

# İki Tekerlekli Diferansiyel Sürüşlü Bir Gezgin Robot için Doğrusal Model Öngörülü Hız Kontrolör Tasarımı

## Linear Model Predictive Speed Controller Design for a Two-Wheel Differential Drive Mobile Robot

Hürcan Samet ÇAKIR<sup>1,2</sup>, Buse TACAL UCUN<sup>3</sup>, Claudia Fernanda YAŞAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mekantronik Mühendisliği Bölümü  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul  
samet.cakir@std.yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> RoboGör Robot ve Görme Teknolojileri Ar-Ge San. Tic. Ltd. Şti.  
Yıldız Teknopark, İstanbul  
hurcansamet.cakir@robogor.com

<sup>3,4</sup> Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

<sup>3</sup>{btacal}@yildiz.edu.tr, <sup>4</sup>{cfyasar}@yildiz.edu.tr

### Özetçe

Bu çalışmada, doğru akım motorlarını kullanan iki tekerlekli diferansiyel sürüşlü bir gezgin robot için doğrusal model öngörülü hız kontrolörü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sistem, robotun ters kinematik dönüşümünü kullanmakta olup doğrusal ve açısal hız referanslarını üretmektedir. Çalışmada doğru akım motorlarının dinamikleri dikkate alınmış, gerçekçi bir durumu temsil etmek için statik Coulomb sürtünmesi ve doygunluk modelleri dahil edilmiştir. MATLAB/Simulink Simscape kullanılarak sistemin benzetimi yapılmış ve robotun çalışma alanının sanal arayüzü kullanılmıştır. Bu çalışmada, oransal integral ve model öngörülü kontrol hız kontrolörlerinin çıktılarını karşılaştırmak için sistemin kontrol performans grafikleri elde edilmiştir. Her iki sistemi karşılaştırmak ve kontrol performanslarını doğrulamak için giriş-çıkış hız yanıtları, hata sinyalleri ve kontrol sinyalleri kullanılmıştır.

### Abstract

In this study, it is aimed to develop a linear model predictive speed controller for a two-wheel differential drive mobile robot that uses direct current motors. The system uses a kinematic inversion of the rover and generates the linear and angular speed references. Direct current motors dynamics are considered and a model of static Coulomb friction and saturation are included to represent a realistic case. The system is simulated using MATLAB/Simulink Simscape and provides a virtual interface of the rover's workspace. In this work, multiple control performance graphics are provided of the system to compare outputs of proportional integral and model predictive control speed controllers. Input-output speed responses, error signals, and control signals are provided to compare both systems and validate control performance.

### 1. Giriş

Robot teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, otomatik yönlendirmeli araçlar ve gezgin robotlar birçok endüstri ve uygulama alanında kritik bir rol oynamaktadır. Otomatik

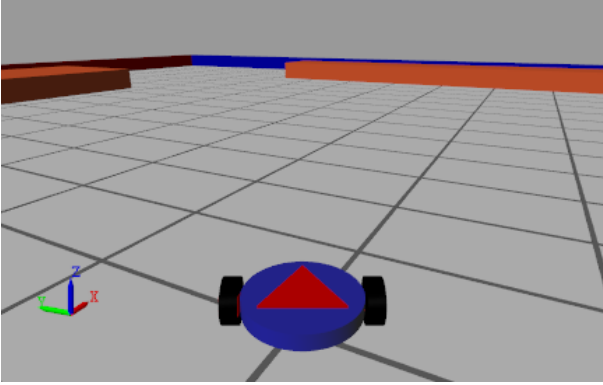
yönlendirmeli araçlar yük taşıma ve çekme gibi ağır görevler için uzunca zamandır endüstride kullanılmaktadır. Gezgin robotların günlük yaşamdaki kullanımı da teknolojik gelişmelerle birlikte hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle, iki tekerlekli diferansiyel sürüşlü gezgin robotlar, yüksek manevra kabiliyeti ve basit yapıları nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu robotlar, tarım, lojistik, endüstriyel otomasyon, askeri operasyonlar ve hizmet sektörü gibi çeşitli alanlarda etkili bir şekilde kullanılabilir [1].

Bu çalışmanın temel amacı, iki tekerleğe sahip diferansiyel sürüşlü bir gezgin robotun tekerleklerini tahrik eden Doğru Akım (DA) motorlarının hızlarını Model Öngörülü Kontrol (İng. Model Predictive Control – MPC) yöntemi kullanılarak kontrol etmektir. Tasarımı yapılan kontrolör sayesinde DA motorları aracılığıyla iki tekerlekli gezgin robot kontrol edilecektir. Klasik kontrol yöntemlerinden farklı olarak model öngörülü kontrol yönteminde sistem çıkışının gelecekteki değerleri tasarımcı tarafından tahmin edilebilmektedir [2]. Gelecekteki hareket durumlarını tahmin edebilmesinin yanında model öngörülü kontrol yöntemi tahminlerini iyileştirebilme özelliği sayesinde karmaşık problemlere çözüm sağlayabilmektedir. Özellikle, robotik sistemlerde hassas kontrol gerektiren durumlar söz konusu olduğunda model öngörülü kontrol istenen sonuçları elde etmek için etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

Literatürde diferansiyel sürüşlü gezgin robotların kontrolü için güncel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların arasında gezgin robotlar için çok amaçlı görevler, hareket planlama ve gerçek zamanlı kontrol tasarımı gibi konular yer almaktadır [3-6]. Aynı zamanda model öngörülü kontrolün DA motorlarına uygulanması yönünde çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada DA motoru sürücüsü için model öngörülü kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu kontrolör klasik PI tabanlı bir kontrolörle karşılaştırılarak benzetim sonucu paylaşılmıştır [7]. Benzer şekilde bu çalışmada da klasik bir PI hız kontrolörü tasarlanmış ve benzetim çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlar model öngörülü kontrolörün benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Her iki kontrolörün başarımları, zaman cevabı grafikleri ile gösterilmiştir.

## 2. Diferansiyel Sürüşlü Gezgin Robot

Diferansiyel sürüş için genellikle iki tekerlekli robotlar tercih edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan robot platformu da iki tekerleğe sahiptir ve MATLAB Simscape görünümü Şekil 1'de gösterilmektedir.

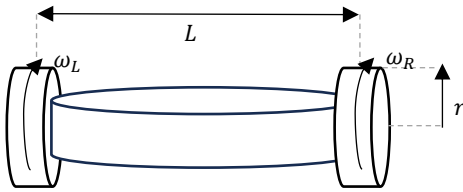


Şekil 1: Gezgin robot platformu (MATLAB Simscape)

Diferansiyel sürüşlü robotlarda hareketi kontrol etmek ve manevra yapmak için tekerleklerin dönüş hızından ve yönünden faydalanılmaktadır. Diferansiyel sürüş için üç temel hareket tipinden bahsetmek mümkündür. Bu hareketler şunlardır:

- Düz hareket (ileri veya geri)
- Dönme hareketi (yerinde)
- Dönerek ilerleme hareketi (ileri veya geri)

Tekerleklerin dönüşü aynı hızda ve aynı yönde olduğunda robot doğrusal olarak ileri veya geri hareket eder. Robotun ileri veya geri hareket yönünü tekerleklerin dönme yönü belirler. Tekerleklerin dönme hızları birbirine eşit ve zıt yönlü ise robot bulunduğu yerde döner. Bu hareket robotun gövdesini istenen yöne doğru çevirmesini sağlar. Eğer robotun tekerlek dönüş yönü aynı fakat hızları birbirinden farklıysa robot istenen yöne doğru eğimli bir çizgi boyunca ilerler. Söz konusu dönerek ilerleme hareketinde dönüş yarıçapı tekerleklerin açısal hızları ve tekerleklerin arasındaki mesafeyle ilişkilidir. Tekerlek dönüş hızlarının yanı sıra robot platformunun geometrik ölçüleri de yukarıda anlatılan temel hareketleri etkilemektedir. Çalışmada kullanılan robot platformunun şematığı Şekil 2'de ve boyutları ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2: İki tekerlekli robotun şematığı

Tablo 1: Robot platformunun boyutları

Parametre	Değer	Birim
Tekerleklerin yarıçapı (r)	3.4	cm
Tekerlekler arası mesafe (L)	20	cm

## 2.1 Kinematik ve Ters Kinematik Modeli

Diferansiyel sürüşlü gezgin robot kinematikini temel olarak açıklayan bazı terimler bulunmaktadır. Bu terimlerden biri olan  $v$ , robot gövdesinin doğrusal hızını bir diğer ifadeyle öteleme hızını temsil etmektedir. Robot gövdesinin açısal hızı ise  $\omega$  ile gösterilmektedir. Robot gövdesinin hem doğrusal hızı hem de açısal hızı robot tekerleklerinin açısal hızlarının ve robotun geometrik parametrelerinin kullanıldığı denklemler halinde açıklanmaktadır.

Robot gövdesinin doğrusal hızı

$$v = \frac{r(\omega_R + \omega_L)}{2} \quad (1)$$

denklemlerle, açısal hızı ise

$$\omega = \frac{r(\omega_R - \omega_L)}{L} \quad (2)$$

denklemlerle ifade edilir. Bu denklemlerde yer alan  $\omega_R$  sağ tekerleğin açısal hızı,  $\omega_L$  ise sol tekerleğin açısal hızıdır.

Robotun gövdesinin doğrusal hızı ve açısal hızı sistemin durumları olmak üzere, robotun durum uzay gösterimi

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,  $(x, y)$  koordinatları robot gövdesinin konumunu ve  $(\theta)$  robotun gövde açısını ifade etmektedir.

Ters kinematik denklemleri sayesinde, robotun istenen son konum ve yönelim açısı bilindiğinde veya gövdesinin doğrusal ve açısal hızları bilindiğinde hedefe ulaşmak için robotun tekerleklerinin dönüş hızları hesaplanmaktadır. Sağ ve sol tekerleklerin açısal hızları,

$$\begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & -L \\ 1 & L \\ 1 & \frac{L}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

## 2.2. Doğru Akım Motoru Dinamiği

Bir DA motorunun indirgenmiş dinamik denklemleri, doğrusal ve ikinci dereceden diferansiyel denklem halinde

$$KV(t) = J\ddot{\theta}(t) + v\dot{\theta}(t) \quad (5)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada,  $K$  motor sabitini,  $J$  eylemsizlik momentini ve  $v$  viskoz sürtünme katsayısını temsil etmektedir. İlgili denklemin her iki tarafında da Laplace dönüşümleri yapıldığında

$$KV(s) = Js^2\theta(s) + v s\theta(s) = s(Js + v)\theta(s) \quad (6)$$

denklemleri elde edilmektedir. Sistemin giriş sinyali olarak  $V$  ile ifade edilen giriş gerilimi, sistemin çıkışı olarak ise  $\theta$  konumu seçilerek bir  $G(s)$  transfer fonksiyonu oluşturulmuştur ve bu transfer fonksiyonu

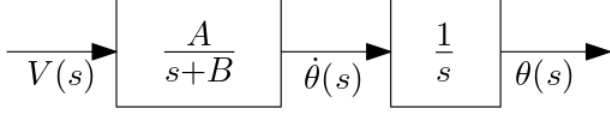
$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(Js + v)} = \frac{K/J}{s(s + v/J)} \quad (7)$$

olarak ifade edilmektedir.

$G(s)$  transfer fonksiyonunu

$$G(s) = \frac{A}{s(s+B)} \quad (8)$$

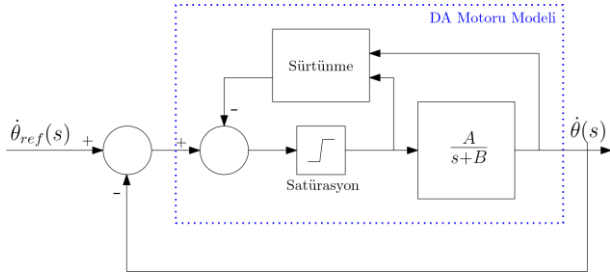
olarak sade bir şekilde ifade etmek mümkündür.  $G(s)$  transfer fonksiyonunu kullanarak indirgenmiş bir DA motoru modeli oluşturulmuş ve bu modele ait blok diyagram Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3: İndirgenmiş DA motoru blok diyagramı

### 2.3. Doğru Akım Motoru Modeli

Bir önceki alt başlıkta da anlatıldığı üzere DA motoruna  $V$  giriş gerilimi uygulanarak çıkış olarak  $\theta$  konumu elde edilmiştir. Fakat bu çalışma kapsamında DA motorunun hız kontrolü üzerine odaklanıldığı için DA motoru blok diyagramı hem girişi hem de çıkışı derece/saniye birimindeki açısal hız olacak şekilde düzenlenmiştir. Giriş ve çıkışı açısal hız olan DA motoru blok diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: DA motoru blok diyagramı

DA modelini daha gerçeğe yakın şekilde temsil edebilmek ve kontrolörlerin performansını daha iyi inceleyebilmek için sürtünme etkisini temsil eden özel bir fonksiyon bloğu eklenmiştir. Kontrolörden gelecek kontrol sinyali de doyunluk (satürasyon) bloğundan geçirilerek sisteme uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan DA motoru modelini oluşturan transfer fonksiyonu, doyunluk ve sürtünme fonksiyonu bloklarına ait parametreler Tablo 2'te gösterilmiştir.

Tablo 2: DA motoru modeli parametreleri

Parametre	Değer	Birim
A	229.34	$\frac{N}{V \cdot kg \cdot m}$
B	17.801	$\frac{N \cdot s}{kg \cdot m}$
Doygunluk	[-127, 127]	PWM
Sürtünme	1	$N \cdot m$

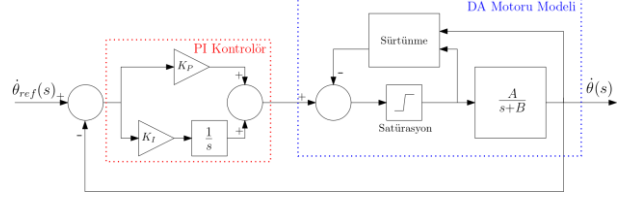
### 3. PI Kontrolör Tasarımı

PI kontrolörün genel ifadesi

$$G_{PI}(s) = K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_P s + K_I}{s} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

İlgili denklem dikkate alınarak bir PI kontrolör blok diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagram ile Şekil 4'te gösterilen DA motoru blok diyagramı birleştirilmiş ve Şekil 5'te DA motor dinamiği ve PI hız kontrol blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5: DA motor dinamiği ve PI kontrol blok diyagramı

Şekil 5'teki çıkış  $\dot{\theta}(s)$ , giriş ise  $\dot{\theta}_{ref}(s)$  olarak kabul edildiğinde bu blok diyagrama ait eşitlik

$$\begin{aligned} \frac{\dot{\theta}(s)}{\dot{\theta}_{ref}(s)} &= \frac{G_{PI}(s)G(s)}{1 + G_{PI}(s)G(s)} \\ &= \frac{\left(\frac{K_P s + K_I}{s}\right) \left(\frac{A}{s+B}\right)}{1 + \left(\frac{K_P s + K_I}{s}\right) \left(\frac{A}{s+B}\right)} \end{aligned} \quad (10)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Eşitlikte çarpma ve sadeleştirme işlemlerinin ardından denklem

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{\dot{\theta}_{ref}(s)} = \frac{AK_P s + AK_I}{s^2 + (B + AK_P)s + AK_I} \quad (11)$$

olarak elde edilmiştir. Bu transfer fonksiyonundan elde edilen karakteristik denklemdaki  $K_P$  ve  $K_I$  ifadelerini  $\alpha$  ile parametrik bir şekilde ifade etmek amacıyla kapalı çevrim sistemin karakteristik polinomu

$$s^2 + (B + AK_P)s + AK_I = s^2 + 2\alpha s + \alpha^2 \quad (12)$$

olarak elde edilmektedir. Kontrolör ve sistem parametreleri cinsinden

$$2\alpha = B + AK_P \rightarrow K_P = \frac{2\alpha - B}{A} \quad (13)$$

olarak elde edilmektedir.  $K_I$  parametresi ise

$$\alpha^2 = AK_I \rightarrow K_I = \frac{\alpha^2}{A} \quad (14)$$

olarak  $A$ ,  $B$  ve  $\alpha$  cinsinden gösterilebilmektedir. Burada,  $\alpha$  sistemin kapalı çevrim kutuplarını ifade etmektedir.  $\alpha$  parametresi değiştirilerek hem  $K_P$  hem de  $K_I$  kolaylıkla ayarlanabilmektedir.  $\alpha$  için çeşitli değerler verilerek sistem cevabı incelenmiş ve yeterli olduğuna karar verilen  $\alpha$  değeri tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan  $\alpha$ ,  $K_P$ ,  $K_I$  parametreleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: PI kontrolör parametreleri

Parametre	Değer
$\alpha$	18.0225
$K_P$	0.0796
$K_I$	1.4163

#### 4. Model Öngörülü Kontrolör Tasarımı

Model Öngörülü Kontrol, gelecekteki bir zaman aralığında sistem davranışını tahmin ederken bu tahminleri kullanarak kontrol yapısını eniyilemeye çalışan bir kontrol yöntemidir. Model öngörülü kontrolör parametrelerinin seçimi sistemin başarısını ve performansını etkileyen önemli bir aşamadır. Model öngörülü kontrol tasarımında kullanılan parametreler şunlardır: örnekleme zamanı, öngörü ufkü, kontrol ufkü, kısıtlar ve ağırlıklar.

Örnekleme zamanı, kontrol algoritmasının ne sıklıkla güncelleneceğini belirler. Kısa örnekleme zamanı seçildiğinde daha hızlı tepkiler alınır fakat bu sisteme daha fazla hesaplama yükü getirir. Büyük örnekleme zamanı seçildiği durumda da kontrolör bozuculara karşı yeteri kadar hızlı cevap veremez. Örnekleme zamanını, sistemin dinamik özelliklerine ve gerçek zamanlı gereksinimlere uygun bir şekilde seçmek önemlidir.

Öngörü ufkü, gelecekteki hareket durumlarının tahmin edileceği adım sayısını belirler. Kontrol ufkü ise kaç adım sonrası hareketin eniyileneceğini belirler. Daha uzun öngörü ve kontrol ufkü, sistemin daha iyi performans göstermesine olanak tanır ama hesaplama yükü artırır.

Kısıtlar, kontrol çıkışlarını sınırlayan yapılardır. Kısıtların doğru bir şekilde seçilmesi, sistem stabilitesini ve güvenliğini sağlamak için önemlidir. Kısıt değerlerinin veya aralıklarının aşırı küçük ve dar olması performansı düşürebilirken aşırı büyük ve geniş olmaları istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olabilir.

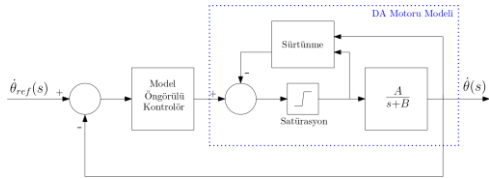
Hedeflere veya çıkışlara farklı ağırlıklar atanabilir. Bu ağırlıklar, kontrol çıkışlarının hedef değerlere ne kadar yakın olması gerektiğini belirler.

Yukarıda bahsedilen tasarım kriterleri dikkate alınarak bir model öngörülü kontrolör tasarımı yapılmıştır. Bu kontrolör tasarlanırken kullanılan parametre ve değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Model öngörülü kontrolör parametreleri

Parametre	Değer
Örnekleme Zamanı	0.001 saniye
Öngörü Ufkü	20
Kontrol Ufkü	10
Giriş Kısıtları	$[-20, 20]$ (derece/saniye)
Çıkış Kısıtları	$[-127, 127]$ (derece/saniye)
Giriş Ağırlığı	0
Giriş Oran Ağırlığı	0.1
Çıkış Ağırlığı	10

Tasarlanan model öngörülü kontrolör, daha önceden tasarlanmış DA motoru modeliyle birleştirilerek sistemin blok diyagramı oluşturulmuştur. Model öngörülü kontrolörün DA motor modeline uygulandığı blok diyagram Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 6: DA motor dinamiği ve model öngörülü kontrolör blok diyagramı

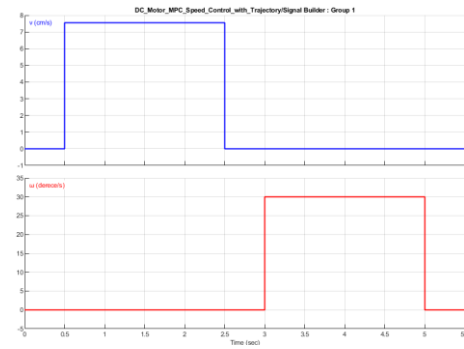
#### 5. Benzetim Çalışmaları

Önceki bölümlerde tasarımları gerçekleştirilen kontrolör blok diyagramlarının giriş kısmına Şekil 7'deki blok diyagram yerleştirilmiştir. Bu blok diyagram çift kanallı bir sinyal üretici, derece-radyan ve radyan-derece dönüşüm blokları ile robotun ters kinematik matrislerini temsil eden kazanç bloklarından oluşturulmuştur.



Şekil 7: Sinyal üretici, ters kinematik ve diğer bloklar

Sinyal üreticiden doğrusal hız ve açısal hız referansları üretilip diyagramdan geçirilerek çıkışta sol ve sağ motor için açısal hız referansları elde edilmektedir. Sinyal üretici ile oluşturulan açısal hız referans sinyalleri Şekil 8'deki gibidir.

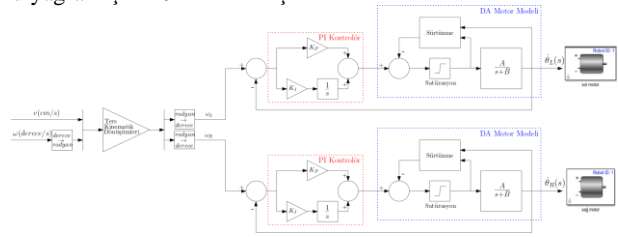


Şekil 8: Sinyal üreticiden elde edilen hız referansları

Üretilen hız referanslarına göre robotun hareket davranışları şu şekilde olmalıdır:

- $t = 0$  ile  $t = 0.5s$  arasında hareketsiz bekleme
- $t = 0.5s$  ile  $t = 2.5s$  arasında doğrusal hareket
- $t = 2.5s$  ile  $t = 3s$  arasında hareketsiz bekleme
- $t = 3s$  ile  $t = 5s$  arasında olduğu yerde dönme
- $t = 5s$  ile  $t = 5.5s$  arasında hareketsiz bekleme

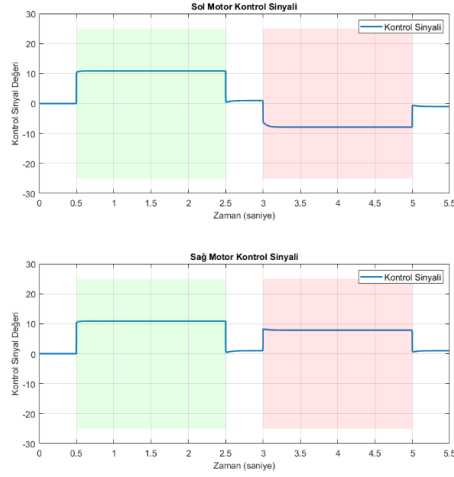
Sisteme PI kontrolör uygulandığında kullanılan blok diyagram Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: PI hız kontrollü gezgin robot blok diyagramı

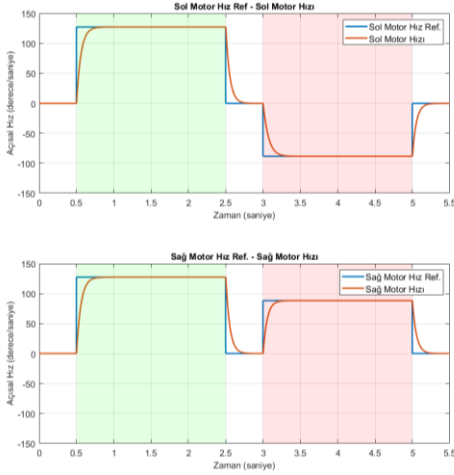
Benzetim çalışmalarına ait grafiklerde doğrusal hız referansının uygulandığı alanlar yeşil renkle, açısal hız referansının uygulandığı alanlar ise kırmızı renkle işaretlenmiştir. Sinyal üreticide oluşturulan doğrusal ve açısal hız referansları iki ayrı kanal halinde çıkıp ters kinematik işleminden geçirildiği için kontrolörlere uygulanan referans sinyalleri derece/saniye biriminde olmaktadır.

Şekil 8'de detayları belirtilen hız referansları Şekil 9'da gösterilen PI kontrollü model için uygulandığında PI kontrolör tarafından üretilmiş kontrol sinyalleri Şekil 10'daki gibidir.



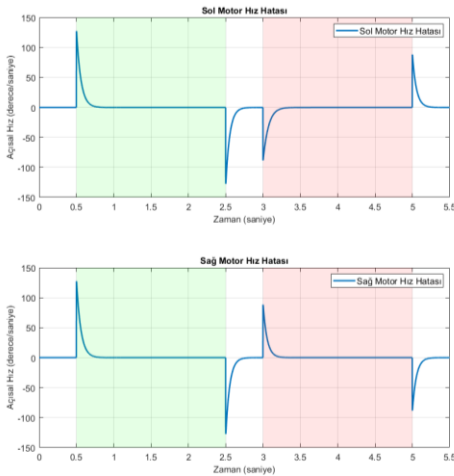
Şekil 10: PI kontrollü sistemin kontrol sinyali

PI kontrolöre uygulanan hız referansları ile DA motoru modellerinin Şekil 10'daki kontrol sinyalleri için ürettikleri hızların karşılaştırması Şekil 11'de sunulmuştur.



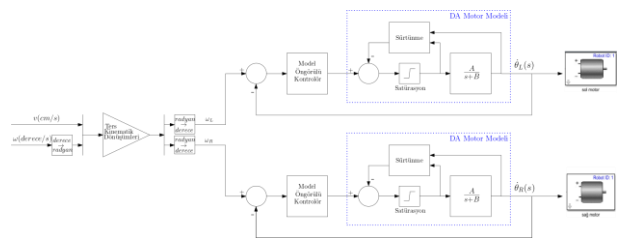
Şekil 11: PI kontrollü sistemin motor hızları ve hız referansları karşılaştırması

Şekil 11'deki motor hız referans değerleriyle motor hızları arasındaki fark hız hatası olarak değerlendirilmiş ve Şekil 12'de gösterilmiştir.



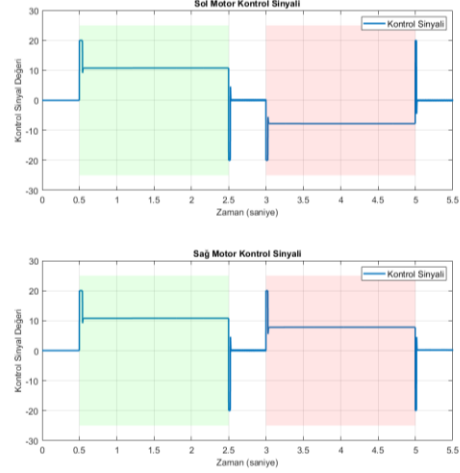
Şekil 12: PI kontrollü sistemin motor hız hataları

Sisteme model öngörülü kontrolör uygulandığında kullanılan blok diyagram Şekil 13'te verilmiştir.



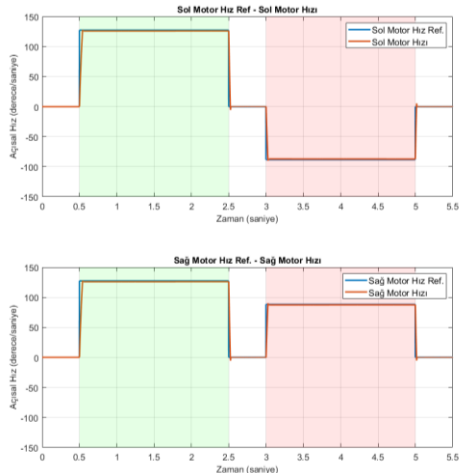
Şekil 13: Model öngörülü kontrollü gezgin robot blok diyagramı

Şekil 8'de detayları belirtilen hız referansları Şekil 13'te gösterilen model öngörülü kontrollü model için uygulandığında model öngörülü kontrolör tarafından üretilmiş kontrol sinyali Şekil 14'teki gibi olmaktadır.



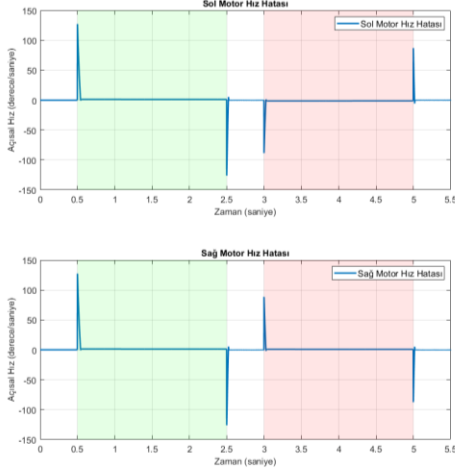
Şekil 14: Model öngörülü kontrollü sistemin kontrol sinyali

Model öngörülü kontrolöre uygulanan hız referansları ile DA motoru modellerinin Şekil 14'teki kontrol sinyalleri için ürettikleri hızların karşılaştırması Şekil 15'te sunulmuştur.



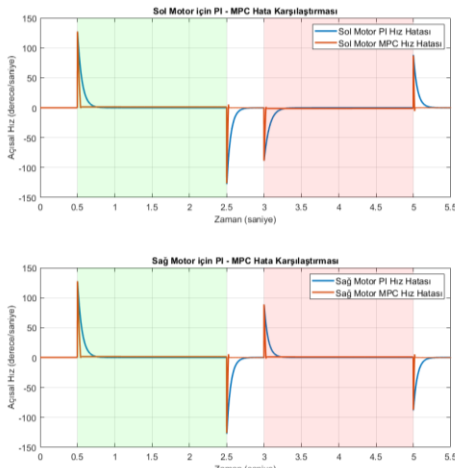
Şekil 15: Model öngörülü kontrollü sistemin motor hızları ve hız referansları karşılaştırması

Şekil 14'teki motor hız referans değerleriyle motor hızları arasındaki fark hız hatası olarak değerlendirilmiş ve Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16: Model öngörülü kontrollü sistemin motor hız hataları

Her iki kontrolörün de motor hız hataları elde edildikten sonra iki hata grafiği tek bir grafik üzerinde gösterilmiş ve bu grafik üzerinden kontrolörlerin performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 17'deki hata karşılaştırma grafiği incelendiğinde, her iki kontrolörde de aynı anda aynı büyüklükte hatalar meydana geldiği fakat turuncu renk ile gösterilen model öngörülü kontrolörün hatayı çok daha hızlı bir şekilde düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 17: PI ve model öngörülü kontrolörlerin hata karşılaştırması

## 6. Sonuçlar

Diferansiyel sürüslü gezgin robotlar; çeviklikleri, verimli olmaları, çok yönlülükleri, sağlamlıkları ve otonomi becerileri sayesinde robotik uygulamalarda öne çıkmaktadır. Bahsedilen bu özellikler, robotik alanındaki önemlerinin devam etmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada iki tekerlekli bir gezgin robot sistemini DA motorlarıyla sürmek için iki farklı kontrol yönteminin benzetim çalışmaları sunulmuştur. Model öngörülü kontrolör ve PI kontrolöre dayalı bir sistemi modellemek için MATLAB/Simulink kullanılmıştır. Gerçekçi bir senaryo için DA motor modeline Coulomb sürtünmesi ve doyumluk etkileri

de dahil edilmiştir. Her iki kontrol yönteminde de aynı referanslar sisteme uygulanarak kontrol sinyalleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında her iki kontrolör de sisteme uygulandığında kontrol sinyallerinin büyük ölçüde örtüştüğü görülmüştür.

Sistem performansını gösteren çeşitli grafikler elde edilmiş ve kullanılan Simscape benzetim ortamı sayesinde gezgin robot manevralarının gerçekçi görselleştirilmesi sağlanmıştır. Model öngörülü kontrolör, PI hız kontrolörüyle kıyaslandığında daha hızlı bir geçici hal cevabı sergilemiştir. Bununla birlikte, model öngörülü kontrolörün kalıcı hal cevabında bir miktar çatırdama bulunmaktadır. Model öngörülü kontrolör ile karşılaştırıldığında PI hız kontrolörlerine dayalı mimari daha yavaş bir tepki süresine sahiptir. Gerçek zamanlı bir kontrol sisteminde model öngörülü kontrolör, ayarlanarak azaltılabilecek agresif bir hareket gerçekleştirebilir. Gelecek çalışmalarda gerçekleştirilmiş bir gezgin robot üzerinde gerçek zamanlı model öngörülü kontrolör çalışmaları yapılması planlanmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamında desteklenen 121E450 numaralı projede gerçekleştirilen çalışmalardan faydalanılarak hazırlanmıştır.

## Kaynakça

- [1] M. De Ryck, M. Versteijne, ve F. Debruyere, "Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques", Journal of Manufacturing Systems, c. 54. Elsevier BV, ss. 152-173, Oca. 2020.
- [2] J. B. Rawlings, D. Q. Mayne, ve M. Diehl, Model Predictive control: Theory, Computation, and Design. 2017.
- [3] J. Iqbal, R. Xu, H. Halloran, ve C. Li, "Development of a Multi-Purpose Autonomous Differential Drive Mobile Robot for Plant Phenotyping and Soil Sensing", Electronics, c. 9, sy 9. MDPI AG, s. 1550, Eyl. 22, 2020.
- [4] K. Shankar ve J. W. Burdick, "Motion planning and control for a tethered, rimless wheel differential drive vehicle", 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, Kas. 2013.
- [5] K. Iagnemma ve S. Dubowsky, Mobile Robots in Rough Terrain. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [6] N. Guo, X. Zhang, Y. Zou, B. Lenzo, G. Du, ve T. Zhang, "A Supervisory Control Strategy of Distributed Drive Electric Vehicles for Coordinating Handling, Lateral Stability, and Energy Efficiency", IEEE Transactions on Transportation Electrification, c. 7, sy 4. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), ss. 2488-2504, Ara. 2021
- [7] İ. Kaya ve A. Bawdaka, "DC Motor Sürücüsü İçin Model Öngörülü Denetleyici Tasarımı", DÜMF Mühendislik Dergisi, c. 10, sy 3. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, ss. 899-910, Eyl. 29, 2019.