

BULANIK MODEL REFERANS ÖĞRENMELİ DENETİM YÖNTEMİ İLE BİR GEMİNİN DÜMEN KONTROLÜ

Özdemir ALKAN¹, Ömer AYDOĞDU²

¹Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O. oalkan@selcuk.edu.tr

²Selçuk Üniversitesi Müh-Mim. Fak. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
oaydogdu@selcuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, zamanla değişen lineer olmayan bir sistemin Bulanık Model Referans Öğrenmeli Denetim (BMRÖD) metodu kullanılarak adaptif kontrolü gerçekleştirilmiştir. BMRÖD metodu, bulanık denetleyicilerin tasarımı için sistematik bir yordam sağlamaktadır. BMRÖD yönteminde bir bulanık ilişki tablosu yerine, kural tabanlı bir dizi tablosu kullanılmak suretiyle hesaplama süresini ve bellek ihtiyacını azaltan bir bilgi tabanlı güncelleme algoritması kullanılmaktadır. Çoğu klasik bulanık denetim sisteminde, üyelik fonksiyonlarının bazı parametreleri deneme-yanılma yöntemi ile belirlenirken, BMRÖD metodunda ise parametreler bu öğrenme mekanizması ile belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen BMRÖD algoritması, bir tanker gemisinin lineer olmayan dümen denetiminde kullanılmıştır. Denetim tekniğinin etkinliğini gösteren simülasyon sonuçları makalede verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif kontrol, Bulanık model referans öğrenmeli denetim, Referans model.

SHIP RUDDER CONTROL WITH

FUZZY MODEL REFERENCE LEARNING CONTROL METHOD

Abstract

In this study, the adaptive control of a time-varying nonlinear system is achieved by using Fuzzy Model Reference Learning Control (FMRLC) method. The FMRLC method provides a systematic procedure for the design of fuzzy controllers. In the FMRLC method, a knowledge-base modification algorithm which reduces the computation time and memory requirements by utilizing a rule base array table instead of a fuzzy relation table. While some parameters of the membership functions are determined by trial and error method in the most classical fuzzy control systems, these parameters are determined by a learning mechanism in FMRLC method. In this study, the proposed FMRLC algorithm is used in the nonlinear control of the tanker ship steering. Simulation results demonstrating the effectiveness of the proposed control structure are given in this paper.

Keywords: Adaptive control, Fuzzy model reference learning control, Reference model.

1. Giriş

İnsanlar günlük hayatlarında önceden kesin olarak bilinemeyen, buna karşılık sanki kesinmiş gibi düşünülen ancak sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ise, ancak bir takım ön kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Yaşadığımız dünya genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyişi nedeniyle karmaşıktır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik

konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. Bir kişinin zihnindeki düşünce dünyasının bile tomografisi çekilecek olduğunda, bunun çok renkli, değişik, hatta karmaşık motiflerden, çok belirgin olmayan bir desene sahip olduğu anlaşılır. İşte bu karmaşıklık ve belirsizliği, bulanıklık (fuzzy) diye nitelendirmek mümkündür [1].

Kontrol edilecek çoğu dinamik sistem, sabit ya da yavaş değişen belirsiz parametrelere sahiptir. Örneğin güç sistemleri yüklenme koşullarında büyük değişikliklere maruz kalırken, bir uçağın kütlesi ve ağırlık merkezi yakıt deposunun doluluk oranına göre değişiklik gösterebilir. Aynı şekilde seyir halindeki bir geminin dümen kontrol parametreleri dış etkilerden ve kütesinden dolayı değişebilmektedir. Bundan dolayı adaptif kontrol yöntemleri bu tip sistemler için kullanılan bir yaklaşımdır. Adaptif kontrolde temel düşünce, ölçeklendirilmiş sistem sinyalleri üzerinde aynı anda, bilinmeyen denetlenen sistem parametrelerini hesaplamak ve hesaplanmış parametreleri kullanarak denetim girişlerini belirlemektir. Bir adaptif kontrol sistemi böylece gerçek zamanlı parametre hesabı ile bir denetim sisteminin davrandığı gibi davranabilir [2].

Bulanık mantıkla denetim, zamanla değişen, doğrusal olmayan ve özellikle matematiksel modeli tam olarak bilinmeyen sistemlerin denetlenmesinde son yıllarda klasik denetim yöntemlerine bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bulanık denetimin endüstriyel alanlarda pek çok başarılı uygulaması bulunmaktadır. Buna karşılık bulanık denetimin ciddi manada dezavantajları da vardır. Bulanık denetleyicide yer alan pek çok parametrenin doğru bir şekilde ve tam olarak nasıl seçileceği çoğu zaman belirgin değildir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi, durulaştırma ve çıkarım mekanizmalarının oluşturulması buna örnek olarak verilebilir. Yani tasarımda

sistematik bir yaklaşım yoktur. Ayrıca bulanık denetleyici, önceden anlaşılamayan ve önemli miktardaki parametre değişiklikleri, yapısal değişiklikler ya da çevreden gelen bozucu etkilerin ortaya çıkması halinde bir müddet sonra görevini yapmakta yetersiz kalabilir. Bunun yanında denetleyici performansı hakkında karar vermek zordur.

Adaptif bulanık kontrol sistemleri, bulanık denetim sistemlerinin bu açıklarını kapatarak performansı arttırmak için tasarlanmıştır. Bulanık Model Referans Öğrenmeli Denetim (BMRÖD), bulanık denetleyicilerin tasarımında karşılaşılan bazı problemlere çözüm getireceği düşünülen bir denetim algoritmasıdır. Bu algoritma bilgi tabanlı bir bulanık denetleyicinin sentezlenmesi ve ayarlanmasını sağlamak amacıyla, kapalı çevrim denetim performansına ilişkin geri besleme elde etmek üzere bir referans model kullanır. Bu referans model, kontrol edilen sistemin ideal veya istenen davranışını sergileyen bir modeldir. Bu nedenle algoritma “Bulanık Model Referans Öğrenmeli Denetim” olarak adlandırılır [3,4]. Çoğu klasik bulanık denetim sisteminde, üyelik fonksiyonlarının bazı parametreleri deneme-yanılma yöntemi ile belirlenir. Buna karşılık, BMRÖD metodunda, bu parametreler bir öğrenme mekanizması ile belirlenir.

BMRÖD’de bir referans model kullanılarak, istenen sistem performansı çok hassas bir şekilde elde edilebilir. Bunun yanında Procky ve Mamdani’nin bilgi tabanı güncelleme algoritmasının bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışları arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir bulanık ilişki düzenleme tablosuna dayandığına dikkat edilmelidir. BMRÖD yönteminde bir bulanık ilişki tablosu yerine, bir kural tabanlı dizi tablosu kullanılmak suretiyle hesaplama süresi ve bellek ihtiyacını azaltan bilgi tabanlı bir güncelleme algoritması kullanılmaktadır [3].

2. Bulanık Model Referans Öğrenmeli Denetim (BMRÖD)

Bulanık model referans kontrol sistemleri, sistem çıkışının model çıkışını takip etmesi için tasarlanmış kontrol sistemleridir. Adaptasyon işlemi tamamlandığında kontrol edilen sistemin özellikleri, arzu edilen modelin özelliklerine benzemektedir. Kullanılacak olan referans model, kontrol edilen sistemin arzu edilen davranışını sergiler. Referans model çıkışı ile sistem çıkışı karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda referans model çıkışı ile sistem çıkışı arasındaki model hatası elde edilir. Elde edilen bu hata değerleri ise denetleyiciyi eğitmek için kullanılır [5].

Öğrenmeye dayalı bulanık denetim sistemleri, değişikliklere adapte olabilen dayanıklı sistemlerdir. Öğrenmeli denetim tekniğinde dile dayalı denetim kavramları bir adım daha ileri götürülmüş ve klasik “Model Referans Adaptif Kontrol” için kullanılan bazı temel fikirlerden istifade edilmiştir.

Bir öğrenmeli bulanık denetim sisteminde temel olarak aşağıdaki işlemlerin yer alması gerekir;

- Bir bulanık denetim sisteminden elde edilen verilerin gözlemlenmesi,
- O andaki performansın ortaya çıkarılması,
- Önceden belirlenmiş performansa yönelik birtakım amaçları karşılayacak şekilde bulanık denetleyicinin otomatik olarak yeniden düzenlenmesi.

2.1. BMRÖD yönteminde bulanık denetleyici

Şekil 1’de T örnekleme periyodu olmak üzere, denetlenen sistemin r -boyutlu $u(kT)=[u_1(kT), \dots, u_r(kT)]^t$ vektörüyle belirtilen r -girişe ve s -boyutlu $y(kT)=[y_1(kT), \dots, y_s(kT)]^t$ vektörüyle belirtilen s -çıkışa sahip olduğu varsayılmıştır. Genellikle bulanık denetleyici girişleri, denetlenen sistem çıkışı $y(kT)$ ve referans girişi $y_r(kT)$ ’nin doğrusal fonksiyonu yoluyla üretilir. Bulanık denetleyicinin girişleri s -

boyutlu $e(kT)=[e_1(kT).....e_s(kT)]^t$ vektörüyle belirtilen hata ve n -boyutlu $c(kT)=[c_1(kT).....c_n(kT)]^t$ vektörüyle belirtilen hatadaki değişimdir [6,8].

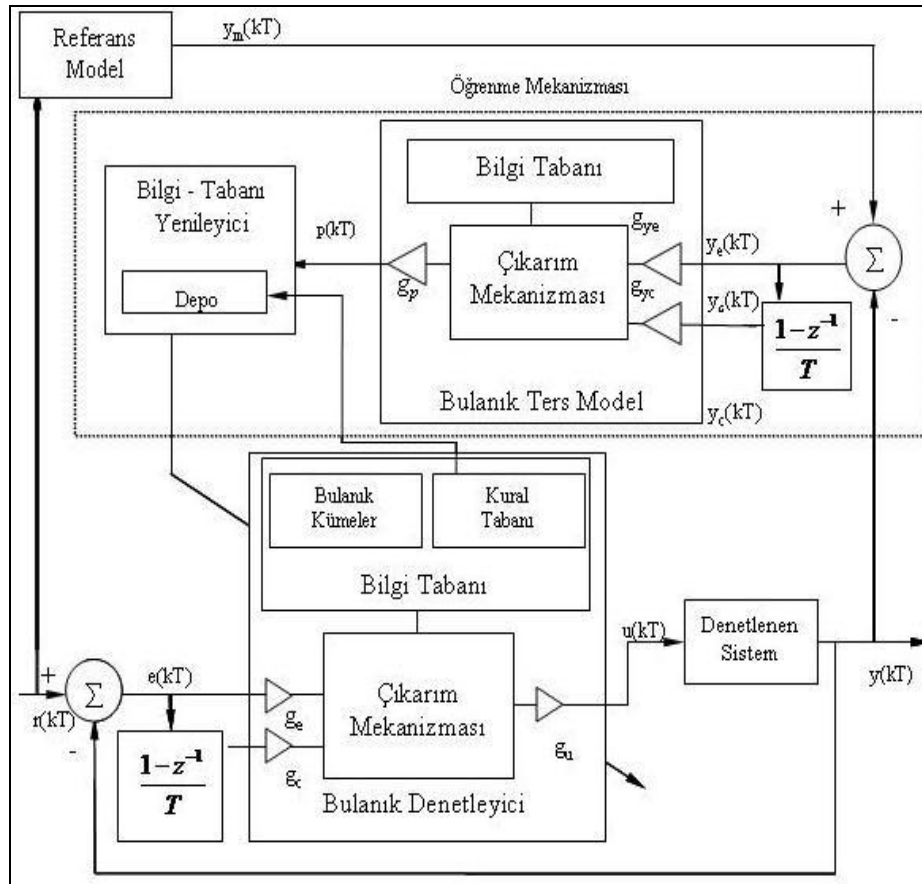
Hata ve hatadaki değişim sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$e(kT) = y_r(kT) - y(kT) \quad (1)$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT-T)}{T} \quad (2)$$

İstenilen süreç çıkışı $y_r(kT)=[y_{r1}(kT).....y_{rs}(kT)]^t$ şeklinde belirtilmiştir.

Genellikle, bulanık denetleyici uygulamalarının esnekliği için her bir süreç giriş uzayı sabit ölçeklendirme faktörü vasıtasıyla $[-1,+1]$ aralığında normalize edilir. Buradaki bulanık denetleyicinin tasarımında hata $e(kT)$, hatadaki değişim $c(kT)$ ve denetleyici çıkışı $u(kT)$ için sırasıyla g_e , g_c ve g_u kazançları normalize işleminde kullanılmaktadır.



Şekil 1. BMRÖD'in fonksiyonel mimarisi

Daha iyi bir sonuç için s -girişli ve r -çıkışlı (Multi-input and multi-output, MIMO) bulanık denetleyici gibi davranan, ona eşdeğer olan r -girişli ve tek çıkışlı (Multi-input and single-output, MISO) bulanık denetleyicilerden faydalanılmıştır. Bulanık denetleyicide yürütülen n . süreç girişiyle ilgili **Eğer-O Halde** denetim kuralı aşağıdaki gibidir;

Eğer $\tilde{e}_1, \tilde{E}_1^j$ ise ve ... ve $\tilde{e}_s, \tilde{E}_s^k$ ise ve $\check{c}_1, \check{C}_1^l$ ise ve ...ve $\check{c}_s, \check{C}_s^m$ ise **O Halde** $\tilde{u}_n, \tilde{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ dir.

Yukarıdaki ifadede, \tilde{e}_a ve \check{c}_a dilsel değişkenler olup e_a ve c_a kontrol girişleri ile ilgili değişkenlerdir. \tilde{u}_n ise yine dilsel değişken olup u_n kontrol çıkışı ile ilgili bir değişkendir. \tilde{E}_a^b ve \check{C}_a^b , sırasıyla \tilde{e}_a ve \check{c}_a ile ilgili b . dilsel değerlerdir. $\tilde{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ ise \tilde{u}_n ile ilgili dilsel sonuç değerleridir [8]. Bulanık küme teorisi kullanılarak yukarıdaki kontrol kuralı aşağıdaki gibi yeniden tanımlanabilir;

Eğer E_1^j ve ... ve E_s^k ve C_1^l ve ... ve C_s^m ise **O Halde** $U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ dir.

Burada E_a^b, C_a^b ve $U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ bulanık kümeleri gösterirken bu bulanık kümeler sırasıyla \tilde{e}_a için \tilde{E}_a^b , \check{c}_s için \check{C}_s^m , \tilde{u}_n için $\tilde{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ dilsel ifadeleri nicelemektedir. Bu bulanık çıkarım aşağıdaki gibi bir bulanık ilişki ile de ifade edilebilir;

$$R_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} = (E_1^j \times \dots \times E_s^k) \times (C_1^l \times \dots \times C_s^m) \times U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} \quad (3)$$

Bu denetim kuralına ilişkin bulanık denetleyici karar mekanizması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\hat{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT) = [((\hat{E}_1(kT) \times \hat{E}_2(kT) \times \dots \times \hat{E}_s(kT)) \times ((\hat{C}_1(kT) \times \hat{C}_2(kT) \times \dots \times \hat{C}_s(kT)))] \circ R_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} \quad (4)$$

Burada $\hat{E}_j(kT)$ ve $\hat{C}_j(kT)$ sırasıyla bulanıklaştırılmış hata ve hatadaki değişimi ifade eder. Bununla bağlantılı olarak da $e(kT)$ veya $c(kT)$, $\hat{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ nin j . elemanını ima eden bulanık kümeyi göstermekte olup ‘o’ ise Zadeh’in bileşim işlemini

ifade etmektedir. Ayrıca bulanık sistem tasarımında denetleyici çıkışları denklem 5'deki gibi sıkça "Ağırlık Merkezi" (COG) metoduna göre hesaplanmaktadır [8].

$$u_n(kT) = \frac{\sum_{j,\dots,k,l,\dots,m} \hat{A}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT) \hat{c}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)}{\sum_{j,\dots,k,l,\dots,m} \hat{A}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)} \quad (5)$$

Burada $\hat{A}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ ve $\hat{c}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$, $\hat{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ ile ilişkili üyelik fonksiyonuna ait olan sırasıyla alan ve alan merkezidir.

2.2. Referans model

Referans model işlemin istenilen performansa ulaşabilme kabiliyetini sağlar. Yani denetim sisteminin vermesi gereken ideal cevabı gösterir. Genellikle referans model doğrusal ya da doğrusal olmayan, zamana bağlı olan veya zamana bağlı olmayan, ayrık ya da sürekli zaman gibi herhangi bir dinamik sistem olabilir. Bütün sistemin performansını hesaplamak için referans model ile ilgili $y_e(kT)=[y_{e1} \dots \dots y_{es}]^t$ hata sinyali üretilir [6,8].

$$y_e(kT) = y_m(kT) - y(kT) \quad (6)$$

Verilen referans model kararlılık, aşma, yükselme zamanı ve yerleşme zamanı gibi tasarım ölçütlerini karakterize eder. Referans modelin girişi olan referans giriş $y_r(kT)$ dir. Eğer öğrenme mekanizması bütün zamanlar için $y_e(kT)$ yi çok küçük kalması için zorlarsa, kontrol edilen sürecin istenen performansı ile karşılaşılır. Eğer performans $y_e(kT) \approx 0$ iken karşılanırsa o zaman öğrenme mekanizması bulanık denetleyicide önemli bir değişiklik yapmaz. Öte yandan $y_e(kT)$ büyükse istenen performans sağlanmamış demektir ve öğrenme mekanizmasının bulanık denetleyiciyi ayarlaması gerekir [8].

2.3. Öğrenme mekanizması

Öğrenme mekanizması, kapalı çevrimli sistemin referans model gibi davranması için bir direkt bulanık denetleyicinin bilgi-tabanı yenileme işlemini gerçekleştirir. Bu bilgi-tabanı yenilemeleri denetleyici, referans model ve kontrol edilen işlemin veri bilgilerini gözlemlemeye dayanarak yapılır.

Bulanık model referans öğrenmeli denetimde öğrenme mekanizması iki kısımdan oluşur. Bunlar bulanık ters model ve bilgi-tabanı yenileyicidir [6,8]. Bulanık ters model, çıkış işlemlerindeki gerekli adresleme değişikliklerini gerçekleştirir. Bilgi-tabanı yenileyici ise giriş işlemlerindeki gerekli değişiklikleri etkilemek için bulanık denetleyicinin bilgi tabanında değişiklikler ve yenilikler yapar.

2.3.1. Bulanık ters model

Geleneksel yöntemlerde, tam bir matematiksel modele ve fiziksel işlemlere ilişkin kabullere bağımlılık vardır. İşlemlerin matematiksel modeline olan bu bağımlılık uygulamalarda ciddi güçlükler sebep olabilir. Örneğin, böyle bir yaklaşımda denetlenen sistemde genellikle sabit bir kazanç olduğunun kabullenilmesi gerekmektedir ve uyarılma mekanizmasının da bu durumdan kaynaklanabilecek olumsuzluğu karşılayabileceği düşünülmektedir.

Bulanık ters model, denetlenen sistem çıkışı $y(kT)$ 'yi referans model çıkışı $y_m(kT)$ 'ye mümkün olduğu kadar yakınlaştırmaya yöneltecek değişikliğin nasıl olacağını karakterize etmek için kullanılır. Aşma olmaması için y_{ei} değerinin küçük olmasının yanında, değişiminin de küçük olması istenmektedir. Şekil 1'de bulanık ters model, ölçekleme faktörlerini de içerecek şekilde gösterilmiştir. Bu faktörler g_{ye} , g_{yc} ve g_p ile isimlendirilen kazançlardır. Bu kazançların seçimi denetleyicinin tüm performansını etkilemektedir [6,8].

n. süreç girişi ile ilgili bulanık ters modeline ilişkin bilgi tabanı bulanık çıkarımlardan şu şekilde elde edilmiştir.

Eğer Ye_1^j ve ... ve Ye_s^k ve Yc_1^l ve ... ve Yc_s^m **O Halde** $P_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$

Burada Ye_a^b , Yc_a^b ile belirtilenler sırasıyla y_{ea} hata ve y_{ca} hata değişimi ile ilgili b. bulanık kümeyi göstermektedir. Ayrıca a. işlem çıkışı ile ilgili olan $P_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$, n. süreç girişindeki gerekli değişikliğin tarif edildiği bu kurala ilişkin sonuç bulanık kümesine işaret eder [8]. Bu bulanık çıkarım şöyle bir bulanık ilişkiyle ifade edilebilir;

$$S_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} = (Ye_1^j \times \dots \times Ye_s^k) \times (Yc_1^l \times \dots \times Yc_s^m) \times P_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} \quad (7)$$

Bu bulanık çıkarım için bulanık ters model karar mekanizması şu şekilde açıklanabilir;

$$P_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT) = [((Ye_1(kT) \times Ye_2(kT) \times \dots \times Ye_s(kT)) \times (Yc_1(kT) \times Yc_2(kT) \times \dots \times Yc_s(kT))) \circ S_n^{j,\dots,k,l,\dots,m} \quad (8)$$

Burada $Ye_p(kT)$ ve $Yc_p(kT)$ sırasıyla y_e ile y_c 'ye ait p. elemanla ilgili bulanıklaştırılmış hata ve hatadaki değişimi göstermektedir. $P_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ ise n. süreç girişi için giriş değişimlerini tarif eden bulanık çıkarıma ait bulanık kümeyi gösterir. Direk bulanık denetleyiciye ilişkin giriş değişkenlerinin tamamı ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak elde edilir.

Bir bulanık ters model, tek-giriş ve tek-çıkış (Single-Input and Single-Output, SISO) için tipik bir kural tabanı Tablo 1'de gösterilmiştir. Ye^j ve Yc^k sırasıyla $y_e(kT)$ ve $y_c(kT)$ ile ilgili bulanık kümeleri ifade eder. $p_i^{j,k}$ ile de istenilen süreç giriş değişikliği olan $p_i(kT)$ 'nin ölçülmüş bulanık kümeleri belirtilmiştir. Tablo 1'de $[-1,+1]$ aralığında olmak üzere konveks, simetrik ve normal üyelik fonksiyonlarının merkez değerleri listelenmiştir.

Tablo 1. Bulanık ters model için tipik bir kural tablosu

Pi ^{j,k}		Yc ^k										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Ye ^j	-5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0
	-4	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2
	-3	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4
	-2	-1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6
	-1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8
	0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0
	+1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.0
	+2	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.0	+1.0
	+3	-0.4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0
	+4	-0.2	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0
	+5	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0

2.3.2. Bilgi tabanı yenileyici

Burada bilgi tabanı yenileme algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma, R_n bulanık ilişki dizisini değil de sonuç bulanık kümelerine ($U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$) ait üyelik fonksiyonlarını değiştirmek suretiyle hesaplama verimini artırır. Bulanık ters modelden elde edilen $p(kT)$ vektörüyle ifade edildiği üzere girişte gereken değişiklikler hakkındaki bilginin bilinmesi halinde, bilgi tabanı yenileyici daha önceden uygulanan kontrol işleminin $p(kT)$ miktarına göre değiştirilecek şekilde bulanık denetleyicinin bilgi tabanını değiştirir [6,8]. İstenen denetleyici çıkışı aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tilde{u}(kT - T) = u(kT - T) + p(kT) \quad (9)$$

Benzer denetleyici girişlerinin verilmesi halinde bulanık denetleyicinin istenen bu çıkışı üretmesi sağlanır.

$c_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ nin, $U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ bulanık kümesiyle ilgili üyelik fonksiyonunun merkez değerini gösterecek şekilde bulanık denetleyicinin çıkışı için sadece simetrik üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı kabul edilmelidir. $u(kT-T)$ önceki kontrol işlemine katkıda bulunan bulanık çıkarımlar ile ilgili $U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ bulanık kümelerine ait üyelik

fonksiyonlarının merkezlerini kaydırmak suretiyle bilgi tabanı değişimi yapılır. Bu yenileme bu üyelik fonksiyonlarını,

$$c_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT) = c_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT - T) + p_n(kT) \quad (10)$$

olacak şekilde $p(kT)=[p_1(kT) \dots p_r(kT)]^t$ ile belirlenen bir miktar kaydırma işleminden ibarettir. Bulanık denetleyicideki belli bir bulanık çıkarıma olan katkı derecesi yani $R_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}$ şeklinde gösterilen bulanık ilişkinin katkı derecesi,

$$\delta_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(t) = \min\{\mu E_1^j(e_1(t)), \dots, \mu E_s^k(e_s(t)), \mu C_1^l(c_1(t)), \dots, \mu C_s^m(c_s(t))\} \quad (11)$$

şeklinde tanımlanmış olan aktivasyon seviyesine göre bulunur. Burada μ_A , A bulanık kümesine ait üyelik fonksiyonunu, t ise şu anki zamanı gösterir. Sadece aktivasyon seviyesinin $\delta_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT - T) > 0$ olduğu $R_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT - T)$ şeklinde olan bulanık çıkarımlar yenilenir. Geriye kalanlar değişmez; bu da lokal öğrenmeyi sağlar.

Yukarıdaki bilgi tabanı yenileyicinin denklem 5’de ifade edilen ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi üzerine yaptığı etki göz önüne alınmalıdır. Bahsedilen bulanık kümelerin alanının bulanık ilişkisine ait aktivasyon seviyesiyle orantılı olması sebebiyle yalnızca aktivasyon seviyelerinin sıfırdan büyük olduğu bulanık ilişkilerinin ağırlık merkezini etkilediğine dikkat edilmelidir. Ayrıca simetrik üyelik fonksiyonlarının kullanılması sebebiyle $U_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ bulanık kümesi ile ilgili üyelik fonksiyonundaki bir kaymanın daha önceden ima edilen $\hat{U}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT-T)$ bulanık kümeleriyle ilgili üyelik fonksiyonlarının merkezlerini aynı miktarda kaydıracığına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda önceki denetleyici girişleri olan $e(kT-T)$ ve $c(kT-T)$ ile sonuç bulanık kümesini kaydırıktan sonra elde edilen $R_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT)$ verilmiştir [8]. Üyelik fonksiyonunun yeni merkez değeri şöyle ifade edilir:

$$\hat{c}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT - T) = \hat{c}_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT - T) + p_n(kT) \quad (12)$$

Bu denklem 5’de yerine konulursa,

$$u_n(kT-T) = \frac{\sum_{j,\dots,k,l,\dots,m} A_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT-T) c_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT-T)}{\sum_{j,\dots,k,l,\dots,m} A_n^{j,\dots,k,l,\dots,m}(kT-T)} \quad (13)$$

elde edilir. Burada $\tilde{u}_n(kT-T)$ elde edilen yeni kontrol işlemidir. Bu eşitlik sadeleştirilirse,

$$\tilde{u}_n(kT-T) = u_n(kT-T) + p_n(kT) \quad (14)$$

elde edilir. Bu da istenen etkidir Bilgi tabanlı öğrenme modifikasyonuna bir örnek olarak Tablo 2’de girişleri normalize edilmiş ([-1 +1] aralığında) bir uzayda tanımlanmış, $U^{j,k}$ bulanık kümeleriyle ilgili simetrik üyelik fonksiyonlarına ait merkez değerlerini gösteren bilgi tabanlı bir dizi tablosu görülmektedir [6,8].

Tablo 2. Bilgi tabanı dizisi için tipik bir kural tablosu

U ^{j,k}		C ^k										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
E ^j	-5	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0
	-4	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2
	-3	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4
	-2	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6
	-1	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
	0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0
	+1	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
	+2	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
	+3	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	+4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	+5	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

3. BMRÖD Yöntemi ile Bir Tanker Gemisinin Dümen Denetimi

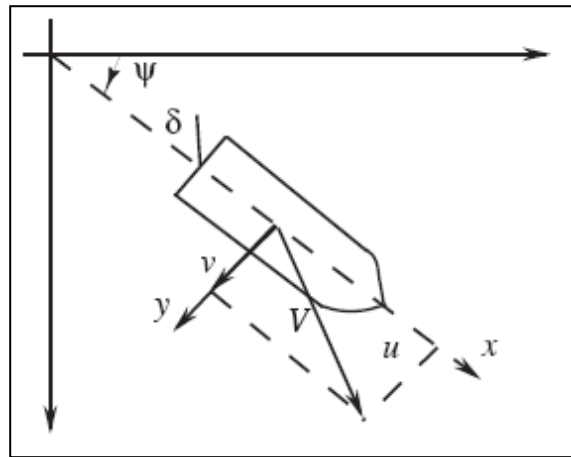
Bu çalışmada, bir tanker gemisinin seyir gereksinimlerinin karşılanması amacıyla modern kontrol teknikleri içerisinde bulunan bulanık model referans öğrenmeli denetim kullanılarak gemi savrulma ve yalpa hareketlerinin dengelenmesi simüle edilmiştir. Gemi hareket analizinde istenilen kararlı davranış şeklinin elde edilmesi için gemi dinamiğine (geminin boyu ve hızı) ve ayrıca dış şartlara (deniz, rüzgar ve akıntılar) bağlı olarak kontrol kazançlarının seçilmesi gerekmektedir [7].

Uygulamalarda gemi dümen denetimlerinde kararsızlık durumlarının ortadan kaldırılması, geminin seyir konforu, doğru rota kontrolü ve minimum yakıt tüketimi gibi problemleri en aza indirmek için bazı performans ölçütleri kullanılmaktadır [7]. Bunlar;

- Durum değişkenleri (pozisyon ve hız ifadeleri)
- Kontrol değişkenleri (dümen ve yalpa dengeleme)
- Sistem parametreleri (sistemin denetim cevapları)

3.1. Tanker gemi modeli

Gemi hareketinin matematiksel modeli Newton mekaniği yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 2. Tanker gemisi

Gemi hareketinin basit bir modeli aşağıdaki gibi verilmiştir [3].

$$\ddot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}\right)\dot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1\tau_2}\right)\psi(t) = \frac{K}{\tau_1\tau_2} \left(\tau_3\dot{\delta}(t) + \delta(t)\right) \quad (15)$$

ψ = Gemi yönelmesi (rad.) , δ = Dümen açısı (rad.)

Denklem 15 başlangıç koşullarında aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K(s\tau_3 + 1)}{s(s\tau_1 + 1)(s\tau_2 + 1)} \quad (16)$$

$K, \tau_1, \tau_2, \tau_3$ gemi ilerleme hızı ve gemi uzunluğunun parametreleridir. l gemi uzunluğu (m), u gemi ilerleme hızı (m/sn) olmak üzere;

$$K = K_0 \left(\frac{u}{l} \right) \quad (17)$$

$$\tau_i = \tau_{i0} \left(\frac{l}{u} \right) \quad i=1,2,3 \quad (18)$$

yazılabilir. $H(\dot{\psi})$, $\dot{\psi}(t)$ 'nin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olmak üzere;

$$H(\dot{\psi}) = \bar{a}\dot{\psi}^3 + \bar{b}\dot{\psi} \quad (19)$$

ile ifade edilir. Buradaki simülasyonda doğrusal olmama durumu için $\bar{a} = 1$ ve $\bar{b} = 1$ olarak seçilmiştir.

3.2. BMRÖD tasarımı

Bulanık denetleyicinin girişleri olarak yönelme hatası ve yönelme hatasındaki değişim denklem 20 ve 21'deki gibi elde edilir.

$$e(kT) = \psi_r(kT) - \psi(kT) \quad (20)$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \quad (21)$$

Burada; $\psi_r(kT)$ istenen gemi yönelmesi, T örnekleme periyodu ve $\delta(kT)$ denetleyici çıkışını (dümen açısı) ifade etmektedir.

Çalışmada arzu edilen referans model aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$\frac{Y_m(s)}{R(s)} = \frac{k}{s+a} \quad (22)$$

Burada $s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)}$ konularak bilineer dönüşüm ile ayrık referans model elde

edilmiştir. Simülasyonda;

$$k = \frac{1}{150}, \quad a = \frac{1}{150}, \quad T = 10 \text{ sn.}, \quad l = 350 \text{ m.}, \quad u = 5 \text{ m/sn.}$$

olarak alınmıştır.

Daha sonra 11'er tane simetrik ve üçgen şekilli üyelik fonksiyonlarını tanımlamak için normalizasyon kazançları belirlenmiştir.

$$g_{ye} = \frac{1}{\pi} \quad (\text{Yönelme hatası en fazla } 180^0 \text{ dir})$$

$$g_{yc} = 100 \quad (\text{Gemi yönelmesi en fazla } 0,01 \text{ rad/sn'dir})$$

$$g_p = \frac{80\pi}{180} = \frac{8\pi}{18} = \frac{4\pi}{9} \quad (\text{Kabul edilebilir dümen açısı } \pm 80^0 \text{ dir})$$

Çalışmada bulanık ters model kural tablosu Tablo 3'de verildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. Tanker gemisi için bulanık ters model kural tablosu

P _{i,j,k}		Hatanın değişimi (c)										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Hata (e)	-5	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0
	-4	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2
	-3	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4
	-2	+1.0	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6
	-1	+1.0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
	0	+1.0	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0
	+1	+0.8	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
	+2	+0.6	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
	+3	+0.4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	+4	+0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	+5	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

Bulanık ters modelin girişleri olarak referans model ile gemi yönelmesi

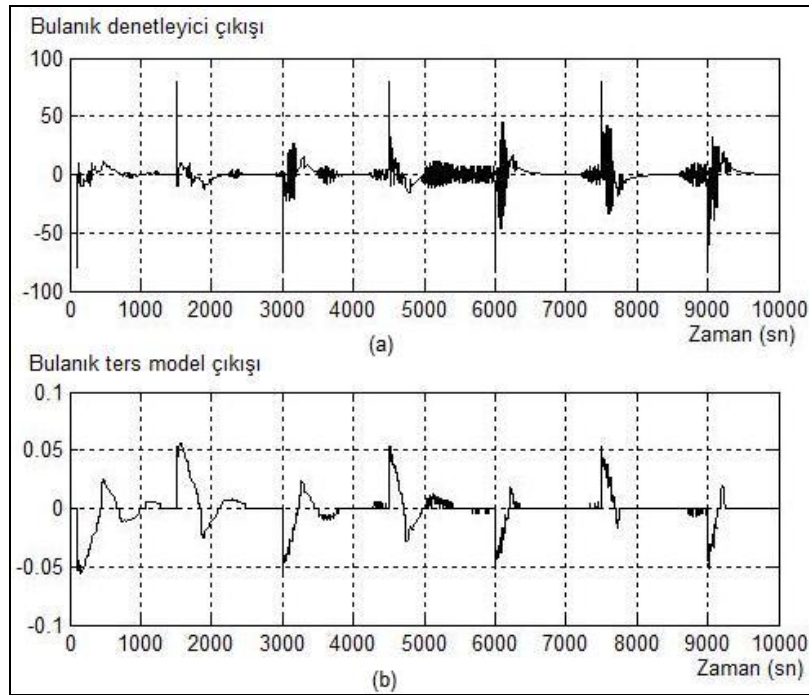
arasındaki hata ve hatadaki değişim sırasıyla denklem 23 ve 24'de gösterilmiştir.

$$\psi_e(kT) = \psi_m(kT) - \psi(kT) \quad (23)$$

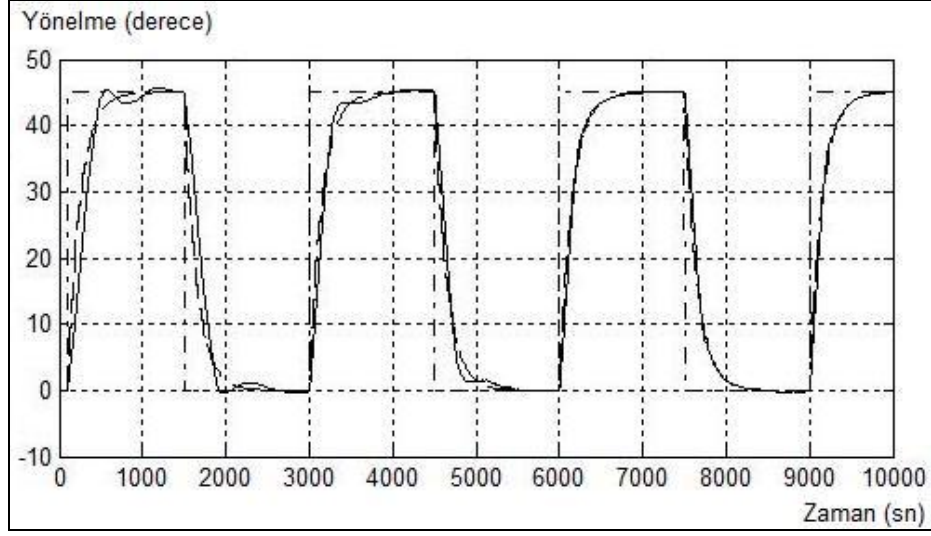
$$\psi_c(kT) = \frac{\psi_e(kT) - \psi_e(kT - T)}{T} \quad (24)$$

4. Simülasyon Sonuçları

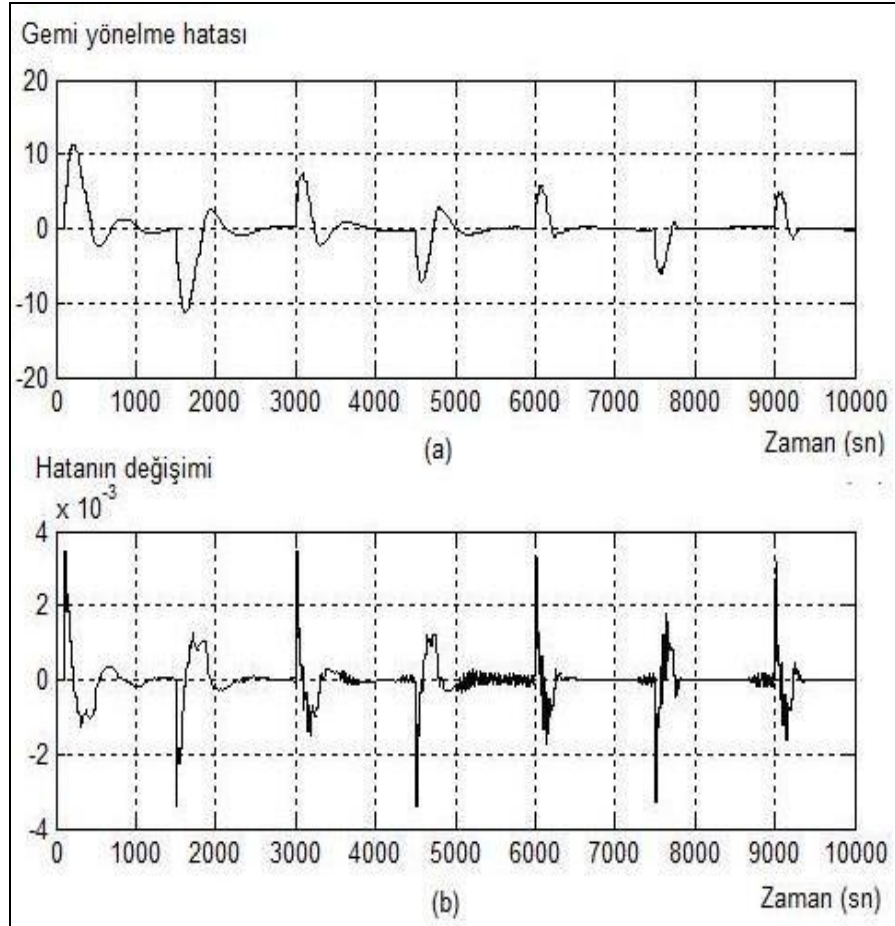
Yapılan çalışmada, yukarıda verilen parametreler için simülasyon sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Buna göre; Şekil 3’de bulanık denetleyicinin çıkışı ve bulanık ters model çıkışı alt alta verilmiştir. Şekil 4’de gemi yönelmesi ve referans model olarak istenen gemi yönelmesi verilmiştir. Şekilde, referans model çıkışı kesikli çizgiler ile ve gemi yönelmesi ise sürekli çizgiler ile aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, zaman ilerledikçe gerçek sistem çıkışı referans model çıkışına yaklaşmaktadır. Şekil 5’de, gemi yönelmesi ile referans model çıkışı arasındaki hata ve hatanın değişimi birlikte verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, gerçek sistemin referans modele zamanla yaklaştığı hatanın giderek azalmasından anlaşılmaktadır. Şekil 6’da, simülasyon işlemi sonunda elde edilen bulanık denetleyici kontrol yüzeyi görülmektedir. Kontrol yüzeyi, simülasyon boyunca adaptif denetleyici tarafından sürekli olarak yenilenmiştir.



Şekil 3. (a) Bulanık denetleyicinin çıkışı (b) Bulanık ters model çıkışı



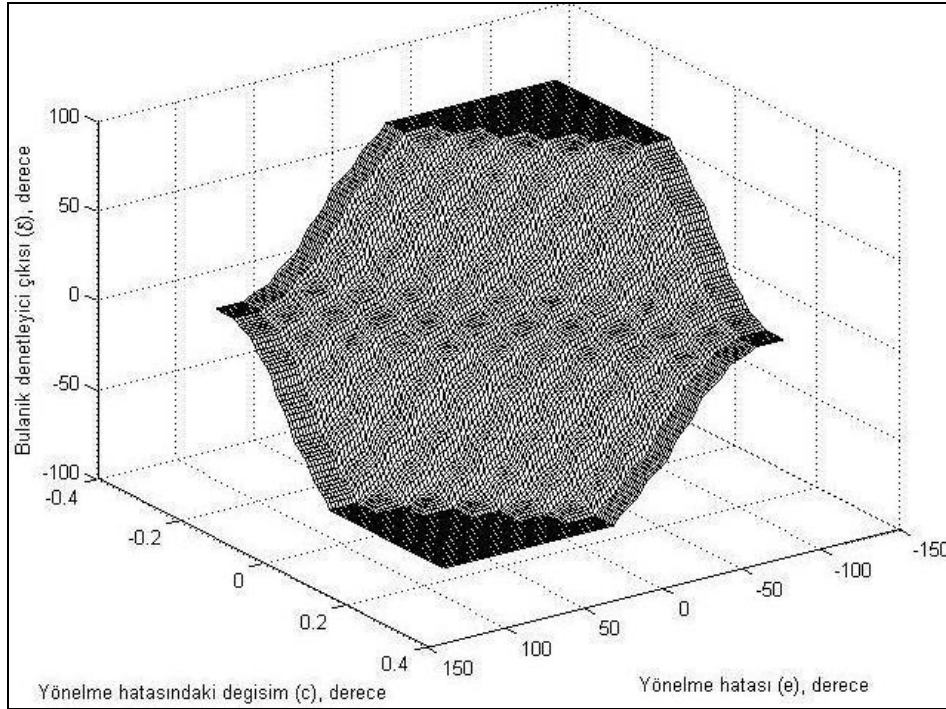
Şekil 4. Referans giriş (noktalı çizgi), gemi yönelmesi (sürekli çizgi) ve istenen gemi yönelmesi (kesikli çizgi)



Şekil 5. (a) Gemi yönelme hatası (b) Hatanın değişimi

4. Tartışma

BMRÖD yönteminde denetleyiciye ve bulanık ters modele ait kazançlarının seçimi için belirgin bir yöntem bulunmamaktadır. Kazançlar, denetlenen sistemden alınan cevabın osilasyon durumuna göre değerlerinin arttırılıp azaltılması suretiyle, bir başka deyişle deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Ayrıca, mevcut ayarlama algoritması yapay sinir ağları ile oluşturularak iyileştirmeler yapılabilir ve bunlara ilave olarak değişik ayarlama mekanizmaları geliştirilebilir.



Şekil 6. Girişler ve çıkış arasındaki bulanık kontrol yüzeyi

6. Sonuçlar

Bulanık model referans öğrenmeli denetim (BMRÖD), klasik bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirilen denetim için kolaylık sağlayan bir yöntemdir. Klasik bulanık mantık ile yapılan denetimde bulanık denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının oluşturulması çoğu zaman tecrübeye ve bilgiye dayalıdır. Bulanık model referans öğrenmeli denetimde ise üyelik fonksiyonları, bir öğrenme mekanizması yardımıyla

merkezlerin belli bir kritere göre kaydırılması yoluyla ayarlanabilmektedir. Sonuç olarak adaptif yapının, dümen ve yalpa dengeleme işlemleri gibi zamanla değişebilen ve lineer olmayan sistemlerde oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Zekai ŞEN, “*Bulanık Mantık Ve Modelleme İlkeleri*”, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul, 2001
- [2] W. Li and J.J.E.Slotine, “*Applied Nonlinear Control*”, New Jersey: Prentice-Hall, 1991
- [3] Kevin M. Passino and Stephen Yurkovich, “*Fuzzy Control*”, Addison Wesley Longman, Inc. 1998
- [4] Jeffery R. Layne, “*Fuzzy Model Reference Learning Control, Master’s thesis*”, Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, 1992
- [5] Maeland, J. A. and B. Porter, “*Design of Model-Reference Neural Controllers using step-response Data, IFAC Algorithms and Architectures for Real-Time Control*”, Bangor, North Wales, UK, 1991
- [6] Jeffery R. Layne and Kevin M. Passino, “Fuzzy Model Reference Learning Control”, *Proceedings of the 1st IEEE Conference on Control Applications*, Cilt: 4, No: 1, s:33-47, 1996
- [7] Fuat ALARÇİN, “*Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, Doktora Tezi*” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2005
- [8] Özgür KARADUMAN ve Z. Hakan AKPOLAT, “*Bulanık Model Referans Öğrenmeli Denetim Yönteminde Kullanılan Kazançların Bir Genetik Algoritma İle Belirlenmesi*” Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 21, No:1, 29-37, 2006.