T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MODEL PARAMETRELERİ BELİRSİZ KREN SİSTEMLERİNİN LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ

Olcay TURGUT

DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep BURKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Ocak, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Olcay TURGUT tarafından, **Prof. Dr. Recep BURKAN** danışmanlığında hazırlanan **"MODEL PARAMETRELERİ BELİRSİZ KREN SİSTEMLERİNİN LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **17/01/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Recep BURKAN İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Erol UZAL İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Cengiz ÖZBEK Beykent Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Olcay TURGUT

(İmza)

Tüm değer verdiklerime ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

MODEL PARAMETRELERİ BELİRSİZ KREN SİSTEMLERİNİN LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışma süresi boyunca desteğini esirgemeyen, öğreticiliği ve danışmanlığı ile şahsıma yön veren değerli, Prof. Dr. Recep Burkan Hocama teşekkür ederim.

Ocak 2024 Olcay TURGUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. LİTERATÜR ÖZETİ 4
3. YÖNTEM **9**
3.1. GEZER KREN SİSTEMİ MATEMATİKSEL (DİNAMİK) MODELİ 9
3.2. PID KONTROL 13
3.2.1. PID Kontrol Temel Özellikleri 13
3.2.2. PID Kontrolcüleri 15
3.2.3. PID Kontrol Ayarlama Yöntemi 16
3.3. ADAPTİF KONTROL 17
3.3.1. Adaptif Kontrolün Amacı 17
3.3.2. Adaptif Kontrol Türleri 18
3.4. LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROL 19
4. BULGULAR **23**
4.1. GEZER KREN SİSTEMİ PID KONTROLÜ 23
4.1.1. Gezer Kren Sisteminin PID Yörünge İzleme ve Salınım Kontrolü 25
4.2. GEZER KREN SİSTEMİ LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ 28

4.2.1. Yörünge Denklemi İkinci Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü 28
4.2.2. Yörünge Denklemi Üçüncü Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü 34
4.2.3. Yörünge Denklemi Beşinci Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü 42
5. TARTIŞMA 51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 54
KAYNAKLAR 55
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 59
ETİK KURUL İZİN YAZISI 60
KURUM İZNİ YAZILARI 61
ÖZGEÇMİŞ 62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Gezer kren fiziksel modeli. 9

Şekil 3.2: PID kontrol blok şeması [27]. 14

Şekil 3.3: Dolaylı adaptif kontrol şeması [28]. 18

Şekil 3.4: Doğrudan adaptif kontrol şeması [28]. 19

Şekil 4.1: Denklem 4.5 için PID Kontrol yörünge referans eğrisi. 25

Şekil 4.2: Kp = 10, Kd = 0, Ki = 0 değerleri için PID Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 26

Şekil 4.3: Kp = 75, Kd = 100, Ki = 75 değerleri için PID Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 27

Şekil 4.4: Denklem 4.5 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi. 29

Şekil 4.5: Denklem 4.5 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi. 29

Şekil 4.6: Kp1 = 200, Kp2 = 200, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 31

Şekil 4.7: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 4, Kv2 = 4 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 32

Şekil 4.8: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 3, Kv2 = 3 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 33

Şekil 4.9: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 34

Şekil 4.10: Denklem 4.11 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi. ... 35

Şekil 4.11: Denklem 4.11 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi. 35

Şekil 4.12: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 38

Şekil 4.13: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 4, Kv2 = 4 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri. 39

Şekil 4.14: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 3, Kv2 = 3 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....40

Şekil 4.15: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....41

Şekil 4.16: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi. ...43

Şekil 4.17: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi. 43

Şekil 4.18: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ivme referans eğrisi. 43

Şekil 4.19: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....46

Şekil 4.20: Kp1 = 75, Kp2 = 75, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....47

Şekil 4.21: Kp1 = 250, Kp2 = 250, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....48

Şekil 4.22: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol “konum-zaman” ve “açı-zaman” grafikleri.....49

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Şekil tablosu öğesi bulunamadı.

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\boldsymbol{F}$	: Kuvvet
$\boldsymbol{m}$	: Ağırlık (Kütle)
$\boldsymbol{x}$	: Mesafe (Konum)
$\dot{\boldsymbol{x}}$	: Hız
$\ddot{\boldsymbol{x}}$	: İvme
$\boldsymbol{\theta}$	: Açı
$\boldsymbol{\ell}$	: Uzunluk
$\mathbf{g}$	: Yer çekimi ivmesi
$\boldsymbol{t}$	: Zaman
$\boldsymbol{kp}$	: Oransal kontrolcü kat sayısı
$\boldsymbol{kd}$	: Türev kontrolcü kat sayısı
$\boldsymbol{ki}$	: Integral kontrolcü kat sayısı
$\boldsymbol{kv}$	: Hız kat sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
PID	: (Proportional-Integral-Derivative) (Oransal-İntegral-Türevsel)
KE	: Kinetik enerji
V	: Potansiyel enerji
L	: Lagrange denklemim

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MODEL PARAMETRELERİ BELİRSİZ KREN SİSTEMLERİNİN LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ

Olcay TURGUT

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Prof. Dr. Recep BURKAN

Krenler; belirlenmiş doğrultuları boyunca hareket eder iken, taşımış oldukları yükler üzerinde salınım hareketi açığa çıkarmaktadırlar. Yüklerin taşınması esnasında açığa çıkan bu salınım hareketi, kren sistemi üzerinde istenmeyen ve taşıma işleminin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bir durumdur. Bu durum, kren sistemlerinde açığa çıkan yük salınım halinin bastırılması problemini ortaya koymaktadır. Literatürde, kren sistemleri üzerinde meydana gelen yük salınım halinin bastırılmasına dair çeşitli teknikler ve yöntemler kullanılmıştır. Amaç krenin yükü taşıması esnasında açığa çıkarmış olduğu salınım halini en ideal şekilde sönümleyebilmek ve krenin yörünge kontrolünü yapabilmektir. Kren sistemlerinde kaldırılan yükler değişkenlik göstermektedir. Kren tarafından kaldırılan yükler belirsiz olduğu için kren sistemi parametreleri de belirsizdir. Krenlerde yük taşıması sırasında krenin hem yörünge hem de salınım kontrolünün yapılması gerekmektedir. Adaptif kontrolü, mekanik sistemlerde model parametrelerinin belirsiz olması durumunda kullanılan kontrolcüler arasındadır. Bu çalışmada kren sistemlerinin parametrelerin belirsiz olması durumunda yörünge ve salınım kontrolünün eş zamanlı olarak yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu sebep ile, kren sistemine literatürde yer alan kontrolcülerden farklı olan Logaritmik Esaslı bir Adaptif Kontrol yöntemi uygulanmış ve

sistem kararlılıklarının en ideal hallere erişmesi sağlanmıştır. Kren sistemi için üçüncü derecelerden ve beşinci dereceden polinom yörüngeleri oluşturulmuş ve Logaritmik esaslı Adaptif kontrol ile istemin kararlılık durumu yeni yörüngelere bağlı olarak incelenmiştir. Tasarlanan yeni yörünge denklemlerinin amacı, Adaptif kontrolün gücünü ve çalışma becerisini artırmaktır. Elde edilen bulgular ve sonuçlar; Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün, kren sisteminin hem yörünge hem de salınım kontrolünü başarı ile birlikte tamamlayabildiğini ispatlamıştır. Tez çalışması, kren sisteminin PID kontrole ve Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrole bağlı olarak elde edilen sonuçlarını göstermektedir. Kullanılan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün becerisinin diğer kontrol yöntemine nazaran daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir. Kren sistemine ilk defa uygulanmış olan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile sistem salınımı en ideal seviyeye indirgenmiş ve kren sisteminin yörünge kontrol becerisi yükseltilmiştir. Ayrıca görülmektedir ki, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol aynı anda hem salınım halini indirgemekte başarılı olmuş hem de sistemin yörünge kontrolünü kontrol altında tutabilmiştir.

Ocak 2024 , 62 sayfa.

Anahtar kelimeler: Kren, Logaritmik, Adaptif Kontrol, Salınım, Yörünge

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

LOGARITHMIC BASED ADAPTIVE CONTROL OF CRANE SYSTEMS WITH UNCERTAIN MODEL PARAMETERS

Olcay TURGUT

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Mechanical Engineering, Thesis Master's Programme

Supervisor : Prof. Dr. Recep BURKAN

Cranes; While moving along their determined directions, they create an oscillatory movement on the loads they carry. This oscillatory movement that occurs during the transportation of loads is an undesirable situation on the crane system and negatively affects the efficiency of the transportation process. This situation reveals the problem of suppressing the load oscillation that occurs in crane systems. Various techniques and methods have been used in the literature to suppress the load oscillation that occurs on crane systems. The aim is to optimally dampen the oscillation of the crane while carrying the load and to control the orbit of the crane. The loads lifted in crane systems vary. Since the loads lifted by the crane are uncertain, the crane system parameters are also uncertain. During load transportation in cranes, both the orbit and oscillation control of the crane must be carried out. Adaptive control is among the controllers used in mechanical systems when model parameters are uncertain. In this study, it is aimed to perform orbit and oscillation control simultaneously in case the parameters of the crane systems are uncertain. For this reason, a Logarithmic Based Adaptive Control method, which is different from the controllers in the literature, was applied to the crane system and the system stability was ensured to reach the most ideal states. Third degree and fifth degree polynomial trajectories were created for the crane system and the stability of the system was examined based on the new trajectories with Logarithmic based Adaptive control. The purpose of the new orbit equations designed is to increase the power and operating ability of Adaptive control. Findings and results obtained; It has been proven that

Logarithmic Based Adaptive Control can successfully complete both orbit and oscillation control of the crane system. The thesis shows the results of the crane system based on PID control and Logarithmic Based Adaptive Control. It is seen that the skill of the Logarithmic Based Adaptive Control used achieves a better result than the other control method. With Logarithmic Based Adaptive Control, which has been applied to the crane system for the first time, system oscillation has been reduced to the ideal level and the orbit control ability of the crane system has been increased. It is also seen that Logarithmic Based Adaptive Control was successful in reducing the oscillation and keeping the orbital control of the system under control at the same time.

January 2024, 62 pages.

Keywords: Crane, Logarithmic, Adaptive Control, Oscillation, Trajectory

1. GİRİŞ

Kren; yükleri kaldırmak, indirmek ve yatay olarak hareket ettirmek için kullanılabilen bir makine türüdür. Ağır yükleri kaldırmak ve başka yerlere taşımak için kullanılır. Krenler, bir veya birden fazla basit yapılı makineleri kullanarak mekanik avantaj yaratabilen ve böylece insanların normal kapasitelerinin üzerindeki yükleri taşıyabilen sistemlerdir. Krenler nakliye amacı ile malzemelerin(nesnelerin) yüklenmesi ve boşaltılması, ağır yüklerin bir noktadan diğer bir noktaya kolaylıkla taşınması için; inşaat, sanayi, liman ve benzeri alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Krenlerin kullanımı binlerce yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Tarihte bilinen en eski kren sisteminin "Şaduf" olduğu düşünülmektedir. Şaduf, sulama işlerinde kullanılan ve basit bir kaldıraç mekanizmasına sahip olan kren benzeri bir alettir [1]. Antik Mezopotamya uygarlığı döneminde icat edilmiştir.

Sanayi devrimine kadar, basit mekanik sistemler ile ahşap olarak inşa edilen vinçler; sanayi devrimini takiben dökme demir, demir ve çelik materyaller ile üretilmeye başlanmış ve modern kren sistemlerinin temelini oluşturulmuştur.

Krenler; belirlenmiş doğrultuları boyunca hareket eder iken, taşımış oldukları yükler üzerinde salınım hareketi açığa çıkarmaktadırlar. Yüklerin taşınması esnasında açığa çıkan bu salınım hareketi, kren sistemi üzerinde istenmeyen ve taşıma işleminin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen bir durumdur. Bu durum, kren sistemlerinde açığa çıkan yük salınım halinin bastırılması problemini ortaya koymaktadır. Literatürde, kren sistemleri üzerinde meydana gelen yük salınım halinin bastırılmasına dair çeşitli teknikler ve yöntemler kullanılmıştır.

Literatürde kullanılan salınım önleme ve bastırma teknikleri(yöntemleri) için; sinir ağı otomatik ayarlayıcı denetleyicisi (NNST/Neural Network Self Tuner), Lyapunov kontrol yasası, bulanık ayarlı PID kontrolör, kazanç planlama (GS) kontrol yaklaşımı, model öngörülü kontrol yaklaşımı (MPC), çok amaçlı H∞ metodu, girdi şekilli model referans kontrolörü (IS-MRC), hareket planlamaya dayalı uyarlanabilir bir kontrol stratejisi ve farklı birçok farklı teknik örnek verilebilir [2,3,5,6,13,18,21,22]

Kren sistemlerinde kaldırılan yükler değişkenlik göstermektedir. Kren tarafından kaldırılan yükler belirsiz olduğu için kren sistemi parametreleri de belirsizdir. Krenlerde yük taşıması sırasında krenin hem yörünge izleme hem de salınım kontrolünün yapılması gerekmektedir. Adaptif kontrolü, mekanik sistemlerde model parametrelerinin belirsiz olması durumunda kullanılan kontrolcüler arasındadır. Bu çalışmada kren sistemlerinin parametrelerin belirsiz olması durumunda krenin Adaptif yörünge izleme ve salınım kontrolü amaçlanmıştır. Bu sebep ile, literatürde yer alan diğer kontrolcülerden farklı olan ve ilk defa kren sistemine uygulanan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yöntemi kullanılmış ve sistem kararlılıklarının en ideal hallere erişmesi sağlanmıştır.

Adaptif kontroldeki temel fikir, belirsiz tesis parametrelerini (veya eşdeğer olarak karşılık gelen kontrolör parametrelerini) ölçülen sistem sinyallerine dayanarak çevrimiçi olarak tahmin etmek ve tahmin edilen parametreleri kontrolde kullanmaktır. Bu nedenle adaptif kontrol sistemi, çevrimiçi parametre tahminine sahip bir kontrol sistemi olarak kabul edilebilir [30].

Tez çalışmamızın amacı; krenin yükü taşıması esnasında açığa çıkarmış olduğu salınım halini en ideal şekilde sönümleyebilmek (indirgeyebilmek) ve eş zamanlı olarak krenin yörünge izleme kontrolünü yapabilmektir. Bu sebep ile, literatürde yer alan kontrolcülerden farklı olan Logaritmik Esaslı bir Adaptif Kontrol yöntemi kren sistemine uygulanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde; literatürde yer alan ve farklı kontrolcüler ile tamamlanmış çalışmalar hakkında genel bilgiler verilmiş ve kullanılan kontrolcü yöntemleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde; gezer kren sisteminin matematiksel (dinamik) modeli tasarlanmış, tez çalışmasında kullanılan kontrolcü türleri tanımlanmış ve amaçları vurgulanmıştır. Üçüncü bölüm, tez çalışmasında kullanılacak olan ve ilk defa bir kren sistemine uygulanan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol metodunun oluşturulduğu önemli bir kısımdır. Ayrıca, gezer kren sistemi için Logaritmik Esaslı Addaptif Kontrolün gücünü artırmakta kullanılacak olan ve seçili sınır koşullar altında, üçüncü dereceden ve beşinci dereceden polinom yörüngeleri modellenmiştir. Dördüncü bölümde; Tasarlanmış olan yörüngelere ve sınır koşullara bağlı kalınarak model parametreleri belirsiz kren sisteme PID ve Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol metotları uygulanmış, eş zamanlı olarak yörünge izleme ve salınım kontrolleri yapılmıştır. Sistemin bilgisayar simülasyonu yapılmış ve izleme hatasını minimum yapan kontrol parametreleri araştırılmıştır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün ve PID kontrolün kren sistemi üzerindeki salınım indirgeme ve yörünge izleme kontrol becerisi yorumlanmıştır.

Beşinci bölüm, PID kontrol ile Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün kıyasının yapıldığı ve kren sistemi üzerindeki başarı durumlarının tartışıldığı kısımdır. Her iki kontrol metodu karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise, tez çalışmasında model parametreleri belirsiz kren sistemlerinin kararlılık hallerinin iyileştirilmesi amacı ile ilk defa bir kren sistemine uygulanan "Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol" yönteminin PID kontrole kıyasla daha başarılı olduğu yörünge izleme kontrolü ve salınım kontrolü becerileri ve elde edilen sonuçları açıklanmıştır.

Özet olarak; Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile kren sisteminin kararlılık halleri başarı ile kontrol altında tutulabilmektedir. Kren sistemi, yeni kontrolcü ile hem salınım kontrolünü hem de yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak üstün bir başarı ile yapabilmektedir. Ayrıca, krenin durmaya yakın ivme değeri de sıfıra eşitlenmekte ve yavaşlayarak durma hareketi sağlamaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tezin bu bölümünde, kren sistemlerine dair literatürde yer alan farklı çalışmalara yönelik örnekler sunulmuş ve detaylı özetleri çıkarılmıştır. Örnek çalışmalar aracılığı ile, kren sistemlerinin konumlandırma ve salınım indirgeme becerilerinin artırılmasına yönelik tasarlanmış olan kontrolcü metotlarından/yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu aracılıkla görülmektedir ki, kren sistemlerinin otomatik kontrolü amacı ile tasarlanmış olan birçok çalışma literatürde yer bulmuştur.

2.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Kren sistemi üzerinde yer alan yüklerinin hızlı ve salınım olmaksızın taşınmasının önemli bir görev ve araştırma alanı haline geldiği bilinmektedir. Yükün hassas bir şekilde taşınmasının yanı sıra, açığa çıkan salınımının da ortadan kaldırması amaçlayan bir sinir ağı otomatik ayarlayıcı denetleyicisinin (NNST/Neural Network Self Tuner) tasarlandığı çalışma literatüre kazandırılmıştır [2]. Tasarlanış olan yeni algoritma aracılığı ile sinir ağı denetleyicisinin, yükün taşınması esnasında oluşan salınım değerini daha iyi bir şekilde azaltabildiği hatta, PID (Sabit Oranlı-Integral-Türevli) denetleyicisine nazaran daha uzun mesafelerdeki taşıma işlemlerini daha uygun ve iyileştirilmiş şartlar altında tamamladığı bu örnek çalışma içerisinde görülmektedir.

Doğrusal tek sarkaçlı referans model kullanılarak, zamanla değişen çift sarkaç sistem üzerinde girdi şeklinde yer alan model referans kontrolörünün performansının incelendiği bir çalışa mevcuttur [3]. Çalışma içerisinde, tek ve çift sarkaçlı vinç sistemlerinin dinamiklerinin sunulduğu ve sonrasında girdi şeklinde bir model referans kontrol şeması geliştirildiği görülmektedir. Ayrıca çalışmada, çift sarkaçlı vinç sisteminin doğal frekanslarının hesaplandığı, iki modlu özel duyarsızlık giriş şekillendiricisinin tasarlanabildiği ve sistemin yalnızca birinci mod durumlarını kullanan bir Lyapunov kontrol yasasının türetildiği görülmektedir.

Literatürde, yükün konumunu ve salınım değerini kontrol ederek vinç sistem işleyişini otomatik hale getirmek için bir geri bildirim denetleyicisinin tasarlandığı çalışma mevcuttur [4]. Bu

çalışma içerisinde PD izleme denetleyicisinin, belirlenen bir yörüngeyi takip edecek şekilde tasarlandığı ve yükün salınım değerinin sönümlenebilmesi için kontrol döngüsüne başka bir kontrolörün eklendiği görülmektedir.

Salınım değeri indirgenmiş bir portal vinç kontrolü için bulanık ayarlı PID kontrolör tasarımının kullanıldığı bir çalışma mevcuttur [5]. Çalışmanın amacının, tasarımı basit olan ve aynı zamanda da sağlam olan kolaylıkla kullanılabilir bir salınım önleyici kontrolün tasarlaması olduğu görülmektedir. Çalışma içerisinde önerilen Bulanık ayarlı PID metodunun, portal vinçteki parametre değişimlerine karşı güçlü bir performans verisi elde etmek için PID kazanç ayarlayıcıları olarak bulanık sistemi kullandığı görülmektedir.

Doğrusal Parametre Değişen (LPV) durum uzay sistemi ile temsil edilen, zaman etkisi altında değişen parametre değerlerine sahip bir tavan vinci inceleme çalışması mevcuttur [6]. Çalışma içerisinde, en düşük değerli salınım açısı ile konum takibi sağlamak için Kazanç Planlama (GS) kontrol yaklaşımının kullanıldığı sonrasında ise, Doğrusal Matris Eşitsizlikleri (LMI'ler) kullanılarak LPV LQR denetleyicisi oluşturduğu görülmektedir.

Literatürde, modüler yapı elemanlarının montajı için kullanılan otomatik bir tavan vinç sisteminin kontrolünün sağlandığı bir çalışma yer almaktadır [7]. Çalışmada, vinç sisteminin robotik sisteme dönüştürüldüğü ve bilgisayar tabanlı çok eksenli kontrol panosu üzerinden kontrol edildiği görülmektedir. Uygulanan algoritmalar sayesinde, modül entegrasyonundaki şu iki temel sorunun çözüme kavuşturulduğu tespit edilmektedir:

- Büyük ve ağır modüllerin birkaç santimetre mertebesinde hassas konumlandırılması
- Zorlu hava koşulları altında dahi modüllerin salınım olmaksızın taşınması.

Çalışmaların birinde, sistemde mevcut salınım frekansının doğrusal olmayan bir yaklaşımını geliştirmek için çoklu ölçek yönteminin kullanıldığı görülmektedir [8]. Çalışma içerisinde, ortaya çıkan frekans yaklaşımı bir bang-off-bang giriş şekillendirme denetleyicisinin anahtarlama sürelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Kontrolcünün performansı, vincin tam modeli üzerinde sayısal olarak simüle edilmekte ve basit bir sarkacın doğrusal olmayan frekans yaklaşımına ve kısıtlı çift sarkacın doğrusal frekans yaklaşımına dayanan benzer kontrolcünün performansıyla karşılaştırılmaktadır.

Tamamlanmış olan farklı bir çalışma içerisinde, kanca başlı sarkaçları ortadan kaldırmak amacı ile tavan vincinin salınım önleyici kontrolörünün nasıl tasarlanacağını açıklanmaktadır [9]. Çalışmanın içerisinde, yapının hareket sisteminin matematiksel bir modelini elde etmek için Lagrange denkleminden yararlanılmaktadır. Sonrasında ise makalede yeni bir bakış açısı oluşturulmakta ve tavan vincinin salınım önleyici kontrolcüsünün tasarımına, doğrusal ikinci dereceden regülatör tekniklerini uygulanmaktadır.

Yetersiz sönümlü sistemler için giriş şekillendiriciler olarak sonlu darbe yanıtlı (FIR) filtrelerin kullanımının tartışıldığı bir çalışma literatürde yerini almıştır [10]. Çalışma içerisinde, üç spesifik FIR filtresi incelenmektedir (yük vagonu, üçgen ve yarım sinüzoid). Üç filtre yanıtı, normal bir adım yanıtının yanı sıra ön filtre olarak alçak geçişli bir filtreye sahip bir adım yanıtıyla karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmalar, Matlab/Simulink simülasyon yazılım paketinde simüle edilmiş olan ikinci dereceden bir sistemin yanı sıra, piezo ile çalıştırılan hızlı tepki veren bir aşamada gerçekleştirilmektedir. Elde edilen veriler eşliğinde, FIR filtresinin hem simülasyonda hem de deneysel olarak sistemin tepkisini önemli ölçüde artırabilmekte başarı sergilediğini kanıtlanmaktadır.

Tamamlanmış olan bir çalışmada, doğal sönümleme yönteminin uygulanması üzerine durulmaktadır [11]. Çalışmada doğal sönüm, vinç sisteminin araba sürtünmesinden kaynaklanan enerji sönümü olarak tanımlanmakta hem vinç sisteminin arabası hem de oluşan yük enerjisi doğal sönümleme etkisi altında sönümlenmektedir. Çalışma içerisinde tanımlanmış olan metot ile araba konumu yakınsaması ve taşınmakta olan yükün salınım değerlerinin indirgenmesi sağlanmaktadır.

Literatürde yer alan bir çalışma içerisinde, kule vinç sistemi üzerinde meydana gelen salının halinin analizini yer almaktadır [12]. Bu çalışmada ayrıca; salınım halinin sahip olduğu dinamikleri, frekans değişiklikleri karşısında iyi bir performans değeri sergileyecek şekilde azaltabilmesi için bir komut oluşturma tekniğine vurgu yapılmaktadır. Önerilen metodun vinç operatörlerinin çift sarkaçlı bir kule vincine ait sürme yeteneğini geliştirebileceğini doğrulamak için deneysel sonuçlar ortaya konulmaktadır.

Bir çalışma içerisinde, sistem üzerinde meydana gelen izleme hataları veya kararlı durum(konum) hataları gibi düzenleme performanslarının iyileştirilmesine katkı sağlayan, Model Öngörülü Kontrol (MPC) yaklaşımının oluşturulduğu görülmektedir [13]. Tasarlanan sistem modeli üzerinde, enerji tüketimi ve salınım açı değerinin indirgenmesi için MPC

yaklaşımı uygulanmaktadır. Uygulanan metot sayesinde, enerji tüketiminde ve salınım açısı değerinde azalmaya dair olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Elde edilen test sonuçları, MPC metodunun enerji verimliliği ve güvenliğini iyileştirme konusunda istikrar ve sağlamlık sağlayabileceğini göstermektedir.

Açık denizlerdeki kaldırma operasyonlarında asılı yüklerin salınımını azaltan bir vinç kontrol sisteminin ele alındığı çalışma mevcuttur [14]. Çalışma içerisinde, gemi vincinin modellenmesi yapılmakta ve bir salınım önleyici kol tasarlanıp önerilmektedir. Çalışmada, Lyapunov analizi ve doğrusal olmayan kontrol tasarımları uygulanmaktadır. Doğrusallaştırılmış kinematik model için ise, doğrusal kontrol tasarım teknikleri hem dikey hem de yatay düzlemlerde uygulanmaktadır. Bu teknikler doğrusal ikinci dereceden Gaussian'a (LQG) ve genelleştirilmiş tahmine dayalı kontrole (GPC) dayandırılmaktadır.

INTECO 3D vinç sisteminin yük konumlandırmasını düşük salınım değerleri ile kontrol etmek için LMI tekniklerini temel alan kutup kümelemeli H∞ kontrol cihazının geliştirilmesine yönelik araştırmaların sunulduğu bir çalışma mevcuttur [15]. Çalışma içerisinde, INTECO 3D vinç sisteminin doğrusal modeli, sistem tanımlama işlemi kullanılarak elde edilmektedir. LMI metodu sayesinde, LMI bölgesi olarak bilinen bölgesel kutup yerleşimi, H∞ kontrol cihazındaki tasarım hedefiyle bir araya gelmektedir. Bu sayede, hızlı bir girdi izleme yeteneği sağlanmakta, yük konumlama hassasiyeti artırılmakta ve salınım açısı değeri indirgenmektedir.

Literatürde yer alan farklı bir çalışmada, indirgenmiş dereceli çok amaçlı kontrolcü sentezi için yeni bir dışbükey metodu oluşturulmakta ve bu metot bir tavan vinci test düzeneğinde deneysel olarak doğrulanmaktadır [16]. Çalışma içerisinde, düzenek için doğrusal zamanla değişmeyen bir model tanımlanmaktadır. Belirlenen model için tam sıralı bir denetleyiciden başlanmakta ve dışbükey optimizasyon problemlerinin başarıyla sonuçlandırılmasını takiben, indirgenmiş dereceli çok amaçlı H∞ denetleyiciler tasarlanmaktadır.

Literatürde, PID kontrolünü sinirsel telafiyle birleştiren yeni bir salınım önleyici kontrolör metodunun sunulduğu çalışma yer almaktadır [17]. Bu çalışmanın ana teori katkılarının, salınım önleme kontrolü için nöral PID'nin yarı küresel asimptotik stabilitesinin standart ağırlık antrenman algoritmaları ile kanıtlanması olduğu görülmektedir.

Tamamlanan çalışmalardan birinde; kazanç programlı kontrolörlerin tasarımı için geliştirilmiş olan enterpolasyon tabanlı bir yaklaşımın, bir tavan vinç sistemi üzerinde simülasyonların ve

deneylerin yardımı ile detaylı bir bakış açısı ile değerlendirilmesine yer verilmektedir [18]. Yaklaşımın ilk adımında, çok amaçlı H∞ yöntemi kullanılmakta ve sistemin yerel çalışma koşulları için doğrusal zamanla değişmeyen kontrolörler tasarlanmaktadır. Bu yöntemin yardımıyla, tavan vinci kontrol probleminde referans izleme ile bozulmanın reddedilmesi arasındaki temel denge analiz edilmektedir. Çalışmanın ikinci adımda, kazanç programlı bir denetleyiciyi hesaplamak için durum-uzay enterpolasyonu yöntemi kullanılmaktadır.

Literatürde yer alan bir çalışmada, tavan vinci için yeni bir salınım önleyici kontrol yöntemi sunulmaktadır [19]. Çalışma içerisinde, kontrolör hem konum düzenleme hem de salınım önleme becerisine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Çalışma içerisinde, PD kontrolünü gerçekleştirmek için eklem hızlarını tahmin etmek üzere yüksek kazançlı bir gözlemci tanıtılmakta ve bu yeni stabil salınım önleyici PID kontrol stratejisini normal vinç kontrolörleriyle karşılaştıran gerçek zamanlı deneylere yer verilmektedir.

Bir başka çalışmada ise, yük salınımını indirgemek amacıyla tavan vinci kontrol işlemi için bir DE optimal PID kontrolörü tasarlanmıştır [20]. Çalışma içerisinde, arı kolonisi yiyecek arama mekanizmasından esinlenilmekte, arama verimliliğini artırmak amacı ile diferansiyel evrim (DE) algoritması geliştirilmektedir. Bu geliştirilmiş DE algoritması, PID kontrol cihazı parametrelerini çevrimdışı olarak ayarlayabilmektedir. Farklı çalışma koşulları altında tamamlanan simülasyon ve karşılaştırma yolları sonucunda DE tabanlı PID kontrol cihazının, tavan vincinin salınım önleme ve konum kontrolünde başarı sergilediği görülmektedir.

Tamamlanmış olan bir çalışmada, belirsiz doğrusal olmayan çift sarkaçlı bir vince uygulanan girdi şekilli model referans kontrolörü (IS-MRC) incelenmiştir [21]. Çalışmada, çift sarkaçlı vincin doğal frekansları hesaplanmakta ve girdi şekillendiricileri tasarlamak için kullanılmaktadır. Çalışma içerisinde, garantili asimptotik stabiliteye sahip bir Lyapunov kontrol yasası, sistemin yalnızca birinci mod durumları kullanılarak türetilmektedir.

Son olarak, literatürde yer alan bir çalışmada ise gezer vinç sisteminin ideal çalışma becerisine ulaşabilmesi için hareket planlamaya dayalı uyarlanabilir bir kontrol stratejisi önerilmektedir [22]. Çalışma içerisinde önerilen bu kontrol stratejisi; hareket planlama aşamasından oluşan iki adımlı tasarım stratejisi ve sistemi kontrol etmek için uyarlanabilir bir izleme kontrol tasarım aşaması strateji özelliğini taşımaktadır. Elde edilen analiz sonuçları, geleneksel ampirik yörünge planlama yöntemleriyle incelenmekte ve daha sonrasında uyarlanabilir bir kontrol yasası oluşturulmaktadır.

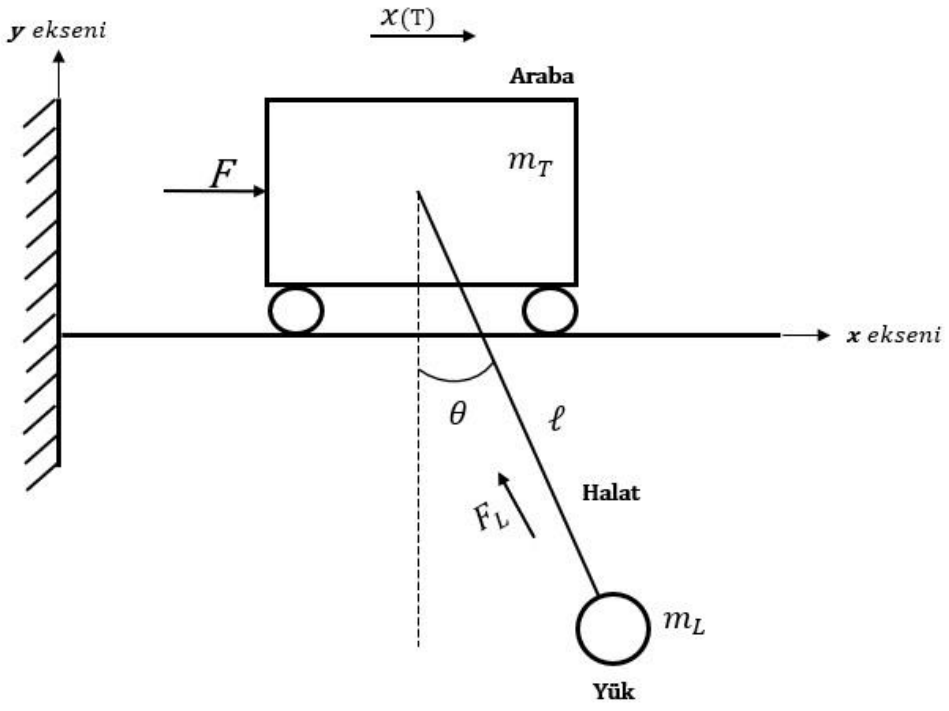
3. YÖNTEM

3.1. GEZER KREN SİSTEMİ MATEMATİKSEL (DİNAMİK) MODELİ

Çalışmanın bu bölümünde bir gezer vinç sistemine ait matematiksel model oluşturulmuştur. Şekil 3.1 de yer alan gezer krene ait fiziksel model üzerinde belirtilmiş olan veriler (girdiler) doğrultusunda, sistemin matematiksel modeli Lagrange yöntemi ile türetilmiştir.

Kren sistemlerinin çoklu değişkenlere ve yüksek etkileşimli dinamiklere sahip olması sebebi ile, Newton dinamik metodu ile bir gezer krene ait matematiksel modelini elde etmek güçtür. Bu zorlukları Lagrange yöntemi sayesinde aşabiliyor olmak ve zorluklar ile etkili bir şekilde üstesinden gelebilmek daha kolaydır [23].

Lagrange Denklemi: Euler-Lagrange denklemleri veya Lagrange'ın ikinci tip hareket denklemleri olarak adlandırılır. Değişim kalkülüsünün matematiksel bir sonucu olarak ortaya konmuştur. Bu sonuç fiziksel – mekanik sistemlerde de hem doğalarını anlamada hem de hareketlerini hesaplamada kullanılır.



Şekil 3.1: Gezer kren fiziksel modeli.

Gezer krene ait sistem; bir araba, yük ve yükün asılı olduğu halattan meydana gelmektedir. Sistemde yer alan girdilerden; F arabaya x ekseni doğrultusunda uygulanan kuvveti, F_L yükün taşınması esnasında uygulanan kuvveti, $x_{(T)}$ arabanın x ekseni doğrultusunda katettiği yolun mesafesini, θ yükün salınım açısını, ℓ yükü taşıyan halatın uzunluğunu, m_T arabanın ağırlığını, m_L yükün ağırlığını, g ise yer çekimi ivmesini ifade eder.

Literatürde, daha kullanışlı ve doğrusal modeller oluşturmak için belirli varsayımların yapılması yaygın bir metottur. Bu varsayımlar şu şekildedir [24]:

- Araba ve yükün noktasal kütle olarak kabul edilmesi
- Arabada ve kaldıraçta oluşan sürtünme değerlerinin ihmal edilmesi
- Halatın rijit yapıda ve kütlesiz olarak kabul edilmesi
- Hava ve rüzgâr benzeri dış etkenlerin ihmal edilmesi
- Sistemin iki serbestlik dereceli olacak şekilde düşünülerek ele alınması.

Sistemin dinamik denklemlerini elde etmek için Lagrange denklemi kullanılmıştır.

$$\frac{d}{d_t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \mathrm{Q}_i \tag{3.1}$$

Görelilik etkilerin ihmal edildiği sistemler için Lagrange yöntemi, L = KE – V formülasyonu ile ifade edilir. Bu denklem; kinetik enerji ile potansiyel enerji arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

Kinetik enerjinin ifadesi şu şekilde tanımlanır:

$$KE = \frac{1}{2} m_T \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_L \left(\dot{x} + \ell \dot{\theta} \cos\theta\right)^2 + \left(\ell \dot{\theta} \sin\theta\right)^2 \tag{3.2}$$

$$KE = \frac{1}{2} m_T \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_L \left(\dot{x}^2 + \dot{\ell}^2 + 2\dot{x}\dot{\ell} \sin\theta + 2\dot{x}\dot{\theta}\ell \cos\theta + \dot{\theta}^2 \ell^2\right) \tag{3.3}$$

Potansiyel enerjinin ifadesi ise şu şekilde tanımlanır:

$$V = -m_L \mathrm{g} \ell \cos\theta \tag{3.4}$$

Kinetik enerji ve potansiyel enerji ifadelerini, L = KE – V formülasyonu içerisinde yerlerine yerleştirdiğimizde ise Euler Lagrange denkleminin genel ifade halini ortaya çıkarmış oluruz.

$$L = \frac{1}{2} m_T \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_L \left(\dot{x} + \ell \dot{\theta} \cos\theta\right)^2 + \left(\ell \dot{\theta} \sin\theta\right)^2 + m_L g \ell \cos\theta \tag{3.5}$$

$$L = \frac{1}{2} m_T \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_L \left(\dot{x}^2 + \dot{\ell}^2 + 2\dot{x}\dot{\ell} \sin\theta + 2\dot{x}\dot{\theta}\ell \cos\theta + \dot{\theta}^2 \ell^2\right) + m_L g \ell \cos\theta \tag{3.6}$$

Elde edilen Euler Lagrange denklemini (x_T), (θ) ve (ℓ) değerleri ile ifade edecek olur isek;

Lagrange denkleminin, araba konum değeri olan (x_T) cinsinden ifadesi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} = F \tag{3.7}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m_T \dot{x} + m_L \left(\dot{x} + \dot{\ell} \sin\theta + \dot{\theta}\ell \cos\theta\right) \tag{3.8}$$

$$\frac{d}{d_t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) = m_T \ddot{x} + m_L \left(\ddot{x} + \ddot{\ell} \sin\theta + 2\dot{\theta}\dot{\ell} \cos\theta + \ell\ddot{\theta} \cos\theta - \ell\dot{\theta}^2 \sin\theta\right) \tag{3.9}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0 \tag{3.10}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} = m_T \ddot{x} + m_L \left(\ddot{x} + \ddot{\ell} \sin\theta + 2\dot{\theta}\dot{\ell} \cos\theta + \ell\ddot{\theta} \cos\theta - \ell\dot{\theta}^2 \sin\theta\right) \tag{3.11}$$

Lagrange denkleminin, salınım açısı değeri olan (θ) cinsinden ifadesi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \tag{3.12}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = m_L \ell \dot{x} \cos\theta + m_L \ell^2 \ddot{\theta} \tag{3.13}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) = m_L \ell \ddot{x} \cos\theta - m_L \ell \dot{x}\dot{\theta} \sin\theta + m_L \ell^2 \ddot{\theta} \tag{3.14}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = m_L \left(\dot{x}\dot{\ell} \cos\theta - \dot{x}\dot{\theta}\ell \sin\theta - g\ell \sin\theta\right) \tag{3.15}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = m_L \ell \ddot{x} \cos\theta + m_L \ell \cos\theta\, \ddot{\theta} + m_L \ell \mathrm{g} \sin\theta = 0 \tag{3.16}$$

Lagrange denkleminin, halat uzunluk değeri olan (ℓ) cinsinden ifadesi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\ell}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \ell} = -F_\ell \tag{3.17}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\ell}} = m_L \dot{\ell} + m_L \dot{x} \sin\theta \tag{3.18}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\ell}}\right) = m_L \ddot{\ell} + m_L \ddot{x} \sin\theta + m_L \dot{x}\dot{\theta} \cos\theta \tag{3.19}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \ell} = m_L \ell \dot{\theta}^2 + m_L \dot{x}\dot{\theta} \cos\theta + m_L \mathrm{g} \cos\theta \tag{3.20}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\ell}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \ell} = m_L\left(\ddot{\ell} + \ddot{x} \sin\theta - \ell\dot{\theta}^2 - \mathrm{g} \cos\theta\right) = -F_\ell \tag{3.21}$$

Yükün taşınması esnasında uygulanan kuvvetin (F_ℓ) etkisini, sistem dinamiğinden ayırmak için bazı varsayımları kullanmak mümkündür. Kabul edilen varsayımlar $(\sin\theta = \theta, \cos\theta = 1, \dot{\theta}^2 = 0, \dot{\ell} = \ddot{\ell} = 0)$ doğrultusunda ve ayrıca pratik olarak (θ) salınım açısı değeri çok küçük bir değer olarak kabul edildiğinde:

$$F_\ell = m_L \ddot{x}\theta - m_L\, \mathrm{g} = -m_L\, \mathrm{g} \tag{3.22}$$

Değerine indirgenmiş ve araba dinamiğinden uzaklaştırılmış olunur.

Bu durumda, Lagrange denklemi (θ) ve (x_T) ye bağlı olarak matris biçiminde ifade edildiğinde:

$$\begin{bmatrix} m_T + m_L & m_L \ell \cos\theta \\ m_L \ell \cos\theta & m_L \ell^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -m_L \ell^2 \sin\theta\, \dot{\theta} \\ 0 & \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ m_L \ell \mathrm{g} \sin\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.23}$$

3.2. PID KONTROL

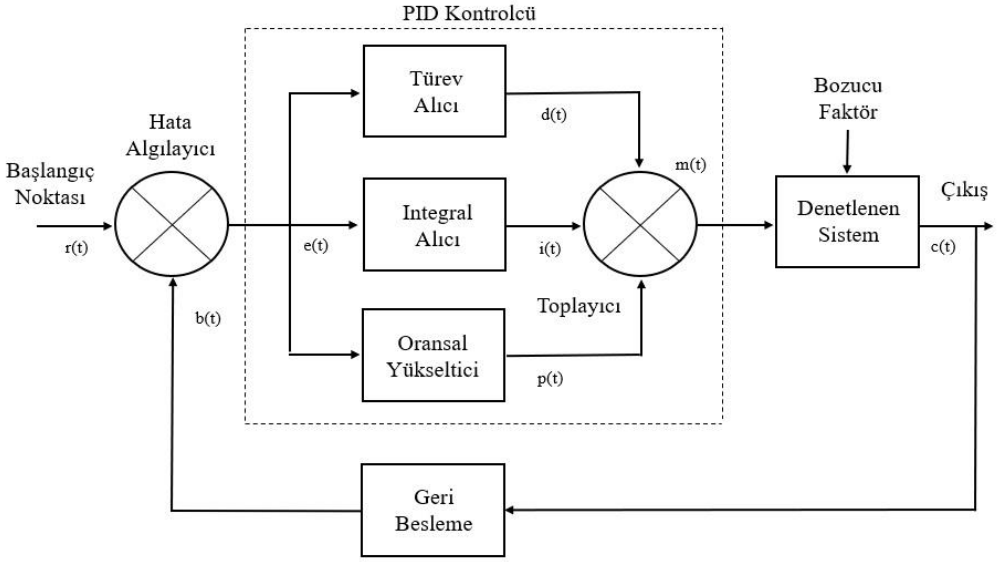
PID (Proportional-Integral-Derivative), “Oransal-İntegral-Türevsel” denetleyici kontrol döngüsü metodu, endüstriyel faaliyet amaçlı oluşturulan kontrol sistemleri içerisinde sıklıkla kullanılan bir geri besleme denetleyicisi metodudur [25]. PID denetleyicisinin temel çalışma prensibinde, sistemde meydana gelen hata değerinin, yani hedeflenen sistem pozisyon değeri ile mevcut sistem pozisyon değeri arasındaki farkın hesaplanması yer almaktadır. Kontrolcü, kontrol girdi değerini/verisini yeniden düzenleyerek hatayı en aza indirgemeye çalışır [26].

Belirli sistemler üzerinde, en uygun olan sistem kontrolünü elde edebilmek için yalnızca bir ya da ikili işlem de kullanmak gerekebilir. Bu durum, kontrolcünün diğer parametrelerine sıfır değerinin verilmesi şartı ile elde edilir. Bu sebeple PID, sıfır değerine göre eşlenmiş olan denetleme uygulamalarının var olmama hallerine göre; ‘’PI’’, ‘’PD’’, ‘’P’’ veya ‘’I’’ olarak da ifade edilebilir. Örneğin; Türevsel (D) kontrol eyleminin, ölçüm gürültü etkisi altında kalabilmesinden dolayı ‘’PI’’ kontrolcüsünün kullanım sıklığı daha fazladır. Integral (I) elemanının sistem kontrolü içerisinde yer almıyor olması ise, kontrolün hareketi sebebi ile sistemin hedeflenen değere erişebilmesine engel oluşturabilir.

3.2.1. PID Kontrol Temel Özellikleri

PID kontrolörü; oransal, türevsel ve integral yöntemlerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. PID kontrolör 3(üç) moda sahip bir kontrolcü olarak da ifade edilebilir. İntegral (I) bileşeni, yük değişimlerine bağlı olarak meydana gelen oransal ofseti indirgemek ya da ortadan kaldırmak için kullanılır. Türev yöntemi, açığa çıkan osilasyon eğilimini indirger ve hata sinyalini daha önceden tespit edip fark edebilen bir katkı sağlar. Türev yöntemi ise, özellikle ani yük değişimlerinin meydana geldiği sistemler üzerinde sıklıkla kullanılır. Diğer bir ifadeyle PID kontrolcüsü, bir ya da birden fazla denetleyicinin hatayı kabul edilebilir sınır değerler içerisinde tutamadığı hızlı ve büyük yük değişimlerinin meydana geldiği sistemlerde kullanılır. Aşağıda yer alan eşitlik durumları, ideal 3-modlu kontrolcüyü ifade etmektedir [27].

$$V = P_e + I\int_0^t edt + D\frac{de}{dt}V_0 \tag{3.24}$$



Şekil 3.2: PID kontrol blok şeması [27].

PID kontrolcü, sisteme giriş değeri ile sistemden çıkış değerleri arasındaki fark sinyalinin türevini ve integralini alır. Hata sinyalinin değeri oransal denetleyiciden geçtikten sonra, toplayıcı devresinde; türev sinyal değeri, integral sinyal değeri, oransal sinyal değeri ve dengeleme gerilimi (Vo) toplanmış olur. Bu sayede, dengeleme gerilimi taban olarak alınmış ve gerekli düzeltmeler sağlanmış olur. Türevsel etkinin fonksiyonu, üst aşım (overshoot) ve alt aşım (undershoot) değerlerini indirgemektedir. İntegral etki ise kalıcı durum hata değerini sıfırlar. Türev yöntemi aracılığı ile daha yüksek kazanç değerleri elde edilebilir.

Şekil 3.2 de yer alan PID blok şeması, parametre değerlerinin nasıl hesaba katıldığını ve uygulamanın işleyişini göstermektedir. Şemada görüleceği üzere, PID kontrolcüsü sürekli bir halde olmak kaydı ile hata değerini ölçümlemektedir. Şemada yer alan $e_{(t)}$ değeri; hedeflenen değer olan $r_{(t)}$ değerinden, ölçüm değeri olan $c_{(t)}$ değerinin çıkarılması ile elde edilir. Sisteme giriş ve sistemden çıkış değerleri arasında PID kontrolcüsü düzeltme görevi yapar. Bu düzeltme, bir $m_{(t)}$ kontrol değişkeni oluşturarak hatayı azaltmayı hedefler.

PID kontrolcüsünün eşitlikleri ve transfer fonksiyonu "K_p", "K_d" ve "K_i" ifadeleri ile tanımlanabilir ve transfer fonksiyonu ifadesi oluşturulabilir.

$$d_{(t)} = K_d \frac{de_{(t)}}{dt} \tag{3.25}$$

$$i_{(t)} = K_i \int_0^t e_{(t)} d_{(t)} \tag{3.26}$$

$$p_{(t)} = K_p e_{(t)} \tag{3.27}$$

$$m_{(t)} = K_p e_{(t)} + K_i \int_0^t e_{(t)} d_{(t)} + K_d \frac{de_{(t)}}{dt} + V_o \tag{3.28}$$

$$TF = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \tag{3.29}$$

3.2.2. PID Kontrolcüleri

PID kontrolcüsü bahsedildiği üzere, 3(üç) tip algoritmanın birleşiminden meydana gelmekte idi. Bunlar P(Oransal), I(integral) ve D(türev) algoritmalarıdır. Sistem üzerinde hedeflenen en uygun sonuç değerine ulaşabilmek için, algoritmalar arasında oluşturulacak kombinasyonlar aracılığı ile kontrolcü metodu seçilebilmektedir.

3.2.2.1. P (Oransal) Kontrolcü

Oransal kontrolcü; sisteme giren hatayı, belirlenmiş bir kat sayı ile çarparak indirgemeyi hedefler. Bu kontrolcü sayesinde, sistem doğrusal tepkiye nazaran daha yumuşak tepkiler verir. Bu tepki K_p katsayısı ile kontrol edilir.

$$P = K_p * (Hata) \tag{3.30}$$

3.2.2.2. I (Integral) Kontrolcü

İntegral, hatanın alanını bulma anlamını taşır. Bu kontrolcünün kullanılmasının en genel nedeni, sürekli olan hatadır. Sistemde, süreklilik oluşturan olan bir hata kaynağı mevcut ise, I(Integral) kontolcüsü kullanmak gereklidir. "I" kontrolcüde asıl işi genellikle birlikte kullanılan P(Oransal) kontrolcüsü yapar. Fakat, hatanın belirli doğrultuda sürekli olmasına neden olan durumun da hesaba katılabilmesi için "I" kontrolcüsünü de kullanmak gereklidir. Kontrolcü için tepki K_i katsayısı ile kontrol edilir.

$$I = I + [K_i * (Hata) * d_t] \tag{3.31}$$

d_t: Hatanın, PID fonksiyonuna her girişindeki geçen süre.

3.2.2.3. D (Türev) Kontrolcü

Türev kontrolcüsü, sistemdeki iki durum arasındaki zaman farkını hesaplar. Bu algoritmada türev işlemi kullanılmakta ve P (Oransal) kontrolcü ile meydana getirilen tepkinin daha hızlı ve daha düzenli olması sağlanmaktadır. Eğer sistem içerisinde tepkinin hızı çok önemli ise kesinlikle uygulamanın içerisinde türev yer almalıdır. İşin içerisine türev dahil olduğunda, oran ve integral değerleri daha geniş aralıklarda tanımlanabilir. Bu sayede sistem çok daha hızlı ve kaliteli tepkiler sunabilir. Kontrolcü için tepki K_d katsayısı ile kontrol edilir.

$$D = [K_d * (Hata - Bir\ önceki\ hata)]/d_t \tag{3.32}$$

3.2.3. PID Kontrol Ayarlama Yöntemi

Hedeflenen tepki değerlerine ulaşmak için PID kontrolcülerinin sistem üzerindeki etkilerinin, mevcut sistemin durumuna göre belirlenmesi gerekmektedir. Etki değerlerinin belirlenmesi, K_p, K_i ve K_d çarpım katsayılarının arzu edilen durum değerine ulaşmak için, en uygun şekilde seçilmesi yolu ile sağlanır. Kontrolör; uygun bir şekilde ayarlanabildiğinde, sistemde yer alan ve değişken nitelikli referans noktası hallerinde dahi, düşük seviyeli tepe aşım miktarı ve düşük osilasyon miktarı ile uyumlu bir hareket durumu gösterecektir. PID kontrolcülerin ayarlanabiliyor olmasının amacı, sistemin daha hızlı tepki verebilmesini sağlamak ve sistemin daha güçlü çalışmasına katkıda bulunmaktır.

3.2.3.1. Deneme Yanılma Metodu

PID kontrolcü yöntemleri arasında en basit olanıdır. Bu yöntemin uygulanması esnasında ilk işlem olarak K_p katsayısı haricindeki diğer katsayılar 0(sıfır) olacak şekilde sisteme eklenir. Sonrasında ise, K_p katsayısı değeri yükseltilmeye başlanır. Sistemin istenilen referans noktasının etrafında osilasyon yapmaya başladığında ve kararlılık yönünden de daha iyi olduğu bir noktada sistemin K_p çarpan değeri sabitlenir. K_p değerinin sabitlenmesinin ardında, yavaş yavaş K_i katsayı değeri yükseltilir. Osilasyon miktarının indirgendiği anda, K_i çarpan değeri sabitlenir. Bu esnada, K_d çarpan değeri yükseltilmeye başlanır. En hızlı tepki halinin elde edildiği anda K_d çarpan değeri sabitlenir.

3.3. ADAPTİF KONTROL

Adaptif kontrol; sistem dinamik modelinin parametre değerlerinin bilinmediği durumlarda veya parametre değerlerinin değişikliğe uğradığı durumlarda, istenilen düzeyde bir kontrol sistemi performansı elde etmek ve bunu sürdürebilmek amacı ile kontrolörlerin gerçek zamanlı olarak otomatik ayarlanabilmesi için yaklaşım sağlayan ve bir dizi tekniği bünyesinde kapsayan bir kontrol türüdür [28].

Adaptif kontrol, geri besleme kontrolü kavramı üzerine tasarlanmıştır. Geri besleme kontrolü; kontrol altındaki sistemin çıkış değerinin ölçüldüğü, ölçülen değerin bir referans sinyal değer ile karşılaştırıldığı ve arada oluşan hata miktarının azaltılmaya çalışıldığı bir kapalı döngü sistemidir. Adaptif kontrolün amacı, geri beslemeli kontrol cihazının sistemdeki değişen koşullara uyum sağlamasını ve böylece performans hedeflerine erişmesini sağlamaktır.

Adaptif kontrol, değişimler veya belirsizlikler altında çalışan sistemleri kontrol etmek için kullanılan gelişmiş bir kontrol yöntemidir. Sistemin kontrol parametrelerini gerçek zamanlı olarak ayarlamak için tasarlanmış matematiksel modellerin ve algoritmaların kullanımına dayanmaktadır. Adaptif kontrol, bir kontrol sistemin belirli bir performans endeksini ölçer. Bu ölçümleme esnasında sisteme giriş verilerini, sistemin durumunu, bilinen (var olan) verileri ve sistem çıkış verilerini kullanır.

Adaptif kontrolün temel avantajı, sistem (tesis) parametrelerinde belirsizlik veya bilinmeyen değişiklikler olması durumunda sistemin tutarlı performansını sürdürebiliyor olmasıdır [29].

3.3.1. Adaptif Kontrolün Amacı

Adaptif kontrolün temel amacı; izlemenin doğruluk oranını yükseltmek, kontrol sürecindeki çaba değerini azaltmak ve stabilite marjlarını arttırmaktır. İzleme doğruluğu, kontrollü çıkışın referans sinyalini ne kadar iyi takip ettiğini; kontrol çabası ise, bu takibin yapılabilmesi için gereken enerji veya çabayı temsil eder. Kararlılık marjı, sistemin kararsız hale gelmeden değişiklikleri ve bozulmaları ne kadar tolere edebileceğinin bir ölçüsüdür.

Adaptif kontrol, sistemin kontrol parametrelerini gerçek zamanlı olarak ayarlar ve bu parametre değerlerini hedefe ulaşmak için kullanır. Adaptif kontrolde, sistemin mevcut durumunu tahmin etmek ve kontrol parametrelerini buna göre ayarlamak için tasarlanmış matematiksel modeller ve algoritmalar kullanılır. Adaptif kontrol, geleneksel kontrol yöntemlerine nazaran daha sağlam, daha doğru ve daha kararlı bir sistemdir [28].

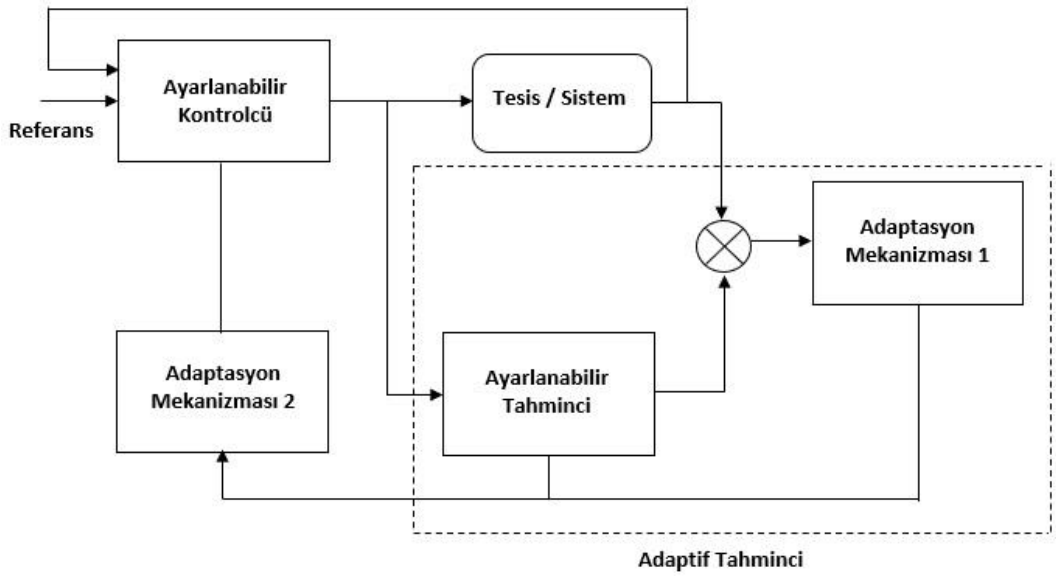
3.3.2. Adaptif Kontrol Türleri

Adaptif kontrol türleri, temelde üç ana başlık altında toparlanabilir. Bu durumda "Temel Adaptif Kontrol" türleri şu şekildedir;

- Dolaylı (Indirect) Adaptif Kontrol
- Doğrudan (Direct) Adaptif Kontrol
- Açık Döngü (Open Loop) Adaptif Kontrol

3.3.2.1. Dolaylı (Indirect) Adaptif Kontrol

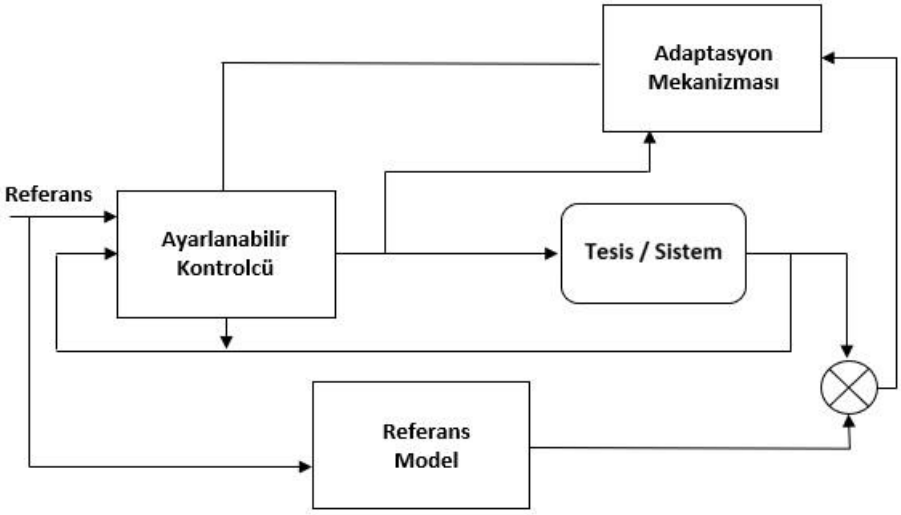
Dolaylı uyarlanabilir kontrol, temelde yaygın olarak kullanılan bir uyarlanabilir kontrol stratejisidir. Gerçek zamanlı olarak kapalı döngüdeki tesis modeli parametre tahminini kontrolörün yeniden tasarımıyla birleştirir [28].



Şekil 3.3: Dolaylı adaptif kontrol şeması [28].

3.3.2.2. Doğrudan (Direct) Adaptif Kontrol

Doğrudan adaptif kontrol uygulamasında, parametre ayarlama mekanizması kontrolör parametrelerinin hangi biçimde ayarlanması gerektiğini doğrudan belirtir. Bu durum, kontrolör parametrelerinin sistem modeli parametrelerine göre tasarlanması gerektiği anlamına gelir.



Şekil 3.4: Doğrudan adaptif kontrol şeması [28].

3.3.2.3. Açık Döngü (Open Loop) Adaptif Kontrol

Açık döngü kontrol sistemi, girişin ayarlanmasına bağlı olarak çıkışın kontrol edilebildiği bir sistemdir. Açık döngü sisteminde kontrol değişkeni daha öncesinde ayarlanır ve sistem çıktısını hesaba dahil etmez. Bu durum; sistem çıkışının, çıkıştan gelen geri bildirime göre izlenmediği veya ayarlanmadığı anlamını taşımaktadır. Açık döngü kontrol sistemlerinin uygulanması basit ve ucuzdur.

3.4. LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROL

Tez çalışmasında, literatürde yer alan kontrol metotlarından farklı olan "Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol" metodu tasarlanmıştır.

$$F = M(q)\ddot{q} + V(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) \tag{3.33}$$

Bu denklemde:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 + m_2 & m_2\ell\cos\theta \\ m_2\ell\cos\theta & m_2\ell^2 \end{bmatrix} \tag{3.34}$$

$$V = \begin{bmatrix} 0 & -m_2\dot{\theta}\ell\sin\theta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.35}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ m_2 \ell \mathrm{g} \sin\theta \end{bmatrix} \tag{3.36}$$

$$q = [x \quad \theta]^T \tag{3.37}$$

Denklem genel formu ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$F = Yw \tag{3.38}$$

"Y" ve "w" aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Y = \begin{bmatrix} \ddot{x} & \ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}\sin\theta & 0 \\ 0 & \ddot{x}\cos\theta + \mathrm{g}\sin\theta & \ddot{\theta} \end{bmatrix} \tag{3.39}$$

$$w = [m_1 + m_2 \quad m_2\ell \quad m_2\ell^2]^T \tag{3.40}$$

Burada $w_1 = m_1 + m_2$, $w_2 = m_2\ell$, $w_3 = m_2\ell^2$ şeklinde ifade edilir.

Önceki çalışmalarda robot manipülatöre uygulanan adaptif kontrol kuralları [29, 30, 32] esas alınarak kren için türetilen Adaptif Kontrol kuralı aşağıdaki gibidir:

$$F = \widehat{M}(q)\ddot{q}_r + \hat{V}(q,\dot{q})\dot{q}_r + \hat{G}(q) + Ks = Y_r\widehat{w} + Ks \tag{3.41}$$

$\widehat{M}$, $\hat{V}$, $\hat{G}$, $\widehat{w}$ krenin güncellenen model parametreleri olup bilinmektedirler. Kontrol parametreleri aşağıda verilmiştir.

$e_\theta = \theta_d - \theta$, $e_x = x_d - x$, $\dot{x}_r = \dot{x}_d + \alpha_1 e_x$, $\dot{\theta}_r = \dot{\theta}_d + \alpha_2 e_\theta$, $s_x = \dot{e}_x + \alpha_1 e_x$, $\dot{s}_x = \ddot{e}_x + \alpha_1 \dot{e}_x$

Bu durumda, düzenlemeler sonrasında elde edilen eşitlik şu şekildedir:

$$M\dot{s} + Vs + Ks = -\tilde{M}\ddot{q}_r - \tilde{V}\dot{q}_r - \tilde{G} = -Y_r\tilde{w} \tag{3.42}$$

Y_r matrisi aşağıdaki gibidir:

$$Y_r = \begin{bmatrix} \ddot{x}_r & \ddot{\theta}_r\cos\theta - \dot{\theta}\sin\theta\,\dot{\theta}_r & 0 \\ 0 & \ddot{x}_r\cos\theta + \mathrm{g}\sin\theta & \ddot{\theta}_r \end{bmatrix} \tag{3.43}$$

Burada $s = [s_x + s_\theta]^T$

Bu modele uygun Adaptif Kontrol türetilmesi için Lyapunov fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$V(t) = \frac{1}{2} s^T M_s + \frac{1}{2} \tilde{\theta}^T \psi^2 \tilde{\theta} \tag{3.44}$$

Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi:

$$\dot{V} = s^T M(q) \dot{s} + \frac{1}{2} s^T \dot{M} s + \tilde{\theta}^T \psi^2 \dot{\tilde{\theta}} + \tilde{\theta}^T \psi \dot{\psi} \tilde{\theta} \tag{3.45}$$

Elde edilen kapalı döngü denklemi şu şekildedir:

$$\dot{V} = s^T \left(\frac{1}{2} \dot{M} - V(q, \dot{q}) \right) s + \tilde{\theta}^T \left(\psi^2 \dot{\tilde{\theta}} + \psi \dot{\psi} \tilde{\theta} \right) - \tilde{\theta} s^T Y_r \tag{3.46}$$

Denklem içerisinde $\frac{1}{2} \dot{M} - V(q, \dot{q}) = 0$ [31] kabul edildiğinde eşitlik şu şekilde düzenlenmiş olur:

$$\dot{V}(t) = -s^T K s^r - \tilde{\theta}^T \left(\psi^2 \dot{\tilde{\theta}} + \psi \dot{\psi} \tilde{\theta} - \tilde{\theta}^T s^T Y_r \right) \tag{3.47}$$

Denklemin ikinci terimi sıfıra eşittir. Bu durumda:

$$\psi^2 \dot{\tilde{\theta}} + \psi \dot{\psi} \tilde{\theta} - s^T Y_r = 0 \tag{3.48}$$

Denklem şu şekilde de düzenlenebilir:

$$\psi \dot{\hat{\theta}} + \dot{\psi} \tilde{\theta} = \psi^{-1} Y_r s \tag{3.49}$$

Sonrasında ise:

$$\frac{d}{dt} \left(\psi \hat{\theta} \right) = \psi^{-1} Y_r s \tag{3.50}$$

Parametre tahmin yasasını "$\hat{\theta}$" türetmek için, "ψ^{-1}" değişken fonksiyonu tanımlanmalıdır. "ψ^{-1}" parametresinin tanımı için belirgin bir kural mevcut değildir. Sistem parametreleri dikkate alınarak ve matematiksel veriler kullanılarak değişken fonksiyon olan "ψ^{-1}" şu şekilde tanımlanır [32]:

$$\psi^{-1} = \frac{\beta}{\gamma \int Y_r s + 1} \tag{3.51}$$

Entegrasyon sonrasında elde edilen denklem şu şekilde yazılır:

$$\psi\hat{\theta} = \int \frac{\beta}{\gamma \int Y_r s + 1} Y_r s + \psi\theta + V = \frac{\beta}{\gamma} \ln\left(\gamma \int Y_r s + 1\right) + \psi\theta + V \tag{3.52}$$

Parametre tahmin kanunu şu şekilde türetilmiştir:

$$\hat{\theta} = \frac{\beta \ln(\gamma \int Y_r s + 1)}{\gamma \int Y_r s + 1} + \theta + V \frac{\beta}{\gamma \int Y_r s + 1} \tag{3.53}$$

Eğer $\hat{\theta}(0) = \theta$" koşulu başlangıç koşulu olarak alınır ise, V sabiti θ ya eşit olacaktır. Bu sayede parametre tahmin kanunu şu şeklide türetilmiştir [32]:

$$\hat{\theta} = \frac{(\beta^2/\gamma) \ln(\gamma \int Y_r s + 1)}{\gamma \int Y_r s + 1} + \theta \tag{3.54}$$

4. BULGULAR

4.1. GEZER KREN SİSTEMİ PID KONTROLÜ

Kren, yükleri; kaldırmak, indirmek ve yatay olarak hareket ettirmek için kullanılabilen bir makine türüdür. Genellikle ağır yüklerin kaldırılması ve başka yerlere taşınması amacıyla kullanılır. Kren mekanizması, mekanik avantaj yaratmak ve böylece yükleri bir insanın normal kapasitesinin ötesine taşımak için bir ya da birden fazla basit makine sisteminden meydana gelmektedir. Krenler, yüklerin yüklenmesi ve boşaltılması için taşımacılıkta, malzemelerin taşınması için inşaatlarda ve ağır ekipmanların montajı için imalatta yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tez çalışmasının bu bölümünde, krenin arabasının PID yörünge izleme kontrolü yapılmıştır. Çalışmada, yalnızca krenin arabası dikkate alınmış ve PID kontrolü uygulanmıştır. Kren sisteminin arabasının PID yörünge izleme kontrolünün kararlılık ile sağlandığı anda, yükün taşınması esnasında açığa çıkan salınım halinin değeri de incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Kren sisteminin yükü taşınması esnasında, yükün asılı bulunduğu taşıyıcı halatı üzerinde bir salınım hareketi açığa çıkmaktadır. Kren sisteminin arabasının yörünge izleme kontrolü esnasında, taşıyıcı halat üzerinde bir salınım halinin olmaması arzu edilen durumdur.

Kren arabasının PID yörünge izleme kontrolü aşamasında, en ideal K_p K_d K_i kat sayılarının tespiti için "Deneme Yanılma" metodundan yararlanılmıştır. Kontrolcünün K_p K_d K_i çarpan kat sayıları, sistemden elde edilen verilere istinaden her defasında farklı değerlere revize edilmiş ve açığa çıkan sonuçlar "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri ile ifade edilmiştir.

PID Kontrol için tasarlanan ikinci dereceden bir polinoma ait genel denklemin ifadesi $x_{(t)} = a_0 + a_1(t - t_i) + a_2(t - t_i)^2$ şeklindedir. Bu polinom için sınır koşulları değerlerinin aşağıdaki gibi atanmış olduğu kabul edilsin.

Belirlenmiş olan sınır koşullarına istinaden hedeflenen durum; kren sisteminin 20 saniyelik süre sonunda 20 metrelik bir mesafeyi (yolu) tamamlayabiliyor olmasıdır. Bu durumda, harekete başlamadan önce krenin hız değeri sıfır (0) m/sn ve yer değiştirme (konum) değeri sıfır (0)

metredir. Hareket halinin sonlanması esnasındaki kren hız değeri sıfır (0) m/sn iken, krenin yer değiştirme (konum) değeri ise 20 metre olacaktır.

- Başlangıç ve bitiş anları (zamanları): $t_i = 0$, $t_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş konumları: x_i=0, $x_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş hızları: $\dot{x}_i = 0$, $\dot{x}_f = 0$

Seçilmiş olan sınır koşullar eşliğinde, a_0, a_1, a_2 katsayıları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$a_0 = x_i = 0 \tag{4.1}$$

$$a_1 = \dot{x}_i = 0 \tag{4.2}$$

$a_2 = 0.05$ (sabit kat sayı seçilmiştir.) (4.3)

Bu durumda elde edilen yeni polinoma ait denklem şu şekildedir:

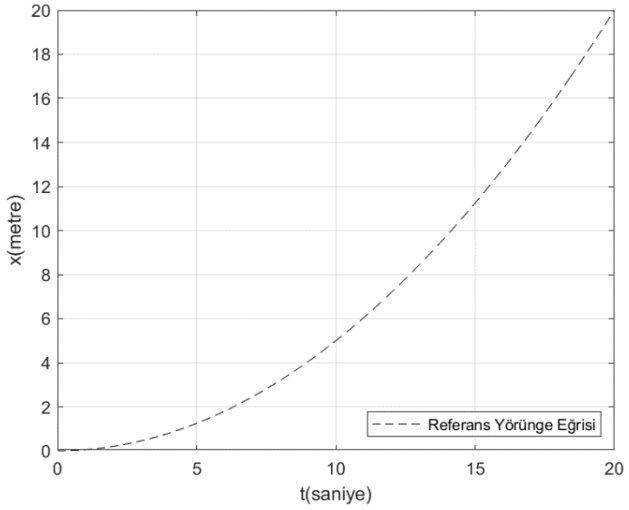
$$x_{(t)} = 0 + 0t + 0.05t^2 \tag{4.4}$$

$$x_{(t)} = 0.05t^2 \tag{4.5}$$

PID Kontrol ile kren sisteminin, yörünge izleme kontrolü yapılacaktır. İkinci dereceden bir polinom olarak tasarlanmış olan bu denklem, kren sisteminin yeni yörünge denklemi olarak kabul edilsin. Kren sistemi için yörünge denklemi ikinci dereceden olup "$x_n = 0.05{t_n}^2$" şeklindedir.

Şekil 4.1 de ikinci dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.5 için tasarlanmış olan gerçek (istenen) bir yörünge referans eğrisi yer almaktadır. PID Kontrolde, gerçekleşen yörünge eğrisinin istenen yörünge eğrisini kararlılık ile doğru takibi hedeflenen durumdur.

PID kontrolün başarısı; kren sisteminin arabasının yörünge izleme kontrolünü kararlılık ve beceri ile sağlayabilmesi haline bağlıdır. Krenin arabasının PID yörünge izleme kontrolünün yapıldığı esnada; taşıma halatı üzerinde salınım halinin olmaması, salınım halinin sönümlenmiş olması ve yükün güven ile taşınması arzu edilen durumdur.



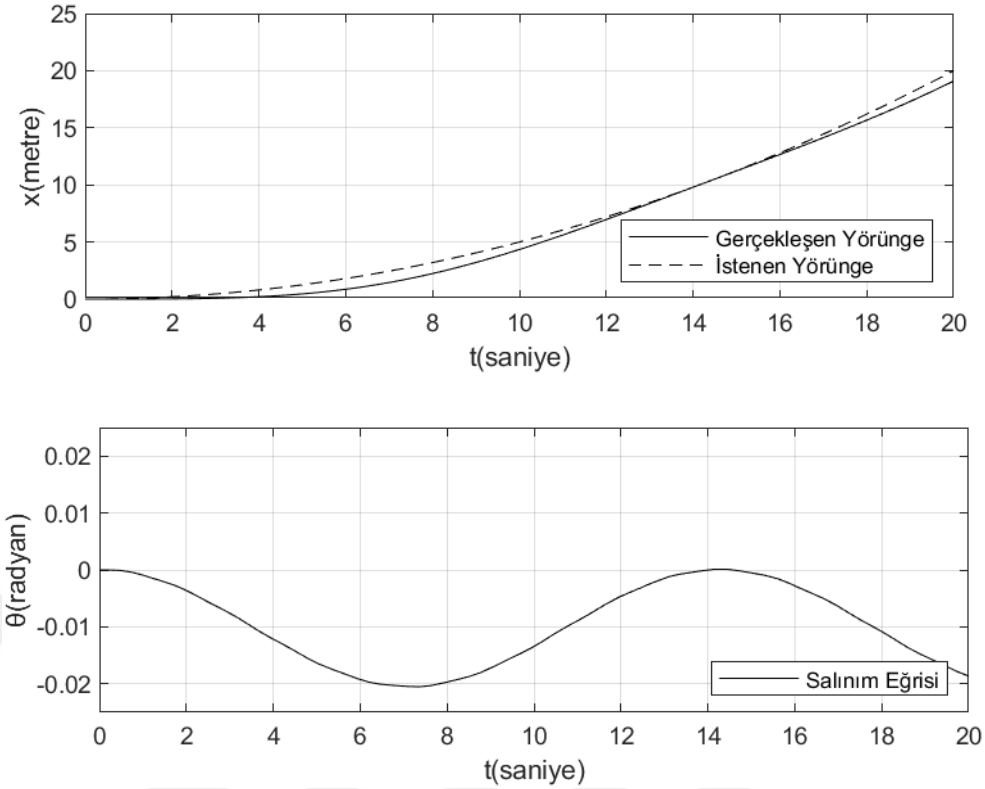
Şekil 4.1: Denklem 4.5 için PID Kontrol yörünge referans eğrisi.

4.1.1. Gezer Kren Sisteminin PID Yörünge İzleme ve Salınım Kontrolü

Şekil 4.1 kren sisteminin PID kontrol gerçek (referans) yörünge eğrisidir. Kren sisteminin PID kontrolünde hedeflenen durum, referans yörünge eğrisinin kararlılık ile doğru şekilde takip edilebiliyor olmasıdır.

PID kontrolün başarısı, kren sisteminin referans yörüngeyi doğru ve kararlılık ile takip edebilme becerisine bağlıdır. Bu esnada, yükün asılı olduğu taşıma halatı üzerinde salınım halinin bulunmaması ve salınımın sönümlenmiş olması arzu edilen durumdur.

Gezer kren sistemi arabasının PID yörünge izleme kontrolü esnasında, “Matlab Simulink” uygulamasından yararlanılmış ve açığa çıkan “konum-zaman” ve “açı-zaman” eğrileri seçilmiş olan ideal K_p K_d K_i katsayılarına bağlı olarak elde edilmiştir.

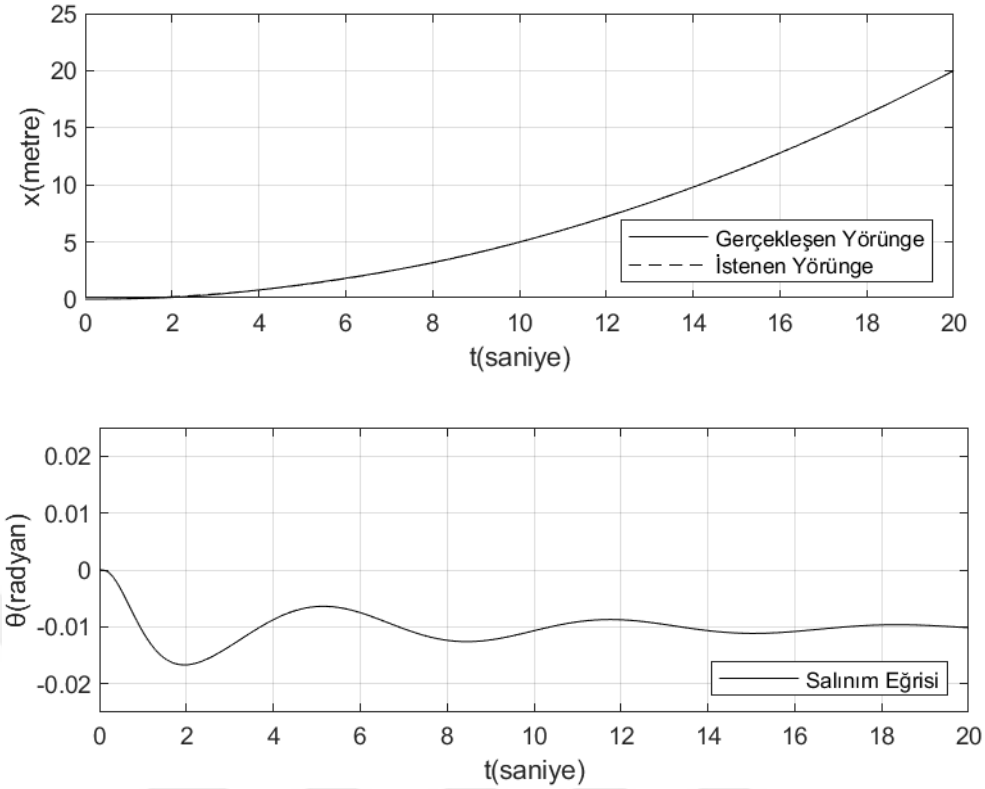


Şekil 4.2: Kp = 10, Kd = 0, Ki = 0 değerleri için PID Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Metodun uygulanması esnasında ilk olarak K_p katsayısı haricindeki diğer çarpan katsayıları 0(sıfır) olarak seçilmiştir. Bu durumda, yükün taşınması esnasında açığa çıkan yörünge izleme kontrol grafiği ve salınım kontrol grafiği Şekil 4.2 de görüldüğü gibidir.

Şekil 4.2 de görüleceği üzere, kren sisteminin yörünge izleme kontrolü nerede ise başarı ile sağlanabilmiş durumdadır. Sistemin yörünge izleme kontrolünün iyileştirilmesi için K_p K_d K_i katsayılarına yeni değerler atanmalıdır.

Şekil 4.2 de ayrıca, kren sisteminin arabasının PID yörünge izleme kontrolü esnasında açığa çıkan yük halatının salınım hareketi eğrisi görülmektedir. Krenin yörünge izleme kontrolü becerisi nerede ise sağlanmış iken, yük taşıma halatı üzerinde oluşan salınım hali değeri sıfırlanamamış ve taşıma halatı salınım yapmaya devam etmiştir.



Şekil 4.3: Kp = 75, Kd = 100, Ki = 75 değerleri için PID Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.3 de görüleceği üzere, PID kontrolcü ile kren sisteminin en ideal yörünge izleme kontrol becerisi elde edilmiştir. Kren sisteminin yörünge izleme kontrol eğrisi ve yörünge eğrisi birebir örtüşmektedir. Her iki eğri de birbirine eşittir. Kren sistemi; 20 metrelik mesafeyi, 20 saniyelik süre içerisinde başarı ile tamamlamıştır.

Ayrıca Şekil 4.3 de tekrar görüleceği üzere, yörünge izleme kontrolü becerisinin en iyi olduğu anda kren sisteminin yük taşıma halatında açığa çıkan salınım hali değeri sıfıra indirgenememiş ve yük halatı salınım yapmaya devam etmiştir.

Tez çalışmasının hedefi, krenin yörünge izleme kontrolünün başarı ile yapıldığı esnada sistemin yük taşıma halatı üzerinde açığa çıkan salınım halini indirgeyecek ve salınım kontrolünü de eş zamanlı olarak yapabilecek farklı bir kontrolcünün kullanılıyor olmasıdır. Bu sebep ile, PID kontrolcüye kıyasla daha başarılı olan ve literatürde kren sistemine ilk defa uygulanan "Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol" metodu kullanılmıştır.

4.2. GEZER KREN SİSTEMİ LOGARİTMİK ESASLI ADAPTİF KONTROLÜ

Adaptif kontrol; sistem dinamiğindeki, yük koşullarındaki ve bozulmalardaki değişikliklere rağmen, istenen sonucu elde etmek için parametrelerini ve davranışını sürekli olarak ayarlayabilen bir kontrol sistemi türüdür. Bu özelliği ile, adaptif kontrol sistemi optimum performansı koruyabilir, sağlamlığı artırabilir ve kararsızlığı önleyebilir.

Kren sistemlerinde kaldırılan yükler değişkenlik göstermektedir. Kren tarafından kaldırılan yükler belirsiz olduğu için kren sistemi parametreleri de belirsizdir. Krenlerde yük taşıması sırasında krenin hem yörünge izleme hem de salınım kontrolünün yapılması gerekmektedir. Adaptif kontrolü, mekanik sistemlerde model parametrelerinin belirsiz olması durumunda kullanılan kontrolcüler arasındadır. Bu çalışmada kren sistemlerinin parametrelerin belirsiz olması durumunda yörünge izleme ve salınım kontrolünün eş zamanlı olarak yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu sebep ile, kren sistemine literatürde yer alan kontrolcülerden farklı olan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yöntemi uygulanmıştır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile hem sistemin salınım kontrolü yapılabilmekte hem de eş zamanlı olarak kren sisteminin yörünge izleme kontrolü sağlanabilmektedir.

4.2.1. Yörünge Denklemi İkinci Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü

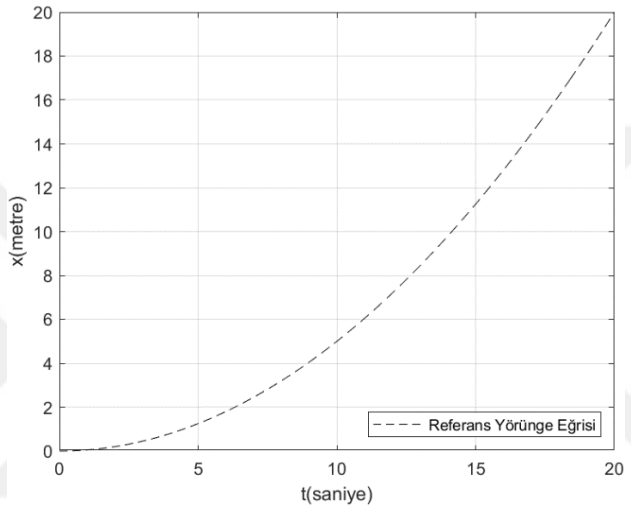
Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün başarısı, kren sistemi için tasarlanan referans eğrilerinin sıfır hata değeri ile izlenebilmesine bağlıdır. Referans eğrilerinin yüksek kararlılıkla en doğru (sıfır hata ile) takibi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün becerisini ortaya koymaktadır. Hedeflenen durum tüm referans eğrilerinin kararlılık ve sıfır hata değeri ile takip edilebiliyor olmasıdır.

Şekil 4.4 de ikinci dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.5 için tasarlanmış olan istenen (gerçek) yörünge referans eğrisi yer almaktadır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolde, gerçekleşen yörünge eğrisinin istenen yörünge eğrisini kararlılık ile doğru takibi ve eş zamanlı olarak salınım değerinin sıfır değerine indirgenmesi hedeflenen durumdur. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol kren sisteminin yörünge izleme kontrolünü ve salınım kontrolünü eş zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir.

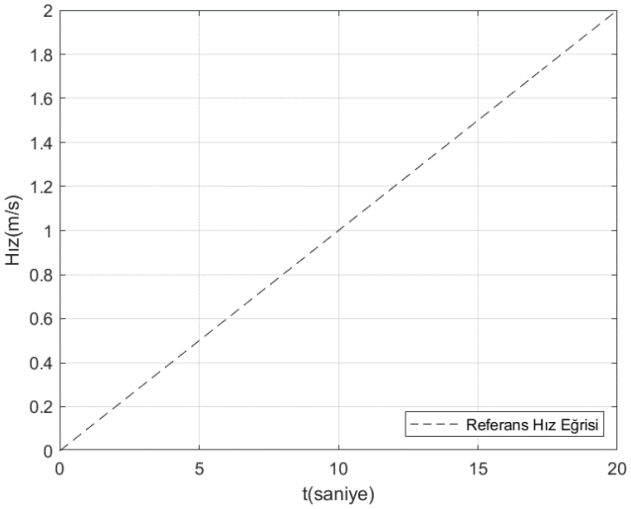
Şekil 4.5 de ise, ikinci dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.5 için tasarlanmış olan hız referans eğrisi yer almaktadır. Şekil 4.5 de görüleceği üzere hız referans eğrisi zaman ile doğrusal olarak artmaya devam etmektedir. Bu durum, krenin hareketini tamamlamaya yakın

yavaşlamadığını ve durma halinin bir anda (ani) gerçekleştiğini göstermektedir. Hedeflenen durum, kren arabasının hareketini tamamlamaya yakın yavaşlayarak durması halidir. Bu sayede taşıma halatı üzerinde yer alan yükün güven ile taşınması sağlanmış olacaktır.

Kren arabasında oluşan bu ani duruş halinin ortadan kaldırılması ve krenin yavaşlayarak durabilmesi, bir sonraki aşamada seçilecek (belirlenecek) olan yeni yörünge denklem derecesi ile sağlanacaktır. Belirlenecek olan yörünge denkleminin derecesi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün kontrol becerisini yükseltmekte etken olacaktır.



Şekil 4.4: Denklem 4.5 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi.



Şekil 4.5: Denklem 4.5 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol için tasarlanan ikinci dereceden bir polinoma ait genel denklemin ifadesi $x_{(t)} = a_0 + a_1(t - t_i) + a_2(t - t_i)^2$ şeklindedir. Bu polinom için sınır koşulları değerlerinin aşağıdaki gibi atanmış olduğu kabul edilsin.

Belirlenmiş olan sınır koşullarına istinaden hedeflenen durum; kren sisteminin 20 saniyelik süre sonunda 20 metrelik bir mesafeyi (yolu) tamamlayabiliyor olmasıdır. Bu durumda, harekete başlamadan önce krenin hız değeri sıfır (0) m/sn ve yer değiştirme (konum) değeri sıfır (0) metredir. Hareket halinin sonlanması esnasındaki kren hız değeri sıfır (0) m/sn iken, krenin yer değiştirme (konum) değeri ise 20 metre olacaktır.

- Başlangıç ve bitiş anları (zamanları): $t_i = 0$, $t_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş konumları: x_i=0, $x_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş hızları: $\dot{x}_i = 0$, $\dot{x}_f = 0$

Seçilmiş olan sınır koşullar eşliğinde, a_0, a_1, a_2 katsayıları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$a_0 = x_i = 0 \tag{4.1}$$

$$a_1 = \dot{x}_i = 0 \tag{4.2}$$

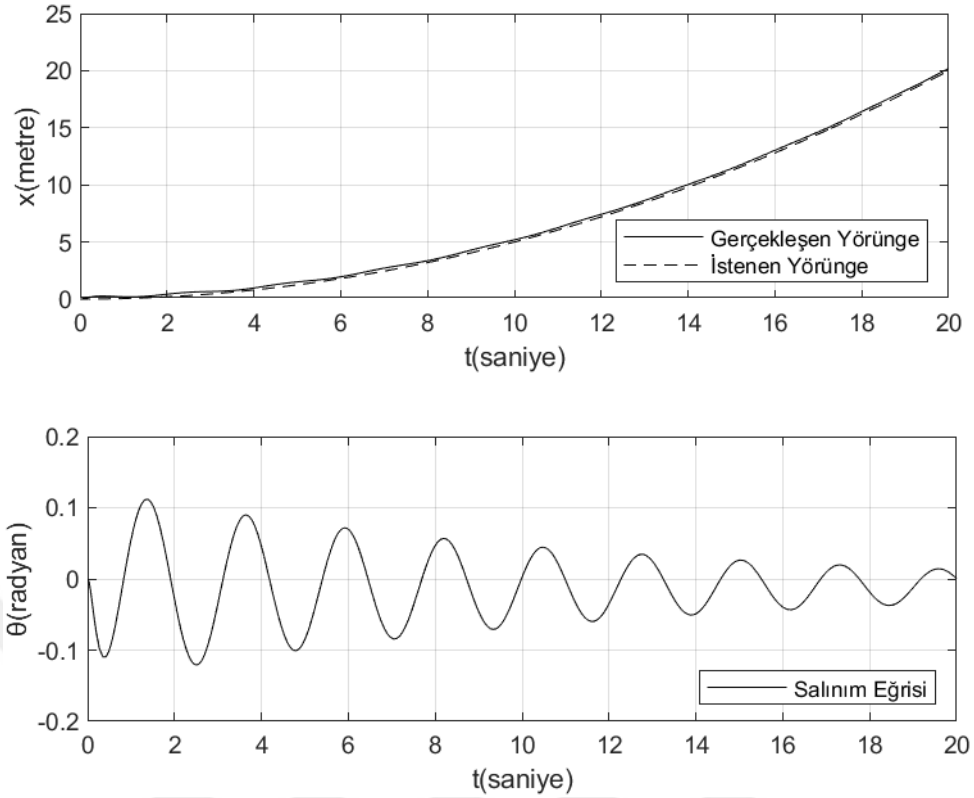
$$a_2 = 0.05 \text{ (sabit kat sayı seçilmiştir.)} \tag{4.3}$$

Bu durumda elde edilen yeni polinoma ait denklem şu şekildedir:

$$x_{(t)} = 0 + 0t + 0.05t^2 \tag{4.4}$$

$$x_{(t)} = 0.05t^2 \tag{4.5}$$

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolcü ile sistemin, yörünge izleme kontrolü ve salınım kontrolü eş zamanlı olarak yapılabilmektedir. İkinci dereceden bir polinom olarak tasarlanmış olan bu denklem, kren sisteminin yeni yörünge denklemi olarak kabul edilsin. Aşağıda, Matlab Simulink programı üzerinde bir kren sistemine uygulanmış olan Logartmik Esaslı Adaptif Kontrolcü ile açığa çıkan "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri sunulmuştur. Kren sistemi için yörünge denklemi ikinci dereceden olup "$x_n = 0.05{t_n}^2$" şeklindedir.



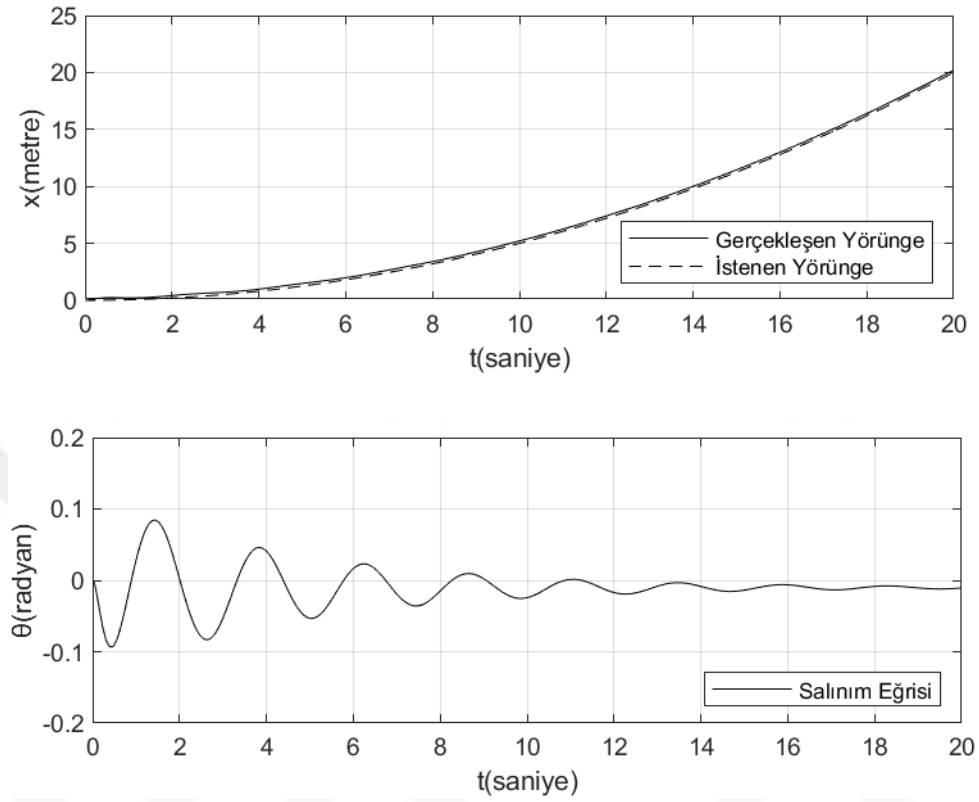
Şekil 4.6: Kp1 = 200, Kp2 = 200, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.6 da görüleceği üzere belirlenmiş olan Kp ve Kv kat sayılarına bağlı olarak Logaritmik Esaslı Adaptif kontrol sayesinde kren sisteminin yörünge izleme kontrolü sağlanabilmiştir. Ayrıca eş zamanlı olarak, salınım kontrolü de kısmi olarak sağlanmıştır. Sistem hem salınımını azaltmış hem de kontrollü bir hız değeri altında, hedeflenen mesafeye, istenilen sürede ulaşabilmiştir. Kren sisteminin salınım değerinin daha fazla indirgenebilmesi için yeni Kp ve Kv kat sayıları belirlenebilir.

Yörünge denklemi ikinci dereceden gezer kren sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif kontrolünde, Şekil 4.6 da gerçekleşen yörünge eğrisi kren sisteminin hızının zamanla artmaya devam ettiğini göstermektedir. Kren, hareketini tamamlamaya yakın yavaşlayarak durmak yerine bir anda (ani) durma hareketi sergilemiştir. Bu durum istenmeyen bir haldir. Hedeflenen durum, krenin hareketini tamamlamaya doğru yavaşlayarak durma halidir.

Logaritmik Esaslı Adaptif kontrol ile kren sisteminin yörünge izleme kontrol esnasında yavaşlayarak durabilmesi için, tasarlanacak olan yeni yörünge denklemlerinin dereceleri bir sonraki aşamada yükseltilecektir. Bu esnada, krenin yük salınım açısı değerinin azaltılabilmesi

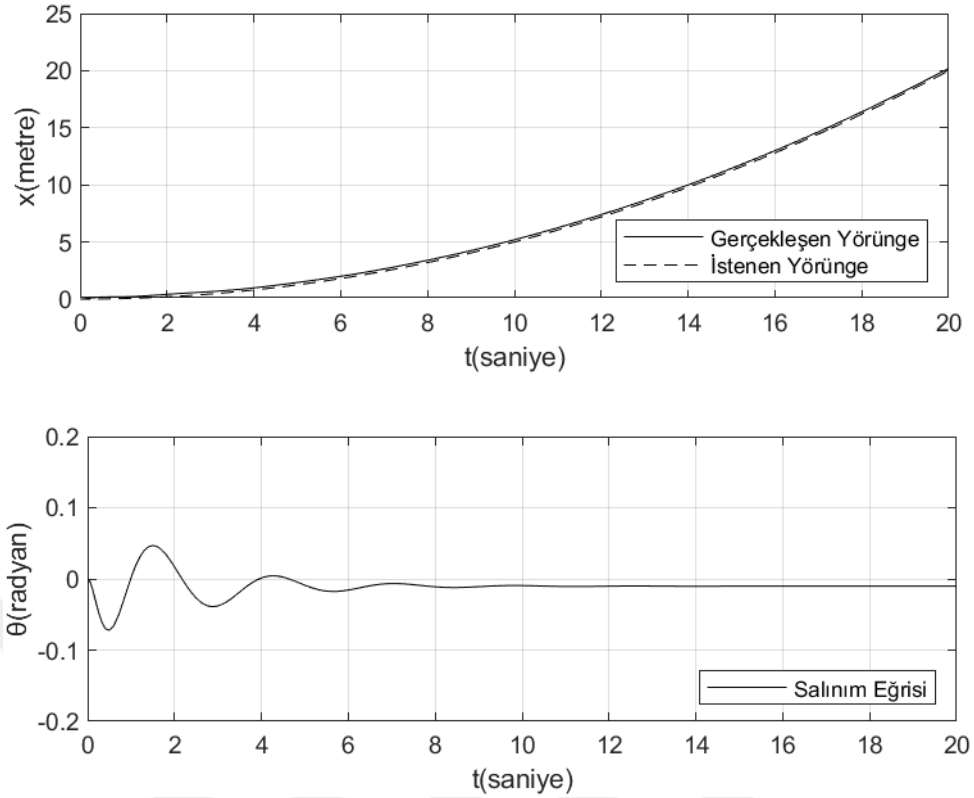
için en uygun K_p ve K_v değerleri yeniden belirlenebilir ve salınım değerinin indirgenmesi sağlanabilir.



Şekil 4.7: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 4, Kv2 = 4 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.7 de görüleceği üzere K_p ve K_v değerinin azaltılması sonucunda, sistemin salınım açı değerini indirgeme becerisi artmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.7 de sistemin yörünge izleme eğrisi mevcuttur. Belirlenmiş olan K_v ve K_p değerleri etkisinde sistemin arzu edilen mesafeyi yine arzu edilen hız ve zamanda tamamlayabildiği görülmektedir. Salınım kontrolünün daha kararlı bir yapıya ulaşabilmesi için kontrolcünün K_v ve K_p değerleri azaltılarak, sistem tekrar kontrol edilebilir. Amaç, sistemin en iyi çalışma haline eriştiği anı elde edebilmektir. Kren sisteminin salınım kontrolünü daha yüksek beceri ile sağlayabilmek, seçilecek olan K_p ve K_v nin en doğru değerlerine bağlıdır.

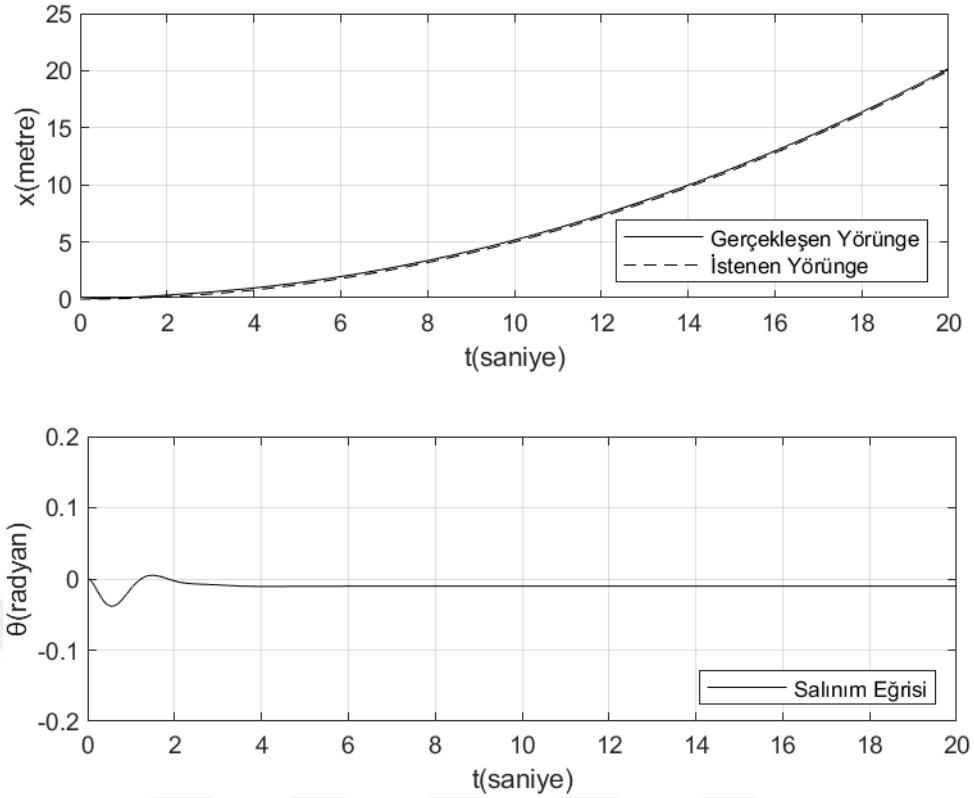


Şekil 4.8: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 3, Kv2 = 3 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.8 de görüleceği üzere kontrolcüye ait K_v ve K_p değerlerinin azaltılmasına rağmen sistem hala kararlı halde çalışmaya devam etmektedir. Sistemin yörünge izleme kontrol becerisi herhangi bir şekilde olumsuz etkilenmemiştir.

Şekil 4.8 de ayrıca görüleceği üzere, yeniden belirlenen K_p ve K_v değerleri etkisinde salınım hali daha fazla indirgenebilmiştir. Bu durumda; sistemin yörünge izleme kontrol becerisi etkilenmeksizin, kontrolcünün K_p ve K_v değerlerinin bir miktar daha azaltılıyor olması salınımın halinin de bir miktar daha azalmasını sağlamaktadır.

Son aşamada; kontrolcünün K_p değerini sabit tutup, K_v değerini bir miktar daha azalttığımızda elde edeceğimiz kararlılık halleri ne olacak diye kontrol edelim. K_p ve K_v değerlerinin en ideal değerlerdeki seçimi, sistemin de en ideal çalışma haline erişmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.9: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.9 da görüleceği üzere, sistem en ideal çalışma haline erişmiş durumdadır. Kontrolcü için en doğru seçilmiş olan K_p ve K_v değerleri etkisinde, krenin en verimli halde çalışmasını sağlamıştır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile, "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri kren sisteminin kararlılığının ideal seviyede olduğunu göstermektedir.

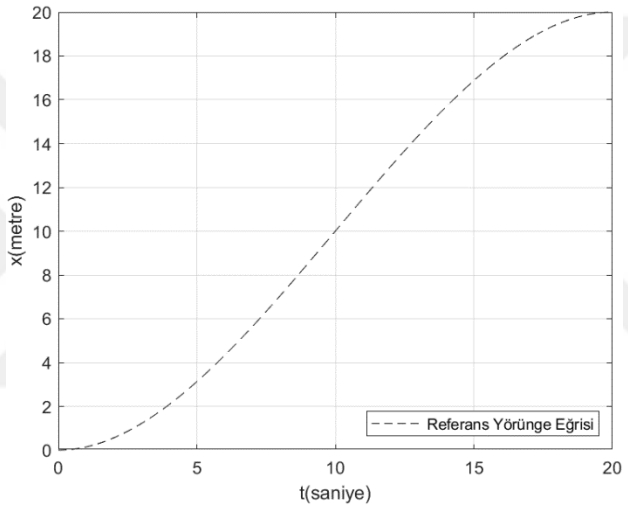
Logaritmik Esaslı Adaptif kontrol, PID kontrole nazaran daha başarılı bir kontrol yöntemidir. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol; sisteminin salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak başarılı bir şeklide kontrol altında tutabilmiştir. PID kontrolde ise, Şekil 4.3 de görüldüğü üzere yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlansa da yük taşıma halatı, sınır koşulu süresi boyunca salınım hareketi yapmaya devam etmiştir.

4.2.2. Yörünge Denklemi Üçüncü Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü

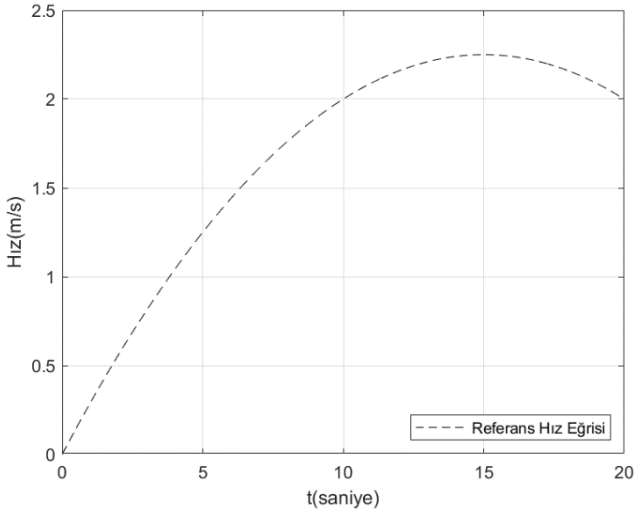
Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün başarısı, kren sistemi için tasarlanan referans eğrilerinin sıfır hata değeri ile izlenebilmesine bağlıdır. Referans eğrilerinin yüksek kararlılıkla en doğru (sıfır hata ile) takibi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün becerisini ortaya koymaktadır.

Hedeflenen durum tüm referans eğrilerinin en yüksek kararlılık ve sıfır hata değeri ile takip edilmesidir.

Şekil 4.10 da üçüncü dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.11 için tasarlanmış olan gerçek (istenen) bir yörünge referans eğrisi yer almaktadır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolde, gerçekleşen yörünge eğrisinin istenen yörünge eğrisini yüksek kararlılık ile takibi ve eş zamanlı olarak salınım değerinin en düşük değere indirgenmesi hedeflenen durumdur. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol kren sisteminin yörünge izleme kontrolünü ve salınım kontrolünü eş zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Şekil 4.11 de ise, üçüncü dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.11 için tasarlanmış olan hız referans eğrisi yer almaktadır.



Şekil 4.10: Denklem 4.11 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi.



Şekil 4.11: Denklem 4.11 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi.

Yörünge denkleminin derecesi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün gücünü artırmaktadır. Yörüngenin derecesi ne kadar yüksek ise, Adaptif Kontrolün gücü de o kadar yüksek olacaktır. Kren sisteminin, yörünge denklemi üçüncü dereceden olan bir Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü sayesinde krenin yörünge izleme kontrolü ve salınım kontrolü eş zamanlı olarak gerçekleştirilmekte ve kren sistemi hareketini tamamlamaya yakın kısmi yavaşlayarak durma hali göstermektedir.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol için tasarlanan üçüncü dereceden bir polinoma ait genel denklemin ifadesi $x_{(t)} = a_0 + a_1(t - t_i) + a_2(t - t_i)^2 + a_3(t - t_i)^3$ şeklindedir. Bu polinom için sınır koşulları değerlerinin aşağıdaki gibi atanmış olduğu kabul edilsin.

Belirlenmiş olan sınır koşullarına istinaden hedeflenen durum; kren sisteminin 20 saniyelik süre sonunda 20 metrelik bir mesafeyi (yolu) tamamlayabiliyor olmasıdır. Bu durumda, harekete başlamadan önce krenin hız değeri sıfır (0) m/sn ve yer değiştirme (konum) değeri sıfır (0) metredir. Hareket halinin sonlanması esnasındaki kren hız değeri sıfır (0) m/sn iken, krenin yer değiştirme (konum) değeri ise 20 metre olacaktır.

- Başlangıç ve bitiş anları (zamanları): $t_i = 0$, $t_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş konumları: x_i=0, $x_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş hızları: $\dot{x}_i = 0$, $\dot{x}_f = 0$

Seçilmiş olan sınır koşullar eşliğinde, a_0, a_1, a_2, a_3 katsayıları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$a_0 = x_i = 0 \tag{4.6}$$

$$a_1 = \dot{x}_i = 0 \tag{4.7}$$

$$a_2 = \frac{-3(x_i - x_f) - (2\dot{x}_i + \dot{x}_f)(t_f - t_i)}{(t_f - t_i)^2}$$

$$= \frac{-3(0 - 20) - (2 \times 0 + 0)(20 - 0)}{(20 - 0)^2} = \frac{60}{400} = 0.15 \tag{4.8}$$

$$a_3 = \frac{2(x_i - x_f) + (\dot{x}_i + \dot{x}_f)(t_f - t_i)}{(t_f - t_i)^3}$$

$$= \frac{2(0-20) + (0+0)(20-0)}{(20-0)^3} = \frac{-40}{8000} = -0.005 \quad (4.9)$$

Bu durumda elde edilen yeni polinoma ait denklem şu şekildedir:

$$x_{(t)} = 0 + 0t + 0.15t^2 + (-0.005)t^3 \quad (4.10)$$

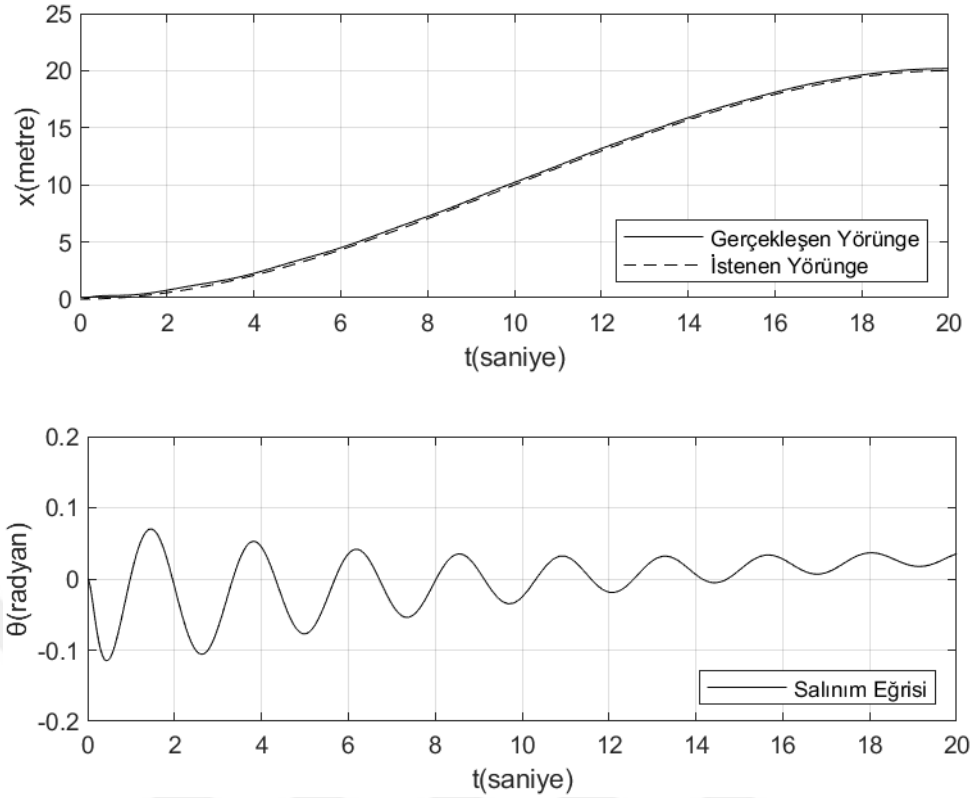
$$x_{(t)} = 0.15t^2 - 0.005t^3 \quad (4.11)$$

Üçüncü dereceden bir polinom olarak yeniden tasarlanmış olan bu denklem, kren sisteminin yeni yörünge denklemi olarak kabul edilsin. Üçüncü dereceden bir polinom olan yeni yörünge denklemi ile, sistem kararlılığı daha güçlü bir seviyeye çıkarılacaktır.

Kren sisteminin ilk (başlangıç) hız değeri sıfırdır ve hareketin bitişi esnasındaki hız değeri de sıfır olacaktır. Aynı zamanda, kren sisteminin ilk ivme değeri sıfırdır ve hareket süresince ivme değeri yükselmeye devam etmektedir. Arzu edilen durum; krenin ivme değerinin durmaya yakın sıfır değerine yaklaşacak şekilde (sıfır değerine eşit olmasa da) indirgeniyor olmasıdır. Üçüncü dereceden polinom olan yörünge denklemi sayesinde kren, durma hareketini bir anda (ani) yapmak yerine, yavaşlayarak (ivme değerini sıfıra yaklaştırarak) tamamlayacaktır.

Aşağıda, Matlab Simulink programı üzerinde bir kren sistemine uygulanmış olan ve yeniden belirlenmiş üçüncü dereceden yörünge denklemine sahip Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolcü ile açığa çıkan "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri sunulmuştur. Kren sistemi için belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi "$x_n = 0.15{t_n}^2 - 0.005{t_n}^3$şeklindedir.

Adaptif kontrolcü için, K_{p1}, K_{p2}, K_{v1} ve K_{v2} kat sayıları her defasında yeniden belirlenmiş ve sistemin "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri kontrol edilmiştir. Amaç, en doğru seçilmiş kat sayılar eşliğinde sistemin en iyi duruma eriştiği anı tespit etmektir. Ayrıca; "konum-zaman" eğrileri kontrol edildiğinde görülecektir ki, kren sistemi durmaya yakın ivme değerini azaltmakta ve yavaşlayarak durma hali sergilemektedir.

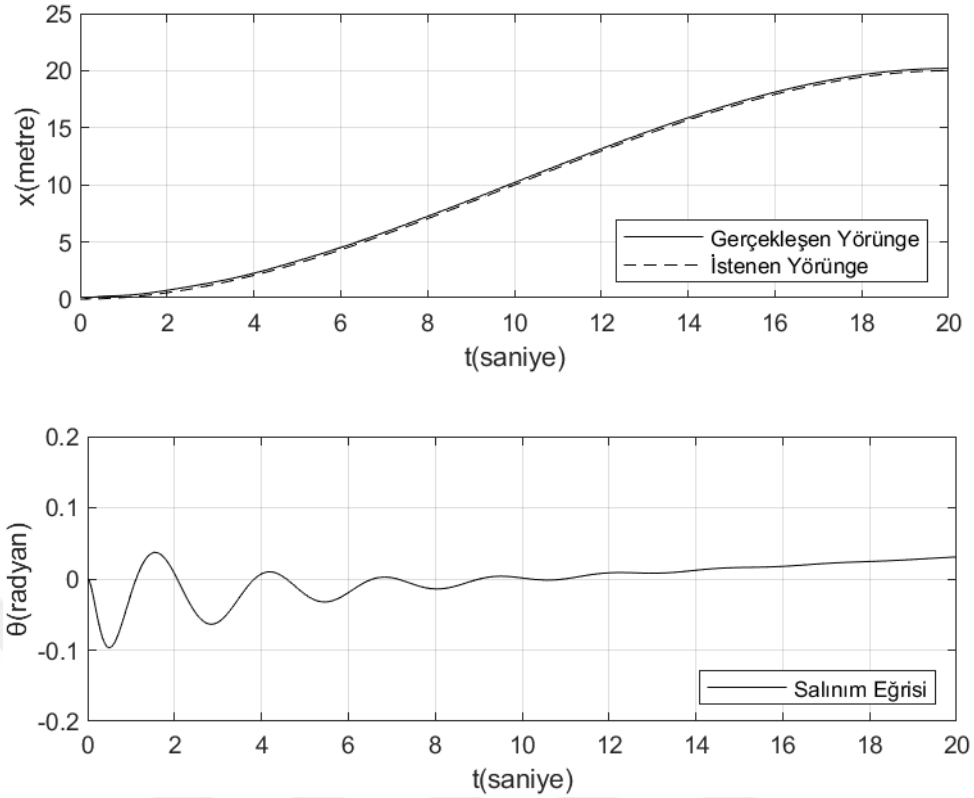


Şekil 4.12: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.12 de görüleceği üzere üçüncü dereceden bir polinom olarak yeniden tasarlanış olan hareket yörüngesi ile Adaptif kontrolcü sayesinde, kren sisteminin yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlanmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.12 de görülen salınım açı değeri indirgenmiştir. Sistem hem salınımını azaltmış hem de kontrollü bir hız değeri altında, hedeflenen mesafeye, istenilen sürede ulaşabilmiştir. Ayrıca, kren sistemi yörünge izleme hareketini tamamlamaya yakın ivme değerini indirgemiş ve kısmi yavaşlayarak durma hali göstermiştir. Sisteme ait; salınım açısı, konum, hız ve zaman değerleri kontrol altındadır.

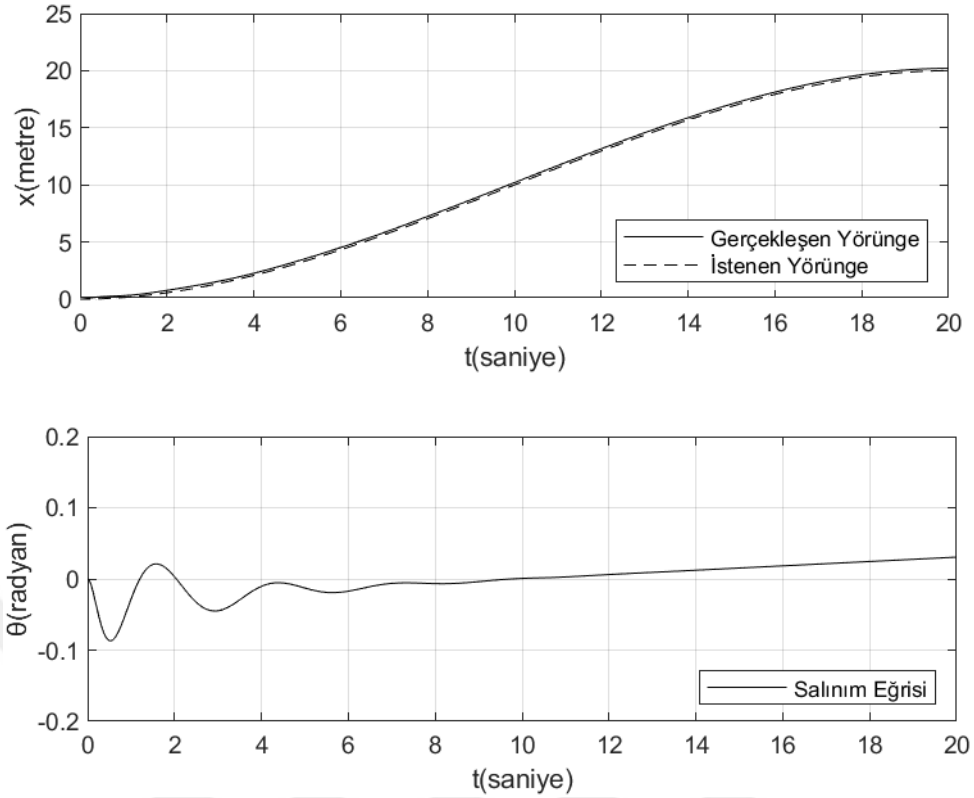
Salınım açısı değerinin daha fazla azaltılabilmesi için en uygun K_p ve K_v değerleri yeniden belirlenebilir.



Şekil 4.13: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 4, Kv2 = 4 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.13 de görüleceği üzere K_p değerinin azaltılması sonucunda, sistemin salınım kontrol becerisi artmıştır. Ayrıca, Şekil 4.13 de yer alan yörünge izleme kontrol eğrisine istinaden; belirlenmiş olan yeni K_p ve K_v değerleri etkisinde sistemin arzu edilen mesafeyi yine arzu edilen hız ve zamanda tamamlayabildiği görülmektedir. Salınım halinin daha kararlı bir yapıya ulaşabilmesi için kontrolcünün K_v değerleri azaltılarak, sistem tekrar kontrol edilebilir.

Amaç, sistemin en iyi çalışma haline eriştiği anı elde edebilmektir. Belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi altında salınım açısı değerini azaltabilmek ve yörünge izleme kontrol becerisini koruyabilmek, seçilecek olan K_p ve K_v nin en doğru değerlerine bağlıdır.

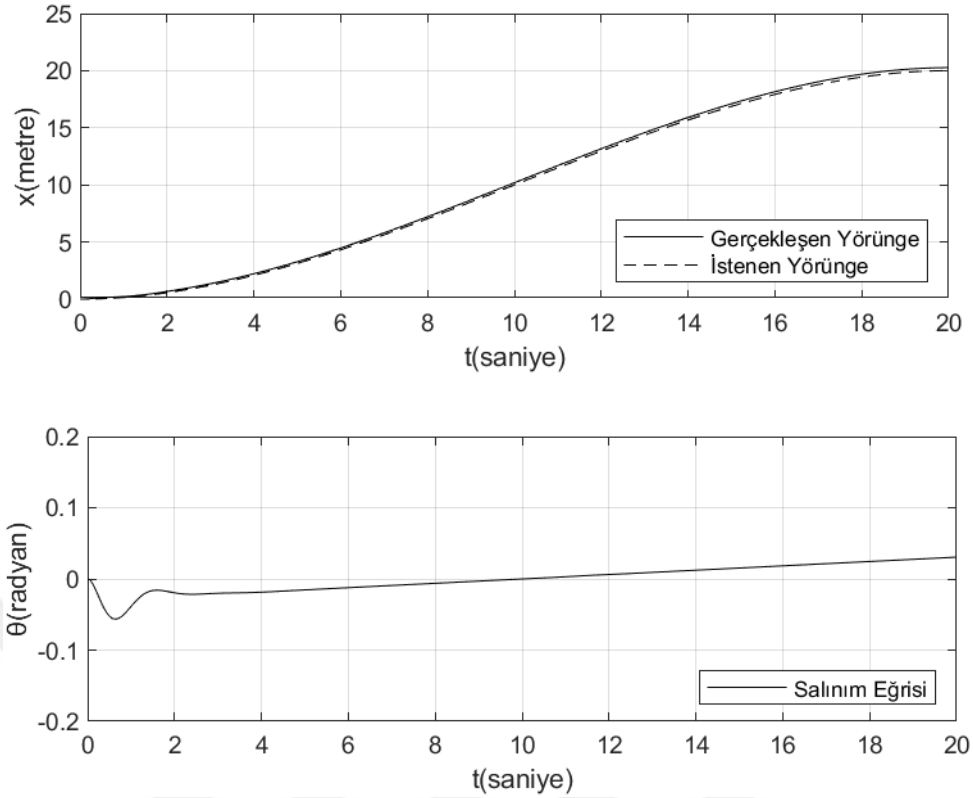


Şekil 4.14: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 3, Kv2 = 3 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.14 de görüleceği üzere kontrolcüye ait K_v değerinin azaltılmasına rağmen sistem hala kararlı halde çalışmaya devam etmektedir. Kren sisteminin yörünge izleme kontrol becerisi herhangi bir şekilde olumsuz etkilenmemiştir.

Ayrıca, Şekil 4.14 de görüleceği üzere yeniden belirlenen $K_p$ve K_v değerleri etkisinde salınım hali daha fazla indirgenebilmiştir. Bu durumda; sistemin yörünge izleme kontrolü etkilenmeksizin, kontrolcünün K_v değerlerinin bir miktar daha azaltılıyor olması salınımın halinin de bir miktar daha azalmasını sağlamaktadır.

Son aşamada; yeni yörünge denklemi altında, kontrolcünün K_p değerini sabit tutup, K_v değerini bir miktar daha azalttığımızda elde edeceğimiz kararlılık halleri kontrol edilsin. K_p ve K_v değerlerinin en ideal değerlerdeki seçimi, sistemin de en ideal çalışma haline erişmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.15: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.15 de görüleceği üzere, sistem en ideal çalışma haline erişmiş durumdadır. Belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi altındaki kontrolcü için en doğru seçilmiş olan K_p ve K_v değerleri etkisinde, krenin en verimli halde çalışmasını sağlamıştır. Ayrıca, kren sisteminin durmaya yakın ivme değerini sıfıra yaklaştırdığı ve kısmi yavaşlayarak durma hali gösterdiği görülmektedir.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün, PID kontrole nazaran daha başarılı bir kontrol yöntemi olduğu görülmektedir. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, sisteminin salınım kontrolünü sağlayabildiği gibi, eş zamanlı olarak sistemin yörünge izleme kontrolünü de başarılı bir şeklide sağlayabilmiştir. PID kontrolde ise, Şekil 4.3 de görüldüğü üzere yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlansa da yük taşıma halatı, sınır koşulu süresi boyunca salınım hareketi yapmaya devam etmiştir.

4.2.3. Yörünge Denklemi Beşinci Dereceden Gezer Kren Sistemi Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü

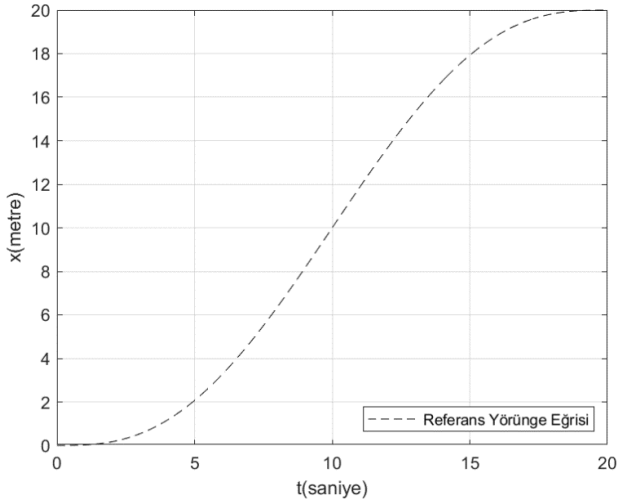
Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün başarısı, kren sistemi için tasarlanan referans eğrilerinin sıfır hata değeri ile izlenebilmesine bağlıdır. Referans eğrilerinin yüksek kararlılıkla en doğru (sıfır hata ile) takibi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün becerisini ortaya koymaktadır. Hedeflenen durum tüm referans eğrilerinin en yüksek kararlılık ve sıfır hata değeri ile takip edilmesidir.

Şekil 4.16 da beşinci dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.19 için tasarlanmış olan gerçek (istenen) bir yörünge referans eğrisi yer almaktadır. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolde, gerçekleşen yörünge eğrisinin istenen yörünge eğrisini yüksek kararlılık ile doğru takibi ve eş zamanlı olarak salınım değerinin en düşük değere indirgenmesi hedeflenen durumdur. Bu durumda Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol kren sisteminin yörünge izleme kontrolünü ve salınım kontrolünü eş zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 de ise, beşinci dereceden bir yörünge denklemi olan Denklem 4.19 için tasarlanmış olan hız referans eğrisi ve ivme referans eğrisi yer almaktadır.

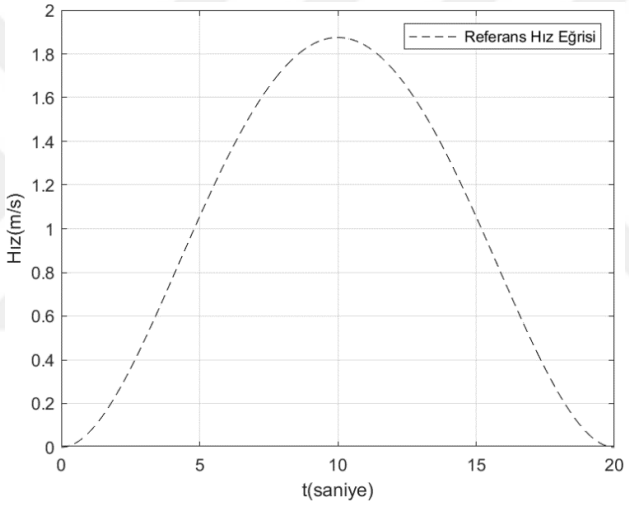
Şekil 4.17 de görüleceği üzere, kren sistemi hareketini tamamlamaya yakın hızını azaltarak sıfıra (0) eşitlemekte ve yavaşlayarak durma hali göstermektedir.

Şekil 4.18 de görüleceği üzere ise, kren sistemi hareketini tamamlamaya yakın ivme değerini azaltarak sıfıra (0) eşitlemekte ve yavaşlayarak durma hali göstermektedir.

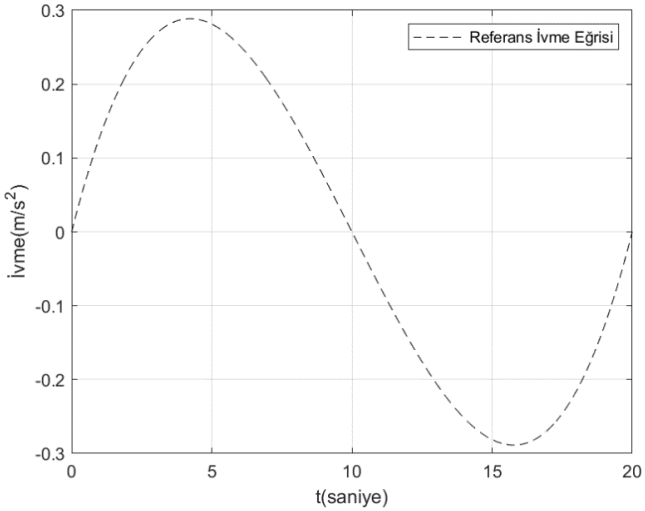
Her iki durumda da kren sistemi hedeflenen ideal hareket eylemini gerçekleştirmektedir. 20 (yirmi) saniyelik hareket süresi sonunda, 20 (yirmi) metrelik bir yol kat edilmiş ve yavaşlayarak durma hali sergilemiştir.



Şekil 4.16: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yörünge referans eğrisi.



Şekil 4.17: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol hız referans eğrisi.



Şekil 4.18: Denklem 4.19 için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ivme referans eğrisi.

Yörünge denkleminin derecesi, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün gücünü artırmaktadır. Yörüngenin derecesi ne kadar yüksek ise, Adaptif Kontrolün gücü de o kadar yüksek olacaktır. Kren sisteminin, yörünge denklemi beşinci dereceden olan bir Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü sayesinde krenin yörünge izleme kontrolü ve salınım kontrolü eş zamanlı olarak gerçekleştirilmekte ve kren sistemi hareketini tamamlamaya yakın yavaşlayarak durma hali göstermektedir.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol için tasarlanan beşinci dereceden bir polinoma ait genel denklemin ifadesi $x_{(t)} = a_0 + a_1(t-t_i) + a_2(t-t_i)^2 + a_3(t-t_i)^3 + a_4(t-t_i)^4 + a_5(t-t_i)^5$ şeklindedir. Bu polinom için sınır koşulları değerlerinin aşağıdaki gibi atanmış olduğu kabul edilsin. Belirlenmiş sınır koşullarına istinaden hedeflenen durum; kren sisteminin 20 saniyelik süre içerisinde 20 metrelik bir mesafeyi (yolu) durmaya yakın yavaşlayarak tamamlayabiliyor olmasıdır. Bu durumda, harekete başlamadan önce krenin hız değeri sıfır (0) m/sn, yer değiştirme (konum) değeri sıfır (0) metre ve ivme değeri sıfır (0) m/sn^2 değerindedir. Hareket halinin sonlanması esnasındaki kren hız değeri sıfır (0) m/sn iken krenin yer değiştirme (konum) değeri 20 metre ve krenin durma esnasındaki ivme değeri ise 0 m/sn^{2}olacaktır.

- Başlangıç ve bitiş anları (zamanları): $t_i = 0$, $t_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş konumları: x_i=0, $x_f = 20$
- Başlangıç ve bitiş hızları: $\dot{x}_i = 0$, $\dot{x}_f = 0$
- Başlangıç ve bitiş ivmeleri: $\ddot{x}_i = 0$, $\ddot{x}_f = 0$

Seçilmiş olan sınır koşullar eşliğinde, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 katsayıları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$a_0 = x_i = 0 \tag{4.12}$$

$$a_1 = \dot{x}_i = 0 \tag{4.13}$$

$$a_2 = \frac{1}{2}\ddot{x}_i = \frac{1}{2} \times 0 = 0 \tag{4.14}$$

$$a_3 = \frac{20(x_f - x_i) - (8\dot{x}_f + 12\dot{x}_i)(t_f - t_i) - (3\ddot{x}_f - \ddot{x}_i)(t_f - t_i)^2}{2(t_f - t_i)^3}$$

$$= \frac{20(20-0) - (8\times 0 + 12\times 0)(20-0) - (3\times 0 - 0)(20-0)^2}{2(20-0)^3} \quad (4.15)$$

$$= 0.025$$

$$a_4 = \frac{30(x_i - x_f) + (14\dot{x}_f + 16\dot{x}_i)(t_f - t_i) + (3\ddot{x}_f - 2\ddot{x}_i)(t_f - t_i)^2}{2(t_f - t_i)^4}$$

$$= \frac{30(0-20) + (14\times 0 + 16\times 0)(20-0) + (3\times 0 - 2\times 0)(20-0)^2}{2(20-0)^4} \quad (4.16)$$

$$= -0.001875$$

$$a_5 = \frac{12(x_f - x_i) - 6(\dot{x}_f + \dot{x}_i)(t_f - t_i) - (\ddot{x}_f - \ddot{x}_i)(t_f - t_i)^2}{2(t_f - t_i)^5}$$

$$= \frac{12(20-0) - 6(0+0)(20-0) - (0-0)(20-0)^2}{2(20-0)^5} = 0.0000375 \quad (4.17)$$

Bu durumda elde edilen yeni polinoma ait denklem şu şekildedir:

$$x_{(t)} = 0 + 0t + 0t^2 + (0.025)t^3 + (-0.001875)t^4 + (0.0000375)t^5 \quad (4.18)$$

$$x_{(t)} = 0.025t^3 - 0.001875t^4 + 0.0000375t^5 \quad (4.19)$$

Beşinci dereceden bir polinom olarak yeniden tasarlanmış olan bu denklem, kren sisteminin yeni yörünge denklemi olarak kabul edilsin. Beşinci dereceden bir polinom olan yeni yörünge denklemi ile kren sisteminin yörünge izleme kontrol becerisi, üçüncü dereceden polinom olan yörünge denklemine nazaran daha iyi bir seviyeye yükseltilmiş olacaktır.

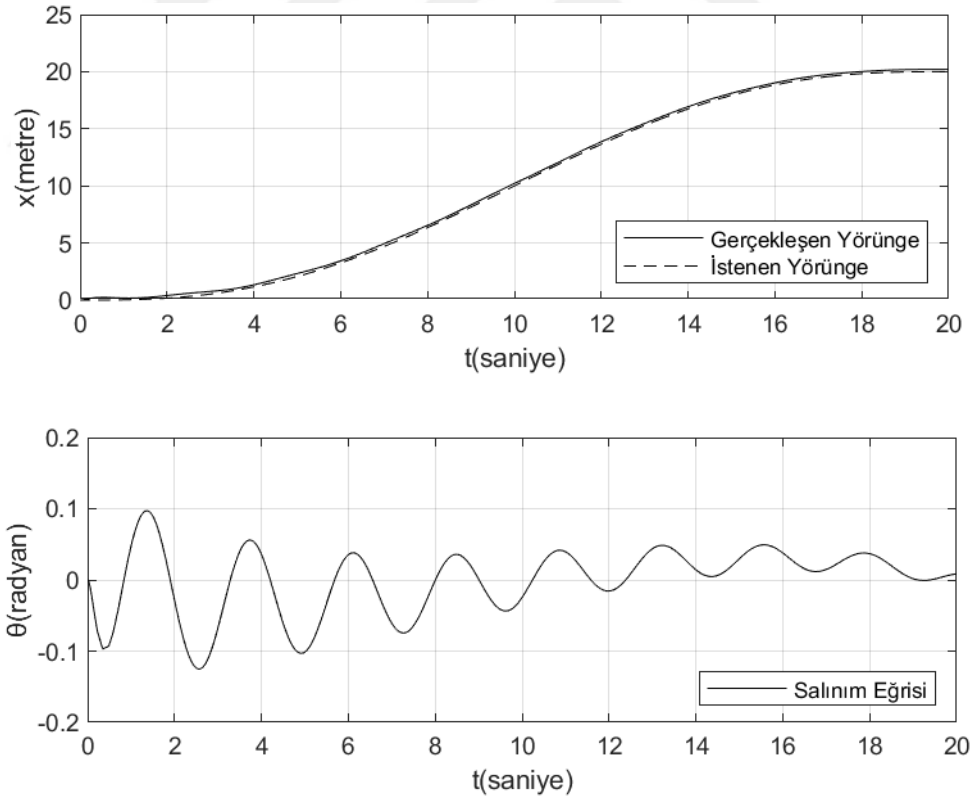
Kren sisteminin ilk (başlangıç) hız değeri sıfırdır ve hareketin bitişi esnasındaki hız değeri de sıfır olacaktır. Aynı zamanda, kren sisteminin ilk ivme değeri sıfırdır ve hareket süresince ivme değeri yükselmeye devam etmektedir. Arzu edilen durum; krenin ivme değerinin, durma anı esnasında da sıfır değerine eşit olacak şekilde indirgeniyor olmasıdır. Bu durumda; sistem harekete başladıktan sonra, belirli bir hız değeri ile ilerlemeli ve sonrasında, yavaşlayarak ve ivme değerini sıfıra eşitleyerek durma eğilimi göstermelidir.

Kren sisteminde; beşinci dereceden polinom ile tasarlanmış olan yeni yörünge denklemi sayesinde sistem, durma hareketini bir anda (ani) yapmak yerine yavaşlayarak sıfır ivme değeri ile tamamlayacak ve bu esnada sistemin salınım hali değeri de indirgenecektir.

Aşağıda, Matlab Simulink programı üzerinde bir kren sistemine uygulanmış olan ve yeniden belirlenmiş beşinci dereceden yörünge denklemine sahip Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile açığa çıkan "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri sunulmuştur. Kren sistemi için belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi $x_{(n)} = 0.025{t_n}^3 - 0.001875{t_n}^4 + 0.0000375{t_n}^5$ şeklindedir.

Adaptif kontrolcü için, K_{p1}, K_{p2}, K_{v1} ve K_{v2} kat sayıları her defasında yeniden belirlenmiş ve sistemin "açı-zaman" ve "konum-zaman" eğrileri tekrarlı olarak kontrol edilmiştir. Amaç, en doğru seçilmiş kat sayılar eşliğinde sistemin en iyi duruma eriştiği anı tespit etmektir.

Ayrıca; "konum-zaman" eğrileri kontrol edildiğinde görülecektir ki, kren sistemi durmaya yakın ivme değerini sıfıra indirgemekte ve yavaşlayarak durma hali sergilemektedir.

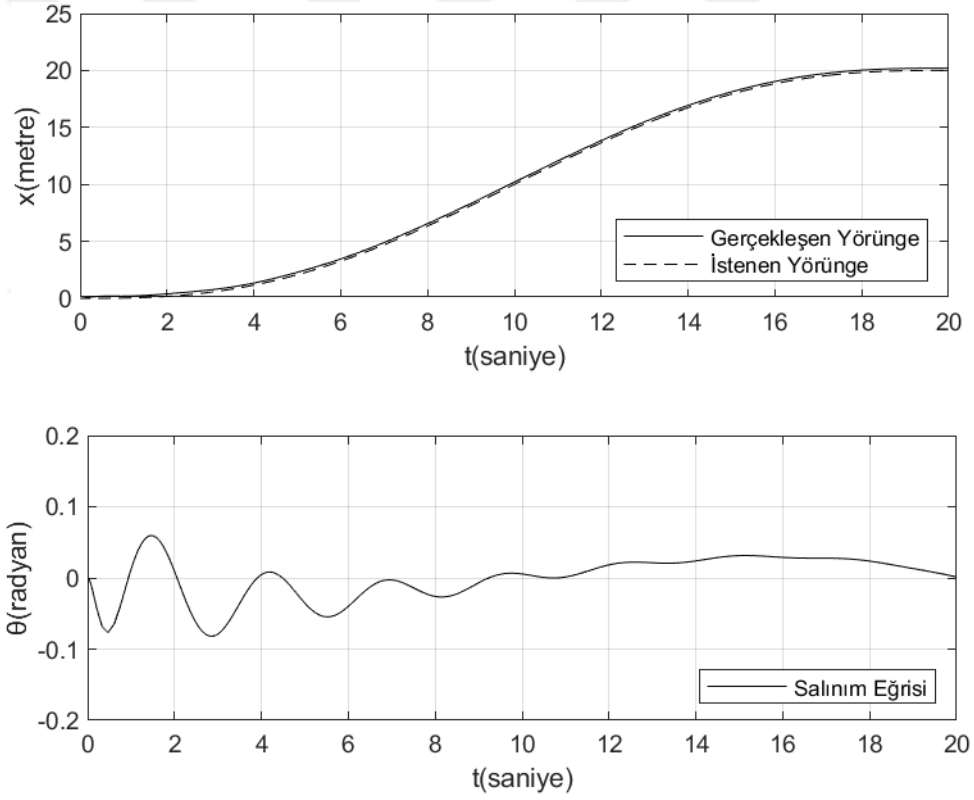


Şekil 4.19: Kp1 = 150, Kp2 = 150, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.19 da görüleceği üzere beşinci dereceden bir polinom olarak yeniden tasarlanış olan hareket yörüngesi ile Adaptif kontrol, kren sisteminin yörünge izleme kontrol becerisi başarı ile sağlanmış durumdadır.

Şekil 4.19 da ayrıca görüleceği üzere, salınım açı değeri de indirgenmiştir. Sistemin salınımı indirgenir iken; kren kontrollü bir hız değeri ile hedeflenen mesafeye, istenilen sürede ulaşabilmiştir. Ayrıca, kren sistemi yörünge izleme hareketini tamamlamaya yakın ivme değeri sıfıra indirgemiş ve yavaşlayarak durma hali göstermiştir. Sisteme ait; salınım açısı, konum, hız ve zaman değerleri kontrol altındadır.

Salınım açısı değerinin daha fazla azaltılabilmesi için en uygun K_p ve K_v değerleri yeniden belirlenebilir.

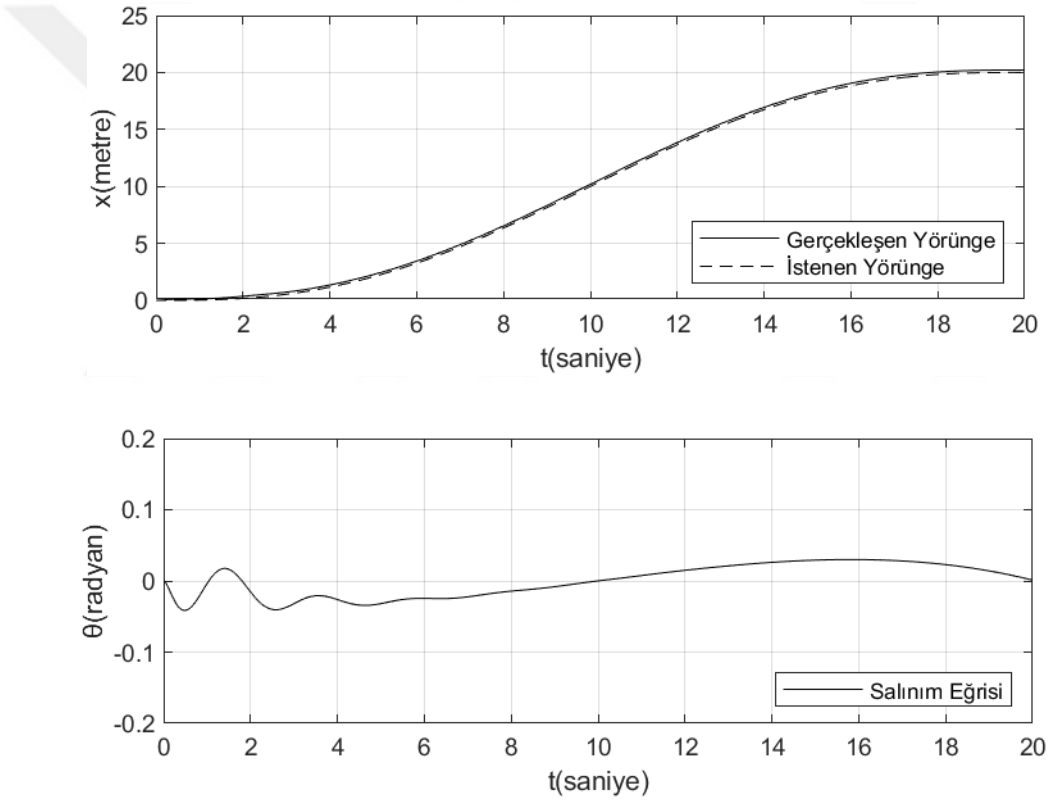


Şekil 4.20: Kp1 = 75, Kp2 = 75, Kv1 = 5, Kv2 = 5 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.20 de görüleceği üzere K_p değerinin azaltılması sonucunda, sistemin salınım kontrol becerisi artmıştır.

Ayrıca, Şekil 4.20 de sistemin yörünge izleme eğrisi de mevcuttur. Belirlenmiş olan K_v değerleri etkisinde sistemin arzu edilen mesafeyi yine arzu edilen hız ve zamanda tamamlayabildiği görülmektedir. Kren sisteminin yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlanmıştır. Salınım kontrolünün daha kararlı bir yapıya ulaşabilmesi için kontrolcünün K_p ve K_v değerleri yeniden belirlenerek, sistem tekrar kontrol edilebilir.

Amaç, sistemin en iyi çalışma haline eriştiği anı elde edebilmektir. Belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi altında salınım açısı değerini azaltabilmek ve eş zamanlı olarak yörünge izleme kontrol becerisini koruyabilmek, seçilecek olan K_p ve K_v nin en doğru değerlerine bağlıdır.

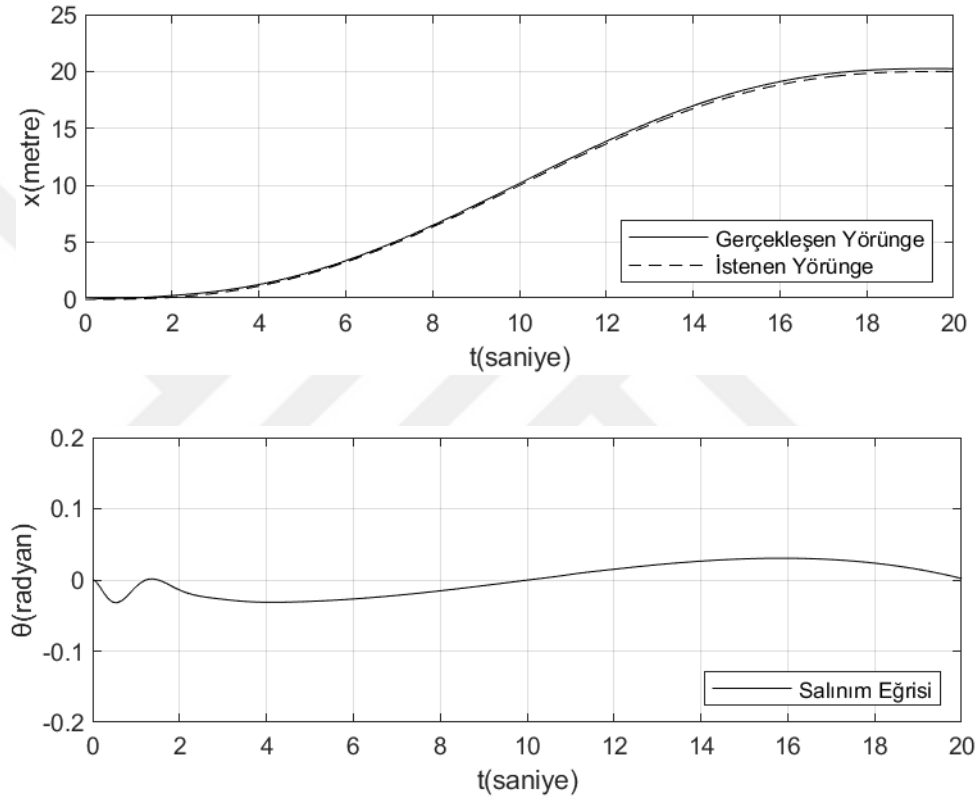


Şekil 4.21: Kp1 = 250, Kp2 = 250, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.21 de görüleceği üzere kontrolcü için belirlenen yeni $K_p$ve K_v değeri ile sistem hala kararlı halde çalışmaya devam etmektedir. Kren sisteminin yörünge izleme kontrol becerisi herhangi bir şekilde olumsuz etkilenmemiştir. Kren, hareketini tamamlamaya yakın yavaşlayarak durma hali sergilemekte ve yörünge izleme kontrolü için ideal kararlılığını korumaya devam etmektedir.

Ayrıca, Şekil 4.21 de görüleceği üzere, yeniden belirlenen K_p ve K_v değerleri etkisinde salınım hali daha fazla indirgenebilmiştir. Bu durumda; sistemin yörünge izleme kontrol becerisi etkilenmeksizin, kontrolcü için belirlenen yeni K_p ve K_v değeri ile salınımın kontrolü becerisinin artmış olduğu görülmektedir.

Son aşamada; yeni yörünge denklemi altında, kontrolcünün K_v değerini sabit tutup, K_p değerini bir miktar daha azalttığımızda elde edeceğimiz kararlılık halleri kontrol edilsin.



Şekil 4.22: Kp1 = 100, Kp2 = 100, Kv1 = 1, Kv2 = 1 değerleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri.

Şekil 4.22 de görüleceği üzere, sistem en ideal çalışma haline erişmiş durumdadır. Belirlenmiş olan yeni yörünge denklemi altındaki kontrolcü için en doğru seçilmiş olan K_p ve K_v değerleri etkisinde, krenin en verimli ve kararlı halde çalışmasını sağlamıştır.

Yeni yörünge denkleminde, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile "konum-zaman" ve "açı-zaman" grafikleri kren sisteminin en ideal veriler neticesinde çalışabildiğini tekrar göstermektedir.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile kren sistemi, belirlenmiş olan tüm sınır koşullarını karşılamaktadır. Şekil 4.22 de görüldüğü üzere, yörünge izleme kontrolü eğrisi sıfır hata değeri ile oluşmuştur. Yörünge izleme kontrol eğrisi ile sistemin yörünge eğrisi birebir örtüşmektedir. Ayrıca, salınım miktarı en düşük değere indirgenmiş ve durma anında sıfır açı değerine ulaşmıştır.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile kren, 20 saniyelik hareket süresi sonunda; 20 metre mesafe yol almış, yörünge izleme kontrolünü başarı ile tamamlamış ve eş zamanlı olarak sistemin salınım kontrolünü de aynı başarı ile sağlayabilmiştir. Ayrıca, yörünge denklemi beşinci dereceden kren sisteminin Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolünde kren, durmaya yakın ivme değerini sıfır değerine indirgemiş ve yavaşlayarak durma hali göstermiştir. Bu durum kren sistemi için arzu edilen en ideal kararlılık hallerini ifade etmektedir. Belirlenmiş tüm sınır koşulların yüksek kararlılık ile yerine getiriliyor olması, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün becerisinin yüksek olması haline bağlıdır.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolün, PID kontrole nazaran daha başarılı bir kontrol yöntemi olduğu görülmektedir. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, sisteminin salınım kontrolünü sağlayabildiği gibi, eş zamanlı olarak sistemin yörünge izleme kontrolünü de başarılı bir şeklide kontrol altında tutabilmiştir. PID kontrolde ise, Şekil 4.3 de görüldüğü üzere yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlansa da yük taşıma halatı, sınır koşulu süresi boyunca salınım hareketi yapmaya devam etmiştir.

5. TARTIŞMA

Kren, yükleri; kaldırmak, indirmek ve yatay olarak hareket ettirmek için kullanılabilen bir makine türüdür. Ağır yükleri kaldırmak ve başka yerlere taşımak için kullanılırlar. Kren sistemlerinde kaldırılan(taşınan) yükler belirsizdir ve değişkenlik gösterebilir. Örneğin, bir kren sistemi ile 1(bir) birim ağırlık değerinde bir yük taşınır iken, aynı kren sistemi ile daha sonrasında 10(on) birim ağırlık değerinde veya daha fazlası bir ağırlıkta yük taşınmak istenebilir. Bu durum, kren sisteminin belirsiz parametre değerlerine sahip olduğunu gösterir. Belirsiz olan ve değişebilen bu parametreler etkisinde kren sisteminin salınım kontrol ve yörünge kontrol becerilerinin yüksek olması arzu edilen durumdur. Tez çalışmasında, belirsiz parametrelere sahip bir kren sisteminin Logaritmik Esaslı Adaptif kontrolü sağlanmıştır. Ayrıca, PID kontrol ile Logaritmik Esaslı Adaptif kontrolün kren sistemi üzerindeki başarı sonuçları ayrı ayrı elde edilmiş ve kıyasları yapılmıştır.

Kren sistemine uygulanmış olan PID kontrol ile krenin arabasının yörünge izleme kontrolü başarı ile sağlanmış olsa da, yük taşıma halatı üzerinde oluşan salınım hareketi hali devam etmiştir. Hedeflenen durum, yörünge izleme kontrolünün yapıldığı esnada yük halatı üzerinde oluşan salınım değerinin sıfır değerine doğru indirgeniyor ve salınım halinin ortadan kaldırılıyor olmasıdır.

Şekil 4.3 de görüleceği üzere, Gezer kren sistemi arabası PID yörünge izleme kontrolü başarı ile yapılmıştır. Kren arabasının yörünge izleme kontrolü başarısı iyi bir sonuç elde etmiş olmasına karşın, yükün taşıma halatı üzerinde salınım hali oluşmuş ve yük halatı salınım yapmaya devam etmiştir. Hedeflenen durum, yörünge izleme kontrolünün başarı ile yapıldığı esnada, yük taşıma halatı üzerinde meydana gelen salınım halinin sıfır değerine indirgenmiş olması ve salınım halinin ortadan kalkmasıdır. Şekil 4.3 de tekrar görüleceği üzere, yükün taşıma halatı üzerinde oluşan salınım hali sınır koşulu süresi boyunca devam etmiştir.

Bu sebep ile, model parametreleri belirsiz bir kren sisteminin, yörünge izleme kontrolü ve salınım kontrollerinin eş zamanlı ve başarı ile yapılabilmesi için yeni bir kontrolcü kullanılmıştır. Bir kren sistemine ilk defa uygulanan bu yeni kontrolcü, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol metodudur.

Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol ile, belirsiz parametrelere sahip bir kren sisteminin salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak yapabilmek mümkündür. Yeni Adaptif kontrolün becerisi, kren sistemine tanımlanmış olan farklı yörünge denklemleri ile güçlendirilmiştir.

Yörünge denklemi ikinci dereceden polinom olarak tasarlanan kren sisteminin Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü, salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak yapabilmekte başarı göstermiştir. Şekil 4.9 da görüleceği üzere Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, kren sisteminin salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı yapabilmiş ve sınır koşulları sağlayabilmiştir. Sistemin sınır koşulları $x_i = 0$ metre ve $x_f = 20$ metredir. Yeni Adaptif kontrol neticesinde $x_f = 20$ metre sınır koşulu sağlanmıştır. Bu durumda, kren sistemi 20(yirmi) saniye içerisinde 20(yirmi) metre hareket edebilmiştir. Kren sisteminin, hareketini sonlandırma esnasında ani (bir anda) durma eylemi yapması istenmeyen bir durumdur. Bu sebep ile krenin ivme değerinin durmaya yakın sıfır değerine eşitlenmesi gerekmektedir. Yörünge denkleminin daha yüksek bir dereceden polinom olarak yeniden tasarlanması sistem kararlılığını artıracak ve kren sisteminin ivme değerini durmaya yakın sıfırlayacaktır.

Yörünge denklemi üçüncü dereceden polinom olarak tasarlanan kren sisteminin Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü, salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak yapabilmekte başarı göstermiştir. Şekil 4.15 de görüleceği üzere Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, kren sisteminin salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı yapabilmiş ve sınır koşulları sağlayabilmiştir. Sistemin sınır koşulları $x_i = 0$ metre ve $x_f = 20$ metredir. Yeni Adaptif kontrol neticesinde $x_f = 20$ metre sınır koşulu sağlanmıştır. Bu durumda, kren sistemi 20(yirmi) saniye içerisinde 20(yirmi) metre hareket edebilmiştir. Şekil 4.15 de ayrıca görüleceği üzere, kren sistemi durmaya yakın ivme değerini de sıfıra doğru yaklaştırabilmiş ve krenin kısmi yavaşlayarak durmasını sağlamıştır. Hedeflenen durum, krenin durmaya yakın ivme değerini sıfıra değerine eşitlemesidir. Bu sayede sistem arzu edilen şekilde ve yavaşlayarak durma eylemi gösterecektir.

Yörünge denklemi beşinci dereceden polinom olarak tasarlanan kren sisteminin Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrolü, salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı olarak yapabilmekte başarı göstermiştir. Şekil 4.22 de görüleceği üzere Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, kren sisteminin salınım kontrolünü ve yörünge izleme kontrolünü eş zamanlı

yapabilmiş ve sınır koşulları sağlayabilmiştir. Sistemin sınır koşulları $x_i = 0$ metre ve $x_f = 20$ metredir. Yeni Adaptif kontrol neticesinde $x_f = 20$ metre sınır koşulu sağlanmıştır. Bu durumda, kren sistemi 20(yirmi) saniye içerisinde 20(yirmi) metre hareket edebilmiştir. Şekil 4.22 de ayrıca görüleceği üzere, kren sistemi durmaya yakın ivme değerini de sıfıra eşitlemiş ve krenin yavaşlayarak durmasını sağlamıştır. Hedeflenen sınır koşul $\ddot{x}_f = 0$ gerçekleşmiştir.

Sistemin tüm kararlılık hallerinin sağlanması doğrultusunda, kren sistemine ilk defa uygulanmış olan Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol başarılı bir kontrol metodu olmuştur. Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol eş zamanlı olarak hem sistemin salınım kontrolünü yapmakta hem de sistemin yörünge izleme kontrolünü sağlamaktadır. Ayrıca, kren sisteminin durmaya yakın yavaşlamasını sağlamakta ve durma anındaki ivme değerini sıfıra eşitlemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, model parametreleri belirsiz kren sistemlerinin kararlılık hallerinin iyileştirilmesi amacı ile, kren sistemine literatürde ilk defa uygulanmış bir kontrol metodu olan "Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol" yöntemi kullanılmıştır. Bu kontrolcü için matematiksel model oluşturulmuş ve kren sistemi için kararlılık analizi yapılmıştır. Kren sistemi için yörünge planlamaları tamamlanmasını takiben Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol, parametreleri belirsiz olan kren sistemine uygulanmıştır. Sistemin bilgisayar simülasyonu yapılmış ve izleme hatalarını minimum yapan kontrol parametreleri araştırılmıştır. Ayrıca kren sistemi arabası için PID yörünge izleme kontrolü yapılmış, elde edilen sonuçlar Logaritmik Esaslı adaptif Kontrol ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede görülmektedir ki, Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol yöntemi eş zamanlı olarak:

- Kren sisteminin salınım kontrolünü başarı ile sağlamıştır.
- Kren sisteminin yörünge izleme kontrolünü başarı ile sağlamıştır.

Ayrıca, Logaritmik esaslı Adaptif Kontrolde kren sisteminin durmaya yakın yavaşlama hareketi gösterdiği, yavaşlayarak durduğu ve durma anındaki ivme değerinin sıfıra indirgenebildiği görülmüştür. Model parametreleri belirsiz kren sistemleri için Logaritmik Esaslı Adaptif Kontrol metodu sistemin kararlılık hallerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

KAYNAKLAR

[1] Yannopoulos (2015). *"Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide"*. Water. 7 (12). ss. 5031-5060.

[2] Saeidi, H., Naraghi, M. ve Raie, A. A. (2013). *"A Neural Network Self Tuner Based on Input Shapers Behavior for Anti Sway System of Gantry Cranes"*, Journal of Vibration and Control.

[3] Fujioka, D. ve Singhose, W. (2015). *"Input-Shaped Model Reference Control Of a Nonlinear Time-Varying Double-Pendulum Crane"*, 2015 10th Asian Control Conference: Emerging Control Techniques for a Sustainable World, 31 May 2015, Kinabalu.

[4] Omar, H. M. ve Nayfeh, A. H. (2005). *"Anti-Swing Control of Gantry And Tower Cranes Using Fuzzy and Time Delayed Feedback With Friction Compensation"*, Journal of Shock and Vibration.

[5] Solihin, M. I., Wahyudi ve Legowo, A. (2010). *"Fuzzy-tuned PID Anti-swing Control of Automatic Gantry Crane"*, Journal of Vibration and Control.

[6] Aktas, A., Mert, S. ve Yazici, H. (2016). *"Gain Scheduling LQR Control of Linear Parameter Varying Overhead Crane"*, Electrical, Electronics and Biomedical Engineering, 2016 National Conference on IEEE, 1-3 Aralık 2016, Bursa.

[7] Garrido, S. vd. (2008). *"Anti-Swinging Input Shaping Control of An Automatic Construction Crane"*, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.

[8] Daqaq, M. F. ve Masoud, Z. N. (2006). *"Nonlinear İnput-Shaping Controller for Quay-Side Container Cranes"*, Nonlinear Dynamics.

[9] Yang, B. ve Xiong, B. (2010). *"Application of LQR Techniques to the Anti-Sway Controller of Overhead Crane"*, International Conference on Manufacturing Engineering and Automation.

[10] Jouaneh, M. K., Member, S. ve Anderson, E. (2006). *"Input Shaping Using Finite Impulse Response Filters"*, Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision & Control, 13 December 2006, San Diego.

[11] Kurabayashi, T., Chuan, Y. ve Murakami, T. (2014). *"An Advanced Position Control of Overhead Crane By Sway Suppression Method Emulating Natural Damping"*, 2014 International Power Electronics Conference, 5-7 May 2014, Hiroshima.

[12] Vaughan, J., Kim, D. ve Singhose, W. (2010). *"Control Of Tower Cranes With Double-Pendulum Payload Dynamics"*, IEEE Transactions on Control Systems Technology.

[13] Wu, Z., Xia, X. ve Zhu, B. (2015). *"Model Predictive Control For İmproving Operational Efficiency of Overhead Cranes"*, Nonlinear Dynamics.

[14] Spathopoulos, M. P. ve Fragopoulos, D. (2004). *"Pendulation Control of an Offshore Crane"*, International Journal of Control.

[15] Mohd Tumari, M. Z. vd. (2012). *"H∞ Controller with Graphical LMI Region Profile for Gantry Crane System"*, 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems, 20-24 November 2012, Kobe.

[16] Hilhorst, G., Pipeleers, G. ve Swevers, J. (2013). *"Reduced-order Multi-objective H∞ Control of an Overhead Crane Test Setup"*, 52nd IEEE Conference on Decision and Control, 10-13 December 2013, Florence.

[17] Yu, W., Li, X. ve Panuncio, F. (2014). *"Stable Neural Pid Anti-Swing Control for an Overhead Crane"*, Intelligent Automation & Soft Computing. Taylor & Francis.

[18] Zavari, K., Pipeleers, G. ve Swevers, J. (2014). *"Gain-Scheduled Controller Design: Illustration on an Overhead Crane"*, IEEE Transactions on Industrial Electronics.

[19] Li, X. ve Yu, W. (2012). *"Anti-Swing Control for an Overhead Crane with Fuzzy Compensation"*, Intelligent Automation and Soft Computing.

[20] Sun, Z. vd. (2015). *"A DE based PID controller for Two Dimensional Overhead Crane"*, Chinese Control Conference, 1 September 2015.

[21] Fujioka, D. ve Singhose, W. (2015). *"Performance Comparison of Input-Shaped Model Reference Control on an Uncertain Flexible System"*, IFAC-PapersOnLine.

[22] Fang, Y., Ma, B., Wang, P. ve Zhang, X. (2012). *"A Motion Planning-Based Adaptive Control Method for an Underactuated Crane System"* IEEE Transactions on Control Systems Technology.

[23] Yanyang, L., Wei, X. ve Li, W. (2011). *"Anti-Swing Control of the Crane System Based on Input Shaping Technique"*, Proceedings of the 2011 Chinese Control and Decision Conference.

[24] Dey, R. vd. (2010). *"Active Sway Control of a Single Pendulum Gantry Crane System Using Output-Delayed Feedback Control Technique"*, 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision.

[25] *"PID Theory Explained"*. NI White Papers. National Instruments. 29 Mart 2011. 16 Ağustos 2017 tarihli kaynak.

[26] Hogenson, J. (2017) *"PID for Dummies"*. Control Solutions Minnesota. Control Solutions, Inc. 22 Aralık 2017 tarihli kaynak.

[27] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2009) *"MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi)"* Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri.

[28] Landau, L., Lozano, R., Saad, M., Karimi, A. (2011). *"Adaptive Control Algorithms and Applications Second Edition"* Springer.

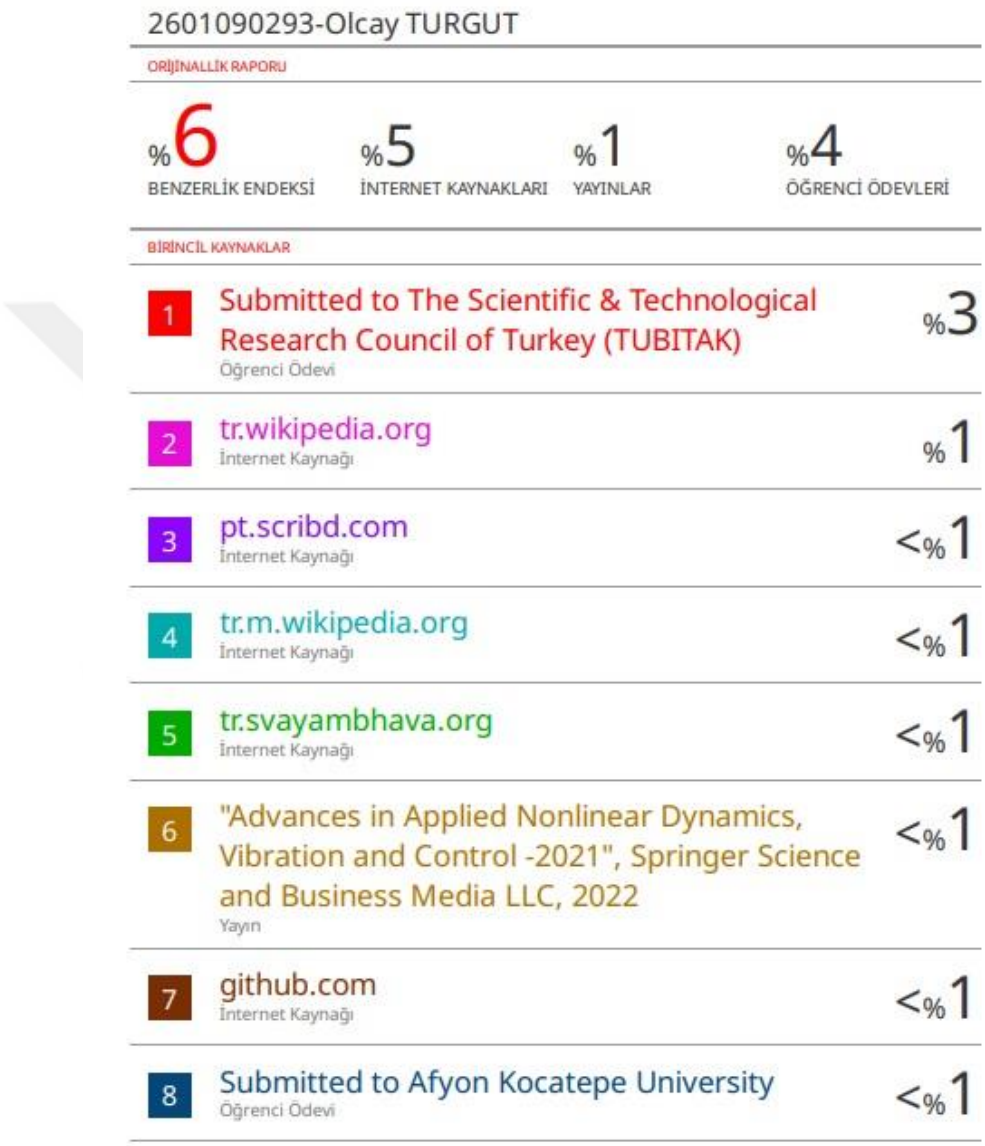
[29] Slotine and Li, (1991) *"Applied Nonlinear Control"* Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

[30] Sciavicco, L., Siciliano, B. (1996) *"Modeling and Control of Robot Manipulators"* Mc Graw-Hill, New York, ISBN 0-07-114726-8

[31] Fang, Y., Ma, B., Wang, P., Zhang, X. (2012) *"A Motion Planning-Based Adaptive Control Method for an Underactuated Crane System"* IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 20, NO. 1.

[32] Burkan, R. (2005) *"Modelling of a Logarithmic Parameter Adaptation Law for Adaptive Control of Mechanical Manipulators"* Robotica (2006) Volume 24, pp. 523–525. © 2006 Cambridge University Press doi:10.1017/S0263574705002523 Printed in the United Kingdom.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI



2601090293-Olcay TURGUT

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%5	%1	%4
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
2	tr.wikipedia.org İnternet Kaynağı	%1
3	pt.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
4	tr.m.wikipedia.org İnternet Kaynağı	<%1
5	tr.svayambhava.org İnternet Kaynağı	<%1
6	"Advances in Applied Nonlinear Dynamics, Vibration and Control -2021", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Yayın	<%1
7	github.com İnternet Kaynağı	<%1
8	Submitted to Afyon Kocatepe University Öğrenci Ödevi	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Olcay TURGUT
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Olcay TURGUT
(İmza)

ÖZGEÇMİŞ