



## Kesir dereceli model referans denetleyici ile görüntü işleme destekli nesne takip uygulaması

### Image processing based object tracking application with fractional-order model reference controller

Gürkan KAVURAN<sup>1\*</sup>, Abdullah ATEŞ<sup>2</sup>, B. Baykant ALAGÖZ<sup>2</sup>, Celaleddin YEROĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye  
gurkankavuran@gmail.com

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye  
abdullah.ates@inonu.edu.tr, baykant.alagoz@inonu.edu.tr, celaleddin.yeroglu@inonu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 27.05.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.54036  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

#### Öz

Bu çalışmada doğru akım servo motorun pozisyon denetimi, kesir dereceli integratörle birlikte geleneksel model referans uyarlamalı denetleyici yapısı kullanılarak incelenmiştir. Denetleyici yapısındaki iyileşme, uyarılma kuralında kesir dereceli operatörlerin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Gerçek zamanlı çalışan sistemin referans pozisyon bilgisi, kameradan alınan değerlere göre güncellenmiştir. Sistem çıkışı, öğrenme katsayısı değiştirilerek tamsayı ve kesir dereceli uyarılma kuralına göre karşılaştırmalı olarak kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kesir dereceli yaklaşımın daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kesir dereceli matematik, Model referans uyarlamalı denetim, Nesne takibi, Servo motor.

#### Abstract

In this paper, position control application of DC servo motor is investigated by using conventional model reference adaptive control structure with fractional order integrator. Modification of the controller is achieved by fractional order integrator in adaptation rule. Object position for reference input of control system is updated in real time by the values obtained from camera of object tracking system. Results obtained for integer order integrator and fractional-order integrator for model reference adaptive control system are compared and it is observed that the fractional-order integrator can provide faster adaptation for the system.

**Keywords:** Fractional order calculus, Model reference adaptive control, Object tracking, Servomotors.

## 1 Giriş

Gün geçtikçe robotik ve diğer endüstriyel uygulamalarda servo motorların kullanımı önemli ölçüde artmaktadır. Bu durum motor denetim tekniklerinin de gelişmesi gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Doğru akım (DA) servo motorlar, zamanla değişen ve doğrusal olmayan bir yapı sergiledikleri için geleneksel denetleyici yapıları bu sistemlerin dinamik performansını sınırlandırmaktadır.

Literatürde birçok denetim tekniğinin, DA servo motorlara uygulandığı görülmektedir [1]-[3]. Model referans uyarlamalı denetim (MRUD) de bunlardan birisidir. 1950'li yıllarda yüksek performanslı uçakların otomatik pilot sistemleri için tasarlanan MRUD'de, sistem çıkışının bir referans modeli takip etmesi istenmektedir. Bu yöntem genel olarak, parametreleri daha önce bilinmeyen bir sistemi denetlemeyi amaçlamaktadır. Uygun tepki cevabı olan bir referans model seçilerek, mevcut sistemin denetiminde istenilen performans sağlanmış olur.

Temelde ilk olarak Whitaker tarafından ele alınan MRUD yapısı [4] daha sonraki dönemde birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [5],[6]. Parametre değişimlerine karşı dayanıklı performans sergileyen MRUD'nin, bozucu etki ve sistem belirsizliklerinin de üstesinden geldiği gözlemlenmiştir [7]. Bu nedenle uygulama çalışmalarında geniş bir kullanım olanağı bulan MRUD, günümüzde de geçerliliğinin sürdürmektedir. Mohideen ve diğ. hibrit tank sisteminin kontrolünü, genetik algoritma tabanlı MRUD yapısını

kullanarak gerçekleştirmişlerdir [8]. Diğer bir çalışmada, vektör kontrollü asenkron motorun hız tahmini için aynı denetçi yapısı revize edilerek sunulmuştur [9]. Beş fazlı sürekli mıknatıslı senkron motorun kontrolü için MRUD yapısı, yapay sinir ağlarıyla birlikte kullanılmıştır [10]. Çevresel faktörlere bağlı olarak değişen dinamikleri içeren sistemlerin denetiminde kullanılan MRUD, uçuk kontrol sistemlerinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir [11]-[13].

Günümüzde adından sıkça bahsettiren kesir dereceli matematik ise, dereceleri keyfi seçilmiş gerçel sayılar olabilen integro-diferansiyel denklemlerle ifade edilmektedir. Karmaşık hesaplama teknikleri gerektiren kesir dereceli integro-diferansiyel eşitlikler, gerçek sistemlerin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanım bulmuştur.

Bilgisayar ile hesaplama yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte, uzun yıllar yabancı kalınan kesir dereceli türev ve integral uygulamaları; kimya, biyomedikal, kontrol teorisi, elektronik, sinyal işleme gibi mühendisliğin birçok alanında ilgi çeken konular arasına girmiştir. Kesir dereceli integro-diferansiyel ifadelerin sistemleri daha iyi modellediği, denetleyici ve sistem tasarımına yeni bir bakış açısı getirmiştir [14].

Bu çalışmada ise DA servo motorun pozisyon denetimi, kesir dereceli matematiksel ifadelerle birlikte geleneksel model referans uyarlamalı denetleyici yapısı kullanılarak incelenmiştir. Referans pozisyon bilgisi, kameradan alınan değerler ile güncellenerek, kapalı çevrim sistemin girişine uygulanmıştır. Akıllı kontrol sistemlerinin geliştirilmesi için

gerçek zamanlı kamera görüntülerini işleyen metotların geliştirilmesi gerekmektedir. Kamera ve görüntü işleme sistemlerinin maliyetlerinin düşmesi, bu sistemlerin sensör olarak sahada kullanılmasına imkân sağlamıştır. Bu çalışmada kamera ve görüntü işleme tekniklerinin, kapalı çevrim kontrol sistemine entegre edilerek daha akıllı bir kontrol uygulaması gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uyarlama kuralında kesir dereceli operatörlerin kullanılmasıyla daha iyi denetleyici performansı sağlandığı görülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde; kesirli matematik, model referans uyarlamalı denetim, renk tabanlı nesne takibi ve doğru akım servo motor modeliyle ilgili temel tanımlamalar verilecektir. Üçüncü bölümde; önerilen kesir dereceli MRUD yapısından bahsedilecektir. Benzetim ve uygulama çalışmaları dördüncü bölümde verilerek, son bölümde çalışmayla ilgili sonuçlar tartışılacaktır.

## 2 Temel tanımlamalar

### 2.1 Kesirli matematik

Tam sayı dereceli türev ve integral ifadelerinin genelleştirilmiş hali olan kesir dereceli aritmetik operatör,  ${}_a D_t^\alpha$  olarak ifade edilmektedir. Burada  $a$  ve  $t$  operatörün sınırlarını,  $\alpha \in \mathbb{R}$  ise operatörün derecesini göstermektedir. Burada operatör derecesinin 0'dan büyük veya küçük olma durumuna göre kesirli integro-diferansiyel ifadeler  $d^\alpha/dt^\alpha$  ve  $\int_a^t (d\tau)^{(-\alpha)}$  olarak yazılabilir. Bu çalışmada uyarlama kuralı içerisinde kesir dereceli integral ifadesine yer verileceği için, Riemann-Liouville kesir dereceli integral tanımını incelemek doğru olacaktır. Bu ifade Denklem (1)'de verilmiştir [15].

$${}_a D_t^{-\alpha} f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^t (t - \tau)^{\alpha-1} f(\tau) d\tau \quad (1)$$

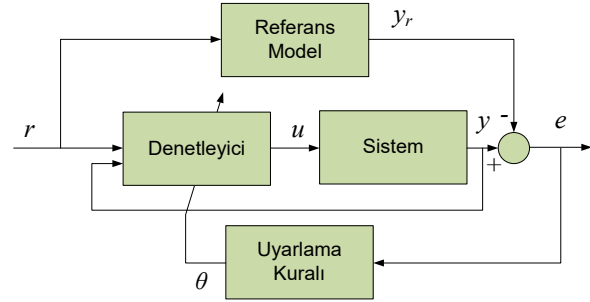
Burada  $0 < \alpha < 1$ ,  $a$ , ise başlangıç anıdır ve genellikle sıfır alınır. Eğer  $a = 0$  olursa operatör  $D_t^{-\alpha} f(t)$  ile gösterilebilir. Denklem (1) 'den görüldüğü üzere kesir dereceli ifadelerin çözümünün zorluğu pratik uygulamalar için yüksek işlem karmaşıklığı getirdiğinden, bazı yaklaşık çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Kesir dereceli modellerin tamsayı derece yaklaşık eşdeğer fonksiyonları filtreler yardımıyla elde edilebilmektedir. Sürekli kesir açılımı, Oustaloup, Carlson ve Charef yöntemleri gibi yaklaşımlar kesir dereceli türev ve uygulamalarında kullanılmaktadır [16],[17]. Bu çalışmada kesir dereceli türevlerin hesaplanmasında dördüncü mertebeden sürekli kesir açılımı yaklaşık eşdeğer modelleri kullanılmıştır [18].

### 2.2 Model referans uyarlamalı denetim

Denetlenen sistemin dinamiğinde meydana gelen değişiklikler, parametre değişimlerine de yol açar. Bu durum, dayanıklılık ve süreklilik bakımından olumsuz sonuçlar doğurur. Bu nedenle denetleyicinin değişimlere göre kendisini yeniden düzenleyerek denetim performansını istenilen düzeyde tutması, uyarlamalı denetim yöntemlerinin avantajları arasında görülebilir. Ayrıca sistemin parametreleri kesin olarak bilinmese bile, sağlıklı bir şekilde denetim yapma imkânı vardır. Uyarlamalı olmayan denetim yöntemlerinde ise denetlenen sistemin parametrelerinin hassas bir şekilde ölçülmesi gerekir. Uyarlamalı denetim yöntemlerinden biri olan model referans uyarlamalı denetimde, sistemin çıkış değişkeninin bir referans modeli takip etmesi istenmektedir. Tepki cevabı uygun olan bir referans model seçilerek, mevcut

sistemin denetiminde istenilen performans sağlanmış olur [19].

Model referans uyarlamalı denetleyicide, uyarlama kuralının seçimi önem arz etmektedir. İki sistemin çıkış büyüklükleri arasındaki farkı azaltacak şekilde tasarlanan uyarlama kuralında, yakınsama süresinin kısalığı ve sürekliliği de sağlanmak zorundadır. Şekil 1'de MRUD sisteminin blok şeması verilmiştir.



Şekil 1: MRUD sisteminin blok şeması.

Şekilde görüldüğü üzere, sistemde iki adet döngü yapısı mevcuttur. Bunlardan iç döngü, temel denetim geri besleme döngüsüdür. Dış döngü ise, iç döngü parametrelerini güncelleyen ve uyarlama kuralını barındıran döngüyü temsil etmektedir. Denetlenen sistem ile referans modelin çıkış büyüklükleri arasındaki fark, Denklem (2)'deki gibi tanımlanmaktadır.

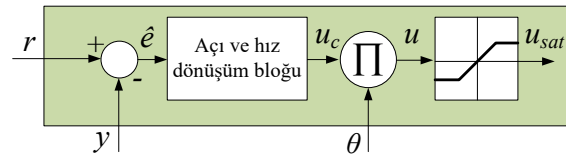
$$e = y - y_r \quad (2)$$

Gradyan yaklaşımına göre şekillendirilen değer fonksiyonu Denklem (3)'teki gibi yazılabilir.

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(\theta) \quad (3)$$

Hataya göre değer fonksiyonunu minimize etmek için,  $J$ 'nin negatif gradyanı boyunca hareket ettirilmesi gerekir. Bu değişimin  $\theta$ 'daki değişimle orantılı olduğu kabul edilirse,  $\theta$ 'nın türevi değer fonksiyonundaki azalan değişime eşit olur. Buna göre değer fonksiyonu Denklem (4)'teki formda seçilir.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (4)$$



Şekil 2: Şekil 1'deki denetleyici bloğu iç yapısı.

Değer fonksiyonu ve  $\theta$  arasındaki bu ilişkiye MIT kuralı da denilmektedir [19]. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere, sisteme entegre basit bir oransal denetleyici yapısı kullanılmıştır. Referans kamera bilgisi ile geri besleme hattından alınan sistem çıkışı farkı, dönüşüm bloğu sonrasında  $u_c$  olarak elde edilmektedir. Bu sinyal, uyarlama bloğu çıkışında elde edilen  $\theta$  değişkeniyle her defasında çarpılarak yeni denetim sinyali  $u$  oluşturulur. Olası durumlarda motorun zarar görmemesi adına, aşırı güce maruz kalmasını engellemek için denetim sinyali doyum fonksiyonu ile sınırlandırılmıştır.

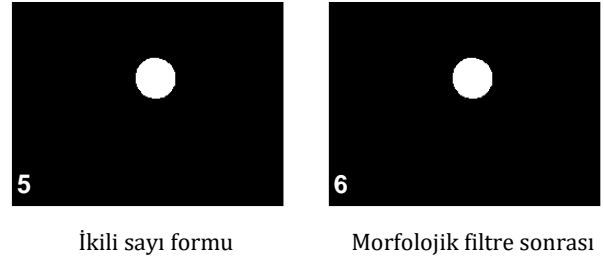
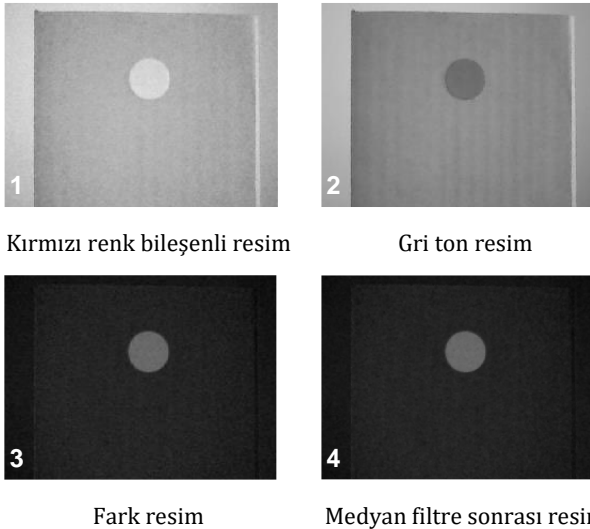
Literatürde, parametre optimizasyonu için MIT kuralının birçok varyasyonu vardır. Bu çalışmada ise, Denklem (4)'te verilen MIT kuralındaki türevsel değişim için kesir dereceli matematik uygulanmıştır.

### 2.3 Renk tabanlı nesne takibi

Bu çalışmada, görüntü işleme tekniği yardımı ile kameradan elde edilen hedef objenin konumu ile referans işaret sağlanmaktadır. Hedef objenin renk bilgisinin değişmediği durumlar için uygun bir yöntem olan yoğunluk eşiklemesine dayanan bir nesne takip uygulaması kullanılmıştır.

Denetim sisteminin en yavaş bileşeni görüntü işleme bileşeni olacağı için sistemin hızını ağırlıklı olarak görüntü işleme sisteminin cevap süresi belirler. Bu uygulamada, görüntü işleme biriminin bir resmi analiz süresi yaklaşık 1 sn. olarak ölçülmüştür. Sahada gerçek zamanlı uygulamalarda, bu hız saniyede 10-20 resim düzeyine ulaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla görüntü işleme sisteminin genellikle donanımsal olarak FPGA ile gerçekleştirilmesi önerilir.

Nesne takip işlemini temel aşamaları Şekil 3'te basitçe görülmektedir. Kırmızı renk bileşen matrisi (Resim 1), ile gri ton resim (Resim 2) çıkarılarak Resim 3'te görülen fark resmi elde edilir. Bu çalışmada amaç, kırmızı renkli nesnenin takibi olduğu için çerçeve içerisinde sadece bu rengin ortaya çıkarılması istenmektedir. Bu nedenle kırmızı bileşen matrisinden gri matris çıkarılarak, kırmızı renkli kısımların yeşil değeri diğer bileşenlere göre daha yüksek olarak elde edilmektedir ( $R - (0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B)$ ). Resim üzerinde medyan filtre kullanılarak gürültü bileşenleri temizlenir (Resim 4). Burada kırmızı bölge yüksek yoğunluklu olarak elde edilir ve eşikleme ile ikili sayı sisteminde resme dönüştürülür (Resim 5). Fark resmi alınarak kırmızı renkli nesnenin görüntüsü daha belirgin hale gelmektedir. Böylece daha keskin geçişler elde edilmekte ve uygulanacak olan ikili sayı formu yöntemi daha net sonuçlar vermektedir. İkili sistemde kalan tek noktalı gürültü morfolojik filtre ile temizlenir (Resim 6).



Şekil 3: Nesne takip uygulaması işlem basamakları.

### 2.4 Sistem özellikleri ve doğru akım servo motor modeli

Bu çalışmada, robotik uygulamalarda sıkça kullanılan ve düşük maliyetli bir uygulama platformu olan LEGO firmasına ait Mindstorms NXT kitinden yararlanılmıştır. Bilgisayar destekli eğitim platformu olan bu set üzerinde, farklı robotik ve kontrol senaryoları oluşturulmaktadır. Sistem programlanabilen ve çevresel birimlerle iletişim kurabilen bir yapıya sahiptir. İçerisinde 32-bit ARM7TDMI işlemci ve 8-bit ATmega48 mikro denetleyici barındıran sistem, üç adet motor portu ve dört adet sensör giriş portuna sahiptir. Harici cihazlarla kablolu ve kablosuz iletişim kurabilen sistem, MATLAB yardımıyla da programlanabilmektedir. Aktüatörler, doğru akım motoru, enkoder ve dişli kutusundan oluşmaktadır.

Motor hızı, [-100:100] aralığında değişen PWM sinyalleri tarafından kontrol edilmektedir. Motor parametreleri Tablo 1'de verilmiştir [20].

Tablo 1: DA servo motor parametreleri.

Değişken	Değerler	Tanım
$J_m$	$10^{-5} kgm^2$	Atalet Momenti
$R_m$	$6.69 \Omega$	Motor Direnci
$L_m$	$0.0047 H$	Motor İndüktansı
$K_\omega$	$0.468 V sn rad^{-1}$	Motor Sabiti
$K_T$	$0.317 Nm A^{-1}$	Motor Tork Sabiti
B	$0.0022 Nm rad sn^{-1}$	Sürtünme Katsayısı

Tablo 1'deki parametrelere göre motorun geçiş fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{K_S}{s(1 + \tau s)} = \frac{1.9436}{41.017 \times 10^{-5} s^2 + s} \quad (5)$$

Burada elektriksel zaman sabitinin mekaniksel zaman sabitinden çok küçük olduğu kabulü yapılarak  $K_S = K_T / K_T K_\omega + B R_m$  ve  $\tau = J_m R_m / K_T K_\omega + B R_m$  olarak alınmıştır [21]. Burada  $U(s)$  kontrol işareti,  $\theta(s)$  ise sistem çıkışıdır.

### 3 Önerilen kesir dereceli MRUD

Denklem (4)'te verilen MIT kuralındaki türevsel değişimin doğrudan  $\gamma$  değerine bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Uyarılama katsayısındaki değişim oranının, türevsel ifadenin derecesiyle olan ilişkisi göz önüne alınırsa, kesir dereceli yapının MIT kuralına katkısı incelenebilir. Bu çalışmada MIT kuralı kesir dereceli türev ile uygulanmıştır. Bu konudaki teorik çalışmalar Vinagre ve diğ. tarafından sunulmuştur [22]. MIT kuralının kesir dereceli versiyonu Denklem (6)'da verilmiştir.

$$\frac{d^\alpha \theta}{dt^\alpha} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (6)$$

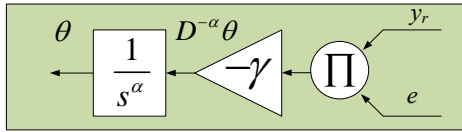
Denklem (6) her iki tarafın kesir dereceli integrali alınarak çözümlerse,

$$\theta = D^{-\alpha}(-\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta}) = D^{-\alpha}(-\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta}) \quad (7)$$

elde edilir. Denklem (2) dikkate alınır, hatanın türevi, için MRUD sisteminde  $\frac{\partial e}{\partial \theta} = y_r$  alınabilir.

$$\theta = D^{-\alpha}(-\gamma e y_r) \quad (8)$$

Şekil 4'te Denklem (8) için elde edilen kesir dereceli uyarlama kuralı sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 4: Önerilen kesir dereceli uyarlama kuralı.

#### 4 Benzetim ve uygulama çalışması

Bu bölümde, önerilen denetleyici yapısının benzetim ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Bölüm 4.1'de kesir dereceli MRUD'nin performans incelemesi için örnek bir simülasyon çalışması verilmiştir. Bölüm 4.2'de ise önerilen görüntü işleme destekli kesir dereceli MRUD yapısının deneysel olarak uygulaması gerçekleştirilmiştir.

##### 4.1 Kesir dereceli MRUD için benzetim çalışması

Sıvı seviye denetimi, kimya sanayinde, ilaç endüstrisinde, nükleer uygulamalarda ve daha sayamadığımız birçok alanda önemli bir yere sahiptir. Bozuculara karşı dayanıklı bir denetleyici algoritmasının gerekliliği, tank içerisindeki sıvının istenilen değerde sabit tutulması isteğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu tip sistemlerde harici bozuculara ve sistem dinamiğindeki değişimlere karşı hassasiyeti yüksek olan MRUD'nin kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Sistemin denetimi için öncelikli olarak sıvıyı içeren tanka ait matematiksel modelin elde edilmesi gerekmektedir. Model oluşturulurken, tank içerisine giren ve çıkan sıvı akışından yararlanılmaktadır. Akışı dengelemek için bu iki değer arasındaki fark, tankın kesitine ve içerisindeki sıvının zamana bağlı olarak değişimine bağlıdır.

$$Q_i - Q_o = A \frac{dh(t)}{dt} \quad (9)$$

Burada  $Q_i$  ve  $Q_o$  sırasıyla giren ve çıkan sıvı akışını,  $A$  tankın enine kesit alanını,  $h(t)$  ise sıvı seviyesini göstermektedir.

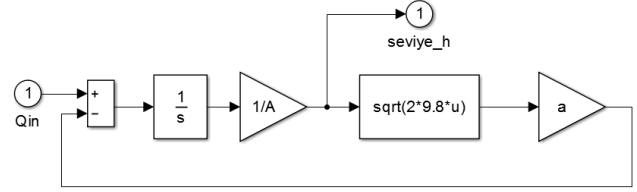
Tankın çıkış valfinden geçen sıvı akışı,

$$Q_o = a\sqrt{2gh(t)} \quad (10)$$

olarak elde edilmektedir. Burada  $a$  çıkış boru kesiti,  $g = 9.8 m/sn^2$  yerçekimi ivmesidir. Buna göre sisteme ait diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} Q_i - \frac{a\sqrt{2gh(t)}}{A} \quad (11)$$

Eşitlik (9) ve (10)'a göre elde edilen tank sisteminin Matlab/Simulink modeli Şekil 5'te verilmiştir.

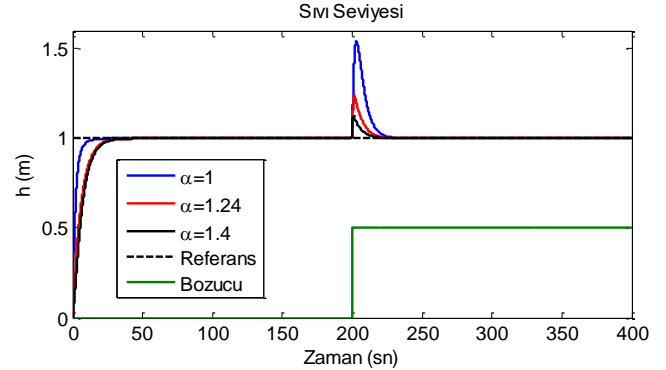


Şekil 5: Tank modelinin blok diyagramı.

Şekil 1'de verilen MRUD sistemindeki denetleyici yapısı, sıvı seviye denetimi için PD olarak seçilmiştir. İç denetleyiciye ait değerler sırasıyla  $K_p = 0.1$  ve  $K_d = 0.6$  olarak alınmıştır. Burada, tankın enine kesit alanı  $A = 1$  m, çıkış boru kesiti  $a = 0.05$  m ve  $\gamma = -0.005$ 'dir. Referans model, yükselme zamanı 0.413 sn., oturma zamanı 0.706 sn. ve kalıcı hal hatası 0 olacak şekilde seçilmiştir. Buna göre kullanılan referans modele ait geçiş fonksiyonu,

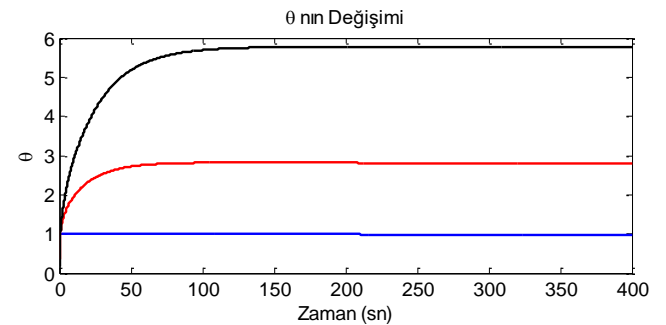
$$G_r(s) = \frac{60}{s^2 + 15s + 60} \quad (12)$$

olarak elde edilmektedir. Önerilen denetleyicinin başarımını göstermek için sisteme 200. sn'de genliği 0.5 olan basamak girişi uygulanmıştır. Geleneksel yapı ile farklı  $\alpha$  değerlerine sahip kesir dereceli MRUD karşılaştırmalı olarak kıyaslanmıştır. Şekil 6'da  $\alpha$ 'nın değişimine bağlı olarak değişen sistem çıkışı verilmiştir. Büyük  $\alpha$  değerlerinde bozucu etkinin daha iyi bastırıldığı ancak yerleşme zamanında gecikmenin olduğu görülmektedir.

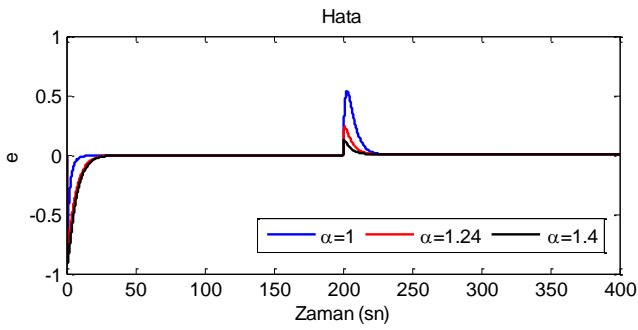


Şekil 6: Farklı  $\alpha$  değerlerine göre sıvı seviye değişimleri.

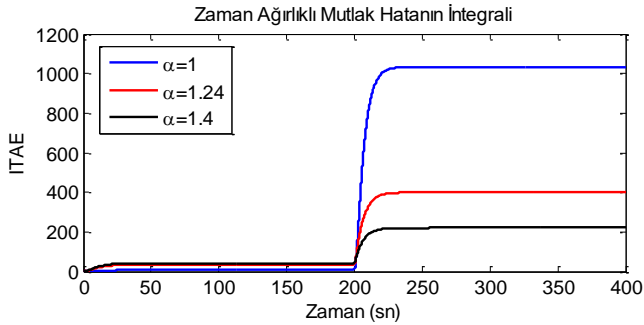
Şekil 7'de  $\theta$ 'nın değişim grafiği, Şekil 8'de referans model çıkışı ile sistem çıkışı arasındaki hata değişimi, Şekil 9'da ise zaman ağırlıklı mutlak hata değerinin integraline ait grafikler verilmiştir.



Şekil 7: Bozucu giriş ve farklı  $\alpha$  değerleri için  $\theta$ 'nın değişimi.



Şekil 8: Hata değişim grafiği.



Şekil 9: Farklı  $\alpha$  değerleri için ITAE grafiği.

Önerilen denetleyicinin başarımı  $ITAE = \int t|e| dt$  integrasyonu kullanılarak Tablo 2'de farklı  $\alpha$  değerleri için verilmiştir.

Tablo 2: ITAE Başarım Değerleri

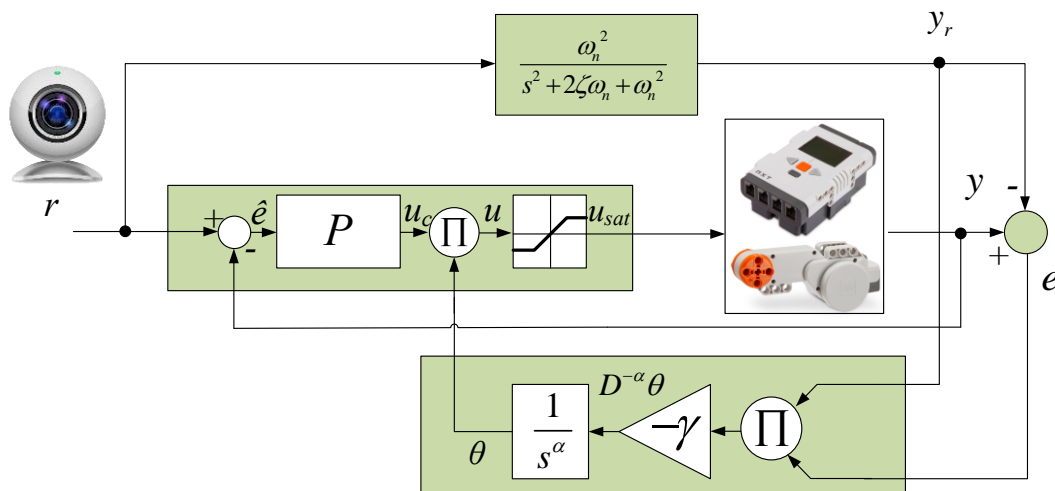
$\alpha$	ITAE	Yerleşme Zamanı (sn)
1	1033	32.26
1.24	400	47.52
1.4	220	47.72

Benzetim sonuçları ve ITAE başarım değerleri incelendiğinde, önerilen kesir dereceli MRUD'nin geleneksel uyarlamalı denetleyiciye göre, bozucu bastırımında daha başarılı olduğu görülmektedir. Yerleşme zamanındaki gecikme hata oranındaki değişim göz önünde bulundurulduğu takdirde bu tip sistemler için önemsenmeyecek seviyelerdedir.

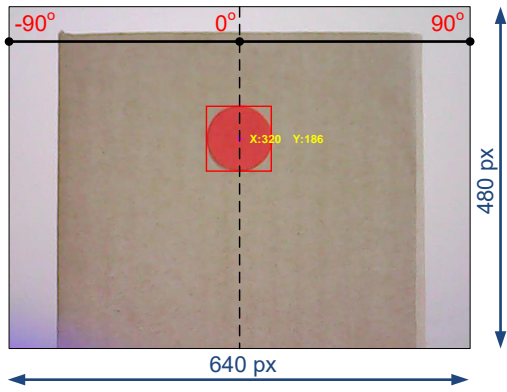
#### 4.2 Görüntü işleme destekli uyarlamalı kontrol sistemi ile obje takibi uygulaması

Uygulama çalışmaları MATLAB/Simulink paket programı aracılığıyla, enkoderden gelen geri besleme bilgisi ve sisteme ait çıkış pozisyon değeri, harici modda çalıştırılarak yapılmıştır. Sistem giriş bilgisi ise kameradan alınan değerlerin çevrimiçi olarak Simulink programına entegrasyonu ile sağlanmıştır. Tüm sistemin blok diyagramı Şekil 10'da verilmiştir. Motorun dönüş açısını  $[-90^{\circ}:90^{\circ}]$  aralığında sınırlandırmak için Şekil 11'de görülen ölçümleme işlemi yapılmıştır. Kırmızı nesnenin ağırlık merkezinin x eksenindeki değişimine bağlı olarak, motorun pozisyon değeri sınırlanan açı aralığında değişmektedir. MRUD'nin görevi motor şaftının hedef objenin ağırlık merkezi ile hizalanmasını sağlamaktır.

Bu sistemde de Eşitlik 12 ile verilen referans model kullanılmıştır. Öncelikle, sistem girişine  $[0^{\circ}:50^{\circ}]$  aralığında değişen ve periyodu 10 sn. olan kare dalga uygulanmıştır. Denklem 6'da verilen ifadeye göre  $\alpha = 1$  alınarak elde edilen referans ve çıkış dalga şekilleri Şekil 12'de gösterilmiştir. Gerçek zamanlı çalışan sistemde,  $\gamma$  değerine bağlı olarak, çıkışın girişe adaptasyonunun nasıl değiştiği açıkça görülmektedir. Uyarlama katsayısı olan  $\gamma$ 'nın değişimine bağlı olarak, Eşitlik 6-7 incelendiğinde, kontrol parametresi  $\theta$ 'nın da değişimi söz konusudur. Bu durum denetim sinyalinin doğrudan etkileyecektir. Buna bağlı olarak büyük  $\gamma$  değerlerinde, sistemin referans işaretini takip etme başarımı, küçük değerlere göre daha yüksektir. Bu durumda kontrol parametresi  $\theta$  artarak sabit bir değere yakınsayacaktır. Ancak  $\theta$ 'nın artması sistem kararlılığını da etkilemektedir. Dolayısıyla  $\gamma$ 'nın seçimi sistemi kararsızlığa götürmeyecek aralıkta olmalıdır.

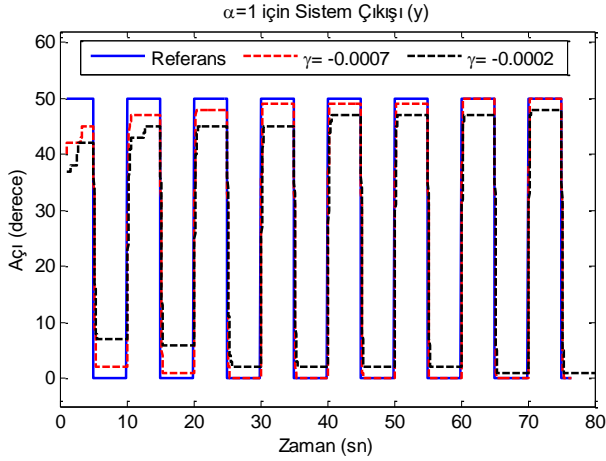


Şekil 10: Sisteme ait blok diyagramı.

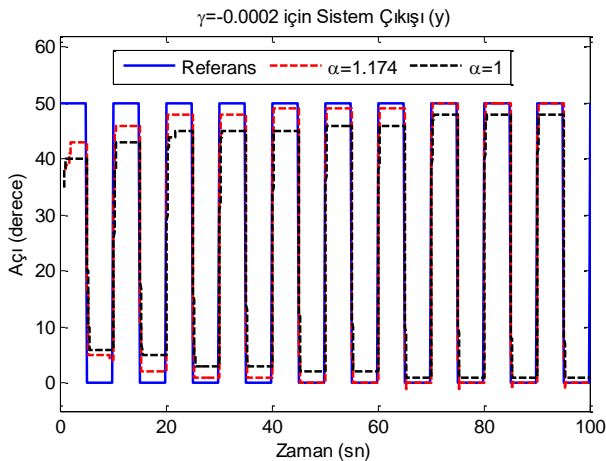


Şekil 11: Kamera bilgisinin ölçeklemesi.

Önerilen kesir dereceli MRUD'in etkinliğini göstermek amacıyla, büyük  $\gamma$ 'ya göre kötü sonuç veren  $\gamma = -0.0002$  değerindeki çıkış işareti,  $\alpha = 1.174$  alınarak tekrar incelenmiştir. Uyarlama kuralında kullanılan integratörün derecesinin kesirli olarak ifade edilmesiyle, denetleyici performansındaki iyileşme Şekil 13'te görülmektedir.



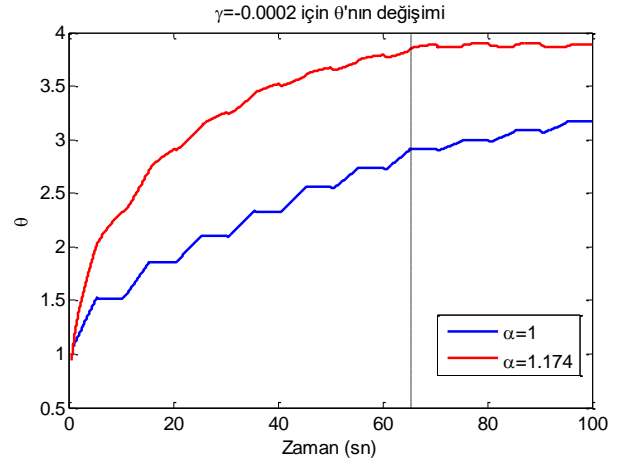
Şekil 12:  $\alpha = 1$  ve farklı uyarlama katsayıları için sistem çıkışı.



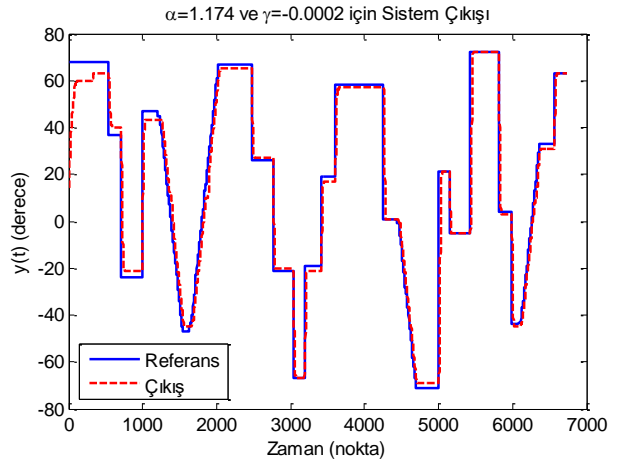
Şekil 13:  $\gamma = -0.0002$  ve farklı integratör dereceleri için sistem çıkışı.

Şekil 14'te ise,  $\gamma = -0.0002$  ve farklı integratör dereceleri için  $\theta$ 'nın değişimi verilmiştir. Yaklaşık 65.sn'den sonra,  $\theta$  artarak

belirli bir değere oturmuştur. Böylece  $\alpha = 1.174$  için uyarlama sürecinin başarımı ispatlanmıştır. Ancak aynı süre içerisinde  $\alpha = 1$  için değişim devam etmekte ve çıkış işaretinin adaptasyonu sağlanamamaktadır.



Şekil 14:  $\gamma = -0.0002$  ve farklı integratör dereceleri için  $\theta$ 'nın değişimi.



Şekil 15:  $\gamma = -0.0002$  ve  $\alpha = 1.174$  için sistem çıkışı (Referans kamera bilgisidir)

Kırmızı renkli nesnenin kameradan alınan x eksenindeki pozisyon bilgisine göre elde edilen açı değişimi ise Şekil 15'te verilmiştir. Sistemin, ölçeklendirilmiş giriş işaretini takip edebildiği görülmüştür.

## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada kesir dereceli MRUD yapısının, görüntü işleme destekli kapalı çevrim uyarlamalı nesne takibiyle ilgili bir uygulaması sunulmuştur. Çalışma, referans bilgisi olarak kamera ile nesne pozisyonu belirleme sistemini, uyarlamalı denetim uygulaması sağlayan MRUD sistemi ile entegre etmiştir. Böylece, MRUD uyarlamalı denetleyici yapısının, robotik uygulamalar için nesne yakalama problemine uygulanabilirliği konusunda bir ön çalışma sunulmuştur. MIT kuralı uyarınca elde edilen kesir dereceli uyarlama kuralının sistemin adaptasyon kabiliyetini artırabileceği deneysel olarak gösterilmiştir.

Gelecek çalışma olarak, sistemin iki boyutlu uzay üstünde hedef nesneye en optimal yoldan ulaşma problemi incelenebilir.

## 6 Kaynaklar

- [1] Rajasekhar A, Jatoth RK, Abraham A. "Design of intelligent PID/PI<sup>λ</sup>D<sup>μ</sup> speed controller for chopper fed DC motor drive using opposition based artificial bee colony algorithm", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29, 13-32, 2014.
- [2] Li Y, Tong S, Li T. "Adaptive fuzzy output feedback control for a single-link flexible robot manipulator driven DC motor via backstepping", *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 14(1), 483-494, 2013.
- [3] Yang N, Li D, Zhang J, Xi Y. "Model predictive controller design and implementation on FPGA with application to motor servo system", *Control Engineering Practice*, 20,(11), 1229-1235, 2012.
- [4] Osburn PV, Whitaker HP, Kezer A. "Comparative studies of model reference adaptive control systems", *Institute of Aeronautical Science*, 61-39, 1961.
- [5] Landau ID. *Adaptive Control the Model Reference Approach*, New York, USA, Marcel Dekker, 1979.
- [6] Astrom KJ, Wittenmark B. *Adaptive Control*, Reading, USA, Addison-Wesley, 1995.
- [7] Bernardo MD, Montanaro U, Olm JM, Santini S. "Model reference adaptive control of discrete time piecewise linear systems", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 23(7), 709-730, 2013.
- [8] Mohideen KA, Saravanakumar G, Valarmathi K, Devaraj D, Radhakrishnan TK. "Real-coded Genetic Algorithm for system identification and tuning of a modified Model Reference Adaptive Controller for a hybrid tank system", *Applied Mathematical Modeling*, 37(6): 3829-3847, 2013.
- [9] Ravi Teja AV, Chakraborty C, Maiti S, Hori Y. "A new model reference adaptive controller for four quadrant vector controlled induction motor drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(10), 3757-3767, 2012.
- [10] Guo L, Parsa L. "Model Reference Adaptive Control of Five-P IPM Motors Based on Neural Network", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(3), 1500-1508, 2012.
- [11] Jiang B, Gao Z, Shi P, Xu Y. "Adaptive fault-tolerant tracking control of near-space vehicle using Takagi-Sugeno fuzzy models", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(5), 1000-1007, 2010.
- [12] Sadeghzadeh I, Mehta A, Zhang Y, Rabbath CA. "Fault-tolerant trajectory tracking control of a quadrotor helicopter using gain-scheduled PID and model reference adaptive control", *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*, Montreal, Canada, 25-29 September 2011.
- [13] Dong C, Hou Y, Zhang Y, Wang Q. "Model reference adaptive switching control of a linearized hypersonic flight vehicle model with actuator saturation", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 224(3), 289-303, 2010.
- [14] Yeroğlu C, Kavuran G. "Sliding mode controller design with fractional order differentiation: applications for unstable time delay systems," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 22(5), 1270-1286, 2014.
- [15] Petras I. *Fractional Order Nonlinear System, Modeling, Analysis and Simulation*, London, UK, Springer, 2010.
- [16] Carlson GE, Halijak CA. "Approximation of fractional capacitors (1/s)<sup>1/n</sup> by a regular Newton process", *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 11, 210- 213, 1964.
- [17] Caponetto R, Dongola G, Fortuna L, Petras I. *Fractional Order Systems: Modeling and Control Applications*, Singapore, World Scientific, 2010.
- [18] Chen YQ, Vinagre BM, Podlubny I. "Continued fraction expansion approaches to discretizing fractional order derivatives an expository review", *Nonlinear Dynamics*, 38(1-4),155-170, 2004.
- [19] Sastry S, Bodson M. *Adaptive Control: Stability, Convergence, and Robustness*, Upper Saddle River, USA, Prentice-Hall, 1989-1994.
- [20] Canale M, Brunet SC. "A Lego Mindstorms NXT experiment for Model Predictive Control education," *12th European Control Conference (ECC)*, Zurich, Switzerland, 17-19 July 2013
- [21] Sinha NK, Dicenzo CD, Szabados B. "Modeling of DC Motors for Control Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 21(2), 84-88, 1974.
- [22] Vinagre BM, Petras I, Podlubny I, Chen YQ. "Using fractional order adjustment rules and fractional order reference models in modelreference adaptive control", *Nonlinear Dynamics*, 29(1-4), 269-279, 2002.