



**KANATÇIK TAHRİK SİSTEMİ İÇİN PID VE PI – KAYAN KIPLI
DENETLEYİCİ TASARIMI**

Kunter ÇAĞAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kunter ÇAĞAL

30/06/2021

KANATÇIK TAHRİK SİSTEMİ İÇİN PID VE PI – KAYAN KIPLI DENETLEYİCİ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Kunter ÇAĞAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Tez çalışmasında akıllı bir mühimmatın kanatçık tahrik sisteminin açısız pozisyon denetimi için iki farklı denetleyici türü olarak PID ve PI-Kayan Kipli Denetleyici tasarımları gerçekleştirilmiş ve deneysel olarak test edilmiştir. Kanatçık tahrik sisteminin hareket denklemi ile ilgili katsayılar ve parametreler, sistemin katı modelinden ve sistemde kullanılan elektrik motorunun teknik veri dokümanından elde edilmiştir. Belirlenen parametrelere ek olarak, doğrusal olmayan bir yapıya sahip olan aerodinamik yük modeli, sisteme bozucu etki girişi şeklinde eklenmiştir. Yapılan tez çalışmasında ilk olarak sistemin matematiksel modeli elde edilmiş ve sistem ile ilgili belirlenen parametreler sistemin matematik modelinde kullanılmıştır. Denetleyici tasarımı kısmında ise ilk olarak PID denetleyici tasarımı yapılmış ve benzetim sonuçları elde edilmiştir. İkinci olarak ise PI-Kayan Kipli Denetleyici tasarımı yapılmış ve benzetim sonuçları elde edilmiştir. İlgili kayan kipli denetleyici türleri içinde sabit oranlı ulaşma kuralı, üstel ulaşma kuralı, güç oranlı ulaşma kuralı ve genel ulaşma kuralı gibi kayma yüzeyine farklı ulaşma kuralları irdelenmiş ve ilgili erişme kuralları içinden güç oranlı ulaşma kuralı uygulanmıştır. Benzetim çalışmaları sonrasında ise, tasarlanan denetleyiciler deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu amaçla, deneysel çalışmalarda denetleyicilerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da yürütülmüştür. Deneysel sistemde mevcut olan gürültü sebebiyle benzetim sonuçlarında kullanılan denetleyici katsayıları sistemdeki gürültü geçirgenliğini azaltmak için benzetim çalışmalarında kullanılan denetleyici katsayılarına göre daha düşük olarak seçilmiştir. Ayrıca sistemdeki gürültünün baskılanması için alçak geçiren filtreler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, kanatçık tahrik sisteminin gerçek çalışma koşullarına uygun olarak hem yüksüz, hem de aerodinamik yük altındaki farklı durumları test edilmiş ve tasarlanan denetleyicilerin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 91418
Anahtar Kelimeler : KTS, PID denetleyici, PI-KKD, Gürbüzlük, Aerodinamik yük, Alçak geçiren filtre, Oran limitleyici
Sayfa Adedi : 159
Danışman : Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI
İkinci Danışman : Dr. Fatih ÇEVİK

PID AND PI – SLIDING MODE CONTROLLER DESIGN FOR A FIN ACTUATION SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Kunter ÇAĞAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

In the thesis study, PID and PI-Sliding Mode Controller are designed and then tested experimentally as two different controller types for the control of a fin actuation system. The coefficients and parameters of the equation of motion of the fin actuation system are obtained from the CAD model of the fin actuation system and the technical datasheet of the electric motor which is used in the fin actuation system. In addition to the coefficients and parameters, the nonlinear aerodynamic load model is included in the system mathematical model as a disturbance input. In the thesis study, the mathematical model of the system is derived, and then the previously determined coefficients and parameters are used in the model. In the controller design part, firstly, the PID controller is designed and the simulations are performed. Secondly, PI-Sliding Mode Controller is designed and the simulations are performed. Different sliding mode controller reaching law approaches such as constant rate reaching law, exponential reaching law, power rate reaching law and classical reaching law are explored and among these reaching law approaches, the power rate reaching law type sliding mode controller is designed and applied. After the simulation studies, the controllers are used for the experimental studies. For the experimental studies, additional tests are performed to improve the performance of the controllers. The controller coefficients used in the simulation studies are tuned for the experimental studies due to the noisy signals encountered in the experimental system. Moreover, low pass filters are used to suppress the noise effects in the experimental system. In the experimental studies, the fin actuation control system is tested under different aerodynamic load conditions and without aerodynamic load conditions to simulate the real working conditions. The experimental test studies reveal the validity of the designed controller for practical implementations.

Science Code	: 91418
Key Words	: FAS, PID controller, PI-SMC, Robustness, Aerodynamic load, Low pass filter, Rate limiter
Page Number	: 159
Supervisor	: Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI
Co Supervisor	: Dr. Fatih ÇEVİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca öğrendiğim her şey için üzerimde emeği geçmiş başta danışmanım Sayın Hocam, Prof. Dr. Metin Uymaz SALAMCI ve yardımcı danışmanım Dr. Fatih ÇEVİK'e sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim. Tez çalışmam sırasında bana yardımcı olan şu an için çalışmakta olduğum ASELSAN'daki bölümümdeki müdürüm Sayın Sait SARI ve deneysel çalışmada bana yardımcı olan Kaan Doğan ve mesai arkadaşlarımdan Ahmet AKSEL ve Mustafa ALBAYRAK'a çok çok teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışması sırasında bana çalışma imkanlarını sağlayan bütün ASELSAN AKADEMİ ailesine de ayrıca çok çok teşekkür ederim. Son olarak eğitim hayatım boyunca bana destek olan aileme, eşime ve annem, babam ve kardeşime de teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KTS’NİN DİNAMİK MODELİ.....	15
2.1. KTS’nin Tanıtılması.....	15
2.2. KTS Alt Birimleri	15
2.2.1. Elektrik motoru (EM).....	16
2.2.2. Dişli kutusu (DK)	16
2.2.3. Vida mekanizması (VM)	16
2.2.4. Elektronik denetim ünitesi (EDÜ).....	17
2.2.5. Sensörler.....	17
2.3. KTS’nin Türleri.....	17
2.3.1. Doğrusal tahrikli KTS	18
2.3.2. Dönel tahrikli KTS	19
2.4. KTS’nin Matematiksel Modeli	20
2.5. KTS Yapışkan Sürtünme Torku ve Kanatçık Sertlik Değerinin Belirlenmesi ...	22
2.6. Aerodinamik Yük Modeli	22
3. KTS İÇİN PID DENETLEYİCİ TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	25
4. KTS İÇİN PI-KKD TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI	33

	Sayfa
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
5.1. Aerodinamik Yük Deney Düzeneginde Kullanılan Donanımlar	50
5.1.1. Aerodinamik yük benzetim düzeneği	50
5.1.2. Mühimmat KTS birimi	50
5.1.3. Motor sürücü kartı	50
5.1.4. Motor denetleyici kartı	50
5.1.5. RS422 çevirici	51
5.1.6. Güç kaynağı.....	51
5.1.7. Bilgisayar.....	51
5.1.8. RS422 çevirici-motor sürücü kartı - güç kaynağı bağlantı kablosu	51
5.2. Aerodinamik Yük Deney Düzeneginde Kullanılan Yazılımlar	51
5.2.1. KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı	51
5.2.2. Motor denetleyici kartı programlama yazılımı.....	52
5.2.3. MATLAB/SIMULINK yazılımı	52
5.3. Deneysel Çalışma Yöntemi.....	52
5.3.1. Deneysel çalışma öncesi denetleyici tasarımı	52
5.3.2. Yüksüz yapılan deneysel çalışma yöntemi.....	57
5.3.3. Yüklü yapılan deneysel çalışma yöntemi	58
5.4. Deney Sonuçları	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	81
EK-1. Elektrik motoru için kullanılan katsayılar ve parametreler	82
EK-2. KTS burulma sertliği katsayısının bulunmasında kullanılan parametreler	83
EK-3. PID denetleyici ve PI-KKD katsayıları ile karakteristik denklemin kökleri.....	84

Sayfa

EK-4. Aerodinamik yük benzetim düzeneği kanatçık açısına bağlı olarak aerodinamik yük değerleri	86
EK-5. PID denetleyici tasarımında karakteristik denklemin köklerinin bulunması ve kök yer eğrisinin çizilmesinde kullanılan MATLAB kodu	87
EK-6. PID ve PI-KKD tasarımı çalışmalarında kullanılabilircek Butterworth Polinomları	88
EK-7. Benzetim çalışmaları için PID denetleyici tasarımı ve KKD için kayma manifoldu tasarımında K_p , K_i ve K_d katsayılarını üçüncü dereceden bir Butterworth Polinomu kullanarak bulmak için kullanılan MATLAB kodu	89
EK-8. Deneysel çalışmalar için PID denetleyici tasarımı ve KKD için kayma manifoldu tasarımında K_p , K_i ve K_d katsayılarını üçüncü dereceden bir butterworth polinomu kullanarak bulmak için kullanılan MATLAB kodu	90
EK-9. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD'den sonra bulunan alçak geçiren filtrenin Bode Diyagramı ve gürültülü sensör sinyalinin PSD analizi	91
EK-10. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu	93
EK-11. Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar.....	135
ÖZGEÇMİŞ	159

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. KTS modeli.....	15
Şekil 2.2. Doğrusal tahrikli dişli kutulu KTS	18
Şekil 2.3. Doğrusal tahrikli doğrudan sürüslü KTS.....	19
Şekil 2.4. Dönel tahrikli doğrudan sürüslü KTS.....	20
Şekil 2.5. Elektrik motoru devresi	21
Şekil 2.6. Aerodinamik yük modeli	23
Şekil 3.1. PID denetleyici ile modellenmiş KTS'nin blok diyagramı	25
Şekil 3.2. PID denetleyici kullanılan KTS için kök yer eğrisi.....	27
Şekil 3.3. PID denetleyici kullanılan KTS.....	28
Şekil 3.4. PID denetleyici ile kanatçık açısall pozisyonu (5°).....	28
Şekil 3.5. PID denetleyici ile akım girişi (5°).....	29
Şekil 3.6. PID denetleyici ile aerodinamik yük (5°).....	29
Şekil 3.7. PID denetleyici ile kanatçık açısall pozisyonu (10°).....	29
Şekil 3.8. PID denetleyici ile akım girişi (10°).....	30
Şekil 3.9. PID denetleyici ile aerodinamik yük (10°).....	30
Şekil 3.10. PID denetleyici ile kanatçık açısall pozisyonu (15°).....	30
Şekil 3.11. PID denetleyici ile akım girişi (15°).....	31
Şekil 3.12. PID denetleyici ile aerodinamik yük (15°).....	31
Şekil 4.1. KKD uygulanan bir sistemin faz portresi	34
Şekil 4.2. KKD uygulanan bir sistemde yaklaşma ve kayma fazları ile çitirtı olayı	35
Şekil 4.3. Durum uzayı düzlemi	36
Şekil 4.4. Durum uzayı düzleminde denetleyici ve bozucu etki giriş sinyali ekseni.....	37
Şekil 4.5. Durum uzayı düzleminde kayma yüzeyinin eğiminin belirlenmesi	38
Şekil 4.6. Çitirtı problemini azaltmak için kullanılan bazı doyum fonksiyonları.....	42
Şekil 4.7. PI-KKD kullanılan KTS	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. PI-KKD bloğu.....	44
Şekil 4.9. PI-KKD ile kanatçık açısai pozisyonu (5°)	45
Şekil 4.10. PI-KKD ile akım girişı (5°)	45
Şekil 4.11. PI-KKD ile aerodinamik yük (5°)	45
Şekil 4.12. PI-KKD ile kanatçık açısai pozisyonu (10°)	46
Şekil 4.13. PI-KKD ile akım girişı (10°)	46
Şekil 4.14. PI-KKD ile aerodinamik yük (10°)	46
Şekil 4.15. PI-KKD ile kanatçık açısai pozisyonu (15°)	47
Şekil 4.16. PI-KKD ile akım girişı (15°)	47
Şekil 4.17. PI-KKD ile aerodinamik yük (15°)	47
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD bloğu.....	55
Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD yapısı	56
Şekil 5.3. Hata sinyalinii filtreleyen alçak geçiren filtre eklenmiş sistem.....	56
Şekil 5.4. Hata sinyalinii ve denetleyici çıkış sinyalinii filtreleyen alçak geçiren filtreler eklenmiş sistem.....	57
Şekil 5.5. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) kanatçık aç cevabı (yüksüz).....	59
Şekil 5.6. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) motor akım girişı (yüksüz)	59
Şekil 5.7. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) motor pwm girişı (yüksüz)	60
Şekil 5.8. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) kanatçık aç cevabı (yükli)	60
Şekil 5.9. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) motor akım girişı (yükli).....	61
Şekil 5.10. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağı (5 derece) motor pwm girişı (yükli).....	61
Şekil 5.11. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağı (5 derece) kanatçık aç cevapı (yüksüz)	62

Şekil	Sayfa
Şekil 5.12. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)	62
Şekil 5.13. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)	63
Şekil 5.14. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açıcı cevabı (yüksüz)	63
Şekil 5.15. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)	64
Şekil 5.16. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)	64
Şekil 5.17. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açıcı cevabı (yüksüz)	65
Şekil 5.18. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) faz portresi (yüksüz)	65
Şekil 5.19. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)	66
Şekil 5.20. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)	66
Şekil 5.21. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açıcı cevabı (yükli)	67
Şekil 5.22. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yükli)	67
Şekil 5.23. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yükli)	68
Şekil 5.24. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açıcı cevabı (yüksüz)	68
Şekil 5.25. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)	69
Şekil 5.26. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)	69
Şekil 5.27. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açıcı cevabı (yükli)	70
Şekil 5.28. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yükli)	70

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.29. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yükli).....	71
---	----



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Günümüzde kullanılan çeşitli KTS modelleri	1
Resim 1.2. KTS bileşenlerinin gösterildiği katı model.....	2
Resim 5.1. Aerodinamik yük deney düzeneğinde kullanılan donanımlar	49



SİMGELER VE KISALTMALAR

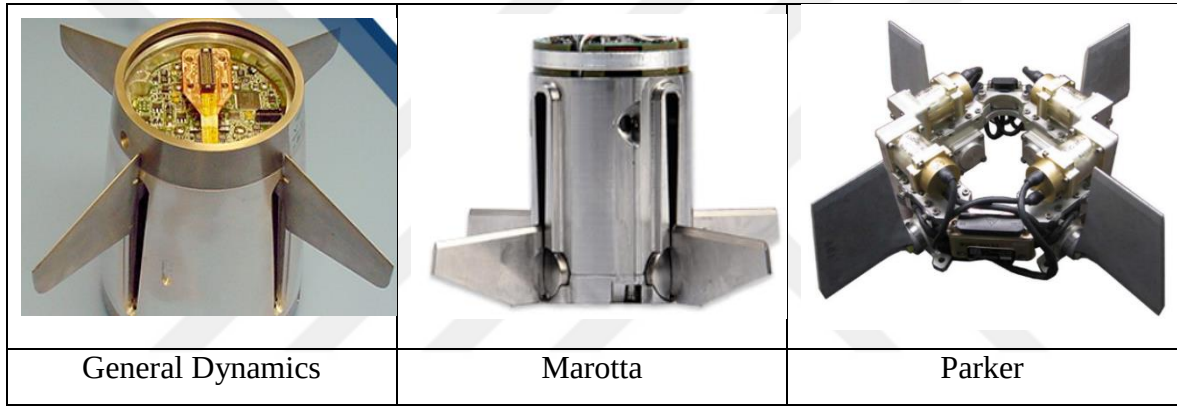
Yapılan çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
E_{emf}	Geri Elektromotor Kuvveti
G_{PID}	PID Denetleyici Transfer Fonksiyonu
G_{tfc}	Kapalı Çevrim Transfer Fonksiyonu
G_{tfo}	Açık Çevrim Transfer Fonksiyonu
I_m	Armatür Girdi Akım Sinyali
J_m	EM-DK Mekanizması Dönel Atalet Momenti
K_b	Geri Elektromotor Kuvveti Katsayısı
K_d	Türevsel Kazanç Katsayısı
K_g	DK Redüksiyon Katsayısı
K_i	İntegral Kazanç Katsayısı
K_p	Oransal Kazanç Katsayısı
K_s	Kanatçık Rampa Giriş Sinyali Katsayısı
K_t	EM Tork Katsayısı
L_m	EM İndüktansı
R_m	EM Direnci
T_a	Aerodinamik Yük
T_{eq}	EM-DK Çıkışındaki Tork
T_f	EM Sürtünme Torku
T_m	EM Torku
V_m	EM Voltaj Girdi Sinyali
e_θ	Hata Sinyali
θ_d	Referans Açısı Sinyali
θ_f	Kanatçık Açısal Pozisyonu
θ_m	EM Rotor Şaft Açısal Pozisyonu
ω_0	Alçak Geçiren Filtre Frekansı
G	Kanatçık Şaftının Polar Atalet Momenti
d	Rulmanın Takılı Olduğu Şaftın Çapı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ARM	Anahtarlamaalı Relüktans Motor
BLDC	Fırçasız DC
BVM	Bilyalı VM
D	Derece
DK	Dişli Kutusu
DMSM	Daimi Mıknatıslı Senkron Motor
EDÜ	Elektronik Denetim Ünitesi
EM	Elektrik Motoru
EMA	Elektromekanik Aktüatör
kg	kilogram
KKD	Kayan Kipli Denetleyici
KTS	Kanatçık Tahrik Sistemi
m	metre
N	Newton
Nm	Newton metre
PI-KKD	Oransal İntegral Kayan Kipli Denetleyici
PMVM	Planet Makaralı VM
PRBS	Gerçekçi Olmayan Rastgele İkili Seri
rad	radyan
s	saniye
SDRE	Durum Bazlı Ricatti Denklem
SGM	Sinyal Genişlik Modülasyonu
t	zaman
VM	Vida Mekanizması

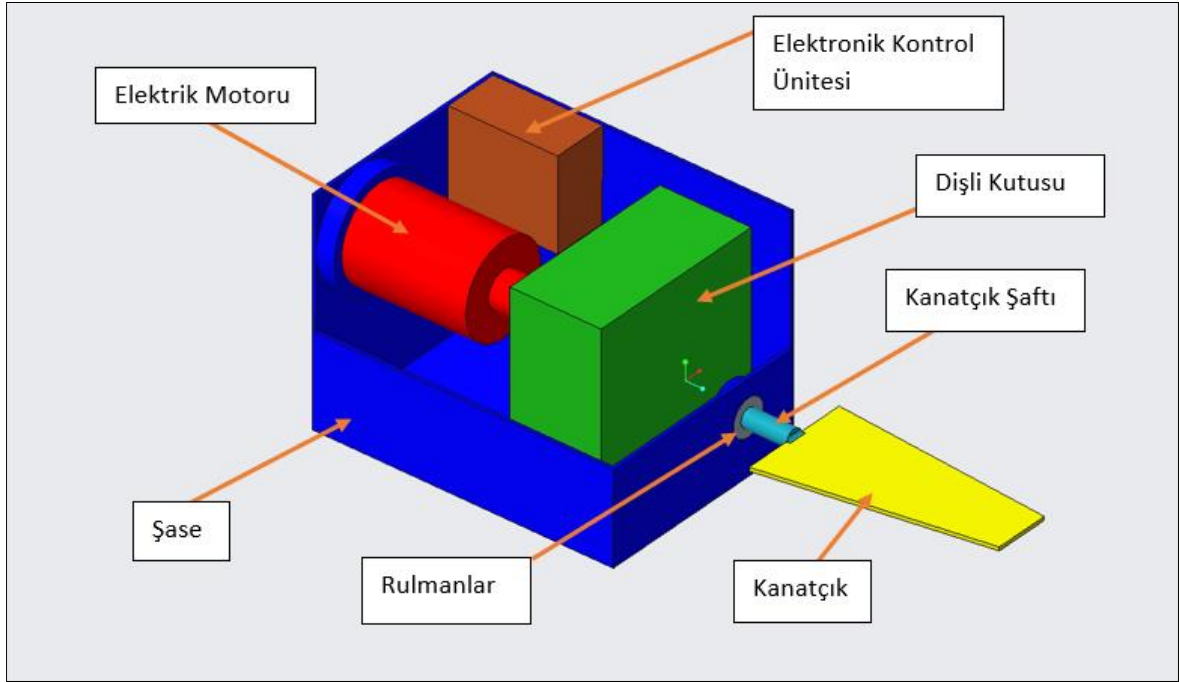
1. GİRİŞ

Güdümlü mühimmatların ilgili hedeflere ulaştırılmasında mühimmatın üzerinde oluşan itki sisteminin yanında mühimmatın KTS birimi üzerindeki aerodinamik kuvvetlerden yararlanılmaktadır. Kanatçıklar üzerinde oluşması gereken aerodinamik kuvvetlerin gereken doğruluk ve zamanlamasının sağlanması için kanatçıkların her birinin belirli bir denetim algoritması ile çalıştırılması gerekmektedir ki, böylece bütün kanatçıklar üzerinde oluşan toplam moment ve mühimmatın üzerindeki toplam kuvvet mühimmatın ilgili yörünge içinde kalmasını sağlayarak hedefe tam isabetle vurmasını mümkün kılsın. Günümüzde kullanılmakta olan çeşitli KTS modelleri aşağıdaki resimlerde verilmiştir [1-3].



Resim 1.1. Günümüzde kullanılan çeşitli KTS modelleri [1-3]

Günümüzde kullanılan KTS'ler incelendiğinde genel olarak KTS'ler, güdümlü mühimmatların ilgili hedeflere ulaşması için üzerinde oluşan aerodinamik kuvvetler sayesinde mühimmatın ilgili yörünge içinde kalmasını sağlayan elektro-mekanik sistemlerdir. KTS'nin alt bileşenleri ise: bir elektronik denetim ünitesi, elektronik denetim ünitesine bağlı bir elektrik motoru-dişli kutusu mekanizması, dişli kutusuna bağlı bir şaft, şaftı taşıyan rulmanlar, şafta bağlı olan bir kanatçık, motora bağlı olan açısız pozisyon kodlayıcısı ve bütün bileşenleri bir arada tutan ana şasedir [4]. İlgili yapı aşağıdaki resimde verilen temsili katı modelde gösterilmiştir.



Resim 1.2. KTS bileşenlerinin gösterildiği katı model

Ancak KTS'nin farklı türleri de mevcuttur. KTS türlerinden elektro-mekanik olanlar, doğrusal ve dönel olmak üzere iki çeşittir ve doğrusal olan modellerde de, ya dişli kutusu kullanılır ya da motor doğrudan bir mile bağlıdır. Anlatılan klasik model dışında ise piezoelektrik malzeme tabanlı farklı bir KTS modeline de literatürde rastlanmıştır [5]. Akıllı bir malzeme olan piezoelektrik malzemeye elektrik akımı uygulanarak kanatçığın ilgili açığa ulaşması sağlanmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar ise bir sonraki alt başlık altında detaylıca anlatılacaktır.

Literatür çalışması

KTS için tasarlanan denetleyiciler hakkında literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde klasik bir tür olan PID denetleyici ve gürbüz denetleyici olan KKD'ler ve H_∞ denetleyici, Bulanık Mantığa dayanan PID denetleyici, SDRE Denetleyici, kesirsel PID denetleyici, Genetik Algoritmasına Göre Optimize Edilmiş Doğrusal Olmayan PID denetleyici ve Uyarlanabilir Denetleyici gibi türlere rastlanmıştır. Literatürde yapılan çalışmaların hemen hepsinde ilk olarak sistemin matematik modeli elde edilmiş, sonrasında elde edilen matematik demodele uygun bir denetleyici seçilip tasarlanmış, ilgili denetleyici ile sistemin benzetim çalışmaları MATLAB/SIMULINK programında yapılmış ve son olarak da

deneysel çalışmalar yapılarak benzetim çalışmalarının gerçekte ne kadar uyduğu değerlendirilmiştir.

İlk olarak Ristanovic v.d.'nin yaptığı çalışmada bir füzenin KTS birimi ele alınmış ve KTS'nin dört kanatçığı kontrol edilerek füzenin güdümü yapılmaya çalışılmıştır. Kanatçıklar üzerinde oluşan momentler sayesinde füzenin ağırlık merkezi üzerinde momentler oluşturulup füzenin havada oluşan aerodinamik kuvvetler ile yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Modelde tork üreten bir DC motor, motora bağlı bir enkoder, motor şaftına bağlı bir planet dişli mekanizması, planet dişli mekanizmasına bağlı bir şaft ve şaftın kaldıraç mekanizması ile bağlı olduğu kanatçık yer almaktadır. Sistemin matematik modelinde motor torku, motor armatür akımı ile doğru orantılıdır. Motor geri emf voltajı ise motor şaftının açısal hızı ile doğru orantılıdır. Böylece DC motor elektrik devresi üzerinde birinci dereceden bir doğrusal diferansiyel denklem yazılmıştır. Sonrasında ise DC motora bağlı olarak hareket eden ya da dönen bütün parçaların eşlenik eylemsizlik momentleri bulunmuştur. DC motora etkiyen net tork ile motorun şaftının açısal ivmesi arasında da birinci dereceden bir diferansiyel denklem yazılmıştır. Sonrasında ise DC motora etkiyen sürtünme torku, motor şaftının açısal hızı ile doğru orantılı olan ancak işaret fonksiyonunun belirli bir katsayı ile çarpılması ile elde edilen fazladan bir doğrusal olmayan sürtünme torku etkisi ile modellenmiştir. Ristanovic v.d.'nin yaptığı çalışmada katsayılarının genetik algoritması ile belirlendiği bir PID denetleyici kullanılmıştır. Genetik algoritması, rastgele oluşturduğu çözümlerle ya da bir diğer deyişle kromozomlarla popülasyon oluşturmakta ve daha sonra oluşturulan popülasyonlar arasında en iyi performans sağlayan bireyleri seçerek seçilen bireylerin parametrelerini birbirleriyle değiştirip oluşan yeni bireyleri tekrar birbirleriyle kıyaslamakta ve içlerinden en iyi bireyi seçip katsayılarını PID denetleyiciye beslemektedir. Ayrıca hatanın belli değerleri ile değişen farklı PID katsayılı denetleyicilerin çalıştığı bulanık mantığa dayalı PID denetleyici ve yine genetik algoritmasına göre çalışan doğrusal olmayan bir hata fonksiyonuna bağlı PID denetleyicinin bulunduğu denetleyici yapıları çalışılmış ve ilgili denetleyiciler içinde genetik algoritmasına göre çalışan doğrusal olmayan PID denetleyicinin en iyi performansa sahip olduğu görülmüştür [7].

Çelik'in çalışmasında aerodinamik denetim yüzeyleri ve itki sistemi bulunan hibrit bir KTS'nin denetimi ele alınmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak sistemin matematik modeli elde edilmiştir. Sistemin döngü kapatma denklemi bulunmuş ve sonrasında ise vidalı mil mekanizması için yazılan ilişkiden motor şaftı ile kanatçık şaftı arasındaki bağıntı elde

edilmiştir. İlgili vida mekanizmasında bulunan boşluk da sisteme doğrusal olmayan bir faktör olarak eklenmiştir. Kinematik modellemeden sonra DC motor için birinci dereceden bir diferansiyel denklem olan elektrik devresi denklemi yazılmıştır. Sonrasında ise motor şaftı için birinci dereceden bir diferansiyel denklem olan hareket denklemi yazılmıştır. Sonuç olarak motora denetleyiciden gelen voltaj sinyali girişi ile kanatçık açısı arasında bir transfer fonksiyonu bulunmuş ve kapalı çevrim sistem modeli elde edilmiştir. Denetleyici tasarımı kısmında ise sırasıyla PID denetleyici, H_∞ denetleyici, iki serbestlik dereceli H_∞ denetleyici ve basamaklı H_∞ denetleyici türleri tasarlanmıştır. Yapılan benzetim sonuçları içerisinde yükselme ve erişme zamanı en düşük olan denetleyici H_∞ denetleyici olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçlarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [8].

Daş'ın çalışmasında ele alınan sistem bir KTS olup KTS'nin alt bileşenleri: bir BLDC motor, motor çıkışının bağlı olduğu bir bilyalı vida mekanizması ve ilgili vida mekanizmasına bağlı olan kanatçık şaftı ve kanatçıktır. Daş, çalışmasında ilgili KTS mekanizması için bir hareket, bir kuvvet ve bir aktarım oranı analizi yapmıştır. Sonuç olarak KTS yapısını oluşturan motor ve mekanizma bütününe matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli olan aktarma oranı hesaplanmıştır. Ayrıca mekanizma tahrik motorunun referans hız ve moment değerleri belirlenmiştir. Sonrasında ise elektrik motoru devresi için birinci dereceden bir diferansiyel denklem ve elektrik motoru şaftı için birinci dereceden bir diferansiyel denklem yazılmıştır. Son olarak ise kanatçık açısal pozisyonu ile elektrik motoruna verilen voltaj sinyali arasında bir transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise sistem tanımlama çalışması yapılarak ilgili sistem parametreleri bulunmuştur. Yapılan sistem tanımlama çalışmasından sonra ise sırasıyla PID denetleyici, gürbüz bir denetleyici olarak H_∞ denetleyici ve iki döngülü H_∞ denetleyici tasarımları yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda H_∞ denetleyicinin PID denetleyiciye göre daha fazla akıma ihtiyaç duyduğu ve yüzde aşım değerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak KTS'nin gereken konumlama hassasiyetini sağlaması için iç döngüde gürbüz denetleyicinin ve dış döngüde ise PID denetleyicinin kullanıldığı iki döngülü denetleyici sistemi uygun görülmüştür [9].

Ölçer'in çalışmasında ele alınan sistem güdümlü bir mühimmatın KTS birimidir. İlgili sistemde bir BLDC servo motor, BLDC servo motorun bağlı olduğu bir aktarım mekanizması, aktarım mekanizmasına bir şaft ile bağlı olan bir kanatçık ve ilgili açısal pozisyon bilgisini sağlayan bir pozisyon kodlayıcısı bulunmaktadır. Sistemin matematiksel modeli için motor şaftı üzerinde ikinci dereceden bir diferansiyel denklem olan hareket

denklemini yazılmıştır. Motor şaftı ile kanatçık arasında bağlantı sağlayan aktarım mekanizması için bir kinematik analiz yapılmış ve ilgili matematiksel model elde edilmiştir. Sonrasında ise sistemin hareket denkleminde kullanılan eşlenik eylemsizlik momenti hesaplanmıştır. Denetleyici tasarımı için ilk olarak denetleyici tarafından motora verilen akım ile motor şaftının açısal pozisyonu arasında bir transfer fonksiyonu yazılmıştır. Sonrasında ise bir sistem tanımlama çalışması yapılmış ve yapışkan sürtünme katsayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonraki aşamada ise sırasıyla H_∞ , H_2 ve H_2/H_∞ birleşik denetim yapıları tasarlanmış ve benzetim ve deney sonuçları elde edilmiştir. İlgili sonuçlar değerlendirildiğinde H_2/H_∞ birleşik denetim yapısının sadece H_∞ ve H_2 denetleyici yapılarına göre daha iyi performansa sahip olduğu ve ilgili denetleyicinin daha büyük bir bant genişliği, düşük hedef aşımı ve daha iyi bir referans aç takibi performansı sergilediği görülmüştür [10].

Özkan v.d.'nin çalışmasında elektromekanik olarak denetlenen bir KTS kullanılmıştır. Özkan v.d.'nin çalışmasında kullanılan KTS klasik olarak bir DC motor, DC motorun doğrudan bağlı olduğu dişli kutusu mekanizması, dişli kutusu mekanizmasının bağlı olduğu bir şaft ve şaftın bağlı olduğu kanatçıktan oluşmaktadır. Matematik modellemede ise kanatçık üzerinde yazılan ikinci dereceden bir diferansiyel denklem ile hareket denklemini elde edilmiştir. Sürtünme modeli olarak ise sürtünme torkunun kanatçığın açısal hızı ile doğru orantılı olarak değiştiği doğrusal bir model kullanılmıştır. Özkan v.d.'nin yaptığı çalışmada kesirsel PID denetleyici kullanılmıştır. Kesirsel PID denetleyicide, klasik PID denetleyiciden farklı olarak türev ve integral operatörlerinin üssü tam sayı değil ondalıklı sayılardır. Denetleyici tasarlanırken sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiş ve elde edilen transfer fonksiyonundan üçüncü derecede bir karakteristik polinom çıkartılmıştır. Elde edilen karakteristik polinom da üçüncü dereceden bir Butterworth Polinomu'na eşitlenerek sistemin bant genişliği ve sönümlleme oranı parametreleri seçilerek denetleyici tasarımı yapılmıştır. Ayrıca denetleyicinin üstel parametreleri de değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında türev ve integral operatörlerinin üstel değerleri ne kadar birden uzaksa kalıcı hata o kadar azalmakta, ancak hedef aşımı da artmaktadır [11].

Merttopçuoğlu v.d.'nin çalışmasında ele alınan sistem güdümlü bir füzenin KTS birimidir. KTS'de bir DC motor, bir aktarma mekanizması, bir kanatçık ve bir de pozisyon kodlayıcısı bulunmaktadır. Sisteme etkiyen aerodinamik yük ve hareketli mekanizmalar arasındaki boşluk matematiksel modellemedeki doğrusal olmayan kısımlardır. KTS'nin hareket

denklemleri, birinci dereceden bir diferansiyel denklemdir. Yani durum uzayı modelinde girdi sinyali, açısal hız ve çıktı sinyali ise açısal hız ve açısal konum sinyalidir. Merttopçuoğlu v.d.'nin çalışmasında SDRE ile denetleyici tasarımı yapılmıştır. SDRE ile yapılan denetleyici tasarımında ilk olarak olabildiğince küçük bir örnekleme aralığı seçilir ve birtakım matrisler elde edilir. İkinci olarak ilgili Ricatti denklemi çözülür ve son olarak daha iyi sonuçlar elde etmek için örnekleme aralığı düşürülür [12]. İlgili sonuçlar değerlendirildiğinde daha yüksek referans açıları için sistem cevaplarında hedef aşımaları gözlemlenmiştir.

Yoo v.d.'nin çalışmasında bir füzenin KTS birimi ele alınmıştır. KTS'de bulunan bileşenler: Bir DC motor, bir dişli mekanizması, sensörler ve mikroişlemci tarafından kontrol edilen bir PWM servo yükselticidir. Sistemin matematik modeli, motor/yükseltici zaman katsayısını ve bağlanma katsayısını ihmal ederek ikinci dereceden bir doğrusal model olarak ele alınmıştır. Sistemdeki sürtünme modeli ise yapışkan sürtünme katsayısı bulunarak belirlenmiştir. Yoo v.d.'nin çalışmasında iki farklı denetleyici yapısı kullanılmıştır. İlgili denetleyicilerden birincisi H_∞ denetleme metodu ve ikincisi de bir hata gözlemcisidir. H_∞ denetim yöntemi referans değer takibi performansını iyileştirmek, gürbüz bir denetleme yapısı oluşturarak gürültünün bastırılması ve parametre belirsizliklerine karşı sistemi optimize etmek için kullanılmıştır. Hata gözlemcisi ise dış bozucu etkilere karşı ve modelleme belirsizliklerine karşı sistemi kararlı hale getirmede kullanılmaktadır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde bozucu etki olarak belirli bir yay kuvveti yokken PID denetleyici, Zaman Gecikmeli Denetleyici ve önerilen gürbüz denetleyicinin yakın sonuçları olduğu ancak ilgili yay kuvveti eklendiğinde sadece gürbüz denetleyicinin ilk durumda sahip olduğu performansı koruduğu gözlemlenmiştir [13].

Özakalın v.d.'nin yaptığı çalışmada hidrolik olarak tahrik edilen bir KTS yükleme cihazı kullanılmıştır. KTS yükleme cihazında bir hidrolik silindir, bir torkmetre, bir KTS, bir redüktör ve KTS'nin sürücüsü bulunmaktadır. Sistemin matematik modelinde ilk olarak, hidrolik silindire ait olan servovalfin makara pozisyonu ile servovalfe iletilen akım arasında birinci dereceden bir transfer fonksiyonu bulunmuştur. Sonrasında ise servovalfin pozisyonu ile yükleme basıncı arasında bir denklem yazılmıştır. Valften hidrolik silindire olan akış miktarı ile pistonun hızı arasında bir denklem yazıldıktan sonra pistonun hareket denklemi elde edilmiştir. Pistonun hareket denkleminde hidrolik yağın sızıntısı ve piston üzerindeki yapışkan sürtünme doğrusal bir katsayı olarak modellenerek denkleminde kullanılmıştır.

Sonuç olarak valf denetim makarasının pozisyonu ile aktarım çubuğunun açısal konumu arasında üçüncü dereceden bir transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Daha önceden elde edilen transfer fonksiyonları kullanılarak sistemdeki girdi sinyali olan valf denetim voltaj sinyali ile KTS yükleme cihazının ürettiği tork arasındaki transfer fonksiyonu bulunarak açık çevrim sistem modeli elde edilmiştir. Özakalın v.d.'nin yaptığı çalışmada hidrolik olarak tahrik edilen bir KTS yükleme cihazının PID denetleyici, zamana bağlı olarak sabit ve değişken kayma yüzeyli ve bulanık mantığa göre değişken kayma yüzeyli KKD ile denetimi yapılmıştır. İlk olarak PID denetleyicinin katsayıları üçüncü dereceden bir Butterworth polinomu kullanılarak bulunmuştur. İkinci olarak sabit kayma yüzeyli KKD tasarımı yapılırken hatanın birinci türevine bağlı bir kayma manifoldu belirlenmiş ve denetleyici tasarımı yapılmıştır. Üçüncü olarak denetleyici girdi sinyalinin katsayılarının zamana bağlı olarak değişen diğer bir deyişle değişken kayma yüzeyli bir KKD tasarımı yapılmıştır. Dördüncü olarak ise girdi sinyalinin katsayılarının bulanık mantığa göre değişken kayma yüzeyli KKD tasarımı yapılmıştır. Son aşamada ise gerçek zamanlı testler ile denetleyicilerin performansı incelenmiş ve değişken kayma yüzeyli KKD'nin diğer denetim yöntemlerine göre çok daha iyi bir performansa sahip olduğu yapılan karşılaştırma tablolarında gösterilmiştir [14-15].

Kakade v.d.'nin yaptığı çalışmada bir füzenin KTS birimi ele alınmıştır. KTS genel olarak kanatçıklar, BLDC motor, dişli kutusu, geri besleme sensörleri ve açısal pozisyon denetleyicisinden oluşmaktadır. KTS'de kanatçıklar BLDC motorlar ile sürülmektedir BLDC motorlar ise açısal pozisyon denetleyicisinden gelen PWM sinyali ile çalıştırılmaktadır. BLDC motor çıkışı bir dişli kutusu mekanizmasına bağlı olup dişli kutusu çıkışı da kanatçığa bağlanmaktadır. BLDC motor üzerinde bulunan geri besleme sensöründen elde edilen açısal konum bilgisi BLDC motorun açısal pozisyonu ile ilgili bilgi vermekte ve dişli kutusundaki redüksiyon oranından da kanatçığın o anki açısal pozisyon bilgisi, açısal pozisyon denetleyicisine iletilmektedir. Sistemin matematik modeli oluşturulurken BLDC motor modeli kullanılmış ve BLDC motor elektrik devresi üzerinde bir denklem yazılmıştır. İkinci olarak ise motorun rotoru üzerinde hareket denklemi yazılmıştır. İlgili denklem yazılırken rotor üzerindeki sürtünme doğrusal bir model olan yapışkan sürtünme modeli ile diğer bir deyişle rotorun açısal hızı ile doğru orantılı olarak artan bir şekilde modellenmiştir. İki denklemden motora verilen voltaj sinyali ile kanatçık açısal pozisyonu arasında bir ilişki elde edilmiştir. İlgili bağıntıdan yararlanarak ilk olarak PID denetleyici tasarlanmıştır. İkinci olarak ise KKD tasarımı yapılmıştır. Kayma manifoldu

birinci dereceden bir KKD tasarlanacak şekilde seçilmiştir. Sonrasında ise güç oranlı erişme kuralı kullanılarak KKD tasarımı yapılmış ve ilgili denetleyici girdi sinyali bulunmuştur. İlgili çalışmada sisteme verilen bozucu etki ile sistem performansı da değerlendirilmiştir [16]. KKD'nin denetlemesi için harcadığı enerjinin PID denetleyiciden daha düşük olduğu görülmüştür.

Eker'in çalışmasında elektromekanik bir sistem ele alınmıştır. Sistem bir güç yükselticisi, bir DC motor ve bir pozisyon kodlayıcısından oluşmaktadır. Sistemi tanımlayan iki denklem mevcuttur. İlki DC motor elektrik devresi üzerinde yazılan elektriksel denklemdir. İkincisi ise DC motor üzerinde yazılan hareket denklemdir. Hareket denklemi içinde sürtünme kuvveti motorun açısal hızı ile doğru orantılı olarak değişen bir modeldir. Modele bozucu etki de eklenmiştir. Eker, çalışmasında PID denetleyici ile tasarlanmış kayma yüzeyli bir KKD kullanmıştır. PID kayma yüzeyli olan KKD modelleme belirsizliklerine, doğrusal olmayan sistem modeline ve dış bozucu etkilere karşı gürbüz bir yapı sergilemektedir ve temelde iki avantaja sahiptir: birincisi, sistemin dinamik davranışı seçilecek kayma manifoldu fonksiyonuna göre belirlenebilir ve ikincisi ise kapalı çevrim sistem, modelleme belirsizliklerine karşı dayanıklı olmaktadır. İlgili sistemin kararlılığının hem erişme hem de kayma safhasında sağlanması, PID kayma yüzeyli KKD ile mümkün olmuştur. Tasarlanan denetleyicinin kararlılığının ispatı Lyapunov Kararlılık Analizi ile yapılmıştır. Çıtırı problemi ise hiperbolik bir anahtarlama fonksiyonu kullanılarak baskılanmıştır. Ayrıca sistemin üstel kararlılığını sağlamak için sürekli olmayan bir anahtarlama fonksiyonu yerine doyum fonksiyonları, sigmoid fonksiyonlar, röle fonksiyonları, hiperbolik fonksiyonlar ve gecikme fonksiyonları da kullanılabilir. Çalışmada önce sistem tanımlanmış ve matematik model elde edilmiştir. İkinci aşamada ilgili sistem için önerilen KKD tasarlanmıştır. Son aşamada ise deneysel olarak sistemin performansı test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan denetleyici, sistemin referans sinyalini diğer denetleyicilere göre farkla %0 hedef aşımı ve daha düşük yükselme ve erişme zamanı ile yakalamıştır [17].

Mukhopadhyay v.d. çalışmasında bir füzenin otopilot sistemini ele almıştır. Sistem doğası gereği doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Sistemi açıklayan denklemlerde bağlanmış terimler mevcuttur. Mukhopadhyay v.d.'nin çalışmasında KKD, bağlanmış yalpa, yunuslama ve sapma eksen denklemlerinin doğrusal olmayan karakteristiği ve aerodinamik modelleme belirsizlikleri sebebiyle uygulanmış ve kızak dönüşü füze sistemleri için uygun görülmüştür. Mukhopadyay v.d.'nin çalışmasındaki denetleyici tasarımında iki aşama

mevcuttur. İlk aşama geri besleme doğrusallaştırması ve ikinci aşama da KKD tasarımıdır. Bağlanmadan dolayı yunuslama ekseninde istenen bir komut, yalpa ekseninin karıştığı sapma ekseninde bir etkiye yol açmaktadır. Böylece kanatçık açısı cevabında doyum meydana gelmektedir. Diğer bir husus ise aerodinamik modeldeki katsayılar da olan belirsizliktir. Aerodinamik modele ait katsayıların belirsizliğindeki artış ise bağlanma etkisini artırmaktadır. Doğrusal olmayan aerodinamik yük modeli için kullanılabilecek en uygun yöntem, geri besleme doğrusallaştırmasıdır. Geri besleme doğrusallaştırmasında bir koordinat dönüşümü kullanarak doğrusal olmayan sistem, doğrusal hale getirilir. Ancak doğrusallaştırmanın başarılı olması için sistemin iyi tanımlanmış olması gerekir ve modeldeki belirsizlikler sistem performansını düşürebilir. Dolayısıyla ilgili belirsizliklere karşı dayanıklı bir denetleyici yapısı olarak KKD önerilmiştir. KKD tasarımı yapılırken ilgili kayma yüzeyi tanımlanmış ve kayma şartı belirlenmiştir. Sonrasında ise KKD, ilgili güdümlü füze modeline uygulanmıştır. KKD tasarımının yanında bir de gözlemci tasarımı yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan benzetim çalışmalarında ilgili bir eksenindeki değişikliğin diğer eksenleri etkilemediği ve bağlanmanın meydana gelmediği görülmüştür ki, incelenen çalışmada aerodinamik katsayıların %50'lik bir bantta değiştiği varsayılmıştır [18].

Fallaha v.d.'nin çalışmasında ele alınan sistem üç serbestlik dereceli bir robotik koldur. Robotik kol sistemi gerçek zamanlı olarak oluşturulan bir MATLAB/SIMULINK denetim modeli ile kullanılmaktadır. Sistemde bir denetleyici kartı, H-köprüsü sürücü ile denetlenen motorlar, geri besleme döngüsünü kapatmak için kullanılan akım sensörleri ve açısal pozisyon kodlayıcıları tarafından MATLAB/SIMULINK modeline aktarılan açısal pozisyon bilgisini işleyen mikroişlemciler bulunmaktadır. Fallaha v.d.'nin çalışmasında ele alınan robotik kol sisteminin matematiksel modelinde doğrusallık olmayan yapıların kaynağı bağlanmış olan terimlerden kaynaklanmaktadır. Fallaha v.d.'nin çalışmasında çok girişli ve çok çıkışlı doğrusal olmayan matematik modeli olan bir robotik kolun denetimi için KKD önerilmiştir. KKD'de doğrusal olmayan bir üstel fonksiyon kullanılmıştır. Böylece hem sistemdeki çırtırtı problemi engellenmiş hem de referans değerin yüksek bir performansla takip edilmesi sağlanmıştır. Çırtırtı problemi denetleyici sisteminin doğası gereği yani sistemin yüksek frekansta girdi sinyali ile belirli bir kayma yüzeyi üzerinde tutulması neticesinde ortaya çıkmaktadır. Yüksek frekanslarda tahrik edilen sistemin ise zarar görme riski bulunmaktadır. Çırtırtının engellenmesi için yüksek mertebeli KKD kullanılmaktadır ya da ilgili üstel oran erişme kuralındaki işaret fonksiyonunun katsayısını değiştirme fonksiyonuna bağlı bir fonksiyon olarak belirleyerek denetleyici tasarlanmaktadır. Fallaha

v.d.'nin çalışmasında problemin tanımlanmasından sonra üstel erişme kuralına dayanan bir KKD önerilmiş, daha sonra KKD'nin parametrelerinin ilgili modelleme belirsizliklerine göre nasıl belirleneceği ile ilgili bilgiler verilmiş ve son olarak tasarlanan KKD ile sistemin deneysel çalışmaları yapılmıştır. KKD tasarlanırken ilk olarak kayma manifoldu fonksiyonu, sistemin kayma yüzey eğimi belirlenerek seçilmiş ve sonrasında ise denetleyici girdi sinyali tasarlanmıştır. Kayma manifoldu fonksiyonu belirlenirken işaret fonksiyonu önündeki katsayının seçilmesi, sistemin davranışını etkilemektedir. Şöyle ki, daha kısa bir erişme zamanı, daha gürbüz ve sisteme verilen referans değeri takip performansının yüksek olduğu bir denetleyici tasarlamak için ilgili katsayının artırılması gerekmekte ancak ilgili katsayı artırıldığında ise çırtırtı problemi ile karşılaşilmektedir. Çırtırtı probleminden sistemi kurtarmak için ise üstel erişme kuralına dayanan KKD önerilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre önerilen KKD'nin özellikle diğer türlerine göre çırtırtı seviyelerinde ciddi bir düşüş sağladığı görülmüştür [19].

Tombul'un çalışmasında ele alınan sistem bir kanat yükleme cihazı olup sistem, bir servo motor, sıfır boşluklu bir redüktör, bir tork sensörü ve bir burulma yayından oluşmaktadır. Yayın iki ucu arasındaki açısal pozisyon konumlarının farkı ölçüldüğünde yayın sertlik katsayısı da bilindiği için sisteme aktarılan tork da denetlenmektedir. Oluşan tork ilgili yayın açısal pozisyonları arasındaki fark ile yayın sertlik katsayısının çarpımından elde edilmektedir. Yayın doğrusal bir karakteristiğe sahip olduğu kabul edilmiştir. Motorun rotoru üzerinde yazılan hareket denklemi ile ikinci dereceden bir doğrusal diferansiyel denklem elde edilmiş olmaktadır. İlgili denklemde kullanılan sürtünme modeli motorun rulmanları içindeki yapışkan sürtünmedir ve motorun açısal hızı ile doğru orantılı olarak değişen bir şekilde modellenmiştir. Motor, redüktör ve tork sensörü arasındaki bağlantı rijit olarak varsayılmıştır ve tork sensörünün sertliğinin yayın sertliğinden çok daha fazla olduğu kabul edilmiştir. Tombul'un çalışmasında bir kanat yükleme cihazının denetimi, ele alınmış ve sistemin uyguladığı tork modeli elde edilmiştir. Sistemin matematik modeli çıkartılmış ve model parametreleri, sistemi beyaz gürültü ve PRBS ile tahrik ederek bulunmuştur. Sistemdeki doğrusal olmayan yapı, sıfır ortalımalı beyaz gürültü uygulandığında açıkça belli olmaktadır. KYC'ları, KTS'lerin belirli bozucu etkilere karşı test edilmesini sağlayan sistemlerdir. İlgili sistemde ölü bölge ve yapışkan sürtünme katsayısının dışında diğer sistem parametreleri, daha önceden tanımlanmış sistem yapısına göre sistem tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir. Tombul'un incelediği sistemde eşleşme şartını sağlayan modelleme belirsizlikleri olduğu için gürbüz bir denetleyici yapısı olarak KKD önerilmiştir. Kayma

yüzeyine erişildiğinde elde bulunan doğrusal sistem modeli ve modellenmemiş dinamik yapı ile bozucu etkiye karşı istenen hızlı bastırma özelliği KKD'nin tercih edilme sebebi olmuştur. KKD türü olarak kayma manifoldu, sistemin matematik modelindeki durum uzayı değişkenlerinden birinin belli bir katı ve diğeri ile toplamından elde edilmiştir. Erişme kuralı olarak da güç oranlı erişme kuralı kullanılmıştır. KKD'nin bozucu etkilere karşı olan dayanıklılığı ve hızlı takip etme özelliği de yapılan deneysel çalışmada gösterilmiştir [20].

Eker'in çalışmasında ele alınan sistemde bir DC motor ve DC motora bir şaft ile bağlı olan yükün modellendiği bir sistem ele alınmıştır. Sistemin matematik modelinde DC motora ait elektronik devre için yazılan ve mekanik sistem için yazılan hareket denklemi de birinci dereceden bir diferansiyel denklemdir. Sistemin hareket denkleminde ele alınan sürtünme modeli ise doğrusal olmayan bir yapıda olup sistemin açısal hızına bağlı olarak değişen bir fonksiyon olarak modellenmiştir. Sürtünme torku açısal hıza bağlı bir üstel fonksiyon ile yine açısal hıza bağlı ve özel olarak tanımlanmış olan bir işaret fonksiyonuna bağlı olarak değişmektedir. Eker, çalışmasında bir DC motora bir şaft ile bağlı bir yükün bulunduğu elektro-mekanik bir sistem için önerilen ikinci dereceden bir KKD ile sistemin performansının artırılmasını amaçlamıştır. Eker'in çalışmasında kayma yüzeyinin bir PID denetleyici ile belirlendiği bir denetleyici yapısı kullanılmıştır. Sistemin kararlılık analizi Lyapunov Kararlılık Analizi kullanılarak yapılmıştır. Ancak genel olarak, kullanılan KKD'de çırtırtı problemi ortaya çıkmıştır. Çırtırtı problemini çözmek için iki yöntem önerilmiştir. İlk olarak anahtarlama fonksiyonunu yaklaşık olarak işaret fonksiyonunun sürekli olan versiyonu ile değiştirmektir. İkinci olan ise yüksek dereceli kayma modları olan denetleyici tasarlamaktır. Eker'in çalışmasında ise bir hiperbolik fonksiyon kullanılarak anahtarlama fonksiyonu yumuşatılmıştır. Sonuç olarak sistemin performansı yapılan deneysel çalışma ile belirlenmiştir. Eker'in çalışmasında ele alınan ikinci dereceden sistemin parametreleri, deneysel olarak girdi-çıkı şeklinde ölçülen değerlerden bulunmuştur. İkinci dereceden KKD dışında PID denetleyici ve birinci dereceden KKD de deneysel çalışmalarda uygulanmış ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ikinci dereceden KKD'nin diğer denetleyici türlerine göre bozucu etkinin varlığında referans değeri takip etmede daha iyi bir performansa sahip olduğu ve daha hızlı bir şekilde kayma yüzeyine ulaştığı gözlemlenmiştir [21].

Lagrouche v.d.'nin çalışmasında ele alınan sistem bir arabanın kinematik modelidir. İlgili modelde bulunan durum değişkenleri arabanın arka aksının orta noktasının kartezyen

koordinatları, arabanın yönelim açısı ve arabanın direksiyonunun yönelim açısıdır. Modeldeki sabitler ise arabanın doğrusal hızı ve arabanın aks mesafesidir. Laghrouche v.d.'nin yaptığı çalışmada parametre belirsizlikleri olan ve doğrusal olmayan bir sistem için denetleyici türü olarak yüksek dereceden tümlevsel bir KKD önerilmiştir. Ele alınan sistem, yüksek dereceden bir dinamik sistem olup sınırlı parametre belirsizlikleri içermektedir ve amaç sistemin sonlu bir zamanda kararlılığının sağlanmasıdır. Laghrouche v.d.'nin çalışmasının bir kısmında sadece sonlu bir zamanda sistemin kararlılığı sağlanmış olup diğer kısmında ise sadece parametre belirsizliklerine karşı sistem dayanıklı hale getirilmiştir. Sonuç olarak yüksek mertebeli bir KKD kullanılarak önceki iki kısımda sağlanan özellikler birleştirilmiştir. Sunulan yöntem ile amaç, uygulaması kolay sınırlı bir zamanda yakınsayan ve sistemin bütün tepki zamanında gürbüz bir davranış gösteren bir denetleyici elde etmektir. KKD tasarımı iki kısımda yapılmıştır. Birincisinde, sürekli ve sınırlı zamanda kararlı olan ve parametre belirsizliklerinin olmadığı bir ideal yapı mevcuttur. İkincisinde ise tümlevsel KKD kullanılarak sistemdeki parametre belirsizliklerinin tamamen bastırılması sağlanmıştır. Lagrouche v.d.'nin çalışmasında ele alınan sistem bir arabanın kinematik modelidir ve amaçlanan ise aracı gürbüz bir şekilde belirlenen bir başlangıç noktasından başka bir sonuç noktasına istenen bir yörünge içinde kalarak yönlendirmektir. Yapılan benzetim çalışmalarında ise kayma manifoldu fonksiyonunun kendisinin, birinci türevinin ve ikinci türevinin sıfır denge noktasına ulaştığı gözlemlenmiştir [22].

Tezin amacı

Tez çalışmasında ele alınan KTS'nin matematik modeli incelendiğinde sistemin bir elektriksel ve bir de mekanik kısımdan oluştuğu düşünülmüştür. Sisteme denetleyici tarafından iletilen giriş sinyalinin akım sinyali olduğu ve sistemin çıkış sinyalinin de kanatçık açısı pozisyonu olduğu kabul edilmiştir. İlk olarak elektrik motorunun rotoru üzerinde Newton'un İkinci Hareket Kanunu kullanılarak yazılan ikinci dereceden diferansiyel denklem ile denetleyicinin motora verdiği akım sinyali ile kanatçık açısı arasında bir bağıntı elde edilmiştir. Sonrasında ise yazılan hareket denkleminde motorun teknik veri dokümanında belirtildiği üzere motorun rotoru üzerinde oluşan sürtünme torku sabit bir değer olarak alınmış ve motorun rotoruna iletilen torkun motorun elektrik devresine iletilen akımın bir katı olduğu ilgili teknik veri dokümanından belirlenmiştir. İlgili matematiksel modellerin nasıl elde edildiği ise sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Sonuç olarak sadece bir kanatçığın belirli bir aerodinamik yük altında gereken performans kriterlerini sağlamak koşulu ile pozisyon denetiminin yapılması temel amaçtır. KTS'lerin farklı aerodinamik yükler altında en iyi ve birbirine en yakın performans değerleri ile çalışmasını sağlamak için gürbüz bir yapıya sahip denetleyici algoritmalarının kullanılması gerekmektedir. KKD türü, gürbüz ve uygulaması pratik bir denetleyici olduğu için seçilmiştir.

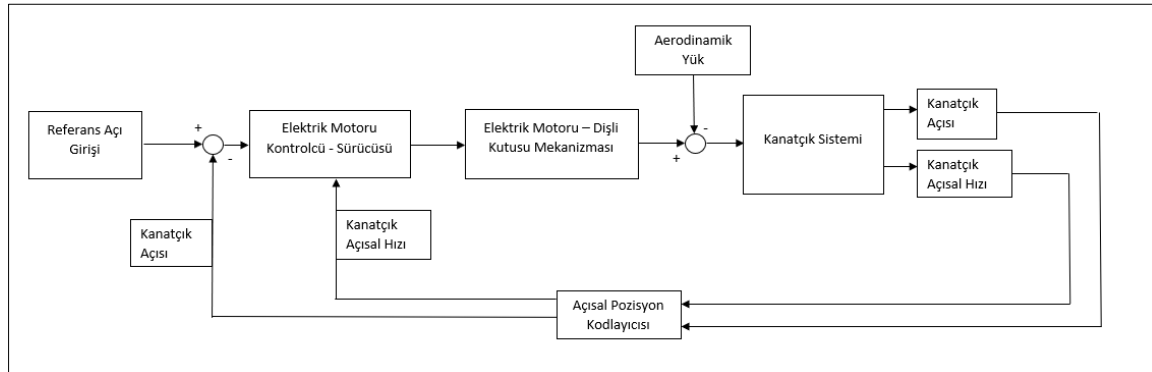
KTS'nin gereken performans isterlerini sağlayacak şekilde çalışması için sırasıyla birtakım çalışmalar yapılmıştır. Birincisi, KTS'lerde kullanılan denetleyici türleri ile ilgili literatürde yapılan araştırmadır. Literatür araştırması ile birçok makale ve bildiri incelenmiş ve ilgili makale ve bildirilerde kullanılan farklı denetleyici türlerinin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçlarında kayan kipli denetleyicilerin iyi bir performans sağladığı belirlenmiştir. İkinci olarak, ele alınan KTS incelenmiş ve sistemin hareket denklemi bulunmuştur. Sonrasında KTS'nin matematik modelinden elde edilen hareket denklemdeki katsayılar ve diğer parametreler belirlenmek üzere sistemde kullanılan hareketli mekanik parçaların eşlenik eylemsizlik momentleri, kullanılan birleşik motor-dişli kutusu mekanizmasının teknik özellikleri ve motor kanatçık şaftının burulma sertliği değerleri elde edilmiştir. Sistemin matematik modeline ait parametreler sistemin CAD modelinden, motor-dişli kutusu mekanizması teknik veri dokümanından ve sistemde kullanılan parçaların kataloglarındaki hesaplama yöntemlerine dayanarak bulunmuştur. Sistemin hareket denklemindeki parametreler ve katsayılar elde edildikten sonra sisteme etkiyen bozucu etki, yani aerodinamik yük modeli hazır olarak temin edilmiştir. Üçüncü olarak sistemin benzetim çalışmaları, ilk denetleyici türü olan PID denetleyici kullanılarak yapılmıştır. PID denetleyici parametreleri, farklı aerodinamik yük değerleri için elde edilmiş ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Dördüncü olarak sistemin benzetim çalışmaları KKD türü kullanılarak yapılmış ve KKD'nin farklı erişme kurallarından biri olan güç oranlı erişme kuralı için uygulanmıştır. Beşinci olarak benzetim çalışmalarında kullanılan PID denetleyici ile KKD karşılaştırılmıştır. Altıncı olarak deneysel çalışmalar yapılmış ve PID denetleyici ile PI-KKD için elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yedinci ve son olarak da sonuç ve görüşler belirtilmiştir.



2. KTS'NİN DİNAMİK MODELİ

2.1. KTS'nin Tanıtılması

KTS'nin çalışma prensibi incelenirse bir EM-DK mekanizmasına bağlı olan kanatçık şaftı ile birlikte kanatçığın ilgili açısall pozisyonlara belirli bir tork girdisi ile hareket ettirilmesi temel olarak düşünülebilir. EM-DK mekanizması, onu denetleyen bir elektronik denetim ünitesinden gelen akım sinyali ile beslenmektedir. Sisteme girilen referans açı değeri ile kanatçığın açısall pozisyon kodlayıcısından gelen anlık açı değeri arasındaki fark yani hata sinyali, denetleyiciye girdi sinyali olarak beslenmekte ve aynı zamanda kanatçığın açısall hız değeri de açısall pozisyon kodlayıcısı tarafından denetleyiciye girdi sinyali olarak beslenmektedir. İlgili değerler ile denetleyici kendi içindeki algoritmaya göre EM-DK mekanizmasına bir denetleyici sinyali girdisi vermekte ve EM-DK mekanizması da ürettiği torku kanatçığa kanatçık şaftı vasıtasıyla iletmektedir. Sisteme bozucu etki olarak girdi veren aerodinamik yük ile birlikte oluşan net tork, kanatçık sistemine aktarılmaktadır. Sonuç olarak KTS incelendiğinde temel olarak sistemin akış diyagramı aşağıdaki şekilde oluşturulabilir [23].



Şekil 2.1. KTS modeli

2.2. KTS Alt Birimleri

KTS türleri incelendiğinde ilk olarak düşünülen elektro-mekanik tahrik sistemleridir [4]. Elektro-mekanik tahrik sistemleri: bir elektronik denetim ünitesi, elektronik denetim ünitesine bağlı bir EM, EM'na bağlı bir dişli kutusu ve dişli kutusu çıkışında ya dönel hareketi doğrusal harekete çeviren bir mekanizma ya da dişli kutusu çıkışının doğrudan bir

şafta bağlı olduğu elemanlardan oluşmaktadır. Elektro-mekanik tahrik sistemleri alt bileşenleri ise aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır [4].

2.2.1. Elektrik motoru (EM)

EM, sistemde gerekli torkun üretilmesini sağlayan birimdir. Kullanılan elektrik motorları düşünüldüğünde içlerinde en yaygın olarak kullanılan üç tip: DMSM, BLDC motor ve ARM'dir. Kullanılan motorun yeterince güvenilir, güçlü ve kabul edilebilir bir ısı atım değerine sahip olması gerekmektedir. Motorların seçiminde en başta dikkat edilmesi gereken husus, yeterli elektriksel gücün ve elektrik akımının tipinin ilgili uçan sistemde olup olmadığıdır. Bir örnek verilirse BLDC motor tipi için yeterli seviyede bir alternatif akım kaynağının olması gerekmektedir [4].

2.2.2. Dişli kutusu (DK)

Sistemde kullanılan DK, EM çıkışındaki yüksek hız ve düşük torku DK çıkışında yüksek tork ve düşük hıza çevirir. Kullanılan DK tiplerine bakıldığında, harmonik DK, sikloidal DK ve planet DK gibi türler mevcuttur. İlgili türler kompakt yapısı, yüksek verimliliği ve kolayca sıfır boşluğa erişebilme özelliği ile tercih sebebidir. Planet DK kullanıldığında aktüatör kütlelerinin büyük bir kısmı, EM'na aktarılmış olarak kabul edilebilir. KTS'lerde Planet DK'larının, harmonik ve sikloidal redüktörler ile kıyaslandığında düşük redüksiyon oranına sahip olması etkili olmaktadır [4].

2.2.3. Vida mekanizması (VM)

Dönel hareketi doğrusal harekete çevirmek ve gerekli kuvveti elde etmek için vida mekanizmaları kullanılmaktadır. KTS'lerde ya BVM ya da PMVM kullanılmaktadır. EM ile dış yükün karşılanması, tork ve hızın geçiş mekanizması ile aktarılması sayesinde olmaktadır. Verilen sabit bir yük içinse PMVM'nin BVM'ye göre daha düşük bir sürüş oranı olduğu için yük kapasitesi daha yüksektir. İlgili aktüatör mekanizmasının toplam ataletsel momenti ise redüktörün aktarım oranının artması ve VM'nin sürüş adımının azalması ile azalmaktadır. Yapılan tez çalışmasında ele alınan sistemde ise VM kullanılmıyor olup DK çıkışı doğrudan kanatçık şaftına bağlıdır.

2.2.4. Elektronik denetim ünitesi (EDÜ)

Yapılan tez çalışmasında ilgili EDÜ 28V-7A doğru akım kaynağı ile beslenmektedir. KTS'nin denetleyicisi motora sağlanan akımı SGM ile oluşturmakta olup EM'dan gerekli torkun sisteme aktarılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmada motorun rotoruna bağlı bir pozisyon kodlayıcısından gelen kanatçık açısal pozisyon ve açısal hız bilgisi ile denetim çevrimi kapatılmaktadır. Kanatçığa çok yüksek aerodinamik yükler etki ettiğinde sistemi korumak adına denetleyici üzerinde bulunan sıcaklık sensörlerinden ilgili EDÜ'nün çalışma sıcaklığı ölçülmekte ve kritik sıcaklıklara ulaşmaması için sistem korunmaktadır.

2.2.5. Sensörler

KTS'de temel olarak kullanılan sensör, açısal pozisyon kodlayıcısıdır. Sensör, dönme hareketini ardışık sayısal sinyallere çevirerek dönme sayısı yani açısal pozisyon ve dönme hızı yani birim zamanda elde edilen dönme sayısını bularak denetleyiciye bilgi vermektedir. Açısal pozisyon kodlayıcı çeşitleri ise mutlak ve artımsal olmak üzere iki çeşittir ve kendi içlerinde ya optik ya da manyetik alana dayalı olarak çalışan sistemlerdir. Artımlı optik kodlayıcılarda dönüş yönü için iki sıra halinde dizilmiş yarıklar kullanılır. Üstteki ve alttaki yarıklardan gelen sinyaller farklıdır ve kodlayıcı diski döndükçe üstteki ve alttaki kanallardan milin dönüş hızına göre farklı frekanslarda sinyaller üretilir. Altteki ve üstteki yarıklara bağlı kanallardan gelen sinyallerin faz farkına göre kanatçığın dönme yönü hakkında bilgi elde edilmiş olur. Disk üzerindeki yarıkların sayısı kodlayıcının çözünürlüğünü belirler. Kodlayıcıda bulunan üçüncü bir yarıklar kanalından elde edilen referans sinyali ise başlangıç konumuna gelmek için kullanılır. Mutlak kodlayıcılarda ise açısal pozisyon bilgisi kodlayıcıdan gelen tek bir sinyalden elde edilir. Şaftın her bir konumunun sayısal bir değeri olup ikili sayı sisteminde ilgili değerler kodlanmıştır. Ve konum değerleri ne kadar fazlaysa kodlayıcının da çözünürlüğü o kadar yüksektir.

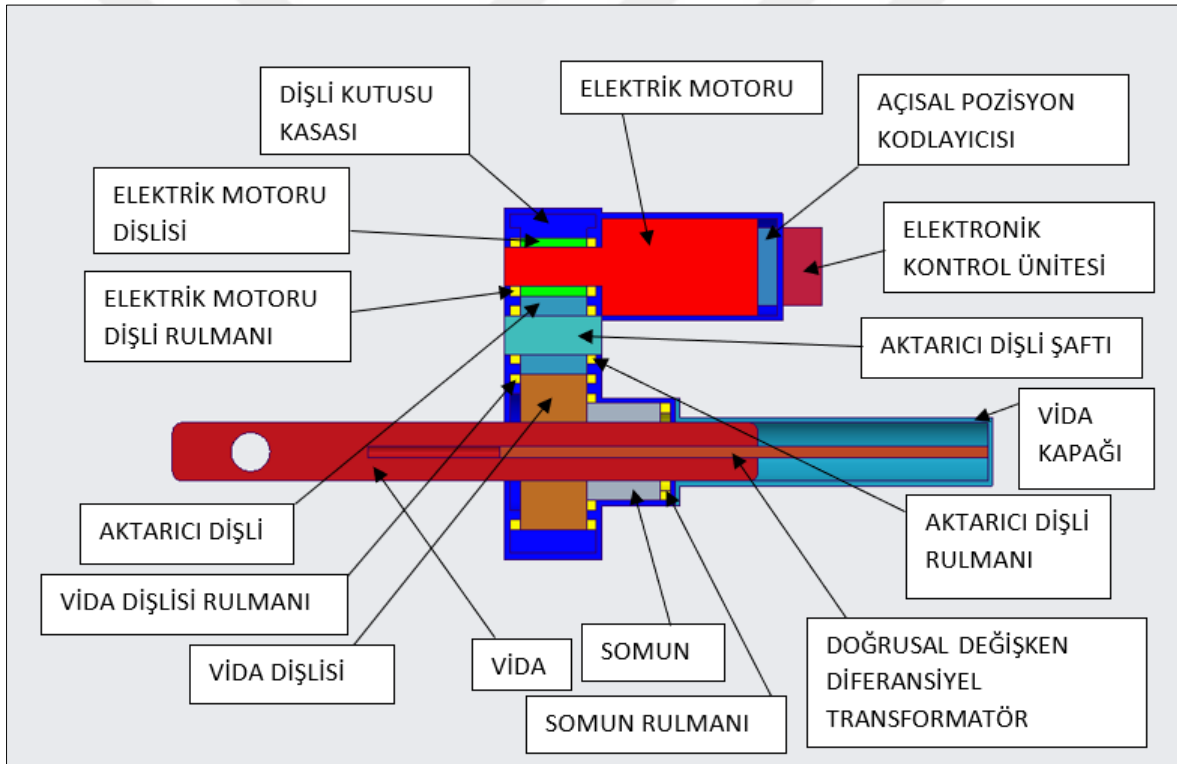
2.3. KTS'nin Türleri

KTS'ler incelendiğinde elektro-mekanik tahrik sistemlerinin ilk olarak doğrusal ve dönel olmak üzere iki türü olduğu ve doğrusal olan türün ise dişli kutulu ve direkt sürüşlü olmak üzere iki alt türü olduğu bilinmektedir [4]. Yapılan tez çalışmasında ise incelenen tür dönel bir aktüatörün olduğu KTS modelidir ve EM çıkışı bir dişli mekanizması ile kanatçık şaftına

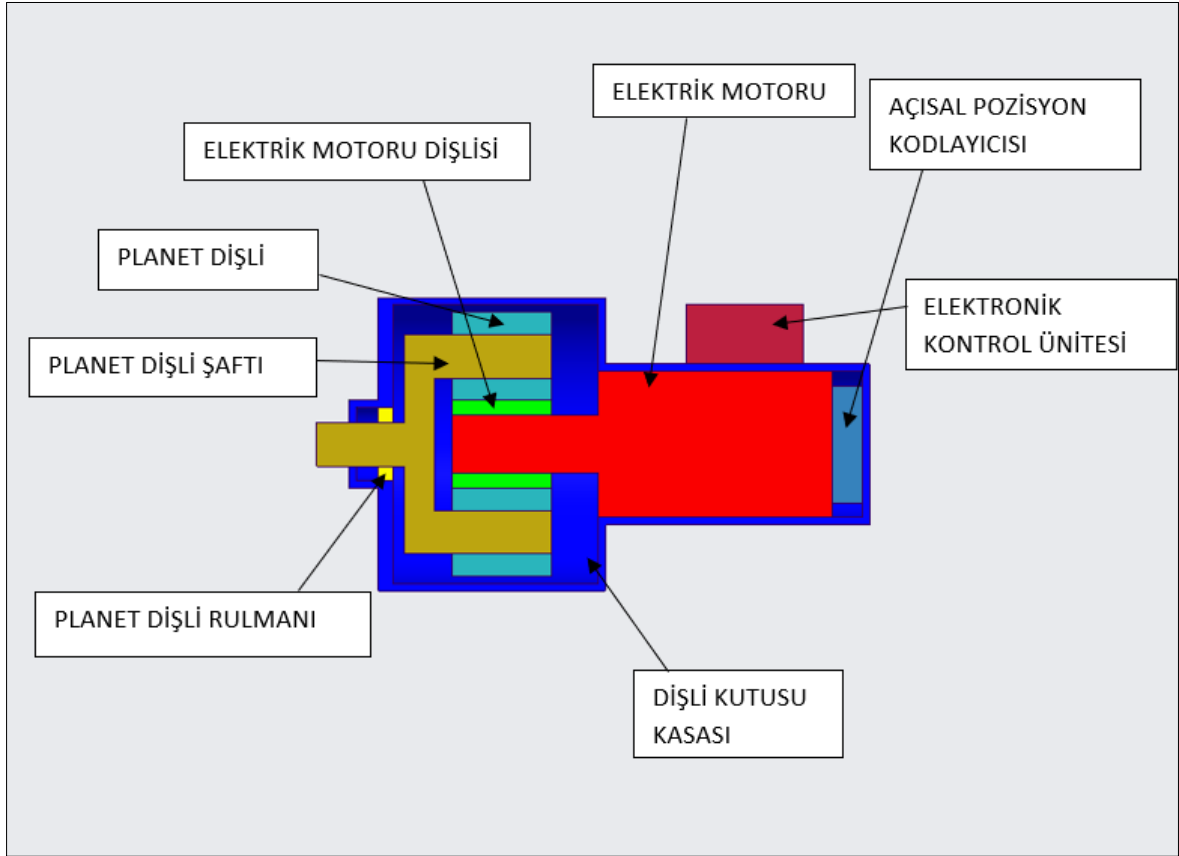
bağlanmaktadır. Dolayısıyla planet dişli redüktörün kullanıldığı dönel KTS mekanizmasından farklıdır.

2.3.1. Doğrusal tahrikli KTS

Doğrusal tahrikli KTS’lerde EM-DK’dan çıkan tork, bir VM ile doğrusal bir kuvvete dönüştürülmekte ve elde edilen doğrusal kuvvet ile kanatçık sürülmektedir [4]. İlgili kaynakta iki tip doğrusal tahrikli KTS mevcuttur: birincisi EM çıkışının DK’na bağlı olduğu ve DK’nun da VM’na bağlı olduğu sistemdir. İkincisi ise EM çıkışının direk olarak VM’na bağlı olduğu sistemdir. İlgili modeller aşağıdaki şekillerde verilmiştir [4].



Şekil 2.2. Doğrusal tahrikli dişli kutulu KTS

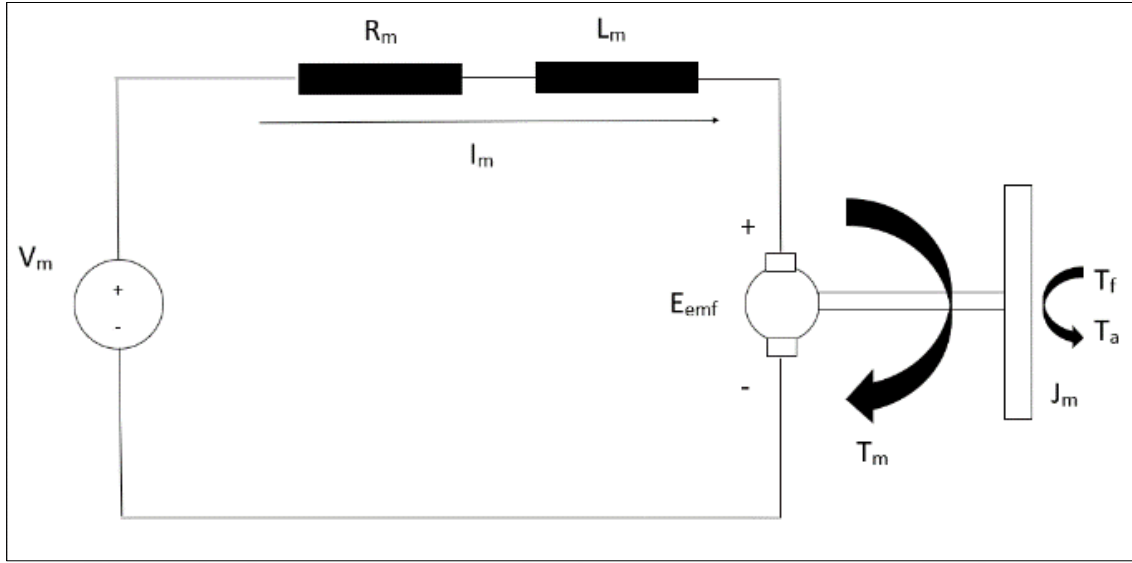


Şekil 2.4. Dönel tahrikli doğrudan sürürlü KTS

2.4. KTS'nin Matematiksel Modeli

KTS'nin matematik modelini elde etmek için akım sinyali girişi ile kanatçık açısı arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Elektrik motorunun rotoru üzerinde Newton'un İkinci Hareket Yasası kullanılarak ilgili transfer fonksiyonu bulunacaktır.

Elektrik motorunun genel olarak kabul edilen şeması dikkate alındığında bir direnç ve bir indüktör ile elektrik motoru devresine bağlı bir rotor ve rotora bağlı bir ataletsel yük olarak düşünülebilir. İlgili şema ise aşağıdaki şekilde verilmiştir [23].



Şekil 2.5. Elektrik motoru devresi

İlk olarak Newton'un İkinci Hareket Kanunu, motor şaftı üzerinde yazıldığında aşağıdaki bağıntı elde edilir [23].

$$J_m \ddot{\theta}_m + T_f = T_m - T_a = T_{eq} \quad (2.1)$$

Motor şaftı üzerindeki net tork ile ilgili bağıntı ise aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$T_{eq} = K_t I_m \quad (2.2)$$

Motor şaftının açısal pozisyonu ile dişli kutusu çıkışındaki şaftın açısal pozisyonu arasındaki ilişki ise aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir:

$$\theta_m = K_g \theta_f \quad (2.3)$$

Sonrasında Eş 2.1, 2.2 ve 2.3 kullanılarak aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$J_m K_g \ddot{\theta}_f + T_f = K_t I_m \quad (2.4)$$

Son olarak da Eş. 2.4'teki kanatçık şaftının açısal ivme parametresi yalnız bırakılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir [23].

$$\ddot{\theta}_f = \frac{K_t I_m}{J_m K_g} - \frac{T_f}{J_m K_g} \quad (2.5)$$

2.5. KTS Yapışkan Sürtünme Torku ve Kanatçık Sertlik Değerinin Belirlenmesi

Yapışkan sürtünme torku değeri dinamik sürtünme torku olarak ilgili motorun teknik veri dokümanında verilmiştir.

Kanatçık sertlik değeri ise şaft için aşağıdaki bağıntıya bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{T}{\frac{\pi D^4}{32}} = \frac{G\theta}{l} \quad (2.6)$$

İlgili sayısal değerler denklemde yerine yazılırsa aşağıdaki bağıntı bulunmuş olur:

$$\frac{T}{\frac{\pi(0.012)^4}{0.0308}} = \frac{79.3 \times 10^9 \theta}{0.0308} \quad (2.7)$$

$$\theta = T \cdot 1.97 \times 10^{-7} \text{ rad} \quad (2.8)$$

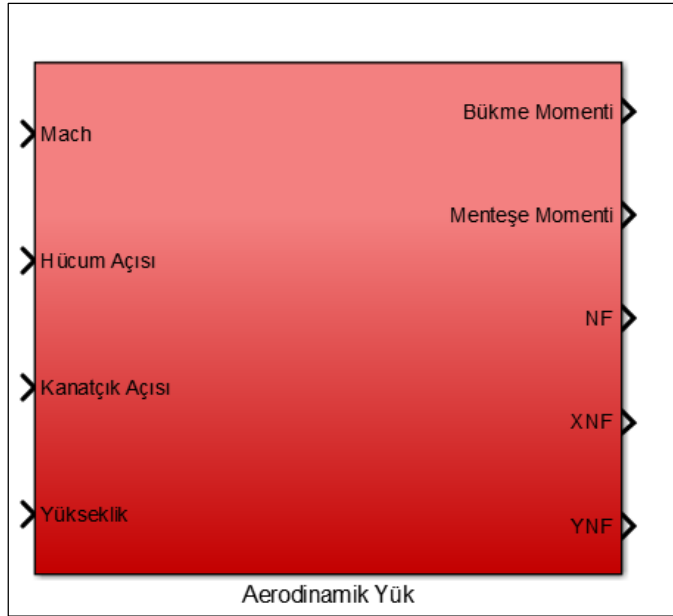
$$K = 5.07 \times 10^6 \text{ Nm/rad} \quad (2.9)$$

Eş. 2.9’da bulunduğu üzere kanatçık şaftı rijit olarak kabul edilmiş ve dişli kutusu çıkışının açısal pozisyonu ile kanatçığın açısal pozisyonu eşit olarak kabul edilmiştir. Şöyle ki ilgili malzeme çelik malzemedir ve burulma sertliği değeri yüksektir.

2.6. Aerodinamik Yük Modeli

KTS’nin çalıştığı ortam koşulları düşünüldüğünde en önemli bozucu etki, sisteme etkileyen aerodinamik yüküdür. KTS’nin bir kanatçığına etki eden aerodinamik yük, sistemin havada ilgili an içinde bulunduğu yüksekliğe, sistemin hızına, kanatçığın açısına ve kanatçığın yatay ekseninin hava akış yönü ile yaptığı açıya göre değişmektedir. İlgili modelde sisteme etkileyen aerodinamik yük yani menteşe momenti, sistemin havadaki doğrusal hızı, hücum açısı ve kanatçık açısıyla doğru orantılı ancak yükseklik ile ters orantılı olarak değişmektedir. Hücum açısı ve kanatçık açısı arttıkça kanatçık üzerindeki hava akışı bozulmakta ve böylece

kanatçık üzerinde kanatçık açısına ters yönde bir menteşe momenti oluşmaktadır. Hücüm açısı ve kanatçık açısı ne kadar fazlaysa, kanatçık üzerindeki direnç o kadar artmakta ve dolayısıyla da menteşe momentini artmaktadır. Hücüm açısı ve kanatçık açısı ile birlikte sistemin havadaki doğrusal hızı yani Mach değeri ne kadar fazlaysa aynı şekilde kanatçık üzerinde o kadar fazla direnç oluşmakta ve menteşe momenti de artmaktadır. Havanın yoğunluğu, yerden olan yükseklik arttıkça azalmaktadır ve dolayısıyla da kanatçığa etkiyen hava direnci de böylece sistemin yerden yüksekliği arttıkça azalır. Dolayısıyla menteşe momenti de sistemin yerden yüksekliği arttıkça azalmaktadır. İlgili aerodinamik yük modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

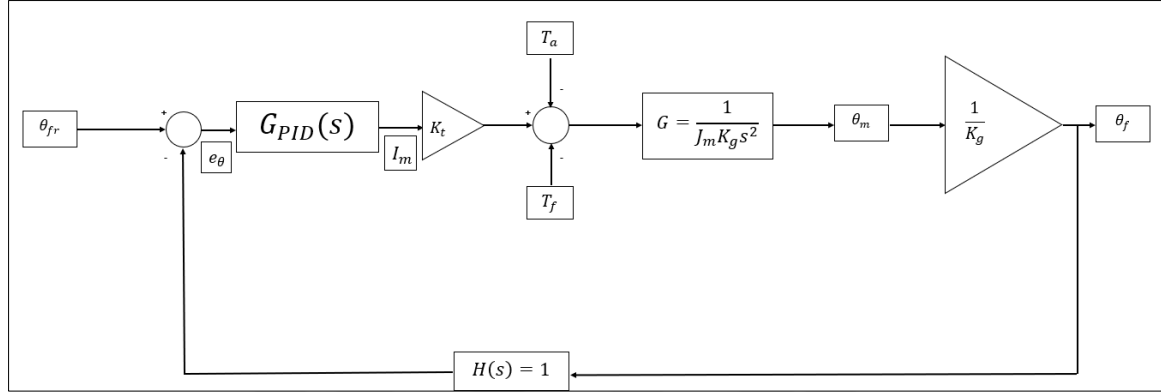


Şekil 2.6. Aerodinamik yük modeli



3. KTS İÇİN PID DENETLEYİCİ TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

PID Denetleyici tasarımı yapılırken ilk olarak KTS'nin matematiksel modeli elde edilmiş ve sonra sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu bulunmuştur. İlgili sistemin PID denetleyici ile modellenmiş blok diyagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.1. PID denetleyici ile modellenmiş KTS'nin blok diyagramı

Eş 2.5'in Laplace Dönüşümü yapılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$s^2 \theta_f(s) = \frac{K_t I_m(s)}{J_m K_g} - \frac{T_f(s)}{J_m K_g} \quad (3.1)$$

Böylece sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde bulunmuş olur:

$$\frac{\theta_f(s)}{I_m(s)} = \frac{K_t}{J_m K_g s^2} \quad (3.2)$$

PID denetleyicinin transfer fonksiyonu ise aşağıda verilmiştir:

$$G_{PID}(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.3)$$

Eş 3.2 ve 3.3'ten elde edilen açık çevrim transfer fonksiyonu ise aşağıda verilmiştir:

$$G_{tfo} = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s (J_m K_g s^2)} \quad (3.4)$$

Açık çevrim transfer fonksiyonundan kapalı çevrim transfer fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$G_{tfc} = \frac{G_{tfo}}{1+G_{tfo}} \quad (3.5)$$

$$G_{tfc} = \frac{\frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s(J_m K_g s^2)}}{1 + \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s(J_m K_g s^2)}} \quad (3.6)$$

$$G_{tfc} = \frac{\frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s(J_m K_g s^2)}}{\frac{s(J_m K_g s^2) + (K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s(J_m K_g s^2)}} \quad (3.7)$$

Son olarak Eş. 3.7 sadeleştirilirse,

$$G_{tfc} = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{s(J_m K_g s^2) + (K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t} \quad (3.8)$$

Aşağıdaki kapalı çevrim transfer fonksiyonu elde edilir:

$$G_{tfc} = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_t}{J_m K_g s^3 + K_d K_t s^2 + K_p K_t s + K_i K_t} \quad (3.9)$$

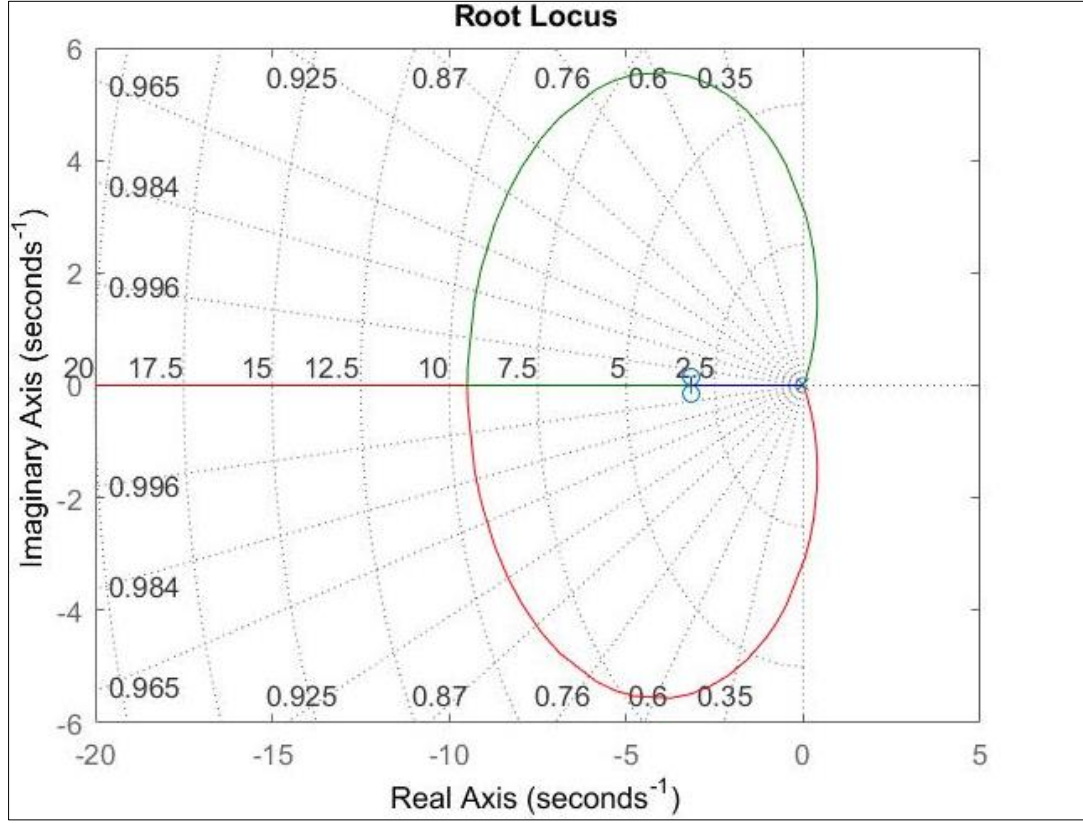
Eş 3.9'da kapalı çevrim transfer fonksiyonundan elde edilen karakteristik denklem ise aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$D(s) = J_m K_g s^3 + K_d K_t s^2 + K_p K_t s + K_i K_t \quad (3.10)$$

$$D(s) = \frac{J_m K_g}{K_i K_t} + \frac{K_d}{K_i} + \frac{K_p}{K_i} + 1 \quad (3.11)$$

Karakteristik denklemde ilgili denetleyici katsayıları EK-3 Çizelge 3. 1.'de verildiği şekilde yerleştirilirse sistemin kök yer eğrisi aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur. PID denetleyici

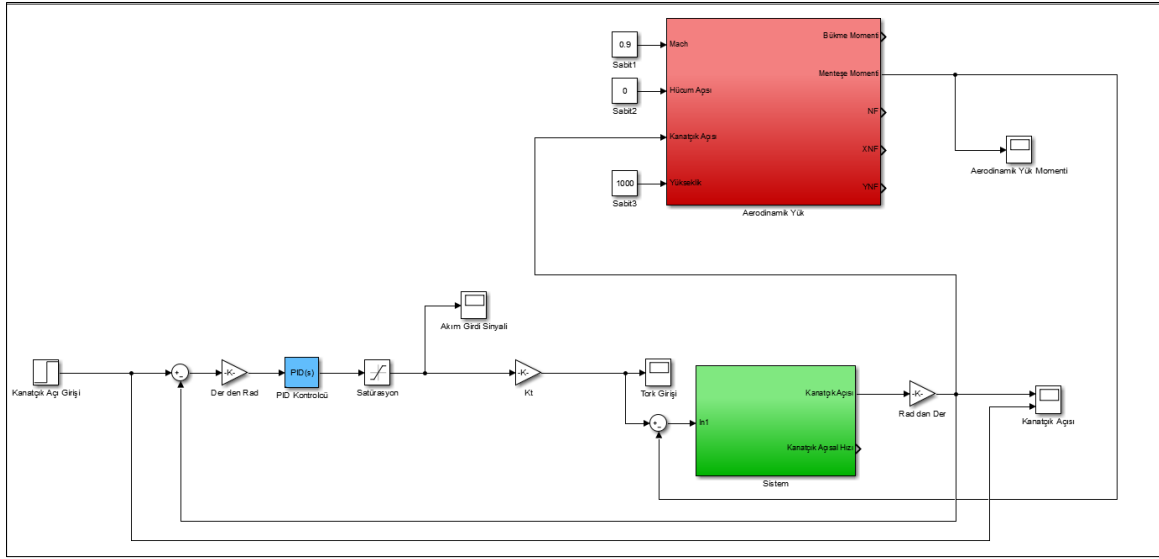
katsayıları ise EK-7’de verilen MATLAB kodu kullanılarak ve yapılan iyileştirmeler sonucunda bulunmuştur.



Şekil 3.2. PID denetleyici kullanılan KTS için kök yer eğrisi

EK-3 Çizelge 3. 5.’de verilen karakteristik denklemin köklerinden anlaşıldığı üzere bütün kapalı çevrim sistem kökleri negatif reel kısımlı olduğu için sistemin kararlı olduğu da kesinleşmiş olur.

PID denetleyici tasarımı için sonrasında sistemin MATLAB/SIMULINK ortamında matematiksel modeli oluşturulmuştur. PID denetleyici parametreleri, sistemin test edileceği farklı aerodinamik yükler için en iyi performansı sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Oluşturulan model aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 3.3. PID denetleyici kullanılan KTS

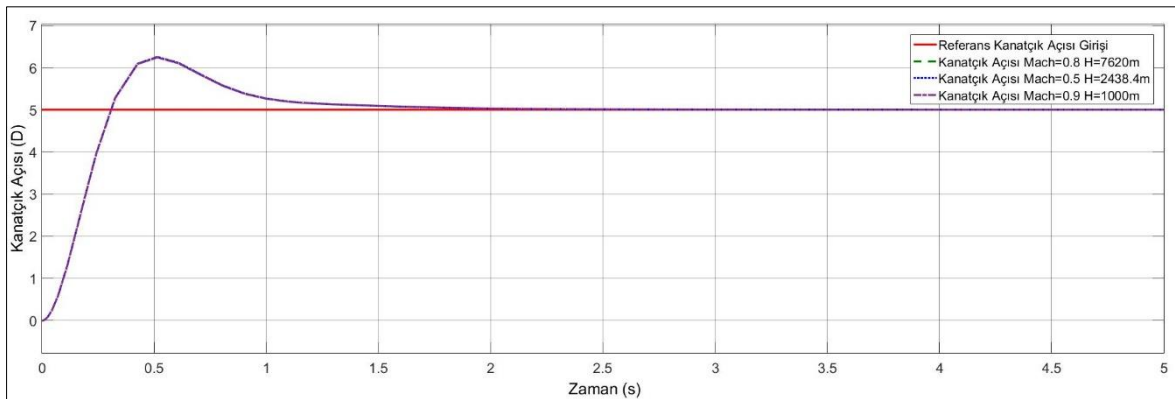
Şekil 3.3'te gösterilen modelde akım girdi sinyali PID denetleyiciden çıkan ve aşağıdaki gibi hata sinyalinin bir fonksiyonu şeklinde elde edilmiştir.

$$I_m = K_p e_\theta + K_i \int_0^t e_\theta dt + K_d \dot{e}_\theta \quad (3.12)$$

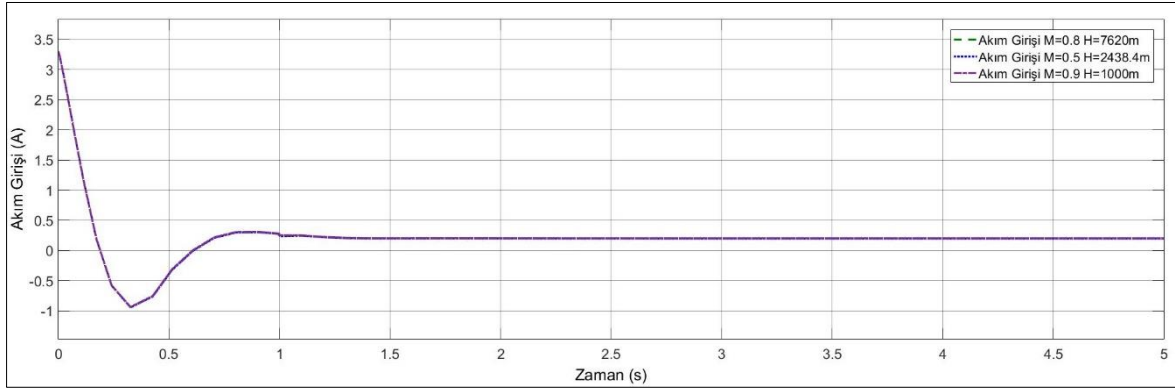
Eş 3.12'de hata sinyali olan e_θ ise referans açı değeri olan θ_d ile kanatçığın o anki açısal pozisyonu, θ_f arasındaki farktan elde edilmektedir.

$$e_\theta = \theta_d - \theta_f \quad (3.13)$$

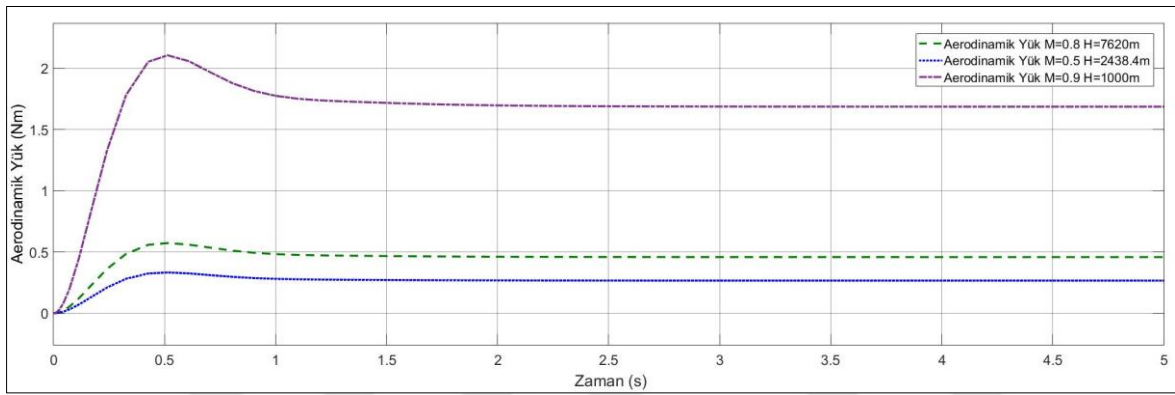
Yapılan benzetim sonuçları ise aşağıdaki ilgili grafiklerde gösterilmiştir:



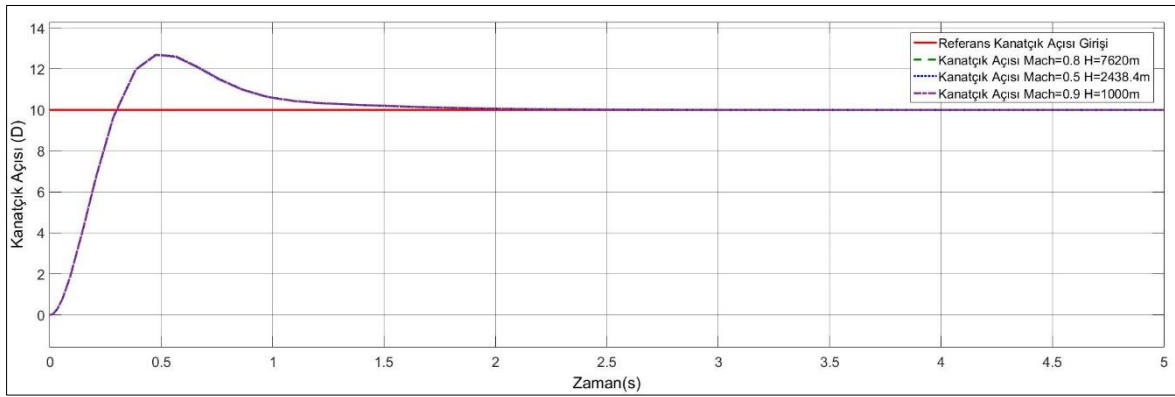
Şekil 3.4. PID denetleyici ile kanatçık açısal pozisyonu (5°)



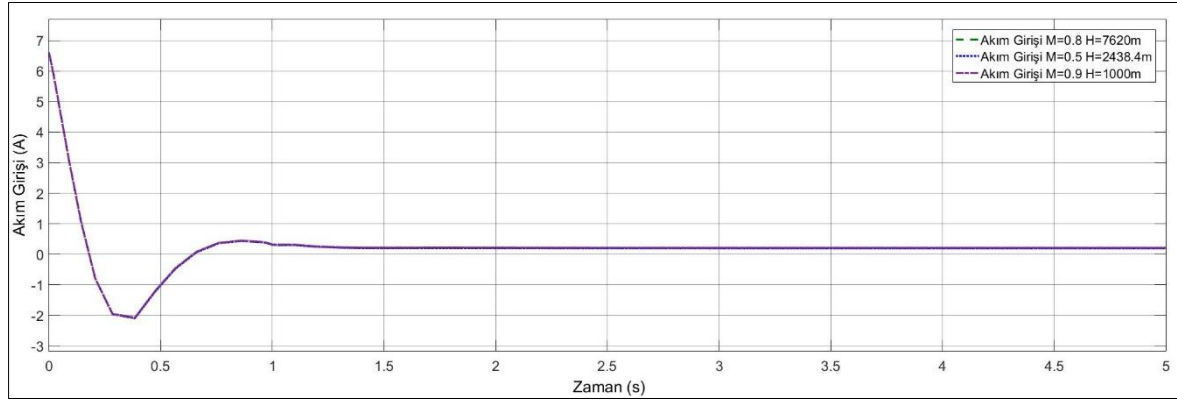
Şekil 3.5. PID denetleyici ile akım girişi (5°)



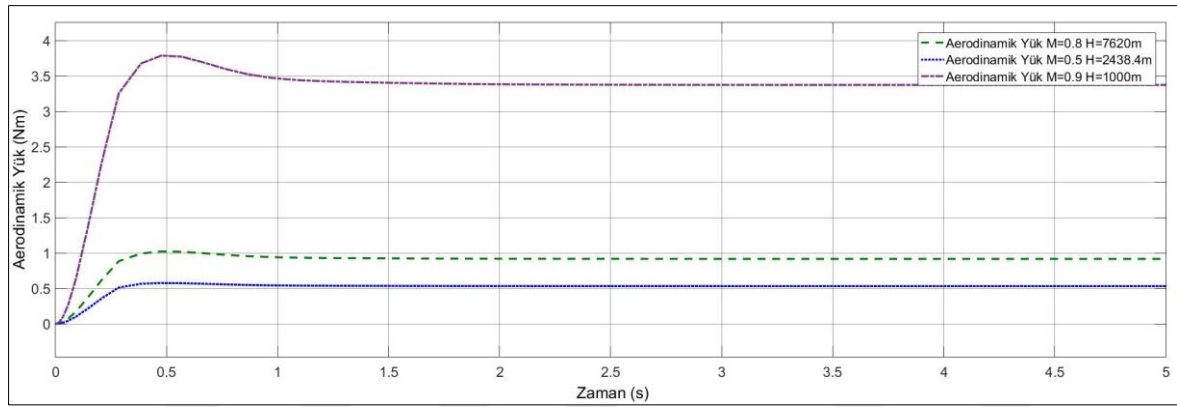
Şekil 3.6. PID denetleyici ile aerodinamik yük (5°)



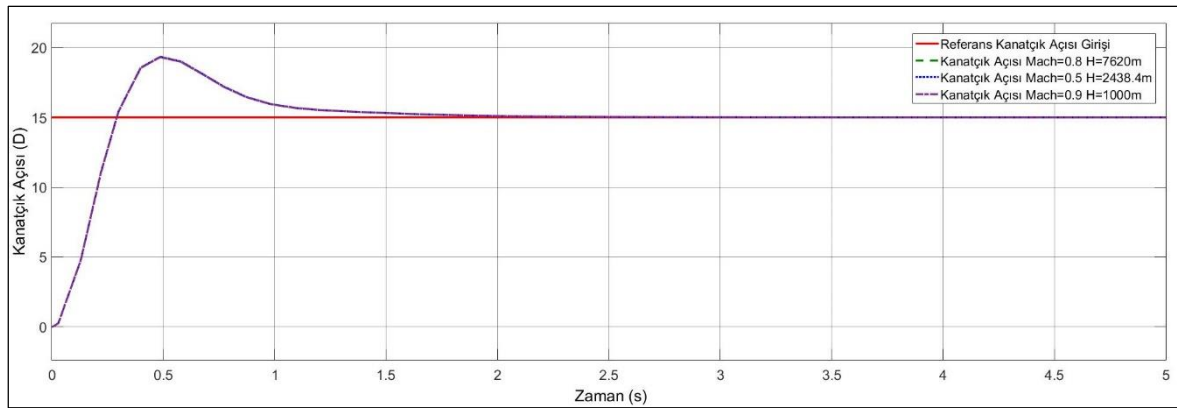
Şekil 3.7. PID denetleyici ile kanatçık açıl pozisyonu (10°)



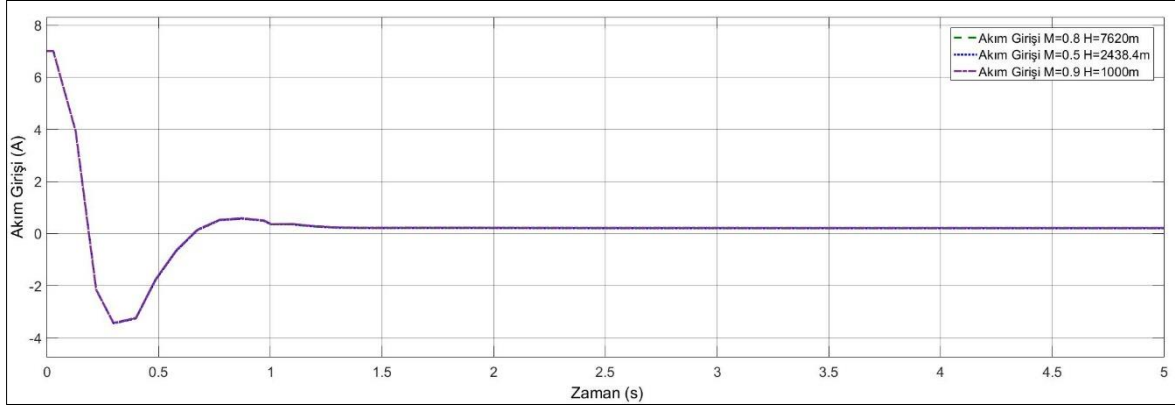
Şekil 3.8. PID denetleyici ile akım girişi (10°)



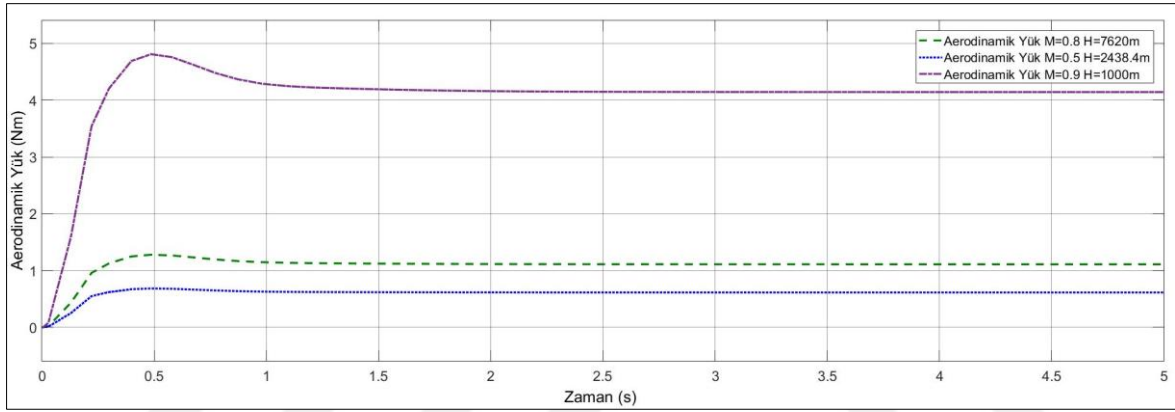
Şekil 3.9. PID denetleyici ile aerodinamik yük (10°)



Şekil 3.10. PID denetleyici ile kanatçık açısı pozisyonu (15°)



Şekil 3.11. PID denetleyici ile akım girişi (15°)



Şekil 3.12. PID denetleyici ile aerodinamik yük (15°)

PID denetleyici ile yapılan benzetim çalışmaları değerlendirildiğinde sistemin referans açığa farklı aerodinamik yükler altında yeterli bir performans değeri ile eriştiği gözlemlenmiştir. Ancak dikkatlice incelendiğinde sistemin %20'lik bir hedef aşımı ve 1.5 s'lik bir erişme zamanı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla PID denetleyici gürbüzlük açısından değerlendirildiğinde oldukça iyi bir denetleyici değildir. İlgili performans değerlerinin artırılması için gürbüz bir denetleyici olan PI-KKD önerilmiştir.



4. KTS İÇİN PI-KKD TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

Nominal sistem için KKD tasarımı aşamalarına bakıldığında ilk aşama olan kayma yüzeyi tasarımı, sistemin durum uzayı modeli elde edildikten sonra bir koordinat dönüşümü yapılarak sistemin regüle edilmesi ile başlamaktadır. Regüle edilmiş sistem modelinde şayet bozucu etki sinyali ile denetleyici girdi sinyali aynı ekseninde ise sistem eşleşme koşulunu sağlamış demektir. Sonrasında ise bir değiştirme fonksiyonu ya da diğer bir deyişle kayma manifoldu fonksiyonu seçilerek durum uzayı değişkenlerinden oluşan bir doğru denklemi, denetleyiciyi tasarlayan kişi tarafından belli bir eğim değeri belirlenerek bulunmuş olur. Denetleyici girişinin olmadığı alt sistem incelenerek eğim değerinin belirlendiği bir katsayıya bağlı olarak sanki bir geri besleme denetim girişi gibi oluşturulan alt sistemin kararlılığı incelenir. Alt sistemin özdeğerlerinin bütün gerçel kısımlarının negatif olması sağlandığında alt sistemin kararlılığı da sağlanır. Böylece kayma yüzeyi de tasarlanmış olur.

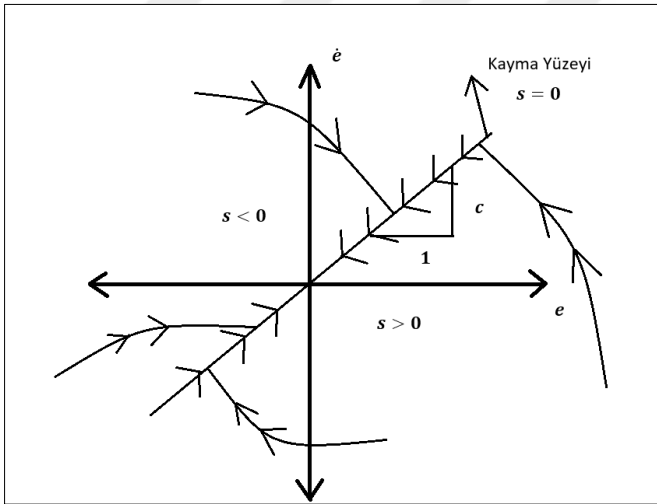
İkinci aşamada ise denetleyici girdi sinyalinin tasarımı yapılmaktadır. Denetleyici girdi sinyali tasarımı yapılırken bir önceki aşamada belirlenen kayma manifoldu fonksiyonunun kullanıldığı bir Lyapunov Fonksiyonu belirlenerek fonksiyonun kararlılığı incelenir. Şayet kayma manifoldu fonksiyonunun kendisinin türevi ile çarpımının sıfırdan küçük olursa sistemin kararlı olacağı da kesinleşmiş olur. Seçilen bir erişme kuralına göre elde edilen denetleyici girdi sinyali kullanıldığında nominal sistemin sıfır denge noktasına ulaştığı da gözlemlenir.

Hata fonksiyonu kullanılarak yapılan KKD tasarımında kayma manifoldu, hatanın kendisinin bir oransal kazanç katsayısı ile çarpımının sonrasında hatanın türevinin ve son olarak da hatanın integralinin başka bir kazanç katsayısı ile çarpımı sonucunda elde edilen değerlerin toplamına eşittir. Sonrasında kayma manifoldu, güç oranlı erişme kuralına göre belirli bir fonksiyona eşitlenerek ilgili denetleyici tasarımı yapılmaktadır [6].

KKD'nin yapısı incelendiğinde uygulanan sistemin sahip olduğu birtakım doğrusal olmayan karakteristiklerin, sistemin matematiksel modelinde bulunan birtakım belirsizliklerin ya da sisteme dışarıdan etkiyen birtakım bozucu etkilerin denetleyici performansı üzerindeki etkisini bastırdığı ve dolayısıyla gürbüz bir karakteristiğe sahip olduğu bilinmektedir. KKD'ler sahip olduğu gürbüz karakteristiği sebebiyle doğrusal olmayan sistemler, çok

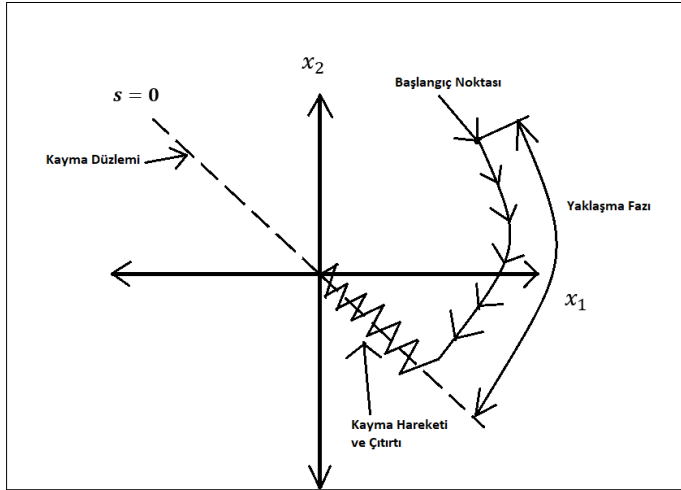
girişli ve çok çıkışlı sistemler, ayrık zamanlı sistemler, büyük ölçekli ve sonsuz boyutlu sistemler ve stokastik yani öngörülebilir olmayan sistemler gibi parametre belirsizliği ve bozucu etkilere sahip olan birçok sistem üzerinde uygulanmaktadır.

KKD uygulandığı sistemi yüksek frekanslı bir anahtarlama karakterine sahip denetleyici giriş fonksiyonu ile iki aşamada kararlı noktaya ulaştırmaktadır. İlk olarak sistemin durum uzayı yörüngesini, denetleyiciyi tasarlayan kişi tarafından belirlenen bir kayma ya da diğer bir deyişle değiştirme yüzeyine oturtmaktadır. Denetleme sinyalinde bulunan kazanç katsayısının işareti ve değerinin sistemin faz portresinde bulunduğu konuma göre değişmesi durum değişkeninin kayma yüzeyinin altında ya da üstünde yer almasına bağlıdır. Durum uzayı yörüngesinin bulunduğu konum, kayma yüzeyinin altında veya üzerinde bulunması ya da kayma yüzeyine olan uzaklığına göre kazanç katsayısının işareti ve değeri farklı değer almaktadır. Sistem ilgili kayma yüzeyine oturduktan sonra ise denetleyici, sistemi kayma yüzeyi üzerinde kalmaya zorlamaktadır. Ayrıca denetleyicinin yapısı sürekli değiştiği için KKD'lere değişken yapıli denetleyiciler de denilmektedir. Denetleyicinin sistemin faz portresinde gösterilen davranışı aşağıdaki şekilde verilmiştir [6].



Şekil 4.1. KKD uygulanan bir sistemin faz portresi

Ayrıca Şekil 4.2'de yaklaşma ve kayma fazları ile çitirtı olarak bilinen yüksek frekanslı denetleyici sinyalinden kaynaklanan durum da detaylıca gösterilmiştir.



Şekil 4.2. KKD uygulanan bir sistemde yaklaşma ve kayma fazları ile çitirtı olayı

Sistemin kayma yüzeyi üzerindeki yörünge içindeki hareketine kayma modu ve üzerinde kaydığı düzleme de kayma yüzeyi adı verilmiştir. Kayma yüzeyi üzerinde kayma manifoldunun değeri sıfır olmaktadır. Yüzeyin altında kayma manifoldunun değeri pozitif, üzerinde ise negatif olmaktadır. KKD'nin en önemli özelliği, gürbüz bir denetleyici olmasıdır. KKD, iki durum arasında anahtarlama yapmakta ve dolayısıyla kesin bir değere sahip ya da bozucu etki ve parametre belirsizliklerine karşı da hassas olmak zorunda değildir [6].

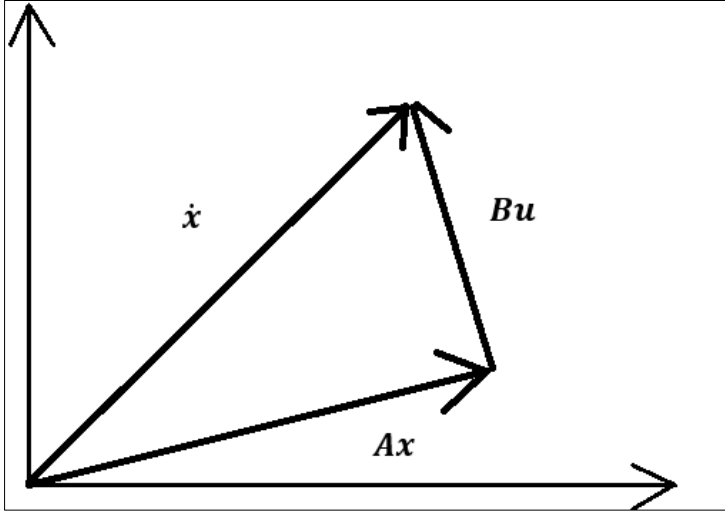
İlk olarak kayma düzleminin tasarımı ile başlanırsa genel olarak durum uzayında oluşturulan bir sistemin modeli aşağıdaki denklem ile gösterilebilir.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4.1)$$

Eş. 4.1'de belirtilen x , durum uzayında bulunan durumların vektörü ve u da sisteme verilen giriş sinyallerinin vektörüdür. Genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ ve } u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Eş. 4.1'de $A \in R^{n \times n}$ ve $B \in R^{n \times m}$ dir ve aşağıdaki gibi durum uzayı düzleminde gösterilebilir.



Şekil 4.3. Durum uzayı düzlemi

Sonrasında ise ilk olarak tanımlanan koordinat düzleminde farklı bir koordinat düzlemine bir dönüşüm matrisi kullanılarak geçilir:

$$\dot{x} = T\dot{z} \quad (4.3)$$

Sonrasında ise Eş. 4.3'teki ifade Eş. 4.1'de yerine konursa aşağıdaki ifade elde edilmiş olur:

$$ATz + Bu = T\dot{z} \quad (4.4)$$

Sonrasında ilgili dönüşüm yapılırsa aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$\dot{z} = T^{-1}ATz + T^{-1}Bu \quad (4.5)$$

$$T^{-1}AT = A_z \quad (4.6)$$

$$T^{-1}B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} = B_z \quad (4.7)$$

Genel olarak ikinci derecede bir sistemin durum uzayı modeli ele alınırsa, sistemin normal forma dönüştürülmesine gerek olmadığı anlaşılmış olur. Böylece aşağıdaki durum uzayı modeli matrisleri de elde edilmiş olur.

$$A_z = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ A_{21_z} & A_{22_z} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$B_z = \begin{bmatrix} 0 \\ B_m \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'a göre aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\dot{z} = A_z z + B_z u \quad (4.10)$$

İlgili durum uzayı modeline ait denklemler ise aşağıdaki gibidir.

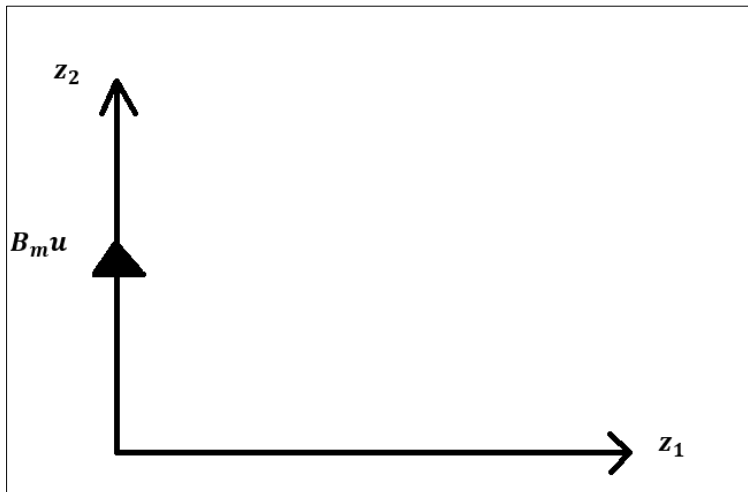
$$\dot{z}_1 = A_{11_z} z_1 + A_{12_z} z_2 \quad (4.11)$$

$$\dot{z}_2 = A_{21_z} z_1 + A_{22_z} z_2 + B_m u \quad (4.12)$$

Eş. 4.12'de $z_1 \in R^{(n-m)}$ ve $z_2 \in R^m$ dir.

$$A_z = \begin{bmatrix} A_{11_z} & A_{12_z} \\ A_{21_z} & A_{22_z} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

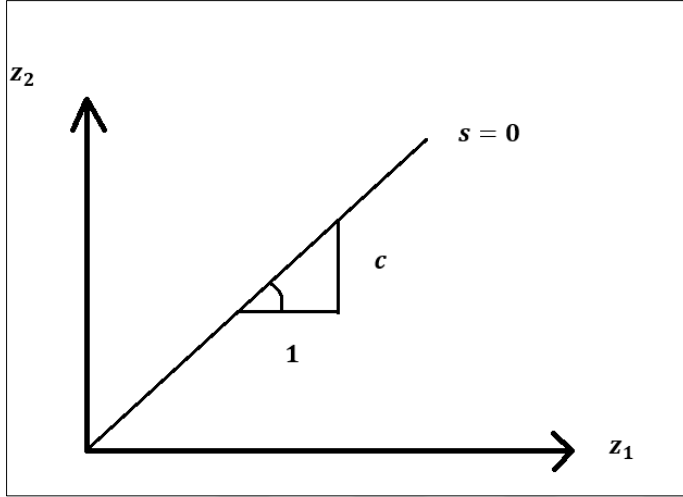
Eş. 4.12'de belirtildiği üzere ilgili durum uzayı modelinde şayet bozucu etki sinyali aşağıdaki gibi z_2 durumunun yani denetleyici girişinin bulunduğu ekseninde yer alırsa eşleşme koşulu sağlanmış olur.



Şekil 4.4. Durum uzayı düzleminde denetleyici ve bozucu etki giriş sinyali eksenini

Sonrasında ise şayet eğimi c olan doğrusal bir kayma yüzeyi belirlenirse, kayma manifoldu aşağıdaki gibi olur:

$$s = z_2 + cz_1 \quad (4.14)$$



Şekil 4.5. Durum uzayı düzleminde kayma yüzeyinin eğiminin belirlenmesi

Kayma yüzeyi üzerinde kayma manifoldunun değeri sıfırdır ve aşağıdaki ifade Eş. 4.14'ten elde edilir:

$$z_2 = -cz_1 \quad (4.15)$$

Eş. 4.15'teki ifade durum uzayı modelinde yerine konursa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\dot{z}_1 = A_{11_z}z_1 + A_{12_z}(-cz_1) \quad (4.16)$$

$$\dot{z}_1 = (A_{11_z} - cA_{12_z})z_1 \quad (4.17)$$

İlgili alt durum uzayı sisteminin kararlılığını garantileyen c değeri kayma düzleminin de eğimini vermiş olur. Dolayısıyla $(A_{11_z} - cA_{12_z})$ alt durum uzayı sisteminin özdeğerlerinin hepsi negatif gerçel kısma sahip olmalıdır. Bütün özdeğerlerin negatif olmasını sağlayan c değerlerinden biri seçilerek kayma düzleminin eğimi de belirlenmiş olur. Sonrasında Lyapunov Teoremi'ne göre seçilen bir Lyapunov Fonksiyonunun birinci türevinin negatif olması durumunda sistemin kararlılığı sağlanmış olur.

$$V = \frac{1}{2}s^2 \quad (4.18)$$

$$\dot{V} = s\dot{s} < 0 \quad (4.19)$$

Sonrasında Eş. 4.14'ten aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\dot{s} = \dot{z}_2 + c\dot{z}_1 \quad (4.20)$$

$$\dot{s} = A_{21_z}z_1 + A_{22_z}z_2 + B_mu + c(A_{11_z}z_1 + A_{12_z}z_2) \quad (4.21)$$

Eş. 4.21'de seçilecek denetleyici girdi fonksiyonu ile Eş. 4.19'daki kararlılık şartının sağlanması için aşağıdaki çözüm kullanılabilir.

$$u = -B_m^{-1} \left(A_{21_z}z_1 + A_{22_z}z_2 + c(A_{11_z}z_1 + A_{12_z}z_2) \right) - B_m^{-1}ksgn(s) \quad (4.22)$$

Eş. 4.20 ve 4.21'de belirtilen sistemin durum uzayı değişkenleri yerine sistemdeki referans girdi sinyaline bağlı bir kayma manifoldu da seçilebilir. Örnek olarak aşağıdaki ikinci dereceden bir diferansiyel denkleme sahip sistemin ele alındığı varsayılır.

$$\ddot{\theta} = -f(\theta, t) + bu(t) \quad (4.23)$$

Kayma manifoldu olarak da aşağıdaki hata değerine bağlı ve hata değerinin oransal bir katsayı ile çarpıldığı fonksiyon kullanılır.

$$s(t) = ce(t) + \dot{e}(t) \quad (4.24)$$

İlgili hata fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$e(t) = r - \theta(t) \quad (4.25)$$

Hata fonksiyonunun birinci ve ikinci türevi ise aşağıdaki şekildedir.

$$\dot{e}(t) = \dot{r} - \dot{\theta}(t) \quad (4.26)$$

$$\ddot{e}(t) = \ddot{r} - \ddot{\theta}(t) \quad (4.27)$$

Şayet Eş. 4.19'daki kararlılık şartı ve Eş. 4.24 düşünüldüğünde aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\dot{s}(t) = c\dot{e}(t) + \ddot{e}(t) \quad (4.28)$$

$$\dot{s}(t) = c(\dot{r} - \dot{\theta}(t)) + \ddot{r} - \ddot{\theta}(t) \quad (4.29)$$

$$\dot{s}(t) = c(\dot{r} - \dot{\theta}(t)) + \ddot{r} + f(\theta, t) - bu(t) \quad (4.30)$$

Eş. 4.30'da farklı erişme kurallarına bağlı olarak kayma manifoldunun birinci türevi için belirli ifadeler kullanılmaktadır [6].

Birinci olarak sabit oranlı erişme kuralı aşağıda verilmiştir:

$$\dot{s} = -\varepsilon sgn(s) \quad \varepsilon > 0 \quad (4.31)$$

İkincisi üstel fonksiyona bağlı erişme kuralıdır:

$$\dot{s} = -\varepsilon sgn(s) - ks \quad \varepsilon > 0 \quad k > 0 \quad (4.32)$$

Üçüncüsü güç oranlı erişme kuralıdır:

$$\dot{s} = -k|s|^\alpha sgn(s) \quad k > 0 \quad 1 > \alpha > 0 \quad (4.33)$$

Sonuncusu ise genel erişme kuralıdır:

$$\dot{s} = -\varepsilon sgn(s) - f(s) \quad (4.34)$$

Eş. 4.30'dan denetleyici girdi sinyaline ait ifade ise örnek olarak üstel fonksiyona bağlı erişme kuralı seçilirse aşağıdaki şekilde bulunur [6].

$$u = \frac{1}{b} \left(\varepsilon sgn(s) + ks + c(\dot{r} - \dot{\theta}(t)) + \ddot{r} + f(\theta, t) \right) \quad (4.35)$$

KKD tasarım aşamalarına bakılırsa ilk olarak bir kayma manifoldu belirlenir ve sonrasında ise ilgili erişme kuralı seçilerek denetleyici çıktı sinyalinin tasarımı yapılır. Yapılan çalışmada ilk olarak bir PI kayma yüzeyi belirlenmiş ve kayma manifoldu PI kayma yüzeyine bağlı olarak tanımlanmıştır. PI kayma yüzeyine sahip kayma manifoldu, hata sinyalinin bir fonksiyonudur.

$$s = c_1 e_\theta + \dot{e}_\theta + c_2 \int e_\theta dt \quad (4.36)$$

İlgili tasarım aşamalarına devam edildiğinde, Eş. 3.12’de verilen hata fonksiyonunun birinci ve ikinci türevleri alındıktan sonra aşağıdaki ilgili denklemler elde edilir. Referans açısı değeri sabit bir değer olduğu için birinci ve ikinci türevleri sıfırdır.

$$\dot{e}_\theta = \dot{\theta}_d - \dot{\theta}_f = -\dot{\theta}_f \quad (4.37)$$

$$\ddot{e}_\theta = \ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}_f = -\ddot{\theta}_f \quad (4.38)$$

Eş. 4.37 ve 4.38 elde edildikten sonraki ilk adım ise erişme kuralının belirlenmesidir. Tasarlanan KKD için KTS’nin farklı aerodinamik yükler altında en iyi performansı vermesi için güç oranlı erişme kuralı seçilmiş ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [6].

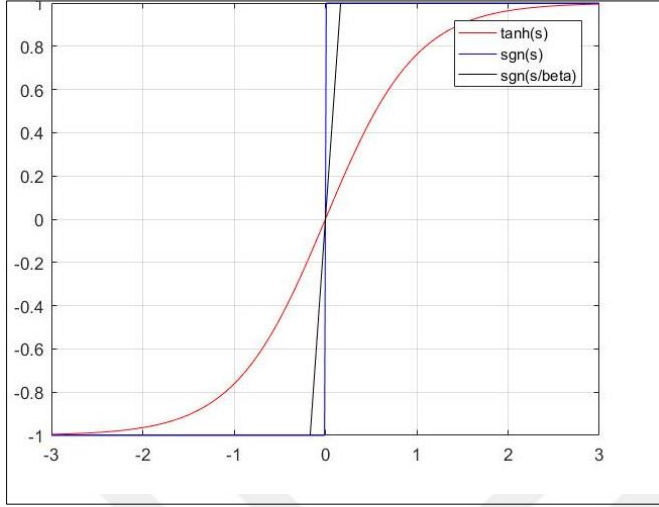
$$\dot{s} = -k|s|^a \operatorname{sgn}(s) \quad (4.39)$$

Güç oranlı erişme kuralı denetleyici sinyalinin büyüklüğünü faz portresindeki hata sinyalinin kayma yüzeyine olan uzaklığına bağlı olarak arttırmakta ya da azaltmaktadır. İlgili durum noktası kayma yüzeyine ne kadar uzaksa denetleyici sinyali o kadar fazla, kayma yüzeyine ne kadar yakınsa denetleyici sinyali o kadar az olmaktadır.

Sonrasında ise KKD’lerin yapısında mevcut olan çığırıcı probleminin azaltılması için anahtarlama fonksiyonu olan $\operatorname{sgn}(s)$ daha yumuşak geçiş sağlayan $\tanh(s)$ fonksiyonu ile değiştirilmiştir. Böylece güç oranlı erişme kuralının manipüle edilerek oluşturulduğu aşağıdaki denetim kuralı elde edilmiştir:

$$\dot{s} = -k|s|^a \tanh(s) \quad (4.40)$$

İlgili bazı doyum fonksiyonları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Çıtırırtı problemini azaltmak için kullanılan bazı doyum fonksiyonları

Sonrasında ise daha önceden hata sinyalinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiş olan kayma manifoldunun türevi alındığında aşağıdaki denklem bulunmuş olur:

$$\dot{s} = c_1 \dot{e}_\theta + \ddot{e}_\theta + c_2 e_\theta \quad (4.41)$$

Eş. 2.8, 4.37 ve 4.38 ve 4.41 kullanılarak aşağıdaki Eş. 4.42 ve 4.43 elde edilir:

$$\dot{s} = -c_1 \dot{\theta}_f - \ddot{\theta}_f + c_2 e_\theta \quad (4.42)$$

$$\dot{s} = c_1 \dot{e}_\theta + \left[\ddot{\theta}_d - \left(\frac{K_t I_m}{J_m K_g} - \frac{T_f}{J_m K_g} \right) \right] + c_2 e_\theta \quad (4.43)$$

Sonrasında ise Eş. 4.43'te denetleyici girdi sinyali I_m yalnız bırakılır ve Eş 4.40'taki güç oranlı erişme kuralı kullanılırsa aşağıdaki denetleyici girdi sinyali de elde edilmiş olur:

$$I_m = \frac{J_m K_g}{K_t} \left(k |s|^\alpha \text{sgn}(s) + \ddot{\theta}_d + c_1 \dot{\theta}_d + \frac{T_f}{J_m K_g} + c_2 e_\theta - c_1 \dot{\theta}_f \right) \quad (4.44)$$

Eş. 4.44'de referans açı sinyali bir basamak girişi olarak sisteme verilirse Eş. 4.37 ve 4.38 aşağıdaki gibi sadeleşmiş olur:

$$\dot{\theta}_d = \ddot{\theta}_d = 0 \quad (4.45)$$

$$\dot{e}_\theta = -\dot{\theta}_f \quad (4.46)$$

$$\ddot{e}_\theta = -\ddot{\theta}_f \quad (4.47)$$

İlgili Eş. 4.44, 4.45 ve 4.46'dan aşağıdaki akım giriş sinyalini ifade eden Eş. 4.48, anahtarlama fonksiyonu $\tanh(s)$ fonksiyonu ile değiştirildiğinde aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

$$I_m = \frac{J_m K_g}{K_t} \left(k |s|^\alpha \tanh(s) + \frac{T_f}{J_m K_g} + c_2 e_\theta - c_1 \dot{\theta}_f \right) \quad (4.48)$$

Eş. 4.48'deki k ve a katsayıları ise ilgili güç oranlı erişme kuralına bağlı olarak seçilir.

$$k > 0 \text{ ve } 0 < a < 1 \quad (4.49)$$

Ayrıca ilgili voltaj sinyali içinde yer alan c_1 ve c_2 katsayıları da aşağıda belirtildiği şekilde seçilir [25].

$$c_1, c_2 > 0 \quad (4.50)$$

Eş. 4.48'de belirtilen denetleyici katsayıları EK-3 Çizelge 3. 3. de verilmiştir.

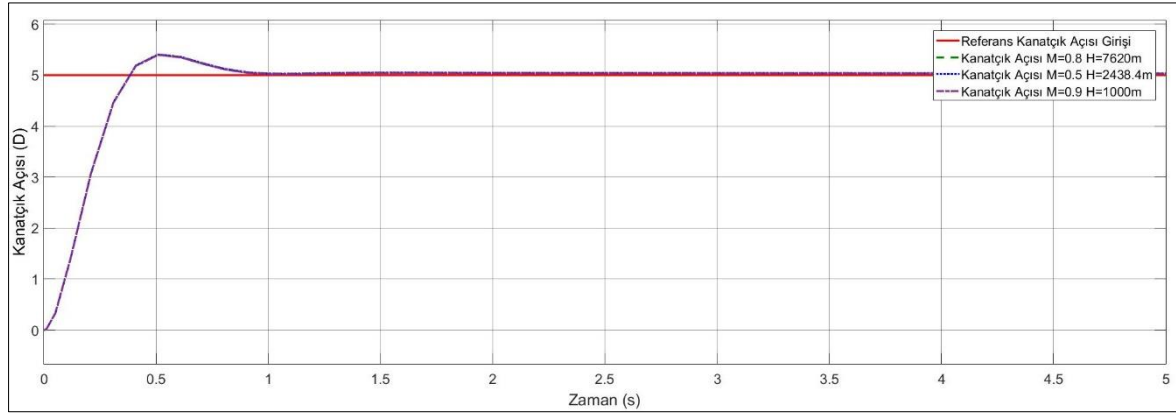
Sistemin kararlılık analizi ise Lyapunov Kararlılık Analizi ile kontrol edilmiştir. Sonrasında ise ilk olarak bir Lyapunov Fonksiyonu aşağıdaki gibi seçilir.

$$V = \frac{1}{2} s^2 \quad (4.51)$$

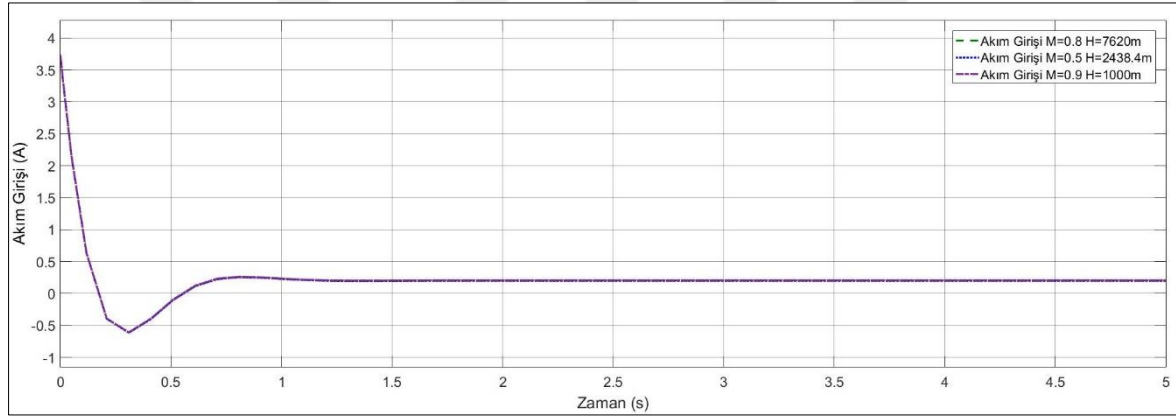
Sonrasında Lyapunov Kararlılık Şartı'nın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

$$\dot{V} = s\dot{s} < 0 \quad (4.52)$$

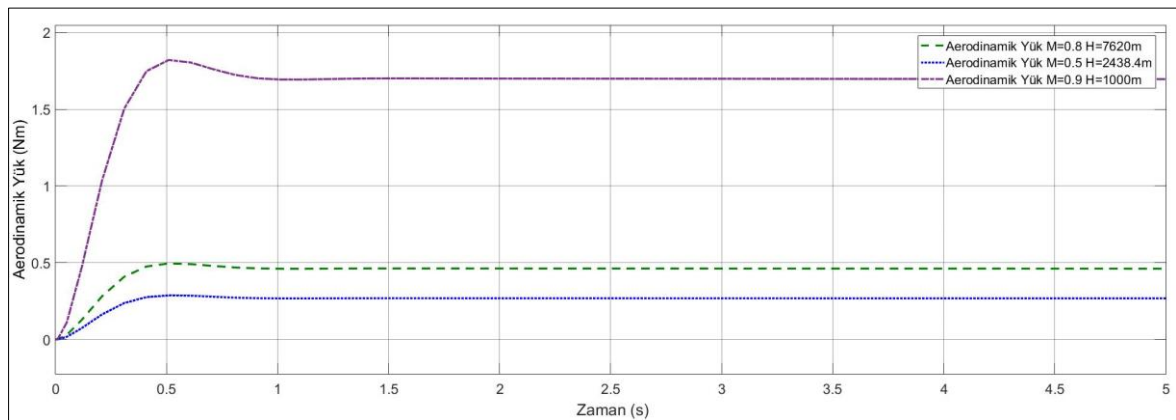
Yapılan benzetim sonuçları aşağıdaki ilgili grafiklerde gösterilmiştir.



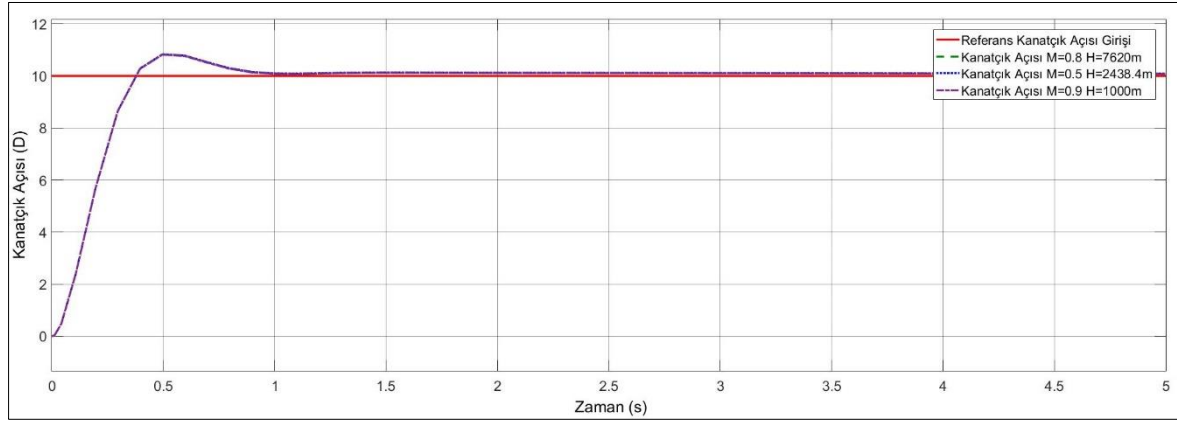
Şekil 4.9. PI-KKD ile kanatçık açısal pozisyonu (5°)



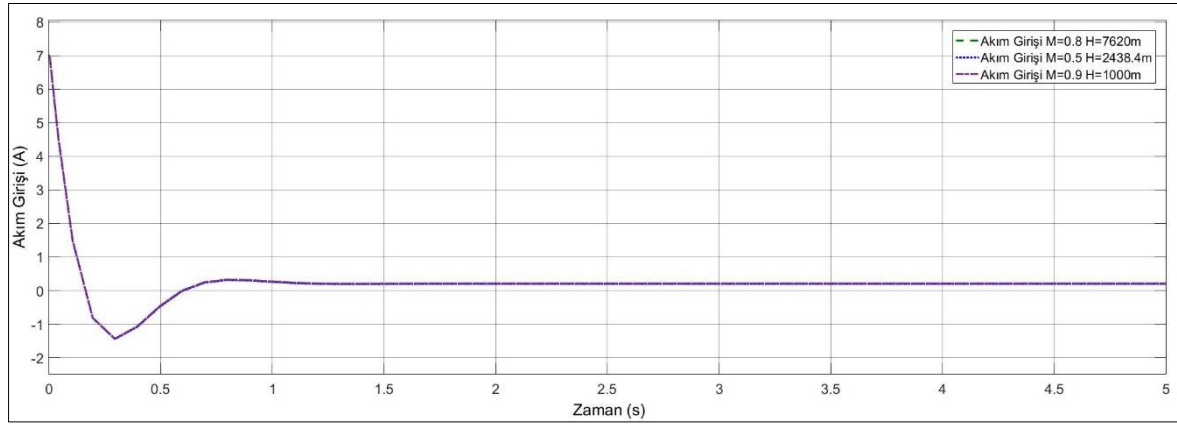
Şekil 4.10. PI-KKD ile akım girişi (5°)



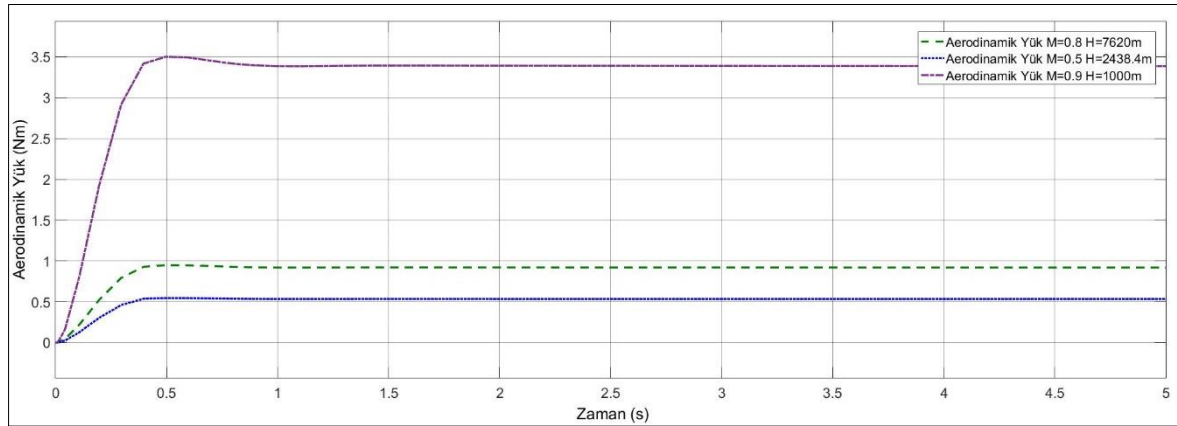
Şekil 4.11. PI-KKD ile aerodinamik yük (5°)



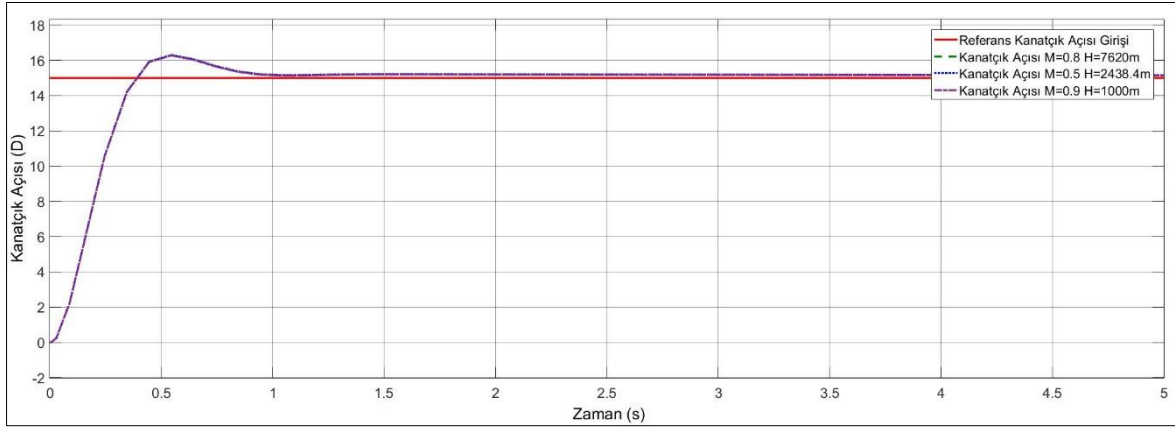
Şekil 4.12. PI-KKD ile kanatçık açısal pozisyonu (10°)



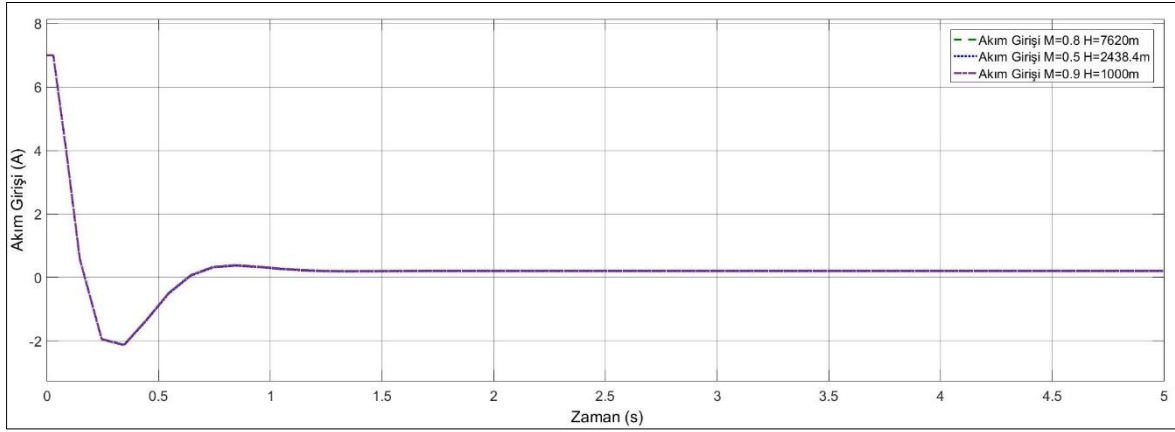
Şekil 4.13. PI-KKD ile akım girişi (10°)



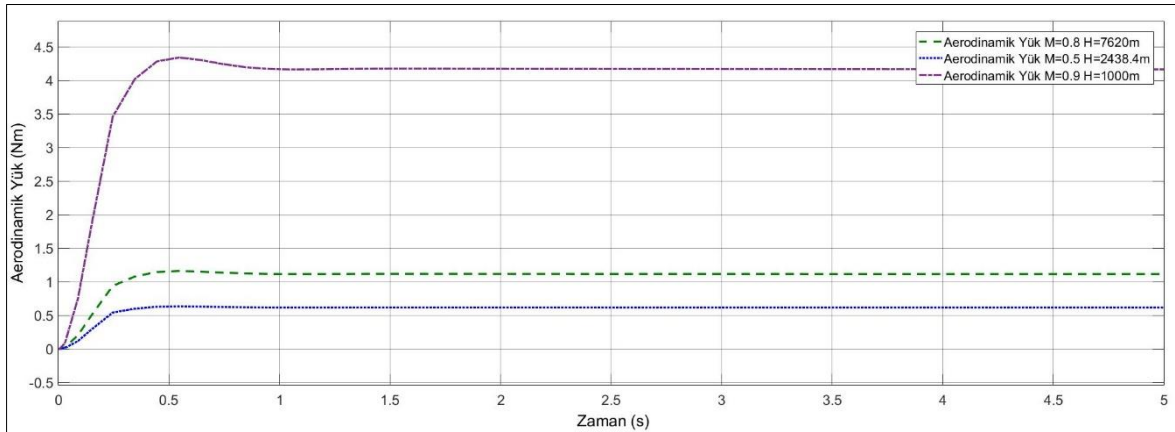
Şekil 4.14. PI-KKD ile aerodinamik yük (10°)



Şekil 4.15. PI-KKD ile kanatçık açıl pozisyonu (15°)



Şekil 4.16. PI-KKD ile akım girişi (15°)



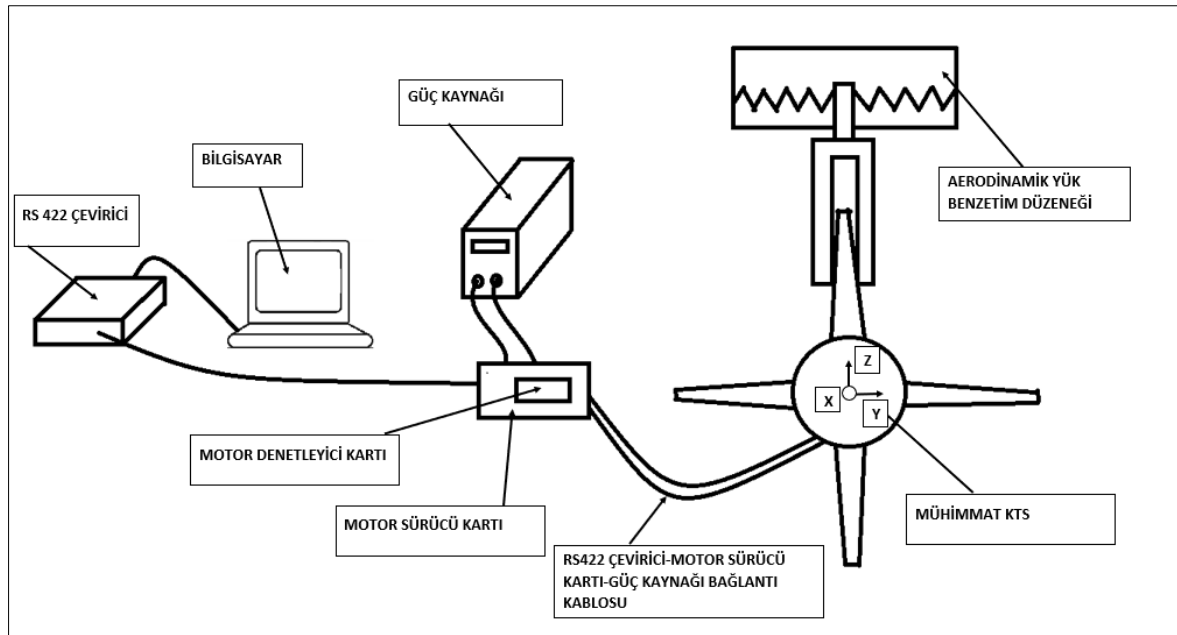
Şekil 4.17. PI-KKD ile aerodinamik yük (15°)

PI-KKD için yapılan benzetim sonuçlarına göre denetleyicinin yaklaşık olarak %10 civarında bir hedef aşımı yaptığı ve 1s'ye yakın bir erişme zamanının olduğu görülmüştür. Dolayısıyla PID denetleyiciye göre daha iyi bir performansa sahiptir.



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan teorik çalışmalarda denetleyiciler, yer kök eğrisi analizi ve Lyapunov Kararlılık Analizi gibi belirli yöntemler kullanılarak tasarlanmış ve yapılan tasarımlar MATLAB/SIMULINK ortamında test edilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre denetleyicilerin aerodinamik yüke maruz kaldığı durum dikkate alınarak verilen basamak giriş sinyaliye göre nasıl bir cevap verdiği incelenmiş ve basamak giriş sinyali cevabı iyileştirme amaçlı olarak denetleyici kazanç katsayıları güncellenmiştir. Bütün teorik çalışmalar temel alınarak deneysel çalışmalara hazırlık yapılmıştır. Tasarlanan denetleyiciler, kurulan deney düzeneğinde denenmiş ve denetleyicilerin performansları değerlendirilmiştir. Daha iyi performans elde etmek için denetleyici kazanç katsayıları tekrar güncellenmiştir. İlgili deney düzeneğinde sekiz adet farklı donanım birimi bulunmaktadır. İlgili donanım birimleri: aerodinamik yük benzetim düzeneği, mühimmat KTS birimi, motor sürücü kartı, motor denetleyici kartı, RS422 çevirici, güç kaynağı, dizüstü bilgisayar, RS422 çevirici-motor sürücü kartı-güç kaynağı bağlantı kablosudur. Ayrıca motor denetleyici kartını programlamak için de bir emülatör kullanılmıştır. Kullanılan yazılımlar ise: KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı, motor sürücü kartı programlama yazılımı, MATLAB/SIMULINK programı ve veri işleme yazılımıdır. İlgili deney düzeneği aşağıdaki şemada gösterilmiştir.



Resim 5.1. Aerodinamik yük deney düzeneğinde kullanılan donanımlar

5.1. Aerodinamik Yük Deney Düzenğinde Kullanılan Donanımlar

5.1.1. Aerodinamik yük benzetim düzeneği

Aerodinamik yük benzetim düzeneği, KTS'nin kanatçıklarına etkiyen menteşe momenti etkisini KTS çalışırken yaratmak için kullanılan bir araçtır. KTS'nin test edilecek herhangi bir kanatçığını sıkıştırarak sadece z ekseninde bir dönme serbestliğine izin veren benzetim düzeneği kanatçığın hücum açısı ile doğrusal olarak değişen bir yay kuvveti sağlayarak kanatçığa ilgili aerodinamik yükü sağlamaktadır. Kanatçığa etkiyen momentin kanatçık açısına bağlı olarak değişimini veren tablo EK-4 Çizelge 4. 1.'de verilmiştir.

5.1.2. Mühimmat KTS birimi

Mühimmat KTS birimi, test edilen birimdir. Yapılan çalışmada KTS'nin bir kanatçığı aerodinamik yük benzetim düzeneğine bağlanıp ilgili kanatçık belirli açılara sürülerek KTS'nin belirli aerodinamik yükler altında nasıl çalıştığı gözlemlenmektedir.

5.1.3. Motor sürücü kartı

Motor sürücü kartı, doğru akım motorunu çalıştırmak için akımı düzenler ve sınırlar [21]. Motor sürülürken armatür(rotor) gerilimi değiştirilerek devir ayarlanabilir, rotor akımı değiştirilerek tork ayarlanabilir, sürücü devreleri ile DC motorların hızları, dönüş yönleri ve momentleri çok hassas olarak denetlenebilir, armatür voltajı geri besleme yöntemi ile de çalıştırılabilir.

5.1.4. Motor denetleyici kartı

Motor denetleyici kartı, KTS'nin DC motorlarının denetimini yapan yazılımın yüklü olduğu karttır. Motor denetleyici kartında bulunan ve ilgili motora zamana bağlı olarak nasıl bir akım verileceğini tayin eden denetim algoritması sayesinde motorlar gereken hassasiyet, doğruluk ve hızda çalışarak kanatçığın ilgili açılara sürülmesini sağlamaktadır.

5.1.5. RS422 çevirici

RS422 çevirici, KTS'nin denetlendiği arayüz yazılımı ile KTS motor denetleyici kartı arasındaki iletişimi sağlayan haberleşme birimidir. RS422 çevirici, RS422 haberleşme protokolü ile çalışmakta olup kullanıcı tarafından verilen kanatçık açma komutlarını KTS motor denetleyicisine iletmektedir.

5.1.6. Güç kaynağı

KTS'nin motor sürücü ve motor denetleyici kartlarını beslemek amaçlı kullanılan akım ve voltaj kaynağıdır.

5.1.7. Bilgisayar

KTS'nin test amaçlı olarak denetimini sağlayan birimdir. Bilgisayarda bulunan arayüz yazılımı ile kullanıcı ilgili kanatçığı gerekli referans açılara sürülerek gerekli verilerin kaydını almaktadır.

5.1.8. RS422 çevirici-motor sürücü kartı - güç kaynağı bağlantı kablosu

İlgili birimler arasında elektriksel bağlantı sağlayan birimdir.

5.2. Aerodinamik Yük Deney Düzenğinde Kullanılan Yazılımlar

5.2.1. KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı

Kanatçıkların açılmasını sağlayan yunuslama ve sapma eksenlerine ait solenoid anahtarlarının, yunuslama ve sapma eksenlerine ait kanatçıkların ilgili açığa sürülmesini sağlayan KTS motorlarının ve KTS motorlarının aktive edilmesini sağlayan komut bölümlerinin olduğu seri iletişim arayüz yazılımıdır. İlgili arayüz yazılımı ile 4 adet kanatçığın solenoid anahtarları ve açılma konumları denetlenebilmektedir. Ayrıca kanatçık açısı, motor akım komutu ve motor pwm değeri kaydı yapılabilmektedir.

5.2.2. Motor denetleyici kartı programlama yazılımı

Motor denetleyici kartı programlama yazılımı ile MATLAB/SIMULINK ortamında hazırlanan denetleyici yapısı motor denetleyici kartı içine derlenip yüklenmektedir.

5.2.3. MATLAB/SIMULINK yazılımı

MATLAB/SIMULINK yazılımları ile motor sürücü kartına yüklenmek üzere denetleyici yapıları oluşturulup kod üretilmekte ve elde edilen veriler işlenip grafik haline getirilmektedir.

5.3. Deneysel Çalışma Yöntemi

5.3.1. Deneysel çalışma öncesi denetleyici tasarımı

Deneysel çalışma öncesinde PID denetleyici ve PI-KKD için kazanç katsayılarının belirlenmesi ve denetleyici yapılarının fiziksel sistem için güncellenmesi amacıyla birtakım çalışmalar yapılmıştır.

PID denetleyici için kazanç katsayılarının belirlenmesi

PID denetleyici için kazanç katsayıları üçünü dereceden Butterworth Polinomu ile belirlenmiştir. İlgili katsayıların belirlenmesi için kullanılan polinom aşağıda verilmiştir:

$$D(s) = \frac{1}{\omega_c^3} s^3 + \left(\frac{2\delta_c + 1}{\omega_c^2} \right) s^2 + \left(\frac{2\delta_c + 1}{\omega_c} \right) s + 1 \quad (5.1)$$

Eş. 5.1’de bulunan polinom Eş. 5.2’de KTS için bulunan kapalı çevrim sistemin transfer fonksiyonundaki karakteristik denkleme eşitlenirse:

$$D(s) = \frac{J_m K_g}{K_i K_t} + \frac{K_d}{K_i} + \frac{K_p}{K_i} + 1 \quad (5.2)$$

K_p, K_i ve K_d katsayıları istenen bant genişliği ve kritik sönümlenme katsayısına bağlı olarak bulunmuş olur. İlgili MATLAB kodu EK-8 de verilmiştir. İlgili PID denetleyiciye ait kazanç katsayıları ise EK-3 Çizelge 3. 2.’de verilmiştir. Katsayılar daha sonra deneysel sistem

üzerinde denenmiş ve ilgili katsayılara yakın olacak şekilde gerçek sistem performansını iyileştirme amaçlı olarak değiştirilmiştir.

Deneysel sistem için PI-KKD tasarımı ve PI-KKD için kazanç katsayılarının belirlenmesi

Bir önceki bölümde tasarlanan PI-KKD ile benzer olarak deney yapılacak sistem üzerinde tekrar bir PI-KKD tasarlanmış ve ilgili kazanç katsayıları yeni tasarlanan denetleyici için güncellenmiştir. Dahası ana denetleyici yapısına ek olarak sistemde birtakım alçak geçiren filtreler ve oran limitleyici gibi ek fonksiyonlar kullanılmıştır. İlgili yapılardan sonrasında detaylıca bahsedilecektir.

İlk olarak deneysel sistem için PI-KKD tasarımında denetleyicinin çıkış sinyalinin doğrudan akım olduğu düşünülmüştür. Sonrasında ise öncelikle motorun rotoru üzerinde bir hareket denklemi yazılmıştır. İlgili hareket denkleminin yazılmasının sebebi, sistemde motorun rotor açısını ölçen bir sensörden geri besleme sinyalinin geliyor oluşudur. Dolayısıyla motorun rotoru üzerinde bir açısal pozisyon denetimi uygulanmış ve motorun rotorunun açısal pozisyonu ile kanatçık şaftının açısal pozisyonu arasındaki dişli mekanizmasına bağlı olan ilişkiden faydalanılarak kanatçık açısal pozisyonunun denetimi sağlanmıştır.

$$J_m \ddot{\theta}_m + T_f = T_{eq} \quad (5.3)$$

Sonra ise teorik çalışmada yapıldığı gibi PI kayma yüzeyi belirlenmiş ve kayma manifoldu Eş. 4.36'daki gibi seçilmiştir. Sonrasında ilgili denklemler aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\dot{s} = c_1 \dot{e}_\theta + \ddot{e}_\theta + c_2 e_\theta \quad (5.4)$$

Sonrasında ise Eş. 4.37 ve 4.38 kullanılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\dot{s} = c_1 (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_f) + (\ddot{\theta}_d - \ddot{\theta}_f) + c_2 e_\theta \quad (5.5)$$

Motorun rotorunun açısal konumu kanatçığın açısal konumu cinsinden yazılırsa aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\theta_m = K_g \theta_f \quad (5.6)$$

$$\ddot{\theta}_m = K_g \ddot{\theta}_f \quad (5.7)$$

İlgili ifadeler Eş 5.3'te yerine yazılırsa aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$J_m K_g \ddot{\theta}_f + T_f = T_{eq} \quad (5.8)$$

Ayrıca T_{eq} ise aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$T_{eq} = K_t I_m \quad (5.9)$$

Eş 5.8'den kanatçık açısının ikinci türevine ait ifade yalnız bırakılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\ddot{\theta}_f = \frac{K_t}{J_m K_g} I_m - \frac{T_f}{J_m K_g} \quad (5.10)$$

Sonrasında ise Eş. 5.5 ve 5.10 kullanılırsa aşağıdaki denklem bulunur.

$$\dot{s} = c_1(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_f) + \left(\ddot{\theta}_d - \left(\frac{K_t}{J_m K_g} I_m - \frac{T_f}{J_m K_g} \right) \right) + c_2 e_\theta \quad (5.11)$$

Eş. 4.33'te verilen güç oranlı erişme kuralı kullanılırsa aşağıdaki ifade elde edilmiş olur.

$$-k|s|^\alpha \operatorname{sgn}(s) = c_1(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_f) + \left(\ddot{\theta}_d - \left(\frac{K_t}{J_m K_g} I_m - \frac{T_f}{J_m K_g} \right) \right) + c_2 e_\theta \quad (5.12)$$

Eş. 5.12'de bazı parametreler sadeleştirilebilir. İlgili parametrelerden kanatçık referans açısı girişine bağlı değerler olan $\dot{\theta}_d$ ve $\ddot{\theta}_d$ değerleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\theta_d = K_s t \quad (5.13)$$

Sonrasında ilgili kanatçık referans açısı girişinin birinci ve ikinci türevleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{\theta}_d = K_s \quad (5.14)$$

$$\ddot{\theta}_d = 0 \quad (5.15)$$

Eş. 5.14 ve 5.15'te bulunan ifadeler Eş. 5.12'de yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilmiş olur.

$$-k|s|^\alpha \text{sgn}(s) = c_1(K_s - \dot{\theta}_f) + \left(0 - \left(\frac{K_t}{J_m K_g} I_m - \frac{T_f}{J_m K_g}\right)\right) + c_2 e_\theta \quad (5.16)$$

Sonuç olarak motor armatür akım girdi sinyali parametresi yalnız bırakılırsa aşağıdaki denetleyici girdi sinyali olan ifade elde edilir.

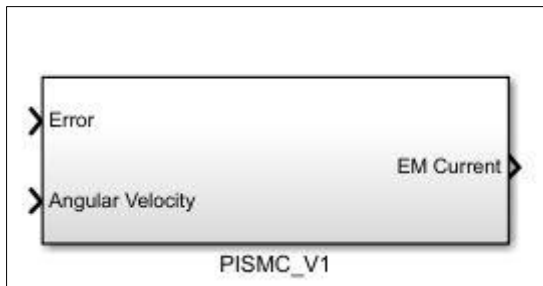
$$I_m = \frac{J_m K_g}{K_t} \left(k|s|^\alpha \text{sgn}(s) + c_1 K_s + \frac{T_f}{J_m K_g} + c_2 e_\theta - c_1 \dot{\theta}_f \right) \quad (5.17)$$

İlgili anahtarlama fonksiyonu ise $\tanh(s)$ fonksiyonu ile değiştirildiğinde denetleyici girdi sinyalinin son hali de aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

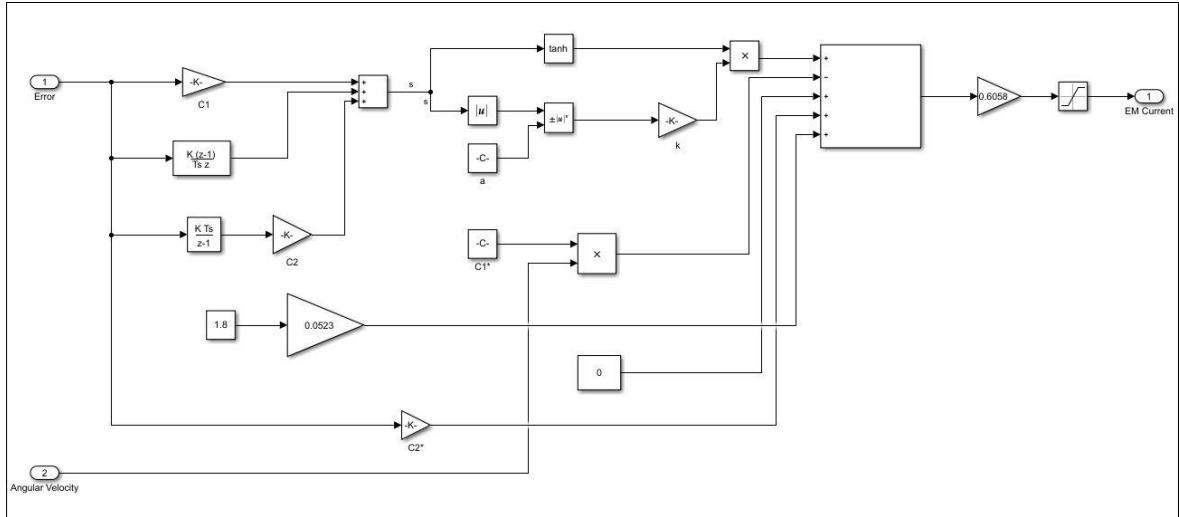
$$I_m = \frac{J_m K_g}{K_t} \left(k|s|^\alpha \tanh(s) + c_1 K_s + \frac{T_f}{J_m K_g} + c_2 e_\theta - c_1 \dot{\theta}_f \right) \quad (5.18)$$

Sonrasında ise PID denetleyicide kullanılan kazanç katsayıları ilgili kayma manifoldu için de kullanılmıştır. İlgili PI-KKD'de kullanılan kazanç katsayıları ise EK-3 Çizelge 3. 4.'te verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan PI-KKD yapısı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

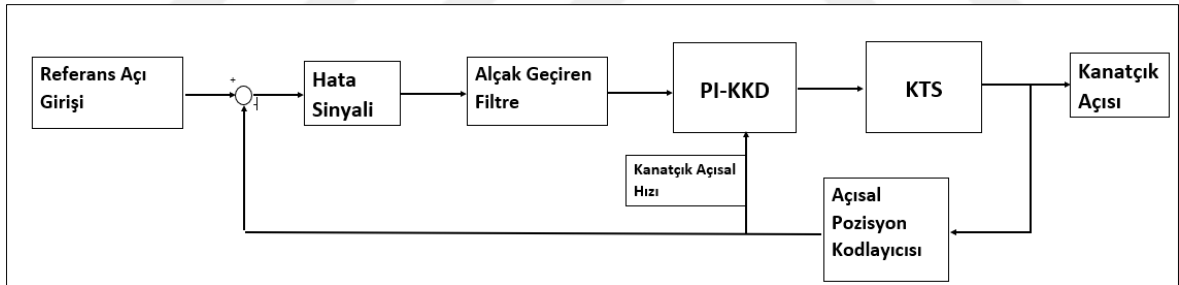


Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD bloğu



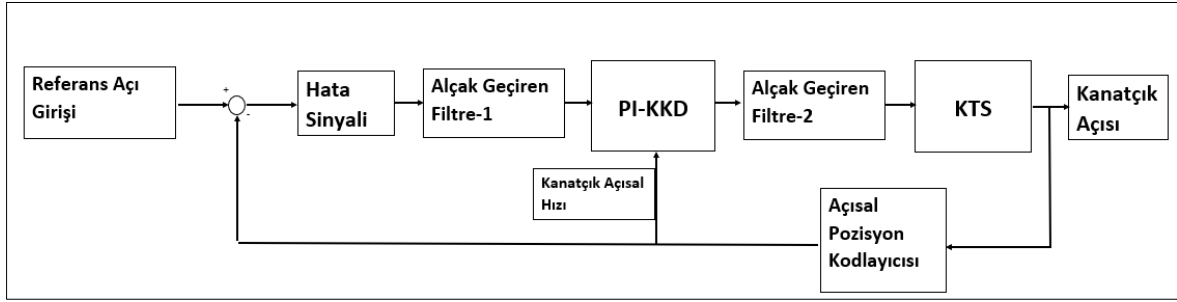
Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD yapısı

Deneysel çalışmalar sırasında tasarlanan PI-KKD için birtakım iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak denetleyici önünde hata sinyalini filtreleyen bir alçak geçiren filtre kullanılmıştır. İlgili filtrenin filtreleme frekansı 400Hz olarak belirlenmiştir. İlgili denetleyici yapısı aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



Şekil 5.3. Hata sinyalini filtreleyen alçak geçiren filtre eklenmiş sistem

Daha sonrasında ise sistem cevabına bakıldığında filtre kullanmadan önceki gibi çıktırı denilen bir durum gözlenmiş ve çıktırının denetleyiciden sonra KTS'ye gelen sinyal içerisinde bulunan yüksek frekanslı gürültüden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Çıdırının giderilmesi içinse yapılan literatür çalışmasından öğrenildiği üzere denetleyiciden çıkan sinyalin tekrar bir alçak geçiren filtre ile iyileştirilmesi önerilmiştir [28]. Yapılan çalışmada kullanılan ikinci alçak geçiren filtrenin filtreleme frekansı 0.5Hz olarak belirlenmiştir. Böylece aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bir denetleyici yapısı elde edilmiştir. İlgili filtrenin Bode Diyagramı EK-9'da verilmiştir.



Şekil 5.4. Hata sinyalini ve denetleyici çıkış sinyalini filtreleyen alçak geçiren filtreler eklenmiş sistem

5.3.2. Yüksüz yapılan deneysel çalışma yöntemi

Deneysel çalışma yapılmadan önce kullanılan donanım birimleri Resim 5.1 de olduğu gibi elektriksel bağlantıları yapılarak çalışmaya hazır duruma getirilir. Yapılan çalışmada ilk olarak çalışma, yüksüz yapılacağı için aerodinamik yük benzetim düzeneği kullanılmayacaktır. Sonrasında iki ayrı motor denetleyici kartına PID denetleyici ve PI-KKD içeren denetleyici yazılımları bilgisayarda MATLAB/SIMULINK ortamında hazırlanıp motor denetleyici kartı programlama yazılımı ile derlenip kartlara güç verildikten sonra bir emülatör kullanılarak ayrı ayrı yüklenir ve çalışır hale getirilir. Sonrasında ilk olarak PID denetleyici ile hazırlanmış motor denetleyici kartı, motor sürücü kartına takılır ve sistem çalışmaya hazır hale getirilir. Sisteme güç verildikten sonra bilgisayarda KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı açılarak ilgili kanatçığa ait olan solenoid açılıp kanatçık serbest bırakılır. Sonrasında ise ilgili kanatçığa ait motor aktive edilir ve kanatçık önce 2° ye ve sonrasında ise 3° , 4° , 5° ve 7° ye tek tek sürülüp her seferinde kayıtlar alınır ve arayüz yazılımı motorlar deaktive edilip kapatılır ve kanatçık kilitlenir. Daha sonrasında ise sistemdeki güç kesilir ve motor denetleyici kartı değiştirilip PI-KKD yüklü olan kart takılarak sisteme güç verildikten sonra tekrar bilgisayarda KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı açılarak ilgili kanatçığa ait olan solenoid açılıp kanatçık serbest bırakılır. Sonrasında ise ilgili kanatçığa ait motor aktive edilir ve kanatçık önce 2° ye ve sonrasında ise 3° , 4° , 5° ve 7° ye tek tek sürülüp her seferinde kayıtlar alınır ve arayüz yazılımı motorlar deaktive edilip kapatılır ve kanatçık kilitlenir.

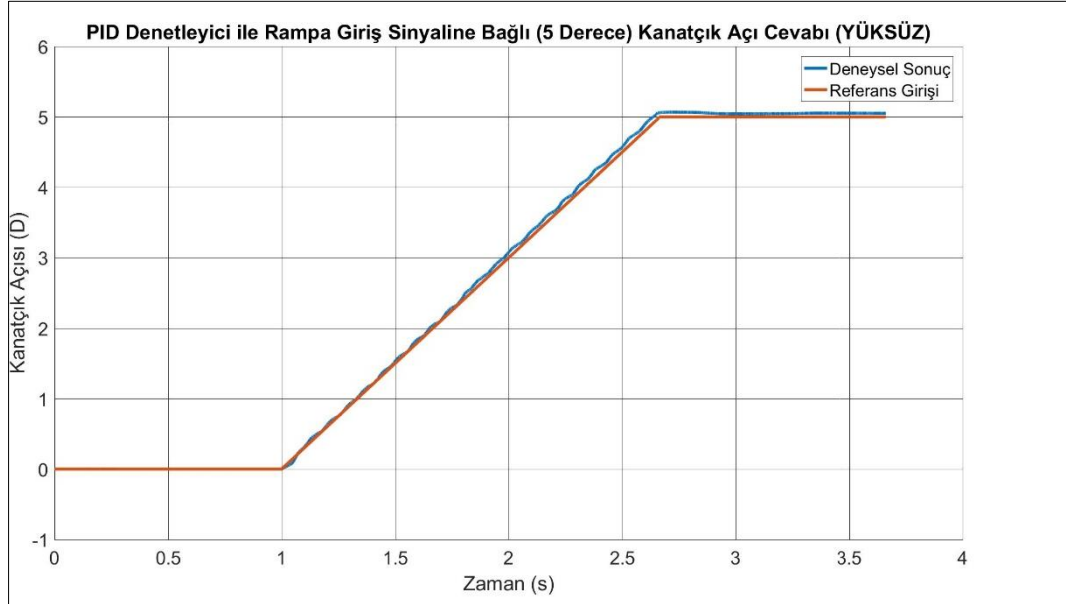
5.3.3. Yüklü yapılan deneysel çalışma yöntemi

Deneysel çalışma yapılmadan önce kullanılan donanım birimleri Resim 5.1’de olduğu gibi elektriksel bağlantıları yapılarak çalışmaya hazır hale getirilir. Sonrasında iki ayrı motor denetleyici kartına PID denetleyici ve PI-KKD içeren yazılımlar bilgisayarda MATLAB/SIMULINK ortamında hazırlanıp motor denetleyici kartı programlama yazılımı ile derlenip kartlara güç verildikten sonra bir emülatör kullanılarak ayrı ayrı yüklenir ve çalışır hale getirilir. Sonrasında KTS, aerodinamik yük benzetim düzeneğine bağlanır ve PID denetleyici içeren motor denetleyici kartı, motor sürücü kartına takılıp sistem çalışmaya hazır hale getirilir. Sisteme güç verildikten sonra bilgisayarda KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı açılır ve ilgili kanatçığa ait solenoid açılarak kanatçık serbest bırakılır. Sonrasında ise kanatçık, aerodinamik yük benzetim düzeneğinin kanatçık bağlantı plakalarına sıkıştırılarak aerodinamik yük etkisi kanatçığa aktarılacak hale getirilir. Sonrasında ise kanatçık sırayla önce 2° ye ve sonrasında ise 3° , 4° , 5° ve 7° ye tek tek sürülüp her seferinde kayıtlar alınır ve arayüz yazılımı motorlar deaktive edilip kapatılır. En sonunda ise kanatçık kapatılıp kilitlenir. Daha sonra ise sistemdeki güç kesilir ve motor denetleyici kartı değiştirilip PI-KKD yüklü olan kart takılarak sisteme güç verilir. Sonrasında ise tekrar KTS kanatçık denetim ve veri kaydı arayüz yazılımı açılır ve ilgili kanatçığa ait solenoid açılarak kanatçık serbest bırakılır. Sonrasında ise kanatçık tekrar aerodinamik yük benzetim düzeneğinin kanatçık bağlantı plakalarına sıkıştırılarak aerodinamik yük etkisi kanatçığa aktarılacak hale getirilir. Daha sonra ise kanatçık önce 2° ye ve sonrasında ise 3° , 4° , 5° ve 7° ye tek tek sürülüp her seferinde kayıtlar alınır ve arayüz yazılımı motorlar deaktive edilip kapatılır. En sonunda is kanatçık kapatılıp kilitlenir.

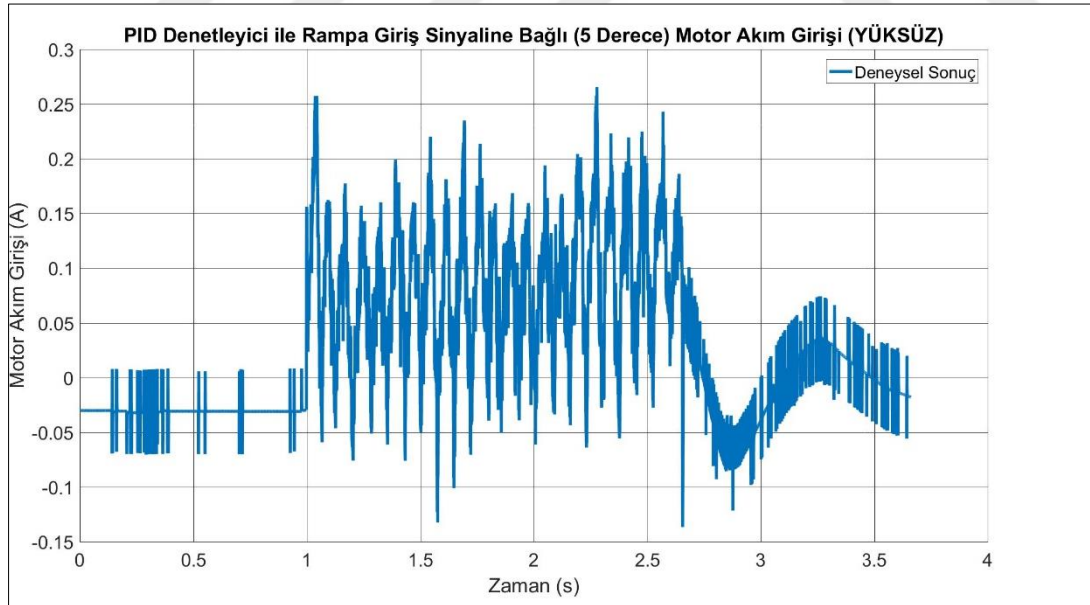
5.4. Deney Sonuçları

Deney sonuçları sırasıyla PID denetleyici için yüksüz ve yüklü testler, sonrasında PI-KKD için öncelikle alçak geçiren filtre ve oran limitleyicinin olmadığı test, PI-KKD’nin önünde alçak geçiren filtrenin olduğu ama oran limitleyicinin olmadığı test, PI-KKD’nin önünde ve arkasında alçak geçiren filtrenin olduğu ama oran limitleyicinin olmadığı test ve son olarak da PI-KKD için denetleyicinin hem önünde hem de arkasında alçak geçiren filtrenin olduğu ve aynı zamanda oran limitleyicinin kullanıldığı denetleyici yapısı varken yapılan yüksüz ve yüklü testlerin sonuçlarından oluşmaktadır.

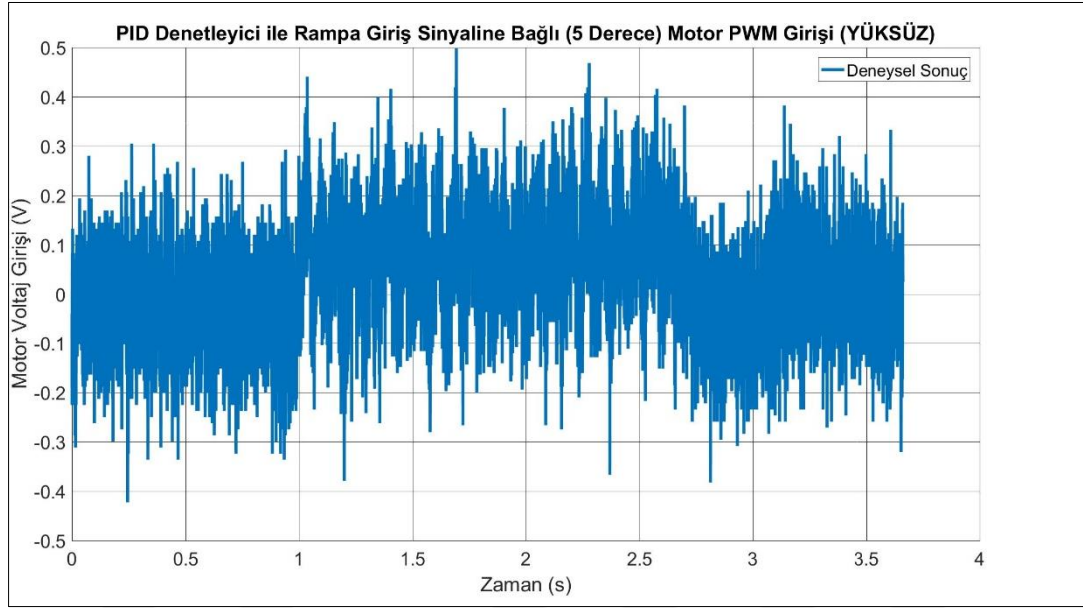
İlk olarak PID denetleyici ile yapılan yüksüz ve yüklü test sonuçları sırasıyla sadece 5° için verilmiştir. Diğer açılar için elde edilen sonuçlar ise EK-11’de verilmiştir.



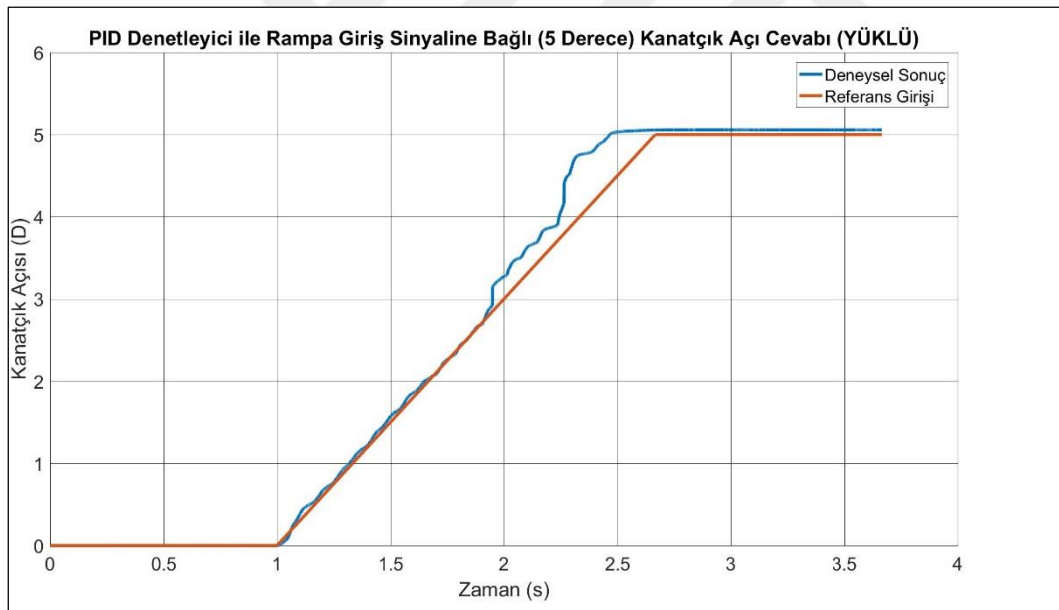
Şekil 5.5. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)



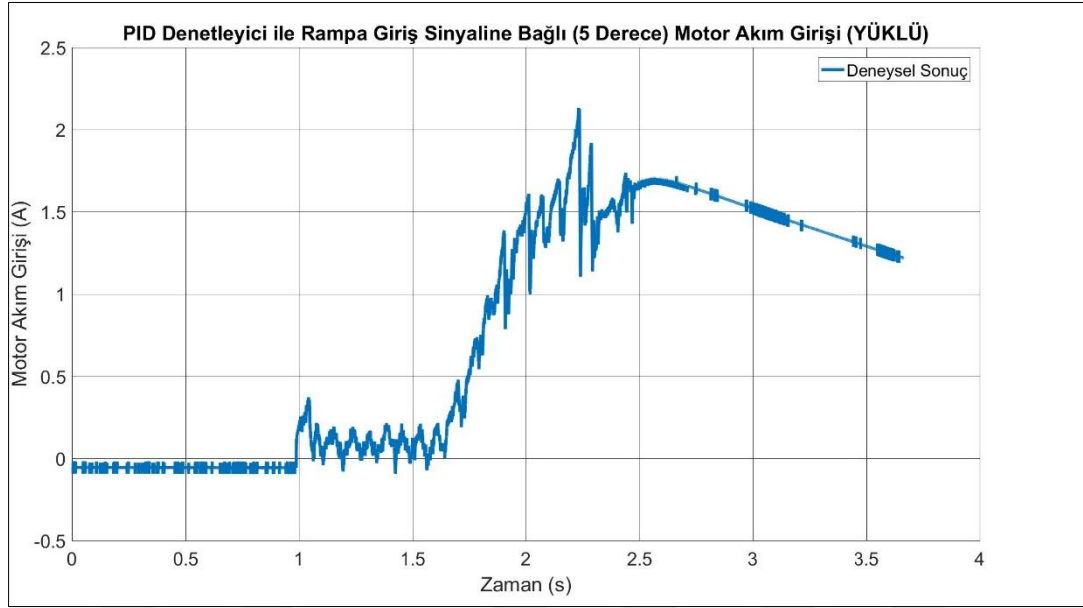
Şekil 5.6. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)



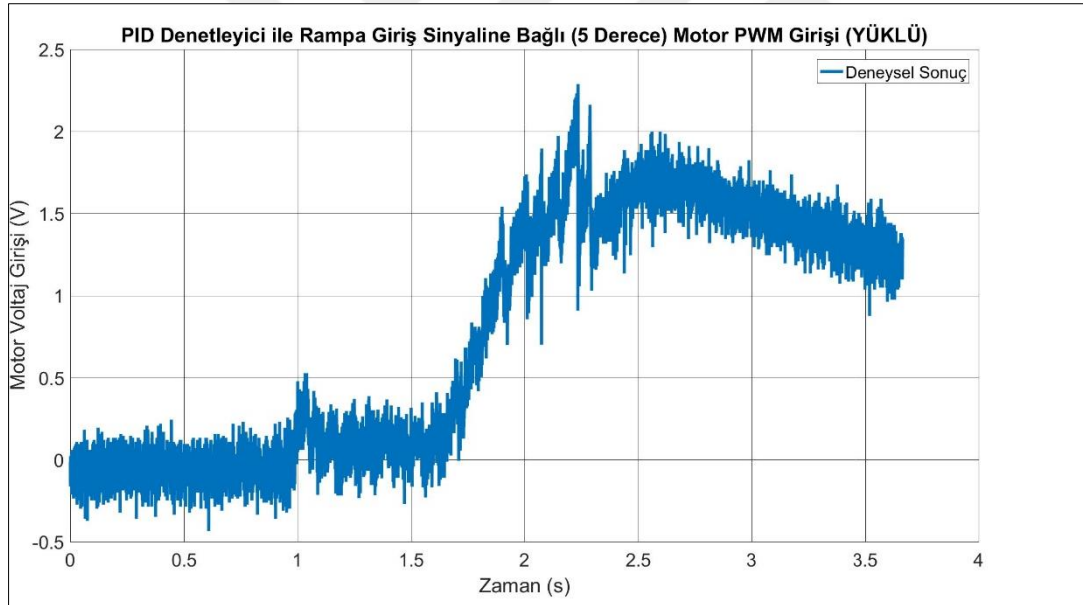
Şekil 5.7. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)



Şekil 5.8. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

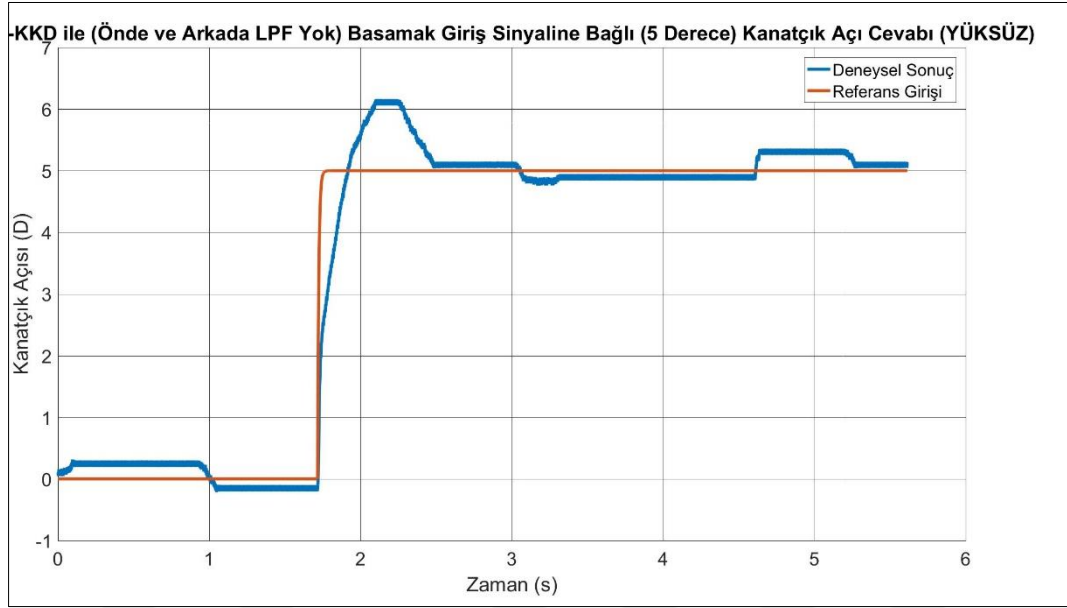


Şekil 5.9. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yükli)

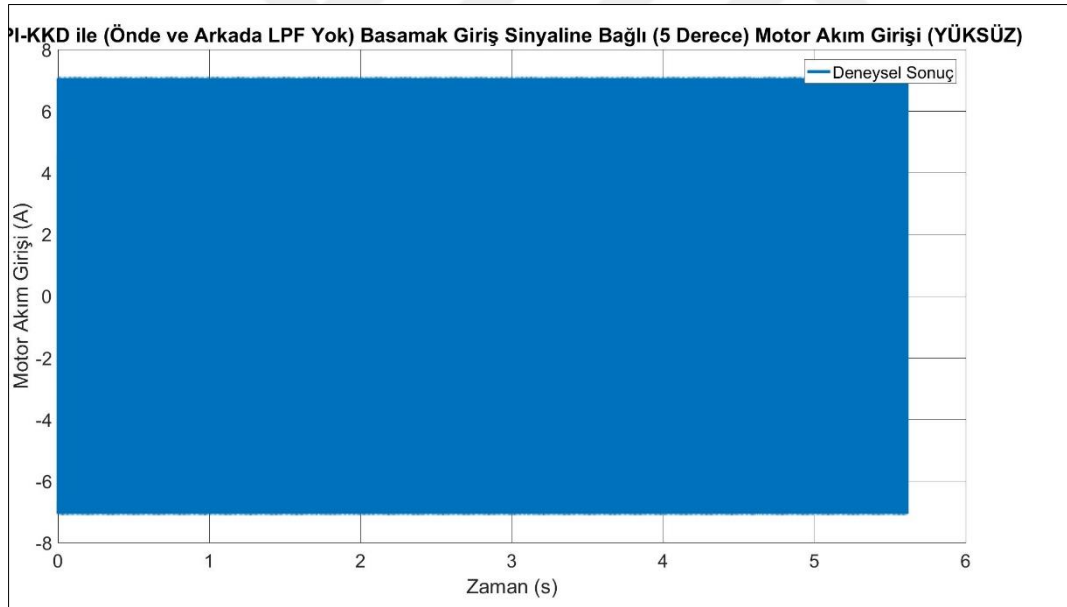


Şekil 5.10. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yükli)

Elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı üzere PID denetleyici verilen referans açığa yaklaşık $3^\circ/\text{s}$ lik bir oran limitleyici kullanılarak ulaşmıştır. Sonrasında ise PI-KKD denetleyicinin sırasıyla birtakım tasarımsal aşamalardan geçerek son halini alana kadar yapılan deneysel çalışmalar aşağıda verilmiştir.

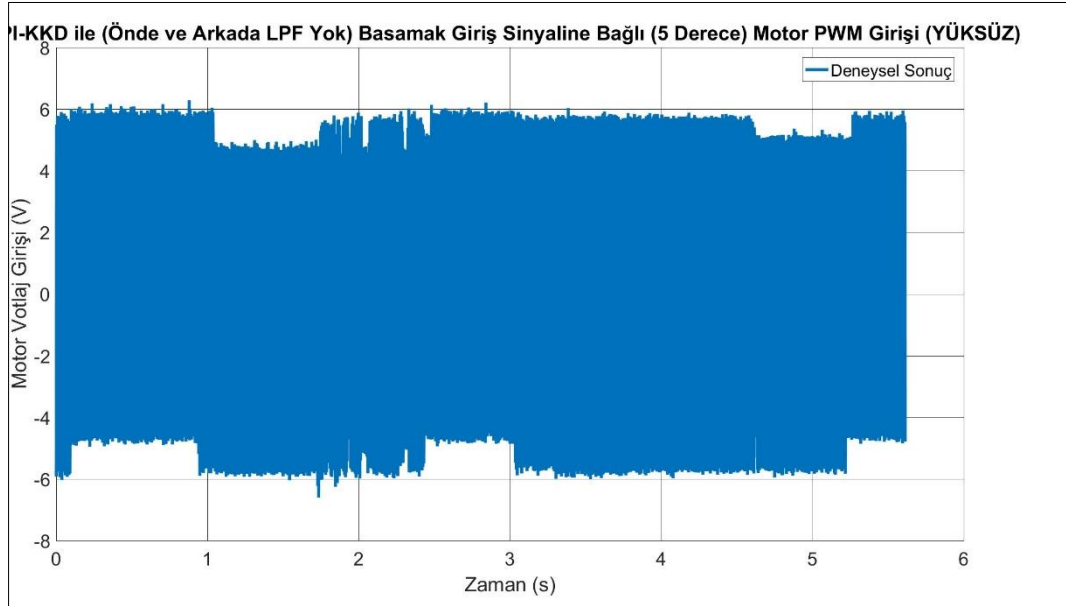


Şekil 5.11. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

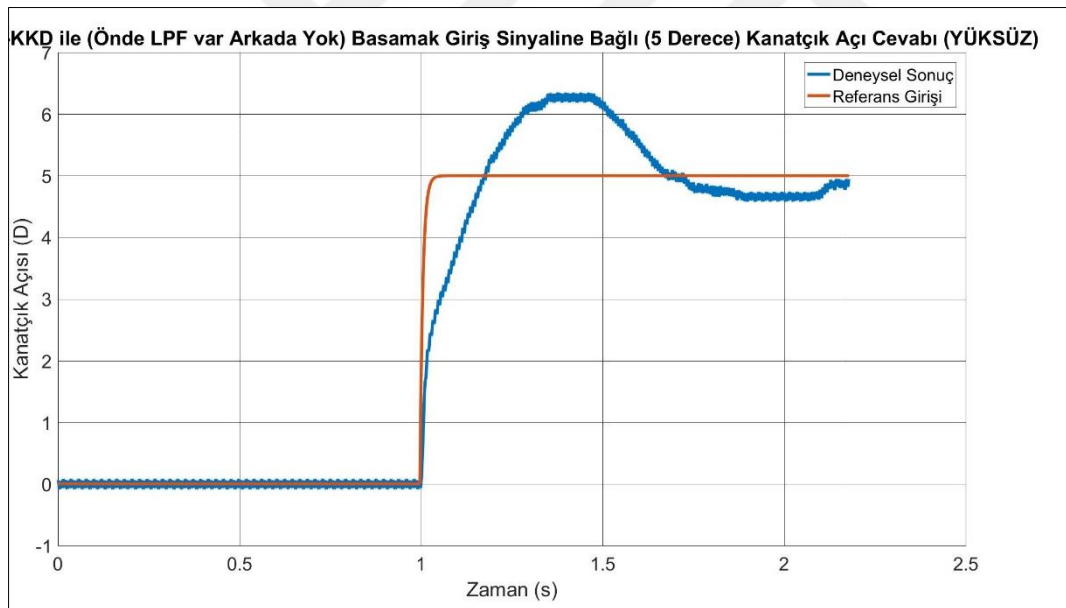


Şekil 5.12. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi çıtırırtı problemi sebebiyle PI-KKD doyuma ulaşmıştır.

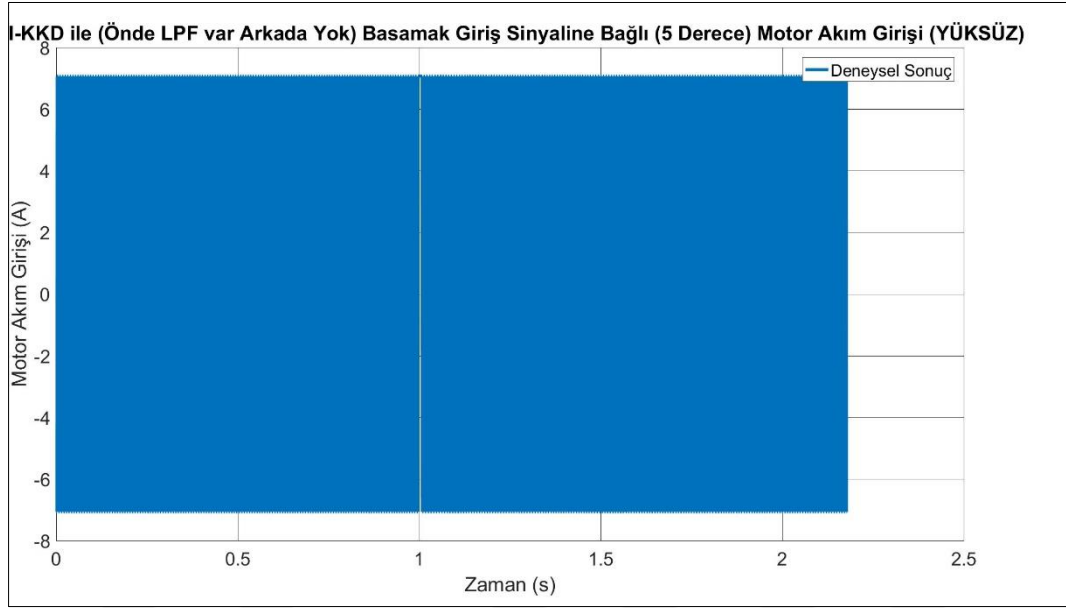


Şekil 5.13. PI-KKD ile (önde ve arkada LPF yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)

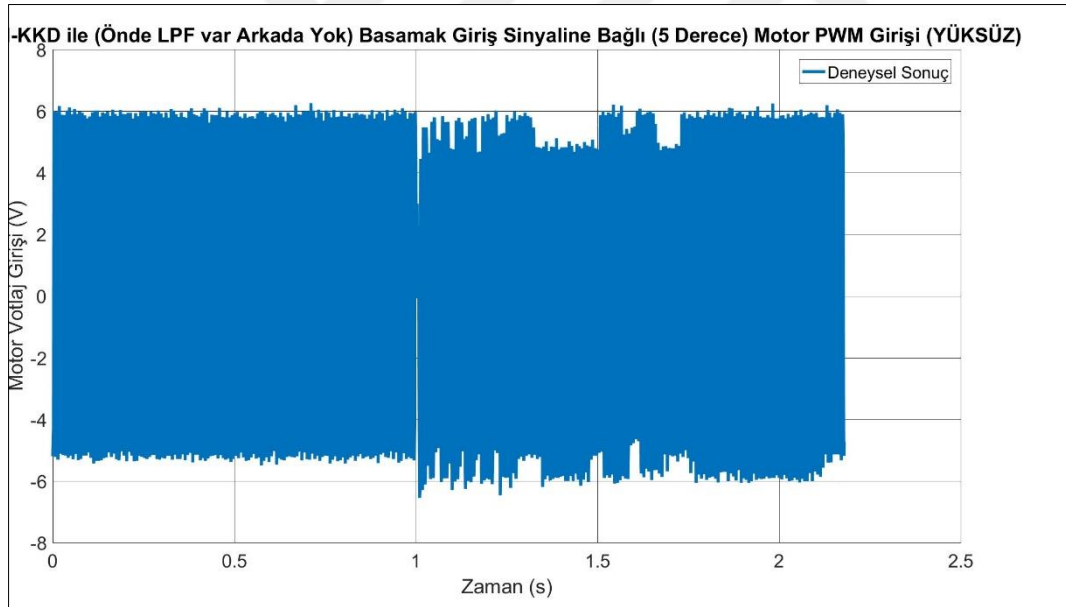


Şekil 5.14. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

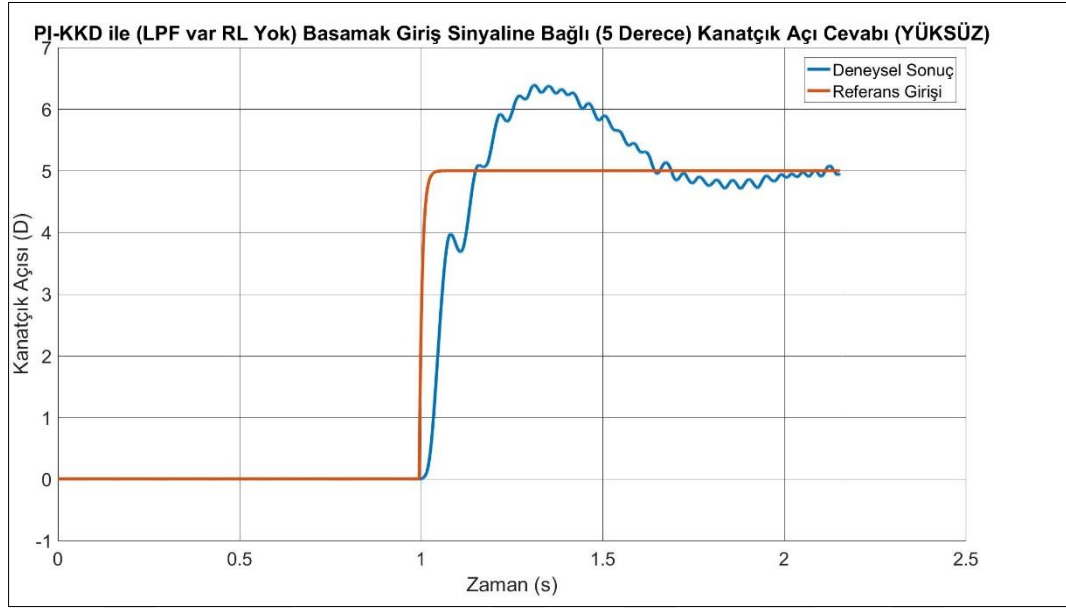
Şekil 5.14'te görüldüğü üzere çıtırıtı problemi devam etmektedir.



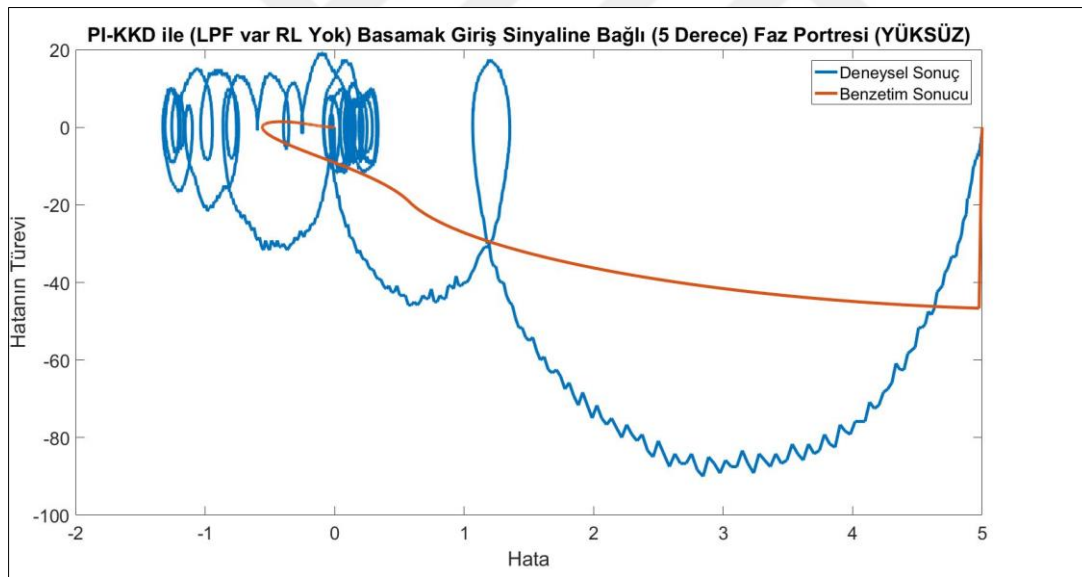
Şekil 5.15. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)



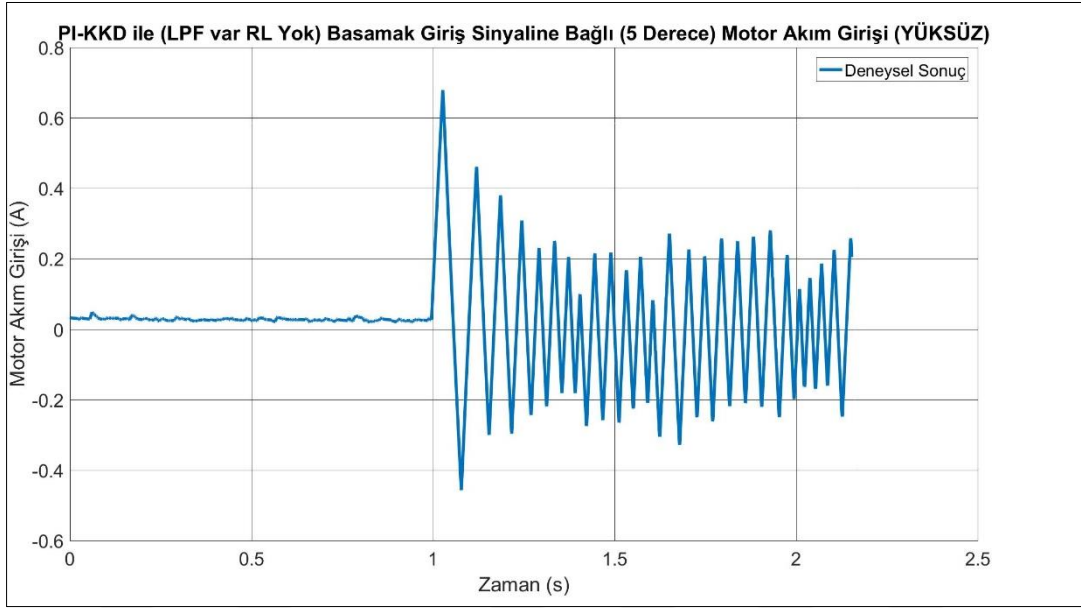
Şekil 5.16. PI-KKD ile (önde LPF var arkada yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)



Şekil 5.17. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

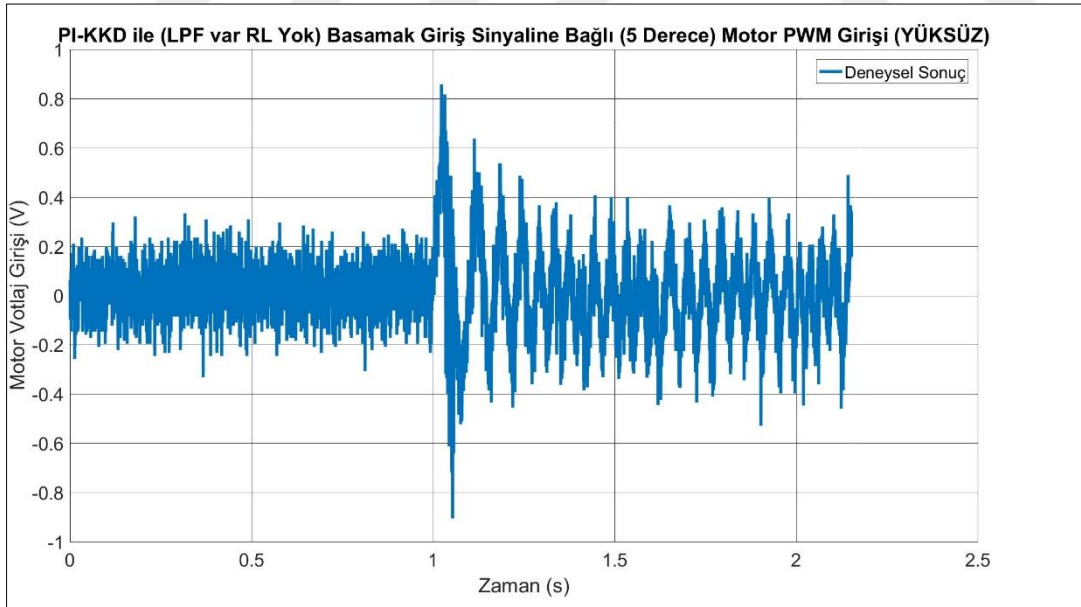


Şekil 5.18. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) faz portresi (yüksüz)

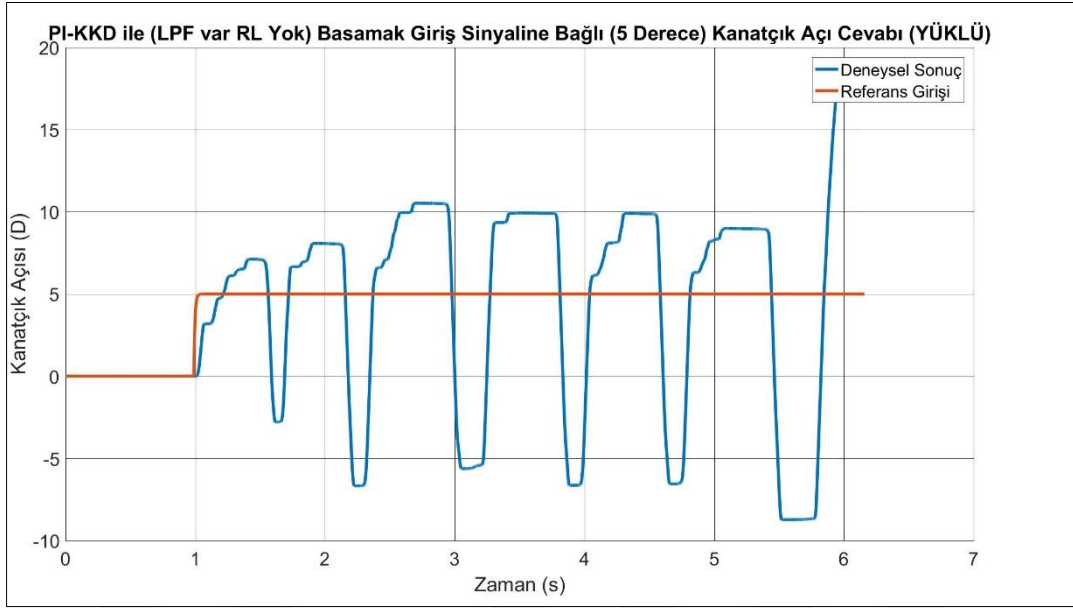


Şekil 5.19. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)

Şekil 5.19’da görüldüğü üzere PI-KKD bloğu arkasına eklenen alçak geçiren filtre ile çıkırtı problemi büyük ölçüde baskılanmıştır [28].

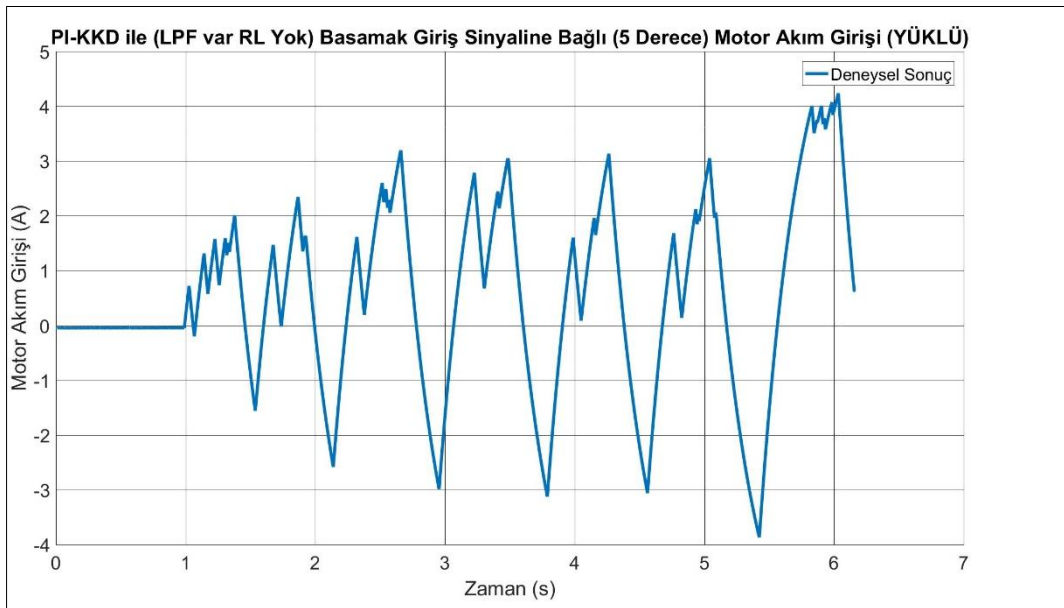


Şekil 5.20. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)

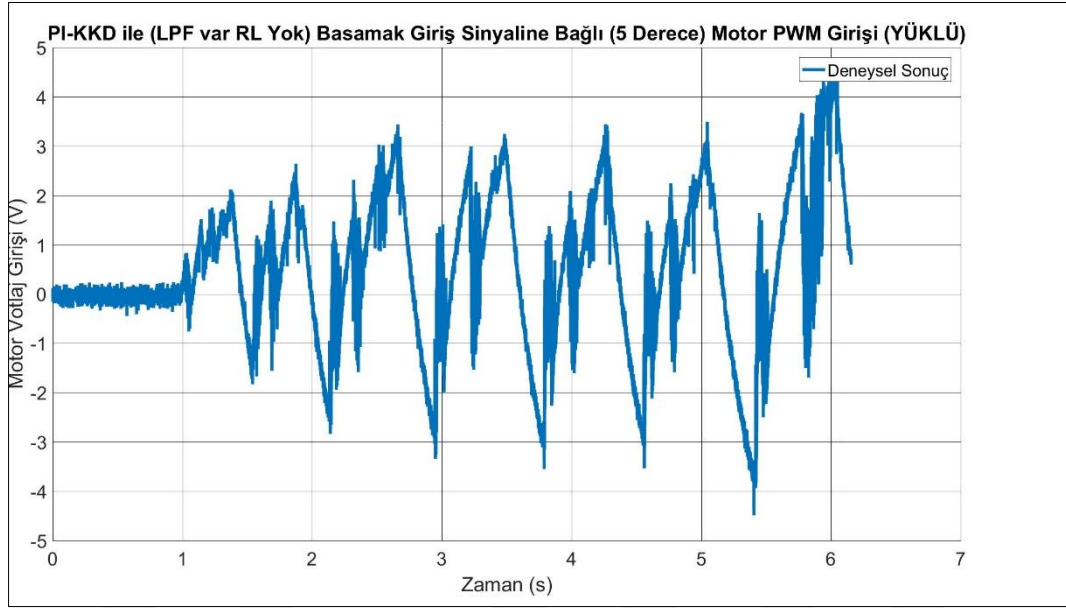


Şekil 5.21. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

Yapılan çalışmada Şekil 5.21’de görüldüğü üzere oran limitleyici kullanılmadığı zaman denetleyicinin hatayı kapatabilmek için ani olarak çok yüksek motor torkları verdiği görülmüş ve dolayısıyla da denetleyici kanatçığının açısı cevabında yüksek genlikte salınımların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir.

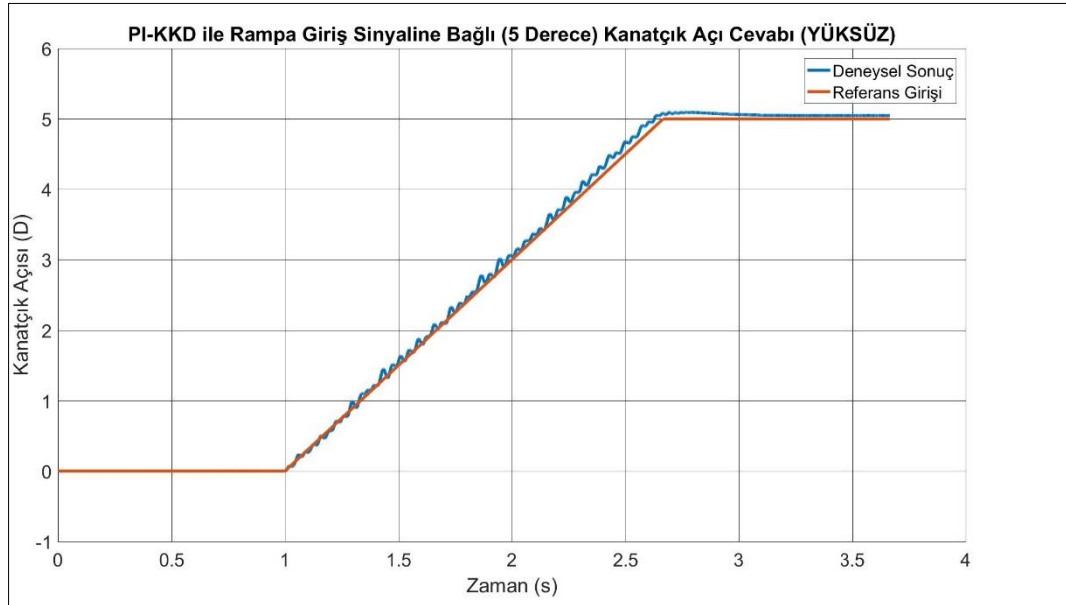


Şekil 5.22. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yükli)

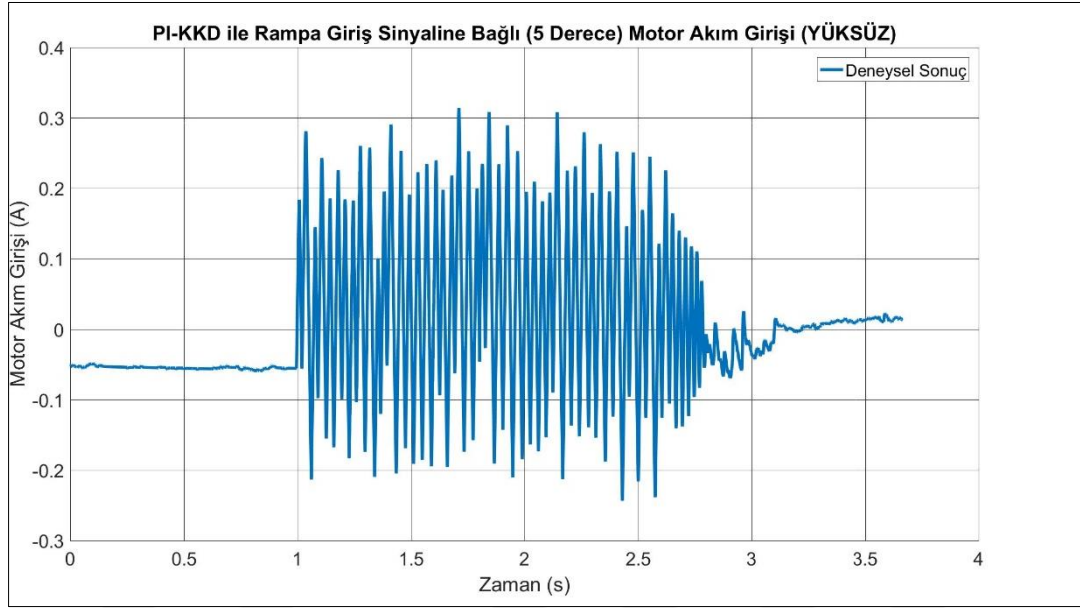


Şekil 5.23. PI-KKD ile (LPF var RL yok) basamak giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüklü)

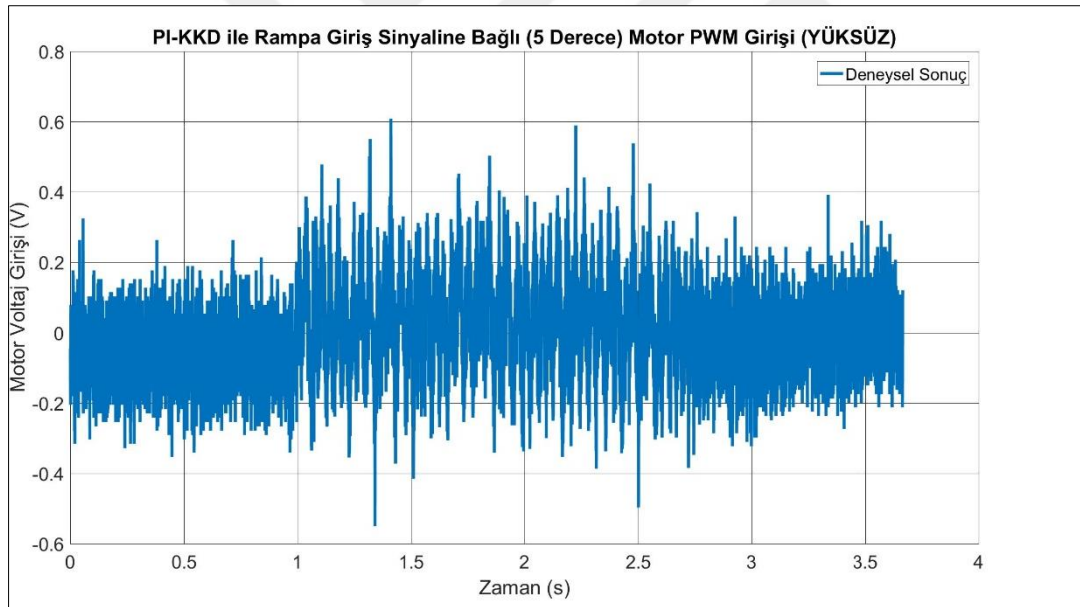
Sonraki deney sonuçlarında PI-KKD’de hem oran limitleyici hem de denetleyici önünde ve arkasında alçak geçiren filtre kullanılmıştır. Böylece denetleyici referans açığa yük altında erişmiştir.



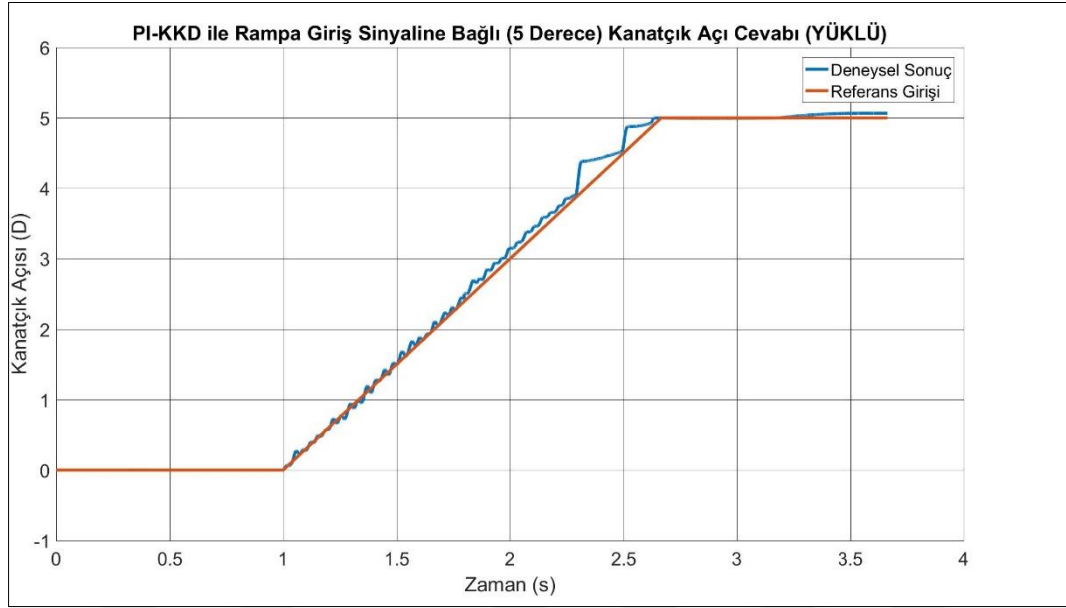
Şekil 5.24. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)



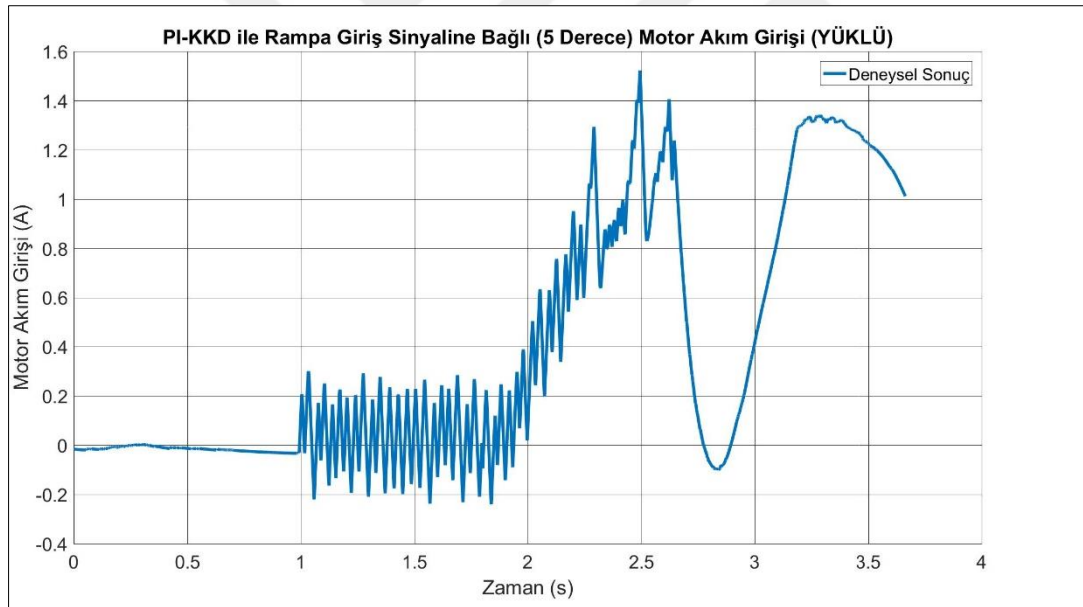
Şekil 5.25. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yüksüz)



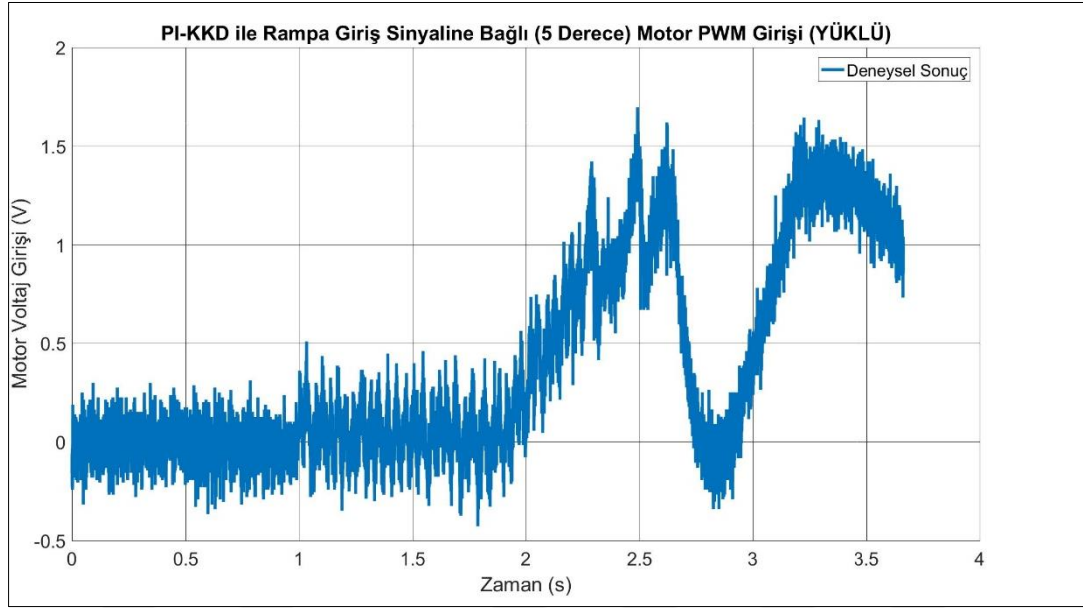
Şekil 5.26. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yüksüz)



Şekil 5.27. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)



Şekil 5.28. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor akım girişi (yükli)



Şekil 5.29. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (5 derece) motor pwm girişi (yükli)



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada akıllı bir mühimmatın KTS biriminin bir kanadının daha önceden modellenmiş bir aerodinamik yük altında çalışırken açısal pozisyon denetimi gerçekleştirilmiştir. Böylece ilgili denetim sistemi mühimmattaki kanatçıklarda kullanılarak mühimmatın hedeflenen yörünge içinde kalması sağlanmakta ve mühimmatın güdümü gerçekleşmektedir.

Tez çalışmasının başında bir literatür araştırması yapılmış ve KTS için daha önceden kullanılmış denetim sistemleri ve KTS türleri incelenmiştir. İncelenen denetim sistemi türleri içerisinde KTS'nin çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda doğrusal olmayan bir aerodinamik yük modeli için en iyi seçimin gürbüz bir denetleyici olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmada amaç, sistemin hangi durum içerisinde bulunursa bulunsun sistemi kararlı bir duruma sokarak hedeflenen açısal pozisyona ulaşmasını sağlamaktır. Dolayısıyla sistemin matematik modelinde kullanılan yapışkan sürtünme katsayısı, atalet momenti ve burulma sertliği katsayısı gibi parametrelerin gerçek sistemle arasında bulunan farklılık ve aerodinamik yük modelinin doğrusal olmayan yapısı gibi etkenler gürbüz bir denetleyicinin seçimi için gerekli olan nedenlerdir. Yapılan literatür çalışmasında da genetik algoritmasına göre çalışan doğrusal olmayan PID denetleyici, H_∞ denetleyici ve KKD gibi doğrusal olmayan yapıdaki denetleyicilerin yoğunluklu olarak tercih edildiği görülmüştür.

İlk aşama olan literatür araştırmasından sonra sistemin matematik modeli çıkartılmıştır. Yapılan modellemede KTS'nin motorunun rotoru üzerinde bir hareket denklemi yazılmış ve ilgili motorun teknik veri dokümanından motorun rotor atalet momenti, rotordaki ve rotorun bağlı olduğu dişli kutusu içindeki sürtünme torku değeri ve motor tork katsayısı gibi değerler kullanılarak matematik modeli elde edilmiştir. Yapılan çalışmada amaç motorun rotoru üzerinde açısal pozisyon denetimi yaparak hassasiyeti arttırmak ve motorun teknik veri dokümanında bulunan parametreleri kullanarak daha doğru bir modelleme yapmaktır. Sonrasında ise sistemdeki yapışkan sürtünme torku değeri, KTS biriminin teknik veri dokümanından elde edilmiştir. Son olarak da kanatçığın bağlı olduğu şaftın burulma sertliği değeri de elle yapılan bir hesapla kestirilmeye çalışılmıştır. Tüm matematiksel modelleme çalışmaları sonunda ikinci aşama tamamlanmış ve sistemin matematiksel modeli, denetleyici tasarımlarına başlamak için matematiksel modelleme ve benzetim programı olan

MATLAB/SIMULINK programına aktarılmıştır. Ayrıca hazır olarak alınan aerodinamik yük modeli de MATLAB/SIMULINK modeline eklenmiştir.

Üçüncü aşamada ise elde edilen matematik modeller kullanılarak denetleyicilerin tasarımı yapılmıştır. İlk olarak klasik bir denetleyici olan PID denetleyici kullanılmıştır. Yapılan çalışmada KTS'nin kanatçığına ait olan sistemin giriş ve çıkış parametreleri arasında bir kapalı çevrim transfer fonksiyonu elde edilmiştir. İlgili transfer fonksiyonu ayrıca üçüncü dereceden bir Butterworth Polinomu kullanılarak elde edilen PID denetleyici katsayıları ile birlikte elde edilen PID denetleyici transfer fonksiyonunu da içermektedir. Tasarlanan sistemin kök yer eğrisi çizildiğinde sistemin kararlı bir yapıda olduğu görülmüştür. Böylece PID denetleyici de tasarlanmıştır. Sonrasında ise PI-KKD tasarımı yapılmıştır. Yapılan denetleyici tasarımında KTS'nin motorunun rotoru üzerinde bir hareket denklemi yazılmıştır. Sonrasında ise PI denetleyici formatında belirlenen bir kayma manifoldu ve güç oranlı erişme kuralının seçilmesi ile bir denetleyici çıktı sinyali fonksiyonu elde edilmiştir. Böylece denetleyiciler tasarlanmıştır. Sonrasında tasarlanan denetleyiciler MATLAB/SIMULINK ortamında denenmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında farklı aerodinamik yükler altında PID denetleyicinin referans açığına ulaşmada PI-KKD kadar iyi bir performansa sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Şöyle ki, PI-KKD referans açığına daha düşük bir hedef aşım oranı ve daha düşük bir erişme zamanı ile ulaşmıştır.

Dördüncü aşamada ise yapılan benzetim çalışmaları, deneysel çalışmalar ile test edilmiştir. Deneysel çalışmalarda sistemler rampa giriş sinyali ile test edilmiştir. Rampa giriş sinyalinin kullanılma sebebi aerodinamik yük altında denetleyicilerin hedef aşımı yapmasıdır. İlk olarak PID denetleyici kullanılan sistemde yüksüz durumlarda denetleyicinin verilen rampa giriş sinyalini iyi bir şekilde takip ettiği ve referans açığına sifıra yakın bir kalıcı hata ile ulaştığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde PI-KKD ile yüksüz durumda yapılan testlerde PI-KKD'nin de verilen rampa giriş sinyalini iyi bir şekilde takip ettiği ve verilen referans açığına sifıra yakın bir kalıcı hata ile ulaştığı görülmüştür. Ancak yüklü durumlarda PI-KKD'nin rampa giriş sinyalini 5°'ye kadar iyi bir şekilde takip ettiği ve referans açığına sifıra yakın bir kalıcı hata ile ulaştığı görülmüştür. Ancak PID denetleyici 4° ve yukarıdaki durumlarda belirli bir hedef aşımı yapmaya başlamıştır. Benzer durum PI-KKD için de gözlemlenmiştir. PI-KKD'de de 7°'den sonra yüklü durumlarda hedef aşımı gözlemlenmiştir. Hedef aşımının engellenmesinde önemli olan nokta kullanılan oran limitleyicidir. Oran limitleyici

denetleyici sistemine basamak giriş sinyalini zamana bağlı bir oranla rampa giriş sinyali şeklinde vermekte ve böylece denetleyicinin hatayı fazla büyümeden kapatmasını sağlamaktadır.

Ayrıca PI-KKD tasarımı yapıldığında açısal pozisyonundan gelen gürültülü sinyallerin bastırılması için alçak geçiren filtreler kullanılmıştır. Özellikle denetleyici çıkışında kullanılan alçak geçiren filtre PI-KKD'nin karakteristik bir özelliği olan çıtırtı probleminin giderilmesinde büyük rol oynamıştır. Çıtırtının giderilmesinin önemi Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'teki PI-KKD'nin 5° giriş sinyali için ürettiği sistem cevabı ve motor akım giriş sinyalinde görülmektedir ki daha sonrasında alçak geçiren filtre uygulandığında Şekil 5.17 ve Şekil 5.19'da ilgili çıtırtı probleminin ortadan kalktığı gözlemlenmektedir. PI-KKD tasarlanırken motordaki sürtünme etkisi, denetleyici girdi sinyali içinde sıfır olarak alınıp sistemdeki sürtünmeden kaynaklanan parametrik belirsizliği kapatmak için denetleyici kazanç katsayıları değiştirilmiştir. Son olarak benzetim çalışmalarında kullanılan denetleyici katsayıları ise sistemdeki gürültünün geçirgenliğinin azaltılması için deneysel sistemde düşürülmüştür [44].



KAYNAKLAR

1. İnternet: Control Actuator Systems (CAS). URL: https://www.gd-ots.com/missiles-and-rockets/missile-components/control_actuator_systems/. Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
2. İnternet:Control Actuation Systems.URL:<https://marotta.com/control-actuation-systems/>. Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
3. İnternet:URL:<https://ph.parker.com/us/en/electromechanical-missile-control-actuation-systems-cas>. Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
4. Qiao, G., Liu, G., Shi, Z., Wang, Y., Ma, S. and Lim, T. C. (2017). A review of electromechanical actuators for More/All Electric aircraft systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 232(22), 4128-4151.
5. Yim, W., Singh, S. N. and Trabia, M. B. (2004). Adaptive control of projectile fin angle using piezoelectric beam actuator. *Smart Structures and Materials: Modeling, Signal Processing, and Control*, 5383(2004), 343–352.
6. Liu, J. and Wang, X. (2012). *Advanced sliding mode control for mechanical systems: Design, analysis and MATLAB simulation*. Beijing: Tsinghua University Press, 8,9.
7. Ristanović, M., Čojbašić, Ž and Lazić, D. (2012). Intelligent control of DC motor driven electromechanical fin actuator. *Control Engineering Practice*, 20(6), 610-617.
8. Çelik, T. (2014). *Dynamic Modelling and Control of a Hybrid Fin Actuation System For an Air-to-Air Missile*. M.Sc.thesis, METU Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
9. Daş, E. (2014). *Güdümlü Bir Mühimmat Kanatçık Tahrik Sistemi İçin İki Döngülü Kontrol Sistemi Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
10. Ölçer, T. U. (2013). *H₂/H_∞ Mixed Robust Controller Synthesis For A Fin Actuation System*. M.Sc.thesis, METU Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
11. Özkan, B. (2014). Control of an Electromechanical Control Actuation System Using a Fractional Order Proportional, Integral, and Derivative-Type Controller. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 4493-4498.
12. Merttopçuoğlu, A., Kahvecioğlu, A. and Çimen, T. (2007). Sdre Control Of The Control Actuation System Of A Guided Missile. *IFAC Proceedings Volumes*, 40(7), 774-779.
13. Yoo, C., Lee, Y. and Lee, S. (2004). *A robust controller for an electro-mechanical fin actuator*. Proceedings of the 2004 American Control Conference, Boston, MA, USA, 4010-4015.
14. Özkalın, M. U., Salamcı, M. U. and Özkan, B. (2014). Implementation of the Sliding Mode Control with Constant and Varying Sliding Surfaces to a Hydraulically-Actuated Fin Loading System. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 10920-10925.

15. Özakalın, M. U., Salamcı, M. U. and Özkan, B. (2010), *Control of a Hydraulically-Actuated Fin Loading System Using a Sliding Mode Controller* (in Turkish), Automatic Control Turkish National Committee, Automatic Control National Meeting-2010 (TOK'10), Gebze High Technology Institute, Kocaeli, Turkey.
16. Kakade, A., Kurode, S. and Sor, R. (2016). *Sliding mode control for the fin actuation mechanism*. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), Pune, India, 273-277.
17. Eker, I. (2006). Sliding mode control with PID sliding surface and experimental application to an electromechanical plant. *ISA Transactions*, 45(1), 109-118.
18. Das, A., Das, R., Mukhopadhyay, S. and Patra, A. (n.d.). *Sliding Mode controller along with Feedback Linearization for a Nonlinear Missile model*. 2006 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics, Harbin, China, 5-956.
19. Fallaha, C. J., Saad, M., Kanaan, H. Y. and Al-Haddad, K. (2011). Sliding-Mode Robot Control With Exponential Reaching Law. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(2), 600-610.
20. Tombul, G. S. (2016). *Real time control of a fin loading system*. 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC), High Tatras, Slovakia, 747-752.
21. Eker, I. (2010). Second-order sliding mode control with experimental application. *ISA Transactions*, 49(3), 394-405.
22. Laghrouche, S., Plestan, F. and Glumineau, A. (2007). Higher order sliding mode control based on integral sliding mode. *Automatica*, 43(3), 531-537.
23. Cagal, K., Salamci, M. U. and Cevik, F. (2020). *Proportional-Integral Sliding Mode Controller Design for a Fin Actuation Mechanism*, 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Istanbul, Turkey, 1-6.
24. İnternet: Frictional Torque and Temperature of rolling bearings: SPB-USA, LLC. (2020, June 01). URL: <https://www.ezo-usa.com/technical-info/frictional-torque-temperature/>. Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
25. Utkin, V. I. (1992). *Sliding modes in control and optimization*. Berlin: Springer-Verlag, 145,149.
26. İnternet: Olson, E. Aircraft Actuation Technologies: How do electrohydraulic , electrohydrostatic and electromechanical actuators work?. URL:<https://insights.globalspec.com/article/12930/aircraft-actuation-technologies-how-do-electrohydraulic-electrohydrostatic-and-electromechanical-actuators-work> ,Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
27. İnternet: Admin. DC motor SÜRÜCÜ Devresi: Elektrik rehberiniz. URL: <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/dc-motor-surucu-devresi-16235/> ,Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.

28. Xu, B., Li, J., Yang, Y., Wu, H., and Postolache, O. (2020). A novel sliding mode control with low-pass filter for nonlinear handling chain system in container ports. *Complexity*, 2020, 1-15.
29. Lin, C.-H. and Hsiao, F.-Y. (2020). Proportional-Integral Sliding Mode Control with an Application in the Balance Control of a Two-Wheel Vehicle System. *Applied Sciences*, 10(15), 5087.
30. Kada, B. (2011). Outer-loop sliding mode control approach to longitudinal autopilot missile design. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 11157-11164.
31. Khalil, H. K. (2002). *Nonlinear systems* (Third Edition). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 551,625.
32. İnternet: Waqar, A. Designing of IIR Filters Using MATLAB Techniques. URL: <http://docs.neu.edu.tr/library/6099417921.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
33. Slotine, J.-J. E. ve Li, W. (2005). *Applied nonlinear control* (First Edition). Taiwan, Pearson education, 1,459.
34. Shtessel, Y., Edwards, C., Fridman, L., and Levant, A. (2014). *Sliding mode control and observation*. Birkhäuser, 1,353.
35. Derbel, N., Ghommam, J. and Zhu, Q. (2018). *Applications Of Sliding Mode Control*, Switzerland, Springer International Publishing, 1,331.
36. Vaidyanathan, S. and Lien, C.H. (2018). *Applications of Sliding Mode Control in Science and Engineering*. Switzerland, Springer International Publishing, 1,451.
37. Edwards, C. and Spurgeon, S. K. (1998). *Sliding mode control: theory and applications*. New York, Taylor ve Francis, 1,233.
38. İnternet: Su, W.C., Sliding Mode Control with Industrial Applications. URL: <https://www.ece.rutgers.edu/~gajic/SlidingModeControl.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.07.2021.
39. Liu, J. (2017). *Sliding mode control using Matlab* (First Edition). Academic Press, 1,329.
40. Sabanovic, A., Fridman, L. and Spurgeon, S. K. (2004). *Variable structure systems: from principles to implementation* (First Edition). Institution of Electrical Engineers, 1,401.
41. İnternet: Nguyen, D.K. Sliding-mode control: advanced design techniques. URL: http://unitedthc.com/CTL/SMC_PhD_Thesis.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.07.2021
42. Bandyopadhyay, B., Deepak, F. and Kim, K. (2009). *Sliding mode control using novel sliding surfaces*. Berlin: Springer-Verlag, 1,95.
43. Gökbilen, B. (2006), *Sliding Mode Control of Nonlinear Systems Using a Time-Varying Linear Surface and Applications*, M.Sc. Thesis, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Türkiye.

44. Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. (Third Edition), New Jersey: Pearson, 1,987.





EK-1. Elektrik motoru için kullanılan katsayılar ve parametreler

KTS için yapılan benzetim çalışmalarında elektrik motoru modeli için kullanılan bazı sistem parametreleri için verilen sayısal değerler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 1.1. Elektrik motoru modeli için kullanılan bazı sistem parametreleri ve katsayılar için verilen sayısal değerler

Katsayı veya Parametre	Değer	Birim
R_m	2.0658	Ω
L_m	0.0003597	H
J_m	0.0363	Kgm^2
K_t	3.5948	Nm/A
K_b	5.5	Vs/rad
K_g	66	-
T_f	0.7139	Nm

EK-2. KTS burulma sertliği katsayısının bulunmasında kullanılan parametreler

KTS'nin kanatçık şaftının burulma sertliği değerin belirlenmesi ve böylece kanatçık şaftının rijit olarak kabul edilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Kanatçık şaftı model için rulman üzerinde oluşan yapışkan sürtünme kuvveti katsayısının bulunmasında kullanılan bazı katsayılar için verilen sayısal değerler

Katsayı	Değer	Birim
G	79.3	GPa
K	5.07×10^6	Nm/rad
d	15	mm

EK-3. PID denetleyici ve PI-KKD katsayıları ile karakteristik denklemin kökleri

Çizelge 3.1. Benzetim çalışmalarında kullanılan PID denetleyici katsayıları

Katsayı	Değer	Birim
K_p	38	-
K_i	60.3	-
K_d	6	-

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan PID denetleyici katsayıları

Katsayı	Değer	Birim
K_p	1.8	-
K_i	60.3	-
K_d	0.06	-

Çizelge 3.3. Benzetim çalışmalarında kullanılan PI-KKD katsayıları

Katsayı	Değer	Birim
c_1	10	-
c_2	60.3	-
k	0.1	-
a	0.958	-

Çizelge 3.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD katsayıları

Katsayı	Değer	Birim
c_1	1.8	-
c_2	60.3	-
k	10	-
a	1	-
K_s	0.05235	-

EK-3. (devam) PID denetleyici ve PI-KKD katsayıları ile karakteristik denklemin kökleri

Çizelge 3.5. Karakteristik denklem kökleri

Kök	Değer
s_1	$-3.4331 + 5.5282i$
s_2	$-3.4331 - 5.5282i$
s_3	-2.1366

EK-4. Aerodinamik yük benzetim düzeneği kanatçık açısına bağlı olarak aerodinamik yük değerleri

Çizelge 4.1. Aerodinamik yük benzetim düzeneği kanatçık açısı – aerodinamik yük değerleri

Açı(°)	Değer	Birim
3-9	2.2	Nm
6	2.2	Nm
9	3.3	Nm
12	4.4	Nm

EK-5. PID denetleyici tasarımında karakteristik denklemin köklerinin bulunması ve kök yer eğrisinin çizilmesinde kullanılan MATLAB kodu

```
clc;
clearvars;

% Sistem Parametreleri

Jm = 0.0363; % Dönen parçaların toplam atalet momenti
Kg = 66; % Dişli kutusu redüksiyon oranı
Kt = 3.5948; % Tork katsayısı

% PID Kontrolcü Katsayıları
Kp = 38;
Ki = 60.3;
Kd = 6;

%Karakteristik Denklemin Katsayıları
a = Jm*Kg;
b = Kd*Kt;
c = Kp*Kt;
d = Ki*Kt;

%Karakteristik Denklemin Kökleri
p = [a b c d];
rclose = roots(p);

%Sistemin Kök Yer Eğrisi
num = [Kd*Kt Kp*Kt Ki*Kt];
den = [Jm*Kg 0 0 0];

sys = tf(num,den);
rlocus(sys);
grid on;
```

EK-6. PID ve PI-KKD tasarımı çalışmalarında kullanılabilecek Butterworth Polinomları [32]

Çizelge 6.1. PID denetleyici ve PI-KKD tasarımı çalışmalarında kullanılabilecek Butterworth Polinomları

Mertebe	Polinom
1	$1 + \frac{s}{\omega_c}$
2	$1 + \sqrt{2} \frac{s}{\omega_c} + \left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2$
3	$\left(1 + \frac{s}{\omega_c}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_c} + \left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2\right)$
4	$\left(1 + 0.7654 \frac{s}{\omega_c} + \left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2\right) \left(1 + 1.848 \frac{s}{\omega_c} + \left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2\right)$

EK-7. Benzetim çalışmaları için PID denetleyici tasarımı ve KKD için kayma manifoldu tasarımında K_p , K_i ve K_d katsayılarını üçüncü dereceden bir Butterworth Polinomu kullanarak bulmak için kullanılan MATLAB kodu

```
clc;  
clear;
```

```
Jm = 0.0363; % Moment of inertia  
Kg = 66; % Gearbox Ratio  
Kt = 3.5948; % Torque Constant
```

```
f = 0.715; %Hz Desired Bandwidth of the system  
Wc = 2*pi*f; %rad/s desired bandwidth  
Ksi = 0.8; % Critical damping coefficient
```

```
Ki = ((Jm*Kg)/Kt)*(Wc^3);  
Kd = ((2*Ksi+1)/(Wc^2))*Ki;  
Kp = ((2*Ksi+1)/Wc)*Ki;
```

EK-8. Deneysel çalışmalar için PID denetleyici tasarımı ve KKD için kayma manifoldu tasarımı K_p , K_i ve K_d katsayılarını üçüncü dereceden bir butterworth polinomu kullanarak bulmak için kullanılan MATLAB kodu

```
clc;  
clear;
```

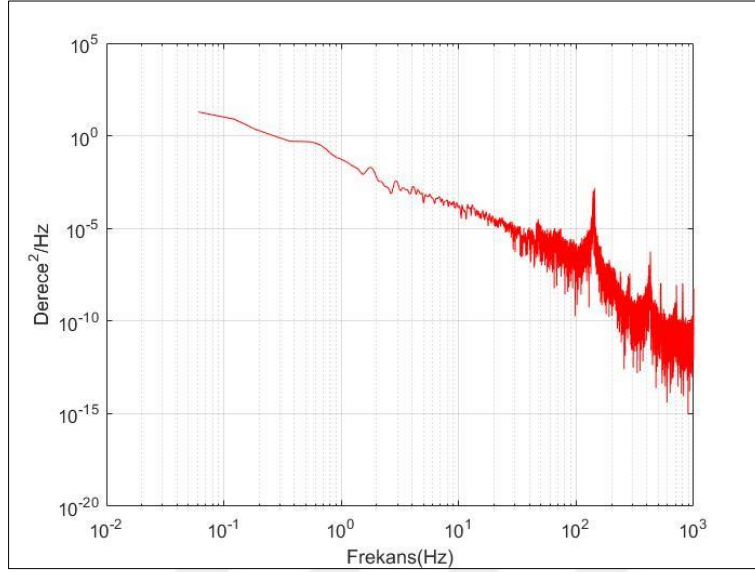
```
Jm = 0.033; % Moment of inertia  
Kg = 60; % Gearbox Ratio  
Kt = 3.268; % Torque Constant
```

```
f = 0.74; %Hz Desired Bandwidth of the system  
Wc = 2*pi*f; %rad/s desired bandwidth  
Ksi = 0.8; % Critical damping
```

```
Ki = ((Jm*Kg)/Kt)*(Wc^3);  
Kd = ((2*Ksi+1)/(Wc^2))*Ki;  
Kp = ((2*Ksi+1)/Wc)*Ki;
```

EK-9. Deneysel çalışmalarda kullanılan PI-KKD'den sonra bulunan alçak geçiren filtrenin Bode Diyagramı ve gürültülü sensör sinyalinin PSD analizi

Yapılan deneysel çalışmalara bağlı olarak Şekil 5-14'te görüldüğü üzere PI-KKD'nin arkasında bir filtre kullanılmadığında sistemde belirgin olarak çıkırtı problemi ortaya çıkmıştır. İlgili sistemin PSD'si alındığında aşağıdaki gibi bir grafik elde edilmektedir.



Şekil 9.1. Gürültülü sensör verisinin PSD grafiği

İlgili grafiğin MATLAB kodu aşağıda verilmiştir.

```
clc;
clear;

load('PI_SMC_ONDE_LPF_VAR_ARKADA_YOK_YUKSUZ_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = 1;
Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = 33807;

Fin_Angle_Data =
Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5:Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5,1);

F_acc = 2000; % Sampling Rate - (Hz)
nfft = 32768;
noverlap = 67;
count = 65535;
window = hann(nfft);

[Pxx_Fin_Angle_Data,fx_Fin_Angle_Data] = pwelch(Fin_Angle_Data>window,noverlap,nfft,F_acc);

figure(1)
```

EK-9. (devam) Deneyisel çalışmalarda kullanılan PI-KKD'den sonra bulunan alçak geçiren filtrenin Bode Diagramı ve gürültülü sensör sinyalinin PSD analizi

```
loglog(fx_Fin_Angle_Data,Pxx_Fin_Angle_Data,'r');
hold on;
grid on;
xlabel('Frekans(Hz)');
ylabel('Derece^2/Hz');
```

Çıtırıtı probleminin giderilmesi için bölüm 5.3.1'de anlatıldığı üzere deneyisel çalışma öncesinde yapılan PI-KKD tasarımı çalışmalarında denetleyici arkasına bir alçak geçiren filtre eklenmesi önerilmiştir [22]. İlgili filtrenin filtreleme frekansı bir önceki grafikten de anlaşıldığı üzere sistemdeki gürültüyü baskılayacak şekilde 0.5 Hz olarak belirlenmiştir. Alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu ve Bode Diagramı için kullanılan MATLAB kodu ise aşağıda verilmiştir.

$$H(s) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_0}s + 1}$$

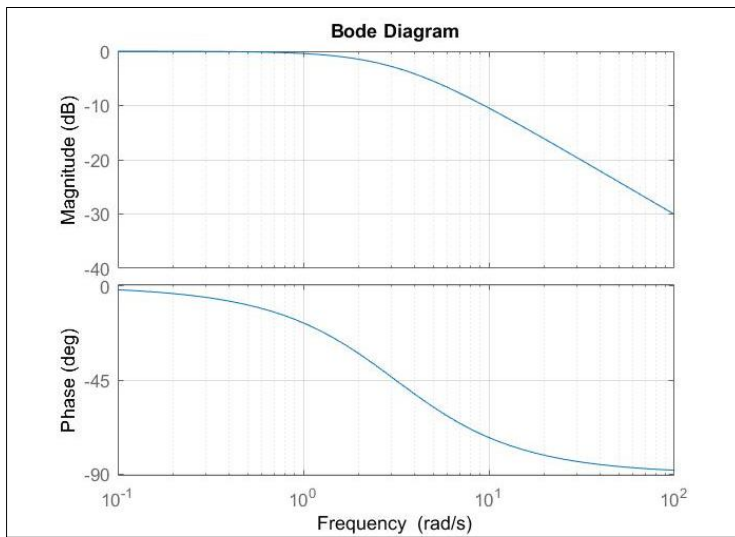
```
clc;
clear;
```

```
f = 0.5; %Hz
w0 = 2*pi*f; %Cutoff Frequency
```

```
num = 1;
den = [1/w0 1];
```

```
lowpass = tf(num,den);
bode(lowpass);
grid on;
```

İlgili filtrenin Bode Diagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 9.2. PI-KKD'den sonra kullanılan alçak geçiren filtrenin bode diagramı

EK-10. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

clc;
clear;

F_MSK = 2000; % Hz
NF = -1.01; % Normalization Factor
Ramp_Coefficient = 3; % Ramp Input Coefficient
Command_Before_Offset = 1; % Command Before Offset Coefficient
Command_After_Offset = 1; % Command After Offset Coefficient
scrsz = get(0,'ScreenSize');

load('PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = -2;
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 54322;
Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 55656;

Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 -
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```
figure(1)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_R_L_EKSI_2_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_1 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
figure(2)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_2 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
figure(3)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_3 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;
```

```
load('PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3.mat');
```

```
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = -3;
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,6);
```

```
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 38324;
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 40325;

Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 -
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Cr = Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_After_Command = NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped = Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped = Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped = Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped = Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N = NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N = NF*Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N = NF*Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;

figure(4)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_4 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg')

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

figure(5)

```
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended, Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_5 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

figure(6)

```
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended, Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_6 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;
```

```
load('PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4.mat');
```

```
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = -4;
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 8);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 4);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 6);
```

```
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 39879;
Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 42538;
```

```
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 -
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Cr = Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*(-1)*ones(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr; Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr];
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

TE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

figure(7)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Croppe
d_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_R_L_EKSI_4_Simulated
_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_7 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg')

figure(8)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cro
pped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_8 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg')

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```
figure(9)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Crop
ped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;

xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_9 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg')

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 51045;
Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 54368;

Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 -
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;

figure(10)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_10 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ).jpg')

figure(11)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_11 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ).jpg')

figure(12)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_12 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg')

clear a;
clear b;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = -7;
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 46443;
Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 51098;

Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 -
Count_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```
figure(13)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKSUZ_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_13 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
figure(14)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_Current_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_14 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
figure(15)
plot(Time_Vec_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_PWM_PID_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_15 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg')
```

```
clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;
```

```
load('PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2.mat');
```

```
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = -2;
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,6);
```

```
Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 39016;
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 40345;

Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 -
Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_2_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Croppped =
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Croppped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Croppped;
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;

figure(16)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_2_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_16 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg')

figure(17)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Croppped_N,'LineWidth',3);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_17 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ).jpg')

figure(18)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_18 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ).jpg')

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = -3;
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 39241;
Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 41230;

Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 -
Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Cr = zeros(F_MSK,1);
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_3_Simulated_N_Tot = zeros(F_MSK,1);
[Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_After_Command = zeros(Command_After_Offset*F_MSK,1);
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;

figure(19)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_
N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_3_Simulated_
N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçýk Açýsý (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriþi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_19 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKLÜ).jpg')

figure(20)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropp
ped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_20 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ).jpg')

figure(21)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Crophe
d_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

set(ffigure(21),'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(figure(21), 'Fig_21 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg')

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = -4;
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 52545;
Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 55210;

Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 -
Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Cr = Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_4_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_After_Command = NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N = NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

figure(22)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_4_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_22 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ).jpg')

figure(23)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_23 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ).jpg')

figure(24)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_24 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg')

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,8);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 32549;
Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 35880;

Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 -
Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_5_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;

figure(25)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_5_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_25 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg')

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

figure(26)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropper_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_26 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ).jpg');

figure(27)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropper_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_27 PID Denetleyici ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = -7;
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,8);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,4);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,6);

Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 31879;
Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 36548;

Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 - Count_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Cr = Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK + Count_Difference_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;

figure(28)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_
N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_
N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_28 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(29)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_Current_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropp
ped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_29 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKLÜ).jpg');

figure(30)
plot(Time_Vec_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_PWM_PID_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Crophe
d_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

title('PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_30 PID Denetleyici ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_ONDE_VE_ARKADA_LPF_YOK_YUKSUZ_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = 37480;
Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = 44706;

Count_Difference_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 -
Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Croppped_N = NF*Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Croppped;
Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;

figure(31)
plot(Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,-
1*Fin_Angle_Command_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_31 PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(32)
plot(Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Croppped_N,'LineW
idth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_32 PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(33)
plot(Time_Vec_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_OA_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidt
h',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_33 PI-KKD ile (Önde ve Arkada LPF Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_ONDE_LPF_VAR_ARKADA_YOK_YUKSUZ_EKSI_5.mat');
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = 33807;
Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = 34165;

Count_Difference_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 -
Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped;

figure(34)
plot(Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Extended,-
1*Fin_Angle_Command_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçýk Açýsý (D)');
title('PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriş');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_34 PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKSÜZ).jpg');

figure(35)

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

plot(Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Extended, Motor_Current_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_35 PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(36)
plot(Time_Vec_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Extended, Motor_PWM_PI_SMC_A_LPF_YOK_EKSI_5_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
;
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Votlaj Giriþi (V)');
title('PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_36 PI-KKD ile (Önde LPF var Arkada Yok) Basamak Giriþ Sinyaline Baðlý (5 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_ONDE_ARKADA_LPF_VAR_RL_YOK_YUKSUZ_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = data(:, 8);
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = data(:, 4);
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = data(:, 2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = data(:, 6);

Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = 34916;
Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = 35222;

Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 - Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr = Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK + Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Sim_N_Bfr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Simulated_N_Cr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK, 1);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped;

figure(37)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'
LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Extended,-
1*Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_37 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(38)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_38 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(39)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_39 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfiraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfiraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_ONDE_ARKADA_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = 52187;
Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = 60500;

Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5
- Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PID_YUKLU_R_L_EKSI_7_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_R
L_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1
);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKS
I_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1
);
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,
1);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5(Command_Start_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,
1);

Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped;

figure(40)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_E
KSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Extended,-
1*Fin_Angle_Command_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Cropped,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriş');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_40 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(41)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU
E_KSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Giriş (A)');
title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Giriş (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_41 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akımı Giriş (YÜKLÜ).jpg');

figure(42)
plot(Time_Vec_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_LPF_VAR_RL_YOK_YUKLU_
EKSI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriş (V)');
title('PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Giriş (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_42 PI-KKD ile (LPF var RL Yok) Basamak Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Giriş (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = -2;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 73005;
Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 74321;

Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 -
Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Cr = zeros(F_MSK,1);
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_2_Simulated_N_Tot = zeros(F_MSK,1);
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_After_Command = zeros(Command_After_Offset*F_MSK,1);
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;

figure(43)

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_2_
Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_43 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(44)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EK
SI_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_44 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(45)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI
_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_45 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = -3;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 47596;
Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 49590;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 = Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 -
Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_3_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RAT
E_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;

figure(46)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_3
_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriş');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_46 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

figure(47)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended, Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Croppped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gcf, 'FontSize', 18);
set(gcf, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_47 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(48)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended, Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf, 'position', 'scrsz');
set(gcf, 'FontSize', 18);
set(gcf, 'GridAlpha', 1);
saveas(gcf, 'Fig_48 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = -4;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:, 6);

Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 42479;
Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 45140;

Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 - Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Cr = Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK + Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*(-1)*ones(F_MSK, 1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_4_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Cr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr];

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

figure(49)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_4_
Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_49 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(50)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EK
SI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_50 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(51)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI
_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf(51), 'Fig_51 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 52499;
Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 55830;

Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 -
Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5(Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;

figure(52)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_5_
Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_52 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(53)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EK
SI_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_53 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(54)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI
_5_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_54 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = -7;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 30780;
Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 35461;

Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 -
Count_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Cr = Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr = Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_After_Command = NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped = Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped = Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped = Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped = Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7(Command_Start_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N = NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N = NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N = NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;

```

figure(55)

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKSUZ_R_L_EKSI_7_
Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_55 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKSÜZ).jpg');

figure(56)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EK
SI_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_56 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

figure(57)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKSUZ_RATE_LIMITER_EKSI
_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_57 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKSÜZ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = -2;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 29988;
Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = 31320;

Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 = Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 -
Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_2_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_
LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Cropped;

figure(58)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_C
ropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_2_Si
mulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(figure(58),'Fig_58 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (2 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(59)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI
_2_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_59 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ).jpg');

figure(60)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_Extended, Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_2_
_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_60 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (2 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = -3;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 72972;
Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = 74970;

Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 -
Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Bfr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_
LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Cr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Cropped;

figure(61)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_C
ropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_3_Si
mulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçýk Açýsý (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriþi');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_61 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Kanatçýk Açý Cevabý (YÜKLÜ).jpg');

figure(62)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI
_3_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akým Giriþi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_62 PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor Akým Giriþi (YÜKLÜ).jpg');

figure(63)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_3
_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Giriþi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriþ Sinyaline Baðlý (3 Derece) Motor PWM Giriþi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(figure(63), 'Fig_63 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (3 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = -4;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 45048;
Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = 47715;

Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 -
Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Cr = zeros(F_MSK,1);
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_After_Command = NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped = Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4+Command_Before_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N      =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Croppped_N          =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Croppped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N              =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped;

figure(64)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Simulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_64 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(65)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_65 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ).jpg');

figure(66)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Extended,Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_4_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position','scrsz');
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_66 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (4 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = -5;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,8);

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 46178;
Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = 49505;

Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 -
Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 = (0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Cr = zeros(F_MSK,1);
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Ramp_Coefficient = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5 + Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*(-1)*ones(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_5_Simulated_N_Tot = [Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Bfr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_
LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_After_Command = NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5*ones(Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped = Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped = Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped = Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped = Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5(Command_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5+Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N = NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N = NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N = NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N = NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped;

figure(67)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_C
ropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_5_Si
mulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Girişi');
set(figure(67),'position','scrsz');

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

set(gca,'FontSize',18);
set(gca,'GridAlpha',1);
saveas(ffigure(67), 'Fig_67 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Kanatçık Açık Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(68)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended, Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akım Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(ffigure(68), 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(ffigure(68), 'Fig_68 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor Akım Girişi (YÜKLÜ).jpg');

figure(69)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Extended, Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_5_Cropped_N, 'LineWidth', 3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(ffigure(69), 'position', 'scrsz');
set(gca, 'FontSize', 18);
set(gca, 'GridAlpha', 1);
saveas(ffigure(69), 'Fig_69 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (5 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg');

clear a;
clear b;
clear c;
clear counter;
clear d;
clear data;
clear filename;
clear i;
clear len;
clear SfraAkimDongusuDatasiLoglandiMi;
clear SfraPozisyonDongusuDatasiLoglandiMi;

load('PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7.mat');

Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = -7;
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,8);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,4);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,2);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = data(:,6);

Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 37268;
Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = 41925;

Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 = Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 -
Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 =
(0:1/F_MSK:Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Cr =
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*Ramp_Coefficient;
Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended = (0:1/F_MSK:(Command_Before_Offset*F_MSK +
Count_Difference_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7 + 2*Command_After_Offset*F_MSK)*(1/F_MSK));
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr = zeros(F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr =
Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*(-1)*ones(2*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Tot =
[Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Bfr; Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Simulated_N_Tot];

```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

```

U_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Cr;Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Sim_N_Afr];

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Before_Command = zeros(Command_Before_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_After_Command =
NF*Fin_Angle_After_Steady_State_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7*ones(2*Command_After_Offset*F_MSK,1);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+2*Command_After_Offset*F_MSK,1);
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+2*Command_After_Offset*F_MSK,1);
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+2*Command_After_Offset*F_MSK,1
);
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped =
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7(Count_Start_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7-
Command_Before_Offset*F_MSK:Count_End_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7+2*Command_After_Offset*F_MSK,1
);

Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;
Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N =
NF*Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped;

figure(70)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_C
ropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Fin_Angle_Command_PI_SMC_YUKLU_R_L_EKSI_7_Si
mulated_N_Tot,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Kanatçık Açısı (D)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç','Referans Giriş');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_70 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Kanatçık Açısı Cevabı (YÜKLÜ).jpg');

figure(71)
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended,Motor_Current_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI
_7_Cropped_N,'LineWidth',3);
hold on;
grid on;
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('Motor Akımı Girişi (A)');
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ)');
legend('Deneysel Sonuç');
set(gcf,'position',scrsz);
set(gcf,'FontSize',18);
set(gcf,'GridAlpha',1);
saveas(gcf,'Fig_71 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor Akımı Girişi (YÜKLÜ).jpg');

figure(72)

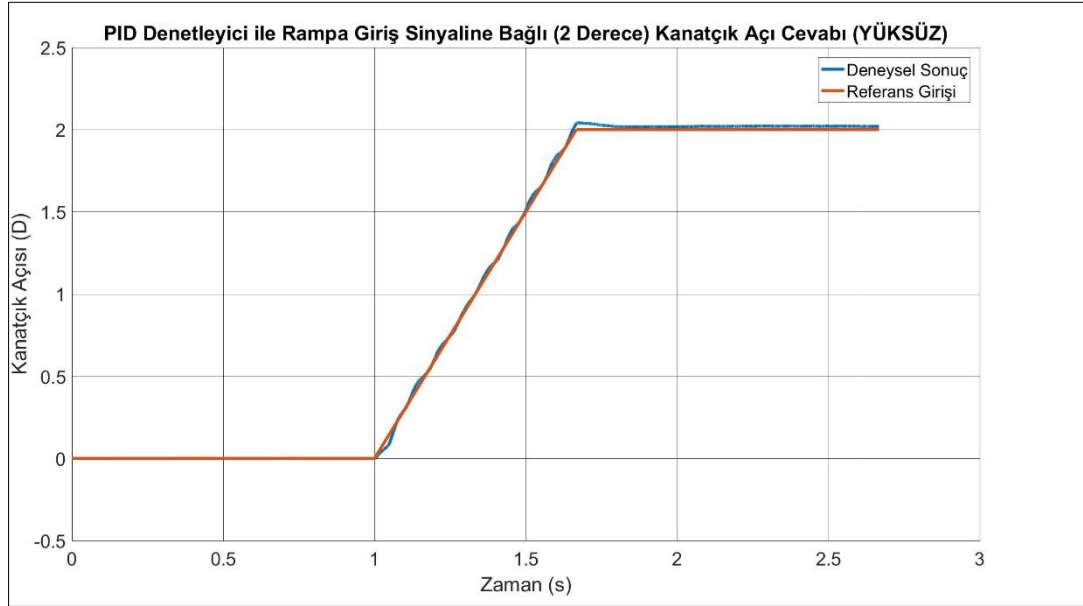
```

EK-10. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar için kullanılan MATLAB kodu

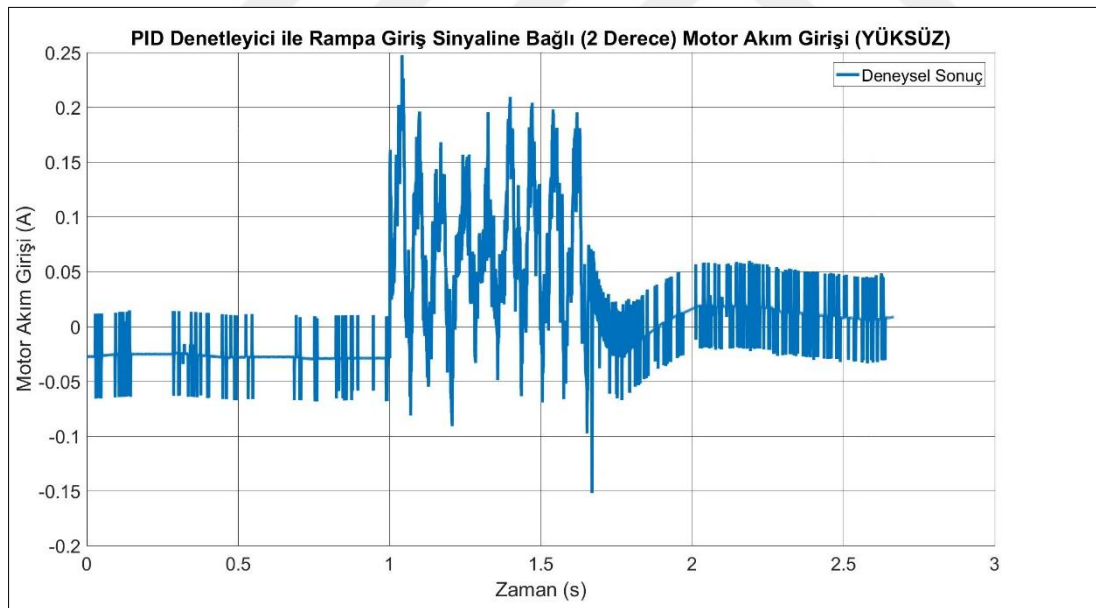
```
plot(Time_Vec_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Extended, Motor_PWM_PI_SMC_YUKLU_RATE_LIMITER_EKSI_7_Cropped_N, 'LineWidth', 3);  
hold on;  
grid on;  
xlabel('Zaman (s)');  
ylabel('Motor Voltaj Girişi (V)');  
title('PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ)');  
legend('Deneysel Sonuç');  
set(gcf, 'position', 'scrsz');  
set(gcf, 'FontSize', 18);  
set(gcf, 'GridAlpha', 1);  
saveas(gcf, 'Fig_72 PI-KKD ile Rampa Giriş Sinyaline Bağlı (7 Derece) Motor PWM Girişi (YÜKLÜ).jpg');
```



EK-11. Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

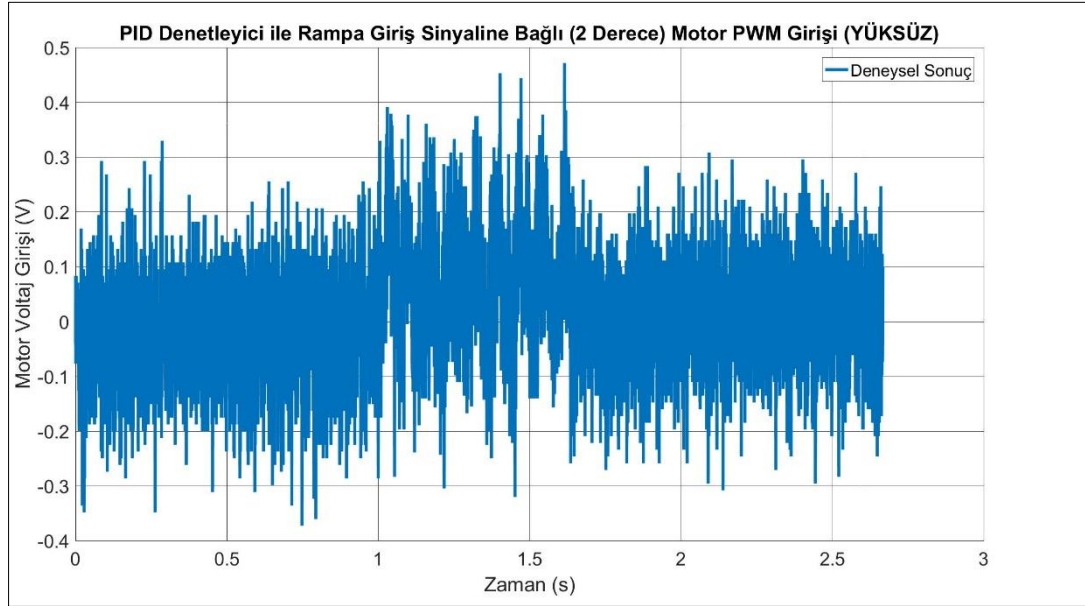


Şekil 11.1. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

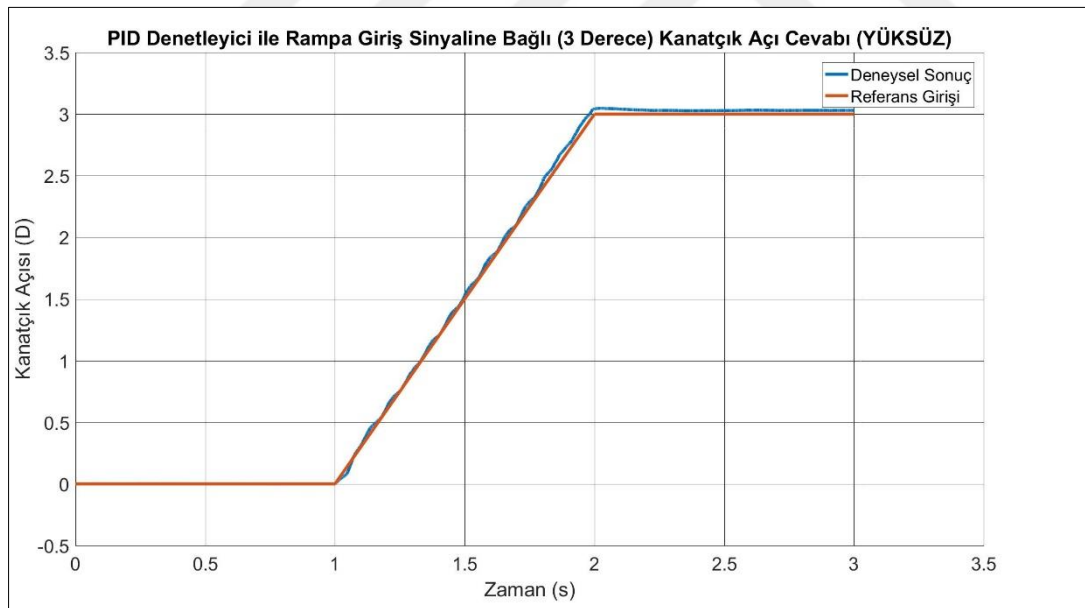


Şekil 11.2. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor akım girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

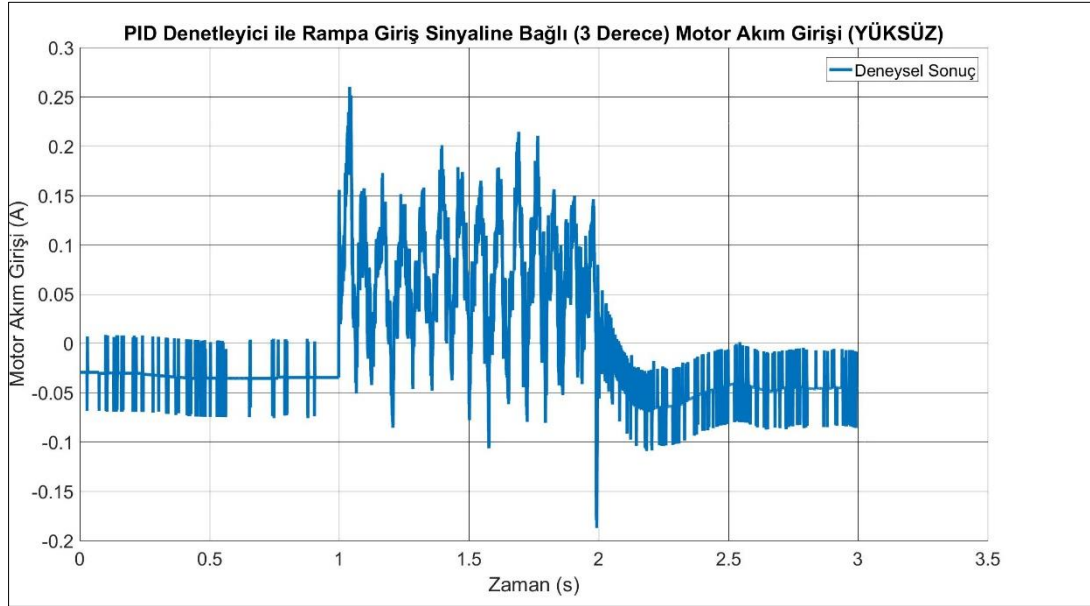


Şekil 11.3. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

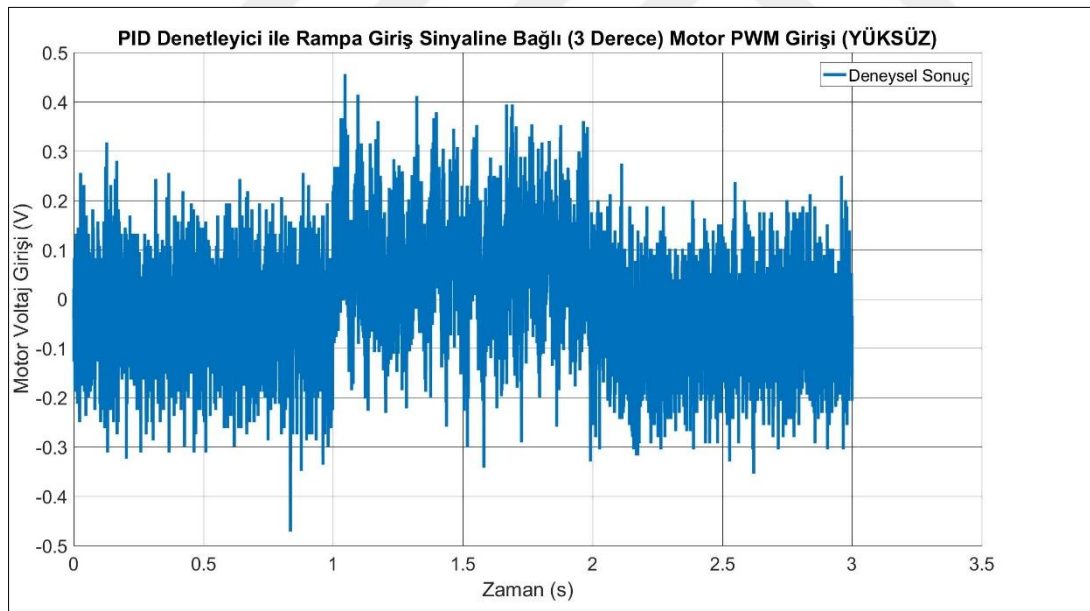


Şekil 11.4. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) kanatçık açılı cevabı (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

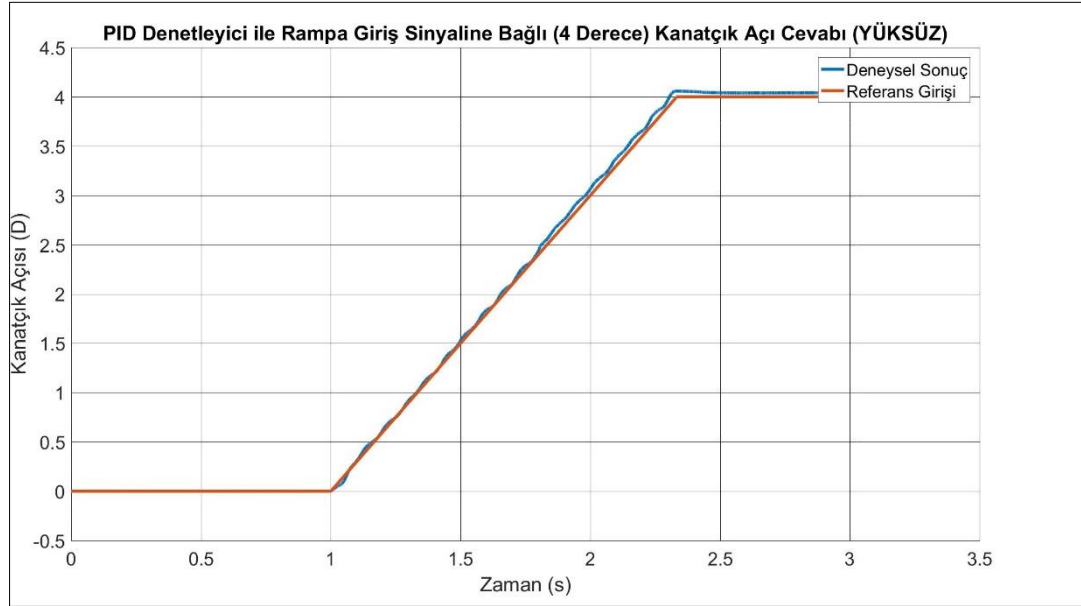


Şekil 11.5. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor akım girişi (yüksüz)

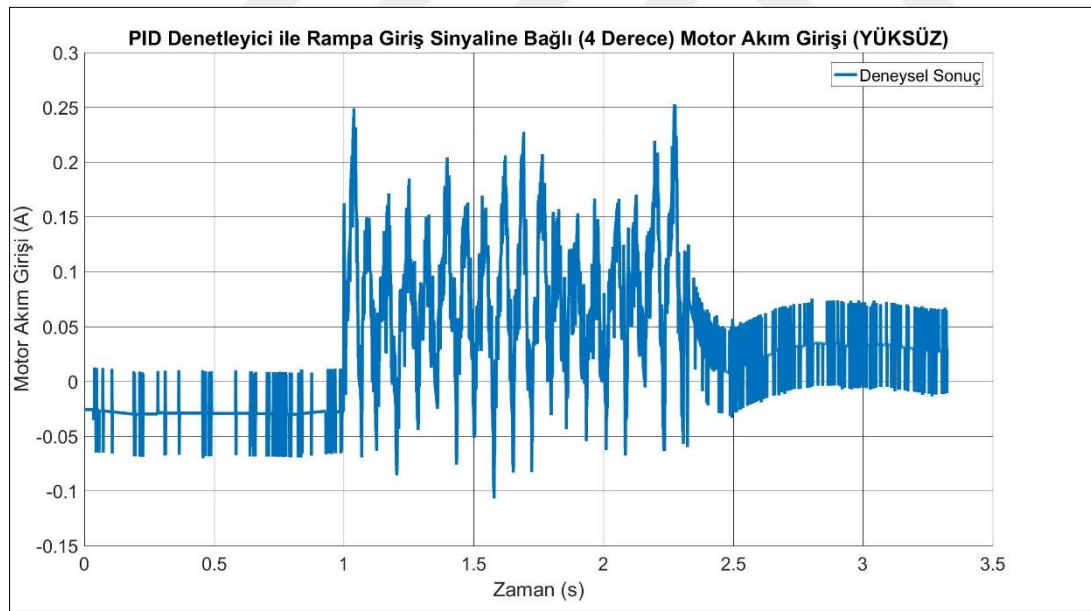


Şekil 11.6. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

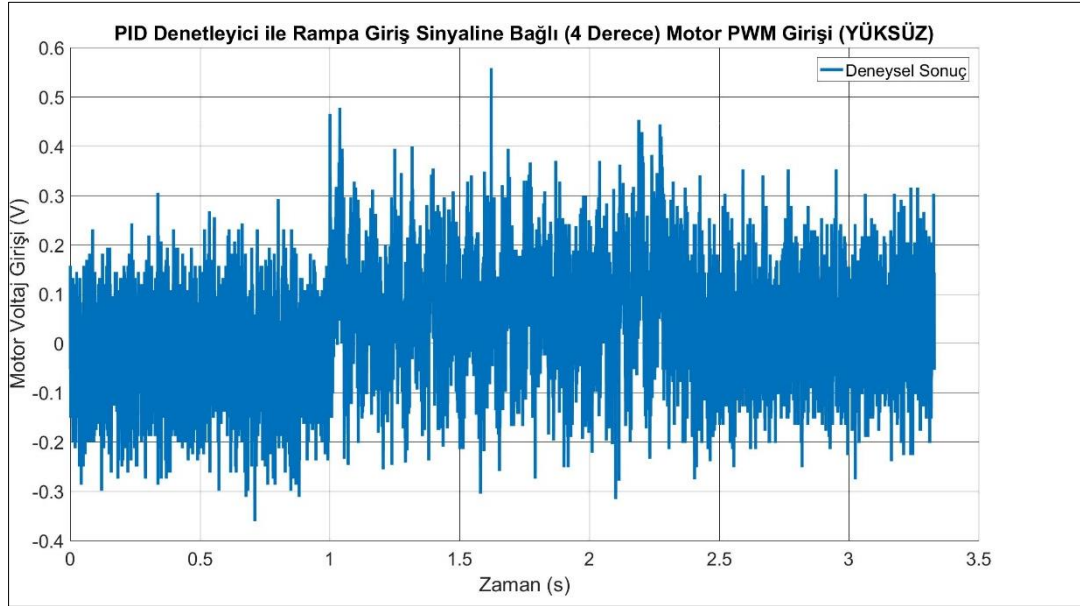


Şekil 11.7. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

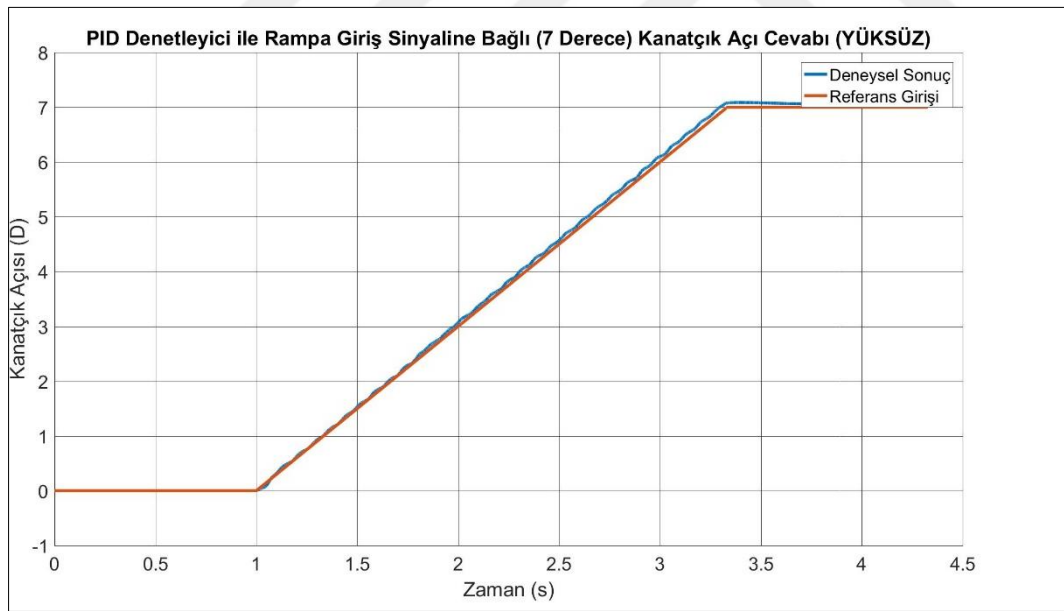


Şekil 11.8. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor akım girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

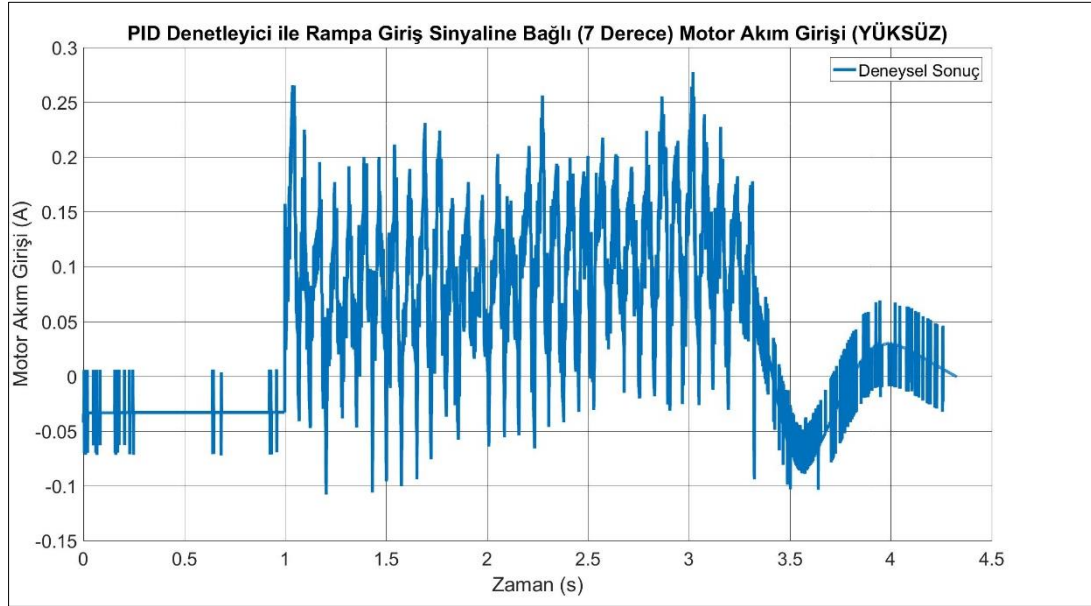


Şekil 11.9. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

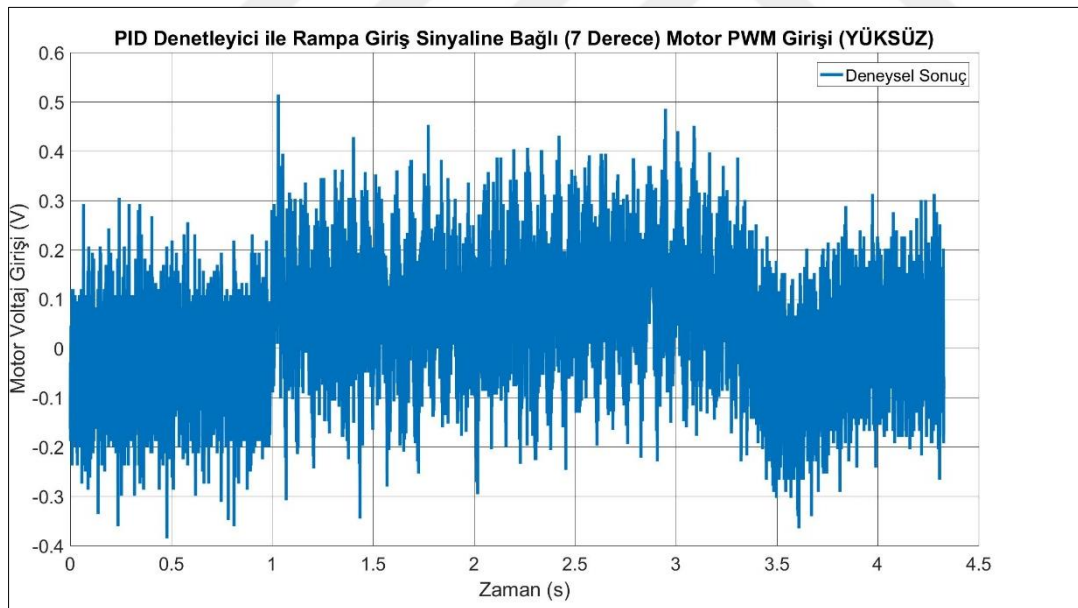


Şekil 11.10. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

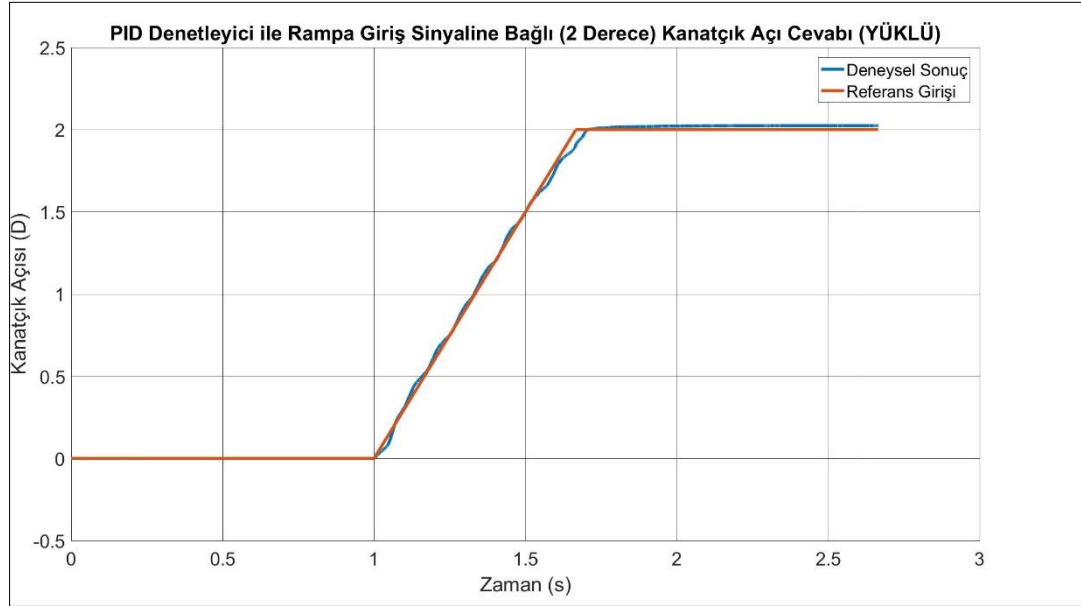


Şekil 11.11. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor akım girişi (yüksüz)

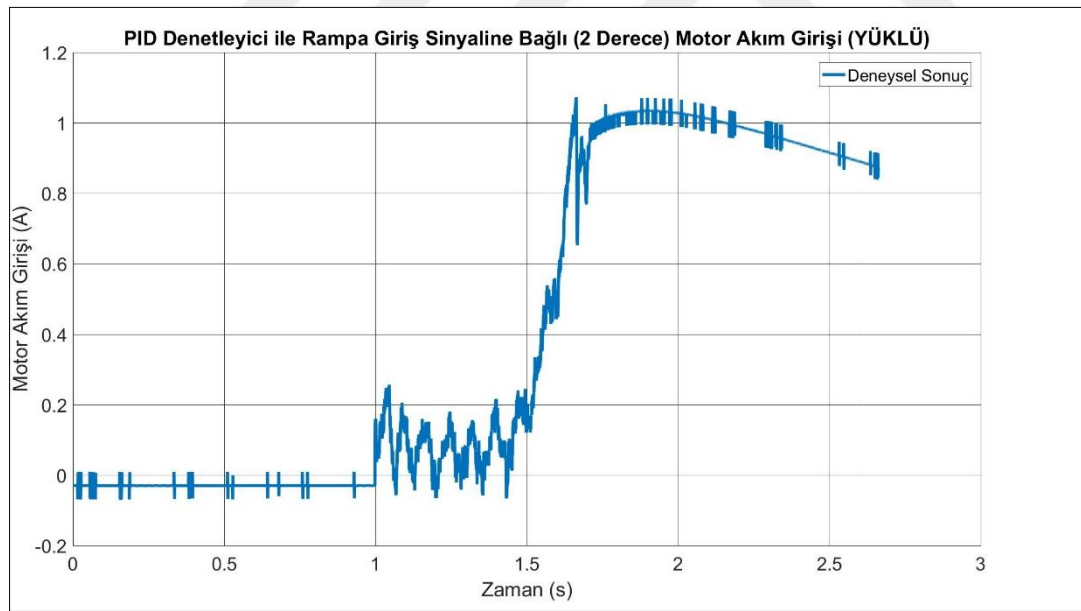


Şekil 11.12. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

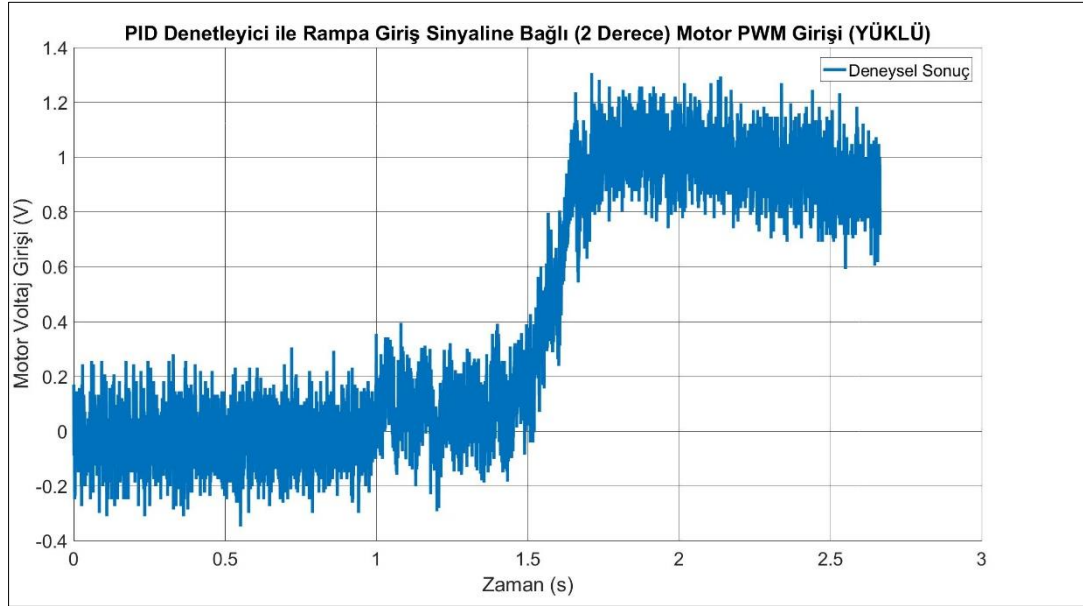


Şekil 11.13. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

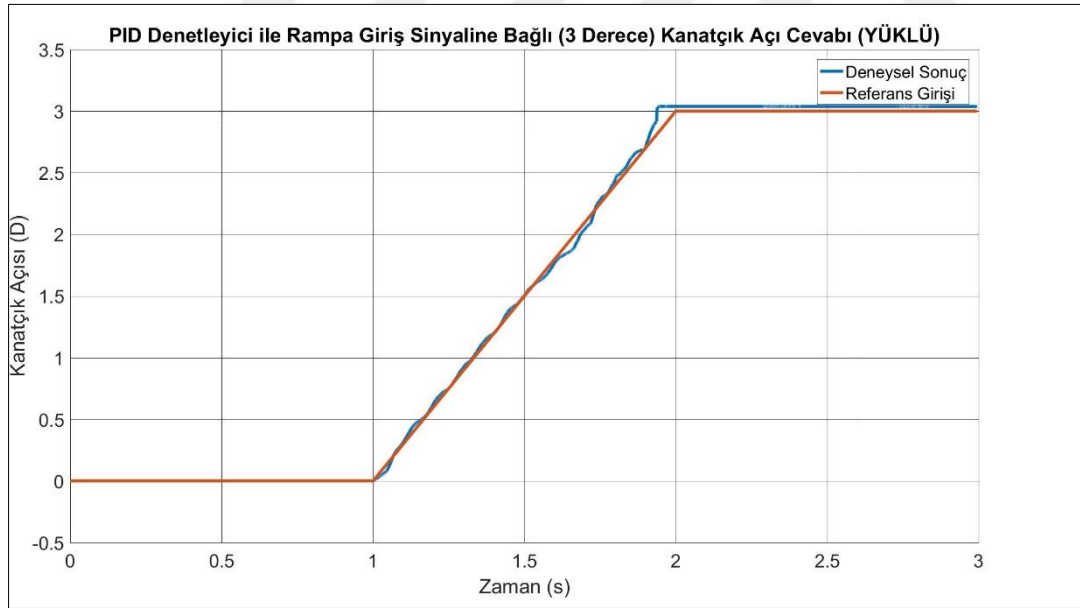


Şekil 11.14. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor akım girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

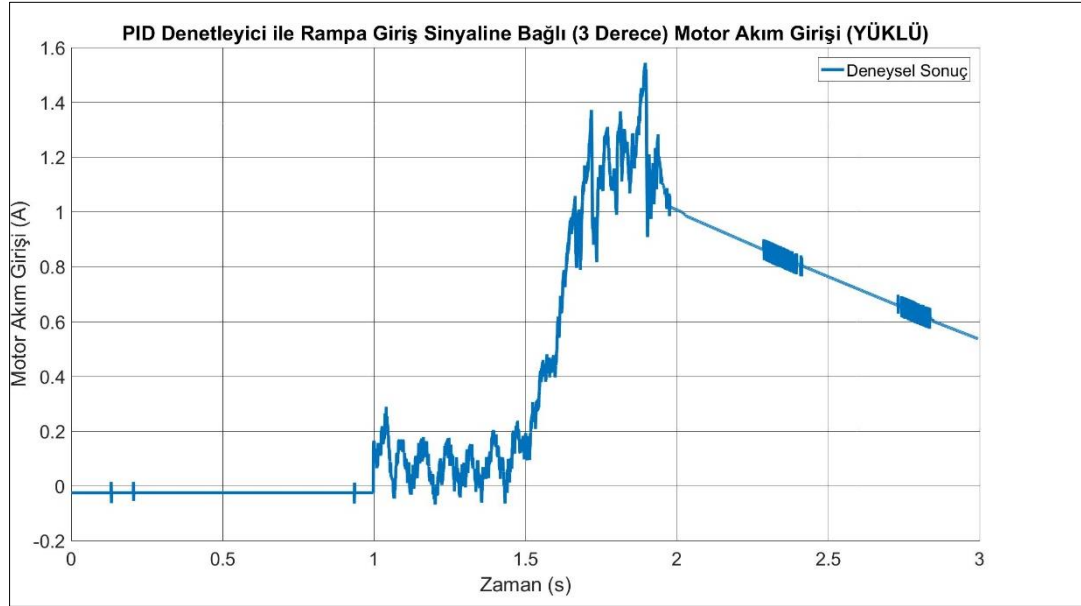


Şekil 11.15. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor PWM girişi (yükü)

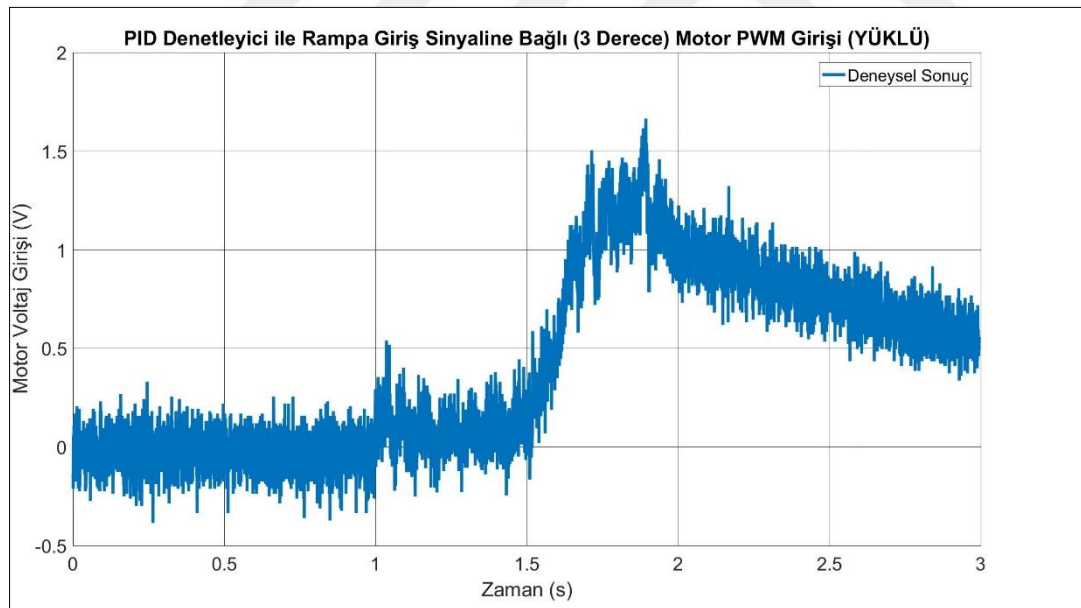


Şekil 11.16. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) kanatçık açısı cevabı (yükü)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

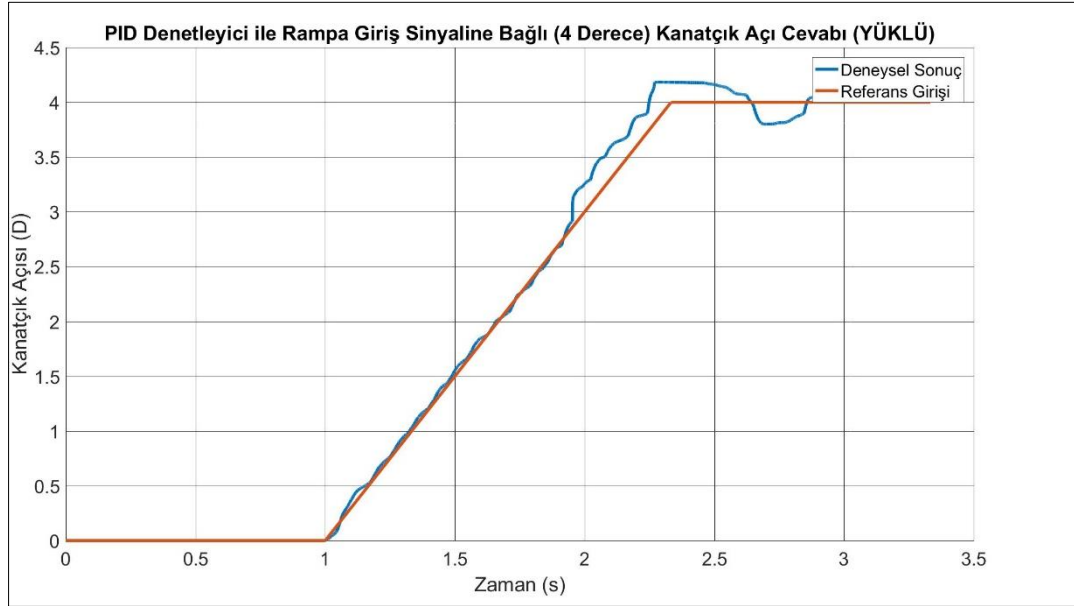


Şekil 11.17. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor akım girişi (yükli)

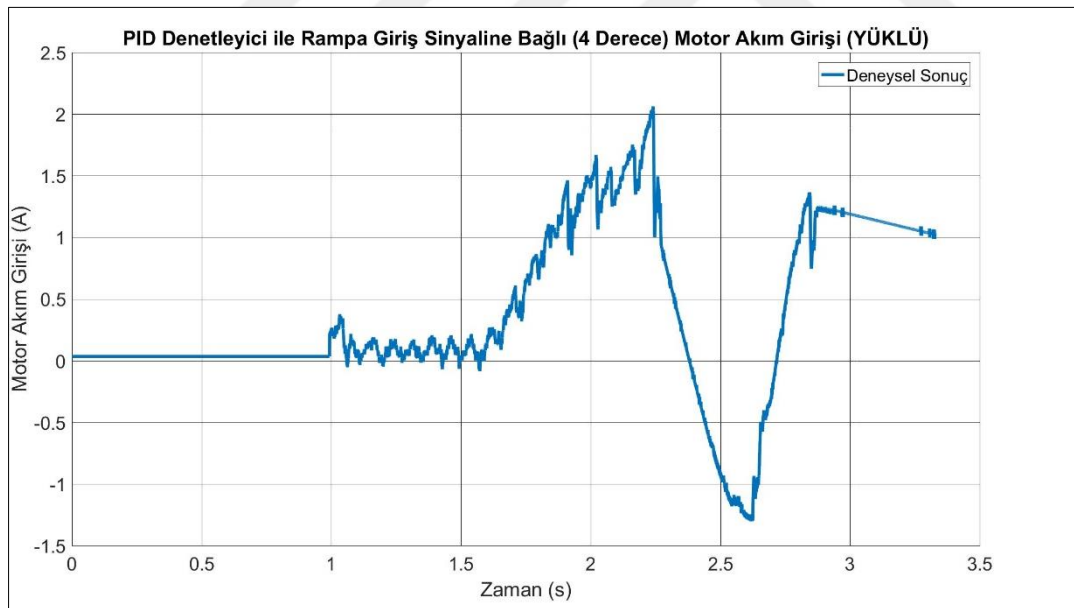


Şekil 11.18. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor PWM girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

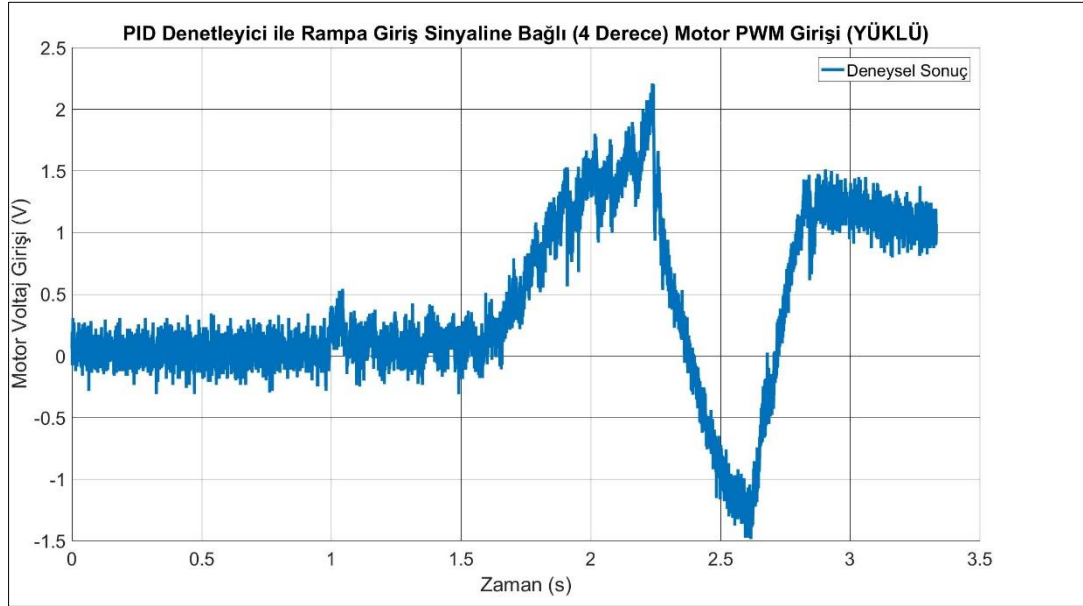


Şekil 11.19. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

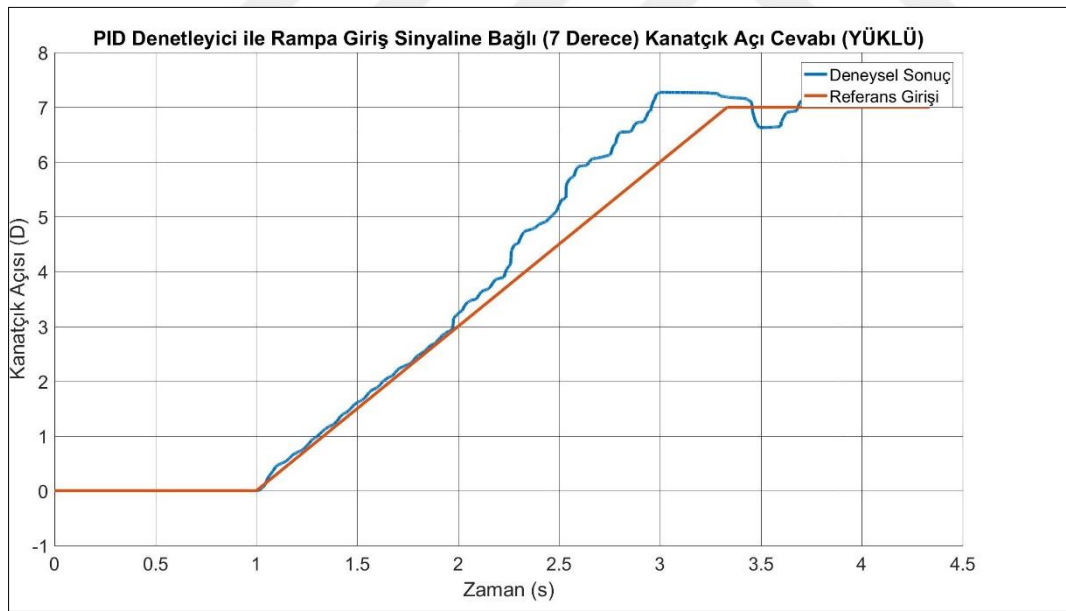


Şekil 11.20. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor akım girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

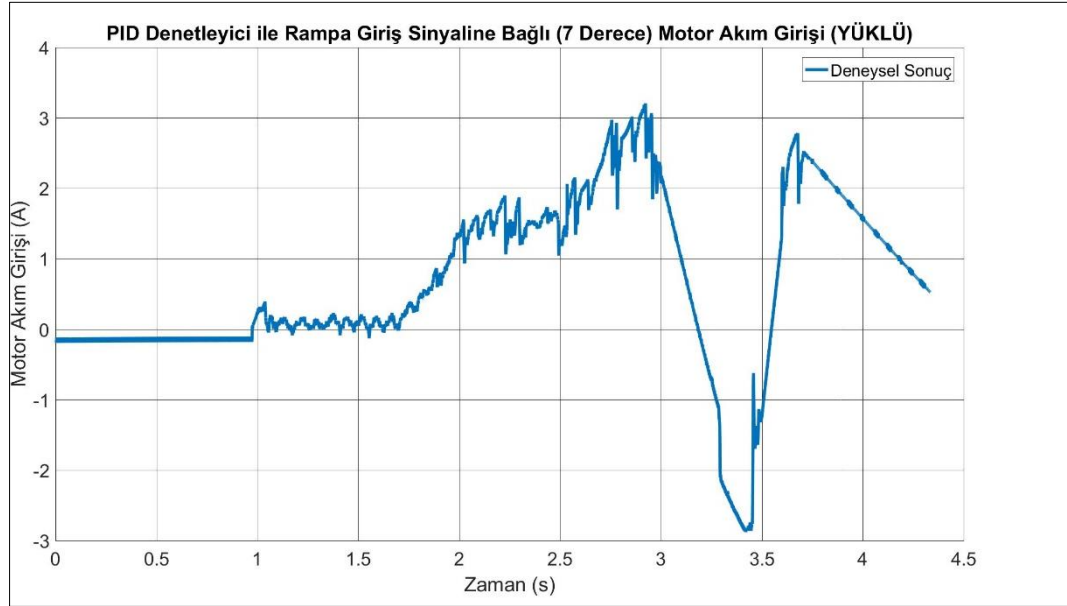


Şekil 11.21. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor PWM girişi (yükü)

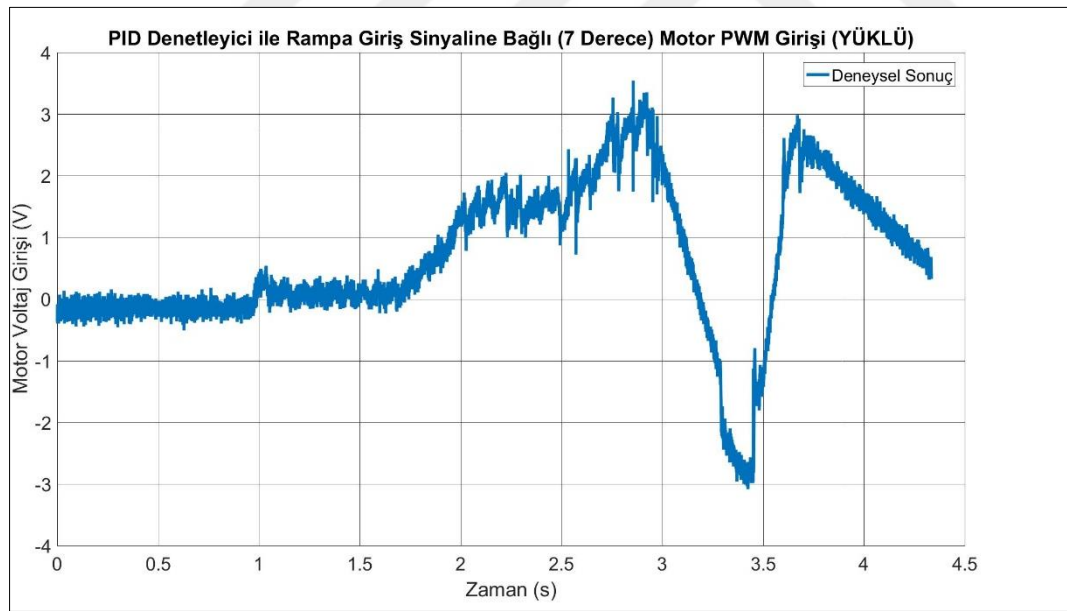


Şekil 11.22. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) kanatçık açısı cevabı (yükü)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

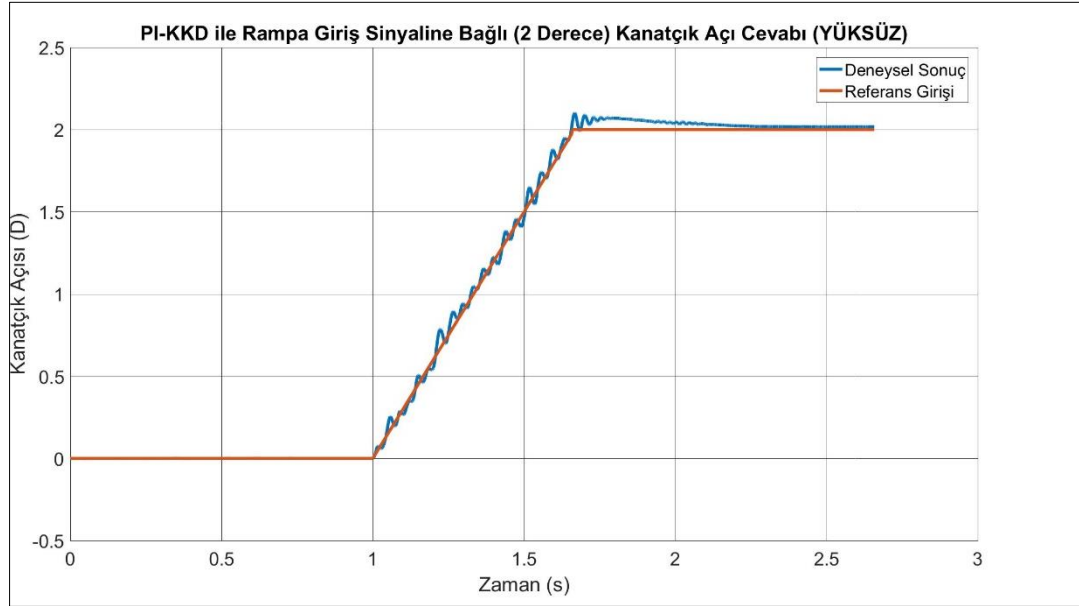


Şekil 11.23. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor akım girişi (yükli)

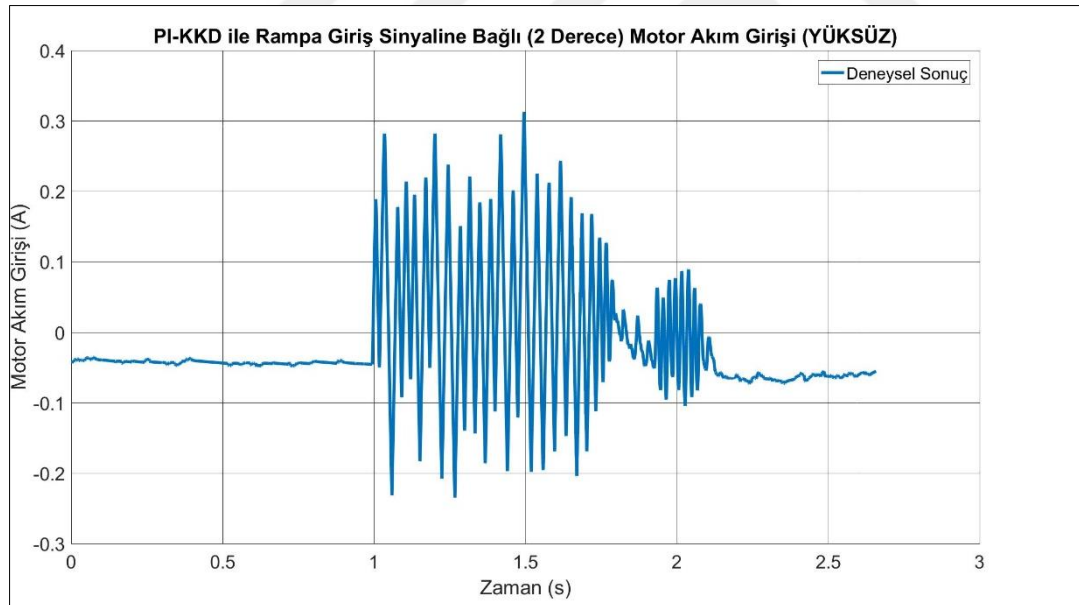


Şekil 11.24. PID denetleyici ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor PWM girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

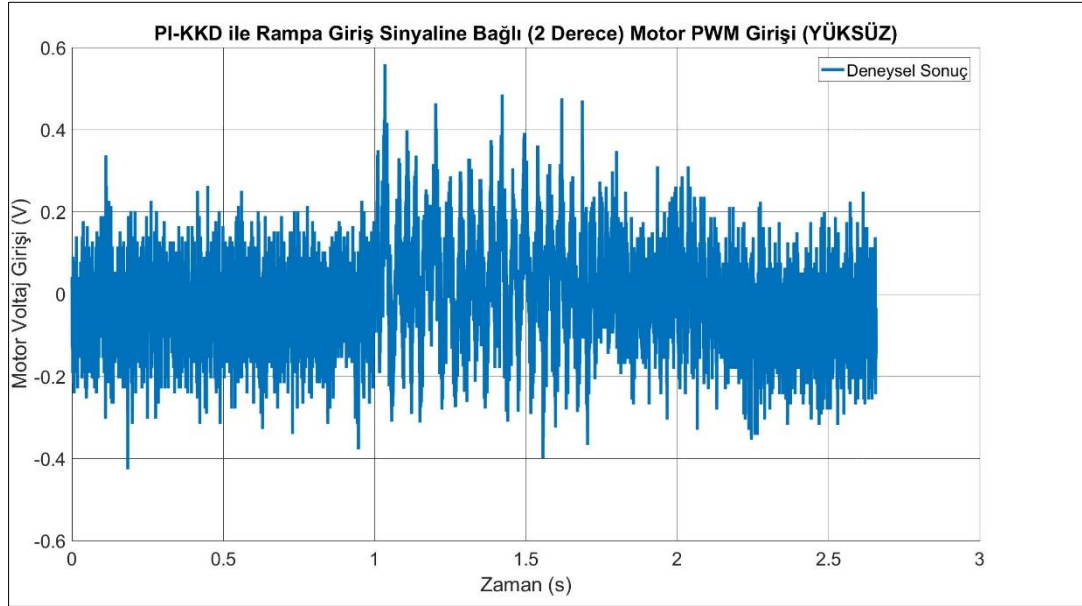


Şekil 11.25. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

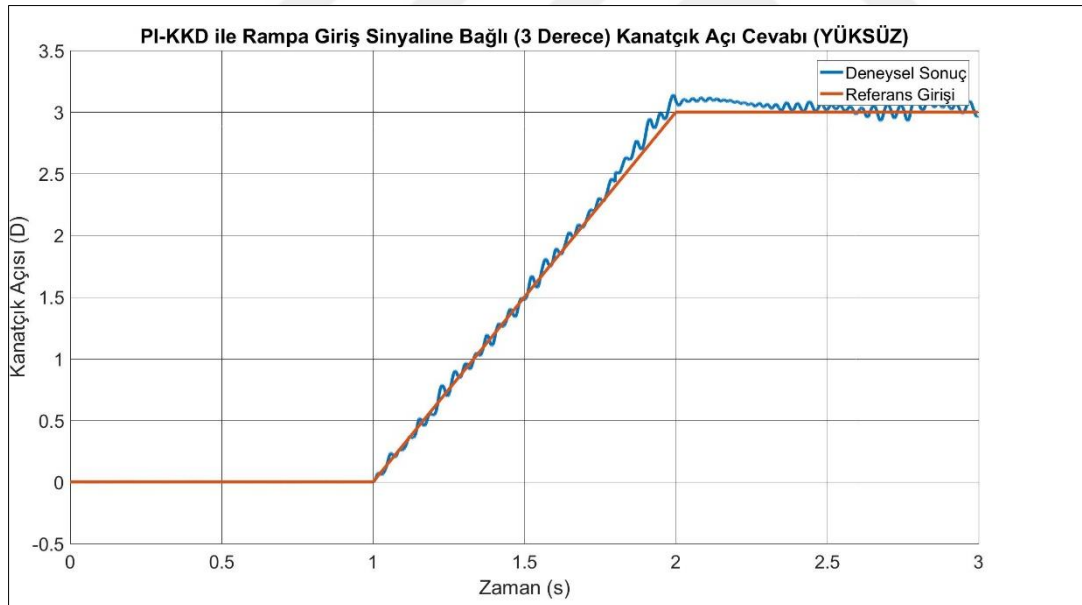


Şekil 11.26. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor akım girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

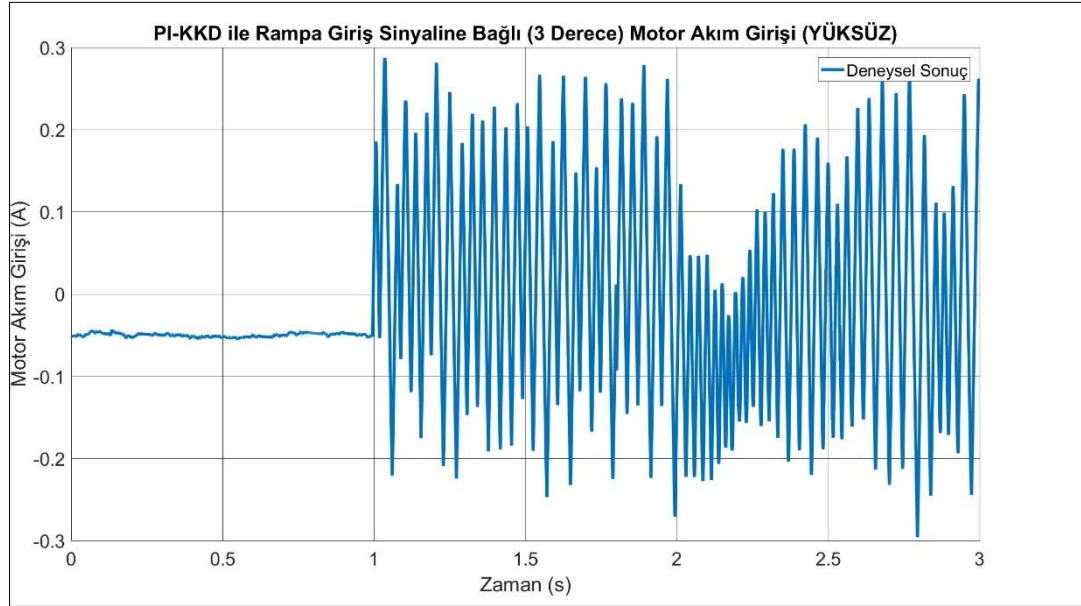


Şekil 11.27. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

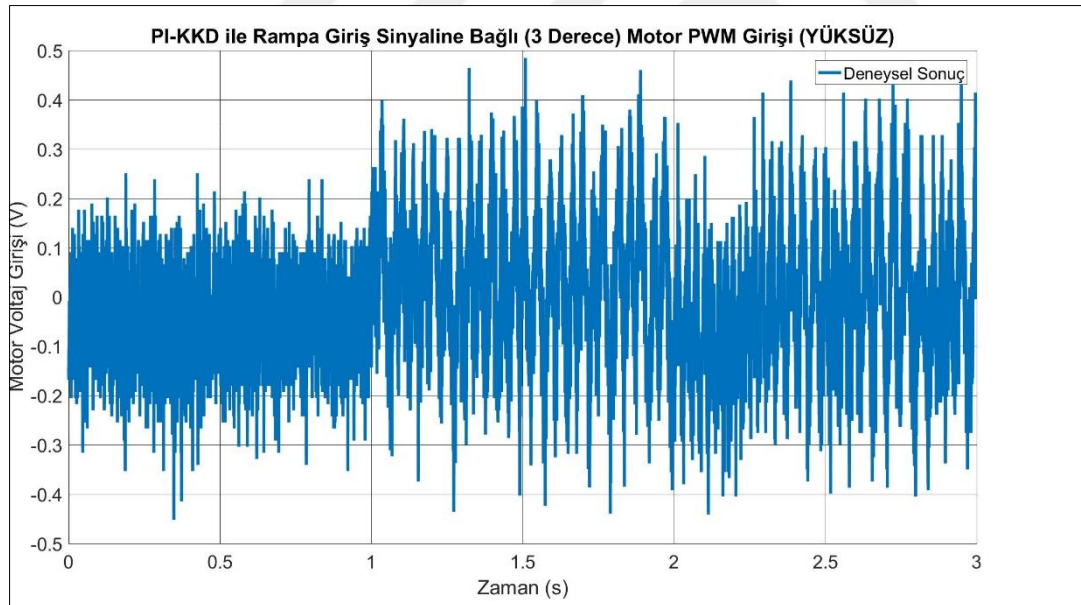


Şekil 11.28. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) kanatçık aç cevabı (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

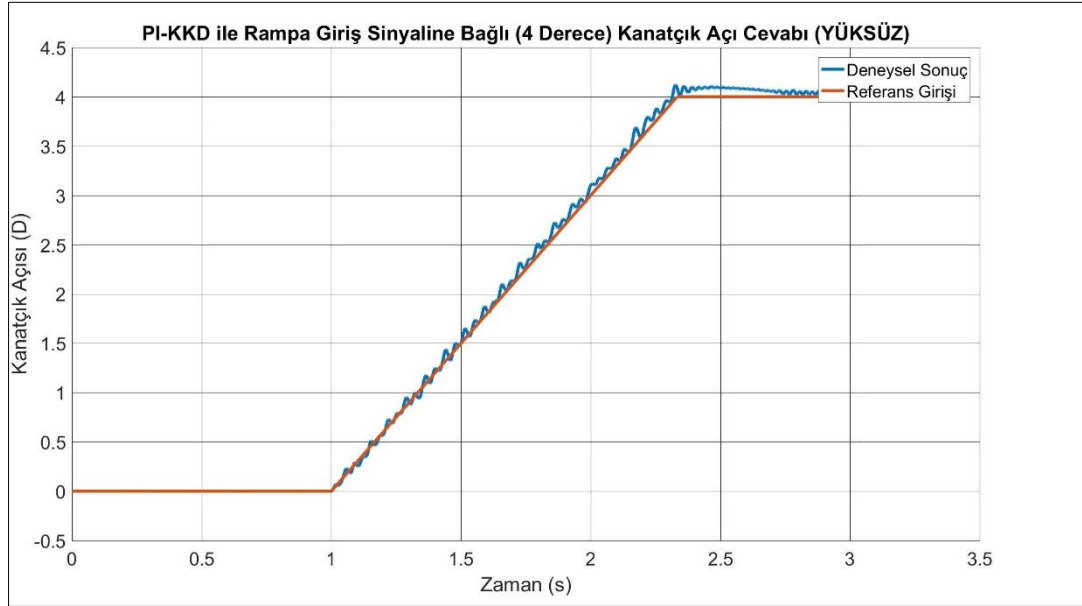


Şekil 11.29. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor akım girişi (yüksüz)

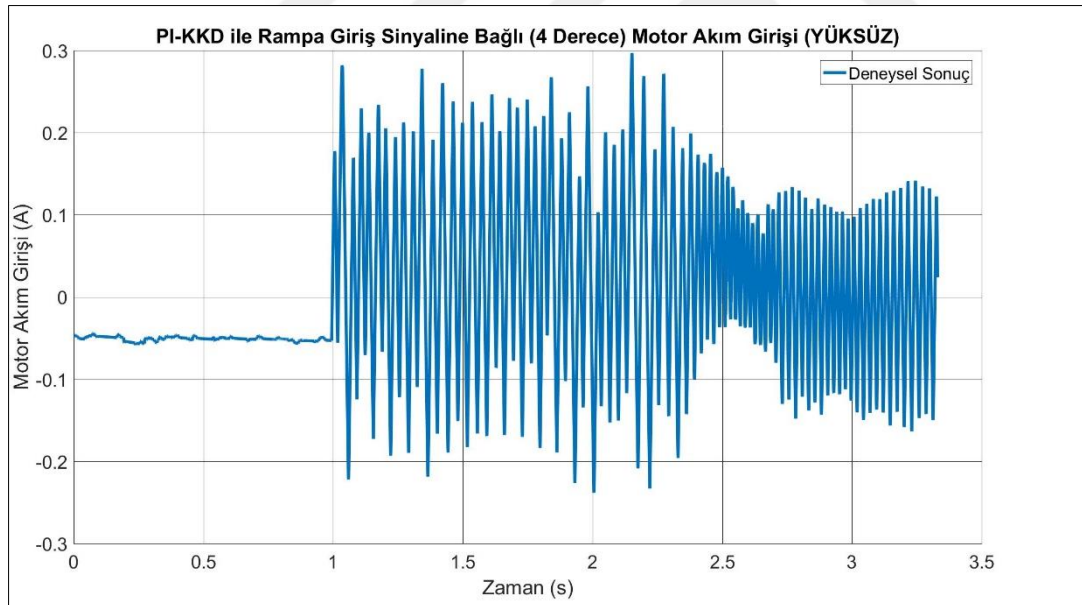


Şekil 11.30. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

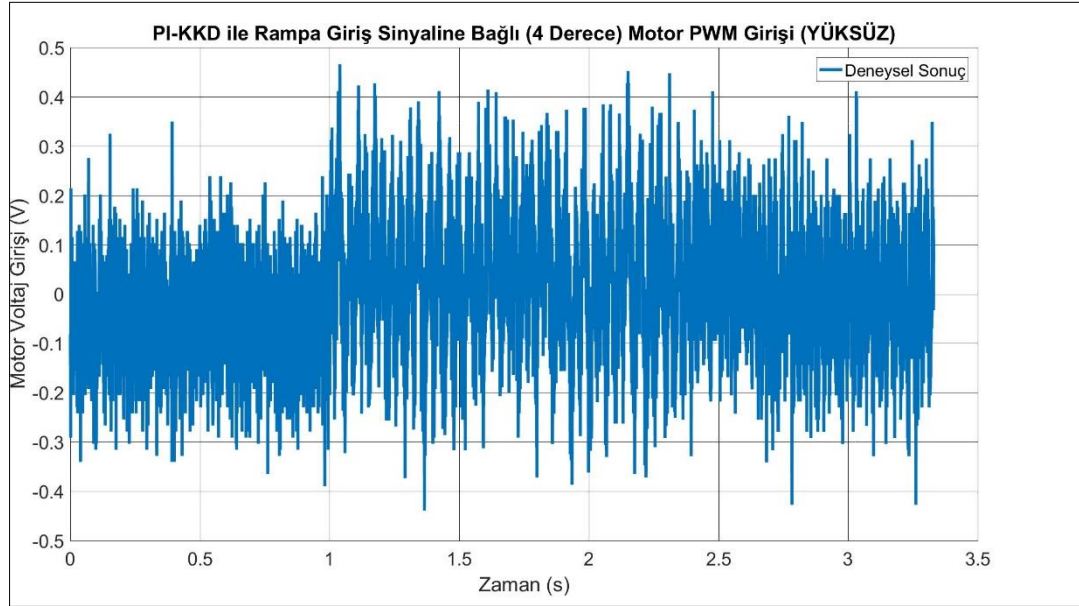


Şekil 11.31. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

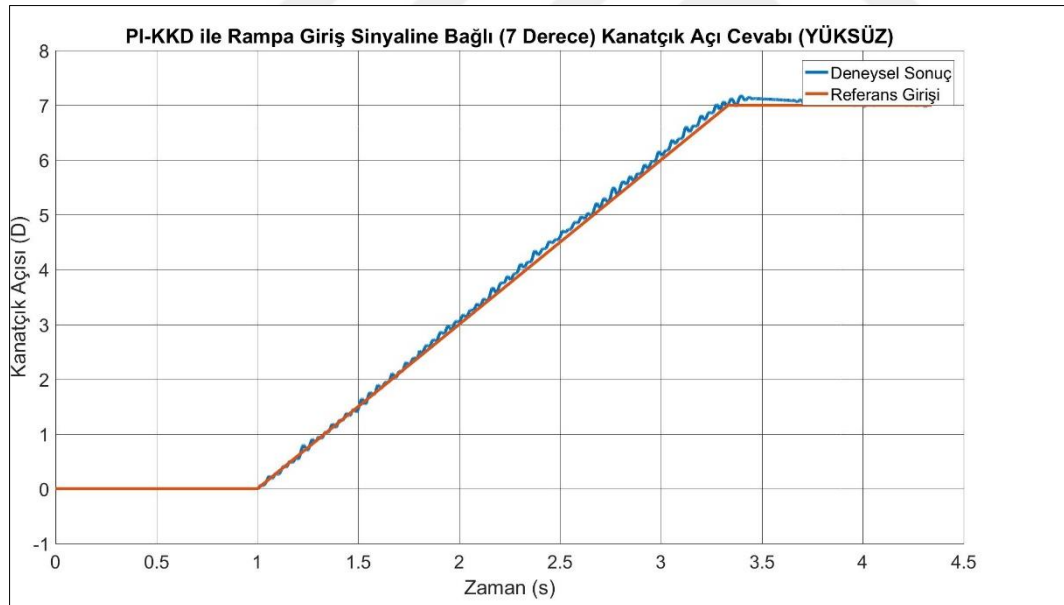


Şekil 11.32. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor akım girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

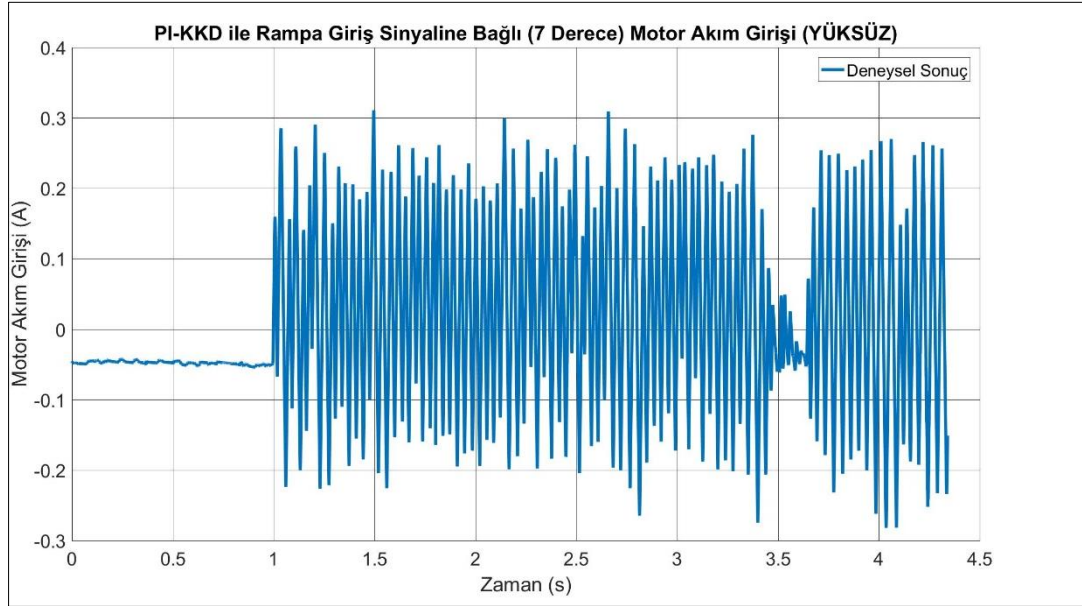


Şekil 11.33. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor PWM girişi (yüksüz)

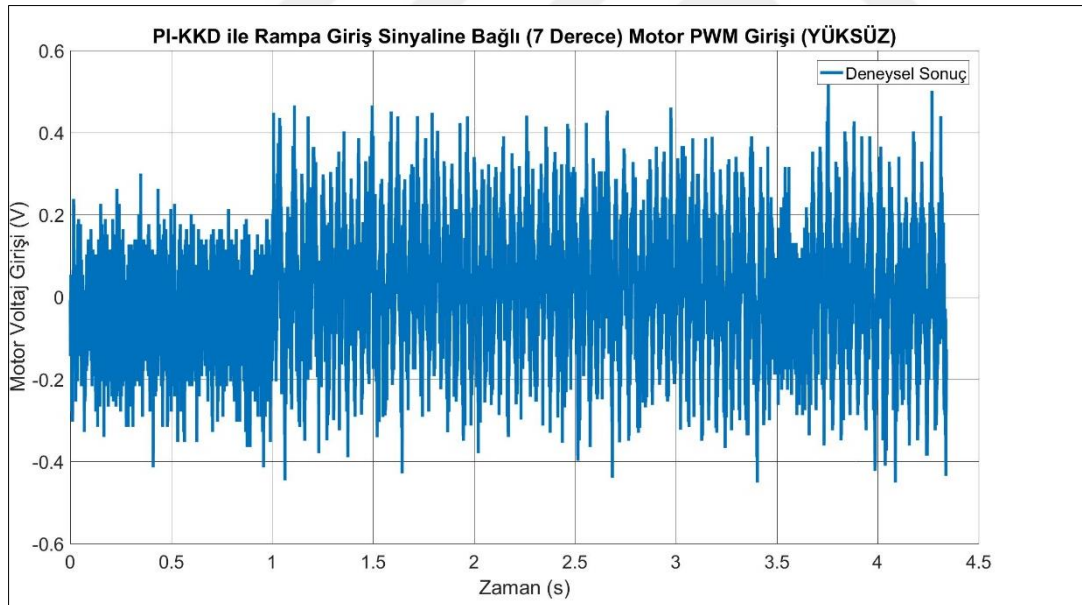


Şekil 11.34. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) kanatçık açısı cevabı (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

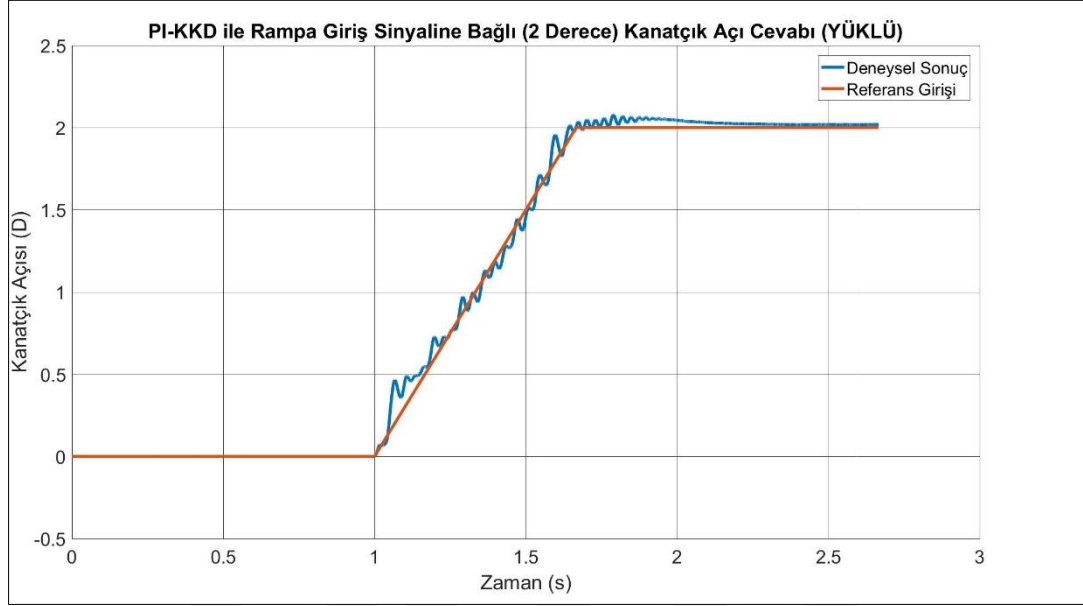


Şekil 11.35. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) kanatçık açı cevabı (yüksüz)

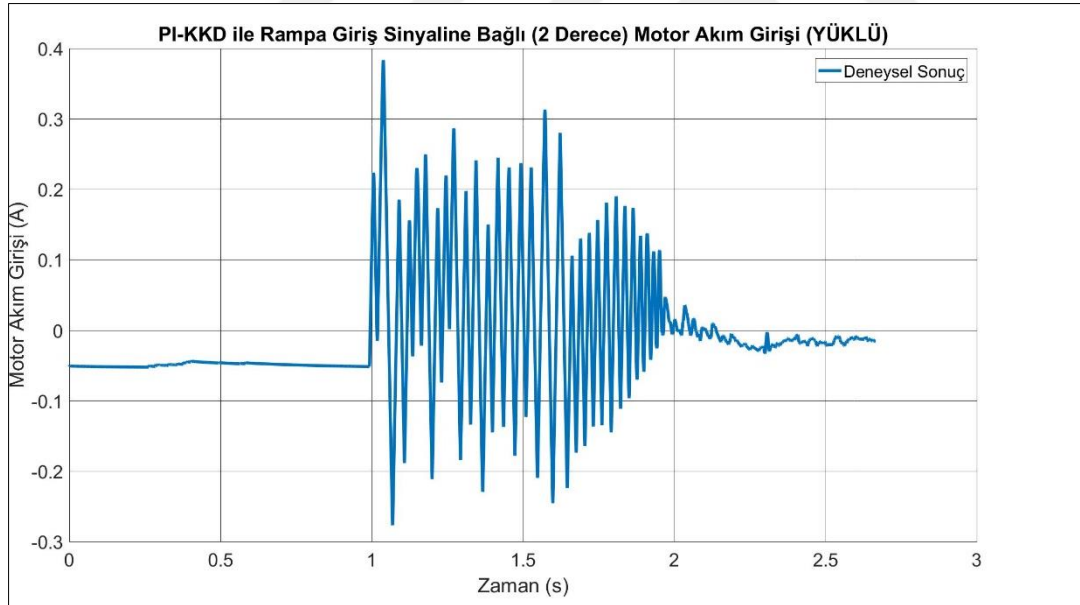


Şekil 11.36. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor akım girişi (yüksüz)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

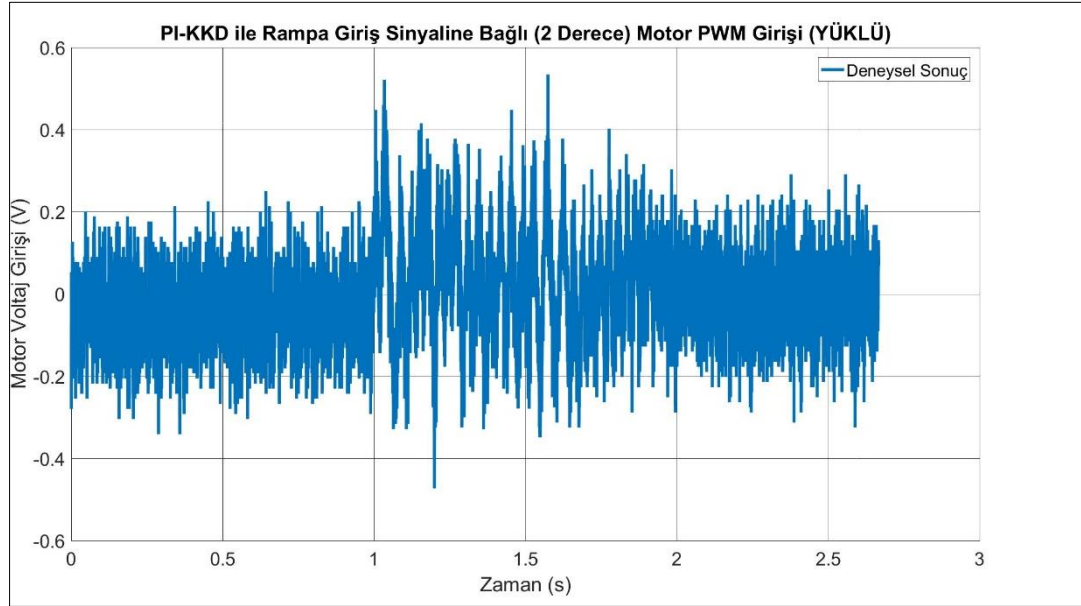


Şekil 11.37. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

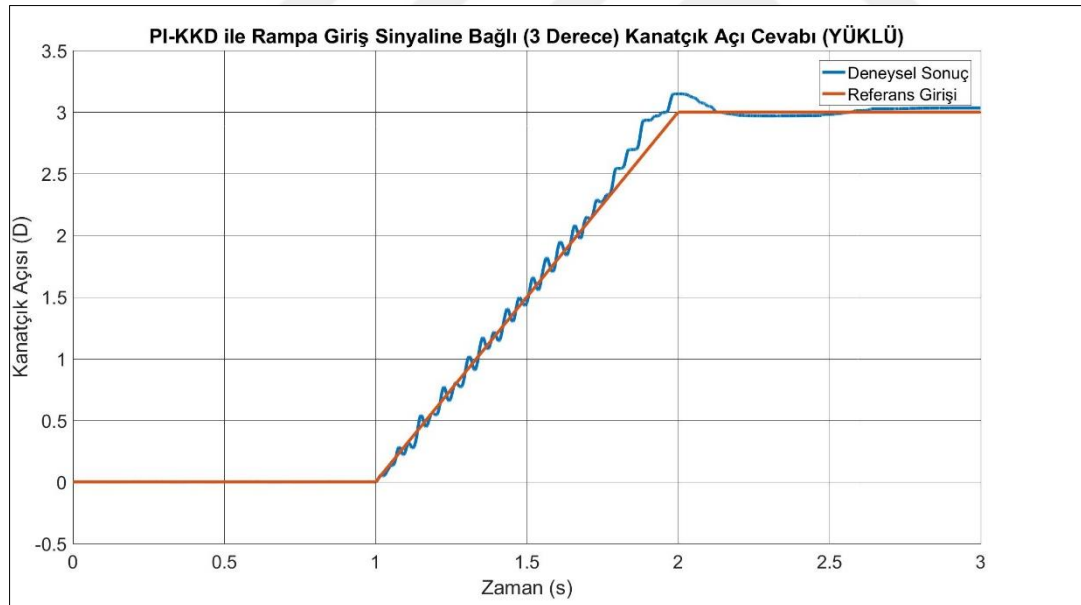


Şekil 11.38. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor akım girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

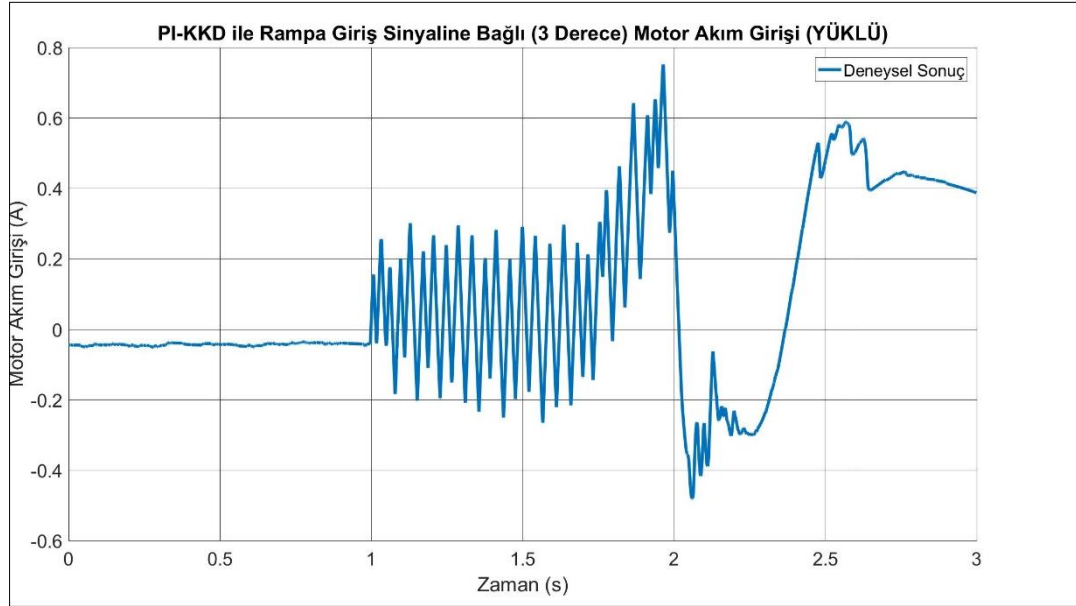


Şekil 11.39. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (2 derece) motor pwm girişi (yükli)

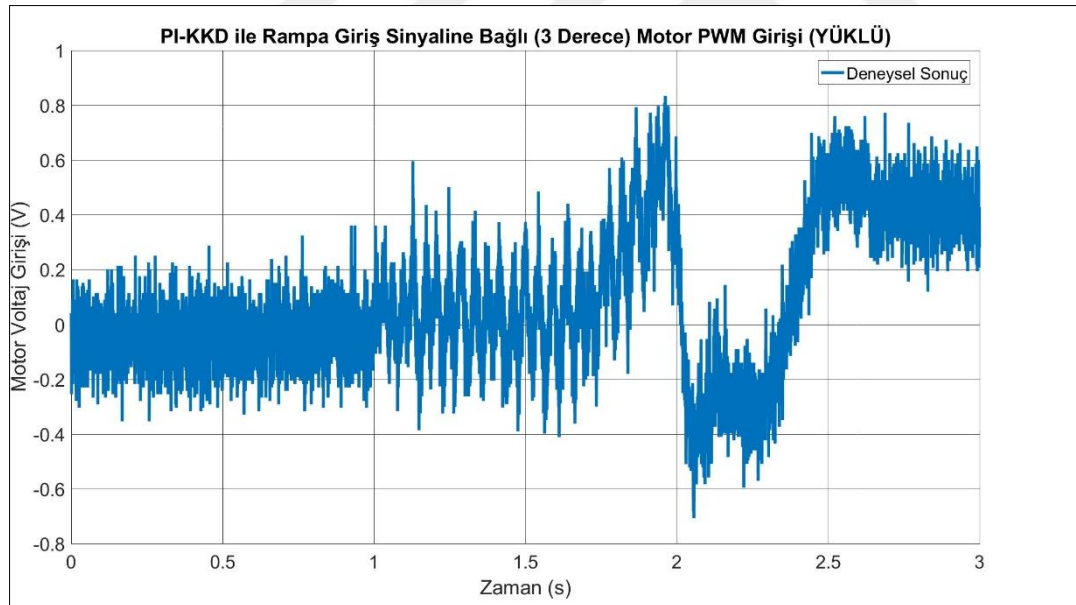


Şekil 11.40. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

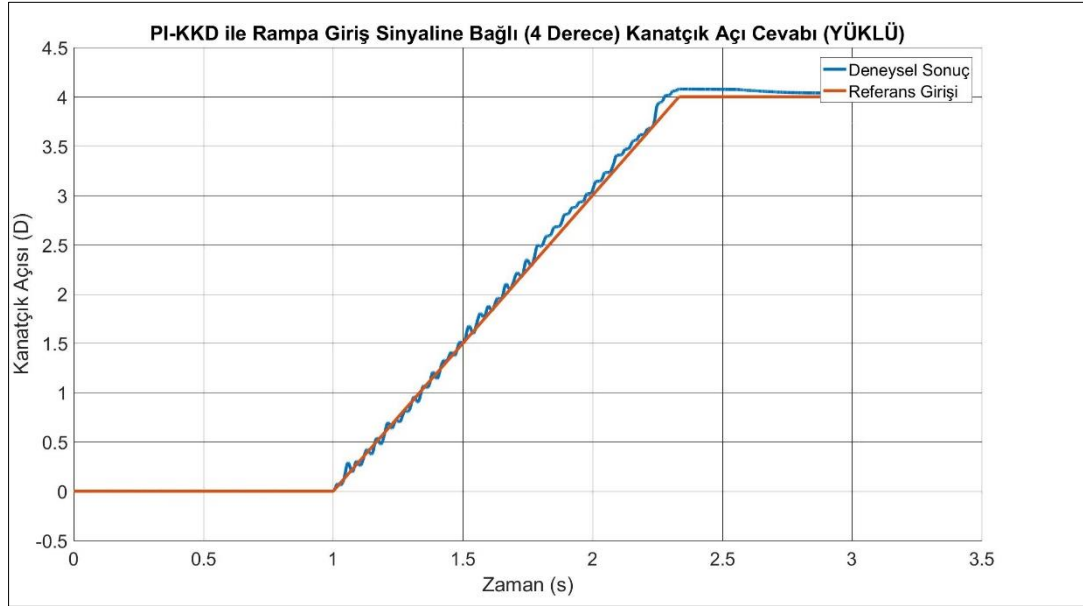


Şekil 11.41. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor akım girişi (yükli)

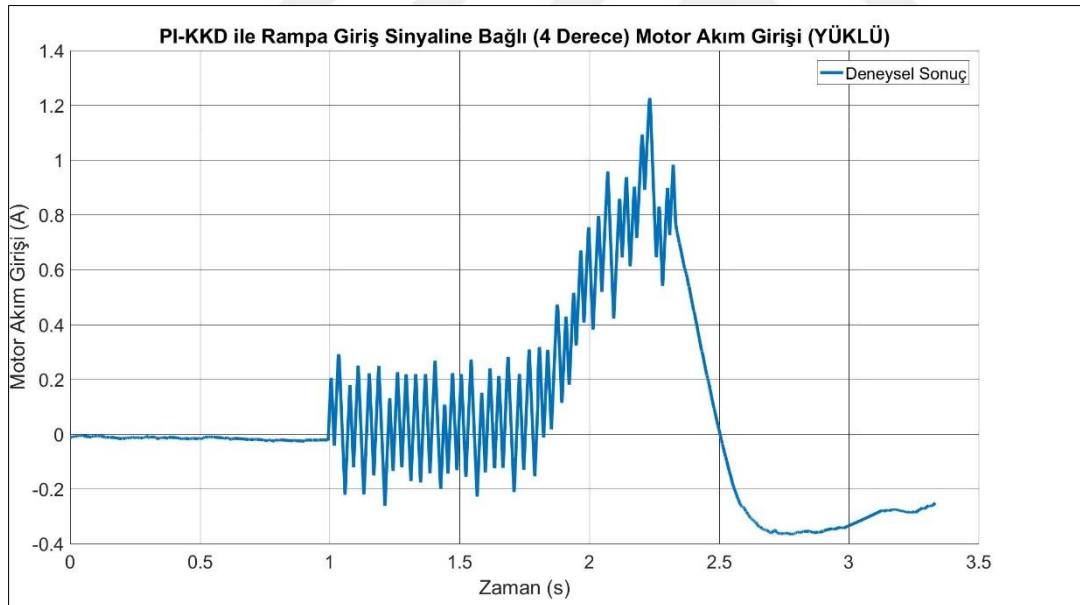


Şekil 11.42. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (3 derece) motor PWM girişi (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

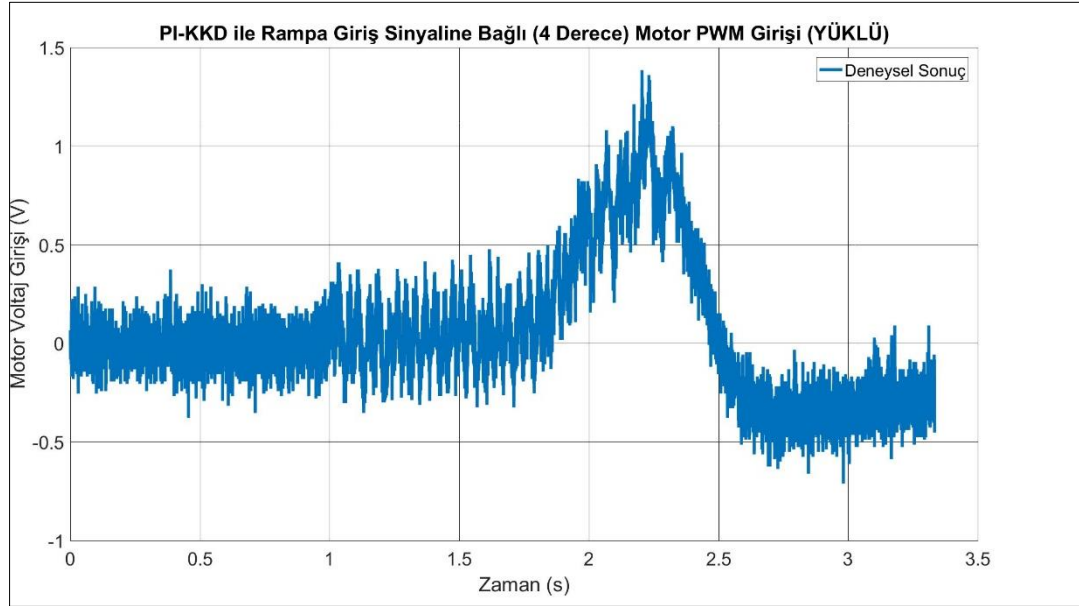


Şekil 11.43. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) kanatçık açısı cevabı (yükü)

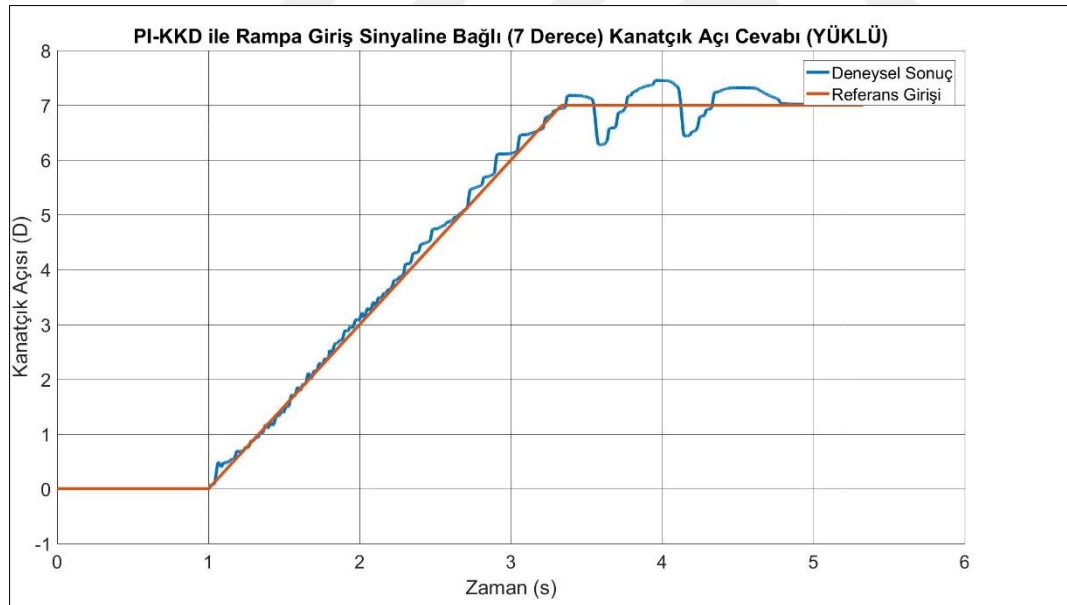


Şekil 11.44. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor akım girişi (yükü)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar

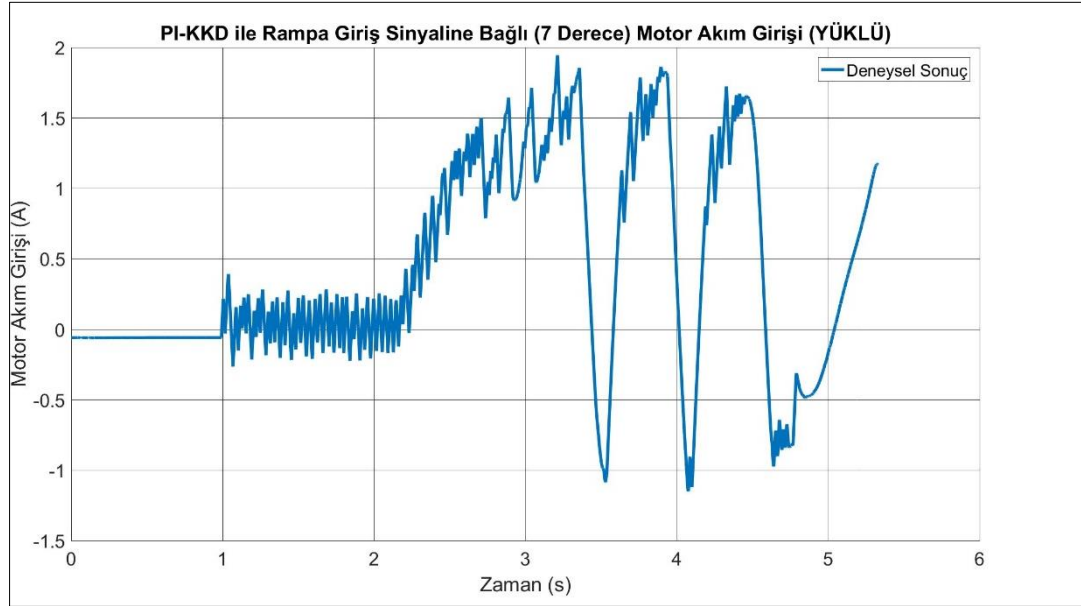


Şekil 11.45. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (4 derece) motor PWM girişi (yükli)

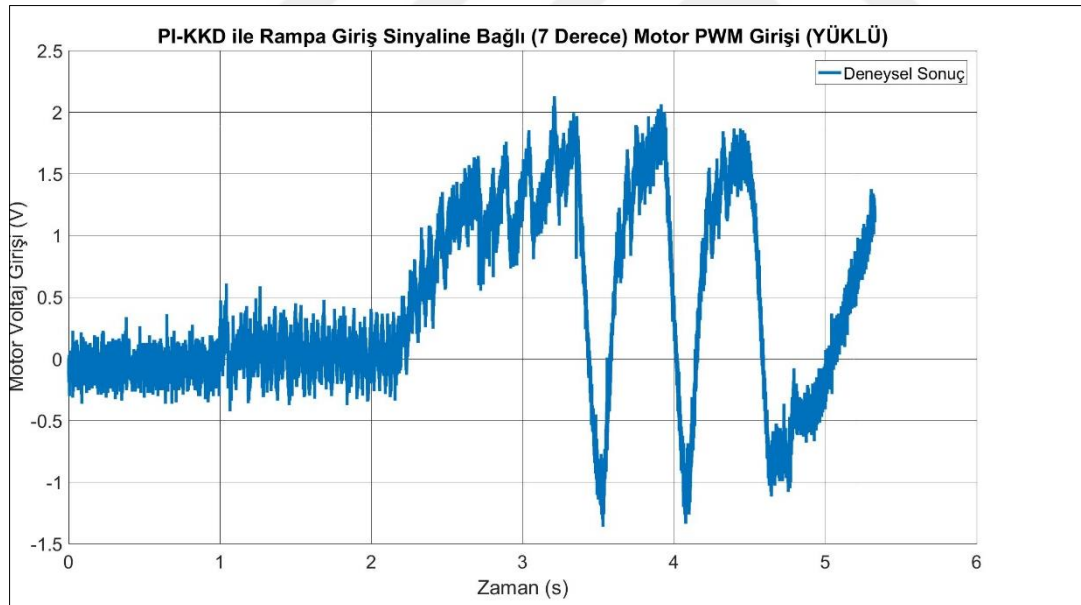


Şekil 11.46. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) kanatçık açısı cevabı (yükli)

EK-11. (devam) Deneysel çalışmalarda elde edilen diğer sonuçlar



Şekil 11.47. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor akım girişi (yükli)



Şekil 11.48. PI-KKD ile rampa giriş sinyaline bağlı (7 derece) motor PWM girişi (yükli)



GAZİ GELECEKTİR..