

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**KENDİLİĞİNDEN AYARLANABİLEN
BULANIK MANTIK İLE GEMİ KONTROLÜ**

Azat SHANANOV

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 609.01.00

Sunuş Tarihi: 05.09.2008

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Musa ALCI

Bornova-İZMİR

Azat SHANANOV tarafından **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak sunulan **“KENDİLİĞİNDEN AYARLANABİLEN BULANIK MANTIK İLE GEMİ KONTROLÜ”** başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 05/09/2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri**İmza****Jüri Başkanı** : Yard.Doç.Dr. Musa ALCI

.....

Raportör Üye : Doç. Dr. Aydoğan SAVRAN

.....

Üye : Yard. Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ

.....

ÖZET

KENDİLİĞİNDEN AYARLANABİLEN BULANIK MANTIK İLE GEMİ KONTROLÜ

SHANANOV, Azat

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Yönetici: Y.Doç.Dr. Musa ALCI

Eylül 2008, 99 sayfa

Gemi kontrolcü alanında Orantılı, Integral ve Türevsel (PID) kontrol birimleri yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber gittikçe artan bir şekilde yeni oto pilot stratejileri gündeme gelmektedir.

Bulanık Mantık günümüzde pek çok uygulamada kullanılan tasarımı kolay, çağdaş bir kontrol tekniğidir. Bu çalışma Gemi Oto pilot tasarımında Referans Model Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol (RM-ÖOBMK), Bulanık Mantık Kontrol (BMK), Ters Gradyen Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol (TG-ÖOBMK) ve Bulanık Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol (BM-ÖOBMK) tabanlı kargo gemi oto pilotların sunar. Çalışmamızda BMK, TG-ÖOBMK, RM-ÖOBMK ve BM-ÖOBMK kontrol yöntemleri kullanılarak gemi oto pilotları tasarlandı ve geminin gerçek parametreleri ile MATLAB yazılımı kullanılarak benzetimleri yapıldı, performansları karşılaştırıldı. Kullandığımız kontrol yöntemleri içerisinde gemi oto pilot tasarımında en iyi performansı sağlayan kontrol yöntemi belirlendi. Belirlediğimiz RM-ÖOBMK tabanlı gemi oto pilotu tasarım kolaylığı, hedefe en kısa zamanda ulaşımı ve dümen ömrünün uzatımı gibi ölçütlerde diğer oto pilotlardan daha iyi performans sağladığı gösterildi.

Anahtar Sözcükler: Bulanık Mantık oto pilot, Gemi oto pilot, Öz-organize bulanık kontrol, gemi kontrolü.

ABSTRACT

SELF-ORGANISING FUZZY CONTROL AUTOPILOT (SOFC) FOR CARGO SHIP STEERING

SHANANOV, Azat

MSc in Electronic Çıkarımering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Musa ALCI

September 2008, 99 pages

In the field of ship control the Proportional plus Integral plus Derivative (PID) controllers remain common place. However, increasingly new autopilot strategies, promising higher levels of robustness and adaptive qualities, are being proposed as possible successors to the PID.

Fuzzy logic is a modern control technique which is currently finding increasing novel applications. This work presents a Ship Autopilots based on MR-SOFC (model referens self-organizing fuzzy logic control). The Autopilots have advantages of the FLC (fuzzy logic control), NG-SOFC (negative gradient self-organizing fuzzy control) and F-SOFC (fuzzy self-organizing fuzzy logic control) methodologies: easy to construct, optimal control laws can be established based on reference model output. Therefore, the choosed Ship Autopilot can be well adapted with parameter variations and strong environment effects. Simulations using MATLAB software for a ship with real parameters in course keeping and course changing manoeuvres shows high effectiveness of the choosed autopilot in comparison with FLC, F-SOFC and NG-SOFC ship autopilots.

Keywords: Fuzzy Logic Autopilot, ship autopilot, self-organizing fuzzy logic, ship control.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan tez danışmanım sayın Yard.Doç.Dr. Musa ALCI' ya teşekkür ederim.

Aynı zamanda tez çalışmalarım süresince bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, eşim Gülnaz'a, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
ÇİZELGELER DİZİN	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. BULANIK KÜMELER VE MANTIK	3
3. KONTROL VE BULANIK MANTIK SİSTEMİ.....	19
3.1 Temel Kontrol Sistemler	19
4. GEMİ MODELİ VE KONTROLÜ	26
4.1. Gemi Modellenmesi	26
4.1.1. Diferansiyel Denklemin Sayısal Yöntemle Çözümü	28
4.1.2. Sınırlandırıcı	31
4.1.3. Ölü Bölge	31
4.1.4. Dümen Sistemi	32
4.2. Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (BMK).....	34
4.2.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK).....	34
4.2.2. Simülasyon Sonuçları	36
4.3. Bulanık Mantık Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (BM-ÖOBMK).....	41

VIII

4.3.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK).....	41
4.3.2. Bulanık Mantık Organize Edici.....	42
4.3.3. Simülasyon Sonuçları	43
4.4. Ters Gradyent Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol (TG- ÖOBMK)	45
4.4.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK).....	46
4.4.2. Ters Gradyen Organize Edici	47
4.4.3. Simülasyon Sonuçları	49
4.5. Referans Model Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (RM-ÖOBMK).....	52
4.5.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK).....	53
4.5.2. Öz-Organize Algoritması	54
4.5.3. Referans Model.....	55
4.5.4. Simülasyon Sonuçları	56
4.6. Yöntemlerin Karşılaştırılması	62
5. SONUÇ.....	66
6. TARTIŞMA	67
KAYNAKLAR DİZİNİ	68
KAYNAKLAR (DEVAM).....	69
KAYNAKLAR (DEVAM).....	71
EKLER	72
A2. BULANIK MANTIK ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK KONTROL OTO PİLOT	77
A3. TERS GRADYEN ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK KONTROL OTO PİLOT	84

A4. REFERANS MODEL ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK OTO PİLOT.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2-1 Klasik kümeler	5
Şekil 2-2 Bulanık kümeler	6
Şekil 2-3 Klasik sıcaklık küme	7
Şekil 2-4 Bulanık sıcaklık küme	8
Şekil 2-5 a)Klasik b)Bulanık sıcaklık değerleri.....	9
Şekil 2-6 Bulanık küme üyelik fonksiyonların farklı tipleri	10
Şekil 2-7 Bulanık kümenin Mutlak Değili.	11
Şekil 2-8 Bulanık kümenin bağıl değili.....	11
Şekil 2-9 Bulanık Kümelerin Birleşimi.....	12
Şekil 2-10 Bulanık Kümelerin Kesişimi	12
Şekil 2-11 Bulanık Kümelerin Cebrik Çarpımı	14
Şekil 2-12 Bulanık Kümelerin Cebrik Toplamı.....	14
Şekil 3-1 Temel Kapalı-Devre Kontrol Sistemi	19
Şekil 3-2 Bulanıklaştırıcı.....	21
Şekil 3-3 Sıcaklık Üyelik Fonksiyonları, A_1 soğuk, A_2 serin A_3 sıcak...	22
Şekil 3-4 Çıkarım süreci.....	24
Şekil 3-5 Bulanık Mantık Sistem.....	25
Şekil 4-1 Kargo gemi koordinat sistemi.....	26
Şekil 4-2 Kargo Gemi modelinin Matlab’da simülasyonu.....	30
Şekil 4-3 Dümen Sistemi.....	32
Şekil 4-4 Kargo Gemi Dümen modelinin Matlab’da simülasyonu.....	33
Şekil 4-5 BMK Oto pilot	34
Şekil 4-6 Birinci giriş pruva açısı hatası üyelik fonksiyonları.....	36
Şekil 4-7 Giriş pruva açısı hatası değişim hızı üyelik fonksiyonları.....	37
Şekil 4-8 Çıkış dümen açısı üyelik fonksiyonları	38
Şekil 4-9 BMK Oto pilotun 0.5 Rad hedefe gitme simülasyon sonucu ..	39

Şekil 4-10 BMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu	40
Şekil 4-11 Bulanık Mantık Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot.....	41
Şekil 4-12 BM-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu	44
Şekil 4-13 BM-ÖOBMK oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu	45
Şekil 4-14 TG-ÖOBMK Oto pilot	46
Şekil 4-15 TG-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu.....	49
Şekil 4-16 TG-ÖOBMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu	50
Şekil 4-17 TG-ÖOBMK Oto pilot	52
Şekil 4-18 MR-ÖOBMK Oto pilot Referans modelinin birim basamak giriş cevabı Matlab’da simülasyonu	56
Şekil 4-19 Bulanık organize edici 1.giriş pruvva aç hatası üyelik fonksiyonları	57
Şekil 4-20 Bulanık organize edici 2.giriş pruvva aç hatası değişim hızı üyelik fonksiyonları.....	58
Şekil 4-21 Bulanık orgnize edici çıkış üyelik fonksiyonları	59
Şekil 4-22 RM-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu	60
Şekil 4-23 RM-ÖOBMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu	61
Şekil 4-24 BMK tabanlı oto pilot simülasyon sonucu	63
Şekil 4-25 BM-ÖOBMK oto pilot simülasyon sonucu.....	64
Şekil 4-26 TG-ÖOBMK tabanlı oto pilot simülasyon sonucu	64
Şekil 4-27 RM-ÖOBMK oto pilot simülasyon sonucu.....	65

ÇİZELGELER DİZİN

Sayfa

Çizelge 4.1 Yöntemlerin hatalarin karelerinin toplami ile karşılaştırılması. 67

1. GİRİŞ

1.1 Gemi Oto pilot Teknolojisinin Tarihçesi ve Gelişimi

Gemilerde otomatik dümen tutma süreci, bundan birkaç asır önce, eski balıkçılar kendi teknelerinin dümenlerini sabit konumda tutma, teknenin uygun rotada gitmesini sağlama ve ağların denize indirmesinde, sarmasında, dümen için fazladan insan gücünün gitmesini önleme gibi insanı yorucu işlerin başka güçlere aktarma gibi isteklerinin başlanmasına dayanır. Bunu önemli yapan kriteri de tekneyi sabit rotada tutmak için dümen hareketlerini en aza indirmesini ve balık ağını sarmada uygun rotada gitmesini sağlamasıdır. Fakat bu otomatik dümen tutma yöntemi endüstriyel devrim olana dek hayali olarak gelmiştir ve ilk oto pilot geliştirme 20. asrın ortalarında başlar. Bununla birlikte, oto pilot geliştirmeden önce güçlü dümen veya dümen mekanizmasının geliştirmek olacaktı. Dümen tutma mekanizmasının geliştirme ilk olarak savaş gemilerinde yüksek-hız manevralarında yapılmıştır (G. N. Roberts et al., 2003).

Bennet A, (1997) servo-mekanizma geliştirme adlı çalışmasında 1860 sonlarında İngiliz Amirliği birkaç yelkenli gemilerini buhar-hidrolik sistem tabanlı çeşitli dümen tutma mekanizmaları ile donatıldığından söz eder, burda bu tip büyük savaş gemileri belirli yüksek hızda seyrederken dümen mekanizmasını 100 kişi tuttuğundan bahseder.

Dümen ve dümen tutma mekanizmaları geliştirilip, geniş anlamda kullanılmaya başlandığında, dikkatler bu dümen tutma makinelerine giriş olarak kullanılan pruva açısı ölçme cihazlarına çevirilir (G. N. Roberts et al., 2003).

Fossen TI, (2000) çalışmalarında dümen tutan mekanizmaların gelişmesinden sonra gemi oto pilotlarında elektrikli sürülen cayropusula önemli hale gelmiştir. Elektrikli sürülen cayropusulalar, gemilerdeki

elektrik sistemlerinden ve yerel manyetik alanlardan etkilenen manyetik pusulaların karşılaştığı sorunlara iyi bir cevap olmuştur. İlk elektrikli sürülen cayropusula 1890'da gerçekleşmiştir, 1908'de Anschutz patentli Kuzey-Bulan cayropusula yapılmıştır, 1911'de Sperry patentli balistik pusula yapılmıştır.

Yirminci asrın ilk çeyreğinde otomatik dümen tutma sistemi yapılmıştır. Geri besleme devrelerinde kullanılan pruva açısı hatası ve pruva açısı hata değişim hızı parametrelerinde kullanılan 'dümene bak' fikri ilk olarak J. Henderson tarafından ortaya konulmuştur, daha sonra 1913'te kendisinin geliştirdiği otomatik dümen tutma cihazında kullanmıştır. Büyük çapta otomatik dümen tutma sistemlerin Sperry Gyroscope Company firması geliştirmiştir (Allesworth T, 1999).

1911'de Elmer Sperry, ilk otomatik gemi dümen tutma mekanizmasını gerçekleştirmiştir ve 'otomatik pilot', 'cayropilot' adını vermiştir. Aynı zamanda Sperry oto pilotu 'metal miço' adını almıştır. Sperry aynı zamanda deneyimli gemi kaptanlarının pruva açısı hatasına göre ne kadar oranda dümen çevirdiğini ve küçük pruva açısı hatasında dümeni küçük oranlarla çevirdiğini incelemiştir ve 'tahmin edici' bölümünü eklemiştir. Tahmin edici, beklenmedik pruva hatalarına karşı ayarlama gerçekleştirmektedir ve bu da uyarlamalı oto pilot'un başlangıcını getirmektedir (Sperry E. A, 1922).

Minorski, (1922) yaptıkları çalışmada otomatik pilot sistemlerin geliştirmesinde önemli katkıda bulunmuştur. Sperry çalışmaları üzerinde PID kontrol sistemlerin kuramk olarak geliştirmiştir.

Minorski ve Sperry tarafından geliştirilen otomatik pilot sistemleri günümüzde kullanılan sistemlere önemli katkıda bulunmuştur. Özellikle PID kontrolcü günümüzde otomatik pilot ve endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha sonraları PID kontrol sistemlerin geliştirme çalışmaları altında bulanık mantık tabanlı akıllı oto pilotlar geliştirilmeye başlamıştır.

2. BULANIK KÜMELER VE MANTIK

2.1 Bulanık Kümelerin Tarihçesi

Matemetiğin kesin doğruluğunun büyük kısmı, Aristo ve yardımcı felsefecilerin büyük çabaları sonucu ortaya çıkan ve ‘düşüncenin kanunu’ adlı mantık ve matematik teyorileri çalışmalarına borçludur. Bu kanunların biri olan ‘Law of the Excluded Middle’ da her öneri ya Doğru ya Yanlış’tır. Buna eşzamanlı olarak Parminedes ve Heraclitus kendi çalışmalarında Doğru yada Doğru Değil diye soylemişlerdir (Korner S, 1967).

Plato bu Doğru ve Yanlış noktalarının ortasında üçüncü bir bölge olması gerektiğini soylemiştir ve bulanık mantığın temelini atmıştır. Fakat ilk olarak Lukasiewicz bu tek-değerli mantığa alternatif değerleri ileri sürmüştür (Lejewski C, 1967).

1900 yılların başlarında Lukasiewicz üç-değerli mantığı tanımlamıştır ve üçüncü değeri de ‘muhtemel’ olarak adlandırmıştır ve Doğru, Yanlış arasında sayısal bir değer ile tanımlamıştır. Sonraları dört-değerli mantık, beş-değerli mantık ve prensip olarak bunun önüne geçilemeyeceğinden sonsuz-değerli mantık olarak çalışmalar yapmıştır. Üç-değerli mantık ve sonsuz-değerli mantık Lukasiewicz’in ilgisini çekmiştir fakat dört-değerli mantık üzerinde durmuştur sebebi de bu dört-değerli mantığı Aristo mantığına uyarlamak daha uygulanabilirdi. (Lejewski C, 1967).

Knuth da Lukasiewicz gibi üç-değerli mantığı ileri sürmüştür ve bu kavram ile matematik, klasik mantıkta kullanılan iki-değerli mantıktan daha anlamlı olacağını söylemiştir. Knuth’un ifade şekli $\{-1,0,+1\}$ iken Lukasiewicz ise $\{0,1,2\}$ şeklinde ifade etmiştir. (Pragya and Zadeh L. A, 1967).

Bulanık Küme ifadesi ilk olarak 1964 yılında California'da Berkeley Üniversitesinde Lotfi Askerzade Zadeh tarafından ifade edilmiştir ve sonraları 'The Information and Control Jurnal' dergisinde yayınlanmıştır. Bu zamandan sonra bulanık küme temeli atılmış bulunmaktadır. Bulanık mantık temel olarak çok-değerli mantıktır ve klasik mantıktaki 0, 1 aralığında değerler alır. Bulanık mantık, klasik mantıktaki 'VE', 'VEYA', 'DEĞİL' ve 'IF-THEN' gibi tüm işlemleri içerir. Bu nedenle bulanık mantık klasik boole (boolean logic) mantığa da uzanır ve 'tamamıyla doğru', 'tamamıyla yanlış' arasında 'kısmi doğru' değerlerini içerir. Bu değerler elemanın kümeye üyelik derecesini belirlemede yardımcı olmaktadır. Üyelik derecesi $[0, 1]$ arasında herhangi bir gerçek sayı değerini alabilir. Bulanık mantık insan mantığı karakteristiğine benzerdir ve doğruluğun genel kavramı 'bulanık'lık ile ifade eder (Zadeh L. A, 1965).

Bulanık kontrol, bulanık mantığın ilk mühendislik uygulamalarından olmamıştır. Bulanık kontrol bulanık küme kuramının pratikteki potansiyeline büyük dikkat toplamıştır (Korner S, 1967).

2.2 Bulanık Kümelerin Elemanları

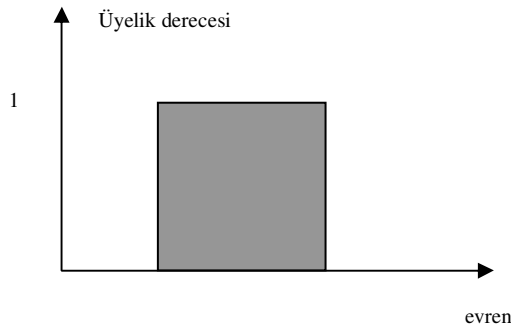
2.2.1 Genel Kavram

Klasik ve keskin değer (crisp) kümelerde, uzayda bir eleman verilen kümeye üye veya üye değil olarak basitçe tanımlanabilir. F keskin değer kümesinin üyeliği doğrudan uzayın her x elemanı için üyelik fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1, & x \in F \\ 0, & x \notin F \end{cases} \quad (2.1)$$

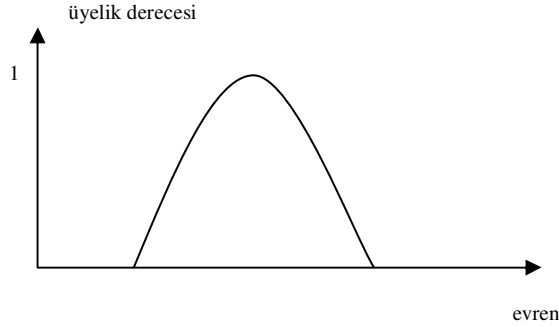
Keskin değer küme üyelik fonksiyonuna örnek Şekil 2-1'de gösterilmiştir. Burada, taranan uzayda üyelikten üyelik olmayana geçişi iyi bir şekilde ifade etmektedir. Buna 'keskin değer' oldu denir.

Bulanık kümelerle oluşan uzayda bir eleman için üyelik geçiş aşamalı olabilir. Bundan dolayı üyelik fonksiyon 0 ve 1 arasında herhangi bir değer alabilir. Bu üyeliğin değişik değerleri arasındaki geçişi olguya uyarlamak bulanık kümeler arasındaki sınırları belirsiz ve anlaşılmaz olarak düşündürebilir. Şekil 2-1 için bulanık üyeliğin tam benzeri Şekil 2-2 olabilir. Bu nedenle, bu küme uzayındaki bir elemanın üyeliğini, belirsiz ve anlaşılmaz yapan fonksiyon tarafından ölçülmekte.



Şekil 2-1 Klasik kümeler

Bulanık mantıkta, dilsel değişkenler kümedeki üyeliğin birleşmiş değerleri ile dilsel değerleri alır. Böylece, değişkenin tepe noktası olarak alınan 1.75m sayısal değerini dilsel değer olarak alabilir, örneğin, üyelik değeri 0.7 olan ‘uzun’ dilsel değer, 0.06 üyelik değerinde ‘çok kısa’ dilsel değeri, 0.92 üyelik değerinde ‘çok uzun’ dilsel değeri alır. Her dilsel demec üyelik fonksiyon (ÜF) ile ifade edilmiş bulanık kümelerle gösterilir.



Şekil 2-2 Bulanık kümeler

Resmi olarak bulanık kümeler U uzayın her elemanı olan çift ile aşağıdaki (2.2) gibi ifade edilir.

$$F = \{(x, \mu F(x)) / x \in U, \mu F(x) \in [0,1]\} \quad (2.2)$$

Burada $\mu F(x)$ F kümesinin üyelik fonksiyonu olarak bilinir.

$\mu F(x)$ in değeri F bulanık kümesindeki x elemanının üyelik değeridir. $\mu F(x) = 0$ ise, x bu kümeye hiçbir şekilde üye değil anlamına gelir, $\mu F(x) = 1$ ise, x tamamıyla bu kümede demektir (Zadeh L. A, 1965).

Örnek olarak çevre sıcaklığı derecesini sıcak ve soğuk kavramlarıyla ele alalım. Karakteristik fonksiyonu klasik mantık için aşağıdaki gibi yazılır,

$$\mu_{Sic}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \geq 30^\circ C \\ 0, & \text{if } x < 30^\circ C \end{cases} \quad (2.3)$$

ve

$$\mu_{Soğ}(x) = 1 - \mu_{Sic}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \leq 30^\circ C \\ 0, & \text{if } x > 30^\circ C \end{cases} \quad (2.4)$$

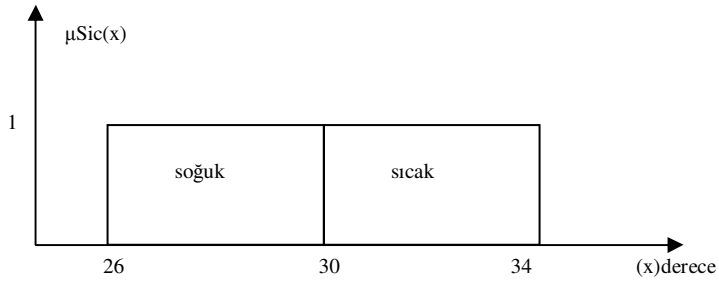
Bu örnekte 30°C sıcaklık sınırı rastgele seçilmiştir. Klasik mantık bu sınır değere bağımsız olarak ara değerlere tercüman olamaz. Klasik sıcaklık değişken için üyelik fonksiyon çizelgesi Şekil 2-3’de gösterilmiştir.

Diğer taraftan bu keskin değer problemini bulanık mantık aşağıdaki şekilde çözer,

$$\mu_{Sic}(x) = \begin{cases} 0, if, x \leq 29^0 C \\ \frac{x-29}{2}, if, 29^0 C < x < 31^0 C \\ 1, if, x \geq 31^0 C \end{cases} \quad (2.5)$$

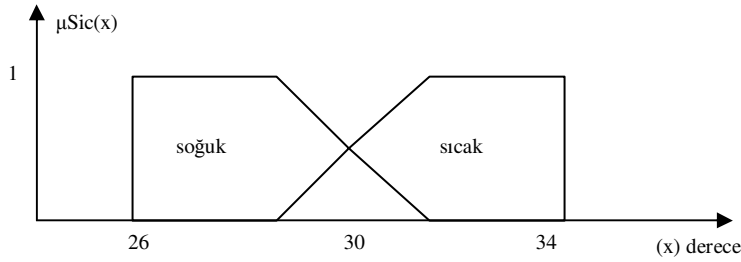
ve

$$\mu_{Soğ}(x) = 1 - \mu_{Sic}(x) = \begin{cases} 0, if, x \geq 31^0 C \\ \frac{31-x}{2}, if, 29^0 C < x < 31^0 C \\ 1, if, x \leq 29^0 C \end{cases} \quad (2.6)$$



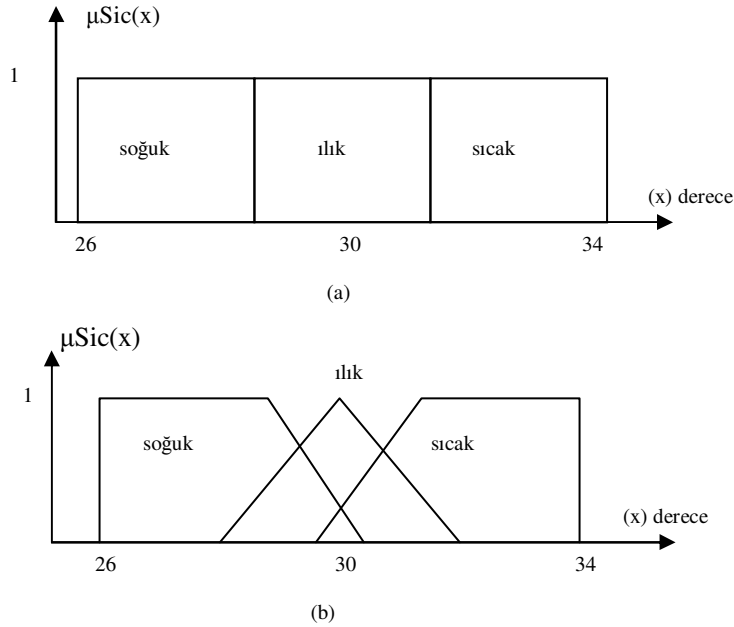
Şekil 2-3 Klasik sıcaklık küme

Şekil 2-4’de bu üyelik fonksiyonları kullanarak bulanık küme gösterilmiştir. Bu kümede, 30.5°C derece %25 soğuk ve %75 sıcak bölgelerinde yer alır.



Şekil 2-4 Bulanık sıcaklık küme

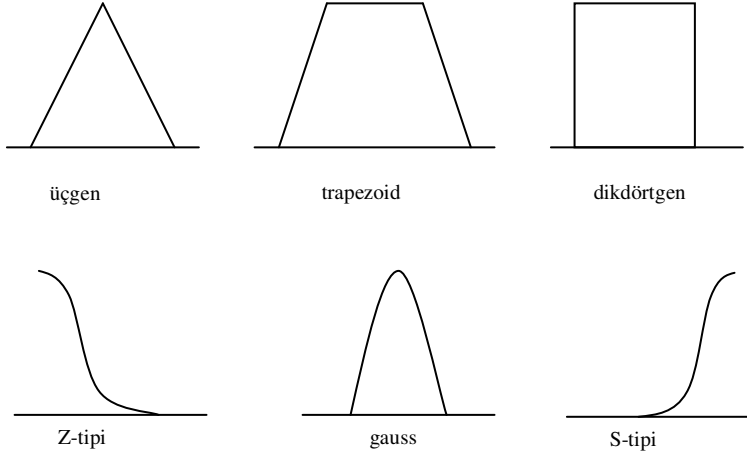
Başka çalışma alanlarında, böyle ara sıcaklık dereceleri kullanılabilir. Klasik ve bulanık sıcaklık derece kümeleri için üyelik fonksiyonları Şekil 2-5'deki gibi gösterilebilir. Bu şekilde 29°C ve 31°C derece arası başka klasik ve bulanık kümelerle gösterilmiştir. 29°C 'den 30°C 'ye kadar olan değerler farklı büyüklüklerde hem soğuk hem ılık üyelik fonksiyonlarında değer almakatadır. Diğer taraftan 30°C 'den 31°C 'ye kadar olan değerler farklı büyüklüklerde hem ılık hem sıcak üyelik fonksiyonlarda değer almakatadır. Keskin değer (crisp) doğası her zaman klasik kümeyi ifade etmekte ve bulanık küme ise dereceli üyeliklerden bahsetmekte, bu da bizim doğal anlatım ifademize daha uyarlanabilir olmaktadır.



Şekil 2-5 a)Klasik b)Bulanık sıcaklık değerleri.

Üyelik fonksiyonu, bulanık kümede olan dilsel uzayın farklı elemanlarının üyelik derecelerini göstermektedir. Üyelik fonksiyonların biçiminin seçimi konunun genel durumuna bağlıdır. Bununla birlikte pratik sebeplerde üçgen, trapezoid ve gauss fonksiyonları mühendislik uygulamalarda daha genel kullanılmaktadır. Bunlar Şekil 2-6'da gösterilmektedir (Jose Joaquin De Jesus Lopez, 2004).

2.2.2 Bulanık Kümelerde Temel İşlemler



Şekil 2-6 Bulanık küme üyelik fonksiyonlarının farklı tipleri

Boş ve Genel (universal) Bulanık Kümeler

$\mu_{\emptyset}(x) = 0$ ise bulanık küme boştur ve $\mu_U(x) = 1, \forall x \in U$ ise bulanık küme geneldir.

Eşit Kümeler

$$\text{Eger, } \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in U \quad (2.7)$$

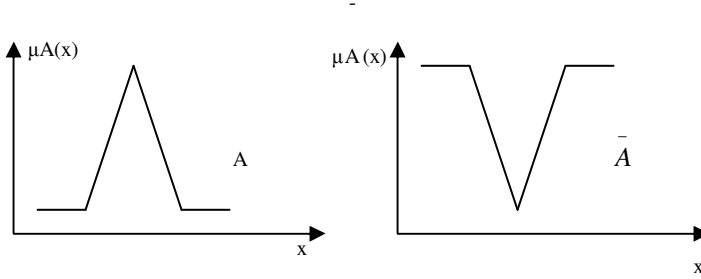
ise A ve B bulanık kümeleri eşittir.

Mutlak ve Bağlı Değili

A bulanık kümesinin mutlak değili, $\bar{A}$ şeklinde ifade edilir ve aşağıdaki gibi gösterilir,

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in U \quad (2.8)$$

şekil 2-7’de bulanık kümenin mutlak değilin gösterilmektedir.



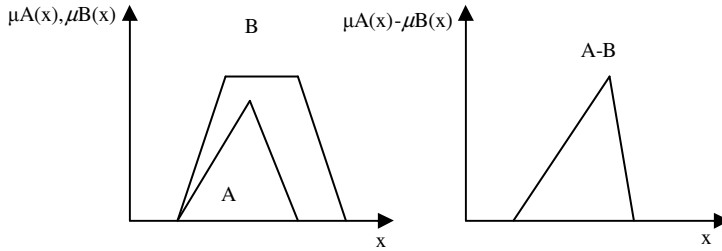
Şekil 2-7 Bulanık kümenin Mutlak Değili.

B bulanık kümesi ile A bulanık kümesinin bağıl değili, $B-A$ olarak ifade edilir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{B-A} = \mu_B(x) - \mu_A(x) \quad (2.9)$$

$$\mu_B(x) \geq \mu_A(x) \quad (2.10)$$

koşulu ile. Şekil 2-8 bulanık kümenin bağıl değilin göstermektedir.



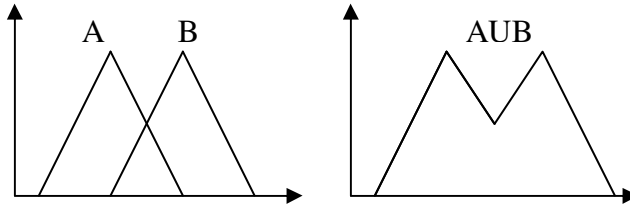
Şekil 2-8 Bulanık kümenin bağıl değili.

Bulanık Kümelerin Birleşimi

A ve B bulanık kümelerinin birleşimi, dilsel uzayın elemanları için belirlenmiş A ve B üyelik fonksiyonlarının maksimumudur ve 2.11’de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.11)$$

Şekil 2-9 bulanık kümelerin birleşimini göstermektedir.



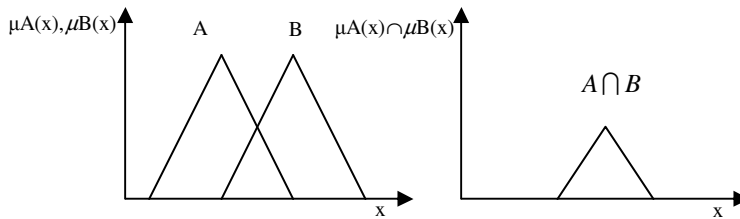
Şekil 2-9 Bulanık Kümelerin Birleşimi.

Bulanık Kümelerin Kesişimi

$\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi, dilsel uzayın (speech universe) elemanları için belirlenmiş $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ üyelik fonksiyonlarının minimumudur ve 2.12 de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \min(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)) \quad (2.12)$$

Şekil 2.10 bulanık kümelerin kesişimini göstermektedir.



Şekil 2-10 Bulanık Kümelerin Kesişimi

Kesişim ve birleşim için kullanılan min ve maks işlemleri sadece tanımlarda kullanılmaktadır, bunlar daha farklı olasılıklarda kullanılabilir (Jose Joaquin De Jesus Lopez, 2004).

Kartezyen Çarpım

Bir önceki işlemler, bulanık kümelerin aynı uzayda tanımlı olması gerektiğini uyandırabilir. Kartezyen çarpım için bu hipotez geçerli değildir. X uzayında A bulanık kümesi ile Y uzayında B bulanık kümesi kartezyen çarpımı, uzayın kartezyen çarpımını tümüyle içeren bulanık küme C dir, veya

$$A \times B = C \subset X \times Y \quad (2.13)$$

burada C bulanık kümesinin aşağıdaki gibi tanımlı üyelik fonksiyonu vardır.

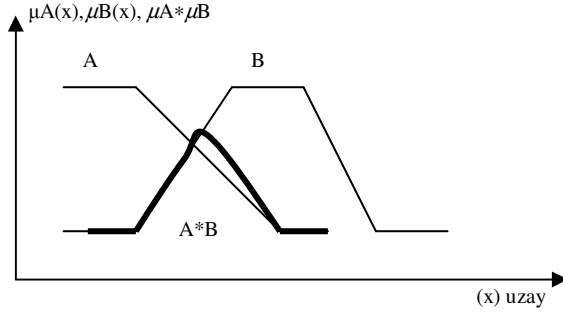
$$\mu_C(x, y) = \mu_{A \times B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.14)$$

2.3 Diğer Matematiksel İşlemleri

Cebrik Çarpım

Aynı genel uzayda A ve B bulanık kümelerinin cebrik çarpımı, yeni $A \bullet B$ üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık kümesidir ve cebrik çarpımı, A üyelik fonksiyonu ile B üyelik fonksiyonunun çarpımlarına eşittir ve şekil olarak Şekil 2-11 deki gibi gösterilir.

$$\mu_{A \bullet B} = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x) \quad (2.15)$$



Şekil 2-11 Bulanık Kümelerin Cebrik Çarpımı

Cebrik Toplama

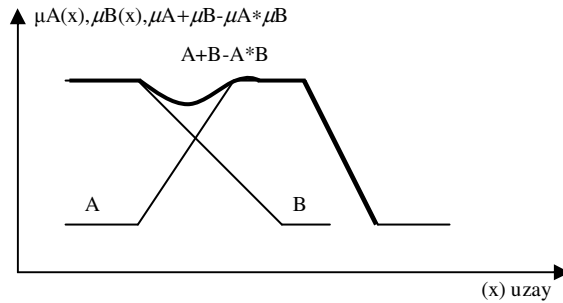
A ve B bulanık kümelerinin cebrik toplamı C bulanık kümesidir.

$$C=A+B \quad (2.16)$$

burada,

$$\mu C(x)=\mu A(x)+\mu B(x)-\mu A(x)\mu B(x) \quad (2.17)$$

Şekil 2-12 bulanık kümelerin cebrik toplamını göstermektedir (Pal S. K and Mitra S, 1992).



Şekil 2-12 Bulanık Kümelerin Cebrik Toplamı

2.3.1 Bulanık İlişkiler

Bulanık ilişkiler, bir uzayın diğer uzaydaki elemanlarının haritasını çıkartır, iki uzayın kartezyen çarpımını düşünün. Bununla birlikte, X ve Y iki uzay arasındaki ilişki kuvvetin karakteristik fonksiyonlarla ölçülemez, daha doğrusu bu ilişki kuvvetin $[0,1]$ arasında ilişki kuvvetin değişik değerlerde gösteren üyelik fonksiyonlarla ölçülür. Bu nedenle, R bulanık ilişki $[0,1]$ aralığında iki uzayda sıralanmış üyelik fonksiyonlarla $X \times Y$ kartezyen uzayda gösterilir veya $\mu R(x,y)$.

$$R = X \times Y = \{(x,y) / x \in X, y \in Y\} \quad (2.18)$$

$X=Y$ olduğunda, R X üzerinde bulanık ilişkilidir denir.

Sınırlı uzay için $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, A ve B bulanık kümeleri ve $A \times B$ bulanık ilişki ise bu bulanık ilişki $m \times n$ matrisi ile gösterilebilir :

$$M_R = \begin{pmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \dots & \mu_R(x_1, y_n) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \dots & \mu_R(x_2, y_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_R(x_m, y_1) & \mu_R(x_m, y_2) & \dots & \mu_R(x_m, y_n) \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

Bu matris bulanık matrisden söz eder. μR 'nın $[0,1]$ aralığında değerleri olduğunda bulanık matrisin de bütün elemanlarının değerleri bu aralığın aralığındadır. Bulanık ilişkiler bulanık modellemede, bulanık kontrol gerçeklemede ve bulanık tanıda önemli rol oynar. Bunlar psikoloji, tıp, ekonomi ve sosyoloji uygulama alanlarında da rol alır (Jose Joaquin De Jesus Lopez, 2004).

2.3.2 Bulanık İlişkilerin Birleşimi

$A \times B$ de R ve $B \times C$ de S iki bulanık ilişki olduğunu varsayalım. Keskin değer ilişkilerden tamamen farklı, S ve R , μR ve μS $[0,1]$ aralığında değerler aldığını varsayarsak birçok yoldan birleşebilirler. Bunların birleşimi RoS şeklinde gösterilir ve bunlar da $A \times B$ de bulanık ilişkilerdir. Çok bilinen ve çok kullanılan ‘max-min’ bileşimi de denir ve şöyle gösterilir:

$$\mu RoS(a,c) = \left\{ \max_{b \in B} \min(\mu R(a,b), \mu S(b,c)) / (a,c) \right\} \quad (2.20)$$

sembolik olarak:

$$\mu RoS(a,c) = V_b \left\{ \mu R(a,b) \wedge \mu S(b,c) \right\} \quad (2.21)$$

Burada, $\wedge$ ve $\vee$ sırasıyla minimum ve maksimum işlemlerin ifadeleridir.

2.4 Bulanık Mantık

Bulanık Mantık, doğal dilin belirsizliğinin modeli diye dile getirir 60’lı yıllarda Berkeley Üniversitesinde Dr Lotfi Zadeh (Zadeh L. A, 1965).

Bulanık mantık Boole mantığındaki ‘tamamıyla doğru’ ve ‘tamamıyla yanlış’ değerleri arasındaki ‘kısmi doğruluğu’ ele alır, insan düşüncesini modellemeyi kolaylaştırır. Bulanık mantık, keskin değer mantığının iki değerli üyelik fonksiyonlarının bulanık üyelik fonksiyonlarıyla yer değiştirmesinden oluşur. Bulanık değerler önerilerin doğruluğuna değer biçer ve bu değerlerin işlemleri öneri karşılaştırmalarına uygulanır.

Bulanık önerilerin anlamı, bulanık küme A ’da belirlenmiş üyelik fonksiyonu ile gösterilen ‘ x is A ’dır. Bulanık önerilerin birleşiminin gösterilimleri : ‘ x is A ve y is B ’ veya ‘(x is A veya x is B) ve y C ’dir.

Bunlar bulanık üyelik fonksiyonlarının ilişkilerini karakterize eder. Ayrılma, olumsuzlama, birleşme ve karşılaştırma gibi mantıksal işlemler bulanık mantık için de tanımlanmıştır. Bu işlemler aşağıdaki gibi tanımlanmış iki öneri için verilmiştir: A bulanık kümesinde tanımlı öneri P ve B bulanık kümesinde tanımlı öneri Q , $T(P)$, P önerinin doğruluk değerini gösterir.

Temel işlemler :

Olumsuzlama

$$T(\bar{P})=1-T(P) \quad (2.22)$$

Ayrılma

$$P \vee Q : x \text{ is } A \text{ veya } B \quad T(P \vee Q)=\max(T(P),T(Q)) \quad (2.23)$$

Birleşme

$$P \wedge Q : x \text{ is } A \text{ ve } B \quad T(P \wedge Q)=\min(T(P),T(Q)) \quad (2.24)$$

Bu işlemleri farklı yazarlar tarafından belirlenmiş c-normu, s-normu, ve t-normu işlemleri ile belirtilmiştir, bunlar sırasıyla:

Karşılaştırma

$$P \rightarrow Q : \text{if } x \text{ is } A, \text{ then } x \text{ is } B \quad (2.25)$$

Zadeh

$$T(P \rightarrow Q)=T(\bar{P} \vee Q)=\max(T(\bar{P}),T(Q)) \quad (2.26)$$

Mamdani

$$T(P \rightarrow Q)=\min(T(P),T(Q)) \quad (2.27)$$

Larsen

$$T(P \rightarrow Q) = T(P) \cdot T(Q) \quad (2.28)$$

Mühendisler genelde Mamdani veya Larsen formüllerin kullanırlar, Zadeh formülü klasik mantıktan doğrudan türetildiği için sosyal bilimlerde kullanılır (Jose Joaquin De Jesus Lopez, 2004).

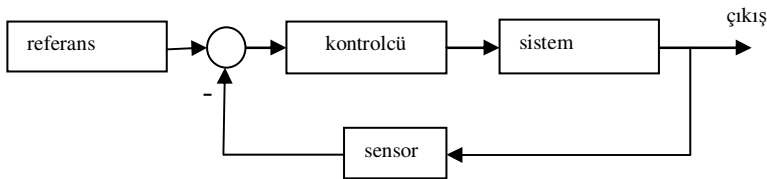
3. KONTROL VE BULANIK MANTIK SİSTEMİ

3.1 Temel Kontrol Sistemler

Kontrolün amacı, söz konusu sistemin kurallar takımına veya kurallara bağlı kalarak giriş veya girişlerin değiştirilerek davranışların etkilemektir. Kontrol edilen sistem mekanik, elektrik, kimyasal, veya bunların kombinasyonundan oluşabilir.

Temel kontrol kuramı söz edilen sistemin matematiksel modelin kullanarak istenilen durumu ve ölçülen durumu ile girişi veya girişleri arasında geçişi sağlayarak sistemin gelecek durumunu değiştirmektedir. Şekil 3-1 temel kapalı-devre kontrol sistemin göstermektedir.

İlk sistemin zor bölümü olan, sistemin kararlılığını ve dinamik karakteristiğini belli etmede kullanılan matematiksel modellenmesidir. Kontrol sistemlerin sınıflandırılması genelde bunların dinamiğini tanımlayan denklemlerin değişken parametrelerine göre sınıflandırılırlar. Sistemler aktarım fonksiyonlarına göre doğrusal, doğrusal olmayan, polinom ve rastgele olarak karakterize edilirler (Timothy J. and Ross, 1995).



Şekil 3-1 Temel Kapalı-Devre Kontrol Sistemi

Sistemi kontrol etmedeki problem, kontrolcüyü kontrolün amacına denk gelmesini sentezlemektir. Genel kontrol amaçları: durum

fonksiyonunun kararlılığı, performansının iyileştirilmesi, sinyal gürültülerine ve zayıf modellenmiş dinamiklerine karşı dayanıklılığı ve emniyetsiz durumlardan kaçınma gibi amaçları kapsar (Timothy J and Ross, 1995).

Sistemin çok-giriş/çok-çıkış olması karmaşıklığını artırır ve klasik kontrolün talep ettiği matematiksel modelinin formülleştirilmesini zorlaştırır. Bulanık teknoloji aşağıdaki nedenlerden dolayı bu problemleri azaltabilir.

Doğrusal olmayan karakteristikler bulanık mantık ile kısmi kural uzayında doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarla gerçekleştirilebilir. Kural-tabanlı sistem, çıkışların farklı kısımları birleştirerek hesaplayabilir, her kısım ayrı kurallarla yönlendirilir (Baturone I. And Sanchez-Solano S, 2000).

3.2 Bulanık Mantık Sistemler

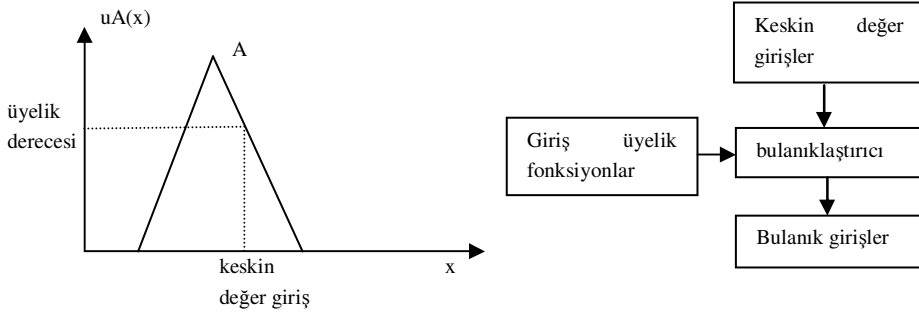
Bulanık mantık sistem girişine keskin değerler alır ve çıkışına da bulanık küme veya keskin değer verir. Temel bulanık sistem dört bileşen içerir bunlar: kural takımı, bulanıklaştırıcı (fuzzifier), çıkarım motoru (çıkarım çıkarım) ve durulayıcı (durulayıcı). Kurallar deneyimlerden veya sayısal veriden elde edilirler. Mühendislik kuralları IF-THEN kuşullarından elde edilir. Bu koşullar dilsel değişkenler ile oluşan bulanık kümeleri kapsar (Mendel J. M, 1995).

Bulanıklaştırıcı girişteki keskin değer numaraları bulanık kümelere aktarır, üyelik derecelerini belirler. Bu dilsel değişken demecilerden oluşan kuralları sırayla etkinleştirir. Bulanık mantık sistemin çıkarım motoru bölümü IF kısmının kümelerini belirler ve THEN kısmının üzerine ayarlar. Bu motor birleşmiş kuralların gösterdiği yolla işler. Pratikte bulanık mantık sistemlerin mühendislik uygulamalarında küçük hacimde kurallar kullanılır. Çoğu uygulamalarda çıkışlar keskin değer numaralarla elde edilmeli. Durulayıcı çıkışı bulanık kümelere keskin

değer kümelerine aktararak verir. Kontrol uygulamalarında çıkıştaki bu numaralar kontrol aksiyonu olarak bize yansır (Guo S. and Peter L, 1994).

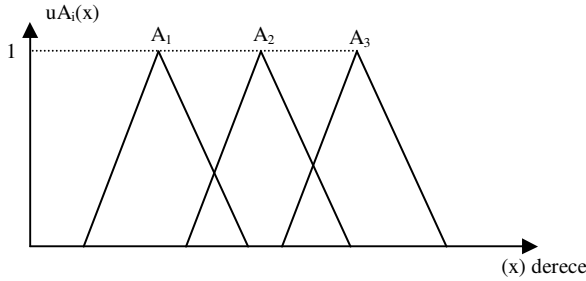
3.2.1 Bulanıklaştırıcı

İlk adımda bulanık mantık işleme baskın dönüşüm gerektirir bu da bulanıklaştırma diye adlandırılır (Şekil 3-2). Keskin değer girişler bulanık girişlere dönüştürülür. Keskin değer girişleri bulanık girişlere dönüştürmede ilk olarak her giriş için üyelik fonksiyonlar tanımlanmalıdır. Üyelik fonksiyonlar tanımlandıktan sonra, bulanıklaştırma sıcaklık derecesi gibi gerçek zaman giriş değerleri alır ve bulanık giriş değerleri ortaya koymak için bunları saklanmış üyelik fonksiyonlarla karşılaştırır.



Şekil 3-2 Bulanıklaştırıcı

İlk adımda bulanıklaştırma her keskin değer girişi söylem evreninde bulanık etiketlerle etiketler. Sıcaklık için Şekil 3-3'deki gibi etiket aralıkları ile belirlenir. Her keskin değer giriş bulanık sistemde birden fazla etiket ile etiketlenebilir.



Şekil 3-3 Sıcaklık Üyelik Fonksiyonları, A_1 soğuk, A_2 serin A_3 sıcak

Genelde etiketin en büyük değeri giriş değişkenlerini tanımlamak için belirlenir, yüksek çözünürlü sonuç veren bulanık kontrol sistem sarsıntısız çıkış verir. Bununla birlikte, büyük numaralı etiketler ek hesaplama süresi talep eder. Bundan başka, aşırı büyük değerli etiketler bulanık mantık sistemi kararsızlığa sürükler (Riza C. Berkan and Sheldon L. Trubatch, 1997).

Bulanık kümelerin kontrol yüzeyi sıfır koşulunun her iki tarafında da dengeli ve simetrik olmalıdır. Bu sonuçla eğer değişken olarak sıcaklığı seçildiyse, normal sıcaklık 'NORMAL' olarak tanımlı iken 'DÜŞÜK' ve 'YÜKSEK' koşulların birbirine kesişmesi de olabilir.

Sonra, her etikete üyelik fonksiyonlar sayısal anlam vermeye tanımlanır. Her üyelik fonksiyon etiket ile kesişen girişin değer aralığının tanımlar. Boole mantığına benzemeden, etiket üyelik fonksiyonları kesin sınırları var şeklinde tanımlanmaz. Tersine giriş değerlerin azar azar azalan uygulanabilir bölgeden uygulanamaz bölgeye kadar aralığı vardır.

Üyelik fonksiyonların birçok tanımlama şekilleri vardır, bular Şekil 2-6'da gösterilmiştir. Trapezoid, Gauss ve Üçgen buların çok kullanılanlarıdır. Diğer şekiller her ne kadar doğal hadiseleri daha iyi temsil etse de, bunlar daha karmaşık denklemleri talep ederler. Bulanık tekil U uzayında tek bir üyelik fonksiyon ile tek bir noktayı destekleyen bulanık kümedir.

Tekil üyelik fonksiyonlar bilgisayarda daha kolay tanımlanır ve bulanıklaştırma algoritmasını kolaylaştırır. Bundan dolayı tekil üyelik fonksiyonlar bulanık çıkışları göstermede daha çok kullanılırlar.

Giriş üyelik fonksiyonlar verilen etiket için giriş değeri olasılığına göre belirlenir. y-ekseni $\{\mu\}$, keskin değeri giriş değerlerinin her üyelik fonksiyon etiketlerine (soğuk, ılık, vbz.) düşen değerleri temsil eder. Giriş değerleri birden fazla üyelik fonksiyonlarında da değeri alabilir. Keskin değeri girişlerin bulanık terimlerle tanımlama, giriş sıcaklığının azar azar değişimine cevap vermesini sağlamaktır.

3.2.2 Bulanık Çıkartım

Bulanık mantık sistem, gözlem ve faaliyet arasındaki ilişkiyi gösteren KURALLAR'ı kullanır. Bu kuallar IF ve THEN koşullarını içerir. Koşullar VE ve VEYA birleşimleriyle birleşerek çoklu koşulları içerebilir. Koşullar DEĞİL işlemi ile tümlenebilir. Bulanık kuralların hesaplanmasına veya işlenmesine Bulanık Çıkarım denir.

Bulanık kural çıkarım iki kademededen oluşur, bunlar:

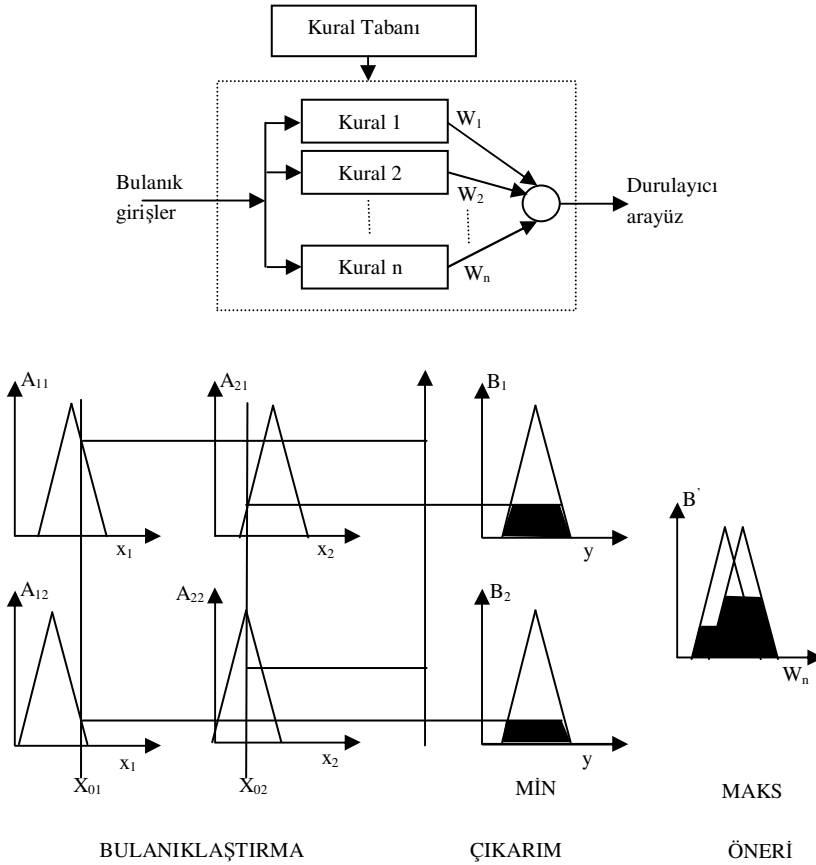
- Çıkarımsama, her kural için her çıkış değişkenlerinin bulanık altkümelerini tanımlar. Genelde çıkarım kuralı olarak MİN ve ÇARPIM kullanılır. MİN çıkarımında, çıkış üyelik fonksiyonun doğruluk derecesine göre hesaplanmış kuralın tepe değerinde kırpar (bulanık mantık VE). ÇARPIM çıkarımında, doğruluk derecesine göre hesaplanmış kural tarafından ölçülendirilmiş çıkış üyelik fonksiyonudur.

- Öneri, her çıkış değişkeni için bulanık kümeleri bulanık alt kümelere birleştirir. Genelde MAKSİMUM ve TOPLAM işlemleri kullanılır. MAKSİMUM öneri, birleşmiş çıkış bulanık altkümeleri çıkarım kuralı (bulanık mantık VEYA) tarafından çıkış değişken olarak belirtilmiş bütün bulanık altkümelerin maksimumundan tek nokta alınarak oluşur. TOPLAM öneri, birleşmiş çıkış bulanık altkümeleri

çıkartım kuralı tarafından çıkış değışken olarak belirtilmiş bütün bulanık altkümelerin toplamından tek nokta alınarak oluşur.

IF-THEN kuralları günlük konuşma bilgilerin gösterilmesindeki ortak yoldur. Program veya makine kodu yazmış herhangi biri bilir if-then satırların nasıl programa dahil edeceğini. Bulanık kurallar bulanık ifadeleri doğru ifade etmede kullanılır.

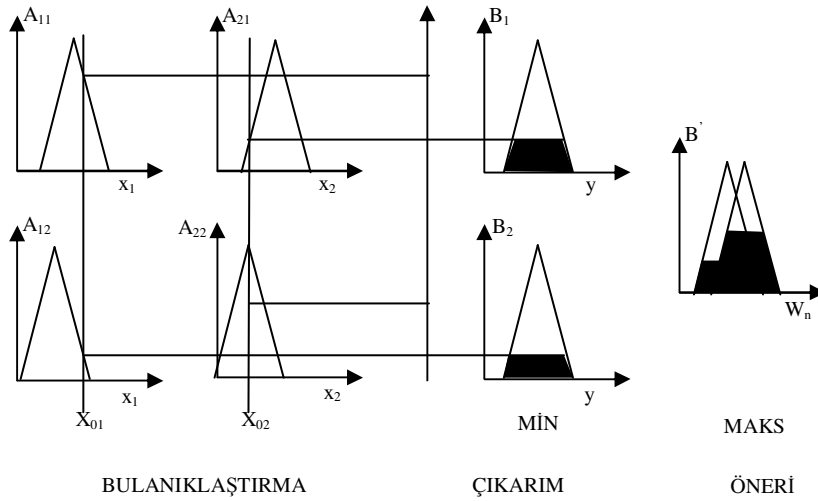
İkili mantıkda sonuç doğru veya yanlış olarak ikisinden biridir. Bulanık mantık kısmi doğruluğu ifade edebilir dolayısıyla sonuç kısmi doğrudur. Bulanık çıkartım yöntemi bulanık kuralları dürüstçe ve sırayla kullanarak doğru sonuç verir.



Şekil 3-4 Çıkartım süreci

3.2.3 Durulayıcı

Bu aşama çıkış bulanık kümeyi keskin değer numaraya çevirmek için kullanılır. Genelde Merkezleme ve Maksimum yöntemleri kullanılır. Merkezleme yönteminde, üyelik fonksiyonun yerçekim merkezi bulunarak hesaplanır. Maksimum yönteminde, bulanık altkümenin değişken değerlerinin biri maksimum doğruluk derecesi taşır, bu değer çıkışa keskin değeri olarak belirlenir. Şekil 3-5 örnek ile bütün süreci göstermektedir (Jose Joaquin De Jesus Lopez, 2004).

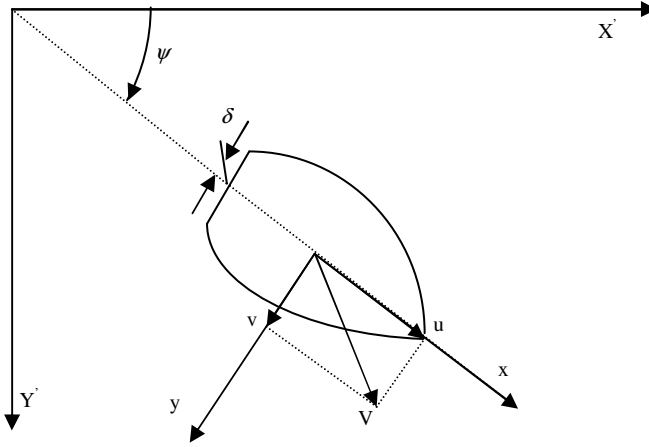


Şekil 3-5 Bulanık Mantık Sistem

4. GEMİ MODELİ VE KONTROLÜ

4.1. Gemi Modellenmesi

Genelde gemi dinamiği, gemiye Newton'un hareket kanunu uygulanarak elde edilir. Geniş gemiler için dik hareketler göz ardı edilebilir, bu tür büyük gemiler için aşağı-yukarı ve sıçrama hareketleri çok küçüktür. Gemi hareketi genelde gemi üzerine kurulmuş koordinat sistemi ile belirlenir Şekil 4-1 (Narendra K and Annaswamy A, 1989).



Şekil 4-1 Kargo gemi koordinat sistemi

Geminin dinamik davranışın gösteren basit model (4.1)' deki gibi diferansiyel denklem ile tanımlanır:

$$\psi'''(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \psi''(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 * \tau_2} \right) \psi'(t) = \frac{K}{\tau_1 * \tau_2} (\tau_3 * \delta'(t) + \delta(t)) \quad (4.1)$$

Burada ψ geminin pruva açısı (heading angle), δ dümen açısı (rudder angle). Sıfır başlangıç koşulların varsayarak (4.1), (4.2)'deki gibi yazılabilir:

$$\frac{\phi(s)}{\delta(s)} = \frac{K(s\tau_3 + 1)}{s(s\tau_1 + 1)(s\tau_2 + 1)} \quad (4.2)$$

K , τ_1 , τ_2 , ve τ_3 parametreleri geminin sabitleridir. Bunlar aşağıda tanımlandığı gibidir:

$$K = K_0 \left(\frac{u}{L} \right) \quad (4.3)$$

u: geminin hızı, L: uzunluğu, K_0 : orantı katsayısıdır.

$$\tau_i = \tau_{i0} \left(\frac{L}{u} \right), i=1,2,3. \quad (4.4)$$

Ve bizim buradaki farz ettiğimiz gemi bir Kargo Gemisi olup, bu gemiye ait model parametre sabitleri böyledir:

$K_0=3,86$; $\tau_{10}=5,66$; $\tau_{20}=0,38$; $\tau_{30}=0,89$; $L=161\text{m}$; ve gemi 5m/s karaya göre hız ile ilerlemekte. Normal düz seyirde gemi büyük olmayan sapmaları yapar ve (4.1)□deki doğrusallaştırılmış model geminin bu hareketine denk gelebilir, bu durumda dümen açısı $\delta=0$ ve $\pm 5^0$ derecelik değişim yapar. Fakat bizim amacımızda gemi dümeni 5^0 □den büyük açılara açılması.

Geminin bu tip karakteristiğine denk gelen model, Beck ve Smith□in ortaya koyduğu modeldir ve aşadaki gibi yazılır:

$$\psi^{\bullet\bullet\bullet}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \psi^{\bullet\bullet}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 * \tau_2} \right) H(\psi^{\bullet}(t)) = \frac{K}{\tau_1 * \tau_2} (\tau_3 * \delta^{\bullet}(t) + \delta(t)) \quad (4.5)$$

Burada $H(\psi^{\bullet}(t))$, $\psi^{\bullet}(t)$ □nin doğrusal olmayan fonksiyonudur. $H(\psi^{\bullet}(t))$, $\psi^{\bullet}(t)$ ve $\delta(t)$ □nin duran sürekli hal fonksiyonundan ($\psi^{\bullet\bullet\bullet}(t) = \psi^{\bullet\bullet}(t) = \delta(t) = 0$) bulunabilir. Deneylerden bilindiği gibi ‘spiral test’ten yaklaşık olarak, $H(\psi^{\bullet}(t))$ aşadaki gibi yazılabilir:

$$H(\psi^\bullet) = a(\psi^\bullet)^3 + b\psi^\bullet \quad (4.6)$$

a ve b gerçek ve sabit sayılardır, a her zaman pozitiftir. Biz bu simülasyonda a ve b 'yi eşit ve 1 olarak aldık.

Geminin bazı çok küçük etkilerin göz ardı ederek (4.5)'deki doğrusal olmayan diferansiyel denklemini ikinci dereceden denkleme indirgeyebiliriz. Bu parametreleri eleme yöntemi de etkisi küçük olan kutupları eleme yöntemidir ve τ_2 kutbunun etkisi τ_1 'e göre küçük ve hızlı olduğundan τ_2 'yi eleyebiliriz. Diğer yandan dümen açısının değişim hızı $\delta^\bullet(t)$ da bu tip büyük gemilerde çok etkili değildir. Eleme yöntemi uygulandıktan sonra (4.5)'deki üçüncü dereceden diferansiyel denklem aşağıdaki (4.7) gibi ikinci dereceden differensiyel denklem olarak yazılabilir:

$$\psi^{\bullet\bullet}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1}\right)H(\psi^\bullet) = \left(\frac{K}{\tau_1}\right)\delta(t) \quad (4.7)$$

4.1.1. Diferansiyel Denklemin Sayısal Yöntemle Çözümü

Runge-Kutta-Nyström yöntemi:

Bu yöntem başlangıç değer probleminin çözümünü bulma yöntemidir. $y'' = f(x, y, y')$ ikinci dereceden diferansiyel denklem ve $y_0(t_0) = y_0$, $y'_0(t_0) = y'_0$ başlangıç değerleri olsun. $t_1 = t_0 + h$, $t_2 = t_1 + h, \dots, t_N = t_0 + Nh$ eşit aralıklarla $y'' = f(x, y, y')$ denkleminin $[t_0, t_N]$ arasında tek çözümü var olsun. Bu durumda y'' fonksiyonunun sayısal çözümü:

$$k_1 = \frac{1}{2}hf(t_n, y_n, y_n^\bullet)$$

$$k_2 = \frac{1}{2}hf\left(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + K, y_n^\bullet + k_1\right)$$

Burada

$$K = \frac{1}{2}h \left(y_n^{\bullet} + \frac{1}{2}k_1 \right)$$

$$k_3 = \frac{1}{2}hf \left(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + K, y_n^{\bullet} + k_2 \right)$$

$$k_4 = \frac{1}{2}hf \left(t_n + h, y_n + L, y_n^{\bullet} + 2k_3 \right)$$

Burada

$$L = h \left(y_n^{\bullet} + k_3 \right)$$

$t_{n+1} = t_n + h$ olmak üzere çözümü:

$$y_{n+1} = y_n + h \left(y_n^{\bullet} + \frac{1}{3}(k_1 + k_2 + k_3) \right)$$

ve bir sonraki adım için:

$$y_{n+1}^{\bullet} = y_n^{\bullet} + \frac{1}{3}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \text{ olur.}$$

Bu yöntemi bizim (4.7)'de belirttiğimiz 2'ci dereceye indirgenmiş olan geminin doğrusal olmayan diferansiyel denkleminin çözümü için uygulayacak olursak aşağıdaki gibi olur. Bundan önce verdiğimiz gemi parametrelerine göre, $\frac{1}{\tau_1} = 0,055$, $\frac{K}{\tau_1} = -0,00066$ olur ve denklem

$$y^{\bullet\bullet} + 0,055 \left((y^{\bullet})^3 + y^{\bullet} \right) = -0,00066 \delta \quad (4.8)$$

Runge-Kutta-Nyström'a göre çözümü:

$$y'' = -0,055 (y')^2 - 0,055 y' - 0,00066 \delta$$

$$k_1 = \frac{1}{2}h \left(-0,055 (y_n^{\bullet})^3 - 0,055 y_n^{\bullet} - 0,00066 \delta \right)$$

$$k_2 = \frac{1}{2} h \left(-0,055 (y_n + k_1)^3 - 0,055 (y_n + k_1) - 0,00066 \delta \right)$$

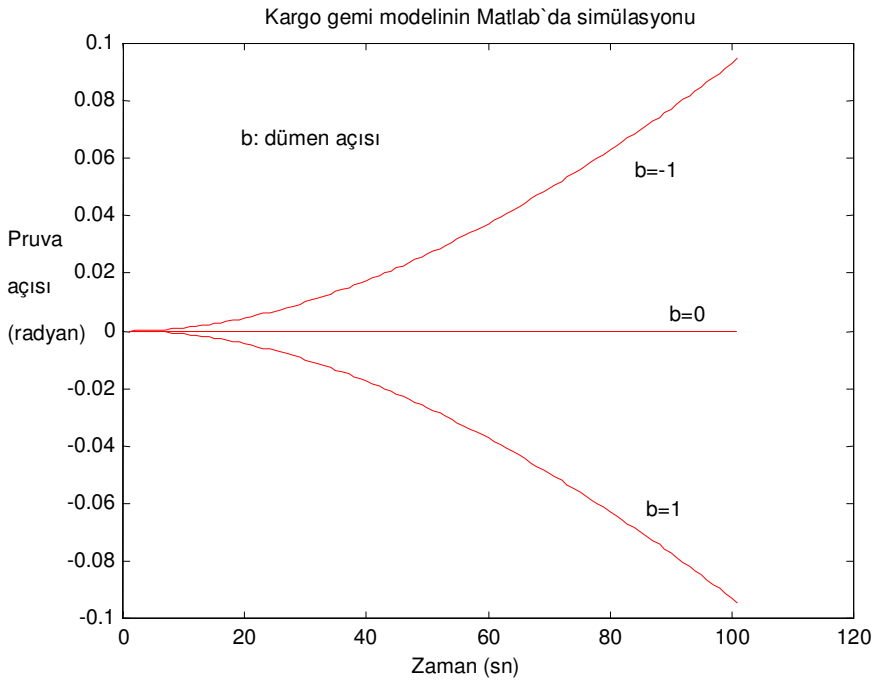
$$k_3 = \frac{1}{2} h \left(-0,055 (y_n + k_2)^3 - 0,055 (y_n + k_2) - 0,00066 \delta \right)$$

$$k_4 = \frac{1}{2} h \left(-0,055 (y_n + 2k_3)^3 - 0,055 (y_n + 2k_3) - 0,00066 \delta \right)$$

$$y_{n+1} = y_n + h \left(y_n + \frac{1}{3} (k_1 + k_2 + k_3) \right)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{3} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

Matlab’da simülasyonu:



Şekil 4-2 Kargo Gemi modelinin Matlab’da simülasyonu

Şekil 4-2’de değerler radyan cinsinde gösterilmiştir. Burada b: dümen açısıdır ve dümen açısının üç durumu (1, 0, -1) için gemi pruva açısının zamana göre değişimi MATLAB’da çizdirildi.

4.1.2. Sınırlandırıcı

Kargo gemilerin çoğunluğunda dümen açısı ve dümen hareket hızı genel olarak aşağıdaki değerlerle sınırlandırılmıştır:

$$2\frac{1}{3}(derece/s) \leq \dot{\delta} \leq 7(derece/s)n$$

$$\delta = 75^\circ$$
(4.9)

Genelde dümen hareketi 75 derece iskeleden 75 derece sancağa 30 saniyede gidilmesini ister (Ried, 1984).

4.1.3. Ölü Bölge

Bu bölgeyi seçmedeki amacımız, girişteki pruva açısı hatası ve pruva açısı hatası değişim hızının belirli küçük değişim aralığında bulanık kontrolcünün çıkışını engellemek veya çıkışını sıfırlamak, böylece bulanık kontrolcü çıkışındaki sinyalin yüksek sıklıkta çalışmasını engellemiş oluruz. Nedeni de bulanık kontrolcünün çıkışı geminin dümen açısı ve geminin pruvadaki küçük değişimlerde dümeni hızlı çevirmeden 0 derecede tutmak. Bu bölgenin matematiksel gösterilimi aşağıdaki gibi olur:

$$e(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } -0.35^\circ < e < 0.35^\circ \end{cases}$$

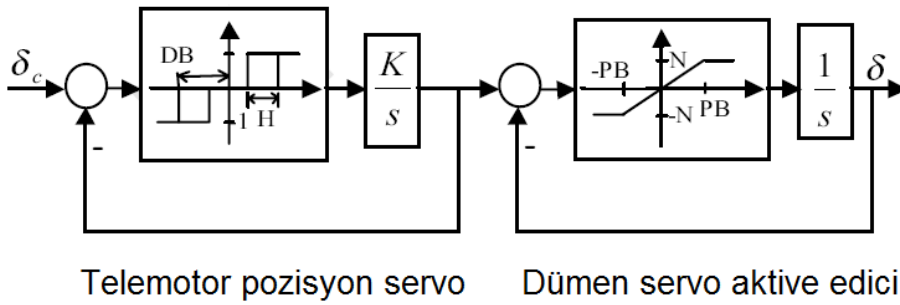
$$\dot{e}(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } -5^\circ < \dot{e} < 5^\circ \end{cases}$$
(4.10)

4.1.4. Dümen Sistemi

Dümen sistemi iki adet elektrohidrolik sistemden oluşur: telemotor pozisyon servo ve dümen servo aktive edici (Şekil 4-3). Dümen sistemi girişin oto pilot çıkışından alır ve bu girişe kumanda dümen açısı denir (δ_c). Çıkışı da gerçek dümen açısı (δ). Doğrusal olmayan dümen sistemi Ried, Youhanaie ve Nortoft Thomsen tarafından tanımlanmıştır (1984), Omerdic, Koroman ve Kuljaca (1997), Vukic ve Velagic (1999).

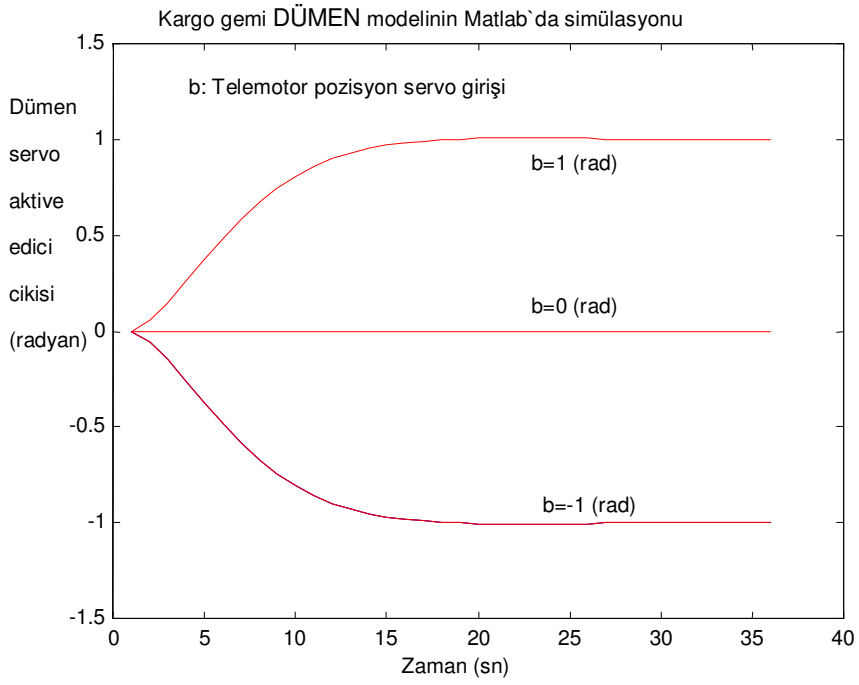
Dümen sistemi parametrelerinin değerleri kargo gemileri için genelde aşağıdaki gibi alınır:

1. Telemotor: $K=4(\text{derece/sn})$, $DB=1(\text{derece/sn})$, $H=0.8(\text{derece})$.
2. Dümen servo aktive edici: $N=5(\text{derece/sn})$, $PB=7(\text{derece})$.



Şekil 4-3 Dümen Sistemi

Şekil 4-3’de dümen sisteminin aktarım fonksiyonu kullanarak Runge-Kutta-Nyström yöntemi ile Matlab’da simülasyonu Şekil 4-4’deki gibi olur. Burada b: Telemotor pozisyon servo girişi olup çıkışının zamana göre değişimi çizdirildi. Şekilde görüldüğü gibi çıkışın girişe olan cevabı yaklaşık 26-28sn gecikmelidir.



Şekil 4-4 Kargo Gemi Dümen modelinin Matlab'da simülasyonu

4.2. Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (BMK)

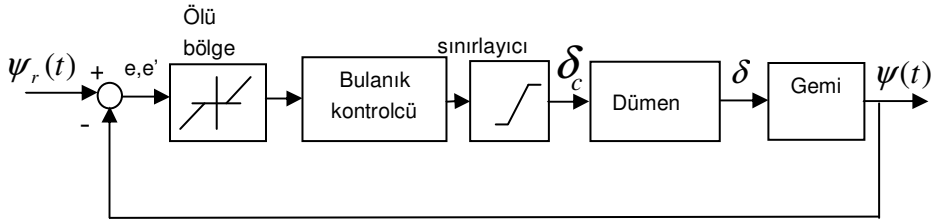
Bulanık oto pilot iki kontrol girişleri kullanır, bunlar: pruva açısı hatası:

$$e(t) = \psi_r(t) - \psi(t)$$

ve pruva açısı değişim hızı:

$$\dot{e}(t) = \frac{d(e(t))}{dt}$$

Kontrol aksiyonu oto pilot tarafından δ_c dümen açısı olarak üretilmekte (Tovornik, 1995). Burada $\psi_r(t)$ referans pruva açısı, $\psi(t)$ anlık pruva açısı. Dümen, gemi dümen sistemi ve bulanık kontrolcünün ürettiği δ_c dümen açısının gerçek δ dümen açısına çevirir.



Şekil 4-5 BMK Oto pilot

Burada Ölü Bölge, Sınırlandırıcı, Dümen, Gemi model ve değerleri bölüm 4.1’de sözü edilen şekilde kullanıldı.

4.2.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK)

Şekilde Bulanık kontrolcü, çıkışın bulanık kontrol kurallarının kullanarak üretir. Kullandığı kuralların biçimi aşağıdaki gibi olur.

Kural1 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNB, then δ is r(1)

Kural2 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNM, then δ is r(2)

.

.

KuralM : if e(t) is EPB and e'(t) is ERPM, then δ is r(M)

M : kural sayısı.

Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı, merkez ortalama durulayıcı, kullanılarak tasarlanan bulanık kontrolcü durulanmış çıkışı δ merkez yerçekimi yöntemine göre (4.12)'deki gibi yazılır.

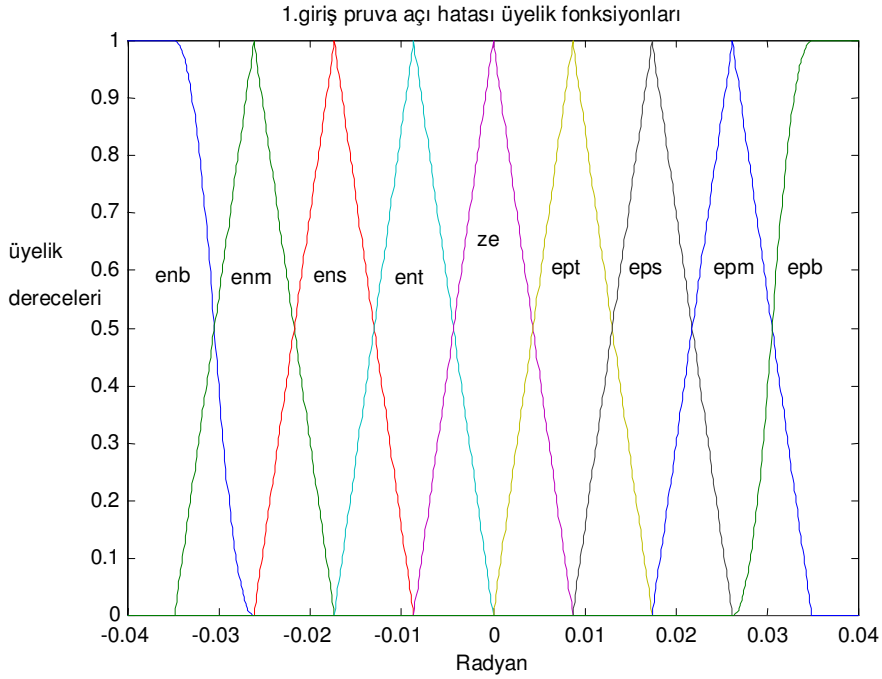
$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^M w(i) * r(i)}{\sum_{i=1}^M w(i)} \quad (4.12)$$

$w(i)$ o andaki ateşlenen kural ve (4.13)'deki gibi yazılır.

$$w(i) = \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1}^{i_1}(x_1) * \mu_{A_2}^{i_2}(x_2)) \quad (4.13)$$

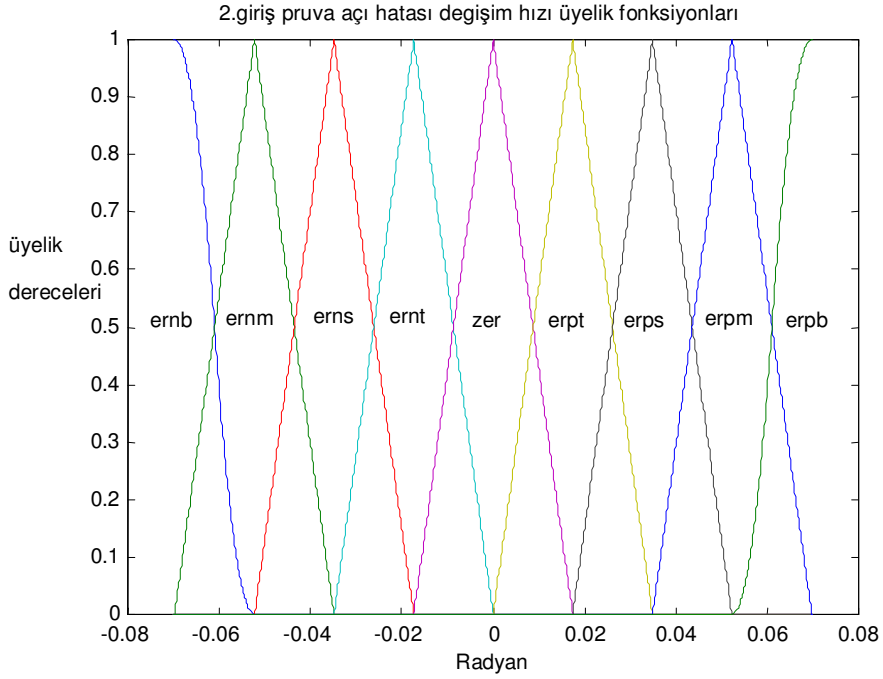
Burada N_1 1.giriş üyelik fonksiyon sayısı, N_2 2.giriş üyelik fonksiyon sayısı, $\mu_{A_1}^{i_1}(x_1)$ 1.giriş üyelik fonksiyonları, $\mu_{A_2}^{i_2}(x_2)$ 2.giriş üyelik fonksiyonları. $r(i)$, $i = 1, 2, \dots, k$ tekil çıkış üyelik fonksiyonlarıdır.

4.2.2. Simülasyon Sonuçları



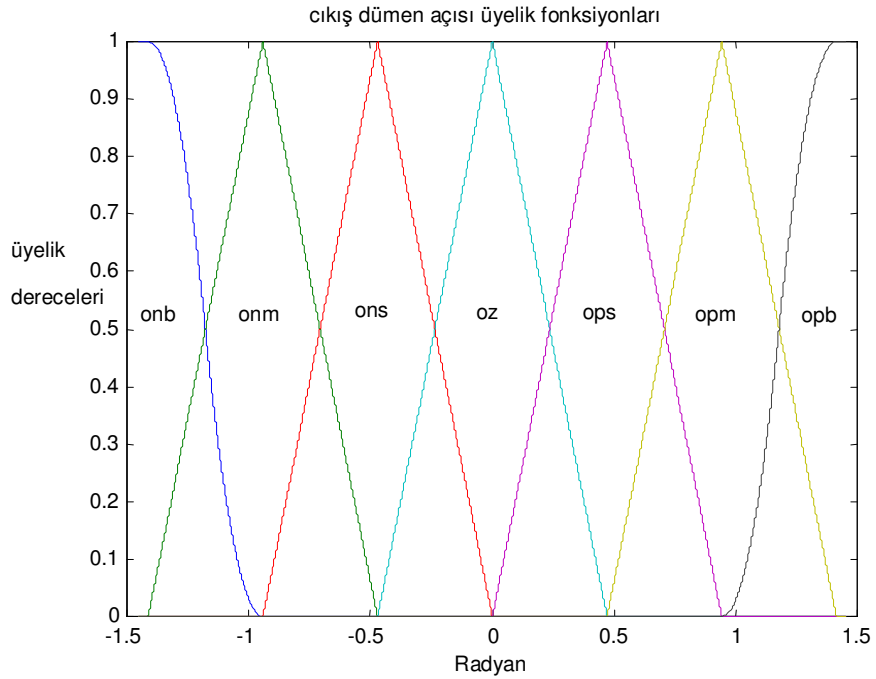
Şekil 4-6 Birinci giriş pruva açısı üyelik fonksiyonları

Şekil 4-6 BMK Oto pilotun birinci giriş üyelik fonksiyonlarının Matlab'da çizdirilimidir. Burada enb-negatif büyük hata, enm- negatif orta hata, ens- negatif küçük hata, ent- negatif çok küçük hata, ze-sıfır hata, ept-pozitif büyük hata, epm-pozitif orta hata, eps-pozitif küçük hata, ept-pozitif çok küçük hata olarak düşünüldü.



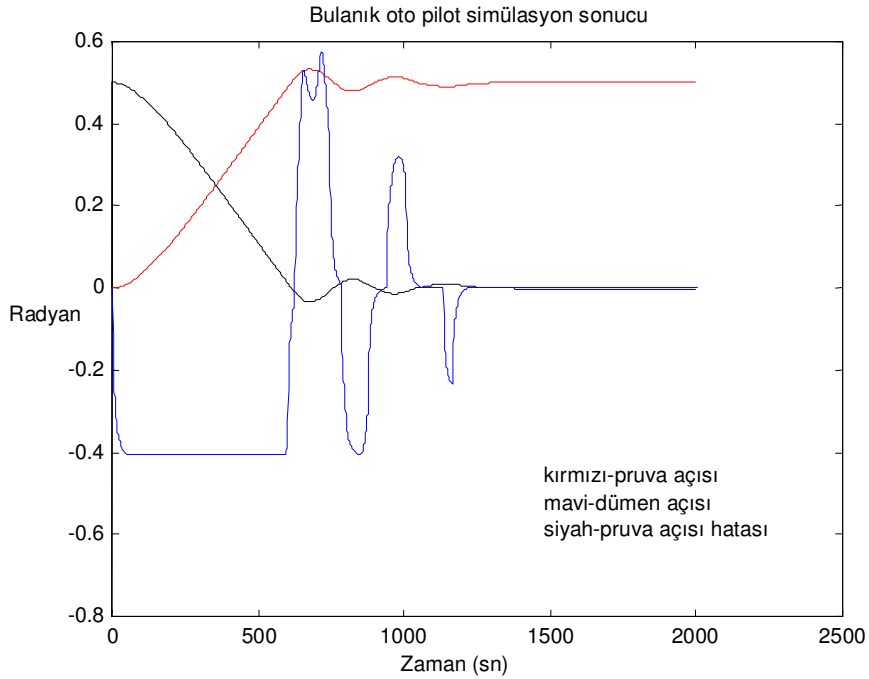
Şekil 4-7 Giriş pruva açısı değişim hızı üyelik fonksiyonları

Şekil 4-7 BMK Oto pilotun 2.giriş üyelik fonksiyonlarının Matlabda'da çizdirilimidir. Burada ernb-negatif büyük hata değişimi, ernm- negatif orta hata değişimi, erns- negatif küçük hata değişimi, ernt-negatif çok küçük hata değişimi, ze-sıfır hata değişimi, erpt-pozitif büyük hata değişimi, erpm-pozitif orta hata değişimi, erps-pozitif küçük hata değişimi, erpt-pozitif çok küçük hata değişimi olarak düşünüldü.



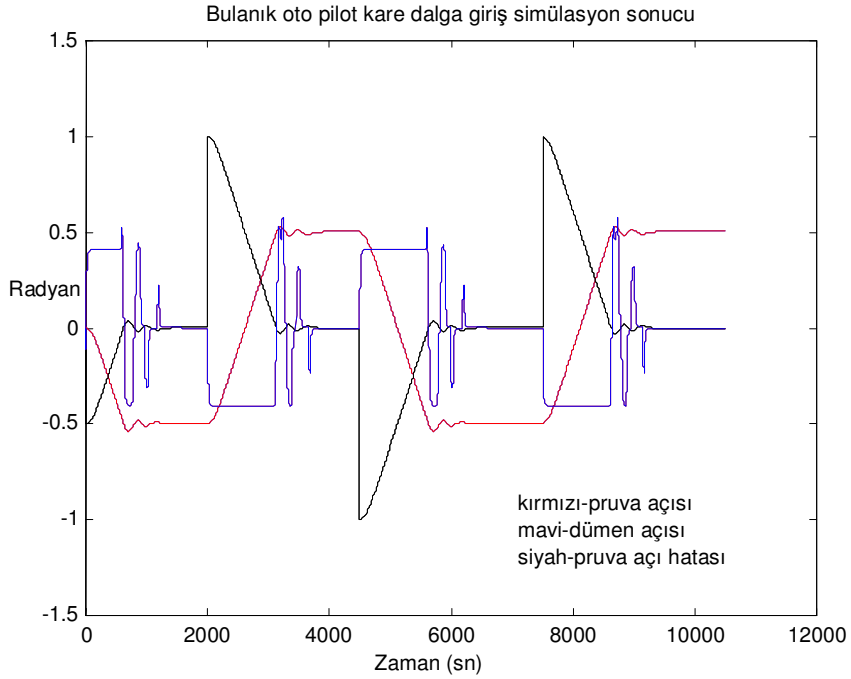
Şekil 4-8 Çıkış dümen açısı üyelik fonksiyonları

Şekil 4-8 BMK Oto pilotun çıkış üyelik fonksiyonlarının Matlabda'da çizdirilimidir. Burada onb-negatif büyük çıkış, onm- negatif orta çıkış, ons- negatif küçük çıkış, oz-sıfır çıkış, opb-pozitif büyük çıkış, opm-pozitif orta çıkış, ops-pozitif küçük çıkış olarak düşünüldü.



Şekil 4-9 BMK Oto pilotun 0.5 Rad hedefe gitme simülasyon sonucu

Şekil 4-9’da BMK Oto pilotun gemiyi ‘0’ radyan pruva açısından 0.5 radyan pruva açısına götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.



Şekil 4-10 BMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab'da simülasyon sonucu

Şekil 4-10'da BMK Otopilotun gemiyi başlangıç pruva açısı 0 radyan açısından tepe değeri 0.5 ve -0.5 radyan kare dalga girişe götürmesi Matlab'da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.

4.3. Bulanık Mantık Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (BM-ÖOBMK)

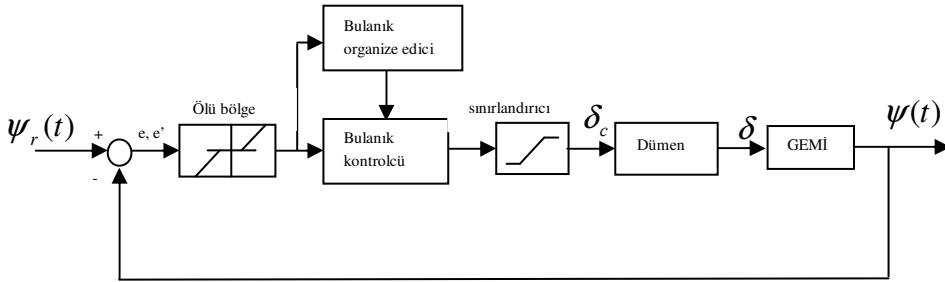
Bulanık oto pilot iki kontrol girişleri kullanır, bunlar: pruva açısı hatası:

$$e(t) = \psi_r(t) - \psi(t)$$

ve pruva açısı hata değişim hızı:

$$\dot{e}(t) = \frac{d(e(t))}{dt}$$

Kontrol aksiyonu oto pilot tarafından δ_c dümen açısı olarak üretilmekte (Tovornik, 1995). Burada $\psi_r(t)$ referans pruva açısı, $\psi(t)$ anlık pruva açısı. Dümen, gemi dümen sistemi ve bulanık kontrolcünün ürettiği δ_c dümen açısının gerçek δ dümen açısına çevirir.



Şekil 4-11 Bulanık Mantık Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot

Burada Ölü Bölge, Sınırlandırıcı, Dümen, Gemi model ve değerleri bölüm 4.1’de sözü edilen şekilde kullanıldı.

4.3.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK)

Diyagramda bulanık kontrolcü, çıkışın bulanık kontrol kurallarını kullanarak üretir. Kullandığı kuralların biçimi aşağıdaki gibi olur.

Kural1 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNB, then δ is r(1)

Kural2 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNM, then δ is r(2)

-

(4.14)

-

KuralM : if e(t) is EPB and e'(t) is ERPM, then δ is r(M)

M : kural sayısı.

Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı, merkez ortalama durulayıcı, kullanılarak tasarlanan bulanık kontrolcü durulanmış çıkışı δ merkez yerçekimi yöntemine göre aşağıdaki gibi yazılır.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^M w(i) * r(i)}{\sum_{i=1}^M w(i)} \quad (4.15)$$

$w(i)$ o andaki ateşlenen kural ve (4.16)'daki gibi yazılır.

$$w(i) = \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1}^{i_1}(x_1) * \mu_{A_2}^{i_2}(x_2)) \quad (4.16)$$

Burada N_1 1.giriş üyelik fonksiyon sayısı, N_2 2.giriş üyelik fonksiyon sayısı, $\mu_{A_1}^{i_1}(x_1)$ 1.giriş üyelik fonksiyonları, $\mu_{A_2}^{i_2}(x_2)$ 2.giriş üyelik fonksiyonları. $r(i)$, $i=1,2,\dots,k$ tekil çıkış üyelik fonksiyonları ve başlangıçta değerleri sıfırdır, bulanık mantık organize edici tarafından organize edilir.

4.3.2. Bulanık Mantık Organize Edici

Kontrol sisteminin amacı, sistemin herhangi bir başlangıç durumundan istenilen duruma getirmektir ve kontrol sistemin

karakteristiği sistemin parametre değişimlerinden etkilenmez olmasıdır. Öz-Organize sistemin çözümü de burada (4.14)' de $r(i)$, $i=1,2,\dots,n$ çıkış üyelik fonksiyonların organize etmektir ve başlangıçta sıfır değerinden başlayıp bulanık kural organize edici tarafından organize edilmektedir. Organize etme işlemi çıkışı bulanık kontrol kadar değiştirmektir ve bu bulanık mantık kontrolün kendisidir (bölüm 4.2.1).

Her bulanık kontrol kural için organize algoritması:

$$\Delta r_i(k) = \frac{\sum_{i=1}^M w(i) * r(i)}{\sum_{i=1}^M w(i)} \quad (4.17)$$

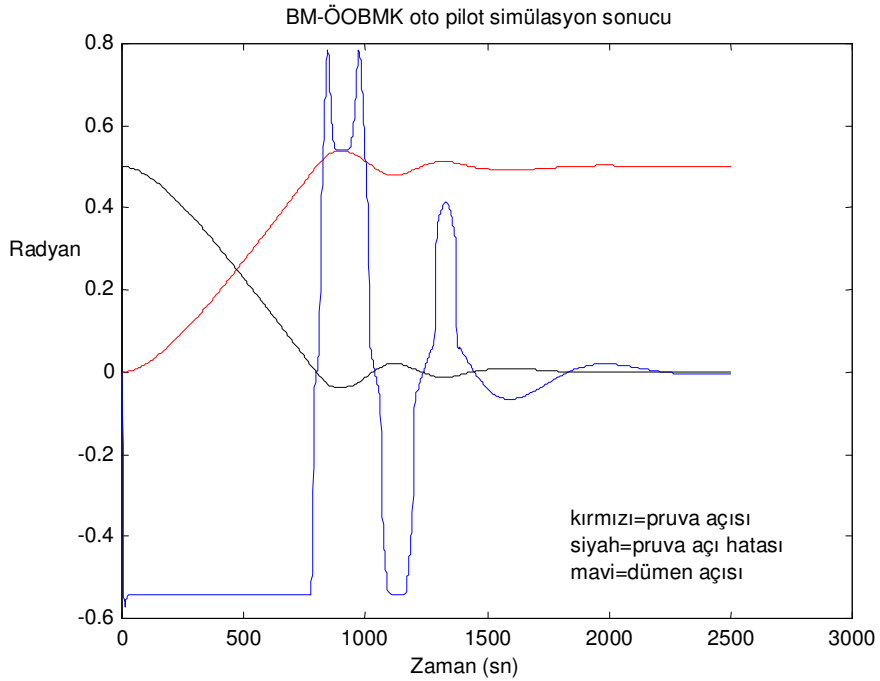
Δr_i organize değeri ve i'nci kontrol kuralına eklenecek.

$$\Delta r_i(k+1) = r_i(k) + \Delta r_i(k) / 3 \quad (4.18)$$

(4.17)'de organize değeri bulanık çıkarım o anki ateşlenen kural ile doğru orantılıdır.

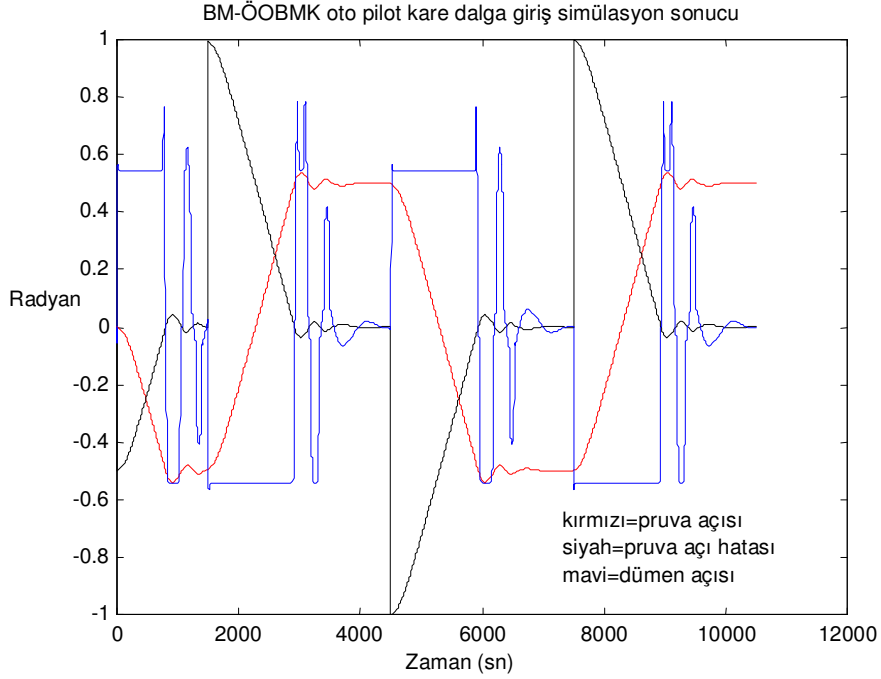
4.3.3. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonda Gemi, Ölü bölge, sınırlandırıcı ve dümen sistemi bölüm 4.1'de kullandığımız parametre değerlerinin aynısı alındı ve bulanık kontrol giriş-çıkış üyelik fonksiyonları BMK Oto pilot bölüm 4.2'deki değerler alındı.



Şekil 4-12 BM-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu

Şekil 4.12’de BM-ÖOBMK Oto pilotun gemiyi 0 radyan pruva açısından 0.5 radyan pruva açısına götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.



Şekil 4-13 BM-ÖOBMK oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyonu sonucu

Şekil 4-13’de BM-ÖOBMK oto pilotun gemiyi başlangıç pruva açısı 0 radyan açısından tepe değeri 0.5 ve -0.5 radyan kare dalga girişe götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.

4.4. Ters Gradyent Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol (TG-ÖOBMK)

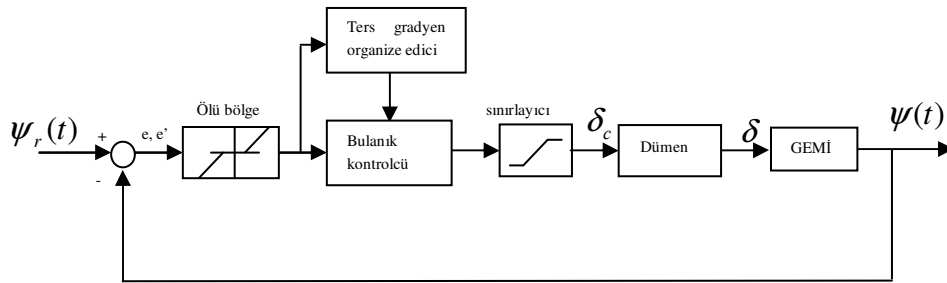
Bulanık oto pilot iki kontrol girişleri kullanır, bunlar: pruva açısı hatası:

$$e(t) = \psi_r(t) - \psi(t)$$

ve pruva açısı hata değişim hızı:

$$\dot{e}(t) = \frac{d(e(t))}{dt}$$

Kontrol aksiyonu oto pilot tarafından δ_c dümen açısı olarak üretilmekte (Tovornik, 1995). Burada $\psi_r(t)$ referans pruva açısı, $\psi(t)$ anlık pruva açısı. Dümen, gemi dümen sistemi ve bulanık kontrolcünün ürettiği δ_c dümen açısının gerçek δ dümen açısına çevirir.



Şekil 4-14 TG-ÖOBMK Oto pilot

Burada Ölü bölge, Sınırlandırıcı, Dümen, Gemi model ve değerleri bölüm 4.1’de sözü edilen şekilde kullnıldı.

4.4.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK)

Diyagramda bulanık kontrolcü, çıkışın bulanık kontrol kuralların kullanarak üretir. Kullandığı kuralların biçimi aşağıdaki gibi olur.

Kural1 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNB, then δ is r(1)

Kural2 : if e(t) is ENB and e'(t) is ERNM, then δ is r(2)

-

(4.19)

-

KuralM : if e(t) is EPB and e'(t) is ERPM, then δ is r(M)

M : kural sayısı.

Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı, merkez ortalama durulayıcı, kullanılarak tasarlanan bulanık kontrolcü durulanmış çıkışı δ merkez yerçekimi yöntemine göre aşağıdaki gibi yazılır.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^M w(i) * r(i)}{\sum_{i=1}^M w(i)} \quad (4.20)$$

$w(i)$ o andaki ateşlenen kural ve (4.21)'deki gibi yazılır.

$$w(i) = \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1}^{i_1}(x_1) * \mu_{A_2}^{i_2}(x_2)) \quad (4.21)$$

Burada N_1 1.giriş üyelik fonksiyon sayısı, N_2 2.giriş üyelik fonksiyon sayısı, $\mu_{A_1}^{i_1}(x_1)$ 1.giriş üyelik fonksiyonları, $\mu_{A_2}^{i_2}(x_2)$ 2.giriş üyelik fonksiyonları. $r(i)$, $i=1,2,\dots,k$ tekil çıkış üyelik fonksiyonları ve başlangıçta değerleri sıfırdır, ters gradyen organize edici tarafından ayarlanır.

4.4.2. Ters Gradyen Organize Edici

Kontrol sisteminin amacı, sistemin herhangi bir başlangıç durumundan istenilen duruma getirmektir ve kontrol sistemin

karakteristiği sistemin parametre değişimlerinden etkilenmez olmasıdır. Öz-Organize sistemin çözümü de burada (4.19)'da $r(i)$, $i=1,2,\dots,n$ çıkış üyelik fonksiyonların ayarlamaktır ve başlangıçta sıfır değerinden başlayıp bulanık kural organize edici tarafından organize edilmektedir. Organize etme işlemi çıkış üyelik fonksiyonun $r(i)$ 'yi $e(t)$ ve $e'(t)$ ile tanımlanan performans indeks I 'nin ters gradyeni kadar değiştirmektir ve performans indeks aşağıdaki gibi yazılır.

$$I = \sum_{k=1}^g \sqrt{e^2(k) + h[e^\bullet(k)]^2} \quad (4.22)$$

k zaman aralığı, g toplam zaman aralığı ve $h>0$ ağırlık faktörü. I 'nin $e(t)$ ve $e'(t)$ ye göre kısmi türevi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial I}{\partial e(k)} = \frac{e(k)}{\sqrt{e^2(k) + h[e^\bullet(k)]^2}} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial I}{\partial e^\bullet(k)} = \frac{he^\bullet(k)}{\sqrt{e^2(k) + h[e^\bullet(k)]^2}} \quad (4.24)$$

En iyi performans için ters gradyeni aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$-|\nabla I| = -\left\{ \left| \frac{e(k)}{\sqrt{e^2(k) + h[e^\bullet(k)]^2}} \right|, h \left| \frac{e^\bullet(k)}{\sqrt{e^2(k) + h[e^\bullet(k)]^2}} \right| \right\} \quad (4.25)$$

En iyi kontrole göre organize sinyali δu aşağıdaki gibi seçildi,

$$\delta u(k) = \eta(-|\nabla I|)[e(k), e^\bullet(k)] \quad (4.26)$$

η : öğrenme hızı ve pozitifdir. Her bulanık kontrol kural için organize algoritması:

$$\Delta r_i(k) = \delta u(k) \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.27)$$

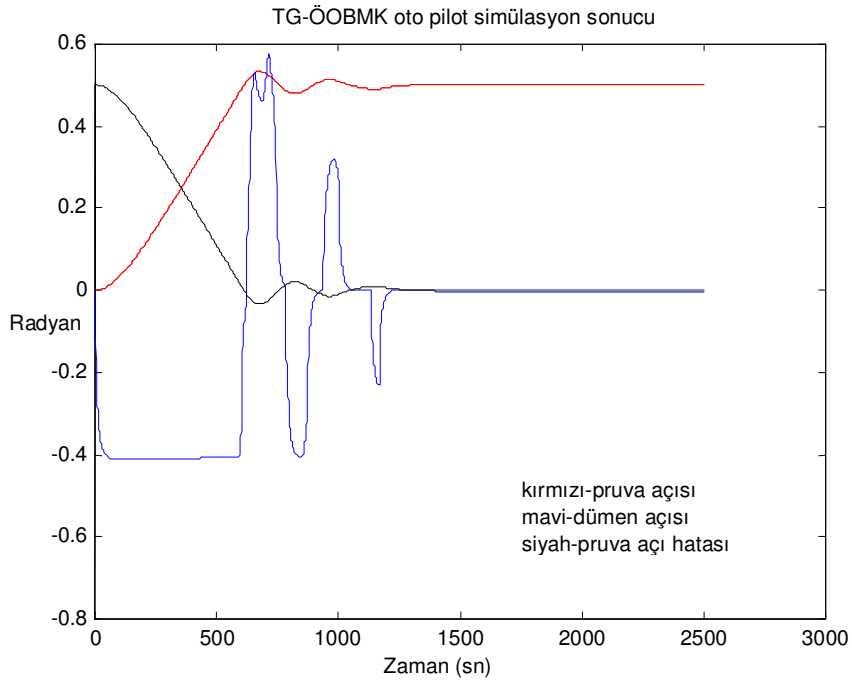
Δr_i organize değeri ve i 'nci kontrol kuralına eklenecek.

$$\Delta r_i(k+1) = r_i(k) + \Delta r_i(k) \quad (4.28)$$

(4.27)'de organize değeri bulanık çıkarımın o anki ateşlenen kuralı ile doğru orantılıdır.

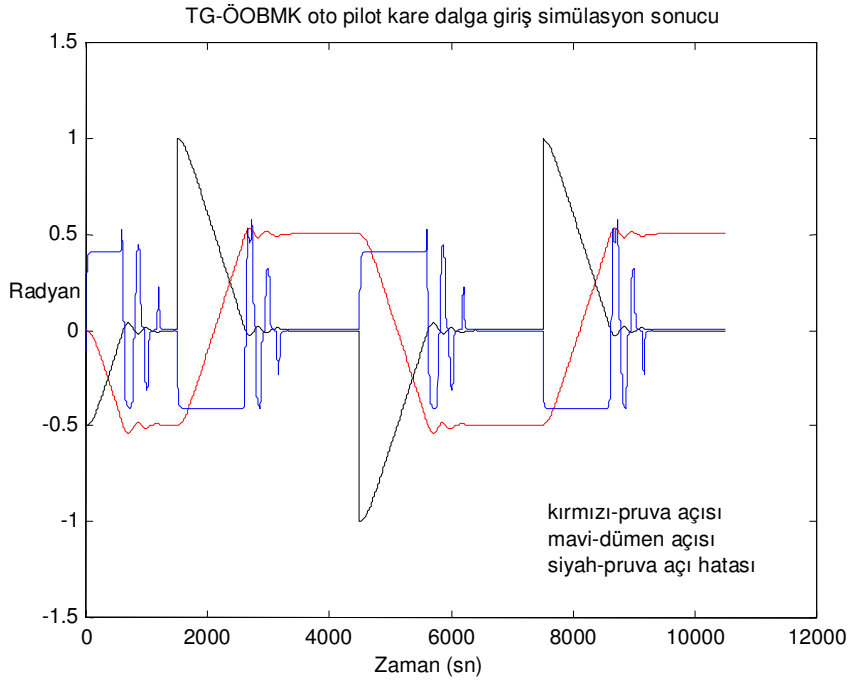
4.4.3. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonda Gemi, Ölü bölge, sınırlandırıcı ve dümen sistemi ve parametre değerleri bölüm 4.1'de kullandığımız değerlerin aynısı alındı ve bulanık kontrol giriş-çıkış üyelik fonksiyonları BMK Oto pilot bölüm 4.2'deki değerler alındı.



Şekil 4-15 TG-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu

Şekil 4.15’de TG-ÖOBMK Oto pilotun gemiyi 0 radyan pruva açısından 0.5 radyan pruva açısına götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.

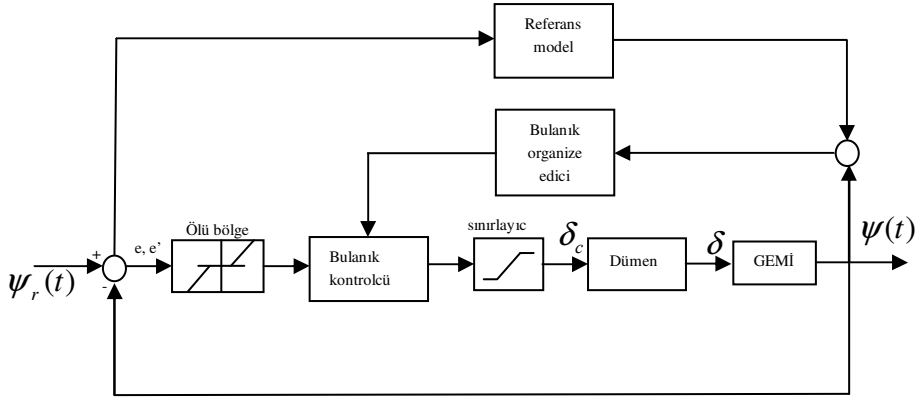


Şekil 4-16 TG-ÖOBMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu

Şekil 4-16’de TG-ÖOBMK Oto pilotun gemiyi başlangıç pruva açısı 0 radyan açısından tepe değeri 0.5 ve -0.5 radyan kare dalga girişe götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açı hatası zamana göre anlık

değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.

4.5. Referans Model Öz-Organize Bulanık Mantık Kontrol Oto pilot (RM-ÖOBMK)



Şekil 4-17 TG-ÖOBMK Oto pilot

Oto pilot tasarımında bulanık kontrol kullanılarak gerçekleştirmek deneylerle kazanılmış bilgi veya gemi kullanımında çok deneyimli kaptan bilgilerine ihtiyaç duyulur. Bu tip deneyim sahibi birisi olmadığı zaman bulanık kontrolün kurallarını yazmak zor ve zaman alıcı olur. Bulanık oto pilotun bu tip zorluklarından kaçınmak için RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot ortaya konuldu. Bu kontrol yönteminde bulanık kuralları üreten ve organize edebilen öğrenme algoritması kullanılır. RM-ÖOBMK’da iki adet bulanık kontrolcü kullanılır, biri normal bulanık kontrolcü ikincisi organize edici bulanık kontrolcü. RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot blok diyagramını Şekil 4-17’de gösterildiği gibi açıklayabiliriz.

Bulanık oto pilot iki kontrol girişleri kullanır, bunlar:

pruva açısı hatası:

$$e(t) = \psi_r(t) - \psi(t)$$

ve pruva açısı hata değişim hızı:

$$\dot{e}(t) = \frac{d(e(t))}{dt}$$

Kontrol aksiyonu oto pilot tarafından δ_c dümen açısı olarak üretilmekte (Tovornik, 1995). Burada $\psi_r(t)$ referans pruva açısı, $\psi(t)$ anlık pruva açısı. Dümen, gemi dümen sistemi ve bulanık kontrolcünün ürettiği δ_c dümen açısının gerçek δ dümen açısına çevirir.

4.5.1. Bulanık Mantık Kontrol (BMK)

Diyagramda bulanık kontrolcü, çıkışın bulanık kontrol kurallarının kullanarak üretir. Kullandığı kuralların biçimi aşağıdaki gibi olur.

Kural1 : if $e(t)$ is ENB and $\dot{e}(t)$ is ERNB, then δ is $r(1)$

Kural2 : if $e(t)$ is ENB and $\dot{e}(t)$ is ERNM, then δ is $r(2)$

.

.

(4.29)

KuralM : if $e(t)$ is EPB and $\dot{e}(t)$ is ERPM, then δ is $r(M)$

M: kural sayısı, çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı, merkez ortalama durulayıcı, kullanılarak tasarlanan bulanık kontrolcü çıkışı δ aşağıdaki gibi yazılır.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^M w(i) * r(i)}{\sum_{i=1}^M w(i)} \quad (4.30)$$

$w(i)$ o andaki ateşlenen kural ve

$$w(i) = \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} (\mu_{A_1}^{i_1}(x_1) * \mu_{A_2}^{i_2}(x_2)) \quad (4.31)$$

Burada N_1 : 1.giriş üyelik fonksiyon sayısı, N_2 : 2.giriş üyelik fonksiyon sayısı, A_1i : 1.giriş üyelik fonksiyonları, A_2i : 2.giriş üyelik fonksiyonları.

4.5.2. Öz-Organize Algoritması

Bulanık organize edici bir bulanık sistemdir ve iki girişli bir çıkışlıdır. Girişleri, anlık pruvaya açısı ile referans bölümün çıkış açısı arasındaki farkı ve farkının değişim hızıdır (em, e'm). Organize edici kurallarının biçimi aşağıdaki gibi olacak.

Kuralm1 : if em(t) is MENB and em'(t) is MERNB, then δ_m is p(1)

Kuralm2 : if em(t) is MENB and em'(t) is MERNM, then δ_m is p(2)

.

.

Kuralm n : if em(t) is MEPB and em'(t) is MERPM, then δ_m is p(n)

$p(j)$, $j=1, 2, \dots, n$, tekil üyelik fonksiyonlardır ve organize edici bulanık bölümünün çıkışı olarak tanımlı. Bu bulanık organize edici, (4.30)'daki gibi çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı, merkez ortalama durulayıcı, ile oluşan bulanık sistem ve verilen (4.30) gibi olur. Çıkışı δ_m ' dir.

(4.29)' daki kuralları organize etmek için önce $\Delta r(i)$ organize kredi değer belirlenmeli. Referansa göre bu organize kredi değer her zaman kendi ateşlenen kuralı ile orantılı olmalıdır. Bu öz-organize edici algoritması aşağıdaki gibi yazılır.

$$\Delta r(i) = \delta_m * \frac{w(i)}{\sum_{j=1}^n w(i)}$$

$$r(i) = r(i) + \Delta r(i) \quad (4.32)$$

formülün anlamı da her organize kredi değeri kendisinin ateşlenen kuralı ile orantılıdır.

4.5.3. Referans Model

Referans modelini, modelin aktarım fonksiyonunun kutup-sıfır analizine ve gemi model fonksiyon derecesine göre seçtik. Seçtiğimiz referans modelin kutup-sıfırına göre analizin aşağıdaki gibi göstermek mümkün. Seçilen referans modelin aktarım fonksiyonu,

$$\frac{\psi_m}{\psi_r} = \frac{0.0025}{s^2 + 0.06s + 0.0025} \quad (4.33)$$

bu fonksiyonun sönümlü oran, kutup ve sönümsüz doğal sıklığı aşağıdaki gibi,

kutupları: $s_1 = -0.0300 + 0.0400i$;

$s_2 = -0.0300 - 0.0400i$;

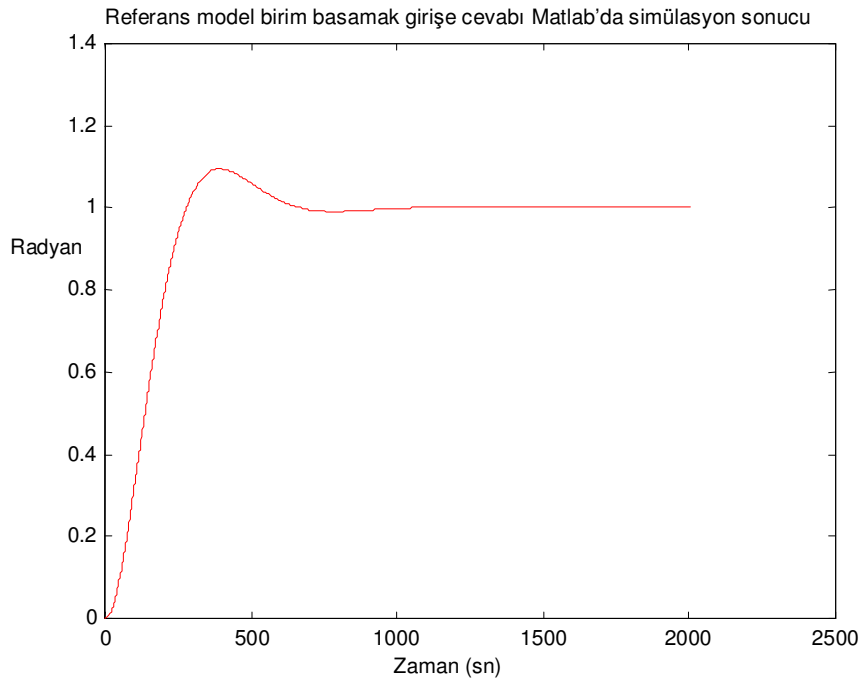
sönümlü oran:

$$\zeta = 0.6 < 1$$

sönümsüz doğal sıklığı :

$$\omega_n = 0.05$$

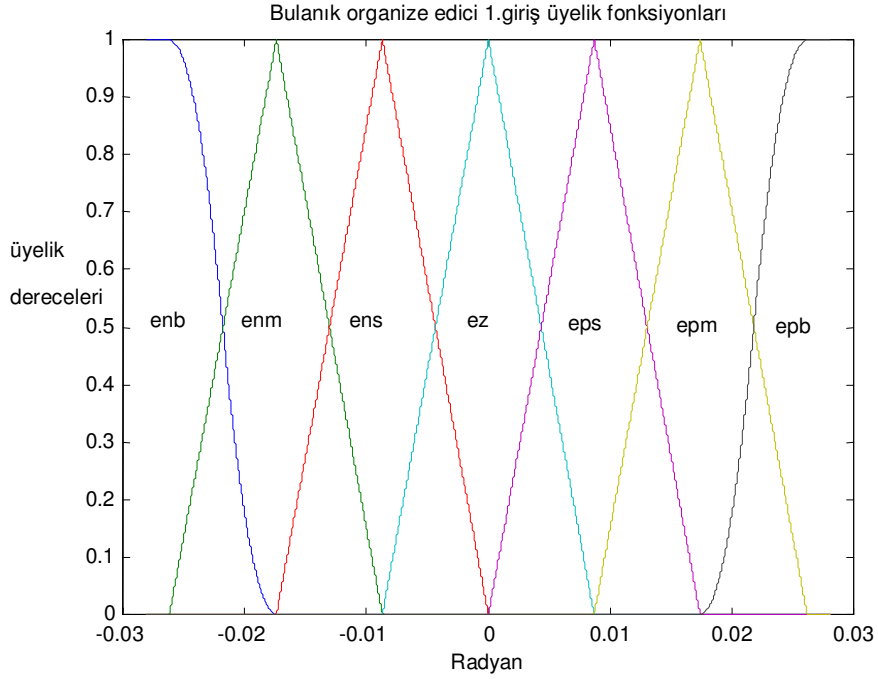
Bu referans model aktarım fonksiyonu MATLAB’da Runge-Kutta-Nyström yöntemi ile sayısal olarak çözüldü. Çözümü Şekil 4-18’deki gibi olur.



Şekil 4-18 MR-ÖOBMK Oto pilot Referans modelinin birim basamak girişe cevabı
Matlab'da simülasyonu

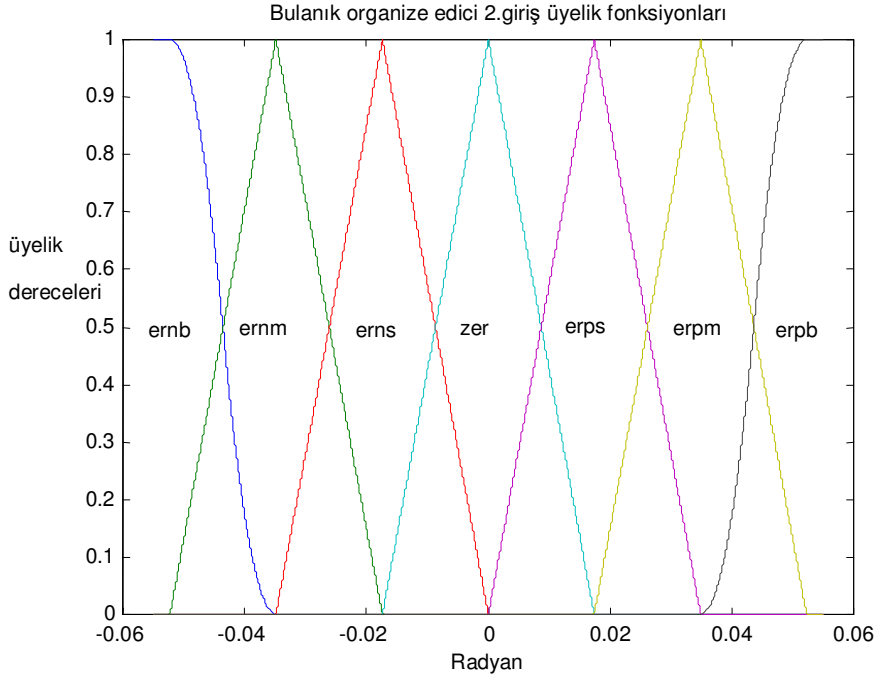
4.5.4. Simülasyon Sonuçları

Burada Bulanık Kontrolcü giriş üyelik fonksiyonları ve çıkış üyelik fonksiyonları Matlab'da simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' deki gibidir.



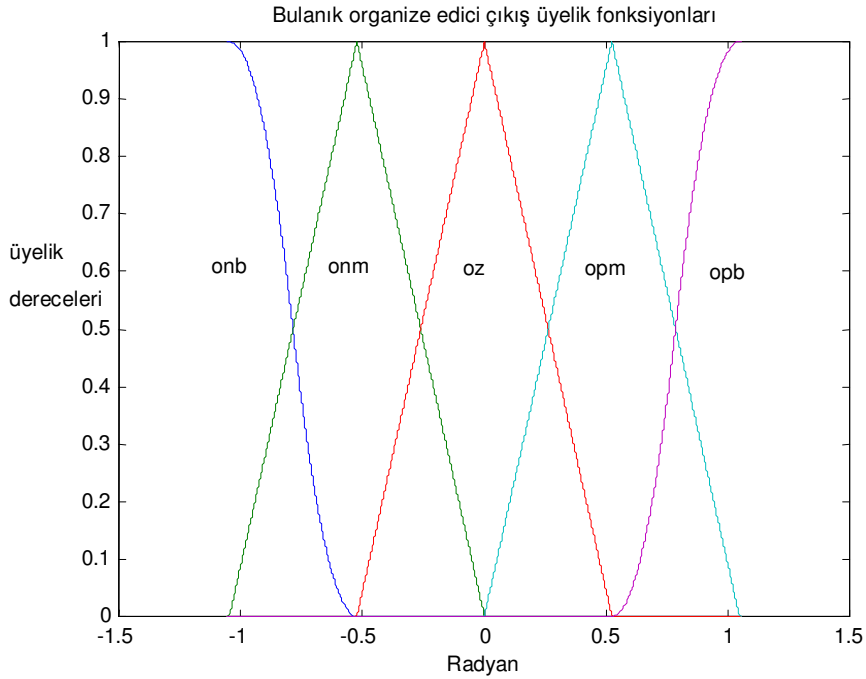
Şekil 4-19 Bulanık organize edici 1.giriş pruva açısı hatası üyelik fonksiyonları

Şekil 4-19 RM-ÖOBMK Oto pilot organize edici birinci giriş üyelik fonksiyonlarının Matlab'da çizdirilimidir. Burada enb-negatif büyük hata, enm- negatif orta hata, ens- negatif küçük hata, ez-sıfır hata, ept-pozitif büyük hata, epm-pozitif orta hata, eps-pozitif küçük hata olarak düşünüldü.



Şekil 4-20 Bulanık organize edici 2.giriş pruva aç hataşı değışim hızı üyelik fonksiyonları

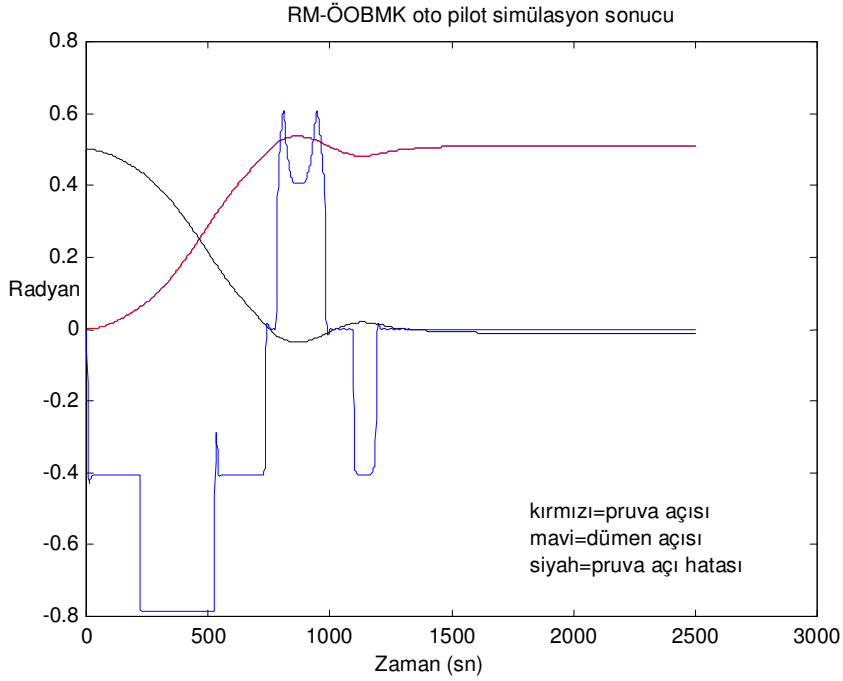
Şekil 4-20 RM-ÖOBMK Oto pilot organize edici ikinci giriş üyelik fonksiyonlarının Matlabda'da çizdirilimidir. Burada ernb-negatif büyük hata değışimi, ernm- negatif orta hata değışimi, erns- negatif küçük hata değışimi, ze-sıfır hata değüşimi, erpb-pozitif büyük hata değışimi, erpm-pozitif orta hata değışimi, erps-pozitif küçük hata değışimi olarak düşünöldü.



Şekil 4-21 Bulanık orgnize edici çıkış üyelik fonksiyonları

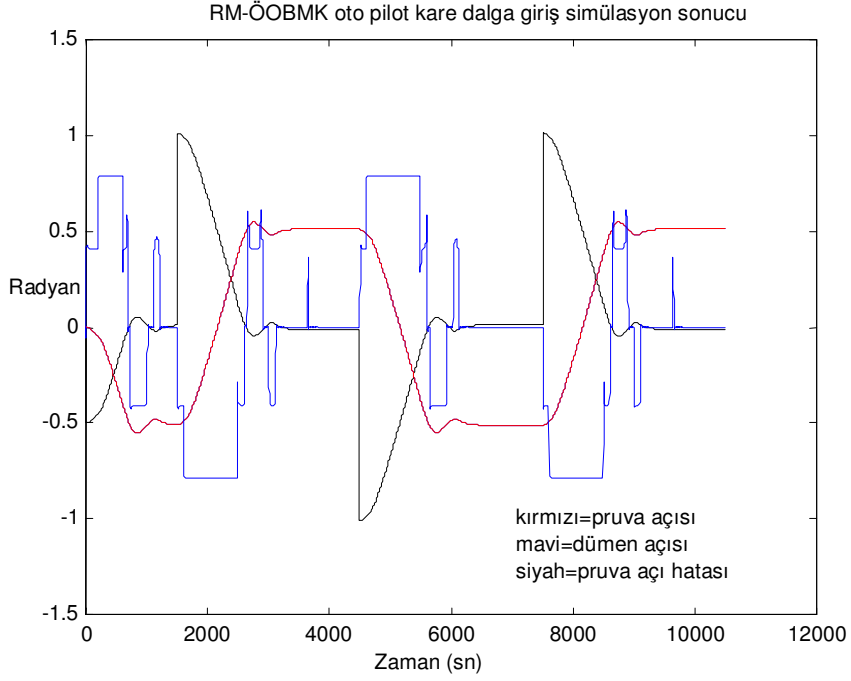
Şekil 4-21 RM-ÖOBMK Oto pilotun organize edici çıkış üyelik fonksiyonlarının Matlab’da çizdirilimidir. Burada onb-negatif büyük çıkış, onm- negatif orta çıkış, oz-sıfır çıkış, opb-pozitif büyük çıkış, opm-pozitif orta çıkış olarak düşünüldü.

Simülasyonda Gemi, Ölü bölge, sınırlandırıcı ve dümen sistemi bölüm 4.1’de kullandığımız parametre değerleri aynısı alındı.



Şekil 4-22 RM-ÖOBMK Oto pilot simülasyon sonucu

Şekil 4-22'de RM-ÖOBMK Oto pilotun gemiyi 0 radyan pruva açısından 0.5 radyan pruva açısına götürmesi Matlab'da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.



Şekil 4-23 RM-ÖOBMK Oto pilot kare dalga giriş cevabı Matlab’da simülasyon sonucu

Şekil 4-23’de RM-ÖOBMK Oto pilotun gemiyi başlangıç pruva açısı 0 radyan açısından tepe değeri 0.5 ve -0.5 radyan kare dalga girişe götürmesi Matlab’da simüle edildi. Burada pruva açısının zamana göre anlık değişimi kırmızı renkte, pruva açısı hatası zamana göre anlık değişimi siyah renkte ve dümen açısının zamana göre anlık değişimi mavi renkte gösterildi.

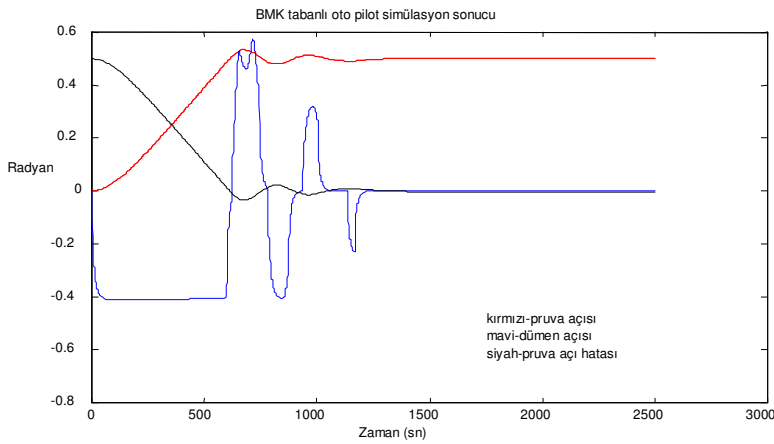
4.6. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Gemi oto pilot simülasyonu için yukarıda dört yöntemden bahsedildi BMK, BM-ÖOBMK, TG-ÖOBMK ve RM-ÖOBMK. Gemi dinamiğinin daha gerçeğe yakın olabilmesi için bölüm 4.1’de verilen gemi doğrusal olmayan modeli ve Şekil 4-3’de verilen dümen sistemi kullanıldı. Dümenin kargo gemilerinde istenildiği gibi +75 derece ve -75 derece arasında hareket ettiğini düşünerek sınırlandırıcı kullanıldı ve elektronik pusulanın çok küçük dereceleri için dümenin oynatılmaması için ölü bölge düşünüldü (bu daha çok elektronik pusula duyarlılığı ile ilgili). Sonuçları karşılaştırmada daha doğru inceleyebilmek için bu dört oto pilot sisteminin bulanık mantık kontrolcü bölümü her şeyi ile aynı alındı (giriş üyelik fonksiyonları, kuralları ve çıkışı). Şekil 4-24, 4-25, 4-26 ve 4-27 de görüldüğü gibi dört yöntemde de aynı, gemi pruvasını 0.5 radyan referans açı değerine götürüldü veya gemiyi ‘0’ radyandan 0.5 radyana götürüldü .

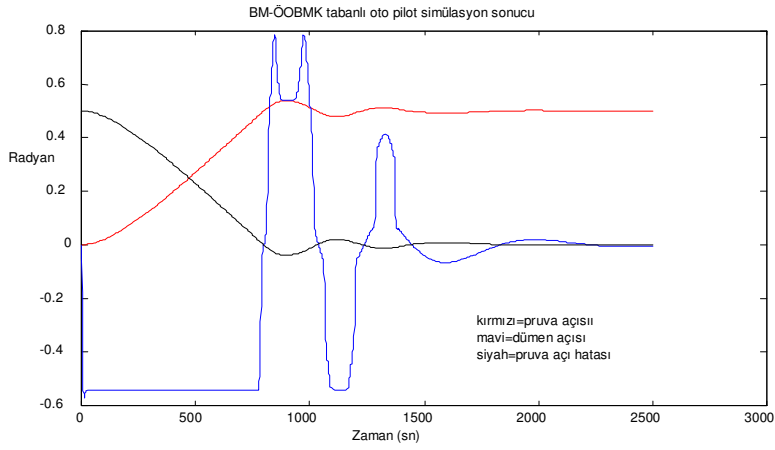
Şekil 4-24, Şekil 4-25, Şekil 4-26 ve Şekil 4-27’de sırası ile BMK tabanlı oto pilot, BM-ÖOBMK tabanlı oto pilot, TG-ÖOBMK tabanlı oto pilot ve RM-ÖOBMK oto pilot simülasyon sonuçları verildi. Bu şekillerde gemi pruva açısı çıkışı kırmızı renkte, referans açı ile pruva açısı arasında hata çıkışı siyah renkte ve dümen sisteminin hareket açısı çıkışı mavi renkte çizdirildi. BMK tabanlı oto pilot, BM-ÖOBMK tabanlı oto pilot ve TG-ÖOBMK oto pilot sonuçları Şekil 4-24, Şekil 4-25 ve Şekil 4-26’da görüldüğü gibi aynı sonuçlansa da çizelge 4.1’de hataların karelerinin toplamı analizinde TG-ÖOBMK tabanlı oto pilot BMK tabanlı oto pilota göre daha iyi ve BM-ÖOBMK tabanlı oto pilot bu iki yönteme göre daha iyi kontrol etmekte. Burada dümen sistemi yok iken TG-ÖOBMK tabanlı oto pilot çıkışı BMK tabanlı oto pilota göre daha iyi ve BM-ÖOBMK tabanlı oto pilot TG-ÖOBMK tabanlı oto pilota göre daha iyi sonuç vermişti fakat dümen sistemi modeli var iken alınan sonuçlarda gözüküyor ki üç yöntem arasında fark büyük oranda

kalmamıştır. Nedeni de burada TG-ÖOBMK tabanlı otopilot pruva açısı hatası ve pruva açısı değişim hızının (I) performans dizininin ters gradyeni kadar Bulanık kontrolcü çıkışına eklemesi idi ve buradan diyebiliriz ki açısı hata ve açısı hatası değişim hızı küçük olduğu durumlarda oto pilot BMK tabanlı oto pilot gibi davranır. Diğer taraftan hata ve hata hızının çok büyük olduğu durumlarda BMK tabanlı oto pilotun çıkışına büyük değerde etki etmekte ama çıkışta dümen sistemi olduğundan dolayı anlık büyük girişlerin çok büyük etkisi olmayacağını anlayabiliriz.

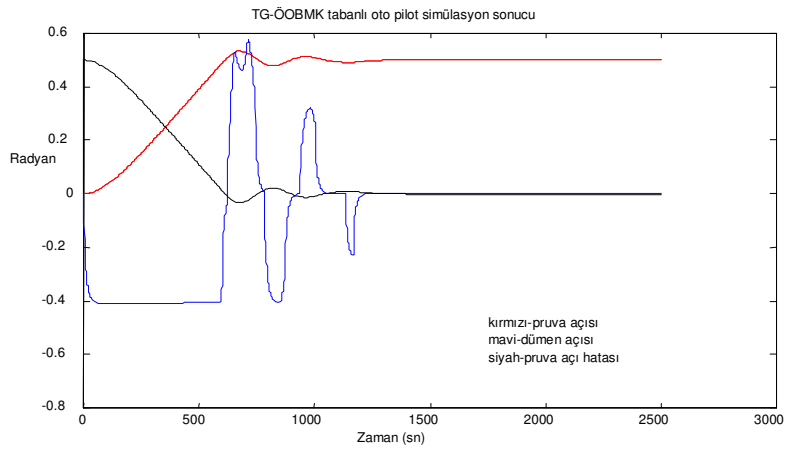
Şekil 4-27’de RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot çıkışı çizdirilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi RM-ÖOBMK kontrolcünün diğer kontrol yöntemleri ile gerçekleştirilen oto pilotlardan hem pruva açısı çıkışı hem de dümen çıkışında daha avantajlı olduğu görülmektedir. Amacımız gemiyi istenilen yöne en kısa zamanda götürmek ve dümeni daha az oynatmaktır, (dümenin az oynaması enerji tasarrufu ve dümen ömrü ile ilgilidir). Burada RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot ile gemiyi istenilen açısına diğer üç yöntemle göre bir salınım daha az sallanarak götürüldü, dümen oynatma tarafından bakılırsa daha az oynatarak daha hızlı götürüldüğü de gözükmemektedir. Uzun yolculuk yapan kargo gemilerinde dümen ömrü önemlidir.



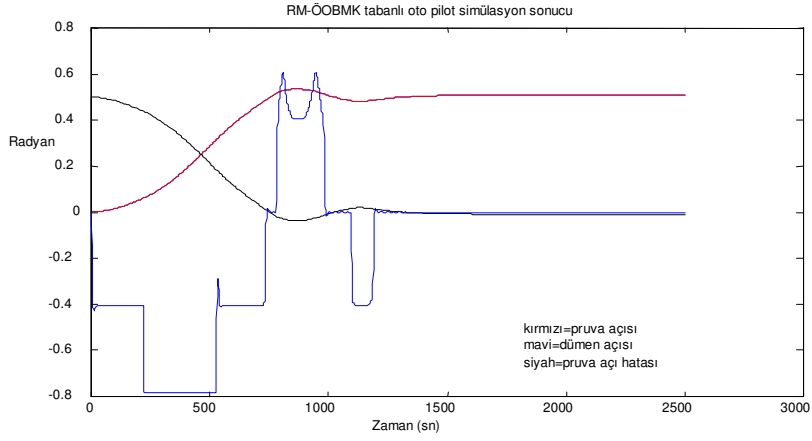
Şekil 4-24 BMK tabanlı oto pilot simülasyon sonucu



Şekil 4-25 BM-ÖOBMK oto pilot simülasyon sonucu



Şekil 4-26 TG-ÖOBMK tabanlı oto pilot simülasyon sonucu



Şekil 4-27 RM-ÖOBMK oto pilot simülasyon sonucu

Çizelge 4.1 Yöntemlerin hatalarının karelerinin toplamı ile karşılaştırılması.

	BMK Oto pilot	BM-ÖOBMK Oto pilot	TG-ÖOBMK Oto pilot	RM-ÖOBMK Oto pilot
$E = \frac{1}{2} \sum e^2$	52.98	42.59	42.64	41.85
$E = \frac{1}{2} \sum \delta^2$	174.39	182.17	112.09	110.33

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot, BMK tabanlı oto pilot, BM-ÖOBMK tabanlı oto pilot ve TG-ÖOBMK tabanlı oto pilotları sunuldu. Sunulan bu Gemi Oto pilotları Matlab yazılımı kullanılarak karşılaştırıldı. Simülasyonda daha gerçeğe yakın olabilmesi için cayropusula duyarlılığı olarak ölü bölge, dümen sistemi ve sınırlandırıcı modelleri kullanıldı. Bulanık mantık giriş-çıkış üyelik fonksiyonları olarak üçgen fonksiyolar alındı. En iyi performanslı oto pilot belirlendi.

Simülasyon sonuçları gösteriyorki RM-ÖOBMK oto pilot hem hedefe hızlı götürmede hemde dümeni az sallamada daha iyi performans sağladı. Burada hedefe hızlı götürmeyi enerji tasarrufu, dümeni az sallamasını da gemi dümen sistemi ömrü olarak yorumlayabiliriz.

6. TARTIŞMA

Gemi oto pilot tasarımında yeni RM-ÖOBMK tabanlı oto pilot ortaya konuldu. Yeni oto pilotun sağladığı avantajlar BMK, BM-ÖOBMK ve TG-ÖOBMK yöntemleri ile gerçekleştirilen oto pilotlarla karşılaştırıldı, dümen tutma ve dümen değiştirmede daha iyi olduğu MATLAB’da simülasyon sonucu gösterildi.

Bununla birlikte bu çalışma etkili gemi oto pilot tasarımı çalışmasında başlangıç bir adım olarak alınabilir.

RM-ÖOBMK tabanlı oto pilotun pratikte kullanmadan önce bazı sorunların çözülmesi gereklidir, bu sorunları bazıları: bu oto pilot için en uygun giriş üyelik fonksiyonların biçimleri nasıldır, bulunan bu giriş-çıkış üyelik fonksiyonları için en uygun kurallar nelerdir veya tecrübeli bir kaptan bilgisi kullanılmalı ve kontrol işareti olan dümen çıkışının verilen limitler içerisinde kalıp kalmadığının incelenmesi gerekir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Alcı, M., Karatepe, E. 2002, Bulanık Mantık ve MATLAB Uygulamaları, İzmir, Türkiye.

Riza, C. Berkan and Sheldon, L. Trubatch. Bulanık Systems Design Principles
Building Bulanık IF-THEN Rule Bases. IEEE PRESS, 1997.

T, Takagi and M, Sugeno. Derivation of bulanık control rules for human operator's control actions. In Proc. IFAC Symposium on Bulanık Information, Knowledge Representation and Decision Analysis, pages 55{60, Marseille, 1983.

L, A, Zadeh. Bulanık set. Information and Control, Vol. 8(3):338{353, June 1965.

Timothy, J. Ross. Bulanık Logic With Çıkarımering Applications. International edition, 1995.

S, K, Pal and S, Mitra. Multilayer perceptron, bulanık sets, and classi_cation. IEEE Trans. Neural Networks, 3:683{697, 1992.

J, M, Mendel. Bulanık logic systems for çıkarımering: A tutorial. Proceedings of the IEEE, Vol. 83(3):pp. 345{377, March 1995.

H, J, Zimmermann. Bulanık Set Theory and its Applications. Kluwer Academy, 1985.

S, Guo and L, Peter. A recon_gurable analog bulanık logic controller. IEEE World congress on computational intelligence. Proceeding of the Third IEEE conference on, Vol. 1:pp. 124{128, June 1994.

KAYNAKLAR (DEVAM)

K, Hirota. Industrial Applications of Bulanık Technology. Tokyo, 1993.

Earl, Cox. The Bulanık Systems Handbook. McGraw-Hill, Inc, July 1994.

Li-Xin, Wang. A Course in Bulanık Systems and Control, 1994.

H, Saadat. 1993, Computational Aids in Control Systems Using MATLAB.

B, C, Kuo. 1999, Automatic Control Systems.

E, Kreyszig. 1998, Advanced Çıkarımering Mathematics, six edition, Ohio.

Chin-Min, Lin. Chun-Fei, Hsu. Yi-Jen, Mon. Self-Organizing Bulanık Learning Guidance Law Design. IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System. Vol. 39, No. 4 October 2003.

Li, H. X., and Gatland, H. B. (1995) A new Methodology for Designing a Bulanık Logic Controller. IEEE Transactions on , Man, and Cybernetics, 25, 3 (1995), 505-512.

J, Velagic. Z, Vukic. E, Omerdic. Adaptive Bulanık Ship Autopilot for Track-Keeping. Control Çıkarımering Practice 11 (2003) 433-443.

Chin-Min, Lin. Jiann-Hwa, Maa. Self-Organizing Bulanık Logic Controller. J. Guidance, Vol. 20, No. 1: Çıkarımering Notes.

R, L, Jeffery. K, M, Passino. Bulanık Model Reference Learning Control for Cargo Ship Steering. IEEE Control Systems, December 1993, 23-34.

W, K, Schroeder. K, Liu. An Appropriate Application of Bulanık Logic: A Missile Autopilot for Dual Control Implementation. 1994 IEEE

International Symposium on Intelligent Control. 16-15 August, 1994.
Ohio, USA.

KAYNAKLAR (DEVAM)

Minh-Duc, Le. A New and Effective Bulanık PID Autopilot For Ships. IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation July 16-20, 2003, Kobe, Japan.

G, N, Roberts. R, Sutton. A, Zirilli. A, Tiano. Intelligent Ship Autopilots – A Historical Perspective. Mechatronics 13 (2003) 1091-1103.

A, A, Bennet. A History of Control Çıkarımering. 1800-1930, Peter Peregrinus Ltd; 1997.

T. A. Allensworth. A Short History of Sperry Marine, 1999. P. 1-16.

M, N, Polkingghorne. R, S, Burns. G, N, Roberts. Opeorannal Performance of An Initial Design of Self-Organizing Bulanık Logic Autopilot. UKACC International Conference on Control 2-5 September, 1996.

M, N, Polkingghorne. R, S, Burns. G, N, Roberts. The Implementation of A Bulanık Logic Marine Autopilot. Control 96, 21-24 March 1996. Univercity of Plymouth, U. K.

T, J, Ren. T, C, Chen. A Robust Model Reference Bulanık Control for Nonlinear Systems. IEEE International Conference on Control Applications, Taiwan, September 2-4 2004.

T, Lee. Y, Cao. Yen-mi Linı., The Applications of a Time-Domain Bulanık Logic Controller for Dynamic Positioning of Floating Structures. Tamkang Journal of Science and Çıkarımering, Vol. 5, No. 3, pp. 137-150 (2002).

Jose Joaquin De Jesus Lopez. Master of Science in Electrical Engineering Univercity of Puerto Rico, MAYAGÜEZ (2004) .

EKLER

Aşağıda bu tezde yapılan simülasyon çalışmaları için yazılan Matlab programlarının kaynak kodları verilmiştir.

A1. BULANIK MANTIK KONTROL OTO PİLOT

```

clear all
z=0;
hedef=0.5;      % " Gimek istenen açı "
v=0;            % " açı hata değişim hızı "
cikis=[];       % " çıkış-pruva açısı "
error=[];       % " açı hatası " error=hedef aci-anlik
aci
error(1)=v;
er=[];
rud=[];
% gemi modeli değişkenleri
j=0.12;
ylun=[];
yn=[];
ylun(2)=0;
yn(2)=0;
x=hedef-yn(2)
% dümen sistemi değişkenleri
nn=0.12;
b11un=[];
bnn=[];
b11un(2)=0;
bnn(2)=0;
% kare dalga generatörü
for h=2:1:10500;
    if h<10500
        hedef=0.5;
    end
end

```

```

    if h<7500
        hedef=-0.5;
    end
    if h<4500
        hedef=0.5;
    end
    if h<1500
        hedef=-0.5;
    end
% dead zone
    xabs=abs(x); % absolute value of (x)
    if xabs<0.01
        x=0;
    end
    vabs=abs(v); % absolute value of (v)
    if vabs<3
        v=0;
    end
% pruva aç ı hatası üyelik fonksiyonları
    enb=zmf(x,[-0.0349 -0.0262]);
    enm=trimf(x,[-0.0349 -0.0262 -0.0174]);
    ens=trimf(x,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);
    ent=trimf(x,[-0.0174 -0.0087 0]);
    ze =trimf(x,[-0.0087 0 0.0087 ]);
    ept=trimf(x,[0 0.0087 0.0174]);
    eps=trimf(x,[0.0087 0.0174 0.0262]);
    epm=trimf(x,[0.0174 0.0262 0.0349]);
    epb=smf(x,[0.0262 0.0349]);
    ml=[enb enm ens ent ze ept eps epm epb];
% pruva aç ı hata değ işim hız ı üyelik fonksiyonları
    ernb=zmf(v,[-0.0698 -0.0523]);
    ernm=trimf(v,[-0.0698 -0.0523 -0.0349]);
    erns=trimf(v,[-0.0523 -0.0349 -0.0174]);

```

```

ernt=trimf(v,[-0.0349 -0.0174 0]);
zer =trimf(v,[-0.0174 0 0.0174]);
erpt=trimf(v,[0 0.0174 0.0349]);
erps=trimf(v,[0.0174 0.0349 0.0523]);
erpm=trimf(v,[0.0349 0.0523 0.0698]);
erpb=smf(v,[0.0523 0.0698]);
m11=[ernb ernm erns ernt zer erpt erps erpm erpb];

% çıkış üyelik fonksiyonları
onb=zmf(z,[-1.4137 -0.9425]);
onm=trimf(z,[-1.4137 -0.9425 -0.4712]);
ons=trimf(z,[-0.9425 -0.4712 0]);
oz =trimf(z,[-0.4712 0 0.4712]);
ops=trimf(z,[0 0.4712 0.9425]);
opm=trimf(z,[0.4712 0.9425 1.4137]);
opb=smf(z,[0.9425 1.4137]);

% çıkış üyelik fonksiyonlarının merkezleri
opb=0.6109; opm=0.4072; ops=0.2036; oz=0; ons=-0.2036;
onm=-0.4072; onb=-0.6109;%opb=1.4137; opm=0.9425;
ops=0.4712; oz=0; ons=-0.4712; onm=-0.9425; onb=-1.4137;

%yazılan kurala göre çıkış üyelik fonksiyonlarının
yerleşimi
yu=[opb opb opm opm opm opm opm ops ops opb opb opm
opm opb opm opm ops ops opb opm opm opm opm opm ops ops ops
opm opm ops ops ops ops ops ops ops ops opm opm ops oz oz oz
ons onm onm ons ons ons ons ons ons ons onm onm ons ons ons
onm onm ons onm onm onm ons ons onm onm onm onm onm onb onb
ons ons onm onm onm onm onb onb onb];

% Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı,
merkez ortalama durulayıcı bulanık kontrolcü
top1=0;n=1;
for i=1:1:9
    k=1;
    while k<=9
        top1=top1+(yu(n).*m1(i).*m11(k));
        n=n+1;k=k+1;
    end
end

```

```

        end
    end
    top2=0;
    for i=1:1:9
        k=1;
        while k<=9
            top2=top2+(m1(i).*m11(k));
            k=k+1;
        end
    end
    d=[top1/top2];
    f=d;

    % Runge-Kutta-Nystrom yontemi ile dümen sistemi
    kk1=1/2*nn*(-5*b11un(h))-(4*bnn(h))+(4*f);
    kk2=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk1)-4*(bnn(h)+kk1)+4*f);
    kk3=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk2)-4*(bnn(h)+kk2)+4*f);
    kk4=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+2*kk3)-4*(bnn(h)+2*kk3)+4*f);
    bnn(h+1)=bnn(h)+nn*(b11un(h)+1/3*(kk1+kk2+kk3));
    b11un(h+1)=b11un(h)+1/3*(kk1+2*kk2+2*kk3+kk4);

    % sınırlandırıcı
    if bnn(h)<0
        negbnn=bnn(h);
    else
        negbnn=0;
    end

    if bnn(h)>0
        pozbnn=bnn(h);
    else
        pozbnn=0;
    end

    if negbnn<-0.785
        bnn(h)=-0.785;

```

```

else
    bnn(h)=bnn(h);
end
if pozbnn>0.785
    bnn(h)=0.785;
else
    bnn(h)=bnn(h);
end
% Gemi modeli (tustin yöntemi ile)
k1=1/2*j*(-0.055*y1un(h)^3-0.055*y1un(h)-
0.00066*bnn(h));
k2=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k1)^3-0.055*(y1un(h)+k1)-
0.00066*bnn(h));
k3=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k2)^3-0.055*(y1un(h)+k2)-
0.00066*bnn(h));
k4=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+2*k3)^3-
0.055*(y1un(h)+2*k3)-0.00066*bnn(h));
yn(h+1)=yn(h)+j*(y1un(h)+1/3*(k1+k2+k3));
y1un(h+1)=y1un(h)+1/3*(k1+2*k2+2*k3+k4);
%
error(h)=hedef-yn(h);
cikis(h)=yn(h);
x=error(h);
v=(error(h)-error(h-1))/j;
er(h)=v;
end
plot(cikis,'r'); plot(bnn,'b'); plot(error,'k')

```

A2. BULANIK MANTIK ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK KONTROL OTO PİLOT

```

clear all
z=0;
hedef=0.5;      % " Gimek istenen açı "
v=0;            % " açı hata değişim hızı "
cikis=[];       % " çıkış-pruva açısı "
error=[];       % " açı hatası " error=hedef aci-anlik
aci
error(1)=v;
er=[];
rud=[];
% gemi modeli değişkenleri
j=0.12;
ylun=[];
yn=[];
ylun(2)=0;
yn(2)=0;
x=hedef-yn(2)
% modife edici değişkenleri
mat=[];
mat1=[];
delr=0;
mat(2)=0; mat1(2)=0;
% dümen sistemi değişkenleri
nn=0.12;
b1lun=[];
bnn=[];
b1lun(2)=0;
bnn(2)=0;
% kare dalga generatörü
for h=2:1:10500;
    if h<10500

```

```

        hedef=0.5;
    end
    if h<7500
        hedef=-0.5;
    end
    if h<4500
        hedef=0.5;
    end
    if h<1500
        hedef=-0.5;
    end
    % ölü bölge
    xabs=abs(x); % absolute value of (x)
    if xabs<0.01
        x=0;
    end
    vabs=abs(v); % absolute value of (v)
    if vabs<3
        v=0;
    end
    % pruva açısı hatası üyelik fonksiyonları
    enb=zmf(x,[-0.0349 -0.0262]);
    enm=trimf(x,[-0.0349 -0.0262 -0.0174]);
    ens=trimf(x,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);
    ent=trimf(x,[-0.0174 -0.0087 0]);
    ze =trimf(x,[-0.0087 0 0.0087 ]);
    ept=trimf(x,[0 0.0087 0.0174]);
    eps=trimf(x,[0.0087 0.0174 0.0262]);
    epm=trimf(x,[0.0174 0.0262 0.0349]);
    epb=smf(x,[0.0262 0.0349]);
    m1=[enb enm ens ent ze ept eps epm epb];
    % pruva açısı hata değişim hızı üyelik fonksiyonları
    ernb=zmf(v,[-0.0698 -0.0523]);

```

```

ernm=trimf(v, [-0.0698 -0.0523 -0.0349]);
erns=trimf(v, [-0.0523 -0.0349 -0.0174]);
ernt=trimf(v, [-0.0349 -0.0174 0]);
zer =trimf(v, [-0.0174 0 0.0174]);
erpt=trimf(v, [0 0.0174 0.0349]);
erps=trimf(v, [0.0174 0.0349 0.0523]);
erpm=trimf(v, [0.0349 0.0523 0.0698]);
erpb=smf(v, [0.0523 0.0698]);
m11=[ernb ernm erns ernt zer erpt erps erpm erpb];
% çıkış üyelik fonksiyonları
onb=zmf(z, [-1.4137 -0.9425]);
onm=trimf(z, [-1.4137 -0.9425 -0.4712]);
ons=trimf(z, [-0.9425 -0.4712 0]);
oz =trimf(z, [-0.4712 0 0.4712]);
ops=trimf(z, [0 0.4712 0.9425]);
opm=trimf(z, [0.4712 0.9425 1.4137]);
opb=smf(z, [0.9425 1.4137]);
% çıkış üyelik fonksiyonlarının merkezleri
opb=0.6109; opm=0.4072; ops=0.2036; oz=0; ons=-0.2036;
onm=-0.4072; onb=-0.6109;%opb=1.4137; opm=0.9425;
ops=0.4712; oz=0; ons=-0.4712; onm=-0.9425; onb=-1.4137;
%yazılan kurala göre çıkış üyelik fonksiyonlarının
yerleşimi
yu=[opb opb opm opm opm opm opm ops ops opb opb opm
opm opb opm opm ops ops opb opm opm opm opm opm ops ops ops
opm opm ops ops ops ops ops ops ops ops opm opm ops oz oz oz
ons onm onm ons ons ons ons ons ons ons onm onm ons ons ons
onm onm ons onm onm onm ons ons onm onm onm onm onm onb onb
ons ons onm onm onm onm onb onb onb];
% Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı,
merkez ortalama durulayıcı bulanık kontrolcü
top1=0;n=1;
for i=1:1:9
    k=1;
    while k<=9
        top1=top1+((yu(n)+delr).*m1(i).*m11(k));

```

```

        n=n+1;k=k+1;
    end
end
top2=0;
for i=1:1:9
    k=1;
    while k<=9
        top2=top2+(m1(i).*m11(k));
        k=k+1;
    end
end
d=[top1/top2];
f=d;
% dümen sistemi modeli
kk1=1/2*nn*(-5*b11un(h))-(4*bnn(h))+(4*f);
kk2=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk1)-4*(bnn(h)+kk1)+4*f);
kk3=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk2)-4*(bnn(h)+kk2)+4*f);
kk4=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+2*kk3)-4*(bnn(h)+2*kk3)+4*f);
bnn(h+1)=bnn(h)+nn*(b11un(h)+1/3*(kk1+kk2+kk3));
b11un(h+1)=b11un(h)+1/3*(kk1+2*kk2+2*kk3+kk4);
% sınırlandırıcı
if bnn(h)<0
    negbnn=bnn(h);
else
    negbnn=0;
end
if bnn(h)>0
    pozbnn=bnn(h);
else
    pozbnn=0;
end
if negbnn<-0.785
    bnn(h)=-0.785;

```

```

else
    bnn(h)=bnn(h);
end
if pozbnn>0.785
    bnn(h)=0.785;
else
    bnn(h)=bnn(h);
end
rud(h)=f;
% tustine göre gemi modeli
k1=1/2*j*(-0.055*y1un(h)^3-0.055*y1un(h)-
0.00066*bnn(h));
k2=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k1)^3-0.055*(y1un(h)+k1)-
0.00066*bnn(h));
k3=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k2)^3-0.055*(y1un(h)+k2)-
0.00066*bnn(h));
k4=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+2*k3)^3-
0.055*(y1un(h)+2*k3)-0.00066*bnn(h));
yn(h+1)=yn(h)+j*(y1un(h)+1/3*(k1+k2+k3));
y1un(h+1)=y1un(h)+1/3*(k1+2*k2+2*k3+k4);
error(h)=hedef-yn(h);
cikis(h)=yn(h);
x=error(h);
v=(error(h)-error(h-1))/j;
er(h)=v;
% bulanık modife edici
% pruva açısı hatası üyelik fonksiyonları
enb=zmf(x,[-0.0349 -0.0262]);
enm=trimf(x,[-0.0349 -0.0262 -0.0174]);
ens=trimf(x,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);
ent=trimf(x,[-0.0174 -0.0087 0]);
ze =trimf(x,[-0.0087 0 0.0087 ]);
ept=trimf(x,[0 0.0087 0.0174]);
eps=trimf(x,[0.0087 0.0174 0.0262]);

```

```

epm=trimf(x,[0.0174 0.0262 0.0349]);
epb=smf(x,[0.0262 0.0349]);
m1=[enb enm ens ent ze ept eps epm epb];
% pruva açısı hatası değişim hızı üyelik fonksiyonları
ernb=zmf(v,[-0.0698 -0.0523]);
ernm=trimf(v,[-0.0698 -0.0523 -0.0349]);
erns=trimf(v,[-0.0523 -0.0349 -0.0174]);
ernt=trimf(v,[-0.0349 -0.0174 0]);
zer =trimf(v,[-0.0174 0 0.0174]);
erpt=trimf(v,[0 0.0174 0.0349]);
erps=trimf(v,[0.0174 0.0349 0.0523]);
erpm=trimf(v,[0.0349 0.0523 0.0698]);
erpb=smf(v,[0.0523 0.0698]);
m11=[ernb ernm erns ernt zer erpt erps erpm erpb];
% çıkış üyelik fonksiyonları
onb=zmf(z,[-1.4137 -0.9425]);
onm=trimf(z,[-1.4137 -0.9425 -0.4712]);
ons=trimf(z,[-0.9425 -0.4712 0]);
oz =trimf(z,[-0.4712 0 0.4712]);
ops=trimf(z,[0 0.4712 0.9425]);
opm=trimf(z,[0.4712 0.9425 1.4137]);
opb=smf(z,[0.9425 1.4137]);
% merkez of output membership functions
opb=0.6109; opm=0.4072; ops=0.2036; oz=0; ons=-0.2036;
onm=-0.4072; onb=-0.6109;%opb=1.4137; opm=0.9425;
ops=0.4712; oz=0; ons=-0.4712; onm=-0.9425; onb=-
1.4137;
yu=[opb opb opm opm opm opm opm ops ops opb opb opm
opm opb opm opm ops ops opb opm opm opm opm opm ops
ops ops opm opm ops ops ops ops ops ops ops ops opm opm
ops oz oz oz ons onm onm ons ons ons ons ons ons ons
onm onm ons ons ons onm onm ons onm onm onm onm ons ons
onm onm onm onm onm onb onb ons ons onm onm onm onm
onb onb onb];
top1=0;n=1;
for i=1:1:9

```

```

        k=1;
        while k<=9
            top1=top1+(yu(n).*m1(i).*m11(k));
            n=n+1;k=k+1;
        end
    end
    top2=0;
    for i=1:1:9
        k=1;
        while k<=9
            top2=top2+(m1(i).*m11(k));
            k=k+1;
        end
    end
    d=[top1/top2];
    f=d;
    delr=d/3;
end
plot(cikis,'r'); plot(bnn,'b'); plot(error,'k')

```

A3. TERS GRADYEN ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK KONTROL OTO PİLOT

```

clear all
z=0;
hedef=0.5;      % " Gimek istenen açı "
v=0;            % " açı hata değişim hızı "
cikis=[];       % " çıkış-pruva açısı "
error=[];       % " açı hatası " error=hedef aci-anlik
aci
error(1)=v;
er=[];
rud=[];
% gemi modeli değişkenleri
j=0.12;
ylun=[];
yn=[];
ylun(2)=0;
yn(2)=0;
x=hedef-yn(2)
% modife edici değişkenleri
mat=[];
mat1=[];
delr=0;
mat(2)=0; mat1(2)=0;

% dümen sistemi değişkenleri
nn=0.12;
b11un=[];
bnn=[];
b11un(2)=0;
bnn(2)=0;
% kare dalga generatörü
for h=2:1:10500;

```

```

if h<10500
    hedef=0.5;
end
if h<7500
    hedef=-0.5;
end
if h<4500
    hedef=0.5;
end
if h<1500
    hedef=-0.5;
end
% ölü bölge
xabs=abs(x); % absolute value of (x)
if xabs<0.01
    x=0;
end
vabs=abs(v); % absolute value of (v)
if vabs<3
    v=0;
end
% pruv a aç ı hatası üyelik fonksiyonları
enb=zmf(x,[-0.0349 -0.0262]);
enm=trimf(x,[-0.0349 -0.0262 -0.0174]);
ens=trimf(x,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);
ent=trimf(x,[-0.0174 -0.0087 0]);
ze =trimf(x,[-0.0087 0 0.0087 ]);
ept=trimf(x,[0 0.0087 0.0174]);
eps=trimf(x,[0.0087 0.0174 0.0262]);
epm=trimf(x,[0.0174 0.0262 0.0349]);
epb=smf(x,[0.0262 0.0349]);
ml=[enb enm ens ent ze ept eps epm epb];
% pruv a aç ı hata değ işim hız ı üyelik fonksiyonları

```

```

ernb=zmf(v, [-0.0698 -0.0523]);
ernm=trimf(v, [-0.0698 -0.0523 -0.0349]);
erns=trimf(v, [-0.0523 -0.0349 -0.0174]);
ernt=trimf(v, [-0.0349 -0.0174 0]);
zer =trimf(v, [-0.0174 0 0.0174]);
erpt=trimf(v, [0 0.0174 0.0349]);
erps=trimf(v, [0.0174 0.0349 0.0523]);
erpm=trimf(v, [0.0349 0.0523 0.0698]);
erpb=smf(v, [0.0523 0.0698]);
m11=[ernb ernm erns ernt zer erpt erps erpm erpb];
% çıkış üyelik fonksiyonları
onb=zmf(z, [-1.4137 -0.9425]);
onm=trimf(z, [-1.4137 -0.9425 -0.4712]);
ons=trimf(z, [-0.9425 -0.4712 0]);
oz =trimf(z, [-0.4712 0 0.4712]);
ops=trimf(z, [0 0.4712 0.9425]);
opm=trimf(z, [0.4712 0.9425 1.4137]);
opb=smf(z, [0.9425 1.4137]);
% çıkış üyelik fonksiyonlarının merkezleri
opb=0.6109; opm=0.4072; ops=0.2036; oz=0; ons=-0.2036;
onm=-0.4072; onb=-0.6109;%opb=1.4137; opm=0.9425;
ops=0.4712; oz=0; ons=-0.4712; onm=-0.9425; onb=-1.4137;
%yazılan kurala göre çıkış üyelik fonksiyonlarının
yerleşimi
yu=[opb opb opm opm opm opm opm ops ops opb opb opm
opm opb opm opm ops ops opb opm opm opm opm opm ops ops ops
opm opm ops ops ops ops ops ops ops ops opm opm ops oz oz oz
ons onm onm ons ons ons ons ons ons ons onm onm ons ons ons
onm onm ons onm onm onm ons ons onm onm onm onm onm onb onb
ons ons onm onm onm onm onb onb onb];

% Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı,
merkez ortalama durulayıcı bulanık kontrolcü
top1=0;n=1;
for i=1:1:9
    k=1;

```

```

        while k<=9
            top1=top1+((yu(n)+delr).*m1(i).*m11(k));
            n=n+1;k=k+1;
        end
    end
    top2=0;
    for i=1:1:9
        k=1;
        while k<=9
            top2=top2+(m1(i).*m11(k));
            k=k+1;
        end
    end
    d=[top1/top2];
    f=d;

% dümen sistemi modeli
kk1=1/2*nn*(-5*b11un(h))-(4*bnn(h))+(4*f);
kk2=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk1)-4*(bnn(h)+kk1)+4*f);
kk3=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk2)-4*(bnn(h)+kk2)+4*f);
kk4=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+2*kk3)-4*(bnn(h)+2*kk3)+4*f);
bnn(h+1)=bnn(h)+nn*(b11un(h)+1/3*(kk1+kk2+kk3));
b11un(h+1)=b11un(h)+1/3*(kk1+2*kk2+2*kk3+kk4);

% sınırlandırıcı
if bnn(h)<0
    negbnn=bnn(h);
else
    negbnn=0;
end
if bnn(h)>0
    pozbnn=bnn(h);
else
    pozbnn=0;
end

```

```

        if negbnn<-0.785
            bnn(h)=-0.785;
        else
            bnn(h)=bnn(h);
        end
        if pozbnn>0.785
            bnn(h)=0.785;
        else
            bnn(h)=bnn(h);
        end
        rud(h)=f;
        % tustine göre gemi modeli
        k1=1/2*j*(-0.055*y1un(h)^3-0.055*y1un(h)-
0.00066*bnn(h));
        k2=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k1)^3-0.055*(y1un(h)+k1)-
0.00066*bnn(h));
        k3=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k2)^3-0.055*(y1un(h)+k2)-
0.00066*bnn(h));
        k4=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+2*k3)^3-
0.055*(y1un(h)+2*k3)-0.00066*bnn(h));
        yn(h+1)=yn(h)+j*(y1un(h)+1/3*(k1+k2+k3));
        y1un(h+1)=y1un(h)+1/3*(k1+2*k2+2*k3+k4);
        %
        error(h)=hedef-yn(h);
        cikis(h)=yn(h);
        x=error(h);
        v=(error(h)-error(h-1))/j;
        er(h)=v;
        % negatif gradiyent modife edici
        gr1=(x/sqrt(x^2+wf*(v^2)));
        gr2=(v/sqrt(x^2+wf*(v^2)));
        gr11=abs(gr1);
        gr22=wf*abs(gr2);
        neggrad=1.*[gr11 gr22];

```

```

fm=nu*neggrad*[x; v];%-x*v; %
a=1;
for i=1:1:9
    if m1(i)>0
        mat(a)=m1(i);
        a=a+1;
    end
end
a=1;
for i=1:1:9
    if m11(i)>0
        mat1(a)=m11(i);
        a=a+1;
    end
end
if mat(1)>mat(2)
    kol=mat(1);
else
    kol=mat(2);
end
if mat1(1)>mat1(2)
    koll=mat1(1);
else
    koll=mat1(2);
end
tope=kol+koll;
alt=(tope/top2);
%nu=1/alt^2;
delr=fm*(tope/top2);
end
plot(cikis,'r'); plot(bnn,'b'); plot(error,'k')

```

A4. REFERANS MODEL ÖZ-ORGANİZE BULANIK MANTIK OTO PİLOT

```

clear all

z=0;
hedef=0.5; % " Gimek istenen açı "
v=0; % " açı hata değişim hızı "
cikis=[]; % " çıkış-pruva açısı "
error=[]; % " açı hatası " error=hedef aci-anlik aci
error(1)=v;
er=[];
rud=[];
% gemi modeli değişkenleri
j=0.12;
ylun=[];
yn=[];
ylun(2)=0;
yn(2)=0;
x=hedef-yn(2)
% dümen sistemi değişkenleri
nn=0.12;
b1lun=[];
bnn=[];
b1lun(2)=0;
bnn(2)=0;
% referans model değişkenleri
jj=0.12;
ylunn=[];
ynn=[];
ylunn(2)=0;
ynn(2)=0;
%x1=[]; x1(2)=0;
negf=0; pozf=0;
%x2=[]; x2(2)=0;

```

```

%y=[];
deg1=[]; deg1(1)=0;
% modife edici değişkenleri
mat=[];
mat1=[];
delr=0;
mat(2)=0; mat1(2)=0;
for h=2:1:10500;
    if h<10500
        hedef=0.5;
    end
    if h<7500
        hedef=-0.5;
    end
    if h<4500
        hedef=0.5;
    end
    if h<1500
        hedef=-0.5;
    end
    %  ölü bölge
xabs=abs(x);
    if xabs<0.015
        x=0;
    end
    vabs=abs(v);
    if vabs<3
        v=0;
    end
end
% pruva açu hatası üyelik fonksiyonları
enb=zmf(x,[-0.0349 -0.0262]);
enm=trimf(x,[-0.0349 -0.0262 -0.0174]);
ens=trimf(x,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);

```

```

ent=trimf(x,[-0.0174 -0.0087 0]);
ze =trimf(x,[-0.0087 0 0.0087 ]);
ept=trimf(x,[0 0.0087 0.0174]);
eps=trimf(x,[0.0087 0.0174 0.0262]);
epm=trimf(x,[0.0174 0.0262 0.0349]);
epb=smf(x,[0.0262 0.0349]);
m1=[enb enm ens ent ze ept eps epm epb];
% pruva aç ı hata değ işim hız ı üyelik fonksiyonları
ernb=zmf(v,[-0.0698 -0.0523]);
ernm=trimf(v,[-0.0698 -0.0523 -0.0349]);
erns=trimf(v,[-0.0523 -0.0349 -0.0174]);
ernt=trimf(v,[-0.0349 -0.0174 0]);
zer =trimf(v,[-0.0174 0 0.0174]);
erpt=trimf(v,[0 0.0174 0.0349]);
erps=trimf(v,[0.0174 0.0349 0.0523]);
erpm=trimf(v,[0.0349 0.0523 0.0698]);
erpb=smf(v,[0.0523 0.0698]);
m11=[ernb ernm erns ernt zer erpt erps erpm erpb];
% çık ı ş üyelik fonksiyonları
onb=zmf(z,[-1.4137 -0.9425]);
onm=trimf(z,[-1.4137 -0.9425 -0.4712]);
ons=trimf(z,[-0.9425 -0.4712 0]);
oz =trimf(z,[-0.4712 0 0.4712]);
ops=trimf(z,[0 0.4712 0.9425]);
opm=trimf(z,[0.4712 0.9425 1.4137]);
opb=smf(z,[0.9425 1.4137]);
% çık ı ş üyelik fonksiyonlarının merkezleri
opb=0.6109; opm=0.4072; ops=0.2036; oz=0; ons=-0.2036;
onm=-0.4072; onb=-0.6109;%opb=1.4137; opm=0.9425;
ops=0.4712; oz=0; ons=-0.4712; onm=-0.9425; onb=-
1.4137;
%yazılan kurala göre çık ı ş üyelik fonksiyonlarının
yerleş imi
yu=[opb opb opm opm opm opm opm ops ops opb opb opm
opm opb opm opm ops ops opb opm opm opm opm ops

```

```
ops ops opm opm ops ops ops ops ops ops ops oz oz oz
oz oz oz oz oz oz ons ons ons ons ons ons ons onm onm
ons ons ons onm onm ons onm onm onm onm ons ons onm onm
onm onm onm onb onb ons ons onm onm onm onm onb onb
onb];
```

```
% Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı,
merkez ortalama durulayıcı bulanık kontrolcü
```

```
top1=0;n=1;
    for i=1:1:9
        k=1;
        while k<=9
            top1=top1+((yu(n)+delr).*m1(i).*m11(k));
            n=n+1;k=k+1;
        end
    end
    top2=0;
    for i=1:1:9
        k=1;
        while k<=9
            top2=top2+(m1(i).*m11(k));
            k=k+1;
        end
    end
    d=[top1/top2];
    f=d;
    % dümen sistemi
    kk1=1/2*nn*(-5*b11un(h))-(4*bnn(h))+(4*f);
    kk2=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk1)-4*(bnn(h)+kk1)+4*f);
    kk3=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+kk2)-4*(bnn(h)+kk2)+4*f);
    kk4=1/2*nn*(-5*(b11un(h)+2*kk3)-4*(bnn(h)+2*kk3)+4*f);
    bnn(h+1)=bnn(h)+nn*(b11un(h)+1/3*(kk1+kk2+kk3));
    b11un(h+1)=b11un(h)+1/3*(kk1+2*kk2+2*kk3+kk4);
    %
    if bnn(h)<0
        negbnn=bnn(h);
```

```

else
    negbnn=0;
end
    if bnn(h)>0
        pozbnn=bnn(h);
    else
        pozbnn=0;
    end
    if negbnn<-0.785
        bnn(h)=-0.785;
    else
        bnn(h)=bnn(h);
    end
    if pozbnn>0.785
        bnn(h)=0.785;
    else
        bnn(h)=bnn(h);
    end
    rud(h)=f;
% gemi modeli tustin yöntemine göre
k1=1/2*j*(-0.055*y1un(h)^3-0.055*y1un(h)-
0.00066*bnn(h));
k2=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k1)^3-0.055*(y1un(h)+k1)-
0.00066*bnn(h));
k3=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+k2)^3-0.055*(y1un(h)+k2)-
0.00066*bnn(h));
k4=1/2*j*(-0.055*(y1un(h)+2*k3)^3-
0.055*(y1un(h)+2*k3)-0.00066*bnn(h));
yn(h+1)=yn(h)+j*(y1un(h)+1/3*(k1+k2+k3));
y1un(h+1)=y1un(h)+1/3*(k1+2*k2+2*k3+k4);
%
error(h)=hedef-yn(h+1);
cikis(h)=yn(h+1);
x=error(h);

```

```

v=(error(h)-error(h-1))/j;
er(h)=v;

% runge-kutta-nystrom yöntemine göre referans model
k1=1/2*jj*(-0.06*y1unn(h)-0.0025*y2nn(h)+0.0025*hedef);
k=(1/2*jj)*(y1unn(h)+(1/2*k1))
k2=1/2*jj*(-0.06*(y1unn(h)+k1)-
0.0025*(y2nn(h)+k)+0.0025*hedef);
k3=1/2*jj*(-0.06*(y1unn(h)+k2)-
0.0025*(y2nn(h)+k)+0.0025*hedef);
l1=j*(y1unn(h)+k3);
k4=1/2*jj*(-0.06*(y1unn(h)+2*k3)-
0.0025*(y2nn(h)+l1)+0.0025*hedef);
y2nn(h+1)=y2nn(h)+jj*(y1unn(h)+1/3*(k1+k2+k3));
y1unn(h+1)=y1unn(h)+(1/3*(k1+(2*k2)+(2*k3)+k4));
%x1(h+1)=0.9999*x1(h)+0.002*x2(h)+0.0002*hedef;
%x2(h+1)=-0.0835*x1(h)+0.9768*x2(h)+0.0825*hedef;
%y(h)=y2nn(h);
% bulanık modife edici
deg1(h)=y2nn(h)-cikis(h);
deg=deg1(h);
der=(deg1(h)-deg1(h-1))/j;
% ölü bölge
degabs=abs(deg);
if degabs<0.15
    deg=0;
end
derabs=abs(der);
if derabs<3
    der=0;
end
% birinci giriş üyelik fonksiyonları
menb=zmf(deg,[-0.0262 -0.0174]);
menm=trimf(deg,[-0.0262 -0.0174 -0.0087]);

```

```

mens=trimf(deg, [-0.0174 -0.0087 0]);
meze =trimf(deg, [-0.0087 0 0.0087 ]);
meps=trimf(deg, [0 0.0087 0.0174]);
mepm=trimf(deg, [0.0087 0.0174 0.0262]);
mepb=smf(deg, [0.0174 0.0262]);
mm1=[menb menm mens meze meps mepm mepb];
% ikinci giriş üyelik fonksiyonları
mernb=zmf(der, [-0.0523 -0.0349]);
mernm=trimf(der, [-0.0523 -0.0349 -0.0174]);
merns=trimf(der, [-0.0349 -0.0174 0]);
merze =trimf(der, [-0.0174 0 0.0174]);
merps=trimf(der, [0 0.0174 0.0349]);
merpm=trimf(der, [0.0174 0.0349 0.0523]);
merpb=smf(der, [0.0349 0.0523]);
mm11=[mernb mernm merns merze merps merpm merpb];

% çıkış üyelik fonksiyonları
monb=zmf(odeg, [-1.0472 -0.5236]);
monm=trimf(odeg, [-1.0472 -0.5236 0]);
moz =trimf(odeg, [-0.5236 0 0.5236]);
mopm=trimf(odeg, [0 0.5236 1.0472]);
mopb=smf(odeg, [0.5236 1.0472]);
% çıkış üyelik fonksiyon merkezleri
moz=0; monb=-1.3962; monm=-0.6981; mopb=1.3962;
mopm=0.6981; %moz=0; monb=-1.0472; monm=-0.5236;
mopb=1.0472; mopm=0.5236;
%kurallara göre çıkış üyelik fonksiyon merkezlerinin
yerleşimi
yum=[mopb mopb mopb mopb mopb mopm mopm mopb mopb mopb
mopb mopm mopm mopm mopb mopb mopb mopm mopb moz moz
moz moz moz moz moz moz moz moz monm monm monm
monm monb monm monm monm monm monb monb monb monm monm
monb monb monb monb monb];
% Çarpımsal sonuç çıkarım, tekil bulanıklaştırıcı,
merkez ortalama durulayıcı bulanık kontrolcü
topm1=0;n=1;

```

```

for i=1:1:7
    k=1;
    while k<=7
        topm1=topm1+(yum(n).*mm1(i).*mm11(k));
        n=n+1;k=k+1;
    end
end
topm2=0;
for i=1:1:7
    k=1;
    while k<=7
        topm2=topm2+(mm1(i).*mm11(k));
        k=k+1;
    end
end
dm=[topm1/topm2];
fm=dm;
a=1;
for i=1:1:9
    if m1(i)>0
        mat(a)=m1(i);
        a=a+1;
    end
end
a=1;
for i=1:1:9
    if m11(i)>0
        mat1(a)=m11(i);
        a=a+1;
    end
end
if mat(1)>mat(2)
    kol=mat(1);

```

```
else
    kol=mat(2);
end
if mat1(1)>mat1(2)
    koll=mat1(1);
else
    koll=mat1(2);
end
tope=kol+koll;
delr=fm*(tope/top2);
end
plot(cikis,'r'); plot(bnn,'b'); plot(error,'k')
```

ÖZGEÇMİŞ

Azat SHANANOV, 15 Ocak 1978 tarihinde Kırgızistan'da doğdu. Orta öğrenimini Osh şehrinde No:28 okulunda'da tamamladı. Lise öğrenimini Osh şehrinde OTEK teknik Lisesi 1997 yılında bitirdi. Lisans eğitimi; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Halen, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Mühendislik Fakültesi Elektronik Anabilim dalında yüksek lisans çalışması yapmaktadır.