kontrollerde sıkça kullanılmakta ve sinus sinyali olarak kontrol edilmektedirler.



Şekil 3.2: Hidrolik sistem (Çınar ve diğ. 2013)

Günümüzde hidrolik sistemlerde kontrol edilen elemanlar genellikle valfler (oransal ve servo) olmuşlardır. Bu sayede asıl kontrolü istenilen elemanları (silindir, hidrolik motor ve pompa) dolaylı olarak da olsa kontrol edilmiş olunur. Bu seçimin sebebi valflerin standartlara oturmuş olmaları ve elektrik sinyallerinin bu standartlara rahat gönderilmesi olarak gösterebiliriz. Servo valf yada oransal valf ile kontrollerin son zamanlarda yaygınlaştığı görülmektedir. Bu sistemlerden olması istenen en önemli durum doğru ve hassas konum ve kuvvet kontrolüdür. Bu durumu gerçeklestirmek için uygun kontrol stratejileri uygulamak gerekir.

Hidrolik sistemlerin en büyük avantajı yüksek kuvvetler elde edebilmektir. Fakat yüksek kuvvet için gerekli yüksek basınç sistemde güvenlik açığı oluşmasını sağlar ve bu bir dezavantajdır.Bağlantı bölgelerinde oluşan yağ kaçağı, sistemin patlaması sonucu yaralanma vb durumlardan ve kaçak yada sızıntı yapmış yağlardan oluşan kirlilik sistemin dezavantajlarındandır. Kullanım ömrünü tamamlamış yağın da atık olarak toplanması ve tekrardan işlenmesi de sıkıntılı bir süreçtir. Kirlenen yağ sayesinde hidrolik elemanların bozulması da söz konusudur.

Sıvıların ısınması fiziki yapıları nedeniyle gazlara oranla daha fazladır. Hidrolik sistemlerde devreden geçen sıvı çalıştıkça yüksek ısılara ulaşabilmektedir. Bu nedenle yağ kaçakları oluşmaktadır, sistemin çalışma verimliliği düşmektedir ve bunların yanı sıra devredeki elemanlar da arızalanmaktadır. Kullanılan akışkanın sıcaklıkla yapısının da (viskozite) değişmesi sistemin çalışmasında negatif etkisi vardır. Sıvıların sürtünme dirençleri fazla olduğu için sürtünmeler ısıya neden olur. Boru tesisatındaki kesitler, mesafeler ve akışkanın viskositesi basınç kaybına sistemin sağlıklı çalışmamasına neden olur.

Servo valf uygulamalarında, ürün seçebilmek için uygun dinamik davranış, sistemin kararlı olması, tepki hızı, oluşabilecek hata yüzdesi vb. Isterlerin öndecen belirlenmesi gerekmektedir. Sistemin dinamik davranışını ancak uygulama tasarımında başlanıp, uygulama esnasında da etkili olabilecek bir dinamik model ve elektronik ortamda yapılan simülasyon sayesinde oluşturmak mümkündür. Tasarım sürecinde karşılaşılacak en önemli sıkıntılardan bir tanesi hidrolik sistemde kullanılan malzemelerin dinamik modellerini oluşturmada gerekli olacak değerleri belirlenmesidir.

4. UYGULAMA

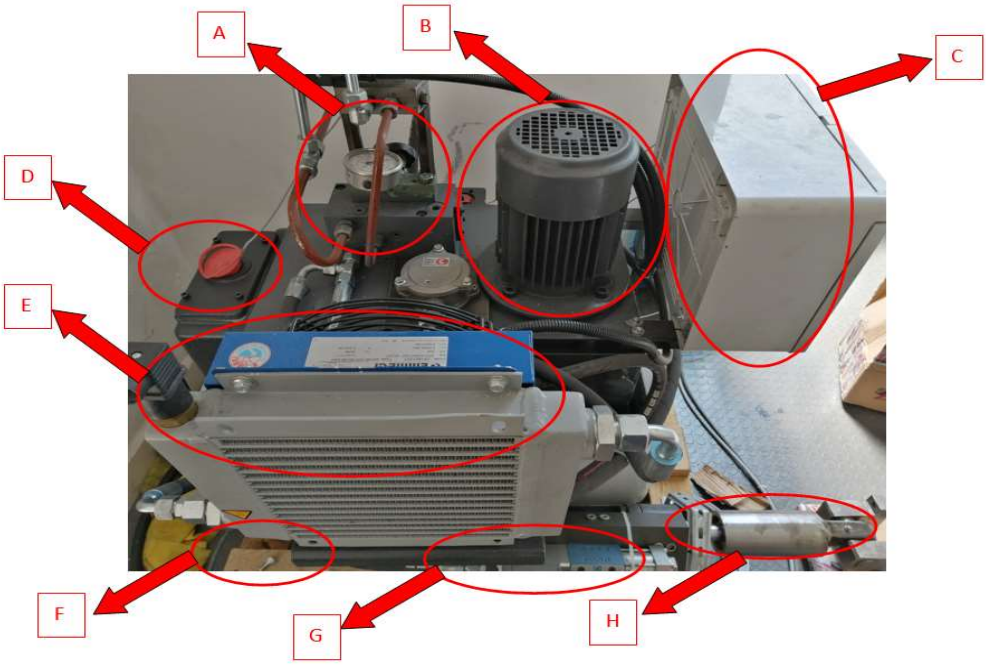
Herhangi bir sistemi denetleyebilmek için ya girdi-çıktı ilişkisinin kurulabileceği bir matematiksel modele ya da bu ilişkiyi temsil edebilecek bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrolik sistemlerin modellenmesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Hidrolik sistemlerde çalışma koşullarında oluşan değişim yada girdi parametrelerinin değişken olması halinde kalıcı durum hataları veya nispeten küçük genlikli salınımların olması gibi istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Genel olarak kararlılığa zarar vermese de sistem çıkışında kalıcı hal hatalarının ya da nispeten küçük genlikli salınımların oluşmasına sebebiyet vermektedir.

Standart uygulamalarda, bir hidrolik test düzeneği üzerinde kullanıcı, sistemde kullanılan endüstriyel denetçi üzerinde arzu ettiği frekans ve salınım mesafesini (genliğini) set etmekte, denetçi sistem bu değerlere göre sonrasında sonraki bölümlerde açıklanacağı şekilde gerekli denetim (PID) katsayılarını ayarlayarak bu değerleri çalışma sonuna kadar sabit tutmaktadır. Ancak yukarıda açıklandığı şekilde sistemin çalışma koşullarında oluşan değişimlerin neticesinde parametre kaymaları durumuna karşı çalışma esnasında yeni bir düzeltme yapılmamaktadır. Benzer şekilde yeni bir frekans ve genlik değeri set edildiği durumda aynı prosedürün baştan tekrar edilmesi gerekmektedir. Aksi durumda sistem çıkışında yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde kalıcı hal hataları ve/veya nispeten küçük genlikli salınımlar oluşmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için söz konusu değişikliklerin oluşması durumunda prosedürü tekrar baştan başlatmadan denetim katsayılarının otomatik olarak ayarlanmasını gerçekleştiren ilave bir ayarlama mekanizması geliştirilmesi düşünülmüş bu amaçla için de bulanık mantık temelli bir mekanizma oluşturulmuştur.

4.1 Deney Düzeneği

Çalışma içerisinde geliştirilen mekanizmanın performansını gözlemlemek amacıyla laboratuvar ortamında Şekil 4.1'deki gibi bir hidrolik test sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Basitçe bir adet hidrolik basınç pompası, piston, bu pistonu

eyleyen bir servo valf, pistona bağlı cetvel (konum algılayıcısı) ve denetleyici biriminden oluşan bu yapının resmi ve yapıdaki elemanların resim üzerinde belirtilen numaralara göre açıklamaları aşağıda verildiği gibidir:



Şekil 4.1: Oluşturulan Hidrolik Test Makinası Deney Düzeneği

A. Hidrolik sistem basınçlandırma valfi: Servo valfin beslemesini sağlayan dolayısıyla da pistonun hareketi için gerekli sabit hidrolik basıncın kaynağı olan birimdir.
B. Hidrolik pompa: Tüm sistem için ana basınç kaynağını oluşturmaktadır.
C. Denetim birimi: İçerisinde endüstriyel denetleyici, veri okuma, toplama ve dönüştürme birimleri, kullanıcı arayüzü, hidrolik pompa ve diğer elektriksel elemanların elektromekanik sürme ve kontrol birimleri yer almaktadır.
D. Hidrolik (yağ) tankı ve içerisinde yerleşik sıcaklık algılayıcısı: Sistemdeki hidroliğin depolandığı birimdir. Depo içerisinde hidroliğin sıcaklığı anık olarak ölçümlemekte kullanılan PT100 algılayıcısı konumlandırılmıştır.
E. Hidrolik (yağ) soğutma sistemi: Hidrolik pompanın çalıştığı anlarda yağ bu birimin üzerinden geçmekte ve üzerindeki fan sayesinde hava ile soğutma gerçekleşmektedir.
F. Konum algılayıcısı: Pistona fiziki olarak bağlı bir mıknatıs ile bunun yarattığı manyetik alanın algılanması yöntemini kullanan ölçme elemanıdır. Bu eleman ile

pistonun hareket doğrultusundaki konumu yabi yaptığı salınımın genliği ölçülmektedir.

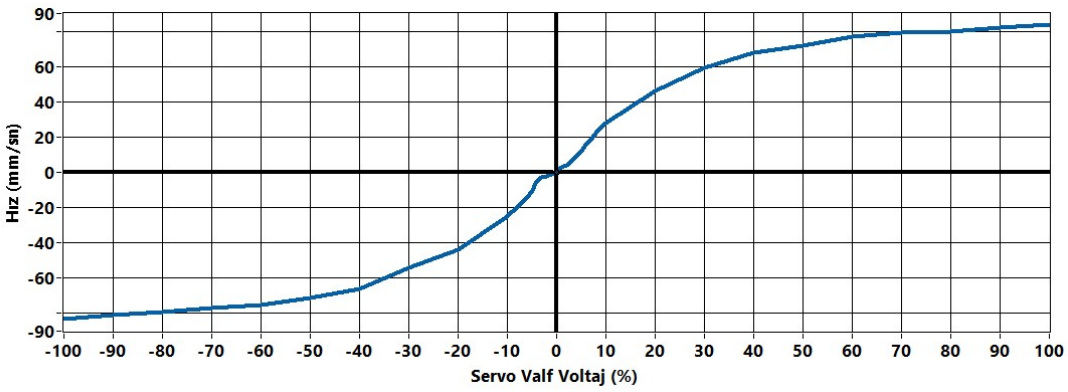
G. Servo valf: Pistonun hareketini sağlayan eyleyici eleman olarak iş görmektedir.
H. Piston mili ve ucuna bağlı bir yük: Bu milin uç noktası aslında sistem çıkışı olarak adlandırılan ve arzu ettiğimiz salınım hareketlerinin oluştuğu noktadır. Milin uç kısmına temsili bir yük bağlı durumdadır.

4.2 Mevcut Durumda Kullanılan Standart Denetim Yapısı

Daha önce de belirtildiği şekilde deney düzeneği üzerinde Beckhoff Endüstriyel denetim sistemi kullanılmıştır. Bu sistemin çıkışı düzenekte doğrudan servo valfi sürmekte kullanılmaktadır. Hidrolik test sisteminin (piston uç noktasının) hangi frekansta ve salınım genliğinde çalışacağı bilgisi girdi olarak uygulanmakta, pistonun mevcut pozisyonu da geri besleme işareti olarak işlev görmektedir. Endüstriyel denetim sisteminin denetim eylemini gerçekleştirebilmesi için bu girdiler ve çıktı arasında bir bağlantı kullanması gerekmektedir. Bu bağlantıyı sağlayan kısım sistem modeli olmaktadır. Ancak hidrolik sistemlerin karmaşık ve lineer olmayan yapısı nedeniyle doğrudan bir matematiksel model kullanmak pratik olmamaktadır. Burada çözüm denetçinin sistemin tamamını kapsayacak şekilde bir girdi-çıktı tablosu (bir nevi look-up table olarak iş görmektedir) oluşturması ile sağlanmaktadır. Bu amaçla şöyle bir prosedür izlenmektedir:

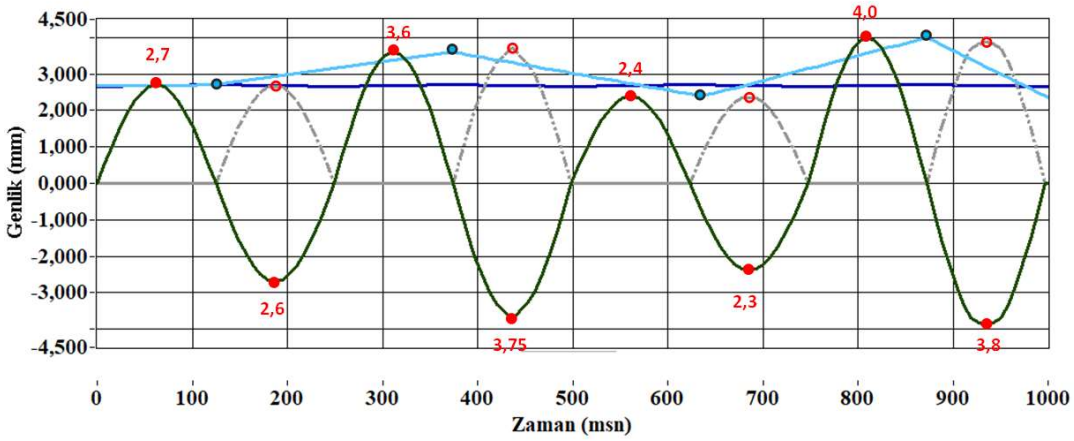
Bu türden sistemlerde pistonun hareketini sağlayan servo valfi sürmek (aslında valfin açıklığını ayarlamak) için sürücü devresine uygulanabilecek ± maksimum değere aralığında bir gerilim uygulanmaktadır. Her iki yönde (ileri ve geri) hareketi sağlamak için pozitif ve negatif gerilim uygulanması yolu tercih edilmektedir. Maksimum gerilim değeri ± %100, nötral (hareket etmediği) durum %0 ile gösterilmek üzere; sistem çalışır halde iken servo valfe uygulanan gerilim %0 ± %10 aralığında %1'er adımlarla, -%10 ve -%100 ile +%10 ve +%100 aralığında da %10'ar adımlarla arttırılarak her duruma karşı piston hız bilgisi elde edilmektedir. Tüm bu değerler ile bir tablo oluşturulabilir ve bu veriyi bir grafik üzerinde yerleştirdiğimizde bir noktalar kümesi ortaya çıkar ve bu noktaları birleştirildiğinde de Şekil 4.2'deki bir karakteristik eğri, bir nevi sistem cevabı (modeli), elde edilmektedir. Böylece arzu edilen frekans ve genlikte hareket elde etmek için endüstriyel denetçi bu tablodaki değer aralıklarını

kullanarak gerekli denetim (PID) katsayılarını kendi üzerinde hesaplamakta ve uygulamaktadır.



Şekil 4.2: Beckhoff Endüstriyel Denetleyici üzerinde elde edilen örnek sistem cevap eğrisi

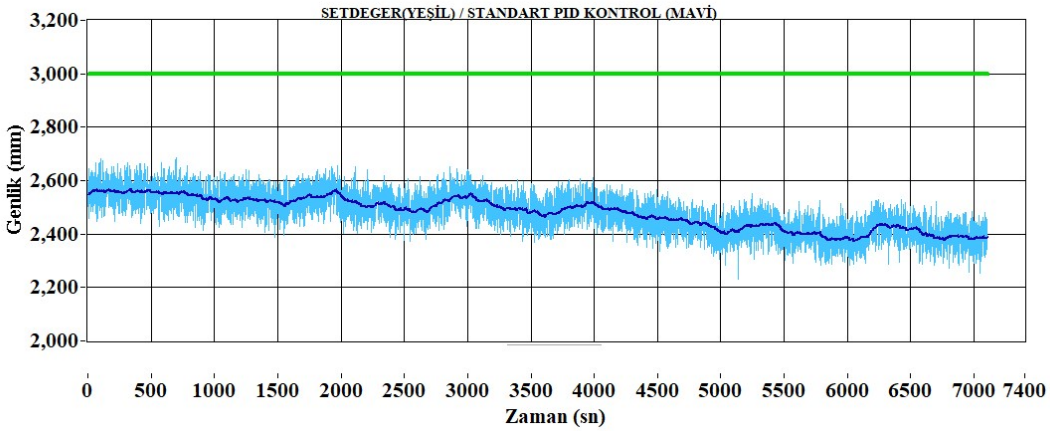
Bahsedilen türde bir parametre çıkarım/hesaplama döngüsünde set edilen değerlerin (frekans ve salınım genliğinin) değiştirilmesi ya da sistemin çalışma ortamında (yağ sıcaklığı, viskozitesi, yükün niteliği) değişimler olması gibi nedenlerle çıktı üzerinde arzu edilmeyen kaymalar (çıkışın istenen genlikte salınım yapmaması gibi) oluşmaktadır. Şekil 4.3'te bu türden bir kaymanın (çıkıştaki istenmeyen durumun) nasıl olduğu ve ne şekilde tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 4.3: Frekans girdisi 4Hz, genlik girdisi ±3mm bir periyotluk çıkış işareti üzerinde gerçekleştirilen örnek veri çıkarımı işlemi

Şekilden görüldüğü üzere pistonun uç noktasından elde edilen salınım işaretinin (siyah renkli kesiksiz çizgi ile gösterilen) her bir periyodu için pozitif ve negatif alternansın maksimum genlik değerleri (kırmızı içi dolu noktalar) tespit edilmektedir. Ardından bu noktaların mutlak değeri alınarak (şekilde kesikli çizgi ve içi boş noktalar ile gösterilen bu yöntemle oluşturulmaktadır) bir nevi işaret doğrultulmaktadır. Yine her

bir periyot için bu maksimum değerlerin (içi dolu ve boş nokta ile gösterilen) aritmetik ortalaması hesaplanıp işaretlenmektedir (şekil üzerinde mavi noktalar ile gösterilen). Bu noktaların doğrular yardımıyla birleştirilmesi ile şekil üzerinde açık mavi renkle gösterilen ve çıkış işaretine ait tepe değer salınım grafiği elde edilmektedir. Son olarak da mavi renkli noktalar ile gösterilen periyot özelindeki tepe değerin hareketli ortalaması alınarak koyu mavi renkli çizgi ile gösterilen bir nevi salınım genliğinin oturma değeri grafiği bulunmaktadır. Şekil 4.4 gibi karşılaştırma amaçlı örnek grafiklerde bu noktadan sonra yukarıda çıkarım detayı verildiği şekilde açık renk ile genliklere ilişkin sapma verileri ve koyu renk ile oturma değeri birlikte verilecektir.



Şekil 4.4: Frekans girdisi 4Hz, genlik girdisi ±3mm örnek sinyal gösterimi

Üstelik mevcut endüstriyel denetim sistemi bu değişimleri kompanze etmekte yetersiz kalmakta sonuç olarak operatör manuel olarak katsayı ayarlaması yapmak zorunda kalmaktadır. Proses üzerinde yapılan inceleme ve tecrübeler ile orantı denetim katsayısı (Kp) değeri için iki farklı değer ayarlanması gerekmektedir. Hidrolik ile ilgili pistonun ileri yönde hareketi (sinüs dalgasının yükselen kısmında) geçerli ve Kp_ileri ile gösterilen, geri yönde hareketi için (sinüs dalgasının düşen kısmında) geçerli ve Kp_geri ile gösterilen iki farklı değer ayarlanması gerekmektedir. Bunun nedeni hidrolik sistemlerde servo valf kontrolünde sinyal parazitleri nedeni ile küçük mertebelerde piston ileri yönünde sıvı kaçakları oluşmasıdır. Bu kaçaklar nedeni ile sistem çalışması ile piston yavaş bir hareketle ileri yönde gitmeye başlar. Pistonu konumunda sabit tutabilmek için geri yönde kaçak kadar basınç uygulamamız gerekmektedir. Bu nedenle endüstriyel denetleyiçiye uygulanmak üzere piston ileri yönü için Kp_ileri ve piston geri yönü için Kp_geri parametrelerine özel üst sınır değerler belirlemesinin sonuç üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu

geliştirmenin her parametre değişiminde (ister kullanıcı ister ortam kaynaklı olsun) operatör tarafından hesaplanarak manuel olarak denetim sistemine girilmesi gerekmektedir. Pratikte bazı durumlarda 24 saat ve günler boyu aralıksız çalıştırılabilen bu türden bir sistemde bu işlemin uygulanabilirliği düşük olmaktadır. İşte bu sebeple belirtilen işlemi otomatik olarak gerçekleştirebilecek ve mevcut parametre değişimlerine karşı belirli bir matematiksel modele bağlı olmaksızın sonuç üretebilecek nitelikte ilave bir hesaplama mekanizmasına ihtiyaç duyulmuştur.

4.3 Bulanık Mantık Temelli Hesaplama Yaklaşımı

Çalışmamızda bulanık mantık tasarımı ve gerçekleştirme işlemleri National Instruments (NI) firması tarafından geliştirilmiş olan LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) programı üzerinde yapılmıştır. Bu program aynı zamanda sistem üzerinde veri toplama ve değerlendirme işlemlerinde de kullanılmıştır.

Tasarladığımız sistem için bulanık mantık kısmında 3 adet giriş parametresi parametresi bulunmaktadır.

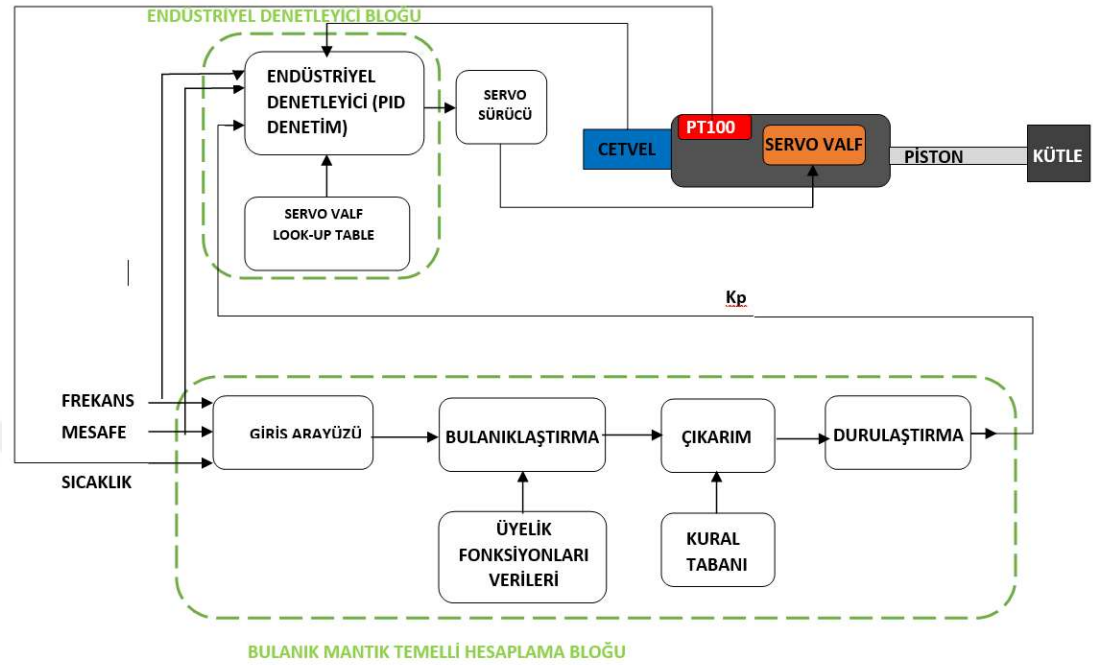
Bunlar;

i. Piston uç noktasında oluşması istenilen salınımın frekans değeri
ii. Piston uç noktasında oluşmesı istenilen salınımın genlik değeri
iii. Hidrolik sistemde dolaşan yağın sıcaklık değeri

Sistem tasarlanırken başlangıçta bu giriş parametrelerinin yanında sistemde oluşan/gereken yük profili ve yağ viskozitesi değerlerinin de olması planlanmıştır. Ancak düzenek üzerinde yük kontrolünün gerçekleşmesi için gerekli donanımın temin edilememesi ve viskozitenin değişmesi için gerekli 3-4 ay gibi uzun deneme sürelerinin yapılamaması nedenleriyle bu parametreler çalışmanın bu aşamasında bulanık mantık temelli hesaplama kısmına dahil edilememiştir.
Bulanık mantık kısmının çıkışında endüstriyel denetim sisteminde kullanılacak olan orantı katsayısının değer aralığını belirleyen 2 adet çıkış parametresi bulunmaktadır. Bunlar;

i. Piston ileri yönlü hareketi için Kp_ileri üst sınır değeri
ii. Piston geri yönlü hareketi için Kp_geri üst sınır değeri

Tüm bu kabullerin ardından hidrolik test makinası deney düzeneği denetimine ilişkin blok diyagram Şekil 4.5'teki gibi olmaktadır



Şekil 4.5: Hidrolik test makinası düzeneği denetimine ilişkin blok diyagramı

Blok diyagram incelendiğinde iki ana işlev bloğu olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki hidrolik test düzeneğinde pistonun hareketinin gerçekleşmesini sağlayan servo valfi denetleyen endüstriyel (PID) denetleyici bloğudur. Diğeri ise bu temel denetleyicinin uygulayacağı orantı denetim katsayılarının (Kp)'nin değer aralığını belirleyen bulanık mantık temelli ilave hesaplama birimi bloğudur. Kalan kısımlarda ise servo valfi de içeren denetlenen sistem bloğu yer almaktadır.

Kullanıcı girişleri (frekans ve salınım genlik set değerleri) bir arayüz üzerinden sisteme yapılmakta olup her iki işlevsel blok ile de paylaşılmaktadır. Bunun haricinde ortam değişkenlerinden olan sıcaklık bilgisi yine bu arayüz üzerinden bulanık mantı temelli hesaplama bloğuna girdi oluşturmaktadır. Endüstriye denetleyici birimine ayrıca piston cetvelinden gelen pozisyon bilgisi ve bulanık mantık temelli hesaplama bloğunun çıkış parametreleri olan Kp_ileri ve Kp_geri değerleri de girdi olarak alınmaktadır. Bu yapı sayesinde sistemin daha önce de bahsedilen türde parametre değişimlerine karşı piston çıkışında elde edilen salınımın istenilen set değerleri aralığında kalması sağlanmaya alışılmıştır. Bulanık mantık kısmında kullanılan giriş

ve çıkış parametreleri için belirlenen değer aralıkları ve üyelik fonksiyonu sayıları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de sırasıyla belirtilmiştir.

Çizelge 4.1: Giriş Parametreleri ve Değer Aralıkları

Girdi İsmi	Değer Aralığı	Üyelik Fonksiyonlarının Sayısı
Frekans	0,5 - 5 Hz	5
Genlik	0 - 5 mm	5
Sıcaklık	0 - 65 ^{0}C	2

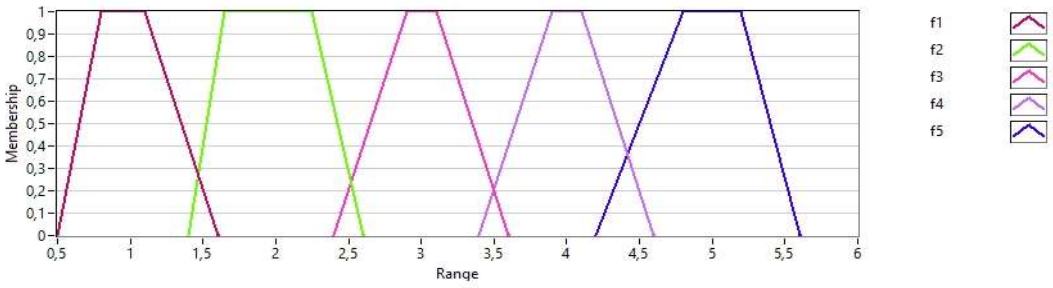
Çizelge 4.2: Çıkış Parametreleri ve Değer Aralıkları

Çıktı İsmi	Değer Aralığı	Üyelik Fonksiyonlarının Sayısı
Kp_ileri üst sınır	0,1 - 1,75	16
Kp_geri üst sınır	0,1 - 1,98	16

Frekans girdisine ilişkin üyelik fonksiyonlarının tanımlayıcı noktalarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Bu fonksiyonlara ilişkin grafiksel gösterimler de Şekil 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.3: Frekans girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları

Üyelik Fonksiyonları	Şekil	Tanımlayıcı Noktaları
f1	TRAPEZOID	0,5 ; 0,8 ; 1,1 ; 1,6
f2	TRAPEZOID	1,4 ; 1,65 ; 2,25 ; 2,6
f3	TRAPEZOID	2,4 ; 2,9 ; 3,1 ; 3,6
f4	TRAPEZOID	3,4 ; 3,9 ; 4,1 ; 4,6
f5	TRAPEZOID	4,2 ; 4,8 ; 5,2 ; 5,6

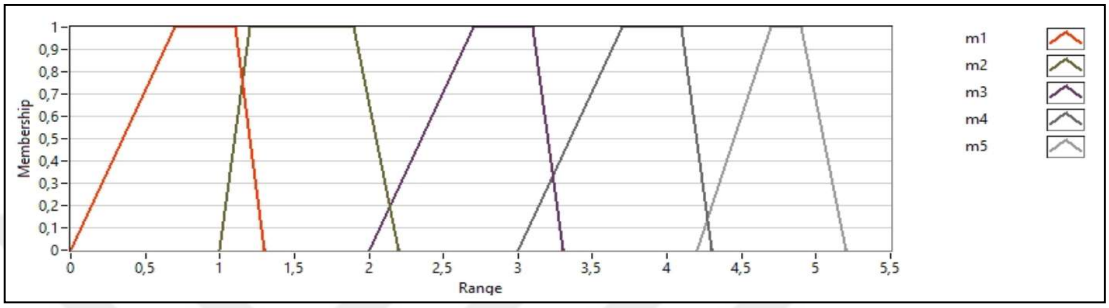


Şekil 4.6: Frekans girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

Genlik girdisine ilişkin üyelik fonksiyonlarının tanımlayıcı noktalarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Bu fonksiyonlara ilişkin grafiksel gösterimler de Şekil 4.8'da verilmektedir.

Çizelge 4.4: Genlik girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları

Üyelik Fonksiyonları	Şekil	Tanımlayıcı Noktaları
m1	TRAPEZOID	0 ; 0,7 ; 1,1 ; 1,3
m2	TRAPEZOID	1 ; 1,2; 1,9 ; 2,2
m3	TRAPEZOID	2; 2,7 ; 3,1 ; 3,3
m4	TRAPEZOID	3; 3,7; 4,1 ; 4,3
m5	TRAPEZOID	4,2 ; 4,7 ; 4,9 ; 5,2

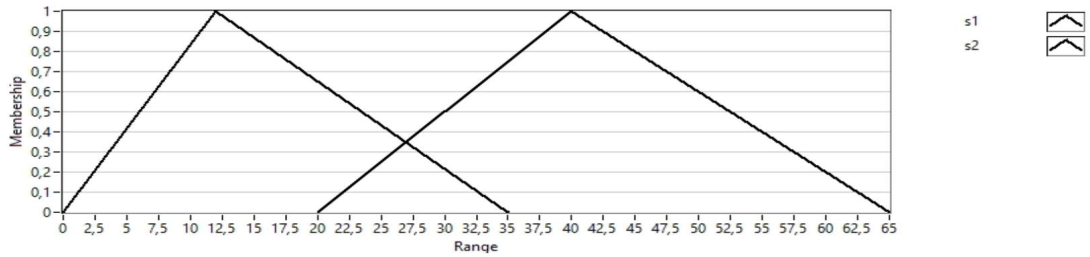


Şekil 4.7: Genlik girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

Sıcaklık girdisine ilişkin üyelik fonksiyonlarının tanımlayıcı noktalarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Bu fonksiyonlara ilişkin grafiksel gösterimler de Şekil 4.9'de verilmektedir.

Çizelge 4.5: Sıcaklık girdisine ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları

Üyelik Fonksiyonları	Şekil	Tanımlayıcı Noktaları
s1	ÜÇGEN	0 ; 12 ; 35
s2	ÜÇGEN	20 ; 40 ; 65

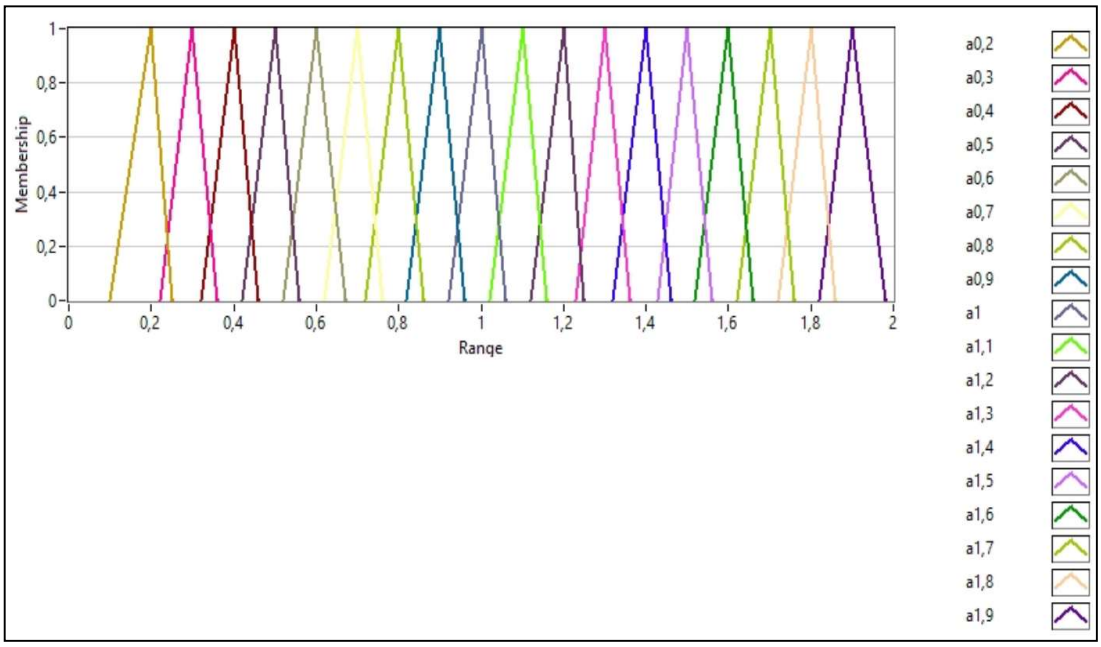


Şekil 4.8: Sıcaklık girdisi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

Orantı katsayısı Kp_geri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonlarının tanımlayıcı noktalarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu fonksiyonlara ilişkin grafiksel gösterimler de Şekil 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.6: Kp_geri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları

Üyelik Fonksiyonları	Şekil	Tanımlayıcı Noktaları
a0,2	ÜÇGEN	0,1 ; 0,2 ; 0,25
a0,3	ÜÇGEN	0,22 ; 0,3 ; 0,36
a0,4	ÜÇGEN	0,32 ; 0,4 ; 0,46
a0,5	ÜÇGEN	0,42 ; 0,5 ; 0,56
a0,6	ÜÇGEN	0,52 ; 0,6 ; 0,67
a0,7	ÜÇGEN	0,62 ; 0,7 ; 0,76
a0,8	ÜÇGEN	0,72 ; 0,8 ; 0,86
a0,9	ÜÇGEN	0,82 ; 0,9 ; 0,96
a1	ÜÇGEN	0,92 ; 1 ; 1,06
a1,1	ÜÇGEN	1,02 ; 1,1 ; 1,16
a1,2	ÜÇGEN	1,12 ; 1,2 ; 1,25
a1,3	ÜÇGEN	1,23 ; 1,3 ; 1,36
a1,4	ÜÇGEN	1,32 ; 1,4 ; 1,46
a1,5	ÜÇGEN	1,43 ; 1,5 ; 1,56
a1,6	ÜÇGEN	1,52 ; 1,6 ; 1,66
a1,7	ÜÇGEN	1,62 ; 1,7 ; 1,76
a1,8	ÜÇGEN	1,72 ; 1,8 ; 1,86
a1,9	ÜÇGEN	1,82 ; 1,9 ; 1,98

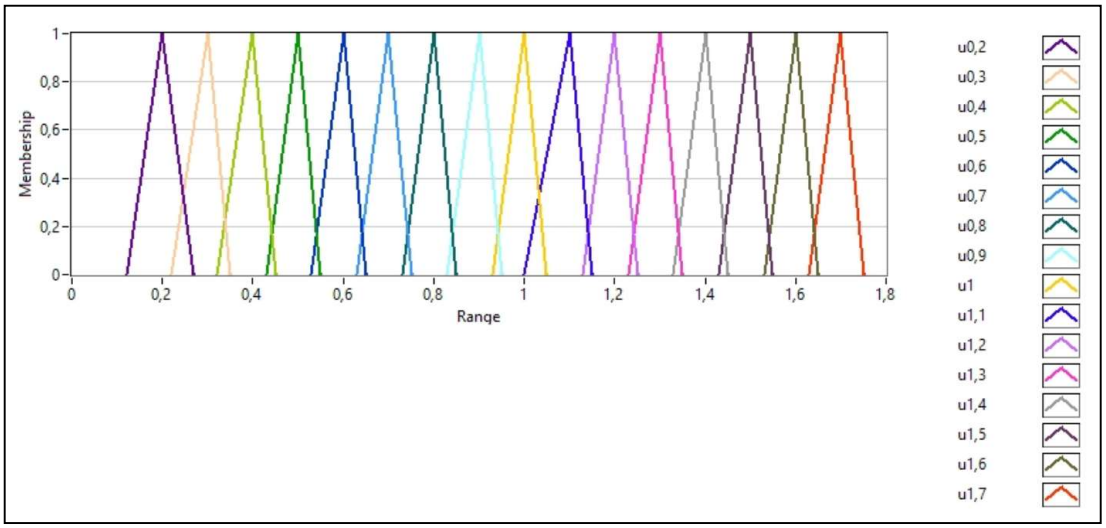


Şekil 4.9: Kp_geri üst sınır değer çıktısı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

Orantı katsayısı Kp_ileri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonlarının tanımlayıcı noktalarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.7'de sunulmuştur. Bu fonksiyonlara ilişkin grafiksel gösterimler de Şekil 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.7: Kp_ileri üst sınır değer çıktısına ilişkin üyelik fonksiyonları ve tanımlayıcı noktaları

Üyelik Fonksiyonları	Şekil	Tanımlayıcı Noktalar
u0,2	ÜÇGEN	0,12 ; 0,2 ; 0,27
u0,3	ÜÇGEN	0,22 ; 0,3 ; 0,35
u0,4	ÜÇGEN	0,32 ; 0,4 ; 0,45
u0,5	ÜÇGEN	0,43 ; 0,5 ; 0,55
u0,6	ÜÇGEN	0,53 ; 0,6 ; 0,65
u0,7	ÜÇGEN	0,63 ; 0,7 ; 0,75
u0,8	ÜÇGEN	0,73 ; 0,8 ; 0,85
u0,9	ÜÇGEN	0,83 ; 0,9 ; 0,95
u1	ÜÇGEN	0,93 ; 1 ; 1,05
u1,1	ÜÇGEN	1 ; 1,1 ; 1,15
u1,2	ÜÇGEN	1,13 ; 1,2 ; 1,25
u1,3	ÜÇGEN	1,23 ; 1,3 ; 1,35
u1,4	ÜÇGEN	1,33 ; 1,4 ; 1,45
u1,5	ÜÇGEN	1,43 ; 1,5 ; 1,55
u1,6	ÜÇGEN	1,53 ; 1,6 ; 1,65
u1,7	ÜÇGEN	1,63 ; 1,7 ; 1,75



Şekil 4.10: Kp_ileri üst sınır değer çıktısı üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

4.3.1 Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması

Çizelge 4.8: Bulanık Kural Tabanını Oluşturan Kurallar Listesi

SIRA	KURAL
1	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,2' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,2'
2	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,4' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,3'
3	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,5' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,4'
4	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,5'
5	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,6'
6	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,5' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,4'
7	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,5'
8	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,8' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,7'
9	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,9' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,8'
10	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,9'
11	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,9'
12	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,2' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1'
13	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp-ileri üst' IS 'u1,2' ALSO 'Kp-geri üst' IS 'a1,1'
14	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,3' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,2'
15	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,6' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,6'
16	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1'
17	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,1'
18	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,2' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,4'
19	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
20	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'

Çizelge 4.8 (devamı): Bulanık Kural Tabanını Oluşturan Kurallar Listesi

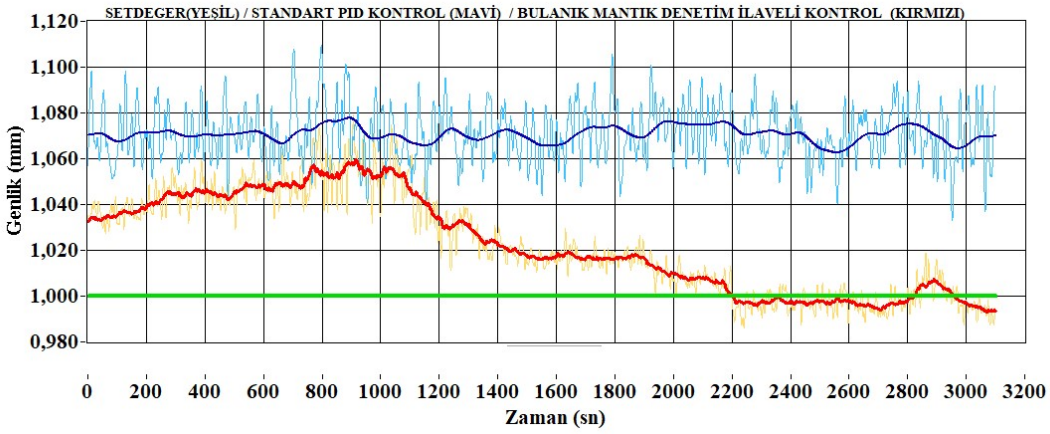
SIRA	KURAL
21	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's2' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
22	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
23	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
24	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
25	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
26	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,3' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,4'
27	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,5' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,4'
28	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,6' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,5'
29	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,8' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,6'
30	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm1' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,8' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,7'
31	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,6' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,5'
32	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,8' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,6'
33	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u0,9' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,8'
34	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a0,9'
35	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm2' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1'
36	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,2' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1'
37	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,3' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,1'
38	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,3' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,2'
39	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,4' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,3'
40	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm3' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,7'

Çizelge 4.8 (devamı): Bulanık Kural Tabanını Oluşturan Kurallar Listesi

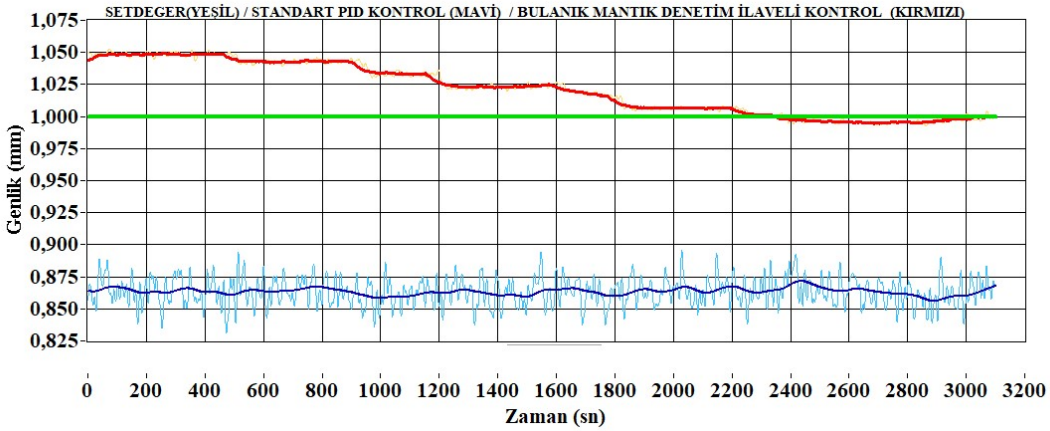
SIRA	KURAL
41	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,1'
42	IF 'frekans' IS 'f2' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,1' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,2'
43	IF 'frekans' IS 'f3' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,3' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,5'
44	IF 'frekans' IS 'f4' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
45	IF 'frekans' IS 'f5' AND 'genlik' IS 'm4' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'
46	IF 'frekans' IS 'f1' AND 'genlik' IS 'm5' AND 'sıcaklık' IS 's1' THEN 'Kp_ileri üst' IS 'u1,7' ALSO 'Kp_geri üst' IS 'a1,9'

4.4 Elde Edilen Sonuçlar

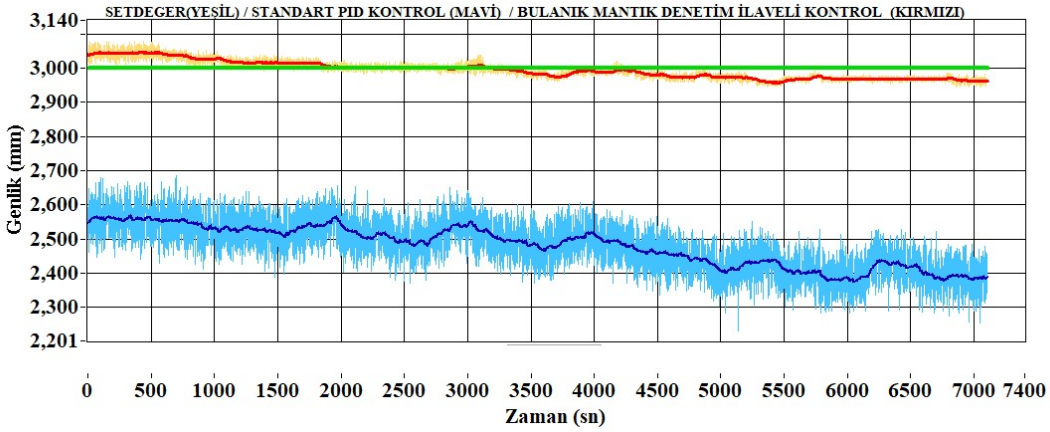
Geliştirilen bulanık mantık temelli hesaplama kısmının performansını karşılaştırmak amacıyla elimizde olan hidrolik test makinası düzeneği üzerinde mevcut durum (standart PID denetim uygulaması) ve bulanık mantık ilaveli durum için farklı giriş parametresi değerleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde düzenekteki pistonun uç konumunda gözlenen salınım hareketinden Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterimi yapıldığı şekilde veriler elde edilmiştir. Bu veriler; periyot başına pozitif ve negatif alternanslarda gözlenen maksimum genlik değerleri ile bu değerlerin hareketli ortalamasının oluşturduğu bir nevi oturma değeri olarak kaydedilmektedir. Farklı giriş parametre değerlerine karşılık hiçbiri 60 dakikadan az olmamak üzere gerçekleştirilen denemelerde elde edilen sonuçlar verilerin kolay karşılaştırılması açısından grafikler üzerinde aşağıdaki gibi verilmektedir.



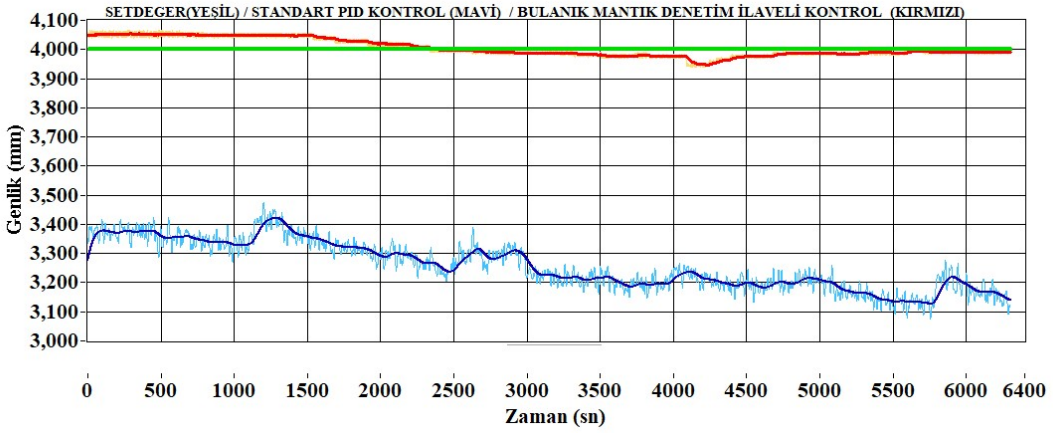
Şekil 4.11: Frekans girdisi 2 Hz, Genlik girdisi ±1 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.12: Frekans girdisi 5 Hz, Genlik girdisi ±1 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması



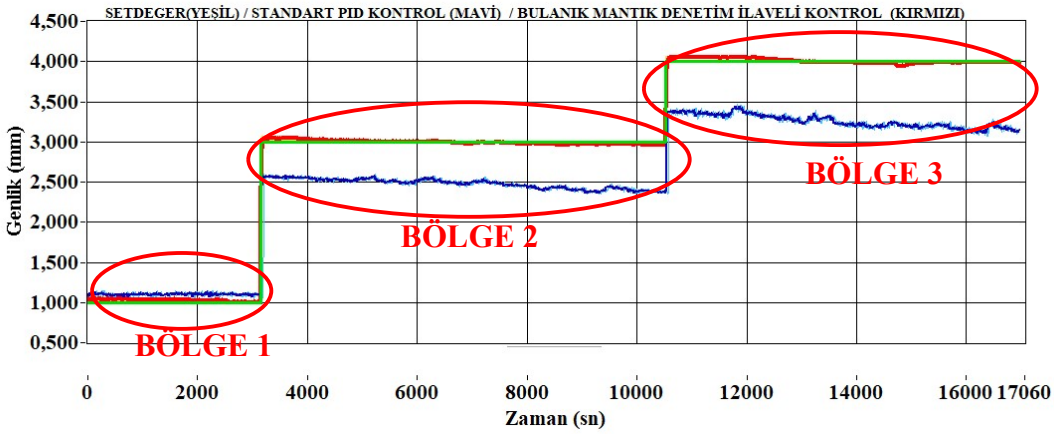
Şekil 4.13: Frekans girdisi 4 Hz, Genlik girdisi ±3 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması



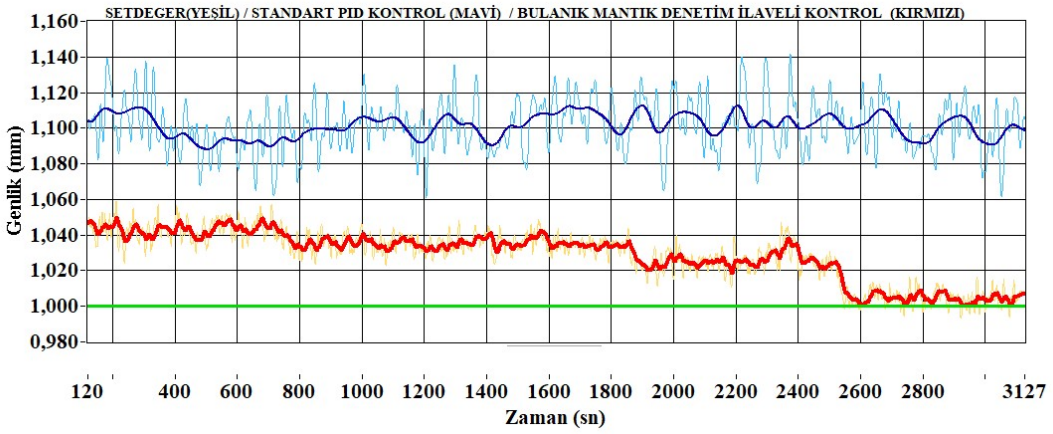
Şekil 4.14: Frekans girdisi 4 Hz, Genlik girdisi ±4 mm için elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması

Farklı parametre setleri için verilen karşılaştırma grafikleri incelendiğinde 1 Hz gibi düşük frekans ya da 1 mm gibi görece olarak düşük genlik değerlerinde her iki deneme grubunda da birbirine daha yakın sonuçların elde edildiği, frekans ya da genlik parametresinin artmasına binaen aradaki farkın arttığı ve bulanık mantık temelli hesaplama kısmının ilave edildiği durumda daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

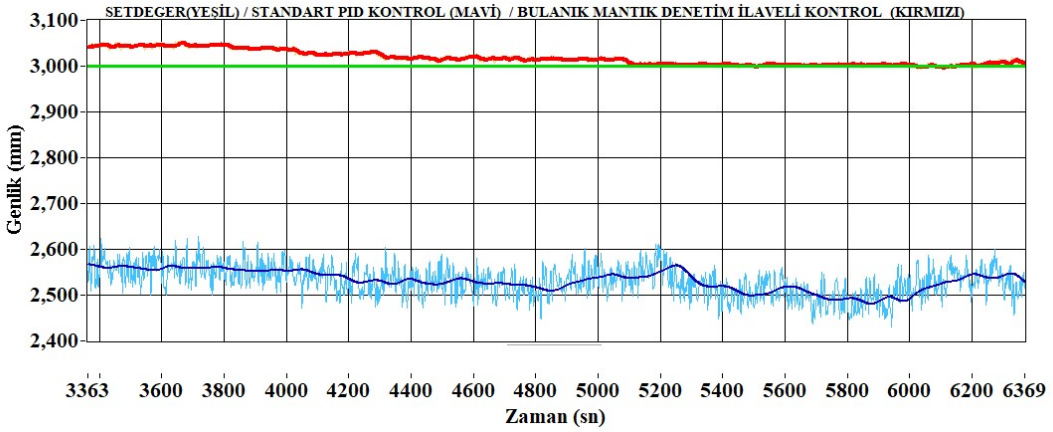
Farklı girdi parametrelerinin ardışık şekilde (kesintisiz olarak) uygulandığı daha uzun süreli bir deneme senaryosunun sonuçları Şekil 4.15-18'de verildiği gibi oluşmuştur. Bu denemede yine önceki denemelerde olduğu gibi sistemde mevcut durum (standart PID denetim uygulaması) ve bulanık mantık ilaveli durum için 4 Hz frekanslı ve 1 mm, 3 mm ve 4 mm genlik değerlerine karşılık çıkış verileri elde edilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.



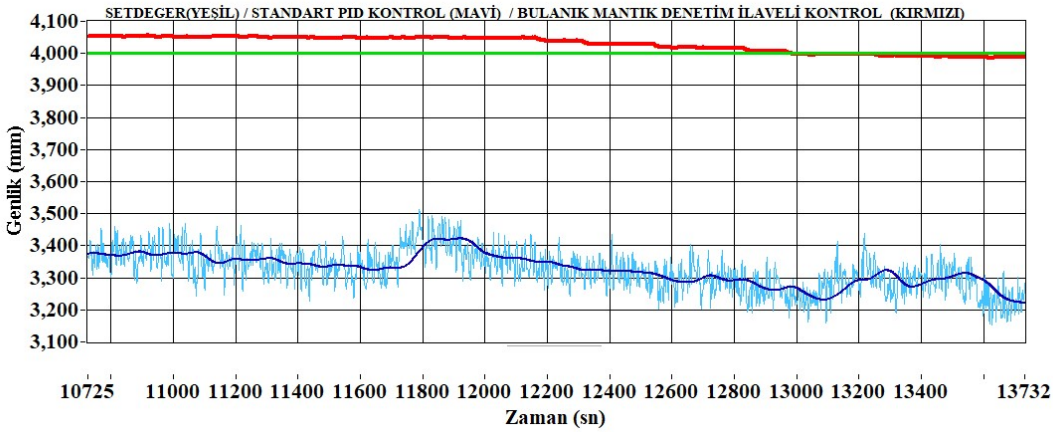
Şekil 4.15: Uzun süreli (300 dk'lık) bir testte ardışıl parametre değişimlerine karşı elde edilen çıkış verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.16: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 1 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay



Şekil 4.17: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 2 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay



Şekil 4.18: Şekil 4.15 üzerinde BÖLGE 3 olarak tanımlanan kısımda çıkış verilerinin karşılaştırılmasına ilişkin detay

Şekil 4.15-18 arası grafiklerdeki sonuçlar karşılaştırıldığında ise; önceki denemelere benzer şekilde özellikle genlik parametresindeki artışla birlikte düzenekte kullanılan mevcut denetim (standart PID) ile bulanık mantık ilavesi ile elde edilen sonuçlar arasında anlamlı farklar oluştuğu, bu durumun test süresi uzadıkça daha da belirgin hale geldiği görülmektedir.

5. SONUÇ

Çalışmamızda başlangıç olarak üzerinde endüstriyel bir (PID denetim uygulayan) denetleyicinin yer aldığı hidrolik test makinası deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu sistem üzerinde standart PID denetimi uygulanarak makinanın çıkış noktası olan piston ucunun, sinüsoidal profilde bir hareket gerçekleştirdiğinde oluşan sonuçlar gözlenmiştir. Bu noktada özellikle hareketin frekans ve genlik değerlerinde oluşan değişimler karşısında sistemin yörünge (olması gereken sinüsoidal profil) izlemedeki performansının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu performansın objektif değerlendirilmesi, hareketin (ileri ve geri her iki yöndeki) maksimum genlik değerlerinin ölçülmesi ile sağlanmıştır. Benzer performans düşümlerinin, sistemin çalıştığı ortam parametrelerinden etkilendiği de bilinmektedir. Sistem çıkışında gözlenen bu olumsuz durumun üstesinden gelmek için uygulanan denetim katsayılarının özellikle de orantı denetim katsayısı Kp'nin yeniden ayarlanması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu parametre ayarlama işleminin otomatik olarak gerçeklemesi için sisteme bulanık mantık temelli bir hesaplama kısmının da eklenmesi gerekmiştir. Bulanık mantık kullanımının temel sebebi hidrolik sistemin modelinin tam olarak elde edilememiş olması ve bulanık mantık kavramının esnek kural tabanlarının bu soruna çözüm üretebilmesidir. Sistemde mevcut olan denetim yapısına bu şekilde bir ilave yapılarak parametre değişimlerine karşı bir nevi kendi kendini ayarlayan yapı ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan geliştirme ile hidrolik test makinası deney düzeneği üzerinde standart PID denetimi varken gerçekleştirilen senaryolarla aynı denemeler (farklı frekans, genlik ve ısı değerlerinde) gerçekleştirilmiş ve makinanın çıkış noktası olan piston ucunun hareketi gözlenmiştir. Kp katsayılarının bulanık mantık temelli bir çıkarım ile belirlenerek endüstriyel denetleyiciye uygulanmasının sistem performansı üzerinde olumlu sonuçlar yarattığı gözlenmiştir. Sistemdeki mevcut ve yeni duruma ilişkin elde edilen sonuçları performansta gözlenen gelişmeyi yansıtması (karşılaştırma) adına Çizelge 5.1'deki gibi özetlemek mümkündür.

Çizelge 5.1: Bulanık mantık temelli yaklaşımla sistem performansında elde edilen iyileşme oranları

Frekans Setdeger (Hz)	Genlik Setdeger (mm)	Mevcut durumda (standart PID denetimi ile) elde edilen ortalama genlik değerleri (mm)	Bulanık Mantık Temelli çıkarım ilavesi ile elde edilen ortalama genlik değerleri (mm)	İyileşme (%) (Mutlak Olarak)
1	1	1,15	1,02	11,30
2	1	1,1	1,06	3,64
5	1	0,8	0,99	23,75
4	3	2,55	3,05	19,61
4	4	3,3	4,03	22,12

Bu sonuçlar incelendiğinde standart PID denetimi ile arzu edilen set değerlerine ulaşmakta sorun yaşandığı ancak bulanık mantık ilaveli durumunda çok daha olumlu (belirli bir toleransın (+-0.1 mm) altında kalacak şekilde) sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Oran olarak belirtmek gerekirse de ortalama olarak %10'un üzerinde bir iyileşme yakalanabildiği tespit edilmiştir. Gerek bu iyileşme değerleri gerekse sistemin otomatik olarak kendi kendini ayarlayabiliyor olması çalışmada elde edilen kazanımlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Çalışmada gelinen nokta itibariyle bulanık mantık temelli çıkarım mekanizmasında yağ viskozitesi, sistem çıkışındaki yük profilinin değişimi gibi parametre değişimlerine ilişkin çalışmalar, deneylerin gerçekleştirilmesi için yeterli süre bulunamaması/kalmaması nedeniyle gerçekleştirilememiştir. Devam çalışmalarında bu ve benzeri çalışma-ortam parametre değişimlerine karşı çıkarım sisteminin gerekli hesaplamaları gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Ahamed, N. U., Benson, L., Clermont, C., Osis, S. T. & Ferber, R.(2017). Fuzzy Inference System-Based Recognition Of Slow, Medium And Fast Running Conditions Using A Triaxial Accelerometer. *Procedia Computer Science.* 114;401-407.

Altaş, İ.H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik 3e,* 62,80-85.

Aydın, T.(2004). *Bulanık Mantık Sınıflandırmadan Yararlanarak Kablo Malzemesi Seçimi,* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul.

Aydın, N., (2007).*Katı Atık Yönetiminde Optimal Planlama İçin Bulanık Doğrusal Programlama Yaklaşımı*,(Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitabevi. Ankara

Chang, F.J. & Chang, Y.T.(2006). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System For Prediction Of Water Level in Reservoir. Advances in Water Resources, 29(1), 1-10.

Chen, G., & Pham T. (2000). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*, CRC Press, London

Coşkun İ, ve Terzioğlu H, (2009). Gerçek Zamanda Değişken Parametreli PID Hız Kontrolü, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09),* 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

Çelikel H. K. (2006). *Taşıt Süspansiyon Sistemlerinin Bulanık Mantık Ayarlı PID Kontrolü*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Istanbul.

Çelikyılmaz A, ve Türkşen IB. (2009). *Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2009.

Çınar, E., (2013). *Hidrolik Silindirin Bulanık Mantık Yöntemi İle Konum Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2, Ankara.

Çınar E., Ulaş H.B., Bilgin M., (2013). Hidrolik silindirin bulanık mantık yöntemi ile konum kontrolü, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(3) Cilt: 29, Sayı: 3, 214-229.

Çobanoğlu B. (2000). Bulanik Mantık Ve Bulanık Küme Teorisi, *Niksar MYO /GOP Universite Sitesi* , 1-55

Deborah, L. J., Sathiyaseelan, R., Audithan, S., & Vijayakumar, P. (2015). Fuzzy-logic based learning style prediction in e-learning using web interface information. *Sadhana,* 40(2), 379-394

Elmas, Ç., (2003). *Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram,Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, (2003)

Eryılmaz, B. ve Wilson, B. H., (2000), Combining Leakage of Hydraulic Servovalve Model, *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control,* 122, 576-579.

Gottwald, S., (2014). *The Logic of Fuzzy Set Theory: A Historical Approach*, Petr H{\'a}jek on Mathematical Fuzzy Logic,.41—61

Günal, Ü., (1997). Bulanık Mantık, *Otomasyon dergisi,* 56, 170-173, İstanbul.

Güneş, M., ve İncekırık, A., (2015). Ege Bölgesinde Faaliyet Gösteren KOSGEB Kapsamındaki Farklı Ölçeklerdeki Şirketlerin (KOBİ) Bulanık Kümeleme Analizi Ile Gruplandırılması, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg,* 22(4), 314-323,

Işıklı, Ş. (2010). Lotfi a. Zadeh'nin hayat hikâyesi ve bulanık paradigmanın üç temel unsuru. *Kutadgubilig: Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi*, 17, 89-101

Ivan, C., Rumondor, P. C., Ricky, M. Y., Yossy, E. H., & Budiharto, W. (2017). Help the math town: adaptive multiplayer math-science games using fuzzy logic. *Procedia Computer Science*, 116, 309-317.

Ibrahim A, (2004). *Fuzzy Logic For Embedded Systems Applications*. Newnes publication, Burlington, USA.

İstif, İ., (2003), Oransal Valf ve Hidrolik Silindirden oluşan Bir Sistemin Tanılanması ve Konum Kontrolu, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

Jian, M. Z., Sheng, D. Z., & Shu, G. W., (2009). Application of self-tuning fuzzy PID controller for a SRM direct drive volume control hydraulic pres, *Control Engineering Practice,* 17: 1398–1404.

Jones, E., Dopson, A. & Roskilly, A.P., (2000). Design of a reduced-rule self organizing fuzzy logic controller for water hydraulic applications. *Proc. Instn.Mech.Engrs.*, 214, 371-381.

Karakış, E. (2018). Bulanik AHS ve bulanik moora yöntemleri ile okul öncesi eğitimi hizmet kalitesi değerlendirmesi ve anaokul seçimi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 19(2): 184–98.

Kıray, V. (1997) *Oda içi sıcaklık ve hava kalitesinin mikrodenetleyici ve bulanık mantıkla kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 80s.

Kikuchi, S. & Chakroborty, P. (1992). Car-Following Model Based On Fuzzy Inference System. *Transportation Research*, 1365, 82-82

Krasucki, J., Rostkowski, A., Gozdek, L., Bartyś, M., (2009). Control strategy of the hybrid drive for vehicle mounted aerial work platform, Automation in Construction, 18: 130–138

Ma, W., Fan, J., Li, Q. ve Tang, Y.(2018). *A Raw Milk Service Platform Using BP Neural Network and Fuzzy Inference.* Information Processing in Agriculture.

Mamdani, E. H. (1974). Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. *In Proceedings of The Institution of Electrical Engineers,* 121(12), 1585- 1588). IET.

Mamdani, E. H. & Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with A Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.

Özkan, M. (2014). *Bulanık Hedef Programlama ve Bir İşletme Üzerinde Uygulama* (Yayınlanmış Doktora Tezi), Cumhuriyet Üniversitesi SBE, Sivas.

Rout, S. S., Misra, B. B., & Samanta, S.(2017). Competency Mapping with Sugeno Fuzzy Inference System For Variable Pay Determination: A Case Study. *Ain Shams Engineering Journal.* s.1-12.

Salhi, I., Doubabi, S., Essounbouli, N., Hamzaoui, A., (2010). Application of multi-model control with fuzzy switching to a micro hydro-electrical power plant, *Renewable Energy,* 35: 2071-2079.

Sattarov, R. (2015). *Kalite fonksiyon yayılımında bulanık mantık yaklaşımı: Beyaz eşya sektöründe bir uygulama* (Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Singhala, P., Shah, D. N., Patel, B. (2014). Temperature Control using Fuzzy Logic. *International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS)* Vol.4, No.1.

Şahiner, A., Gokkaya, H., Ucar, N., (2013). Nonlinear Modelling of the Layer Microhardness of Fe-Mn Binary Alloys. Journal of the Balkan Tribological Association, 19(4), 508-519.

Şahiner, A., Ucar, N., Yilmaz, N., (2015). New Optimisation Techniques In Mechanical Characterisation for Beta-Sn Single Crystals. Oxidation Communications, 38(1), 166-174.

Şahiner, A., Ucun F., Kapusuz, G., Yilmaz, N., 2016. Completed Optimised Structure of Threonine Molecule by Fuzzy Logic Modelling. Zeitschrift fur Naturforschung, 71(4), 381-386.

Şahiner, A., Yilmaz, N., ve Demirozer, O., (2014). Mathematical modeling and an application of the filled function method in entomology. *International Journal of Pest Management,* 60(3), 232-237.

Şen Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri.* İstanbul, Türkiye, Su Vakfı Yayınları,

Şen, Z.(2009). *Bulanık Mantık İlkeleri Ve Modelleme*, Su Vakfı, İstanbul.

Üstüntaş, T., **Müftüoğlu, O., ve Şen Z. (2006).** Dijital Fotogrametride Yapısal Eşleştirme. *İTÜ dergisi Mühendislik*, 5 (1),7-77-78.

Thiagarajah, K., & Appadoo, S.S. (2007). Thavaneswaran, Option valuation model with adaptive fuzzy numbers. *Computers and Mathematics with Applications*, 53, 833-834.

Salhi, I., Doubabi, S., Essounbouli, N., Hamzaoui, A., (2010). Application of multi-model control with fuzzy switching to a micro hydro-electrical power plant, *Renewable Energy,* 35: 2071-2079 (2010)

Sun, C. T., (1994). Rule-Base Structure Identification in An Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 2(1), 64-73.

Şen, Z., (2003). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Şen, Z., (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri Ve Modelleme*, Su Vakfı, İstanbul.

Yedamale P, (2003). Brushless DC (BLDC) motor fundamentals. *Microchip Technology Inc*, 20, 3-15.

Yıldız, S. ve Kişoğlu, A., (2011). Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hazır Giyimde Beden Numarası Belirleme. *Vocational Education*, 6(1),12-22.

Young, H. L., & Kopp, R., (2001). Application of fuzzy control for a hydraulic forging machine, *Fuzzy Sets and Systems,* 118: 99-108 (2001).

Yüksel, Y., (2011), Kesinlik ve Puslu Mantık, İstanbul*: İ.Ü. Sosyoloji Dergisi: Prof. Dr. Korkut TUNA'ya Armağan Sayısı,* 22. Sayı.

Zadeh, L.A., (1975). Fuzzy Logic and its Application to Approximate Reasoning Information Processing, Proc. *IFIP Congress, Vol*. 74, No. 3, 591 - 594.

Zadeh, L.A., (2002). From Computing With Numbers To Computing Withwords—From Manipulation Of Measurements To Manıpulatıon Of Perceptıons, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science,* 12 (3), 307-324.

Zadeh, L. A., (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8: 338-353.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan ANLAK
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Halit Narin Çok Programlı Lise / Elektronik Bölümü / 2004-2006
Meslek Yüksek Okulu : Akdeniz Ünversitesi Elmalı MYO / Endüstriyel Elektronik / 2006-2008
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği / 2011-2016

Çalıştığı Kurumlar

Elmosis Otomasyon Ltd.Şti / Pano İmalat Sorumlusu / 2009 – 2011
Geskon Enerji / Elektrik - Elektronik Yardımcı Mühendisi / 2014 – 2015
Modoya Mühendislik / Elektrik - Elektronik Yardımcı Mühendisi / 2015 – 2016
CAE Mühendislik Hizmetleri / Mekatronik Sistemler Müdürü / 2016 – 2019
Elmosis Otomasyon Ltd.Şti / Genel Müdür / 2017 -