



# Doğru Akım Motorunun PID ile Hız Kontrolü ve Zorlamalı Yükler Altında Performans Analizi

Barış Gökçe<sup>1</sup>, Yavuz Bahadır Koca<sup>2\*</sup>, Yılmaz Aslan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6141-7625), [bgokce@erbakan.edu.tr](mailto:bgokce@erbakan.edu.tr)

<sup>2\*</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0317-1417), [ybkoca@gmail.com](mailto:ybkoca@gmail.com)

<sup>3</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9798-1519), [yilmaz.aslan@dpu.edu.tr](mailto:yilmaz.aslan@dpu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 28 Eylül 2020 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.799601)

**ATIF/REFERENCE:** Gökçe, B., Koca, Y. B., Aslan, Y. (2021). Doğru Akım Motorunun PID ile Hız Kontrolü ve Zorlamalı Yükler Altında Performans Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 549-554.

## Öz

Bu makale, değişen zorlamalı yük koşulları altında bir doğru akım (DA) motor hızının kontrolünü sunmaktadır. Tork varyasyonlu DA motorunun lineer sistem modeli oransal, integral ve türev (proportional, integral and derivative-PID) kontrolörü kullanılarak tasarlanmıştır. DA motorun yüksüz, tam yükte ve zorlamalı yük koşulları altında sistem cevabını gözlemek için bir simülasyon programında analizi gerçekleştirilmiştir. İlk adımda yüksüz durumda gerçek hız ile referans hızın aşma probleminin üstesinden gelen ve kararlı durum hatasını ortadan kaldıran Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Ardından, her bir kontrolörün parametre değerleri belirlenmiş ve daha sonra Matlab Simulink programıyla optimize edilmiştir. Bu çalışmada amaç değişken koşullarda meydana gelen zorlanmalarda motor hızını sabit tutmaktır. Bu kapsamda gerçek bir uygulamada kullanılmak üzere seçilmiş bir DA motoruna ait parametrelere göre simülasyon programında benzetim ortamı tasarlanmıştır. Analiz sonuçları, motor hızının tam yükün etkisi altında 650 milisaniyede yaklaşık 75 rpm (%2,5) için yavaşladığını göstermektedir. PID kontrolcüsünün, değişken yük koşulları altında arzu edilen motor hızını kontrol etmek için başarılı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** DA Motor, PID Denetleyici, Değişken Yükler, Hız Kontrol Uygulaması

## Speed Control of Direct Current Motor with PID and Performance Analysis under Forced Loads

### Abstract

This article presents the control of a direct current (DC) motor speed under varying forced load conditions. The linear system model of torque variation DC motor is designed using a proportional, integral and derivative (PID) controller. In order to observe the system response of the DC motor under no-load, full-load and forced-load conditions, analysis was performed in a simulation program. In the first step, the Ziegler-Nichols adjustment method, which overcomes the problem of exceeding the actual speed and reference speed in no-load condition and eliminates the steady state error, is used. Next, the parameter values of each controller are determined and then optimized with the Matlab Simulink program. The aim of this study is to keep the motor speed constant in the strains occurring under variable conditions. In this context, a simulation is designed in a program according to the parameters of a selected DA motor to be used in a real application. Analysis results show that the motor speed slows down to approximately 75 rpm (2.5%) in 650 milliseconds under the effect of full load. It has been found that the PID controller is a successful method for controlling the desired motor speed under variable load conditions.

**Keywords:** DC Motor, PID Controller, Variable Loads, Speed Control Implementation

\* Sorumlu Yazar: [ybkoca@gmail.com](mailto:ybkoca@gmail.com)

## 1. Giriş

Doğru akım (DA) motorlar son yıllarda endüstriyel kontrol uygulamalarında, ev cihazlarında ve robotik sistemler gibi çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Kaya ve Furat, 2020). Özellikle hızın geniş ölçüde değişmesini gerektiren endüstride ve diğer çeşitli uygulamalarda DA motorlarının kullanımı avantajlıdır (Chapman, 2005). Bu açıdan DA motorları, hız kontrolü açısından çok yönlü ve esnekler. Bunun yanı sıra DA motor sürücülerinde de yüksek başlatma, hızlanma ve geciktirme torku, yüksek tepki performansı, hızlı frenleme ve daha kolay doğrusal kontrol gibi iyi özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedirler (Dubey ve Srivastava, 2013). DA motorun yüksek başlangıç tork özelliği, çekiş uygulamaları açısından DA motorunu uygun bir seçenek haline getirmektedir. Aynı zamanda bu motorun avantajları kolay hız kontrolü ve ani bir yük değişimine karşı dayanıklı olmasıdır. Tüm bu özellikler onu ideal bir çekiş motoru yapmaktadır. Bu açıdan günümüzde kullanılan çeşitli elektrikli araç sistemlerinde de DA motorları tercih edilmektedir. Robotik sistemler, otonom araçlar, elektrikli çekiş ve diğer uygulamalar için kullanılırlar (Gökozan, 2020). Ayrıca DA motorlarında kullanılan sürücü sistemleri AA sürücü sistemlerine kıyasla daha basit ve daha az maliyetlidir. (Sen, 2007).

Günümüzde toplumların yaşamlarında kullanılan hemen hemen tüm elektriksel ve mekanik sistemlerde kontrol sistemleri vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Endüstriyel uygulamalarda ve araştırmalarda geri besleme kontrol döngüsü sistemin daha iyi performans göstermesi için gereklidir. Kullanılan bu sistemlerin daha hızlı dinamik bir tepki vermesi için, çeşitli geri besleme kontrol sistemlerinde birçok kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Bir sürücü sistemindeki kontrolcü sisteminin en önemli fonksiyonu minimum aşma veya referans hızı ile aşma için hassas ve hızlı izlemeyi sağlayarak çok az veya ortadan kaldırılmış sabit durum hatasını içerir. Geleneksel orantı-integral-türev (PID) kontrolörleri, basit matematiksel modelleme, çalıştırma kolaylığı, iyi sağlamlık, yüksek güvenilirlik, stabilizasyon ve sabit durum hatasını ortadan kaldırma gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel kontrol uygulamalarında çok popüler ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Åström ve Hägglund, 1995). PID kontrolörü DA motorun istenen hız-tork karakteristiklerini elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte, bu kontrolörlerin optimizasyonu ve ayarlanması, özellikle değişken yük koşulları, parametre değişiklikleri, anormal çalışma modları vb. altında çok zaman alıcı ve zordur. DA motorlar, ayarlanabilir hızlı makineler olarak kabul edilmektedirler (Khan ve ark., 2015).

Dışardan uyarımlı DA motor sürücüsü, hassas hız kontrolü, kontrol edilebilir torku, yüksek güvenilirliği ve basitliği nedeniyle uzun süre değişken hızlı uygulamalar için kullanılan en uygun seçenektir. Dışarıdan uyarımlı DA motorda, güç kaynağı doğrudan motorun alan sargısına bağlanır. Yaygın olarak kullanılan üç hız kontrol tekniği vardır. Bunlar, alan direnç kontrolü, armatür direnç kontrolü ve armatür gerilim kontrolü olarak adlandırılır. Armatür gerilim kontrol yönteminde alan akımı armatüre uygulanan sabit ve değişken gerilimi tutmaktadır. Bir armatür kontrollü DA sürücünün temel çalışma prensibi, ayrı olarak uyarılmış bir DA motorun hızının DA motorun uygulanan armatür gerilimiyle doğru orantılı olmasıdır. DA motor hızı, terminal gerilimlerinin doğru orantılı ayarlanmasıyla geniş bir aralıkta kontrol edilebilir.

Alhanjouri yaptığı çalışmada DC motor hızının performansını oransal, integral (PI) kontrolör ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle kontrol etmiş klasik PID sistemine karşı bazı üstünlükler ortaya koymuştur (Alhanjouri, 2017). Serrezuela ve arkadaşları yaptıkları çalışmada DC motorun hızını LabVIEW programı ve Bulanık Mantık (BM) yöntemi ile analiz etmişler ve yeni bir hız kontrolcüsü önermişlerdir. Yapılan çalışma motorun herhangi bir yük etkisi olmaksızın boşa çalışması durumuna göre değerlendirilmiştir. %3' lük bir iyileşme tespit ettiklerini öne sürmüşlerdir (Serrezuela ve ark., 2017). Çınar ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada LabVIEW programı ve Matlab/Simulink araç kutusu yardımıyla DC motorun hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada motorun yüksüz ve bozucu etkiler olmaksızın başarılı sonuçlar elde ettiğini öne sürmüşlerdir. (Çınar ve ark., 2019). Tir ve arkadaşları ise çalışmalarında BM ile PID kontrolörü kullanarak DC motorun yüksüz ve bozucu etkiler olmaksızın hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir (Tir ve ark., 2017).

DC motor hızının performansına yönelik yapılan çalışmalarda PID kontrolcüsünün parametrelerini en iyilemeye yönelik farklı optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Harris şahini algoritması (Ekinci ve ark., 2020), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), (Ibrahim ve ark., 2015), genetik algoritma (GA), (Ibrahim ve ark., 2019), yapay arı kolonisi algoritması (YAKA), (Mishra ve ark., 2013) gibi çeşitli yöntemler PID parametrelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle DC motor performansı yüksüz veya bir zorlamalı yük olmaksızın analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın ana odak noktası DA motor hızının çeşitli yüklemeye etkisi altında performansını korumasıdır. Armatür gerilim kontrol tekniği kullanılarak değişen yükler altında DA motor hız kontrolü prensibi sunulmuştur. Motor hızı sabit tutulmuş ve zorlayıcı yük değeri sıfırdan tepe torkuna kadar değiştirilmiştir. Değişken yük koşullarında motor hızının sabit tutulması, istenilen performans sağlamak için önemlidir. Bu yaklaşımı kullanarak, PID kontrolörü belirli anormal koşullarda değişen yük etkisine bağlı olarak motor hızında meydana gelen hız azalmalarını düzeltmek için kullanılır. PID kontrol şeması kullanılarak önerilen sistem modeli simülasyon yazılımları üzerinde tasarlanmış ve simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın içeriği aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de DA motor modeli, PID kontrol sistemi ve önerilen model sunulmuştur. DC motor hız kontrolüne ilişkin elde edilen simülasyon sonuçları Bölüm 3'te verilmiştir. Çalışmaya ilişkin elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ise Bölüm 4'te sunulmuştur.

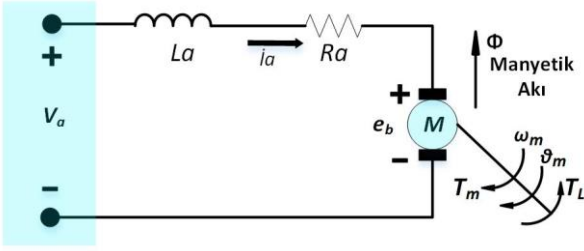
## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, zorlamalı yük koşullarında DA motor sistem bileşenleri açıklanmaktadır. Bu bölüm iki alt başlıkta değerlendirilebilir. İlk bölümde DA motor hız kontrolünün dinamik modeli sunulmuştur. İkinci bölümde önerilen kontrollü sistem bir simülasyon platformunda simülasyonlar yapılarak değerlendirilmiştir.

### 2.1. DA Motor Dinamik Modeli

Bu bölümde, armatür kontrollü DA motorun kapalı çevrim hız kontrol sisteminin dinamik modeli sunulmaktadır. DA motora ait tasarım parametreleri, elektrikli engelli araçlarında

kullanılan 24V, 320W, 6.5A, 3500 rpm motorun değerleri kullanılarak yapılmıştır. Burada gösterileceği gibi, bir DA motorun matematiksel modeli doğrusaldır. Bir DA motoru temsil etmek için Şekil 1'deki eşdeğer devre şeması kullanılmıştır (Kuo ve Golnaraghi, 2003).



Şekil 1. DA motor modeli

DA motorun hız aralığı sıfırdan etiket hızına kadar olabilir. Bu performans çoğunlukla sabit tork koşulunda uygulanan değişken armatür gerilimi ile elde edilir. Giriş gerilimi, motorun armatür terminallerine uygulanır. Armatür kontrollü DA motorun, bir giriş gerilim kaynağı olarak uygulanan armatür gerilimi ( $V_a$ ) ile motorun açılma yer değiştirmesi ( $\theta$ ) ile olan transfer fonksiyonu Eşitlik (1) ile verilmiştir.

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{s[L_a \cdot J \cdot s^2 + (L_a \cdot B + R_a \cdot J) \cdot s + R_a \cdot B + K_m K_b]} \quad (1)$$

DA motoruna ait parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

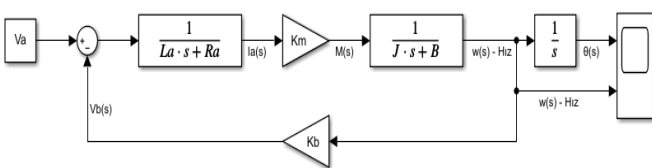
Tablo 1. DA Motor Parametreleri

Parametre	Değeri
$V_a$ : Giriş gerilimi, (V)	24 V
$R_a$ : Direnç, ( $\Omega$ )	2.8 $\Omega$
$L_a$ : Bobin, (H)	0.0014 H
$J$ : Atalet momenti, ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	0.072 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
$B$ : Sürtünme katsayısı, ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ )	0.02 $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
$K_m$ : Motor tork sabiti, (N.m/A)	1.24 N.m/A
$K_b$ : Zıt EMK sabiti, (V.s/rad)	1.24 V.s/rad

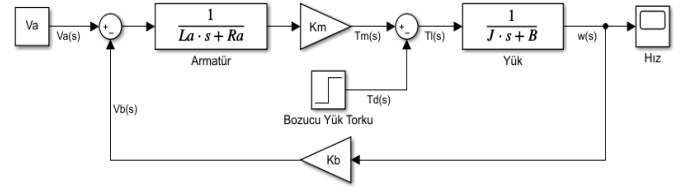
Açılma hız ile pozisyon arasındaki bağıntı kullanılarak, açılma hız ve armatür gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu Eşitlik 2' de olduğu gibi yazılabilir.

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{L_a \cdot J \cdot s^2 + (L_a \cdot B + R_a \cdot J) \cdot s + R_a \cdot B + K_m K_b} \quad (2)$$

Yük torku olmayan armatür kontrollü DA motorun blok şeması Şekil 2' de gösterilmiştir. Ayrıca armatür kontrollü DA motorun yük altında çalışmasına ilişkin hız ile transfer fonksiyonu blok diyagramı da Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 2. DA motoru blok şeması.

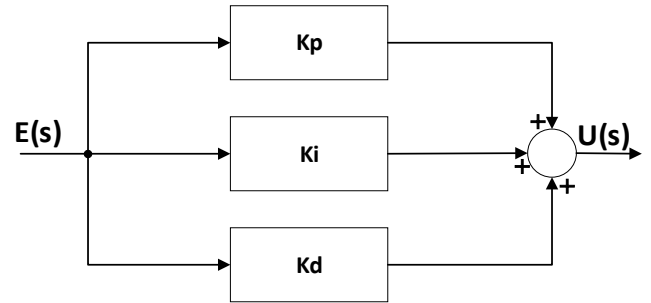


Şekil 3. DA motorun yük altında çalışmasına ilişkin blok şeması.

## 2.2. Oransal, İntegral, Türev (PID) Kontrol Sistemi

Oransal-integral-türev (PID) kontrol şeması, çeşitli kontrol uygulamaları için kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tabak, 2020). PID kontrolörlerinde, istenen kontrol performansını elde etmek için üç parametreyi, yani orantılı kazanç ( $K_p$ ), integral kazanç ( $K_i$ ) ve türevsel kazanç ( $K_d$ ) ayarlamamız gerekir. Bir PID kontrollü sistemin blok şeması Şekil 4 'de gösterilmektedir. PID kapalı kontrol döngüsü kontrolöründe, üç kontrolör P, I ve D'nin hepsi birbiriyle etkileşime giren farklı durumlara sahiptir, bu nedenle ayarlanması zaman alıcı ve zorlu bir görevdir.

PID kontrolcüsünün ayarlanması, kontrol sistemini belirli koşulları altında PID kontrolörünün düzgün çalışması için bu sistemin amacıdır. Ziegler-Nichols yöntemi, manuel ayarlama yöntemi ve hazır yazılımlar üzerinde otomatik ayarlama yöntemi gibi PID kontrol parametrelerini ayarlamak için kullanılan farklı ayarlama yöntemleri vardır. PID kontrolcüsü, sabit durum hatası olmayan, hızlı yanıt veren ve salınım içermeyen üstün kararlılığı olan dinamik kontrol sistemi için en iyi seçimdir.



Şekil 4. PID kontrolör sistem blok şeması.

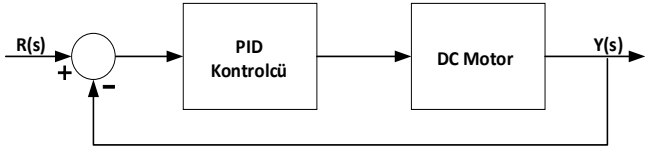
Giriş sinyali  $e(t)$  ile çıkış sinyali  $u(t)$  arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Bu ifadenin transfer fonksiyonu ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (4)$$

Buna göre DA motor hız kontrolü için PID kontrol sistemi blok şeması Şekil 5' teki gibi oluşturulur.



Şekil 5. PID kontrol sistemi blok şeması.

### 2.3. Önerilen Sistem

Bu bölümde, değişken yükler altında hız kontrolü için DA motor sisteminin önerilen modeli sunulmuştur. Önerilen kontrol sistemi, hız ve armatür akımı için bir kontrol döngülerinden oluşur. Bu kontrol sisteminde, hız-tork özelliklerinin istenen cevabı elde etmek ve değişen yüklerin etkileri altında motor hız kontrolü sorunlarının üstesinden gelmek için bir PID kontrolcüsü kullanılır. Gerçek motor hızı, motor için gerekli olan armatür akımı ile ölçülür. Motorun gerçek hızı, geri besleme kontrol döngüsü tarafından algılanır ve gerekli motorun referans armatür akımını belirlemek için bu hızı önceden ayarlanmış referans hız ile karşılaştırır. Önerilen sistem modelinin simülasyonu iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlkinde, gerçek hız, yüksüz olarak referans hız ile ayarlanır. İkinci aşamada ise, zorlayıcı yük altında DC motor referans hız sabit tutularak ayarlanır.

Bu çalışmada, yüksüz durumda gerçek hız ile referans hızın aşma probleminin üstesinden gelen ve kararlı durum hatasını ortadan kaldıran ilk adımda Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Ziegler-Nichols ayarlama yöntemi kontrol uygulamalarında parametrelere ayarlamalarını çok pratik hale getirir (Dorf ve Bishop, 2017). Kapalı çevrim kavramlarını kullanarak Ziegler-Nichols PID kontrolcüsüne ilişkin ayar şeması Tablo 2' de verilmiştir. Buna göre, her bir kontrolöre ait parametre değerleri belirlenir. Ziegler Nichols yönteminin en önemli avantajı parametre ayarlama kuralının ince ayar için bir başlangıç noktası sağlamasıdır (Ogata, 2010). Bir sonraki adımda, Ziegler Nichols yükleme etkisi altında motor hızının yetersiz kalması sorununun üstesinden gelmek için Matlab/Simulink otomatik PID araç kutusu kullanılarak hassas ayarlama gerçekleştirilmiştir. Yük etkisi altındaki PID kontrolcülü DA motorunun blok diyagramı Şekil 6' da gösterilmektedir. PID kontrolör çıkışı DA motorun armatür terminallerine giriş gerilimi olarak uygulanır. PID kontrolör için nihai parametre değerleri,  $K_p= 173$ ,  $K_i= 1320$  ve  $K_d= 1.94$  otomatik ayarlama yöntemi ile bulunmuştur.

Tablo 2. Ziegler Nichols ayar şeması.

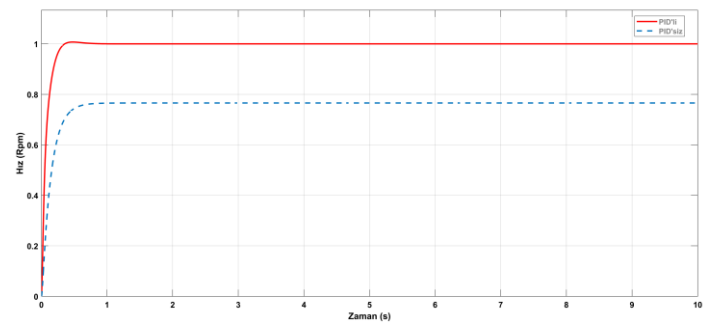
Kontrol Türü	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 K_{pmax}$	-	-
PI	$0,45 K_{pmax}$	$0,825. P_u$	-
PID	$0,6 K_{pmax}$	$0,5. P_u$	$0,125. P_u$

### 2.4. Önceki Kontrol Sistemiyle Karşılaştırmalı Önerilen Sistem

Benzer konularda çok sayıda araştırma çalışması gerçekleştirilmiştir (Almatheel ve Abdelrahman, 2017; Chaudhary ve ark., 2017; Rai, 2012; Suman ve Giri, 2016). Ancak bu makalede sunulan hız kontrol tekniği yaklaşımı, daha önce sunulan ve yayınlanan diğer tüm tekniklerden farklıdır. Çünkü bu çalışmada PI, PID, Fuzzy ve PSO gibi kontrol şemalarından ayrı olarak DA motorun zorlamalı yük koşullarında hızının sabit tutulmasıyla hız regülasyonu için bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem, MATLAB/Simulink yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulumu yapılarak DA motorun değişken yük altında hız regülasyonunun, hızın sabit tutulması ve bu görevi gerçekleştirmek için PID kontrol şemasının kullanılması halinde etkili bir şekilde kontrol elde edilip edilemeyeceği değerlendirilmiştir.

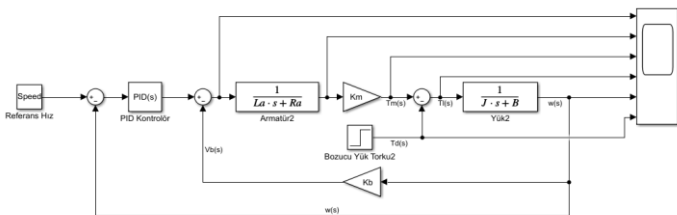
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde, önerilen hız kontrol sistemi modelinin simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Hıza bağlı olarak yük etkisi altında DA motor hız kontrolünün simülasyon sonuçları ile tork karakteristik eğrisi bu bölümde gösterilmektedir. Yüksüz DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz adım cevabı Şekil 7' de sunulmuştur. Kontrolör olmaksızın gerçekleştirilen sistemde girişe 1V birim gerilim değeri uygulandığında çıkış gerilimi 0.76V değerine (son değer in %76' sı) kadar ulaşmıştır. Yükselme süresi 0,57 saniye iken oturma süresi 1,1 saniyedir. Kararlı durum hatası, nihai değeri yaklaşık %90' dır. Bu çalışmanın bir sonraki adımında, istenen hıza ulaşmak için sistem modelinin mevcut blok diyagramında PID kontrolörü adapte edilmiştir. Kontrolcülü sistemde ise çıkış gerilimi istenilen 1V değerine ulaşır. Yükselme zamanı 0,17 saniye olarak gerçekleşmiş ve büyük ölçüde azaltılmıştır. PID kontrollü sistem için yerleşme zamanı ise 0,24 saniyedir. Ardından, sistem modeli PID kontrolcüsü olmadan tam yük koşuluyla test edilmiştir. PID kontrolcüsü için parametre değerleri,  $K_p= 13.17$ ,  $K_i= 34.79$  ve  $K_d= 1.24$  olarak belirlenmiştir.



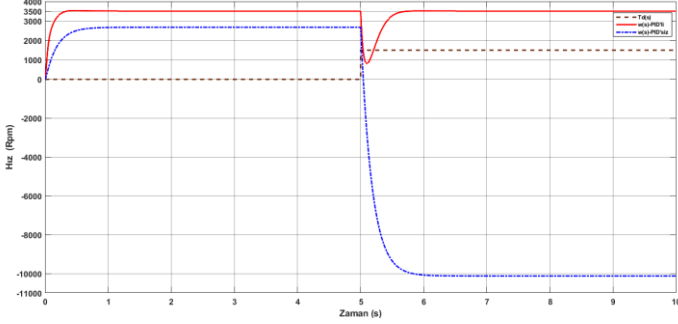
Şekil 7. Yüksüz DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz adım cevabı

Zorlamalı yük altında DA motorunun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz hız cevabı Şekil 8' de gösterilmektedir. Hızın istenen 3500 rpm referans değere ulaşmadığı açıkça görülmektedir. Grafikten, zorlamalı yük torku 0' dan 1500 Nm'ye doğru değiştiğinde, çalışma hızının yaklaşık 11000 rpm altında yavaşladığı da gözlemlenmiştir. Daha sonra, bir kez daha PID kontrolörü, bozucu yük sistemin mevcut blok şemasında kullanılır. PID kontrolörü, yükün etkisi altında mevcut hız kontrol sorununu çözebilmek için sisteme uygulanır. PID



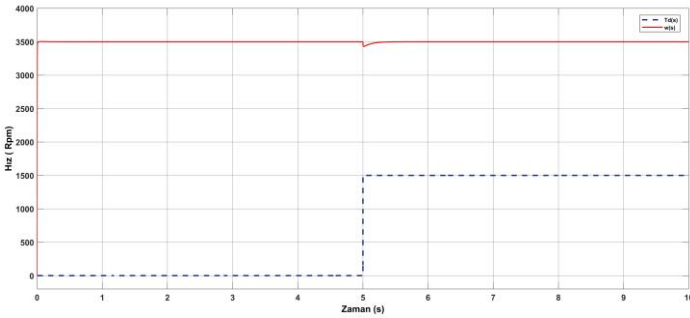
Şekil 6. Zorlayıcı yük etkisi altında PID kontrolcülü DA motorunun blok şeması.

kontrolörünün aynı parametre değerleri kullanılarak, sistemin tepkisi, sıfır yük torku ile istenen hız sürdürülebilirliğine göre daha iyi hale gelmektedir. Bununla birlikte, bu hız sürdürülebilirliği, yük torku 0'dan 1500 Nm'ye doğru değiştiğinde büyük ölçüde azalma gerçekleşmektedir. Zorlamalı yük altında DA motorun PID parametreleri  $K_p= 2.3$ ,  $K_i= 17.52$  ve  $K_d= 0.075$  olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Zorlamalı yük altında DA motorun PID kontrolcülü ve kontrolcüsüz hız cevabı.

Sonuçta, sistemde en son olarak simülasyon programı otomatik PID araç kutusu kullanılarak ayarlanan PID kontrol sistemi kullanılmış olup, değişen yükün etkisi altında bir hız kontrolcüsü geliştirilmiştir. Zorlamalı yük koşuluna sistemin cevabı Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu tepkilerden, motorun hızının tam yük etkisi altında 510 milisaniyede sadece 75 rpm (%2,5) kadar yavaşladığı görülmektedir.



Şekil 9. Zorlamalı yük altında ayarlanmış parametrelere göre PID kontrollü cevabı.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, zorlamalı yükler altında PID kontrolörü kullanarak ayrı olarak uyarılmış DA motor hız kontrol stratejisi sunulmuştur. DA motor modeli, yük etkisi altında motorun hızını kontrol etmek için PID kontrolör ile tasarlanmıştır. Motorun hızı sabit tutulmuştur ve çalışan sistemde aniden oluşan bir zorlayıcı yük torku uygulanarak sistemin stabilitesi sağlanmaya çalışılmıştır. Önerilen sistem verimli bir şekilde tasarlanmış ve test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, PID denetleyicisinin, değişken zorlayıcı yük koşullarında DA motorun hız kontrolünü kontrol edebilen çok etkili ve güçlü bir denetleyici olduğu sonucuna varılmıştır. PID denetleyicisinin nihai parametre değerleri, simülasyon programı otomatik PID araç kutusu kullanılarak ayarlanmıştır. Önerilen sistemin simülasyon sonuçları, motorun hızını değişen zorlayıcı yük koşullarında kontrol etmek ve sürdürmek için PID kontrolörünün daha iyi kontrol yaklaşımına sahip olduğunu kanıtlamıştır.

Ayrıca, sonuçlar yük bozukluğunun etkileri altında PID tabanlı kapalı döngü hız kontrol sisteminin doğrulanmasını sağlamıştır. Hedeflenen sonuç, verilen uygun koşullar altında başarıyla elde edilir. Bununla birlikte, önerilen sistem tasarımının kontrol yönlerinde bazı iyileştirmeler yapılabilir.

Bu çalışmada, PID kontrolörü, sabit hızla çalışan DC motora zorlayıcı bir yük uygulanması halinde motorun hız kontrolünü en iyi şekilde gerçekleştirmesini sağlar. PID denetleyicisinin nihai parametre değerleri, giriş parametrelerinin değişkenlik durumuna göre bazı sezgisel yöntemlerle eş zamanlı olarak ayarlanabilir. Yükün etkisi altında giriş hızına referansla motorun etkin bir şekilde hız kontrolü için ileriye dönük geliştirmede PID kontrolörünün adaptif bir yaklaşımı kullanılabilir.

#### Kaynakça

- Alhanjouri, M. A. (2017). Speed control of DC motor using artificial neural network. *Speed Control of DC Motor Using Artificial Neural Network*, 7(3).
- Almatheel, Y. A., & Abdelrahman, A. (2017). Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller. *Proceedings - 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering, ICCCCCEE 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICCCCEE.2017.7867673>
- Angel, M., & Cardozo, T. (2017). Design and Implementation of A PID Fuzzy Control for the Speed of a DC Motor. *12(8)*, 2655–2660.
- Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). *PID controllers: theory, design, and tuning (Vol. 2)*. Instrument society of America Research Triangle Park, NC.
- Chapman, S. (2005). *Electric machinery fundamentals*. Tata McGraw-Hill Education.
- Chaudhary, H., Khatoun, S., & Singh, R. (2017). ANFIS based speed control of DC motor. *2nd IEEE International Conference on Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with Their Impact on Humanity, CIPECH 2016*, 63–67. <https://doi.org/10.1109/CIPECH.2016.7918738>
- Çınar, S. M., Balcı, Z., & Yabanova, İ. (2019). Performing Speed Control of a DC Motor with Auto-Tuning PID. *19*, 690–696. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.593609>
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). *Modern control systems*, Global Edition. Pearson.
- Dubey, S., & Srivastava, K. (2013). A PID Controlled Real Time Analysis of DC Motor. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(8), 1965–1973.
- Ekinci, S., Izci, D., & Hekimoğlu, B. (2020, June). PID Speed Control of DC Motor Using Harris Hawks Optimization Algorithm. In *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Gökozan, H. (2020). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar ve Motor Sürücüler. *European Journal of Science and Technology*, 19, 105–111. <https://doi.org/10.31590/ejosat.699699>
- Ibrahim, H. E. A., Hassan, F. N., & Shomer, A. O. (2014). Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(2), 391-398.
- Ibrahim, M. A., Mahmood, A. K., & Sultan, N. S. (2019). Optimal PID controller of a brushless DC motor using

- genetic algorithm. *Int J Pow Elec & Dri Syst* ISSN, 2088(8694), 8694.
- Kaya, R., & Furat, M. (2020). Three - Channel Cost Function Based Artificial Bee Colony Algorithm for PID Tuning. *European Journal of Science and Technology*, April, 382–392. <https://doi.org/10.31590/ejosat.aracon50>
- Khan, M. R., Khan, A. A., & Ghazali, U. (2015). Speed control of DC motor under varying load using PID controller. *International Journal of Engineering (IJE)*, 9(3), 38–48.
- Kuo, B.C., & Golnaraghi, F. (2003). *Automatic Control Systems*. Englewood cliffs.
- Mishra, A. K., Tiwari, V. K., Kumar, R., & Verma, T. (2013, December). Speed control of DC motor using artificial bee colony optimization technique. In *2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering*. Prentice hall.
- Rai, J. N. (2012). Speed Control of Dc Motor Using Fuzzy Logic Technique. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3(6), 41–48. <https://doi.org/10.9790/1676-0364148>
- Sen, P. C. (2007). *Principles of electric machines and power electronics*. John Wiley & Sons.
- Suman, S. K., & Giri, V. K. (2016). Speed control of DC motor using optimization techniques based PID Controller. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Engineering and Technology, ICETECH 2016, March*, 581–587. <https://doi.org/10.1109/ICETECH.2016.7569318>
- Tabak, A. (2020). Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Hız Kontrolünü Gerçekleştirmek İçin PID/PD Kontrolcü Tasarımı ve Performans İncelemesi. *European Journal of Science and Technology*, 19, 145–155. <https://doi.org/10.31590/ejosat.707004>
- Tir, Z., Oued, E., & Oued, E. (2017). Implementation of a Fuzzy Logic Speed Controller For a Permanent Magnet DC Motor Using a Low- Cost Arduino Platform. 29–32.