

**BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE
UÇUŞ KONTROL UYGULAMALARI**

Emre KIYAK
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Temmuz – 2003

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Emre KIYAK'ın 'Bulanık Mantık Yöntemiyle Uçuş Kontrol Uygulamaları' başlıklı Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 14.07.2003.tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU	
Üye	: Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Serdar TUNABOYLU	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.08.2003.. tarih ve 25/2... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
M ü d ü r ü

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE UÇUŞ KONTROL UYGULAMALARI

Emre KIYAK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU
2003, 91 sayfa

İnsanlar günlük hayatlarında, kendilerine göre kesin olarak algıladıkları, aslında sonuçta kesinlik arzetmeyen olaylarla karşılaşır. Bir olayın neticesinde verdikleri nihai karar, klasik mantık anlayışına göre yapılmakta ve sınırları oldukça kesin olmaktadır.

Zadeh'in ortaya koyduğu 'Bulanık Mantık' kavramında klasik mantığın aksine kesin sınırlar yoktur ve daha esnek bir anlayış söz konusudur. İnsan düşünce sistemine yakın olması, mutlak matematiksel bir modele ihtiyaç duyulmaması ve kesinlik arzetmeyen bilgilerin kullanılmasına izin vermesi bu mantığın başlıca avantajlarıdır. Basitçe üç aşamada incelemek gerekirse, ilk aşama olan bulanıklaştırmada elemanlara üyelik dereceleri adı verilen bir kümeye ait olma dereceleri verilir. Daha sonra mantıklı ilişkilere dayanan kurallar oluşturulur. Son aşamada klasik mantıktakine benzer şekilde durulaştırma işlemi yapılarak tek bir sonuç elde edilir. Bulanık mantık uygulamaları sosyal, iktisadi ve teknik konuların yanı sıra, özellikle kontrol mühendisliği alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bir uçağın uzunlamasına ekseninde kontrol açısından önemlilik arzeden hız ve irtifanın bulanık mantıkla modellenmesi ve iniş aşamasında uygun taşıma kuvvetinin yaratılmasını sağlayan flap elemanına uygun açının verilmesi problemlerine bir çözüm getirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, uçuş kontrol, modelleme.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

FLIGHT CONTROL APPLICATIONS WITH FUZZY LOGIC METHOD

Emre KIYAK

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU
2003, 91 pages**

In daily life, human beings, come across some events that they are sure about it, but actually they are not certain. The final decision that they made, is according to the classical logic comprehension and have fairly certain limits.

In the fuzzy logic concept, founded by Zadeh, as opposed to the classical logic, there are no certain limits. Being the human thought system, without needing an exact mathematical model and allowing to use of uncertain information, are a few of main advantages. It can be simply analyzed in three stages. In the first stage, which is called fuzzification, a membership grade, is given to the elements. Then, it forms some rules that are based on the logical relations. At the final stage, one result is obtained, making a defuzzification action like classical logic. Fuzzy logic applications are widely used not only in the social, economic and technical areas, but also especially in the control engineering field.

In this thesis, by using fuzzy logic, it was been attempted to build a model for the velocity and altitude which are very important aspects of control on the aircraft's longitudinal axis, and a solution to the problems to give the correct degree to the flap which provides the proper lifting force at the landing and take off phases.

Keywords: Fuzzy logic, flight control, modelling

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve yardımcı olan danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU'na, yardımlarını esirgemeyen Sayın Yard. Doç. Dr. Serdar TUNABOYLU'na, seminerlerindeki yardımları dolayısıyla BUMAT kulübüne, eleştiri ve destekleri için Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali GÜNEŐ ve Bölüm Başkan Yardımcısı Sayın Yard. Doç. Dr. Yusuf OYSAL'a, zor günlerimde destek olan Sivil Havacılık Yüksekokulu personeli arkadaşlarım İlknur AKSOYLU, Mustafa CİVANOĞLU, Enis Turhan TURGUT ve Yasemin IŞIK'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu yoğun çalışma temposu içinde beni hoşgörü ile destekleyen aileme, sevgili arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
DÖNÜŞÜM TABLOSU	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Bulanık Mantığın Tarihçesi	1
1.2. Bulanık Mantığa Genel Bakış	6
2. BULANIK KÜMELER VE BULANIK KONTROL	10
2.1. Geleneksel Kontrol Sistemleri	10
2.2. Bulanık Sistemler	15
2.2.1. Bulanıklaştırma ve fonksiyonların oluşturulması	16
2.2.2. Kural işleme birimi	24
2.2.2.1. Veri tabanı	26
2.2.2.2. Kural tabanı	26
2.2.3. Durulaştırma	27
2.2.3.1. Yükseklik yöntemi	28
2.2.3.2. Ağırlık merkezi yöntemi	28
2.3. Bulanık Kontrol	29
2.4. Bulanık Kontrol İle İlgili Tanımlamaları Gösteren Araç Örnekleri	32
3. BULANIK MANTIK UYGULAMALARI	42
3.1. Klima Uygulaması	42
3.2. Çubuğun Dik Tutulması (Ters Sarkaç)	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Orta yaş' ın bulanık mantıkta gösterimine ait bir örnek	8
1.2. Orta yaş' ın klasik küme ile gösterimi	9
2.1. Açık döngü denetim sistemi [12].....	10
2.2. Kapalı döngü sisteminin genel blok diyagramı [12].....	11
2.3. İkinci mertebeden bir sistemin birim basamak tepkisi [14].....	12
2.4. DDC'nin genel blok diyagramı.....	15
2.5. Bulanık sistem yapısının genel gösterimi	16
2.6. Üçgen üyelik fonksiyonu	18
2.7. Yamuk üyelik fonksiyonu.....	18
2.8. "4"e yaklaşan reel sayıların üyelik fonksiyonu.....	20
2.9. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları için örnek gösterimler.....	21
2.10. Üyelik fonksiyonlarında örtüşmeli geçiş bir örnek.....	22
2.11. Genç, orta yaşlı ve yaşlı kavramlarını temsil eden üyelik fonksiyonları	23
2.12. Kesme metodu ile kuralın uygulanması [24].....	24
2.13. Ölçekleme metodu ile kuralın uygulanması [24].....	24
2.14. Yükseklik metodunun gösterimi [28]	28
2.15. Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi [28].....	29
2.16. Bir bulanık mantık kontrol sistemi	30
2.17. Araç ile trafik lambası arasındaki durumu gösteren örnek	32
2.18. İki araç arasındaki durumu gösteren örnek.....	34
2.19. Giriş ve denetleme hareketiyle ilgili örnek blok diyagram.....	34
2.20. Aracın hızıyla ilgili bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.....	34
2.21. Orta seviyeli hızın klasik kümeyle gösterimi	35
2.22. Araç örneği için bulanık mantığın blok diyagramla gösterimi	35
2.23. Araç hızıyla ilgili hız durumlarının üçgen üyelik fonksiyonuyla gösterimi.....	36
2.24. Mesafe ile ilgili üyelik fonksiyonları.....	36
2.25. Çıkış üyelik fonksiyonları.....	37
2.26. 'Orta hız' ve 'kısa mesafe' ile ilgili örnek gösterim ('ve' işlemi)	37
2.27. 'Orta hız' ve 'kısa mesafe' ile ilgili örnek gösterim ('veya' işlemi)	38

3.3. Uçağın Son Yaklaşma Kontrolü	47
4. BULANIK MANTIĞIN UÇUŞ KONTROL UYGULAMALARI.....	51
4.1. Uzunlamasına Hareket Kontrolü Uygulaması	51
4.1.1. Uçağın eksen sistemleri	51
4.1.2. Uçağa etki eden kuvvetler.....	53
4.1.3. Uçak hareket eksenleri.....	54
4.1.3.1. Uzunlamasına eksen	54
4.1.3.2. Yanlamasına eksen	54
4.1.3.3. Düşey eksen.....	55
4.1.4. Üç eksendeki hareketi sağlayan ana (birinci derece) uçuş kumandaları.....	55
4.1.4.1. Boyuna eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumandalar.....	55
4.1.4.2. Enine eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumandalar.....	56
4.1.4.3. Düşey eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumanda	57
4.1.5. Uzunlamasına denetleyici tasarımı	58
4.2. Uçağın İniş Hareketinde Flap Kullanımı Uygulaması	60
4.2.1. İniş hareketi.....	60
4.2.1.1. Süzülüş hareketi	61
4.2.1.2. Geçiş safhası.....	61
4.2.1.3. Yere paralel uçuş hareketi	61
4.2.1.4. Yer rulesi hareketi	62
4.2.2. Yardımcı uçuş kumandaları	62
4.2.2.1. Flaplar.....	63
4.2.3. Flap açısının bulanık mantıkla hesabı.....	65
5. SONUÇ	69
6. KAYNAKLAR.....	70

7. EKLER73

Ek-1 FAA'NİN YAPTIĞI BULANIK DENETLEYİCİ

Ek-2 ARAÇ ÖRNEĞİ İÇİN MATLAB UYGULAMASI

Ek-3 KLİMA ÖRNEĞİ İÇİN MATLAB UYGULAMASI

Ek-4 TERS SARKAÇ İÇİN MATLAB UYGULAMASI

**Ek-5 UÇAĞIN SON YAKLAŞMA HAREKETİ İÇİN MATLAB
UYGULAMASI**

Ek-6 UZUNLAMASINA HAREKET İÇİN MATLAB UYGULAMASI

Ek-7 FLAP İÇİN MATLAB UYGULAMASI

Ek-8 TB-20 UÇAĞININ PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

2.28. Bulanıklaştırma işlemi sonucu ortaya çıkacak fonksiyonlar	
için örnek gösterim.....	38
2.29. Araç örneği için 1. kural çıktısı	39
2.30. Araç örneği için 2. kural çıktısı	40
2.31. Çıkış fonksiyonunun gösterimi.....	40
3.1. Sıcaklığa bağlı motor hızını gösteren fonksiyon	43
3.2. Bulanıklaştırma işlemi	43
3.3. Ters sarkaç mekanizması.....	44
3.4. a Çubuğun düşey eksenle yaptığı açının bulanık kümeleri	45
b Çubuğun açısız hızının bulanık kümeleri	45
3.5. 'Hız' bulanık kümeleri.....	46
3.6. İrtifaya karşılık gelen düşey hız [3]	47
3.7. Üyelik fonksiyonlarının gösterimi	49
3.8. Durulaştırma	50
4.1. Yere bağlı eksen sistemi [33]	51
4.2. Uçağa bağlı eksen sistemi [33].....	52
4.3. Uçağa etki eden kuvvetler	54
4.4. Uçağın üç ekseninde yaptığı hareketler	55
4.5. Uçuş safhaları	60
4.6. Yardımcı uçuş kumandaları	63
4.7. Mesafe, hız ve flap açısı üyelik fonksiyonları	65
4.8. Flap için 1. kural	67
4.9. Flap için 2. kural	67
4.10. Kuralların birleştirilmesi.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1	Önemli üyelik fonksiyonları [17]	17
2.2	a İki değerli kümeye ait doğruluk tablosu	19
	b Bulanık kümeye ait doğruluk tablosu	19
3.1	Çıkışta kullanılacak doğruluk tablosu	47
3.2	Doğruluk tablosu	49
4.1	Gaz kolu için oluşturulmuş doğruluk tablosu	59
4.2	İrtifa dümeni açısı için oluşturulmuş doğruluk tablosu	59
4.3	Mesafe ve uçak hızına karşılık flap açısını gösteren kural tablosu	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

W	: Uçak ağırlığı
$\mu(x)$: Üyelik derecesi
Δt	: Zaman Farkı (s)
ΔV	: Hız Farkı (m/s)
A/D	: Analog / Digital Çevirici
C°	: Santrigrat Derece
C_L	: Taşıma katsayısı
cm	: Santimetre
CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor (Metal Oksit Yarıiletken)
D/A	: Dijital /Analog Çevirici
DDC	: Direct Digital Control (Doğrudan Sayısal Denetim)
E_o	: Ortalama fines
f	: İtme Kuvveti
FLC	: Fuzzy Logic Controler (Bulanık Mantık Denetleyicisi)
ft	: Feet
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: İrtifa (m)
Km	: Kilometre
K_p, K_i, K_d	: Kazanç Sabitleri
L	: Taşıma kuvveti
lb	: Libre (Ağırlık, pound)
LIFE	: Laboratory for International Fuzzy Engineering
m	: Metre
$m(t)$: PID için Kontrol Sinyali
Max	: Maksimum
Min	: Minimum
$P_{(t)}, I_{(t)}, D_{(t)}$: Kontrol Sinyalleri
PI	: Proportional-Integral (Orantısal+İntegral)
PID	: Proportional-Integral-Derivative (Orantı+İntegral+Diferansiyel)

r	: Hava yoğunluğu
R	: Reel Sayılar Kümesi
S	: Kanat alanı
sa	: Saat
TTL	: Transistor-Transistor Logic
v	: Düşey Hız (m/s)

DÖNÜŞÜM TABLOSU

1 ft = 0.3048 m

1knot= 0.5155 m/s

1 mil = 1852 m

1 lb = 4.448222 N

1. GİRİŞ

İnsanlar günlük hayatlarında önceden kesin olarak bilinemeyen ama sanki kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşılırlar. Bu durumların örgün (sistematik) bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ise, ancak bir takım ön kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir.

Yaşadığımız dünya genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyiş nedeniyle karmaşıktır. Bir çok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur.

Bir kişinin zihnindeki düşünce dünyasının bile tomografisi çekilecek olduğunda, bunun çok renkli, değişik, hatta karmaşık motiflerden, çok belirgin olmayan bir desene sahip olduğu anlaşılır. İşte bu karmaşıklık ve belirsizliği, bulanıklık (fuzzy) diye nitelendirmek mümkündür [1].

1.1. Bulanık Mantığın Tarihçesi

Matematığın doğruluğundaki ve bütünlüğündeki başarısında Aristoteles'in ve onun izinden giden düşünürlerin büyük katkısı olmuştur. Onların mantık teorisini oluşturma çabaları ile matematik bilimi gelişmiş ve 'Düşüncenin Yasaları' oluşturulmuştur. Bu yasalardan biri, her önermenin ya 'Doğru' yada 'Yanlış' olması gerektiğini öngörmüştür. Bu anlayışa geleneksel anlayış yada 'Aristo Mantığı' adı verilir [2].

Bu yüzyılda, matematik ve bilimde görülen çeşitli fikir değişiklikleri arasında belirsizlik kavramıyla ilgili olanı belki de en dikkat çekicisidir. Bilimde bu değişiklik, belirsizliği istenilmeyen bir durum olarak gören ve mümkün bütün durumlarda kaçınılması gerektiğinde ısrar eden geleneksel anlayıştan, belirsizliği tolere eden ve bilimde bundan kaçınılmasının mümkün olmadığını iddia eden alternatif bakış açısına doğru bir geçişle ortaya konulmuştur. Geleneksel yaklaşımdaki anlayış, bilimin ortaya koyduğu açıklamalarda bir kesinliğe ulaşılmasının gerekliliğidir. Bundan dolayı da belirsizlik bilimsel olmayan bir kavram olarak kabul görülmüştür. Alternatif bakış açısına göre ise belirsizlik,

sadece kaçınılması mümkün olmayan bir durum değil, aynı zamanda büyük bir fayda sağlayan ve üzerinde çalışılması gereken önemli bir durumdur [3,4].

1900'lerin başında, geleneksel anlayıştan farklı olarak Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz'in 3. bir değer olan 'olası' kavramını ortaya atması, 1920'ler ve 1930'larda çok değerli mantık sistemlerinin gelişmesine yol açmıştır. Bundan sonraki aşamada, 'doğru' ve 'yanlış', 'belirlenemezlik' tayfinin sınır koşulları olarak görülüp, belirlenemezlik derecelendirilmiştir. Özellikle Lukasiewicz, Gödel, ve Black ilk çok-değerli ya da bulanık mantık ve küme sistemlerini geliştiren araştırmacılar olmuşlardır.

1930'larda ünlü Amerikan filozofu Max Planck tarafından belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirilmiş olsa da, 1965'de Azeri kökenli sistem bilimci Zadeh tarafından yayınlanan makale modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir işaret taşı olarak kabul edilir. Zadeh bu makalede, kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur. Zadeh'in bu makalesinin önemi sadece 'İhtimaller Teorisi'ne karşı duruşu ile ilgili değil, ayrıca ihtimaller teorisinin temelini oluşturan Aristo Mantığı'na karşı da bir meydan okumaydı. Zadeh, çok-değerli küme teorisi geliştirmiş ve 'bulanık' (fuzzy) kelimesini teknik terimlere dahil etmiştir [3,4,5].

Bulanık Mantık hakkında ilk bilgiler, Zadeh tarafından literatüre maledilmesine karşılık bu fikirler Batı dünyasında şüpheyle karşılanmış ve oldukça yoğun tenkit edilmiştir. Ancak 1970'li yılların sonunda Uzakdoğu dünyasında, özellikle Japonya'da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bunların teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde ve özellikle tüketici elektroniğinde kullanılması bugün bütün dünyada yaygın hale gelmiştir. Batıda gecikmenin ana sebebi Batı kültürünün temelinin ikili mantık yani Aristo mantığının ve olaylara 'evet-hayır', 'beyaz-siyah', 'kurak-sulak', 'artı-eksi', '0-1' vb. gibi ikili esasa dayanmasıdır. Bu iki değer arasında başka seçeneklere kesin değil düşüncesi ile yer verilmemiştir. Batıda bulanık (fuzzy) kelimesi, güvensizliği ifade eder. Doğuda ise bu güvensizlikte bile güzelliklerin bulunabileceği düşüncesi vardır.

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinin dikkatini çekmesi, ilk kez 1975 yılında Mamdani ve Asilyan tarafından gerçekleştirilen bir kontrol uygulamasıyla olmuştur. Bu araştırmacılar, ilk defa bir buhar makinesinin kontrolünü; bulanık sistem ile modellenmeyi başarmışlardır. Bu ön çalışmada bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ve sonuçlarının ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır [1].

Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulamalarından biri de çimento sanayisinde gerçekleştirilmiştir. Bu sanayide, değirmen içerisindeki sıcaklık ve oksijen oranı, ürün kalitesi açısından çok önemlidir. Kısıtlı ve hassas olmayan, ısı ile karbondioksit oranı gibi bilgilerle iyi bir çalışma düzeni elde edilebilmesi oldukça zor olup, operatörlerin bu konuda yeterli bir uzmanlık kazanabilmeleri için yıllar geçmesi gerekir. Fakat kişiler ve uzmanlık düzeyleri arasında kaçınılmaz farklılıklar olacağından, üretilen çimento da vardiyadan vardiyaya geçecek, tutarlı ve aynı kalitede çimento üretimi çok zor olacaktır. İşte bir Danimarka firması bu nedenlerden dolayı lineer bir model üzerine kurulu, geleneksel denetleyici yerine bir bulanık mantık denetleyicisi (fuzzy logic controller - FLC) kullanmayı düşünmüş ve çok başarılı sonuçlar veren bir uzman sistem geliştirmiştir. Bu veya benzeri sistemler bugün bile Japonya ve Amerika'da dahil olmak üzere bir çok ülkede kullanılmaktadır.

Kronolojik sıra içerisinde bundan sonraki en önemli aşama Japonya' da 1987 yılında görülmüştür. Hitachi firması, ilk olarak 1987 yılında ulaştırma bakanlığına başvurmuş ve Sedai Metro sisteminde çalışan trenlerin otomatik olarak kontrolü için bulanık mantık kullanımını önermiştir. Geliştirilen sistemde, daha önce tren operatörü tarafından bir orantısal+integral+diferansiyel (PID) temelli denetleyici aracılığıyla yapılan ve yolcuların sarsıntılı bir yolculuk geçirmelerine neden olabilen hızlanma ve yavaşlama gibi işlemler, otomatik olarak yapılmakta ve tren operatörünün yapması gereken işler, kapıları kapatmak ve başlatma düğmesine basmak gibi bir kaç işlemle sınırlandırılmaktadır. Böylece yolcuların rahat ve konforlu bir yolculuk yapabilmeleri sağlanmış, daha önce kullanılan sisteme göre trenin istenilen konumda durması üç kat iyileşmiş ve kullanılan enerji %10 azalmıştır [6].

Yukarıda açıklanan başarılı uygulamalardan sonra bulanık kontrol konusundaki çalışmalar, yeni bir ivme kazanmış ve endüstriyel uygulama alanları hızla artmıştır. Çalışmaların uluslararası alanda koordinasyonu amacı ile Japonya'da 1989 yılında LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) adlı bir laboratuvar kurulmuştur. Bu laboratuvarlarda yapılan araştırma çalışmalarına, aralarında Hitachi, Toshiba, Omron ve Matsushita gibi ünlü Japon firmalarının yanı sıra IBM, NCR ve Thomson gibi uluslararası firmaların da bulunduğu toplam 51 firma katılmakta olup, 6 yıllık bütçesi 70 milyon dolardır [6].

1980'den sonra bulanık sistemin; elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda kullanılmasında patlama olmuştur. Son yıllarda bir çok mühendislik alanında, veri tabanlarının sözelleştirilmesinde, tele-sekreterlerin cevaplamasında ve buna benzer bir çok konuda bulanık mantık bütün dünyada kullanılır hale gelmiştir [1].

Bundan başka uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de bulanık mantık kullanılmaktadır. TAI (Turkish Aerospace Industries)'de araştırma geliştirme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır [7].

Ayrıca, bulanık mantık bir helikopter modelinin kontrolü; sözlü talimatla radyo kontrolü, yetersiz motor durumlarında otomatik rota girişi ve deniz kurtarmaları için insansız helikopterlerin kontrolünde de kullanılmaktadır. Helikopter uygulamasında bulanık mantık, pilotla ve rüzgâr hızı ve yönünü kapsayan uçuş durumlarıyla en iyi operasyon hareketlerini ayarlar [6].

Yine FAA (Federal Aviation Administration)'nın yaptığı bir çalışmada; uçuş tecrübesi çok, az tecrübeli ve öğrenci durumundaki pilotlar ve pilot olmayanlar olmak üzere dört grupta incelenmiştir. Her gruptaki 6 kişi üzerinde yapılan çalışmalarda sistemin çalışmasıyla ilgili kişiye minimum tanımlama yapılmış ve başka herhangi bir eğitim verilmemiştir. Sonuç olarak bulanık mantık burada durumda performans kriteri aşamasında kullanılmış; değişken hatalarının ve aşmanın (overshoot) düşürdüğü, öğrenme süresini azalttığı, kullanım için daha az gayret gerektirdiği ve tüm gruptaki elemanlar tarafından tercih edildiği görülmüştür. Ek-1'de FAA'nın geliştirdiği bulanık denetleyicili mekanizma görülmektedir [8].

Bulanık mantık, ayrıca küçük bir ticari uçağın uçuş kontrol sisteminde de kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinin kullanımıyla, uçakta kullanılan iki adet sensörün herhangi bir arıza durumunda, hangisinin arızalı olduğunu belirlemek mümkün olmuş ve daha az donanım kullanılması sağlanmıştır. Sistemin güvenliğinin artırılmasının yanında, maliyet de düşürülmüştür [9].

Uçaklarda güç sistemine bakım planlaması yapılması uygulamasında ise, bulanık mantık uçaktaki ekipmanların güvenlik ve güvenilirliğini artırmak, arıza meydana gelmeden önce muhtemel arızanın öngörülmesinde kullanılmıştır. Havacılıkta; özellikle şirketlerin kar yapabileceği bakım faaliyetlerinde bu uygulama önem arzeder. Bulanık mantık denetleyici, bilgisayar programından alınan çıktılar ile, muhtemel arıza için en kritik olanlar en üstte olacak şekilde sıralama yapar [10].

Zadeh tarafından ortaya atılan Bulanık Küme, Mantık ve Sistem Kavramları, bu araştırmacının uzun yıllar boyunca kontrol alanındaki çalışması, istediği kontrolü elde edebilmesi için fazlaca doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi, yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması neticesinde ortaya çıkmıştır.

Bulanık kavramların ortaya atılmasıyla beraber özellikle İhtimaller Teorisi ve İstatistik gibi zaten belirsizlikleri konu edinen daha da belirsiz bilim dalları bulunduğundan bu konularda çalışan araştırmacılar, bulanık sistemlere açık bir şekilde karşı çıkmışlardır. Bulanık yöntemlerle yapılan her türlü hesaplamanın, ihtimal ve istatistik hesaplamalarla yapılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

İlk ortaya atıldığında zamanlarda bulanık sistemlerin doğrudan uygulaması olmadığından yapılan tartışmalar daha ziyade felsefi seviyede kalmış ve bunun sonucunda daha kuvvetli felsefi ve teorik temelleri olan İhtimaller Teorisi ve İstatistik yöntemleri ağır basmıştır. Ancak burada gözden kaçan husus, sözel bilgilerin bulunması halinde istatistiğin fazlaca işe yaramamasıdır. Her ne kadar Bayesian Teorisi gibi bir istatistiksel yöntem ile sözel bazı ifadelerin hesaplamalarda kullanılması mümkün olsa da, bu yöntemlerin işleyişinde normal dağılmış olmak, doğrusal olmak gibi bazı temel kabuller pratikte iyi sonuçlar vermemiştir.

1.2. Bulanık Mantığa Genel Bakış

Bulanık mantık, insan davranışlarına benzer bir şekilde mantıksal uygulamalarla bilgisayarlara yardım eden bir bilgisayar mantık devrimidir. Bulanık mantığın endüstride kullanımı verimliliği artırır, daha uygun üretim sağlar, zamanın çok önemli olduğu günümüzde zamandan tasarruf sağlar ve ekonomik açıdan fayda getirir.

Belirsizlik, güvensizlik anlamındaki 'Fuzzy' kelimesinin, Türkçe'deki yaygın kullanımı 'bulanık' kelimesidir. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) bu ilkedен yola çıkar ve kesin olmayan bir bilgiyi daha basit ve kullanışlı bir hale getirir.

Bulanık mantık kavramını basit bir şekilde anlamak için, 'biraz sıcak', 'hemen hemen doğru', 'çok hızlı' vs. cümlelerine bakılacak olursa, bu cümlelerin matematiksel açıdan bir durum ifade etmemelerine karşın, bir problemi çözme açısından günlük hayatta kullanılan ve sıkça karşılaşılan örnekler olduğu görülür. Bulanık mantık bir insanın anlayabileceği ve çözüme ulaştırabileceği şekilde sistemlerin ya da cihazların çalışmasına izin verir. Kelime anlamı olarak, belirsiz bir durum içeriyor gibi gözükse de, matematiksel uygulamalarda oldukça kullanışlı olmaktadır [8].

Bulanık mantığın en önemli özelliklerinden bir tanesi nesnel olmayıp, kişisel olmasıdır. Ortaya çıkan bu çoklu mantık içinden sadece bir tanesinin seçilmesiyle 'Aristo Mantığı' adı verilen ve olayın doğruluğu ya da yanlışlığıyla ilgilenen mantığın uygulamalarda tekrar kullanılmasına ihtiyaç vardır. İşte bu şartlanmanın sonucunda gerçek hayatta çoklu mantık dışlanmış ve ikili mantığa göre sınıflandırmaya gidilmiş, bu durum nedeniyle de bir takım uygulamalarda yetersiz kalınmıştır. Çünkü 'Aristo Mantığı' nda yapılan bir iş ya doğrudur yada yanlıştır. Bunların bir karışımı yani kısmen doğru, kısmen de yanlış olamaz. Bulanık mantık bu durumu gideren ve çözüm arayışında, özellikle de modellemede, bireyin daha aktif kullanılmasına izin vermiştir.

Aristo Mantığı'nın en fazla kullanıldığı sahalar içinde mühendislik ve özellikle de doğa olaylarını incelemeyen mühendislik konuları gelir. Matematik, klasik fizik ve kimya ilkeleri de Aristo mantığına göre gelişmiştir. Ancak doğal olaylarla ilgilenen mühendisliklerde, durum tamamen bulanık dünya ve mantığa göre olması gerekirken, bunların yapılan kabul, varsayım, idealleştirme,

lineerleştirme gibi kabullerle insan aklının şartlı olarak ikili mantığa göre olayı algılayabileceği seviyeye getirilir.

Bulanık mantığın temelde sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

1. İnsan düşünce sistemine ve tarzına yakındır.
2. Uygulamasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duymaz.
3. Yazılımın basit olması nedeniyle, sistem daha ekonomik olarak kurulabilir.
4. Bulanık Mantık kavramını anlamak kolaydır.
5. Üyelik değerlerinin kullanımı sayesinde, diğer kontrol tekniklerine göre daha esnektir.
6. Kesinlik arzetmeyen bilgilerin kullanılması söz konusudur.
7. Doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine izin verebilir.
8. Sadece uzman kişilerin tecrübelerinden faydalanılarak, kolaylıkla bulanık mantığa dayalı bir modelleme ya da sistem tasarlanabilir.
9. Geleneksel kontrol teknikleriyle uyum halindedir.
10. İnsanların iletişimde kullandıkları sözel ifadelerin bulanık mantıkta kullanımı ile daha olumlu sonuçlar çıkmaktadır [1,11].

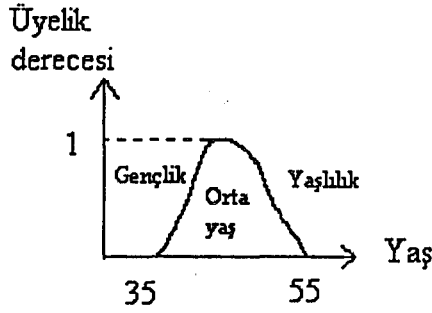
İsminin insanlarda çağrıştırdığının aksine bulanık mantık, belirsiz ifadelerle yapılan, belirsiz işlemler değildir. Gelişmiş bir olasılık hesaplama yöntemi de değildir. Aslında modelleme aşamasında değişkenler ve kuralların esnek bir şekilde belirlenmesidir. Bu esneklik asla rasgelelik yada belirsizlik içermez. Nasıl bir lastik içinde bulunduğu duruma göre şeklini değiştirirken bütünlüğünü ve yapısını koruyabilirse, bir bulanık modelde değişen koşullara değişen cevaplar verirken özündeki yapıyı muhafaza eder.

Matematikte, benzer özellikler gösteren elemanların bir arada gruplandırılmasıyla 'küme' adı verilen kavram oluşturulur. Klasik matematikte bir konunun bir bölümünün o kümeye ait olması gibi bir kavram düşünülmez ve kabul edilmez. Bu sınırlama, problemlerin her zaman uygun bir çözüme kavuşturulabilmesine engel teşkil etmektedir.

Örneğin; 'orta yaş' denildiğinde bir çok kişinin kafasında bu konuyla ilgili farklı yaş aralıkları oluşabilir. Bulanık mantıkta, bu ve buna benzer durumlar

gözönüne alınarak, bir bilgisayar gibi ikili mantık (binary logic) kavramı kullanılmaz.

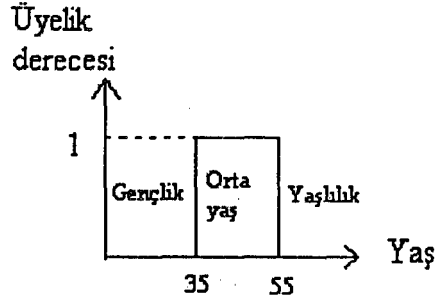
Bu örnek için 'orta yaş' ın 45 olduğuna karar verilirse, bu durumda 35 ya da 55 yaşın bütünüyle 'orta yaş' sınıfına ait olmadığını söylemek zor olacaktır. Hatta aynı durum, 30 yaşından küçük ve 60 yaşından büyük insanlar için bile geçerli olabilir. Kişilerin düşüncelerine bağlı olarak bu sınırlar değişir. 'Orta yaş' ile ilgili bir örnek, Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 'Orta yaş' ın bulanık mantıkta gösterimine ait bir örnek

Örneğin 45 yaşının, yapılacak hesaplama göre üyelik derecesinin 1 olduğu görülebilir ve $\mu_{orta\ yaş}(45) = 1$ (45 yaşının 'orta yaş' kümesine ait olma derecesi birdir.) şeklinde gösterilir. Böyle bir gösterimle bir çok elemandan oluşmuş bir kümede, her eleman için o kümeye ait olma derecesini gösteren bir üyelik derecesi belirlenir. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki bir fark vardır. Bulanık mantıkta herhangi bir elemanın o kümeye ait olma derecesi 0 ile 1 arasında olurken, klasik mantıkta böyle bir durum söz konusu değildir. O eleman, o kümeye ya tam ait olmalıdır ya da hiç dahil olmamalıdır. İkisinin arasında bir durum söz konusu olamaz.

Klasik mantıkta ise bu örnek Şekil 1.2'deki gibi gösterilir. Şekilden de görüleceği üzere, 34 yada 56 yaşlarının bu kümeye ait olmadıkları görülmektedir. Bu durumda da şu an 34 yaşında olan bir insanın bir dahaki doğum gününde aniden 'orta yaş' sınıfına gireceği gibi bir durum söz konusu olur. Bu durumun nedeni, değişmez değerli atama yapılmasındandır. Bu ve buna benzer olaylarla ilgili kümelerle ait değerler 0 ya da 1 ile gösterilirler ve bunlara klasik kümeler adı verilir [8].



Şekil 1.2 'Orta yaş' in klasik küme ile gösterimi

Bu çalışmada bulanık mantığın, bilinen klasik mantıktan ayrılan yönleri ele alınmıştır. Ayrıca, kontrol sistemlerindeki uygulamalarına geçmeden önce farklı denetleyiciler anlatılarak, bulanık kontrolün farkları ve kullanımındaki kolaylık gösterilmeye çalışılmıştır. Uygulamalar aşamasında özellikle MATLAB programı yardımıyla çeşitli modellemeler yapılmış, sonuçların oldukça iyi çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca, son bölümde iki uygulamaya yer verilmiş, uçağın uzunlamasına ekseni üzerindeki kontrolünün ve iniş aşamasında flap açısının hesabının bulanık mantık (kontrol) ile gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

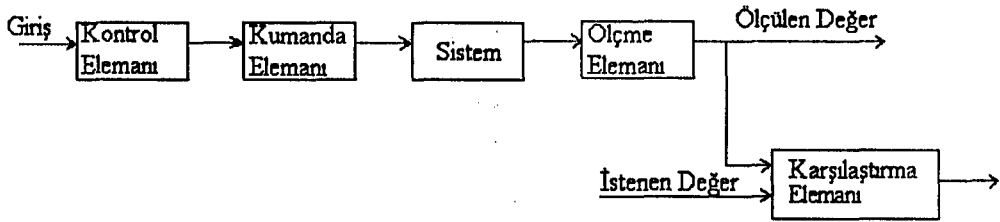
2. BULANIK KÜMELER VE BULANIK KONTROL

2.1. Geleneksel Kontrol Sistemleri

Bulanık mantığa dayanan kontrole geçmeden önce, geleneksel yaklaşımdaki kontrol kavramlarına ve kontrol yöntemlerini incelemekte fayda vardır.

Kontrol sistemleri, kontrol etkisi açısından iki ana sınıfa ayrılır. Bunlar; açık-döngü sistemleri ve kapalı-döngü kontrol sistemleridir.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, açık-döngü kontrol sistemlerinde kontrol eylemi, sistem çıkışından bağımsızdır. Açık döngü sistemlerde çıkışın ölçülüp, geribeslenmesi söz konusu değildir. Dolayısıyla sistemin girişi, çıkış bilgisinden haberdar olmaz [12].

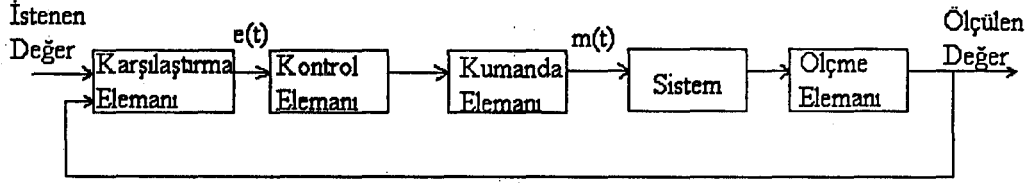


Şekil 2.1 Açık döngü kontrol sistemi [12]

Pratikte ise açık-döngü kontrol sistemleri, giriş-çıkış bağıntıları önceden belli olan ve iç veya dış bozuculara maruz kalmayan sistemlerde kullanılır. Çıkış ve girişin bir karşılaştırması yapılmadığından, sistemin çalışma doğruluğu, yapılan kalibrasyonun (ayarlar) ya da hassasiyetine (kesinliğine) bağlıdır. Açık döngü kontrol sistemleri ya zamanlama ya da sıralama esasına göre çalışırlar. Örneğin, otomatik çamaşır makinelerinde olduğu gibi, sistem girişi bir program şeklinde verilir ve sistem program sırasını izler. Trafik ışıklarının kontrol örneğinde ise program zaman esasına göredir. Işıkların yanıp sönmeleri belli bir sırada belli bir zaman süresi kadardır.

Kapalı döngü kontrolde; kontrol etkisi sistem çıkışına bağlıdır. Sistemin çıkışı ölçülüp, geribeslendikten sonra arzu edilen giriş değeri ile karşılaştırılır. Böylece sistemin girişi, çıkıştan haberdardır. Sistem çıkışı, geribeslenerek girişe uygulandığından, bu tür sistemlere aynı zamanda geribeslemeli sistemler de denir. Açık-döngü sistem ile kapalı-döngü sistemi birbirinden ayıran en önemli unsur

geribesleme etkisidir. Geribesleme etkisi ise, negatif geribesleme ve pozitif geribesleme olmak üzere iki şekilde olur. Kapalı-döngü sisteminin genel blok diyagramı, Şekil 2.2'de gösterilmiştir [12,13].



Şekil 2.2 Kapalı döngü sisteminin genel blok diyagramı [12]

Negatif geribeslemede, çıkıştaki değişimler giriş ters yönde etki eder. Böyle bir sistemde çıkış, arzu edilen değere göre bir artış gösterecek olursa kontrol etkisinin azaltılarak çıkışın istenen değere geri dönmesi sağlanır. Aksi bir durumda, eğer çıkış arzu edilen değere göre bir azalma (negatif değişme) gösterirse, kontrol etkisi artırılarak, çıkışın istenen değere yükselmesi sağlanır. Negatif geribeslemede daima giriş ile çıkışın bir farkı alınır ve bu fark negatif veya pozitif değerli olabilir. Kontrol organına bir hata girişi olarak iletilen bu değer, çıkışın istenen değere getirilmesini ve bu değerde sabit tutulmasını sağlar. Negatif geribesleme, endüstriyel sistemlerin en önemli özelliğidir ve daima hatayı en küçük değerde tutmaya veya sıfır yapmaya çalışır.

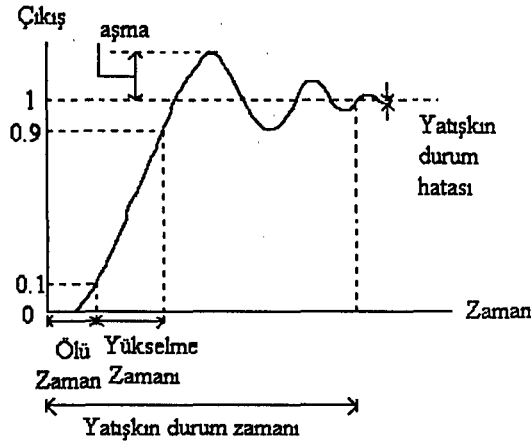
Pozitif geribeslemede çıkış, girişe aynı yönde etki eder. Buna göre çıkışta herhangi bir artış meydana gelecek olursa, bu giriş ile toplanarak hata sinyalinde bir artış ve dolayısıyla da kontrol sinyalinde bir artış meydana getirilir. Bu durum, sistemde çıkışı daha da artıracak yönde bir etki yaratır. Sonuçta artış, sistemin fiziksel sınırlamalarına kadar devam eder ve sistem denetlenebilirliğini kaybeder. Pozitif geribesleme iç döngüler hariç, bir kapalı-döngü kontrol sisteminde kullanılmaz.

Bir otomatik kontrol sistemi tasarımılamak için, önce süreç yada tüm sistemin özelliklerine uygun matematiksel modele ihtiyaç vardır. Denetleyicinin matematiksel modeli daha sonra geliştirilip, uygulanabilir.

Örneğin bir araç için, öndeki araçla aradaki mesafenin gözler yardımıyla ölçülüp, beyinle bir karşılaştırma yapıлып, aradaki farkın kontrol hareketi üretmek üzere gaza yada frene basılması bu konuya uygun basit bir örnektir. Kontrol

sürücünün gaz yada fren pedalına basmasıyla sağlansa da, buna manuel kontrol adı verilir. Sürücü ne kadar tecrübeli ise, sürüşün o kadar iyi olacağı kesindir. İyi sürücüler daha önce hiç karşılaşmadıkları durumlarda bile tecrübeleri sayesinde bazı anlamlı hareketler sergileyebilirler.

Verilen bir sistem için göz önünde bulundurulması gereken iki önemli durum vardır. Bunlardan ilki, sistemin kararlılığına bağlı geçici durum tepkisidir. Bir sistemin çıkışı zamana bağımlı olarak salınım yaparak veya ani şekilde artma sergilemiyorsa, sistemin kararlı olduğu söylenebilir. Geçici durum tepkisi, yükselme zamanı, aşma (overshoot) yüzdesi ve yatışkın duruma ulaşma zamanının ölçülmesiyle belirlenebilir. Sistem için önem arz eden ikinci durum, durgun durum tepkisidir. Bu da, yatışkın durum hatasının ölçülmesiyle belirlenir. Şekil 2.3'de, ikinci mertebeden kapalı döngü bir sistemin birim basamak tepkisi gösterilmektedir [14].



Şekil 2.3 İkinci mertebeden bir sistemin birim basamak tepkisi [14]

Endüstride yaygın olarak kullanılan kontrol düzeneği PID tip denetleyicilerdir. Böyle bir kontrol düzeneğinde, denetleme işlemi üç ayrı birimde gerçekleştirilir. Amaç, aşma zamanını, yatışkın duruma ulaşma zamanını ve yatışkın durum hatasını belirlenen değerde tutmak ve sistem kararlılığını sağlamaktır [15].

PID (Proportional+Integral+Derivative) kontrol; bu üç temel kontrol etkisinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir kontrol etkisidir. İntegral etki sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev etkide, yalnızca PI kontrol etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl

kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID kontrol organı sistemde sıfır kalıcı-durum hatası olan hızlı bir cevap sağlar.

PID kontrol sistemi, diğerlerine göre daha karmaşık yapıda olup, o oranda pahalıdır. Burada K_p , K_i ve K_d parametrelerinin uygun bir ayarı ile istenen bir kontrol sağlanabilir. Eğer bu katsayılar uygun bir şekilde ayarlanamayacak olursa, PID kontrolün sağlayacağı üstün özelliklerden yararlanılamaz. Üç ayrı denetleme bölümü kısaca aşağıda açıklanmıştır.

1. kısım : Orantı İşlemi (P)

Kontrol sinyali, hata sinyalinin belli bir katına getirilir. K_p oransal denetleyicinin kazancı olarak da adlandırılabilir.

$$P(t) = K_p e(t) \quad (2-1)$$

2. kısım : İntegral İşlemi (I)

$I(t)$ kontrol sinyali, o andaki zamana bağlı olarak hata sinyalinin kümülatif toplamı şeklinde, K_i sabitiyle ifade edilen bir katıdır. Burada K_i integral denetleyicisinin kazancını göstermektedir.

$$I(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2-2)$$

3. kısım : Türev İşlemi (D)

$D(t)$ kontrol sinyali, hata sinyalinin aynı andaki değişim oranının K_d sabitiyle ifade edilen bir katıdır. Burada K_d türev alıcı denetleyicinin kazancını göstermektedir.

$$D(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-3)$$

Bütün işlemler bir bütün halinde $m(t)$ kontrol sinyali, şu şekilde yazılır:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-4)$$

Temel olarak dinamik bir yapı kontrol altında tutulmak istendiğinde, PI tip denetleyiciler bunun için uygundur. Bu işlemler, birinci dereceden diferansiyel denklemlerle açıklanabilir. Örneğin, bir su tankındaki su seviyesi kontrolü bu tip denetleyicilerle yapılabilir. PID tip denetleyiciler ise, dinamik yapının ikinci planda düşünüldüğü durumlar için daha uygundur. Buna örnek olarak, sürtünme

hareketinin işin içine girdiği durumlar verilebilir. Sistemin karmaşıklığı arttıkça, basit bir PID tip denetleyicide yeterli olmayabilir.

Sayısal şifreler biçimde sayısal bilgiler kullanan ve bunları kağıt bant, manyetik bant veya manyetik disk gibi kontrol organlarında saklayabilen sistemlere, sayısal kontrol sistemleri adı verilir. Bu sayısal bilgi konum, yön, hız gibi değişkenleri denetlemek amacı ile sistemi çalıştırmak için kullanılır. Buna göre her sayısal kontrol sistemi, bilgisayarlı kontrol sistemi değildir. Diğer taraftan bilgisayarlı ve mikroişlemcili kontrol sistemleri, sayısal kontrol sistemleridir.

Çeşitli biçimlerde karşımıza çıkan sayısal kontrol araçlarının en ilkel şekli delikli kartlar ve en gelişkin biçimi de sayısal bilgisayarlardır. Endüstriyel alanda delikli kartların ilk uygulaması 1801 Fransız Joseph Jacquard'ın geliştirdiği dokuma tezgahına kadar uzanır. Bu delikli kart sistemleri takım tezgahlarında ve imalat otomasyonunda yaygın olarak senelerce kullanılmıştır. Takım tezgahları alanında kullanılan sayısal kontrol genellikle nümerik kontrol olarak bilinir. Günümüzde, elektronik ve özellikle de sayısal elektronik alanında gelişmelere bağlı olarak sayısal kontrol uygulamaları çok fazla kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır.

Sayısal sistemler, 'var' veya 'yok' yada 'açık' veya 'kapalı' biçiminde çalışırlar. Sayısal elektronik alanında mevcut ve, veya, değil gibi mantık devreleri, TTL ve CMOS türü sayısal elektronik kapılar, bileşik mantık sistemleri, sıralı mantık sistemleri, A/D ve D/A çeviriciler, kaydediciler ve sayıcılar, zamanlayıcı ve darbe devreleri sayısal kontrol devrelerinin kurulmasında kullanılacak ayırık elemanlardır. Bunların daha gelişkin biçimleri ise tümleşik mantık devrelerinden ibaret mikroişlemci ve mikrodenetleyicilerdir. Bu alanda ortaya çıkan gelişmeler ve maliyet alanındaki düşüşler, günümüzde mikroişlemcilerin tek bir kontrol döngüsüne tahsisli olarak kullanılabilmesini olanaklı kılmıştır.

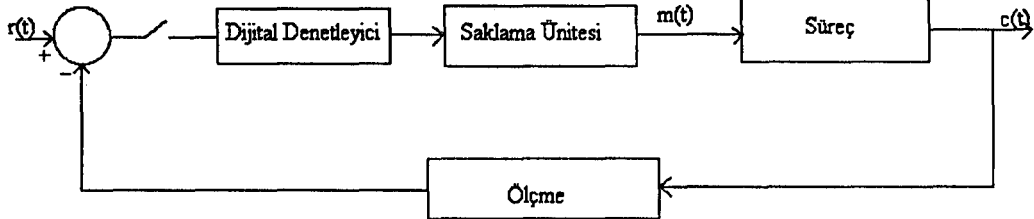
Bugün bilinen en gelişkin kontrol aracı ise bilgisayarlardır. Doğrudan sayısal kontrolde (DDC-Direct Digital Control), tek döngülü örneksel denetleyiciler grubunun yerini tek bir sayısal bilgisayar alır. Bu bilgisayarların daha yüksek hesaplama yeteneği, daha karmaşık ileri kontrol tekniklerinin uygulanabilmesini olanaklı kılar. Bu şekilde uyarlamalı kontrol, kendi kendini

ayarlayan kontrol, düzey kontrol, gözetleyici kontrol, öğrenmeli kontrol gibi gelişkin kontrol biçimlerini uygulamak mümkün olmaktadır.

Sayısal bilgisayarların, klasik kontrol sistemleri karşısındaki üstünlüğü, son derece çeşitli ve değişik görevleri yerine getirebilecek biçimde programlanabilmeleridir. Ayrıca belirli bir sistemin yetersiz kalması durumunda, sisteme yeni görevler yüklemeye yönelik olarak bilgisayarların programları kolaylıkla değiştirilebilir ve yeğlenen işlemlere ilişkin yeni programlar yüklenebilir. Sayısal bilgisayarlarda bu değişiklikler, kontrol sisteminin fiziksel donanımında herhangi bir değişikliğe gerek kalmaksızın yapılabilir.

Kontrol sistemlerinde dijital tekniklerin kullanılması da avantajlı olabilir. Önceden dizayn edilmiş entegreler, çipler vb. elemanlar sayesinde, dijital sistemlerin oluşturduğu devrenin yapılması kolay olmaktadır. Bununla birlikte dijital tekniklerin kullanılması, devrenin bulunduğu kartta elemanların birbirini etkilemesi ve başka olası nedenlerden dolayı her zaman uygun sonuçlar vermeyebilir [14].

DDC olarak adlandırılan olası bir kontrol sistemi de Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



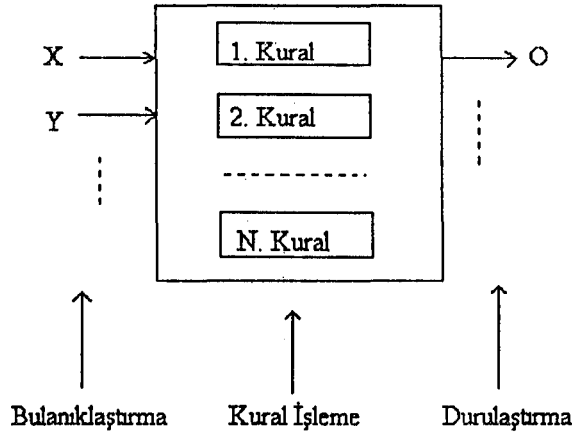
Şekil 2.4 DDC'nin genel blok diyagramı

DDC sisteminde analog girişler düzenli aralıklarla örneklendirilir. Örneklenmiş frekans değeri, girişteki orijinal frekans değerinden, en az iki kat fazla olmalıdır. Hesaplanacak gecikme değerine göre, örneklenecek olan frekansın üst değeri bulunur.

2.2. Bulanık Sistemler

Bulanık bir süreç (fuzzy process), genelde, üç ayrı birimden oluşmaktadır. Bu birimler; sırası ile bulanıklaştırıcı birim, kural işleme birimi, durulaştırıcı birim

ve çıktı bilgileridir. Şekil 2.5’de genel bir bulanık sistem yapısı gösterilmektedir [16].



Şekil 2.5 Bulanık sistem yapısının genel gösterimi

Bu akış düzeninde, bulanıklaştırıcı birim, bulanık işlem sisteminin ilk birimi olarak devreye girmektedir. Kesin veya geri besleme sonuçları biçiminde bu birime giren bilgiler, burada bir ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılmaktadır. Başka bir deyişle; bu bilgilerin her birine bir üyelik değeri atanıp, dilsel bir yapıya dönüştürülerek, buradan kural işleme birimine gönderilir. Kural işleme birimine gelen bilgiler, kural işleme biriminde depolanmış bir şekilde bulunan bilgi tabanına dayalı 'if ... and ... then ... else' (eğer ... ise, ... olsun) gibi kural işleme bilgileri ile birleştirilir. Burada sözü edilen mantıksal önermeler, problemin yapısına göre sayısal değerlerle de kurulabilmektedir. Son adımda; problemin yapısına uygun mantıksal karar önermeleri kullanılarak elde edilen sonuçlar durulaştırıcı birime gönderilir. Durulaştırıcı birime gönderilen bulanık küme ilişkilerinde, bir ölçek değişikliği daha gerçekleştirilerek bulanık haldeki bilgilerin her biri gerçel sayılara dönüştürülür [17,18,19].

2.2.1. Bulanıklaştırma ve fonksiyonların oluşturulması

Bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için klasik küme şeklinde belirtilen değişim aralıklarının bulanıklaştırılması gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bu durumda,

bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizliklerin, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir [1].

Bulanıklaştırma sürecinde ele alınan üyelik fonksiyonları, problemin yapısına ve amacına uygun olmalıdır. Genel anlamda üyelik fonksiyonları sezgisel, matematiksel, geometrik ya da istatistiksel yaklaşımlara dayandırılabilir [17].

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte bir çok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre davranmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler; a) Sezgi, b) Çıkarım, c) Mertebelme, d) Açılı bulanık kümeler, e) Yapay sinir ağları, f) Genetik algoritmalar, g) Çıkarımcı muhakeme gibi yaklaşımlardır [7].

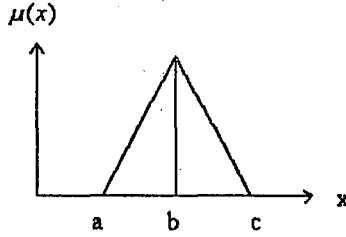
Bulanık üyelik fonksiyonları, olayların gerçek uzaylarını ya da dağılımlarını içerecek özellikleri sergilemelidir. Çizelge 2.1’de çok sık kullanılan fonksiyonların adları, denklemleri ve grafikleri gösterilmiştir [17].

Çizelge 2.1 Önemli üyelik fonksiyonları [17]

Adı	Denklemleri	Grafik
Üçgen Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, 0 \right] \right\}$	
Yamuk Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = \text{Max} \left\{ \min \left[\frac{x - x_1}{x_{11} - x_1}, 1, \frac{x_2 - x}{x_2 - x_{12}}, 0 \right] \right\}$	
Gauss Üyelik Fonksiyonu	$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{\sigma} \right)^2}$	

Üçgen üyelik fonksiyonu:

A bulanık kümesine ait elemanların, üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Üçgen üyelik fonksiyonu

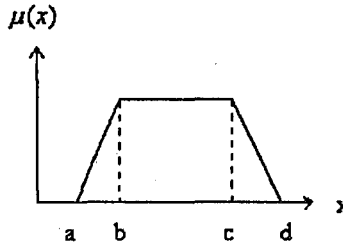
Matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibi olur [20]:

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2-5)$$

Burada $\mu_A(x)$ ifadesi x elemanının, A kümesine ait olma derecesini (üyelik derecesi) göstermektedir.

Yamuk üyelik fonksiyonu:

A bulanık kümesine ait elemanların, yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Yamuk üyelik fonksiyonu

Matematiksel gösterimi ise aşağıdaki gibi olur [1]:

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c < x \leq d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2-6)$$

Bulanık küme kuramı, 'belirsizlik'in bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir. Bir çeşit çok-değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri, diğer küme kuramlarıninkilerden farklılıklar gösterir.

Kümedeki her bir birey, iki-değerli küme kuramlarında olduğu gibi ‘üye’ ya da ‘üye değil’ olarak değil, bir dereceye kadar üye olarak görülür. Örneğin, 1.90 m. boyundaki bir kişi ‘uzun boylular’ kümesinin bir üyesidir. 2.00 m. boyundaki bir kişi ve 2.10 m. boyundaki bir kişi de bu kümenin elemanlarıdır.

Bazı durumlarda bir elemanı bir kümenin ‘üyesi’ ya da ‘üyesi değil’ şeklinde sınıflandırmak yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda, üyelik değerlerini, boy örneğinde olduğu gibi dereceli olarak boylarına göre tanımlamak uygun olabilir.

‘Boy örneği’ ile ilgili iki farklı durumu gösteren (iki-değerli kümeye ve bulanık kümeye ait) doğruluk tabloları örnek olması açısından Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [20,21].

Çizelge 2.2 a) İki değerli kümeye ait doğruluk tablosu

b) Bulanık kümeye ait doğruluk tablosu

	Boy	Kısa	Normal	Uzun
A	179 cm.	0	1	0
B	171 cm.	0	1	0
C	168 cm.	1	0	0

(a)

	Boy	Kısa	Normal	Uzun
A	179 cm.	0	0.4	0.6
B	171 cm.	0.4	0.6	0
C	168 cm.	0.7	0.3	0

(b)

‘Bulanık küme’ kavramı, hassasiyetin artırılması yada esneklik açısından klasik kümelerinkine göre daha uygun olan bir yöntem olarak görülebilir. Aslında getirdiği yaklaşım, klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir kenara bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktır [5].

İki değerli mantıkla, iki mutlak sonuç ‘0’ ve ‘1’ olarak gösterilirken, sonsuz değerli mantıkta ise sonuçlar [0.0, 1.0] aralığında tanımlanır. Bu değerlere ‘üyelik derecesi’ denir. ‘0’ mutlak ‘yanlışlığı’, ‘1’ ise mutlak ‘doğruluğu’ gösterir. Bu üyelik derecesi, belirsizliği gidermeye çalışıp, tanımlamaya çalışan bir fonksiyonla ölçülebilir. Bu fonksiyon, bir bulanık kümedeki elemanları [0,1]

aralığındaki reel bir değere dönüştürür. Aşağıdaki örnek, bir A kümesine ait elemanları reel sayıya dönüştüren fonksiyon gösterimidir [22]:

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (2-7)$$

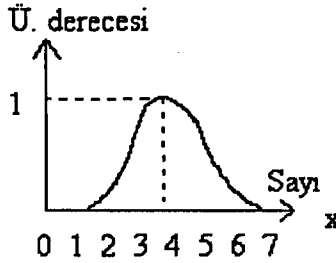
Burada çalışılan X uzayı, kesin ve sınırlı olduğu zaman, A kümesi sembolik olarak aşağıdaki gibi gösterilir:

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad i = (1,..) \quad (2-8)$$

Bu gösterimde cebirsel semboller, cebirsel anlamlarıyla kullanılmazlar. Örneğin '+' toplam anlamında değil, teorik olarak birleşme anlamındadır. X uzayı sürekli ve sınırsız ise, A kümesi şu şekilde gösterilir:

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\} \quad (2-9)$$

Örneğin; '4'e yaklaşan' reel sayıların bulanık kümesinin fonksiyonunun Şekil 2.8'deki gibi tanımlandığı düşünüldüğünde, bu duruma uygun fonksiyonlardan biri Gaussian eğrisidir (çan eğrisi) ve fonksiyon Şekil 2.8'deki gibi gösterilir:



Şekil 2.8 "4"e yaklaşan reel sayıların üyelik fonksiyonu

Burada üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = e^{-a(x-m)^2} \quad a > 0, m \in R \quad (2-10)$$

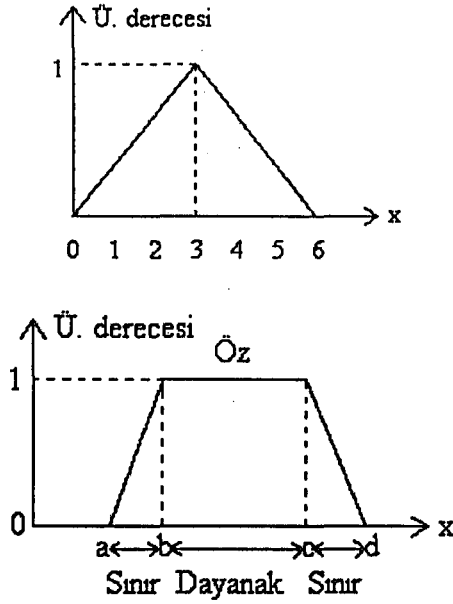
olarak tanımlanmaktadır.

Eğer özel olarak '4'e yaklaşan doğal sayılar' için bir küme tanımlamak istersek, bunu aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:

$$A = \left\{ \frac{0}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{1}{4} + \frac{0.6}{5} + \frac{0.3}{6} + \frac{0}{7} \right\}$$

Bu iki örnekte dikkat edilmesi gereken durum, reel sayılar kümesinin sürekli iken, doğal sayılar kümesinin kesikli olmasıdır. İlk durumdaki Gaussian eğrisi keyfi olarak seçilmiştir. Örneğe uygun başka bir fonksiyon da seçilebilirdi.

Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. En sık kullanılan fonksiyonlar kolaylık açısından ‘üçgen’ ve ‘yamuktur’ (Şekil 2.9) [2,23].



Şekil 2.9 Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları için örnek gösterimler

Üçgen ve yamuk şeklinde çizilen fonksiyonlara bakıldığında, bir bulanık ifadenin üç özelliği anlaşılabilir. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Bir kümede bulunan öğelerden en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekmektedir. Bu duruma bulanık kümenin normal olması denir.
- Üyelik derecesi 1 olan öğeye yakın, sağdaki ve soldaki öğelerinde üyelik dereceleri 1'e yakın olmalıdır. Bu durumda bulanık kümenin monoton olduğu anlaşılır.
- Üyelik derecesi 1'e eşit öğeden sağa ve sola eşit mesafede gidildiğinde, buradaki öğelerinde üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekir. Bu duruma da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir [1].

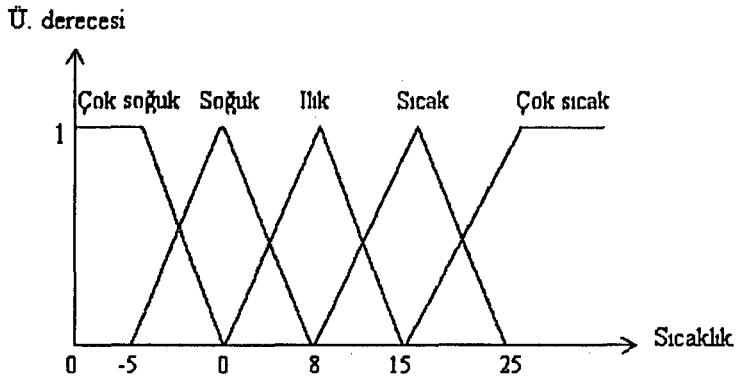
Şekil 2.9'da gösterilen durum, bir örnekle özetlenebilir. x bir diskin dakikadaki dönme hızı olarak kabul edilsin. Elde bulunan ölçme aletlerinin yetersizliğinden dolayı x hızı, hiç bir zaman kesin bir şekilde ölçülemeyecektir. Bu durumda şu önermeyi yapmak daha gerçekçi olur:

'Sabit diskin dönme hızı neredeyse x 'e eşittir.'

Eğer sabit diskin işlevi hakkında istatistiksel veriler mevcutsa, olasılık teorisi yaklaşımları ile bilinen hata hesaplamaları kullanılarak yukarıdaki önerme modellenmelidir. Fakat elde modellemeyi yapacak ölçüde bir veri yoksa yada yeterince kesin ve hassas değerler bulunmuyorsa dönme hızı kavramı, bulanık kümeler yoluyla ifade edilebilir. Elde veri bulunmasa dahi bulanık kümelerle dönme hızını tanımlamak mümkündür.

Araştırmacı, dönme hızını tanımlamak için yukarıda anlatıldığı gibi bir A bulanık kümesi seçebilir. Bu durumda dönme hızının a değerinden küçük, d değerinden büyük olamayacağı ve b ile c arasında herhangi bir değer almasının neredeyse kesin olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle $[a,d]$ aralığı, kümenin desteği ve $[b,c]$ aralığına da özü olarak adlandırılır.

Fonksiyonların sık kullanılan üçgen yada yamuk şeklinde, yada diğer uygun formlarda olmasının yanında alt kümelerin birbiri ile örtüşecek şekilde olması gerekmektedir. Örnek olması açısından sıcaklık ile ilgili durumu gösteren örtüşmeli geçişler, Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Üyelik fonksiyonlarında örtüşmeli geçişe bir örnek

Fonksiyonları ve üyelik derecesini anlamak açısından; genç, orta yaşlı ve yaşlı insan kavramını temsil eden ve $[10,90]$ aralığında tanımlı üç bulanık küme Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Öncelikle bu yaş gruplarının, isteğe bağlı bir

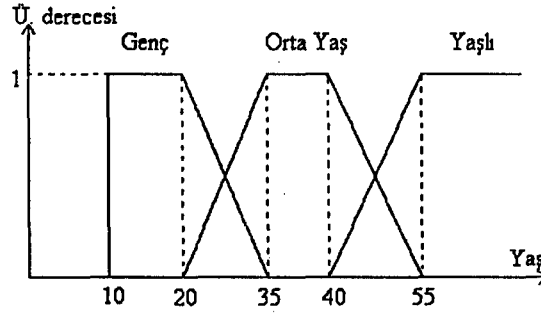
şekilde aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu üç yaş grubunun üyelik fonksiyonları,

$$\mu_{Genç}(x) = \begin{cases} 1 & 10 < x \leq 20 \\ (35-x)/15 & 20 < x < 35 \\ 0 & x \geq 35 \end{cases}$$

$$\mu_{OrtaYaş}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 20, x \geq 55 \\ (x-20)/15 & 20 < x < 35 \\ (55-x)/15 & 40 < x < 55 \\ 1 & 35 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (2-11)$$

$$\mu_{Yaşlı}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 55 \\ (x-40)/15 & 40 < x < 55 \\ 0 & x \leq 40 \end{cases}$$

şeklinde yazılabilir.



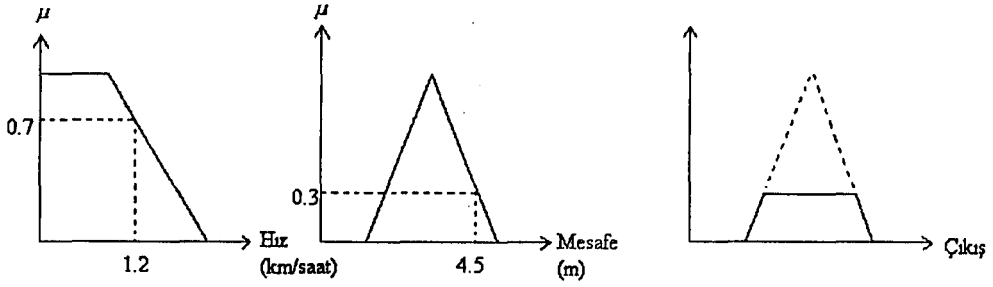
Şekil 2.11 Genç, orta yaşlı ve yaşlı kavramlarını temsil eden üyelik fonksiyonları

Bu örnekteki yaşın alt kümeleri ile ilgili fonksiyonlardan, bir yaşın o kümeye ne kadar ait olduğu yani üyelik derecesi tespit edilir [2].

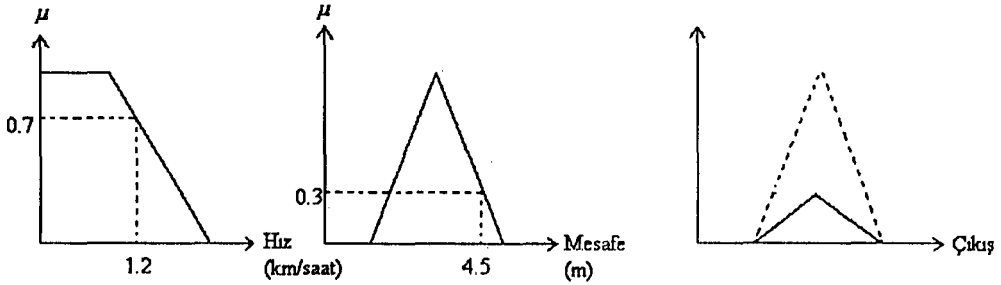
Birden fazla bulanık girdinin işin içine girmesi durumunda, bu fonksiyonlardan iki farklı yöntem ile çıkış fonksiyon grafiği elde edilebilir. Bu metotlar,

- Kesme Metodu
- Ölçekleme Metodu [24]

olarak adlandırılmaktadır. (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13)



Şekil 2.12 Kesme metodu ile kuralın uygulanması [24]



Şekil 2.13 Ölçekleme metodu ile kuralın uygulanması [24]

Kesme metodu bir sonraki bölümde anlatılan kural işleme birimine göre gelen kuralardan, uygun çıktıları yamuk üyelik fonksiyonu şeklinde gösterir. Kurallar arasında 've' işlemi yapılıyorsa, yamuk şeklindeki fonksiyonun plato düz kısmına küçük olan üyelik derecesi verilir. Ölçekleme metodunda ise, üçgen şeklinin tepe noktası üyelik derecelerinden küçük olan noktaya karşılık gelir. Kurallar belirlenirken oluşturulan üyelik fonksiyonları simetrik seçilirse, çıkıştaki durulaştırma işlemi aynı sonucu verir.

2.2.2. Kural işleme birimi

Bulanık mantıkta kurallar, 'eğer ... ise, ... olsun' şeklinde koşullu durumlarla formülize edilirler [25].

Tüm girdi değişkenleri, sözel değişken değerlere çevrilerek, bulanık sonuç çıkarma adımı, güncel durum için kurallara dayandırılarak uygulanır ve çıkışta sözel değişkenlerin değerleri hesaplanır [26].

Öte yandan, bir bulanık kural, 'eğer ... ise, ... olsun' şeklinde (örneğin X değeri A ise, Y değeri B olsun) sözel girdi ve çıktı terimlerine sahip olmalıdır. 'eğer ...' bölümüne durum; '... olsun' bölümüne ise sonuç yada karar kısmı adı verilir [27].

Bu durumda bulanık sonuç çıkarma hesaplarının, iki bileşeni olduğu anlaşılır:

- Kümeleme: Kuralların 'eğer ...' bölümlerinin hesaplanması
- Düzen: Kuralların '... olsun' bölümlerinin hesaplanması

'X değeri A ise, Y değeri B olsun' örneğinde, A ve B sözel kelimelerdir. Bulanık kümelerde X ve Y değerlerinin, hangi duruma ait olduğunu gösterirler. Günlük hayatta kullanılan bazı bulanık ifadelere dayanan kurallar, örnek olması açısından aşağıda gösterilmektedir:

'Eğer basınç yüksekse, hacim küçük olsun.'

'Eğer bir domates kırmızı ise, o domates olgun bir domatestir.'

1973 yılında, Zadeh, bulanık değişkenler yada sözel ifadeler ile ilgili kavramlar ortaya koymuştur. Bu kavramlardan en önemli olanlarından bir tanesi de bulanık nesne kavramıdır. Nesne olarak tanımlanmış sensör girdilerine örnek olarak 'sıcaklık', 'yer değiştirme', 'hız', 'akış', 'basınç' vb. gösterilebilir. Fark değeri olan 'hata' sinyalini de aynı kategoriye sokmak mümkündür. Bulanık mantıkta ifadelerin sıfat olarak kullanımına örnek olarak ise, 'büyük pozitif' hata, 'küçük pozitif' hata, 'sıfır' hata vb. örnekler gösterilebilir. Her bir parametre için 'büyük', 'küçük' ve 'sıfır' gibi değişkenler ile ifadeler hakkında bilgi verilir. Bunlara ilaveten, 'çok büyük', 'çok küçük' vb. ifadelerle de çok doğrusal olmayan yada istisna durumlar için kullanımda daha esneklik kazandırılabilir.

Bulanık mantıkta karşılaşılan, bulanık muhasebe yada diğer bir deyişle bulanık kural, bilinen gerçeklerin oluşturduğu bir küme için sonuçların türetildiği bir işlem katıdır [11].

Bulanık mantık uygulamalarında kural işleme birimi yada bilgi tabanı şeklinde kendi başına bir ünite yoktur, fakat teorik anlatımda, anlama kolaylığı sağlamak ve şematik ifade edebilme açılarından veri tabanı ve kural tabanı, ikisi beraber bilgi tabanı olarak gösterilir. Çıkarım ünitesi, karar verme işlemlerinde, bilgi tabanına gidip, veri tabanından üyelik fonksiyonlarıyla ilgili bilgileri, kural tabanından ise değişik giriş değerleri için tespit edilmiş olan kontrol çıkışları bilgisini alır. Bu bakımdan bilgi tabanı ve çıkarım ünitesi sürekli ilişki halindedir.

2.2.2.1. Veri tabanı

Üyelik fonksiyonlarının tespit edilmesi için yapılan ön çalışmalar ile, son hali belli olmuş üyelik fonksiyonlarının sınır ve eğim bilgilerini içeren veri tabanını ayrı düşünmek gerekmektedir. Bir bulanık kontrol sisteminde, Basic, Pascal, C gibi üst düzey dilleri kullanan bir bilgisayar veya Assembly dilini kullanan bir mikroişlemci kullanılmış olabilir. Her iki şekilde de üyelik fonksiyonu bilgilerinin, program olarak oluşturulması gerekmektedir. Bir veya birden fazla üyelik fonksiyonunun sınırlandırılmış olduğu bir alan, dilsel olarak ifade edilen bir bölgeyi oluşturur. Bu bölgelerin, bir program dilinde oluşturulabilmesi için, her bir bölgeyi sınırlandıran üyelik fonksiyonlarının başlangıç, bitiş noktaları ve fonksiyon denklemlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Teorik çalışmalarda üyelik fonksiyonları grafik olarak izah edildiği ve gözle takip edilebildiği için, veri tabanı grafiklerden ibaret kalmakta ve bazı çalışmalarda yüzeysel olarak anlatılmaktadır. Fakat uygulamalı bir bulanık kontrol çalışmasında, üyelik fonksiyonlarıyla oluşturulan bölge bilgilerinin, çalışmanın yapıldığı programlama dilinde oluşturulması, programlamanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Veri tabanı oluştururken evrensel kümenin ayrıklaştırılması yani analog bilgilerin dijitalle çevrilmesi, normalizasyonu ve giriş-çıkış aralıklarının bulanık olarak bölümlendirilmesine dikkat edilmelidir. Normalizasyon sisteme esneklik kazandırmak için yapılır [7].

2.2.2.2. Kural tabanı

Kural tabanında, sistemin bilgi girişlerinin alabileceği çeşitli değerlere göre mantıki olarak uygunluk gösteren sistem çıkış değerleri, kural satırları haline getirilerek, kural tabanı oluşturulur. Örneğin bir klima kontrolünde “içerisi az sıcak ise az soğut, çok sıcak ise çok soğut” şeklinde bir ilişki kurulabilir. Kural tabanında değerlendirilecek giriş bilgileri birden fazla olabileceği gibi, kontrol çıkışı da birden fazla olabilir.

Aslında ‘sıcak’, ‘soğuk’ gibi dilsel ifadeler sistemin girişinde ve çıkışındaki değer uzayını aralıklara ayırmaktadır. Kural tabanı bu şekliyle klasik sayısal kontrolleri andırmaktadır, fakat bölge bilgisinin yanında girişlere ait üyelik

ağırlıklarının da dikkate alınıyor olması bulanık kontrolü, uzman sistemlerden ve diğer kontrollerden ayırmaktadır.

Basit olarak bir sistem için kural tabanı geliştirdiğimizde, sistem çıkışını etkileyebilecek ölçülebilen giriş değerleri tespit edilmelidir. Giriş bilgisine ait değer uzayı, üyelik fonksiyonları ile bölgelere ayrılarak, dilsel ifadelerle isimlendirilir ve aynı zamanda her giriş değeri için bir üyelik ağırlığı tespit edilmiş olur. Böylece her giriş değerinin, ait olduğu bir bölgesi ve bir üyelik ağırlığı olur. Kural tabanı, her birisi bir bölgeyi temsil eden dilsel ifadelerle düzenlenir. Örneğin '1. giriş sıcak, 2. giriş normal ise, çıkış yüksektir.' gibi bir kural satırında görüldüğü gibi, kural tabanını oluşturan bilgiler, tamamen dilsel ifadelerdir. Fakat her kural satırındaki, tespit edilmiş olan çıkış değeri, birim fonksiyonlarla oluşturulmuş ise, sayısal değerlerle de ifade edilebilir. Bu durumda oluşturulacak kural satırları '1. giriş sıcak, 2. giriş normal ise, çıkış 1.5'tir.' şeklinde bir kuralın benzeri olabilir. Kural satırları birbirlerine 'veya' bağlacı ile bağlanır ve her kural satırında girişler ve çıkışlar arasında 've' bağlacı kullanılır.

Kontrol tabanını oluşturan kurallar aşağıdaki özelliklere sahiptir:

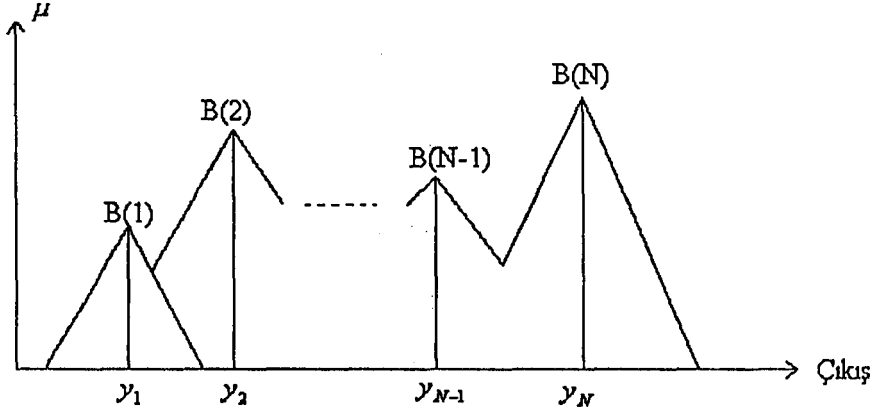
- 1-Her kural bağımsız bilgi parçasını içerir.
- 2-Yeni kurallar diğer kurallardan bağımsız olarak kural tabanına eklenebilir.
- 3-Eski kurallar diğer kurallardan bağımsız olarak değiştirilebilir.
- 4-Kontrol sisteminin kararlarını ve çözümlerini içerir.

2.2.3. Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasının yanında, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma işlemleri adı verilir. Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemlerden ikisi Yükseklik Yöntemi ve Ağırlık Merkezi Yöntemidir.

2.2.3.1. Yükseklik yöntemi

Durulaştırmada kullanılan yöntemlerden bir tanesi yükseklik yöntemidir. Bu yöntemin kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. (Şekil 2.14)



Şekil 2.14 Yükseklik metodunun gösterimi [28]

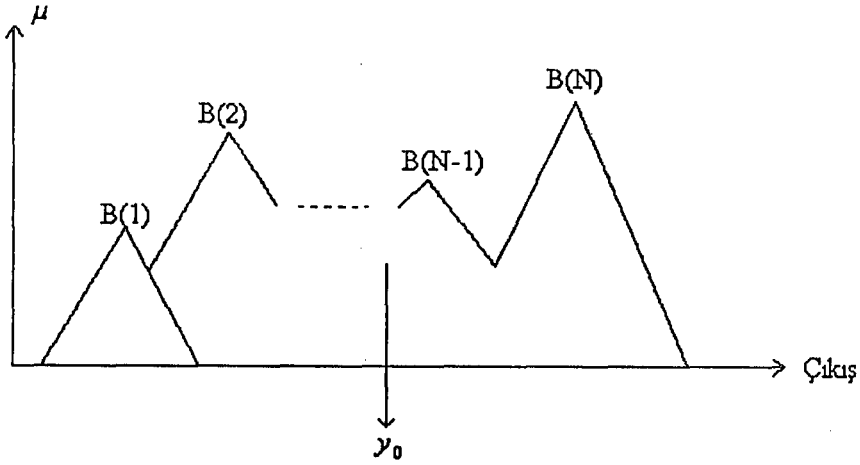
B(1), B(2)... B(N), 1'den N'e kadar olan kuralların çıkışlarını göstermektedir. Yükseklik metoduna göre durulaştırma işlemi yapıldığında, y_0 çıkış değeri,

$$y_0 = \frac{\sum \mu(y_i) y_i}{\sum \mu(y_i)} \quad (2-12)$$

eşitliğinden faydalanılarak bulunur. Burada y_i , bulanıklaştırmada oluşmuş her bir fonksiyonun üyelik derecesi en büyük olan elemanlarıdır. $\mu(y_i)$ değerleri ise, bu elemanlara karşılık gelen üyelik derecelerini belirtir.

2.2.3.2. Ağırlık merkezi yöntemi

Durulaştırma işlemlerinde, yaygın olarak kullanılan işlemlerden bir tanesidir. Adından anlaşılacağı gibi bu yöntemle, bulanık çıkış fonksiyonunun altında kalan bölgenin alanının ağırlık merkezi bulunur. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi [28]

Bu yöntemde göre y_0 çıkış değeri

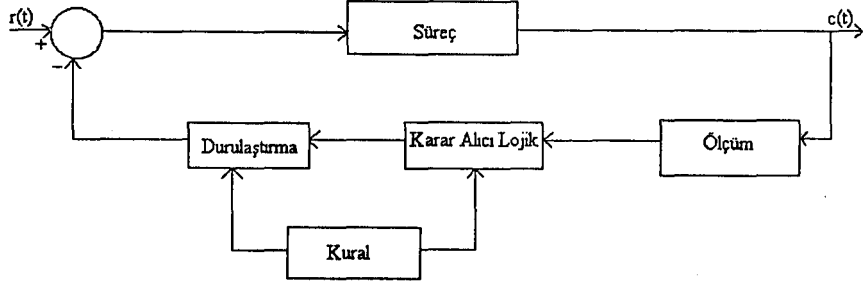
$$y_0 = \frac{\int \mu(y)y}{\int \mu(y)} \quad (2-13)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Bu iki yöntemin dışında ayrıca üyelik derecesi en büyük olan elemanların aritmetik ortalamasına dayanan, en büyüklerin ortası yöntemi ve simetrik üyelik fonksiyonlarının bulunması halinde kullanılan ağırlıklı ortalama yöntemleri de mevcuttur [28].

2.3. Bulanık Kontrol

Bulanık mantık kontrolü, kontrol edilmesi gereken sürecin durum bilgisi ve kontrol işlemi arasındaki bulanık işlem algoritmasına dayanır. Bir sistem için matematiksel modelden ziyade, sistem bilgisinin daha önemli olduğu durumlarda bulanık kontrol kullanılır. Bu nedenle bulanık kontrolü geleneksel kontrol algoritmalarından ayıran en belirgin özelliğın sistem bilgisi olduğu söylenebilir. Bir bulanık kontrol sistemi Şekil 2.16'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Bir bulanık mantık kontrol sistemi

Bulanık mantık kontrol sistemi ile diğer kontrol sistemleri, kontrol hareketinin çıkışının ölçülmesi açısından benzerlikler gösterirler. Geleneksel kontrol sistemleri içinde en çok kullanılan PID tip denetleyicilerde, denetleme işlemi; bir sabitle çarpım, türevleme ve integral veya bu işlemlerin kombinasyonu şeklinde yapılırken, bulanık kontrol algoritmasının özü, bulanık bir ifade ile bulanık çıkış değişkeni arasındaki durumun açıklanmasına dayanır. Bu sözel ifade şu şekilde tanımlanır:

$$A \longrightarrow B \text{ (} A \text{ durumu, } B \text{ 'yi kapsar)}$$

Eğer A durumu ... ise, B durumu ... olsun anlamında kullanılır. Bu ifade ile kartezyen çarpım ile elde edilen ilişki arasında bir eşitlik vardır.

$$R = A \times B \equiv \text{Eğer } A \text{ durumu ... ise, } B \text{ durumu ... olsun}$$

Bir bulanık değişken, μ olarak gösterilen üyelik fonksiyonu ile bulanık küme içerisinde tanımlanır. Bu bulanık değişken, devamlı yada kesikli olabilir. Devamlı değişken değeri ölçülebilir ve ayrık bir değişkenmiş gibi tanımlanabilir.

Bir operatör, bazı durumlarda bir sistem için gerekli matematiksel modele ihtiyaç duymadan yapabilir. Burada önemli olan sistemi anlamak ve nitel bir sonuç çıkarma kabiliyetine sahip olmaktır. Örneğin, araç kullanma eylemini matematiksel bir modele sokma gibi bir gereksinim yoktur. Öndeki aracın çok yakın olduğunu görmek ve buna karşılık biraz yavaşlamak uygun sebep-sonuç ilişkisidir. Buradaki 'çok yakın' ve 'biraz yavaşlama' kavramları ancak bulanıklık kavramları içerisinde açıklanabilir. Şüphesiz son hareket, örneğin bu örnek için fren pedalına basma işlemi, kesin ve bulanık olmayan bir işlem olmasına rağmen, olayın içerisindeki bir takım sözel kurallar olması olayı bulanık hale getirmektedir. Kişinin sürüş kriterleri (yada tabii olduğu trafik kuralları) ile bu durum direkt

ilgilidir. Son hareketten önce karar verilmesi gereken durum sayısı arttıkça olay daha da karmaşık hale gelir. Örneğin, öndeki araca yaklaşıldığında biraz daha yavaşlamanın yanında, eğer yağmur varsa, öncekine nazaran biraz daha yavaş takip etmek söylenebilir. Sonuç olarak, fren pedalına uygun şiddette basılarak, bir karar verilir. Burada yapılan, bulanık kümeden uygun bir değer seçilmesi işlemidir.

Araç kullanma sırasında kesin olaylar karşısında kesin tepkiler sergilenir. Kırmızı ışık görüldüğünde durmak bu duruma bir örnektir. Kırmızı ışığın yanma süresini göz önüne alan sürücünün uygun hareketi yapması bulanık küme kavramlarıyla açıklanabilir [15].

Bulanık kontrol, mekanik yada işlemsel fonksiyonların çalışması ve kontrolünden anlamlar çıkararak uygulamadır. Bu konunun en önemli özelliği elde basit ve çok fazla bilgi bulunmadığı durumlarda kullanılmasıdır. Bu yüzden karışık kontrol işlemleri basit ve birbirinden bağımsız bölümlere ayrılır.

Bulanık sonuç çıkarma işlemleri bir çok işlem kuralından ve bir lojik toplamdan ibarettir. İşlem kuralları, durumlara ve bir sonuç çıkarmaya bölünür. Bir durulaştırma işlemiyle işlemin basit, sabit bir değere dönüştürüldüğü yer lojik toplam kısmıdır.

Bir çok işlem kuralı, farklı girdilere göre cevap vermektedir. Bu işlem kuralları birbirinden bağımsızdır. Her biri sadece lojik toplama etki eder. Birbirinden bağımsız kurallar, tek başına incelendiğinde basit olmasına karşılık, bu kuralların tümünün birleşiminden meydana gelen kontrol uygulaması karışıktır. Bu işlemler bir durulaştırma işlemiyle sonuçlandırılır. Durulaştırmada sonuçlar birleştirilir ve tek bir son değer hesaplanır.

Geleneksel kontrol sistemlerinde, denklem yada lojik ifadelerle kontrol sağlanır. Bunun içinde çok fazla bilgiye gereksinim vardır. Buna rağmen bile bazı kontrollerin sağlanması çok güç yada olanaksız olabilir. Bulanık kontrol, bu sorunlara uygun yaklaşımıyla cevap verebilmiştir. Bir çok örnekte görüleceği gibi, bulanık kontrol, geleneksel yöntemlere dayanan kontrol işlemlerinin ihtiyaç duyacağı bilgiden çok daha azına ihtiyaç duyar.

Bulanık kontrolde, birbirinden ayrılan işlemlerin sağladığı avantajlar vardır. Her işlem kuralının birbirinden ayrı olması, bu kuralların ayrı ayrı test

edilmesine de olanak sağlar. Örneğin; bir kural programının küçük bir bölümünde sorun varsa, sadece ilgili işlem kuralıyla ilgili yerlerde değişiklikler ve düzeltmeler yapılarak tekrar kontrol sağlanmaya çalışılır.

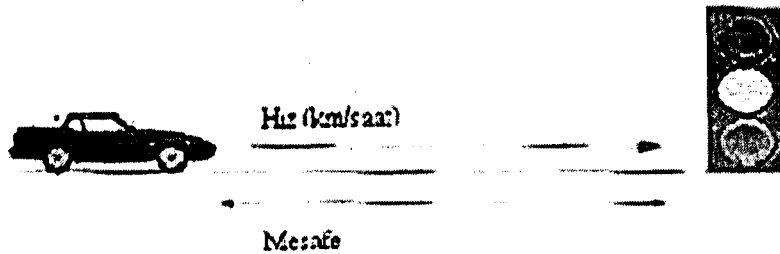
Geleneksel kontrol sistemlerinde, denklemlerin karışık olması ve bir takım kabullere dayanması yüzünden bulanık kontrolün, güvenilirliği artırdığı söylenebilir. Klasik kontrolde, denklemlerden bir tanesinde bile hata varsa, sonuç güvenilir olmaz. Bulanık denetleyicilerle birlikte her bir işlem kuralı, birbiri ve sistemin bütünüyle uyum içerisinde olduğundan, bir tanesinde oluşacak bir etki diğerlerinin yanında çok zayıf kalacak ve sistemin bütünüyle kararsız bir duruma gelmesine izin vermeyecektir. Bunun sonucu olarak, bulanık kontrol sisteminin hatalara karşı daha dirençli olduğu söylenebilir.

Klasik bir kontrol yönteminin yapacağı işlevi, bulanık kontrol, basit ve birbirinden bağımsız kısımları ile yüksek hız ve güvenilirlik kazandırarak yapar [8].

Elektronik uygulamalarda ise bulanık kontrol, klasik kontrol mantığına dayanan PID tip denetleyiciler gibi gürültüden etkilenme durumu olmadığından daha iyi bir kontrol sağlar [15].

2.4. Bulanık Kontrol İle İlgili Tanımlamaları Gösteren Araç Örnekleri

Bulanık kontrol ile ilgili ilk örnek bir aracın, trafik ışığına göre hareketinin denetlenmesinde kullanılacak terimlerle ilgilidir.



Şekil 2.17 Araç ile trafik lambası arasındaki durumu gösteren örnek

Şekil 2.17 incelendiğinde, bu durum için kullanılacak bilgiler, aşağıda gösterilmektedir.

- Trafik lambasının rengi
- Trafik lambası ile araç arasındaki mesafe
- Aracın hızı

Bu bilgileri kullanarak, araç üzerinde yapılacak denetleme işlemleri ise şunlardır:

- Fren yapmak
- Hızı korumak
- Hızlanmak

Bu örnek için karşılaşılabilecek bazı durumları gösteren kurallar, aşağıda gösterilmektedir.

- Eğer trafik lambası kırmızı renkte ve aracın hızı yüksekse, frene basılmalıdır.
- Eğer trafik lambası kırmızı renkte, aracın hızı düşük ve mesafe uzaksa, hız korunmalıdır.
- Eğer trafik lambası sarı renkte, aracın hızı orta seviyede ve mesafe uzaksa, frene basılmalıdır.
- Eğer trafik lambası yeşil renkte, aracın hızı çok düşük seviyede ve mesafe çok yakınsa, araç hızlanmalıdır.

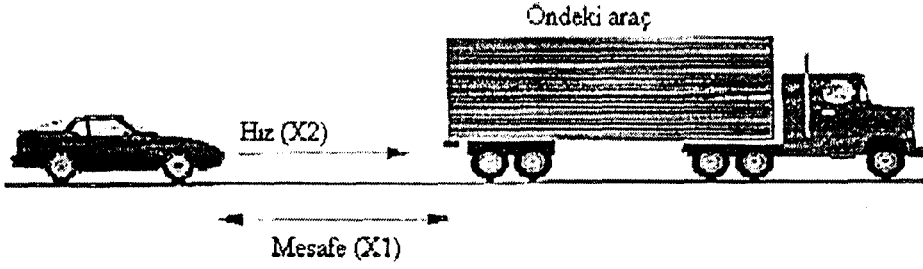
Bu örnekteki bazı ifadelerin nasıl bilgiler olduğu aşağıda gösterilmiştir:

Gözlemlenen veriler: Trafik lambasının yeşil olması; araç hızının orta seviyede olması; araç ile trafik lambası arasındaki mesafenin uzak olması

Referans alınacak terimler: Kırmızı, sarı, yeşil; çok düşük, düşük, orta, yüksek; çok yakın, yakın, uzak, çok uzak

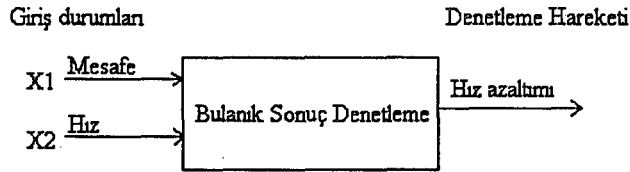
Sonuç: Hızın korunması

Şekil 2.18'deki 2. örnek ise, bulanık mantığın üç aşamasının yapıldığı (bulanıklaştırma-kurallar-durulaştırma) bir uygulamadır.



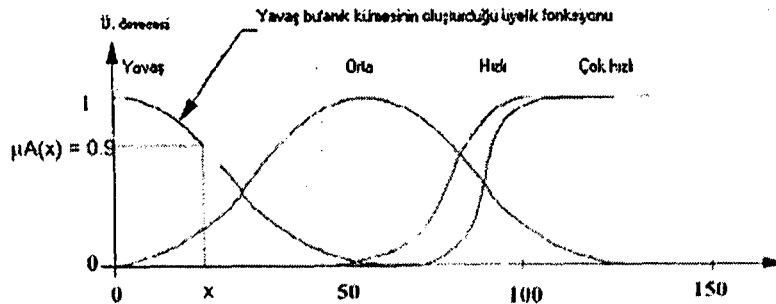
Şekil 2.18 İki araç arasındaki durumu gösteren örnek

İki araç arasındaki durumu gösteren bu örnekten de anlaşılacağı gibi, burada amaç, arkadaki aracın hızını uygun şekilde denetlemektir. Girişteki durumu ve bu ifadelere karşılık gelen bir denetleme hareketini gösteren örnek blok diyagram Şekil 2.19’da gösterilmektedir.



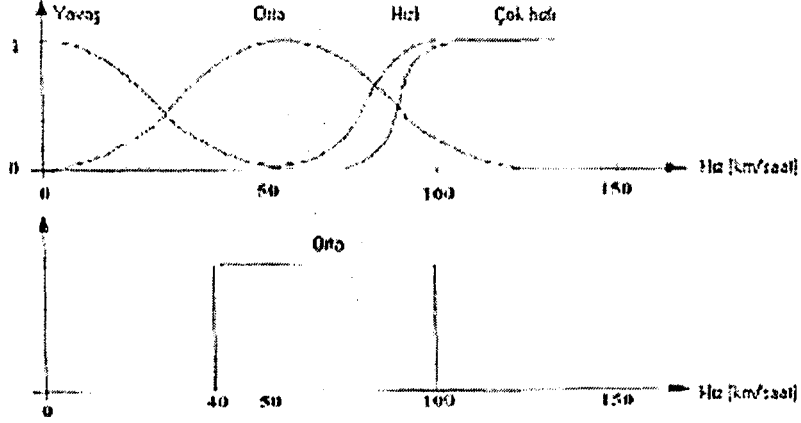
Şekil 2.19 Giriş ve denetleme hareketiyle ilgili örnek blok diyagram

Bu örnekte mesafe, hız ve hız azaltımı gibi ifadelere, sözel değişkenler adı verilir. Bu sözel değişkenlerin fiziksel limitleri, içinde bulunduğu şartlara bağlıdır (Ülkedeki hız limitleri, bölgenin coğrafik durumu, hava şartları vb.). ‘Çok düşük’, ‘düşük’, ‘orta’, ‘yüksek’, ‘çok yüksek’ vb. ifadeler ise bulanık kümelerdir. İki araç arasındaki hızın üyelik derecelerini gösteren fonksiyonlar, örnek gösterim olarak Şekil 2.20’de verilmektedir. Hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından, hesaplama işlemlerinde üçgen üyelik fonksiyonları kullanılacaktır.



Şekil 2.20 Aracın hızıyla ilgili bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

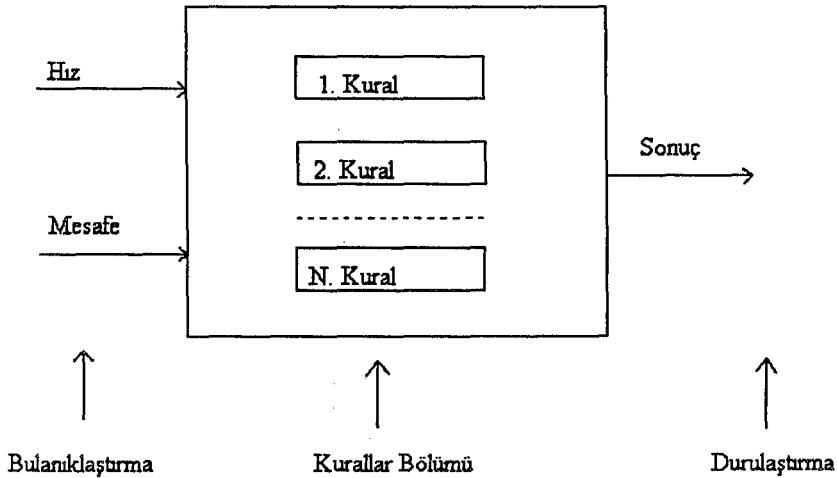
Eğer bu durum, klasik gösterimle yapılmış olsaydı, örneğin 'orta hız'ın Şekil 2.21'deki gibi gösterilmesi gerekirdi. Örneğin 39 km/saat'lik hıza göre bir kontrol işlemi gerçekleştirilecek olduğunda, bu durumda, denetleme işleminde olumsuz sonuçlar yaşanabilirdi.



Şekil 2.21 Orta seviyeli hızın klasik kümeyle gösterimi

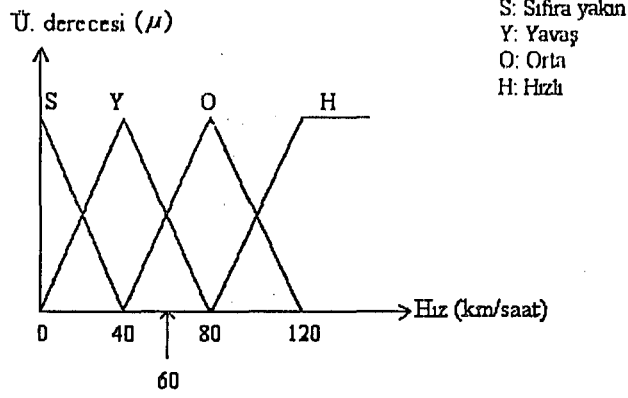
Burada, 'hızın çok yüksek olması' ifadesi bulanık bir ifadedir. 'Eğer hız yüksek ve mesafe azsa, frene basılmalıdır' ifadesi ise bir bulanık kuraldır. 'Eğer hız yüksek ve mesafe azsa' ifadesine durum, 'frene basılmalıdır' ifadesine ise karar yada sonuç bölümü adı verilir.

Olası bütün durumları gösteren kurallardan, bulanık algoritmalar oluşturulur. Bulanık mantık sürecinin daha kolay anlaşılması amacıyla, duruma uygun bir blok diyagram Şekil 2.22'de gösterilmektedir.



Şekil 2.22 Araç örneği için bulanık mantığın blok diyagramla gösterimi

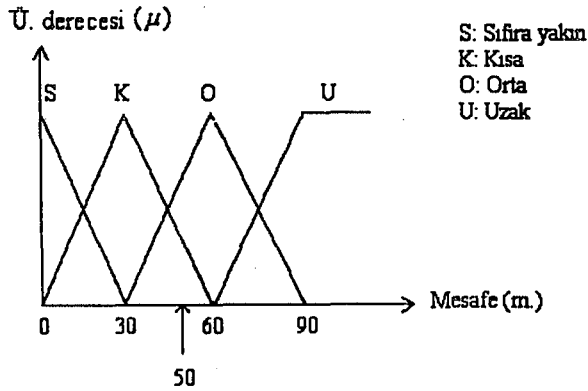
Bu örnek için ilk olarak yapılacak işlem bulanıklaştırma olacağından daha önce sözü edilen çan eğrisi şeklindeki üyelik durumlarını gösteren fonksiyonlar, kolaylık sağlanması açısından üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ile verilmektedir. (Şekil 2.23)



Şekil 2.23 Araç hızıyla ilgili hız durumlarının üçgen üyelik fonksiyonuyla gösterimi

Şekil 2.23 incelendiğinde, 60 km/saat hızının üyelik derecelerini şu şekilde göstermek mümkündür:

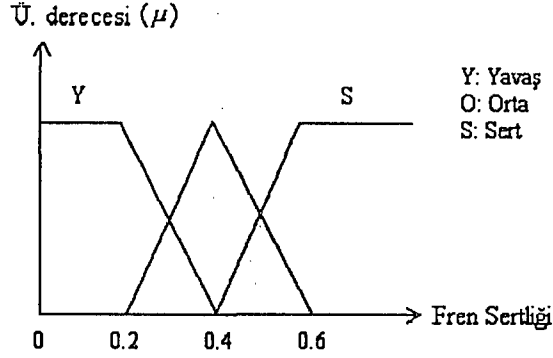
$$\begin{aligned}\mu [\text{sıfıra yakın}(60)] &= 0 \\ \mu [\text{yavaş}(60)] &= 0.5 \\ \mu [\text{orta}(60)] &= 0.5 \\ \mu [\text{hızlı}(60)] &= 0\end{aligned}\tag{2-14}$$



Şekil 2.24 Mesafe ile ilgili üyelik fonksiyonları

$$\begin{aligned}
\mu [sifira\ yakin(50)] &= 0 \\
\mu [kisa(50)] &= 0.3 \\
\mu [orta(50)] &= 0.66 \\
\mu [uzak(50)] &= 0
\end{aligned}
\tag{2-15}$$

Şekil 2.25’de çıkışta kullanılacak olan fren sertliği ile ilgili fonksiyonlar gösterilmektedir.

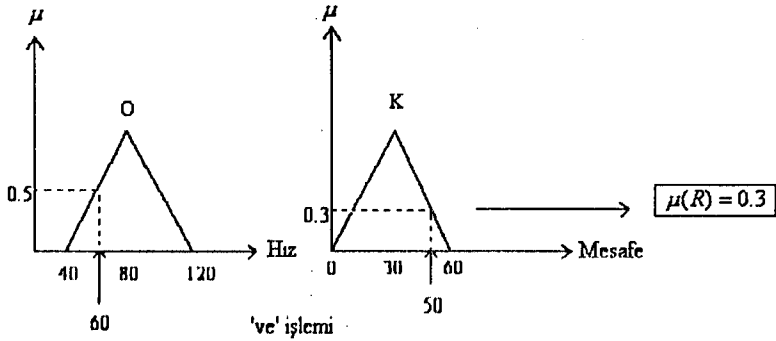


Şekil 2.25 Çıkış üyelik fonksiyonları

$$\begin{aligned}
\mu [yavas(0.4)] &= 0 \\
\mu [orta(0.4)] &= 1 \\
\mu [sert(0.4)] &= 0
\end{aligned}
\tag{2-16}$$

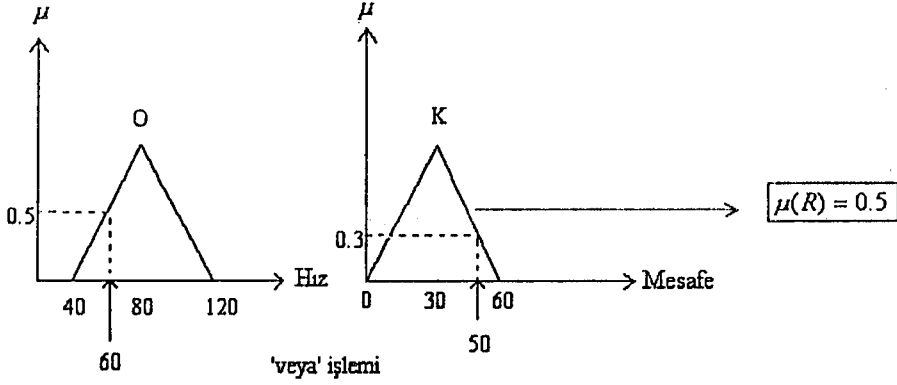
Bulanıklaştırma sürecinde en önemli işlem, uygun üyelik fonksiyonlarının seçilmesi işlemidir. Uygun üyelik fonksiyonlarının seçilmesinden sonra, ilgilenilen durumlarla ilgili işlemler, üyelik dereceleri ile yapılır.

Burada ilk kuralın ‘eğer hız orta ve mesafe kısa ise ...’ ifadesi için işlemin nasıl yapılacağı incelenecektir. Bu durumda orta dereceli hız ve kısa mesafeyle ilgili üyelik fonksiyonlarından uygun örnek değerler seçilip (Şekil 2.26), bulanık mantıkta işlemler bölümünde geçen ‘ve’ işlemi uygulanacaktır. Bu durumda üyelik derecesi küçük olan hesaba katılır.



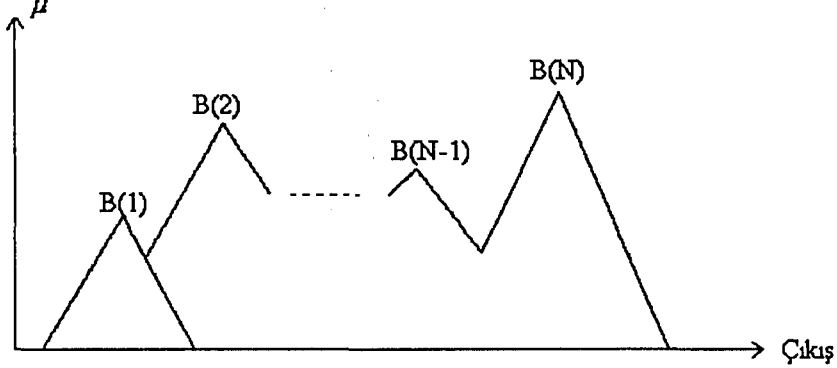
Şekil 2.26 ‘Orta hız’ ve ‘kısa mesafe’ ile ilgili örnek gösterim (‘ve’ işlemi)

Bu örnekte kurala uygun şekilde 've işlemi' yapılmıştır. 'Eğer hız orta veya mesafe kısa ise ...' ifadesi ilk kural olursa, bu durumda Şekil 2.27'deki durum gerçekleşir ve üyelik derecesinden büyük olan hesaba katılır.



Şekil 2.27 'Orta hız' ve 'kısa mesafe' ile ilgili örnek gösterim ('veya' işlemi)

Bütün kurallar, bu şekilde iki farklı yönteme dayandırılarak çıkış fonksiyonları elde edilir ve bu fonksiyonlar grafik üzerinde birleşim işlemine tabi tutulur. Çıkış fonksiyonlarının birleşiminden oluşacak gösterim, örnek olması açısından Şekil 2.28'de verilmektedir [29].



Şekil 2.28 Bulanıklaştırma işlemi sonucu ortaya çıkacak fonksiyonlar için örnek gösterim

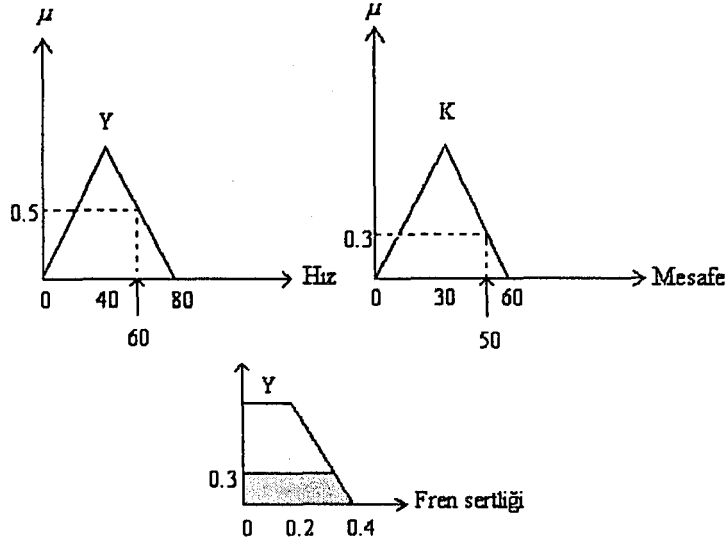
Sonuçta bu iki değişken göz önüne alınarak, kurallara uygun şekilde bulanıklaştırma işlemi yapılır. Örneğin ilk kuralın, 'eğer mesafe kısa ve hız yüksekse, frene sert bir şekilde basılmalıdır' ifadesi olduğu farz edilirse, buradaki ara işlem 've' işlemi olduğundan, buna dikkat edilerek, çıkış fonksiyonu olan fren sertliğinin derecelendirmesi yapılır. Bundan sonra gelecek kurallar içinde benzer

işlemler gerçekleştirilip, her kurala uygun şekilde üyelik dereceleri elde edilir ve bunlar daha önce anlatıldığı şekilde birleştirilir.

Araç örneği ile ilgili üyelik fonksiyonları esas alınarak aşağıda bulanıklaştırma işlemleri gerçekleştirilecektir. Bu durum için, araçlar arasındaki mesafenin (X1) 50 m ve arkadaki araç hızının (X2) 60 km/saat olduğu farzedilecek, bulanıklaştırma işlemleri için ise tek kural devreye girer, bu kurala göre bulanıklaştırma işlemi yapılacaktır. Kuralların tümü MATLAB programıyla Ek-2’de gösterilmektedir.

50 m mesafe ‘kısa’ ve ‘orta’ kümelerine belli üyelik dereceleriyle üyedir. Aynı şekilde 60 km/saat hız ‘orta’ ve ‘yavaş’ kümelerinin elemanıdır. Bu bilgilere dikkat edilirse, ara işlemde ‘ve’ işlemi olduğundan, çıkışta küçük olan üyelik derecesi hesaba katılarak, her bir kural çıktısı Şekil 2.29’da olduğu gibi elde edilir. Bu şartlar için çıkışta kullanılacak fren sertliği kümeleri ‘yavaş’ ve ‘orta’ kümeleri ile çıkışlar olacaktır.

$$\begin{aligned}\mu(\text{mesafe} = \text{kısa}) &= 0.3 \\ \mu(\text{hız} = \text{yavaş}) &= 0.5 \\ \mu(1. \text{ kural}) &= \wedge[\min(0.3, 0.5)] = 0.3\end{aligned}\quad (2-17)$$



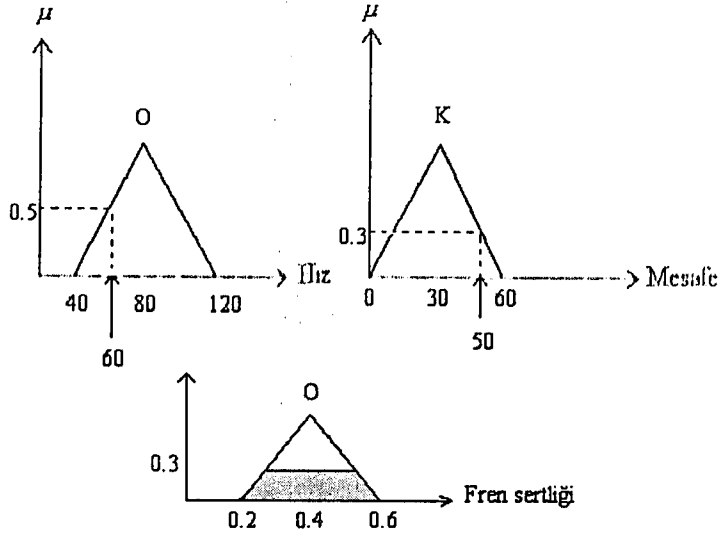
Şekil 2.29 Araç örneği için 1. kural çıktısı

$$\mu(\text{mesafe} = \text{kısa}) = 0.3$$

$$\mu(\text{hız} = \text{orta}) = 0.5$$

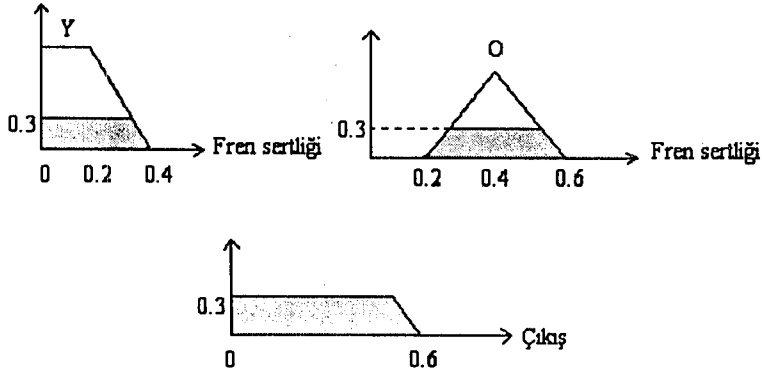
(2-18)

$$\mu(2. \text{ kural}) = \wedge[\min(0.3, 0.5)] = 0.3$$



Şekil 2.30 Araç örneği için 2. kural çıktısı

Bulanıklaştırmadaki son işlem, bu iki kuralla ilgili fonksiyonların birleştirilmesi ve çıkış fonksiyonunun elde edilmesidir. Çıkış fonksiyonu Şekil 2.31'de gösterilmektedir.



Şekil 2.31 Çıkış fonksiyonunun gösterimi

Kurallara dayalı bulanıklaştırma işleminden sonra durulaştırma işlemi tatbik edilir. Burada ağırlık merkezi yöntemine göre durulaştırma işlemi yapılırsa fren çıkış değeri; 0.281 olarak elde edilir.

Araç örneği ile ilgili MATLAB uygulaması, Ek-2'de gösterilmektedir. Burada, giriş ve çıkış fonksiyonları verilmiş, kurallar oluşturulmuş ve örnek bir durulaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3. BULANIK MANTIK UYGULAMALARI

Pek çok uygulama alanı bulunan bulanık mantığın bu bölümde klima, ters sarkaç ve havacılık uygulamaları incelenmiştir.

3.1. Klima Uygulaması

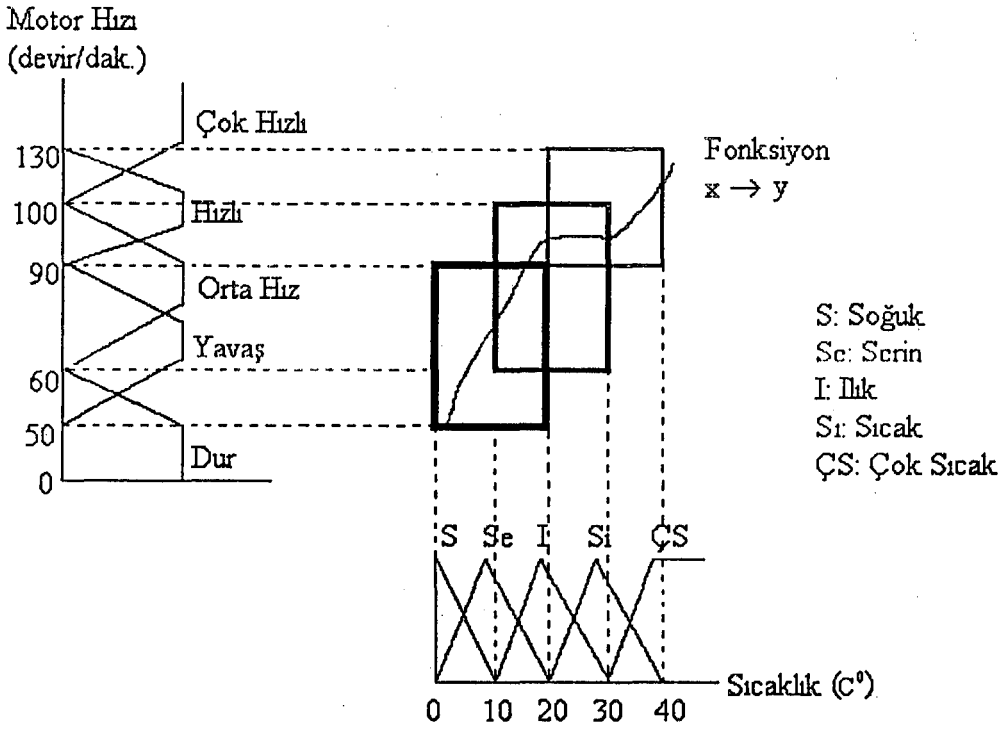
Bulanık mantık uygulamalarında incelenecek ilk çalışma bir klima sistemi ile ilgilidir. Bu çalışmanın amacı, kullanıcının ihtiyaçlarına ve çevre koşullarına aynı anda cevap veren bir akıllı klima sistemi tasarımıdır. Uygulamada, oda içerisinde sıcaklık ölçen algılayıcı kullanılır. Algılayıcılardan alınan sıcaklık bilgileri, bulanık denetleyicinin girişinde kullanılır. Bulanık denetleyici, bu sıcaklık bilgilerine göre klima motor hızını ayarlar. Bu durumda da uygun motor hızı belirlenir ve enerji tasarrufu sağlanmış olur.

Gözlemlerden çıkan sonuçlar konuyla ilgili veri kısmını oluşturur. İnsanların, klimalarını neye göre ayarladıklarına ilişkin gözleme dayanan analiz verileri maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

1. Klimanın sıcaklık ayarını 'çok düşük' bir seviyede tutmak isteyen kişi sayısı fazladır. Bu kişilerin çoğu ayar edilen dereceyi, bir süre sonra yükseltmeyi unutmakta ve bu durumda enerji kaybına neden olmaktadır.
2. Klimanın sıcaklık ayarını ayarlayacak olan kişi, odanın sıcaklık derecesine bağlı olarak çeşitli kademelerde klimayı çalıştırarak, hızlı yada yavaş şekilde sıcaklığı değiştirebilir.
3. Odanın sıcaklığı çok sık değişiklik gösteriyorsa, kontrol hassas olmalıdır.

Uygulamada, veriler göz önüne alınarak, hava sıcaklığı ve bu sıcaklığa bağlı motor hızıyla ilgili 5 kural uygulanmıştır. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır:

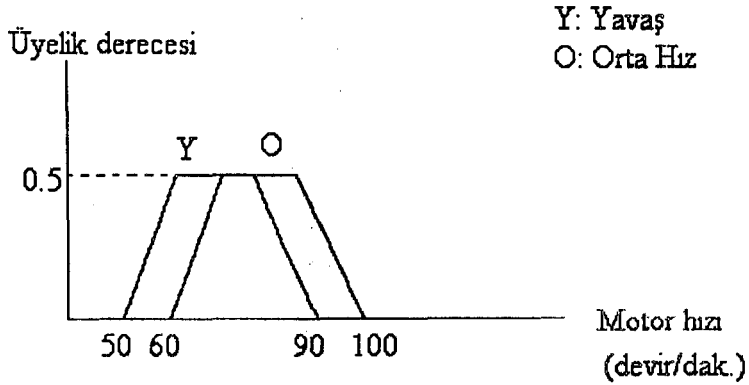
1. Eğer oda 'çok sıcak' ise, klima motor hızı 'çok hızlı' olmalıdır.
2. Eğer oda 'sıcak' ise, klima motor hızı 'hızlı' olmalıdır.
3. Eğer oda 'ılık' ise, klima motor hızı 'orta hızlı' olmalıdır.
4. Eğer oda 'serin' ise, klima motor hızı 'yavaş' olmalıdır.
5. Eğer oda 'soğuk' ise, klima motor hızı 'sıfır' olmalıdır (klima kapalı).



Şekil 3.1 Sıcaklığa bağlı motor hızını gösteren fonksiyon

Örneğin; 15°C sıcaklığın, %50 'serin' ve %50 'ılık' kümesine ait olduğu düşünüldüğünde, bu durumda ilgili iki kural harekete geçer ve sistem; motorunu %50 'yavaş' ve %50 'orta hız' da çalıştırmaya başlar. (Klima motor hızının, sıcaklık yüzdeleriyle eşit oranda üyelik derecelerinin olduğu farz edilmiştir).

Uygulamada kolaylık sağlanması açısından 15°C ile ilgili kısımlar bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemine tabi tutulacaktır. Şekil 3.2, bu duruma uygun bulanıklaştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 3.2 Bulanıklaştırma işlemi

Buradaki fonksiyonların simetrik olduğu düşünülüp, daha önce sözü edilen ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntemde çıkışı oluşturan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlıklı ortalamaları alınır. Bu durumda kullanılacak matematiksel bağıntı aşağıdaki şekildedir:

$$x = \frac{\sum \mu(x)x}{\sum \mu(x)} \quad (3-1)$$

Şekil 3.2’de gösterilen durum için, bu yöntemle durulaştırma işlemi yapılırsa;

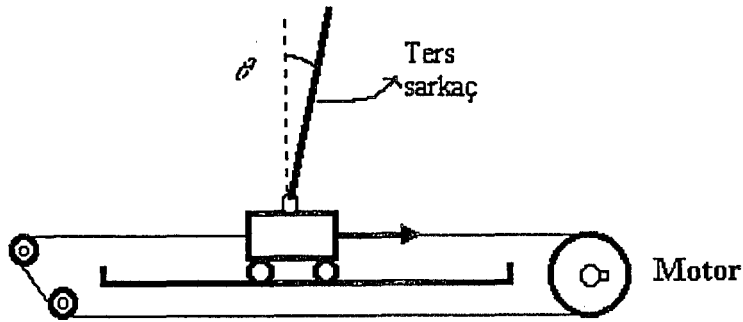
$$x = \frac{0.5 \cdot 70 + 0.5 \cdot 80}{0.5 + 0.5} = \frac{35 + 40}{1} = 75 \quad (3-2)$$

devir/dak. bulunmuş olur [30].

Durulaştırma yöntemi olarak, ağırlık merkezi yöntemi kullanılırsa da aynı sonuç bulunabilir. Bu durum Ek-3’de, MATLAB programı kullanılarak gösterilmektedir.

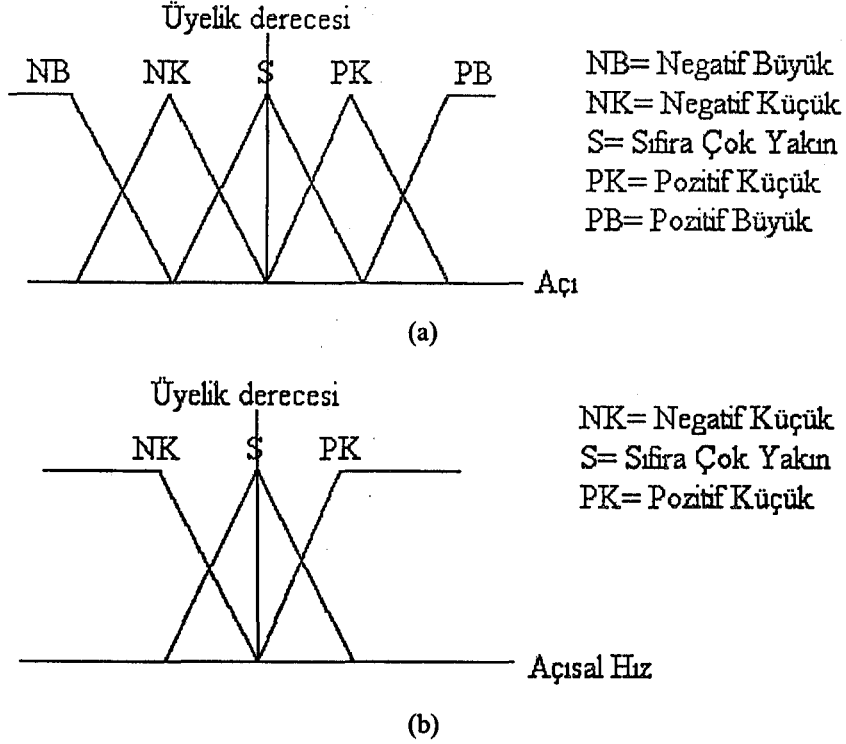
3.2. Çubuğun Dik Tutulması (Ters Sarkaç)

Sadece sola ve sağa hareket edebilen bir çubuk, dik durumda tutulmak istenmektedir. Çubuğun altında bulunan mekanizma, sağa ve sola götürülerek sarkacın dengede kalması sağlanmak istenmektedir. Bu durum, Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Ters sarkaç mekanizması

İlk olarak, giriş değerleri olarak çubuğun düşey eksenle yaptığı açı ve açısız hız bu uygulamada kullanıldığından, bunlarla ilgili fonksiyonlar, Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



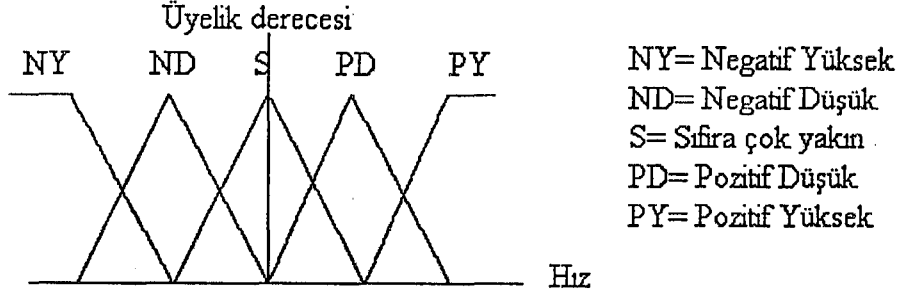
Şekil 3.4 a Çubuğun düşey eksenle yaptığı açının bulanık kümeleri
b Çubuğun açısız hızının bulanık kümeleri

İkinci olarak, çubuğun altındaki mekanizmanın ‘yüksek hızlı’, ‘düşük hızlı’ vs. gibi durumlarını gösteren çıkış hızı üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tanımlamalar örnek için önemli olduğundan, bunlara dikkat edilmelidir. Burada negatif işaret, sol yönü; pozitif işaret ise sağ yönü belirtmektedir.

Aşağıda mekanizma için kullanılacak olan, bulanık hız kümeleri verilmiştir:

- Negatif yönde yüksek hız (NY)
- Negatif yönde düşük hız (ND)
- Sıfıra çok yakın hız (S)
- Pozitif yönde düşük hız (PD)
- Pozitif yönde yüksek hız (PY)

Kullanılacak çıkış hızıyla ilgili, alt bulanık kümelerle ait fonksiyonlar Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Bu uygulama, teorik bir uygulama olacağından; hız, açı ve açısal hız değerleri fonksiyonlar üzerinde gösterilmemiştir. Ekler bölümündeki MATLAB uygulamasında, aynı örnek sayısal değerler verilerek gösterilmiştir.



Şekil 3.5 'Hız' bulanık kümeleri

Kolaylık sağlaması açısından, çubuğun başlangıç anında dik durduğu ve tanım açısından her iki yönde de 45° kadar açı yaptığı varsayılacaktır. Belli durumlarda ne yapılması gerektiğini belirten bir kaç kuralın belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar aşağıda anlatılmıştır.

Çubuğun dik olduğu (açı sıfır) ve hareket etmediği durum istenilmektedir (açısal hız sıfır). Bu durumda herhangi bir müdahale yapılmasına gerek yoktur. Diğer bir durum ise şöyle olabilir: Çubuk dik durumda fakat pozitif yönde düşük hızlı olabilir. Doğal olarak, çubuğun hareketi, onun altındaki platform düşük hızda aynı yönde hareket ettirerek karşılanır. Oluşturulan iki kuralı aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz [31]:

- Eğer çubuğun yatay düzlemlerle açısı sıfırsa ve açısal hızı sıfırsa, mekanizmanın hızı sıfır olmalıdır.
- Eğer çubuğun yatay düzlemlerle açısı pozitif küçükse ve açısal hız negatif küçükse, hız sıfır olmalıdır.

Bu şekilde oluşturulacak kuralların bir bölümünü gösteren durum, Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

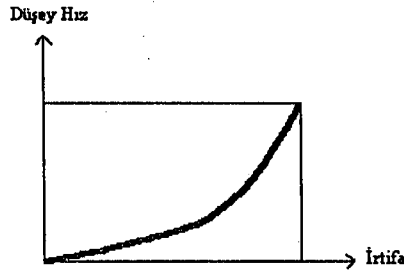
Çizelge 3.1 Çıkışta kullanılacak doğruluk tablosu

A ç ı s a l ı H ı z	Açı					
	Hız	NB	NK	S	PK	PB
	NK		ND		S	
	S	NY		S		PY
	PK		S		PD	

Herhangi bir açığa ve açısız hızla sahip bir çubuğun dengede kalması için, mekanizmanın hangi hızda çekilmesi gerektiği Ek-4'de, MATLAB programı uygulamasında gösterilmektedir. Bu örnekle ilgili sayısal değerlere karşılık gelen kuralların işletimini görmek görsel açıdan daha tatminkar olmakta ve istenilen her bir duruma karşılık gelen çıkış durumu kolayca görülebilmektedir. [3,32].

3.3. Bulanık Mantığın Havacılıktaki Uygulaması

Bu uygulama uçağın son yaklaşma ve iniş aşaması için kullanılabilir bir uygulamadır. Uçağın uygun hızda piste teker koyması, uçak ve içinde bulunan yolcu, mürettebat, ekipman vb. açısından oldukça önemlidir. Uçağın arzu edilen düşey hızının, irtifasıyla olan ilişkisini gösteren grafik Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 İrtifaya karşılık gelen düşey hız [3]

Bu grafikten irtifa arttıkça arzu edilen hızında artacağı, irtifanın azalmasıyla da teorik olarak gitgide azalıp sıfır olması anlaşılır. Bu sayede uçağın inişte zarar görmesi de engellenmiş olur.

Bu uygulama için, iki değişken olarak irtifa (h) ve düşey hız (V) alınmıştır. Bu değişkenler göz önüne alınarak, kontrol çıkışı olarak itme kuvveti (f) düşünülmüştür. Moment denklemine göre, moment; kütle ve hızın çarpımı olduğuna göre, eğer hiçbir dış kuvvet etki etmezse, uçak o an sahip olduğu hızı korur. Bu durum için uçaktaki yakıt azalması vb. durumlardan kaynaklanan kütle değişiklikleri ihmal edilmiştir. Uygulanan kuvvetin zamanla doğru orantılı olduğu düşünülürse, bu durumda hızdaki değişiklik şu şekilde formülize edilebilir:

$$\Delta V = f\Delta t / m \quad (3-3)$$

Bu formülde $\Delta t = 1$ s ve $m = 1$ lbs²/ft alındığında,

$$\Delta V = f \quad (3-4)$$

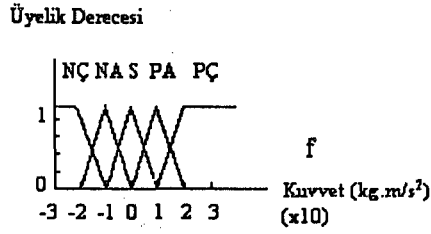
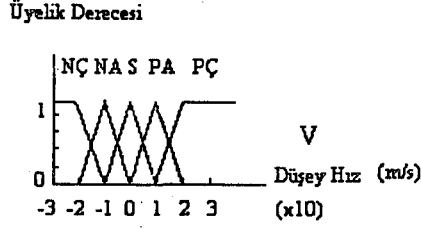
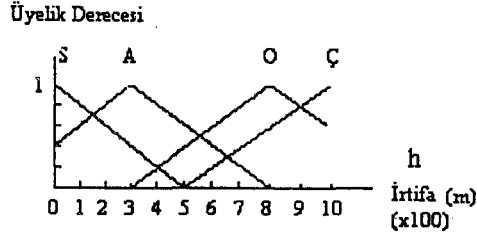
haline gelir ve uygulanan kuvvetin hızdaki değişikliklerle doğru orantılı olduğu görülür.

Eski durumun üzerine momentten kaynaklanan etkinin vektörel olarak eklenmesiyle oluşan yeni durumu gösteren denklemler aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{aligned} V_{i+1} &= V_i + f_i \\ h_{i+1} &= h_i + V_i \end{aligned} \quad (3-5)$$

(3-5)'de gösterilen denklemde V_{i+1} yeni hıza, V_i eski hıza; h_{i+1} yeni irtifaya, h_i eski irtifaya karşılık gelir. Bu iki kontrol eşitliğinde tanımlanmış h ve V değişkenleri giriş olarak düşünülür.

Bulanık mantıktaki h , V ve f 'nin sahip olduğu üyelik fonksiyonları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Üyelik fonksiyonlarının gösterimi

İrtifa bulanık kümesinde S, A, O ve Ç; sifıra yakın, az, orta ve çok kümelerine karşılık gelir. Düsey hız bulanık kümesinde NÇ, NA, S, PA ve PÇ; ‘negatif çok’, ‘negatif az’, ‘sıfıra yakın’, ‘pozitif az’ ve ‘pozitif çok’a karşılık gelir. Kuvvet bulanık kümesi, hız ile aynı kümelere ayrılmıştır.

Doğruluk tablosu yada kuralları gösteren tablo, Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Doğruluk tablosu

		Hız				
		NÇ	NA	S	PA	PÇ
İ r t i f a	Ç	S	NA	NÇ	NÇ	NÇ
	O	PA	S	NA	NÇ	NÇ
	A	PÇ	PA	S	NA	NÇ
	S	PÇ	PÇ	S	NA	NA
	a					

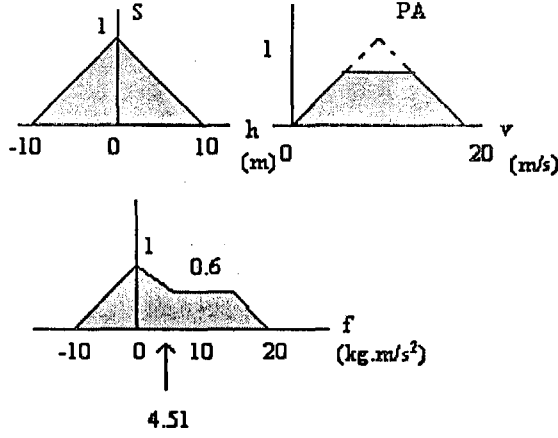
Başlangıç koşulları olarak, $h_0 = 1000$ m. ve $V_0 = -20$ m/s alınırsa, f_0 şu şekilde hesaplanır:

İrtifa Hız Çıkış (f)

$$\text{Ç}(1) \wedge \text{NÇ}(1) \rightarrow \text{S}(1) \quad (3-6)$$

$$\text{O}(0.6) \wedge \text{NÇ}(1) \rightarrow \text{PA}(0.6)$$

Bu iki kuralın uygulanması ile ilgili durum, Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Durulaştırma

Bu durumda elde edilen değerler (3-7) numaralı eşitlikte yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} h_1 &= h_0 + V_0 = 1000 + (-20) = 980 \text{ m} \\ V_1 &= V_0 + f_0 = -20 + (4.51) = -15.49 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (3-7)$$

olarak bulunur.

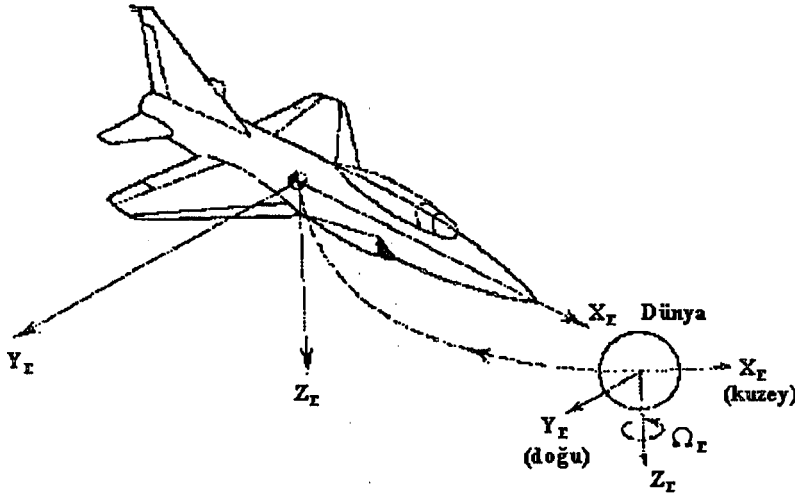
Ek-5'de, MATLAB programıyla yapılmış örnek bir durulaştırma işlemi gösterilmektedir [3].

4. BULANIK MANTIĞIN UÇUŞ KONTROL UYGULAMALARI

4.1. Uzunlamasına Hareket Kontrolü Uygulaması

4.1.1. Uçağın eksen sistemleri

Geniş bir seyrişer alanında otomatik uçuş kontrol sistem tasarımıında karşılaşılan problemler için, uçağın hareket denklemlerinin ifadesinde referans alınacak sistemlere ihtiyaç vardır. Kontrol sistem tasarımıyla ilgili problemler, uçağın herhangi bir uçuş durumunda uzun süre kalmamasından kaynaklanır. Uçağın dinamik durumu genellikle birkaç dakika içinde değişir. Uçak hareket denklemlerinin ifadesinde kullanılan eksen sisteminden birisi yere bağlı eksen sistemidir. Yerçekimine bağlı etkileri, yüksekliği, yatay uzaklığı ve uçağın yerini tayin etmek için bu eksen sistemi referans olarak kullanılır. Yere bağlı eksen sistemi referans alındığında, çalışma sırasında kullanılan diğer eksen sistemleri bu eksen sistemine dönüştürülür. Yere bağlı seçilen X_E , Y_E ve Z_E eksenleri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Yere bağlı eksen sistemi [33]

Diğer bir eksen sistemi ise uçağa bağlı eksen sistemidir. Bu eksen sisteminin merkezi uçağın ağırlık merkezidir. X_b eksenini, ağırlık merkezinden başlayıp uçağın burnuna doğru; Y_b eksenini, ağırlık merkezinden başlayıp sağ kanat boyunca; Z_b eksenini ise ağırlık merkezinden aşağıya doğrudur. Şekil 4.2'de

gelir. Bu nedenle kararlılık eksen sistemindeki X eksenini ile uçağa bağlı eksen sistemindeki X eksenini arasındaki açı α_0 hücum açısına eşittir. Bu eksen sistemi kullanılarak türetilen hareket denklemleri, uçağa bağlı eksen sistemine göre türetilmiş denklemlerin bir alt setidir [33].

Uçakların uçuş kumanda sistemleri, üç ayrı eksen etrafında hareket ettirilen, son derece karmaşık bir sistemdir. Uçakların yön değiştirmesi ise uzunlamasına, yanlamasına, ve düşey eksen etrafında olur. Uçağın her yöne hareketi ana uçuş kumandaları tarafından sağlanır.

4.1.2. Uçağa etki eden kuvvetler

Uçuş halindeki bir uçağa taşıma, ağırlık, çekme, ve sürüklenme kuvveti olmak üzere dört kuvvet etki eder (Şekil 4.3).

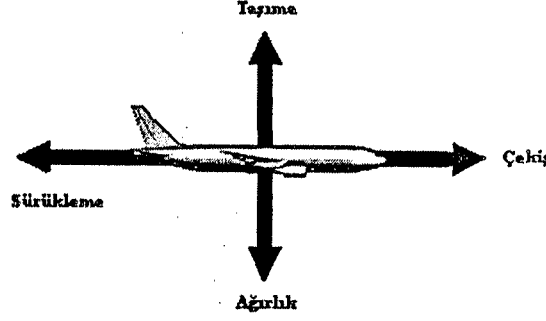
Taşıma uçağı havada tutan yani taşıyan kuvvettir. Kanat profili hava içinde hareket ederken taşıma kuvveti yaratır. Hava, kanadın üst bombeli yüzeyinden geçerken hızı artar. Bu hız artışı kanadın üst kısmında basıncın düşmesine neden olur ve kanadın alt tarafında da daha düşük hava hızı daha yüksek hava basıncı yaratır. Kanadın alt ve üst yüzeyleri arasındaki bu basınç farkı taşıma kuvvetini doğurur. Taşıma kuvveti, uçağa bağlı eksen sisteminde Z_B eksenini ile çakışık ve ters yöndedir.

Ağırlık kuvveti, uçağa yerçekimi yönünde etkiyen kuvvettir ve yönü yere bağlı eksen sistemindeki Z_E eksenini ile çakışıktır.

Tepki (çekme) kuvveti, uçak motorunun yarattığı bir kuvvettir. Uçak bu kuvvetin etkisi ile hava içinde ileri doğru hareket eder. Tepki kuvvetinin yönü, uçağa bağlı eksen sistemindeki X_B eksenini ile çakışıktır.

Sürüklenme kuvveti, uçağın ileri doğru hareketine karşı bir dirençtir. Sürüklenme kuvvetini küçültmek için uçak, aerodinamik şekilde imal edilir. Bu kuvvetin yönü, uçağa bağlı eksen sistemindeki X_B eksenini ile çakışık ve ters yöndedir.

Şekil 4.3'de uçağa etki eden bu dört kuvvet gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Uçağa etki eden kuvvetler

4.1.3. Uçak hareket eksenleri

Dönüş hareketi yapan bütün cisimler hareket eksenini denilen düz bir doğru etrafında hareket ederler. Eksen bir cismin içinden geçen ve o cismin etrafında hareket ettiği hakiki veya hayali bir doğrudur. Dönen bir bisiklet tekerleği için tekerlek mili bir eksen vazifesi görür. Buna karşılık bir topacın dönüş eksenini, gözle görülmeyen hayali bir eksendir. Bir uçak üç hayali eksen etrafında hareket eder. Bu üç eksende birer hayali hat olup, uçağın ağırlık merkezinden geçerler. Uçuş durumunda olan bir uçak, durumunu değiştirdiğinde bu eksenlerden birinin veya birden fazlasının etrafında hareket eder. Uçak hareket eksenlerinin kesiştiği ağırlık merkezi etrafında dengede olup tüm hareketler ağırlık merkezi etrafında meydana gelir. Bir uçağın etrafında hareket ettiği üç eksen vardır ve şunlardır:

- Uzunlamasına eksen
- Yanlamasına eksen
- Düşey eksen

4.1.3.1. Uzunlamasına eksen

Bir uçağın ağırlık merkezinden geçen burnundan kuyruğuna uzanan eksendir. Uçağın boyuna eksenini etrafında yaptığı harekete yatış hareketi denir. Uçağın bu eksen etrafında hareketlerini kanatçık, elevon veya spoiler ile kontrol edilir.

4.1.3.2. Yanlamasına eksen

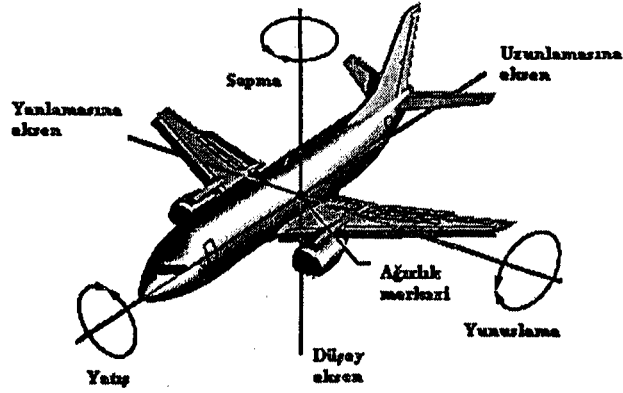
Uçağın ağırlık merkezinden geçerek bir kanat ucundan diğer kanat ucuna doğru uzanan eksendir. Bir uçağın bu eksen etrafında yaptığı harekete yunuslama

denir. Uçağın bu eksen etrafında yaptığı yunuslama hareketi, irtifa dümeni (elevatör), hareketli yatay stabilize (stabilizör) ve elevonlar tarafından kontrol edilir.

4.1.3.3. Düşey eksen

Uçağın ağırlık merkezinden geçerek, gövde üst kısmından gövde alt kısmına uzanan eksendir. Bir uçağın düşey eksen etrafında yaptığı harekete sapma hareketi denir. Uçağın düşey eksen etrafındaki hareketi istikamet dümeni tarafından sağlanır.

Uçağın uçuş esnasında üç eksen etrafında yaptığı hareketlere yatış (roll), yunuslama (pitch) ve sapma (yaw) adı verilir [34] (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Uçağın üç eksen etrafında yaptığı hareketler

4.1.4. Üç eksenindeki hareketi sağlayan ana (birinci derece) uçuş kumandaları

4.1.4.1. Uzunlamasına eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumandalar

Uzunlamasına eksen etrafında hareketi sağlayan iki kontrol yüzeyi vardır. Bu yüzeyler kanatçık ve spoiler'dır.

Kanatçıklar, uçağın uzunlamasına eksen etrafındaki yatış hareketini kontrol ederler. Kanatların firar kenarlarına yerleştirilmişlerdir. Kanatçıklar kokpitteki lövyeye ile kontrol edilerek, lövyenin sağa, sola hareketlerinde aşağı, yukarı hareket ederler. Aşağı, yukarı hareket ederken kanatçıklardan biri aşağı hareket ederse, diğeri yukarı hareket eder. Yukarı kalkan kanatçık sağ kanat

üzerindeki taşıma kuvvetini azaltır, buna karşı sürüklenme kuvvetini artırır. Dolayısıyla sağ kanat aşağı doğru hareket eder. Lövyenin hareketi ile aşağı inen sol kanatçık, sol kanat üzerindeki taşıma kuvvetini artırır ve bunun sonucu sol kanat yukarı kalkar. Sağ kanadın aşağı inmesi ve sol kanadın yukarı kalkması sonucu uçak boyuna ekseni etrafında sağa yatış hareketi yapar. Sola yatış için lövyeye sola yatırıldığında sol kanatçık yukarı, sağ kanatçık aşağı inecek, bu hareket ile sol kanat aşağı ve sağ kanat yukarı hareket edecektir. Böylece uçak boyuna ekseni etrafında sola yatış hareketi yapacaktır.

Kanat üzerine yerleştirilmiş olan spoiler'lar, kanatçık gibi görev yaparak uçağın boyuna ekseni etrafındaki yatış hareketini kontrol ederler ancak bunların çalışmaları kanatçıklara göre farklıdır. Hareketlerini lövyeden alırlar. Lövyeye sağa yatırıldığında sadece sağ kanat üzerindeki spoiler hareket ederek yukarı kalkar, sol spoiler hareket etmez. Yukarı kalkan spoiler, kanat üzerindeki hava akışını keserek taşıma kuvvetinin azalmasıyla birlikte sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bunun sonucu olarak sağ kanat aşağı doğru hareket ederek, uçağın boyuna ekseni etrafında sağa yatış hareketini yapmasını sağlamış olur. Sola yatış için benzer işlem lövyeye sola yatırıldığında meydana gelir. Bazı tip uçaklarda spoiler'lar sürat freni olarak kullanılırlar. Bu durumda her iki spoiler aynı anda yukarı kaldırılır. Spoiler'ların yukarı kalkması, geri sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olarak, uçağın yavaşlaması sağlanır.

4.1.4.2. Enine eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumandalar

Enine eksen etrafında hareketi sağlayan dört kontrol yüzeyi mevcuttur. Bu yüzeyler; kuyruk takımı, irtifa dümeni, hareketli yatay stabilize ve elevon'lardır.

Uçağın arka kısmına kuyruk takımı denir. Kuyruk takımı yatay ve dikey stabilize ve irtibatlanmış olan uçuş kumanda yüzeylerinden meydana gelir. Dikey stabilize uçağın sağa sola yapacağı sapma hareketini azaltır. Dikey stabilizenin firar kenarına istikamet dümeni irtibatlandırılmıştır. Bazı uçaklarda irtifa dümeni yerine komple hareketli yatay stabilize bulunur. Bunlara stabilizatör denir.

İrtifa dümeni, uçağın yanlamasına ekseni etrafındaki yunuslama hareketini kontrol eder. Yatay stabilizenin firar kenarına yerleştirilmiştir. Lövyeden

kumanda alır. Lövye geri çekildiğinde irtifa dümeni yukarı kalkar. Bu durumda yatay stabilize üzerindeki taşıma kuvveti azalır ve kuyruk aşağı doğru hareket eder. Kuyruğun aşağı hareketi ile burun yukarı doğru kalkar ve uçak tırmanışa geçer. Lövyenin ileri verilmesi ile irtifa dümeni aşağı iner. İrtifa dümeninin aşağı inmesiyle, yatay stabilize üzerindeki taşıma kuvveti artar. Sabit yatay stabilize üzerindeki taşıma kuvvetinin artması, kuyruğun yukarı ve burnun aşağı hareket etmesine neden olur. Bu durumdaki uçak dalışa geçer. Böylelikle irtifa dümeni, uçağın enine ekseni etrafındaki yunuslama hareketini kontrol etmiş olur.

Bazı tip uçaklarda yatay stabilize komple hareket ederek irtifa dümeni görevini yapar ve uçağın enine ekseni etrafındaki yunuslama hareketini kontrol eder. Bu tip yüzeylere hareketli yatay stabilize adı verilir. Kumandasını lövyeden alır ve aynen irtifa dümeni gibi çalışır. Lövye geri çekildiğinde hareketli yatay stabilize yukarı hareket ederek, uçağının kuyruğunun aşağı, burnunun yukarı doğru hareket etmesini sağlayarak tırmanışa geçmeyi temin eder. Lövyenin ileri verilmesi ile hareketli yatay stabilize aşağı hareket ederek, kuyruğun yukarı ve burnun aşağı hareket etmesini ve uçağın dalışa geçmesini sağlar. Böylece hareketli yatay stabilize, uçağın enine ekseni etrafındaki yunuslama hareketini kontrol etmiş olur.

Bazı tip uçaklarda (delta kanatlı uçaklarda) kanatçık ve irtifa dümeni olmayıp, bunların yerine her ikisinin görevini yapan elevonlar kullanılmıştır. Elevonlar, lövyeden kumanda alırlar. Lövye ileri, geri hareket ettirildiğinde elevonlar, yukarı ve aşağı hareket ederek, irtifa dümeni görevini yapar ve uçağın yanlamasına ekseni etrafında yunuslama hareketini kontrol ederler. Lövye sağa, sola hareket ettirildiğinde, biri aşağı ve diğeri yukarı hareket ederek kanatçık görevini yaparlar. Böylece uçağın uzunlamasına ekseni etrafındaki yatış hareketini kontrol ederler.

4.1.4.3. Düşey eksen etrafındaki hareketi sağlayan kumanda

Uçağın düşey ekseni etrafında hareketini kontrol eden yüzey, istikamet dümenidir.

İstikamet dümeni, dikey stabilizenin firar kenarına yerleştirilmiştir. Kokpitte bulunan pedallardan kumanda alır. Sağ pedala basıldığında istikamet

dümeni, sağa doğru hareket ederken kuyruğu sola doğru hareket ederek uçağın sağa sapmasını sağlar. Sol pedala basıldığında istikamet dümeni sola doğru hareket ederken, kuyruğu sağa doğru iterken uçağın sola sapmasını sağlar [35].

4.1.5. Uzunlamasına denetleyici tasarımı

Uçağın düz uçuşta, belli bir irtifa ve belli bir hızda tutulması konfor açısından önemli bir iştir. Bu bölümde, çeşitli etkenler yüzünden uçağın irtifa ve hızında oluşacak değişimlerin saptanıp, uçağın eski konumuna getirilmesinin bulanık mantığa göre nasıl sağlandığı problemiyle ilgilenilecektir.

Uçakta irtifa değişimi yunuslama açısı denilen, burun yukarı yada aşağı hareket ile sağlanır. Temel olarak, uçakta bu hareketi sağlayan eleman irtifa dümenidir. Çeşitli etkiler sonucunda, uçağın irtifasındaki değişikliklerinin yanında, uçağın hızında da değişiklikler olması kaçınılmazdır. Bu durumda irtifa ve hızda oluşacak değişikliklerin bir arada düşünüp, uçağın temel olarak belirli bir irtifada tutulması incelenecektir.

Örneğin, pilot uçağın çok düşük irtifada ve çok düşük hızda uçtuğunu düşünüyorsa, uçağın hızının artırılması uçağın stall (havada tutunması açısından gerekli hıza sahip olmaması nedeniyle düşme tehlikesi)'a girmemesi için acil olarak yapılması gereken iştir. Bir başka örnek olarak, pilot uçağın çok düşük irtifada, çok yüksek hızda uçtuğunu düşünüyorsa, pozitif yunuslama açısı vererek, uçağın irtifasını artırır. Böylece hızdaki fazlalık ile uçağın irtifa kazanması sağlanır. Uçağın kinetik enerjisi zaman geçtikçe azalma seyri gösterirken, potansiyel enerjisi artma eğilimi gösterir. Örnek olarak verilmiş bu iki ifadenin bulanık kurallar şeklinde gösterimi aşağıdadır.

- Eğer irtifa çok düşük ve hız çok yavaşsa, hızlanmalı ve yunuslama açısı değiştirilmemelidir.
- Eğer irtifa düşük ve hız yüksekse, yunuslama açısı artırılmalı ve hız korunmalıdır.

Bu şekilde olası tüm durumları gösteren kurallar oluşturulurken, referans olarak alınan irtifa ve hıza göre değişiklikler, hata yada fark olarak düşünülür. Bu bakımdan, Çizelge 4.1'de referans değerlerle karşılaştırılan hız ve irtifaya göre olan farklar gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de, giriş olarak, irtifa ve hızdaki referans

değerlere göre olan farklar düşünülmüştür. Bu durumlara karşılık gelen, yapılması gereken gaz kolu parametresi çıkış olarak düşünülmüştür.

Çizelge 4.1 Gaz kolu için oluşturulmuş doğruluk tablosu

		İrtifa Farkı					
H ı z F a r k ı	Gaz	NÇ	NA	0	PA	PÇ	NÇÇ=Negatif çok çok NÇ=Negatif çok NA=Negatif az 0=Sıfıra yakın PA=Pozitif az PÇ=Pozitif çok PÇÇ=Pozitif çok çok
	NÇ	NÇÇ	NÇÇ	NÇ	NA	0	
	NA	NÇÇ	NÇ	NA	0	PA	
	0	NÇ	NA	0	PA	PÇ	
	PA	NA	0	PA	PÇ	PÇÇ	
	PÇ	0	PA	PÇ	PÇÇ	PÇÇ	

Çizelge 4.1'dekine benzer anlayışta, irtifa ve hız farklarına karşılık gelen irtifa dümeni açıları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelge 4.2'de doğruluk tablosunun benzer şekilde gösterilmesine rağmen, farklı çıkış değerleri için kullanıldığına dikkat edilmelidir.

Çizelge 4.2 İrtifa dümeni açısı için oluşturulmuş doğruluk tablosu

		İrtifa Farkı					
H ı z F a r k ı	Açı	NÇ	NA	0	PA	PÇ	NÇÇ=Negatif çok çok NÇ=Negatif çok NA=Negatif az 0=Sıfıra yakın PA=Pozitif az PÇ=Pozitif çok PÇÇ=Pozitif çok çok
	NÇ	NÇÇ	NÇÇ	NÇ	NA	0	
	NA	NÇÇ	NÇ	NA	0	PA	
	0	NÇ	NA	0	PA	PÇ	
	PA	NA	0	PA	PÇ	PÇÇ	
	PÇ	0	PA	PÇ	PÇÇ	PÇÇ	

Havacılık alanındaki bu uygulamada herhangi bir nedenden dolayı, uçağın irtifa ve/veya hızında oluşan değişiklikler saptanıp, uçağın arzu edilen durumda tutulması sağlanır. Ek-6'da, MATLAB programıyla fonksiyonlar ve kurallar gösterilmiş, bir durulaştırma örneği de son kısımda gösterilmiştir. Bu örnekte herhangi bir andaki uçağın irtifa ve hızındaki farklar göz önüne alınıp, bu hareketi düzeltecek gaz kolu parametresi ve irtifa dümeni açısı bulunmuştur [36,37].

4.2. Uçağın İniş Hareketinde Flap Kullanımı Uygulaması

4.2.1. İniş hareketi

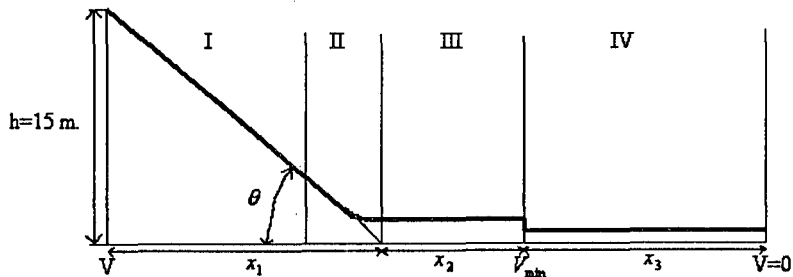
Uçağın uçuş fonksiyonunu yerine getirmesinden sonra 15 m. yüksekliğindeki bir engelin üzerinden süzülerek yere paralel bir uçuş hareketi sonunda tekerleklerini piste değdirip, pist üzerinde belirli mesafe koştuktan sonra durması için yapmış olduğu hareketlerin tümüne iniş hareketi denir [38].

İniş yapan bir uçak yere değdiği zaman hem yatay hem de düşey hız bileşenlerinin kinetik enerjisini taşımaktadır.

İnişte uçak pistin başına doğru belirli bir süzülüş açısı ile alçalma yapar; pilot uçağın hızını, uçak tipine ve iniş şartlarına uygun olarak, minimum hızın %5-10 kadar üstünde tutar; yere temastan evvel pilot uçağı yere paralel uçuş yapacak şekilde düzeltir ve mümkün olan en düşük düşey hız ile tekerlekleri yere değdirir. Bundan sonra pilot aerodinamik, motor ve tekerlek frenlerini kullanarak uçağı, yerde emniyetle, yavaş hızda yürüteceğı (taksi hareketi) hıza düşürür ve uçağı durdurur.

Uçak yere değdikten durana kadar olan yatay enerji; aerodinamik, motor ve tekerlekler tarafından ısı enerjisine çevrilerek yutulurken, yere değdiği andaki düşey enerji ise iniş takımlarının yayları, amortisörleri ve tekerlek tarafından ısı enerjisine dönüştürülerek yutulur [39].

İniş hareketini 4 ayrı safhada incelemek gerekmektedir (Şekil 4.5). Bu incelemelerde, uçağın süzülüş hareketine başlamasından, pist üzerinde durmasına kadar ki sürede motorlarının çekme kuvveti vermediğı kabul edilir. Pratikte motorların durdurulması söz konusu olamayacağından, uçağın rölanti hızında çalışıyor olduğu düşünülür.



Şekil 4.5 Uçuş safhaları

Şekil 4.5’de, I. bölge süzülüş hareketi, II. bölge geçiş safhası, III. bölge yere paralel uçuş hareketi ve IV. bölge de yer rulesi hareketi olarak adlandırılır.

4.2.1.1. Süzülüş hareketi

Uçağın güçsüz olarak 15 m. yüksekliğindeki bir engelin üstünden itibaren süzülüş uçuşu yaparak yere birkaç metre mesafeye kadar irtifa kaybetmesine süzülüş hareketi denir. Bu hareketin başlangıcında hız, uçağın kalkışında sahip olduğu hızın yaklaşık 1.2 katı olarak düşünülür. Bu duruma göre doğrusal süzülüş hareketi sırasında 15 m. yükseklikten itibaren süzülüş yapıldığı safhada düşey hız;

$$V_y = V_1 \sin \theta \quad (4-1)$$

olacaktır. Süzülüş süresi ise;

$$t = \frac{h}{V_1 \sin \theta} \quad (4-2)$$

olacağına göre, yatay doğrultuda süzülüş süresince alınan mesafe;

$$x_1 = tV_1 \cos \theta = \frac{h}{V_1 \sin \theta} V_1 \cos \theta = \frac{h}{\tan \theta} \quad (4-3)$$

olarak bulunur.

4.2.1.2. Geçiş safhası

Uçağın süzülüş hareketinden bir düzeltme manevrası ile yere paralel uçuş hareketine geçmesine ara safha veya geçiş safhası denir. Bu hareketin yapılışı çok kısa bir sürede ve çok kısa bir mesafede yapıldığından toplam iniş mesafesi yanında bu safhada alınan mesafeyi ihmal etmek mümkündür.

4.2.1.3. Yere paralel uçuş hareketi

İnişin bu safhasında uçak yere paralel bir uçuş hareketi yaparak hızını V_{\min} değerine kadar düşürür. Ağırlık merkezinin takip ettiği yol, piste paralel bir doğrudan ibaret olup, uçuş hareketi yatay ve negatif ivmelidir. W uçak ağırlığı, r

hava yoğunluğu, S kanat alanı ve $C_{L_{max}}$ maksimum taşıma katsayısı olmak üzere, V_{min} hızı;

$$V_{min} = \left(\frac{2W}{rSC_{L_{max}}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4-4)$$

olarak hesaplanır. Bu safhada alınan x_2 mesafesi, g yerçekimi ivmesi ve E_o ortalama fines olmak üzere;

$$x_2 = \frac{0.44 E_o W}{g rSC_{L_{max}}} \quad (4-5)$$

denklemini elde edilir.

4.2.1.4. Yer rulesi hareketi

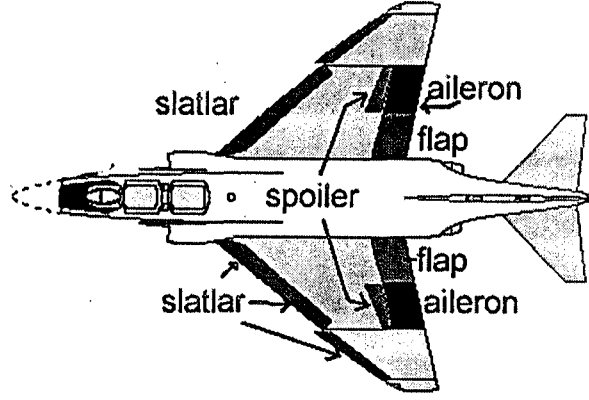
Yere paralel uçuş hareketinin sonunda, hızın V_{min} değerine düşmesinden sonra, tekerleklerin yere değerek pist üzerinde belirli mesafede koşup durması için yapılan hareketlere yer rulesi hareketi denir. Bu andan itibaren uçağın hızı çeşitli frenleme tertibatlarından ve direnç kuvvetinden faydalanılarak sıfıra düşürülür. Dolayısıyla inişte yer rulesi uzunluğu, uçağa tatbik edilen çeşitli frenleme kuvvetlerine bağlı olarak değişecektir [38].

4.2.2. Yardımcı uçuş kumandaları

Uçak üzerinde kullanılan diğer değişik tip kumanda yüzeylerine yardımcı uçuş kumandaları adı verilir. Flaplar, sürat frenleri, slot ve slatlar'dır [40].

Uygulama flap uygulaması olacağından burada sadece flaplar anlatılmıştır. Yardımcı uçuş kumandaları içerisinde yer alan slot ve slatlar da, flaplarla aynı görevi yapmakla birlikte sadece uçak üzerinde yerleri farklıdır.

Şekil 4.6'da, yardımcı uçuş kumandalarının uçak üzerinde yerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Yardımcı uçuş kumandaları

4.2.2.1. Flaplar

Bir kanat profilinin taşıması, veteri ile hava hızı doğrultusundaki hücum açısı ile artar. Ancak hücum açısının öyle bir değeri vardır ki burada taşıma maksimum değerine ulaşır ve ondan sonra hücum açısı daha da arttırılırsa taşıma artmadığı gibi aksine birden düşer ve kanat stola (perdövites) girer. Günümüzde ıslah edilmiş, geliştirilmiş en iyi profillerde maksimum taşıma katsayısı 1.4-1.5 arasındadır ve hücum açısı yaklaşık 10-15 derece arasındadır. Bu taşıma katsayısı kalkış ve hele iniş halinde katıyen kafi değildir. Günümüzün yüksek hızlı uçaklarında, iniş hızı da belli bir limitin altında olamayacağından için ve bu hızda dahi uçağın ağırlığını karşılayacak taşıma kuvveti meydana getirmek mümkün olamayacağı için tek çare taşıma katsayısını büyütmeğdir. Bununda çaresi firar kenarı ve hücum kenarı flabı kullanmaktır. Bu flapların aşağı doğru saptırılması ile kanadın izafi hücum açısı çok büyümüş olur ve stola girmeden taşıma katsayısı 2-2.5 katına kadar artırılabilir.

Flaplar buldukları kesimde kanat profilinin tam bir devamıdır. Veter uzunlukları, toplam kanat veterinin %20 si kadardır. Kanadın gövdeye yakın kesitinde başlayıp uca doğru, kanat açıklığının yaklaşık %60'ı kadar bir uzunluğa sahiptir. Flapsız veya flabı kapalı bir profilin yaklaşık 16 derece (hücum açısı) civarındaki maksimum taşıma katsayısı yine yaklaşık 1.5 civarında iken, en mütেকamil flap olan çift yarıklı hücum ve firar kenarı Fowler Flap' nda aynı hücum açısı ile taşıma katsayısı 3.4'e yükselebilmektedir.

Maksimum taşıma katsayısının flap kullanılarak artırılmasının faydası bir örnek ile açıklanabilir.

İniş için izin verilen ağırlığı $W = 72\ 000$ kg olan Boeing-727 yolcu uçağının kanat alanı $S = 115\ m^2$ olsun. Bu uçak, deniz seviyesindeki bir meydana iniş yapacak olsun ($r = 0,125$). Flapların kapalı ve iniş için tam açık (40-45 derece) hallerindeki süzülüş hızları incelenecektir.

Flap kapalı iken taşıma katsayısı $C_L = 1.5$ ve flap tam açıkken ise $C_L = 3.4$ olsun. Her iki halde de kanatta meydana gelen taşıma uçağın iniş ağırlığını karşılayacaktır.

$$L = W = C_L (rV^2 / 2)S \quad (4-6)$$

Bu denkleme göre iniş-süzülüş hızı kapalı flaplar $V = 81.72\ m/s = 294\ km/sa$, tam açık flapla $V = 54.16\ m/s = 195\ km/sa$ 'dir. Şüphesiz, birinci halde uçak yere çok büyük bir enerji ile, hızın karesiyle orantılı bir enerji ile çarpacaktır. Hızları oranı 1.51, enerji oranları ise 3.455'dir.

Yere vurma hızı ve dolayısıyla enerjisi ne kadar büyük olursa onu karşılamak için iniş takımının da o derece mukavim yani dayanıklı yapılması gerekir. Lastikler, dikmeler ve amortisörler ona göre yapılacaktır.

İniş hızının flaplar kullanılarak yaklaşık %50 oranında azaltılması iniş uzunluğunu da azaltacak, uçak daha kısa mesafede durabilecektir. Bu da uçak ne kadar büyük ve seyir hızı ne kadar yüksek olursa olsun, uzunluğu sınırlı, standart pistlere iniş sağlanabilmesi bakımından flapların bir diğer faydasını da ortaya koymaktadır.

Flapların açılması taşımayı artırdığı gibi sürüklemeyi de artırmaktadır. Sürüklemenin artmasının iki sebebi vardır. Birincisi, izafi hücum açısı artmaktadır. Diğer sebep de flapların açılması ile kanat profilinin, rüzgara maruz kalan bölgesinin sürüklemeyi artırıcı tarzda değişmesi, daha büyük sürüklenme veren bir form almasıdır.

Kanat profilinin flap açılarak kamburluğunun artırılması ile aerodinamik kuvvetin tatbik noktasının yeri değişecektir. Bu değişme, aerodinamik merkezden uzaklaşma tarzında ve bu kuvvetin aerodinamik merkeze göre momentini artırıcı istikamette olacaktır. Bu moment, kuyruk yüzeylerinin hareketli kısmına kumanda edilerek meydana getirilecek aerodinamik kuvvet ile dengelenir [41].

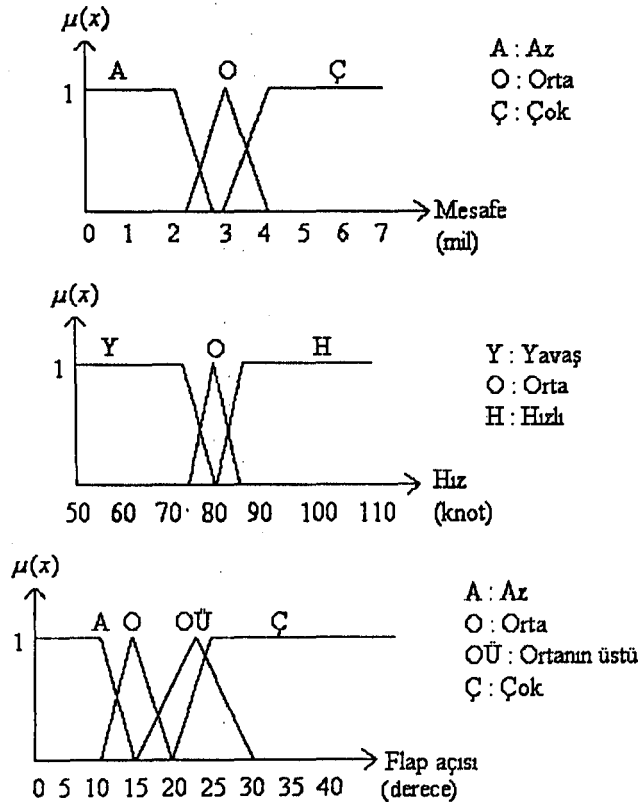
4.2.3. Flap açısının bulanık mantıkla hesabı

Bu uygulama, Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda pilot eğitimi için kullanılan TB-20 uçakları baz alınarak yapılmıştır.

Eğitim esnasında halihazırda uygulanan yöntemle göre, flaplar, pilotlar tarafından ilk olarak, piste yaklaşık 5 mil kala ve yaklaşık 90 knot hızla uçarken, 10 derece açılırlar. İkinci olarak ise, piste yaklaşık 2.3 mil kala ve 70-75 knot hızla uçarken 40 derece açılırlar. Herhangi bir nedenden dolayı uçağın hızının değişmesi, iniş aşamasında kullanılması gerekli olan flap açılarını da etkileyecektir. Bulanık mantık işte böyle bir durumda, yani farklı bir hızla piste yaklaşmaya başlamış bir uçak için uygun flap açısını bulmaya yöneliktir.

İniş aşamasında pilotlar tarafından iki farklı zamanda, iki farklı açıda açılan flapların, uçağın en uygun taşımayı sağlayacak şekilde piste teker koyması için, uygun açı değerinin, piste olan mesafeye ve uçağın sahip olduğu o hıza göre bulunması gerçekleştirilecektir.

Şekil 4.7'de mesafe, hız ve flap açısı ile ilgili fonksiyonlar gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Mesafe, hız ve flap açısı üyelik fonksiyonları

Eldeki bu bilgilerden oluşturulmuş, mesafe ve uçak hızı girdilerine karşılık gelen flap açısı ile ilgili kurallar tablosu Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

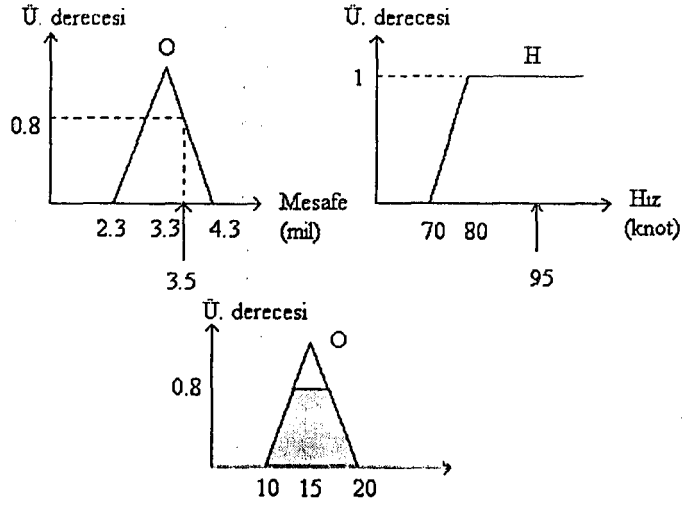
Çizelge 4.3 Mesafe ve uçak hızına karşılık flap açısını gösteren kural tablosu

		Hız		
		Y	O	H
M e s a f e	A	Ç	Ç	OÜ
	O	Ç	OÜ	O
	Ç	OÜ	O	A

Çizelge 4.3’de mesafedeki A, O ve Ç sembolleri ‘az’, ‘orta’ ve ‘çok’ bulanık kümelerini, hızdaki Y, O ve H sembolleri ‘yavaş’, ‘orta’ ve ‘hızlı’ bulanık kümelerini, çizelge içindeki flap açılarını gösteren Ç, OÜ, O ve A sembolleri ise ‘çok’, ‘ortanın üstü’, ‘orta’ ve ‘az’ bulanık kümelerini temsil etmektedir. Girdiler için üçer tane, çıktı için ise dört tane bulanık küme oluşturularak daha hassas bir ölçüm yapılması sağlanmıştır. Mesafe ve hızla ilgili bilgilerin fonksiyon olarak gösterilmesi için, SHYO pilotaj bölümü öğretim elemanları ve öğrencilerinden bu konuda bilgiler alınıp, düzenlenmiştir.

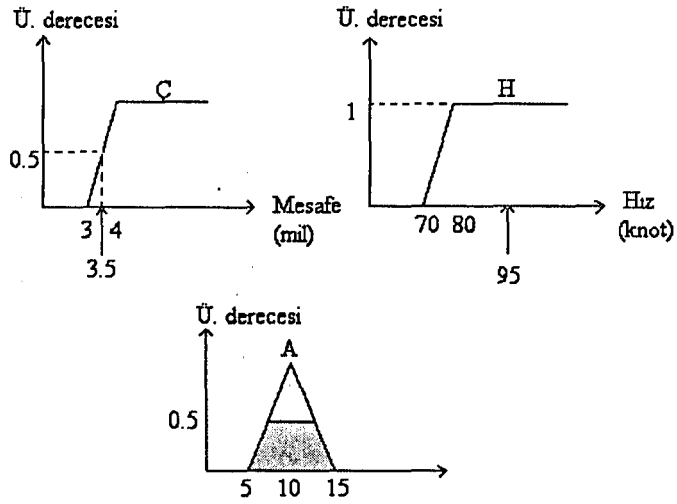
Çizelge 4.3’deki kural tablosu örnek alınarak, mesafenin 3.5 mil ve o andaki hızın 95 knot olduğu durum için, olması gereken flap açısı hesaplanacaktır.

3.5 millik mesafe, bu kümenin ‘orta’ ve ‘çok’ alt kümelerine girmektedir. 95 knot’lık hız ise, bu kümenin ‘hızlı’ sınıfına girmektedir. Bu durumda iki kural devreye girecektir. 1. kural olarak mesafenin ‘orta’ ve hızın ‘hızlı’ kümesine girdiği durum, Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



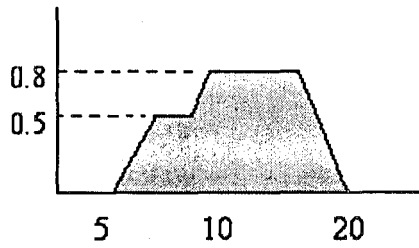
Şekil 4.8 Flap için 1. kural

Şekil 4.9'da ise, mesafenin 'çok' ve hızın 'hızlı' kümesine girdiği durum gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Flap için 2. kural

Bu iki çıkışın birleştirilmiş hali, Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Kuralların birleştirilmesi

Ağırlıklı ortalama yöntemine göre durulaştırma işlemi yapılırsa flap açısı;

$$z_0 = \frac{z_1\mu(z_1) + z_2\mu(z_2)}{\mu(z_1) + \mu(z_2)} = \frac{0.8 \cdot 15 + 10 \cdot 0.5}{0.8 + 0.5} = 13.08 \quad (4-7)$$

olarak bulunur.

Ek-7'de MATLAB programıyla yapılmış bu uygulama fonksiyonlar, kurallar verilerek gösterilmiş, son olarak da bir örnek hız ve mesafe girdisine karşılık gelen, flap açısının bulunması gerçekleştirilmiştir.

MATLAB programıyla yapılmış sonuçlara göre, piste 5 mil kala ve 90 knot hızla uçarken, açılması gerekli olan flap açısı değeri 6.21 olarak bulunmuştur. Piste 2.3 mil kala ve 70-75 knot hızla uçarken, açılması gerekli olan flap açısı değeri ise 36.3 olarak bulunmuştur. Bu sonuçların, şu anda pratikte kullanılan değerlere yakın sonuçlar olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇ

Günlük hayatta verilen kararlarda çoğu kez kullanılan ve farkında olunmayan bulanık mantık; esnek yapısı, insan anlayışına uygun olan basitliği, matematikte fazla anlam ifade etmeyen sözel ifadelerin kullanılmasına olanak sağlamasıyla bilinen klasik mantıktan ayrılır. Özellikle karar verici mekanizmalarda ve pek çok verinin gözlem yoluyla elde edildiği, bilginin sağlıklı alınmaması yada yeterli olmaması nedeniyle yaşanan problemlere çözüm bulması da en büyük avantajlarından bir tanesidir.

Pek çok uygulama alanı olan bulanık mantık; mühendislik uygulamalarının yanında, sosyal, iktisadi, tıbbi ve teknik konularda da kullanılmaktadır. Kuralların oluşturulmasından sonra genelde programlanmış mikroişlemcilerin bu bilgileri kullanmasıyla kullanımda hem basitlik, hem de ekonomik açıdan bir fayda sağlar.

Bu çalışmanın uygulama aşamasında, uçağın uzunlamasına ekseninde kontrol açısından önemlilik arzeden irtifa ve hız kontrolü için bulanık mantıkla bir kural tabanı oluşturulmuştur. İkinci olarak, yine bir uçuş kontrol uygulaması olan, iniş aşamasında ek taşıma kuvveti sağlayan flap elemanının açısının, yaklaşmadaki mesafe ve uçağın hızıyla olan ilişkisi için bir model oluşturulmuştur.

Bulanık mantıktaki teorik bu uygulamaların gerçekleştirilmesi ile kontrolün sağlanması yanında, güvenliğin artması da sağlanabilir. Özellikle flap uygulamasında şu andaki kullanım şekli olan belli mesafeye, belli hızla gelmesi gerekliliği şartı daha esnek tutulup, gerekli kumanda değişiklikleri bulanık mantıkla uygun hale getirilip, uygun flap açısının o andaki hız ve irtifaya göre belirlenmesi ile bu durum kontrol altına alınabilir. Bunun yanında uçuşun o andaki şartlarına göre, uygun hızın ve irtifanın seçilmesiyle yakıt sarfiyatında ekonomik bir getiri sağlanması da amaçlanabilir. Uçuş yapan deneyimli pilotları böyle kısıtlamalardan kurtarması, psikolojik açıdan bir rahatlama sağlayacağı gibi, özellikle öğrenci pilotlar için eğitim seviyesine bir yenilik getireceği de aşikardır.

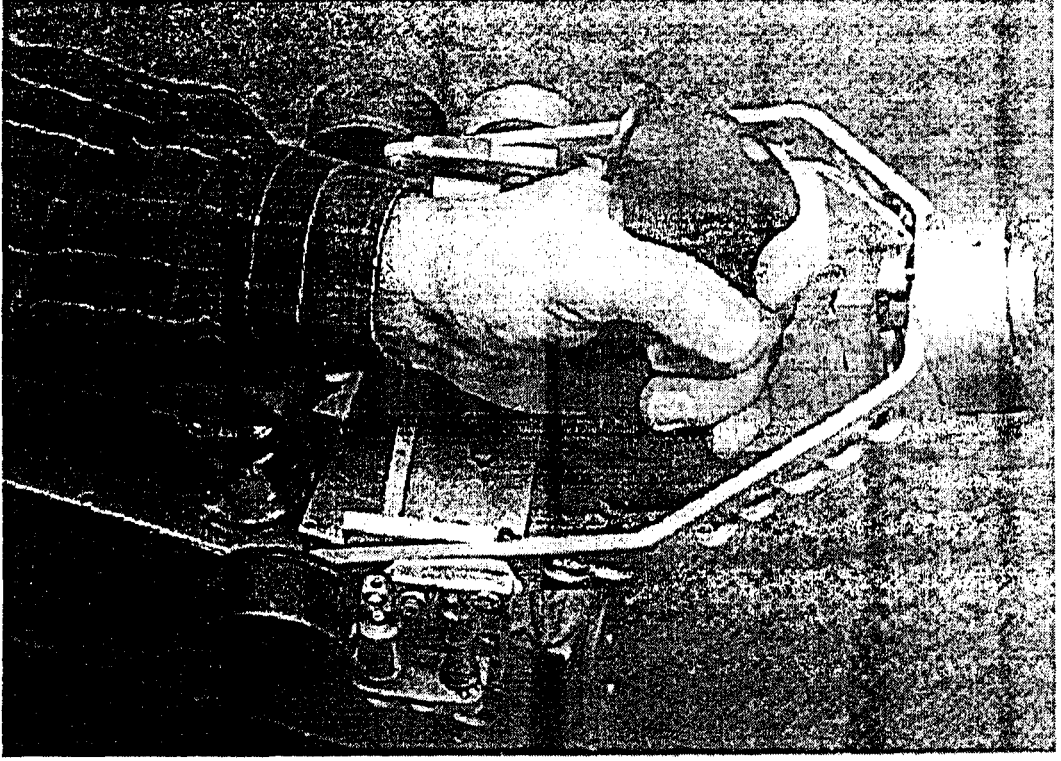
KAYNAKLAR

- [1] ŞEN, Z., *Bulanık (Fuzzy) Mantık Ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, (2001).
- [2] http://www.bumat.itu.edu.tr/dokuman_BULANIK_KuMELER.doc.
- [3] KLIR, G.J., Yuan B., *Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory And Applications*, Prentice Hall PTR, New Jersey, (1995).
- [4] http://www.bumat.itu.edu.tr/dokuman_FUZZY_SETS.doc.
- [5] <http://eros.science.ankara.edu.tr/~ozbek/bulanik-1.htm>.
- [6] ŞENOL, F., *Bulanık Mantık Kontrolcüsü*, Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, (2000).
- [7] <http://members.tripod.com/~Bagem/bagem/ yz3.html>.
- [8] BERINGER, D.B., *Applying Performance-Controlled Systems, Fuzzy Logic, And Fly-By-Wire Controls To General Aviation*, FAA Final Report, Oklahoma City, (2002).
- [9] SERGAKI, A. ve KALAITZAKIS, K., *A Fuzzy Knowledge Based Method For Maintenance Planning In A Power System*, Greece, (2001).
- [10] OOSTREAM, M. ve BABUSKA, R., *Virtual Sensor For Fault Detection And Isolation In Flight Control Systems-Fuzzy Modeling Approach*, Proceedings of 39th IEEE Conference on Decision and Control, Sydney, December (2000).
- [11] ÇİFTÇİ, H., *Fuzzy Logic Function Approximation For Some Mathematical Functions*, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, (2002).
- [12] ÖZDAŞ, N., DİNİBÜTÜN, A.T. ve KUZUCU, A., *Otomatik Kontrol Temelleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1998).
- [13] ÖZDEMİR, C. ve KORUL H., *Otomatik Kontrol Dersi Notları*, Anadolu Üniversitesi, SHYO, Eskişehir, (1999).
- [14] YÜKSEL, İ., *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, (2001).
- [15] İBRAHİM, A.M., *Introduction To Applied Fuzzy Electronics*, Prentice Hall PTR, New Jersey, (1997).

- [16] AKDEMİR, M., *Indirect Adaptive Fuzzy Control For A Tank Using Gradient And RLS Methods*, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, (2001).
- [17] http://www.hkmo.org.tr/yayin/odadergi/s87/bulanik_mantik.htm.
- [18] YEN, J., LANGARI, R. ve ZADEH, L.A., *Industrial Applications Of Fuzzy Logic And Intelligent Systems*, IEEE Press, New York, (1995).
- [19] CHEN, G. ve PHAM, T.T., *Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Control Systems*, CRC Press, Florida, (2001).
- [20] NGUYEN, H.T. ve WALKER, E.A., *A First Course In Fuzzy Logic*, Chapman&Hall/CRC, New York, (1999).
- [21] TANAKA, K., *An Introduction To Fuzzy Logic For Practical Applications*, Springer-Verlag, New York, (1997).
- [22] CİLAN, S., *Fuzzy Control Of A Motor By Using An 8 Bit Fuzzy Card*, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, (1998).
- [23] YEN, J. ve LANGARI, R., *Fuzzy Logic Intelligence, Control, And Information*, Prentice Hall, New Jersey, (1999).
- [24] ATMACA, H., *Fuzzy Logic Dersi Notları*, Osmangazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, (2002).
- [25] PIEGAT, A., *Fuzzy Modeling And Control*, Physica-Verlag, Germany, (2001).
- [26] AL, M., *Determination Of Fuzzy Sets By Using Genetic Algorithms*, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Eskişehir, (1998).
- [27] NEGOITA, C.V. ve RALESCU, D., *Simulation, Knowledge-Based Computing, And Fuzzy Statistics*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, (1987).
- [28] İTÜ Bulanık Mantık Ve Teknoloji Kulübü, *Bulanık Mantık Kurs Notları*, İstanbul, (2003).
- [29] OYSAL, Y., *Fero Modelleme Ve Optimal Bulanık Kontrol*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, (2002).

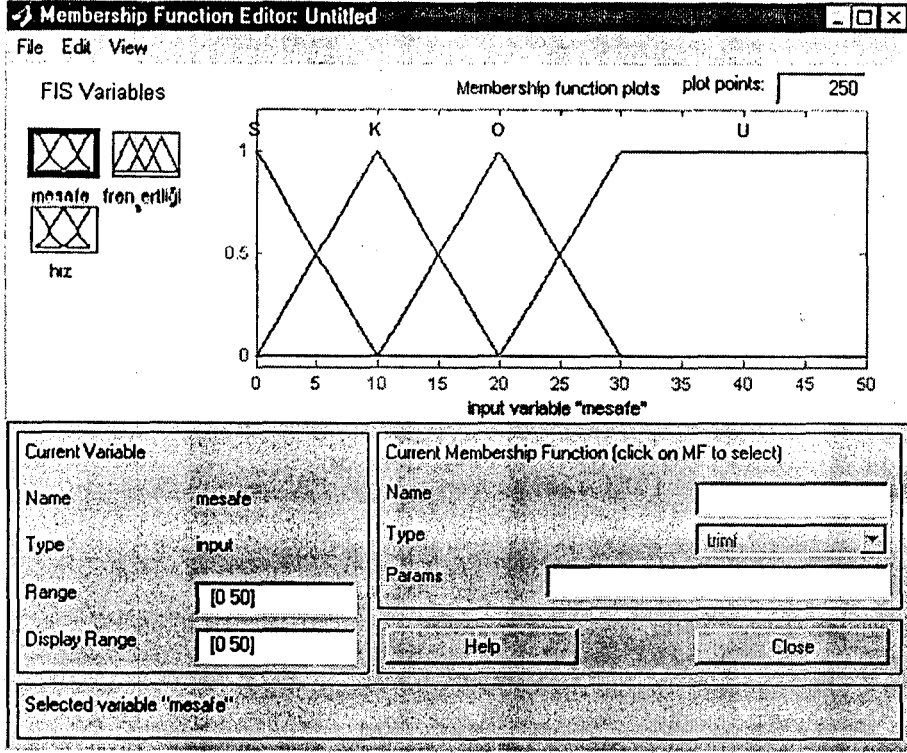
- [30] TÜMER, P., *Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Giriş Verilerinin Bulanık Mantık İle Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2001).
- [31] BOJADZIEV, G. ve BOJADZIEV, M., *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific Co. Pte. Ltd., Singapore, (1995).
- [32] groups.yahoo.com/group/bumat/files/Bulanik%20Kumeler.doc.
- [33] KAHVECİOĞLU, A., *Uçuş Kontrol Sistem Tasarımında Katlı-Model Yaklaşımı Ve Genetik Algoritma Tekniğinin Uygulanması*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, (2000).
- [34] <http://www.adabilgisayar.com/havacilik/kuyruk.htm>.
- [35] BUĞDAYCI, H., *Temel Uçak Bilgisi Dersi Notları*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, (1997).
- [36] VERBRUGGEN, H.B., *Fuzzy Algorithms For Control*, Netherlands, (1999).
- [37] JAMSHIDI, M., TITLI, A., ZADEH, L., BOVERIE, S., *Applications Of Fuzzy Logic*, Prentice Hall PTR, New Jersey, (1997).
- [38] İTÜ MAKİNE FAKÜLTESİ UÇAK İNŞAATI KÜRSÜSÜ, *Uçuş Mekaniği Ders Notu*, İstanbul.
- [39] http://www.uted.org/dergi/2002/ekim/ekim_5.htm.
- [40] <http://www.dicle.edu.tr/~duhak/ukumanda.htm>.
- [41] <http://www.adabilgisayar.com/havacilik/kanat1.htm>.

Ek-1
FAA'NİN YAPTIĞI BULANIK DENETLEYİCİ

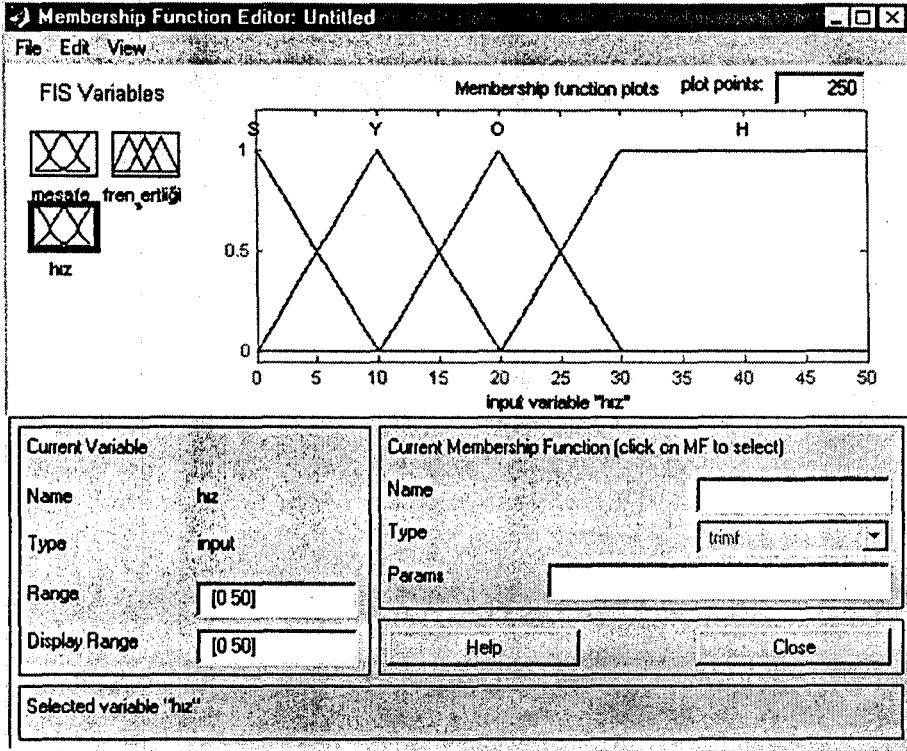


FAA'nin yaptığı bulanık denetleyici

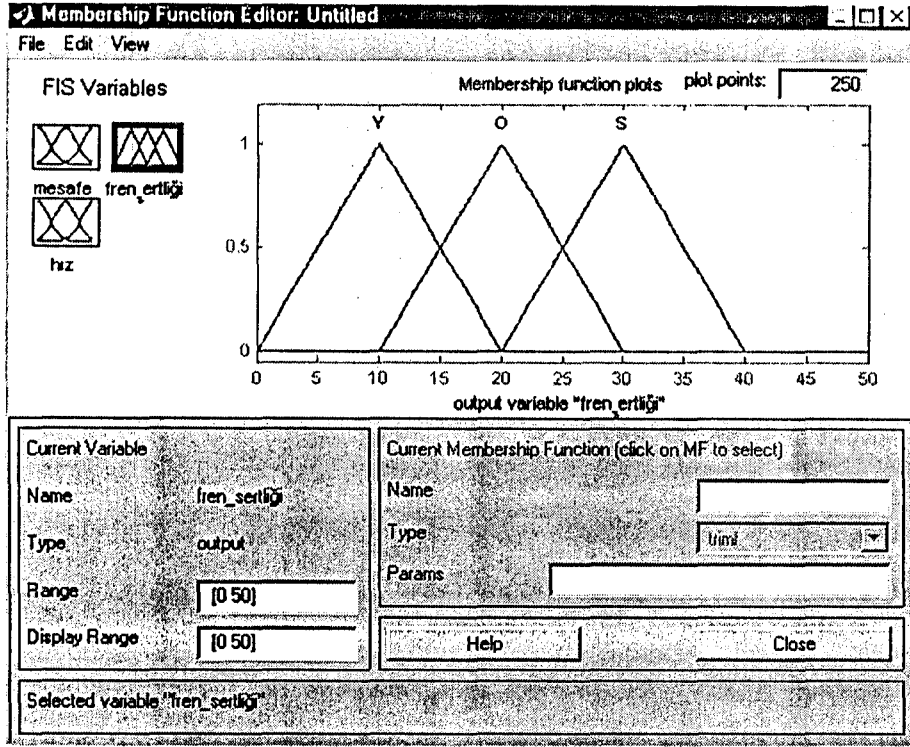
Ek-2 ARAÇ ÖRNEĞİ İÇİN MATLAB UYGULAMASI



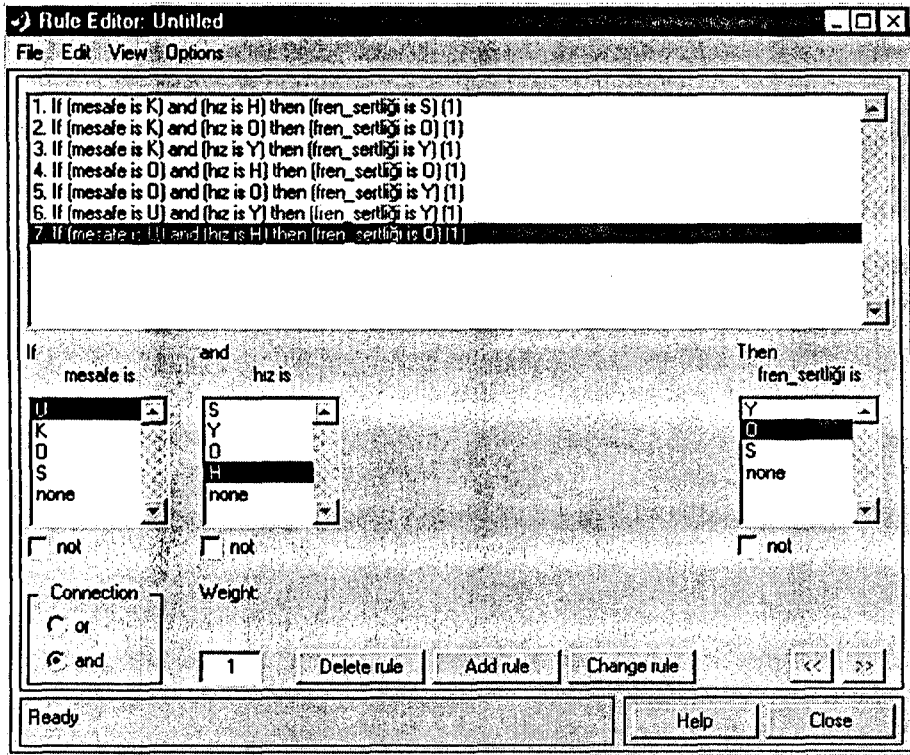
1. giriş fonksiyonunun gösterimi



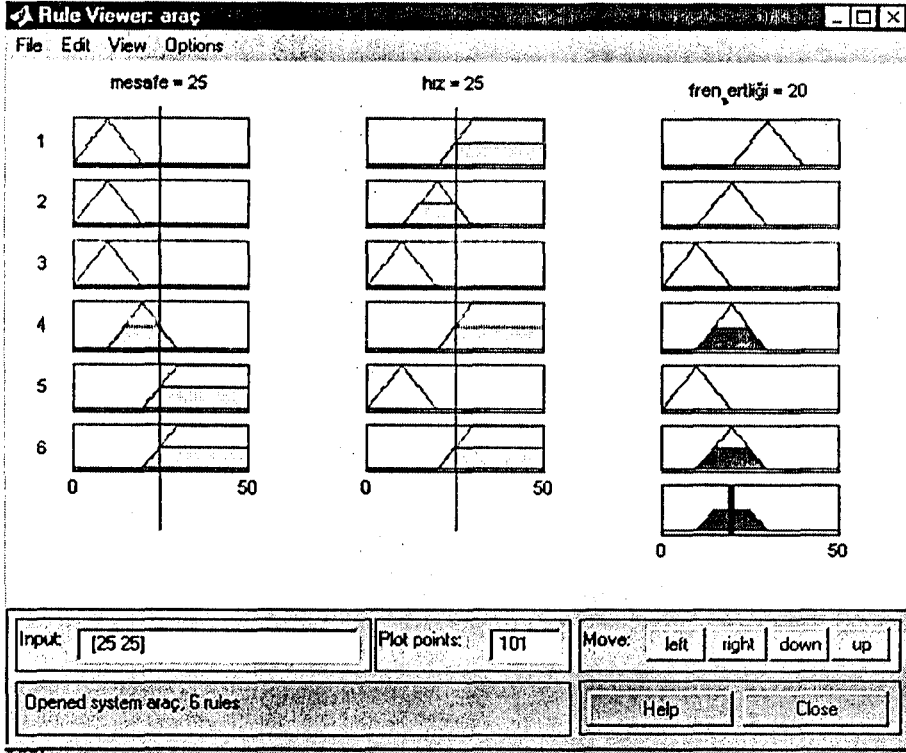
2. giriş fonksiyonunun gösterimi



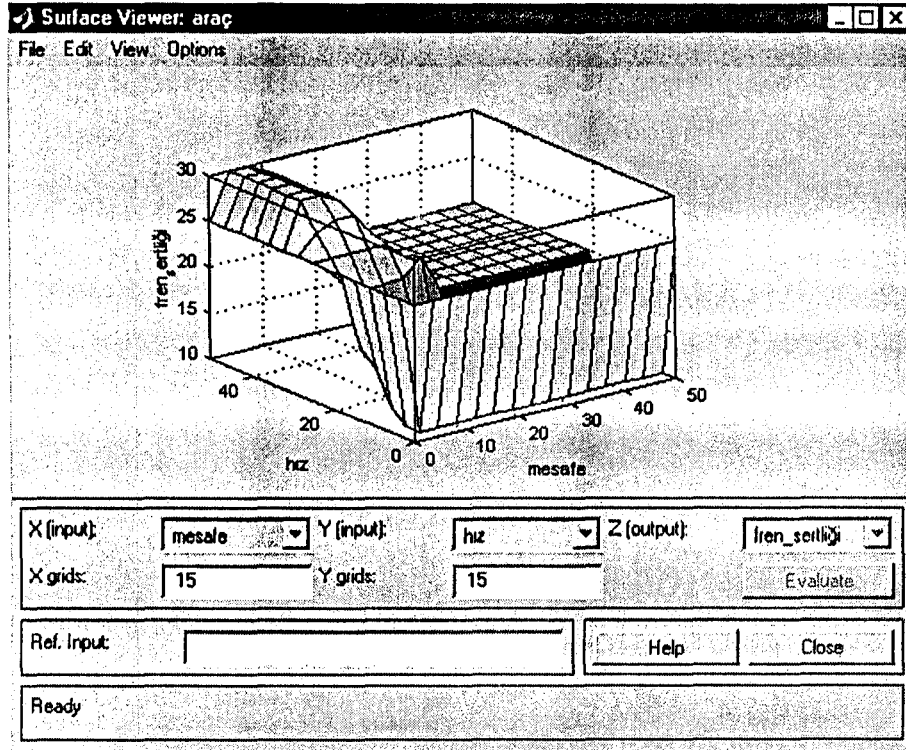
Çıkış fonksiyonunun gösterimi



Kuralların gösterimi

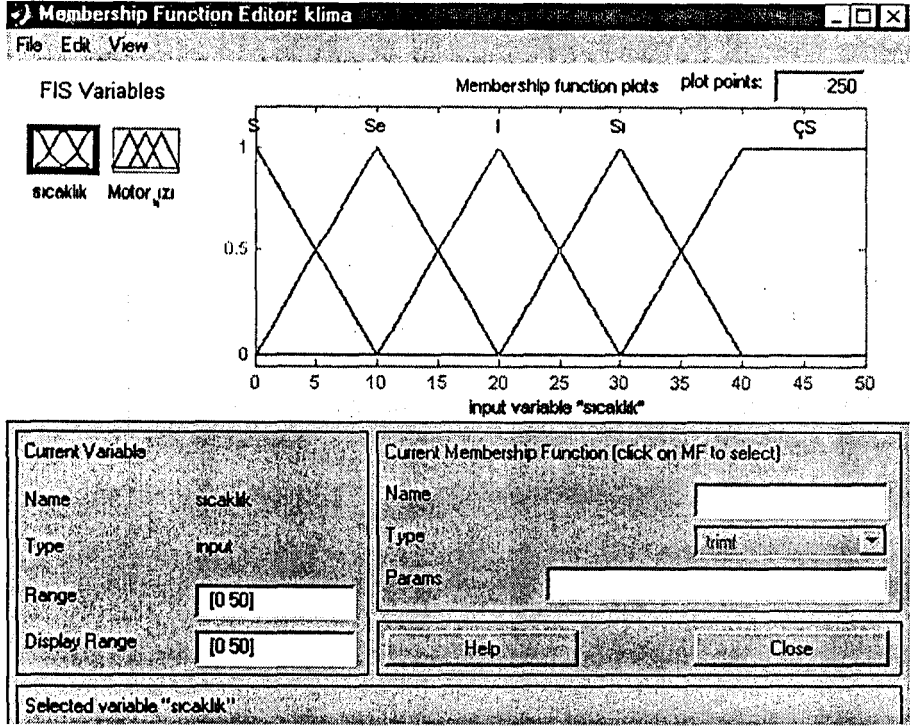


25 m. ve 25 m/s'ye karşılık gelen fren sertliği

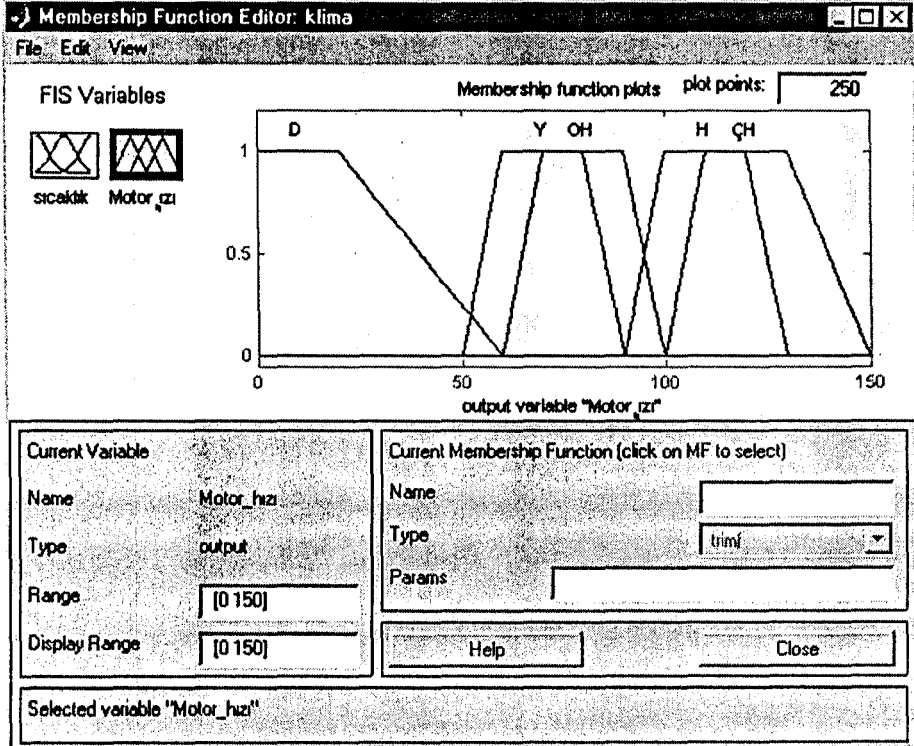


Fonksiyonun (yüzeyin) gösterimi

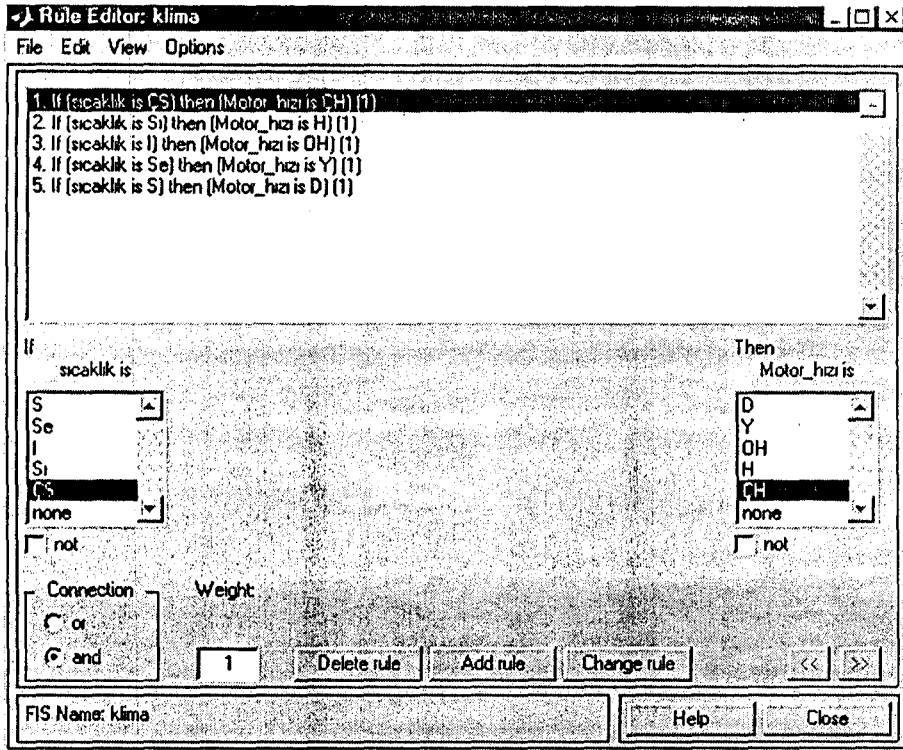
Ek-3 KLİMA ÖRNEĞİ İÇİN MATLAB UYGULAMASI



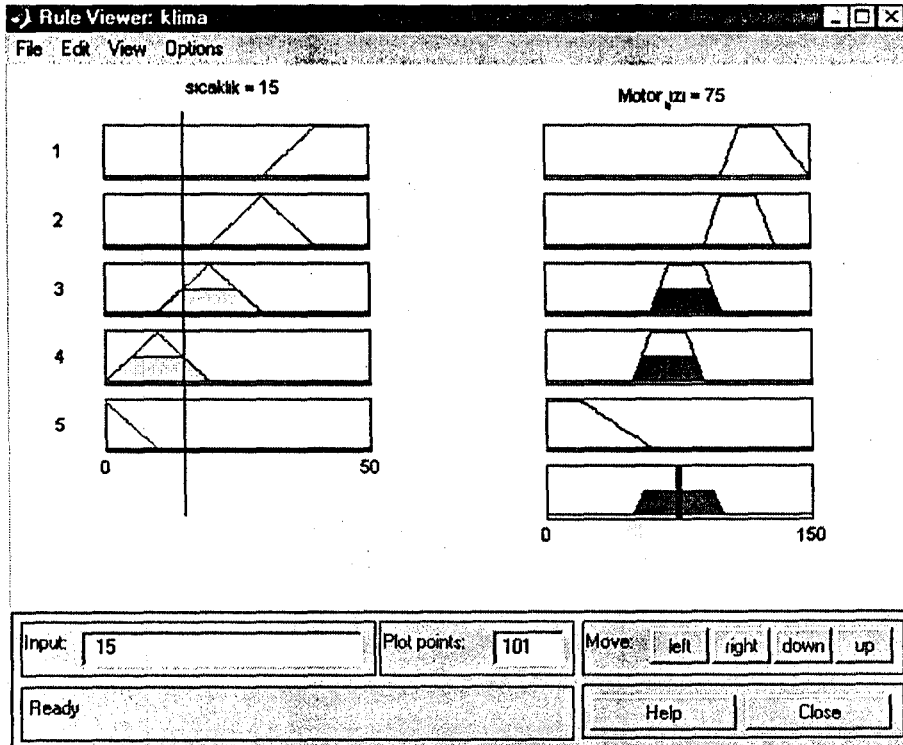
Giriş fonksiyonunun gösterimi



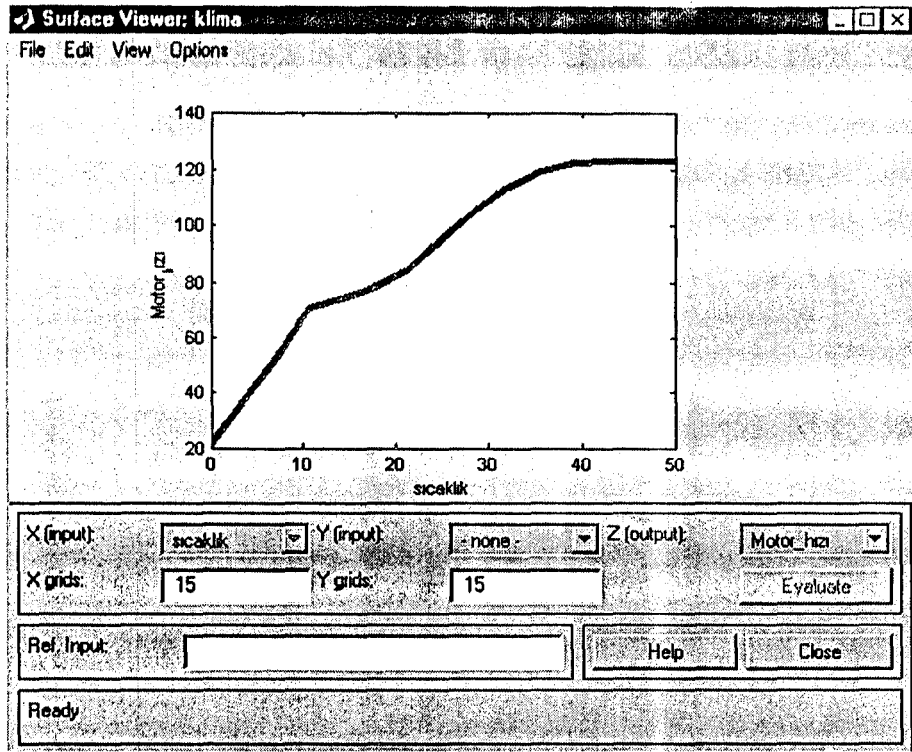
Çıkış fonksiyonunun gösterimi



Kuralların gösterimi

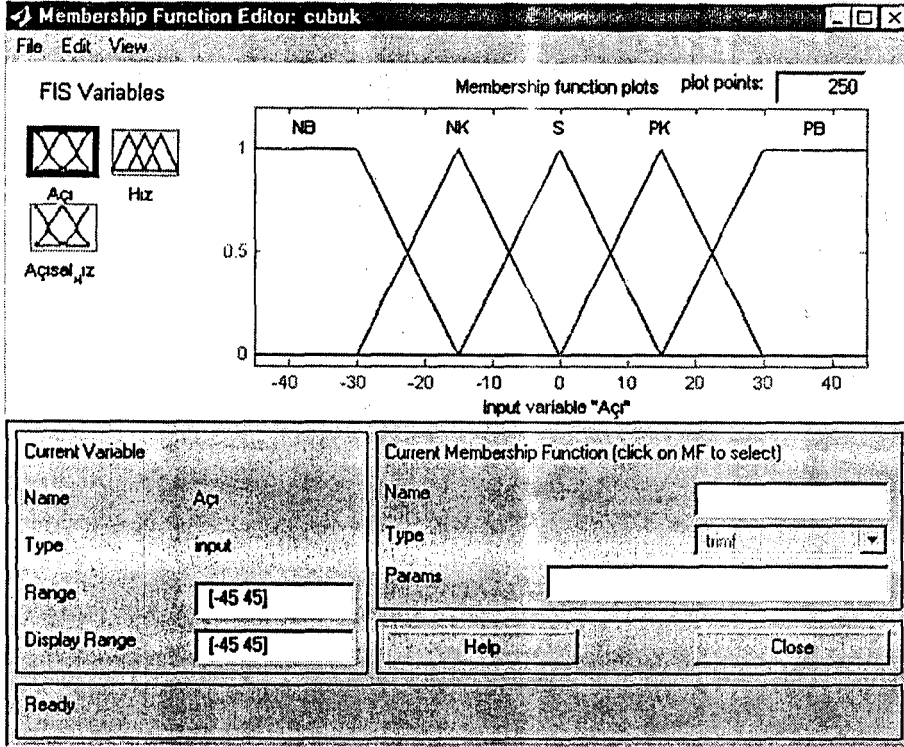


15°C'ye karşılık gelen motor hızı

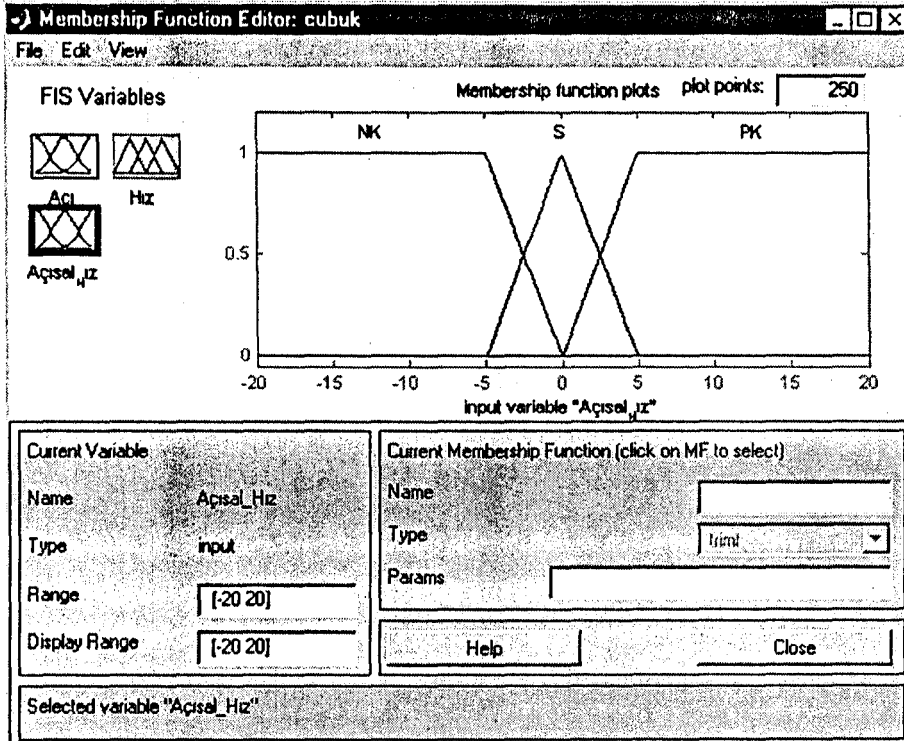


Fonksiyonun (yüzeyin) gösterimi

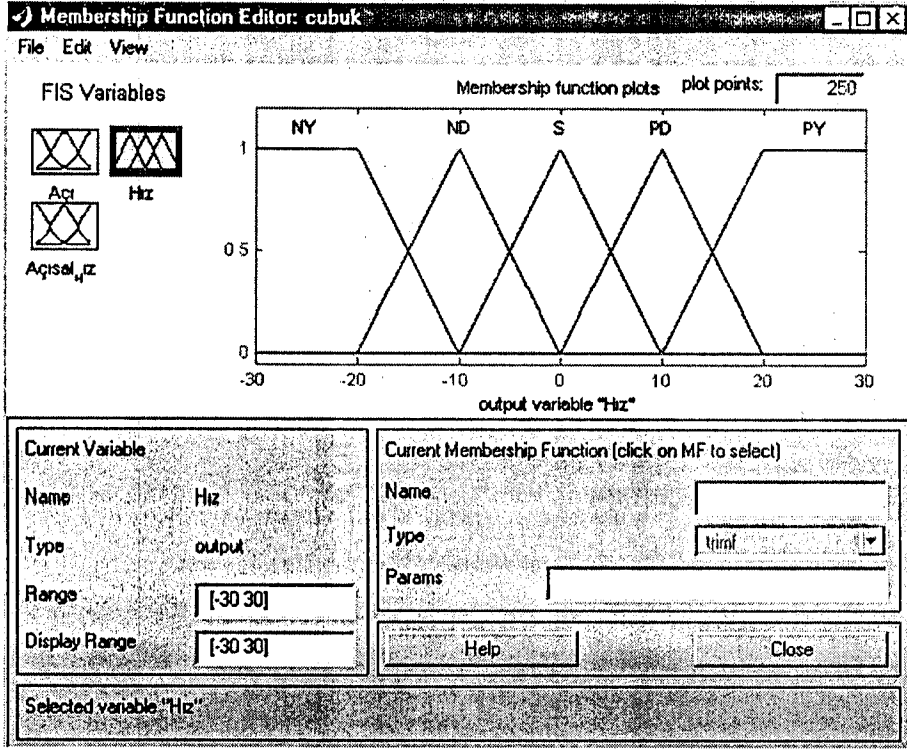
Ek-4 TERS SARKAÇ İÇİN MATLAB UYGULAMASI



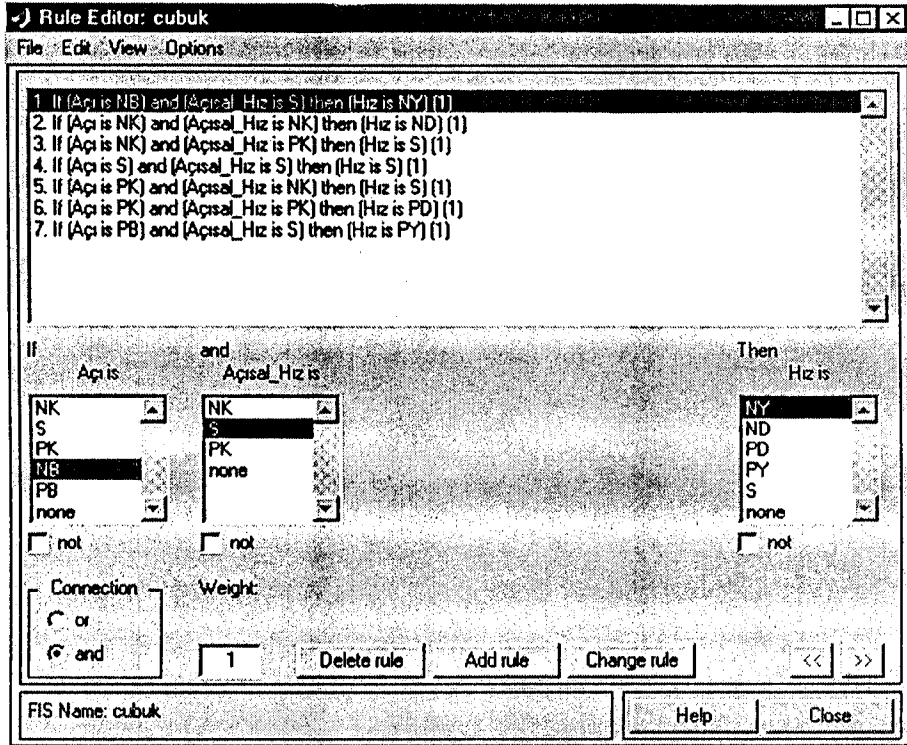
1. giriş fonksiyonunun gösterimi



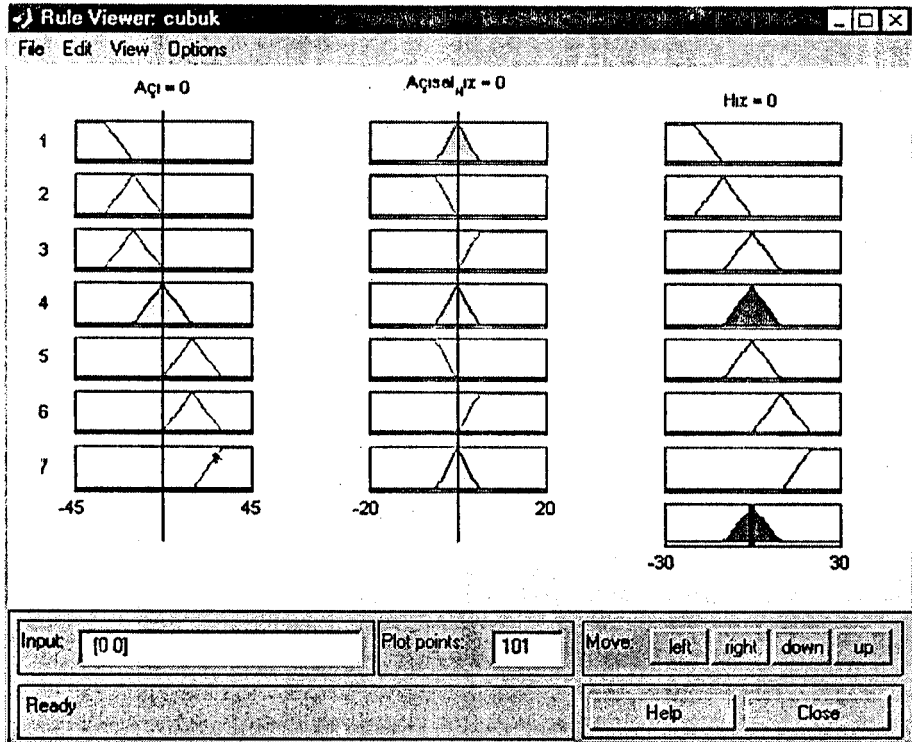
2. giriş fonksiyonunun gösterimi



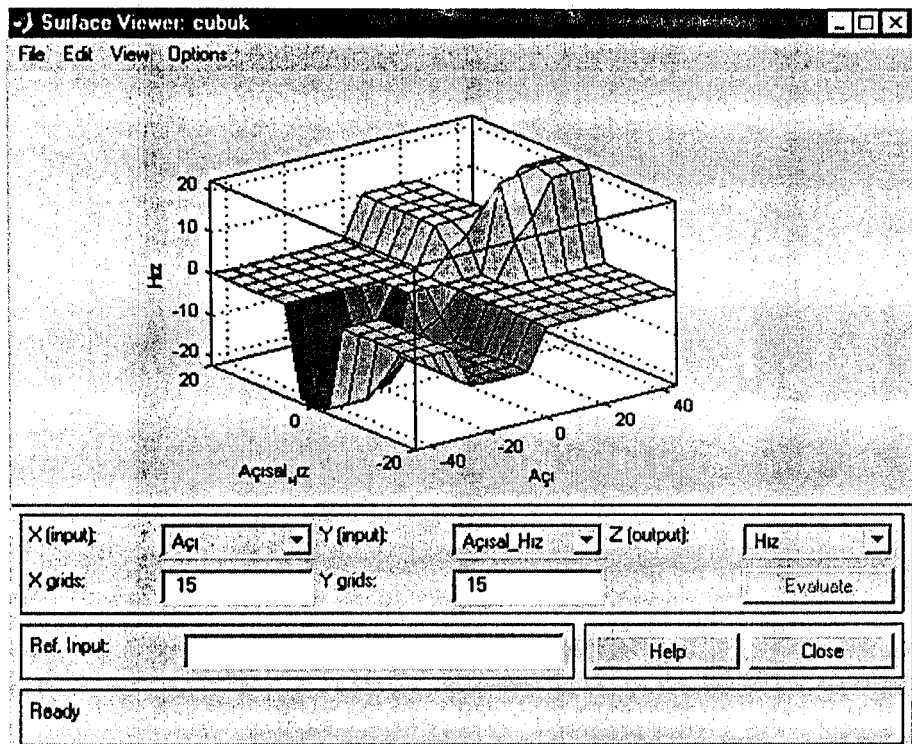
Çıkış fonksiyonunun gösterimi



Kuralların gösterimi

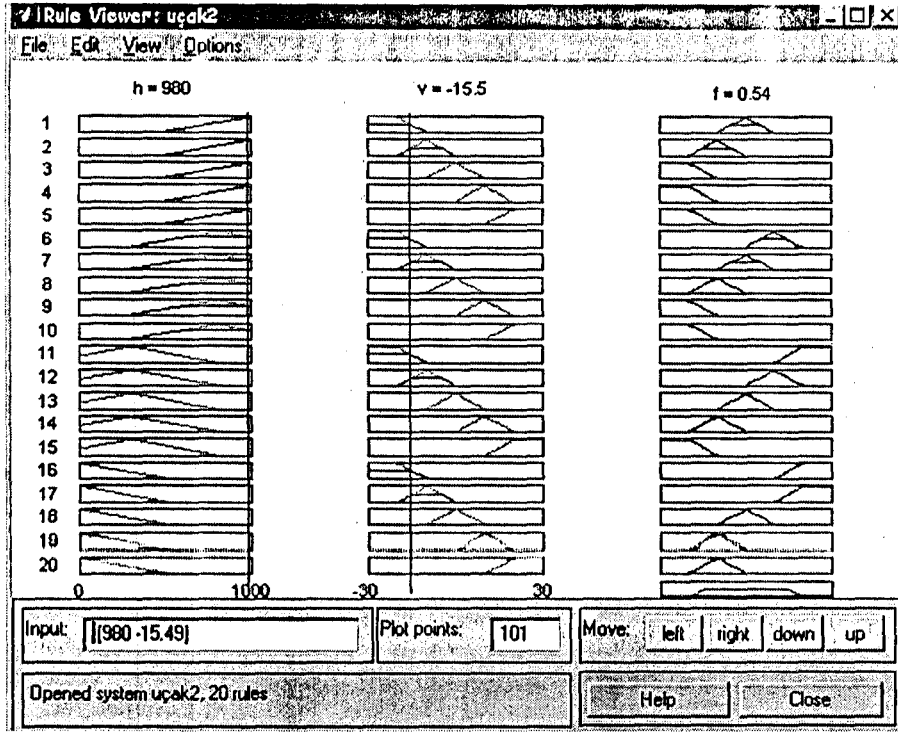


0°C ve 0 açısal hıza karşılık gelen mekanizma hızı



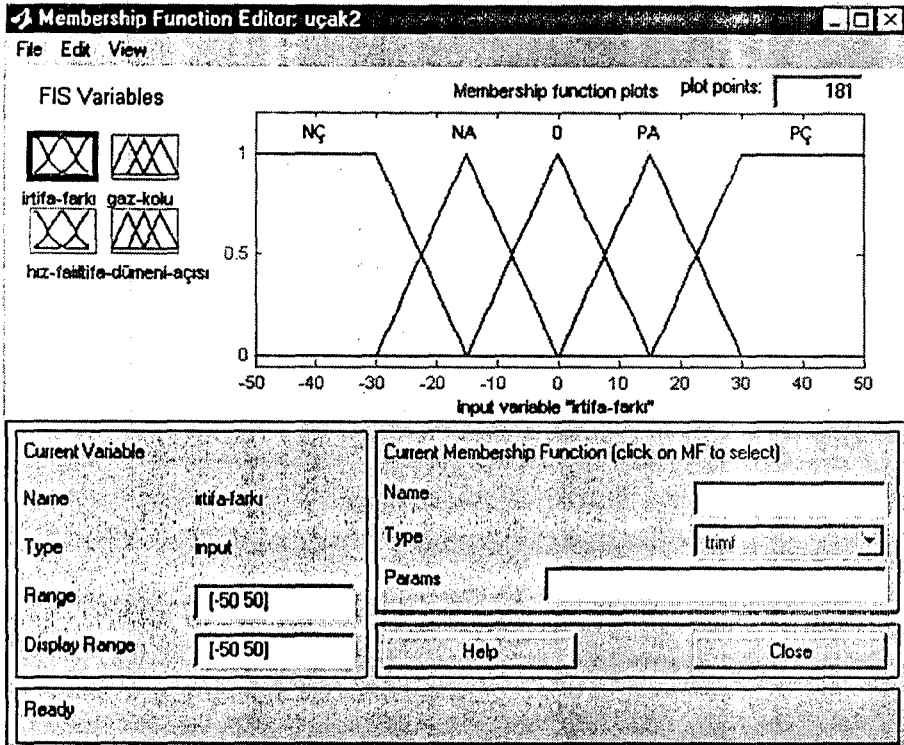
Fonksiyonun (yüzeyin) gösterimi

Ek-5
UÇAĞIN SON YAKLAŞMA HAREKETİ İÇİN MATLAB UYGULAMASI

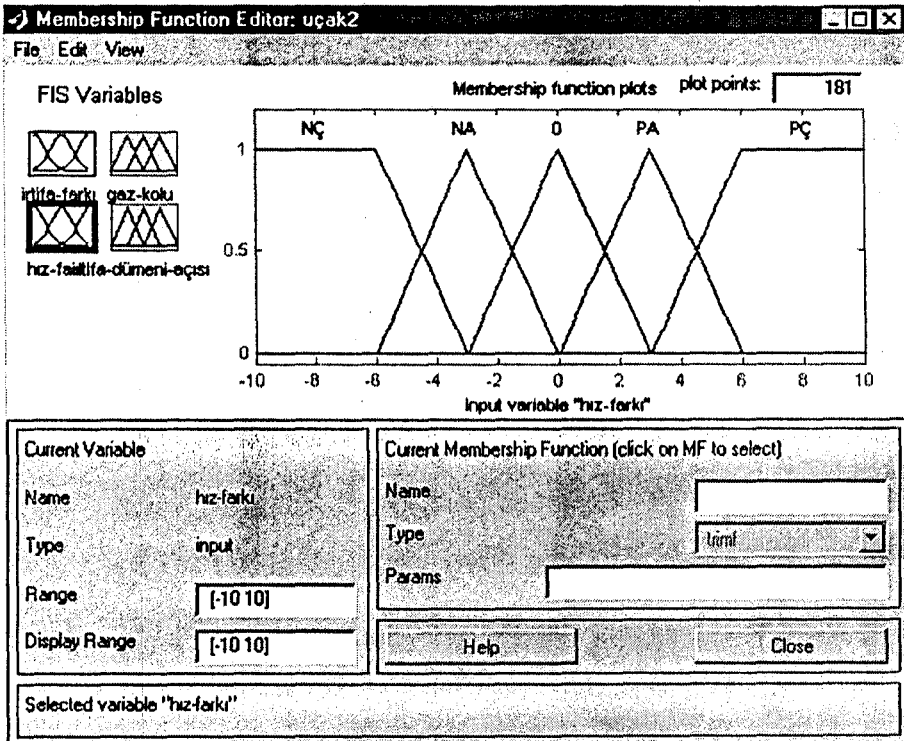


980 ft ve -15.49 ft/s karşılık gelen kuvvet

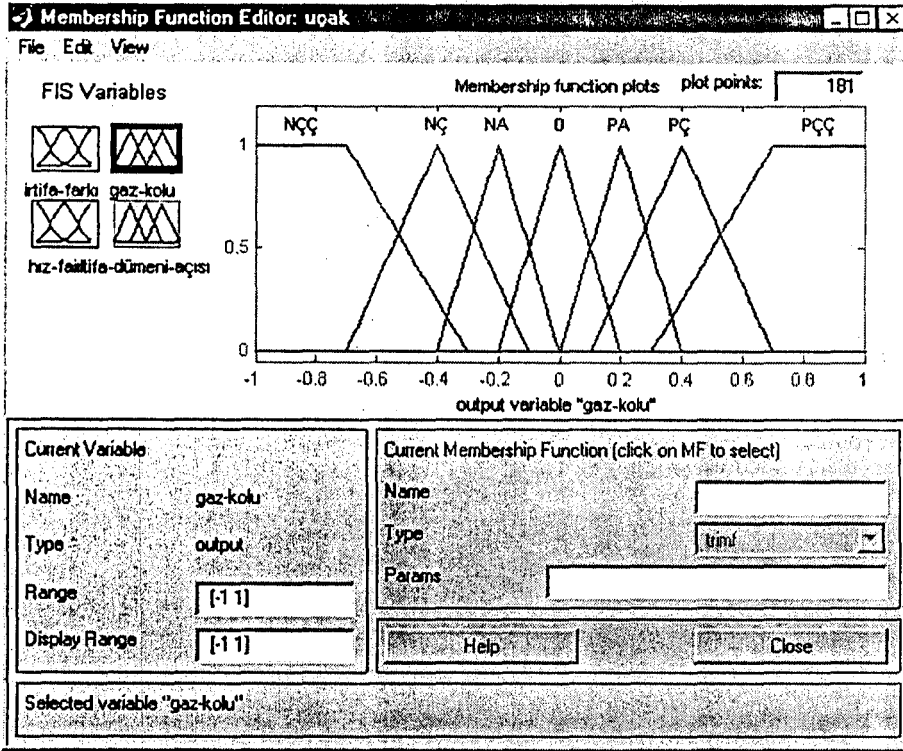
Ek-6
UZUNLAMASINA HAREKET İÇİN MATLAB UYGULAMASI



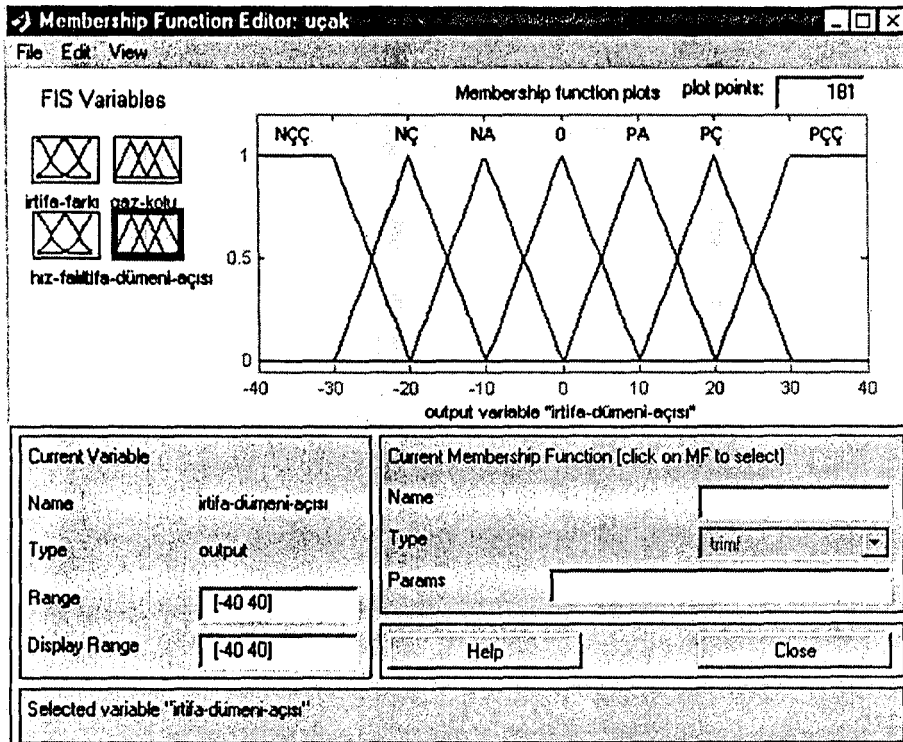
1. giriş fonksiyonunun gösterimi



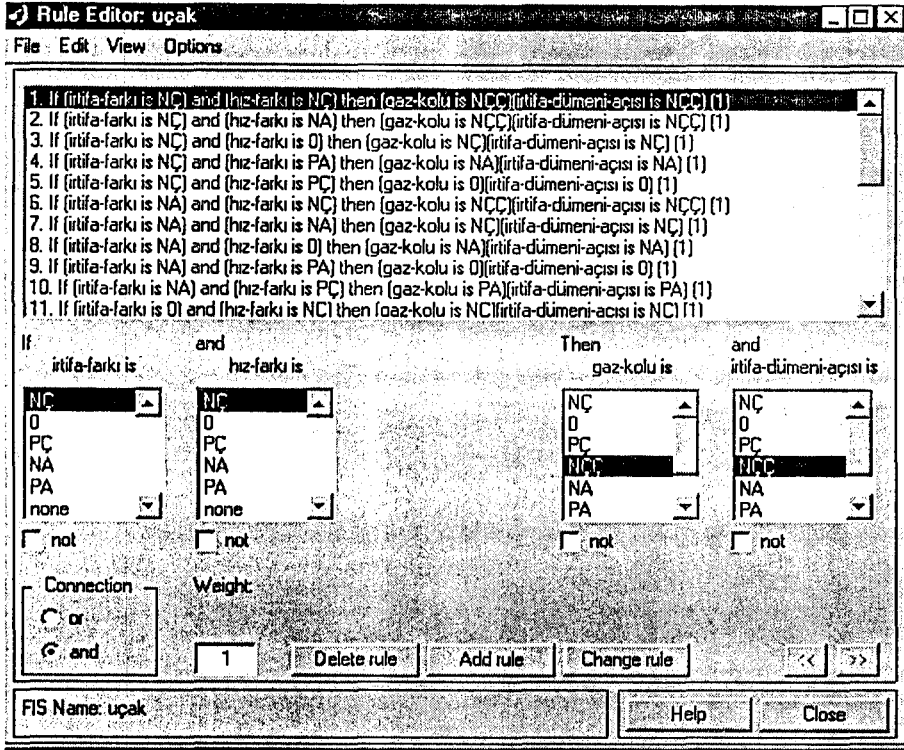
2. giriş fonksiyonunun gösterimi



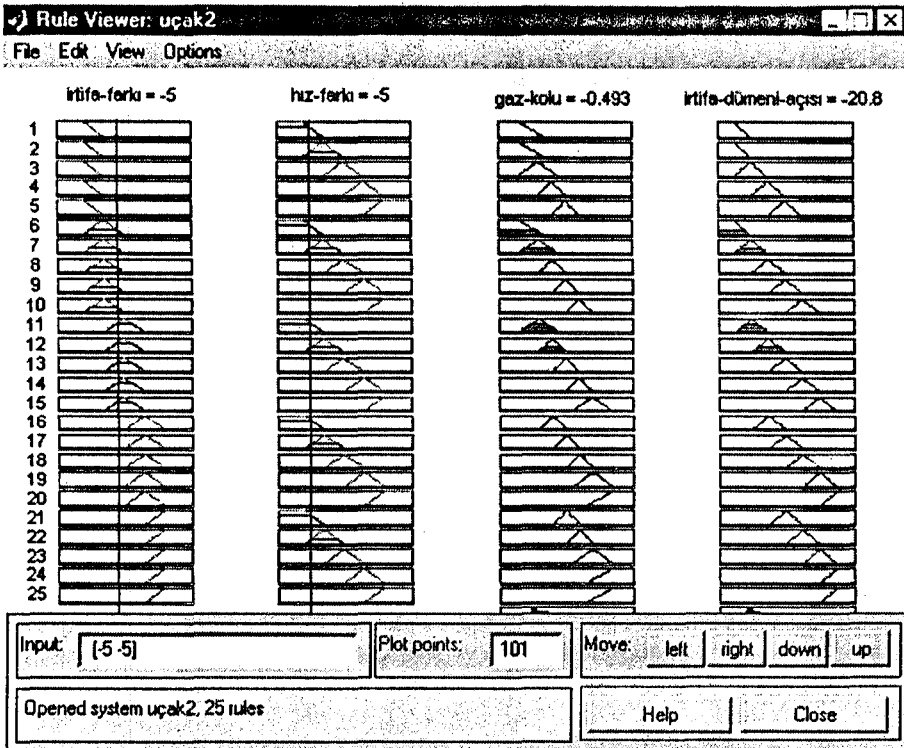
1. çıkış fonksiyonunun gösterimi



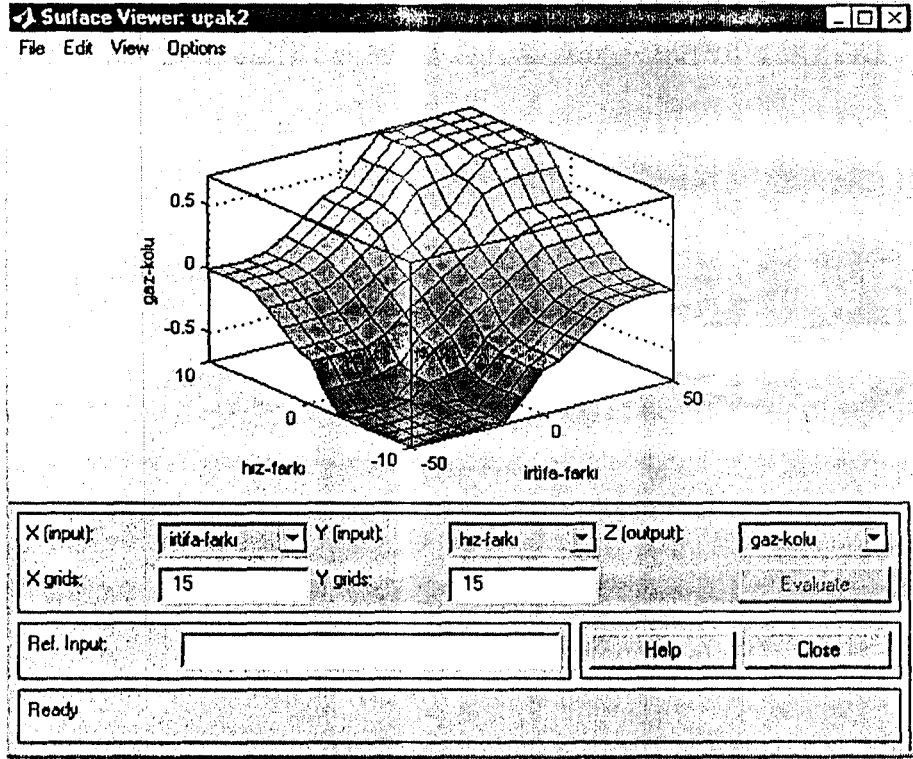
2. çıkış fonksiyonunun gösterimi



Kuralların gösterimi

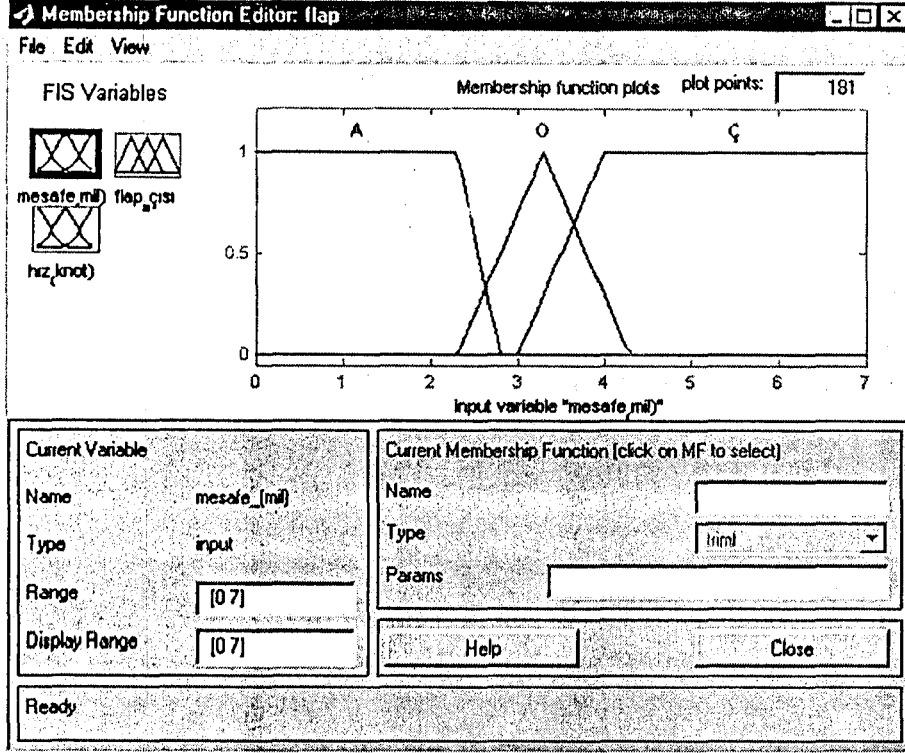


-5 feet ve -5 knot'a karşılık gelen gaz kolu ve irtifa dümeni açısı

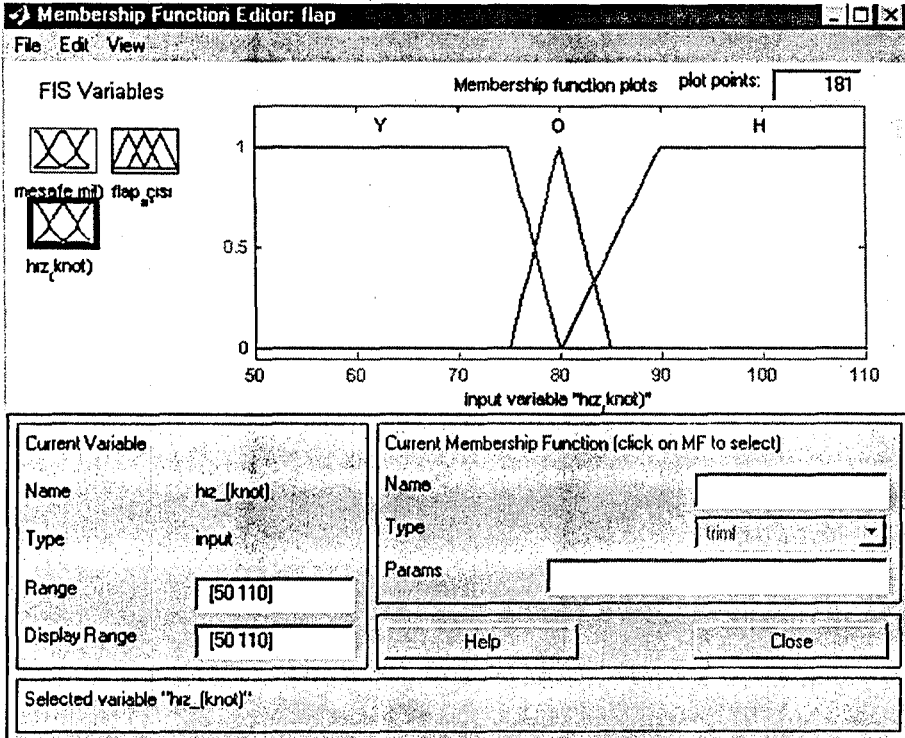


Fonksiyonun (yüzeyin) gösterimi

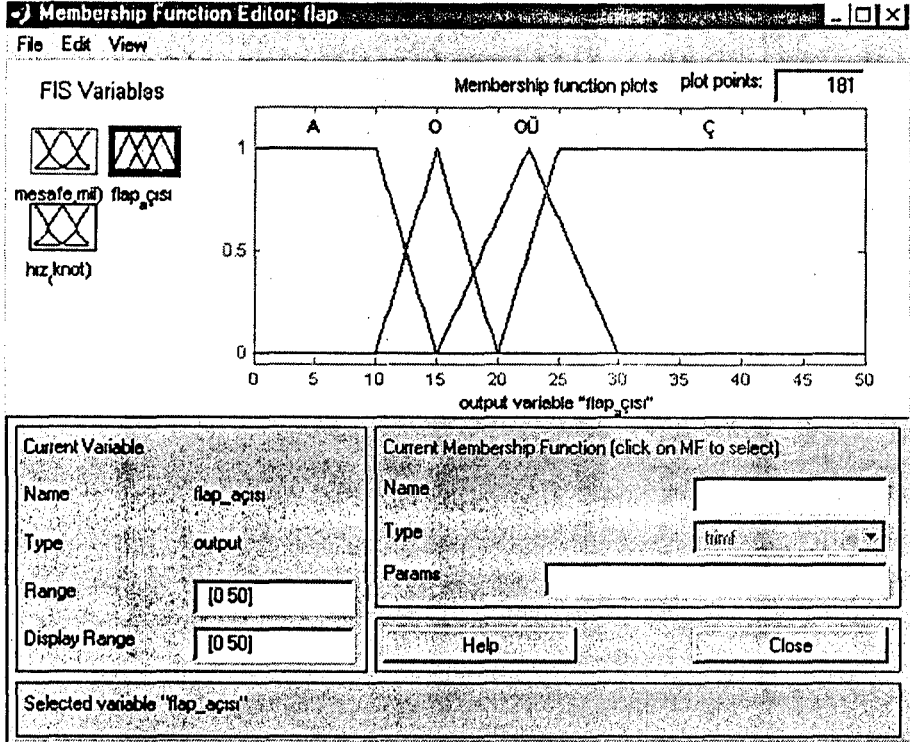
Ek-7 FLAP İÇİN MATLAB UYGULAMASI



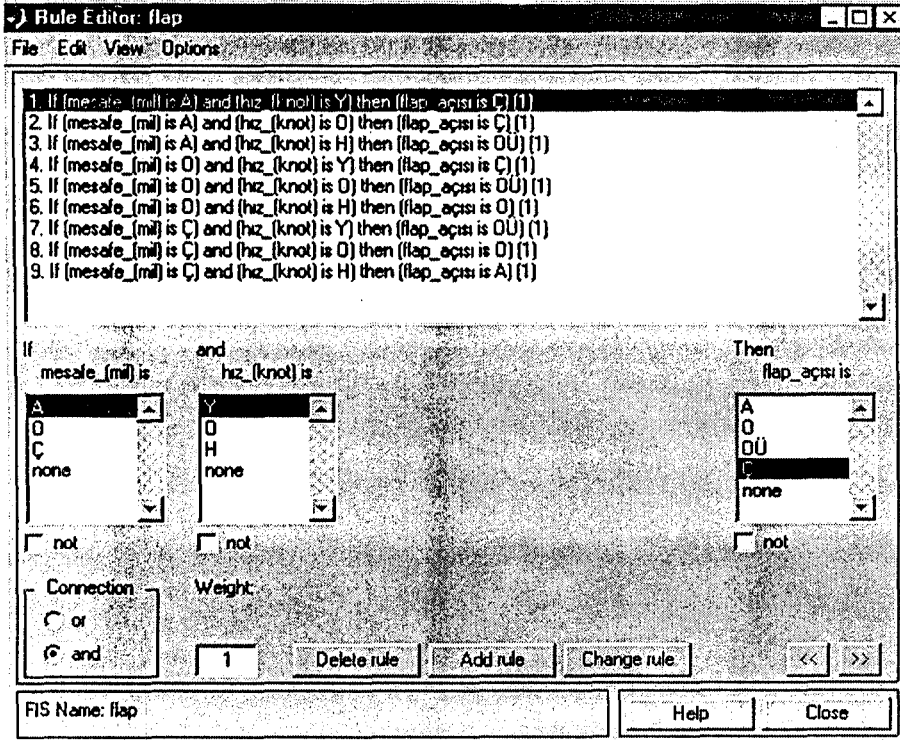
1. giriş fonksiyonunun gösterimi



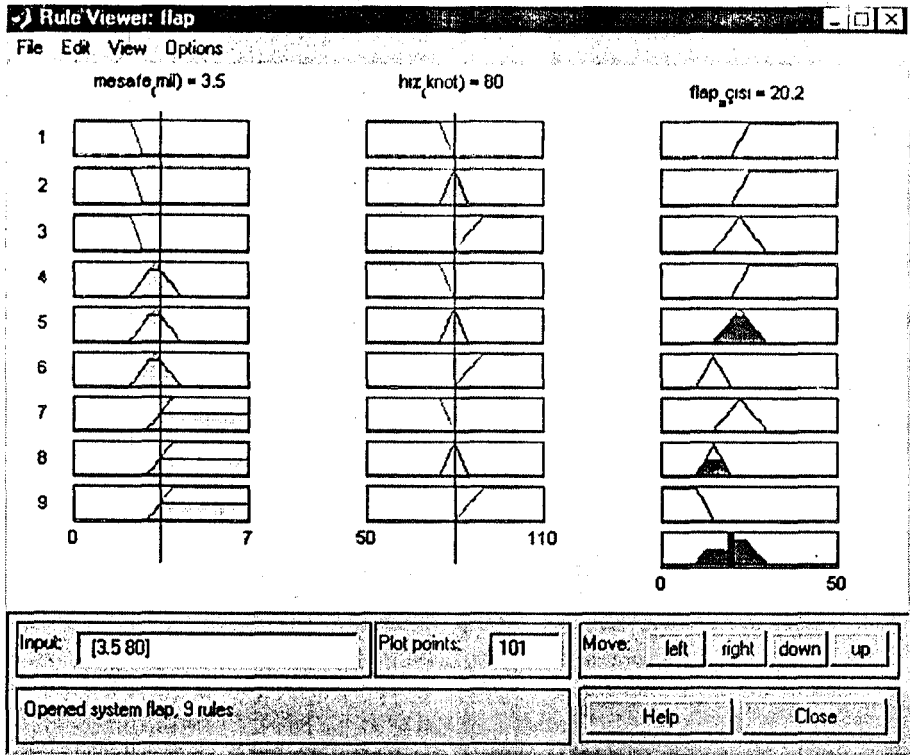
2. giriş fonksiyonunun gösterimi



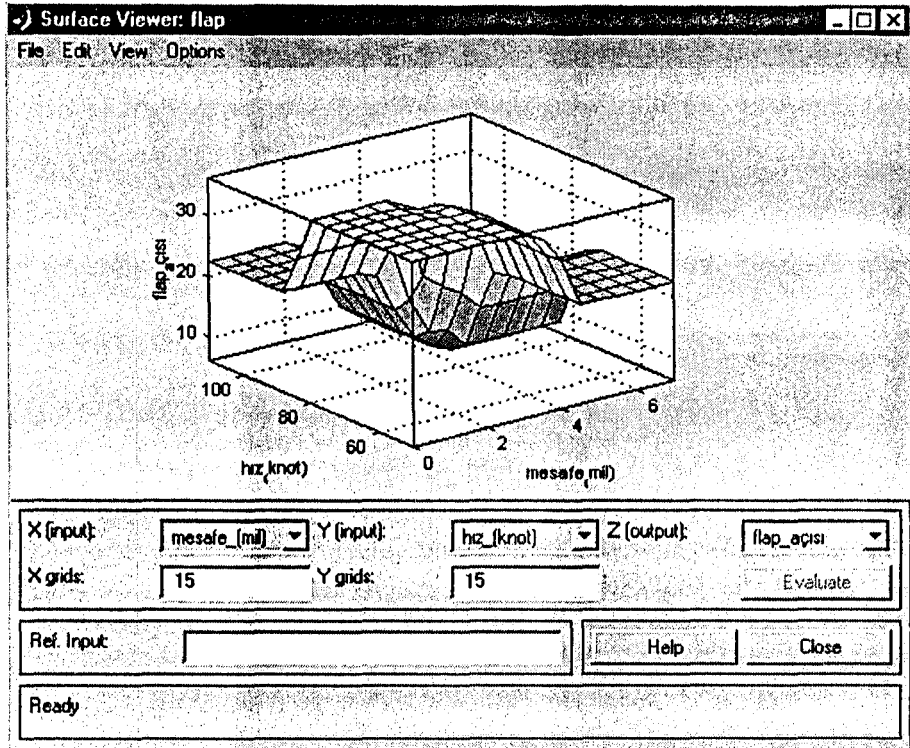
Çıkış fonksiyonunun gösterimi



Kuralların gösterimi



3.5 mil ve 80 knot'a karşılık gelen flap açısı



Fonksiyonun (yüzeyin) gösterimi