

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRENLERDE DURUŞ HASSASİYETİNİN MİNİMİZE  
EDİLMESİ İÇİN UYGUN TASARIMLARIN  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Makine Mühendisi Kıvanç KAYA**

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi Ve Kontrol Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU**

**İSTANBUL, 2009**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL TANIMLAR .....	2
2.1 Basit Kaldırma Makineleri .....	2
2.2 Palangalar .....	2
2.3 Vinçler .....	2
2.4 Krenler .....	3
3. KALDIRMA VE TAŞIMA MAKİNELERİNİN SINIFLANDIRILMASI .....	4
3.1 FEM ve DIN Normları ile Transport Sistemlerinin Sınıflandırılması .....	6
3.2 Kaldırma Makinelerinin Sınıflandırılması .....	6
3.2.1 Sistem Sınıflandırması .....	6
3.2.2 Kullanım Sınıflandırması .....	6
3.2.3 Yük Dağılımı .....	7
3.2.4 Kaldırma Makinelerinin Grup Sınıflandırması .....	8
4. KRENLER .....	10
4.1 Giriş .....	10
4.2 Farklı Kren Uygulamaları .....	10
4.2.1 Köprülü Krenler .....	10
4.2.2 Portal Krenler .....	11
4.2.3 Oklu ve Döner Krenler .....	11
4.2.4 Kablolü Krenler .....	12
4.2.5 Kule Krenleri .....	12
4.2.5.1 Kule Krenlerinin Yapısal Özellikleri .....	12
4.2.5.2 Kule Krenlerinin Genel Kullanım Değerleri .....	14
5. KRENLERDE KONTRÜKSİYON VE ÖLÇÜLENDİRME ESASLARI .....	16
5.1 Konstrüksiyon için Genel Esaslar .....	16
5.2 Ölçülendirme Esasları .....	17
6. KREN HESABINDA SİSTEME ETKİYEN YÜKLER VE KATSAYILAR .....	20
6.1 Esas (ana) Yükler .....	20
6.2 Düşey Hareketlerden Gelen Yükler .....	20
6.3 Yatay Hareketlerden Gelen Yükler .....	20

6.4	Hava Şartlarından Meydana Gelen Yüklemler .....	21
6.5	Yükleme Durumu Grupları ve Genel Gerilme Değerleri .....	21
6.5.1	H Yükleme Durumu .....	21
6.5.2	Hz Yükleme Durumu.....	22
6.5.2.1	İlave Kuvvetler .....	22
6.6	Genel Emniyet Gerilme Değerleri .....	22
6.7	Taşıyıcı Elemanların Yük Durumuna Göre Eğilme Gerilmeleri .....	23
6.8	Kren Hesabındaki Katsayılar .....	23
6.8.1	Zati Ağırlık Katsayısı ( $\phi$ ) .....	23
6.8.2	Yük Kaldırma Katsayısı ( $\psi$ ) .....	24
7.	SEÇİLEN KULE KRENİ MODELİ TANITIMI VE MODELLENMESİ .....	26
7.1	Kule Krenin Tanıtımı.....	26
7.2	Seçilen Krenin Modellenmesi ve Yapılan Kabuller .....	27
7.3	Modelin Dinamik Davranış Denklemleri .....	28
8.	SEÇİLEN DURUMLARIN İRDELENMESİ VE GRAFİKLERİN YORUMLANMASI .....	32
8.1	Çeşitli Parametreler Altında Oluşturulan Durumlar ve Grafikler.....	33
8.2	Grafiklerin Yorumlanması.....	64
8.2.1	Durum 1 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	64
8.2.2	Durum 2 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	65
8.2.3	Durum 3 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	66
8.2.4	Durum 4 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	67
8.2.5	Durum 5 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	68
8.2.6	Durum 6 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	69
8.2.7	Durum 7 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	70
8.2.8	Durum 8 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	71
8.2.9	Durum 9 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	72
8.2.10	Durum 10 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması .....	73
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
	KAYNAKLAR.....	76
	EKLER .....	77
	Ek 1 Kren modeli dinamik davranış denklemlerinin MATLAB–Simulink ortamına aktarılmaya hazır yazılışları.....	78
	Ek 2 Sistemin Matlab-Simulink ortamındaki blok diyagramı.....	79
	Ek 3 Denklemlerin Mathematica programında yazımı.....	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

## SİMGE LİSTESİ

A	Rüzgar yönüne dik düzlemdeki taşıyıcı sistem yüzeylerinin izdüşümü
c	Aerodinamik bir katsayı
F	$m_1$ kütesinin oluşturduğu kuvvet
g	Yer çekimi ivmesi
k	Halatın uzama katsayısı
$k_p$	Yük dağılım faktörü
L	Değişken halat boyu
$L_0$	Yükün asılı olduğu halatın ilk boyu
$m_1$	Halat ucuna asılı yük
$m_{1i}$	Kaldırılan i sayıdaki yükler
$m_{1max}$	Emniyetli çalışma yük
$m_2$	Kren kolunun $x_2, y_2, z_2$ koordinatına indirgenmiş kütesi
M	Krene z eksenini etrafında uygulanan döndürme momenti
$M_R$	Rüzgar kuvvetlerinden gelen eğilme momentleri
$M_y$	Yan ilave yüklerden gelen eğilme momentleri
$n_i$	Gerçek kaldırma sayısı
$n_{max}$	Toplam kaldırma süresince toplanan kaldırma sayısı
p	Rüzgar kuvvetinin bileşkesi
q	Dinamik basınç
R	$m_2$ kütesinin x-y düzlemindeki izdüşümünün moment uygulanan noktaya olan uzaklığı
$R_1$	$m_2$ kütesinin moment uygulanan noktaya olan uzaklığı
$R_b$	Kren yük kolu(bum) uzunluğu
$R_g$	Kren gövdesi uzunluğu
$V_{rüz}$	Rüzgar hızı
$x_1$	$m_1$ kütesi koordinatının x bileşeni
$x_2$	$m_2$ kütesi koordinatının x bileşeni
$y_1$	$m_1$ kütesi koordinatının y bileşeni
$y_2$	$m_2$ kütesi koordinatının y bileşeni
$z_1$	$m_1$ kütesi koordinatının z bileşeni
$z_2$	$m_2$ kütesi koordinatının z bileşeni
$\alpha$	$R_1$ uzunluğu ile kren gövdesi arasındaki açı
$\Delta L$	Yük etkisiyle halatta meydana gelen uzama miktarı
$\theta_1$	Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenini ile yaptığı açı

$\theta_2$	Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı
$\theta_3$	Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı
$\theta_{bg}$	Kren taşıyıcı kolu ve gövdesi arasındaki açı
$\sigma$	Eğilme gerilmesi
$\varphi$	Zati ağırlık katsayıları
$\psi$	yük kaldırma katsayıları

## **KISALTMA LİSTESİ**

DIN        Deutsches Institut für Normung eV

FEM        Federation Europeenne de la Manutention

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1 Kule kren çeşitleri(Boğoçlu, ) .....	13
Şekil 7.1 Döner kuleli yapı kreni.....	26
Şekil 7.2 Kren modelinin şematik gösterimi .....	27
Şekil 8.1 Durum 1 parametreleri altındaki $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	33
Şekil 8.2 Durum 1 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	34
Şekil 8.3 Durum 1 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	34
Şekil 8.4 Durum 1 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	35
Şekil 8.5 Durum 2 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	36
Şekil 8.6 Durum 2 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	37
Şekil 8.7 Durum 2 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	37
Şekil 8.8 Durum 2 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	38
Şekil 8.9 Durum 3 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	39
Şekil 8.10 Durum 3 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	40
Şekil 8.11 Durum 3 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	40
Şekil 8.12 Durum 3 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	41
Şekil 8.13 Durum 4 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	42
Şekil 8.14 Durum 4 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	43
Şekil 8.15 Durum 4 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	43
Şekil 8.16 Durum 4 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	44
Şekil 8.17 Durum 5 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	45
Şekil 8.18 Durum 5 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	46
Şekil 8.19 Durum 5 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	46
Şekil 8.20 Durum 5 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	47
Şekil 8.21 Durum 6 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	48
Şekil 8.22 Durum 6 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	49
Şekil 8.23 Durum 6 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	49
Şekil 8.24 Durum 6 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	50
Şekil 8.25 Durum 7 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	51
Şekil 8.26 Durum 7 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	52
Şekil 8.27 Durum 7 parametreleri altında $\theta_2$ değişkeninin karakteristikleri .....	52
Şekil 8.28 Durum 7 parametreleri altında $\theta_3$ değişkeninin karakteristikleri .....	53
Şekil 8.29 Durum 8 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	54
Şekil 8.30 Durum 8 parametreleri altında $\theta_1$ değişkeninin karakteristikleri .....	55

Şekil 8.31 Durum 8 parametreleri altında $\theta 2$ değişkeninin karakteristikleri .....	55
Şekil 8.32 Durum 8 parametreleri altında $\theta 3$ değişkeninin karakteristikleri .....	56
Şekil 8.33 Durum 9 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	57
Şekil 8.34 Durum 9 parametreleri altında $\theta 1$ değişkeninin karakteristikleri .....	58
Şekil 8.35 Durum 9 parametreleri altında $\theta 2$ değişkeninin karakteristikleri .....	58
Şekil 8.36 Durum 9 parametreleri altında $\theta 3$ değişkeninin karakteristikleri .....	59
Şekil 8.37 Durum 10 parametreleri altında $L$ değişkeninin karakteristikleri .....	60
Şekil 8.38 Durum 10 parametreleri altında $\theta 1$ değişkeninin karakteristikleri .....	61
Şekil 8.39 Durum 10 parametreleri altında $\theta 2$ değişkeninin karakteristikleri .....	61
Şekil 8.40 Durum 10 parametreleri altında $\theta 3$ değişkeninin karakteristikleri .....	62

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Transport makinelerinin gruplandırılması.....	5
Çizelge 3.2 Toplam kullanım süresine göre sınıflandırma(İmrak vd., 2007).....	7
Çizelge 3.3 Yük dağılım faktörü(İmrak vd., 2007) .....	8
Çizelge 3.4 Kaldırma makinelerinin grup sınıflandırması(İmrak vd., 2007) .....	8
Çizelge 3.5 Kaldırma makinelerinin sınıflandırılması için rehber çizelge(İmrak vd., 2007).....	9
Çizelge 6.1 St 37 ve St 52-3 malzemeleri gerilme emniyet değerleri(İmrak vd., 2007).....	23
Çizelge 6.2 Zati ağırlık katsayısı ( $\phi$ )(Demirsoy vd., 2005).....	23
Çizelge 6.3 Yük kaldırma katsayısı ( $\psi$ ) (Demirsoy vd., 2005) .....	24
Çizelge 6.4 Krenlerin gruplandırılması ve kaldırma sınıfları(İmrak vd., 2007).....	24
Çizelge 6.5 Çeşitli krenler ve kaldırma sınıfları(İmrak vd., 2007).....	25
Çizelge 8.1 10 farklı durumun parametre değerleri ve durumların kıyaslanması .....	63

## ÖNSÖZ

Açık çevrim olarak modellenen 4 serbestlik dereceli bir kule tipi kren modelinin non-lineer karakteristiğe sahip dinamik davranışlar denklemleri çözümlenerek benimsenen modelleme tekniği ve durum değişkenlerinin yükün duruş hassasiyeti üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada benimsenen modelleme tekniği ve durum değişkenleri ile elde edilen veriler, benden sonra benzer konularda çalışma yürütmek isteyen kişilerin konuya daha geniş ve daha sağlıklı bakış açılarından bakabilmelerine olanak sağlayacaktır.

Tez çalışmamı yürüttüğüm süre zarfında, bilgi ve deneyimleriyle benden hiçbir zaman yardımını esirgemeyen, başta danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU'ya, Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI'ya ve Yrd. Doç. Dr. Semih SEZER'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Fikirleri ve düşünceleriyle destek olan arkadaşlarıma ve her zaman her konuda desteğini benden esirgemeyen aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

# KRENLERDE DURUŞ HASSASİYETİNİN MİNİMİZE EDİLMESİ İÇİN UYGUN TASARIMLARIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Kıvanç KAYA  
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Yapı sektörünün yakın zamandaki hızlı gelişimi, yapı krenlerinin gelişimini de beraberinde getirmiştir. Krenlerden beklenen artık sadece kaldırma ve iletme değil, bunu aynı zamanda mümkün olan en hızlı ve en hassas şekilde yapabilmeleridir. Bu yüzden krenlerde duruş hassasiyeti kren tasarımlarında önemli bir kriterdir.

Bu çalışmada, kaldırma ve iletme makinelerinden, bunların çeşitli kriterlere göre sınıflandırmalarından, krenlerden, krenlerin sınıflandırılmalarından, konstrüksiyon ve ölçülendirme esaslarından genel olarak bahsedilmiştir ve 4 serbestlik dereceli bir kule tipi kren modellenmiştir.

Bu modelde kullanılan halatın esnek bir yay karakteristiğinde olduğu, gövdenin ve yük kolunun (bum) rijit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca sisteme bir döndürme momenti etki ettirilmiştir. Lagrange yöntemiyle enerji denklemleri çıkarılmıştır. Mathematica programı yardımı ile denklemlerin kontrolü yapılmış ve Matlab programının Simulink modülü ile çözümlenmiştir. Bu çözümler bazı parametrelerin değiştirilmesiyle on farklı durum için tekrarlanmıştır. Daha sonra ortaya çıkan grafiklerdeki değişkenlerin yorumlanmasına geçilmiş ve duruş hassasiyetine etkileri gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kule kren, krenlerde duruş hassasiyeti, açık çevrim, non-lineer sistem

JÜRİ:

1. Yrd. Doç. Dr. Muharrem E. Boğoçlu
2. Prof. Mustafa Alışverişçi
3. Prof. Dr. Ahmet D. Alkan

Kabul tarihi: 17.03.2009  
Sayfa Sayısı: 100

# IMPLEMENTATION OF CRANE DESIGNS FOR MINIMIZING POSITIONING ACCURACY

Kıvanç KAYA  
Mechanical Engineering, M.S. Thesis

The fast development of building sector in recent times, also brings the development of building cranes with itself. Nowadays, expectations from cranes are not only lifting and transporting, but also doing these acts in fastest time and with the most accurate way. Thus, positioning accuracy is an important criteria in crane design.

In this study, lifting and transport machines, their classifications according to some criterias, cranes, cranes' classifications, crane construction and dimentioning principals are explained briefly and a tower crane with 4 degrees of freedom is modelled.

The steel rope which is used in the model, is assumed to act as a spring while crane's body and the boom is assumed to be rigid. A torque is applied to the system as well. Energy equations are obtained by using Lagrange method. Equations are checked with the help of Mathematica program and evaluated with the Simulink module of Matlab program. These evaluations are repeated for 10 different states which are obtained by changing specific parameters. Then, the obtained graphics of the variables are commented and their effects on positioning accuracy are observed.

**Keywords:** Tower crane, positioning accuracy in cranes, open loop, non-linear system

JÜRİ:

1. Yrd. Doç. Dr. Muharrem E. Boğoçlu
2. Prof. Mustafa Alışverişçi
3. Prof. Dr. Ahmet D. Alkan

Kabul tarihi: 17.03.2009

Sayfa Sayısı: 100

## 1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar yüklerini bir yerden diğerine taşımak zorunda kalmış ve tarihin ilerlemesine paralel olarak bu iş için geliştirdikleri yöntemler ve teknolojiler de gelişmiştir. Bu gelişmelerdeki en belirgin ve hızlı gelişen süreç sanayi devrimi ile başlamış günümüze kadar gelmiş, günümüzde de tüm hızıyla devam etmektedir. Yakın geçmişimizde ve günümüzde endüstriyel ve mimari yapıların hızla gelişmesinin en önemli etkenlerinden birisi de kaldırma ve iletme makineleri teknolojilerinin ve sanayisinin hızlı bir şekilde gelişmesi olmuştur. Metropolit şehirlerde giderek artan nüfus ve arsa darlığından kaynaklanan yerleşim sıkıntısı az katlı alçak binalar yerine çok katlı gökdelen inşalarının sıklaşmasını beraberinde getirmiştir. Kaldırma ve iletme makineleri bu gelişmelerle, hem mimari yapıların gelişmesini sağlamış, hem de yapı sektörünün ihtiyaçları doğrultusunda kendileri gelişmişlerdir. Günümüz şartlarında kaldırma ve iletme makinelerinden beklenen tek şey bir yükü bir noktadan alıp bir diğerine götürmekle sınırlı değildir. Bu yapıların kurulmasında önemli olan kriterler istenilen kalitede işin en kısa zamanda, en düşük maliyetle en güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmeleridir.

Özellikle yüksek yapıların inşasında, yapılara ek yük getirmeden, kullanılacak olan malzemelerin yüksek katlara belirlenen süre dahilinde iş güvenliği sağlanmış bir şekilde ulaştırılması istenmektedir. Kaldırma ve taşıma makinelerinden kule krenleri bu koşulları sağlayabilmek için her yapıya özel olarak tasarlanıp üretilirler.

Kule krenleri, yatay ve dikey pozisyonda iletim yapabilen, altlarındaki araba sayesinde istenilen yere rahatlıkla taşınabilen, üzerilerindeki vinç tertibatıyla kaldırdıkları yükleri yine üzerlerinde bulunan diğer hareket elemanları yardımıyla döndürüp öteleyebilen ve yükün hassas bir şekilde hareketine olanak veren, bu sebeplerden dolayı çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan makinelerdir. Montaj sırasında küçük bir çalışma alanı kaplamaları diğer krenlere göre kule krenlerini avantajlı kılar. Büyük yapı yükseklikleri, uzun kol açıklıkları ve aynı zamanda ağırlık tasarrufu nedeniyle kule krenleri yapısı kafes kiriş taşıyıcı sistemli yapılmaktadır. Yeterli durma emniyetinin sağlanabilmesi ve krenin düzgün çalışabilmesi için alt arabaya ya da kulenin alt kısmına bir karşı ağırlık öngörülür.

Bu çalışmada, bir kule tipi kreninin, kule ve yük kolu(bum) kısmı rijit, halat kısmı esnek kabul edilen fiziksel modeli ele alınmıştır. Mathematica ve Matlab-Simulink programları yardımıyla modelin dinamik davranış denklemleri incelenmiş, modelin ucunda asılı olan yükün çeşitli parametreler altındaki duruş hassasiyetleri gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlar bu konu üzerine ileride yapılacak çalışmalara zemin hazırlamak üzere irdelenmiştir.

## 2. GENEL TANIMLAR

Yüklerin kaldırma ve taşıma araç veya tesisleriyle yakın mesafelere taşınmasına yakın mesafe transport işleri denir.

İnşaat şantiyeleri, makine sanayi, depolar, limanlar, bürolar v.b. yerlerde yapılan endüstriyel taşımada malların sadece kaldırılmadığı, yatay olarak da taşındığı görülmektedir. Bu nedenle yakın mesafe transport işlerinde kullanılan araç ve tesislere “Kaldırma ve taşıma makineleri” veya “Transport makineleri” demek doğru olur.

Kaldırma ve taşıma makinelerini birbirinden ayıran en önemli özellik “Kesikli çalışma” veya “Sürekli çalışma” durumlarıdır. Kesikli çalışmada periyodik olarak yapılan hareketler söz konusudur. Makine malı istenilen yere götürmek için bir periyotta, “durma”, “hızlanma”, “düzgün hareket” ve yavaşlama evrelerini geçirir. Yeniden bir taşıma için tekrar geri döner ve her mal iletiminde bu hareketler tekrarlanır. Oysa sürekli (kesintisiz) çalışan transport makinelerinde, çalışma ve mal iletimi hep aynı yönde olmaktadır. Kesikli çalışan transport makinelerine “Kaldırma makineleri”, sürekli çalışan transport makinelerine ise “Taşıma makineleri” denir.

Bazı kaldırma makinelerinin tanımları, tanımları aşağıda yer almaktadır.

### 2.1 Basit Kaldırma Makineleri

Yükleri yalnız kaldıran “kriko”, “palanga” ve “vinç (çıkırık)” gibi konstrüksiyonu basit, kaldırma makineleridir.

### 2.2 Palangalar

Yüksek bir yere asılarak yerden kumanda ile yükleri yukarıya doğru kaldırır. Yani yüklerin hareketi düşey eksen boyunca gerçekleşmektedir.

### 2.3 Vinçler

İngilizce “winch” sözcüğünün karşıtı olarak dilimize girmiştir. Bu kaldırma makineleri de palangalarda olduğu gibi, yüklerin kaldırılmasında veya çekilmesinde kullanılırlar. Yüklerin hareketi tek eksen boyunca olmaktadır. Palangalara göre kaldırma kapasiteleri ve yükseklikleri daha fazladır.

## **2.4 Krenler**

Dilimize almanca “Kran”, İngilizce “Crane” sözcüklerinden geçmiştir. Bu tür kaldırma makineleri, yüklerin kaldırılması veya indirilmesinden başka bunların yatay hareketlerine de olanak sağlarlar. Yüklerin hareketi üç eksen doğrultusunda yani uzaysal olarak sağlanabilmektedir. Bu nedenle buldukları atölye, fabrika, ambar, inşaat v.b. yerlerde çok faydalı ve etkili olan kaldırma makineleridir(İmrak vd., 2007)

### **3. KALDIRMA VE TAŞIMA MAKİNELERİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Kaldırma ve taşıma makineleri her türlü endüstri dalında ve ticari işletmelerde uygulandığından çeşitleri çok fazladır. Bu çeşitliliği doğuran faktörler(Demirsoy vd., 2005; Aslan, 2007; İmrak vd., 2007) ;

- Taşınacak kütlelerin büyüklüğü
- Taşıma mesafesinin büyüklüğü
- Taşınacak malların türüdür.

Çalışma prensiplerine göre transport makineleri öncelikle iki ana gruba ayrılır.

- Kesikli çalışan transport makineleri
- Sürekli çalışan transport makineleri

Alt gruplardan bazıları aşağıda verilen Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Transport makinelerinin gruplandırılması

TRANSPORT MAKİNELERİ														
<u>Kesikli Çalışanlar</u> Kaldırma Makineleri							<u>Sürekli Çalışanlar</u> Taşıma Makineleri							
KALDIRMA MAKİNELERİ														
Basit Kaldırma Makineleri			<b>Krenler</b>				Asansörler				Zemin Araçları			
KRENLER														
Köprülü Krenler (gezer köprüler)		Taklı (ayaklı) Krenler		<b>Döner Krenler</b>			Yükleme Köprüleri		Konsol Krenler		Özel Krenler			Kablolu Krenler
Elle Tahrikli	Elektrikle Tahrikli	Tam Taklı	Yarım Taklı	Sabit Döner Krenler	Yürür ve Döner Krenler	Yüzer (dubalı) Krenler	Konsollu	Döner Krenli	Sabit Oklu	Döner Oklu	Lokomotif Krenleri	Dökümhane Krenleri	Yeraltı Ocak Krenleri	
DÖNER KRENLER														
Sabit Döner Krenler							Yürür ve Döner Krenler					Yüzer (dubalı) Krenler		
Sütunlu Döner Krenler				Döner Tabanlı Krenler		Raylı D. K. (1 raylı, 2 raylı)		Yapı Krenleri	Mobil Krenler	Liman Krenleri	Derik Krenler	Keççeli	Ağır Yük Yüzer Krenler	
Duvar	Dökümhane	Derik Kreni	Sabit Sütunlu	Sabit Kuleli	Vidalı	Çekme Oluklu								

### 3.1 FEM ve DIN Normları ile Transport Sistemlerinin Sınıflandırılması

Kaldırma makineleri ve parçalarının konstrüksiyonunda, sistemin kullanım süresince istenen performansta görevini yerine getirmesi, dikkate alınması gereken en önemli özelliktir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak tasarımı yapılacak olan kaldırma makinesinin ve parçalarının FEM (Federation Europeenne de la Manutention) standardına göre belirlenen çalışma grubu ve süresi belirlenmelidir. FEM standardına göre kaldırma makinelerinin sınıflandırması 3 gruba göre yapılmıştır(İmrak vd., 2007).

Bunlar ;

- Kaldırma makinesi bütün olarak,
- Özel ekipman ve mekanizmalar bütün olarak,
- Yapısal ve mekanik parçalar.

Bu sınıflandırma yapılırken 2 kriter esas alınmıştır. Bunlar;

- Hesaba katılan parçaların toplam kullanım süresi,
- Kanca yükü, yükleme veya herhangi bir parçadaki gerilim dağılımı.

### 3.2 Kaldırma Makinelerinin Sınıflandırılması

#### 3.2.1 Sistem Sınıflandırması

Kaldırma makineleri bütün olarak A1, A2,.....A8'e kadar olan sembollerle 8 grup halinde, 10 adet kullanım süresine göre ve 4 adette yük dağılımına göre sınıflandırılırlar.

#### 3.2.2 Kullanım Sınıflandırması

Kullanım sınıflandırmasının anlamı, kaldırma makinesinin çalışma süresi boyunca yapacağı kaldırma iş sayıdır. Kaldırma işi bütün olarak bir dizi operasyonlar içerisinde gerçekleşir. Bunlar kaldırmanın başlaması, hareket yönü ve işlem sonudur.

Toplam kullanım süresi ise makinenin servis dışına alınıncaya kadar yapmış olduğu çalışma süresidir. Bu süre, U0, U1,.....U9'a kadar olan 10 sembole göre tasarlanmıştır(Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Toplam kullanım süresine göre sınıflandırma(İmrak vd., 2007)

Sembol	Toplam Kullanım ( $n_{max}$ max. kaldırma sayısı)		
U0		$n_{max}$	$\leq 16000$
U1	16000	$< n_{max}$	$\leq 32000$
U2	32000	$< n_{max}$	$\leq 63000$
U3	63000	$< n_{max}$	$\leq 125000$
U4	125000	$< n_{max}$	$\leq 250000$
U5	250000	$< n_{max}$	$\leq 500000$
U6	500000	$< n_{max}$	$\leq 1000000$
U7	1000000	$< n_{max}$	$\leq 2000000$
U8	2000000	$< n_{max}$	$\leq 4000000$
U9	4000000	$< n_{max}$	$\leq$

### 3.2.3 Yük Dağılımı

Kaldırma makinesinin toplam kullanım süresince kaldırdığı emniyetli çalışma yükü oranı ve toplam kullanım süresi verilerinin oluşturduğu fonksiyondan ortaya çıkan bir  $k_p$  dağılım faktörünün hesaplanmasıyla yük dağılımı kavramı ortaya çıkar.

$m_{1i}$  = Kaldırılan  $i$  sayıdaki yükleri,  $m_{1max}$  = emniyetli çalışma yükünü,  $n_i$  = gerçek kaldırma sayısını,  $n_{max}$  = toplam kaldırma süresince toplanan kaldırma sayısını ifade etmektedir. Bu durumda;

$$k_p = \sum (m_{1i} / m_{1max})^3 \cdot n_i / n_{max} \quad (3.1)$$

olarak bulunur.

Kaldırma makinesi yük dağılımına göre Çizelge 3.3'te Q1, Q2, Q3, Q4 ile tanımlanan dört dağılım sınıfından birine yerleştirilir.

Çizelge 3.3 Yük dağılım faktörü(İmrak vd., 2007)

Simge	$k_p$ yük dağılım faktörü				
Q1			$k_p$	$\leq$	0.125
Q2	0.125	<	$k_p$	$\leq$	0.250
Q3	0.250	<	$k_p$	$\leq$	0.500
Q4	0.500	<	$k_p$	$\leq$	1.000

### 3.2.4 Kaldırma Makinelerinin Grup Sınıflandırması

Kaldırma Makineleri Çizelge 3.4'te gösterildiği gibi A1 ile A8 arasında 8 grup halinde sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.4 Kaldırma makinelerinin grup sınıflandırması(İmrak vd., 2007)

Yük Dağılım Sınıfı	Kullanım Sınıflandırması									
	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Aynı tipteki kaldırma makineleri değişik yollarla kullanılabilirler, ancak ayırt etmek için bir gruplandırma yapmak gerekir. Bu gruplandırma yapılırken kaldırma makinesinin tipi, yükleme grubu ve kaldırma kriterleri dikkate alınmalıdır. Kaldırma makinelerinin sınıflandırmasında kullanılan ve kren tipine göre yapılan sınıflandırma Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5 Kaldırma makinelerinin sınıflandırılması için rehber çizelge(İmrak vd., 2007)

Referans	Kren Tipi	Kaldırma Şekli	Vinç grubu
1	El ile tahrikli vinçler		A1 - A2
2	Tahrikli krenler		A1 - A2
3	Güç istasyonları ve atelyeler için tahrikli ve demontaj krenleri		A2 - A4
4	Depolama ve hurda taşıyıcıları	Kancalı	A5
5	Depolama ve hurda taşıyıcıları	Tutucu veya magnet	A6 - A8
6	Atelye krenleri		A3 - A5
7	Gezer köprülü krenler	Tutucu veya magnet	A6 - A8
8	Kepçeli krenler		A6 - A8
9	Yer altı fırın köprüsü		A8
10	Kazıyıcı kren, fitin besleme kreni		A8
11	Demir ocağı krenleri		A6 - A8
12.a	Yük boşaltma ve konteynırlar için köprü krenleri	Kancalı veya çift kancalı	A5 - A6
12.b	Diğer köprü vinçleri	Kancalı	A4
13	Yük boşaltma için köprü krenleri	Tutucu veya magnet	A6 - A8
14	Havuz krenleri, tersane krenleri(yük boşaltmak için)	Kancalı	A3 - A5
15	Dok vinçleri, yüzer veya sahil krenleri	Kancalı	A5 - A6
16	Dok vinçleri, yüzer veya sahil krenleri	Tutucu veya magnet	A6 - A8
17	Ağır yükler için yüzer veya sahil krenleri		A2 - A3
18	Güverte krenleri	Kancalı	A3 - A4
19	Güverte krenleri	Tutucu veya magnet	A4 - A5
20	İnşaat için kule krenler		A3 - A4
21	Vinçler		A2 - A3
22	Tren rayında çalışan raylı krenler		A4

## 4. KRENLER

### 4.1 Giriş

DIN 15001'e göre krenler bir taşıma elemanına asılı olan (genellikle halata) yükü kaldıran ve çeşitli yönlerde hareket ettiren kaldırma ve taşıma makineleridir.

### 4.2 Farklı Kren Uygulamaları

Aşağıda, Çizelge 3.1'de ayrıntılı şekilde sınıflandırılan kren çeşitlerinden bazılarında söz edilmiştir.

#### 4.2.1 Köprülü Krenler

Zeminden yükseğe yerleştirilmiş iki kren yolu arasında bir köprü konstrüksiyonundan meydana gelmektedir. Yarı ağır endüstriyle ilgili bütün fabrika, mağaza ve makine park salonlarında kullanılırlar. Basit bir operatör kabininden kumanda edilebileceği gibi, gezici operatör kabininden veya uzaktan da kontrol edilebilirler. Köprülü kren tarafından gerçekleştirilmesi gereken hareketler şunlardır;

- Kaldırma ve indirme hareketi
- Köprünün öteleme hareketi
- Arabanın köprü üzerinde yaptığı öteleme hareketi

Bu durumlara göre, bir köprülü krende aşağıdaki mekanizmaların olması öngörülür;

- Tamburlu kaldırma mekanizması
- Araba öteleme mekanizması
- Köprü yürütme mekanizması

Bir köprülü kren;

- Taşınacak yükün maksimum değeri, yani kaldırma kabiliyeti
- Köprü açıklığı

ile karakterize edilir. Bunların yanı sıra;

- Kaldırma hızı
- Köprü öteleme
- Araba öteleme hızı
- Kaldırma yüksekliği

- Köprü gezinme mesafesi

bir köprülü krende dikkate alınması gereken özelliklerdir. Bir köprülü krene ait esas hesapların yapılabilmesi için bütün bu karakteristiklerin bilinmesi gerekir. Köprü açıklığı atölye boyutlarına göre tespit edilir. Kaldırılması istenilen yük verilir. Bu şartlara göre köprü tekerlekleri arasındaki açıklığın belirlenmesi mümkündür.

#### 4.2.2 Portal Krenler

“Liman Krenleri” veya “Sehpalı Krenler” olarak da anılırlar. Limanlarda, tersanelerde ve depolarda kullanılırlar. Yapılarında kafes kiriş sistemi veya levhalı kiriş sistemi kullanılabilir. Genellikle raylar üzerinde hareket ederler, küçük ve orta ağırlıkta yükler için lastik yürüme elemanları kullanması mümkündür. Taşıma kuvvetleri 800 tona, açıklıkları ise 120 m’ye kadar çıkabilir.

Tahrik kaynağı olarak elektrik motorları ya da nadiren içten yanmalı kuvvet makineleri kullanılır. Genelde açık havada çalıştıklarından fırtınaya karşı emniyetlerinin sağlanması gerekir. Bu yüzden rüzgar basıncı belli bir değeri aşınca kreni durduran ve kısıpçalarıyla rayı kavramasını sağlayan bir mekanizmaya sahiptirler.

#### 4.2.3 Oklu ve Döner Krenler

Liman ve şantiyelerde önemli görev üstlenen ve çok kullanılan kaldırma makineleri arasındadır. Ok adı verilen kiriş, uçlarından birisi aracılığıyla düşey bir eksen etrafında dönme hareketi yapar. Kanca bloğu, okun serbest olan öteki ucu tarafından taşınır.

Oklu krenler sınıflandırılırken kancanın hizmet edebildiği, erişebildiği alan dikkate alınır. Bu durumda oklu krenler 3 sınıfa ayrılır:

**Sabit aplik krenler:** Atölye içinde bir duvara veya bir kolona tespit edilir. Okun serbest ucu, yarıçapı ok açıklığına eşit olan bir yarım daire çizebilir.

**Müstakil sabit krenler:** Bir duvar veya bir kolona tespit edilmeden kullanılırlar. Okun serbest ucu tam bir daire yayı çizebilir.

**Hareketli veya mobil krenler:** Raylar veya yollar üzerinde ya da herhangi bir arazide hareket edebilen kaldırma araçlarıdır.

Karakteristikleri;

- Kaldırma kapasitesi veya yeteneği
- Ok açıklığı

- Kaldırma yüksekliği

Krenin sahip olduğu yetenekler;

- Kaldırma hareketi
- Yönelme denilen dönme hareketi
- Mobil krenlerde öteleme veya yürütme hareketi
- Ok açıklığının değiştirilmesi hareketi

#### **4.2.4 Kablo Krenler**

Üzerinde arabanın hareket ettiği bir veya daha fazla tel halatlı (taşıma halatlı) krenleridir. Şantiyelerde ve büyük depolarda kullanılırlar. Açıklık mesafesi 1000 m'ye kadar çıkabilir. Halatlar iki devrilebilir (sabit, hareketli veya dönebilir) kule arasına gerilmiştir.

Taşıma halatları olarak yarı veya tam kapalı spiral halatlar kullanılır. Arabanın hareketi çekme halatı üzerinde olurken, yük de kaldırma halatına asılır. Araba, içinde tekerleklerin ve halat makaralarının (kaldırma halatı makaraları) yataklandığı bir kafes giriş sisteminden ibarettir. Tekerlek adedi, tekerlek yükünün halat çekme kuvvetine oranının 1/50 değerini aşmayacak şekilde seçilmelidir. (İmrak vd., 2007)

#### **4.2.5 Kule Krenleri**

##### **4.2.5.1 Kule Krenlerinin Yapısal Özellikleri**

Mimari ve endüstriyel yapıların günümüzde devasa boyutlara ulaşması ve bunların mümkün olan en kısa zamanda bitirilmesi gerekliliği kule krenlerinin ortaya çıkmasına, süratle gelişmesine ve bu tür işlerde sıklıkla kullanılmasına neden olmuştur. Kule krenleri çok çeşitli özelliklerine bağlı olarak çok çeşitli şekillerde üretilirler ve sınıflandırılırlar.

Sistem hareketliliğine göre;

- Gezer kule krenleri (Şekil 4.1a)
- Çalışan yapının çatısına bağlı kule krenleri (Şekil 4.1b)
- Düşey tırmanan krenleri (Şekil 4.1c)

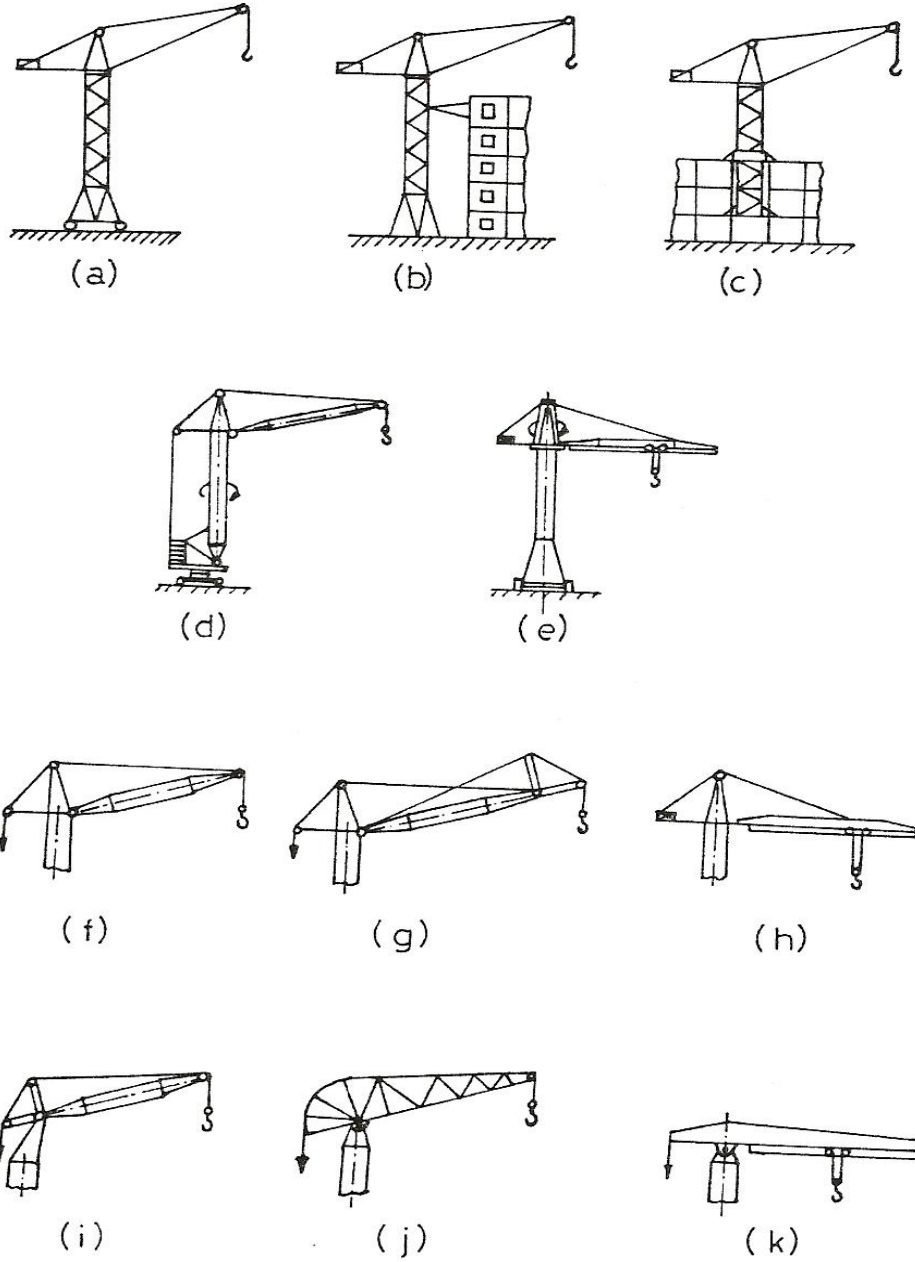
Kule tipine göre;

- Döner kuleli krenler (Şekil 4.1d)
- Sabit kule ile dönen üst bölüme sahip krenler (Şekil 4.1e)

Yük kolunun hareket tarzına göre;

- Yatay ve düşey düzlemde hareketli yük kolu (Şekil 4.1 f,g,i,j,k)

- Sadece yatay düzlemde hareketli yük kolu (Şekil 4.1h)



Şekil 4.1 Kule kren çeşitleri(Boğoçlu, )

Kule krenlerinin raylar üzerinde hareket eden çeşitlerinde, tekerlekler motor-redüktör grubu ile tahrik edilir. Durma emniyeti hem motora tatbik edilen bir frenle, hem de ilave durdurma ekipmanları ile sağlanır.

Dört veya daha fazla tekerlek bulunabilir. Kulenin alt kısmında bulunan alt platformun üzerinde kule, karşı kütle ve tahrik grupları bulunur. Kule genellikle kare kesitli kafes kiriş sistem olarak imal edilir. Kumanda tertibatı genelde kulenin üst kısmında bir kabin içerisinde yer alır ve kren operatörünün çevreyi tam olarak görebileceği şekilde tasarlanır. Yük kolu (bum), üçgen ya da kare kesitli kafes kiriş sistemi olarak üretilir. Arka tarafından kuleye mafsallı olarak bağlanmıştır. Sadece yatay düzlemde dönen çeşitlerinde yük kolunun uç kısmı kulenin tepesine bağlanır. Üzerinde bulunan raylarda bir vinç arabası çalışır. Yük bu vinç arabasının üzerinde mevcut olan palanga bloğu ile kaldırılır. Yatay ve düşey düzlemde hareketli yük koluna sahip olan vinçlerde ise yük kolunun ucu bir palanga sistemi ve saptırma makaraları ile alt da bulunan platformdan tahrik edilir. Bu tiplerde yük kolunun ucundaki bir palanga tertibatı ile yük kaldırılır. Buradaki yük kaldırma palangası da alt platformda yer alan motor redüktör ve tambur grubu ile tahrik edilir.

Genellikle, sadece yatay düzlemde dönen yük koluna sahip vinçlerde, kulenin üst kısmında yük kolunun arkasında karşı ağırlık ve karşı ağırlığı taşıyan bir karşı ağırlık kolu vardır. (Boğoçlu,)

#### 4.2.5.2 Kule Krenlerinin Genel Kullanım Değerleri

Günümüzde kullanılan ortalama değerler aşağıda verilmiş olup, özel durumlarda bu değerler aşılabilmektedir.

Mimari yapılar için kapasiteler;

Yük kaldırma kapasiteleri	:	30 ~ 80	kN
En fazla yük kolu açıklığı	:	25	m
Yük kaldırma yüksekliği	:	30 ~ 50	m
Yük kaldırma hızları	:	0.3 ~ 1.0	m/s
Vinç seyir hızları	:	0.33~ 0.5	m/s
Döner parçanın açısal hızı	:	0.5 ~ 0.7	d/d

Endüstriyel kullanım için kapasiteler;

Yük kaldırma kapasiteleri	:	200 (kN) ve üzeri
En fazla yük kolu açıklığı	:	25 ~ 45 m
Yük kaldırma yüksekliği	:	50 ~ 80 m
Yük kaldırma hızları	:	0.16~ 1.0 m/s
Vinç seyir hızları	:	0.16~ 0.2 m/s
Döner parçanın açısal hızı	:	0.2 ~ 0.4 d/d

Kule vinçleri çalışılan konstrüksiyonun çatısına bağlanmaları halinde kapasiteleri;

Yük kaldırma kapasiteleri	:	63~80~100~125 kN
En fazla yük kolu açıklığı	:	45 m ye kadar
Yük kaldırma yüksekliği	:	150 m ye kadar
Yük kaldırma hızları	:	0.33~ 1.5 m/s
Yük kolu düşey salınım hızı	:	0.5 m/s
Döner parçanın açısal hızı	:	0.5~0.7 d/d

## 5. KRENLERDE KONTRÜKSİYON VE ÖLÇÜLENDİRME ESASLARI

### 5.1 Konstrüksiyon için Genel Esaslar

Kaldırma makineleri yapımı, konstrüksiyonla uğraşan mühendisler için çok yönlü ve ilginç bir çalışma alanıdır. Genel makine yapımı, çelik, inşaat ve elektroteknik gibi farklı disiplinlerin bir arada uygulama yeri bulmaları ayrıca proje ve yapı şekillerinin çok çeşitli olması bu alanın önde gelen özelliklerindedir.

Krenlerin projelendirilmesi ve şekillendirilmesinin sevk idaresi kren konstrüktörünün görevidir. Bu yüzden bir kren konstrüktörü, ihtiyaçları dikkate alabilecek ve olanaklardan yararlanmasına yetecek kadar diğer bilim dallarından da bilgiye sahip olmalıdır.

Küçük kaldırma makineleri ve sık rastlanmayan bazı normal konstrüksiyon bir tarafa bırakılırsa, kaldırma makineleri yapımında günümüzde münferit üretim hakimdir. Alışılmış olan yürür ve döner krenler bile, kaldırma yükü, açıklık, çalışma hızı, kaldırma yüksekliği ve işletme şekline göre çok değişik tiplerde karşımıza çıkabilir. Boşluğu sınırlı olan bir hol ya da bir rıhtımdaki gibi yerel şartlar çoğu zaman normal yapı şekillerinden ayrılan konstrüksiyonlar gerektirir. Her zaman tek ve her seferinde amaca en iyi uyacak şekilde yapılan büyük tesis olarak sayılabilecek yükleme köprüleri, yüzer (dubalı) krenler, tersane krenleri, dok krenleri, özel demiryolu krenleri, doldurma, kıskaçlı, blok sıyırma ve dökümhane krenleri gibi bir çok farklı kren çeşidi sıralanabilir. Bu yüzden çoğu kren konstrüksiyonu her defasında yeniden projelendirilir ve çizilir.

Kren yapımında bir konstrüksiyon siparişe yakından ilgilidir, bir dereceye kadar imalatın bir parçasını oluşturur. Teslim süreleri de sınırlı tutulmaktadır. Benzer örneklerden yararlanılmadığı ve yeni projelerin çözümünde yeni konstrüktif çabalara girilmek zorunluluğunda kalındığı için projelerin zorluğu artmaktadır. Bu yüzden kren konstrüktörünün çok defa ön denemeye tabi tutulmadan işletmeye alınan ve pratikte başarı ile çalışması beklenen yeni konstrüksiyonları kısa sürede ortaya koyması gerekir.

Konstrüksiyonlarda problemin doğru bir şekilde ortaya konması uygun bir çözümün ilk şartıdır. İsteklere karşı düşen pek çok sayıdaki görüşler her zaman dikkate alınmalıdır. Bunların tercih sırasını belirlemek ve akabinde gelen konstrüktif çalışmaların esaslarını koyabilmek çözümün önemli bir kısmı demektir.

Bir krenin çalışmasını doğrudan etkileyen yapısal istekler ön planda tutulmalıdır. Çünkü sonunda ulaşılabilecek pratik başarı bir konstrüksiyon için kesin yargı demektir. İşletme emniyeti, yeterli ömür, kolay bakım ve yağlama, aşınan parçaları kolaylık değiştirebilme vb. bir krende

bulunması gereken isteklerdir. Bunlardan sonra kren işletmesinde ekonomik istekler ortaya çıkar. Bunların başlıcaları; iş kapasitesinin yüksekliği, az enerji ve yağ sarfıyatı, düşük bakım ve onarım giderleri, düşük personel ve satın alma masrafları. Fakat bütün isteklerin aynı anda karşılanması mümkün değildir. Bir kren tesisinin kapasitesi arttığı oranda o tesis daha çok pahalılaşmaktadır.

Kaldırma makineleri üretiminde ekonomik şekilde planlamada en etkin çare standartlaştırmaktır. Bu, farklı krenlere aynı parçaları (tekerlekler, halat makaraları, halatlar, kavramalar, yataklar, fren kasnakları, dişli kutuları vb.) kullanma imkanı verir. Böylece parça sayısı artması sonucunda bir elemanın imalatı ucuzlamış olur.

Standartlaştırma bazen konstrüktörün proje içerisindeki hareket kabiliyetini sınırladığı için kullanışsız olarak nitelendirilse bile konstrüksiyonu kolaylaştırdığı montaj kolaylığı sağladığı ve ucuzluk elde edildiği unutulmamalıdır. Diğer taraftan, çok yönlü kullanabilmeyi sağlayabilmek için kren yapımı standardizasyonu yeteri kadar esnek olmalıdır.

Son olarak, görev ve etken görüşlerin önem sırası açıklandıktan ve amaç tespit edildikten sonra taslaklar yardımıyla en iyi çözüm bulunur. Unutulmamalıdır ki mümkün gözüken pek çok çözümden sadece birkaç tanesi en iyidir. Çözümlerin karşılaştırılmalarından ve ortaya konulan isteklerle uyumlarından dolayı ortaya bir biçim çıkar. Ancak bunun üzerine proje adım hesapla kontrol edilir. Bu sırada başlangıçta tespit edilen düzenin kısmen ve bazen de tamamen değiştirilmesi zorunlu olabilir. Fakat burada başlangıçta verilen görevi ve ana görüşleri göz önünden uzak tutmamaya dikkat etmek gerekir. Konstrüktör benzer yapılardan, standardizasyonun getirdiği avantajlardan, kendi deneyim ve bilgisinden mutlaka faydalanacaktır ama her şeyden önemlisi konstrüktörün kritik ve ön yargısız temel görüşe sahip olmasıdır(Boğoçlu vd.; Demirsoy vd., 2005; İmrak vd., 2007)..

## 5.2 Ölçülendirme Esasları

Krenlerin çelik konstrüksiyonları için geçerli ölçülendirme esasları DIN 15018'de verilmiştir ama kren konstrüktörü mekanik kısımlar için gerilmelerin seçiminde hareket serbestliğine sahiptir.

Kaldırma makineleri çokça yer değiştiren makineler oldukları için mümkün olduğunca hafif yapılmalıdır. Ancak temel yapısal görüşlerin önem sırasına göre hafif yapı isteği ilk planda gelmez. Buna verilen önem bazı kren parçalarında ve değişik kren tiplerinde çok farklıdır. Örneğin yürüyen bir döner kren, yükün devirme momentine karşı stabilite emniyeti sağlayabilmek için belli bir ağırlığa sahip olmak zorundadır. Devirme momenti oluşturan

elemanların (ok ve okun ucundaki makara takımı vb.) hafif yapılmasına bağlı olarak krenin ağırlığı azaltılabilir. Ancak, krenin stabilite emniyetini sağlayan parçalardan hafif yapı esaslarını uygulayarak mümkün olan büyük ağırlıkları çıkartıp, sonra bunları gerekli olan stabilite emniyetini dengelemek amacıyla tekrar ilave etmek gereksizdir. Bu yüzden hafif yapı ilk olarak diğer konstrüksiyon ve bunun ağırlıkları üzerinde bir etkisinin bulunduğu yerlerde uygulanmalıdır. Örneğin bir döner krenin ok veya özellikle de ucunda tasarruf edilen ağırlık, karşıt ağırlıktan yani yükten 3-4 kat tasarruf edilmesini sağlar. Büyük açıklıklı köprülerde kren arabasında yapılacak ağırlık tasarrufları da benzer oranda önem kazanacaktır. Burada kren arabası ağırlığı, köprü konstrüksiyonunun kendi ağırlığını ve daha önemli olan köprü yürütme mekanizması ile kren yollarının ağırlığını da etkiler. Kepçeler ve diğer istif kaplarında ağırlık tasarrufu çok daha önemlidir. Bu çeşit yük tutma düzenlerinin ağırlıklarının azaltılması gerekli olan kaldırma kuvvetinin azalmasını sağlayacaktır. Burada kullanılan yapı şekli ve malzeme (alüminyum vs.) krenin diğer parçalarında ekonomik olmayabilir. Önemli olan, kullanılan malzemelerin, miktarlarının ve maliyetlerinin, toplam ağırlığı uygun şekilde etkileyerek dengelemesidir.

Krenlerin diğer parçalarında da fazla ağırlıktan kaçınmak gerekir. Fakat ekonomik sınır daha dardır. Örneğin döküm bir dişli kutusu yerine bundan daha pahalı olan kaynaklı bir yapı kullanmak uygun olmaz. Uzun millerde ise kaliteli malzeme söz konusu olmaz. Bunlarda sadece deformasyon önemlidir. Genellikler kren yapımında orta mukavemetli malzemeler kullanılır.

Sınırlamalara rağmen kren yapımıcısı konstrüksiyonunu ağırlıktan tasarruf sağlayacak şekilde biçimlendirmede çok sayıda imkana sahiptir. Önemli olan şekil değiştirme ve sürekli mukavemet üzerindeki bugünkü bilgilere dayanarak münferit elemanların doğru olarak şekillendirilmesidir. Uygun olmayan bir şekillendirmenin sonucunda ortaya çıkan büyük boyutlar ve gereksiz ağırlıklar yerine, kren yapımıcısı aynı emniyet ve sağlamlıktaki yapıyı daha uygun şekil verme ve boyutları küçük tutarak da sağlayabilir.

Boyutların belirlenmesinde emniyetli gerilmelerin seçilebilmesi için işletme şartları en ince ayrıntılarına kadar incelenmeli ve kontrol edilmelidir. İşletme şartları özellikle kren yapımında büyük farklılıklar gösterir. Bu sadece kren tipinde değil, bir krenin farklı tahrik mekanizmalarında da ortaya çıkar. Buna uygun olarak gerilmeler için de çok farklı değerler kullanılır. Tam hesaplanan yüklemenin ne kadar oluşacağı, hangi ölçüde aşırı yüklemelerin beklendiği, artı veya eksi ivmelenme, darbeler sonucunda hangi ek kuvvetlerin oluşacağı, kullanma sıklığı vb. gibi unsurlar sürekli olarak kontrol edilmelidir. Her bir yapı elemanının

nem derecesi ve bir kopma veya kırılmanın ortaya çıkaracağı sonuçlar dikkatle tahmin edilmeli ve ölçülendirme de göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak hesaplama sonuçlarının güvenilir olup olmadığına dikkat edilmelidir. Hesap yöntemleri ne kadar yaklaşık ve güvensiz olursa, emniyet gerilmeleri o kadar düşük alınmalıdır.

## 6. KREN HESABINDA SİSTEME ETKİYEN YÜKLER VE KATSAYILAR

Gezer ve portal krenlerin hesabında DIN 15018'e göre esaslar gözetilir. Taşıyıcı sistemlerin hesaplanmasında, bir krenin işletmesi sırasında meydana gelen zorlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu zorlamalar aşağıda belirtilen yüklerin sonucunda ortaya çıkar(Demirsoy vd., 2005; İmrak vd., 2007).

- Duruş halindeki krenin taşıyıcı sisteminin (en uygunsuz yükleme durumundaki) esas yükler
- Düşey hareketten meydana gelen yükler
- Yatay hareketten meydana gelen yükler
- Hava şartlarından “iklim etkisi ile” meydana gelen yükler

### 6.1 Esas (ana) Yükler

Taşıyıcı sistem elemanlarının kendi ağırlığından gelen yükler ve işletme yükü (hareketten doğan) yüklerdir. “Kendi ağırlıklarından” gelen yükler için, (DIN 15018, Çizelge 6.2) de “yürütme hızlarına ve hareket yollarının düzgünlük durumlarına göre” (çubuk kuvvetleri, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ile çarpılan) zati ağırlık katsayıları ( $\varphi$ ) olarak verilmiştir. Sabit yükün bir kısmı üniform yayılı yük olarak kabul edilir, diğer kısmı (makine sepeti, karşı ağırlık vb.) münferit yük olarak etki eder.

### 6.2 Düşey Hareketlerden Gelen Yükler

İşletme yükünün (kaldırılan yük) az veya çok sarsıntılı olmasından ve kaldırma hareketinin ivmeli bir hareket oluşundan ortaya çıkan ilave yüklerdir. (DIN 15018, Tablo 6.3) de “yük kaldırma hızlarına göre” yük kaldırma katsayıları ( $\psi$ ) olarak verilmiştir. İşletme yükünün “büyütülmesi” için kullanılan bu ( $\psi$ ) katsayısı ile çubuk kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri çarpılır.

### 6.3 Yatay Hareketlerden Gelen Yükler

Hareket eden kısımların hareketinden ya da frenlemesinden meydana gelen ivmeli hareketlerin (atalet kuvvetlerinin), çeşitli taşıyıcı sistem elemanları üzerine gelen ilave yan yüklerdir.

#### 6.4 Hava Şartlarından Meydana Gelen Yüklemeler

Rüzgar, kar ve sıcaklık değişimleri nedeniyle meydana gelir. Rüzgarın bütün yönlerden esmesi hallerinde dahi yatay olarak etki yaptığı kabul edilir. Rüzgarın etkisi krenin yapı şekline bağlıdır. Bir taşıyıcı sistem elemanın üzerine düşen rüzgarın etkisi bir kuvvettir. Bunun rüzgar yönündeki bileşeni:

$$p = c \cdot A \cdot q \quad (6.1)$$

$p$  : Rüzgar kuvvetinin bileşkesi (daN)

$c$  : Aerodinamik bir katsayısı, (Bu katsayı taşıyıcı sistem elemanların şekline bağlıdır)

$c$  katsayıları; Kafes kirişlerde  $c=1,6$ ; Dolu gövdeli veya kutu kirişlerde  $c = 1,2 \sim 1,6$ ;

Boru kafes kirişlerde ve daire kesitli elemanlarda  $c=0,7$  civarlarında alınır.

$A$  : Rüzgar yönüne dik düzlemdeki taşıyıcı sistem yüzeylerinin izdüşümü ( $m^2$ )

$q$  : Dinamik basınç ( $daN/m^2$ )  $q=(V_{rüz})^2 / 16$  ( $daN/m^2$ )

$V_{rüz}$  : Rüzgar hızı (m/s)

Kar yükleri, gezer krenlerde, yükleme köprüleri ve döner krenlerin hesaplamalarında hesaba katılmaz

Sıcaklık değişimi, yalnızca özel hallerde dikkate alınır. Örneğin, kiriş sistem elemanlarının serbest olarak uzamalarının mümkün olmadığı yerlerde dikkate alınabilir. Açık havada çalışacak tesislerde sıcaklık değişimlerinin sınırı  $-20^\circ C \sim +45^\circ C$ 'dir.

#### 6.5 Yükleme Durumu Grupları ve Genel Gerilme Değerleri

Krenlerin hesaplanmasında ilk adım yükleme durumuna göre grubun seçilmesidir. Buna göre eğilme gerilmesi hesapları yapılır. Yükleme durumu iki gruba ayrılır. Bunlar **H** ve **H<sub>z</sub>** yükleme durumlarıdır.

##### 6.5.1 H Yükleme Durumu

H yükleme durumunda, bütün esas (ana) kuvvetlerin aynı anda en uygunsuz konumda etkilediği kabul edilir. Bu yüklemde ana kuvvetler;

- Elemanların kendi (zati) ağırlıklarından doğan yükler (statik yük kavramından, şiddetleri ve uygulama noktaları değişmeyen kuvvetler anlaşılır, köprünün kendi ağırlığı gibi),
- Hareketli yük (dinamik yük) kavramından, işletme (bir makinenin çalışması) sırasında şiddetleri ve/veya uygulama noktaları değişebilen kuvvetler anlaşılır. İşletme sırasında

meydana gelen kütle (atalet) kuvvetler (durdurma hareketi sırasında ortaya çıkan fren kuvvetleri hariç),

- Özel hallerde göz önüne alınan sıcaklık değişimlerinden doğan gerilmeler de bu gruba girer.

## **6.5.2 Hz Yükleme Durumu**

Ana kuvvetler ile ilave kuvvetlerin aynı anda en uygunsuz şartlarda etkilediği kabul edilir.

Kısaca ana kuvvetlerle ilave kuvvetlerin toplamına eşittir.

### **6.5.2.1 İlave Kuvvetler**

Hz grubunda yer alan bu kuvvetler; rüzgar yükü, durdurma hareketinden doğan fren kuvveti, yatay yan kuvvetlerdir.

Rüzgar yükü;

Toplamı, kren yüzeylerinin formuna bağlı olarak bu yüzeylerin her birine dikey etki ettiği kabul edilen basınçların toplamına eşittir. Rüzgar yükü, rüzgarın hızına, giriş formuna ve rüzgar etki yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır.

Fren kuvveti;

Yürütme doğrultusunda ray üstü yüzeyi yüksekliğinde etki eden en büyük fren kuvveti sürtünme katsayısı 1/7 alındığında, frenlenen bütün tekerlekleri yükün 1/7'sine eşit alınmalıdır.

Yatay yan kuvvetler;

Köprülerde, iki köprü yolunda her birinden, hareket doğrultusuna dikey olarak etki eden yatay diğer bir kuvvet vardır. Bu yatay kuvvetin şiddeti, yüklü arabanın en uygunsuz durumundan, köprü yolu tarafında oluşan tekerlek yüklerinin 1/10 oranına eşit alınmalıdır. Bu yatay yan kuvvete araba hareketindeki fren kuvvetleri de dahildir.

## **6.6 Genel Emniyet Gerilme Değerleri**

DIN 15018de yükleme durumları (H ve Hz) gruplarına göre genel emniyet gerilme değerleri verilmiştir. St 37 ve St 52-3 malzemeleri gerilme emniyet değerleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 St 37 ve St 52-3 malzemeleri gerilme emniyet değerleri(İmrak vd., 2007)

Malzeme	DIN	Yükleme Durumu	Çekme emniyet gerilmesi $\sigma_{em}N/mm^2$	Basma emniyet gerilmesi $\sigma_{em}N/mm^2$	Kayma emniyet gerilmesi $\tau_{em}N/mm^2$
St 37	DIN 17100	H	160	140	92
St 37	DIN 17100	Hz	180	160	104
St 52-3	DIN 17100	H	240	210	138
St 52-3	DIN 17100	Hz	270	240	156

### 6.7 Taşıyıcı Elemanların Yük Durumuna Göre Eğilme Gerimeleri

H yük durumuna göre eğilme gerilmesi;

$$\sigma_H = (\varphi \cdot M_T + \psi \cdot M_K) / W_z + M_{AT} / W_y \quad (6.2)$$

Hz yük durumuna göre eğilme gerilmesi;

$$\sigma_{Hz} = \sigma_H + (M_R + M_y) / W_y \quad (6.3)$$

$M_R$  : Rüzgar kuvvetlerinden ,  $M_y$  : Yan ilave yüklerden gelen eğilme momentleridir.

### 6.8 Kren Hesabındaki Katsayılar

#### 6.8.1 Zati Ağırlık Katsayısı ( $\varphi$ )

Krenlerin taşıyıcı elemanlarının yürüme yolları üzerinde hareketleri sırasında, seyir hızlarına (m/min) ve hareket yollarının pürüzlülük durumlarında göre, kendi “zati” ağırlıklarından meydana gelen kuvvet ve momentlerin zati ağırlık ( $\varphi$ ) ile çarpılması gerekir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Zati ağırlık katsayısı ( $\varphi$ )(Demirsoy vd., 2005)

Hareket hızı v (m/min)		Zati ağırlık katsayısı
Hareket yolları rayları		
Düzensiz olmayan veya pürüzlü	Düzensiz veya kaynaklı (işlenmiş)	
$\leq 60$	$\leq 90$	1.1
60 – 200	91 – 300	1.2
>200	–	$\geq 1.2$

### 6.8.2 Yük Kaldırma Katsayısı ( $\psi$ )

Bu yükler işletme yükünün (kaldırılan yükün) az veya çok sarsıntılı olmasından ve kaldırma hareketinin ivmeli bir hareket olmasından meydana gelen ek yüklerdir. DIN 15018'den Çizelge 6.3 de “yük kaldırma hızlarına ve kaldırma sınıflarına göre” yük kaldırma katsayıları verilmiştir. İşletme yükünün “büyütülmesi” için kullanılan bu ( $\psi$ ) katsayısı ile çubuk kuvvetleri, kesme kuvvetleri veya eğilme momentleri çarpılır.

Çizelge 6.3 Yük kaldırma katsayısı ( $\psi$ ) (Demirsoy vd., 2005)

Kaldırma Sınıfı	Kaldırma Hızları $V_k$ (m/min)	
	$\leq 90$ m/min	$> 90$ m/min
H1	$1.1 + 0.0022 \cdot V_k$	1.3
H2	$1.2 + 0.0044 \cdot V_k$	1.6
H3	$1.3 + 0.0066 \cdot V_k$	1.9
H4	$1.4 + 0.0066 \cdot V_k$	2.2

Çizelge 6.3’de bahsedilen kaldırma sınıfları, relatif işletme süresi, yükleme durumu ve tekrarına göre Çizelge 6.4’de dört grup halinde verilmiştir.

Çizelge 6.4 Krenlerin gruplandırılması ve kaldırma sınıfları(İmrak vd., 2007)

Gruplar	Relatif işletme süresi	Relatif yük	Yük tekrarı
1	Küçük	Küçük	Normal
2	Büyük	Küçük	Normal
	Küçük	Büyük	Normal
	Küçük	Küçük	Kuvvetli
3	Büyük	Küçük	Normal
	Büyük	Büyük	Kuvvetli
	Küçük	Küçük	Kuvvetli
4	Büyük	Büyük	Kuvvetli

Çizelge 6.4’de verilen gruplar numaralarına göre, yaygın olarak kullanılan bazı krenlerin kaldırma sınıfları Çizelge 6.5’te görülmektedir.

Çizelge 6.5 Çeşitli krenler ve kaldırma sınıfları(İmrak vd., 2007)

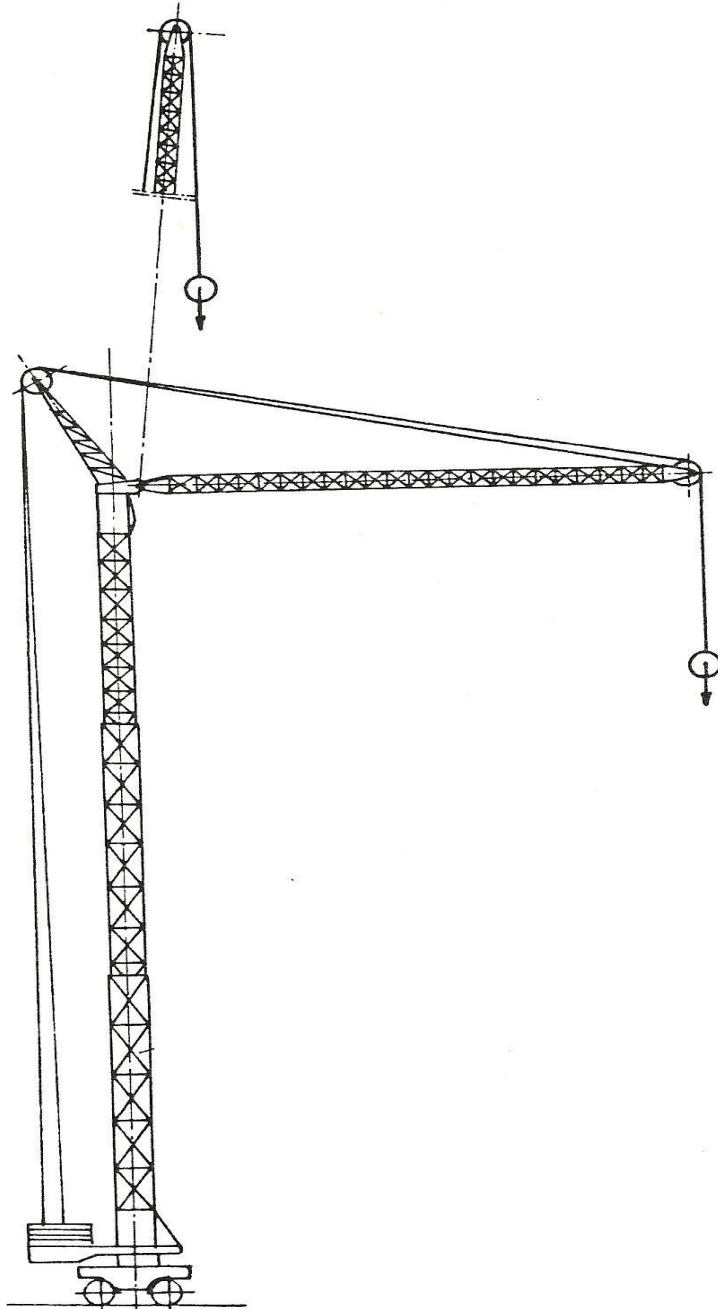
No	KREN ÇEŞİTİ	KALDIRMA SINIFI
1	Küçük motorlu kaldırma makineleri ve el krenleri	H1
2	Elektrik santral krenleri	H1 ve H2
3	Lokomotif kaldırma krenleri	H2
4	Hafif yük kaldıran atölye ve ambar krenleri	H2 ve H3
5	Ağır yük kaldıran atölye ve ambar krenleri	H2
6	Montaj krenleri	H1 ve H3
7	Dökümhane krenleri	H2 ve H3
8	Perçinli krenler	H2 ve H3
9	Tersane krenleri	H2
10	Ağır yük krenleri	H1 ve H2
11	Döner krenler, taklı krenler, yüzer krenler - kancalı	H2
12	Döner krenler, taklı krenler, yüzer krenler - kepeçli	H2 ve H3
13	Yükleme köprüleri, kablo krenler - kancalı	H2
14	Yükleme köprüleri, kablo krenler – kepeçli	H2 ve H3
15	Kiper (külbüter, basküler) köprüleri	H3
16	Yer üstü ve yer altı yapım işlerindeki kuleli krenler	H1 ve H2
Maden istihal tesisatında kullanılan özel krenler		
17	Hafif krenler, montaj krenleri, vals değiştirme krenleri	H1 ve H3
18	Doldurma makineleri	H3 ve H4
19	Çelik profil taşıma krenleri (kısaçallı)	H2 ve H4
20	Kokil ve blok krenleri	H2 ve H3
21	Karıştırıcılar ve döküm krenleri	H3
22	Yer altı fırın krenleri	H3 ve H4
23	Stipper krenleri	H4
24	Şahmerdan krenleri	H2 ve H4

## 7. SEÇİLEN KULE KRENİ MODELİ TANITIMI VE MODELLENMESİ

### 7.1 Kule Krenin Tanıtımı

Bu tez çalışmasında model olarak kule kren tiplerinden, döner kuleli yapı kreni çeşidi ele alınmıştır (Şekil 7.1). Kule krenleri çeşitlerinden bazıları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Model krenin ( $m_2$ ) yük kolu(bum) kütlesi 2500kg, ( $R_b$ ) yük kolu(bum) uzunluğu 22m, ( $R_g$ ) uzunluğu 26m olarak seçilmiştir.



Şekil 7.1 Döner kuleli yapı kreni



### 7.3 Modelin Dinamik Davranış Denklemleri

Model kreni şematik olarak çizdikten sonra belirlenen sabit ve değişken parametrelerden yola çıkarak sistemin dinamik davranış denklemleri aşağıdaki şekilde çıkarılmıştır. Burada  $(x_1, y_1, z_1)$   $m_1$  kütlesi koordinatlarını,  $(x_2, y_2, z_2)$  ise  $m_2$  kütlesi koordinatlarını ifade etmektedir. Sistemdeki parametrelerin kartezyen koordinat uzayındaki ifadeleri, açısal koordinat uzayına aktarılarak modellenmiştir.

Değişken halat boyu ifadesi;

$$L = L_0 + \Delta L \quad (7.1)$$

$x_2, y_2$  ve  $z_2$  koordinatlarına sahip  $m_2$  kütlesinin açısal koordinatlardaki ifadeleri;

$$x_2 = R \cos \theta_1 \quad (7.2)$$

$$y_2 = R \sin \theta_1 \quad (7.3)$$

$$z_2 = R \cos \alpha \quad (7.4)$$

$x_1, y_1$  ve  $z_1$  koordinatlarına sahip  $m_1$  kütlesinin açısal koordinatlardaki ifadeleri;

$$x_1 = x_2 + (L_0 + \Delta L) \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (7.5)$$

$$y_1 = y_2 + (L_0 + \Delta L) \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (7.6)$$

$$z_1 = z_2 - (L_0 + \Delta L) \cos \theta_3 \quad (7.7)$$

$x_2, y_2$  ve  $z_2$  koordinatlarının zamana göre birinci türevleri;

$$\dot{x}_2 = R \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 \quad (7.8)$$

$$\dot{y}_2 = R \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 \quad (7.9)$$

$$\dot{z}_2 = 0 \quad (7.10)$$

$x_1, y_1$  ve  $z_1$  koordinatlarının zamana göre birinci türevleri;

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 = \dot{x}_2 + \dot{L} \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L \cos \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_3 \\ - L \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \end{aligned} \quad (7.11)$$

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_2 + \dot{L} \sin \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L \cos \theta_3 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dot{\theta}_3$$

$$+L \sin \theta_3 \cos(\theta_1 + \theta_2)(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \quad (7.12)$$

$$\dot{z}_1 = -\dot{L} \cos \theta_3 + L \sin \theta_3 \dot{\theta}_3 \quad (7.13)$$

$x_1, y_1, z_1, x_2, y_2$  ve  $z_2$  koordinatlarının zamana göre birinci türevlerinin kareleri toplamı;

$$\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2 = R^2 \dot{\theta}_1^2 \quad (7.14)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2 &= (R^2 + L^2 \sin^2 \theta_3 + 2RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) \dot{\theta}_1^2 \\ &+ \dot{L}^2 + L^2 \sin^2 \theta_3 \dot{\theta}_2^2 + L^2 \dot{\theta}_3^2 + (2L^2 \sin^2 \theta_3 + 2RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\ &+ 2RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + 2R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{L} \dot{\theta}_1 \end{aligned} \quad (7.15)$$

Lagrange yöntemiyle enerji denklemleri ifadeleri;

Sistemin potansiyel enerjisi ( $E_p$ ) ;

$$E_p = m_1 g L (1 - \cos \theta_3) + \frac{1}{2} k (L - L_0) \quad (7.16)$$

Sistemin kinetik enerjisi ( $E_k$ ) ;

$$E_k = \frac{1}{2} [m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2) + m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{z}_2^2)] \quad (7.17a)$$

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} ([m_1 (R^2 + L^2 \sin^2 \theta_3 + 2RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) + m_2 R^2] \dot{\theta}_1^2 \\ &+ m_1 (L^2 \sin^2 \theta_3 \dot{\theta}_2^2 + L^2 \dot{\theta}_3^2 + \dot{L}^2 + 2(L \sin \theta_3 + R \cos \theta_2) L \sin \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\ &+ 2RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + 2R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{L} \dot{\theta}_1)) \end{aligned} \quad (7.17b)$$

Sistemin hareket denklemlerinin elde edilmesi:

Halat boyu (L);

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} = m_1 \dot{L} + m_1 R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{\theta}_1 \quad (7.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} \right) &= m_1 \ddot{L} + m_1 R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \ddot{\theta}_1 + m_1 R \sin \theta_3 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\ &+ m_1 R \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 \end{aligned} \quad (7.19)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial L} = k(L - L_0) + m_1 g(1 - \cos \theta_3) \quad (7.20)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial L} = F \quad (7.21)$$

Burada (F) halata etki eden kuvveti ifade etmektedir.

Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_1} &= [m_1(R^2 + L^2 \sin^2 \theta_3 + 2RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) + m_2 R^2] \dot{\theta}_1 \\ &+ m_1(L \sin \theta_3 + R \cos \theta_2)L \sin \theta_3 \dot{\theta}_2 + m_1 RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_3 + m_1 R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{L} \end{aligned} \quad (7.22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_1} \right) &= [m_1(R^2 + L^2 \sin^2 \theta_3 + 2RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) + m_2 R^2] \ddot{\theta}_1 \\ &+ m_1(L^2 \sin^2 \theta_3 + RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_2 + m_1 RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \ddot{\theta}_3 \\ &+ m_1 R \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{L} - m_1 RL \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{\theta}_2^2 - m_1 RL \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{\theta}_3^2 \\ &- (2m_1 RL \sin \theta_2 \sin \theta_3) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + (2m_1 RL \cos \theta_2 \cos \theta_3 + 2m_1 L^2 \sin \theta_3 \cos \theta_3) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 \\ &+ (2m_1 L \sin^2 \theta_3 + 2m_1 R \sin \theta_3 \cos \theta_2) \dot{L} \dot{\theta}_1 \\ &+ [2m_1(RL \cos \theta_2 \cos \theta_3) + (2m_1 L^2 \sin \theta_3 \cos \theta_3)] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \\ &+ (2m_1 R \sin \theta_3 \cos \theta_2 + 2m_1 L \sin^2 \theta_3) \dot{L} \dot{\theta}_2 + 2m_1 R \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{L} \dot{\theta}_3 \end{aligned} \quad (7.23)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta_1} = 0 \quad (7.24)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_1} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial \theta_1} = M \quad (7.25)$$

Burada (M) kren gövde merkezinden uygulanan döndürme momentini ifade etmektedir.

Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_2} = m_1 L^2 \sin^2 \theta_3 \dot{\theta}_2 + m_1(L^2 \sin^2 \theta_3 + RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) \dot{\theta}_1 \quad (7.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_2} \right) &= \\ &m_1(L^2 \sin^2 \theta_3 + RL \sin \theta_3 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_1 + m_1 L^2 \sin^2 \theta_3 \ddot{\theta}_2 - m_1 RL \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \\ &m_1(RL \cos \theta_2 \cos \theta_3 + 2L^2 \sin \theta_3 \cos \theta_3) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + m_1(2L \sin^2 \theta_3 + R \sin \theta_3 \cos \theta_2) \dot{L} \dot{\theta}_1 + \end{aligned}$$

$$2m_1L^2 \sin \theta_3 \cos \theta_3 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + 2m_1L \sin^2 \theta_3 \dot{L} \dot{\theta}_2 \quad (7.27)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta_2} = 0 \quad (7.28)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_2} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial \theta_2} = 0 \quad (7.29)$$

Yükün asılı olduğu halatın z ekseni ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_3} = m_1L^2 \dot{\theta}_3 + m_1RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_1 \quad (7.30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_3} \right) = \\ m_1RL \sin \theta_2 \cos \theta_3 \ddot{\theta}_1 + m_1L^2 \ddot{\theta}_3 + m_1RL \cos \theta_2 \cos \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - m_1RL \sin \theta_2 \sin \theta_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 + \\ m_1R \sin \theta_2 \cos \theta_3 \dot{L} \dot{\theta}_1 + 2m_1L \dot{L} \dot{\theta}_3 \end{aligned} \quad (7.31)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta_3} = m_1gL \sin \theta_3 \quad (7.32)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_3} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial \theta_3} = 0 \quad (7.33)$$

( $\ddot{L}$ ), ( $\ddot{\theta}_1$ ), ( $\ddot{\theta}_2$ ) ve ( $\ddot{\theta}_3$ ) ifadeleri Mathematica programı yardımı ile elde edilmiştir(Ek 3). Elle hesaplanan sonuçlarla sağlaması yapıldıktan sonra Matlab-Simulink programlarında işlenebilecek düzene getirilmiştir(Ek 1).

## 8. SEÇİLEN DURUMLARIN İRDELENMESİ VE GRAFİKLERİN YORUMLANMASI

Bu bölümde, daha önce yapılan kabuller ve oluşturulan denklemlere ek olarak, bazı parametreler değiştirilerek on farklı durum oluşturulmuştur(Çizelge 8.1). Bu durumlar altında Matlab programının Simulink modülünde sistemin blok diyagramı oluşturulup simule edilmiştir(Ek 2). Simülasyon sonucunda tüm durumlar için grafiksel sonuçlar elde edilmiştir.

Halat boyundaki değişimler, ( $m_1$ ) yükünün ( $\theta_1$ ), ( $\theta_2$ ), ( $\theta_3$ ) açlarına ve onların değişimlerine göre konumundaki değişiklikler, ( $\dot{L}$ ), ( $\dot{\theta}_1$ ), ( $\dot{\theta}_2$ ) ve ( $\dot{\theta}_3$ ) açısal hızlarındaki ve ( $\ddot{L}$ ), ( $\ddot{\theta}_1$ ), ( $\ddot{\theta}_2$ ) ve ( $\ddot{\theta}_3$ ) açısal ivmelerindeki değişimler, çeşitli parametreleri rastsal olarak değiştirilerek ortaya çıkan bu sonuçlar çerçevesinde gözlemlenmiş ve yükün duruş hassasiyeti üzerinde nasıl etkiler yaratabileceği yorumlanmıştır.

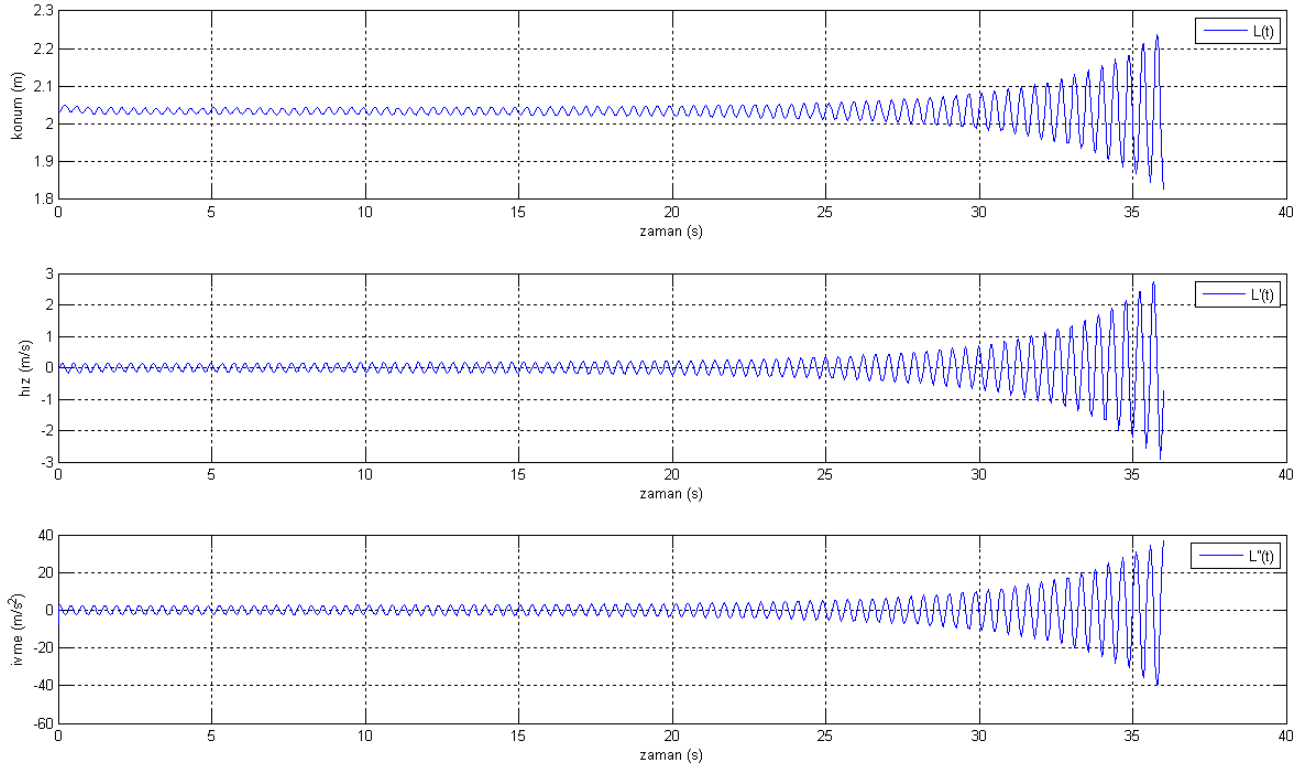
Başlangıç değeri olarak ( $\theta_1 = 0^\circ$ ), ( $\theta_2 = 0^\circ$ ), ( $\theta_3 = 6^\circ$ ), ( $L_0 = 2m$ ), ( $R_b = 22m$ ), ( $R_g = 26m$ ) değerleri tüm durumlar için aynı kabul edilmiştir.

## 8.1 Çeşitli Parametreler Altında Oluşturulan Durumlar ve Grafikler

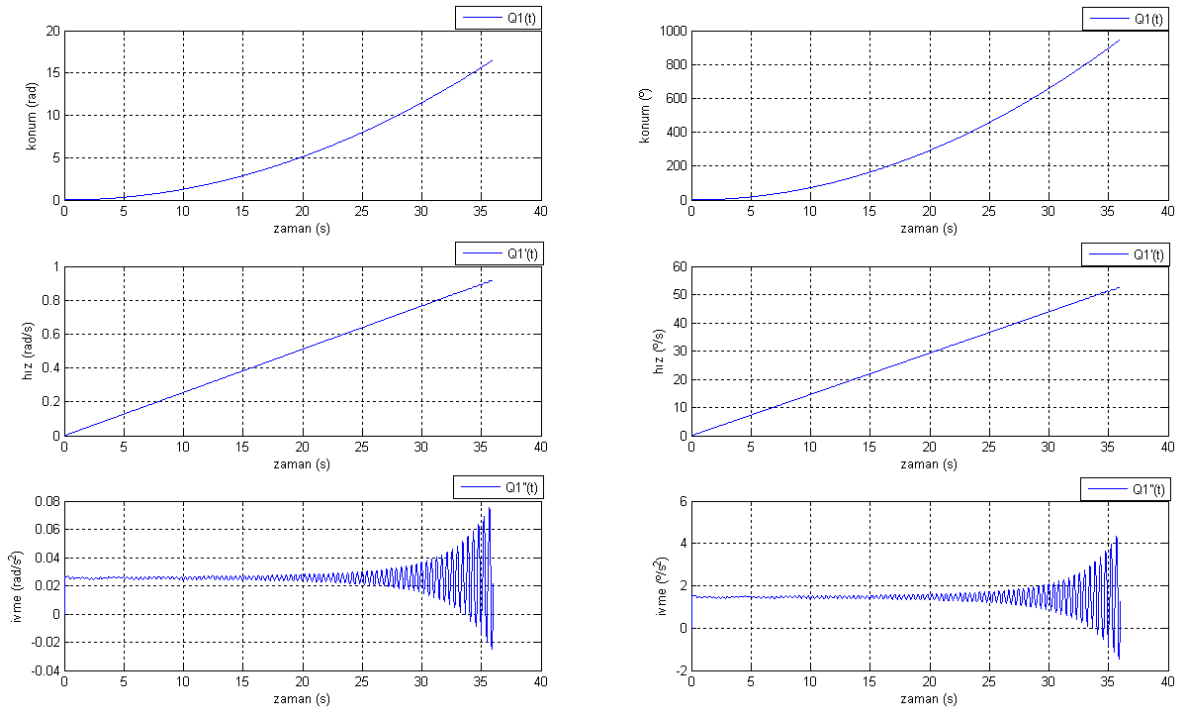
### Durum 1:

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

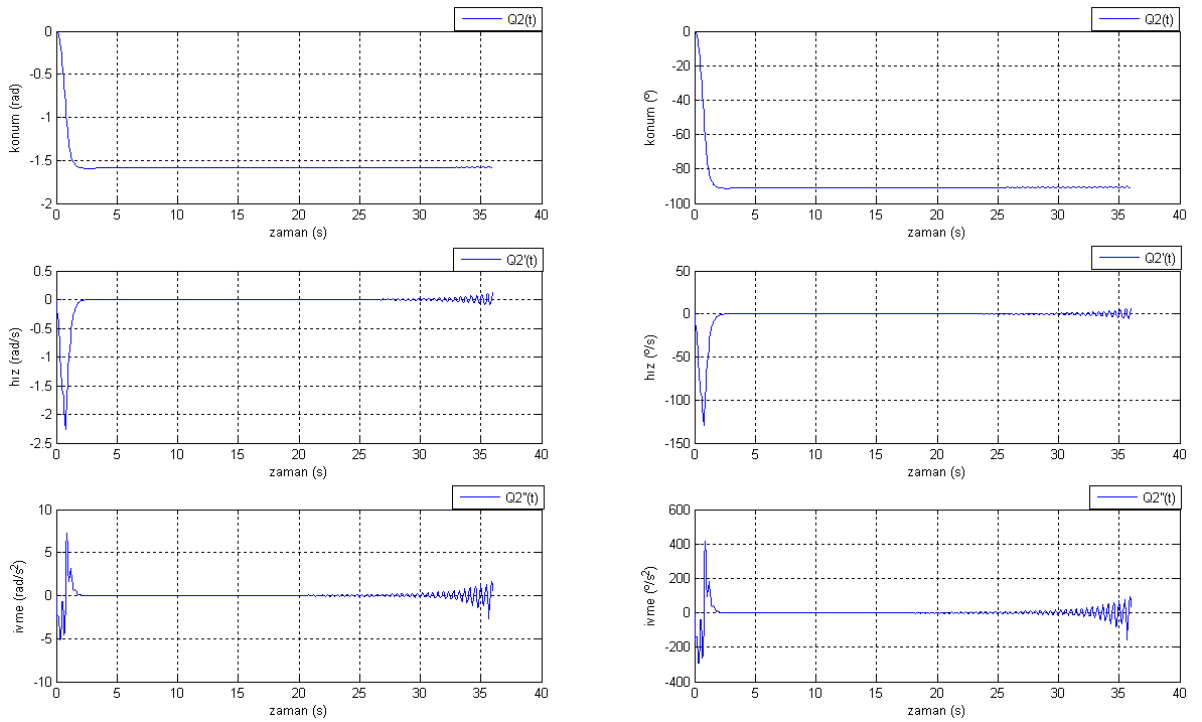
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	(m/s <sup>2</sup> )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:105	(°)
$R_1$	:38.15873	(m)
$\alpha$	:0.5906415	(rad)
$R$	:21.25037	(m)
$k$	:28500	(kg /s <sup>2</sup> )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



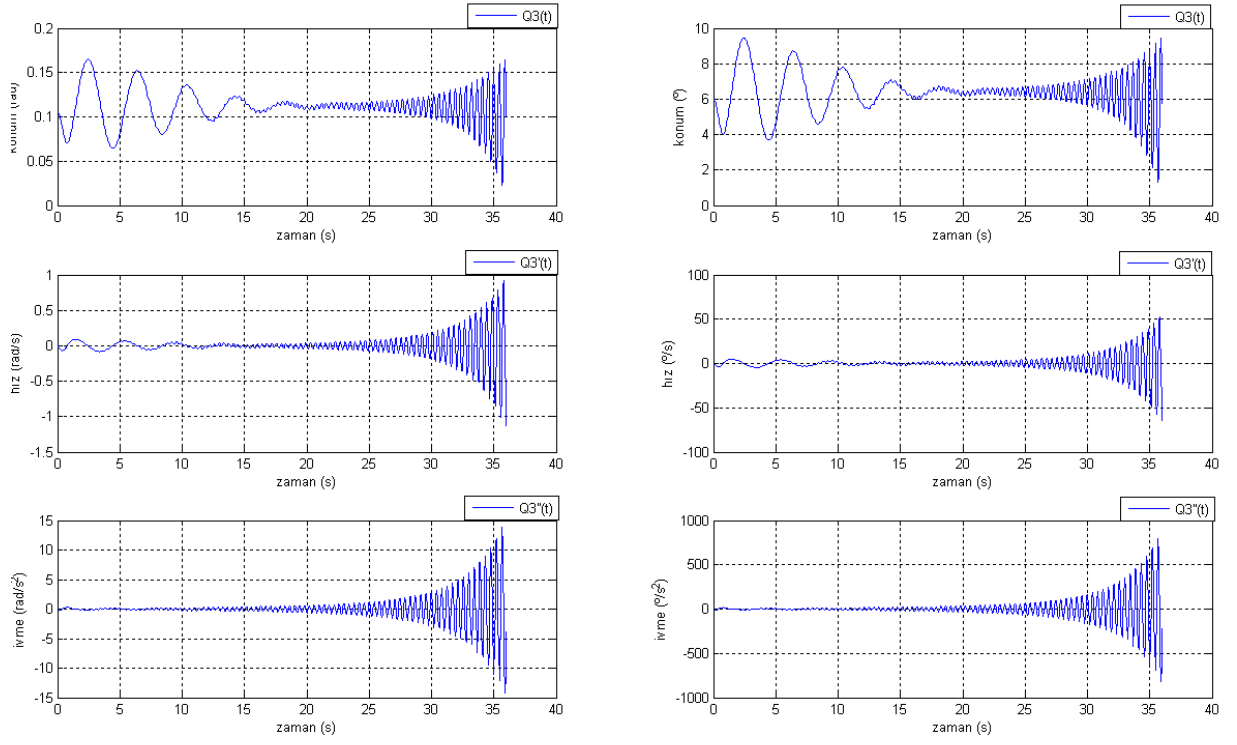
Şekil 8.1 Durum 1 parametreleri altındaki  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.2 Durum 1 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.3 Durum 1 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

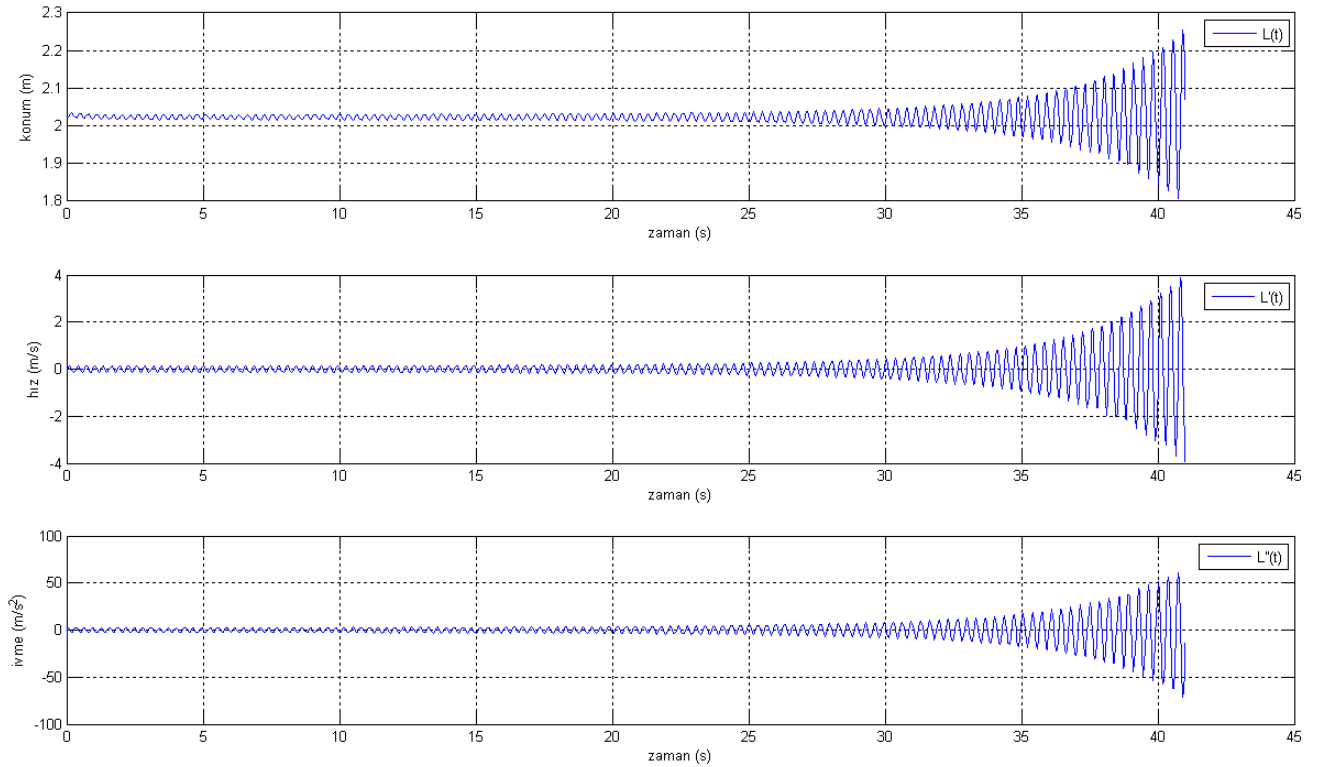


Şekil 8.4 Durum 1 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

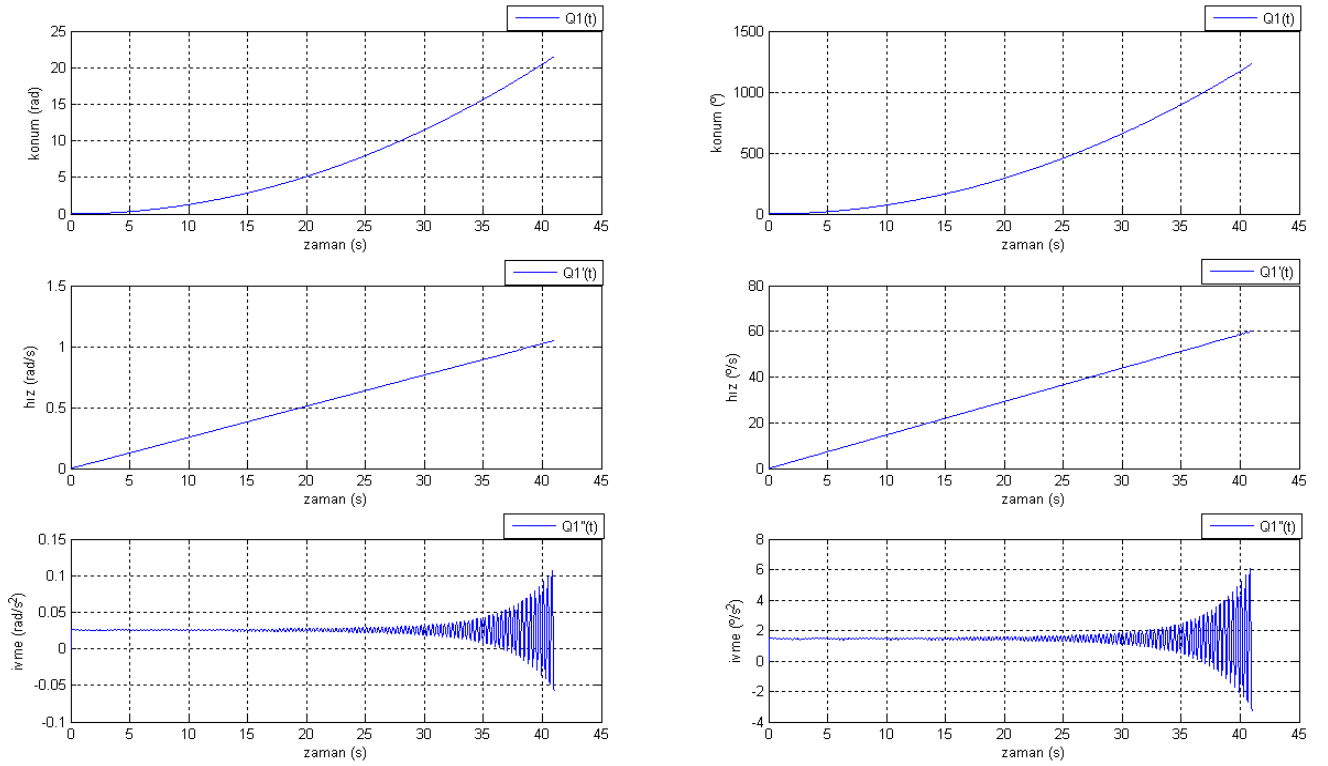
**Durum 2:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

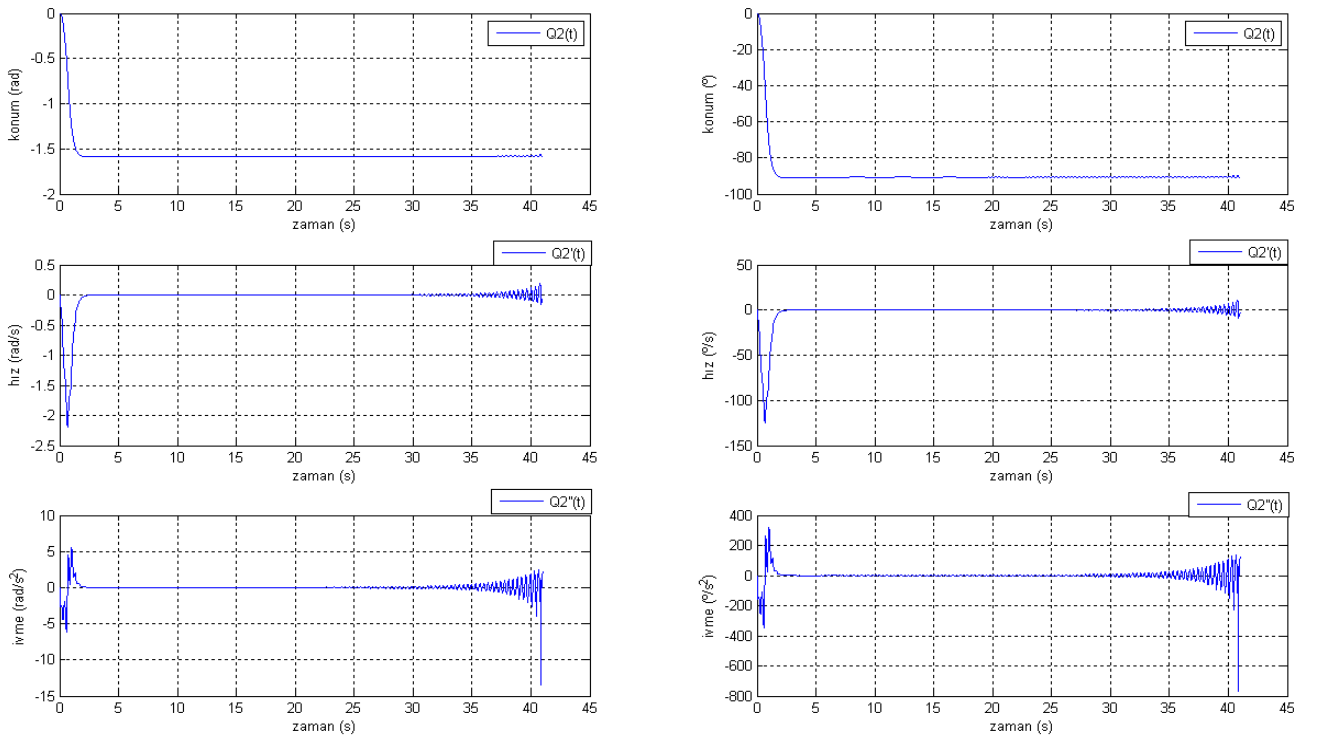
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:105	( $^\circ$ )
$R_1$	:38.15873	(m)
$\alpha$	:0.5906415	(rad)
$R$	:21.25037	(m)
$k$	:42000	( $kg/s^2$ )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



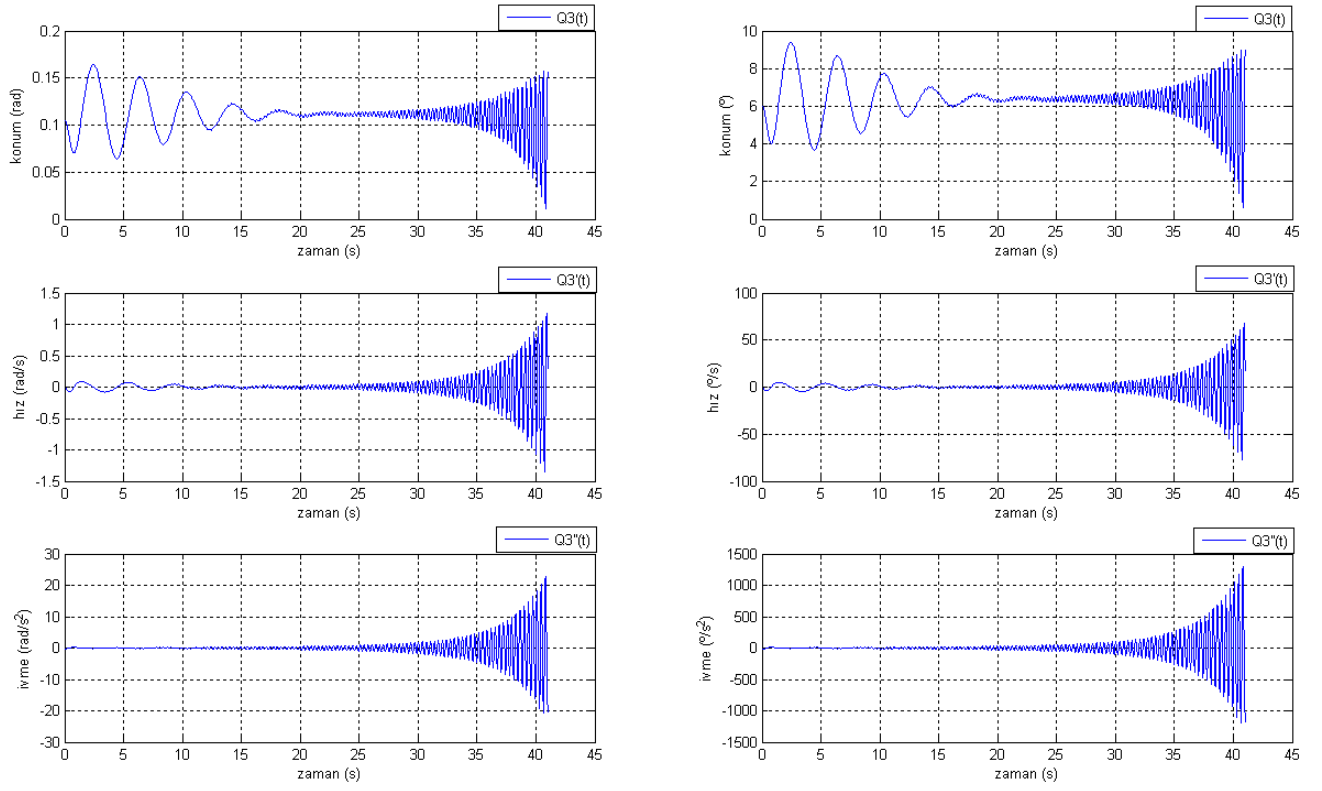
Şekil 8.5 Durum 2 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.6 Durum 2 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.7 Durum 2 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

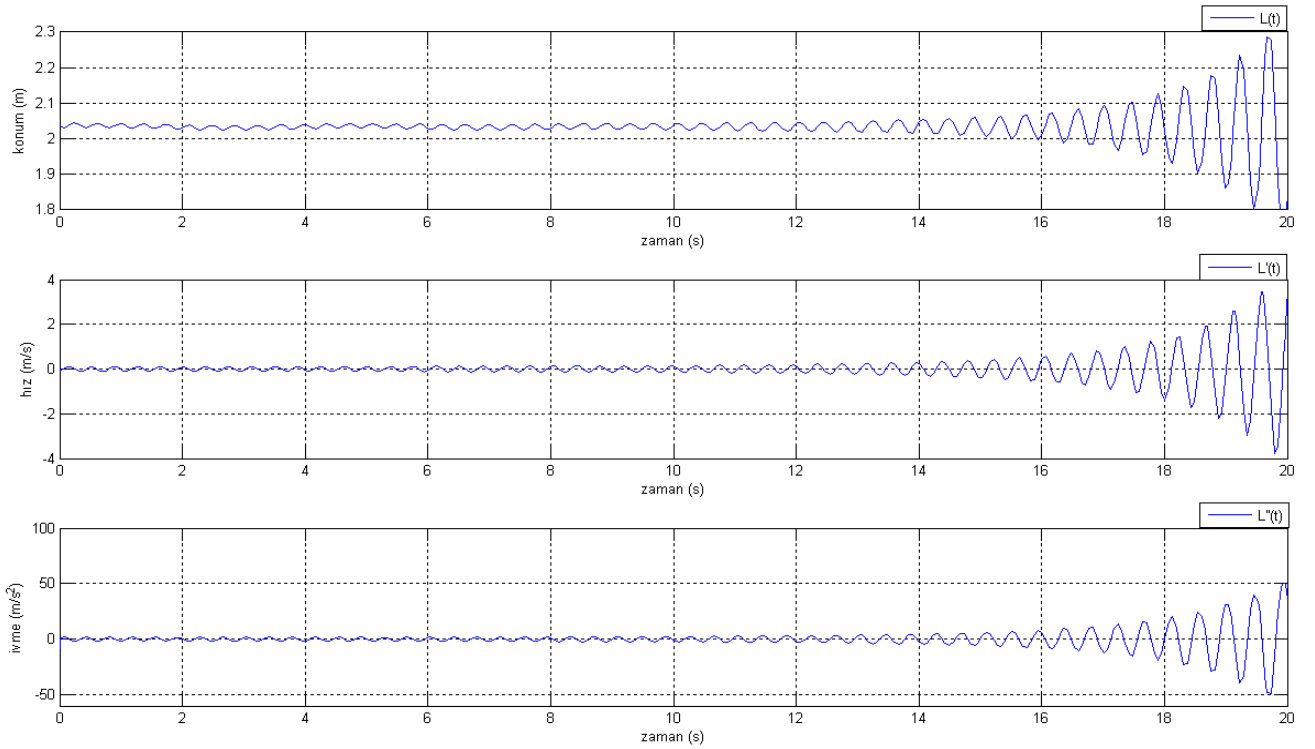


Şekil 8.8 Durum 2 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

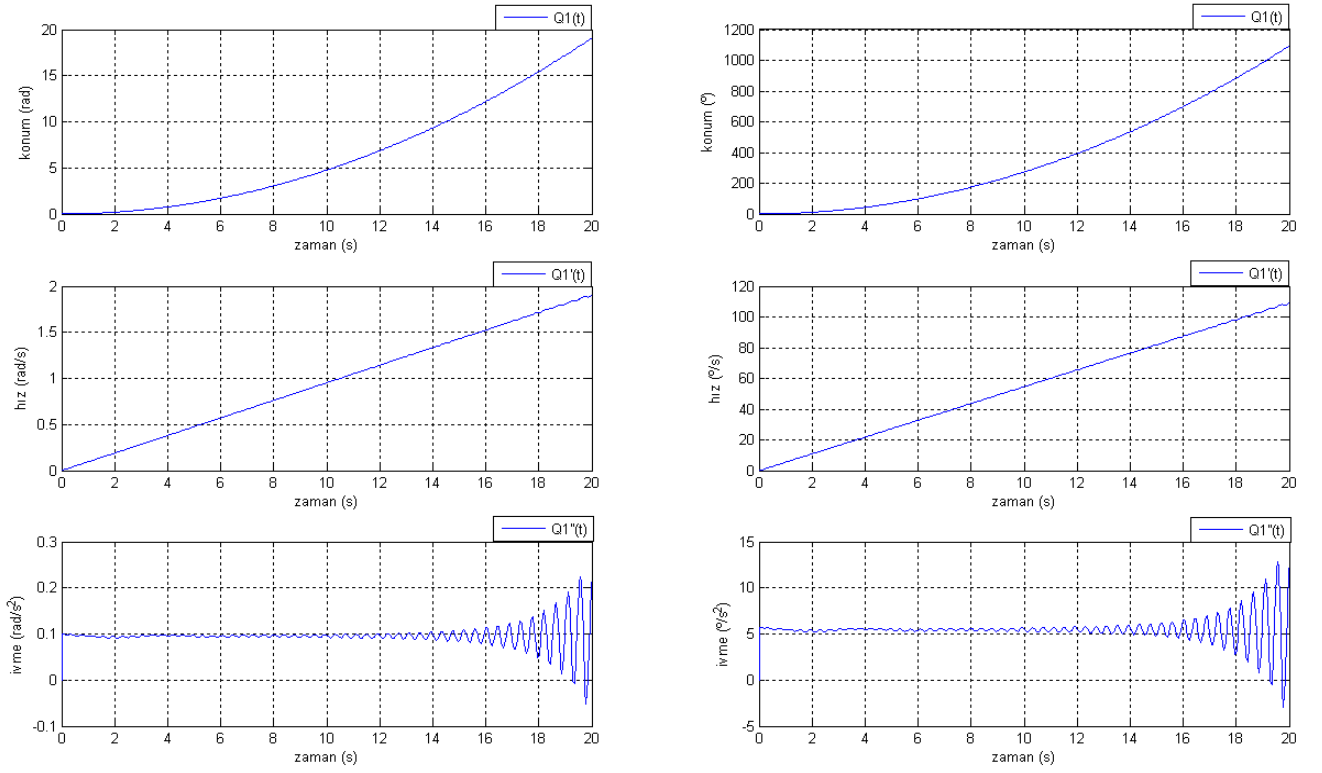
**Durum 3:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

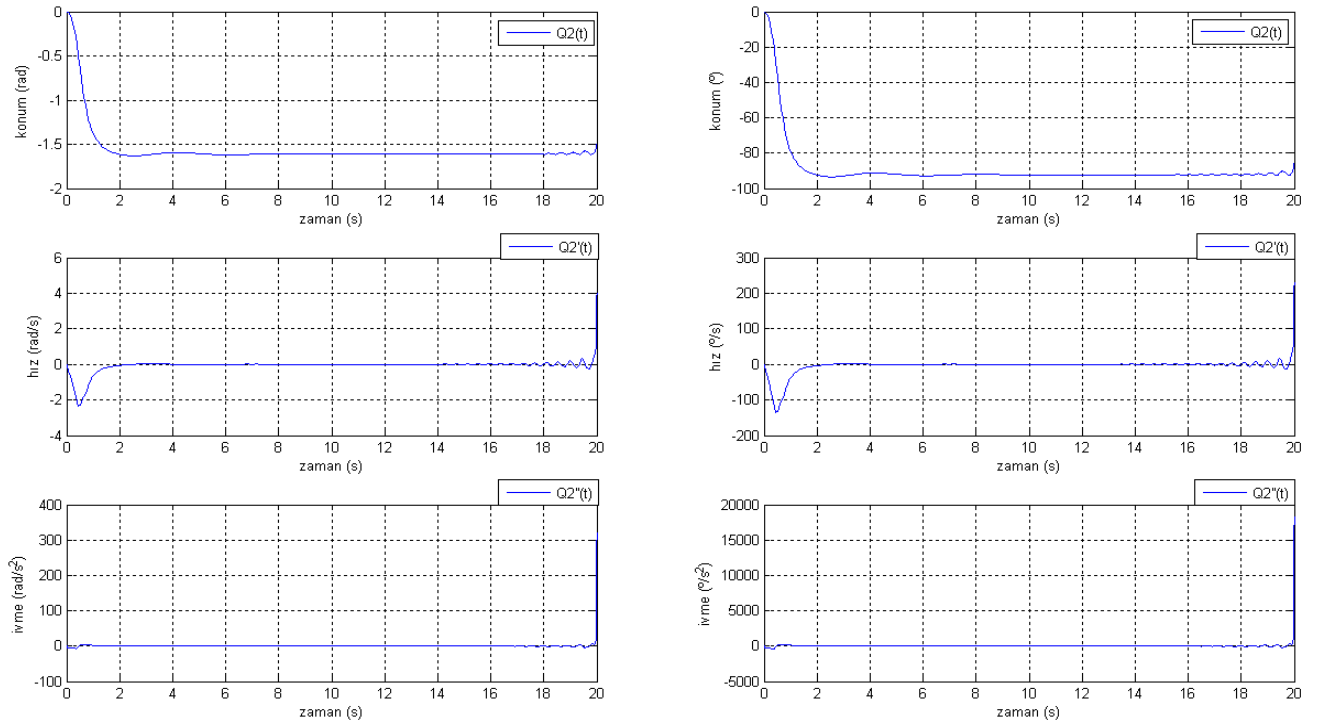
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	(m/s <sup>2</sup> )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	(°)
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:28500	(kg /s <sup>2</sup> )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



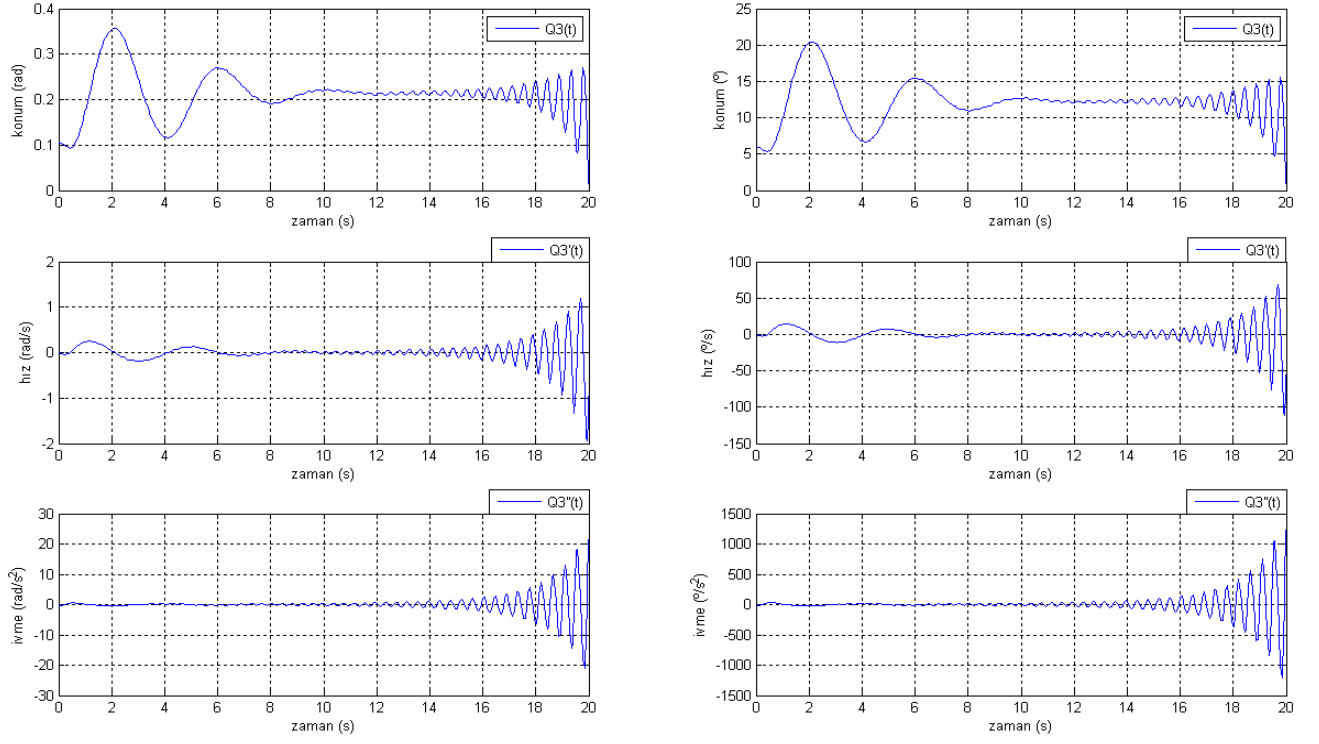
Şekil 8.9 Durum 3 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.10 Durum 3 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.11 Durum 3 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

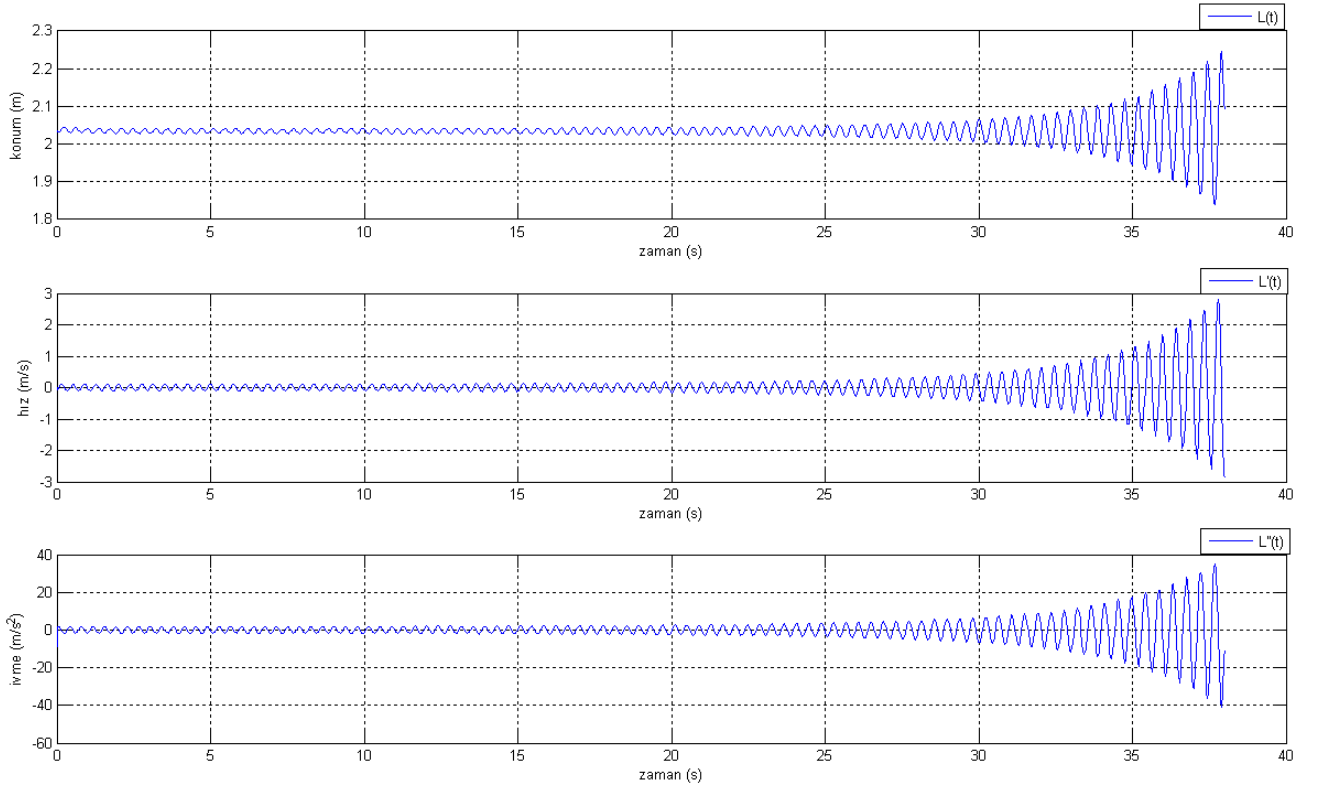


Şekil 8.12 Durum 3 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

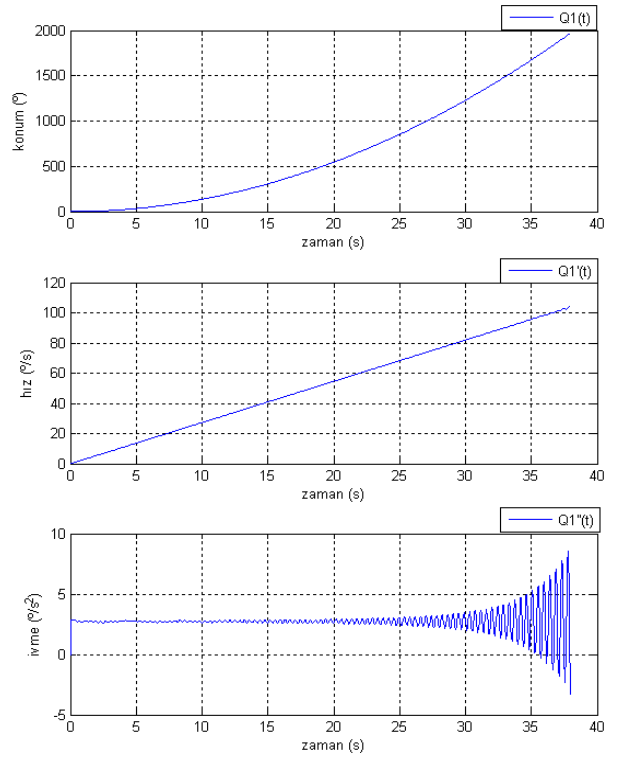
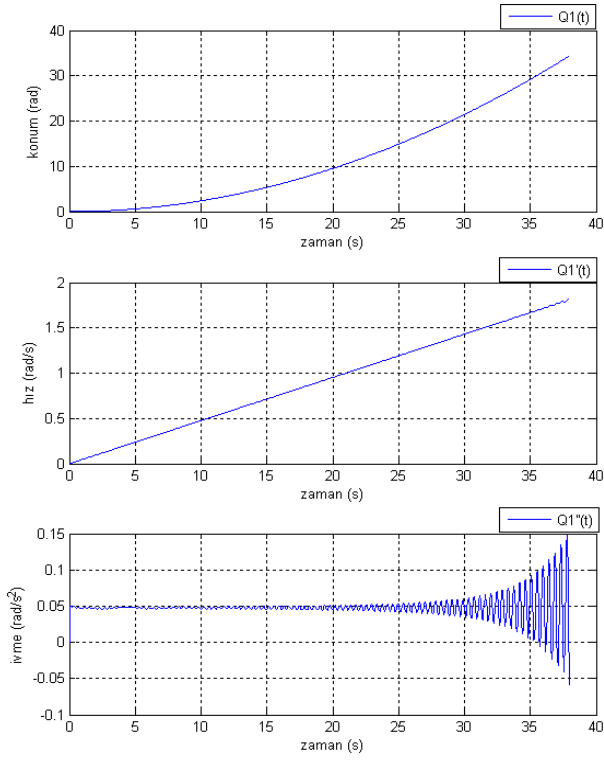
**Durum 4:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

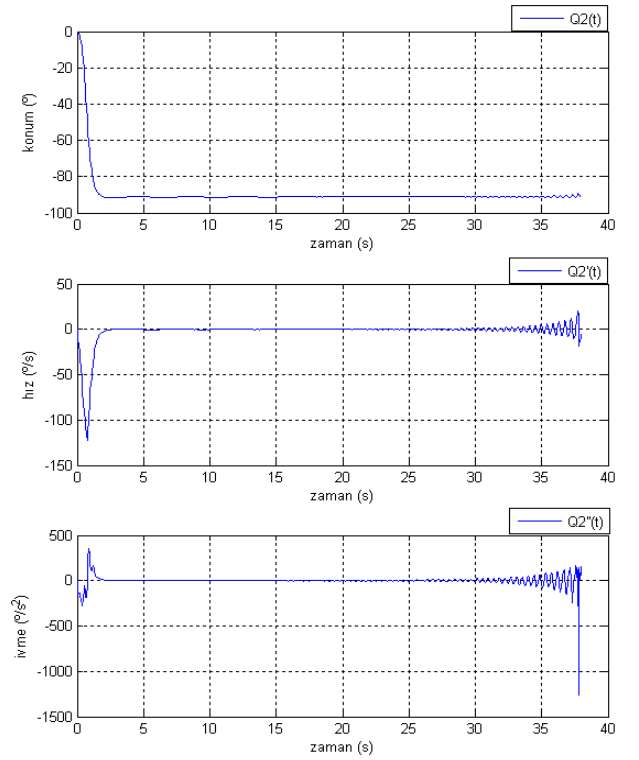
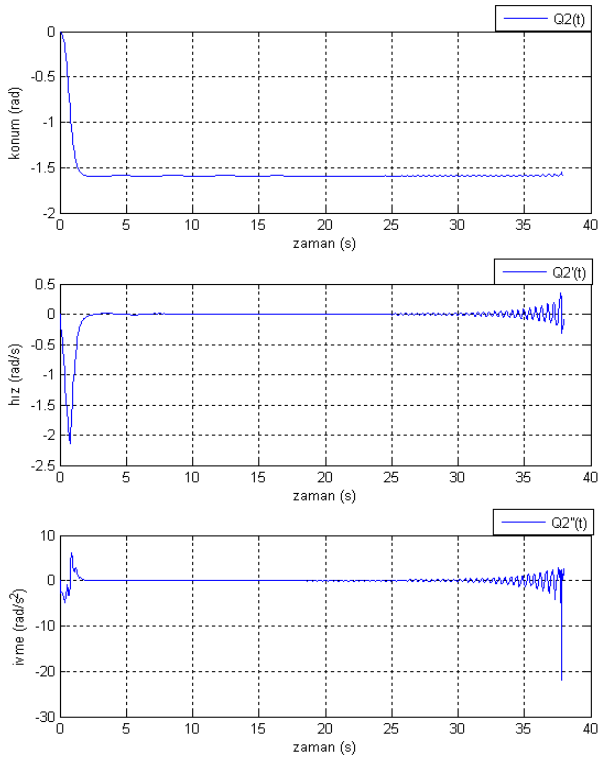
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	( $^\circ$ )
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:28500	( $kg/s^2$ )
$M$	:15000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



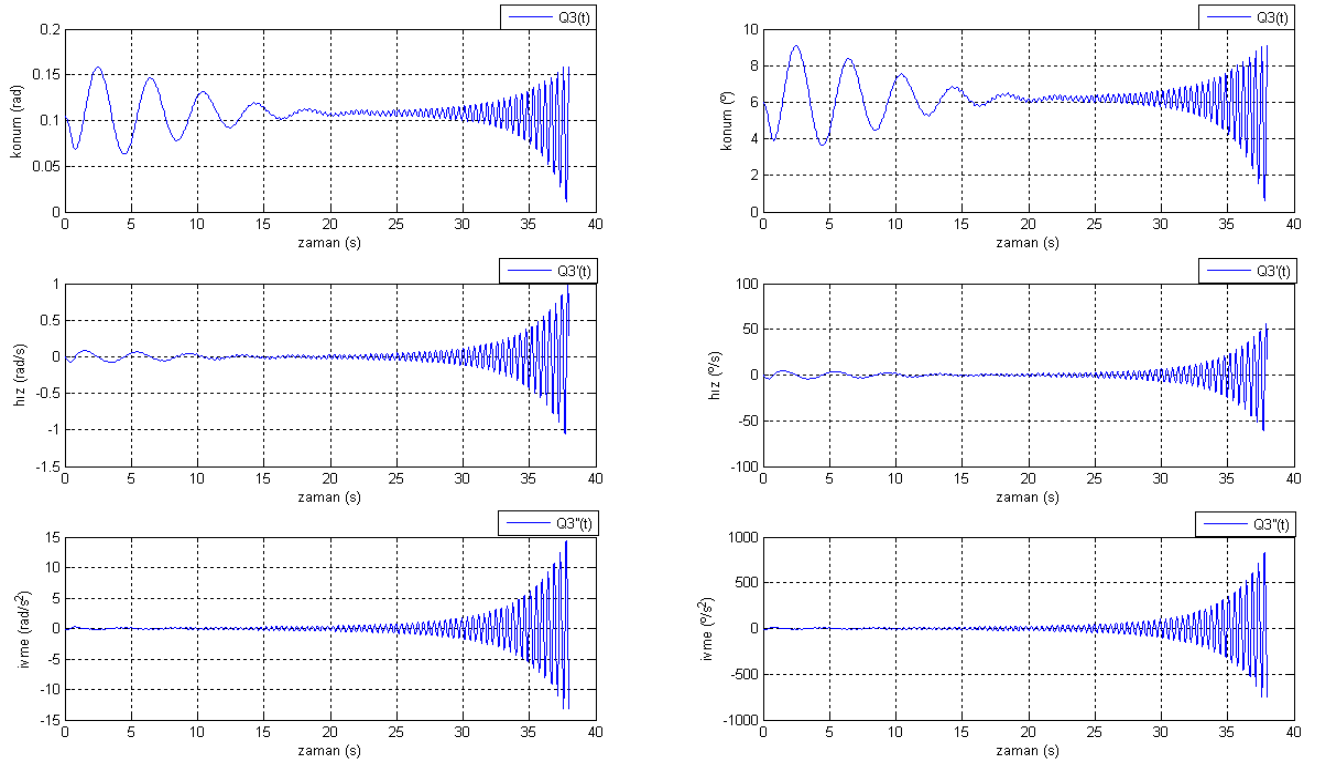
Şekil 8.13 Durum 4 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.14 Durum 4 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.15 Durum 4 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

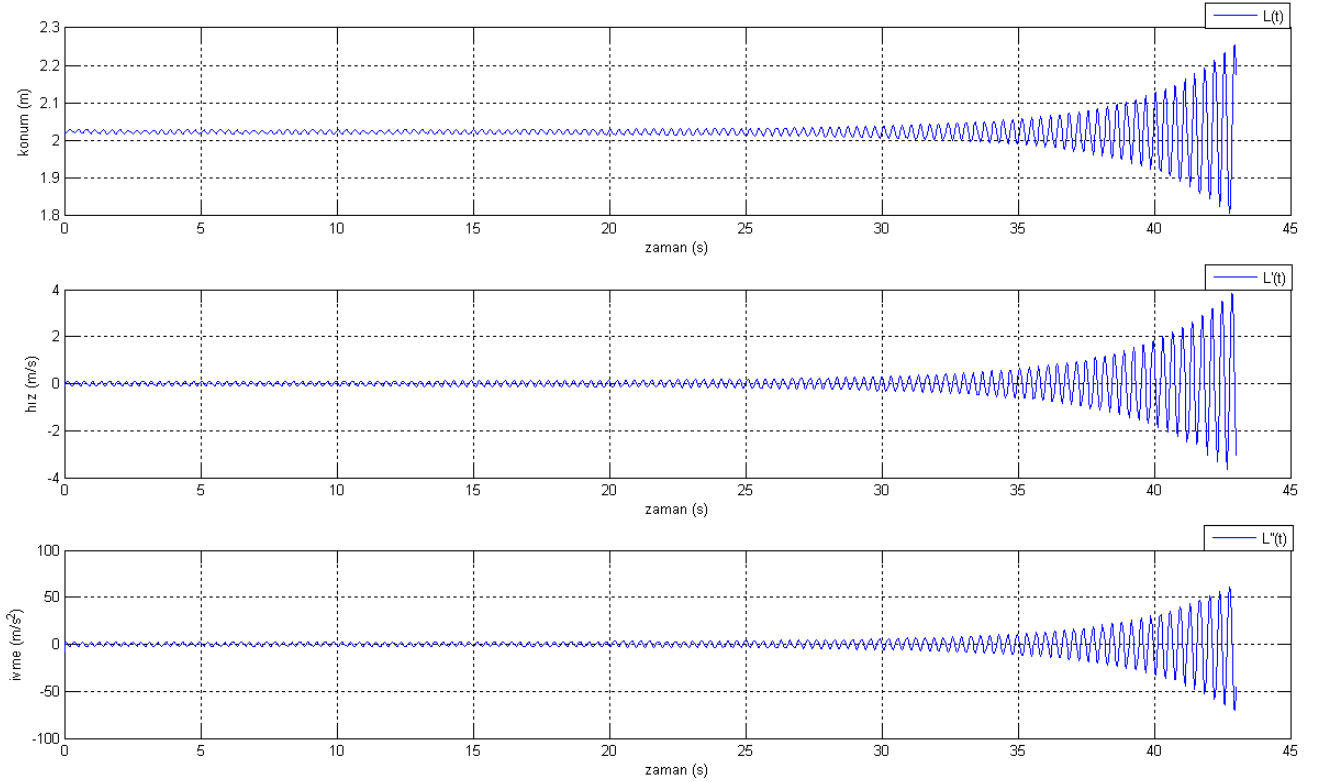


Şekil 8.16 Durum 4 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

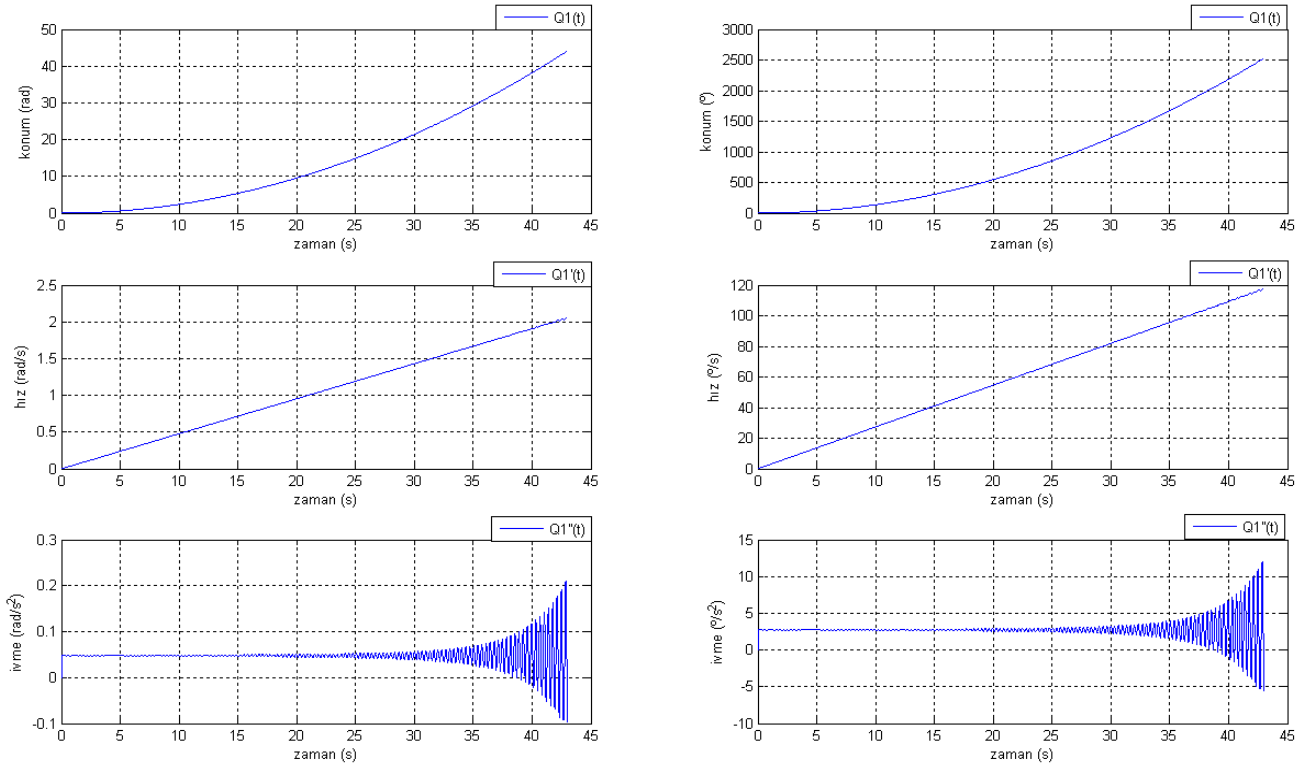
**Durum 5:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

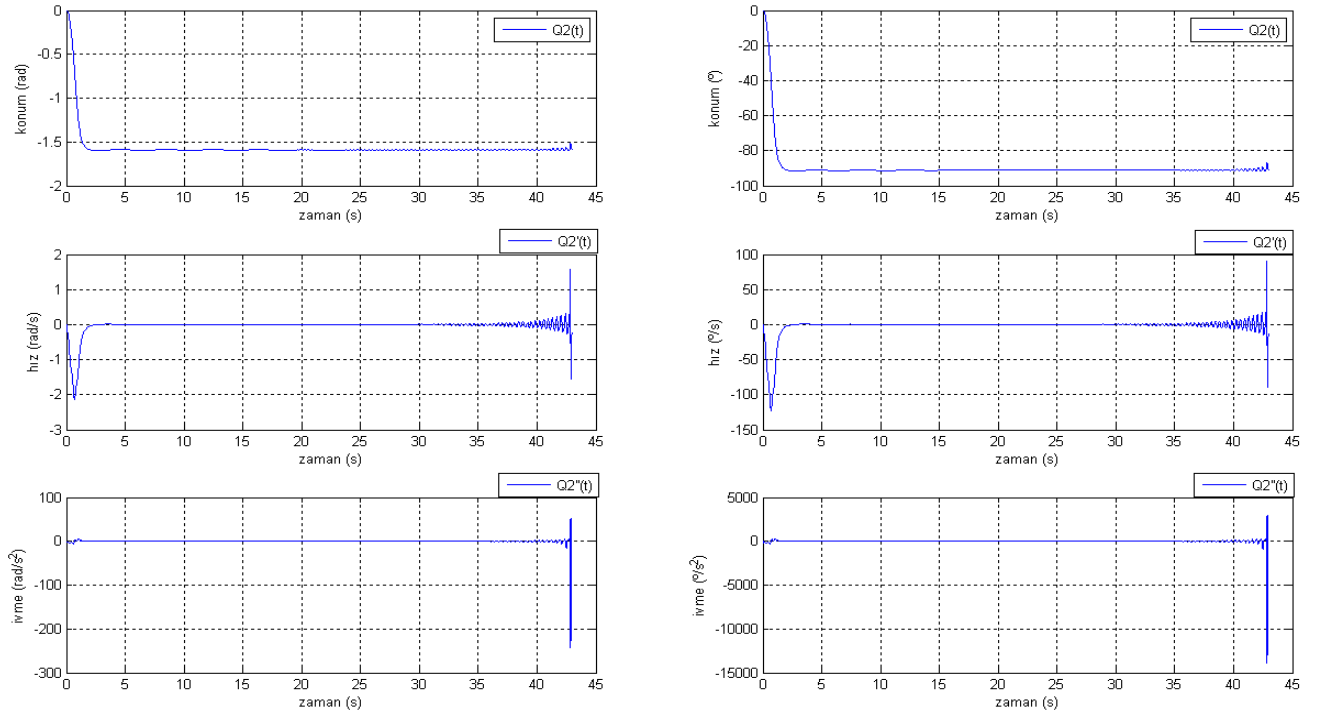
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	( $^\circ$ )
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:42000	( $kg/s^2$ )
$M$	:15000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



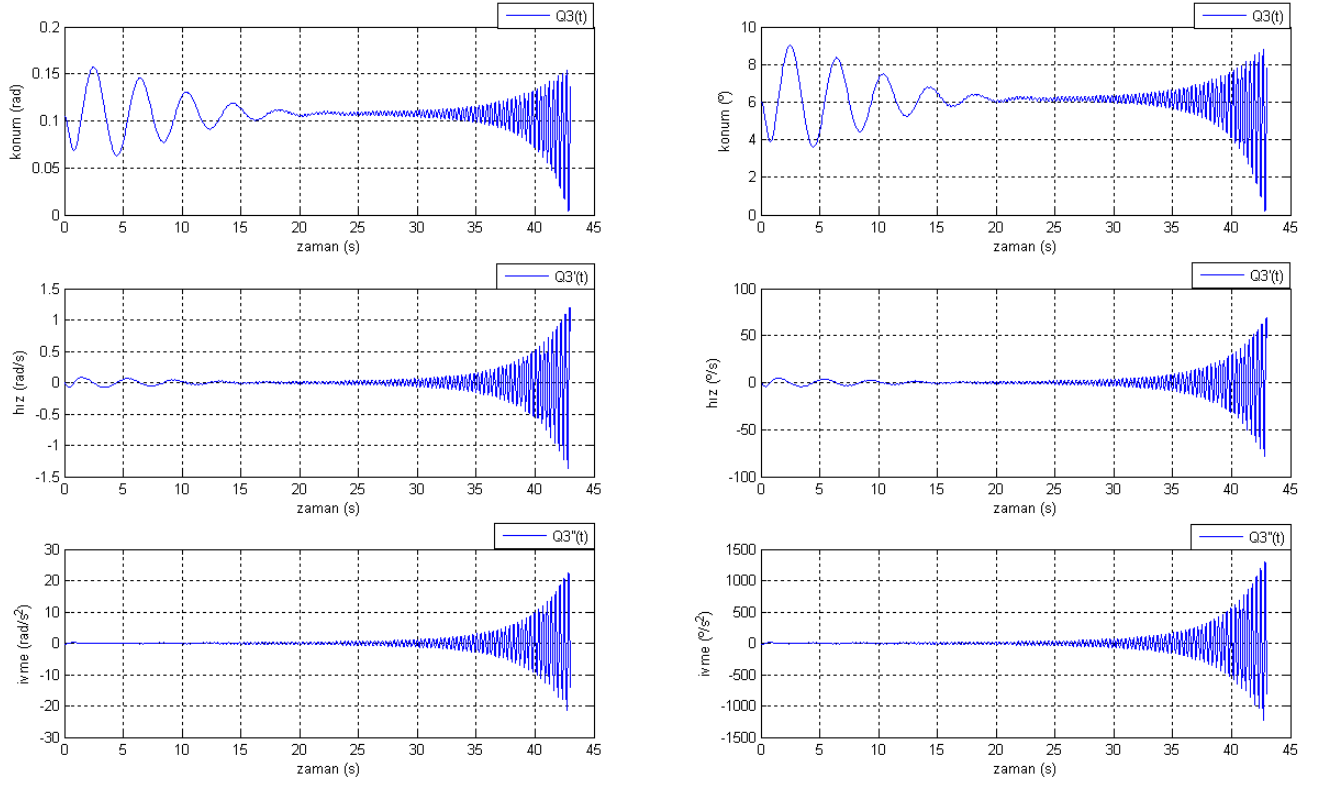
Şekil 8.17 Durum 5 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.18 Durum 5 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.19 Durum 5 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

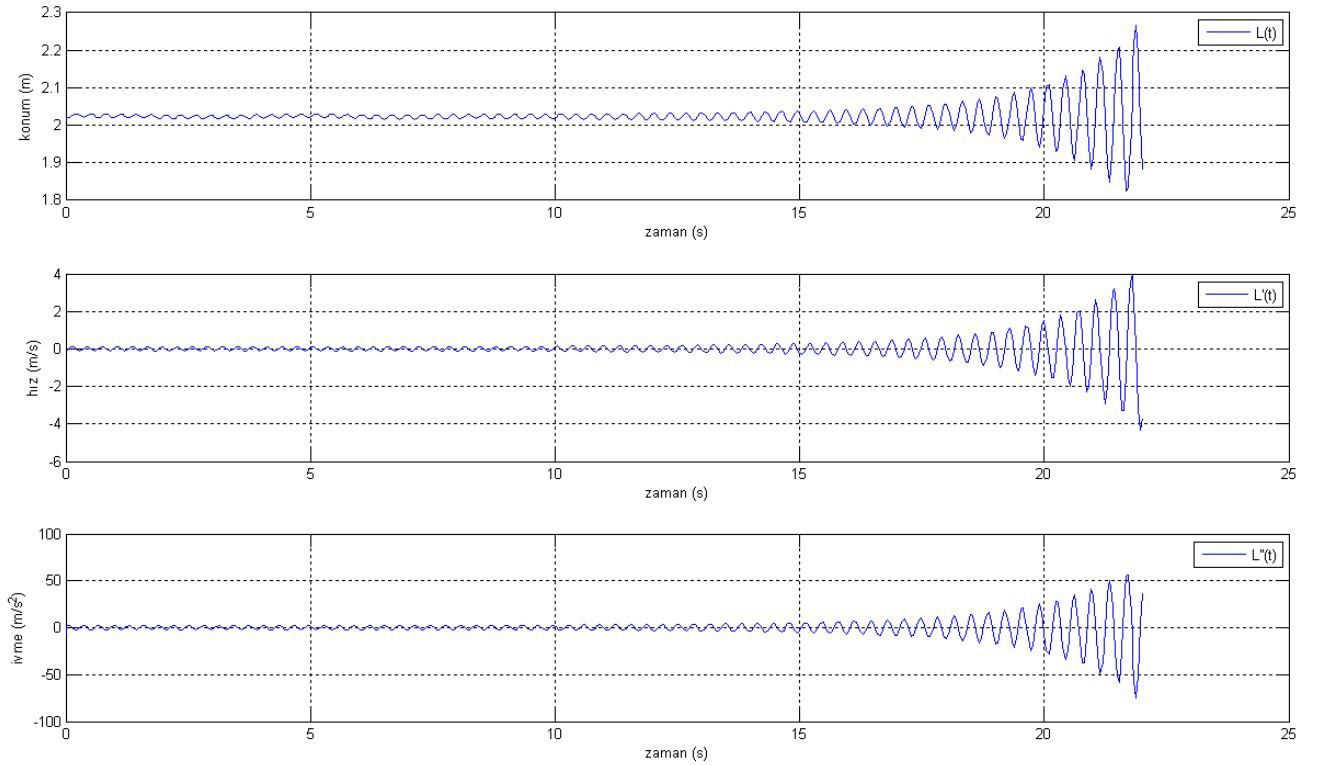


Şekil 8.20 Durum 5 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

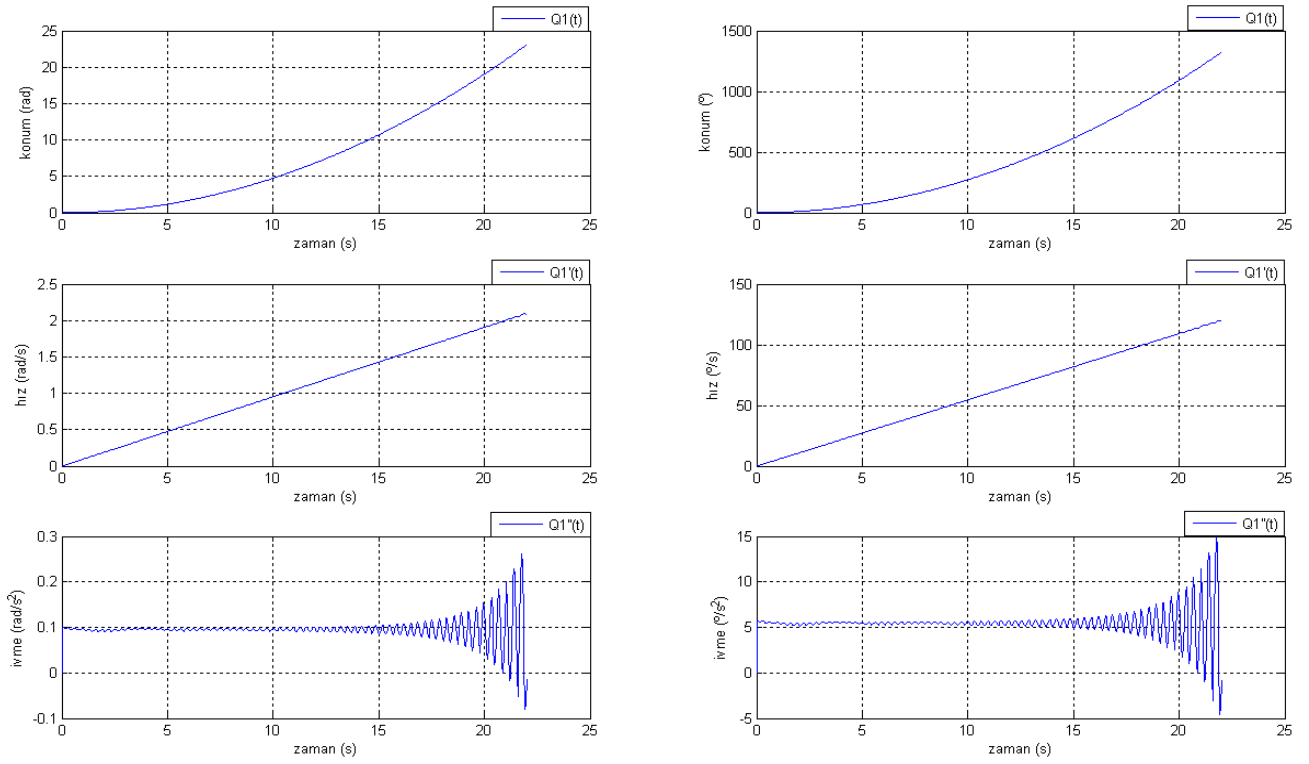
**Durum 6:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

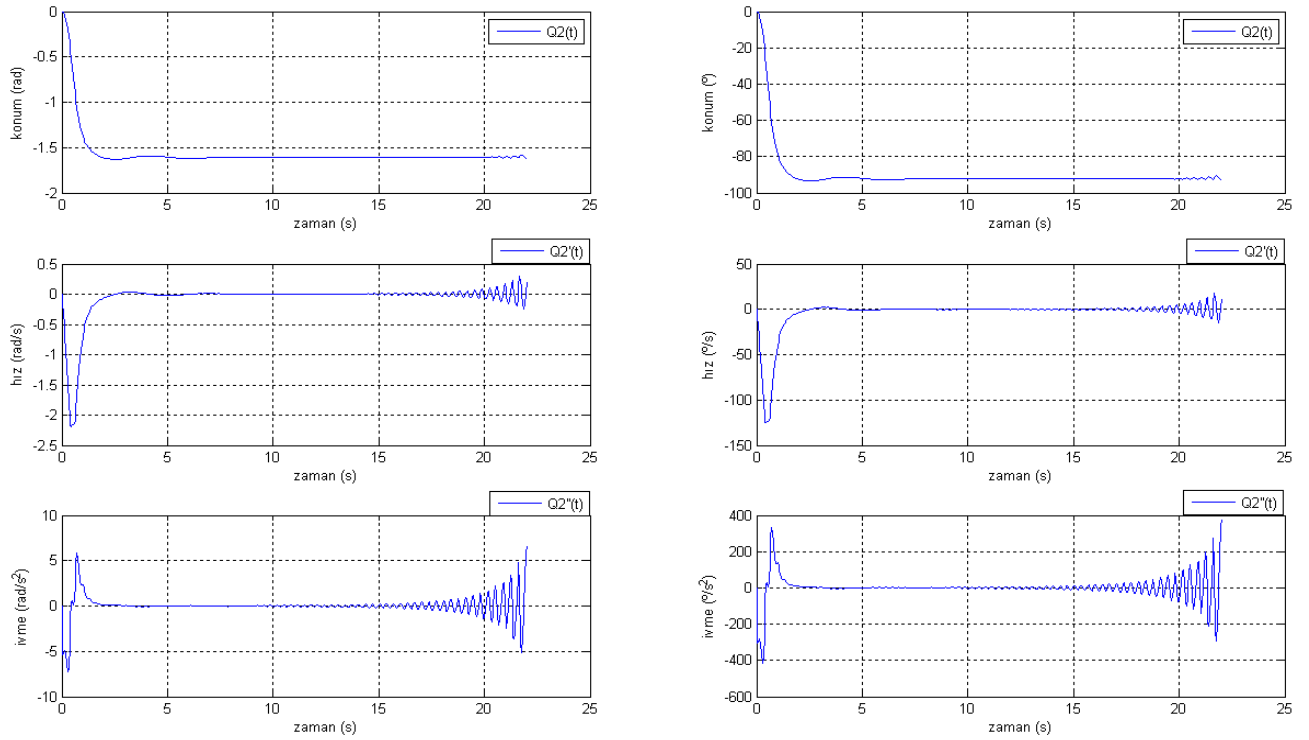
$m_1$	:100	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	( $^\circ$ )
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:42000	( $kg/s^2$ )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



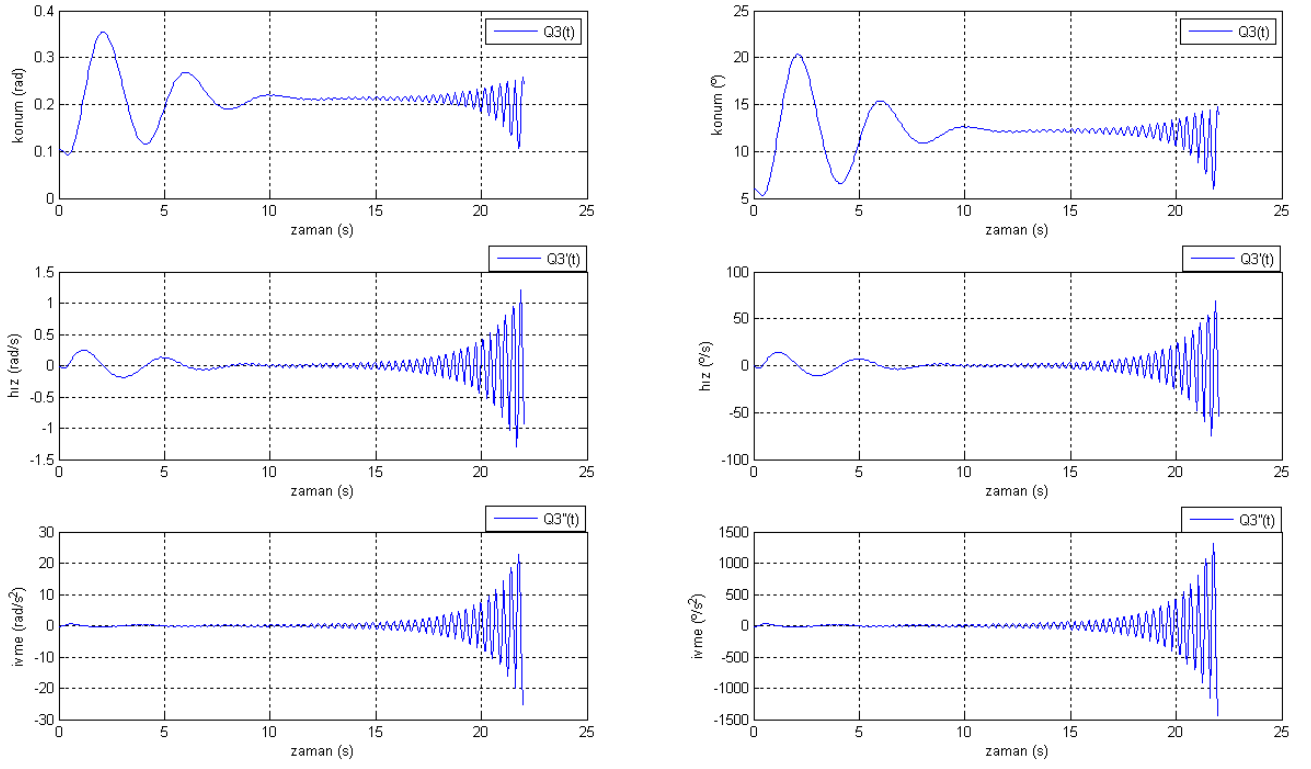
Şekil 8.21 Durum 6 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.22 Durum 6 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.23 Durum 6 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

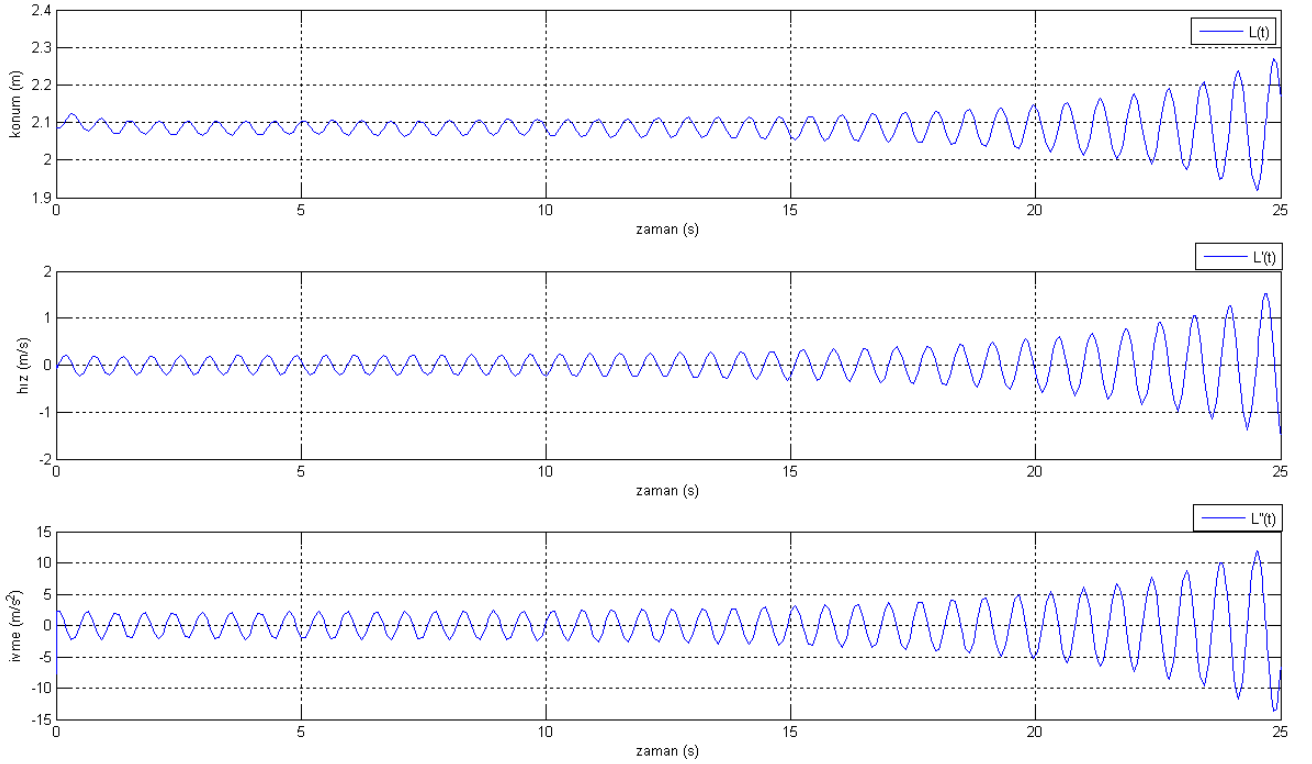


Şekil 8.24 Durum 6 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

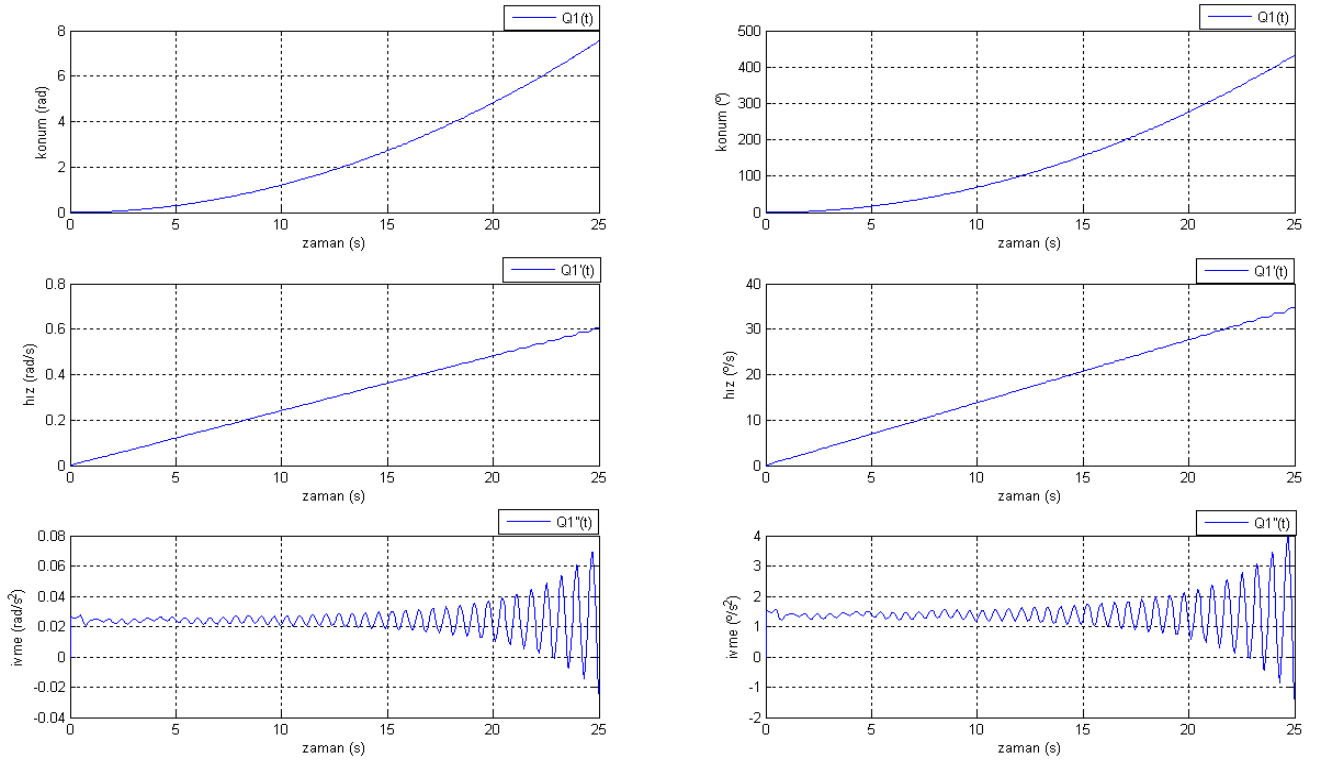
**Durum 7:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

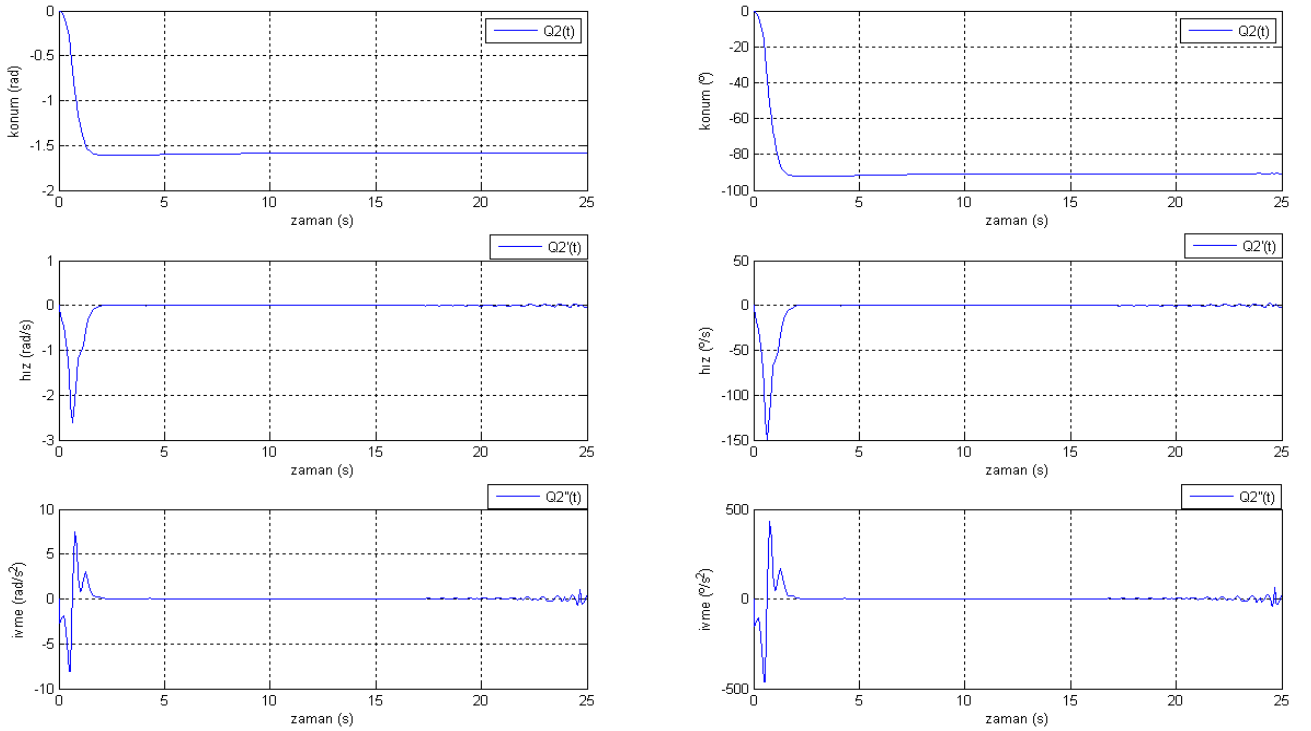
$m_1$	:250	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:105	( $^\circ$ )
$R_1$	:38.15873	(m)
$\alpha$	:0.5906415	(rad)
$R$	:21.25037	(m)
$k$	:28500	( $kg/s^2$ )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



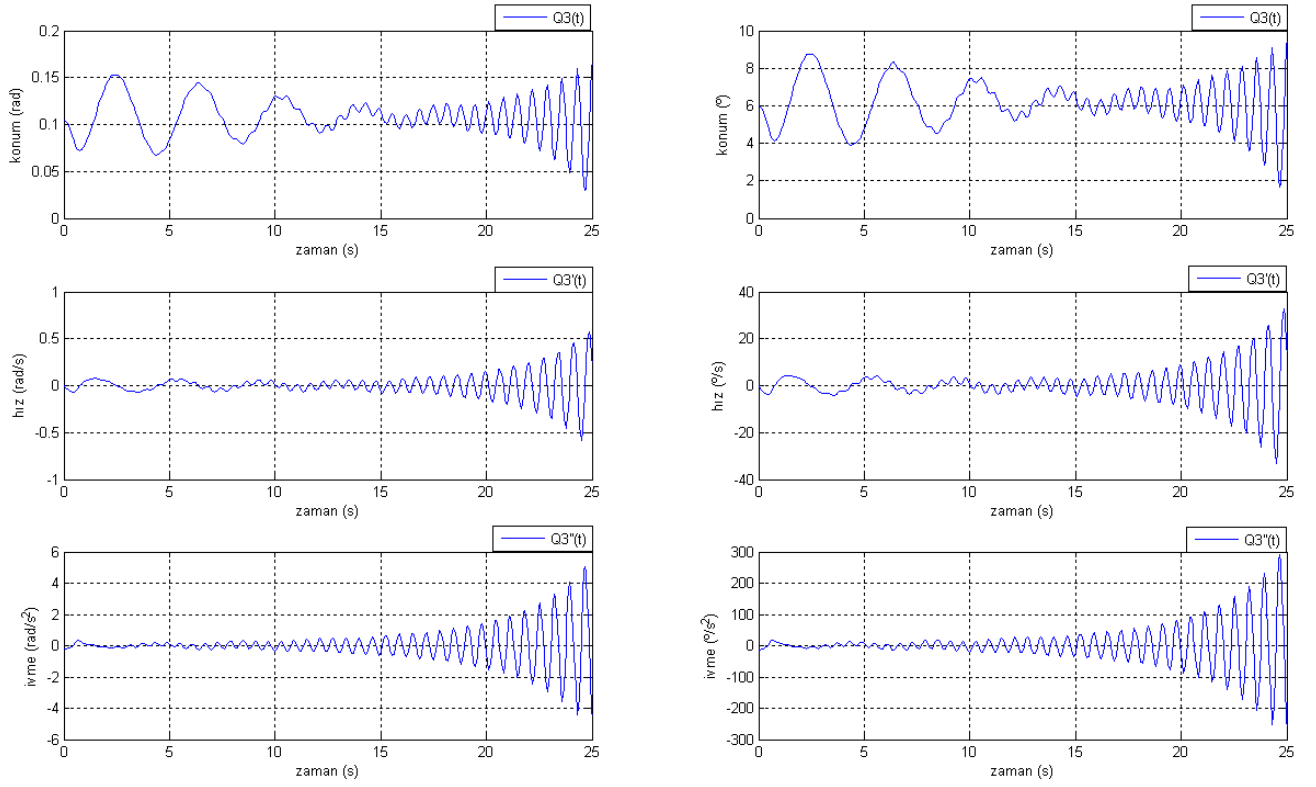
Şekil 8.25 Durum 7 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.26 Durum 7 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.27 Durum 7 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

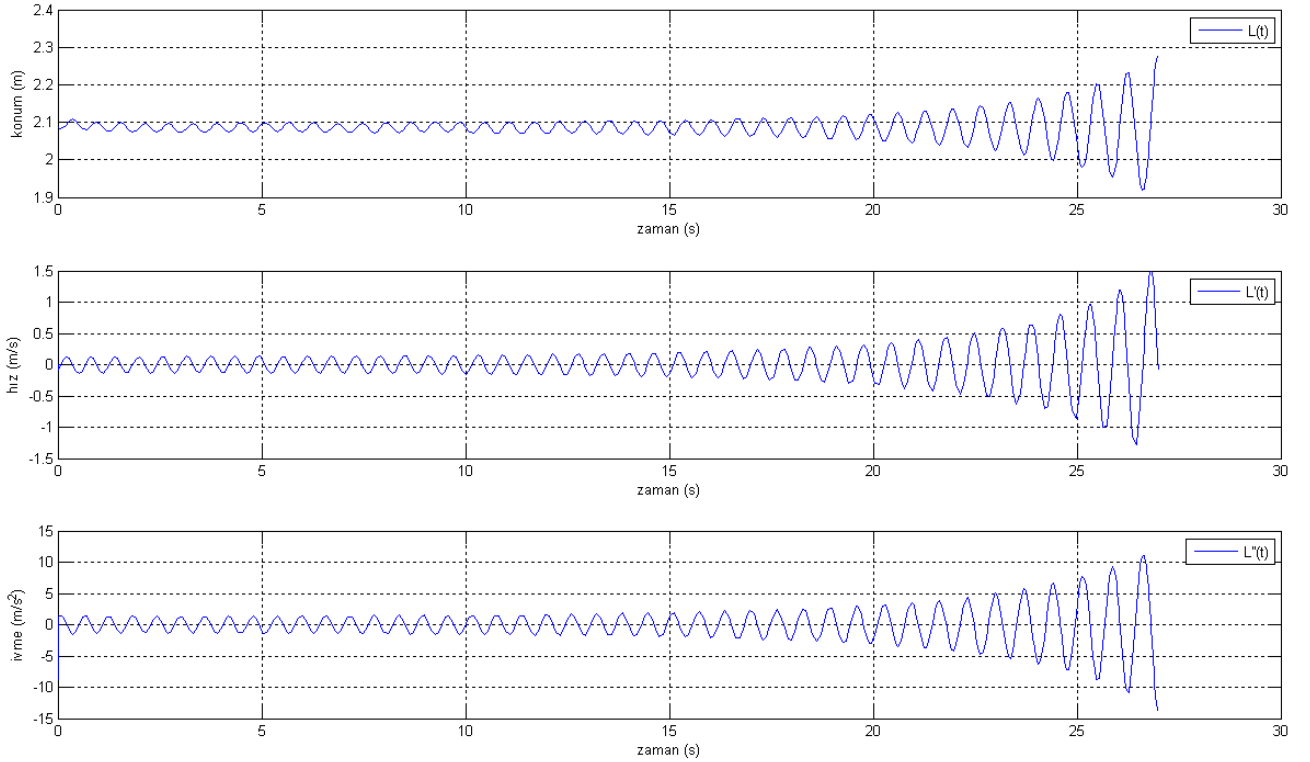


Şekil 8.28 Durum 7 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

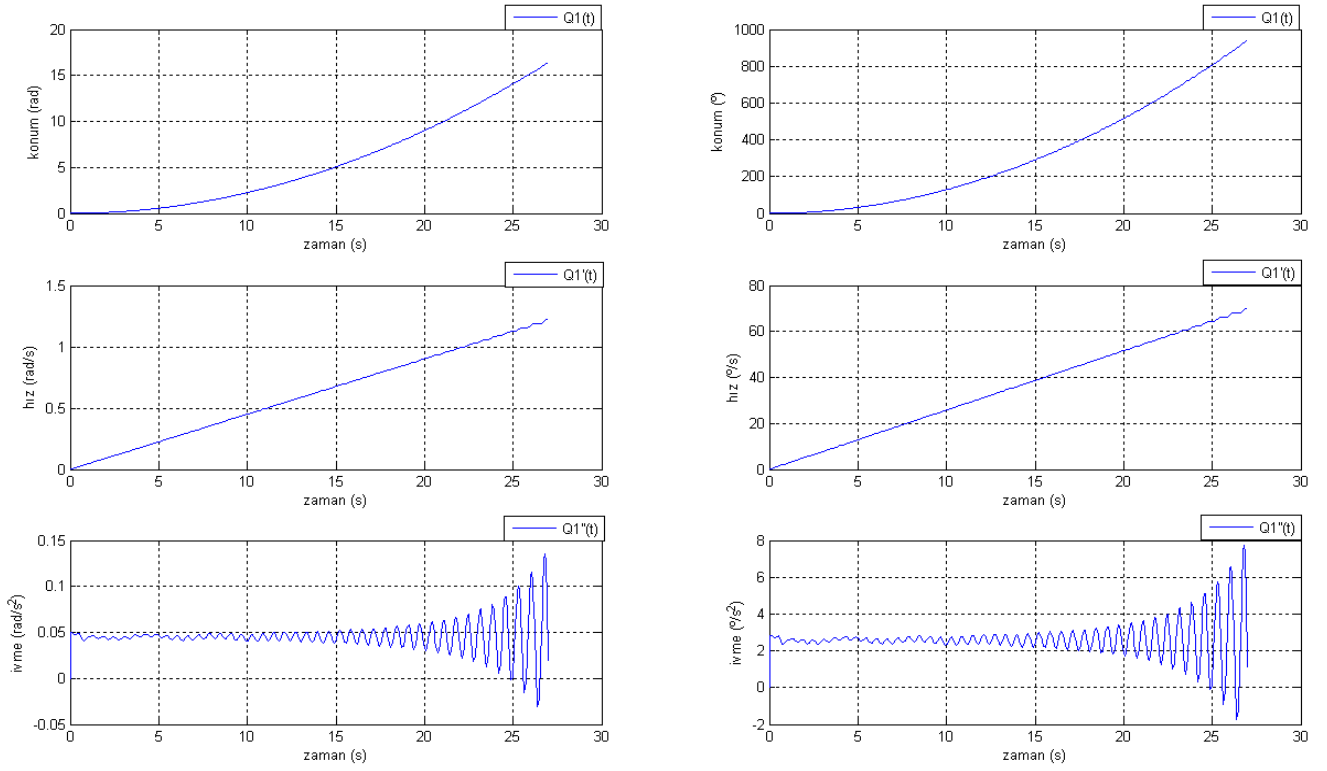
**Durum 8:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

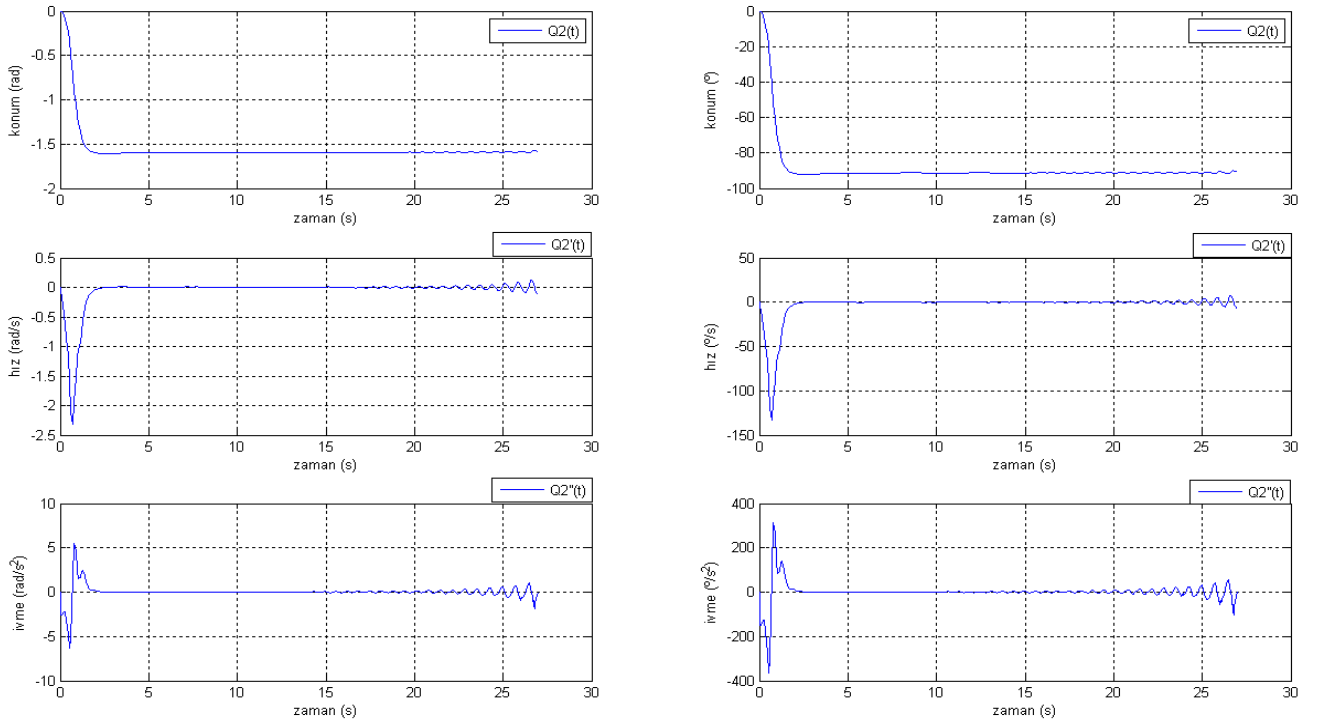
$m_1$	:250	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	( $^\circ$ )
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:28500	( $kg/s^2$ )
$M$	:15000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



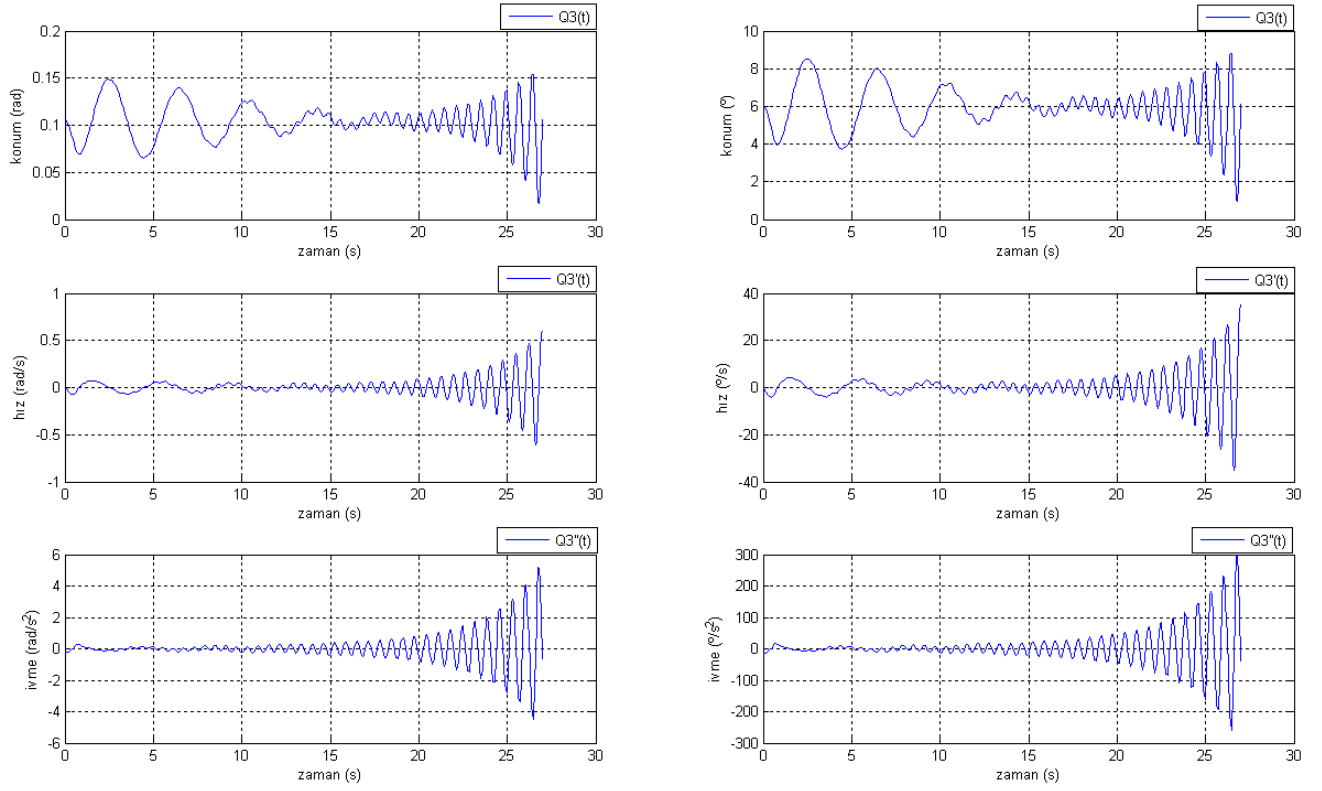
Şekil 8.29 Durum 8 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.30 Durum 8 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.31 Durum 8 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

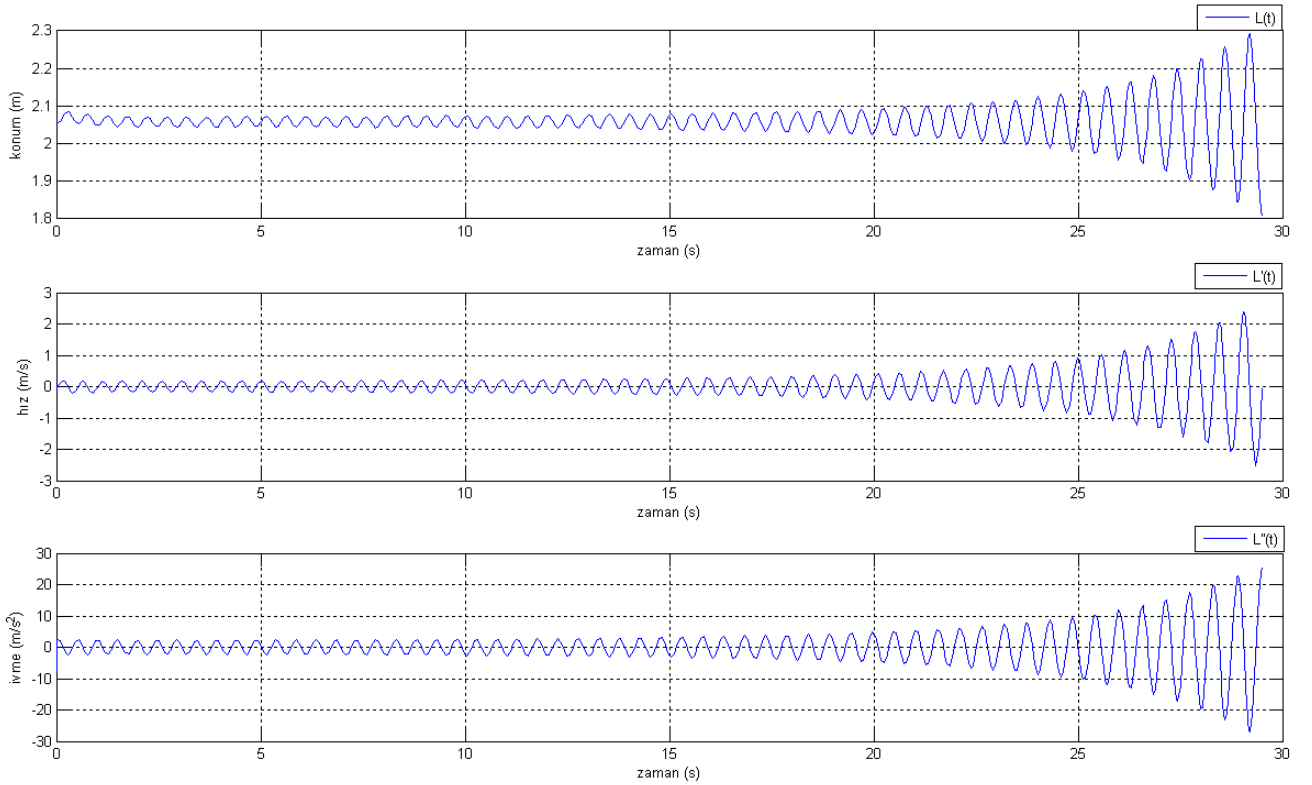


Şekil 8.32 Durum 8 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

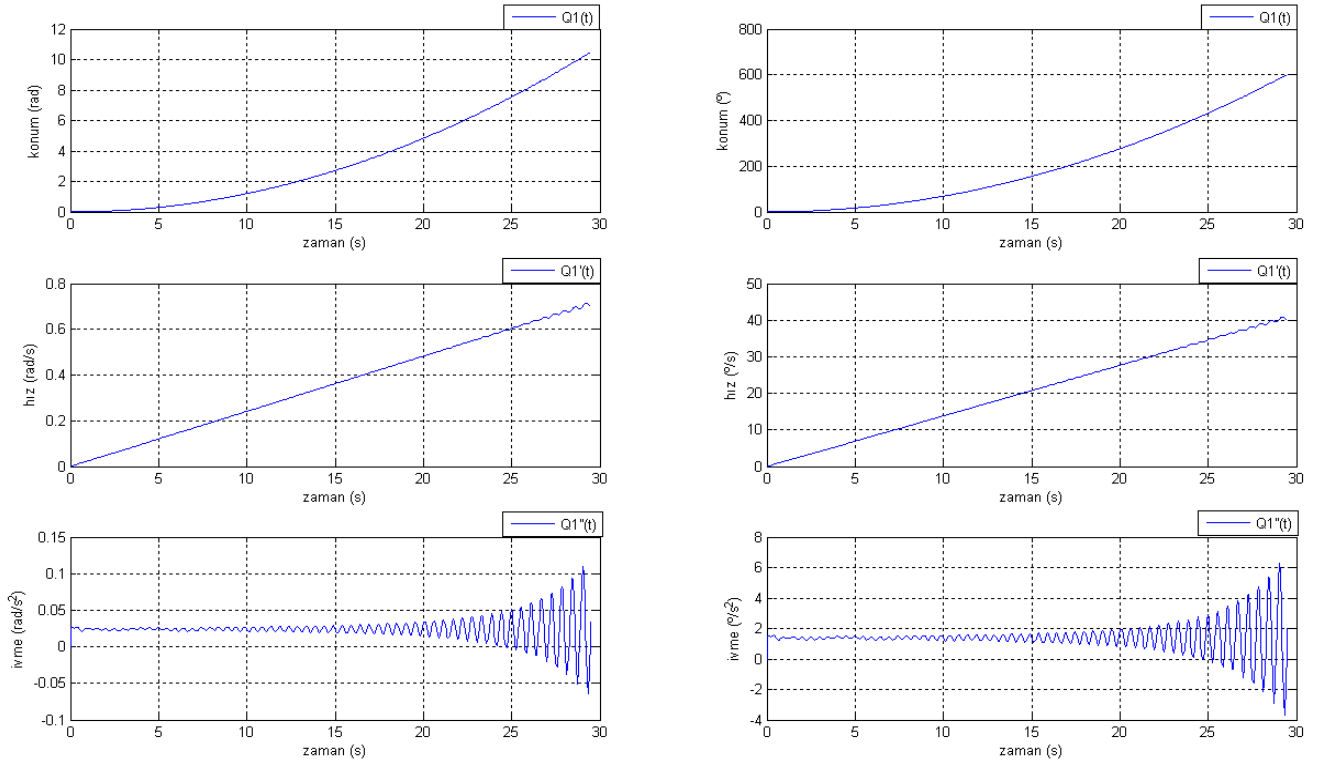
**Durum 9:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

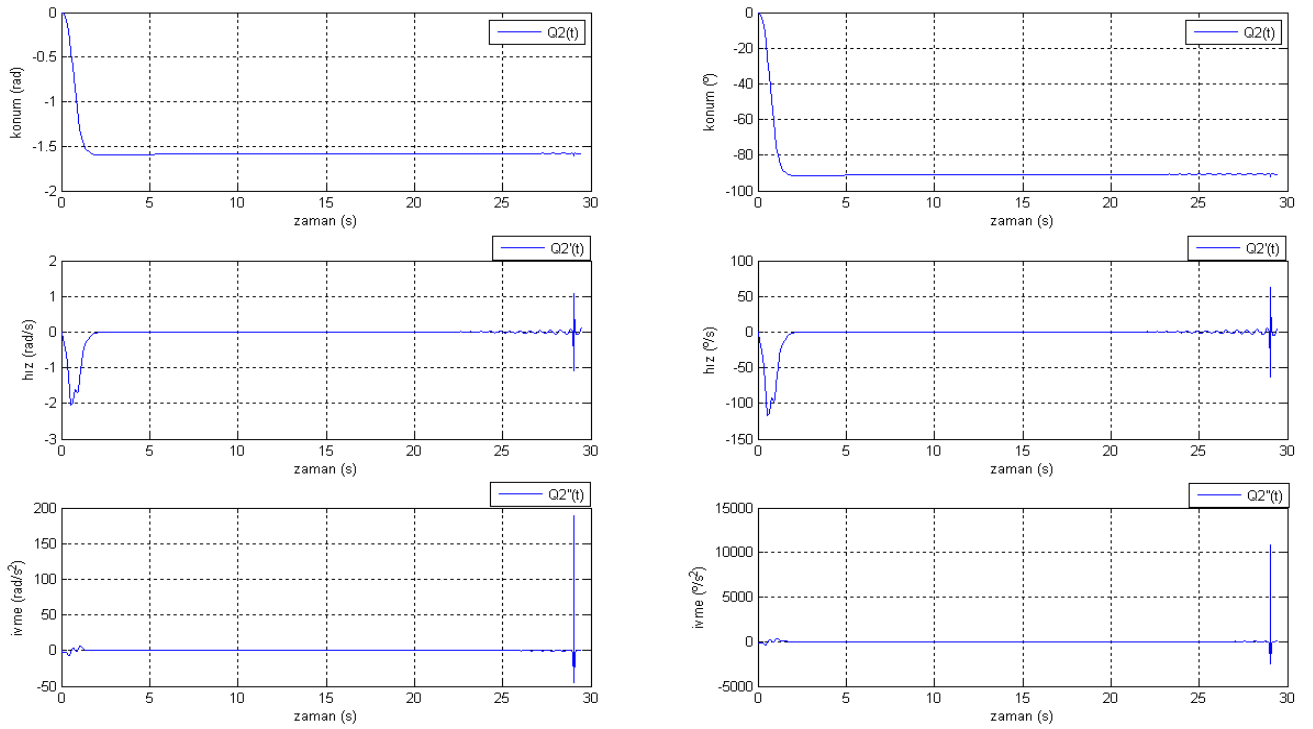
$m_1$	:250	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	( $m/s^2$ )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:105	( $^\circ$ )
$R_1$	:38.15873	(m)
$\alpha$	:0.5906415	(rad)
$R$	:21.25037	(m)
$k$	:42000	( $kg/s^2$ )
$M$	:30000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



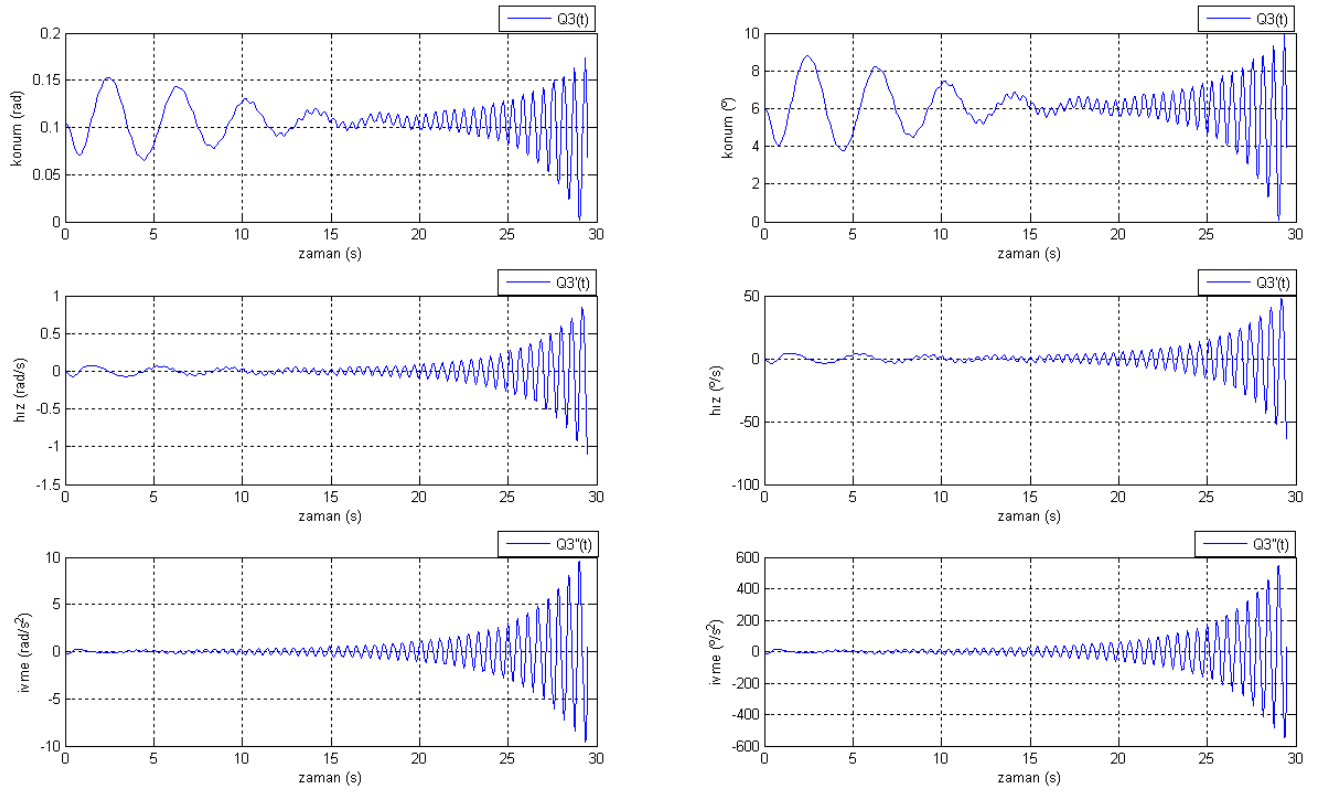
Şekil 8.33 Durum 9 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.34 Durum 9 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.35 Durum 9 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri

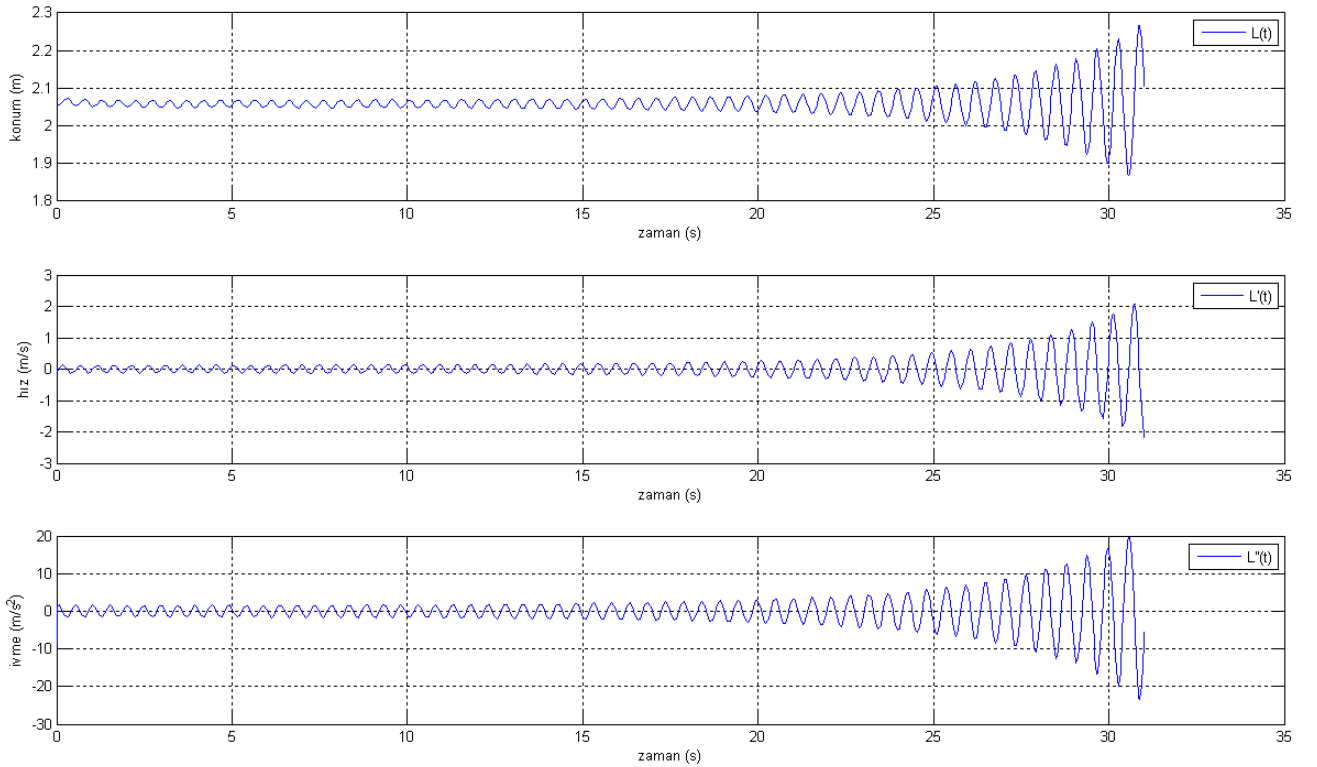


Şekil 8.36 Durum 9 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

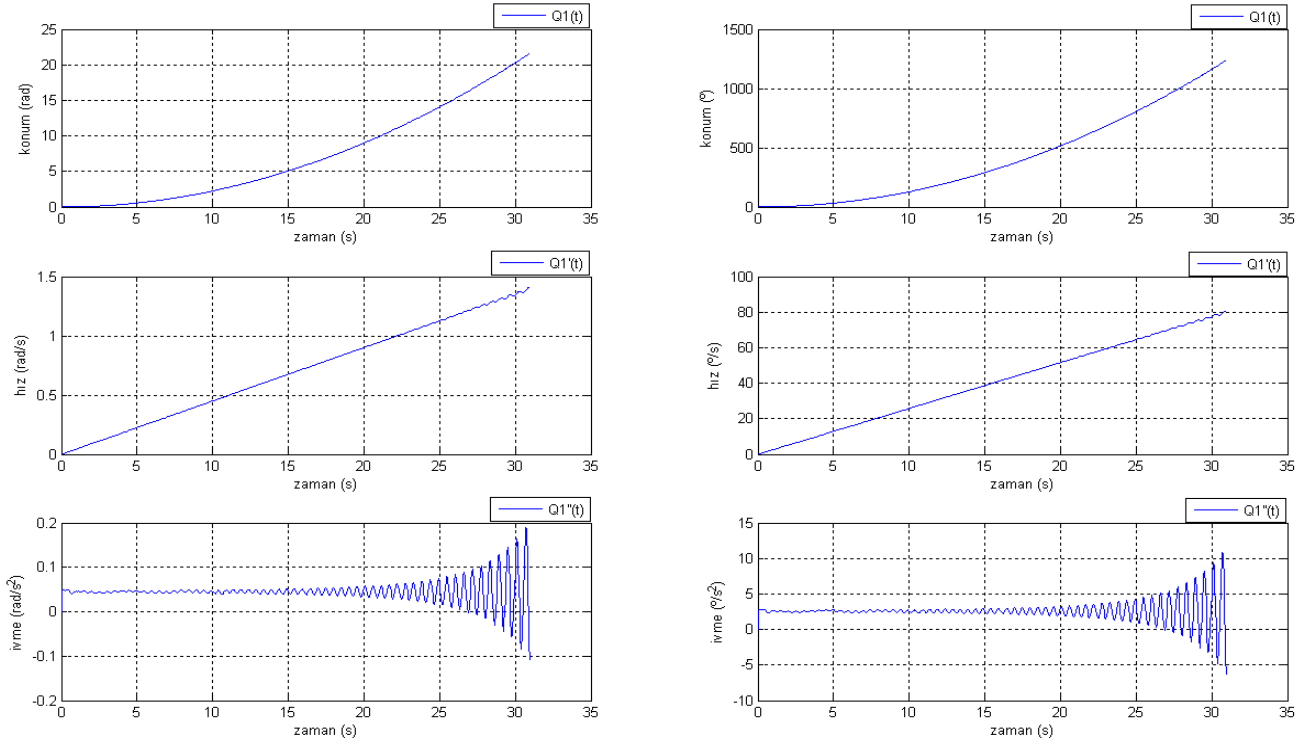
**Durum 10:**

Burada model, parametrelerin aşağıdaki değerleri altında incelenmiştir.

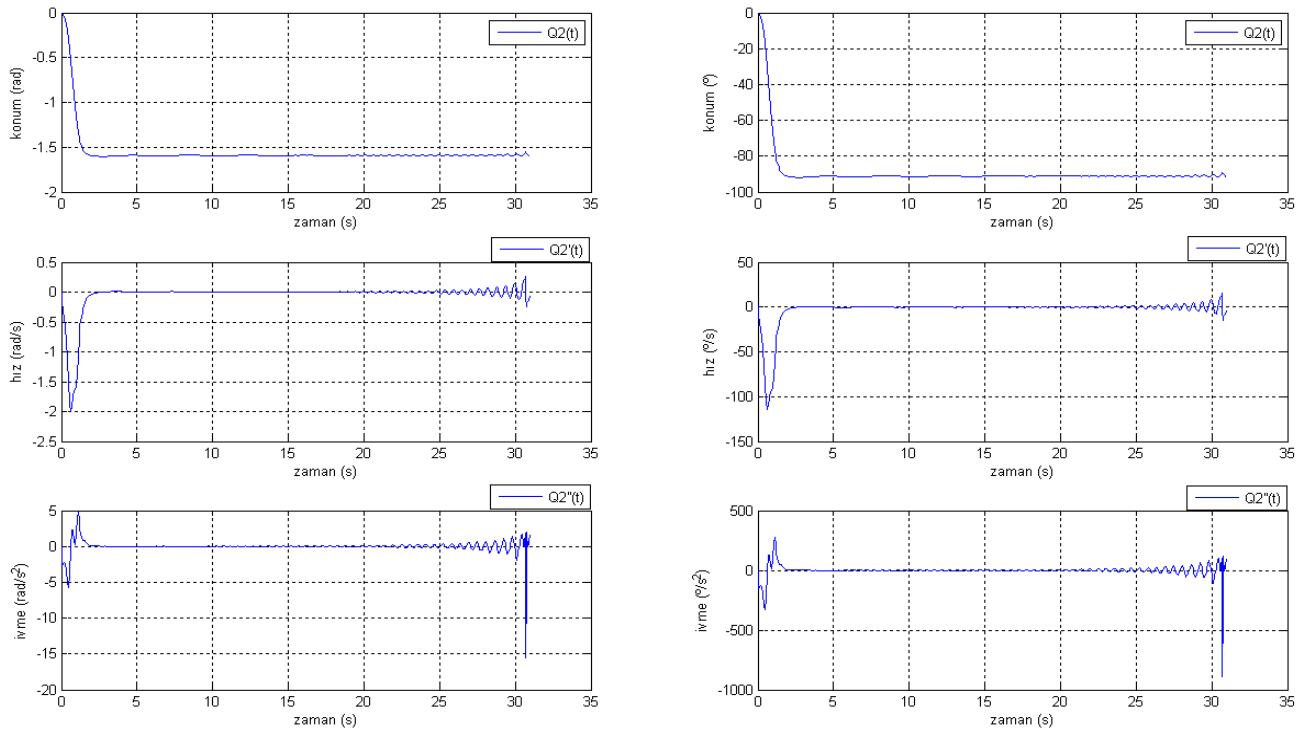
$m_1$	:250	(kg)
$m_2$	:2500	(kg)
$g$	:9.81	(m/s <sup>2</sup> )
$F$	: $m_1 \cdot g$	(N)
$\theta_{bg}$	:150	(°)
$R_1$	:46.376	(m)
$\alpha$	:0.239474	(rad)
$R$	:11	(m)
$k$	:42000	(kg /s <sup>2</sup> )
$M$	:15000	(Nm)
$L_0$	:2	(m)



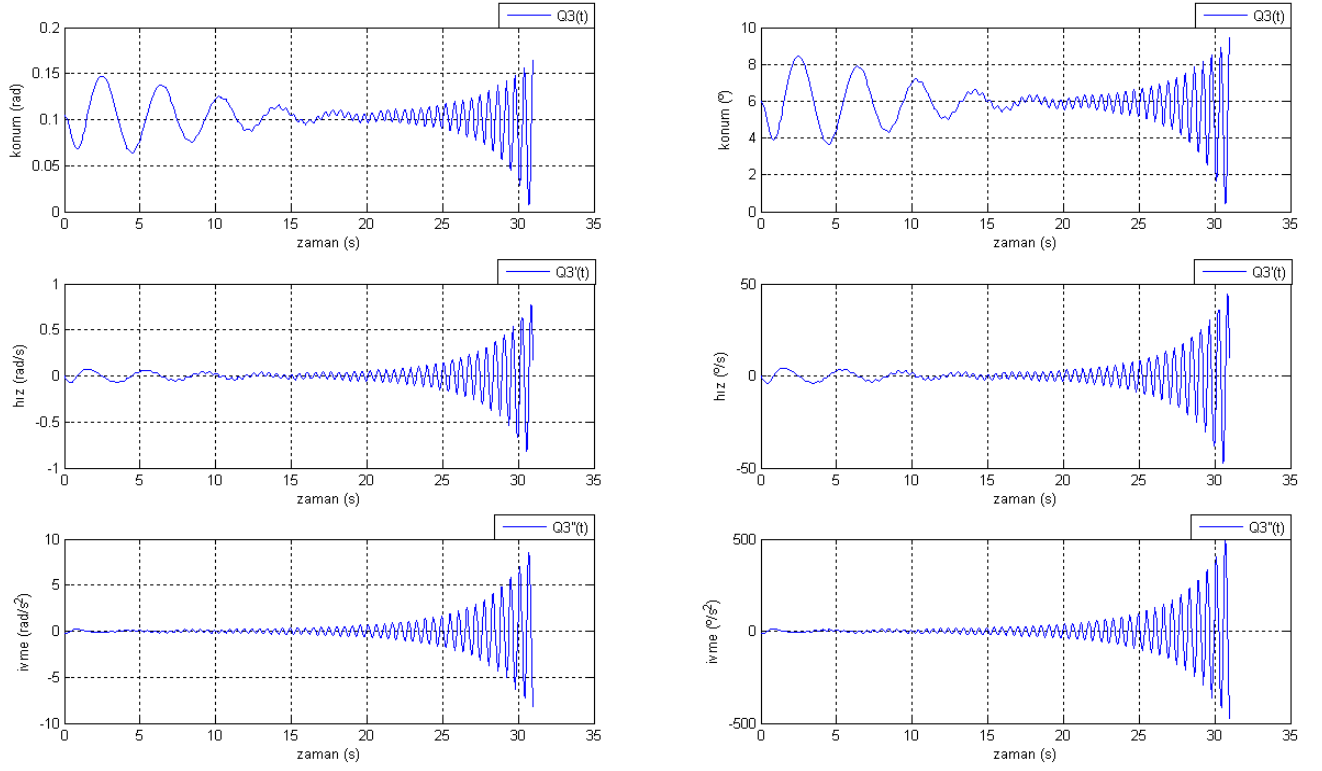
Şekil 8.37 Durum 10 parametreleri altında  $L$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.38 Durum 10 parametreleri altında  $\theta_1$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.39 Durum 10 parametreleri altında  $\theta_2$  değişkeninin karakteristikleri



Şekil 8.40 Durum 10 parametreleri altında  $\theta_3$  değişkeninin karakteristikleri

Çizelge 8.1 10 farklı durumun parametre değerleri ve durumların kıyaslanması

Durum	m1 (kg)	m2 (kg)	Rbum (m)	Rgovde (m)	Qbg(°)	R1(m)	R(m)	g	F	M (Nm)	alpha(°)	k	ΔL(m)	BİRBİRİLERİYLE KİYASLANABİLECEK DURUMLAR	m1'e göre	Qbg'e göre	M'ye göre	k'ya göre																															
1	100	2500	22	26	105	38,15873	21,25	9,81	m1.g	30000	33,84126	28500	0,0344	7	3	***	2																																
2	100				105	38,15873	21,25		m1.g	30000	33,84126	42000	0,0234					9	6	***	1																												
3	100				150	46,376	11		m1.g	30000	13,72085	28500	0,0344									***	1	4	6																								
4	100				150	46,376	11		m1.g	15000	13,72085	28500	0,0344													8	***	3	5																				
5	100				150	46,376	11		m1.g	15000	13,72085	42000	0,0234																	10	***	6	4																
6	100				150	46,376	11		m1.g	30000	13,72085	42000	0,0234																					***	2	5	3												
7	250				105	38,15873	21,25		m1.g	30000	33,84126	28500	0,0861																									1	***	***	9								
8	250				150	46,376	11		m1.g	15000	13,72085	28500	0,0861																													4	***	***	10				
9	250				105	38,15873	21,25		m1.g	30000	33,84126	42000	0,0584																																	2	***	***	7
10	250				150	46,376	11		m1.g	15000	13,72085	42000	0,0584																																				

## 8.2 Grafiklerin Yorumlanması

### 8.2.1 Durum 1 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

Yay karakteristiği sergileyen halat, ucunda asılı olan ( $m_1$ ) yükünün ve (F) kuvvetinin etkisi ile belirli bir süre düzgün bir salınım yaptıktan sonra kararsız bir salınım hareketine başlamış ve sistemin bilgisayar ortamında çalışması durmuştur.

(k) halat uzama katsayısı durum 2'dekinden daha küçük bir değerdir. Bunun sonucunda durum 1'deki halat uzaması durum 2'ye göre daha fazla olmuştur(Şekil 8.1). Halatın titreşim periyodu durum 2'de azalmış, frekansı artmıştır(Şekil 8.5). Ayrıca (k) parametresinin artmasıyla sistem durum 2'de daha geç kararsız hale geçmektedir.

( $\theta_{bg}$ ) açısının durum 3'te artması, açısal hızın artmasına neden olmuştur(Şekil 8.9). Bu yüzden halat titreşimleri durum 1'e göre daha kısa sürede kararsız hale gelmiştir.

( $m_1$ ) kütlelerinin durum 7'de artması ile halat boyundaki uzama miktarı artmıştır(Şekil 8.25). Halatın titreşim periyodu durum 7'de artmış, frekansı azalmıştır. Bu beraberinde sistemin durum 1'dekinden daha erken kararsız hale gelmesine neden olmuştur.

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Sisteme uygulanan (M) momentinin etkisi ile sürekli olarak eğrisel bir artış eğilimi sergilemiştir(Şekil 8.2).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Sisteme uygulanan (M) momentinin oluşturduğu merkez kaç kuvvetinin etkisiyle, moment uygulanan yönün ters yönüne doğru kısa bir sürede  $90^\circ$ 'ye kadar açılmıştır ve o değerde neredeyse sabit kalmıştır(Şekil 8.3). Bilgisayar simülasyonunun durmasına yakın çok düşük bir genlikte yine  $90^\circ$  civarlarında salınmıştır.

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Başlangıç değeri olan  $6^\circ$  itibaren ilk olarak  $4^\circ$  civarlarına kadar azalmış hemen ardından  $10^\circ$ 'ye varmıştır. Buradan itibaren belirli bir süre boyunca genliği azalan bir salınım gerçekleştirmiştir. Salınımın  $6^\circ$  civarlarında durmasına yakın titreşimleri artarak daha dar bir genlikte yüksek bir frekansta salınmaya başlamıştır. Bir süre sonra iyice artan salınımları 36 saniye civarlarında ( $\theta_3$ )= $0^\circ$  değerine ulaşmasıyla bilgisayar ortamında simülasyon

durmuştur(Şekil 8.4).

### 8.2.2 Durum 2 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

(k) halatın uzama katsayısı parametresinin değişimine göre durum 1’de karşılaştırma yapılmıştır(Şekil 8.2).

( $\theta_{bg}$ ) açısının durum 6’da artması açısal hızın artmasına neden olmuştur. Bu yüzden halat titreşimleri durum 2’ye göre daha kısa sürede kararsız hale gelmiştir(Şekil 8.21).

( $m_1$ ) kütlelerinin durum 9’da artması ile halat boyundaki uzama miktarı da artmıştır. Halatın titreşim periyodu durum 9’da artmış, frekansı azalmıştır. Bu beraberinde sistemin durum 2’dekinden daha erken kararsız hale gelmesine neden olmuştur(Şekil 8.33).

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 1’e göre artmasına rağmen durum 1’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.6).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 1’e göre artmasına rağmen durum 1’e benzer bir davranış sergilemiştir. Sonlara doğru yaptığı salınımın genliği biraz daha artmıştır. Hız ve ivme grafiklerinde bu keskin değişimler daha rahat görülmektedir(Şekil 8.7).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 1’e göre artmasıyla durum 1’e göre daha uzun bir sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmıştır(Şekil 8.8).

### 8.2.3 Durum 3 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

$(\theta_{bg})$  kren gövdesi ve yük kolu(bum) arasındaki açı parametresinin değişimine göre durum 1'de karşılaştırma yapılmıştır.

(M) momentinin durum 4'te azalması, açısal hızı azaltmıştır(Şekil 8.13). Durum 3'te sisteme uygulanan momentin daha yüksek değerde olması, sistemin durum 4'dekinden daha erken kararsız hale gelmesine neden olmuştur(Şekil 8.9).

(k) halat uzama katsayısı Durum 6'dakinden daha küçük bir değerdir. Bunun sonucunda durum 3'deki halat uzaması durum 6'ya göre daha fazla olmuştur. Halatın titreşim periyodu durum 6'da azalmış, frekansı artmıştır. Ayrıca (k) parametresinin artmasıyla sistem durum 6'da daha geç kararsız hale geçmektedir(Şekil 8.21).

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişkenin,  $(\theta_{bg})$  kren gövdesi ve yük kolu (bum) arasındaki açı parametresinin durum 1'e göre artması sonucunda aynı moment değeri altında artan açısal hızı nedeniyle durum 1'e göre arttığı gözlemlenmiştir(Şekil 8.10)

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken,  $(\theta_{bg})$  parametresinin durum 1'e göre artmasına rağmen belirli bir süre durum 1'le aynı davranışı sergilemiştir. Fakat durum 1'den daha kısa süren bir seyir sonunda genliği artmaya başlayan salınımlar meydana gelmiştir. Hız ve ivme grafiklerinde bu keskin değişimler daha rahat görülmektedir(Şekil 8.11)

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişken,  $(\theta_{bg})$  parametresinin durum 1'e göre artmasıyla, daha büyük bir genlik değerinde salınmış ve daha kısa bir sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmıştır(Şekil 8.12).

#### 8.2.4 Durum 4 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

##### Değişken halat boyu (L);

(M) moment parametresinin değişimine göre durum 3'de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) halat uzama katsayısı Durum 5'tekinden daha küçük bir değerdir. Bunun sonucunda durum 4'deki halat uzaması durum 5'e göre daha fazla olmuştur(Şekil 8.13). Halatın titreşim periyodu durum 5'te azalmış, frekansı artmıştır(Şekil 8.17). Ayrıca (k) parametresinin artmasıyla sistem durum 5'te daha geç kararsız hale geçmektedir.

( $m_1$ ) kütlelerinin durum 8'de artması ile halat boyundaki uzama miktarı ve halatın salınım periyodu artmış ve buna ters orantılı olarak da frekansı azalmıştır. Durum 8'de sistem durum 4'tekinden daha erken kararsız hale gelmektedir(Şekil 8.29).

##### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişkenin, (M) moment parametresinin durum 3'e göre azalması sonucunda aynı ( $\theta_{bg}$ ) değeri altında azalan açısal hızı nedeniyle durum 3'e göre azaldığı gözlemlenmiştir(Şekil 8.14).

##### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, (M) moment parametresi durum 3'e göre azalmasına rağmen belirli bir süre durum 3'le aynı davranışı sergilemiştir(Şekil 8.11). Durum 3'den daha uzun süren bir seyir sonunda genliği artan salınımlar oluşmaya başlamıştır. Hız ve ivme grafiklerinde bu keskin değişimler daha rahat görülmektedir(Şekil 8.15).

##### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişken, (M) moment parametresinin durum 3'e göre azalması sonucunda daha küçük bir genlik değerinde salınmış ve daha uzun bir sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmıştır(Şekil 8.16).

### 8.2.5 Durum 5 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

(k) halatın uzama katsayısı parametresinin değişimine göre durum 4’de karşılaştırma yapılmıştır.

(M) momentinin durum 6’te artması, açısal hızı arttırmıştır(Şekil 8.17). Durum 5’te sisteme uygulanan momentin daha düşük değerde olması, sistemin durum 6’dekinden daha geç kararsız hale gelmesini sağlamıştır(Şekil 8.21).

( $m_1$ ) kütlelerinin durum 10’da artması ile halat boyundaki uzama miktarı ve halatın salınım periyodu artmış ve buna ters orantılı olarak da frekansı azalmıştır. Durum 10’da sistem durum 5’tekinden daha erken kararsız hale gelmektedir(Şekil 8.37).

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 4’e göre artmasına rağmen durum 4’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.18).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısı durum 4’e göre artmasına rağmen durum 4’e benzer bir davranış sergilemiştir. Durum 4’den daha uzun süren bir seyir sonunda genliği artan salınımlar oluşmaya başlamıştır(Şekil 8.19).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 4’e göre artmasıyla durum 4’e göre daha uzun bir sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmıştır(Şekil 8.20).

### 8.2.6 Durum 6 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

( $\theta_{bg}$ ) kren gövdesi ve yük kolu(bum) arasındaki açı parametresinin değişimine göre durum 2’de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) halatın uzama katsayısı parametresinin değişimine göre durum 3’de karşılaştırma yapılmıştır.

(M) moment parametresinin değişimine göre durum 5’te karşılaştırma yapılmıştır.

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişkenin, (M) moment parametresinin durum 5’e göre artması sonucunda aynı ( $\theta_{bg}$ ) değeri altında artan açısal hızı nedeniyle durum 5’e göre arttığı gözlemlenmiştir(Şekil 8.22).

( $\theta_{bg}$ ) parametresinin durum 2’ye göre artması aynı (M) moment değeri altında bu değişkenin çok daha fazla artmasına sebep olmuştur(Şekil 8.22).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, (M) momenti durum 5’e göre artmasına rağmen durum 5’e benzer bir davranış sergilemiştir. Durum 5’den daha kısa süren bir seyir sonunda genliği biraz daha yüksek bir salınım yapmaya başlamıştır. Hız ve ivme grafiklerinden bu farklılıklar daha rahat görülebilir(Şekil 8.23).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişken, (M) moment parametresinin durum 5’e göre artması sonucunda daha büyük bir genlik değerinde salınmış ve daha kısa sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmıştır(Şekil 8.24).

( $\theta_{bg}$ ) parametresinin durum 2’ye göre artması aynı (M) moment değeri altında bu değişkenin genliğini arttırmış ve daha kısa sürede  $0^\circ$  değerine ulaşmasına sebep olmuştur(Şekil 8.24).

### 8.2.7 Durum 7 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

( $m_1$ ) halat ucuna asılı yük parametresinin değişimine göre durum 1’de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) halat uzama katsayısı Durum 9’dakinden daha küçük bir değerdir(Şekil 8.25). Bunun sonucunda durum 7’deki halat uzaması durum 9’e göre daha fazla olmuştur. Halatın titreşim periyodu durum 9’da azalmış, frekansı artmıştır(Şekil 8.33). Ayrıca (k) parametresinin artmasıyla sistem durum 9’da daha geç kararsız hale geçmektedir.

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 1’e göre artmasına rağmen durum 1’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.26).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 1’e göre artmasına rağmen durum 1’e benzer bir davranış sergilemiştir. Sistem simülasyon zamanının sonlarına doğru durum 1’e göre daha yüksek genlikte salınımlar yapmaya başlamıştır(Şekil 8.27).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişkenin genliği ( $m_1$ ) parametresinin durum 1’e göre artması sonucunda başlangıçta çok az miktarda azalmıştır. Durum 1’e göre salınımdaki düzensizlik daha erken başlamış ve genlik tekrar artmıştır. Bununla birlikte  $0^\circ$  değerine daha kısa sürede ulaşmıştır(Şekil 8.28).

### 8.2.8 Durum 8 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

( $m_1$ ) halat ucuna asılı yük parametresinin değişimine göre durum 4’de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) yay sönüm katsayısı Durum 10’dakinden daha küçük bir değerdir(Şekil 8.29). Bunun sonucunda durum 8’deki halat uzaması durum 10’a göre daha fazla olmuştur. Halatın titreşim periyodu durum 10’da azalmış, frekansı artmıştır. Ayrıca (k) parametresinin artmasıyla sistem durum 10’da daha geç kararsız hale geçmektedir(Şekil 8.37).

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenini ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 4’e göre artmasına rağmen durum 4’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.30).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 4’e göre artmasına rağmen durum 4’e benzer bir davranış sergilemiştir. Sistem simülasyon zamanının sonlarına doğru durum 4’e göre daha yüksek genlikte salınımlar yapmaya başlamıştır(Şekil 8.31).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenini ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişkenin genliği ( $m_1$ ) parametresinin durum 4’e göre artması sonucunda başlangıçta çok az miktarda azalmıştır. Durum 4’e göre salınımdaki düzensizlik daha erken başlamış ve genlik tekrar artmıştır. Bununla birlikte  $0^\circ$  değerine daha kısa sürede ulaşmıştır(Şekil 8.32).

### 8.2.9 Durum 9 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

( $m_1$ ) halat ucuna asılı yük parametresinin değişimine göre durum 2'de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) halatın uzama katsayısı parametresinin değişimine göre durum 7'de karşılaştırma yapılmıştır.

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 2'ye göre artmasına rağmen durum 2'ye benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.34).

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 7'ye göre artmasına rağmen durum 7'ye benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.34).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken, ( $m_1$ ) parametresi durum 2'ye göre artmasına rağmen durum 2'ye benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.35).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişkenin genliği ( $m_1$ ) parametresinin durum 2'ye göre artması sonucunda başlangıçta çok az miktarda azalmıştır. Durum 2'ye göre salınımdaki düzensizlik daha erken başlamış ve genlik tekrar artmıştır. Bununla birlikte  $0^\circ$  değerine daha kısa sürede ulaşmıştır(Şekil 8.36).

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 7'ye göre artmasıyla  $0^\circ$  değerine daha uzun sürede ulaşmıştır(Şekil 8.36).

### 8.2.10 Durum 10 Parametrelerine Göre Değişkenlerin Yorumlanması

#### Değişken halat boyu (L);

$(m_1)$  halat ucuna asılı yük parametresinin değişimine göre durum 5’de karşılaştırma yapılmıştır.

(k) halatın uzama katsayısı parametresinin değişimine göre durum 8’de karşılaştırma yapılmıştır.

#### Kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümünün x eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_1$ );

Bu değişken,  $(m_1)$  parametresi durum 5’e göre artmasına rağmen durum 5’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.38).

Bu değişken, (k) halat uzama katsayısının durum 8’e göre artmasına rağmen durum 8’e benzer bir davranış sergilemiştir(Şekil 8.38).

#### Yükün asılı bulunduğu halatın x-y düzlemindeki izdüşümünün kren kolunun x-y düzlemindeki izdüşümüyle yaptığı açı ( $\theta_2$ );

Bu değişken,  $(m_1)$  parametresi durum 5’e göre artmasına rağmen durum 5’e benzer bir davranış sergilemiştir. Durum 5’den daha kısa süren bir seyir sonunda genliği önceki seyrine göre yüksek genlikte bir salınım yapamaya başlamıştır. Hız ve ivme grafiklerinden bu farklılıklar daha rahat görülebilir(Şekil 8.39).

#### Yükün asılı olduğu halatın z eksenine ile yaptığı açı ( $\theta_3$ );

Bu değişkenin genliği,  $(m_1)$  parametresinin durum 5’e göre artması sonucunda başlangıçta çok az miktarda azalmıştır. Durum 5’e göre salınımdaki düzensizlik daha erken başlamış ve genlik tekrar artmıştır. Bununla birlikte  $0^\circ$  değerine daha kısa sürede ulaşmıştır(Şekil 8.40).

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fiziksel model olarak seçilen ve genel yapısından bölüm 7'de bahsedilen kule tipi kren modelinde, ( $m_2$ ) yük kolu(bum) kütlesi 2500kg, ( $R_b$ ) yük kolu(bum) uzunluğu 22m, ( $R_g$ ) uzunluğu 26m olarak kabul edilmiştir. 4 serbestlik dereceli model, ( $L$ ), ( $\theta_1$ ), ( $\theta_2$ ) ve ( $\theta_3$ ) ifadelerinin konum, hız ve ivme değişkenleri, bazı parametrelere farklı değerler verilerek oluşturulan 10 farklı durum için Matlab-Simulink programına bilgisayar ortamına açık çevrim olarak sürülüp simüle edilmiştir.

Burada duruş hassasiyetinin minimize edilmesi amacıyla seçilen bazı parametrelerin diğer parametrelerin değişmesiyle sistem üzerinde oluşturdukları etkinin nasıl bir çizgide seyrettiği gözlemlenmiştir.

Halatın rijit değil aksine bir yay karakteristiği sergilediği kabul edilmiştir. ( $L$ ) değişken halat boyu, seçilen ( $k$ ) halat uzama katsayısı parametresi yardımıyla halatın esnemesi sayesinde belirli sınırlar içerisinde tutulabilmesine rağmen, duruş hassasiyetini en aza indirmekte tek başına yeterli olmadığı görülmüştür. ( $M$ ) moment, ( $m_1$ ) kütlesi ve ( $\theta_{bg}$ ) açısının değişimleri de halat boyunun değişimine etki etmiştir.

( $\theta_1$ ) açısı daha çok ( $M$ ) döndürme momenti ve ( $\theta_{bg}$ ) açısı parametrelerinin değişimiyle değişkenlik göstermiştir. Momentin artması bu açının konumunu hızını ve ivmesini arttırmıştır. Aynı şekilde ( $\theta_{bg}$ ) açısının artması aynı moment altında bu açının artmasına sebep olmuştur.

( $\theta_2$ ) açısı, sisteme ( $M$ ) momentinin uygulanması ile oluşan merkez kaç kuvveti ile momentin etki ettiği yöne ters yönde  $90^\circ$  civarlarına kadar açılıp sabitlendiği görülmüştür.

( $\theta_3$ ) açısı ( $\theta_1$ ) ve ( $\theta_2$ ) açısından farklı olarak başlangıçta  $0^\circ$  olarak değil,  $6^\circ$  olarak alınmıştır. Sistemin dinamik davranış denklemlerinden de görüleceği üzere bu açının  $0^\circ$  olması bazı ifadeleri tanımsız hale getirdiğinden, bilgisayar ortamında yapılan çözümlerinde sorun yaratmaktadır. Bu koşullar altında incelendiğinde ( $\theta_3$ ) açısının yaptığı salınımların genliğinin bir süre boyunca giderek azaldığı ve dengeye oturmaya yakın, tekrar süratli bir şekilde kararsız hale doğru geçtiği görülmektedir.  $0^\circ$ 'ye yaklaştığında ise tanımsız hale gelen ifadeler yüzünden bilgisayar ortamındaki simülasyonun durduğu açıkça gözlenmektedir. Bu durum halatın ve ucunda asılı olan ( $m_1$ ) kütlesinin x-y düzlemindeki izdüşümlerinin bir sarkaç karakteristiği sergilemesinden kaynaklanmaktadır. ( $\theta_3$ ) açısı  $0^\circ$ 'ye ulaştığında sarkaç kolunun boyu 0 m'ye inmektedir. Böyle bir sarkaç gerçekte mümkün olmayacağından

denklemlerdeki ifadelerden ortaya çıkan tanımsızlıklar sistemin simülasyonunun durmasına sebep olmaktadır. Fakat yine gerçek bir krende  $(\theta_3)$  açısının  $0^\circ$ 'ye ulaşması krenin çalışmasını durdurmayacaktır. Grafiklerde görülen sistem cevaplarının kısa bir süre sonra hızlı bir şekilde iraksaması modelin açık çevrim ile bilgisayar ortamına sürülmüş olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, krenin bilgisayar ortamında çalışılacak modeli oluşturulurken benimsenen modelleme tekniği, durum değişkenlerinin kabulü gibi faktörler benzetim çalışması esnasında ortaya çıkan sonuçların üzerinde etkili olmuştur. Bu tür yapılarda duruş hassasiyetinin minimize edilebilmesi için sistemin kapalı çevrim olarak sürülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu konu üzerine ileride yapılacak çalışmalarda tüm bu faktörlerin göz önüne alınmasının faydalı olacağı fikrindeyim.

**KAYNAKLAR**

- Akkurt, M., ve Savcı, M., (1972), Makina Elemanları, Şirketi Mürettebiye Basımevi, İstanbul.
- Arıtan, T., ve Aslan, R., (1992), Çözümlü Kaldırma Makinaları Problemleri, İTÜ Denizcilik Yüksek Okulu Yayını, İstanbul
- Arıtan, T.,ve Köktürk, U., (1973), Kaldırma ve Taşıma Makinaları 1, 2, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul
- Aslan, R., (2007), Transport Tekniği Problemleri, Yapım Tanıtım Yayıncılık, İstanbul.
- Boğoçlu, M.E., Kule Vinçleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Boğoçlu, M.E., Sağırılı A., Azeloğlu O., Transport Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Demirsoy, M., (1995), Kaldırma Makinaları, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No.113, 3.Baskı, İzmir.
- Demirsoy, M., (1998), Transport Tekniği 1, 3.Baskı, Birsen Yayımevi, İstanbul.
- Demirsoy, M., ve Demirsoy, M., (2005), Kaldırma Makinaları(Krenler), Altındağ Grafik Matbaacılık, İzmir.
- Dosdoğru, G., Kaldırma Makinaları, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- İmrak, C.E., Kurt, S., Gerdemeli, İ., Erdil, A.B., ve Özer, D., (2007), Kaldırma İletme Makinaları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.
- İmrak, C.E., ve Fetvacı, M.C., (2004), “Krenlerin(Vinçlerin) Periyodik Koruyucu Bskım Esasları, Mühendis ve Makine, Cilt 45, Sayı 538, s. 34-40.
- Öztepe, H., (1999), Transport Tekniği-Kaldırma ve Taşıma Makinaları, Eğitim Matbaası, İstanbul.
- Tahralı, N., Kaya, F., Yüksek, İ., ve Güçlü, R., (2007), Makine Dinamiği, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- Young, S., University Physics, Addison-Wesley Publishing Company, USA
- [www.madehow.com](http://www.madehow.com)
- [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [www.vansoncranes.com](http://www.vansoncranes.com)

**EKLER**

- Ek 1 Kren modeli dinamik davranış denklemlerinin Matlab–Simulink ortamına aktarılmaya hazır yazılışları
- Ek 2 Sistemin Matlab-Simulink ortamındaki blok diyagramı
- Ek 3 Denklemlerin Mathematica programında yazımı

**Ek 1 Kren modeli dinamik davranış denklemlerinin MATLAB–Simulink ortamına aktarılmaya hazır yazılışları**

$$L = u[1], \quad \dot{L} = u[2], \quad \ddot{L} = u[11] \quad F = u[9]$$

$$\theta_1 = u[3], \quad \dot{\theta}_1 = u[4], \quad \ddot{\theta}_1 = u[12] \quad M = u[10]$$

$$\theta_2 = u[5], \quad \dot{\theta}_2 = u[6], \quad \ddot{\theta}_2 = u[13]$$

$$\theta_3 = u[7], \quad \dot{\theta}_3 = u[8], \quad \ddot{\theta}_3 = u[14]$$

**1.denklem**

$$\ddot{L} = u[11] = R \cdot \cos(u[5]) \cdot \sin(u[7]) - R \cdot \sin(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[8] - g \cdot (1 - \cos(u[7])) - (k/m1) \cdot (u[1] - L0) + u[9]/m1 - R \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[12]$$

**2.denklem**

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_1 = u[12] = & (1 / ((R^2 + (u[1])^2 \cdot (\sin(u[7]))^2 + 2 \cdot R \cdot \\ & u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[5])) + m2 \cdot R^2 / m1)) \cdot (R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot (u[6])^2 + \\ & R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[8]^2 + 2 \cdot R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[6] - \\ & 2 \cdot u[1] \cdot (R \cdot \cos(u[5]) \cdot \cos(u[7]) + u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[7])) \cdot u[4] \cdot u[8] - \\ & 2 \cdot (u[1] \cdot (\sin(u[7]))^2 + 2 \cdot R \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[5])) \cdot u[4] \cdot u[2] - \\ & 2 \cdot u[1] \cdot (R \cdot \cos(u[5]) \cdot \cos(u[7]) + u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[7])) \cdot u[6] \cdot u[8] - 2 \cdot (u[1] \cdot (\sin(u[7]))^2 \\ & + R \cdot \cos(u[5]) \cdot \sin(u[7])) \cdot u[6] \cdot u[2] - 2 \cdot R \cdot \sin(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[2] \cdot u[8] + (u[10]/m1) - \\ & R \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[11] - ((u[1])^2 \cdot (\sin(u[7]))^2 + R \cdot u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[5])) \cdot u[13] - \\ & R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[14]) \end{aligned}$$

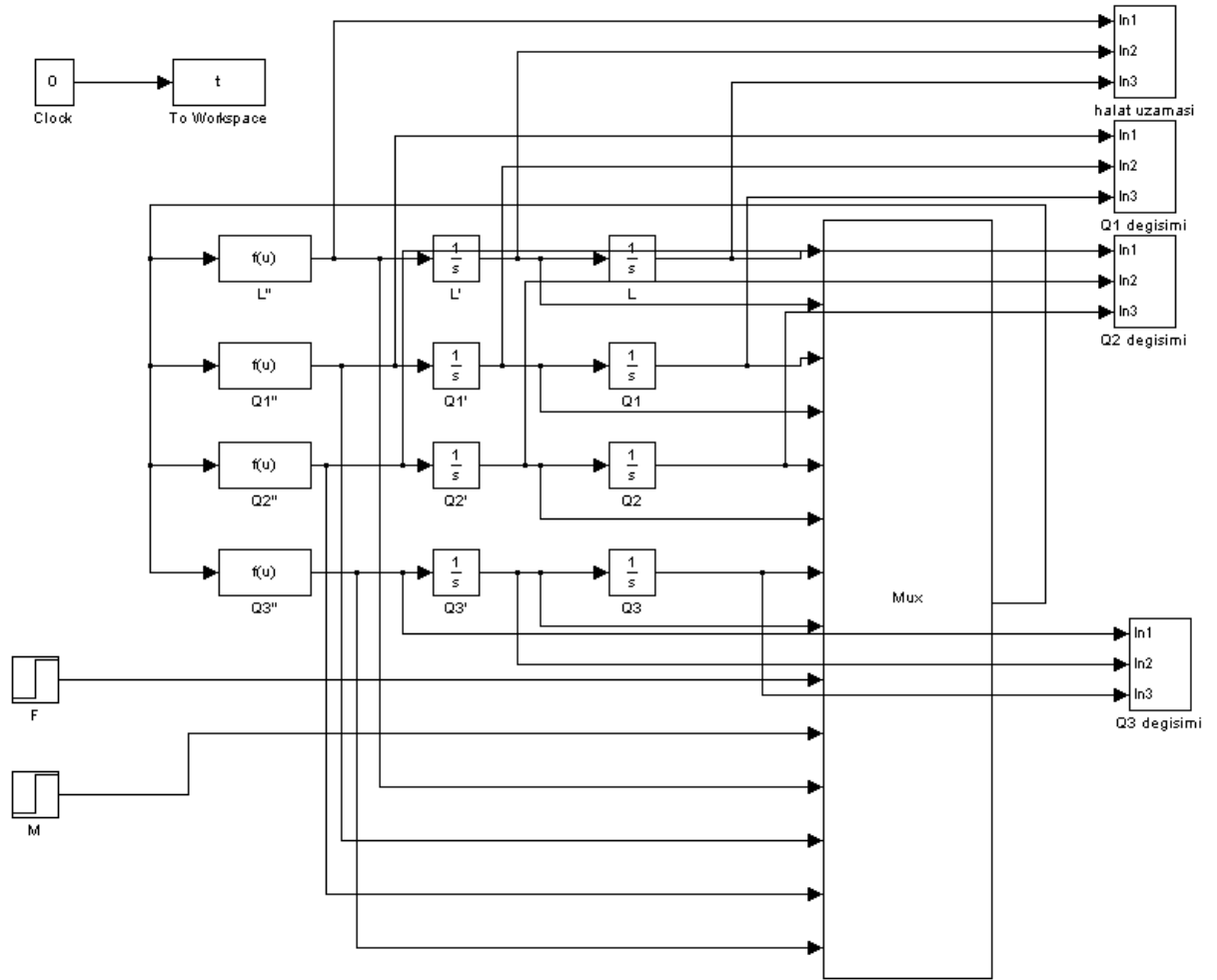
**3.denklem**

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_2 = u[13] = & (1 / ((u[1])^2 \cdot (\sin(u[7]))^2)) \cdot (R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[6] - \\ & u[1] \cdot (R \cdot \cos(u[5]) \cdot \cos(u[7]) + 2 \cdot u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[7])) \cdot u[4] \cdot u[8] - \\ & (2 \cdot u[1] \cdot (\sin(u[7]))^2 + R \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[5])) \cdot u[2] \cdot u[4] - 2 \cdot (u[1])^2 \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[7]) \cdot \\ & u[6] \cdot u[8] - 2 \cdot u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot u[2] \cdot u[6] - \\ & ((u[1])^2 \cdot (\sin(u[7]))^2 + R \cdot u[1] \cdot \sin(u[7]) \cdot \cos(u[5])) \cdot u[12]) \end{aligned}$$

**4.denklem**

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_3 = u[14] = & (1 / (u[1])^2) \cdot (-R \cdot u[1] \cdot \cos(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[6] + R \cdot \\ & u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \sin(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[8] - R \cdot \sin(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[4] \cdot u[2] - 2 \cdot u[1] \cdot u[8] \cdot u[2] - \\ & g \cdot \sin(u[7]) - R \cdot u[1] \cdot \sin(u[5]) \cdot \cos(u[7]) \cdot u[12]). \end{aligned}$$

## Ek 2 Sistemin Matlab-Simulink ortamındaki blok diyagramı



### Ek 3 Denklemlerin Mathematica programında yazımı

**SetAttributes**[{R, R1, m1, m2, k, g, L0, a}, Constant]

**Q1**[t]

Q1[t]

**Q2**[t]

Q2[t]

**Q3**[t]

Q3[t]

**L**[t]

L[t]

**X2**[t] = R\*Cos[Q1[t]]

R Cos[Q1[t]]

**X2'** = Dt[X2[t], t]

-R Sin[Q1[t]] Q1'[t]

**Y2**[t] = R\*Sin[Q1[t]]

R Sin[Q1[t]]

**Y2'** = Dt[Y2[t], t]

R Cos[Q1[t]] Q1'[t]

**Z2**[t] = R1 \*Cos[a]

R1 Cos[a]

**Z2'** = Dt[Z2[t], t]

0

$$\mathbf{X1[t] = X2[t] + L[t] * Sin[Q3[t]] * Cos[Q1[t] + Q2[t]}$$

$$R Cos[Q1[t]] + Cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] Sin[Q3[t]]$$

$$\mathbf{Y1[t] = Y2[t] + L[t] * Sin[Q3[t]] * Sin[Q1[t] + Q2[t]}$$

$$R Sin[Q1[t]] + L[t] Sin[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]]$$

$$\mathbf{Z1[t] = Z2[t] - L[t] * Cos[Q3[t]}$$

$$R1 Cos[a] - Cos[Q3[t]] L[t]$$

$$\mathbf{X1' = Dt[X1[t], t]}$$

$$\begin{aligned} &Cos[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] L'[t] - R Sin[Q1[t]] Q1'[t] + \\ &L[t] Sin[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] (-Q1'[t] - Q2'[t]) + \\ &Cos[Q1[t] + Q2[t]] Cos[Q3[t]] L[t] Q3'[t] \end{aligned}$$

$$\mathbf{Simplify[X1']}$$

$$\begin{aligned} &Cos[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] L'[t] - R Sin[Q1[t]] Q1'[t] - \\ &L[t] Sin[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + Cos[Q1[t] + Q2[t]] Cos[Q3[t]] L[t] Q3'[t] \end{aligned}$$

$$\mathbf{Y1' = Dt[Y1[t], t]}$$

$$\begin{aligned} &Sin[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] L'[t] + R Cos[Q1[t]] Q1'[t] + \\ &Cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] Sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + Cos[Q3[t]] L[t] Sin[Q1[t] + Q2[t]] Q3'[t] \end{aligned}$$

$$\mathbf{Simplify[Y1']}$$

$$\begin{aligned} &Sin[Q1[t] + Q2[t]] Sin[Q3[t]] L'[t] + R Cos[Q1[t]] Q1'[t] + \\ &Cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] Sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + Cos[Q3[t]] L[t] Sin[Q1[t] + Q2[t]] Q3'[t] \end{aligned}$$

$$\mathbf{Z1' = Dt[Z1[t], t]}$$

$$-Cos[Q3[t]] L'[t] + L[t] Sin[Q3[t]] Q3'[t]$$

$$\mathbf{Simplify[Z1']}$$

$$-Cos[Q3[t]] L'[t] + L[t] Sin[Q3[t]] Q3'[t]$$

**Expand[(X1')^2]**

$$\begin{aligned}
& \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 L'[t]^2 - \\
& 2 R \cos[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q1[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] Q1'[t] - \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]]^2 L'[t] Q1'[t] + \\
& R^2 \sin[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2 + 2 R L[t] \sin[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t]^2 + \\
& L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t]^2 - \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]]^2 L'[t] Q2'[t] + \\
& 2 R L[t] \sin[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] + \\
& 2 L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t] Q2'[t] + \\
& L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q2'[t]^2 + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] - \\
& 2 R \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t]] Q1'[t] Q3'[t] - \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q3'[t] - \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q2'[t] Q3'[t] + \\
& \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \cos[Q3[t]]^2 L[t]^2 Q3'[t]^2
\end{aligned}$$

**Expand[(Y1')^2]**

$$\begin{aligned}
& \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 L'[t]^2 + \\
& 2 R \cos[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] Q1'[t] + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]]^2 L'[t] Q1'[t] + \\
& R^2 \cos[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2 + 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q3[t]] Q1'[t]^2 + \\
& \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t]^2 + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]]^2 L'[t] Q2'[t] + \\
& 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t] Q2'[t] + \\
& \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q2'[t]^2 + \\
& 2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] + \\
& 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t] + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q3'[t] + \\
& 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q2'[t] Q3'[t] + \\
& \cos[Q3[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 Q3'[t]^2
\end{aligned}$$

**Expand[(Z1')^2]**

$$\cos[Q3[t]]^2 L'[t]^2 - 2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] + L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q3'[t]^2$$

**Simplify[(X1')^2]**

$$\begin{aligned}
& (\cos[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] - R \sin[Q1[t]] Q1'[t] - L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \\
& \sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t] Q3'[t])^2
\end{aligned}$$

**Simplify[(Y1')^2]**

$$(\sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] + R \cos[Q1[t]] Q1'[t] + \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] Q3'[t])^2$$

**Simplify[(Z1')^2]**

$$(\cos[Q3[t]] L'[t] - L[t] \sin[Q3[t]] Q3'[t])^2$$

**Expand[((X1')^2 + (Y1')^2 + (Z1')^2)]**

$$\begin{aligned} & \cos[Q3[t]]^2 L'[t]^2 + \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 L'[t]^2 + \\ & \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 L'[t]^2 - \\ & 2 R \cos[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q1[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] Q1'[t] + \\ & 2 R \cos[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] Q1'[t] + R^2 \cos[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2 + \\ & R^2 \sin[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2 + 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q3[t]] Q1'[t]^2 + \\ & 2 R L[t] \sin[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t]^2 + \\ & \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t]^2 + L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t]^2 + \\ & 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] + \\ & 2 R L[t] \sin[Q1[t]] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] + \\ & 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t] Q2'[t] + \\ & 2 L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q1'[t] Q2'[t] + \\ & \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q2'[t]^2 + \\ & L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q2'[t]^2 - 2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] + \\ & 2 \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] + \\ & 2 \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 \sin[Q3[t]] L'[t] Q3'[t] - \\ & 2 R \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t]] Q1'[t] Q3'[t] + \\ & 2 R \cos[Q1[t]] \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t] + \\ & \cos[Q1[t] + Q2[t]]^2 \cos[Q3[t]]^2 L[t]^2 Q3'[t]^2 + \\ & \cos[Q3[t]]^2 L[t]^2 \sin[Q1[t] + Q2[t]]^2 Q3'[t]^2 + L[t]^2 \sin[Q3[t]]^2 Q3'[t]^2 \end{aligned}$$

**Expand[((X2')^2 + (Y2')^2 + (Z2')^2)]**

$$R^2 \cos[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2 + R^2 \sin[Q1[t]]^2 Q1'[t]^2$$

**Simplify[((X1')^2 + (Y1')^2 + (Z1')^2)]**

$$\begin{aligned} & (\cos[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] - R \sin[Q1[t]] Q1'[t] - L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] \\ & \sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + \cos[Q1[t] + Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t] Q3'[t])^2 + \\ & (\sin[Q1[t] + Q2[t]] \sin[Q3[t]] L'[t] + R \cos[Q1[t]] Q1'[t] + \cos[Q1[t] + Q2[t]] L[t] \\ & \sin[Q3[t]] (Q1'[t] + Q2'[t]) + \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q1[t] + Q2[t]] Q3'[t])^2 + \\ & (\cos[Q3[t]] L'[t] - L[t] \sin[Q3[t]] Q3'[t])^2 \end{aligned}$$

**Simplify[((X2')^2 + (Y2')^2 + (Z2')^2)]**

$$R^2 Q1'[t]^2$$

**Ek[t] =**

$$\begin{aligned} & \left( (m1 * (R^2 + (\text{Sin}[Q3[t]])^2 * (L[t])^2 + 2 * R * \text{Sin}[Q3[t]] * \text{Cos}[Q2[t]] * L[t]) + m2 * R^2) * \right. \\ & \quad Q1'[t]^2 + m1 * (L[t])^2 * (\text{Sin}[Q3[t]])^2 * Q2'[t]^2 + m1 * (L[t])^2 * Q3'[t]^2 + \\ & \quad m1 * L'[t]^2 + 2 * m1 * (L[t] * \text{Sin}[Q3[t]] + R * \text{Cos}[Q2[t]]) * L[t] * \text{Sin}[Q3[t]] * \\ & \quad Q1'[t] * Q2'[t] + 2 * m1 * R * L[t] * \text{Sin}[Q2[t]] * \text{Cos}[Q3[t]] * Q1'[t] * Q3'[t] + \\ & \quad \left. 2 * m1 * R * \text{Sin}[Q2[t]] * \text{Sin}[Q3[t]] * L'[t] * Q1'[t] \right) / 2 \\ & \frac{1}{2} (m1 L'[t]^2 + 2 m1 R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] L'[t] Q1'[t] + \\ & \quad (m2 R^2 + m1 (R^2 + 2 R \text{Cos}[Q2[t]] L[t] \text{Sin}[Q3[t]] + L[t]^2 \text{Sin}[Q3[t]]^2)) Q1'[t]^2 + \\ & \quad 2 m1 L[t] \text{Sin}[Q3[t]] (R \text{Cos}[Q2[t]] + L[t] \text{Sin}[Q3[t])) Q1'[t] Q2'[t] + m1 L[t]^2 \\ & \quad \text{Sin}[Q3[t]]^2 Q2'[t]^2 + 2 m1 R \text{Cos}[Q3[t]] L[t] \text{Sin}[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t] + m1 L[t]^2 Q3'[t]^2) \end{aligned}$$

**Ek1 = D[Ek[t], L'[t]]**

$$\frac{1}{2} (2 m1 L'[t] + 2 m1 R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1'[t])$$

**Simplify[Ek1]**

$$m1 (L'[t] + R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1'[t])$$

**Simplify[m1 (L'[t] + R Sin[Q2[t]] Sin[Q3[t]] Q1'[t])]**

$$m1 (L'[t] + R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1'[t])$$

**Ek1' = Simplify[D[Ek1, t]]**

$$m1 (R Q1'[t] (\text{Cos}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q2'[t] + \text{Cos}[Q3[t]] \text{Sin}[Q2[t]] Q3'[t]) + L''[t] + R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1''[t])$$

**Expand[Ek1']**

$$m1 R \text{Cos}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] + m1 R \text{Cos}[Q3[t]] \text{Sin}[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t] + m1 L''[t] + m1 R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1''[t]$$

**SL = Simplify[Ek1']**

$$m1 (R Q1'[t] (\text{Cos}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q2'[t] + \text{Cos}[Q3[t]] \text{Sin}[Q2[t]] Q3'[t]) + L''[t] + R \text{Sin}[Q2[t]] \text{Sin}[Q3[t]] Q1''[t])$$

**Ep[t] = m1 \* g \* L[t] (1 - Cos[Q3[t]]) + k \* ((L[t] - L0)^2) / 2**

$$g m1 (1 - \text{Cos}[Q3[t]]) L[t] + \frac{1}{2} k (-L0 + L[t])^2$$

**Ep1 = Simplify[D[Ep[t], L[t]]]**

$$-k L_0 + g m_1 - g m_1 \cos[Q_3[t]] + k L[t]$$

**Apart[(SL+ Ep1), L''[t]]**

$$-k L_0 + g m_1 - g m_1 \cos[Q_3[t]] + k L[t] + m_1 R \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_2'[t] + m_1 R \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_1'[t] Q_3'[t] + m_1 L''[t] + m_1 R \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1''[t]$$

**Ek2 = Simplify[D[Ek[t], Q1'[t]]]**

$$m_1 R \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L'[t] + ((m_1 + m_2) R^2 + 2 m_1 R \cos[Q_2[t]] L[t] \sin[Q_3[t]] + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2) Q_1'[t] + m_1 L[t] (\sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_2'[t] + R \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_3'[t])$$

**Ek2' = Simplify[D[Ek2, t]]**

$$2 m_1 L'[t] (\sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + \sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_2'[t] + R \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_3'[t]) + R (m_1 \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L''[t] + (m_1 + m_2) R Q_1''[t]) + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]] (2 \cos[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_3'[t] + 2 \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] + \sin[Q_3[t]] (Q_1''[t] + Q_2''[t])) + m_1 R L[t] (-\sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t]^2 + 2 \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] - \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_3'[t]^2 + Q_1'[t] (-2 \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] + 2 \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] Q_3'[t]) + 2 \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1''[t] + \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2''[t] + \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_3''[t])$$

**S1 = Simplify[Ek2']**

$$2 m_1 L'[t] (\sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + \sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_2'[t] + R \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_3'[t]) + R (m_1 \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L''[t] + (m_1 + m_2) R Q_1''[t]) + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]] (2 \cos[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_3'[t] + 2 \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] + \sin[Q_3[t]] (Q_1''[t] + Q_2''[t])) + m_1 R L[t] (-\sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t]^2 + 2 \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] - \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_3'[t]^2 + Q_1'[t] (-2 \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] + 2 \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] Q_3'[t]) + 2 \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1''[t] + \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2''[t] + \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] Q_3''[t])$$

**Ep2 = D[Ep[t], Q1[t]]**

0

**Apart[S1 + Ep2, Q1''[t]]**

$$\begin{aligned} & (m_1 R^2 + m_2 R^2 + 2 m_1 R \cos[Q_2[t]] L[t] \sin[Q_3[t]] + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2) Q_1''[t] + \\ & m_1 (2 R \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L'[t] Q_1'[t] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]]^2 L'[t] Q_1'[t] + \\ & 2 R \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L'[t] Q_2'[t] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]]^2 L'[t] Q_2'[t] - \\ & 2 R L[t] \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_2'[t] - R L[t] \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t]^2 + \\ & 2 R \cos[Q_3[t]] \sin[Q_2[t]] L'[t] Q_3'[t] + 2 R \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] L[t] Q_1'[t] Q_3'[t] + \\ & 2 \cos[Q_3[t]] L[t]^2 \sin[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_3'[t] + 2 R \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] L[t] Q_2'[t] Q_3'[t] + \\ & 2 \cos[Q_3[t]] L[t]^2 \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] - R L[t] \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_3'[t]^2 + \\ & R \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L''[t] + R \cos[Q_2[t]] L[t] \sin[Q_3[t]] Q_2''[t] + \\ & L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2 Q_2''[t] + R \cos[Q_3[t]] L[t] \sin[Q_2[t]] Q_3''[t]) \end{aligned}$$

**Ek3 = Simplify[D[Ek[t], Q2'[t]]]**

$$m_1 L[t] \sin[Q_3[t]] ((R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + L[t] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t])$$

**Apart[m1 L[t] Sin[Q3[t]] ((R Cos[Q2[t]] + L[t] Sin[Q3[t]]) Q1'[t] + L[t] Sin[Q3[t]] Q2'[t]), Q1'[t]]**

$$m_1 L[t] \sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] + L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2 Q_2'[t]$$

**Ek3' = Simplify[D[Ek3, t]]**

$$\begin{aligned} & m_1 (\sin[Q_3[t]] L'[t] ((R \cos[Q_2[t]] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t]) + \\ & L[t] (Q_1'[t] (-R \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] + \cos[Q_3[t]] \\ & (R \cos[Q_2[t]] + 2 L[t] \sin[Q_3[t])) Q_3'[t]) + \sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] Q_1''[t] + \\ & L[t] (2 \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] + \sin[Q_3[t]] (Q_1''[t] + Q_2''[t])))) \end{aligned}$$

**S2 = Simplify[Ek3']**

$$\begin{aligned} & m_1 (\sin[Q_3[t]] L'[t] ((R \cos[Q_2[t]] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]]) Q_1'[t] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t]) + \\ & L[t] (Q_1'[t] (-R \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] + \cos[Q_3[t]] \\ & (R \cos[Q_2[t]] + 2 L[t] \sin[Q_3[t])) Q_3'[t]) + \sin[Q_3[t]] (R \cos[Q_2[t]] Q_1''[t] + \\ & L[t] (2 \cos[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] + \sin[Q_3[t]] (Q_1''[t] + Q_2''[t])))) \end{aligned}$$

**Ep3 = D[Ep[t], Q2[t]]**

0

**Apart[(S2 + Ep3), Q2''[t]]**

$$\begin{aligned} & m_1 (R \cos[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] L'[t] Q_1'[t] + 2 L[t] \sin[Q_3[t]]^2 L'[t] Q_1'[t] + \\ & 2 L[t] \sin[Q_3[t]]^2 L'[t] Q_2'[t] - R L[t] \sin[Q_2[t]] \sin[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_2'[t] + \\ & R \cos[Q_2[t]] \cos[Q_3[t]] L[t] Q_1'[t] Q_3'[t] + 2 \cos[Q_3[t]] L[t]^2 \sin[Q_3[t]] Q_1'[t] Q_3'[t] + \\ & 2 \cos[Q_3[t]] L[t]^2 \sin[Q_3[t]] Q_2'[t] Q_3'[t] + R \cos[Q_2[t]] L[t] \sin[Q_3[t]] Q_1''[t] + \\ & L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2 Q_1''[t]) + m_1 L[t]^2 \sin[Q_3[t]]^2 Q_2''[t] \end{aligned}$$

**Ek4 = Expand[D[Ek[t], Q3'[t]]]**

$$m1 R \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q2[t]] Q1'[t] + m1 L[t]^2 Q3'[t]$$

**Ek4' = Simplify[D[Ek4, t]]**

$$m1 (L'[t] (R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1'[t] + 2 L[t] Q3'[t]) + L[t] (R Q1'[t] (\cos[Q2[t]] \cos[Q3[t]] Q2'[t] - \sin[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q3'[t]) + R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1''[t] + L[t] Q3''[t]))$$

**S3 = Simplify[Ek4']**

$$m1 (L'[t] (R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1'[t] + 2 L[t] Q3'[t]) + L[t] (R Q1'[t] (\cos[Q2[t]] \cos[Q3[t]] Q2'[t] - \sin[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q3'[t]) + R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1''[t] + L[t] Q3''[t]))$$

**Ep4 = D[Ep[t], Q3[t]]**

$$g m1 L[t] \sin[Q3[t]]$$

**Apart[(S3+ Ep4), Q3''[t]]**

$$m1 (g L[t] \sin[Q3[t]] + R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] L'[t] Q1'[t] + R \cos[Q2[t]] \cos[Q3[t]] L[t] Q1'[t] Q2'[t] + 2 L[t] L'[t] Q3'[t] - R L[t] \sin[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q3'[t] + R \cos[Q3[t]] L[t] \sin[Q2[t]] Q1''[t]) + m1 L[t]^2 Q3''[t]$$

**Apart[F - g m1 (1 - Cos[Q3[t]]) - k (-L0 + L[t]) - m1 R Cos[Q2[t]] Sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] - m1 R Cos[Q3[t]] Sin[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t], m1]**

$$F + k L0 - k L[t] + m1 (-g + g \cos[Q3[t]] - R \cos[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] - R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t])$$

**Apart [**

**Simplify[**

$$(F + k L0 - k L[t] + m1 (-g + g \cos[Q3[t]] - R \cos[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] - R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t])) / m1, k]$$

$$\frac{k (L0 - L[t])}{m1} + \frac{1}{m1} (F - g m1 + g m1 \cos[Q3[t]] - m1 R \cos[Q2[t]] \sin[Q3[t]] Q1'[t] Q2'[t] - m1 R \cos[Q3[t]] \sin[Q2[t]] Q1'[t] Q3'[t])$$

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 31.10.1982

Doğum yeri Bursa

Lise 1977-1985 Bursa Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2005 Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Müh. Anabilim Dalı,  
Makine Teorisi ve Kontrol Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

2006-2007 Etan Asansör Hizmetleri