



### Uzaktan Kontrol Edilebilen Mobil Robota Bağlı İşaretleyici İle Hedef Takibi

## Target Tracking With The Pointer That Mounted On The Remote Controllable Mobile Robot

Ömer BERBER<sup>1</sup>, Mahit GÜNEŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mahit GÜNEŞ, [mgunes@ksu.edu.tr](mailto:mgunes@ksu.edu.tr)

### ÖZET

*Bu çalışmada, mobil robota monte edilen kamera ve lazer işaretçi kullanılarak PID kontrol tekniği ile hedef takibi yapılmıştır. Mobil robotun kontrolü tasarlanan kumanda ile uzaktan yapılabilmektedir. Robotun hareketinde ve bozuk yollarda lazerin hedeften uzaklaşması muhakkaktır. Mobil robota jiroskop, ivmeölçer, uzaklık sensörü ve robotun arka tekerine enkoder gibi sensörler bağlanmıştır. Bu sensörler yardımı ile lazerin hedef bölgeden ne kadar saptığı hesaplanmıştır. Dikey ve yatay eksendeki motorlar sapmanın tersi yönde lazeri hareket ettirmektedir. Robotun kat ettiği mesafe ve hedef uzaklığına bağlı olarak işaretçi açısı hesaplanmıştır. Robotun simülasyonu için kinematik modeli çıkarılmış, mobil robotun kontrol tekniği için ise PID seçilmiştir. PID parametreleri simülasyon programında belirlenmiştir. MATLAB Simulinkte ayarlanan PID parametreleri olumlu sonuçlar vermiştir. Robotun aldığı yola göre işaretçinin hedefi takip etmesi için gerekli açı değişimi gözlemlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** PID, Hedef Takip Sistemi, Uzaklık Sensörü

### ABSTRACT

*In this study, target tracking is performed by PID control technique using a camera and a laser pointer that mounted on a mobile robot. The control of the mobile robot can be achieved remotely with the designed remote control. It is obvious that the laser deviates from the target while mobile robot is moving through rough roads. Sensors such as gyroscope, accelerometer, distance sensor and encoder are connected to the mobile robot. The amount of deviation from the laser target area is calculated by those sensors. Motors located on vertical and horizontal axis will make the laser move to the opposite direction of the deviation. The angle of the pointer is calculated based on the distance that the robot has taken and the target distance. A kinematic model is created for the simulation of robot and PID is chosen as a control technique. PID parameters are automatically tuned in the simulation program. The tuned PID parameters in MATLAB Simulink have provided effective results. The angle change required for target tracking has been observed according to the path that the robot has taken.*

**Keywords:** PID, Target Tracking System, Distance Sensor

## 1. GİRİŞ

Savunma endüstrisi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin temel odaklarından biridir. Bu endüstriye ayrılan bütçeler her sene artarak devam etmektedir. (Durgay ve diğ., 2014).

Günümüzde veya gelecekte icra edilecek olan muharebelerde duran birliklerin yerine yüksek hareket kabiliyetine sahip birliklere ihtiyaç duyulacaktır. Birliklerin hareketli olması hem kolay hedef olmalarını engelleyecek hem icra edilecek olan hareketin baskın etkisini arttıracaktır (Songül, 2014). Hareketli araçlarda kullanılan silah sistemlerinin bozuk yol şartlarında ve araçların hareketinde namlunun pozisyonu değişmektedir. Sistemin hareketli olmasından dolayı sadece insanla yapılan hedef takibi hem yavaş hem de doğruluğu oldukça azdır. Bundan dolayı savunma sanayinde hedef takibi için çeşitli firmalar büyük bütçeler ayırıp yüksek teknoloji kullanarak hedef takip sistemi tasarlamaktadırlar. Tanklarda hedefin takibinin rahat yapılması ve vuruş yüzdesinin artması amacı ile namlu stabilizasyonu kullanılmaktadır. Örneğin Aselsan tarafından tasarlanan Tank Atış Kontrol Sisteminde (TAKS) oldukça profesyonel otomatik hedef takip sistemi bulunmaktadır. Takibin başarılı bir şekilde olması ve hatanın en aza indirilmesi için Tank Atış Kontrol Sisteminde namlu açısal konum algılayıcı, kule yan konum algılayıcı, meteorolojik algılayıcı, eğimölçer, GPS/Glonass alıcı, hassas ivme, jiroskop, fiber optik jiroskop, göze zararsız lazer mesafe ölçer gibi birçok sensör kullanılmıştır.

Bu çalışmada tasarlanan mobil robotun üzerine görüntüyü kumandaya aktarabileceğimiz kamera ve kameranın üzerine ise işaretçi olarak lazer yerleştirilmiştir. İşaretçi ve robot kumanda ile istenildiği gibi kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı kumandadan hedef takibini çalıştırdığı zaman aynen tanklardaki stabilizasyonda olduğu gibi durağan bir hedefi gösteren işaretçinin pozisyonunun sabitlenmesi amaçlanmıştır. Robot mesafe kat ettiğinde ya da sağa sola dönüşlerinde işaretçi hedeften sapmaktadır. Hedeften ne kadar sapıldığı mobil robot üzerine yerleştirilen çeşitli sensörlerden alınan verilerin yardımı ile robot tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. İşaretçi ve kamerayı yatay düzlemde hareket ettiren DC motor sapmanın tersi yönde hareket ederek işaretçinin hedefte kalması sağlanmıştır.

Optimizasyon, en iyileme anlamına gelmektedir. Bir problem için verilen şartlar altında tüm çözümler arasından en iyi çözümü elde etme işidir. Belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde, bilinmeyen parametre değerlerinin bulunmasını içeren herhangi bir problem, optimizasyon problemi olarak adlandırılabilir (Açıkgöz ve diğ., 2015; Murty, 2003).

Günümüzde PID kontrol algoritması popüler olarak kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan sorunlardan birisi PID parametrelerinin sistemi optimum düzeyde çalıştıracak şekilde belirlenmesidir. Bu parametrelerin bulunması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden birisi ve en yaygın olarak kullanılanı da Ziegler-Nichols yöntemidir. Fakat bu yöntemde çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Örneğin bu yöntemin kullanılmasında sistemi osilasyona götürecek kazanç değeri ve osilasyon periyodunun bulunması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Tasarlanan robotun tahrik motorunun ve hedefi işaretlemesi için kullanılan lazeri yatay düzlemde hareket ettiren motorunun kontrol tekniği için PID kontrol tekniği seçilmiştir. Bu DC motorların verimli bir şekilde çalışabilmesi için seçilen PID kontrol yönteminin parametrelerinin optimum düzeyde belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler MATLAB Simulink ortamında bulunan hazır PID bloğu ile optimum düzeyde ayarlanmıştır.

## 2. SİSTEMİN TASARIMI

Bu çalışmada kullanılan mobil robot Şekil 1'de görülmektedir. Mobil robotun hareketinin sağlanması için iki adet DC motor bulunmaktadır. Arka kısımda bulunan DC motor robotun hareketi içindir. Ön kısımda bulunan DC motor direksiyon görevinde kullanılıp ön tekerlerin açılarının değiştirilmesinde kullanılmıştır. Robotun ön kısmına kamera, kameranın üzerine ise işaretçi olarak lazer yerleştirilmiştir. Bu kısımda 2 adet DC motor bulunmakta DC motorlar kameranın iki ekseninde (dikey ve yatay) hareketini sağlamaktadırlar. Kameranın dikeydeki dönüş açısını belirleyebilmek için kameranın üzerinde jireskop ve ivmeölçer bulunmaktadır. Aracın yataydaki yaptığı açı değişikliği aracın kontrolünü sağlayan içerisinde gömülü olarak jireskop ve ivmeölçer bulunan Arduino 101'den elde edilmektedir. Robotun kat ettiği mesafeyi ise aracın arka teker kısmına bağlanan enkoder ile bulunmaktadır. Kameranın üzerinde hedefin uzaklığını saptamak için 100 ile 550cm arasında ölçüm yapabilen kızılötesi uzaklık sensörü kullanılmıştır. Kızılötesi uzaklık sensörü Sharp firmasının ürettiği analog çıkış veren 2Y0A710 sensördür. Robotun kontrolünü sağlamak amacı ile kablosuz olarak veri iletişimi yapabilen kumanda kısmı bulunmaktadır.

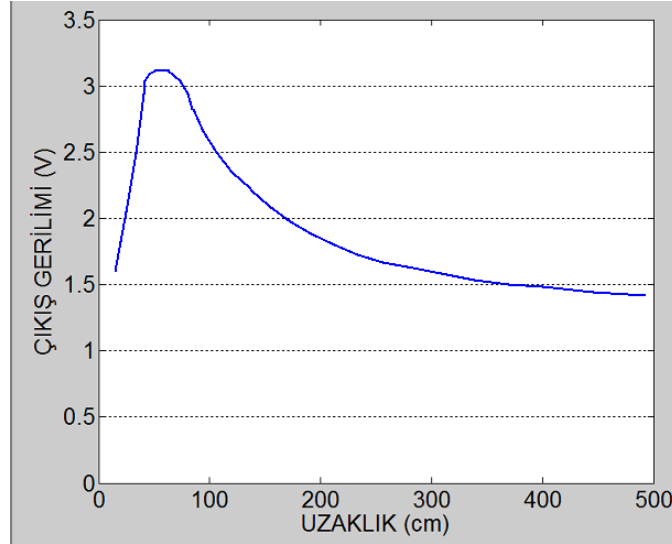


Şekil 1. Mobil Robot

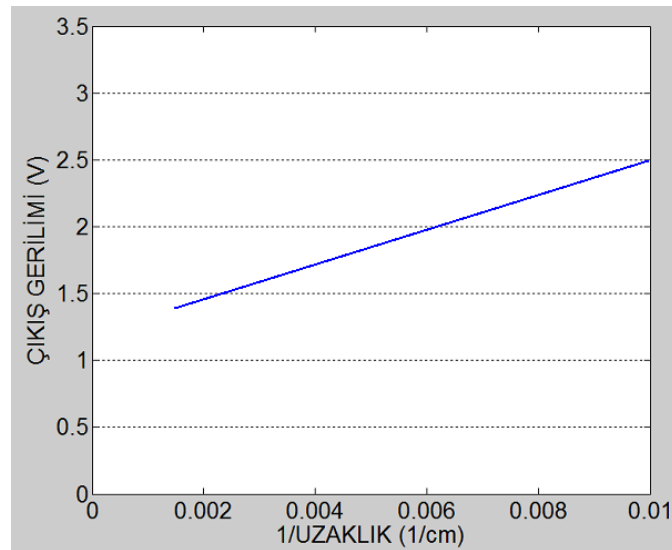
### 2.1 Hedef Uzaklığının Ölçülmesi

2Y0A710 IR uzaklık sensörü çıkış olarak 0.5V ile 3.1V arasında analog çıkış vermektedir. Sensörün katalogundaki mesafe ile sensörün çıkış geriliminin değişimini gösteren grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu grafiği incelediğimizde uzaklık ile çıkış voltajı arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı görülür. Bundan dolayı matematiksel bir denklem kurmak güçtür.

Matematiksel bir denklem elde etmek için sensör katalogunda bulunan 1/uzaklık (1/L) ile çıkış gerilimi arasındaki grafik doğrusala çok yakın olduğu için kullanılmıştır. Arduino 101'in analog girişleri 10 bit çözünürlükte olup 3.3V' ta çalışmaktadır. Yani 0V giriş geriliminde 0 sayısal değeri, 3.3V giriş geriliminde ise 1023 sayısal değerine dönüşüm olmaktadır. Grafiğin denklemini  $y=mx+b$ ' den çıkarıldığında, 3 numaralı denklem elde edilir.



Şekil 2. Uzaklık ile sensör çıkış geriliminin grafiği



Şekil 3. 1/L ile sensör çıkışının grafiği

$$y = 42625x + 348.75 \quad (1)$$

$$x = y - \frac{348.75}{42625} \quad (2)$$

$$L = \frac{42625}{y-348.25} \quad (3)$$

L = uzaklık (cm)

x = 1/L (1/cm)

y = Sensör çıkış geriliminin Arduinonun analog girişinden okunan sayısal karşılığı

### 3. ROBOTUN MODELLENMESİ

Robotun X eksenine ile yaptığı açı  $\theta$ 'dir. Robotun X ve Y eksenlerinde aldığı yol denklem (4) ve denklem (5)'de görülmektedir.

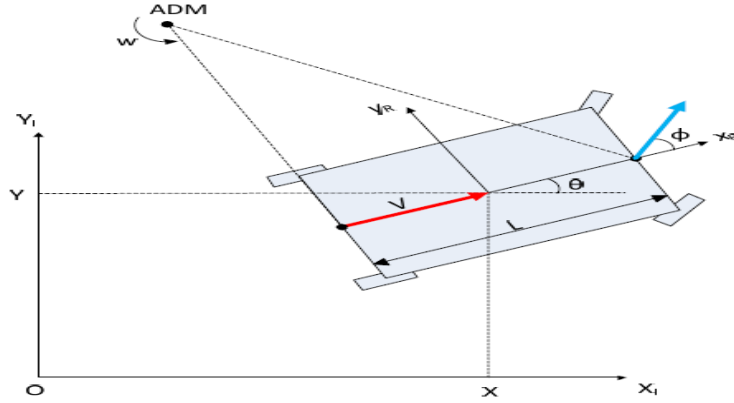
$$\dot{X} = V \cdot \cos(\theta) \quad (4)$$

$$\dot{Y} = V \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

$$V = w \cdot r \quad (6)$$

$$\dot{\theta} = \frac{v}{l} \cdot \tan(\varphi) \quad (7)$$

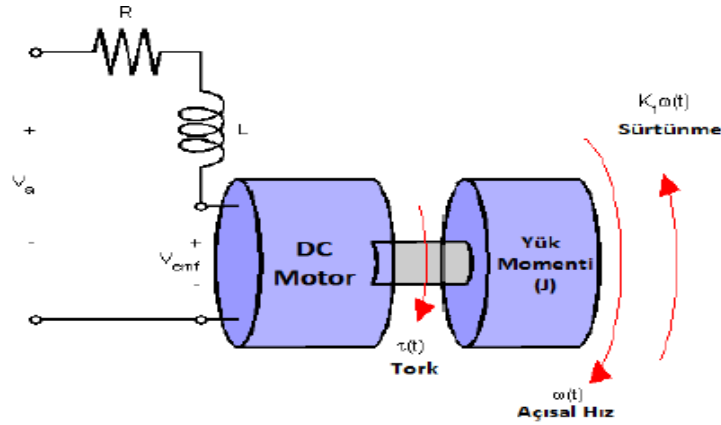
Mobil robotun hızı, tahrik motorunun açısal hızı ve robotun teker yarıçapı ile olan bağıntısı denklem(6)'de verilmiştir. Aracın hızı (V),  $\theta$  açısı, aracın ön ve arka teker arasındaki mesafe (l) ve direksiyon açısı ( $\varphi$ ) arasındaki bağıntı ise denklem(7)'te verilmiştir. Bu bağıntılar doğrultusunda Mobil Robot Matlab Simulink ortamında modellenmiştir.



Şekil 4. Mobil robotun X ve Y koordinatlarındaki gösterimi

### 3.1. DC Motorun Modeli

Robotun bütün mekaniksel hareketleri DC motor ile yapılmaktadır. Şekil 5'de DC motor eşdeğer devresi bulunmaktadır.



Şekil 5. DC Motor Modeli

#### Semboller

$B_m$  = Vizkoz sürtünme katsayısı (Nms/rad)

$\omega$  = Açısal hız (rad/s)

$L_a$  = Armatür endüktansı (H)

$J_m$  = Rotor eylemsizliği ( $\text{kgm}^2$ )

$K_t$  = Tork sabiti (Nm/A)

$V_a$  = Armatür gerilimi (V)

$R_a$  = Armatür direnci ( $\Omega$ )

$I_a$  = Armatür akımı (A)

$E_b$  = Zıt elektromotor kuvveti (V)

$\theta$  = Konum (rad)

$T_m$  = Motor torku (Nm)

Denklem (8) ve denklem (9) motor armatür besleme gerilimi ile motorun açısal hızı arasındaki bağıntıdır. Denklem(10) ve denklem (11)'de motor torku ile armatür akımı arasındaki ilişkidir (Tasci ve diğ., 2012). Denklem (12)'de motorun açısal hızının integrali, motor milinin açısına eşit olduğu görülmektedir. Tablo 1' de ise DC motorun parametreleri görülmektedir. (Ateş ve diğ., 2017).

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad (8)$$

$$E_b = K_t \cdot \omega \quad (9)$$

$$T_m = J_m \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{yük} \quad (10)$$

$$K_t I_a = J_m \frac{d\omega}{dt} + B_m \cdot \omega + T_{yük} \quad (11)$$

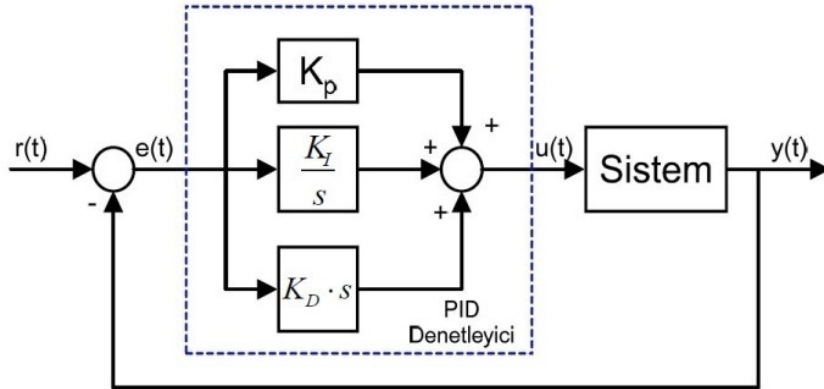
$$\theta = \int \omega dt \quad (12)$$

**Tablo 1.** DC Motor Parametre Değerleri

Parametre	Değer
Ra	2.06 $\Omega$
La	0.238 H
Jm	0.00107 kgm <sup>2</sup>
Bm	0.12 Nms/rad
Kt	0.0235 Nm/A
Kb	0.0235Vs/rad

### 3.2. PID Kontrol Algoritması

Kameranın hareketini sağlayan motorun kontrol algoritması için PID seçilmiştir. Bu kontrol algoritması uygulanması kolay, ayarlanacak parametre sayısı az olan kapalı çevrim kontrol algoritmasıdır. PID kontrol basit yapısı nedeniyle endüstride sıkça kullanılan ve çok bilinen klasik kontrol yöntemlerinden biridir (Tasci ve diğ., 2012, Kennedy ve diğ., 1995).

**Şekil 6.** PID Kontrol Şeması

PID denetleyiciyi oluşturan oransal (P), integral (I), türev (D) kazançlarının her biri sistemin çalışmasına çeşitli şekillerde etki etmektedir. PID denetleyiciyi oluşturan kısımların her biri birer katsayı ile yönetilirler. Bu katsayılar her sistem için ayrı değerler alırlar (Açıkgöz ve diğ., 2014). Bu kontrolün yapısı Şekil-6'da gösterilmiştir.

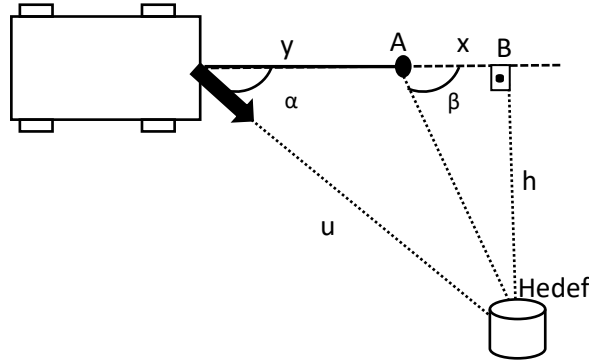
Yukarıdaki blok şemada  $r(t)$  referans sinyali,  $u(t)$  sisteme uygulanan kontrol sinyali,  $y(t)$  ise sistemin kontrol sinyaline karşı vermiş olduğu çıkış,  $e(t)$  ise hatadır. Buna göre Denklem(13) elde edilir. Denklem (14)'te ise PID kontrolörün matematiksel modeli görülmektedir.  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  parametreleri oransal, integral ve türev katsayılarıdır.

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (13)$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (14)$$

### 3.3. İşaretçi Açısının Bulunması

Robotun hedefe kilitlendikten sonra aldığı yola göre yatayda işaretçi açısını değiştirmesi gerekmektedir. Şekil 7' de görüldüğü gibi robot bulunduğu konumdan A konumuna hareket ettiğinde namlu  $\alpha$  açısından  $\beta$  açısına doğru hareket etmelidir.



Şekil 7. Robotun İşaretçi Açısının Bulunması

$$h = u \cdot \sin \alpha \quad (15)$$

$$x = \sqrt{u^2 - h^2} - y \quad (16)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{h}{x}\right) \quad (17)$$

y = Robotun aldığı yol

u = Robotun hedefe olan uzaklığı

x = A ile B noktası arasındaki uzaklık

h = B ile hedef arasındaki uzaklık

Denklem (15), (16), (17)' de gösterilen çeşitli geometrik denklemler ile robotun yatay eksende hareketi sonucunda namlunun yataydaki  $\beta$  açısı hesaplanabilmektedir.

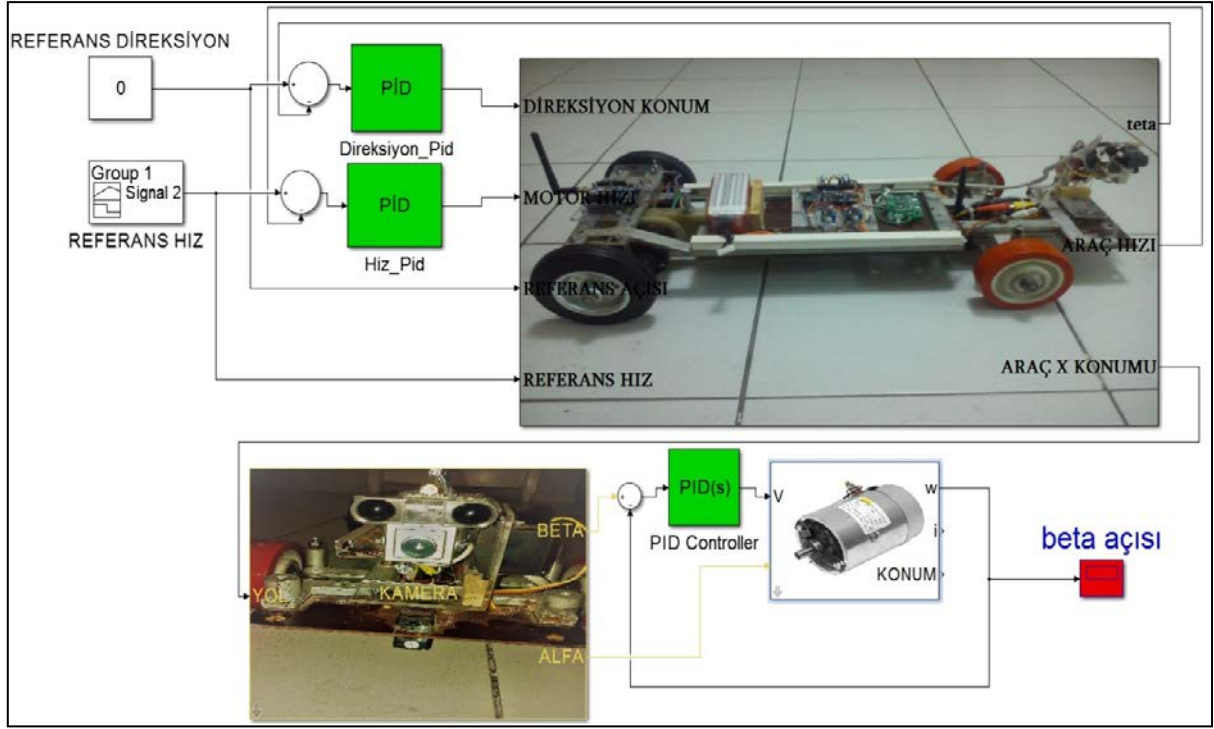
Robotun tümsek ya da çukura girmesi sonucunda kamera üstüne bağlanan jireskop, ivmeölçer vasıtası ile hata açısı hesaplanmakta dikey eksendeki DC motora işlemci tarafından uygun sinyal gönderilip işaretçinin dikey stabilizasyonu sağlanmaktadır.

### 3.4. Simülasyon

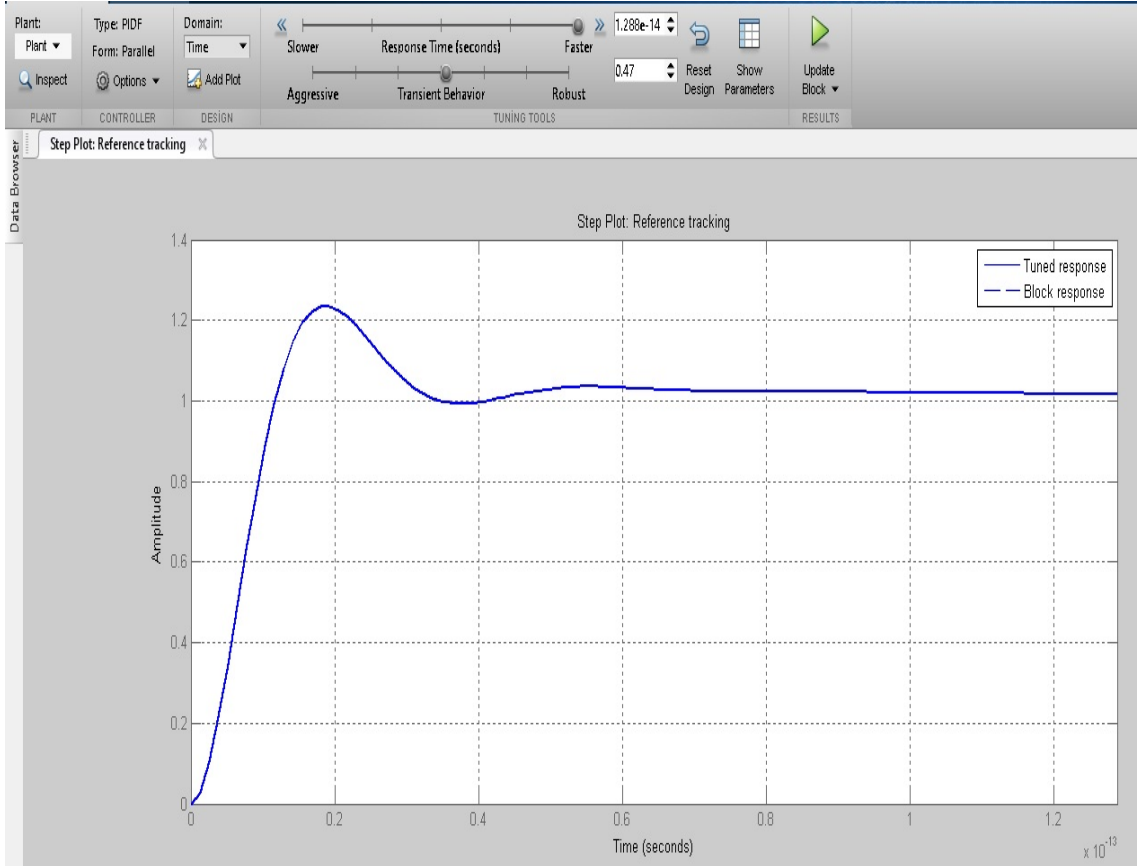
Direksiyon ve hareket motoru modeli ile mobil robot modeli birleştirilerek oluşan model ile PID kontrol blok diyagramı Şekil-8'de gösterilmiştir. Robotun hedefe olan uzaklığı 130 metre ve aldığı yol ise doğrusal olarak 120 metre olarak alınmıştır. 120 metrelik yol boyunca araç 0-10 saniyeye arası 2 m/s, 10-20 saniye arası 4m/s ve 20-30 saniye arası 6 m/s hızla hareket ettirilmiştir. PID parametrelerinin ayarlanması MATLAB Simulink ortamında yapılmıştır. Simulinkte PID bloğuna çift tıkladığında gelen menüden Tune butonu ile PID parametrelerinin ayarlanabilmesi için açılan ekran Şekil-9'da görülmektedir. Bu ekranda PID bloğunun cevabı grafikten gözlemlenerek parametre ayarı yapılabilmektedir. Kontrolü yapılan DC motorların overshoot, settling time ve offset değerleri optimum düzeyde olacak şekilde bu pencerede ayarlanmış ve her iki motor için ayarlanan parametreler Tablo-2'de verilmiştir.

Tablo 2. DC Motor Parametre Değerleri

Kamera Motoru PID Parametreleri		Hız Motoru PID Parametreleri	
Kp	10.2331	Kp	30.5170
Kd	-0.1128	Kd	4.6302
Ki	100.2012	Ki	416.4693



Şekil 8. Mobil Robot Kontrolü Matlab Blok Modeli



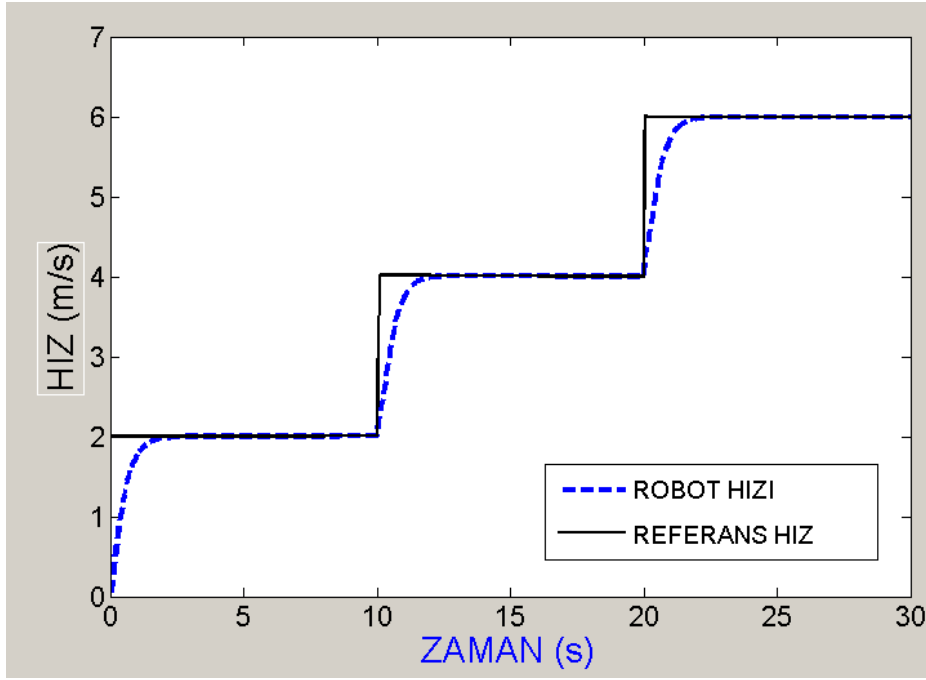
Şekil 9. Simulink PID Ayar Penceresi

### 3.5. Simülasyon Sonuçları

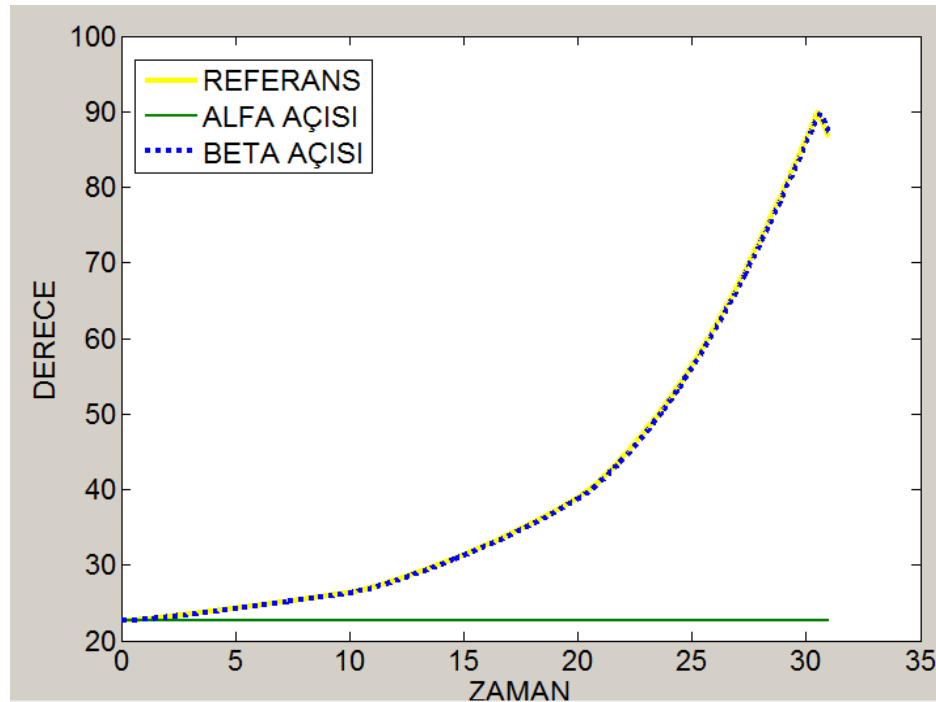
Şekil 10' da mobil robotun hız zaman grafiği görülmektedir. Robotun hızının istenen referans hıza kısa bir sürede yaklaşık olarak 2 saniyede ulaşmıştır.

Şekil 11'de işaretçi olarak kullanılan lazerin yatay konumdaki hareketi gösterilmektedir. İşaretçinin başlangıç açısı  $22,5^\circ$  dir. Robotun hareket etmesinden dolayı işaretçinin yatay konumdaki açısı zamanla değişmektedir. Grafikten istenen açı değerine başarılı bir şekilde geldiği görülmektedir.

Şekil 10 ve Şekil 11'deki 10. ve 20. Saniyelerdeki eğimlerinin artması bu sürelerde robotun hızının artırılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 12' deki grafikte robotun referans noktasına yakın yolculuğunu tamamladığı görülmektedir.

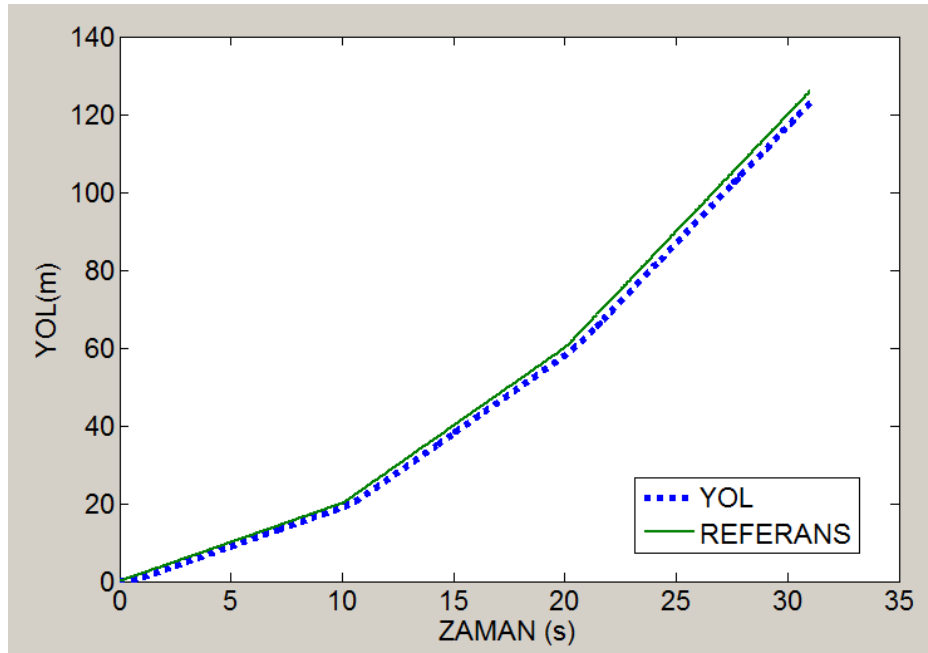


Şekil 10. Robotun Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil 11. Beta Açısının Değişimi





Şekil 12. Robotun Aldığı Yolun Zamana Göre Değişimi

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada PID kontrol tekniği ile mobil robotun modeli üzerinde MATLAB kullanılarak hedef takibi başarılı bir şekilde yapılmıştır. Robotun aldığı yola göre işaretçi açısı hesaplanmaktadır. İşaretçinin hedef takibi için gerekli açı değişimini gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil-10 ve Şekil-11 grafiklerinden de görüldüğü gibi robotun kat ettiği referans yol ve bu yola karşılık olması gereken işaretçi açı değişiminin PID kontrol algoritması ile yapılan kontrolde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Simülasyonda referans açısı  $22,5^\circ$  den  $90^\circ$ 'ye ulaştığında işaretçi maksimum  $0,9^\circ$  hata ile hedefi takip etmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö.F., Gani, A., Şekkeli, M., (2014). Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) tabanlı PID Denetleyici ile Sıvı Sıcaklık Denetimi”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı, TOK 2014, Kocaeli Üniversitesi

Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö.F., Gani, A., Şekkeli, M., (2015). Modeling and Analysis of Three-Phase Space Vector Pulse Width Modulation Based Rectifiers Using Fuzzy-PI Controller, *International Refereed Journal of Engineering and Sciences*, 2(3), 75–92.

Ateş, M., Güneş, M., (2017). Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı Kalman Filtresi ve PID Denetleyici İle Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü, *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, ss. 67-84

Durgay M.A., Ulusoy O., Deniz M.E., Kara T., (2014). “Otomatik Tanımlanmış Hedef Takip Sistemi” Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu

Kennedy, J. Andeberhart, R. C., (1995). Particle Swarm Optimization, Proc. IEEE int. conf. OnneuralnetworksVol. IV, pp. 1942-1948. IEEE service center, Piscataway, NJ.

Mert T., Arslan A.A., Özdemir A.A., Lazer Güdümlü Hedef Takibi Yapan Robotik Düzeneği Tasarımı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası 2007-2008 Öğretim Yılı Proje Yarışması

Murty, K. G., (2003). Optimization Models For Decision Making, vol. 1, Internet Edition, Chapter 1: Models for DecisionMaking, 1-18.

Songül, S., (2014). “Tank Namlusu Stabilizasyon Sisteminin Arduino ile Uygulanması ve Deneysel Düzeneğinin Hazırlanması”, Trakya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Tasci, G., Küçükıldız, G., Ertunç, H. M., Ocak, H., (2012). PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda DSPIC Tabanlı Konum Kontrolü, TOK2012, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2012 Ulusal Toplantısı