

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖPRÜLÜ VİNÇLERDE YÜK SALINIMLARININ
GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KONTROLÜ

Mak. Yük. Müh. Utku BÜYÜKŞAHİN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 14.10.2010
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Selim SİVRİOĞLU(G.Y.T.E.)
Yrd. Doç. Dr. Vasfi Emre ÖMÜRLÜ (Y.T.Ü.)
Prof. Dr. Faruk YİĞİT (Y.T.Ü.)
Prof. Dr. Hikmet KOCABAŞ (İ.T.Ü.)

İSTANBUL, 2010

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖPRÜLÜ VİNÇLERDE YÜK SALINIMLARININ
GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KONTROLÜ

Mak. Yük. Müh. Utku BÜYÜKŞAHİN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 14.10.2010
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Selim SİVRİOĞLU(G.Y.T.E.)
Yrd. Doç. Dr. Vasfi Emre ÖMÜRLÜ (Y.T.Ü.)
Prof. Dr. Faruk YİĞİT (Y.T.Ü.)
Prof. Dr. Hikmet KOCABAŞ (İ.T.Ü.)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımlanması	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Bilime ve Teknolojiye Katkısı.....	2
1.4 Geçmişteki Çalışmalar	3
1.4.1 Görüntü İşleme	3
1.4.2 Köprülü Vinçler.....	5
1.4.3 Stewart Platformu	10
1.5 Tezin İçeriği	12
2. FİZİKSEL MODEL.....	14
2.1 Köprülü Vinç Fiziksel Modeli.....	14
2.2 Sistemin Deneylerde Kullanılmaya Uygunluğunun Kontrolü	19
3. ARABA MEKANİZMASININ MATEMATİKSEL MODELİ	21
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME	24
4.1 Görüntü İşleme İle Geri Besleme Mekanizması	24
4.2 Sistem	24
4.3 Program.....	26
4.4 Görüntü İşlemede En Uygun İşaretçinin Tayini	31

4.5	Deney sonuçları.....	31
4.5.1	Farklı renkler ile yapılan deneylerin grafikleri	31
4.5.2	Farklı şekiller ile yapılan deneylerin grafikleri.....	33
4.5.3	Farklı çözünürlük (ve frekanslar) ile yapılan deneylerin grafikleri.....	34
4.6	Sistemi iyileştirme önerileri	35
5.	KONTROLCÜ TASARIMI.....	36
5.1	GİTHUSK kontrolcünün Çalışma Prensipleri.....	38
5.2	Farklı Hız ve İvme Değerleri ile Yapılan Simülasyon ve Deneyler.....	42
5.3	GİTHUSK kontrolcünün diğer kontrolcüler ile karşılaştırılması.....	43
5.4	Deney Sonuçları	45
5.5	GİTHUSK kontrolcünün Kısıtları	46
5.7	GİTHUSK Kontrolcünün Avantajları.....	47
6.	STEWART PLATFORMU TABANLI KUMANDA KOLU	49
6.1	Sistemin Çalışma Prensipleri	49
7.	TÜM SİSTEM.....	53
7.1	Tüm Sistemin Tanıtımı	53
7.2	Sistemde Veri Akışı.....	55
7.3	Sistemin Çalışması	56
7.4	Sistemin gecikme zamanının tespiti	59
8.	SONUÇLAR.....	62
	KAYNAKLAR.....	65
	EKLER	68
Ek - 1.1	Matematiksel model denklemleri	68
Ek - 1.2	Kontrol bloğu iç yapısı.....	69
Ek – 2.1	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Mavi	70
Ek – 2.2	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Yeşil	71
Ek – 2.3	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Pembe	72
Ek – 2.4	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Turuncu	73
Ek – 2.5	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Sarı	74
Ek – 2.6	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Koyu Pembe.....	75

Ek – 2.7	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Açık Pembe.....	76
Ek – 2.8	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Toz Yeşil.....	77
Ek – 2.9	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Lacivert.....	78
Ek – 2.10	Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Koyu Yeşil.....	79
Ek – 2.11	Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Üçgen.....	80
Ek – 2.12	Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Kare	81
Ek – 2.13	Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Büyük Kare	82
Ek – 2.14	Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Daire	83
Ek – 2.15	Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Yamuk	84
Ek – 2.16	Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 1 Piksel.....	85
Ek – 2.17	Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 2 Piksel.....	86
Ek – 2.18	Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 3 Piksel.....	87
Ek – 2.19	Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 4 Piksel.....	88
Ek – 3.1	Simülasyon 1, Deney 1 : $V=0.04$ m/s ; $a=0.25$ m/s ² ; $L=0.52$ m	89
Ek – 3.2	Simülasyon 2, Deney 2 : $V=0.08$ m/s ; $a=0.5$ m/s ² ; $L=0.52$ m.....	93
Ek – 3.3	Simülasyon 3, Deney 3 : $V=0.12$ m/s ; $a=0.75$ m/s ² ; $L=0.52$ m	97
Ek – 3.4	Simülasyon 4, Deney 4 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.52$ m	101
Ek – 3.5	Simülasyon 5 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.26$ m ; $m=1.8$ kg	105
Ek – 3.6	Simülasyon 6 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.52$ m ; $m=1.8$ kg	106
Ek – 3.7	Simülasyon 7 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=1.04$ m ; $m=1.8$ kg	107
Ek – 3.8	Simülasyon 8 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=2.08$ m ; $m=1.8$ kg	108
Ek – 3.9	Simülasyon 9 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.52$ m ; $m=0.9$ kg	109
Ek – 3.10	Simülasyon 10 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.52$ m ; $m=1.8$ kg.....	110
Ek – 3.11	Simülasyon 11 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; $L=0.52$ m ; $m=2.7$ kg.....	111
Ek – 3.12	Simülasyon 12 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; frekans=1024 Hz	112
Ek – 3.13	Simülasyon 13 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; frekans=256 Hz.....	113
Ek – 3.14	Simülasyon 14 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; frekans=32 Hz.....	114
Ek – 3.15	Simülasyon 15 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s ² ; frekans=16 Hz.....	115
Ek – 3.16	Simülasyon 16 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü frekansı 100 Hz	116
Ek – 3.17	Simülasyon 17 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü frekansı 16 Hz.....	118
Ek – 3.18	Simülasyon 18 ; Bozucu etki : Tek darbe	120
Ek – 3.19	Simülasyon 19 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=1024 Hz	122
Ek – 3.20	Simülasyon 20 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=256 Hz	124
Ek – 3.21	Simülasyon 21 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=32 Hz	126
Ek – 3.22	Simülasyon 22 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=16 Hz	128

Ek – 3.23	Simülasyon 23 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü, frekansı 100 Hz	130
Ek – 3.24	Simülasyon 24 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü, frekansı 16 Hz	132
Ek – 3.25	Simülasyon 25 ; Bozucu etki : Tek darbe	134
Ek – 4	Görüntü İşleme Programı Kodları	136
ÖZGEÇMİŞ.....		146

SİMGE LİSTESİ

V	Anlık hız değerinin büyüklüğü
ΔV	Hız değişimi değerinin büyüklüğü
A	Anlık ivme değerinin büyüklüğü
ΔX	Konum değişimi değerinin büyüklüğü
Δt	Zaman değişimi
F	Kuvvet değerinin büyüklüğü
m	Salınan yük kütlesi
K_x	X eksenindeki karşılaştırma katsayısı
S_{m_x}	X eksen yönündeki sapma miktarı
S_{f_x}	X eksen yönünde saniyedeki sapma frekansı
K_y	Y eksenindeki karşılaştırma katsayısı
S_{m_y}	Y eksen yönündeki sapma miktarı
S_{f_y}	Y eksen yönünde saniyedeki sapma frekansı
K_{ort}	Eksenlerdeki ortalama karşılaştırma katsayısı
M	Vinçte arabanın kütlesi
$\ddot{x}$	İvmenin X bileşeni
L	Halat uzunluğu
θ	Yük salınım açısı
$\ddot{\theta}$	Açısal ivmenin büyüklüğü
F_s	Sürtünme kuvveti değerinin büyüklüğü
g	Yerçekimi ivmesi değerinin büyüklüğü
t_0	Başlangıç zamanı
$t_{1...7}$	Kontrolcülü hareket zamanındaki zamanlar
v	Hız değerinin büyüklüğü
$X_{1...7}$	Hareket sırasında alınan yollar
T	Serbest salınımlı harekette salınım periyodu
π	Pi sayısı
t_k	Kontrolcünün devreye girme zamanı
$X_{hızlanma}$	Tüm hızlanma evreleri boyunca alınan toplam yol değerinin büyüklüğü
$X_{yavaşlama}$	Tüm yavaşlama evreleri boyunca alınan toplam yol değerinin büyüklüğü
$t_{sabit_hız}$	Sabit hızla hareket sırasında geçen zaman
X_{toplam}	Alınan toplam yol değerinin büyüklüğü
$\alpha_{x_kka_h}$	Kumanda kolunun anlık hareketine göre platformun X yönündeki açısı
F_{x_kka}	Kumanda koluna X eksen yönünde uygulanan anlık kuvvet değerinin büyüklüğü
$F_{x_kk_maks}$	Kumanda koluna X eksen yönünde uygulanması beklenen maksimum kuvvet değerinin büyüklüğü
$\alpha_{x_kk_maks_h}$	X yönünde platformun kullanıcı hareketine göre yapacağı maksimum açı
$\alpha_{y_kka_h}$	Kumanda kolunun anlık hareketine göre platformun Y yönündeki açısı
F_{y_kka}	Kumanda koluna Y eksen yönünde uygulanan anlık kuvvet değerinin büyüklüğü
$F_{y_kk_maks}$	Kumanda koluna Y eksen yönünde uygulanması beklenen maksimum kuvvet değerinin büyüklüğü
$\alpha_{y_kk_maks_h}$	Y yönünde platformun kullanıcı hareketine göre yapacağı maksimum açı
V_{x_kv}	Köprülü vincin X eksenindeki hız değerinin büyüklüğü
V_{x_maks}	Köprülü vincin X eksenindeki maksimum hız değerinin büyüklüğü
V_{y_kv}	Köprülü vincin Y eksenindeki hız değerinin büyüklüğü

V_{y_maks}	Köprülü vinci Y eksenindeki maksimum hız değerinin büyüklüğü
a_{x_kv}	Köprülü vinci X eksenindeki ivme değerinin büyüklüğü
a_{y_kv}	Köprülü vinci Y eksenindeki ivme değerinin büyüklüğü
a_{x_maks}	Köprülü vinci X eksenindeki maksimum ivme değerinin büyüklüğü
a_{y_maks}	Köprülü vinci Y eksenindeki maksimum ivme değerinin büyüklüğü
$\alpha_{x_kka_g}$	X eksenindeki salınım açısının anlık değeri
$\alpha_{x_ysa_g}$	X eksenindeki salınım açısının anlık değeri
$\alpha_{x_ys_maks}$	X eksenindeki yük salınımı için öngörülen maksimum salınım değeri
$\alpha_{x_kk_maks_g}$	Platformun X ekseninde salınım geri beslemesi için maksimum açısı değeri
$\alpha_{y_kka_g}$	Y eksenindeki salınım açısının anlık değeri
$\alpha_{y_ysa_g}$	Y eksenindeki salınım açısının anlık değeri
$\alpha_{y_ys_maks}$	Y eksenindeki yük salınımı için öngörülen maksimum salınım değeri
$\alpha_{y_kk_maks_g}$	Platformun Y ekseninde salınım geri beslemesi için maksimum açısı değeri
α_{x_kka}	Kumanda kolunun X eksenindeki anlık eğilme değeri
α_{y_kka}	Kumanda kolunun Y eksenindeki anlık eğilme değeri
V_{max}	Maksimum hız değerinin büyüklüğü
K_p	Kontrolcü Oransal Katsayısı
K_I	Kontrolcü İntegral Katsayısı
K_d	Kontrolcü Türev Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

2D	2 Boyut
3D	3 Boyut
FLC	Bulanık Mantık Kontrolcü
PD	Oransal-Türevsel
PI	Oransal-İntegral
PID	Oransal-İntegral-Türevsel
DSP	Dijital Sinyal İşleme
CNC	Bilgisayar Nümerik Kontrol
Mb	Megabayt
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
AC	Alternatif Akım
PC	Kişisel Bilgisayar
g	Gram
kg	Kilogram
s	Saniye
Hz	Hertz
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel Teknoloji Araştırma Kurumu
N	Newton
HUB	Ağ Dağıtıcı
GİTHUSK	Görüntü İşleme Tabanlı Hız Uyarılı Salınım Kontrolü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Fiziksel modelin Solidworks programı kullanılarak oluşturulmuş üç boyutlu grafik modeli.....	14
Şekil 2.2	Köprülü vinç fiziksel modelinin veri akış şeması	15
Şekil 2.3	Köprülü Vinç modelinin genel görünümü. Sistem çalışması sırasında yükü gözlemleyen kamera görüntülerinde hareketin gözlemlenebilmesi için alt tarafa 50 mm aralıklı ızgaralı kağıt serilmiştir.....	16
Şekil 2.4	Köprülü vinç modelinin alttan görünümü. Servo motorların yerleşimi ve vidalı mil mekanizması	17
Şekil 2.5	Hareket iletiminde kullanılan zaman kayışları ve kramayer mekanizması	17
Şekil 2.6	Minimum sürtünme ile yataklamayı sağlayan krom kaplı kızak ve bilyalı araba.	18
Şekil 2.7	Hareket kontrol kartının dağıtıcısı ve 5 volt güç kaynağı.....	18
Şekil 2.8	Servo motor sürücüleri	19
Şekil 2.9	$V_{maks}=0.08$ m/s için köprülü vinç fiziksel modeline gönderilen hız komutu ve sistemden okunan gerçek hız değeri	20
Şekil 2.10	$V_{maks}=0.16$ m/s için köprülü vinç fiziksel modeline gönderilen hız komutu ve sistemden okunan gerçek hız değeri	20
Şekil 3.1	Sistemin serbest cisim diyagramı.....	21
Şekil 3.2	Vinç modelinin Simulink blok diyagramı	22
Şekil 3.3	Kontrolcü Bloğu İç Yapısı.....	23
Şekil 4.1	Görüntü işlemede kullanılan kameranın arabanın üzerinden bakışla görünümü ..	25
Şekil 4.2	Görüntü işlemede kullanılan kameranın ve kameranın etrafına yerleştirilmiş ışık kaynaklarının arabanın alt tarafından bakışla görünümü.	25
Şekil 4.3	Programın akış diyagramı.....	26
Şekil 4.4	Kameranin çektiği gerçek zamanlı görüntü penceresinin görünümü	27
Şekil 4.5	Kullanıcının seçtiği aktif alanın görüntüsü.....	28
Şekil 4.6	Kullanıcı tarafından tanıtılan rengin siyah, diğer renklerin beyaz hale çevrilmesiyle oluşan işlenmiş resim	28
Şekil 4.7	İşaretçiyi bulduktan sonra işaretçiye odaklanmış görüntü.....	29
Şekil 4.8	İşaretçinin konum, anlık hız, anlık ivme ve yükün üzerindeki atalet kuvveti değerlerinin büyüklüklerini kullanıcıya sunan göstergeler	29
Şekil 4.9	Görüntü işlemede kullanılan ve bu proje için özel olarak yazılan bilgisayar programı arayüzünün çalışma sırasında alınmış anlık görüntüsü.....	30
Şekil 4.10	Farklı işaretçi renkleri ile değişen K_x ve K_y değerleri.....	32
Şekil 4.11	Farklı işaretçi renkleri ile değişen K_{ort} değerleri.....	32

Şekil 4.12	Farklı işaretçi şekilleri ile değişen K_x ve K_y değerleri	33
Şekil 4.13	Farklı işaretçi şekilleri ile değişen K_{ort} değerleri.....	33
Şekil 4.14	Farklı çözünürlük değerleri ile değişen K_x ve K_y değerleri	34
Şekil 4.15	Farklı çözünürlük değerleri ile değişen K_{ort} değerleri	34
Şekil 5.1	Normal bir hareketin hızın büyüklüğü - zaman grafiği	36
Şekil 5.2	GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki arabanın hız –zaman grafiği (üstte) ile bir basit sarkacın salınım – zaman grafiği (altta) ve kontrolcünün devreye girdiği t_2 ve t_6 zamanlarının salınımda rastladığı noktalar görülmektedir.....	37
Şekil 5.3	Yük salınım grafiği.....	41
Şekil 5.4	PID Kontrolcünün SIMULINK diyagramı	44
Şekil 5.5	PID Kontrolcü ile elde edilen, zamana göre salınım açısı, hız, pozisyon değeri eğrileri	45
Şekil 5.6	GİTHUSK kontrolcülü (kesikli çizgi) ve kontrolcüsüz (düz çizgi) hareket sırasındaki hız büyüklüğü - zaman grafiği	46
Şekil 5.7	Farklı hız ve ivme değerleri için, alınması gereken kontrolcülü minimum mesafe – hız grafiği	47
Şekil 6.1	Stewart Platformlu kumanda kolu sisteminin veri akış şeması.....	49
Şekil 6.2	Stewart Platformlu Kumanda Kolu'nun kullanıcı arayüzü. (Program görselinde kullanılan kokpit resmi Falcon-4 isimli oyundan alınmıştır.) Arayüzde gözüken düğmelerin hepsi kumanda sırasında gerekli ayarlamaları yapmak amacıyla çalışır konumdadır.....	50
Şekil 6.3	Stewart Platformlu Kumanda Kolu'nun çalışması sırasında görünümü	51
Şekil 6.4	X ekseninde kumanda koluna rastgele uygulanan kuvvet ve platformun bu kuvvet bilgisi ile X ekseninde yapmış olduğu dönme açısının zamana göre değişim grafiği.....	52
Şekil 7.1	Tüm sistemin genel görünümü.....	53
Şekil 7.2	Tüm sistemin genel haberleşme şeması.....	54
Şekil 7.3	Tüm sistemin genel veri akış şeması	55
Şekil 7.4	X eksenindeki yük salınımı geri beslemesi ile tetiklenen platform dönme açıları	57
Şekil 7.5	X ekseninde kuvvet koluna uygulanan kuvvet miktarı ile yük salınımı geri beslemesinin beraber platform hareketine etkisi ve uygulanan kuvvet miktarı ile vinç araba hızının büyüklüğünün değişimi	58
Şekil 7.6	Alt sistemlerle beraber tüm sistemin ayrıntılı veri akış şeması	59
Şekil 7.7	Tüm sistemin gecikme zamanının hesaplanılmasında kullanılan video işleme programının ekran görüntüsü	60
Şekil 7.8	Veri aktarımı sırasında alınan ve verilen datanın zamanı ve uyumu	61

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon programında hazırlanmış olan KÖPRÜLÜ VİNÇLERDE YÜK SALINIMLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KONTROLÜ isimli doktora tezinde halat üzerine asılı olarak hareket eden yükteki salınımların görüntü işleme yoluyla geri ve ileri beslenen bir kontrolcü kullanılarak kontrol edilmesi amaçlanmıştır.

Tezin her aşamasında, her türlü destek ve yardımlarını eksik etmeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sağırılı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yardım ve yönlendirmelerini esirgemeyen Prof. Dr. Selim Sivrioğlu ve Prof. Dr. Faruk Yiğit'e, uzun laboratuvar günlerinde beraber çalıştığımız TÜBİTAK 105M192 projesinin yöneticisi Yrd. Doç. Dr. V. Emre Ömürlü'ye teşekkür ederim.

Bana her aşamada destek ve yardımlarını esirgemediği günlerce süren kesintisiz çalışmalarda beni yalnız bırakmayan mesai arkadaşım ve (fahri) kardeşim Ahmet Kırılı'ya,

Düzenli çalışmalarıyla yardımlarını esirgemeyen Oktay Azeloğlu'na,

Yaptığım çalışmalara getirdiği ilginç yorumlarıyla Değer Erten'e,

Diğer mesai arkadaşlarım Hakan Demir, İbrahim Yıldız, Nurullah Turgut, Zeynep Ekicioğlu, Samet Cömert ve Beytullah Okur'a,

Deneyler sırasında asistanlığımı üstlenen kuzenim Ömercan Türker'e,

Uzun çalışma saatlerinde bilgisayarımın masaüstünde bulunan resmindeki gülümsemesiyle bana çalışma şevki veren yeğenim Ada'ya, ve tabii ki babası Abim'e,

Hep yanımda olduklarını hissettiren anneme ve babama,

Desteğini ve benim bitmeyen çalışma saatlerime olan sabrını hiçbir zaman esirgemeyen eşim Gülşen'e,

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2010

Mak. Yük. Müh. Utku Büyüksahin

ÖZET

KÖPRÜLÜ VİNÇLERDE YÜK SALINIMLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KONTROLÜ

Utku BÜYÜKŞAHİN

Makine Mühendisliği, Doktora Tezi

Sanayide rekabetin artması sonucunda verimliliğin artırılması problemi ortaya çıkmış ve zaman kavramı büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle hareket eden tüm makine ve makine parçalarında olduğu gibi vinçlerden de mümkün olduğunca hızlı ve seri hareket etmeleri talep edilmeye başlanmıştır. Hızlı hareketler ise, sistemdeki elastikiyet nedeniyle taşıma işlemi esnasında, yükün büyük salınımlar yapmasına neden olmaktadır. Köprülü vinçlerde, çalışma esnasında meydana gelen yük salınımlarının görüntü işleme yöntemiyle azaltılması gelişmeye açıktır ve önemli bir çözüm yöntemi olmaya da adaydır.

Uzaysal hareketli cisimleri kontrol etmek amacıyla 6 serbestlik dereceli bir Stewart Platformunun üst kısmına kuvvet sensörü ve bir adet kol eklenerek 6 serbestlik dereceli kumanda koluna çevrilmiştir. Aynı zamanda bir köprülü vinç fiziksel modeli yapılarak bu kumanda koluyla kumanda edilmiş, köprülü vinçteki yükün salınım bilgisi görüntü geri beslemesi ile kumanda koluna aktarılmıştır. Bu sayede kullanıcı, sisteme vermiş olduğu hareket emrinin sonucunu yine aynı kol aracılığıyla hissedebilmiş, sistemi zorlaması muhtemel hareketler konusunda uyarılmıştır. Daha sonrasında matematiksel modelden ve modelin olası hatalarından bağımsız olarak çalışan, hareket komutlarını görüntü işleme programından alan, vinç hareketlerinden dolayı oluşan yük salınımlarını sönümleyen bir kontrolcü tasarlanmıştır.

Geliştirilen sistemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla birçok deney ve simülasyonlar yapılmış, farklı kontrolcüler uygulanarak sistem performansı karşılaştırılmıştır. Sistemin çok büyük başarı ile yük salınımlarını sönümleyen hareketler yaptığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Stewart Platformu, Köprülü Vinç

ABSTRACT

IMAGE PROCESSING BASED CONTROL OF LOAD SWAYS ON OVERHEAD CRANES

Utku BÜYÜKŞAHİN

Mechanical Engineering, Ph.D Thesis

As the competition increases in industrial production, the problem to increase the efficiency has become of importance and time concept has become imminent. Therefore, faster movement is more and more requested by the industry from cranes as in other machinery. Faster movement in crane systems makes the load to make higher swaying in bound with the elasticity of the whole load system. Anti swaying problem on overhead crane systems are open to be solved by image processing methods and image processing is a good candidate to be a solution to similar swaying problems.

To obtain a proper command system to control moving objects, a force sensor and an additional arm is added to the upper of a Stewart Platform with 6 degrees of freedom. A physical model of the overhead crane system is built and the data of the load swaying is transferred to the command system by image feedback. By this method, the user is able to feel the effect and result of the movement command through the same command system and is warned of possible actions which might over force the whole system. Following so, a controller is designed working independently from the mathematical model and its possible errors. Receiving movement commands from the image processing program the model damps the oscillations of the load swaying caused by the movement of the crane.

In order to demonstrate the applicability of the model, many experiments and simulations are conducted and different controllers are applied to compare the final system output. The final system damps the oscillations of the load swaying in great success.

Keywords: Image Processing, Stewart Platform, Overhead Crane

1. GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımlanması

İnsanoğlunun en çok kullandığı algılayıcısı (duyu organı) gözleridir. Ancak “Görme Tabanlı Algılayıcılar” halen hak ettikleri yere gelememişlerdir. Ayrıca görüntü işleme ile ilgili literatürün geneline bakılacak olunursa araştırmaların çoğunun 2000’li yıllarda yapıldığı görülmektedir. Bu da görüntü işleme teknolojisinin geliştirilmeye açık ve tam anlamıyla çağımızın teknolojisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak günlük hayatta ve endüstride kullanılan makineler ile bunlara ait alt sistemlerin fiziki ve dinamik yapılarındaki karmaşıklık giderek artmıştır. Elektrik, mekanik, hidrolik gibi farklı enerji domenlerini birlikte içeren sistemlerin kontrolü içerdikleri farklı yapılardan dolayı zor olduğu gibi bu sistemlerden veri toplamak da aynı çeşitlilikten dolayı oldukça zordur. Sistemin davranışlarını gözlemlemek ve kontrolünü gerçekleştirmek amacıyla çağımızın teknolojisi olan görüntü işlemeyi kullanmak hem daha pratik hem de düşük maliyetli olabilmektedir.

Sanayide rekabetin artması sonucunda verimliliğin artırılması problemi ortaya çıkmış ve zaman kavramı büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle hareket eden tüm makine ve makine parçalarında olduğu gibi vinçlerden de mümkün olduğunca hızlı ve seri hareket etmeleri talep edilmeye başlanmıştır. Hızlı hareketler ise, sistemdeki elastikiyet nedeniyle taşıma işlemi esnasında, yükün büyük salınımlar yapmasına neden olmaktadır. Bu durum, sistemde hem büyük mertebelere ulaşan dinamik kuvvetler doğmasına neden olmakta, hem de çeşitli iş kazalarına sebep olduğu için istenmemektedir. Köprülü vinçlerde, çalışma esnasında meydana gelen yük salınımlarının görüntü işleme yöntemiyle azaltılması gelişmeye açıktır ve önemli bir çözüm yöntemi olmaya da adaydır.

Bu çalışmada halat üzerine asılı şekilde hareket eden yükte oluşan salınımların görüntü işleme tabanlı kontrolünün yapılması amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı şu şekilde özetlenebilir: halat üzerine asılı olarak hareket eden yükteki salınımların görüntü işleme yoluyla geri beslenen bir kontrolcü kullanılarak kontrol edilmesi.

Bu amaçla çalışmada aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir:

Yapılacak deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için bir köprülü vinç fiziksel modeli oluşturulması.

Araba hareketi sırasında yükün konumunun ve diğer sistem değişkenlerinin gözlemlenebileceği ve bu değişkenlerin sistem parametreleriyle değişimlerinin incelenebileceği bir matematik modelin oluşturulması.

Yük salınımlarının minimize edilmesini sağlayacak bir kontrol algoritmasının geliştirilmesi.

Geliştirilen kontrolcünün geri beslemesinin görüntü işleme yoluyla yapılması.

Bu yükün konum kontrolünün yapılabilmesine olanak sağlayan, kuvvet geri beslemeli bir kumanda tertibatının gerçekleştirilmesi.

Oluşturulan matematik modelin doğruluğunun ve kontrolcünün başarısının deneysel olarak ortaya konularak sonuçların genelleştirilmesi.

1.3 Tezin Bilime ve Teknolojiye Katkısı

Birçok bağlantı elemanının olduğu sistemlerde geri besleme mekanizmasının güvenilirliği, hareketin ölçüldüğü yer ile gerçek hareket arasındaki bağlantı elemanlarının rijitliğine ve güvenilirliğine bağlıdır. Buna en iyi örnek olarak ani fren yapmış ve kaymakta olan bir araba gösterilebilmektedir. Geribildirim mekanizması, içerideki göstergesinde, (hız göstergesi) tekerleri kilitlenmiş konumda olduğu için “0” hızla gittiğini yani durduğunu gösterirken, aracın dışından bakan herhangi bir kişi, aracın hala hareket ettiğini görebilmektedir.

Bilindiği gibi vinçlerde yük ile araba arasındaki bağlantı, elastik malzemelerden yapılmış halatlar ile sağlanmaktadır. Bu da yük salınımları ile ilgili geri besleme alınması sırasında büyük zorluklar doğurmaktadır. Günümüzde vinçlerde geri bildirim için sıklıkla kullanılan yöntem, yük üzerine yerleştirilmiş ivme sensörleri ile veri toplamaktır. Bu yöntem, doğrudan ölçüm yöntemi olmaması ve sensör parazitlerinin fazlalığı nedeniyle çok hassas sonuçlar verememektedir. Bu çalışmada geri bildirim mekanizması olarak görüntü işlemenin kullanılması yük salınımlarının çok hassas bir şekilde gözlenebilmesine ve çok hassas bir şekilde de kontrol edilebilmesine olanak vermektedir. Ayrıca bu proseslerin hassas bir şekilde

kısa sürede gerçekleştirilebilmesi çağımızda sanayinin istediği hız ve verimlilik koşullarını da sağlamaktadır.

Sanayide rekabetin artması sonucunda verimliliğin artırılması problemi ortaya çıkmış ve zaman kavramı büyük önem kazanmıştır. Bu nedenle hareket eden tüm makine ve makine parçalarında olduğu gibi vinçlerden de mümkün olduğunca hızlı ve seri hareket etmeleri talep edilmeye başlamıştır. Hızlı hareketler ise, sistemdeki elastikiyet nedeniyle taşıma işlemi esnasında, yükün büyük salınımlar yapmasına neden olmaktadır. Bu durum, sistemde hem büyük mertebelere ulaşan dinamik kuvvetler doğmasına, hem de çeşitli iş kazalarına neden olduğu için istenmemektedir. Köprülü vinçlerde, çalışma esnasında meydana gelen yük salınımlarının görüntü işleme yöntemiyle azaltılması gelişmeye açıktır ve önemli bir çözüm yöntemi olmaya da adaydır.

Yük salınımları probleminin görüntü işleme tabanlı bir kontrolcü ile, model ve modelden kaynaklanan olası hatalardan bağımsız olarak çözülmesi, tezin bilime ve teknolojiye sağladığı önemli bir katkıdır.

1.4 Geçmişteki Çalışmalar

1.4.1 Görüntü İşleme

Papanikolopoulos vd., (1993) yapmış oldukları çalışmada, bir Kartezyen robotun üzerine yerleştirdikleri kamera ile görüntü işleme tabanlı gözlemleme yaparak hareketli cisimleri takip eden bir kontrol algoritması geliştirmişler, gerçek sistem üzerinde de uygulamışlardır. Testlerde elde ettikleri başarılı sonuçları sunmuşlardır.

Altuğ vd. (2002) yapmış oldukları çalışmada ana sensör olarak görsel geribildirim kullanan otonom dört rotorlu bir hava aracı kontrolü sunmuşlardır. Sistemlerinde pozisyon ve hareketi hesaplamak için bir yer kamerası kullanmışlardır. Yol tabanlı geri bildirimlerin lineerize edildiği seri tabanlı kontrol ve geri adımlamalı kontrol yasası olmak üzere iki çeşit kontrol üzerinde çalışmışlardır. Dikey ve dönme hareketlerine sınırlandırılmış HMX4 isimli model ile deneyler yapmışlardır. Simülasyonlarını Matlab ve Simulink ile yaptıkları çalışmalarında geri adımlamalı kontrolörün geri beslemeli dengeleme kontrolünden daha iyi çalıştığını görmüşlerdir. Sistemin dış kameralara bağımlı olmasından dolayı tamamen otonom olamayacağını belirtmiş ve ileride araç üstü kameralar kullanılmasını hedeflemişlerdir.

Tao vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada civcivlerin cinsiyet ayrımını yapabilmek için tavuk kanadı görüntü işleme teknolojisi geliştirmişlerdir. Kanat tüylerinin ve kanat yapısının

şeklinin erkek ve dişi civcivlerde farklılık göstermesi sayesinde otomatik cinsiyet belirleyen bir sistem kurmuşlardır. Desen sınıflandırması için birinci derece farklılıklar kullanılmış, yapılan testler sistemin fizibilitesini ortaya koymuştur. Sistemde arka plana göre çok yüksek kontrast elde etmek için kameranın önünde optik filtre ve ultra viyole ışık kullanılmıştır. Yaptıkları testte 68 civcivden sadece 1 tanesinin cinsiyet ayırımında sistem kararsız kalmıştır.

Nara vd., (2006) yapmış oldukları çalışmada dönel vinçler için vinç konstrüksiyonunun dışında konumlandırılmış, vinç merkezi ile kanca arasındaki mesafeyi ölçmeye yarayan, lazer ve görüntü işleme tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde, vinç kancasına bir işaretçi şekil yerleştirmiş, bu işaretçinin yerini görüntü işleme ile tespit ettikten sonra lazerli mesafe ölçücü ile de mesafeyi yüksek hassasiyet değerleri ile tespit etmişlerdir.

Wu vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada, 2 boyutlu, renk, şekil ve kaplama tabanlı “Dur” tabelası tanınması algoritması üzerinde durmuşlardır. 25 milisaniyeden kısa sürelerde 400x300 piksel boyutundaki “Dur” tabelasını tespit eden 1 boyutlu ve 2 boyutlu algoritma vermişlerdir. Yapmış oldukları testlerde 2 boyutlu algoritmanın 1 boyutlunun tespit edemediği resimlerde de başarılı olduğunu, 35 dereceye kadar çevrilmiş ve önü %20’ye kadar kapalı olan tabelaları bulabildiğini göstermişlerdir.

Huang vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada araç plaka tanıma sistemleri ile ilgili önceki çalışmaların genellikle sabit, temiz ve aynı hizadan çekilmiş resimler üzerine olduğunu, sadece birkaç çalışmanın hareket eden araç plakalarıyla ilgili olduğunu belirtmektedirler. Mevcut gözetim kameralarıyla alınmış görüntülerden plaka tanınması yapacak bir sistem ileri sürülmüştür. İleri sürülen sistem projeksiyon analizi yaparak plakanın yerini bulmakta ve karakterler geri çoğaltmalı sinir ağı ile tanınmaktadır.

Li vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, renk kenarı bulmanın renkli resim işlemede en önemli noktalardan biri olduğunu belirtmiş, kenar gri bulma hücresel sinir ağı yöntemiyle karşıtlık bulma yöntemini karşılaştırmış, her iki yöntemi de test etmiş ve karşıtlık bulma yönteminin resim işlemede faydalı bir araç olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Mendoza vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, resim tanıma işlemi için 2 tip bulanık mantık modüler sinir ağı ile Sugeno integralini birleştirmiş hibrit yaklaşımı üzerinde durmuşlardır. Yüz tanıma üzerine deneyler yapmışlardır. Sadece yüz değil, farklı nesneleri tanıttıktan sonra bu nesneleri de tanıyabileceğini belirtmişlerdir. İleri sürülen yöntemin; arka planın gri tonundan bağımsız çalıştığını, en iyi sinir ağı performansı için en iyi gri oranını bulduğunu, her türlü objeye uyarlanabildiğini, her modülün ayrı boyutta vektör ile

eğitilebildiğini ve resmi bölmede esneklik sağladığını, her modüle farklı hesap kriterleri verilebileceğini belirtmişlerdir.

Hwang vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada uzaktan öğrenim gören öğrencinin hareketlerini izleyen ve buna göre öğrenci ilgi ve durumunu takip eden resim işleme ve Bayes ağı üzerinde durmuşlardır. Yüz tarama ile yüz ifadelerini takip etmişlerdir. Yaptıkları testlerde kötü ruh halini ve isteksiz davranışları tespitte sistemin daha başarılı olduğunu ortaya çıkartmışlardır.

Chen vd., (2010) Yaptıkları çalışmada, bir köprülü vinçte araba üzerine ekledikleri görüntü işleme için özel yapılmış bir kamera ile yük salınımı izleyici sistem yapmışlardır. Takip ettikleri yükün hareketini tahmin ederek bir sonraki hareket alanını varsayıp, görüntü işlemedeki tarama alanını daraltmaya çalışmışlardır. Farklı halat boyu ve frekanslarda yaptıkları simülasyonlarda yaptıkları iki ayrı varsayımdan dinamik hareket tabanlı olanın daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Büyükşahin (2010) yapmış olduğu çalışmada 6 serbestlik dereceli bir Stewart Platformu için üç adet kamera kullanarak 6 serbestlik dereceli hassas geri besleyici tasarlamış, yapmış olduğu simülasyonlarda 0.1 mm'den daha hassas geri besleme sağlamıştır.

1.4.2 Köprülü Vinçler

Sakawa ve Sano (1997), yapmış oldukları çalışmada nonlinear bir köprülü vinç modeli oluşturarak lineer dayanıklı kontrolör tasarımı gerçekleştirmiştir. Çalışmada düzlemsel hareketleri içeren bir dinamik model oluşturulmuş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Dinamik modelde yük noktasal kütle olarak kabul edilmiş, sürtünme momentleri ihmal edilmiş, halat kütlesiz ve rijit olarak alınmıştır.

Oguamanam ve Hansen (1998), yapmış oldukları çalışmada köprülü vincin fiziksel modelini homojen basit bir Euler-Bernoulli kirişi üzerinde hareket eden bir araba ve taşıdığı yük olarak oluşturmuş ve sistemin hareket denklemlerini Hamilton prensibine dayanarak ortaya koymuş, Calculus işlemleriyle de kiriş titreşimlerini ve yükün dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada halatın kütlesiz ve rijit olduğu kabul edilmiş ayrıca yükün salınımının kiriş eksenine ve düşey eksenine oluşturduğu düzlemde 2 boyutlu olarak gerçekleştiği kabul edilmiştir. Sonuçta, farklı araba hızları ve araba kütleleri, farklı halat uzunlukları ve yükler için simülasyonlar yapılarak kirişteki yer değiştirmelerin hangi parametrelere bağlı olarak ne şekilde olduğu ortaya konmaktadır.

Mahfouf vd. (2000), yapmış oldukları çalışmada biri arabanın pozisyonunu diğeri yükün salınım açısını kontrol eden 2 tabanlı bir bulanık mantık kontrolcü tasarımı yapmışlardır. Çalışmada köprülü vincin tam olmayan ancak tasarlanan kontrolcü için yeterli bilgiyi içeren nonlinear bir dinamik modeli oluşturulmuştur. Dinamik model araba ve halat mekanizmasından oluşmaktadır ve modelde yükün noktasal etki ettiği, halat kütlesinin ihmal edilebilir olduğu ve yükün hareketi esnasında halatın uzunluğunun sabit olduğu kabul edilmiştir. Modelde sürtünmeler ihmal edilmemiş ve hava dirençleri de hesaba katılmıştır. Sonuçta yapılan simülasyonlar kontrolcünün verimli olduğunu göstermektedir.

Kamal (2001), yapmış olduğu çalışmada yükün düşey hareketini içeren nonlinear bir matematik model oluşturmuş ve yükün düşey hareketleri esnasında oluşan yük salınımlarını yok edebilecek bir kontrol stratejisi geliştirmiştir.

Oguamanam ve Hansen (2001), yapmış oldukları çalışmada araba ve kiriş hareketlerinin yükün salınımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada araba ve yük noktasal kütle olarak kabul edilmiş, hareketin 2 ekseninde gerçekleştiği yani sadece araba ve kirişin hareket ettiği kabul edilerek yükün düşey hareketi ihmal edilmiş, kiriş kütlesiz kabul edilmiş ve Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılmıştır. Sistemin hareket denklemleri Rayley-Ritz metodu kullanılarak elde edilmiş ve sonuçta yükün salınım açısının ve titreşim frekansının nelere bağlı olduğu ve nasıl değiştiği ortaya konulmuştur.

Abdel-Rahman vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada literatürdeki vinç modellerini ve vinç kontrol stratejilerini incelemiş ve bunların uygulamaları üzerinde durmuştur. Sonuçta vinçlerle ilgili gelecekte yapılması beklenen çalışmalar ve bu çalışmalara uygun model ve kontrol kriterleri ortaya konulmuştur.

Fang vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada halatı rijit ve kütlesiz olarak ele almış, köprünün ataletini ihmal etmiş, yükün kendi ekseninde etrafında dönmediğini kabul etmiş ve sürtünmeleri ihmal ederek bir köprülü vinç modeli oluşturmuştur. Buna göre vinçler için nonlinear bir PD kontrolcü geliştirmişlerdir. Yazarlar köprü sürtünmelerinin de göz önüne alındığı, halatın esnekliğinin ve köprünün ataletinin de hesaplara katıldığı bir dinamik modelin gerekliliği üzerinde durmuşlardır.

Sağırlı (1995) ve (1996), Sağırlı ve Boğoclu (1999), Sağırlı vd., (2003a) yaptıkları çalışmada uzaysal hareket eden, teleskopik bumlu vinç için Bond Graf metodunu kullanarak non lineer teorik modeli elde etmiş, durum uzay denklemlerini vermişlerdir. Çalışma sırasında, vincin ana yapısı, şasi ve yataklar rijit kabul edilmiştir. Teleskopik bum kısmı elastik alınmıştır. En yüksek momentler bum uzunluğunun maksimum olduğunda görüldüğü için model, bumun

maksimum uzunluğuna göre oluşturulmuş, teleskopik hareketlere yer verilmemiştir. Silindirdeki hidrolik sıvı sıkışmaları modele dahil edilmiştir. Toplam düşey salınımlar, teleskopik bumun ucundaymış gibi modellenmiştir.

Sağırlı vd., (2003b), Sağırılı vd. (2003a)'da modelini elde ettikleri uzaysal hareket eden, teleskopik bumlu vinç gerçek sistem üzerinde değişik yük ve kontrol senaryolarında test etmişlerdir. Sönümleme katsayısı, silindir kaçakları ve teleskopik bum esnekliğini deneyler ile elde etmişlerdir. Sağırılı vd.(2003a) 'da yapılan simülasyonlar ile gerçek sistemin deneylerinin birbiriyle uyuştuğunu göstermiş ve sonuçta vinç hesaplarında kullanılan dinamik faktörün bağlı olduğu parametreler ortaya koymuşlardır.

Sharkawy vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada Lyapunov tabanlı kararlı bulanık kontrolcü tasarımı gerçekleştirmiş ve bunu 2 serbestlik dereceli robotlar ve köprülü vinçlerin yük salınımını kontrol etmek üzere uygulamışlardır. Sistemde halat uzayamaz, rijit ve kütsüz olarak kabul edilmiştir.

Ascherman vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada 6 eksenli bir köprülü vinç modeli oluşturarak vincin hareketine bağlı olarak yükün pozisyonunu incelemiş ve nonlinear sürtünme kuvvetlerini bozucu giriş olarak ele alarak model tabanlı bir kontrolcü geliştirmişlerdir. Sonuçta deneysel olarak yük salınımlarının değerleri ölçülerek kontrolcünün etkisi ortaya konulmuştur.

Lee (2004a), yapmış olduğu çalışmada yüksek hızlı yük kaldırma operasyonları için yükün salınımını azaltacak yeni bir kontrolcü geliştirmiştir. Çalışmada yükün kaldırılması ve arabanın hareketi esnasında oluşan dinamik etkilere dayanan salınım önleyici yörünge kontrolü tasarımı yapılmış ve sonra adaptif tasarımıyla geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan dinamik modelde halatın ağırlığı ve esnekliği ihmal edilmiş, yükün noktasal olarak etki ettiği ve vincin rüzgarsız işletme şartlarında çalıştığı kabul edilmiştir. Burada kayan yüzeyin arabanın tekerlek sürtünmeleri olması dolayısıyla önceki çalışmalarda yer alan dinamik modellerden farklı olarak sürtünmeler ihmal edilmemiştir. Çalışmanın sonuçları bilgisayar simülasyonları ile ortaya konulmuş ve kontrolcünün verimliliği vurgulanmıştır.

Lee (2004b), yapmış olduğu çalışmada yüksek hızlı yük kaldırma operasyonları için yük salınımlarını hızla sıfıra indirebilecek yüksek performanslı salınım önleyici bir hareket planlama metodu geliştirmiştir. Çalışmada kullanılan dinamik modelde halatın ağırlığı ve esnekliği ihmal edilmiş, yükün noktasal olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Kinematik model hareket planlama için bozucu etkiler ve kararsızlıklar içermemektedir. Sistemin başarısı yapılan simülasyonlarda yüksek kaldırma hızları ve yüksek kaldırma oranıyla belirlenmiştir.

Liu vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada 2D köprülü vinç modeli oluşturarak arabanın pozisyonunu ayarlayacak (konum kontrolü) ve yük salınımlarını sönümleyecek adaptif kayan kipli bulanık kontrolcü tasarımı gerçekleştirmiştir. Burada SMC'nin dayanıklılığı ile FLC'nin bağımsızlığı birleştirilerek x ve y eksenlerindeki hareket için kontrol sağlanmıştır. 2D dinamik modelde yükün arabaya kütsüz ve rijit kabul edilen bir halatla asıldığı kabul edilmiştir. Sistemin kararlılığı 2D prototip vinç üzerinde test edilmiştir.

Omar vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada köprülü vinçlerle yük taşıma prosesinin ileri seviyede otomasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Bockstedte ve Kreuzer (2005), yapmış oldukları çalışmada halatı değişken uzunlukta ve viskoelastik olarak ele alıp nonlinear bir vinç modeli geliştirmiş ve yaptıkları deneylerle kuvvet – yerdeğiştirme bağıntısını ortaya koyarak bunu iyileştirecek bir kontrolcü tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta kullanılan model eşleştirme kontrolünün verimli bir yöntem olduğu ve hızları uygun şekilde ayarlayarak yük salınımlarını azalttığı ortaya konulmuştur.

Kamal vd. (2005), yapmış oldukları teorik çalışmayla araba hareketlerini ve yükün düşey hareketlerini kontrol edecek bir PD kontrolcü geliştirmişlerdir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak düşey halat titreşimlerini, arabanın hareketlerini ve yükün düşey hareketlerini içeren bir vinç modeli oluşturulmuştur. Modelde, halatın eksenel uzaması, açılal yerdeğiştirmeler ve araba tekerleklerinin sürtünmeleri ihmal edilmiş, yükün noktasal olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Simülasyon sonuçları ile kontrolcünün verimi test edilmiştir. Yazarlar halat titreşimlerini, araba ve kiriş titreşimlerini de inceleyebilecek 2D bir dinamik model oluşturmanın uygun olacağı fikrini ortaya koymuşlardır.

Lee (2005), yapmış olduğu çalışmada yüksek hızlı yük kaldırma operasyonlarında yük salınımlarını önleyici bir hareket planlama metodu tasarlamıştır. Çalışmada, arabanın ivmesi ve hızı, kaldırma ivmesi ve hızı, araba hareket mesafesi ve halat uzunluğu gibi parametreler ele alınarak yük salınımlarının 2D dinamik modeli hazırlanmış ve 3D duruma uyarlanmıştır. Vincin dinamik modelinde halat ağırlığı ve esnekliği ihmal edilmiş, yükün noktasal olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Simülasyon sonuçları kontrolcünün izin verilen maksimum araba ivmelerinden etkilenmeden verimli şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır

Chang (2006), bir model-vinç üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmada arabanın pozisyonu, yükün salınımı ve elektrik sinyallerini kaydederek etkili ve basit bir bulanık mantık kontrol algoritması geliştirmiştir. Deneysel çalışmada halat esnek olarak alınmış ve kontrolcünün ölü bölge limitlerini aşabilmesi için değişken metot kullanılmıştır. Sonuçta

kontrolcünün arabanın pozisyonunun daha hassas olmasının yanı sıra yük salınımlarını da azalttığı ve sistemin çalışma verimini arttırdığı ortaya konulmuştur.

Kamal vd. (2006), yapmış oldukları teorik çalışmayla Kamal vd. (2005)'deki dinamik modeli kullanarak arabanın hareketini, yükün hareketini ve yük salınımlarını kontrol edecek üç bulanık mantık kontrolcü üzerine kurulmuş bir kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Yazarlar, simülasyon sonuçları ile kontrolcünün verimini test etmiş ve deneysel çalışma yapmayı hedef olarak ortaya koymuştur.

Lee vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada yüksek hızlı yük kaldırma operasyonları için yükün salınımını azaltacak kayan kipli salınım önleyici yörünge kontrolü tasarımı gerçekleştirmiştir. Burada kayan yüzeyin arabanın tekerlek sürtünmeleri olması dolayısıyla sürtünmeler ihmal edilmemiştir. Çalışmada kullanılan dinamik modelde halatın ağırlığı ve esnekliği ihmal edilmiş, yükün noktasal olarak etki ettiği ve vincin rüzgarsız işletme şartlarında çalıştığı kabul edilmiştir. Çalışmanın sonuçları deneylerle doğrulanarak, yazarın önceki çalışmalarında belirttiği simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının farklılıkları vurgulanmıştır.

Chang (2007), yapmış olduğu deneysel çalışmayla arabanın pozisyonu ve yükün salınım açısını kullanarak vinçler için verimli ve çok amaçlı adaptif bulanık mantık kontrolcü tasarımı gerçekleştirmiştir. Çalışmada kontrol performansını etkileyen nonlinear dış etkiler adaptif bulanık mantık kontrolcünün dayanıklılığını test etmek için ayrıca irdelenmiştir. Deneysel çalışma bir model-vinç üzerinde yapılarak tasarlanan kontrolcünün yükün ağırlığı, esnek halatın uzunluğu ve nonlinear dış etkiler altında pozisyon kontrolünü sağladığı ve yük salınımını hızlı bir şekilde sönümlediği görülmüştür. Yazar, bu kontrolcünün gerçek vinçlerde oldukça verimli bir şekilde kullanılmasını beklemektedir.

Hua ve Shine (2007), yapmış oldukları çalışmada köprülü vinçler için nonlinear bir adaptif kontrolcü geliştirmişlerdir. Dinamik modelde halatın ağırlığı, esnekliği ve araba tekerleklerinin sürtünmeleri ihmal edilmiştir. Sonuçta bilgisayar simülasyonları ve deneyler, kontrolcünün pozisyon hatasını ve yük salınımlarını verimli bir şekilde kontrol ettiğini göstermektedir.

Sağır, Azeloğlu ve Büyükşahin (2009), yapmış oldukları çalışmada köprülü vinçler için bond graph yöntemini kullanarak nonlinear bir dinamik model geliştirmiştir. Çalışma, köprülü vincin üç temel hareketini de içermekte olup, modelde köprü, araba ve yükün atalet etkileri göz önüne alınmış, araba ve köprü sürtünmeleri modele dahil edilmiş, halat viskoelastik alınarak halat boyunun değişimine bağlı olarak halatın elastikiyetinin değişimi de modele

dahil edilmiştir. Oluşturulan dinamik model ayrıca tamburun ataletini ve üç temel hareketi gerçekleştiren aktuatör dinamiğini de içermektedir. Çalışmada önce tüm vinç sisteminin kinematik denklemleri elde edilmiş, ardından kinematik denklemler yardımıyla sistemin dinamik modeli oluşturulmuştur. Modelleme yöntemi olarak Bond graph yöntemi kütle kapasite analogisi kullanılmış, oluşturulan matematik model yardımıyla sistemin simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarında, sistemin dinamik davranışlarının gözlenmesi yoluyla, tasarım ve kontrol çalışmalarına temel teşkil edecek parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Simülasyon sonuçları, oluşturulan nonlineer modelin sistemin dinamik davranışlarını etkili bir şekilde ortaya koyduğunu göstermekte olup köprülü vinçlerin daha ekonomik olarak tasarlanabilmesi ve kontrolünün daha uygun olarak sağlanabilmesi için gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır.

1.4.3 Stewart Platformu

Stewart Platformu, Stewart (1965)'te ilk olarak ortaya atıldığı 1965 yılından bu yana sürekli olarak geliştirilmeye çalışılmakta ve bu konuyla alakalı araştırmalar sıklıkla yapılmaktadır.

Nanua vd. (1990) Stewart Platformunun düz kinematik çözümünün ilk örneğini sunmuşlardır. Düz kinematik için analitik çözüm yöntemi geliştirilmiş ve bir örnek ile gösterilmiştir. Çalışmanın sonucunda 6 serbestlik dereceli bir Stewart Platformunun çözümünün 16. Dereceden bir polinom olduğunu ve dönüşümler ile sonucu bulmak için 8. Dereceden polinom çözmenin yeterli olduğunu belirtmektedirler.

Nguyen vd. (1991) 6 serbestlik dereceli Stewart Platformunun ileri kinematik hesaplarının verimli bir şekilde yapılabilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada iteratif ileri kinematik yöntemi olan Newton-Raphson metodunu optimize etmek için ters kinematik çözüm kapalı formda formülize edilmiştir.

Dasgupta vd. (1998) 6 serbestlik dereceli bir Stewart Platformunun Newton-Euler ters kinematik çözümünü bacak ataletleri, eklem sürtünmeleri ve dinamik kuvvetleri de hesaba katarak gerçekleştirmişlerdir. Bacaklardaki kuvvetleri hesaplamak için gerekli olan algoritmayı çıkartmışlardır. MATLAB programında çıkartmış oldukları algoritmayı kullanarak yaptıkları hesaplamalarda bacak ataletlerinin hareketlendiricilere etki eden kuvvetlerin %20 ile %50'si kadar olduğunu, kuvvetin oranının hız arttıkça ve yük azaldıkça arttığını bulmuşlardır.

Kudomi vd. (2000) Elektro-hidrolik servo sistemler ile hazırladıkları deney düzeneğinde kuvvet sensörü kullanarak, uzaktan kumandalı bir hareketi geri beslemeli olarak uzaktan

kumanda etmişlerdir. Çalışma sırasında daha çok sistemin hidrolik ile tahrik edilmesinin getirdiği problemleri çözmek için çaba sarfedilmiştir. Deney başarılı olmuştur. Kontrolcü bölümünde uygulanan hareketi kontrol edilen sistemde elde ederken kontrol edilen sistemin hareketini kısıtlayıcı kuvvetleri de kontrolcü bölümde hissetmişlerdir.

Lee vd. (2002) Paralel sistemlerin dinamiği üzerine olan çoğu çalışmanın Lagrange, Newton-Euler veya Virtuel iş metodu temel alınarak yapıldığını ancak bu yöntemlerle ileri kinematik hesapların çok hızlı dijital sinyal işlemcileriyle bile kontrol için gerekli sürelerde yapılmasının kolay olmadığını belirtmişlerdir. Fitcher'in önerdiği bacak ataletlerini ihmal etmeyi, yükün ataletinin bacaklarınkine oranla çok büyük olmadığı durumlarda yeterli doğruluk sağlanamadığı için kabul etmemişlerdir. Özellikle platformun takım tutucu olarak kullanıldığı uygulamalardaki gibi yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda hiçbir ataletin ihmal edilemeyeceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Stewart Platformunun çalışma uzayı seri sistemlere göre daha küçük olduğu için atalet matrisi sabit kabul edilmiştir. H kontrolörü ile %10 gibi bir hata oranıyla 50Hz frekansta çalışan bir DSP kullanarak çok daha hızlı kontrol edilebildiğini öne sürmüşlerdir.

Ting vd. (2004) 6 serbestlik dereceli bir Stewart Platformunu sabit platformu yukarıda kalacak şekilde kullanarak bir CNC freze tezgahı yapmışlardır. Takım yolları çok yüksek hassasiyet gerektirdiği için hiçbir atalet etkisini yok saymadan Euler-Lagrange adaptif kontrol metodunu kullanarak sistemin dinamik modelini oluşturmuşlardır.

Boian vd. (2005) İki adet 6 serbestlik dereceli Stewart Platformu kullanarak ayak bileği için fizik tedavi düzeneği kurmuşlardır. Çalışma dahilinde iki adet bilgisayar oyunu hazırlanmıştır. Bu oyunlardaki uçak veya botu yönlendirmek için ayaklarla kullanılan oyun konsolu benzeri bir sistem yapmışlardır. Tedavinin aşamasına göre terapistin ayarladığı farklı kuvvetler ve farklı stroklar ile kontrol edilebilmektedir. Araştırmacılar, hastalar ile yapılan deneylerde, hastaların ayak bilekleri ile yapmış oldukları istemsiz hareketlerini platformların serbestlik derecelerini sınırlamak suretiyle engelleyip, onları doğru hareketi yapmaya teşvik etmişlerdir. 1 Aylık bir çalışma sürecinin sonunda üç hastadan ikisi platformların serbestlik derecelerini kısıtlamaya ihtiyaç duymadan ayak bileklerini kontrol edebilmeye başlamışlardır.

Anlı vd. (2005) çalışmalarında Stewart Platformunun tarihine ve özellikle uçak simülatörlerinde kullanılması ile insan hayatını tehlikeye atmadan eğitimlerin yapılmasına olanak sağlaması gibi faydalarına değinilmiş, paralel mekanizmaların seri mekanizmalara karşı üstünlük ve dezavantajları belirtilmiştir. 1965'ten günümüze yapılmış olan farklı Stewart Platformlarının yapısı ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Çalışma uzayı, kinematik ve

dinamik hesaplarına değinilmiş, gerçek zamanlı konumlama ve yönelme açısından yapılmış çalışmaların yetersizliğinden bahsedilmiştir.

Davliakos vd. (2007) yaptıkları çalışmada elektro-hidrolik servo pistonlar ile yapılan 6 serbestlik dereceli Stewart Platformunun sürtünme ve yağ kaçaklarını hesaba katarak modellenmesini ve sistem denklemlerinin çıkartılmasını yapmışlardır. Sistem dinamiklerini ve hidrolik modeli esas alan bir kontrolör yapmış, kontrolördeki empedans filtresi ile yörüngeyi, hidroliğin lineer olmayan davranışının etkilerinden daha az etkilenmesi için değiştirmeye olanak sağlamışlardır.

Yıldız vd., (2008) genelleştirilmiş Stewart Platformu dinamik modelini Bond Graf yöntemiyle elde etmişlerdir. Dinamik model; yer çekimi, lineer motor dinamikleri ve bağlantılardaki viskoz sürtünmeler gibi tüm dinamik etkileri içermektedir. Modelleme sırasında; üst platformun ağırlık merkezi, hareketli kısmın tam ortasında alınmış, lineer motor ağırlık merkezlerinin yeri toplam motor boyunun $2/3$ 'ünde olarak alınmış, dış kuvvet ve momentler ihmal edilmiştir.

Ömürlü vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada bir 3×3 Stewart Platformunu hava aracı kontrol kumanda kolu gibi kullanmış, platformun Bond Graph yöntemiyle elde edilmiş modelini, kinematik ve dinamik denklemlerini oluşturmuş ve kuvvet kontrolü uygulamışlardır.

1.5 Tezin İçeriği

Bu çalışmanın amacı Bölüm 1.1'de detaylıca açıklanmaktadır. Temel amaç ise uzaysal hareket eden bir cismin hareketinin (uygulamada halat üzerine asılı olarak hareket eden yükteki salınımların) görüntü işleme yoluyla geri beslenen bir kontrolcü kullanılarak minimize edilmesidir.

Tezin giriş bölümünde problemin tanımı yapılmış ve konuyla ilgili olarak geçmişte yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Çalışmalardaki teorik yaklaşımlar, yapılan kabuller ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar kısaca anlatılmıştır.

İkinci bölümde, yapılan köprülü vincin fiziksel modelinin bileşenlerine değinilmiş, sistemin tanıtımına ve sinyal akış diyagramlarına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde köprülü vincin araba mekanizmasının taşıdığı yükün hareketinin matematiksel modelinin yapısı ve modeldeki kabullere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, görüntü işleme tabanlı olarak geliştirilen geri besleme mekanizması tanıtılmış, sistemin çalışma mantığı üzerinde durulmuş, görüntü işleme için en uygun koşulların tespit edilmesinde uygulanan deneyler ve sonuçlarına yer verilmiş, görüntü işleme mekanizmasının hassasiyeti tespit edilmiştir.

Beşinci bölümde köprülü vinçlerde yük salınımlarını minimuma indirmeyi hedefleyen görüntü işleme tabanlı geri beslemeye sahip kontrolcünün tasarımına yer verilmiştir. Matematiksel model ve fiziksel model üzerinde aynı koşullarda deneyler gerçekleştirilerek matematiksel modelin güvenilirliği irdelenmiştir. Kontrolcüyü içeren matematiksel ve fiziksel model üzerinde farklı koşullardaki simülasyon ve deney sonuçlarına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, yapılan Stewart Platformu tabanlı kumanda kolu bileşenlerine değinilmiş, sistemin tanıtımına ve sinyal akış diyagramlarına yer verilmiştir.

Yedinci bölümde, birbirinden bağımsız olarak tasarlanan sistemlerin bir arada kullanılma prensibine değinilmiş ve tüm sistemin çalışma prensibi verilmiştir. Sistemin gecikmeleri ve olası sebepleri irdelenmiş, gecikmeleri minimuma indirmek için uygulanabilecek önlemlere yer verilmiştir.

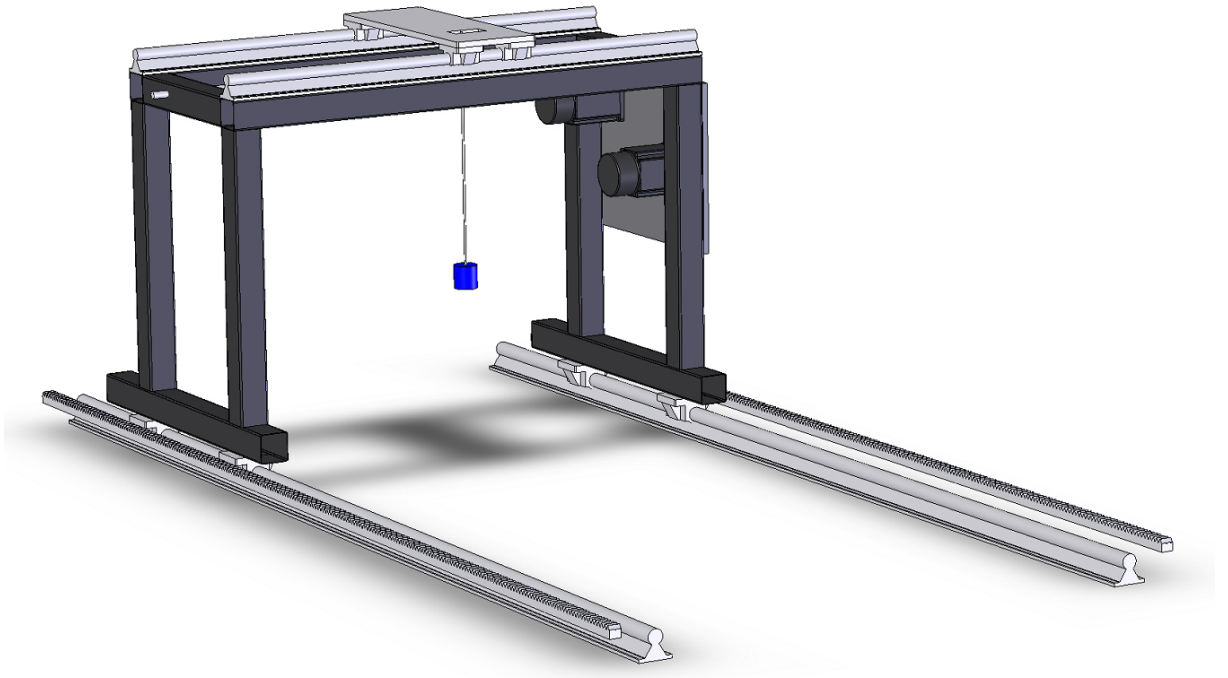
Sonuç bölümünde ise problemin tasarlanan kontrolcü yoluyla model ve modelden kaynaklanan olası hatalardan bağımsız olarak çözülmesi genelleştirilerek vurgulanmıştır.

2. FİZİKSEL MODEL

2.1 Köprülü Vinç Fiziksel Modeli

Simülasyonlarda elde edilen sonuçların gerçek bir sistem üzerinde de test edilmesi, yapılan teorik çalışmanın başarı oranının tespiti ve teorik çalışmaların güvenilirliğinin belirlenmesi için çok önemlidir. Bu testlerin gerçekleştirilmesi amacıyla bir köprülü vinç fiziksel modeli yapılmıştır.

Yapılan fiziksel modelin 3 boyutlu grafik modeli, Şekil 2.1’de verilmiştir. Modelin ölçüleri 2000x950x700 milimetredir. Modelde hareket tahrik sistemleri olarak köprü hareketi için kremayer sistemi, araba hareketi için ise vidalı mil sistemi kullanılmıştır. Her iki sistem de boşluksuz kabul edilebilecek seviyede düşük boşluklu iletim yapmaktadır. Bu da kontrol için verilen hareketin kayıpsız olarak gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.



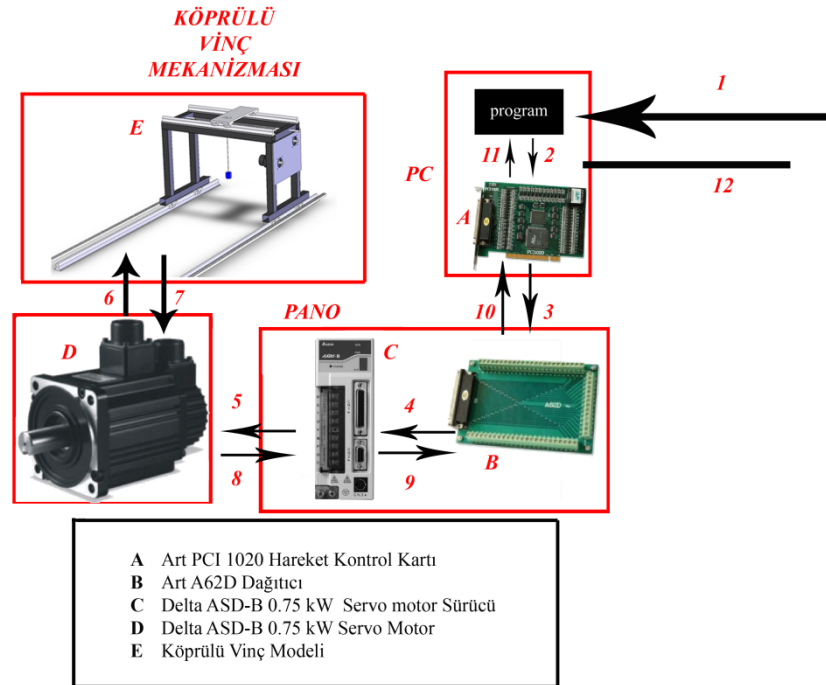
Şekil 2.1 Fiziksel modelin Solidworks programı kullanılarak oluşturulmuş üç boyutlu grafik modeli

Otomasyonda kontrolcü olarak Beijing Art firmasının PCI1020 modeli, 4 eksenli hareket kontrol kartı kullanılmıştır.

Hareketleri sağlamak için her ekseninde Delta ASDB serisi 0.75 kW gücünde AC servo motorlar kullanılmaktadır. Bilindiği gibi servo motorlar çok yüksek kontrol hassasiyetleri sebebiyle otomasyonda sıklıkla tercih edilmektedirler. Kullanılan servo motorlar, 1 tur dönmeyi 10000 darbe sinyali ile gerçekleştirmektedirler. Araba hareketi için kullanılan vidalı mil'in adımı 10 mm'dir. Böylece araba hareketi sırasındaki konum kontrol hassasiyetinin $10 \text{ mm} / 10000 = 0.001 \text{ mm}$ olduğu görülmektedir.

Köprülü vinç modeline istenilen hız, konum, ivme bilgileri girilerek kontrollü hareket elde edilmesini sağlayan otomasyon programı yazılmıştır.

Köprülü vinç fiziksel modelinin veri akışı Şekil 2.2'te gösterilmiştir.

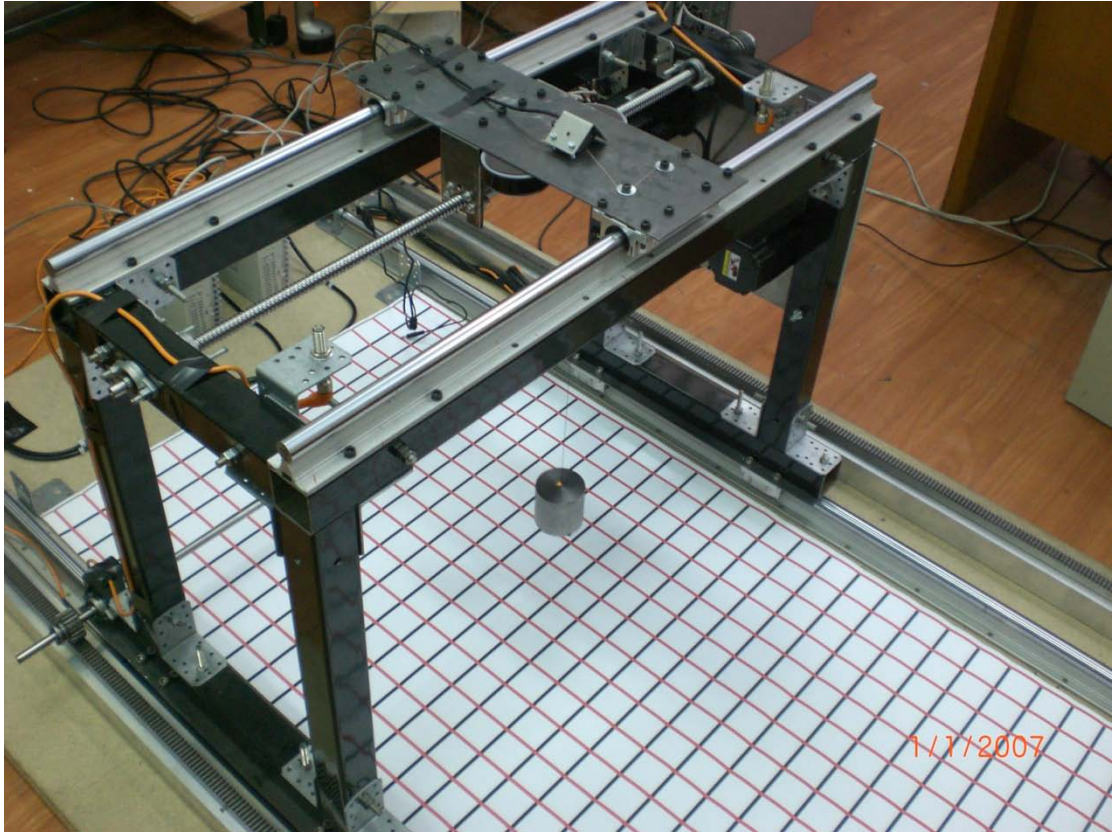


Şekil 2.2 Köprülü vinç fiziksel modelinin veri akış şeması

Veri akışı, Şekil 2.2 verilen harflendirme ve sayılandırma ile şu şekilde olmaktadır: Yerel ağ aracılığıyla vinç sisteminin bilgisayarına görüntü işleme mekanizmasından, salınan yükün konum bilgileri, Stewart Platformlu kumanda kolundan da hareket bilgisi gelmektedir. Gelen verileri yazılan bilgisayar programı işleyerek, Bölüm 5'te ayrıntılı olarak açıklanan kontrolcüyü harekete geçirmektedir. Program, gerekli hareket bilgilerini oluşturduktan sonra ART PCI1020 (A) hareket kontrol kartına iletmektedir. Kart, servo motorların hareketi için gerekli olan darbeleri ART A62D (B) kodlu dağıtıcıya, buradan da Delta ASD-B075kW (C) Servo motor sürücüsüne göndermektedir. Servo motor sürücüsü, motorun istenilen devir ve

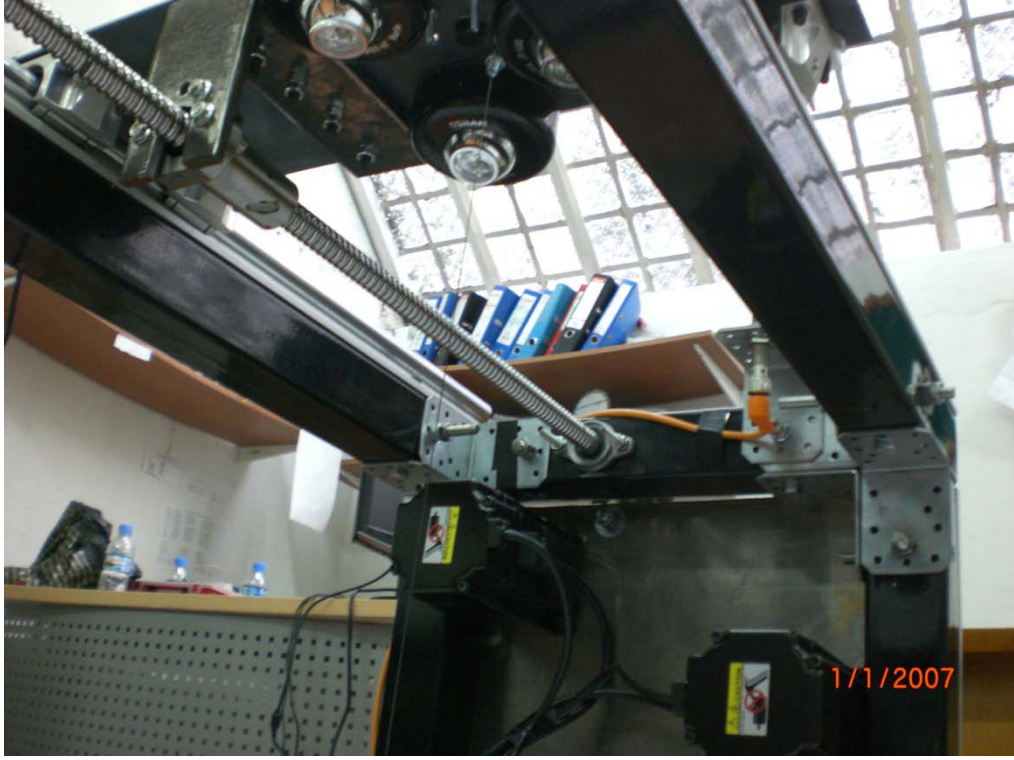
gerekli tork değerinde dönmesi için ihtiyaı olan akım ve frekans değerlerini ayarlayarak motorun (D) dönel hareketi oluşturmasını ve vincin köprüsünün veya arabanın hareket etmesini sağlamaktadır. Delta ASD-B075kW servo motorun üzerinde tümleşik olarak dönel optik kodlayıcı yer almaktadır. Dönel optik kodlayıcılardan sürekli geribildirim alınarak öncelikle hareket kontrol kartına, buradan da programa hareket geribildirimini ulaşmaktadır. Sistem kapalı çevrim çalıştığı için bu geribildirim, işlenilerek bir sonraki adımın başlangıç koşullarını oluşturmaktadır.

Fiziksel modelin genel görünümü şekil 2.3'te verilmiştir.

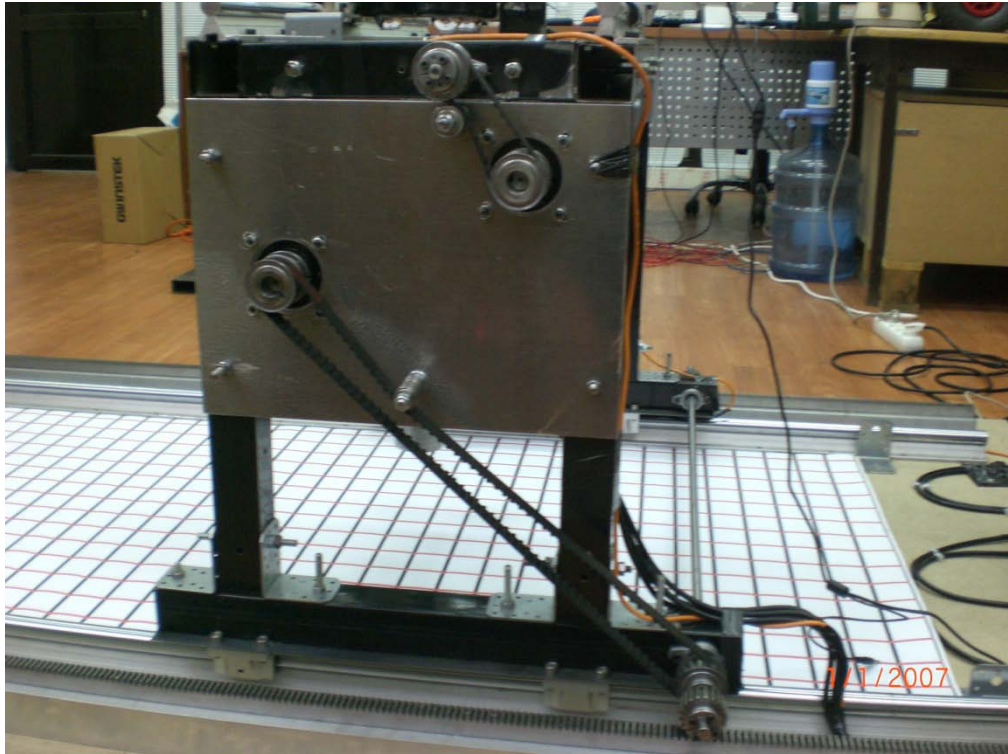


şekil 2.3 Köprülü Vinç modelinin genel görünümü. Sistem alışması sırasında yükü gözlemleyen kamera görüntülerinde hareketin gözlemlenebilmesi için alt tarafa 50 mm aralıklı ızgaralı kağıt serilmiştir.

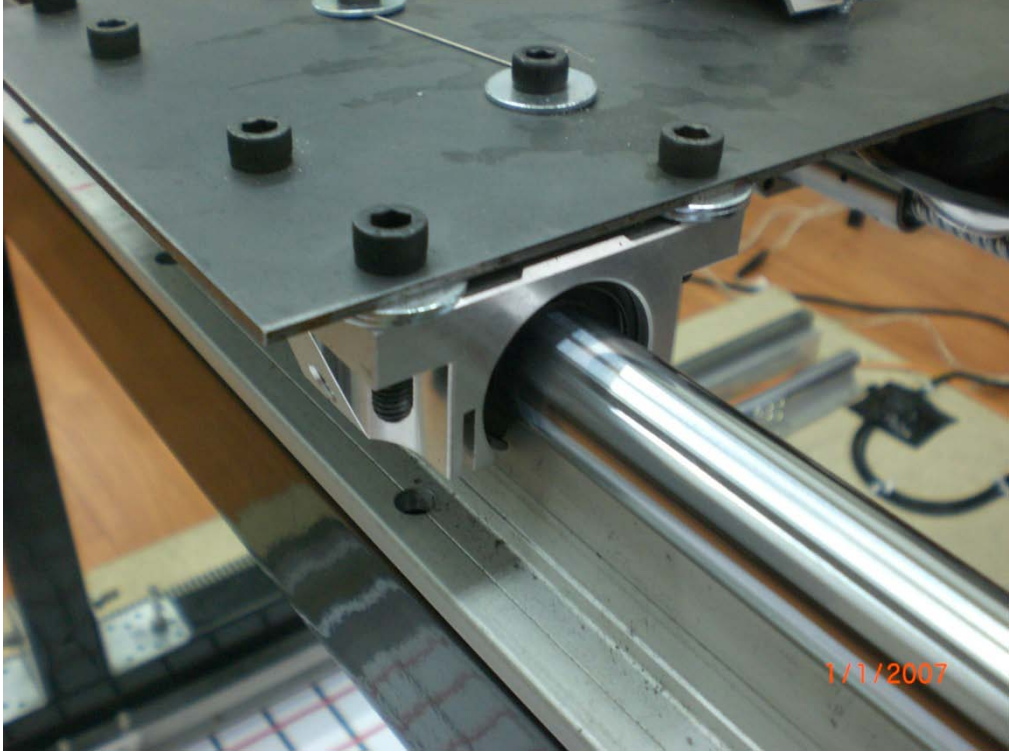
Servo motor ve vidalı mekanizmasının yerleşimi şekil 2.4'te, zaman kayışları ve kramayer mekanizması şekil 2.5'te, kızak ve arabalar şekil 2.6'da, hareket kontrol kartı dağıtıcısı şekil 2.7'de, servo motor sürücüleri de şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Köprülü vinç modelinin alttan görünümü. Servo motorların yerleşimi ve vidalı mil mekanizması



Şekil 2.5 Hareket iletiminde kullanılan zaman kayışları ve kramayer mekanizması



Şekil 2.6 Minimum sürtünme ile yataklamayı sağlayan krom kaplı kızak ve bilyalı araba



Şekil 2.7 Hareket kontrol kartının dağıtıcısı ve 5 volt güç kaynağı

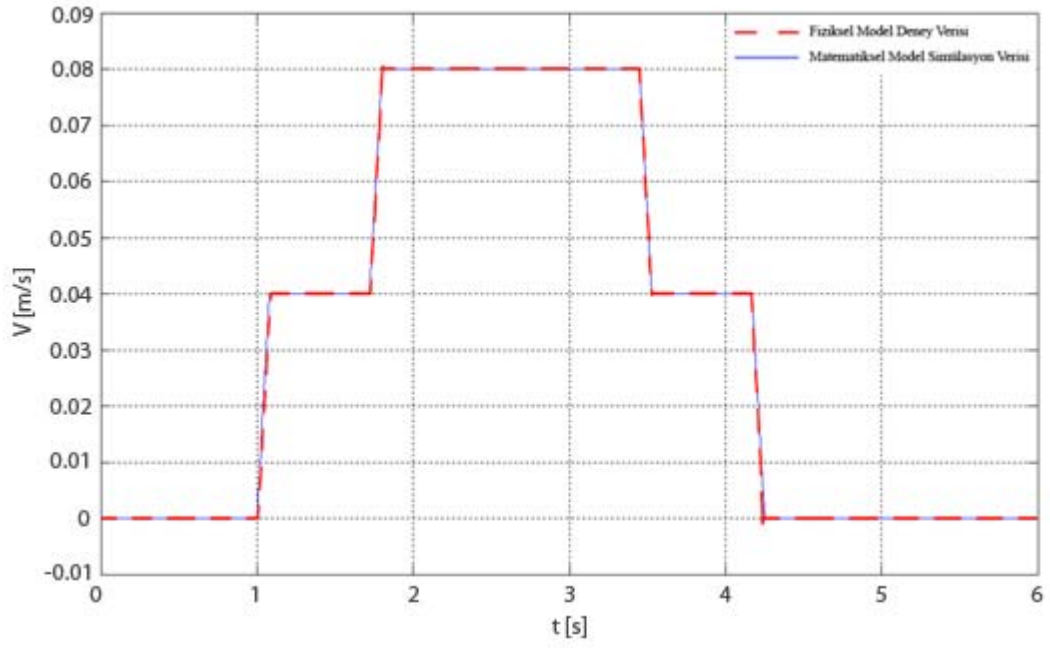


Şekil 2.8 Servo motor sürücüleri

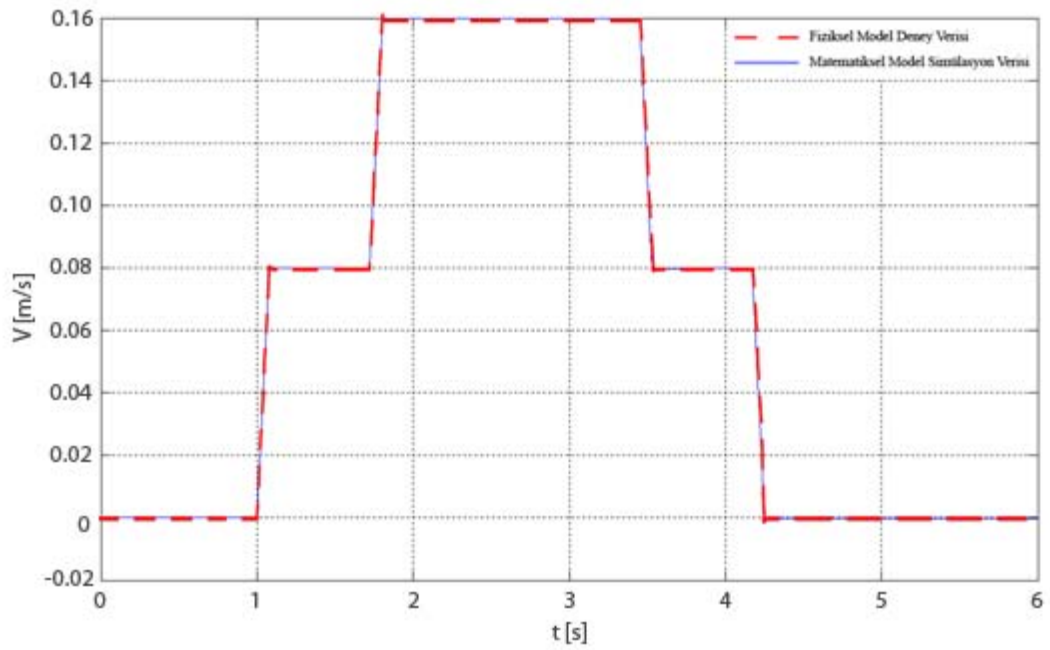
2.2 Sistemin Deneylerde Kullanılmaya Uygunluğunun Kontrolü

Yapılan fiziksel modelin deneylerde doğru sonuçlar verebilmesi, ancak girdi sinyallerinin hiç veya hiçe yakın oranda bozulmadan deneye dahil olabilmesi ile mümkündür. Bölüm 5'te ayrıntılı olarak anlatılacak ve deneylerde test edilecek olan kontrolcünün giriş sinyali hız'dır. Bu sebeple köprülü vinç modelinde istenilen hızların gecikmesiz ve aynı zamanda bozulma olmadan uygulanabilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Model hareket tahrik sistemleri bünyesinde barındırdığı yüksek hassasiyetli servo motorlar ile uygunluk konusunda büyük başarı vaat etmektedirler.

Köprülü vinç modeli uygunluk testlerinde yazılan program aracılığıyla fiziksel modele farklı hız grafikleri verilmiştir. Deney süresince servo motorların dönel optik kodlayıcılarından alınan yüksek hassasiyetli tur bilgisi 1 mikron hassasiyetli konum bilgisine çevrilerek kaydedilmiş ve girdi değerleri ile çıkış değerleri grafiklere dökülerek karşılaştırılmıştır. (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10)



Şekil 2.9 $V_{maks}=0.08$ m/s için köprülü vinç fiziksel modeline gönderilen hız komutu ve sistemden okunan gerçek hız değeri

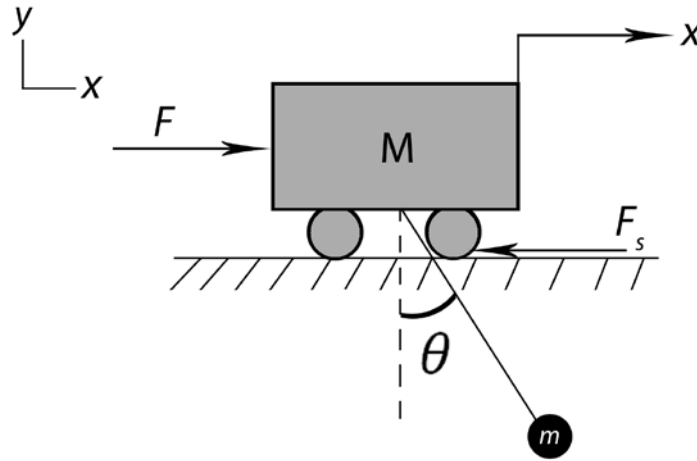


Şekil 2.10 $V_{maks}=0.16$ m/s için köprülü vinç fiziksel modeline gönderilen hız komutu ve sistemden okunan gerçek hız değeri

Sonuç olarak sistemin çok yüksek oranda bir başarıyla uygunluk testinden geçmiştir.

3. ARABA MEKANİZMASININ MATEMATİKSEL MODELİ

Köprülü vinçte hareketten dolayı oluşan salınımları minimuma indirmek amacıyla yapılacak olan çalışmalarda kullanılmak için sistemin araba ve yük mekanizmasının bir matematiksel modeli Lagrange yöntemi ile elde edilmiş olup, denklemlerin çıkarılışında izlenen adımlar Ek-1.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sistemin serbest cisim diyagramı

Köprülü vinç için Simulink programında Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’de verilmiş olan matematiksel eşitlikler kullanılarak bir model oluşturulmuştur.

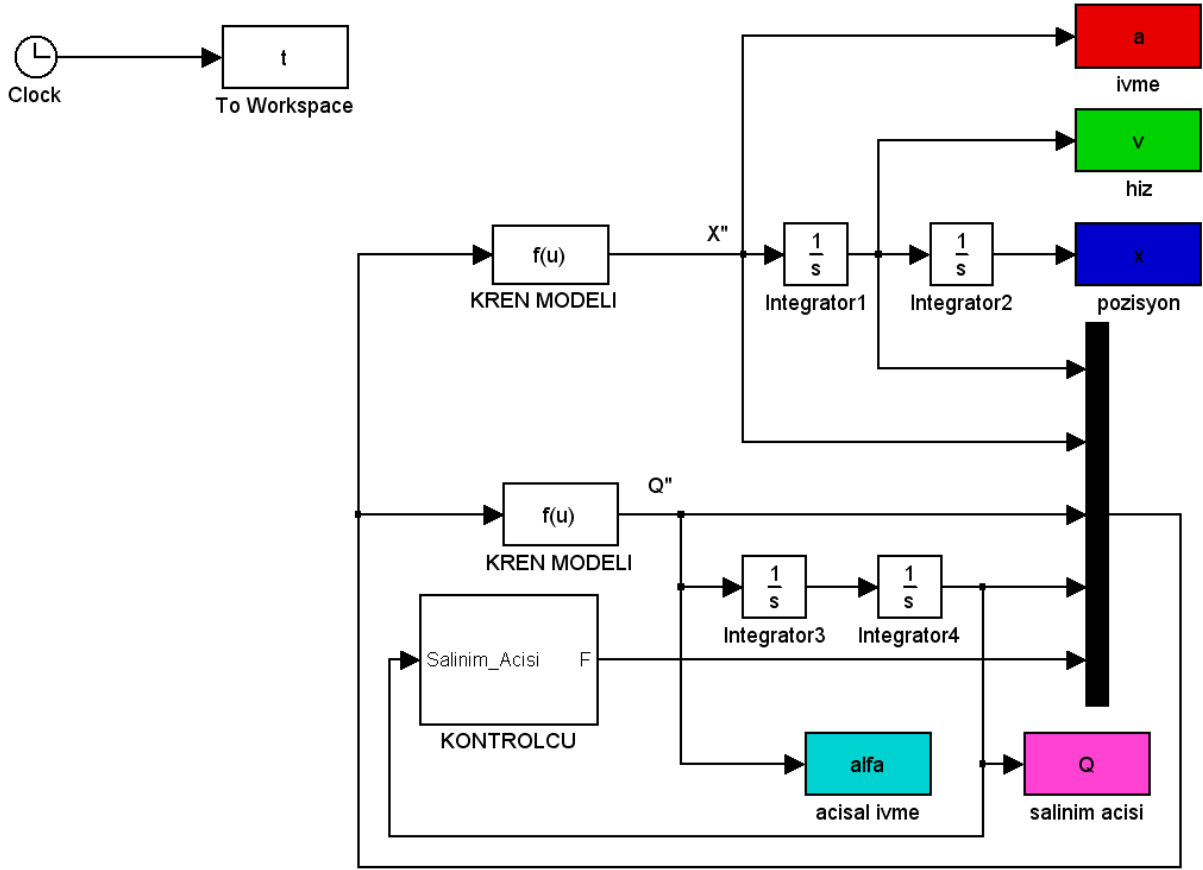
$$(M + m)\ddot{x} + m.L.\ddot{\theta}.\cos\theta + F_s = F \quad (3.1)$$

$$m.L^2.\ddot{\theta} + m.\ddot{x}.L.\cos\theta + m.g.L.\sin\theta = 0 \quad (3.2)$$

Model oluşturulurken aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

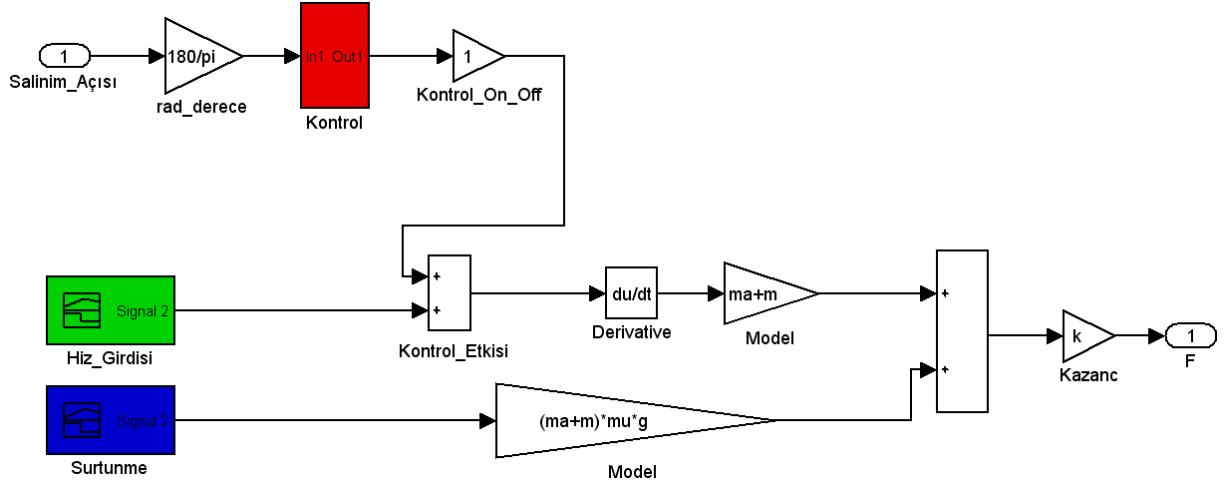
- Model, köprülü vinçte sadece arabanın tek eksenli hareketi ve tek eksenli yük salınımı için yapılmıştır.
- Araba ve yük noktasal kütle olarak ele alınmıştır.
- Halatın esnekliği ihmal edilmiş ve halat rijit kabul edilmiştir.
- Sistemin kapalı ortamda çalıştığı, bozucu etkilere maruz kalmadığı öngörülmüştür.
- Tekerlek sürtünmeleri modele dahil edilmiştir.
- $\dot{\theta} \ll 1$ olduğu kabul edilmiştir.

Köprülü kren sisteminin simulink modeli, belirtilen kabuller ile şekil 3.2’de görüldüğü şekilde oluşturulmuştur. Yapılan simülasyonlarda pozisyon, hız, ivme, açısal ivme ve salınım açılarının büyüklükleri okunmuştur. Tasarlanan kontrolcünün devrede veya devre dışı olduğu durumlardaki sonuçlar beşinci bölümde detaylı bir şekilde ele alınmıştır.



Şekil 3.2 Vinç modelinin Simulink blok diyagramı

Kontrolcü, sistemin hızına etkimektedir. Yük salınımına bağlı olarak hız değişimi ile salınım sönümlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi sistemi kontrol eden hız sinyaline kontrolcü çıkışı eklenmiştir. Yükün oluşturduğu kuvvet yükün hızına ve sürtünmeye bağlıdır. Kontrolcü bloğunun iç yapısı Şekil 3.3’te verilmiştir. Kontrolcü bloğunun girişi salınım açısıdır. Kontrolcünün pasif olması durumunda sistemin hız girişi sabit olmaktadır.



Şekil 3.3 Kontrolcü Bloğu İç Yapısı

Beşinci bölümde detaylı olarak anlatılan kontrolcü yapısının Simulink modeli Ek-1.2’de verilmiştir. Hızlanma sırasında salınım açısının pozitiften negatife geçtiği anı, yavaşlama sırasında da salınım açısının negatiften pozitifte geçtiği anı tespit eden ve buna mukabil hızda belirlenen değişiklikleri sağlayan algoritma hazır Simulink blokları ile Ek-1.2’deki gibi sağlanmıştır.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME

4.1 Görüntü İşleme İle Geri Besleme Mekanizması

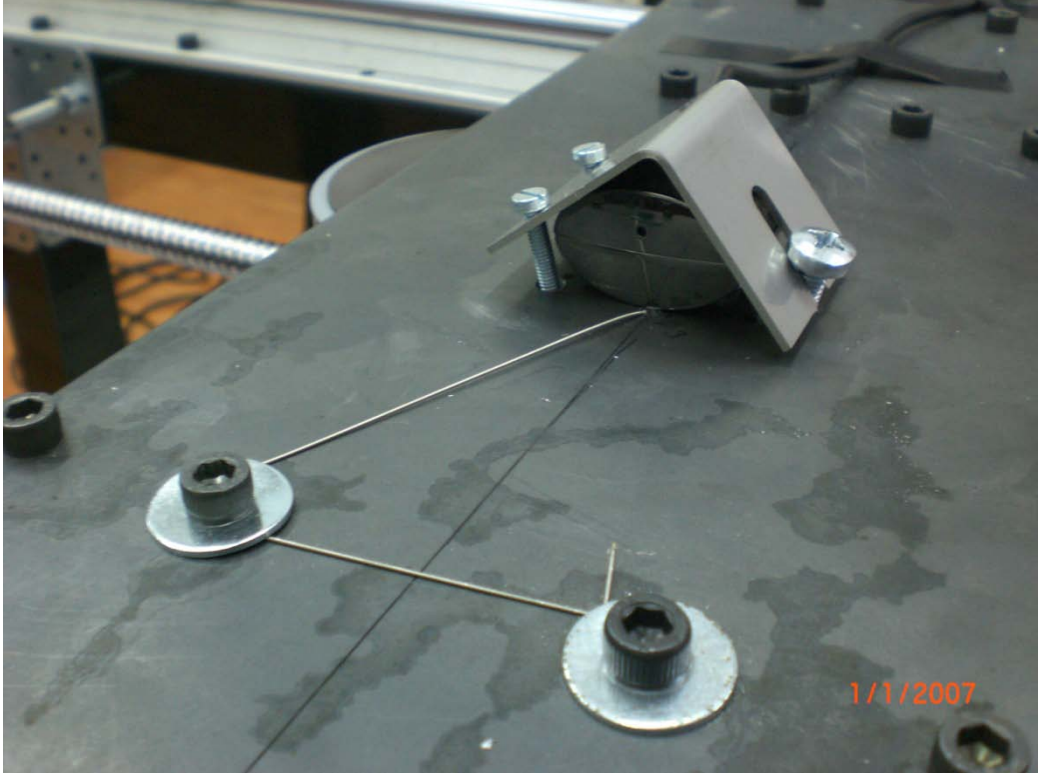
Birçok bağlantı elemanının olduğu sistemlerde geri besleme mekanizmasının güvenilirliği, hareketin ölçüldüğü yer ile gerçek hareket arasındaki bağlantı elemanlarının rijitliğine ve güvenilirliğine bağlıdır. Buna en iyi örnek olarak ani fren yapmış ve kaymakta olan bir araba gösterilebilir. Geribildirim mekanizması, içerideki göstergesinde, (hız göstergesi) tekerleri kilitlenmiş konumda olduğu için “0” hızla gittiğini yani durduğunu gösterirken, aracın dışarısından bakan herhangi bir kişi aracın hala hareket halinde olduğunu görebilmektedir.

Bilindiği gibi vinçlerde yük ile araba arasındaki bağlantı elastik malzemelerden yapılmış olan halatlar ile sağlanmaktadır. Bu da yük salınımları ile ilgili geri besleme alınması noktasında büyük zorluklar doğurmaktadır. Günümüzde vinçlerde geri bildirim için sıklıkla kullanılan yöntem, yük üzerine yerleştirilmiş ivme sensörleri ile veri toplamaktır. Bu yöntem, doğrudan ölçüm yöntemi olmaması ve sensör parazitlerinin çokluğu nedeniyle çok hassas sonuçlar verememektedir.

İnsanoğlunun en çok kullandığı algılayıcısı (duyu organı) gözleridir. Ancak “Görme Tabanlı Algılayıcılar” halen hak ettikleri yere gelememişlerdir. Görüntü işleme ile ilgili literatürün geneline bakılacak olunursa araştırmaların çoğunun 2000’li yıllarda yapıldığı görülmektedir. Bu da görüntü işleme teknolojisinin geliştirilmeye açık ve tam anlamıyla çağımızın teknolojisi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu konudaki geçmiş çalışmalar birinci bölümde verilmiştir.

4.2 Sistem

Sistemde, bilgisayar malzemeleri satan herhangi bir mağaza veya kırtasiyeden çok düşük maliyetle temin edilebilecek bir adet “webcam” kullanılmıştır. Bu kamera, yüke yukarıdan dik olarak, yükün merkezine bakacak şekilde konumlandırılmıştır. (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2)



Şekil 4.1 Görüntü işlemede kullanılan kameranın arabanın üzerinden bakışla görünümü



Şekil 4.2 Görüntü işlemede kullanılan kameranın ve kameranın etrafına yerleştirilmiş ışık kaynaklarının arabanın alt tarafından bakışla görünümü.

Kamera, köprülü vinçte arabayla beraber hareket ettiği için sadece yükün arabaya göre bağlı hızlarını gözlemlemektedir ki, istenilen de budur. Bu sayede yükün sıfır konumu ile olan sapma miktarı (gerekli kalibrasyonlar programda yapıldıktan sonra) milimetre cinsinden (520 mm halat boyu için 0.63 mm hassasiyet ile) tespit edilebilmektedir.

Konumdaki değişimin değişim zamanına bölümü ile anlık hızların büyüklüklerine, (Denklem 4.1) hız değişiminin zamanı ile de ivmelerin büyüklüklerine (Denklem 4.2) ulaşılabilmektedir. Yükün kütlelerinin de bilindiği göz önüne alınırsa Denklem 4.3 ile o anki yük üzerindeki kuvvetlerin büyüklükleri hesaplanılabilmektedir. Bu da sistemin görüntü işleme yaparak kuvvet geri beslemesi dahi yapabilmesini sağlamaktadır.

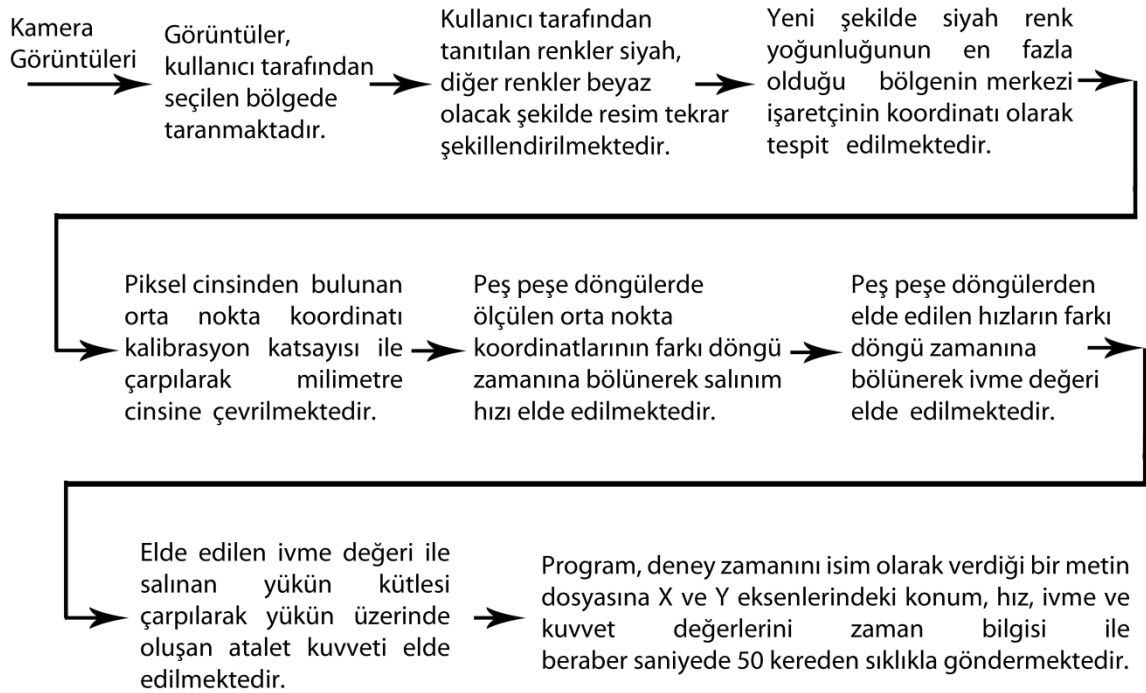
$$V = \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (4.1)$$

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4.2)$$

$$F = m \times a \quad (4.3)$$

4.3 Program

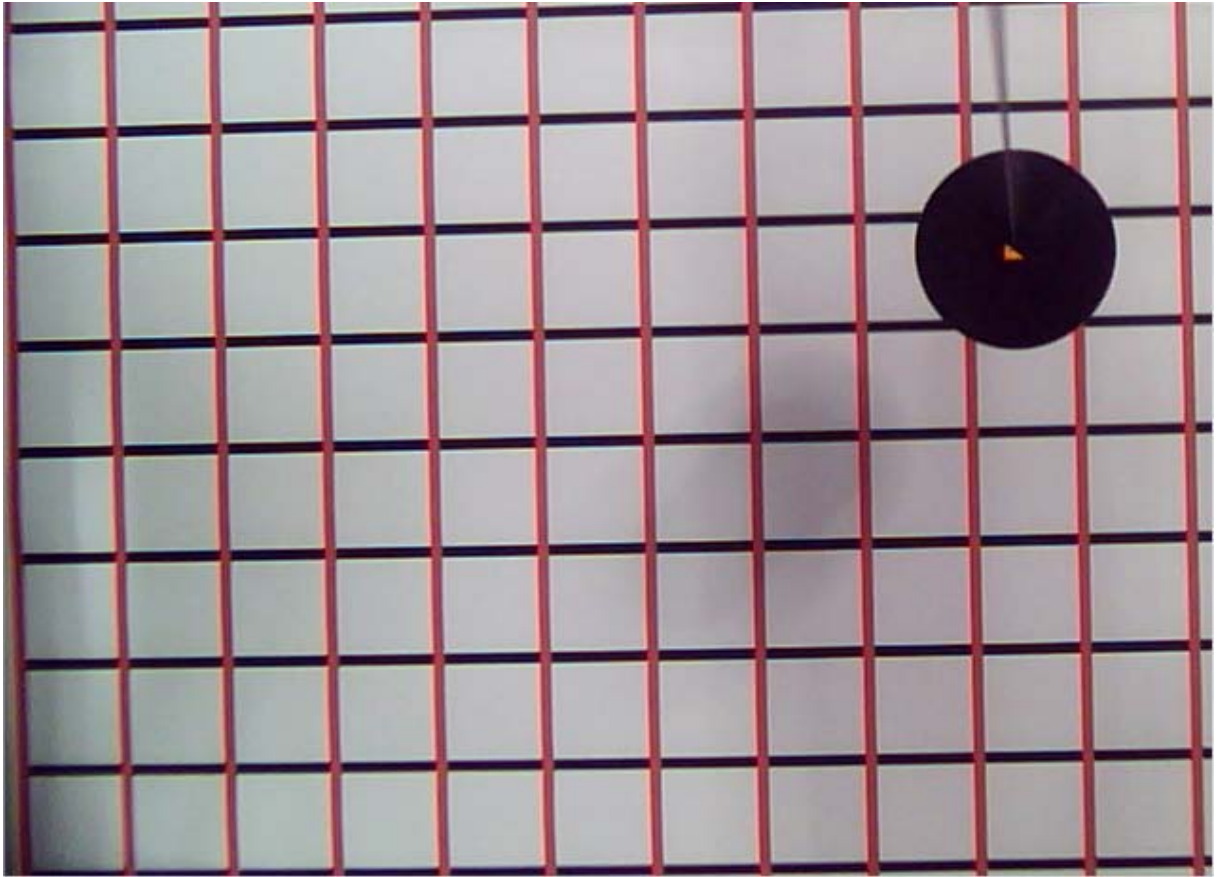
Programın genel akış diyagramı Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Programın akış diyagramı

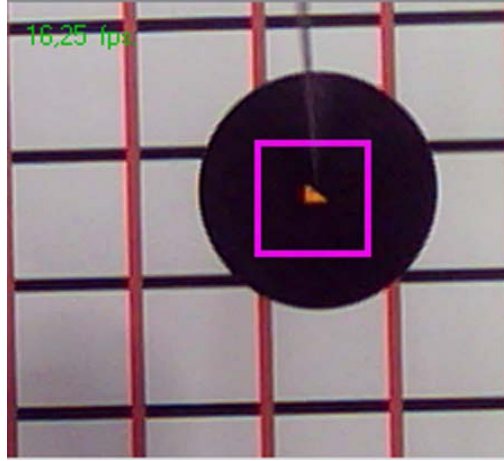
Program; tanıtılan işaretçiyi takip ederek sürekli olarak koordinatlarını tespit etmektedir. Ölçüm kalibrasyonu yapıldıktan sonra geri beslemeyi milimetre cinsinden yapmaktadır. Çalışma alanının da seçilmesiyle her döngüde daha küçük bir alan taranarak daha hızlı taramalar yapılabilir. (İstenilirse tarama sıklığı değiştirilerek daha hızlı taramalar da yaptırılabilir ancak bu durumda hassasiyet azalmaktadır.) Ayrıca program belirlenen frekansta konum, hız, ivme ve kuvvet bilgilerini bir dosyaya yazdırabilmekte ve istenilen sıklıkta deney fotoğraflarını kaydedebilmektedir. Programın Visual Basic programı için yazılmış kodları Ek-4'te verilmiştir.

Program arayüzünde kameranın çektiği görüntü gerçek zamanlı olarak yer almaktadır. (Şekil 4.4)



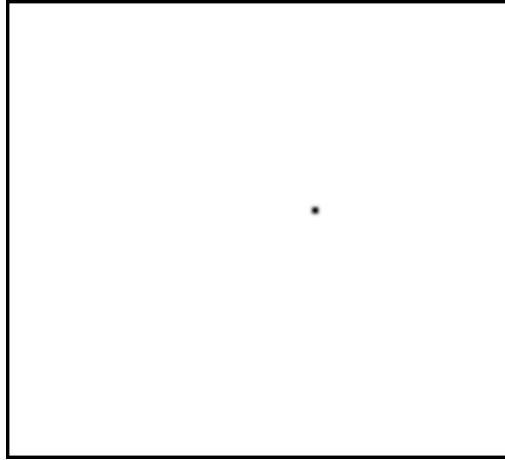
Şekil 4.4 Kameranın çektiği gerçek zamanlı görüntü penceresinin görünümü

Ayrıca arayüzde kullanıcı tarafından, tarama zamanını azaltmak amacıyla aktif alanın seçilmesi ile oluşan yeni pencere yer almaktadır. (Şekil 4.5) Bu pencerede program tarayıcı birimi tarafından işaretçinin yakalanıp kare içerisinde gösterildiği Şekil 4.5'te de gözlemlenebilmektedir.



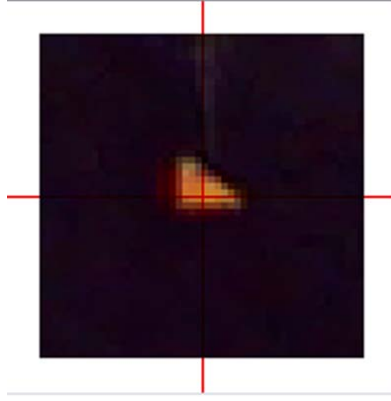
Şekil 4.5 Kullanıcının seçtiği aktif alanın görüntüsü

Şekil 4.6’da aktif alandaki görüntünün tanıtılan renge göre siyah-beyaza çevrilmiş hali yer almaktadır. Burada işaretçinin tanıtılan rengi (veya renk aralığı) siyah renkte, kalan tüm renkler beyaz renkte görüntülenmektedir.



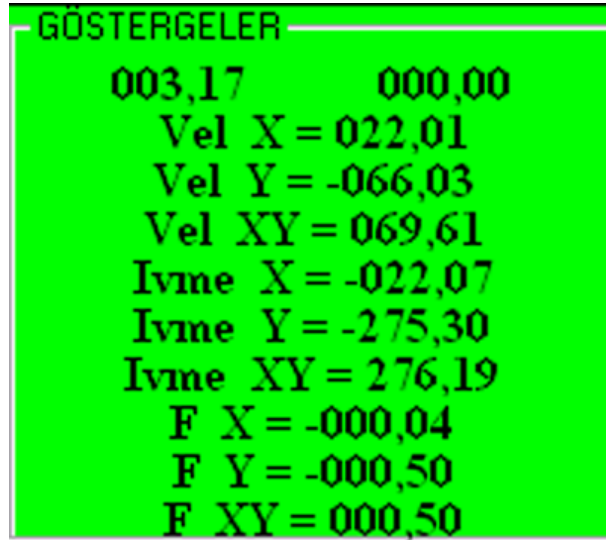
Şekil 4.6 Kullanıcı tarafından tanıtılan rengin siyah, diğer renklerin beyaz hale çevrilmesiyle oluşan işlenmiş resim

Programda, işaretçinin takibi sırasında bir ekran görüntüsü de işaretçiye odaklanmış şekilde sürekli olarak işaretçiyi göstermektedir. (Şekil 4.7)



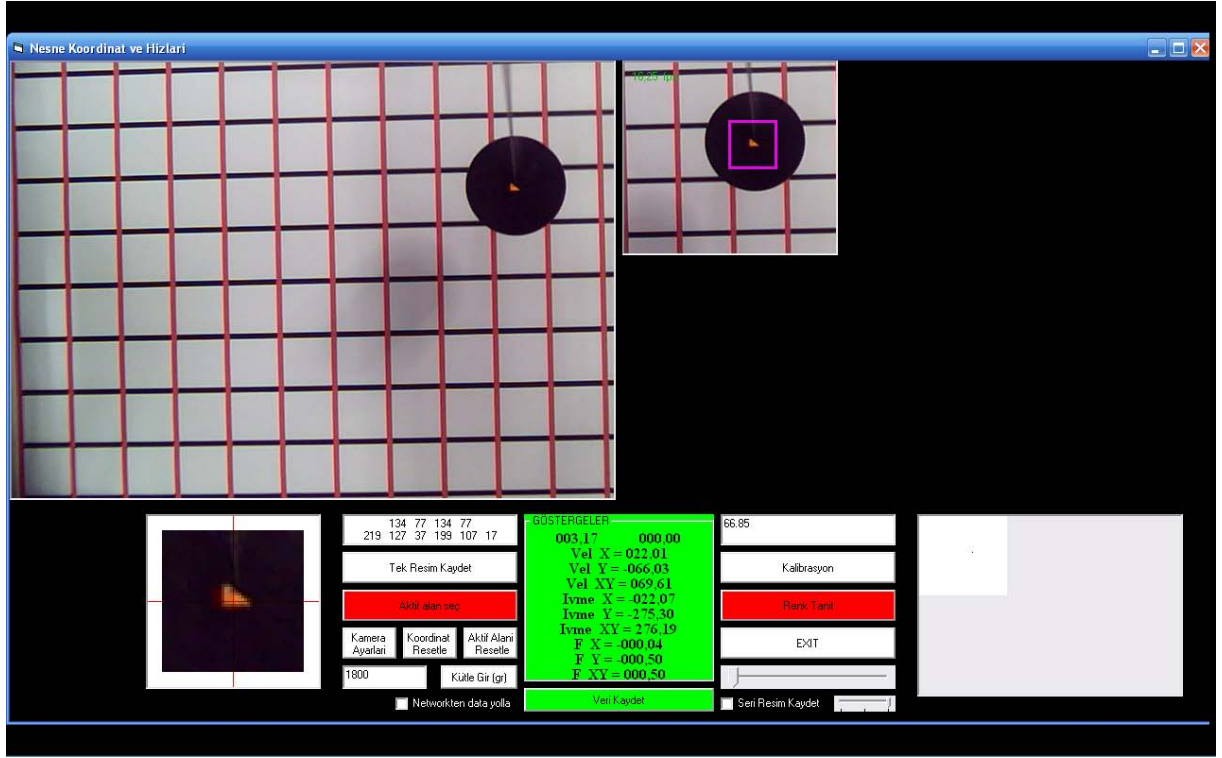
Şekil 4.7 İşaretçiyi bulduktan sonra işaretçiye odaklanmış görüntü

Koordinatın okunmasının istenildiği derinlikteki, ölçüsü bilinen herhangi bir mesafe seçilerek bu mesafenin milimetre cinsinden ilgili kutucuğa girilmesiyle ölçüm kalibrasyon katsayısı belirlenmiş olur. Bundan sonraki işlemlerde konum bilgileri milimetre birimiyle verilmeye başlanmaktadır. Yükün orta konumda olduğu anda koordinat sıfırlanarak konum bilgisinin sıfır konumuna göre verilmesi sağlanmış olmaktadır. Bahsi geçen ayarlar yapıldıktan sonra sürekli olarak konum, hız, ivme, kuvvet büyüklük verilerini göstergeler ile sunmakta (Şekil 4.8) ve deneyin yapıldığı zamanın isim olarak verildiği metin dosyasına kaydedebilmektedir. İstenildiği anda aktif alanın tek resmi kaydedilebileceği gibi farklı frekanslarda otomatik olarak resim kaydetmek de mümkündür.



Şekil 4.8 İşaretçinin konum, anlık hız, anlık ivme ve yükün üzerindeki atalet kuvveti değerlerinin büyüklüklerini kullanıcıya sunan göstergeler

Programın arayüzünün genel görüntüsü şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 Görüntü işlemede kullanılan ve bu proje için özel olarak yazılan bilgisayar programı arayüzünün çalışma sırasında alınmış anlık görüntüsü

Program, 128 Mb paylaşımlı ekran kartlı bir bilgisayar ile 0.63 mm hassasiyetle saniyede 16 kere tarama yapabilmektedir. Hassasiyet, 1.26 mm'ye indirildiğinde ise 32+ kere tarama yapabilmektedir ancak burada sistemin limitleyici hızı, kameranın çekim hızı olan saniyede 30 karedir. Program, tespit ettiği ve/veya hesapladığı verileri yerel ağ aracılığı ile gerçek zamanlı olarak diğer bilgisayarlara gönderir. Ölçülen en yüksek veri gecikme zamanı 16 milisaniye'dir (Bu konu, Bölüm 7.3'te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.)

4.4 Görüntü İşlemede En Uygun İşaretçinin Tayini

Bu işlem için farklı renklerde, farklı şekillerde farklı boyutlarda, farklı çözünürlük ve frekanslarda ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde elde edilmek istenilen sonuç, farklı işaretçi ve durumların görüntü işleme hassasiyetine etkisinin tespiti. Deneyler sırasında yük ve dolayısıyla işaretçi sabitlenerek salınımları ve hareketleri engellenmiştir. Bu sayede normalde “sıfır” olarak ölçülmesi gereken konum değerlerinin ne kadar ve hangi frekansta sapma yaptığı tespiti edilmiştir.

Deneyler sırasında milimetre cinsinden elde edilen sapma miktarları (S_{m_x} ve S_{m_y}) saniyedeki sapma frekansı (S_{f_x} ve S_{f_y}) ile çarpılarak, sırasıyla X ve Y eksenleri için K_x ve K_y katsayılarına ulaşılmıştır. (Denklem 4.4, Denklem 4.5) Bu katsayılar, seçilen renklerin veya şekillerin uygunluğunun birbiriyle karşılaştırılmasında kullanılması açısından önemlidirler. Katsayıların düşük olması renk veya şeklin uygun olduğunu; büyük olması ise uygun olmadığını göstermektedir. Karşılaştırmalar K_x ve K_y 'nin aritmetik ortalaması alınarak bulunan Kort değerine göre yapılmaktadır. (Denklem 4.6)

$$K_x = S_{m_x} \times S_{f_x} \quad (4.4)$$

$$K_y = S_{m_y} \times S_{f_y} \quad (4.5)$$

$$K_{ort} = \frac{K_x + K_y}{2} \quad (4.6)$$

4.5 Deney sonuçları

Tüm deney sonuçları Ekler bölümünde Ek-2'de verilmiştir. İlgili bölümde her deney için, deney sırasında görüntü işleme kamerasının çektiği yükün ve işaretçinin resmi, yükün deney süresince izlediği yörünge (sanal olarak – gerçekte yük, bu deneylerde hareket etmemektedir.), yükün X ve Y eksenindeki sanal sapma grafiği ve deney koşullarının sayısal değerlerinin olduğu bir çizelge yer almaktadır. (Ek-2.1 – Ek-2.17)

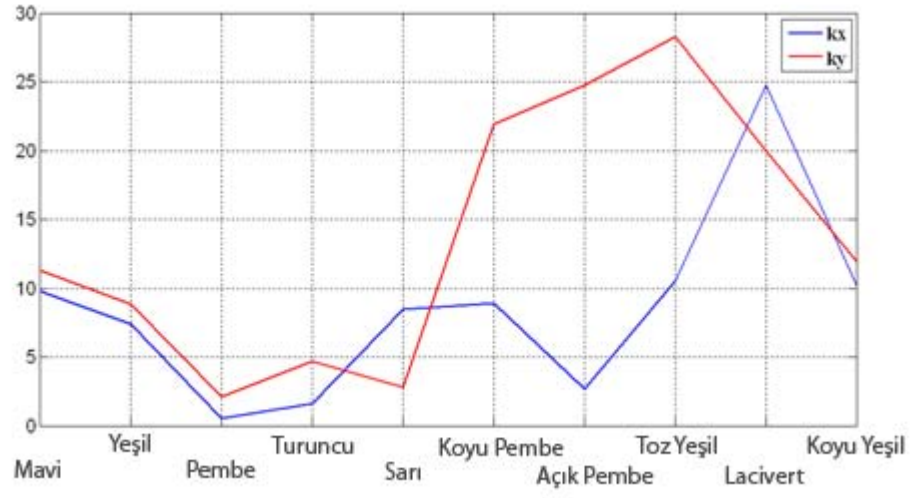
Tüm deney sonuçları K_x , K_y ve bunların aritmetik ortalaması olan K_{ort} 'a göre karşılaştırıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.

4.5.1 Farklı renklerle yapılan deneylerin grafikleri

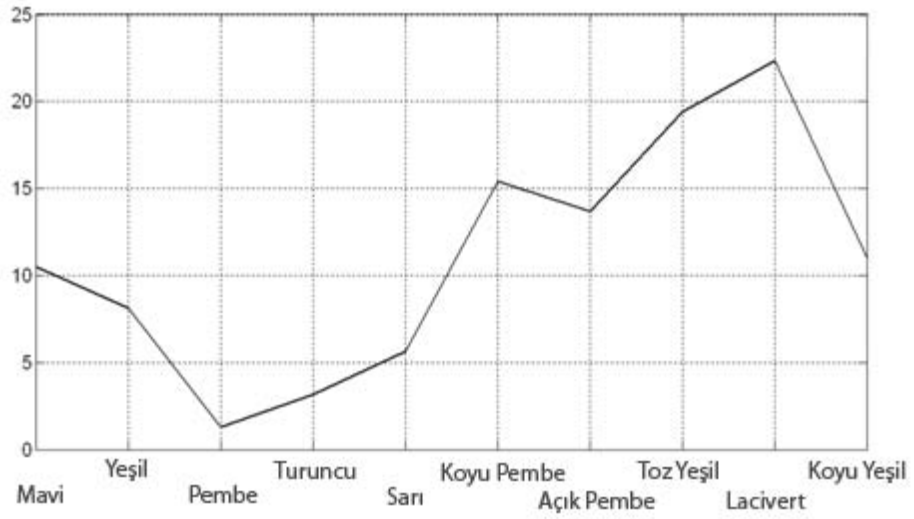
Ek-2.1'den Ek-2.10'a kadar

Diğer tüm değişkenler sabit tutulmak suretiyle, her deneyde sadece farklı renkte işaretçi nokta kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları şu şekildedir:

Farklı renkli işaretçilerin kullanılması ile yapılan görüntü işleme mekanizmalarının doğruluk karşılaştırması Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.10 Farklı işaretçi renkleri ile değişen K_x ve K_y değerleri



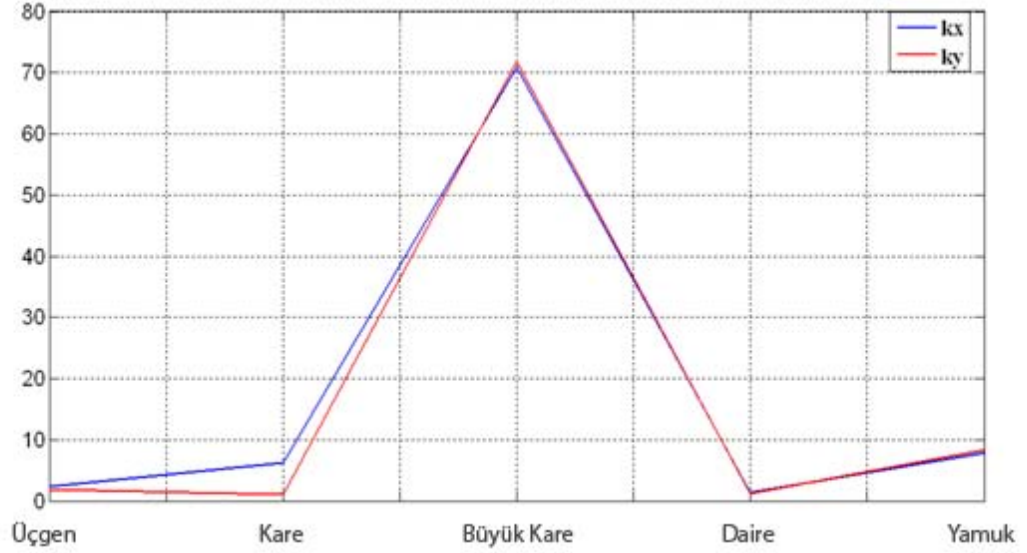
Şekil 4.11 Farklı işaretçi renkleri ile değişen K_{ort} değerleri

Renklere göre yapılan karşılaştırmada Pembe renkli işaretçinin en düşük sapma ile sonuç verdiği görülmektedir.(Şekil 4.11) Bundan sonraki deneyler pembe işaretçiler ile yapılmıştır.

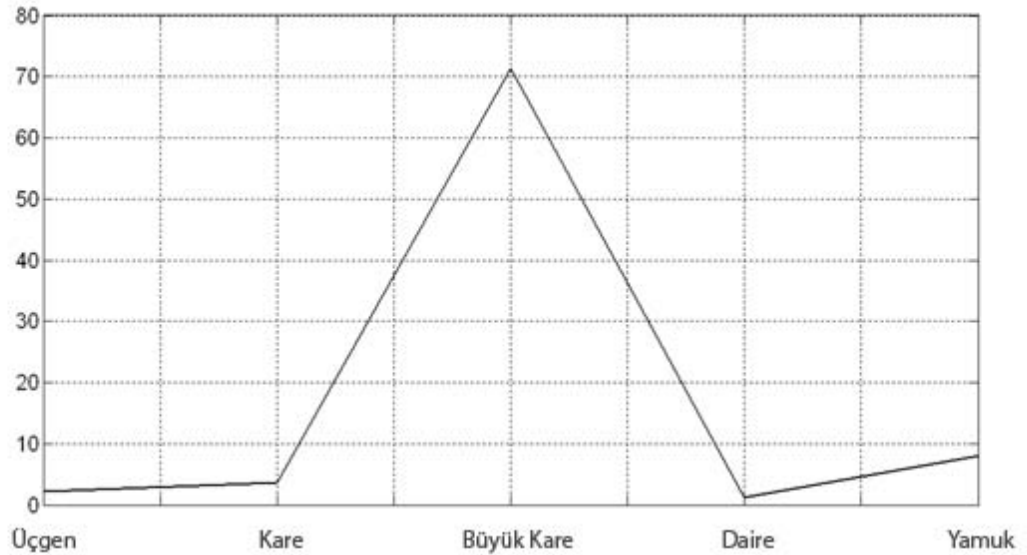
4.5.2 Farklı şekiller ile yapılan deneylerin grafikleri

Diğer tüm değişkenler sabit tutulmak suretiyle, her deneyde sadece farklı şekilde işaretçi nokta kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları şu şekildedir:

Farklı şekilli işaretçilerin kullanılması ile yapılan görüntü işleme mekanizmalarının doğruluk karşılaştırması Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Farklı işaretçi şekilleri ile değişen K_x ve K_y değerleri



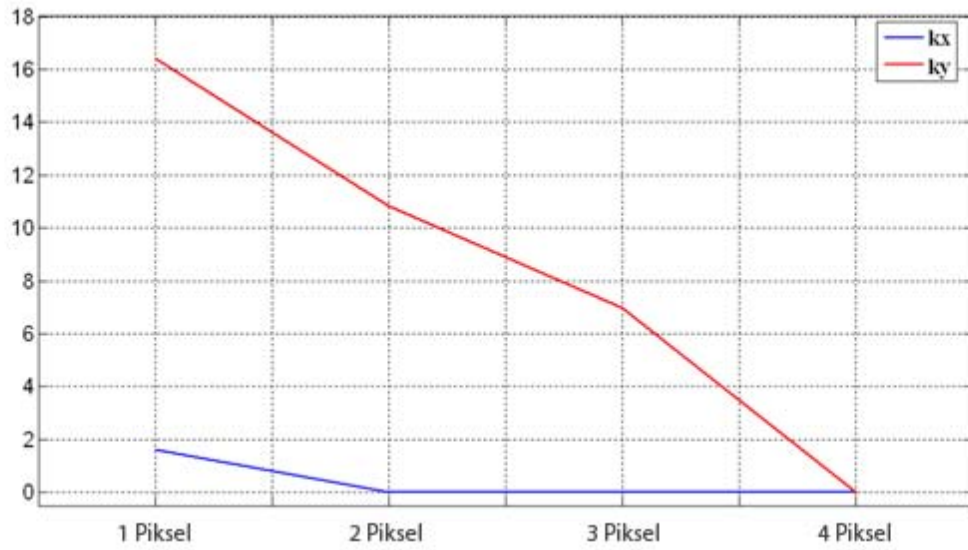
Şekil 4.13 Farklı işaretçi şekilleri ile değişen K_{ort} değerleri

Şekillere göre yapılan karşılaştırmada Daire şekilli işaretçinin en düşük sapma ile sonuç verdiği görülmektedir.(Şekil 4.13) Bundan sonraki deneyler daire şekilli işaretçiler ile yapılmıştır.

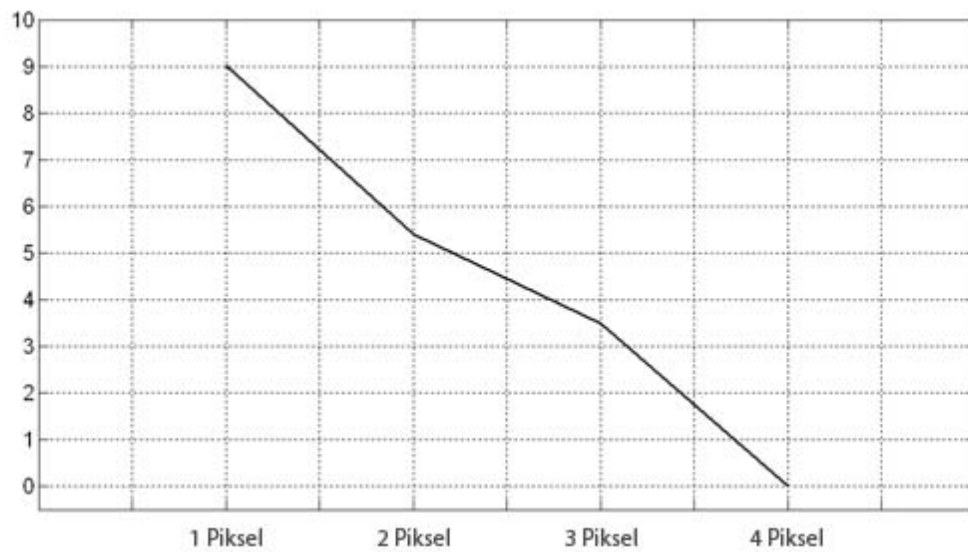
4.5.3 Farklı çözünürlük (ve frekanslar) ile yapılan deneylerin grafikleri

Diğer tüm değişkenler sabit tutulmak suretiyle, her deneyde sadece farklı çözünürlükte yapılan deneylerin sonuçları şu şekildedir:

Farklı çözünürlük ve frekans ile yapılan görüntü işleme mekanizmalarının doğruluk karşılaştırması Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.14 Farklı çözünürlük değerleri ile değişen K_x ve K_y değerleri



Şekil 4.15 Farklı çözünürlük değerleri ile değişen K_{ort} değerleri

Çözünürlüğe göre yapılan karşılaştırmada 4 piksel çözünürlükle yapılan deneylerin en düşük sapma ile sonuçlandığı görülmektedir.(Şekil 4.15) 2.52 mm ‘den daha az hassasiyet gerektiren uygulamalarda 4 piksel çözünürlük seçilir ise uygulama kararlı bir yapıda ve bozucu titreşimlerden uzak olacaktır.

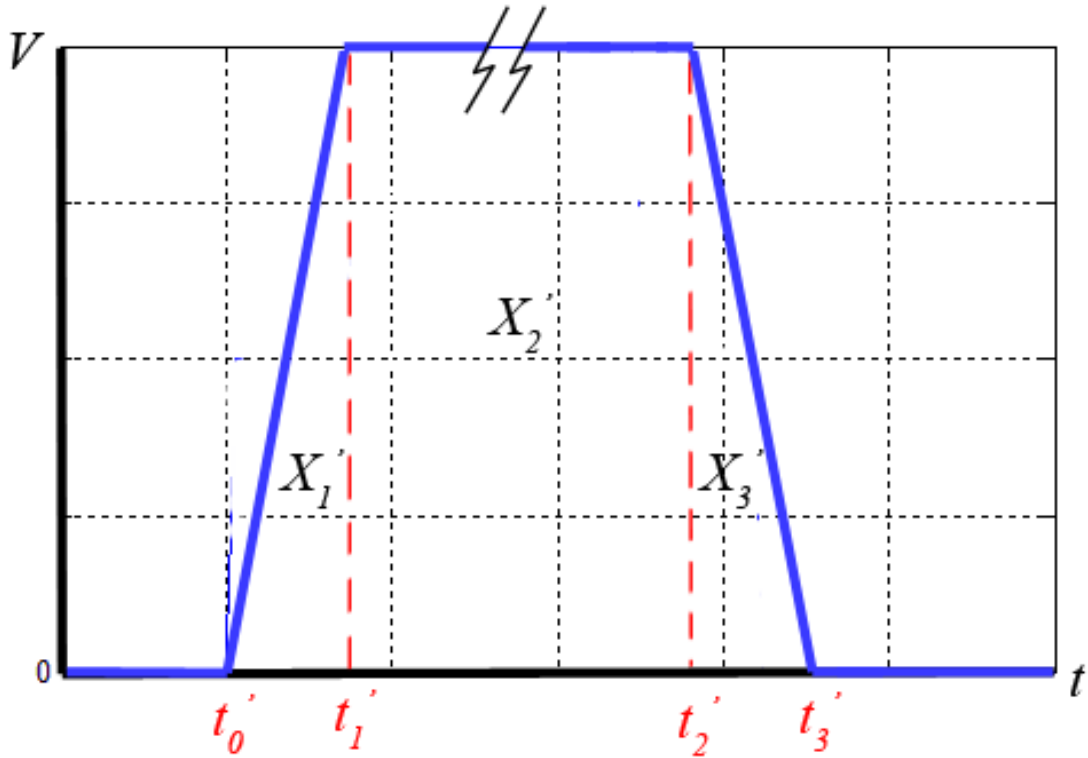
Sistem kullanılırken bozucu etkilere rağmen yüksek hassasiyet ihtiyacı dolayısıyla 1 piksel (0.63 mm) çözünürlük değeri tercih edilmiştir.

4.6 Sistemi iyileştirme önerileri

Gerekli olan durumlarda daha yüksek çözünürlüklü kamera seçimi yapılarak sistem hassasiyeti daha üst seviyelere taşınabilmektedir. Daha yüksek hızda sistem cevabı için sistemin yavaşlatıcı halkası olan kameranın, (2 ve daha fazla piksel hassasiyeti durumlarında) döngü frekansına yetişebilecek, daha yüksek hızlı bir kamera ile değiştirilmesi uygun olmaktadır.

5. KONTROLCÜ TASARIMI

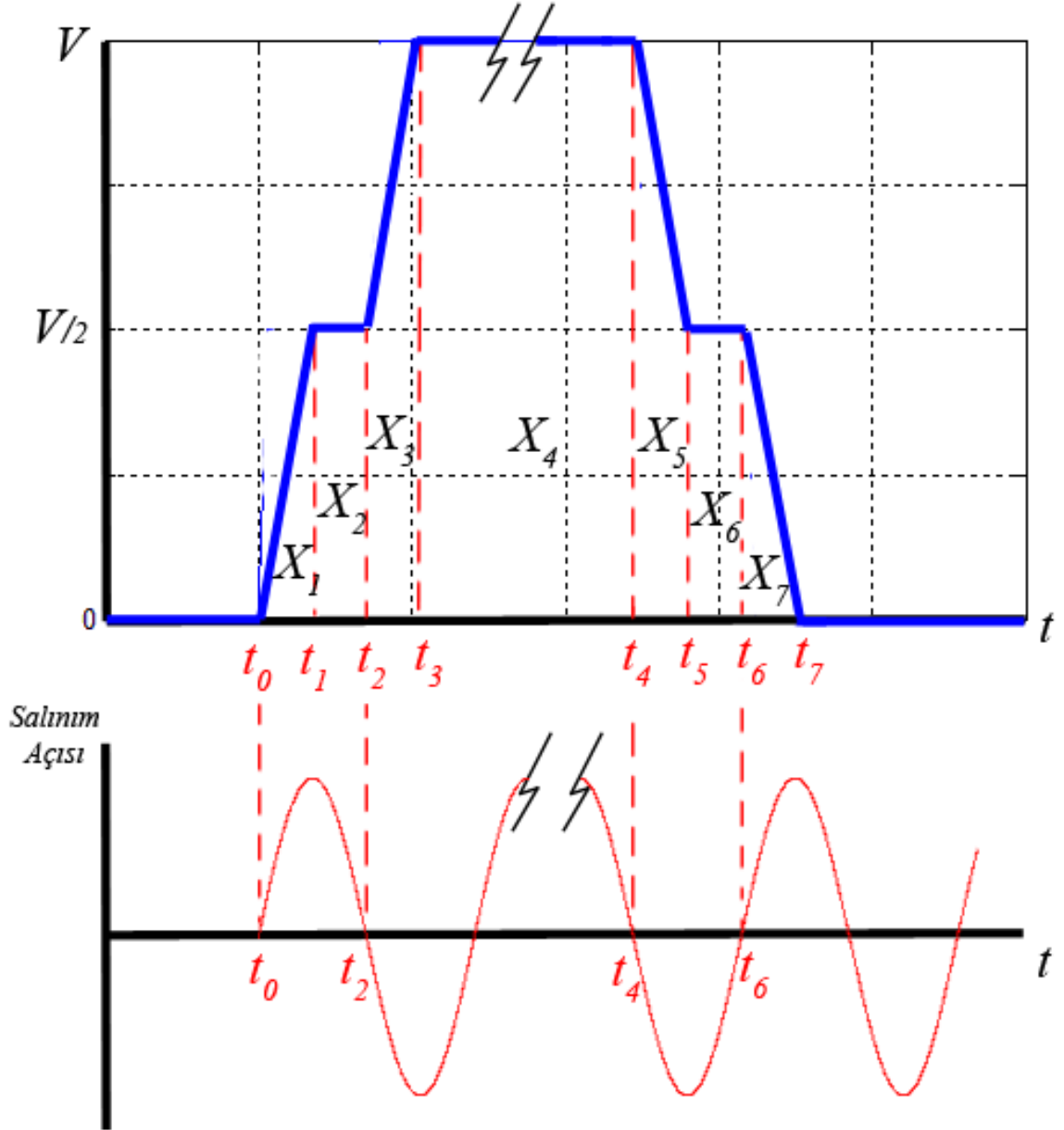
Köprülü vinç gibi yük taşıyan sistemlerde, kararsızlık durumu veya yüksek açılardaki salınımlar sistemin tüm dengesini olumsuz yönde etkileyebileceği gibi can ve mal kaybına neden olan kazalara da yol açabilmektedir. Bu sebeplerden ötürü vincin hareketlerini, salınımları en düşük seviyede tutacak şekilde yönlendirmek, tüm sistemin güvenliğini arttırdığı gibi mevcut konstrüksiyonlarda daha yüksek hızda iletim yapıp verimin artmasına, yeni yapılacak sistemlerde daha basit ve hafif yapılar ile mevcut kapasitelere ulaşılabilmesine ve sonucunda da kurulum ve işletme maliyetlerinin daha düşük seviyelere çekilebilmesine olanak sağlamaktadır. Köprülü vinçlerde yük salınımlarını minimize etmek amacıyla GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI HIZ UYARILI SALINIM KONTROLÜ (GİTHUSK) yapan bir kontrolcü tasarlanmıştır.



Şekil 5.1 Normal bir hareketin hızın büyüklüğü - zaman grafiği

Normal bir hareket sırasında; hızlanma ($t_0' - t_1'$ arası), sabit hızla seyir ($t_1' - t_2'$ arası) ve yavaşlama ($t_2' - t_3'$ arası), evreleri mevcuttur.(Şekil 5.1) Hızlanma ve yavaşlama gibi ivmeli hareketler içeren evreler sırasında yük üzerine etki eden kuvvetin bir salınımına yol açması muhtemeldir ve hatta yanlış zamanlamayla yapılan tekrarlı ivmelenme, sistemi kararsızlığa sürükleyebilmektedir.

Bu bölümde köprülü vinçlerde uzun zamandır sıklıkla ilgilenilen salınım genliğini azaltma problemine, çözüm olabilmesi için bir kontrolcü tasarımı gerçekleştirilecek (GİTHUSK) ve farklı koşullar altında kontrolcünün performansı çeşitli simülasyon ve deneyler ile ölçülecektir.



Şekil 5.2 GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki arabanın hız –zaman grafiği (üstte) ile bir basit sarkacın salınım – zaman grafiği (altta) ve kontrolcünün devreye girdiği t_2 ve t_6 zamanlarının salınımında rastladığı noktalar görülmektedir

5.1 GİTHUSK kontrolcünün Çalışma Prensibi

Arabanın hızlanması sırasında yükte G genliğinde bir salınım oluşmaktadır. Bu salınım, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi $2 * (t_2 - t_0)$ periyodundadır (T). Salınan cisim, harekete başladıktan T saniye sonra (1 periyotluk zaman sonra) başladığı konumdan salınımın başladığı yönde geçmektedir. $T/2$ periyodunda ise (t_2 anında) başladığı konumdan salınımın başladığının ters yönünde geçmektedir. Bu da göstermektedir ki, $T/2$ anında yüke ilk hareket başlangıcında etki eden ivme ve hız değerlerinin aynısı uygulanır ise iki eşit etki zıt yönlü olarak cisme etkiyecek ve salınımı sönmüleyecektir. (Şekil 5.3) GİTHUSK kontrolcünün temeli de bu mantığa dayanmaktadır. Normal hareket sırasında “a” ivmesiyle “V” hızına çıkacak olan araba, yine “a” ivmesi ile (V yerine) $V/2$ hızına çıkartılıp sabit hızda hareket yaptırılmaktadır. Bu sırada salınım genliği $G/2$ olmaktadır. Görüntü işleme programı tarafından sürekli olarak izlenen yük, başlangıç konumuna ilk salınıma ters yönlü olarak ulaştığı anda (Bu an, hareket başlangıcından $T/2$ saniye sonraya karşılık gelmektedir) arabanın hızı yine “a” ivmesiyle $V/2$ ’den V ye çıkarılmaktadır (Hız değişimi yine $V/2$ olmaktadır). Bu da tam olarak istediğimiz ters yönlü salınım tetikleme işlemini doğru zamanda yapılmasını sağlayarak oluşması gereken salınımın mevcut salınımı sönmülemesini sağlamaktadır. Kontrollü olarak izin verilen ilk salınım genliği kontrolsüz hareket sırasında oluşan salınım genliğinin yarısı büyüklüktedir. Hızlanma sırasında uygulanan işlemlerin aynısı (bu sefer ters yönlü olarak) yavaşlama sırasında da uygulanmaktadır.

Hız değişimi olmadan yapılan hareket sırasında (t_3 ve t_4 zaman aralığında) salınım değişimi gözlemlenmemektedir ve yük, sönmülenmiş olduğu değer aralığında çok küçük açılarda salınmaktadır.

Yavaşlama sırasında da hızlanmada olduğu gibi ilk başta hız değişiminin yarısı (sabit ivme değeri ile) uygulanarak kontrollü salınıma başlatılmaktadır. Görüntü işleme programı yük hareketlerini izleyerek bu sefer de frenlemeye başladıktan sonra başlangıç konumuna, mevcut salınıma ters yönlü olarak ilk ulaştığı anda (Bu an, frenleme başlangıcından $T/2$ saniye sonraya karşılık gelmektedir) kontrolcüyü devreye sokmaktadır ve arabanın hızı aynı ivme değeri ile sıfıra indirilmektedir. Burada yine aynı ivme ve aynı hız değişimi değerleri korunduğu için aracın durması ile salınımlar birbirini sönmülemekte ve yükte çok ufak ölçekli salınımlar görülmektedir.

Konum kontrolü için bilinmesi gereken değişkenler: v , a , X_{toplam} büyüklükleri.

Başlangıç anı “0” olarak alınmıştır.

$$t_0 = 0 \quad (5.1)$$

İlk hızlanma sırasında geçen zaman (t_1):

$$t_1 = \frac{v}{(2 \times a)} \quad (5.2)$$

İlk hızlanma sırasında alınan yol (X_1):

$$X_1 = \frac{((\frac{v}{2}) \times t_1)}{2} \quad (5.3)$$

$$X_1 = (\frac{v^2}{(8 \times a)}) \quad (5.4)$$

Serbest salınımlı harekette salınım periyodu (T) (Araba hız değişiminin olmadığı durumlarda):

$$T = (2 \times \pi \times \sqrt{\frac{L}{g}}) \quad (5.5)$$

GİTHUSK Kontrolcünün devreye girme zamanı t_2 :

$$t_2 = \frac{T}{2} = t_k = \pi \times \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (5.6)$$

GİTHUSK Kontrolcünün devreye girmesi için uygun an beklenirken $\frac{v}{2}$ sabit hızında hareket halinde alınan yol (X_2):

$$X_2 = (\frac{v}{2}) \times (t_2 - t_1) \quad (5.7)$$

$$X_2 = (\frac{v}{2}) \times (\pi \times \sqrt{\frac{L}{g}} - (\frac{v}{(2 \times a)})) \quad (5.8)$$

GİTHUSK Kontrolcü devreye girdikten sonra, ikinci hızlanma sırasında alınan yol (X_3):

$$X_3 = (\frac{((v + \frac{v}{2}) / (3 \times \frac{v}{2}))}{2}) \times (t_3 - t_2) \quad (5.9)$$

$$X_3 = \frac{(3 \times v^2)}{(8 \times a)} \quad (5.10)$$

v sabit hızında hareket halinde alınan yol (X_4):

$$X_4 = v \times (t_4 - t_3) \quad (5.11)$$

Yavaşlamanın ilk evresinde alınan yol (X_5):

$$X_5 = \left(\frac{v + \frac{v}{2}}{2} \right) \times (t_5 - t_4) = \frac{(3 \times v \times (t_5 - t_4))}{4} \quad (5.12)$$

Yavaşlama sırasında kontrolcünün devreye girmesi için uygun an beklenirken $\frac{v}{2}$ sabit hızında hareket halinde alınan yol (X_6):

$$X_6 = \left(\frac{v}{2} \right) \times (t_6 - t_5) \quad (5.13)$$

Yavaşlama sırasında kontrolcü devreye girdikten sonra durma konumuna geçene kadar alınan yol (X_7):

$$X_7 = \frac{\left(\left(\frac{v}{2} \right) \times (t_7 - t_6) \right)}{2} = \left(\frac{v}{4} \right) \times (t_7 - t_6) \quad (5.14)$$

Tüm hızlanma evreleri boyunca alınan toplam yol ($X_{\text{hızlanma}}$):

$$X_{\text{hızlanma}} = X_1 + X_2 + X_3 \quad (5.15)$$

$$X_{\text{hızlanma}} = \left(\frac{v^2}{(8 \times a)} \right) + \left(3 \times \frac{v^2}{(8 \times a)} \right) + \left(v \times \pi \times \left(\sqrt{\frac{L}{g}} - \frac{v^2}{(4 \times a)} \right) \right) \quad (5.16)$$

$$X_{\text{yavaşlama}} = X_{\text{hızlanma}} = \left(\frac{v}{2} \right) \times \left[\left(\frac{v}{(2 \times a)} \right) + \left(\pi \times \sqrt{\frac{L}{g}} \right) \right] \quad (5.17)$$

Sabit hızla hareket sırasında geçen zaman ($t_{\text{sabit_hız}}$):

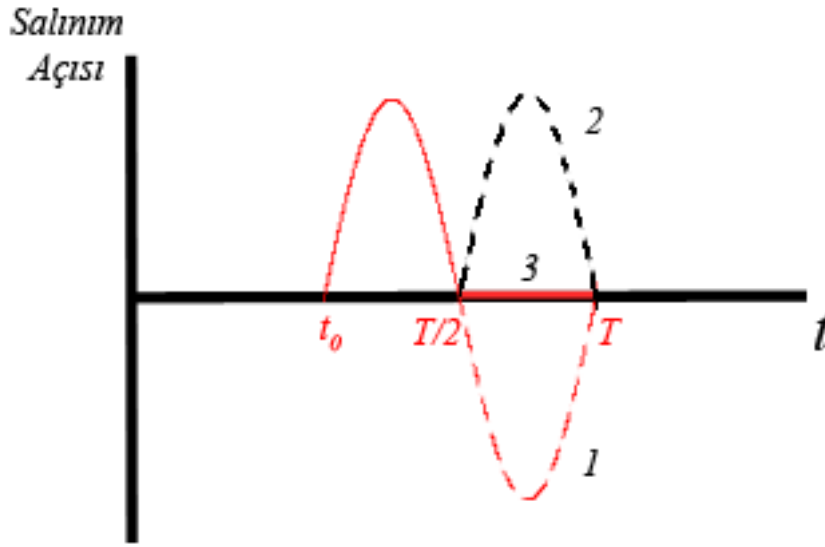
$$t_{\text{sabit_hız}} = t_4 - t_3 \quad (5.18)$$

$$X_{\text{toplam}} = (2 \times X_{\text{hızlanma}}) + (v \times t_{\text{sabit_hız}}) \quad (5.19)$$

GİTHUSK Kontrolcünün devreye girme zamanını veren Denklem 5.6'da görüldüğü üzere, kontrolcünün etkin bir şekilde uygulanabilmesi, salınım periyodunun yarısının ($T/2$) çok hassas bir şekilde hesaplanması ile mümkündür. Ancak bu işlem, salınım periyodunun hesabındaki (Denklem 5.5) "L" halat boyu değişkeni nedeniyle çok hassas olamamaktadır. Her an için hassas halat boyu ölçümü zor bir işlemdir. Burada kullanılmakta olan görüntü işlemeli geri besleme mekanizmasının önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizma, yük salınımlarını gözlemleyerek yükün orta konumdan geçtiği anı, dolayısıyla da $T/2$ anını bildirmektedir. Bu da kontrolcüyü, kontrolcünün uygulanabilmesi için gerekli tek değişken olan halat boyundan bağımsız kılmaktadır. Aynı zamanda kontrolcüyü modelden ve modeldeki olası hatalardan da bağımsız kılmaktadır. Bir başka deyişle, deney sonuçlarının da

gösterdiği gibi, sisteme bir kamera eklenilerek, - uygun yazılımlarla - halat boyu ölçülmesine gerek kalmaksızın GİTHUSK kontrolcü başarıyla uygulanabilmektedir.

Şekil 5.3’ te yük salınım açısı - zaman grafiği yer almaktadır. 1 numaralı eğri, cismin GİTHUSK kontrolcü devrede olmadan yaptığı salınıma aittir. 2 numaralı eğri ise kontrolcünün devreye girdiğinde başlangıç salınımı olmasaydı yapacağı salınıma aittir. 3 numaralı eğri ise 1 ve 2 numaralı eğrilerin toplanmasıyla oluşan sönülmüş salınım eğrisidir. GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasında gözlemlenen salınım eğrisi 3 numaralı eğriye yakın olmaktadır.



Şekil 5.3 Yük salınım grafiği

GİTHUSK kontrolcü, yük salınımlarına göre otomatik olarak devreye girdiği için (Ayrıntılı olarak Bölüm 4’te “Görüntü işleme” başlığı altında anlatılmıştır.) Denklem 5.1 – Denklem 5.17 arasındaki denklemler gerçek sistem çalışması sırasında kullanılmamaktadır. Gerçek sistemde, kontrolcünün ilk devreye giriş süresinden duruş süresi hesabına geçilebilmekte, bu süre zarfındaki alınan yol hesaplanabilmektedir. Bu işlemin sonucunda da gidilmek istenilen toplam yoldan hızlanma için kat edilen yolun iki katı çıkartıldığında sabit hızlı hareket ile alınacak yol bulunabilmekte ve dolayısıyla hız bilindiği için de Denklem 5.20 ile sabit hızla gidilecek zaman hesaplanmaktadır.

$$t_{sabit_hız} = \frac{(X_{toplam} - (2 \times X_{hızlanma}))}{v} \quad (5.20)$$

5.2 Farklı Hız ve İvme Değerleri ile Yapılan Simülasyon ve Deneyler

Oluşturulan matematiksel model ile fiziksel modelin uyumunun veya uyumsuzluklarının belirlenmesi, varsa uyumsuzlukların giderilmesi, önerilen kontrolcünün (GİTHUSK) matematiksel model üzerinde gösterdiği performansı fiziksel model üzerinde de gösterip gösteremediği gibi irdelenmesi büyük önem arz eden sorulara cevap bulabilmek amacıyla bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel model ile yapılan deneylerde, öncelikle farklı hız ve ivme değerleri için kontrolcüsüz ve kontrolcülü hareket grafikleri elde edilip matematiksel model ile elde edilen grafiklerle karşılaştırılmıştır. Matematiksel model ile fiziksel modelin uyumluluğunun tespitinden sonra farklı halat boyu ve yük kütlesi değerleri için matematiksel model üzerinde simülasyonlar yapılmıştır.

Deneyler sırasında seçilmiş olan hız ve ivme değerleri günlük hayatta köprülü vinçlerde kullanılmakta olan değerler olup, üst limitler, oluşturulan fiziksel modelin izin verdiği maksimum yer değiştirmeye göre seçilmiştir. Halat boyunun seçimi sırasında özellikle, herhangi bir boyda olabileceğini göstermek amacıyla 500 mm gibi yuvarlak sayılar tercih edilmemiştir.

Deneyler sırasında kullanılan değerler, yük kütlesi için 1800 g, halat boyu için de 520 mm olarak seçilmiştir.

Deney ve simülasyonlarda giriş olarak araba hızı, kontrolcünün gereklerine uygun olarak görüntü işleme mekanizmasının kontrolünde otomatik olarak uygulanmıştır.

İlgili deney ve simülasyonlar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birincisi, GİTHUSK kontrolcü devrede olmadan yapılan araba hareketlerinin ve bu hareketlerin neden olduğu yük salınımlarının ölçülmesidir. İkinci aşamada ise GİTHUSK kontrolcü devredeyken yapılan araba hareketlerinin ve bu hareketlerin neden olduğu yük salınımlarının ölçülmesi ve azaltılması amacıyla yapılan giriş sinyali değişiklikleri ile salınımlardaki iyileştirmenin ölçülmesidir. Böylelikle kontrolcünün performansının test edilmesine olanak sağlanmıştır.

Deneyler ve simülasyonlar sırasında diğer koşullar sabit tutulmak şartıyla aşağıdaki koşullar değiştirilerek ölçümler yapılmıştır.

- 0,04 m/s'den 0,16 m/s'ye kadar araba hızı değerlerinde giriş uygulanarak deney ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. (Deney ve Simülasyonlar 1 – 4 (Ek-3.1 – Ek-3.4))

- 0,25 m/s²'den 1 m/s²'ye kadar araba hızlanma ivmesi değerlerinde giriş uygulanarak deney ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. (Deney ve Simülasyonlar 1 – 4 (Ek-3.1 – Ek-3.4))
- 0,26 m'den 2,08 m'ye kadar halat boyu değerlerinde simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 5 – 8 (Ek-3.5 – Ek-3.8))
- 0,9 kg'den 2,7 kg'ye kadar yük kütlesi değerlerinde simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 9 – 11 (Ek-3.9 – Ek-3.11))
- 1024 Hz ile 16 Hz arasında döngü frekansında simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 12 – 15 (Ek-3.12 – Ek-3.15))
- 100 Hz ile 16 Hz frekanslarında rastgele gürültü uygulanarak simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 16 – 17 (Ek-3.16 – Ek-3.19))
- 1 derece genlikli tek darbe uygulanarak simülasyon yapılmıştır. (Simülasyon 18 (Ek-3.18))
- PI kontrolcü ile karşılaştırmak amacı ile 1024 Hz ile 16 Hz arasında aynı koşullarda her iki kontrolcü ile de simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 19 – 22 (Ek-3.19 – Ek-3.22)) (PI kontrolcü ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 5.3'de verilmiştir.)
- PI kontrolcü ile karşılaştırmak amacı ile 100 Hz ile 16 Hz frekanslarında rastgele gürültü uygulanarak aynı koşullarda her iki kontrolcü ile de simülasyonlar yapılmıştır. (Simülasyonlar 23 – 24 (Ek-3.23 – Ek-3.24))
- PI kontrolcü ile karşılaştırmak amacı ile 1 derece genlikli tek darbe uygulanarak aynı koşullarda her iki kontrolcü ile de simülasyon yapılmıştır. (Simülasyon 25 (Ek-3.25))

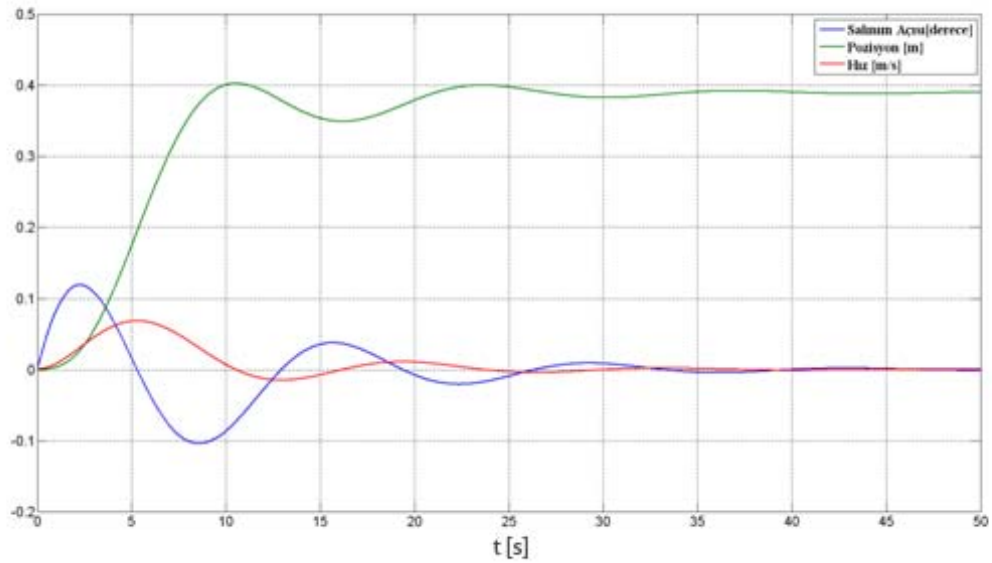
5.3 GİTHUSK kontrolcünün diğer kontrolcüler ile karşılaştırılması

Tasarlanan GİTHUSK kontrolcünün performansını bilindik kontrolcüler ile karşılaştırmak, kontrolcünün performansı ile ilgili daha somut bilgi edinmeye olanak sağlamaktadır. Bu amaçla klasik bir kontrol yöntemi olan PID kontrolcü tasarlanmıştır. Tasarlanan PID kontrolcü ile ortaya atılan GİTHUSK kontrolcü kıyaslanmış ve her iki kontrolcünün de avantajları ile eksik kaldıkları noktalar ortaya çıkarılmıştır.

Kıyaslamanın daha anlaşılabilir ve kabul edilebilir olması için gerçekleştirilen GİTHUSK kontrolcü ile alınan sistem cevaplarının aynısı PID kontrol ile de alınmaya çalışılmıştır. Burada PID kontrolcünün K_p , K_i ve K_d değerleri sistem cevabı gözlenerek iyileştirilmiş ve kıyaslama için en uygun PID kontrolcü tasarlanmıştır. Yapılan simülasyonlarda görülmüştür ki K_d teriminin katsayısının "0" olması en uygun sonuçları vermektedir. Bu durumda klasik

olarak PID kontrolcü olarak nitelendirilen kontrolcü, K_d teriminin sıfır olmasından dolayı bir PI kontrolcüdür. PI kontrolcünün SIMULINK programı ile yapılmış diyagramı Şekil 5.4'te verilmiştir.

açısı değerini azaltan bir PID tasarlanmak amacıyla ayrıca bir çalışma yapılmış ve salınının 0.15 derece mertebesine indirilebildiği görülmüştür, fakat bu durumda hız değerinin 0.08 m/s'ye indiği gözlemlenmiştir. Bu da aynı koşullarda kontrolcülerini kıyaslama amacından uzaklaştırmıştır. Aynı pozisyona gitmek için açısal salınının 0.15 dereceye düşmesine karşılık hızın yarıya inmesi sonucunda sistemin istenilen pozisyona gitmesi GİTHUSK kontrolcüyle elde edilen sürenin yaklaşık 12 katı sürmüştür ve sistemin kararlı olmasına kadar osilasyon yaptığı görülmüştür. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5 PID Kontrolcü ile elde edilen, zamana göre salınım açısı, hız, pozisyon değerleri eğrileri

5.4 Deney Sonuçları

Matematiksel model üzerinde yapılan simülasyonlar ve fiziksel model üzerinde yapılan deneyler göstermiştir ki GİTHUSK kontrolcü, farklı hız, ivme, halat boyu ve yük kütlesi değerlerinden neredeyse hiç etkilenmeyerek görevini başarıyla yerine getirmektedir. (Deney ve Simülasyonlar 1 – 11 (Ek-3.1 – Ek-3.11)) Aynı zamanda farklı döngü frekanslarında yapılan simülasyonlar göstermiştir ki GİTHUSK kontrolcü çok geniş bir frekans aralığında kabul edilebilir sınırlar dahilinde başarıyla çalışabilmektedir. (Simülasyonlar 12 – 15 (Ek-3.12 – Ek-3.15))

PI kontrolcüyle karşılaştırıldığında en öne çıkan avantajı PI kontrolcünün, GİTHUSK kontrolcünün çalışma frekansı olan 16 Hz'de rezonansa girmesi ve dolayısıyla kullanılamıyor olmasıdır. (Simülasyonlar 22 ve 24 (Ek-3.22 – Ek-3.24)) Aynı mesafeyi kat etmekte

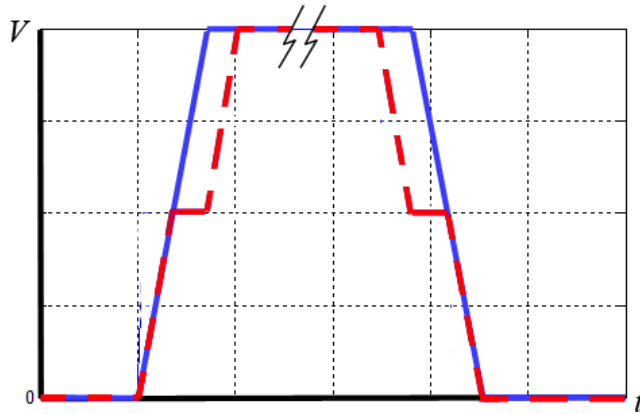
harcanılan sürenin azlığı, dolayısıyla hız avantajı GİTHUSK kontrolcünün öne çıkan bir diğer avantajıdır. (Simülasyonlar 19 – 22 (Ek-3.19 – Ek-3.22))

GİTHUSK Kontrolcü, sadece hareketten dolayı oluşan salınımları sönümlemeye yönelik tasarlandığı için dış etkilerin neden olduğu salınımları sönümlememektedir. (Simülasyonlar 16 – 18 (Ek-3.16 – Ek-3.18)) Simülasyonlar göstermiştir ki, GİTHUSK kontrolcünün dış etkilere tepki vermiyor olması aynı zamanda aşırı tepkilerden uzaklaştırmakta ve rezonansa girmekten büyük oranda korumaktadır. Gürültü altında PI kontrolcü salınım değerini minimumda tutabilmek için çok yüksek anlık hız değişimlerine ihtiyaç duymuş, bu da gerçekte PI kontrolcünün uygulanabilirliğini çok kısıtlamıştır. (Simülasyon 23 (Ek-3.23))

5.5 GİTHUSK kontrolcünün Kısıtları

GİTHUSK Kontrolcü, sadece tasarlanmış hareketten dolayı oluşan salınımları sönümlemeye yönelik tasarlandığı için dış etkilerin neden olduğu salınımları sönümlememektedir. Ancak, rüzgar gibi bozucu etkilerin az olduğu kapalı ortamlarda (atölye ve fabrika iç mekanları gibi) kullanılması bu eksikliğin daha az gözlemlenmesini sağlayacaktır.

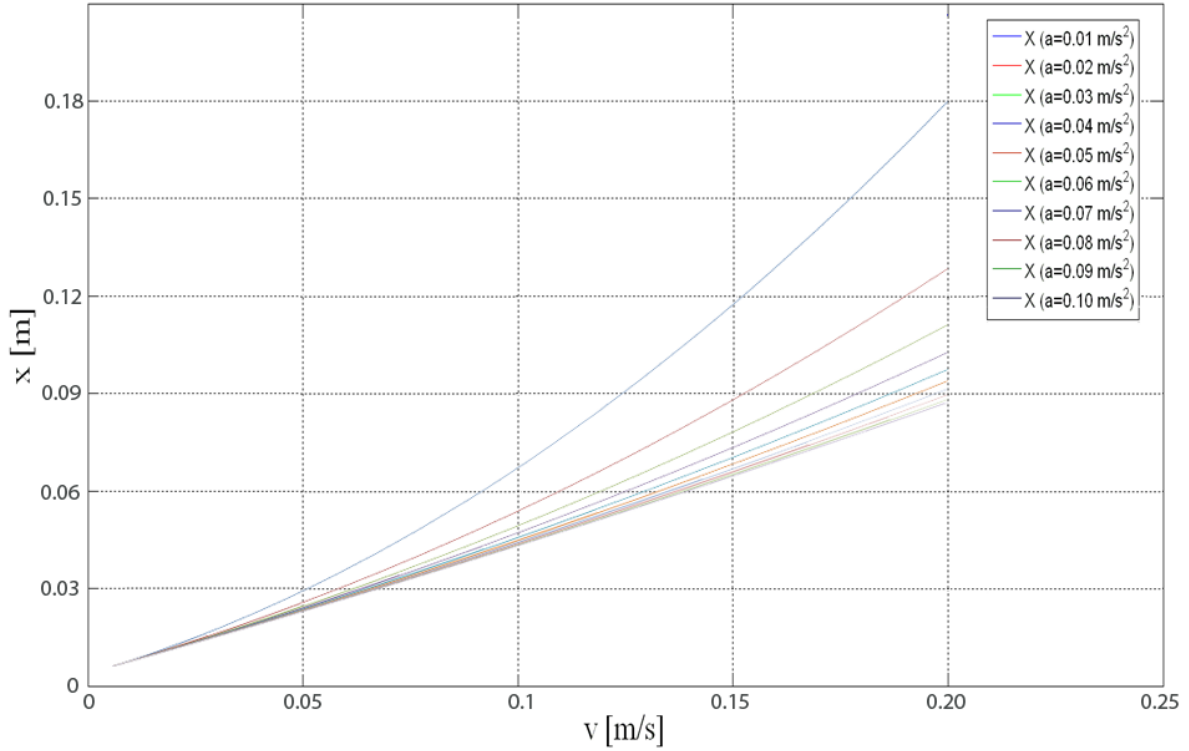
Şekil 5.6'da GİTHUSK kontrolcü uygulanırken sisteme uygulanan hız büyüklüğü girdisinin zamana göre değişimi ile aynı maksimum hız büyüklüğü ve ivme büyüklüğünde kontrolcü olmadan hız büyüklüğü – zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.6 GİTHUSK kontrolcülü (kesikli çizgi) ve kontrolcüsüz (düz çizgi) hareket sırasındaki hız büyüklüğü - zaman grafiği

GİTHUSK kontrolcünün devreye girmesi için gerekli olan $T/2$ 'lık süre (yük salınım periyodunun yarısı) GİTHUSK kontrolcülü harekette mutlaka geçmesi gereken süredir. Bu süre zarfında başlayan ve devam eden hareket tabii ki bir yer değişimine neden olmaktadır. Bu yer değişimi kontrolcünün çalışabilmesi için gerekli olan minimum yer değişiminin

yarısıdır. (Aynı ivme ve hız değerleri korunduğu takdirde yavaşlama sırasında da aynı miktarda yer değişimi olacaktır.) Bu yer değiştirmenin gerekliliği, GİTHUSK kontrolcü için bir kısıt getirmiş olsa da Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, düşük yer değiştirme değerlerine ihtiyaç olduğu durumlarda, düşük maksimum hız ve yüksek ivme değerleri seçilmesi ile bu kısıt en aza indirgenmiş olacaktır.



Şekil 5.7 Farklı hız ve ivme değerleri için, alınması gereken kontrolcülü minimum mesafe – hız grafiği

5.7 GİTHUSK Kontrolcünün Avantajları

GİTHUSK kontrolcünün basit yapıda olması ve sistem parametrelerinden bağımsız bir şekilde çalışabilmesi önemli bir avantajdır.

GİTHUSK kontrolcünün kullanımı, kontrolsüz durumdaki salınımları minimuma indirerek sistem üzerindeki dinamik etkileri azaltmakta ve bu sayede;

Sistem güvenilirliğini arttırarak can ve mal güvenliğini daha üst seviyelere çıkarmaktadır.

Aynı güç gereksinimi ile daha yüksek hızlarda iletme olanak sağlamakta ve birim zamanda yapılan işin artmasına yardım ederek verimliliği arttırmaktadır.

Yeni yapılacak sistemlerin daha hafif konstrüksiyon ile inşa edilmesine olanak vermektedir.

Yeni yapılacak sistemlerde daha zayıf hareket tahrik sistemlerine ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır.

Aynı hız ve ivme değerlerini kullanabildiği için mevcut sistemler üzerine uygulanabilmesi ana yapı veya motor gibi hareket tahrik sistemlerinde değişikliğe gidilmeksizin mümkün olmaktadır.

Bakım gereksinimi neredeyse hiç yoktur.

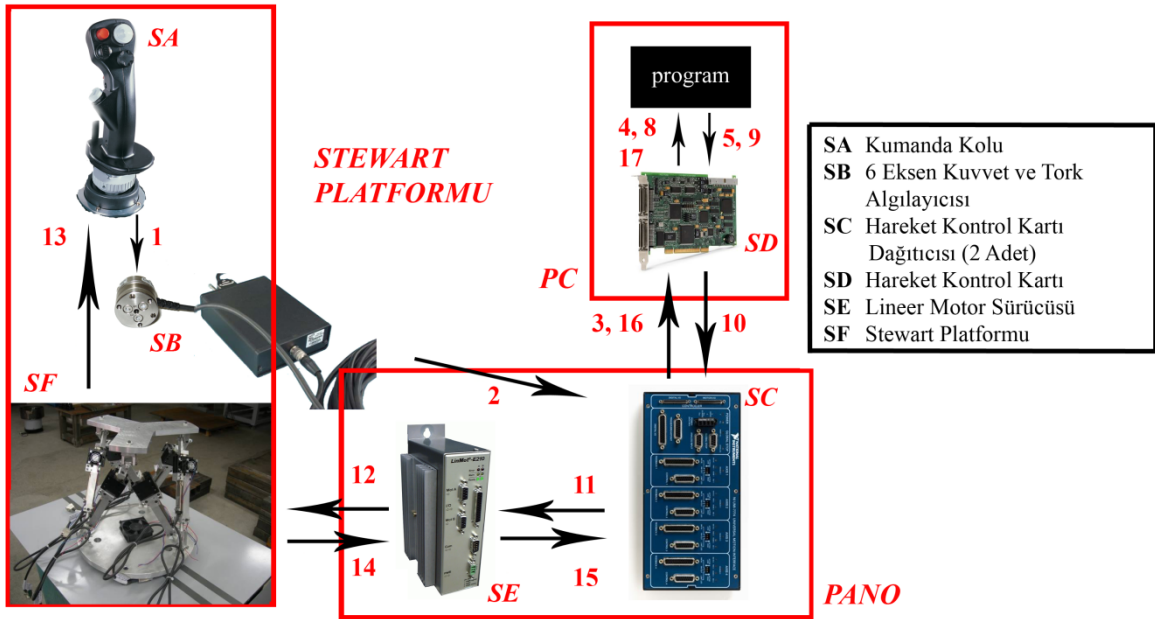
İlk tesis maliyeti düşüktür. Uygulanması kolaydır.

Daha düşük güçlerle aynı işin yapılmasını sağladığı için enerji tasarrufu sağlamakta ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen kontrolcü (GİTHUSK), konum geri beslemesinde görüntü işleme yöntemi kullandığı için sistemdeki boşluklardan ve elemanların elastik davranışlarından etkilenmemektedir.

6. STEWART PLATFORMU TABANLI KUMANDA KOLU

Sistemin kumandası için TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M192 No'lu "6 EKSEN, UZAYSAL HAREKETLİ CİSİMLERİ TEK NOKTADAN YÖNLENDİRECEK STEWART PLATFORMU TABANLI, KUVVET GERİBESLEMELİ İNSAN-MAKİNE ARAYÜZÜ" isimli proje kapsamında 6 serbestlik dereceli Stewart Platformlu kumanda kolu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1 Stewart Platformlu kumanda kolu sisteminin veri akış şeması

6.1 Sistemin Çalışma Prensibi

Sistemin veri akışı, Şekil 6.1'de görüldüğü gibidir. Sistemde Kumanda kolu (SA), Kuvvet sensörüne (SB), Kuvvet sensörü de Stewart Platformuna (SF) rijit bir şekilde bağlanmıştır. Hareket kontrol kartının dağıtıcısı olan National Instruments markalı UMI-7774 (SC), Lineer motor sürücülerini Linmot E210-VF (SE) ve sistem için gerekli olan güç kaynakları, sigortalar gibi cihazlar sistemin Panosunda yer almaktadır. Hareket Kontrol kartı (SD) sistem için hazırlanmış bir adet PC'de yer almaktadır.

Kumanda koluna (SA) uygulanan kuvvet, kuvvet sensörü (SB) ile algılanıp analog olarak (6 eksen için ayrı sinyal üretir) UMI (Hareket kontrol kartının dağıtıcısı arabirimi) (SC) aracılığıyla hareket kontrol kartının (SD) her eksen için bir adet olan analog girişlerine gönderilmektedir. Hareket kontrol kartı, gelen analog sinyalleri 16 Bitlik dijital sinyale

çevirerek bu sinyalleri sayısal hale çevirir. Sayısal veri, bu proje için özel olarak yazılmış olan programa gönderilmektedir. Program, gelen veriyi işleme sokarak operatörün aracın nasıl hareket etmesini istediğini anlayarak taşıtının yönlendirilmesi için gerekli kontrolleri çalıştırmaktadır. Aynı zamanda araçtan gelen atalet gibi kontrolü bozucu etkilerin sinyalini de hesaba katarak -10/+10 Voltluk analog veri, elde edilmek istenilen kuvvet için motor sürücüyü (SE) gönderilir.

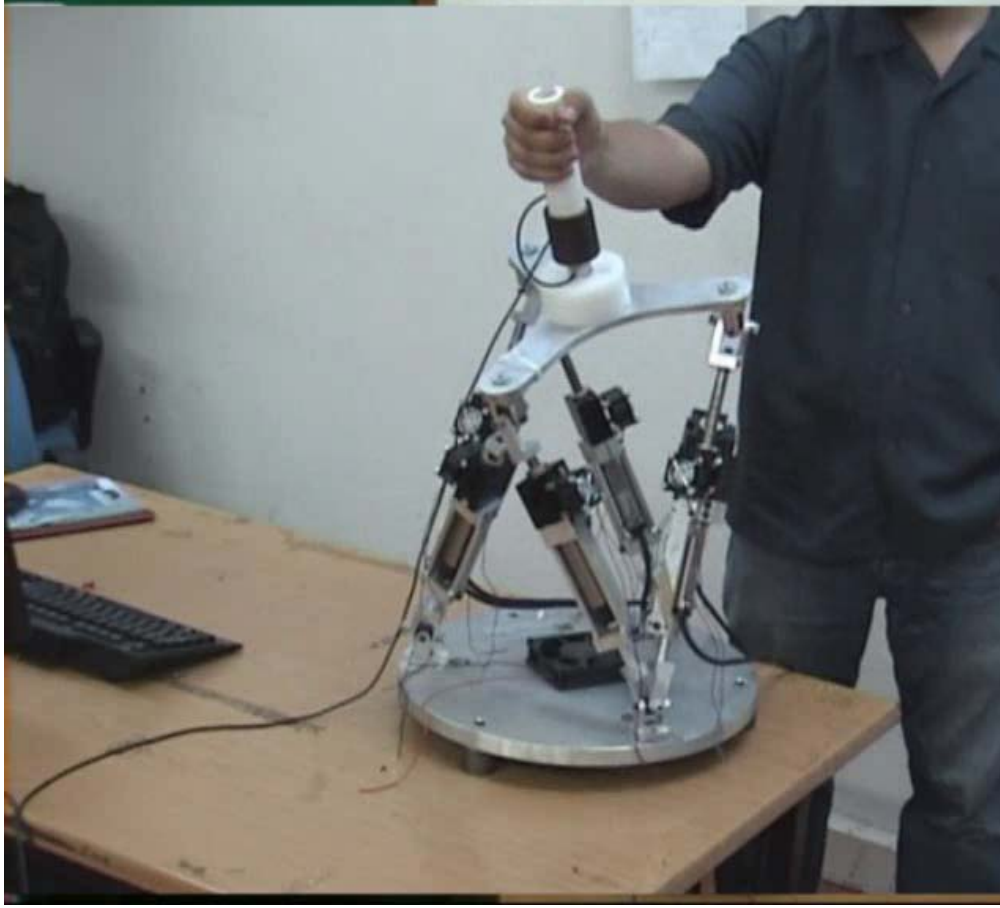
Programın arayüzünün görünüşü Şekil 6.2’de yer almaktadır. Programın yazılımında “Visual Basic 6” programlama dili kullanılmıştır. Visual Basic 6, otomasyon alanında en yaygın olarak kullanılan, kaynak kütüphanelerin üretici firmalar tarafından standart olarak kullanıcılara sunulduğu bir programlama dilidir.



Şekil 6.2 Stewart Platformlu Kumanda Kolu’nun kullanıcı arayüzü. (Program görselinde kullanılan kokpit resmi Falcon-4 isimli oyundan alınmıştır.) Arayüzde gözüken düğmelerin hepsi kumanda sırasında gerekli ayarlamaları yapmak amacıyla çalışır konumdadır

Stewart Platformunun kontrolünde “National Instruments” firmasının üretimi olan 6 eksenli “NI 7356” kodlu hareket kontrol kartı kullanılmaktadır. Yazılan program, adı geçen hareket kontrol kartını kumanda etmektedir.

Kumanda kolu, kullanıcının kumanda koluna uyguladığı kuvvetle aynı yönlü, kuvvetin şiddetine orantılı olarak ilgili eksen etrafında dönmektedir. Şekil 6.3'te X eksenine uygulanan kuvvet dolayısıyla platformun aynı eksen terafında yaptığı dönme görülmektedir.



Şekil 6.3 Stewart Platformlu Kumanda Kolu'nun çalışması sırasında görünümü

Bu işlem sırasında şu algoritma takip edilmektedir:

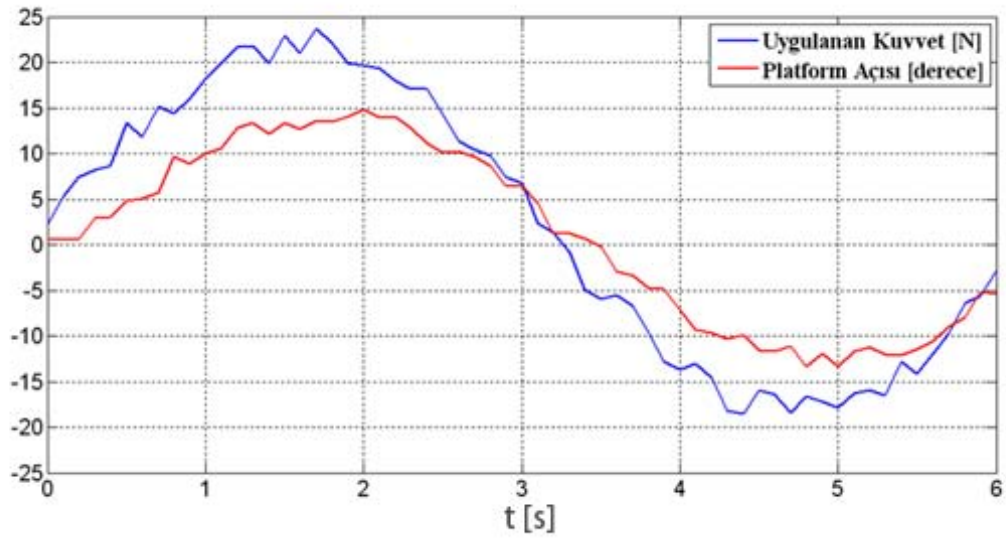
F_{x_kka} değeri, kullanıcının kumanda koluna uygulamış olduğu anlık kuvvet değeridir. $\alpha_{x_kk_maks_h}$ değeri stewart platformunun kullanıcının hareketine göre yapacağı maksimum dönme açısı değeridir. Stewart platformunda doğrudan kullanıcının uyguladığı kuvvet nedeniyle platformun dönmesi istenilen açı, X ve Y eksenlerinin her biri için maksimum 20 derecedir.

$F_{x_kk_maks}$ değeri kumanda koluna uygulanması beklenen maksimum kuvvet değeridir. Bu değer 30 N olarak seçilmiştir ve istenirse kumanda kolunun hassasiyetini ayarlamak amacıyla değiştirilebilmektedir. F_{x_kka} değerinin, $F_{x_kk_maks}$ değerinin üzerine çıkması durumunda $F_{x_kk_maks}$ değerinde olduğu program tarafından varsayılmakta ve $\alpha_{x_kka_h}$ veya $\alpha_{y_kka_h}$ değeri olarak $\alpha_{x_kk_maks_h}$ veya $\alpha_{y_kk_maks_h}$ değeri gönderilmektedir.

$$\alpha_{x_kka_h} = \left(\frac{F_{x_kka}}{F_{x_kk_maks}} \right) \times \alpha_{x_kk_maks_h} \quad (6.1)$$

$$\alpha_{y_kka_h} = \left(\frac{F_{y_kka}}{F_{y_kk_maks}} \right) \times \alpha_{y_kk_maks_h} \quad (6.2)$$

X ekseninde kumanda koluna rastgele uygulanan kuvvet ve platformun bu kuvvet bilgisi ile X ekseninde yapmış olduğu dönme açısının zamana göre değişim grafiği Şekil 6.4'te verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi platform, uygulanan kuvvetle orantılı ancak daha düşük ölçekte, dönme hareketi yapmaktadır.



Şekil 6.4 X ekseninde kumanda koluna rastgele uygulanan kuvvet ve platformun bu kuvvet bilgisi ile X ekseninde yapmış olduğu dönme açısının zamana göre değişim grafiği

Stewart Platformlu Kumanda Kolu matematik modeli ile ilgili Yıldız vd. (2008), genel olarak sistem hakkında daha detaylı bilgi için Ömürlü vd. (2009) çalışmaları bulunmaktadır.

7. TÜM SİSTEM

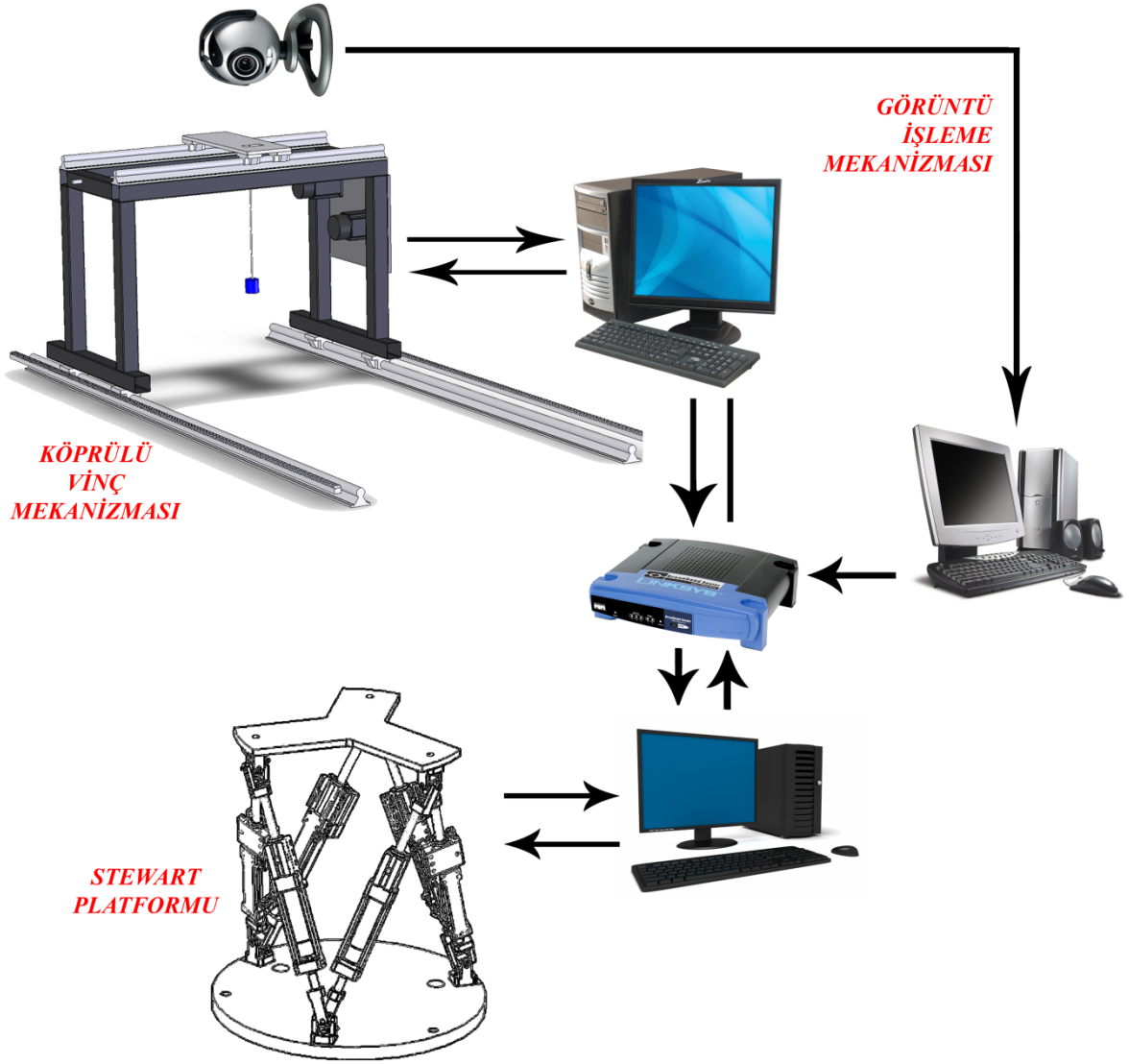
7.1 Tüm Sistemin Tanıtımı

Bölüm 2'den Bölüm 6'ya kadar olan kısımda sistemi oluşturan birimler anlatılmıştır. Bu bölümde bu sistemlerin bir arada kullanımına değinilmiştir.



şekil 7.1 Tüm sistemin genel görünümü

Sistemlerin bir arada görünümü şekil 7.1'de verilmiştir.

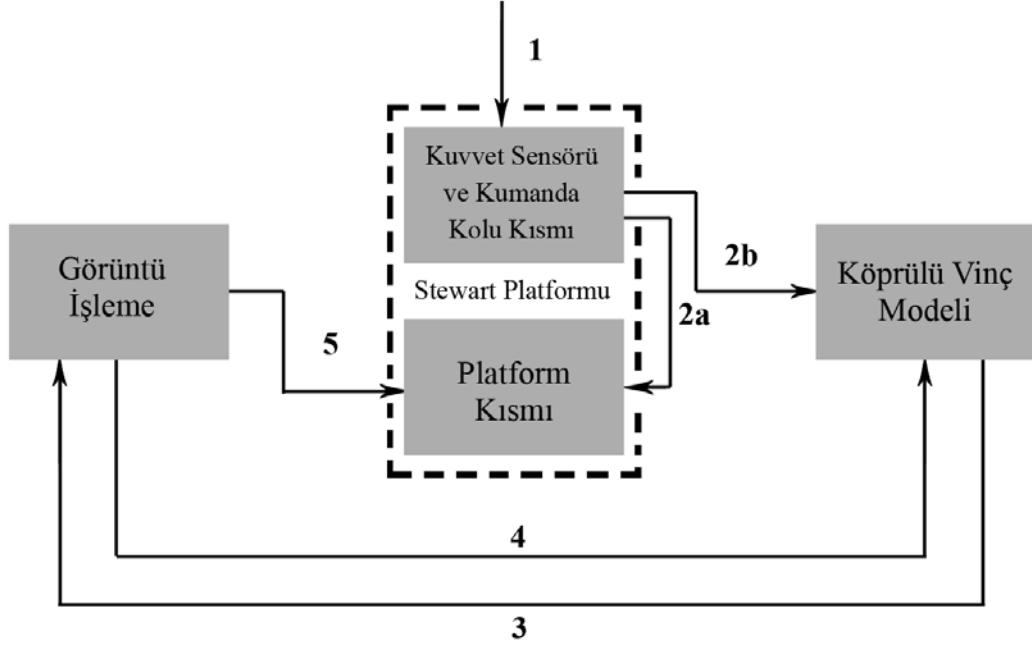


Şekil 7.2 Tüm sistemin genel haberleşme şeması

Sistemde şimdiye kadar bahsi geçen her alt sistem (6 Serbestlik Dereceli Stewart Platformlu Kumanda Kolu, Köprülü vinç fiziksel modeli ve Görüntü işlemeli geri bildirim mekanizması) için bağımsız bir bilgisayar kullanılmıştır. (Şekil 7.2) Bu bilgisayarlar birbirlerine bir yerel ağ kurularak bağlanmış ve tüm haberleşme bu ağ üzerinden sağlanmıştır. Sistemde görüntü işleme ve köprülü vinç modeli bilgisayarları tek yönlü, Stewart Platformlu Kumanda Kolu bilgisayarını çift yönlü haberleşme yapmaktadır.

7.2 Sistemde Veri Akışı

Bir arada kullanılan alt sistemlerden oluşan tüm sistemlerin genel veri akış diyagramı Şekil 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.3 Tüm sistemin genel veri akış şeması

Stewart Platformlu kumanda kolu, yapısında barındırdığı 6 serbestlik dereceli kuvvet ve tork sensöründen aldığı, dışarıdan kullanıcı tarafından uygulanan kuvvet ve tork değerlerini (1) yorumlayarak köprülü vinç modelini hareket ettirmeye yarayan hareket bilgisine çevirmekte ve yerel ağ üzerinden ilgili bilgisayara iletmektedir. (2b) Ayrıca aynı kuvvet ve tork değerleri Stewart platformunun hareket programına gelerek (2a) platformun, kullanıcının kumanda koluna uyguladığı kuvvet veya torkun yönüne göre hareket etmesini sağlamaktadır.

Köprülü vinç modelinin kontrol programı, yerel ağdan aldığı hareket komutları (2b) ile görüntü işlemeden gelen salınım verilerini (4) harmanlayarak GİTHUSK kontrolcüyü devreye sokmakta, hareket yörüngesini, hızını ve ivmesini tayin ederek hareketi gerçekleştirmektedir.

Köprülü Vinçten gelen salınan yük görüntüleri (3) görüntü işleme programında işlenmekte ve salınan yükün konum bilgisi köprülü vinç fiziksel modelinin programına (4) ve Stewart Platformlu kumanda kolu programına gönderilmektedir. (5) Köprülü vinç programına gelen konum bilgisi Bölüm 5'te ayrıntılı olarak anlatılmış olan GİTHUSK kontrolcünün devreye girme zamanlarının tayininde kullanılmaktadır. Stewart Platformlu kumanda kolunun programına gelen merkeze göre konum bilgisi, (5) bir amplifikasyondan geçirilerek X ve Y

eksenleri etrafında dönme hareketi bilgisine çevrilmekte ve kumanda kolunu hareket ettirerek yükün salınımlarından oluşan yük üzerindeki kuvvetin, sistemi kumanda eden operatör tarafından kumanda kolu aracılığıyla hissedilmesini sağlamaktadır.

7.3 Sistemin Çalışması

Kullanıcının kumanda koluna uyguladığı kuvvetin şiddetine ve yönüne göre kuvvet sensörü kuvvet bilgisini köprülü vinç bilgisayarına göndermektedir. Köprülü vinç bilgisayarında ilgili program bu bilgileri alıp, Denklem 7.1'den 7.4'e kadar olan denklemleri kullanarak köprülü vinç için hareket değerleri olan X ve Y eksenindeki hız ile ivme değerlerini hesaplamaktadır. Bu işlem sırasında şu algoritmayı takip etmektedir:

$$V_{x_{kv}} = \left(\frac{F_{x_{kka}}}{F_{x_{kk_maks}}} \right) \times V_{x_{maks}} \quad (7.1)$$

$$V_{y_{kv}} = \left(\frac{F_{y_{kka}}}{F_{y_{kk_maks}}} \right) \times V_{y_{maks}} \quad (7.2)$$

$$a_{x_{kv}} = \left(\frac{F_{x_{kka}}}{F_{x_{kk_maks}}} \right) \times a_{x_{maks}} \quad (7.3)$$

$$a_{y_{kv}} = \left(\frac{F_{y_{kka}}}{F_{y_{kk_maks}}} \right) \times a_{y_{maks}} \quad (7.4)$$

$F_{x_{kka}}$ değeri, kullanıcının kumanda koluna uygulamış olduğu anlık kuvvet değeridir. $V_{x_{maks}}$ değeri köprülü vinç için önceden belirlenmiş, maksimum hareket hız değeridir. Yapılan köprülü vinç modelinde seçilen maksimum hız değeri 0.16 m/s'dir.

$F_{x_{kk_maks}}$ değeri kumanda koluna uygulanması beklenen maksimum kuvvet değeridir. Bu değer 30 N olarak seçilmiştir ve istenilirse kumanda kolunun hassasiyetini ayarlamak amacıyla değiştirilebilmektedir. $F_{x_{kka}}$ değerinin, $F_{x_{kk_maks}}$ değerinin üzerine çıkması durumunda $F_{x_{kk_maks}}$ değerinde olduğu, program tarafından varsayılmakta ve maksimum hız değeri bilgisi gönderilmektedir.

Y eksenindeki hareket hız bilgisi de Denklem 7.2'de gösterildiği gibi X ekseninde uygulanan algoritmanın aynısının Y ekseninde uygulanması ile bulunmaktadır.

İvme değerinin tespitinde de kullanıcının uyguladığı anlık kuvvet ile uygulanılabilecek maksimum kuvvet olarak seçilen kuvvetin oranı kullanılmaktadır. Bu oran köprülü vinç modeli için seçilen maksimum ivme değeri ile çarpılarak hareket sırasında ilgili ekseninde uygulanılacak ivme değeri ($a_{x_{kv}}$, $a_{y_{kv}}$) bulunmaktadır.

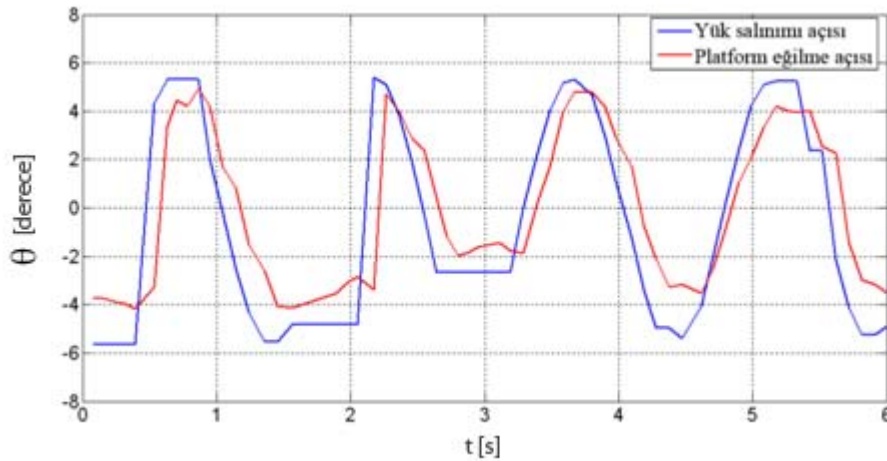
$V_{x_{kv}}$, $V_{y_{kv}}$, $a_{x_{kv}}$, $a_{y_{kv}}$ değerleri yerel ağ aracılığıyla köprülü vinç kontrol bilgisayarına gönderilmektedir. Hız ve ivme değerlerinin yanı sıra, kumanda koluna kuvvet uygulanma başlama zamanı ile kuvvet uygulanmasının bitiş zamanı da gerçek zamanlı olarak bu bilgisayara gelmekte ve ilgili bilgisayarda hızlanmaya veya yavaşlamaya başlangıç bilgisi olarak kullanılmaktadır.

$$\alpha_{x_{kka_g}} = \left(\frac{\alpha_{x_{ysa_g}}}{\alpha_{x_{ys_maks}}} \right) \times \alpha_{x_{kk_maks_g}} \quad (7.5)$$

$$\alpha_{y_{kka_g}} = \left(\frac{\alpha_{y_{ysa_g}}}{\alpha_{y_{ys_maks}}} \right) \times \alpha_{y_{kk_maks_g}} \quad (7.6)$$

Kumanda kolu, yük salınımlarına paralel, salınım genliği ile orantılı olarak ilgili eksen etrafında dönmekte ve kullanıcıya salınım ile ilgili geri bildirimde bulunmaktadır. Bu işlem sırasında şu algoritma takip edilmektedir:

$\alpha_{x_{ysa_g}}$ değeri geri besleme için görüntü işleme programı tarafından 30 Hz frekansında gelen, X eksenindeki salınım açısının anlık değeridir. $\alpha_{x_{ys_maks}}$ değeri, yük salınımı için öngörülen maksimum salınım değeridir. Sistemde bu değer 20 derece olarak kabul edilmiştir. $\alpha_{x_{kk_maks_g}}$ değeri, Stewart platformunun X eksen etrafında salınım geri beslemesi için yapması istenilen maksimum açıdır. Burada ilgili açı 15 derece olarak alınmıştır.



Şekil 7.4 X eksenindeki yük salınımı geri beslemesi ile tetiklenen platform dönme açıları

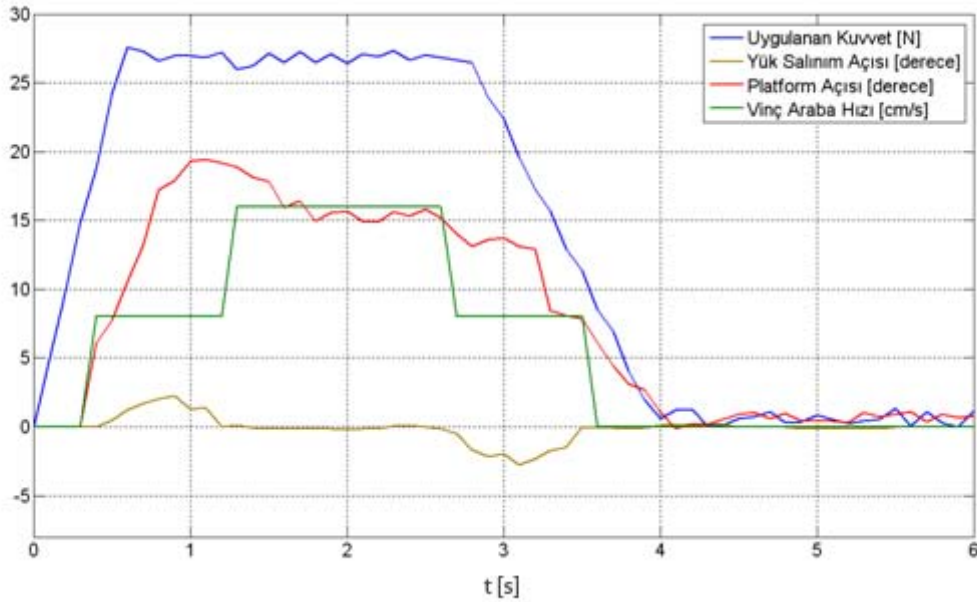
Stewart Platformu, Şekil 7.3'teki sistemin veri akış şemasında da görüldüğü gibi hem kullanıcının uyguladığı kuvvet ile (Bölüm 6'da ayrıntılı olarak yer verilmiştir.) hem de görüntü işleme mekanizması aracılığıyla köprülü vinç modelindeki yükün salınımları sonucunda hareket etmektedir. (Şekil 7.4) Kumanda kolunun anlık eğilme değerleri olan $\alpha_{x_{kka}}$ ve $\alpha_{y_{kka}}$ değerleri, Denklem 7.7 ve 7.8'de görüldüğü gibi kullanıcının uyguladığı kuvvet sonucunda yapılan hareket ile yük salınımları dolayısıyla yapılan hareket değerlerinin

aritmetik olarak toplanması ile bulunmaktadır. Ancak toplam eğilme değeri X ve Y eksenlerinin herhangi birinde 25 dereceyi aştığı takdirde o eksenindeki eğilme değeri 25 derece olarak alınmaktadır.

$$\alpha_{x_kka} = \alpha_{x_kka_h} + \alpha_{x_kka_g} \quad (7.7)$$

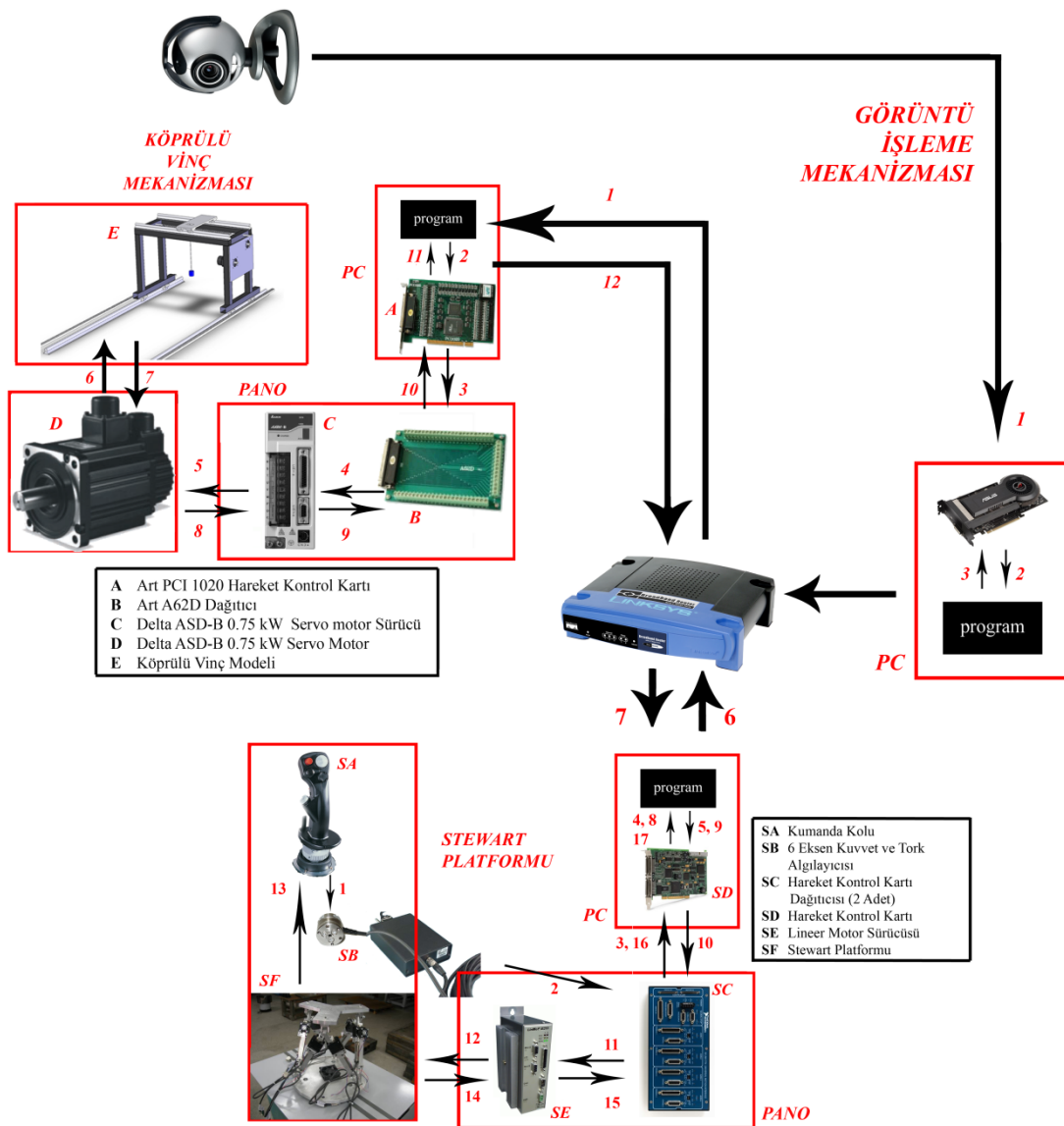
$$\alpha_{y_kka} = \alpha_{y_kka_h} + \alpha_{y_kka_g} \quad (7.8)$$

Kuvvet koluna X ekseninde uygulanan kuvvetin büyüklüğü vinçte araba hareketi için maksimum hız büyüklüğünü ve aynı zamanda platformun aynı yönlü eğilme miktarını tayin etmektedir. Arabanın hareketi dolayısıyla meydana gelen yük salınımları görüntü işleme mekanizması aracılığıyla gözlenip, GİTHUSK kontrolcünün devreye girme zamanlarının tayininde kullanılmaktadır. Araba hareketinde uygulanan ilk hız değişimi başlangıç komutunu kuvvet uygulanmasını müteakip kuvvet sensöründen alırken ikinci hızlanma başlangıç zamanı bilgisini görüntü işleme mekanizmasından almaktadır. Görüntü işleme mekanizması ile ölçülen yük salınım miktarı da platformun aynı yönlü eğilmeleri için girdi oluşturmaktadır ve diğer platform hareketlerine eklenilerek uygulanmaktadır. Tüm bu değişimler Şekil 7.5'te gözlemlenebilmektedir.



Şekil 7.5 X ekseninde kuvvet koluna uygulanan kuvvet miktarı ile yük salınımı geri beslemesinin beraber platform hareketine etkisi ve uygulanan kuvvet miktarı ile vinç araba hızının büyüklüğünün değişimi

Tüm sistemin, alt sistemlerle beraber ayrıntılı veri akış şeması şekil 7.6'da verilmiştir.



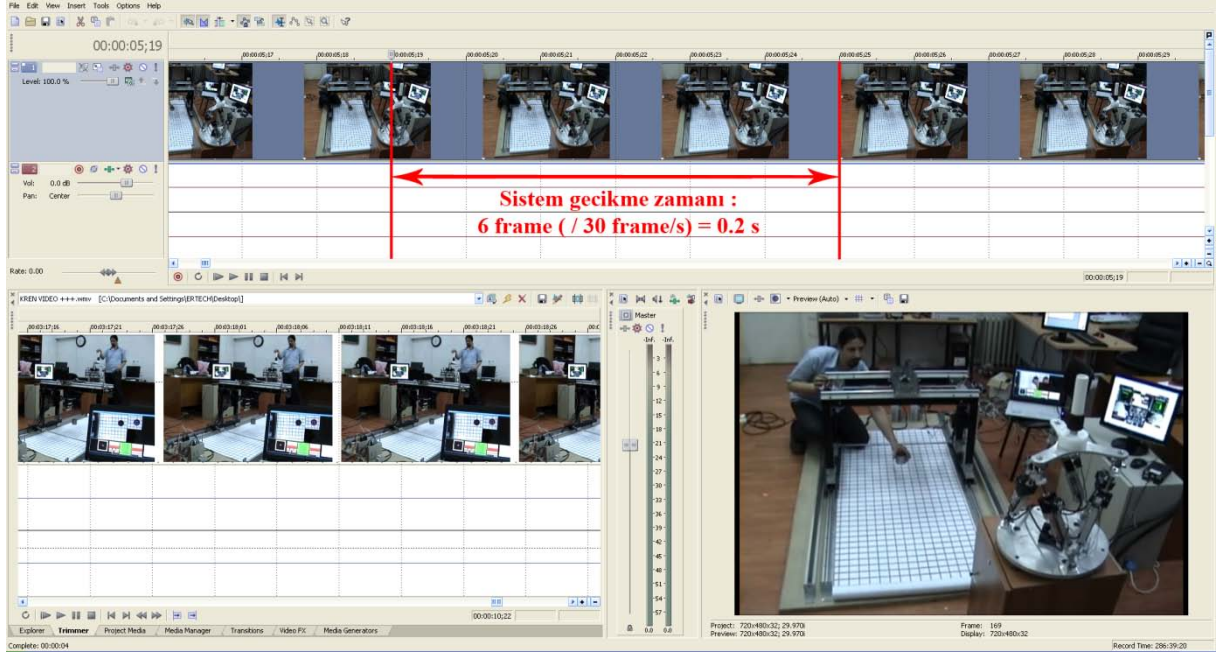
Şekil 7.6 Alt sistemlerle beraber tüm sistemin ayrıntılı veri akış şeması

7.4 Sistemin gecikme zamanının tespiti

Sistemin gecikmesini etkileyen birden çok faktör vardır. Bunlar; görüntü işleme sırasında kaybedilen zaman, veri aktarımı sırasında kaybedilen zaman, platformun hareket hesapları ve hareketi sırasında kaybedilen zamanlardır.

Tüm sistemin gecikme zamanının tespiti için sistem, kamera ile hareketi esnasında kaydedilmiş ve daha sonrasında bu hareketler bir video işleme programı ile işlenmiştir. (Şekil 7.7) Sisteme kontrol verildiği an ile sistemin hareket etmeye başladığı an arasındaki gecikme

bu program aracılığıyla tespit edilmiştir. Sistemin toplam gecikmesi 0.2 saniye (= 200 milisaniye) olarak tespit edilmiştir.

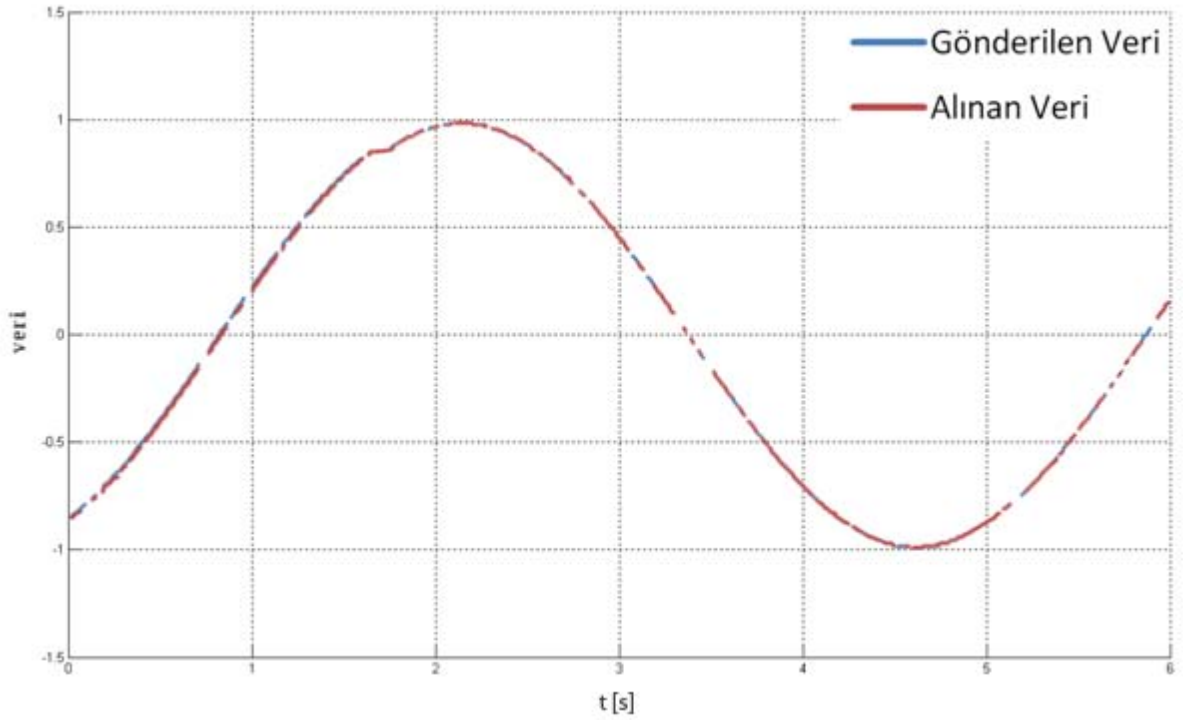


Şekil 7.7 Tüm sistemin gecikme zamanının hesaplanılmasında kullanılan video işleme programının ekran görüntüsü

0,63 mm hassasiyetle yapılan tarama esnasında görüntü işlemeden kaynaklanan gecikme 62.5 milisaniyedir (Bölüm 4’de gecikme zamanları deneyler ile verilmiştir.)

Veri aktarımı sırasında kaybedilen zaman <16 milisaniye şeklindedir.

Veri aktarım gecikmesinin tespiti için farklı bilgisayarlardan sinüs dalgası verilmiş ve kaydedilmiştir. Alıcı bilgisayarlarda alınan veri kaydedilerek zaman ve veri doğrulaması yapılmıştır. (Şekil 7.8)



Şekil 7.8 Veri aktarımı sırasında alınan ve verilen datanın zamanı ve uyumu

Kalan $200 - (62.5 + 16) = 121.5$ milisaniyelik gecikme, Stewart Platformu kontrolü ve analog kuvvet sensörü datalarının işlenmesi sırasında kaybedilmektedir.

Sistemin gecikme zamanlarının azaltılması yönünde alınacak tedbirler şu şekilde olmalıdır:

Görüntü işleme için kullanılan bilgisayar, 128 Mb paylaşımlı ekran kartlı, bir bilgisayardır. İlgili bilgisayarı veya ekran kartını daha yüksek performanslı olanıyla değiştirmek görüntü işleme için geçen gecikme zamanlarını büyük oranda azaltacaktır.

Yerel ağ için 100 Megabit/saniye veri aktarım hızı olan standart bir HUB kullanılmıştır. 400 Mb/s veri aktarım kapasiteli bir HUB kullanılmasının veri aktarımı ile ilgili gecikmeleri büyük ölçüde azaltıcı etkisi olacaktır.

Şimdiye kadar önerilen önlemler düşük maliyetli ve uygulaması kolay önlemler olmasına karşın sistem gecikmesinin ancak %40'lık bölümünün azaltılmasına katkı sağlama imkanı vardır. Sistem gecikmesini azaltmak yönünde asıl alınması gereken önlem, kuvvet ve tork sensörünün Stewart Platformunu kontrol eden hareket kontrol kartının analog girişleri yerine bağımsız bir veri toplama kartına bağlanması ile sensörden yüksek hızda veri alınabilmesidir.

8. SONUÇLAR

Köprülü vinç fiziksel modeli yapılmıştır. Yapılan modelde kullanılan servo motorların üzerinde, her bir turu on bine bölerek geri besleme yapan dönel optik kodlayıcılar mevcuttur. Bu dönel optik kodlayıcılar sayesinde, yapılan deneylerde köprülü vinç hareketlerinin geri beslemesi çok hassas bir şekilde alınmıştır. (Konum geri beslemesi hassasiyeti 1 mikrometredir.) Fiziksel modelin dinamik olarak deney koşullarını sağladığı tespit edilmiştir.

Görüntü işleme tabanlı bir geri ve ileri besleme mekanizması tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu yöntem, direkt olarak en uç eleman hareketinin geri beslemesini sağladığı için sistemdeki boşluk ve elemanların elastik davranışlarından etkilenmemektedir ve bu özelliğiyle çok avantajlı bir geri besleme yöntemidir. Görüntü işlemede farklı renk, geometri ve boyutta işaretçiler kullanılmış, farklı çözünürlük ve frekanslarda deneyler yapılmış, görüntü işleme için en uygun koşul tespit edilmiştir. Yazılan görüntü işleme tabanlı bir program aracılığıyla köprülü vinç ile taşınan yükün salınımları gözlemlenmiş, yükün anlık konumu, hızı, ivmesi ve yükün üzerindeki atalet kuvvetlerinin büyüklüklerinin geri beslemesi alınmıştır. Vinç fiziksel modeli üzerinde gerçekleştirilen deneylerde 0.069 derece hassasiyetle salınım açısı geri beslemesi alınmıştır. (Halat boyunun 0.52 metre olduğu deneylerde)

Lagrange metodu kullanılarak köprülü vincin araba ekseninin matematiksel modeli çıkarılmış ve Simulink programında modellenmiştir. Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde aynı koşullarda simülasyonlar ve deneyler gerçekleştirilerek Simulink modelinin güvenilirliği ortaya konulmuştur.

TUBİTAK105M192 kodlu proje kapsamında 3x3'lük bir Stewart platformu için otomasyon ve kontrol programı yazılmıştır. Platformun üzerine yerleştirilen kuvvet (ve tork) sensörü ve kol aracılığıyla platform, kuvvet geri beslemeli kumanda koluna dönüştürülmüştür. Stewart Platformlu kumanda kolunun, yapısında barındırdığı 6 serbestlik dereceli kuvvet ve tork sensöründen aldığı, dışarıdan kullanıcı tarafından uygulanan kuvvet ve tork değerlerini yorumlayarak köprülü vinç modelini hareket ettirmeye yarayan hareket bilgisine çevirmesi sağlanmıştır. Aynı kuvvet ve tork değerleri Stewart platformunun hareket programına gelerek platformun kullanıcının kumanda koluna uyguladığı kuvvet veya torkun yönüne ve şiddetine göre hareket etmesini sağlamıştır. Böylece kullanıcı sisteme vermiş olduğu hareket emrinin sonucunu yine aynı kol aracılığıyla hissedebilmiş, sistemi zorlaması muhtemel hareketler konusunda uyarılmıştır.

Köprülü vinçlerde yük salınımı problemini minimuma indirerek dinamik etkileri azaltıp, can ve mal güvenliğini arttıran, ilk kurulum ve işletme maliyetlerini düşürmeye yardımcı, uygulanması kolay, halat boyu gibi ölçülmesi zor değişkenler ile matematiksel model ve modeldeki olası hatalardan bağımsız bir kontrolcü tasarlanmıştır. (GİTHUSK) Kontrolcü, matematiksel ve fiziksel model üzerinde farklı koşullardaki deneylerde uygulanmış, farklı hızlarda, farklı ivmelerde, farklı yük kütlesi değerlerinde, farklı halat boylarında, farklı döngü frekanslarında ve farklı bozucu etkiler altında modelden ve modelin olası hatalarından bağımsız olarak çok yüksek başarı ile çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı maksimum hız ve yer değişimini sağlayacak bir PID kontrolcü model üzerinde uygulanmış, tasarlanan GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcü karşılaştırılmıştır. Her iki kontrolcünün de avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. GİTHUSK kontrolcünün daha avantajlı olduğu görülmüştür.

GİTHUSK kontrolcünün basit yapıda olması ve sistem parametrelerinden bağımsız bir şekilde çalışabilmesi önemli bir avantajdır.

GİTHUSK kontrolcünün kullanımı, kontrolsüz durumdaki salınımları minimuma indirerek sistem üzerindeki dinamik etkileri azaltmakta ve bu sayede sistem güvenilirliğini arttırarak can ve mal güvenliğini daha üst seviyelere çıkarmakta, aynı güç gereksinimi ile daha yüksek hızlarda iletme olanak sağlamakta ve birim zamanda yapılan işin artmasına yardım ederek verimliliği arttırmakta, yeni yapılacak sistemlerin daha hafif konstrüksiyon ile inşa edilmesine olanak vermekte, yeni yapılacak sistemlerde daha zayıf hareket tahrik sistemlerine ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır. Aynı hız ve ivme değerlerini kullanabildiği için mevcut sistemler üzerine uygulanabilmesi, ana yapı veya motor gibi hareket tahrik sistemlerinde değişikliğe gidilmeksizin mümkün olmaktadır. Ayrıca bakım gereksinimi neredeyse hiç yoktur, ilk tesis maliyeti düşüktür ve uygulanması kolaydır. Daha düşük güçlerle aynı işin yapılmasını sağladığı için enerji tasarrufu sağlamakta ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Konum geri beslemesinde görüntü işleme yöntemi kullandığı için sistemdeki boşluklardan ve elemanların elastik davranışlarından etkilenmemektedir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda; halat üzerine asılı olarak hareket eden yükteki salınımların görüntü işleme yoluyla geri ve ileri beslenen bir kontrolcü kullanılarak kontrol edilmesi amacına başarıyla ulaşılmıştır.

Sistem, kamera çözünürlüklerinin artması ve bilgisayarların güçlenmesi ile doğru orantılı olarak gelişmeye çok açıktır. Bu çalışmanın devamı olarak, tasarlanan sistemin (dış ortam

bozucu etkileri yok kabul edilmesi gibi) kabullerini minimuma indirecek geliştirmelerin yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman, E.M., Nayfeh, A.H. ve Masoud, Z.N., (2003) "Dynamics and Control of Cranes", Journal of Vibration and Control, Volume 9, 863-908.
- Altug, E., Ostrowski, J.P. ve Mahony R., (2002) "Control of a Quadrotor Helicopter Using Visual Feedback" IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA2002, Washington, DC, USA
- Anlı E., Alp H., Yurt S.N. ve Özkol İ., (2005) Paralel mekanizmaların kinematiği, dinamiği ve çalışma uzayı. Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi. Cilt 2 Sayı 1 (19-36)
- Ascheman, H., Sawodny, O. ve Hofer, E.P., (2003), "Model Based Trajectory Control Of An Overhead Travelling Crane", Proc. Appl. Math. Mech., Volume 2, 108-109.
- Bockstedte, E. Kreuzer, (2005), "Crane Dynamics With Modulated Hoisting", Proc. Appl. Math. Mech., Volume 5, 83-84.
- Büyükşahin U., (2010) "A Vision Based Feedback Mechanism for 6-DOF Stewart Platform." Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 10.3906/elk-1007-600
- Chang, C.Y., (2006), "The Switching Algorithm For The Control Of Overhead Crane", Neural Computing& Applications, Volume 15, 350-358.
- Chang, C.Y., (2007), "Adaptive Fuzzy Controller Of The Overhead Cranes With Nonlinear Disturbance", Transactions On Industrial Informatics, Volume 3, No. 2, 164-172.
- Chen K., Peng C. ve Singhouse W., (2010) "A Vision-Based Predictive Hook-Tracker for Industrial Cranes" ICSV17 18 – 22 Temmuz 2010, Kahire
- Dasgupta B. ve Mruthyunjaya T. S., (1998) A Newton-Euler Formulation for the Inverse Dynamics of the Stewart Platform Manipulator. Mech. Mach. Theory Vol. 33, No. 8, pp. 1135-1152
- Davliakos I. ve Papadopoulos E., (2007) A Model-Based Impedance Control of a 6-Dof Electrohydraulic Stewart Platform. European Control Conference 2007, July 2-5 2007 Kos, Greece
- Fang, Y., Dixon, W.E., Dawson, D.M. ve Zergeroğlu, E., (2003), "Nonlinear Coupling Control Laws For An Underactuated Overhead Crane System", Transactions On Mechatronics, Volume 8, No. 3, 418-423.
- Hua, J.Y. ve Shine, Y.K., (2007), "Adaptive Coupling Control For Overhead Crane Systems", Mechatronics, Volume 17, Issue 2-3, 143-152.
- Huang Y.P., (2008) "A Back Propagation Based Real-Time License Plate Recognition System." International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence Vol. 22, No. 2 233–251
- Hwang K.A. ve Yang C.H., (2009) "Learner Attending Auto-Monitor in Distance Learning Using Image Recognition and Bayesian Networks." Expert Systems with Applications 36, 11461–11469
- Kamal, F.M., (2001), "Reference Trajectory Tracking Of Overhead Cranes", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Volume 123, 139-141.

- Kamal, F.M., Emil, H.G., Ahmed, M.A., ve Mohommed, I.S., (2005), "Modelling And Control Of Overhead Cranes With Flexible Variable-Length Cable By Finite Element Method", The Institute of Measurement and Control, Volume 27, Issue 1, pp 1-20.
- Kamal, F.M., Mohommed, I.S., Emil, H.G. ve Ahmed, M.A., (2006), "Fuzzy Control Of Flexible Cable Overhead Cranes With Load Hoisting", The Institute of Measurement and Control, Volume 24, Issue 4, 371-386.
- Lee S.H., Song J.B., Choi W.C. ve Hong D., (2003) Position Control of a Stewart Platform Using Inverse Dynamics Control with Approximate Dynamics. *Mechatronics* 13 605–619
- Lee, H., (2004a), "A New Design Approach For The Anti-Swing Trajectory Control Of Overhead Cranes With High-Speed Hoisting", *International Journal Of Control*, Volume 77, No. 10, 931-940.
- Lee, H., (2004b), "A New Motion-Planning Scheme For Overhead Cranes With High-Speed Hoisting", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Volume 126, 359-364.
- Lee, H., (2005), "Motion Planning For Three-Dimensional Overhead Cranes With High-Speed Load Hoisting", *International Journal Of Control*, Volume 78, No. 12, 875-886.
- Lee, H., Liang, Y. ve Segura, D., (2006), "A Sliding-Mode Antiswing Trajectory Control For Overhead Cranes With High-Speed Load Hoisting", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Volume 128, 842-845.
- Li G., Min L. ve Zang H., (2008) "Color Edge Detections Based on Cellular Neural Network." *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 18, No. 4 1231–1242
- Liu, D., Yi, J., Zhao D. ve Wang W., (2004), "Adaptive Sliding Mode Fuzzy Control For A Two-Dimensional Overhead Crane", *Mechatronics*, Volume 15, 505-522.
- Mahfouf, M., Kee, C. H., Abbod, M. F. ve Linkens, D. A., (2000), "Fuzzy Logic-Based Anti-Sway Control Design For Overhead Cranes", *Neural Computing&Applications*, Volume 9, 38-43.
- Mendoza O., Melin P. ve Licea G., (2009) "A Hybrid Approach for Image Recognition Combining Type-2 Fuzzy Logic, Modular Neural Networks and the Sugeno Integral." *Information Sciences* 179 2078–2101
- Nanua P. , Waldron K.J. ve Murthy V., (1990) Direct Kinematic Solution of a Stewart Platform. *Robotics and Automation*, IEEE Transactions on,
- Nara S., Miyamoto D. ve Takahashi S., (2006) "Position Measurement of Crane Hook by Vision and Laser" *IEEE*, 1-4244-0136-4
- Nguyen C.C. , Zhou Z.L., Antrazi S.S. ve Campbell Jr C.E., (1991) Efficient Computation of Forward Kinematics and Jacobian Matrix of a Stewart Platform-based Manipulators. 7-10 Apr 1991, Southeastcon, IEEE Proceedings of,
- Oguamanam, D.C.D. ve Hansen J.S., (1998), "Dynamic Response Of An Overhead Crane System", *Journal of Sound and Vibration*, Volume 213, No. 5, 889-906.
- Oguamanam, D.C.D. ve Hansen, J.S., (2001), "Dynamics Of A Three-Dimensional Overhead Crane System", *Journal of Sound and Vibration*, Volume 242, No. 3, 411-426.
- Omar, F., Karray, F., Basir, O. ve Yu, L., (2004), "Autonomous Overhead Crane System Using A Fuzzy Logic Controller", *Journal of Vibration and Control*, Volume 10, 1255-1270.

- Ömürlü V.E., Büyüksahin U., Yıldız İ., Ünsal A., Sağır A., Engin Ş.N. ve Küçükdemiral İ.B., (2009) A Stewart Platform as a FBW Flight Control Unit for Space Vehicles, Recent Advances in Space Technologies – RAST 2009, 11-13 Haziran 2009 İstanbul, Türkiye, (P.716)
- Papanikolopoulos N.P., Khosla P.K. ve Kanade T. (1993) “Visual Tracking of a Moving Target by a Camera Mounted on a Robot: A Combination of Control and Vision” IEEE Transactions on Robotics and Automation. Vol. 9, No. 1
- Sağır A. ve Boğuşlu, M.E., (1995), “Krenlerde Yük Salınımlarının Bond Graph Metodu İle Modellenmesi”, 7.Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, C.1/340-349, YTÜ, İstanbul.
- Sağır A., (1996), Bond Graph Yöntemiyle Döner Krenlerin Modellenmesi ve Simülasyonu, Doktora Tezi, Y.T.Ü.
- Sağır A. ve Boğuşlu, M.E., (1999), “Bond Graph Yöntemi İle Teleskopik Bomlu Krenlerin Yük Kaldırma Sistemlerinin Modellenmesi ve Simülasyonu”, 4th International Mechatronic Design and Modelling Workshop Proceedings, 1/172-181, METU, Ankara.
- Sağır A., Boğuşlu, M.E. ve Ömürlü, V.E., (2003a), “Modeling the Dynamics and a kinematics of a Rotary Crane by the Bond Graph Method (Part I)”, Nonlinear Dynamics, Volume 33, Issue 4, 337-351.
- Sağır A., Boğuşlu, M.E. ve Ömürlü, V.E., (2003b), “Modeling the Dynamics and a kinematics of a Rotary Crane by the Bond Graph Method (Part II)”, Nonlinear Dynamics, Volume 33, Issue 4, 353-367.
- Sağır A., Azeloğlu, C.O. ve Büyüksahin, U., (2009), “Köprülü Krenlerin Nonlineer Modelinin Bond Graph Yöntemiyle Oluşturulması ve Dinamik Davranışlarının İncelenmesi”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı 2009, TOK2009, 13–16.10.2009, YTU, İstanbul.
- Sakawa, Y. ve Sano H., (1997), “Nonlinear Model And Linear Robust Control Of Overhead Traveling Cranes”, Nonlinear Analysis, Theory, Methods&Applications, Volume 30, No. 4, 2197-2207.
- Sharkawy, B., El-Awady, H. ve Kamal A.F.M., (2003), “Stable Fuzzy Control For A Class Of Nonlinear Systems”, The Institute of Measurement and Control, Volume 25, Issue 3, 265-278.
- Stewart D., (1965) A Platform with Six Degrees of Freedom, Proc. Instn. Mech. Engrs., vol.80, pp.371-386.
- Tao Y., Chen Z. ve Griffis C.L., (2004) “Chick Feather Pattern Recognition.” IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol. 151, No. 5
- Ting Y., Chen Y.S. ve Jar H.C., (2004) Modeling and Control for a Gough-Stewart Platform CNC Machine. Journal of Robotic Systems 21(11), 609–623
- Wu J. ve Tsai Y. (J.), (2006) “Enhanced Roadway Inventory Using a 2-D Sign Video Image Recognition Algorithm.” Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21 369–382

Ek-1.1 Matematiksel model denklemleri

Araba

$$x_m = x$$

$$y_m = 0$$

Sarkaç

$$x_m = x + L \sin \theta$$

$$\dot{x} = \dot{x} + L \cos \theta \dot{\theta}$$

Enerjiler

$$E_k = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \left[(\dot{x} + L \cos \theta \dot{\theta})^2 + (L \sin \theta \dot{\theta})^2 \right]$$

$$E_p = -mgL \cos \theta$$

Lagrange

$$E_k - E_p = \frac{1}{2} (M + m) \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m \left[L^2 \dot{\theta}^2 + 2 \dot{x} L \dot{\theta} \cos \theta \right] + mgL \cos \theta$$

Hareket Denklemleri

$$(M + m) \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \cos \theta - \cancel{mL \dot{\theta} (\sin \theta) \dot{\theta}} + F_s = 0$$

[$mL \dot{\theta} (\sin \theta) \dot{\theta}$] değeri diğer bileşenlere göre çok düşük olduğu için model oluşturulurken ihmal edilmiştir.

$$(M + m) \ddot{x} + mL \ddot{\theta} \cos \theta + F_s = 0$$

$$-m \dot{x} L \dot{\theta} \sin \theta - mgL \sin \theta = 0$$

$$\frac{d}{dt} [mL^2 \dot{\theta} + m \dot{x} L \cos \theta] + m \dot{x} L \dot{\theta} \sin \theta + mgL \sin \theta = 0$$

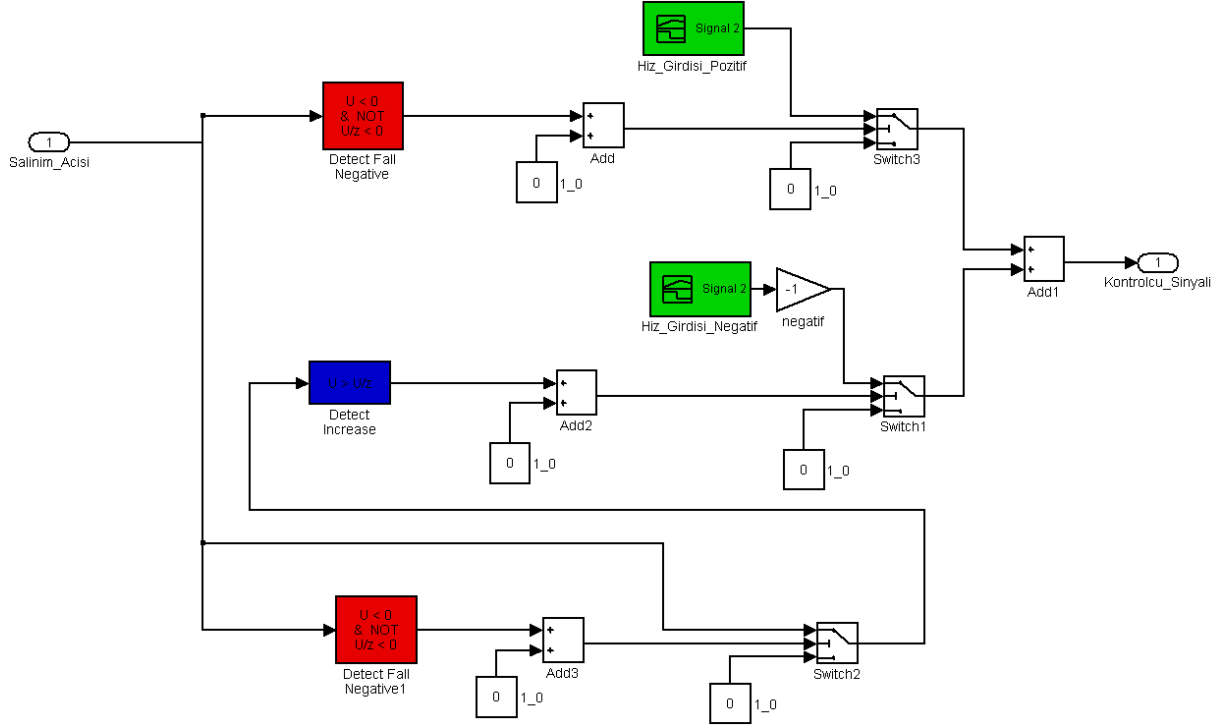
$$mL^2 \ddot{\theta} + m \ddot{x} L \cos \theta - m \dot{x} L \sin \theta \dot{\theta} + m \dot{x} L \dot{\theta} \sin \theta + mgL \sin \theta = 0$$

$$L \ddot{\theta} + \ddot{x} \cos \theta + g \sin \theta = 0$$

$$(M + m) \ddot{x} + m \cdot L \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos \theta + F_s = F \quad (1)$$

$$m \cdot L^2 \cdot \ddot{\theta} + m \cdot \ddot{x} \cdot L \cdot \cos \theta + m \cdot g \cdot L \cdot \sin \theta = 0 \quad (2)$$

Ek-1.2 Kontrol bloğu iç yapısı

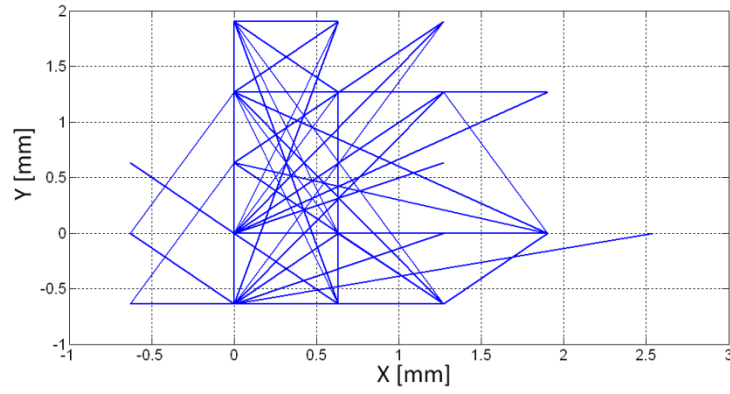


Kontrol Bloğu İç Yapısı

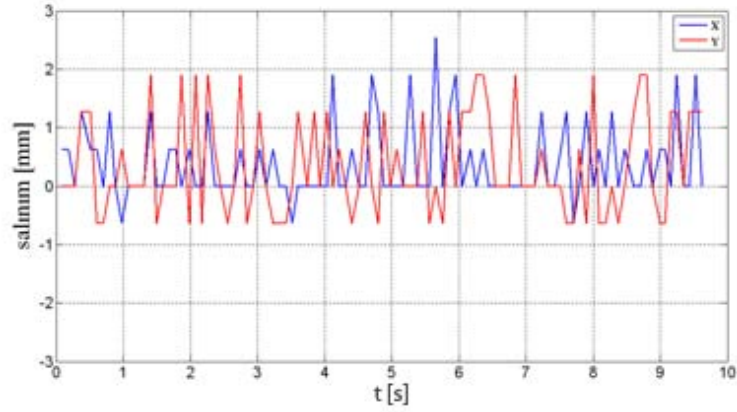
Ek – 2.1 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Mavi



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

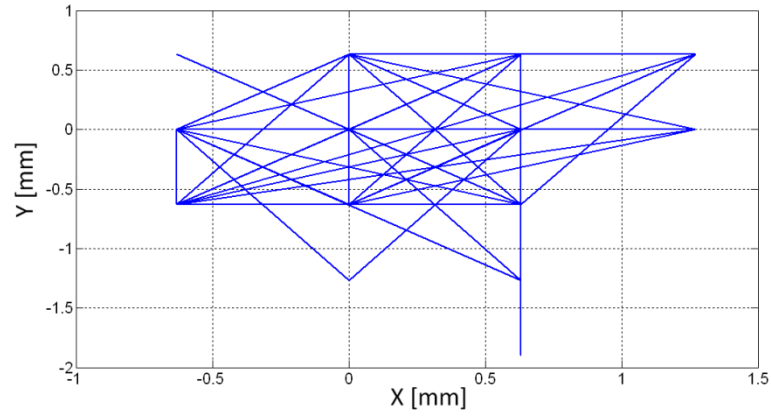
Mavi renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Mavi
Renk Kodu	108, 137, 146
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 2.52 mm (Sapma miktarı: 3.15 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	3.11 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-2,52 ~ 0 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	4.47 s^{-1}
K _x	9.79
K _y	11.26

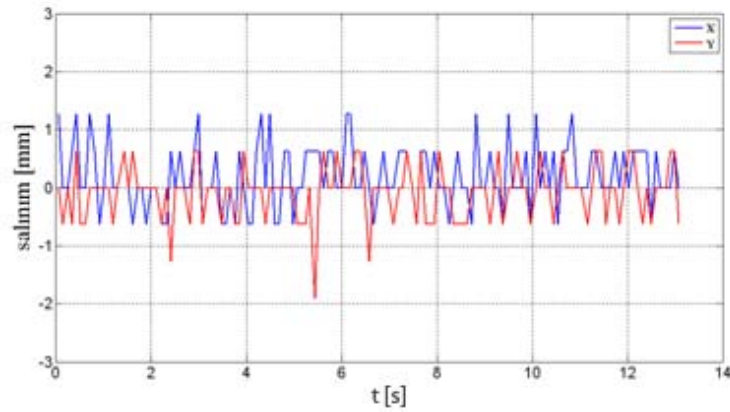
Ek – 2.2 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Yeşil



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

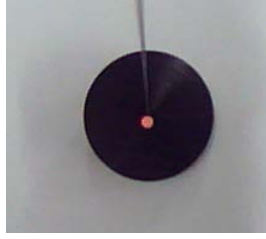


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

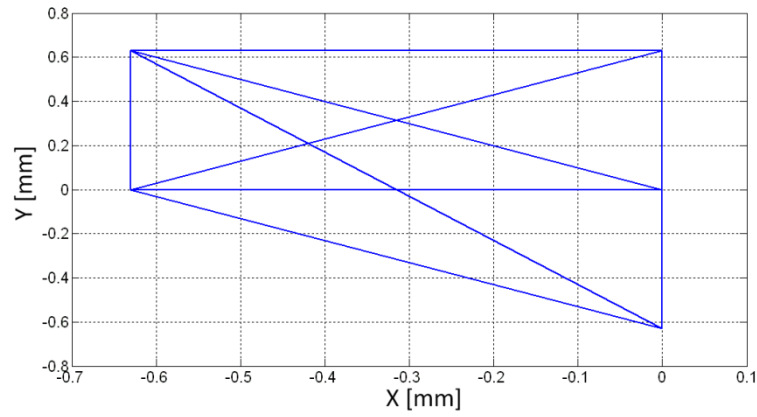
Yeşil renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Yeşil
Renk Kodu	108, 136, 34
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 1.89 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	3.9 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.89 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	3.51 s^{-1}
K _x	7.37
K _y	8.84

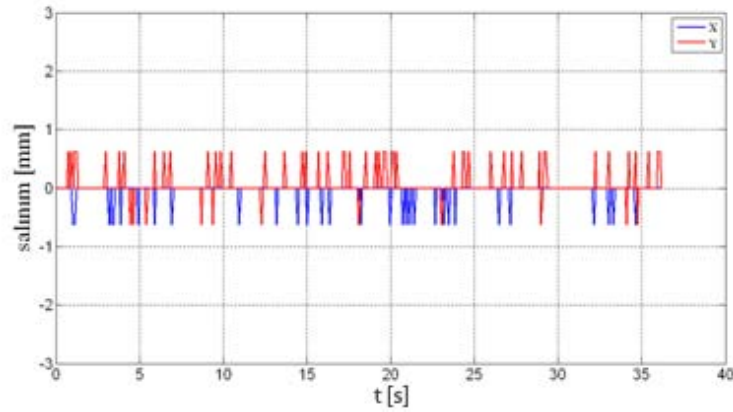
Ek – 2.3 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Pembe



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

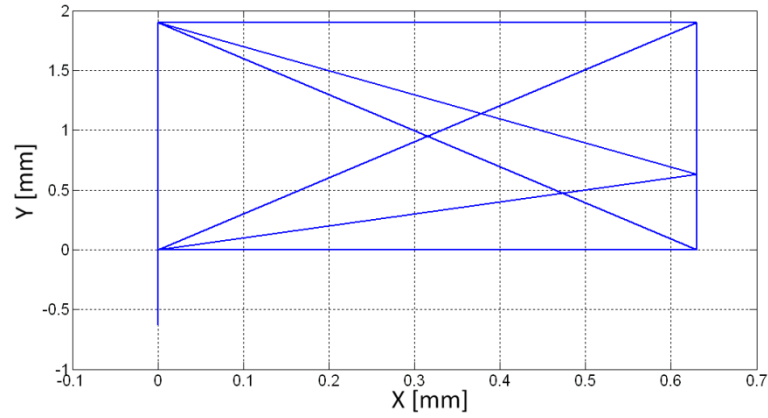
Pembe renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Pembe
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 0 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	0.85 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 1.26 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	1.65 s ⁻¹
K _x	0.54
K _y	2.08

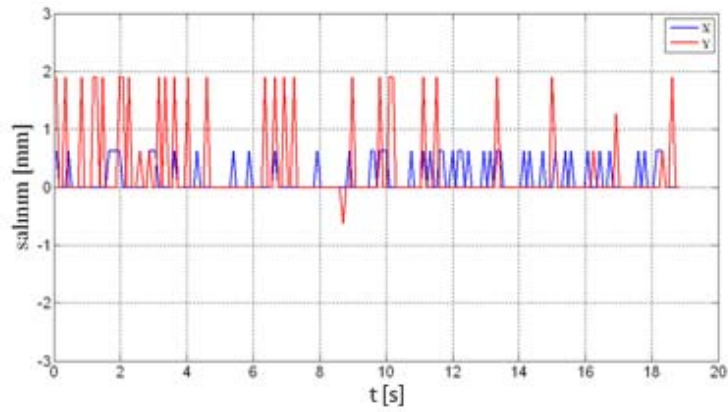
Ek – 2.4 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Turuncu



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

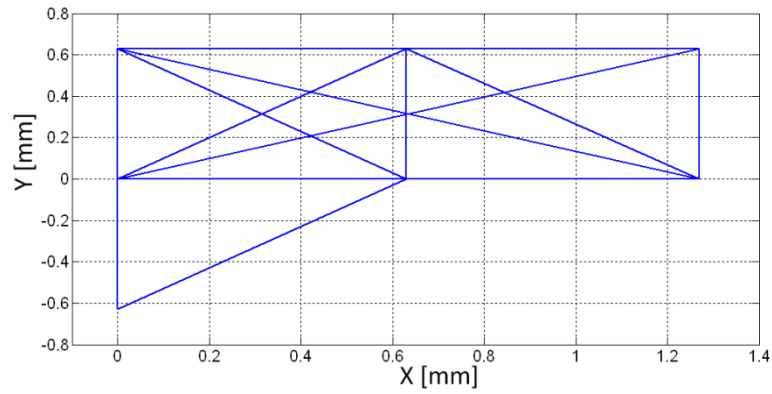
Turuncu renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Turuncu
Renk Kodu	199, 122, 15
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	2.55 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.89 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	1.86 s^{-1}
K _x	1.61
K _y	4.69

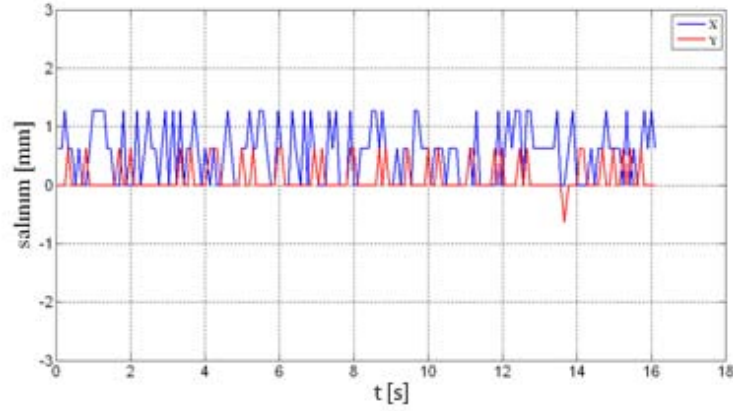
Ek – 2.5 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Sarı



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

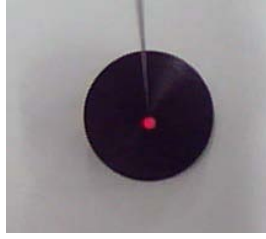


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

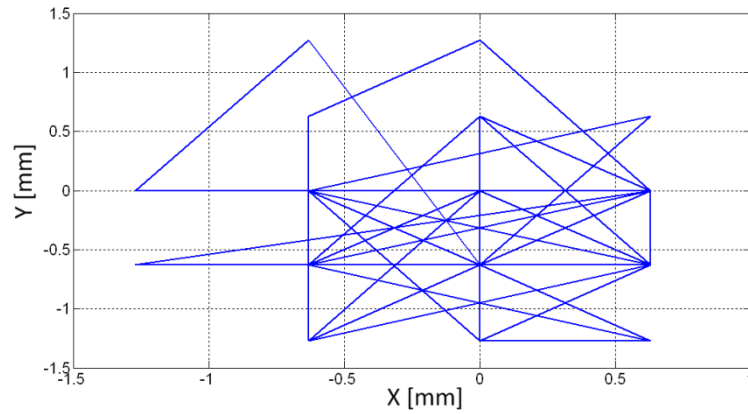
Sarı renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Sarı
Renk Kodu	151, 164, 57
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 1.26 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	6.70 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 1.26 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	2.23 s^{-1}
K _x	8.44
K _y	2.81

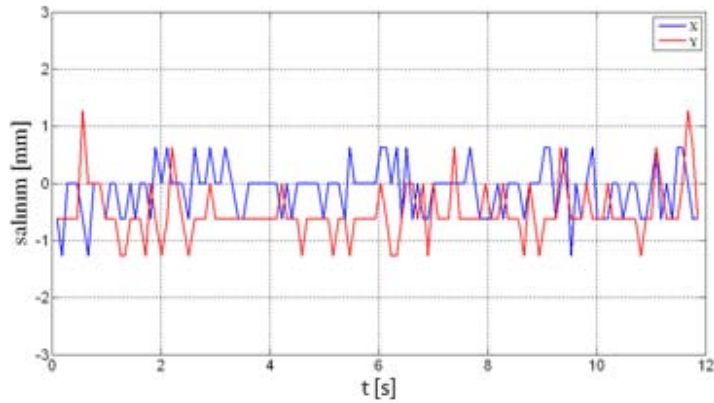
Ek – 2.6 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Koyu Pembe



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

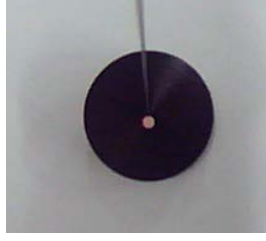


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

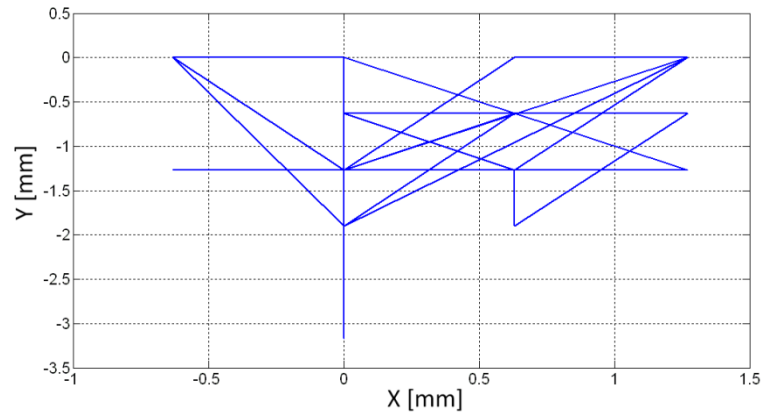
Koyu pembe renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Koyu Pembe
Renk Kodu	197, 31, 80
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.26 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 1.89 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	4.72 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.26 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	8.69 s ⁻¹
K _x	8.92
K _y	21.9

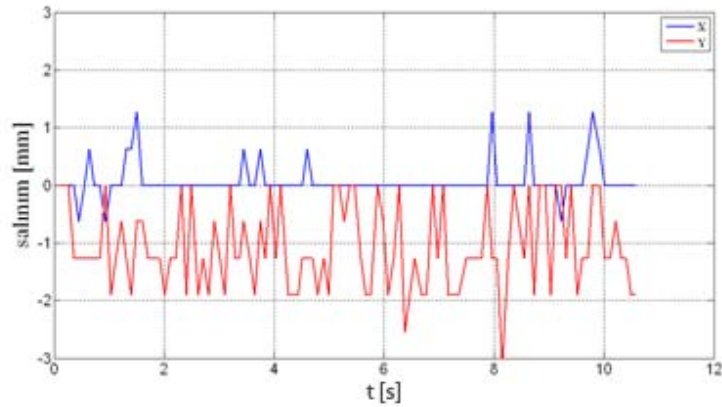
Ek – 2.7 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Açık Pembe



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi.

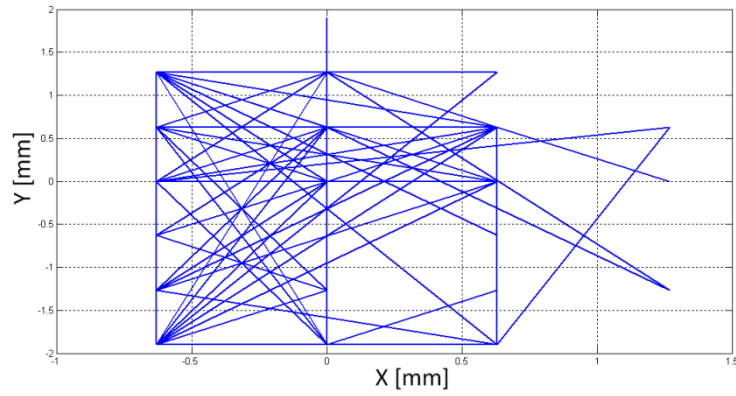
Açık pembe renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Açık Pembe
Renk Kodu	162, 111, 110
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 1.89 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	1.41 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-3.15 ~ 0 mm (Sapma miktarı: 3.15 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	7.85 s^{-1}
K _x	2.66
K _y	24.73

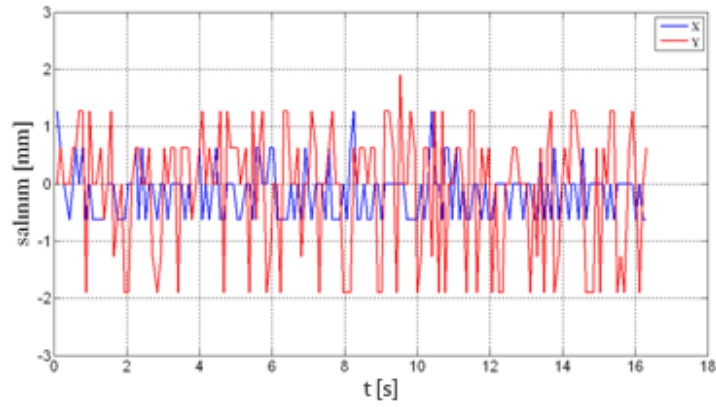
Ek – 2.8 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Toz Yeşil



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

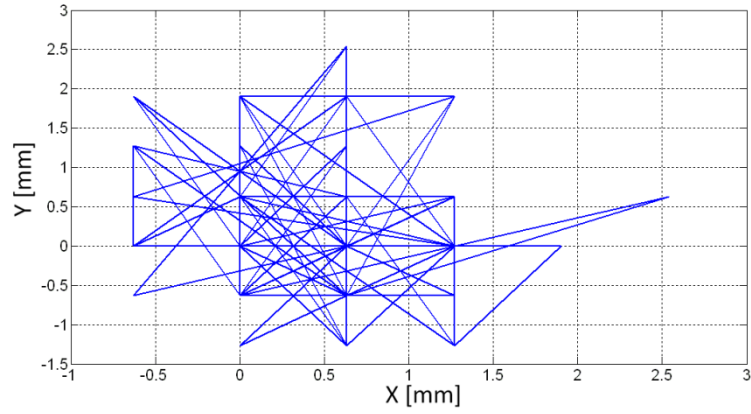
Toz yeşil renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Toz Yeşil
Renk Kodu	123, 144, 102
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 1.89 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	5.58 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.89 ~ 1.89 mm (Sapma miktarı: 3.78 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	7.47 s ⁻¹
K _x	10.55
K _y	28.24

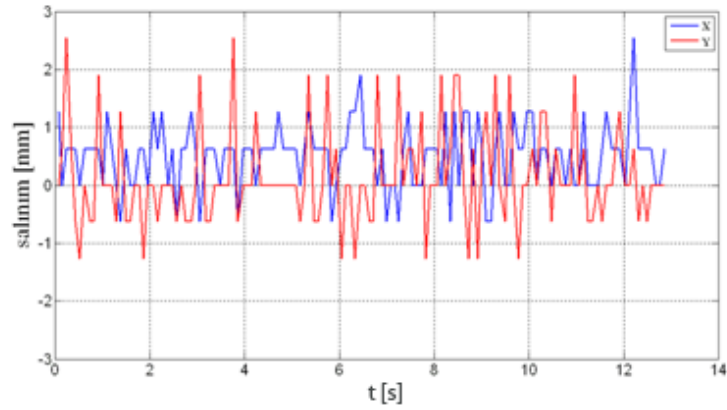
Ek – 2.9 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Lacivert



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

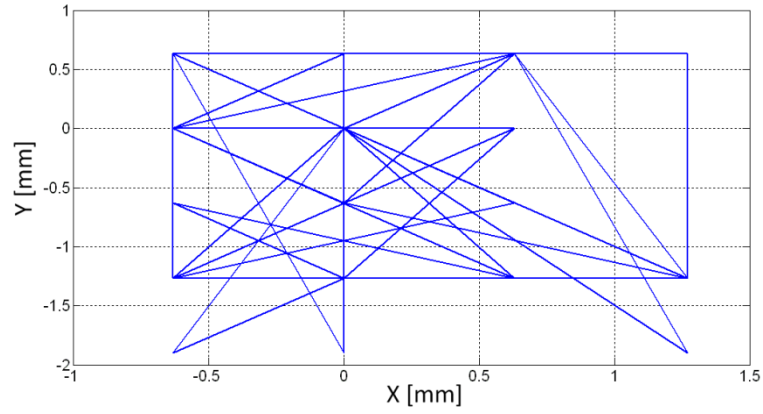
Lacivert renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Lacivert
Renk Kodu	31, 19, 75
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 2.52 mm (Sapma miktarı: 3.15 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	7.85 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.26 ~ 2.52mm (Sapma miktarı: 3.78 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	5.28 s ⁻¹
Kx	24.73
Ky	19.96

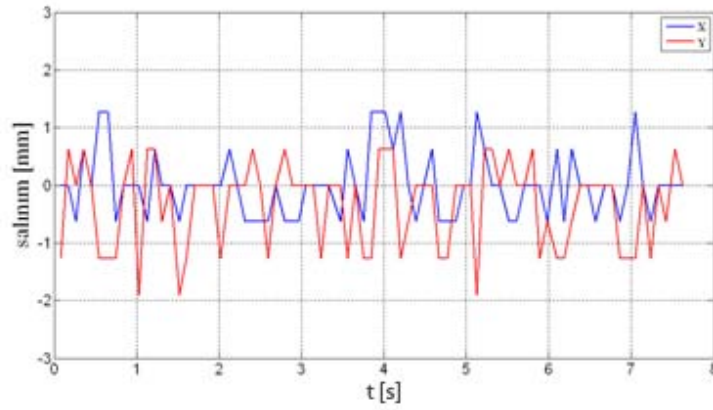
Ek – 2.10 Farklı renklerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Koyu Yeşil



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

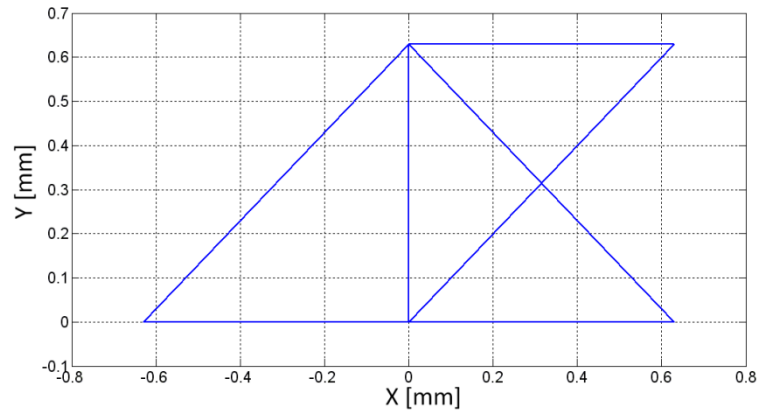
Koyu yeşil renkli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Renk	Koyu Yeşil
Renk Kodu	45, 83, 50
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 1.89 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	5.38 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.89 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	4.72 s ⁻¹
Kx	10.17
Ky	11.89

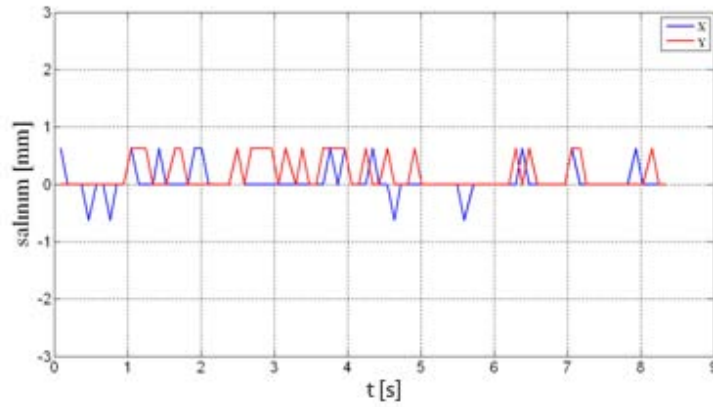
Ek – 2.11 Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Üçgen



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

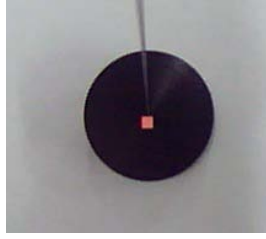


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

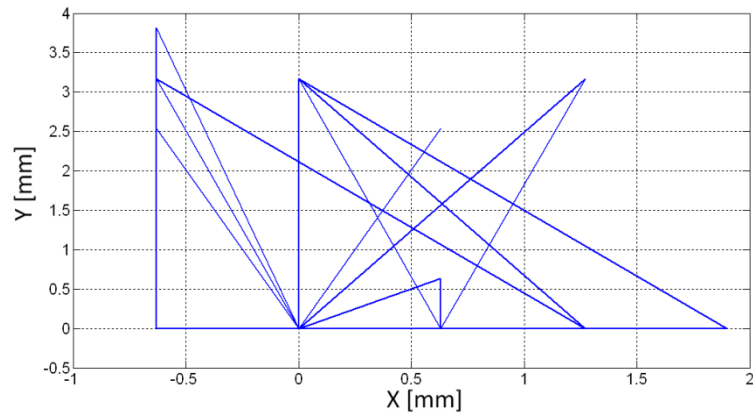
Üçgen şekilli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Şekil	Üçgen
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 1.26 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	1.91 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	2.88 s ⁻¹
K _x	2.41
K _y	1.81

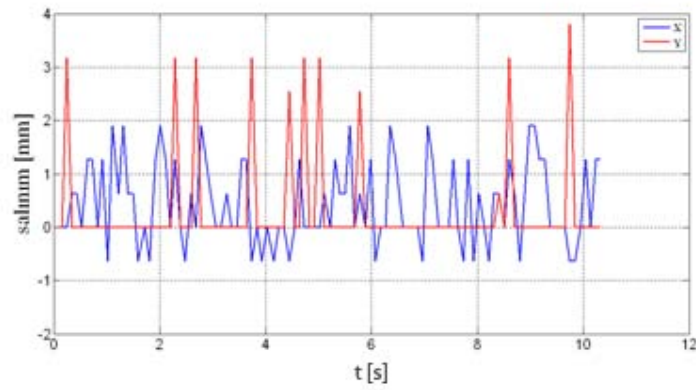
Ek – 2.12 Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Kare



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

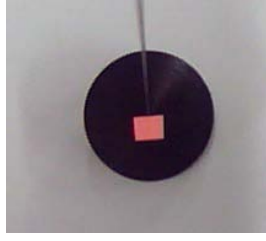


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

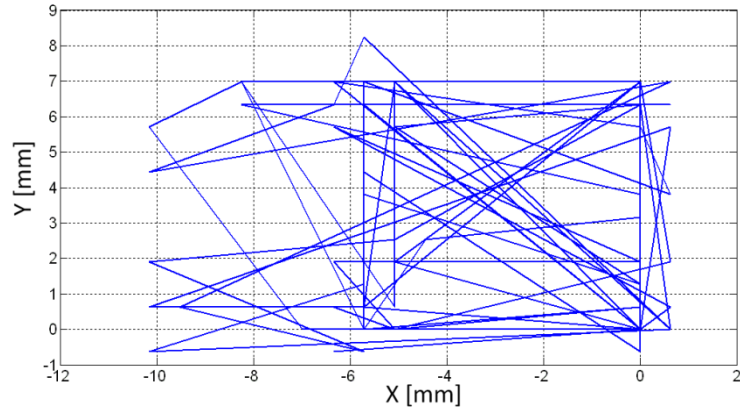
Kare şekilli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Şekil	Kare
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.89 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	1.91 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 3.78 mm (Sapma miktarı: 3.78 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	2.88 s ⁻¹
K _x	6.29
K _y	1.07

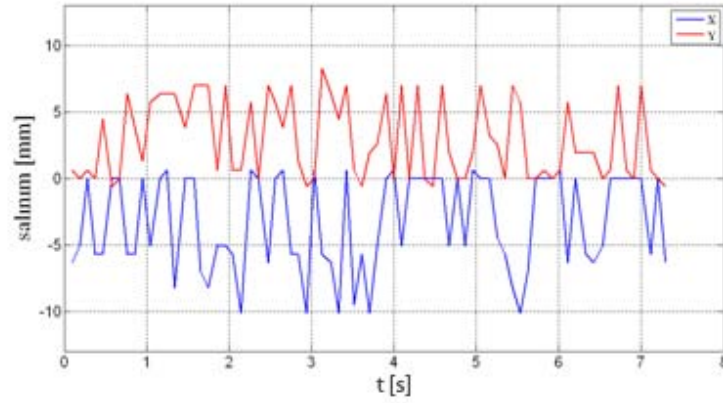
Ek – 2.13 Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları – Büyük Kare



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

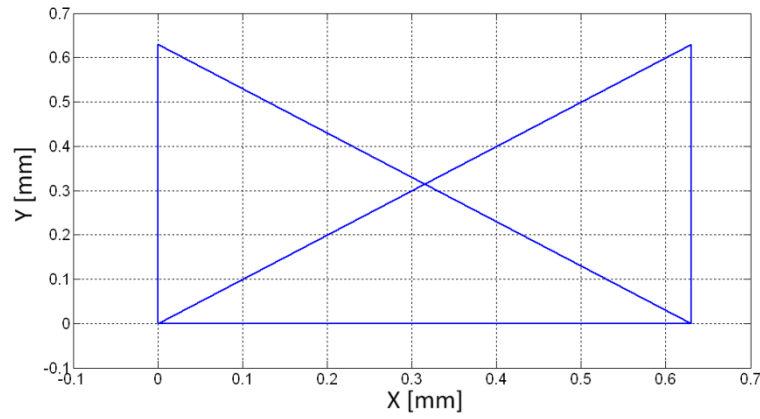
Büyük kare şekilli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Şekil	Büyük Kare
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-10.15 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 10.78 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	6.57 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 8.25 mm (Sapma miktarı: 8.88 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	8.09 s^{-1}
Kx	70.82
Ky	71.84

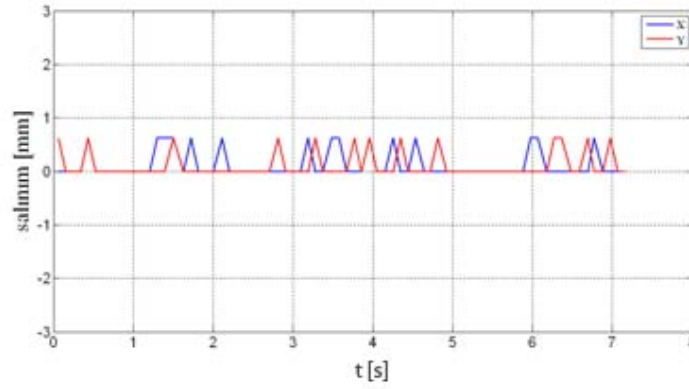
Ek – 2.14 Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Daire



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

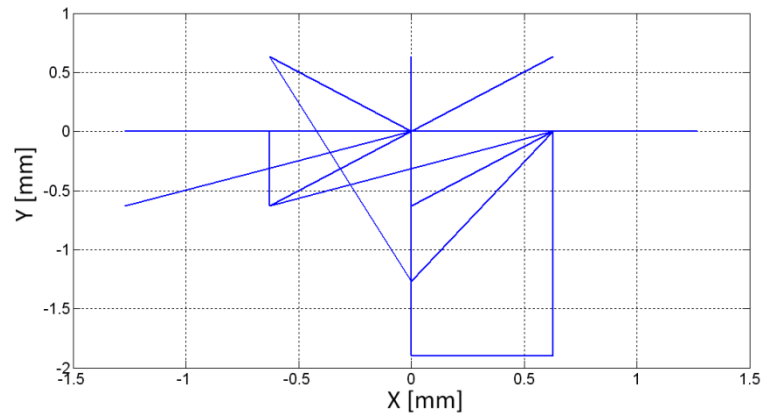
Daire şekilli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Şekil	Daire
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	2.09 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	0 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	1.82 s ⁻¹
K _x	1.32
K _y	1.15

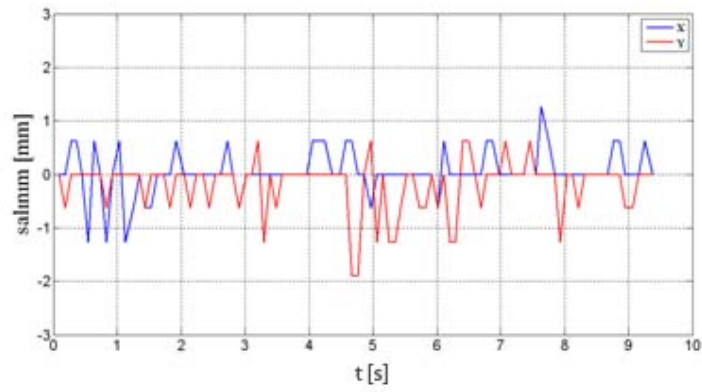
Ek – 2.15 Farklı şekillerde işaretçi ile yapılan deney sonuçları - Yamuk



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

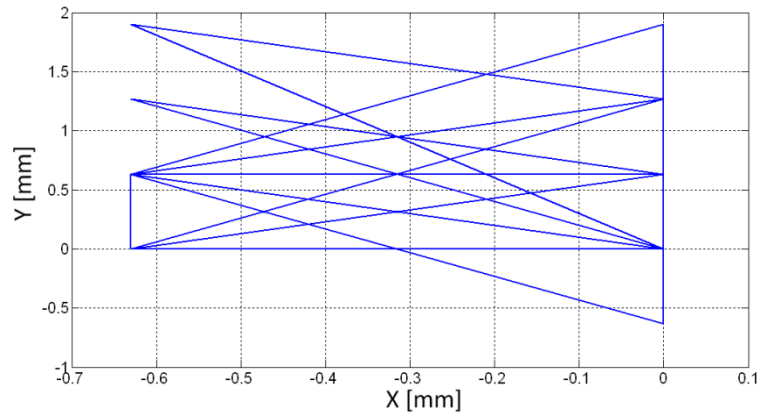
Yamuk şekilli işaretçi ile yapılan deneyde elde edilen değerler

Şekil	Yamuk
Renk Kodu	204, 103, 107
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.26 ~ 1.26 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	3.09 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.89 ~ 0.63 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	3.31 s ⁻¹
K _x	7.79
K _y	8.34

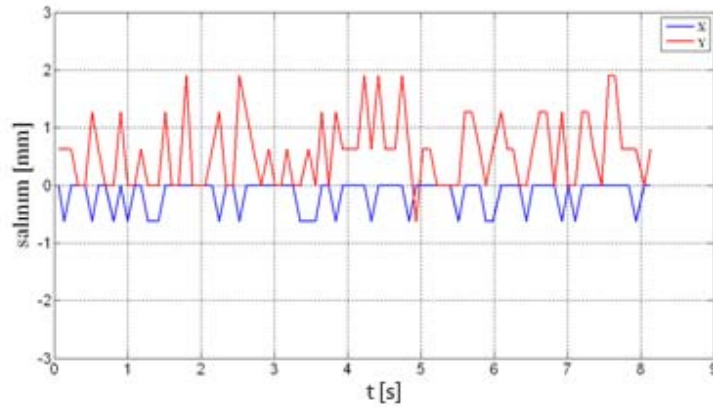
Ek – 2.16 Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 1 Piksel



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

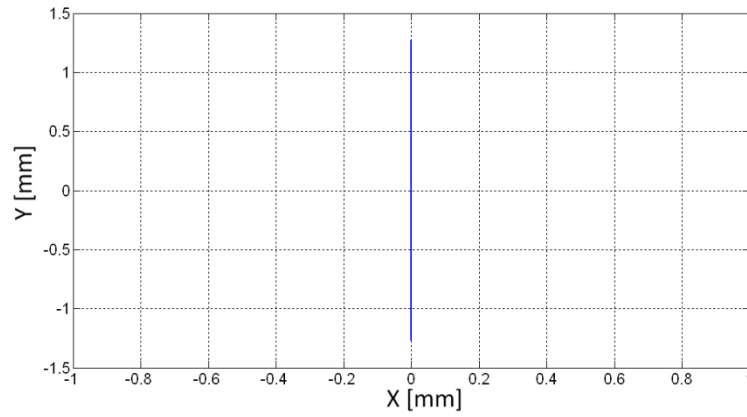
1 piksel çözünürlüğünde yapılan deneyde elde edilen değerler

Tarama Aralığı - Hassasiyet	1 Piksel – 0.63 mm (Maksimum çözünürlük)
Tarama Frekansı	16 Hz
X Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 0 mm (Sapma miktarı: 0.63 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	2.57 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-0.63 ~ 1.83 mm (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	6.51 s^{-1}
K _x	1.62
K _y	16.4

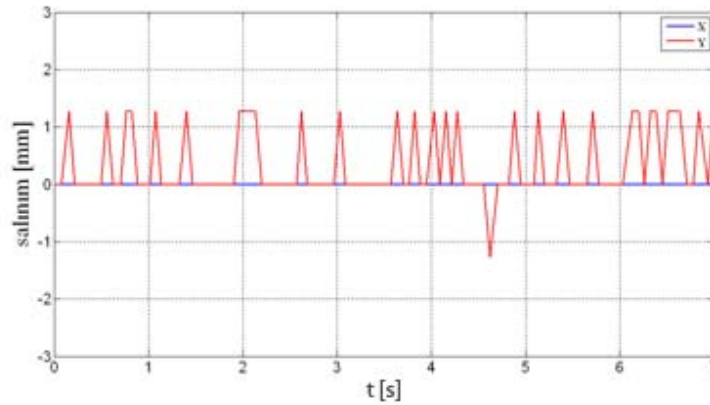
Ek – 2.17 Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 2 Piksel



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

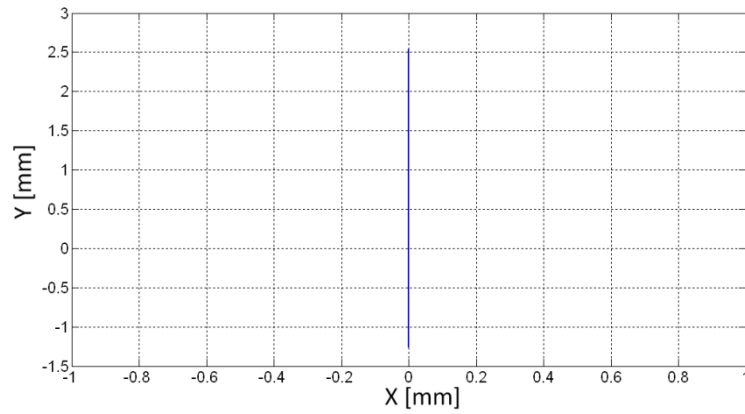
2 piksel çözünürlüğünde yapılan deneyde elde edilen değerler

Tarama Aralığı - Hassasiyet	2 Piksel – 1.26 mm
Tarama Frekansı	Teorik 32 Hz (30 Hz Kamera frekansı ile sınırlıdır)
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 mm (Sapma miktarı: 0 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	0 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	$-1.26 \sim 1.26 \text{ mm}$ (Sapma miktarı: 2.52 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	4.29 s^{-1}
K _x	0
K _y	10.81

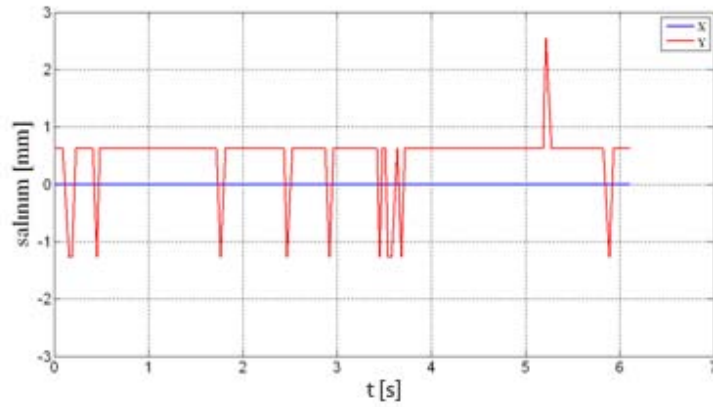
Ek – 2.18 Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 3 Piksel



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge



X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

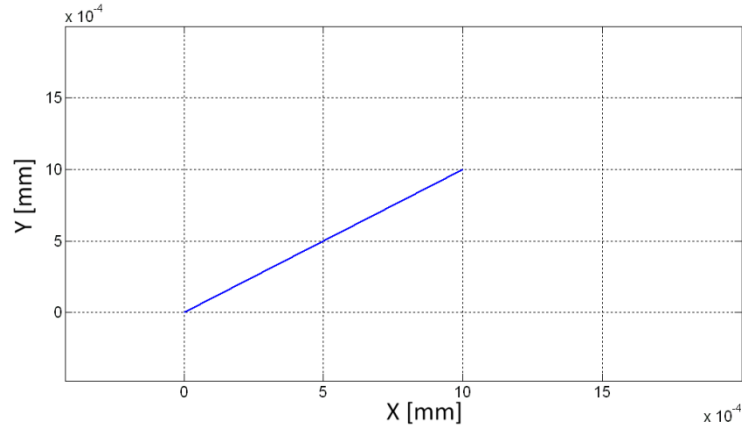
3 piksel çözünürlüğünde yapılan deneyde elde edilen değerler

Tarama Aralığı - Hassasiyet	3 Piksel – 1.89 mm
Tarama Frekansı	Teorik 48 Hz (30 Hz Kamera frekansı ile sınırlıdır)
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 mm (Sapma miktarı: 0 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	0 s^{-1}
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	-1.26 ~ 2.52 mm (Sapma miktarı: 3.88 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	1.8 s^{-1}
K _x	0
K _y	6.98

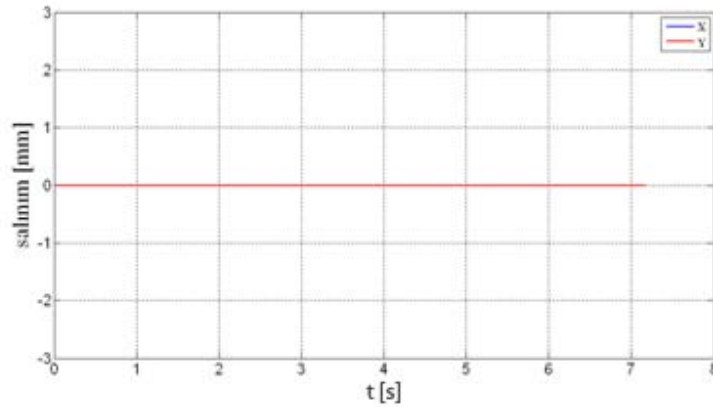
Ek – 2.19 Farklı tarama hassasiyeti ile yapılan deney sonuçları – 4 Piksel



Görüntü işleme sistemi kamerası tarafından çekilmiş yükün resmi



Deney süresince yükün izlediği yörünge

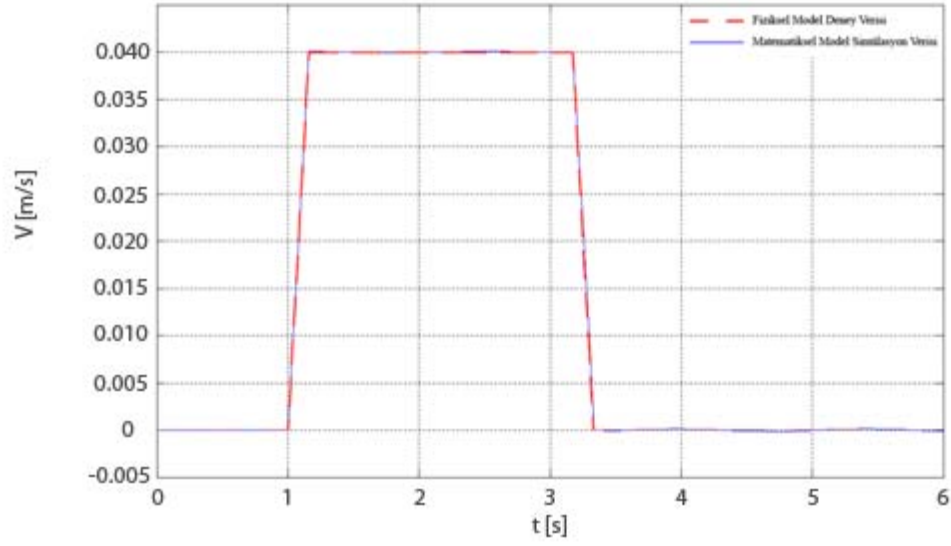


X ve Y eksenlerinde yükün sapmasının zamana bağlı gösterimi

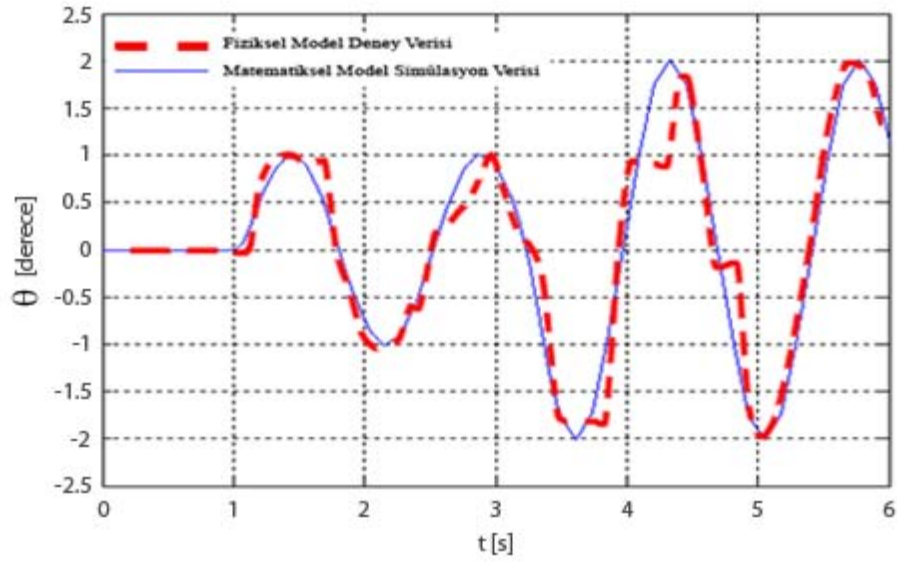
4 piksel çözünürlüğünde yapılan deneyde elde edilen değerler

Tarama Aralığı - Hassasiyet	4 Piksel – 2.52 mm
Tarama Frekansı	Teorik 64 Hz (30 Hz Kamera frekansı ile sınırlıdır)
X Eksenindeki Sapma Aralığı	0 mm (Sapma miktarı: 0 mm)
X Eksenindeki Sapma frekansı	0 s ⁻¹
Y Eksenindeki Sapma Aralığı	0 mm (Sapma miktarı: 0 mm)
Y Eksenindeki Sapma frekansı	0 s ⁻¹
K _x	0
K _y	0

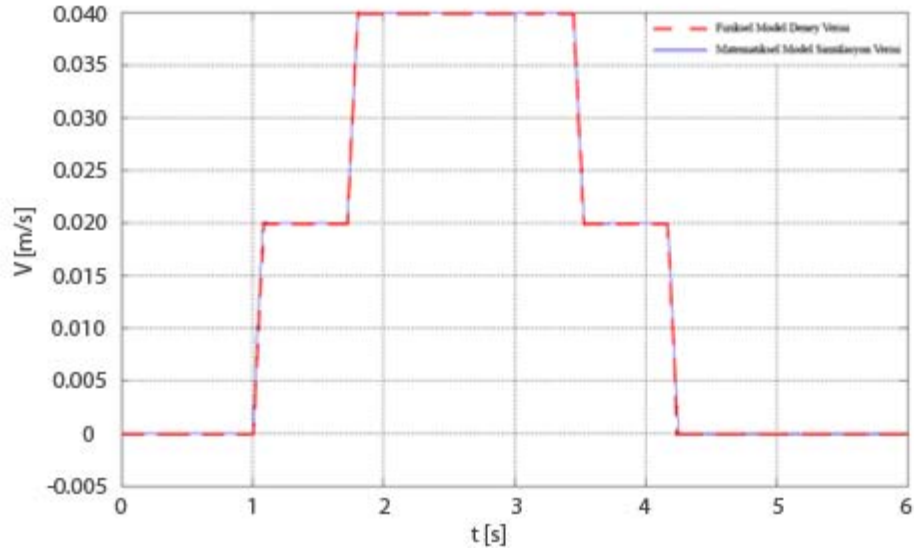
Ek – 3.1 Simülasyon 1, Deney 1 : $V=0.04 \text{ m/s}$; $a=0.25 \text{ m/s}^2$; $L=0.52 \text{ m}$



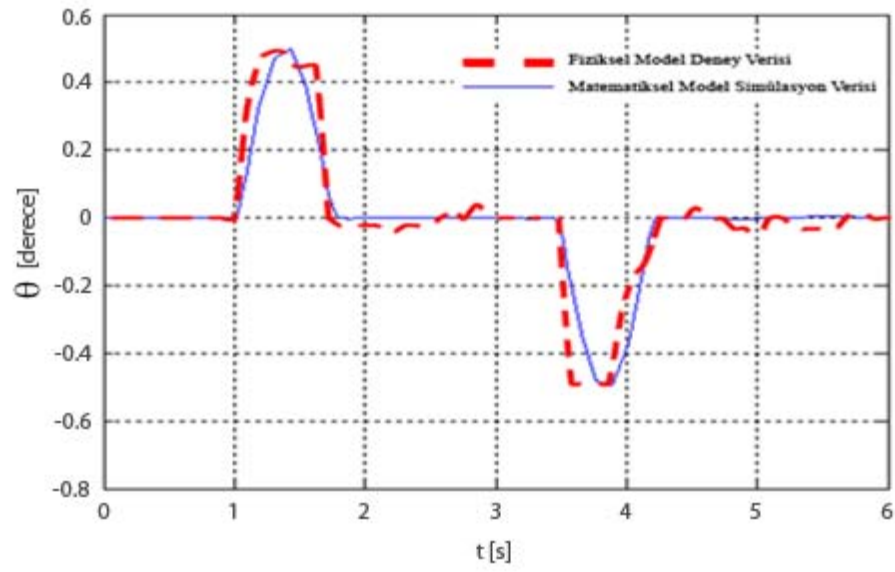
Kontrolcü devrede değilken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



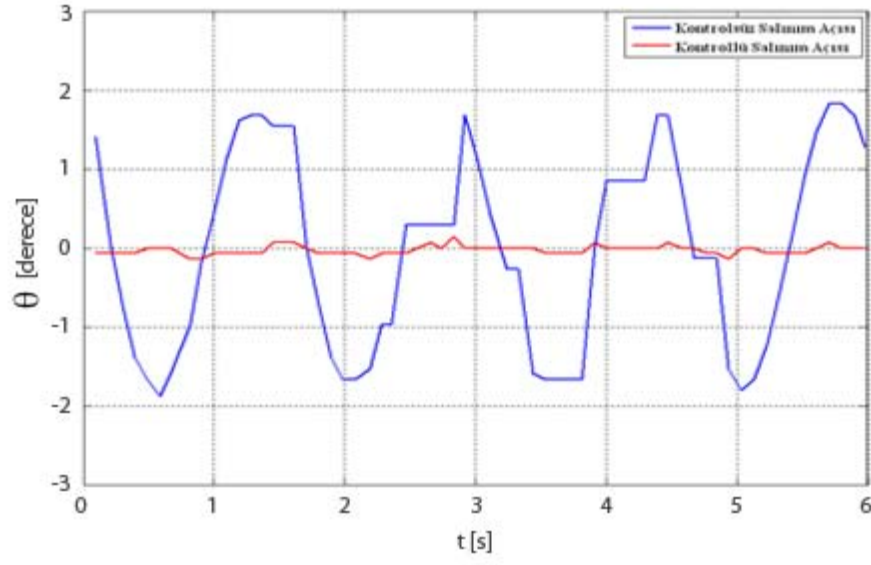
Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde kontrolcü uygulanmadan yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



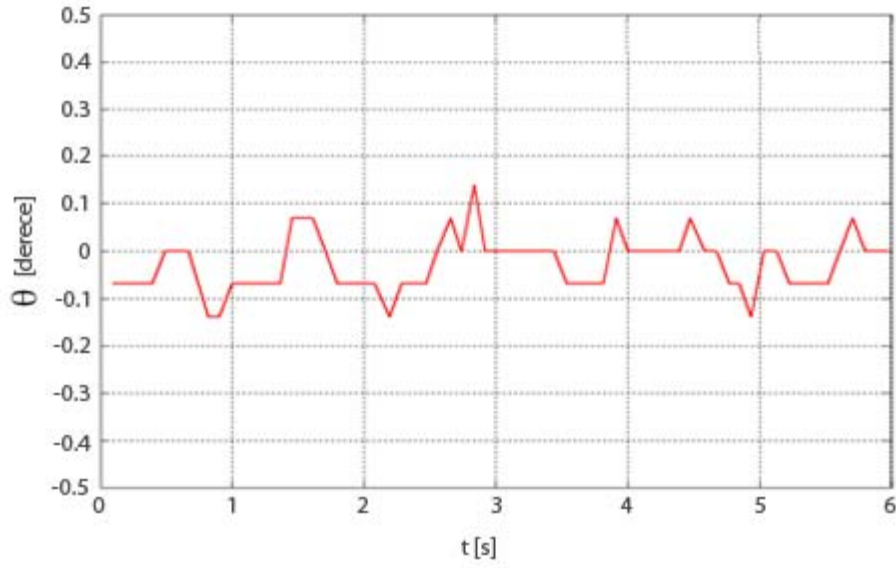
GİTHUSK kontrolcü devredeyken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak ve uygulanmadan yapılan hareketlerin sonrasında gözlemlenen salınım açıları - zaman grafiği

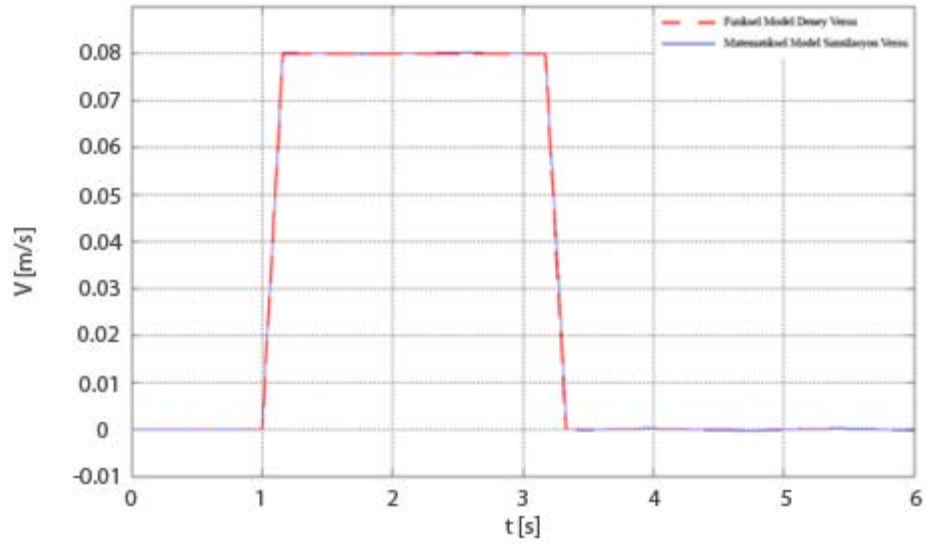


Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği

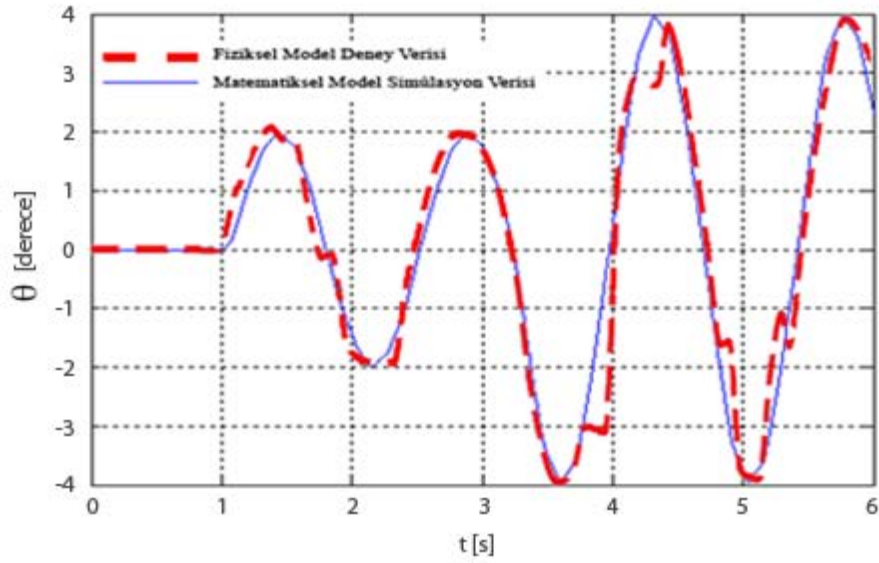
Simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Maksimum Hız Değeri Büyüklüğü	0.04 m/s
İvme Değeri Büyüklüğü	0.25 m/s ²
Kontrolcüsüz ilk salınım (Teorik)	+ 1 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Teorik)	± 2 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Teorik)	+ 5x10 ⁻¹ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Teorik)	± 1.75x10 ⁻³ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Teorik)	± 2.96x10 ⁻³ derece
Kontrolcüsüz ilk salınım (Gerçek)	+ 1.1 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 1.8 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Gerçek)	+ 5.3x10 ⁻¹ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Gerçek)	± 5x10 ⁻² derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 6x10 ⁻² derece

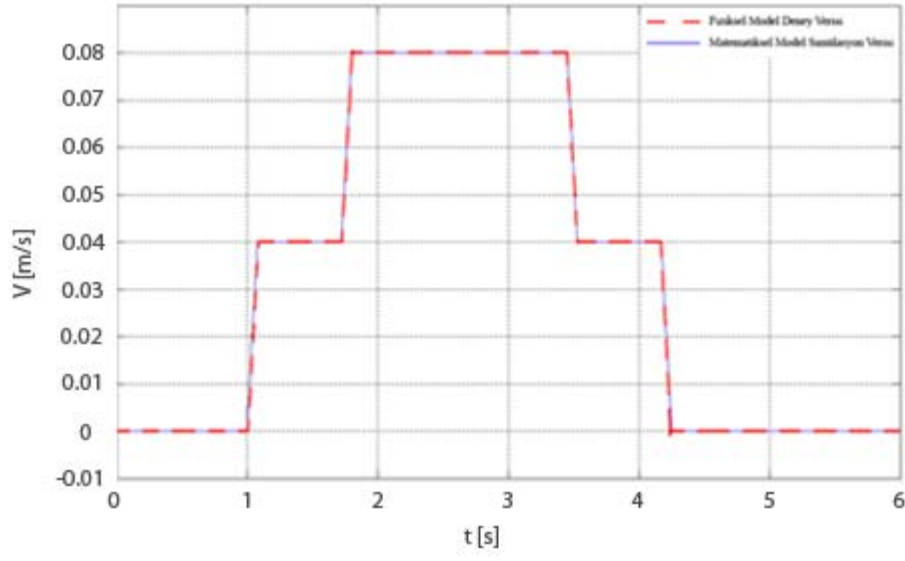
Ek – 3.2 Simülasyon 2, Deney 2 : $V=0.08 \text{ m/s}$; $a=0.5 \text{ m/s}^2$; $L=0.52 \text{ m}$



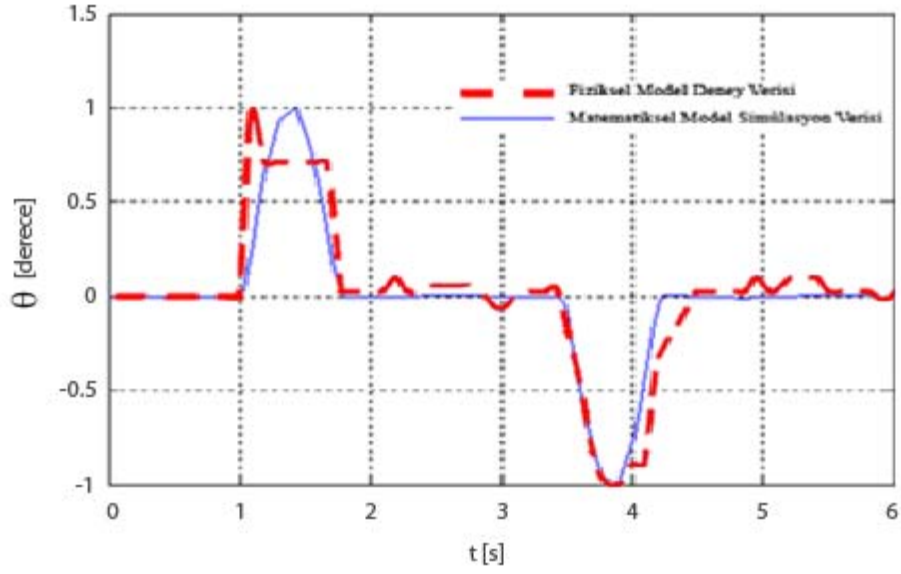
Kontrolcü devrede değilken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



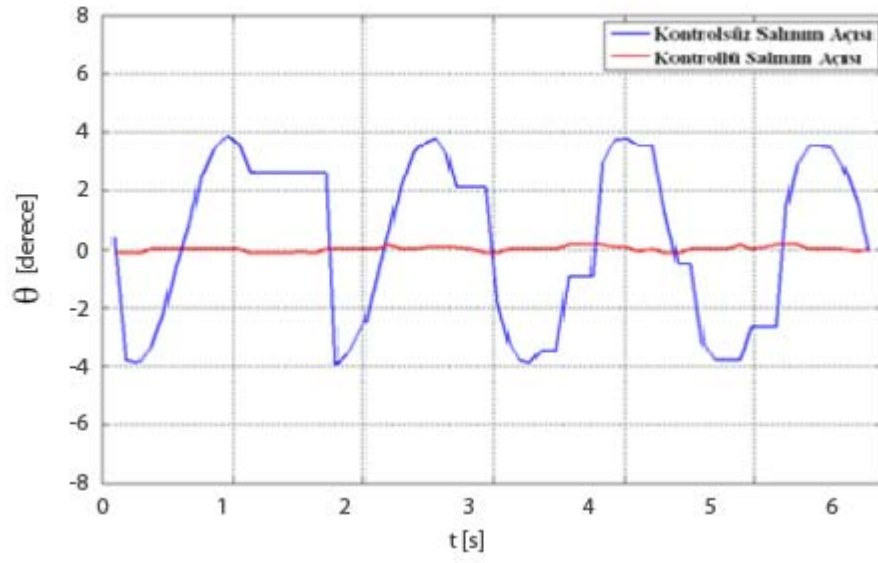
Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde kontrolcü uygulanmadan yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



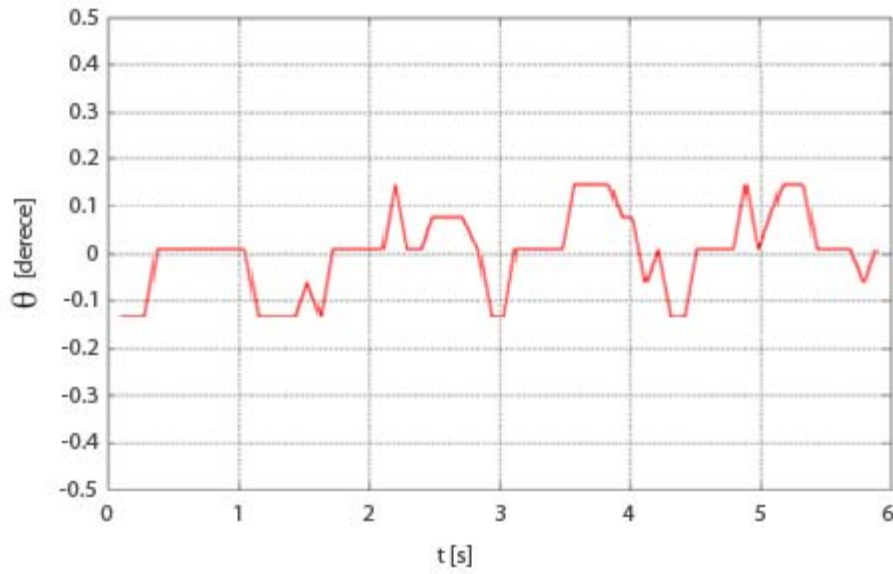
GİTHUSK kontrolcü devredeyken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak ve uygulanmadan yapılan hareketlerin sonrasında gözlemlenen salınım açıları - zaman grafiği

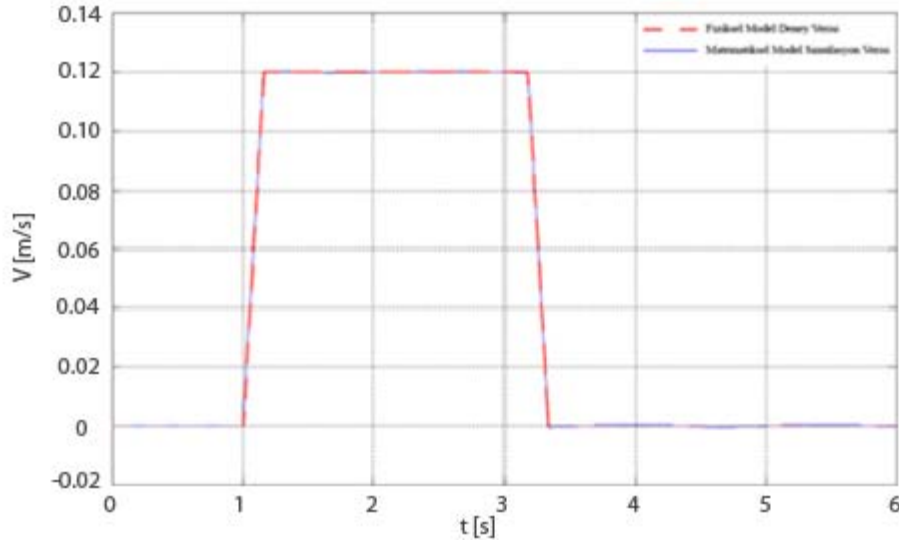


Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği

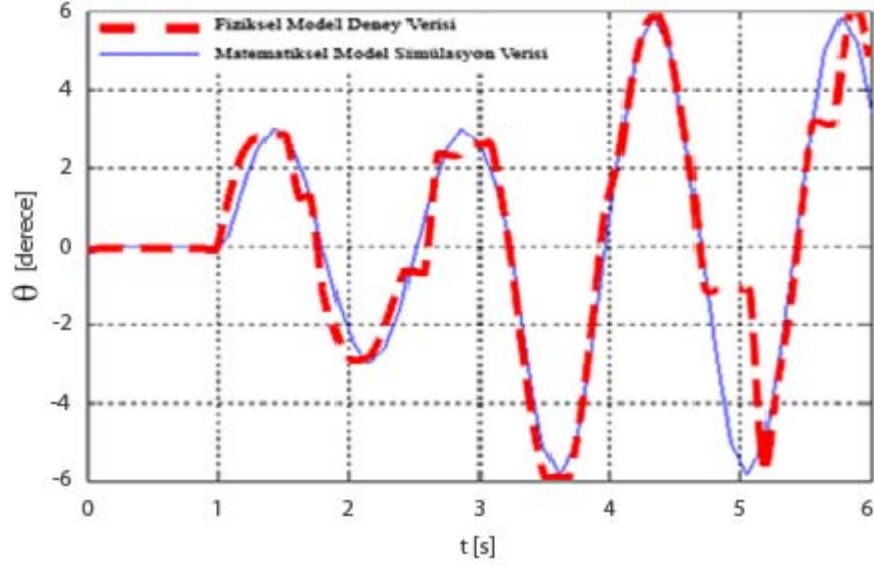
Simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Maksimum Hız Değeri Büyüklüğü	0.08 m/s
İvme Değeri Büyüklüğü	0.5 m/s ²
Kontrolcüsüz ilk salınım (Teorik)	+ 2 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Teorik)	± 4 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Teorik)	+ 1 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Teorik)	± 3.5x10 ⁻³ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Teorik)	± 5.85x10 ⁻³ derece
Kontrolcüsüz ilk salınım (Gerçek)	+ 2.1 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 3.95 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Gerçek)	+ 1.03 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Gerçek)	± 1x10 ⁻¹ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 1.5x10 ⁻¹ derece

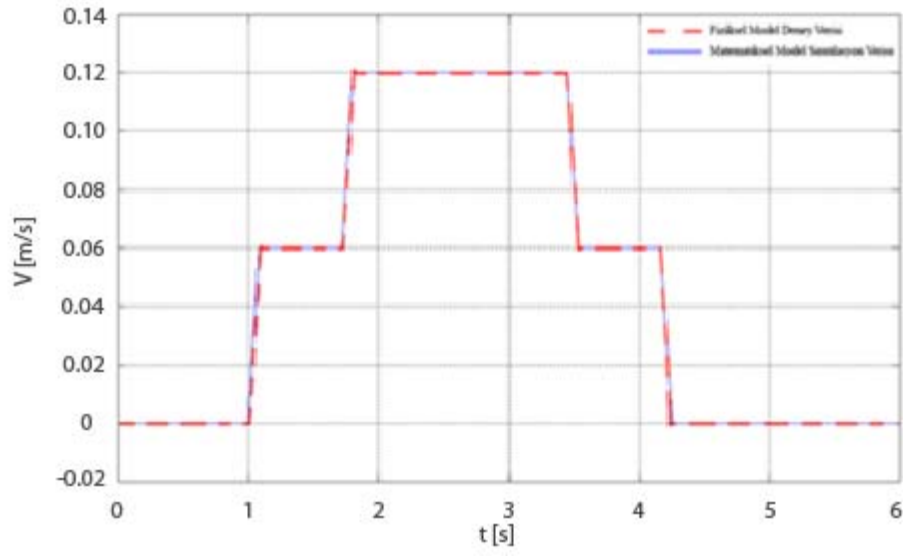
Ek – 3.3 Simülasyon 3, Deney 3 : $V=0.12 \text{ m/s}$; $a=0.75 \text{ m/s}^2$; $L=0.52 \text{ m}$



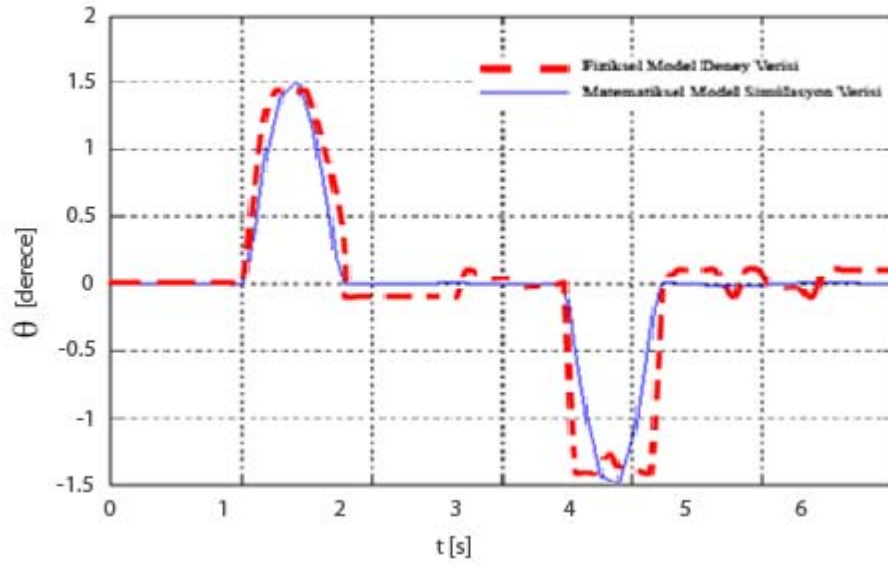
Kontrolcü devrede değilken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



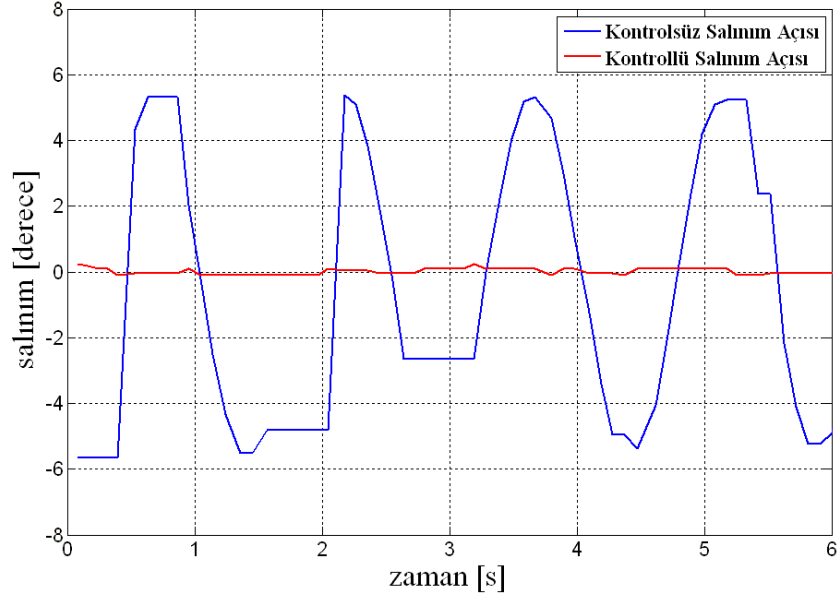
Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde kontrolcü uygulanmadan yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



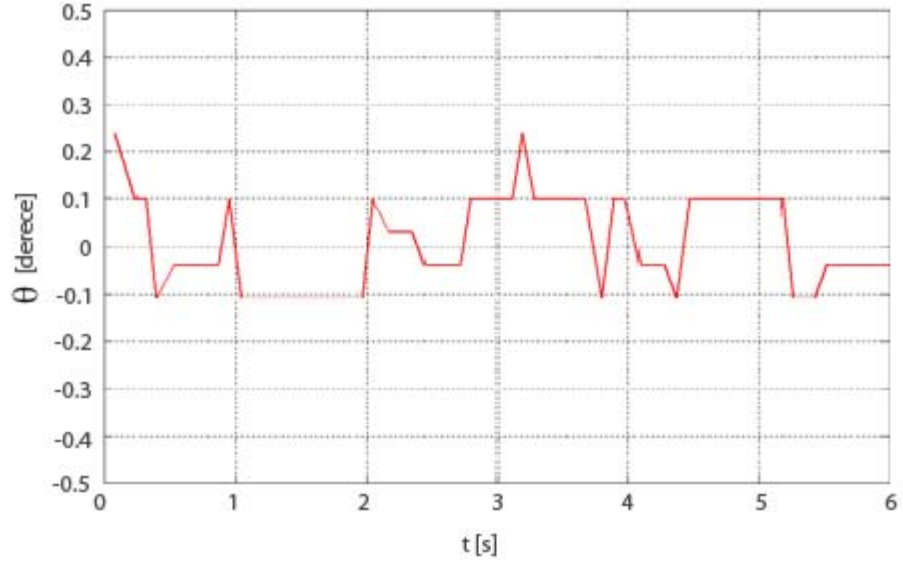
GİTHUSK kontrolcü devredeyken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak ve uygulanmadan yapılan hareketlerin sonrasında gözlemlenen salınım açıları - zaman grafiği

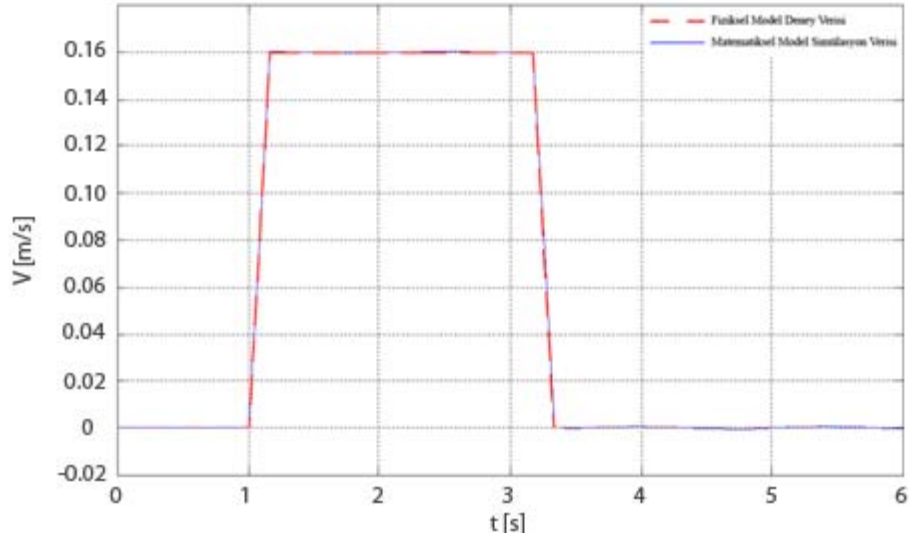


Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği

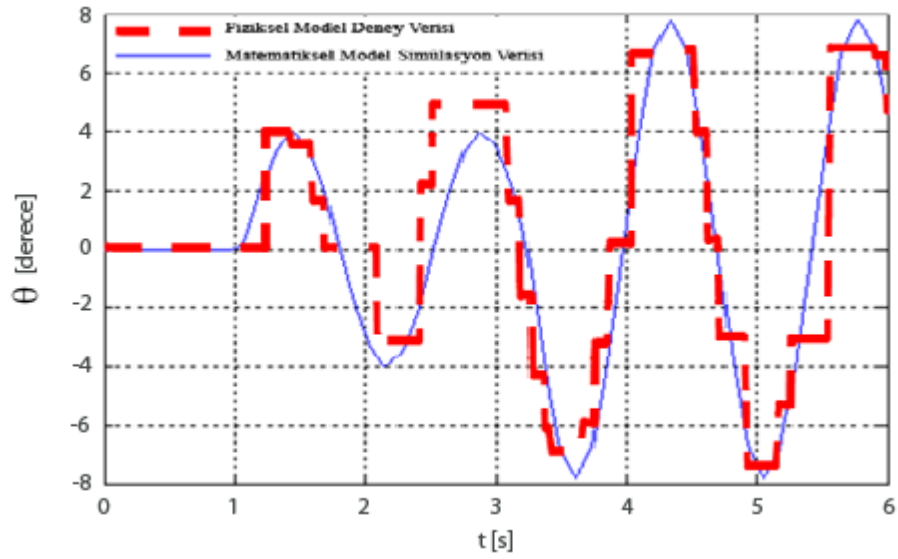
Simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Maksimum Hız Değeri Büyüklüğü	0.12 m/s
İvme Değeri Büyüklüğü	0.75 m/s ²
Kontrolcüsüz ilk salınım (Teorik)	+ 3 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Teorik)	± 6 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Teorik)	+ 1.5 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Teorik)	± 1.75x10 ⁻³ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Teorik)	± 2.96x10 ⁻³ derece
Kontrolcüsüz ilk salınım (Gerçek)	+ 2.9 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 5.95 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Gerçek)	+ 1.47 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Gerçek)	± 7x10 ⁻² derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 1.1x10 ⁻¹ derece

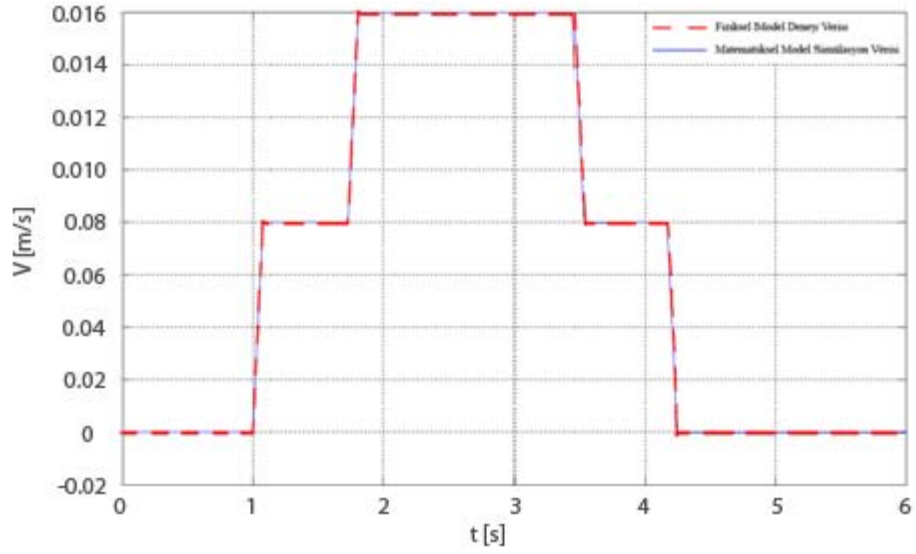
Ek – 3.4 Simülasyon 4, Deney 4 : $V=0.16 \text{ m/s}$; $a=1 \text{ m/s}^2$; $L=0.52 \text{ m}$



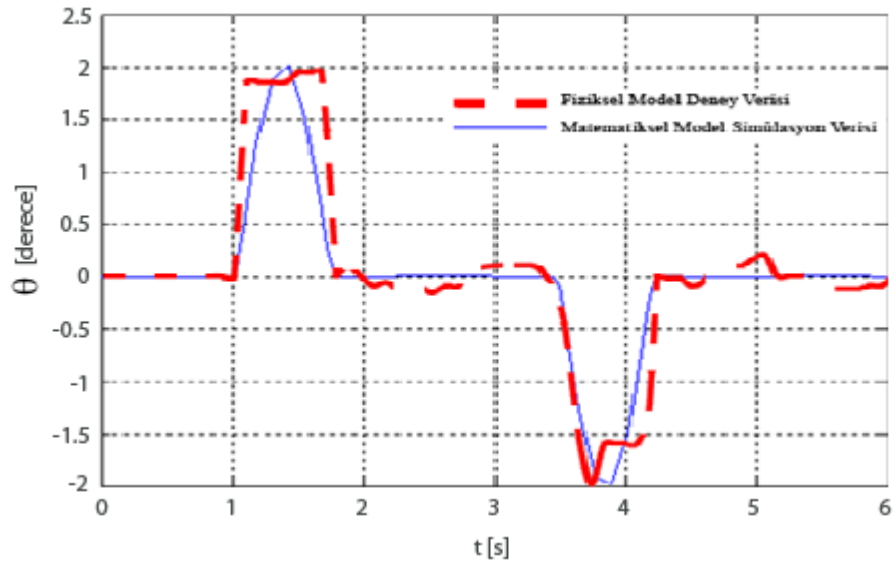
Kontrolcü devrede değilken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



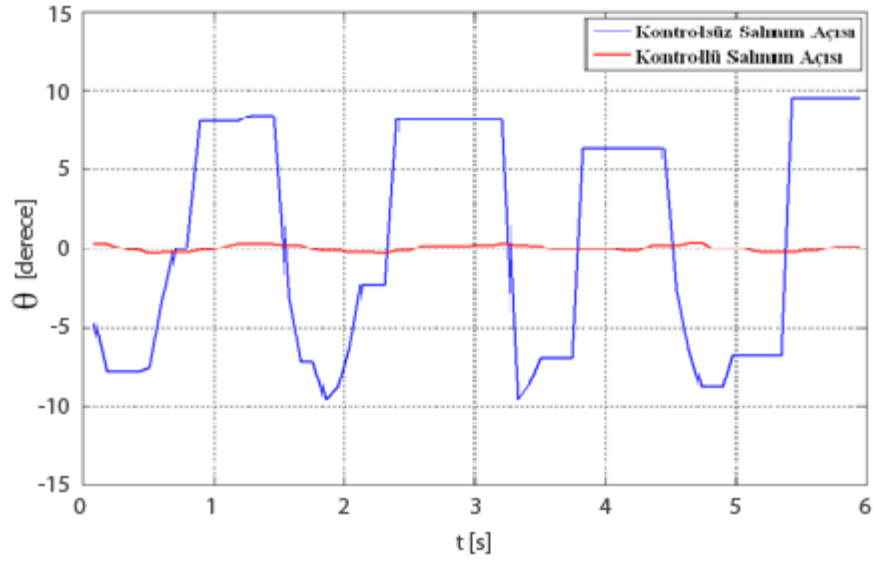
Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde kontrolcü uygulanmadan yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



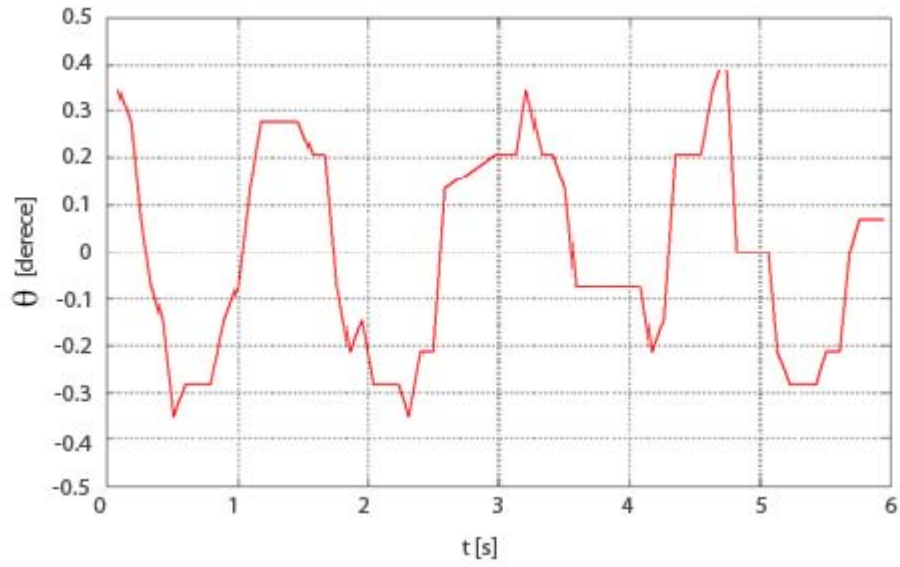
GİTHUSK kontrolcü devredeyken yapılan simülasyon ve deney sırasında giriş sinyali olarak uygulanan Hız-zaman grafiği



Simulink modeli ve fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket ve sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği



Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak ve uygulanmadan yapılan hareketlerin sonrasında gözlemlenen salınım açıları - zaman grafiği

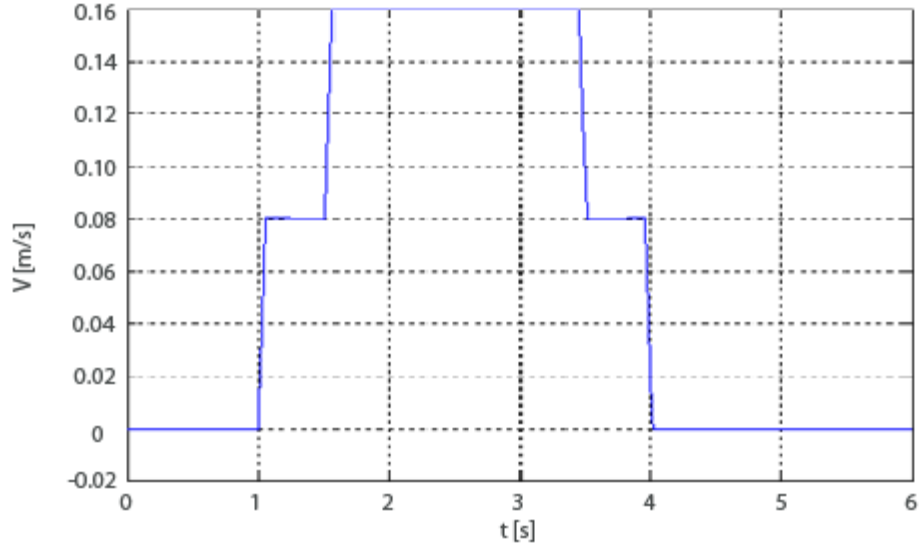


Fiziksel model üzerinde GİTHUSK kontrolcü uygulanarak yapılan hareket sonrasında gözlemlenen salınım açısı - zaman grafiği

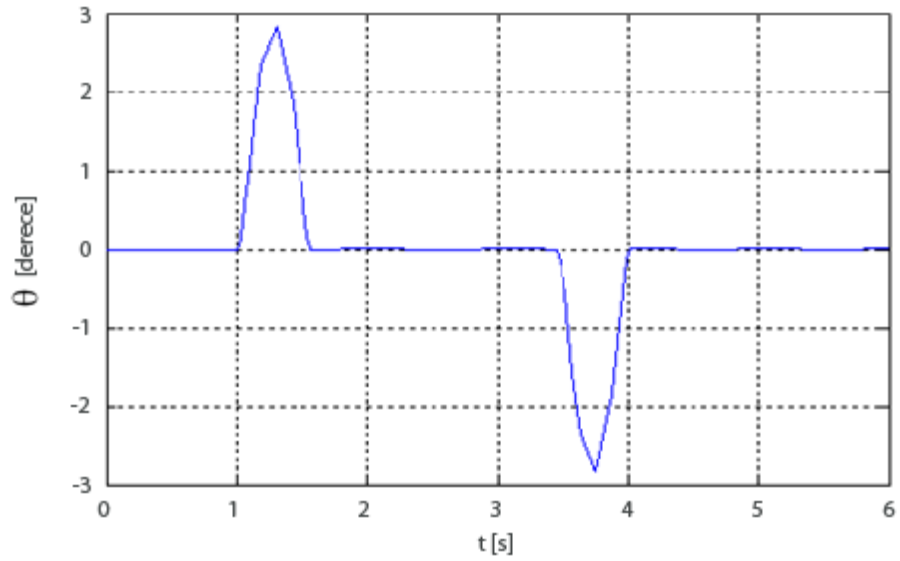
Simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

Maksimum Hız Değeri Büyüklüğü	0.16 m/s
İvme Değeri Büyüklüğü	1 m/s ²
Kontrolcüsüz ilk salınım (Teorik)	+ 4 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Teorik)	± 8 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Teorik)	+ 2 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Teorik)	± 6x10 ⁻³ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Teorik)	± 1.11x10 ⁻² derece
Kontrolcüsüz ilk salınım (Gerçek)	+ 4.2 derece
Kontrolcüsüz hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 7.5 derece
GİTHUSK kontrolcülü ilk salınım (Gerçek)	+ 2 derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sırasındaki salınım (Gerçek)	± 6x10 ⁻¹ derece
GİTHUSK kontrolcülü hareket sonrası salınım (Gerçek)	± 3x10 ⁻¹ derece

Ek – 3.5 Simülasyon 5 : $V=0.16 \text{ m/s}$; $a=1 \text{ m/s}^2$; $L=0.26 \text{ m}$; $m=1.8 \text{ kg}$

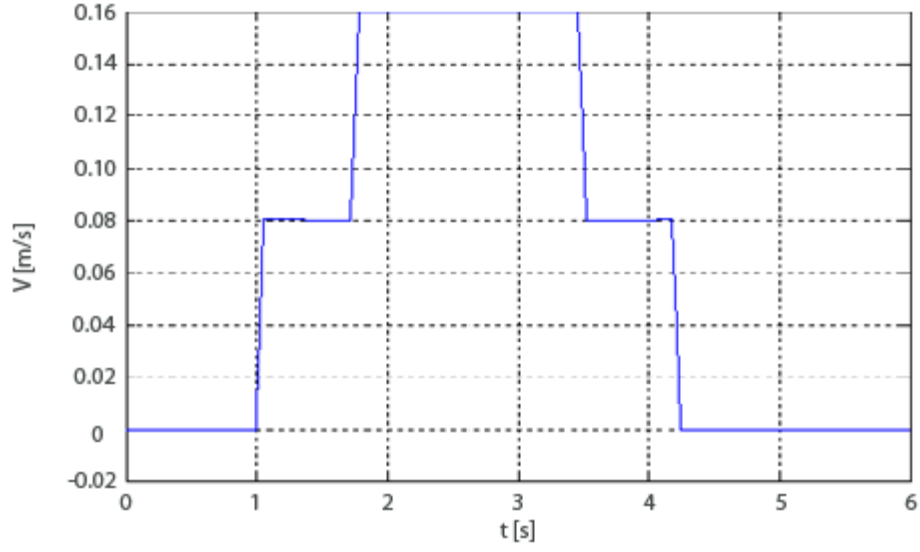


$V_{\max}=0.16 \text{ m/s}$, $a=1\text{m/s}^2$, (halat boyu) $L=0.26 \text{ m}$, (Yük Kütlesi) $m = 1.8 \text{ kg}$ iken araba hızı – zaman grafiği

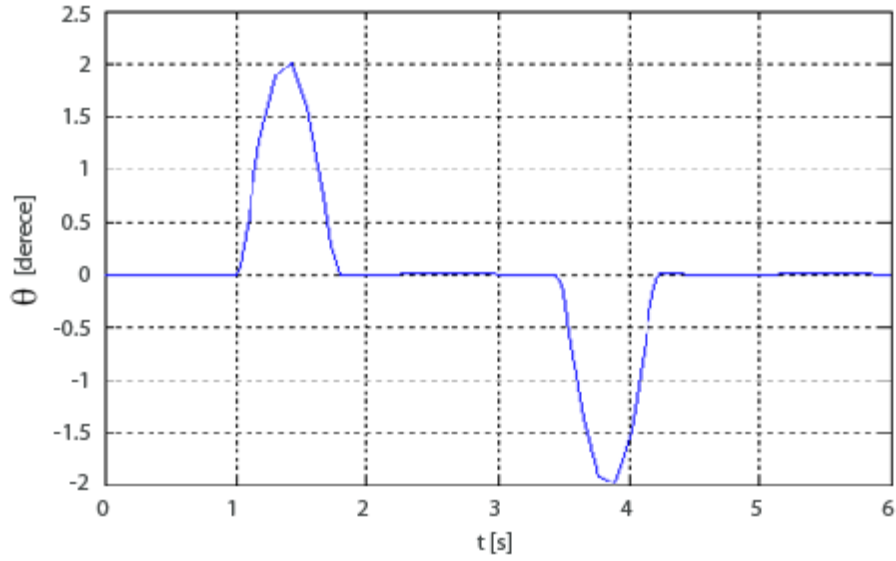


$V_{\max}=0.16 \text{ m/s}$, $a=1\text{m/s}^2$, (halat boyu) $L=0.26 \text{ m}$, (Yük Kütlesi) $m = 1.8 \text{ kg}$ iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.6 Simülasyon 6 : $V=0.16 \text{ m/s}$; $a=1 \text{ m/s}^2$; $L=0.52 \text{ m}$; $m=1.8 \text{ kg}$

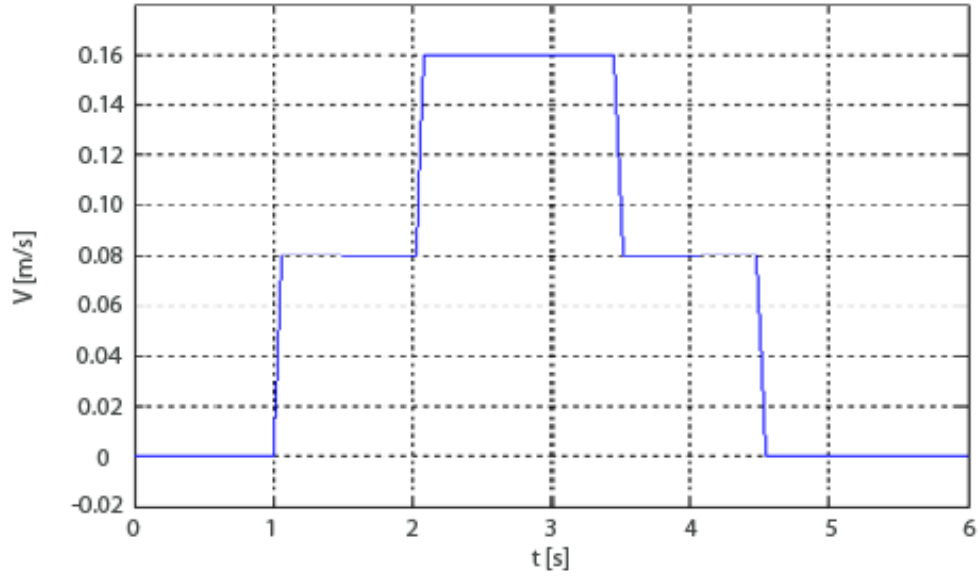


$V_{\max}=0.16 \text{ m/s}$, $a=1\text{m/s}^2$, (halat boyu) $L=0.52 \text{ m}$, (Yük Kütlesi) $m = 1.8 \text{ kg}$ iken araba hızı – zaman grafiği

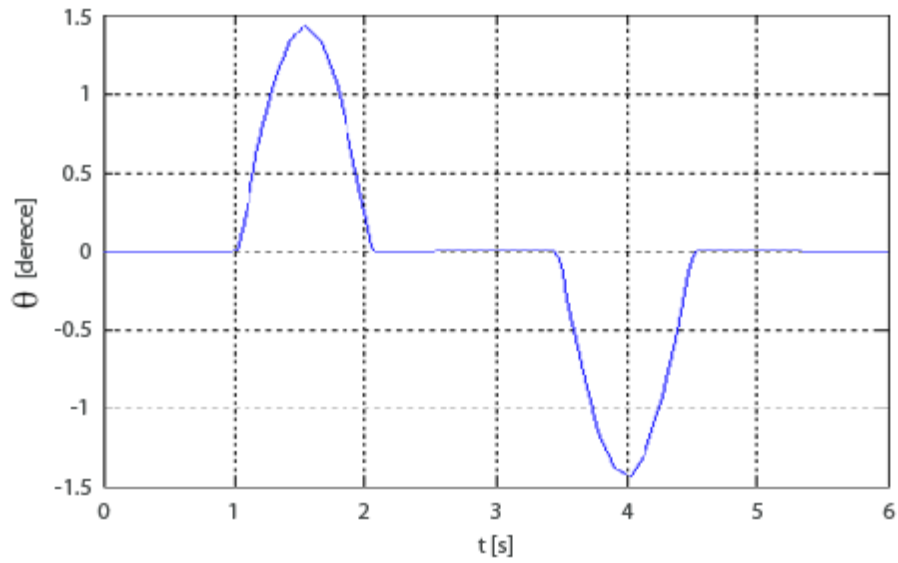


$V_{\max}=0.16 \text{ m/s}$, $a=1\text{m/s}^2$, (halat boyu) $L=0.52 \text{ m}$, (Yük Kütlesi) $m = 1.8 \text{ kg}$ iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.7 Simülasyon 7 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; $L=1.04$ m ; $m=1.8$ kg

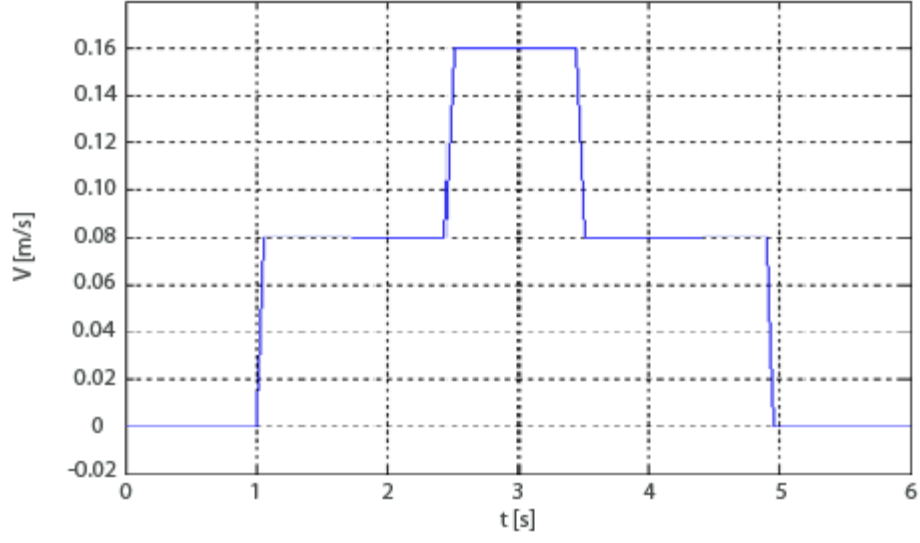


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=1.04$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

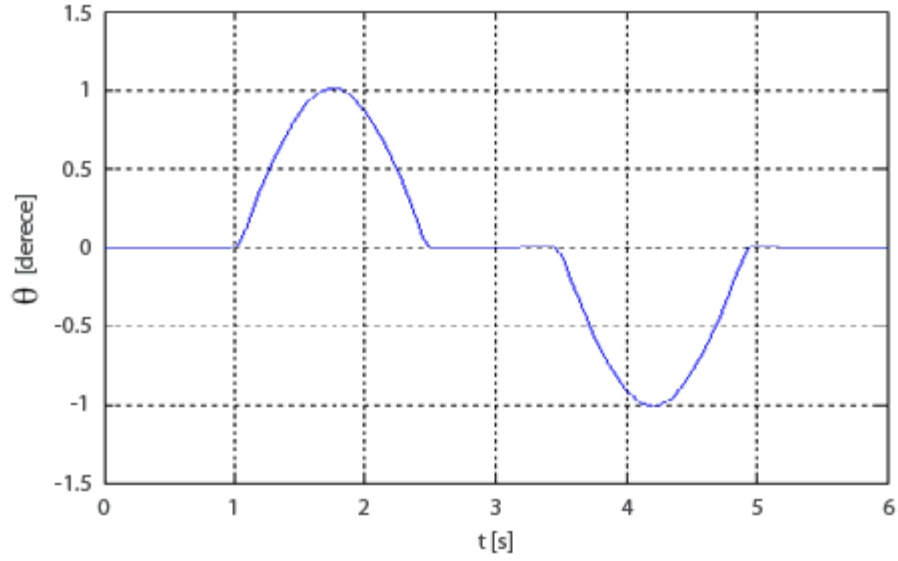


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=1.04$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.8 Simülasyon 8 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; $L=2.08$ m ; $m=1.8$ kg

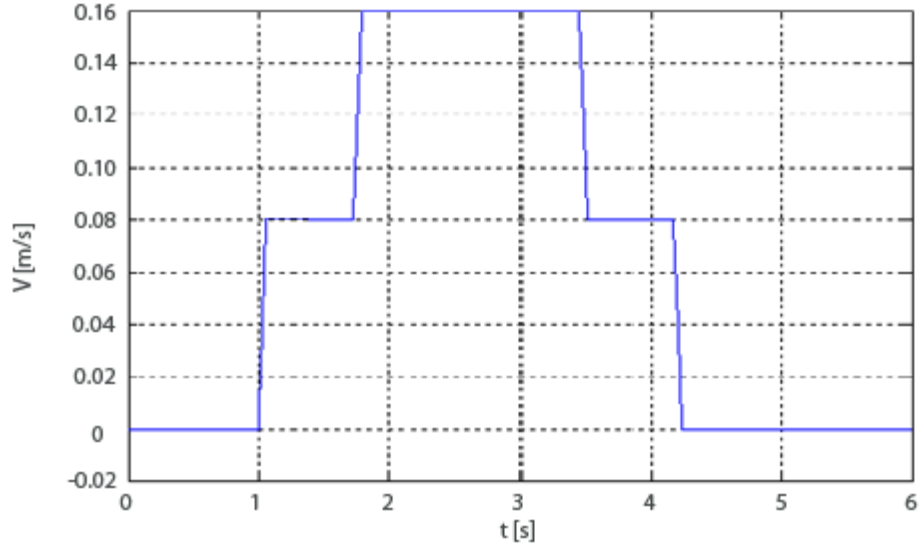


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=2.08$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

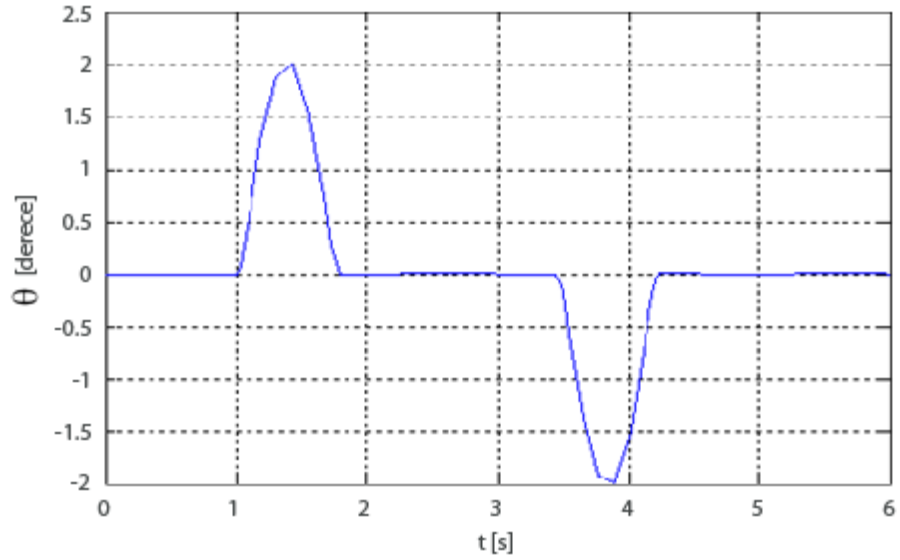


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=2.08$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.9 Simülasyon 9 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; $L=0.52$ m ; $m=0.9$ kg

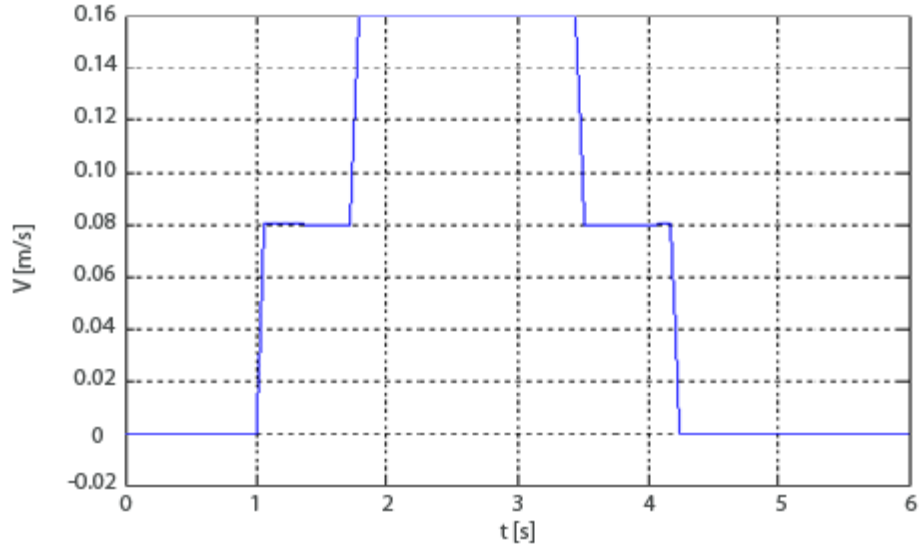


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $\underline{m} = 0.9$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

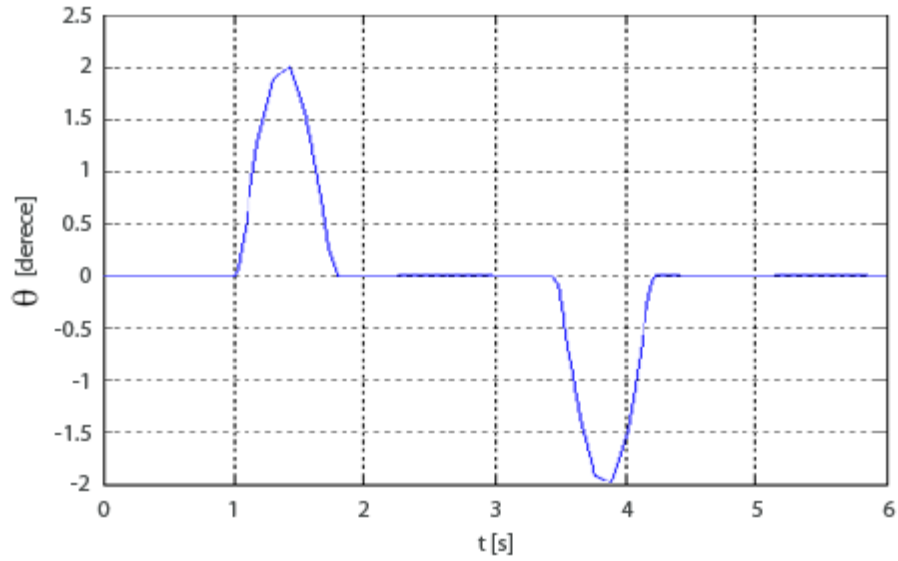


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $\underline{m} = 0.9$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.10 Simülasyon 10 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; $L=0.52$ m ; $m=1.8$ kg

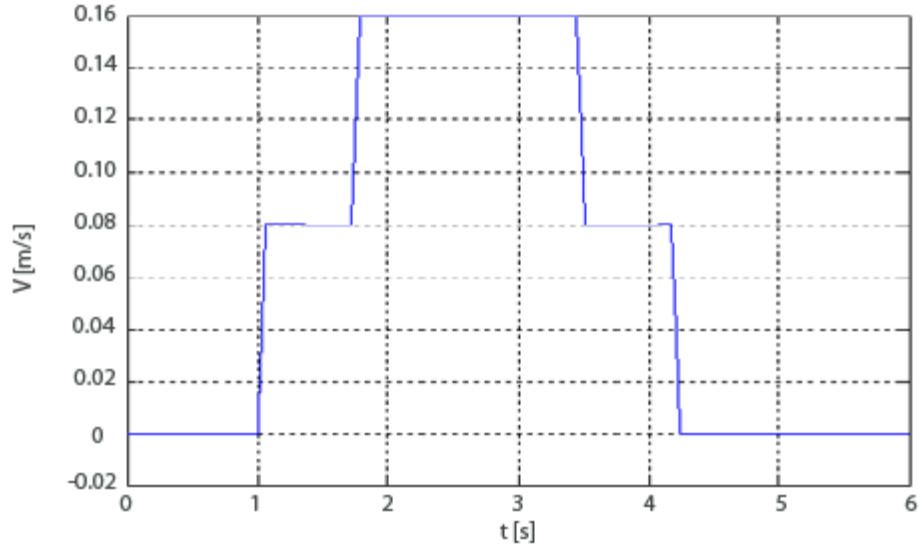


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

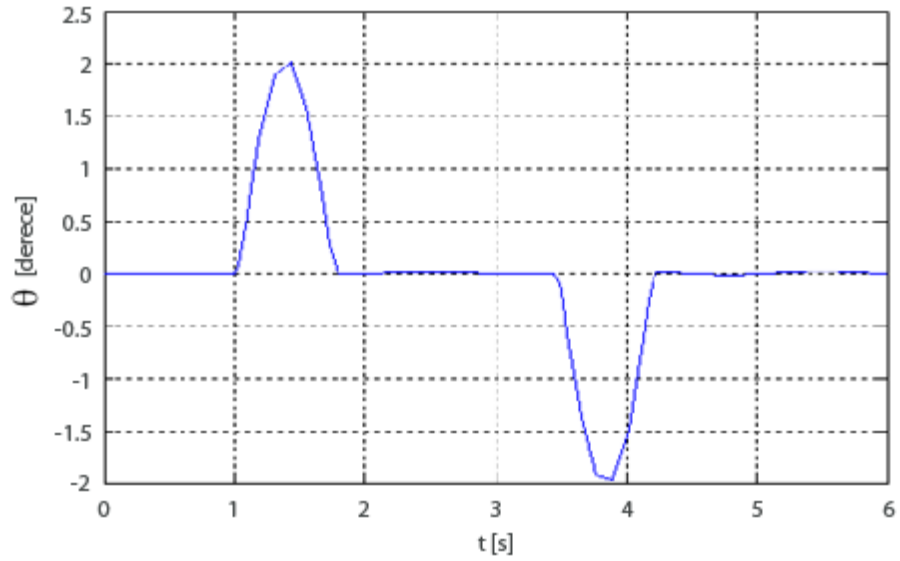


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.11 Simülasyon 11 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; $L=0.52$ m ; $m=2.7$ kg

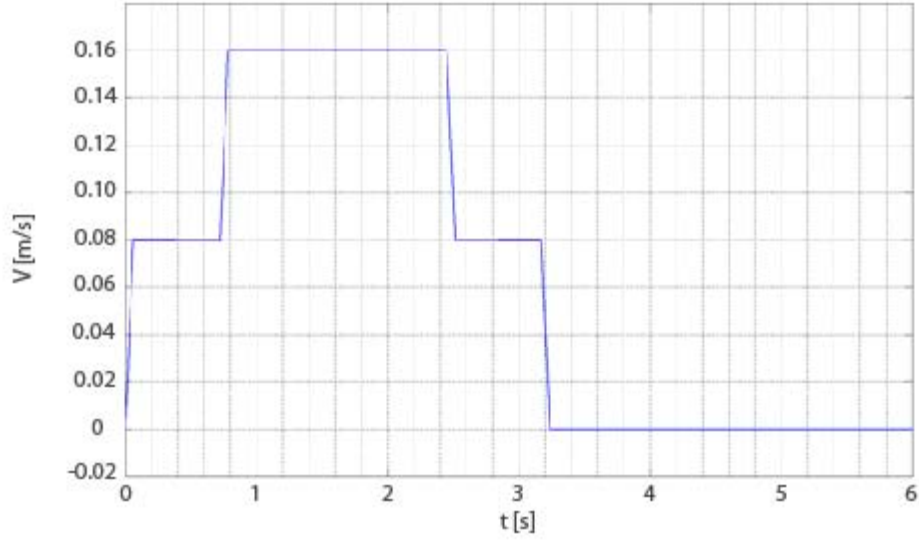


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 2.7$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

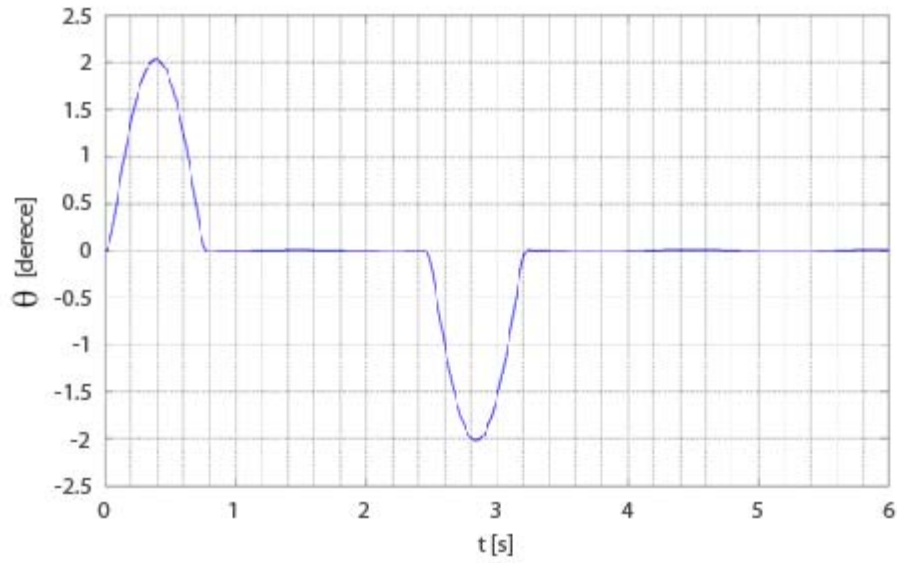


$V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 2.7$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.12 Simülasyon 12 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; frekans=1024 Hz

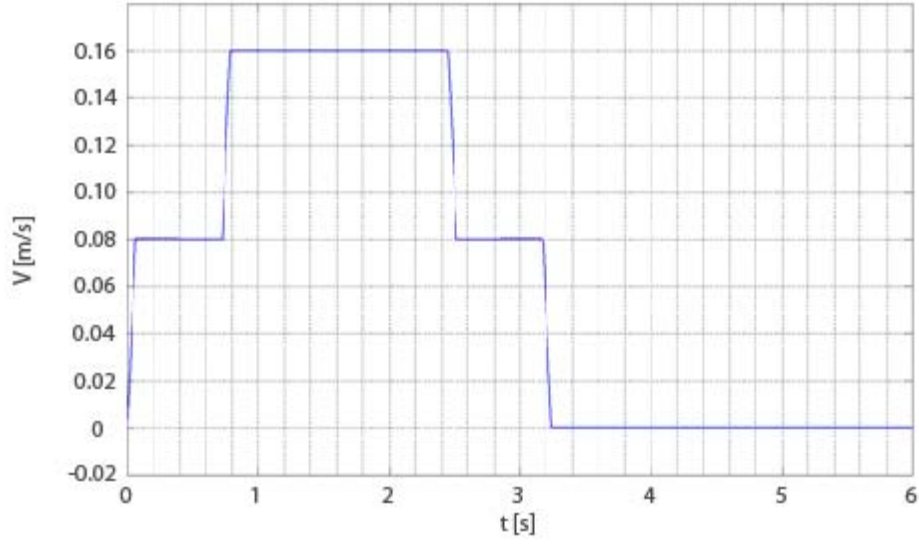


1024 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

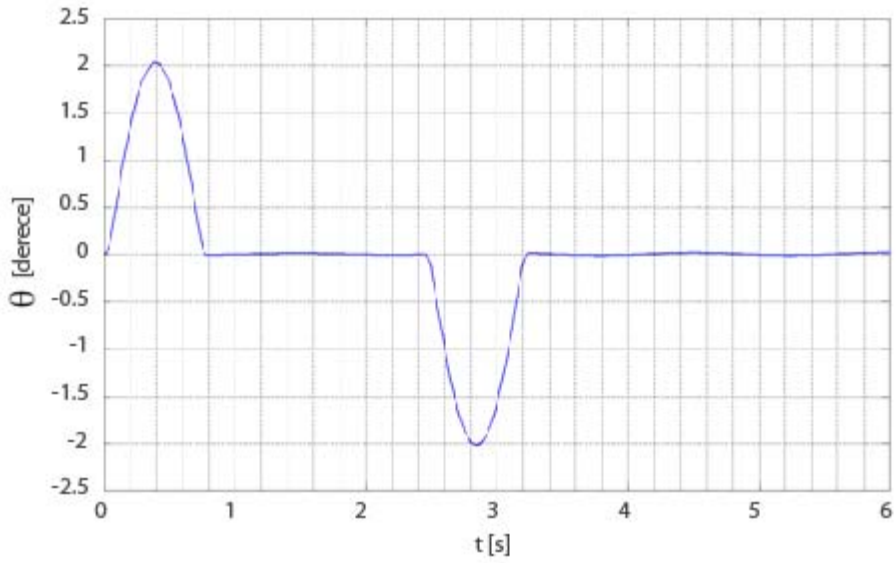


1024 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.13 Simülasyon 13 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; frekans=256 Hz

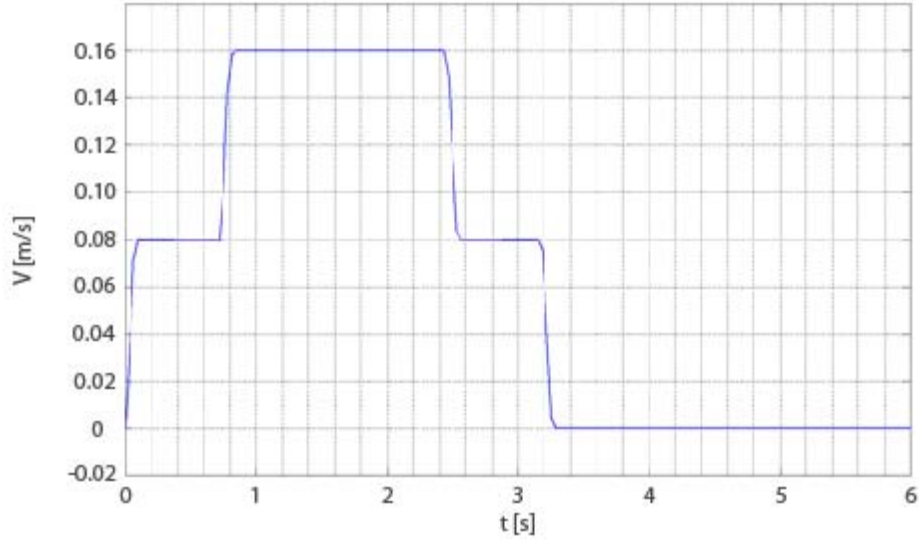


256 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

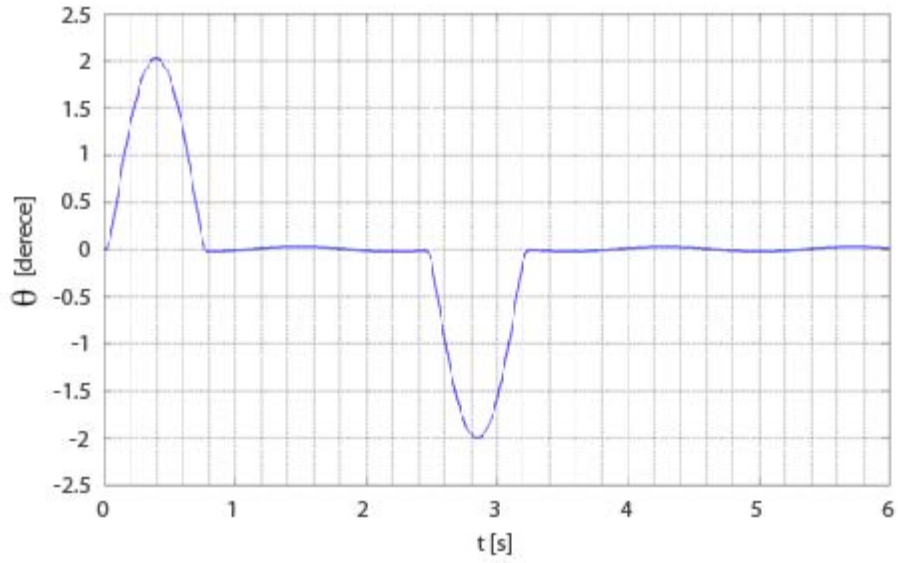


256 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.14 Simülasyon 14 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; frekans=32 Hz

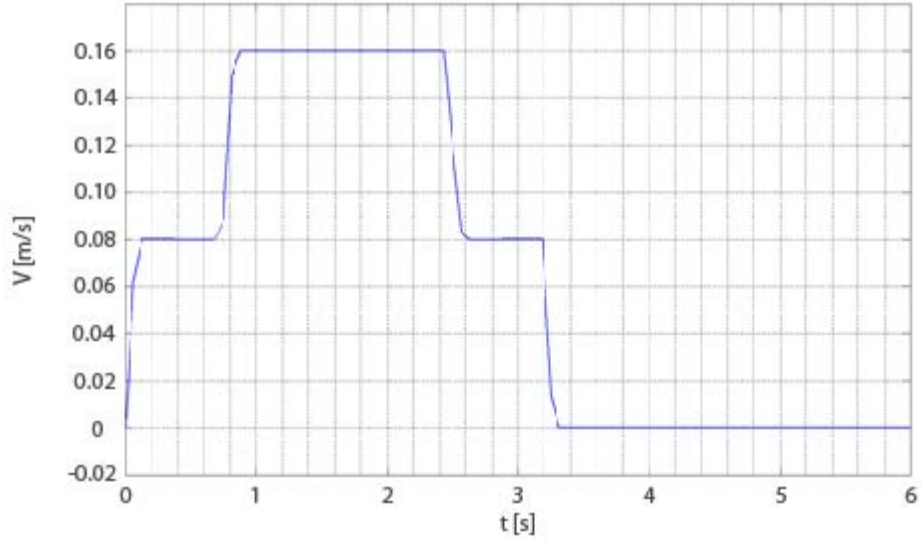


32 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

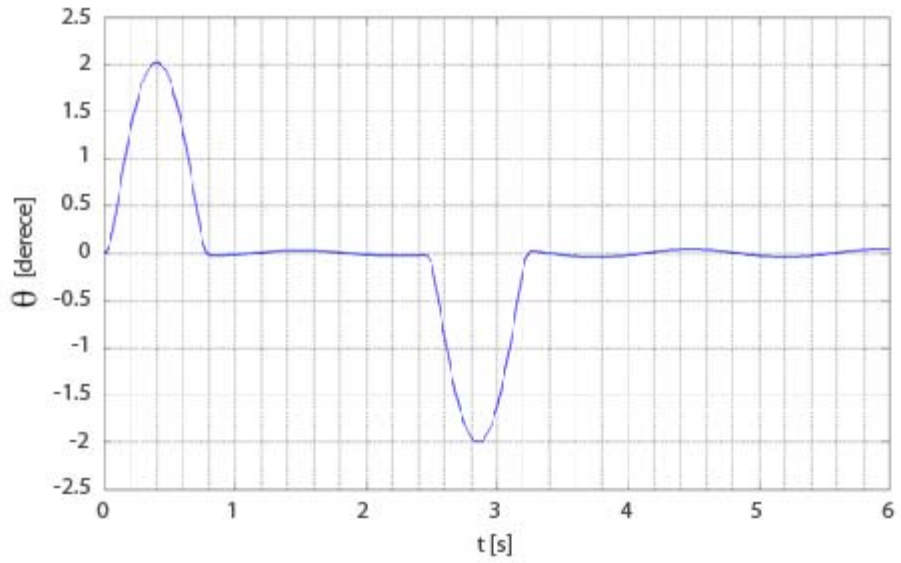


32 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 3.15 Simülasyon 15 : $V=0.16$ m/s ; $a=1$ m/s² ; frekans=16 Hz

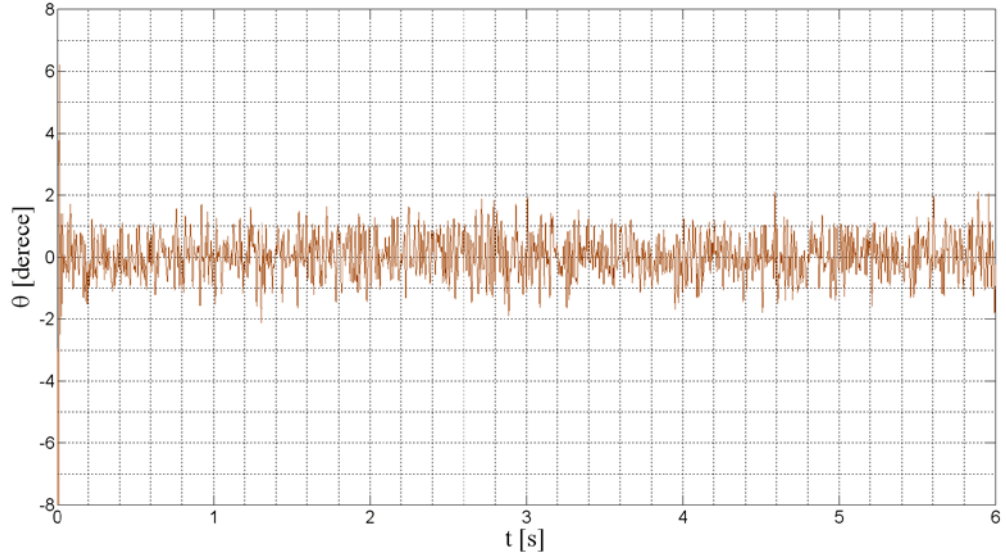


16 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken araba hızı – zaman grafiği

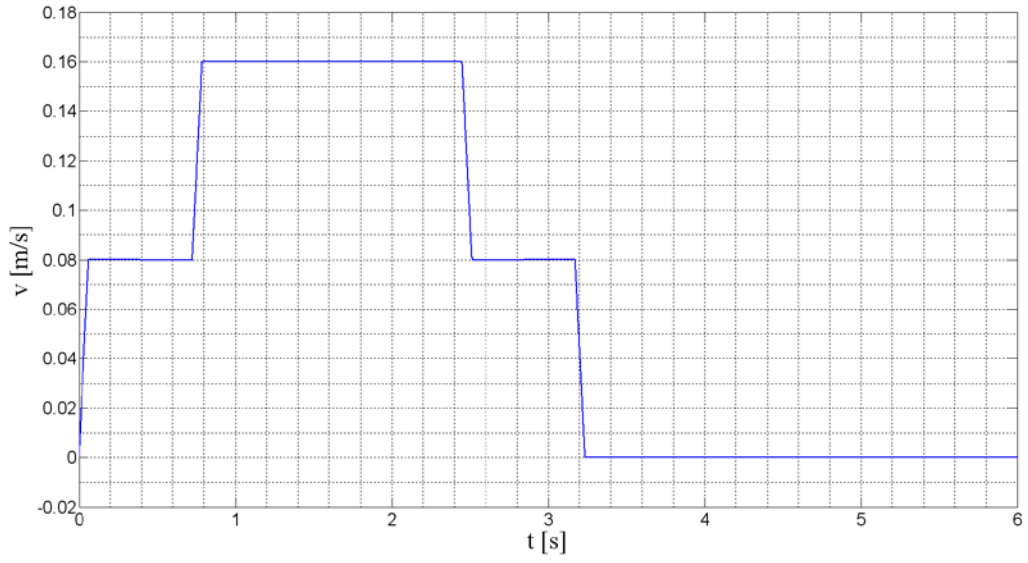


16 Hz döngü frekansında, $V_{\max}=0.16$ m/s, $a=1$ m/s², (halat boyu) $L=0.52$ m, (Yük Kütlesi) $m = 1.8$ kg iken salınım açısı – zaman grafiği

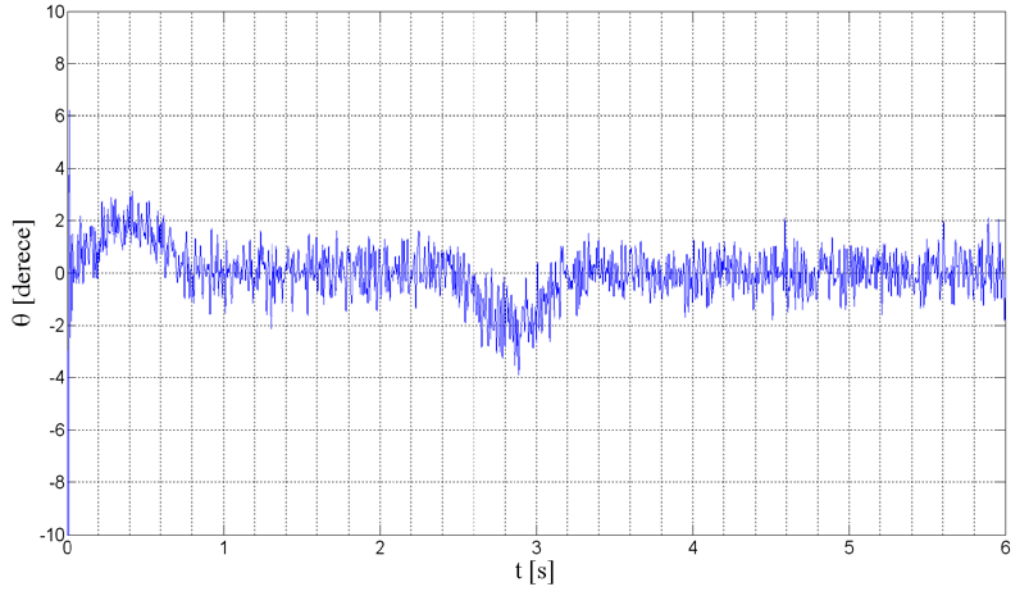
Ek – 3.16 Simülasyon 16 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü frekansı 100 Hz



Uygulanan 100 Hz frekanslı rastgele gürültünün grafiği

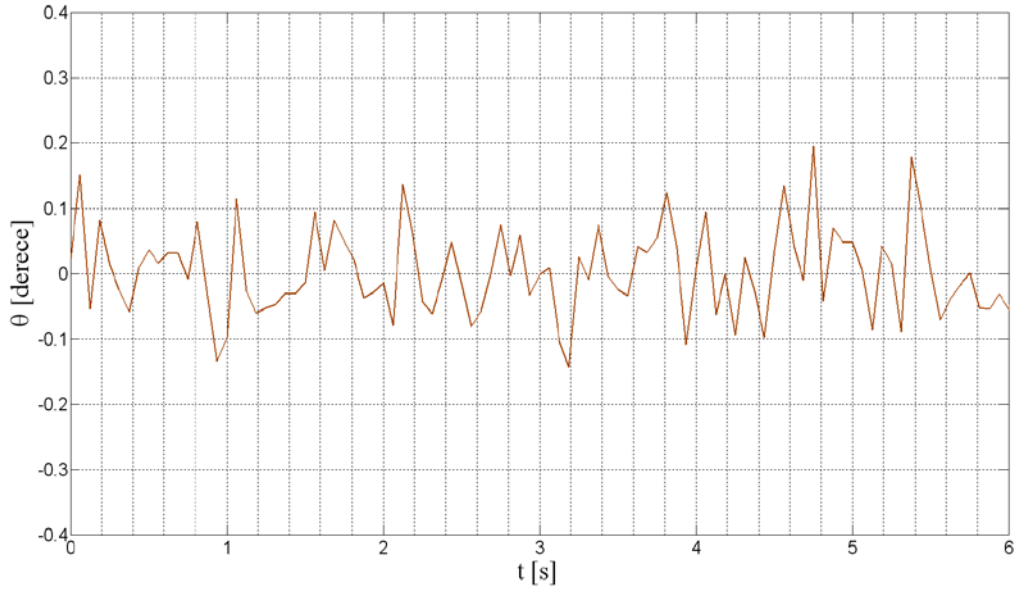


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği

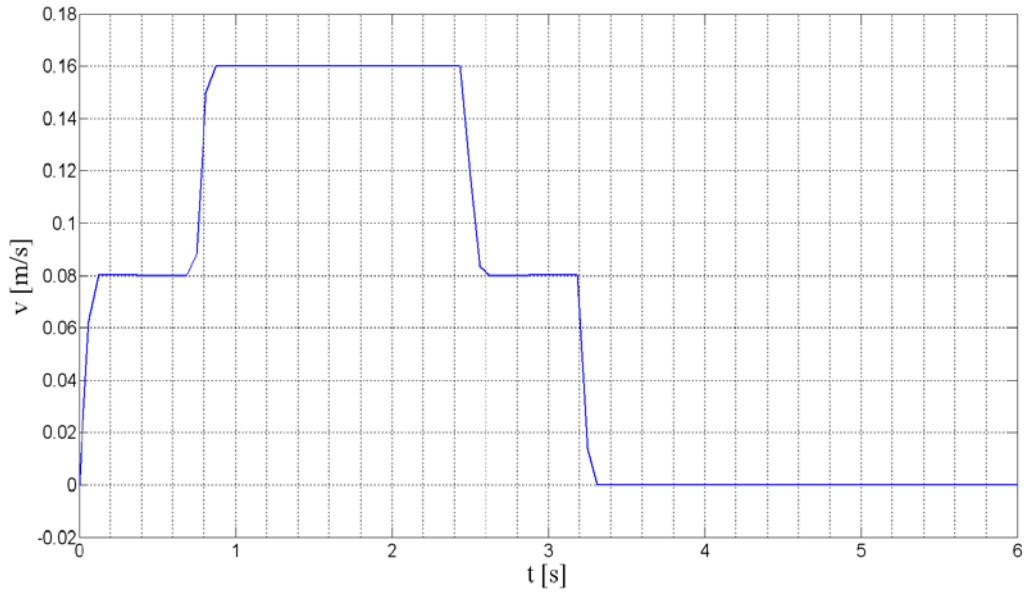


GİTRUSK kontrolcü devrede iken uygulanan 100 Hz frekanslı rastgele gürültünün salınım etkisi

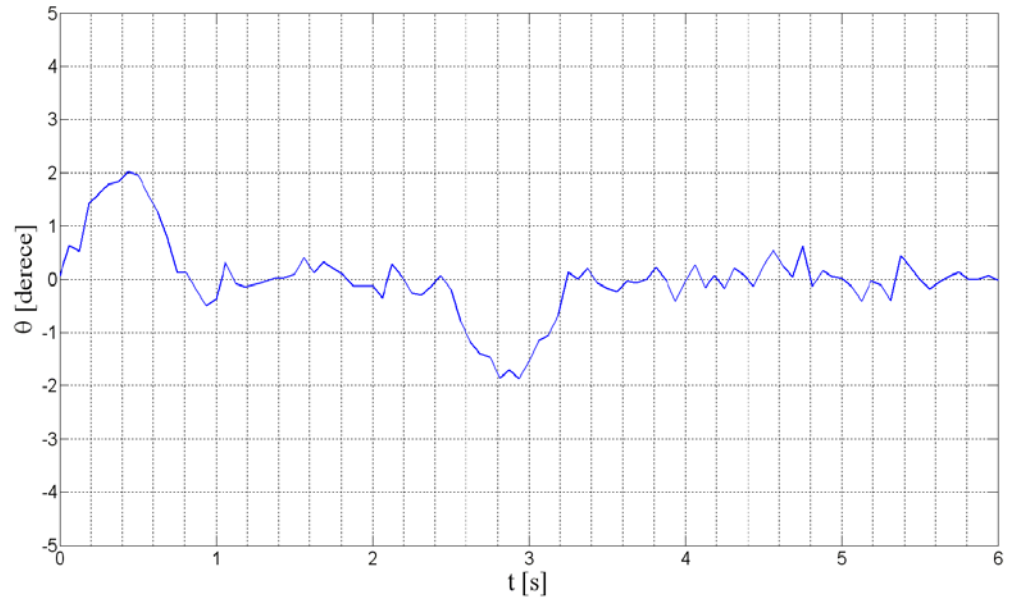
Ek – 3.17 Simülasyon 17 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü frekansı 16 Hz



Uygulanan 16 Hz frekanslı rastgele gürültünün grafiği

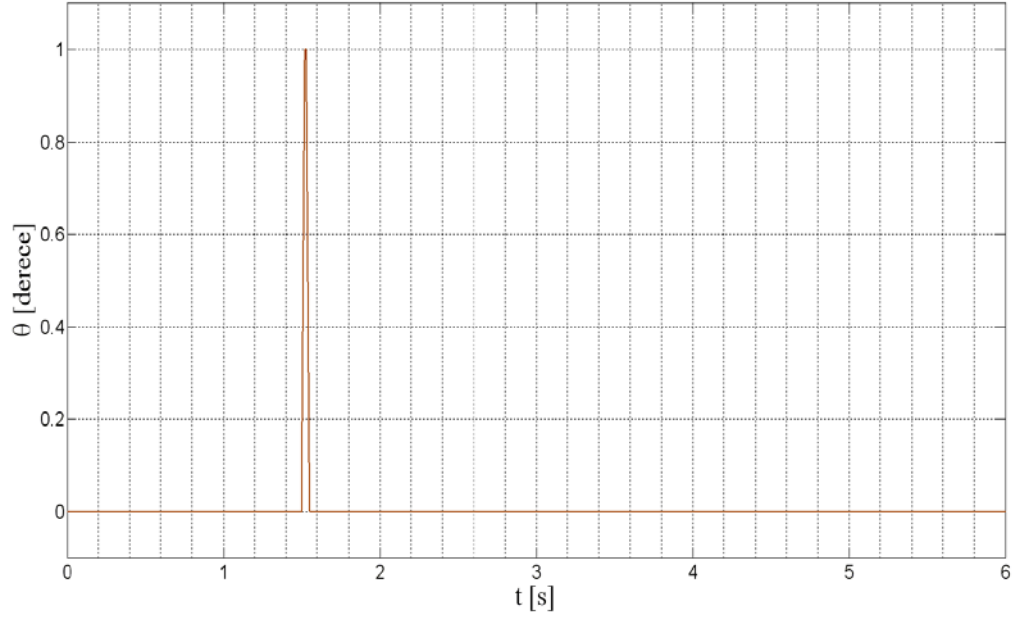


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği

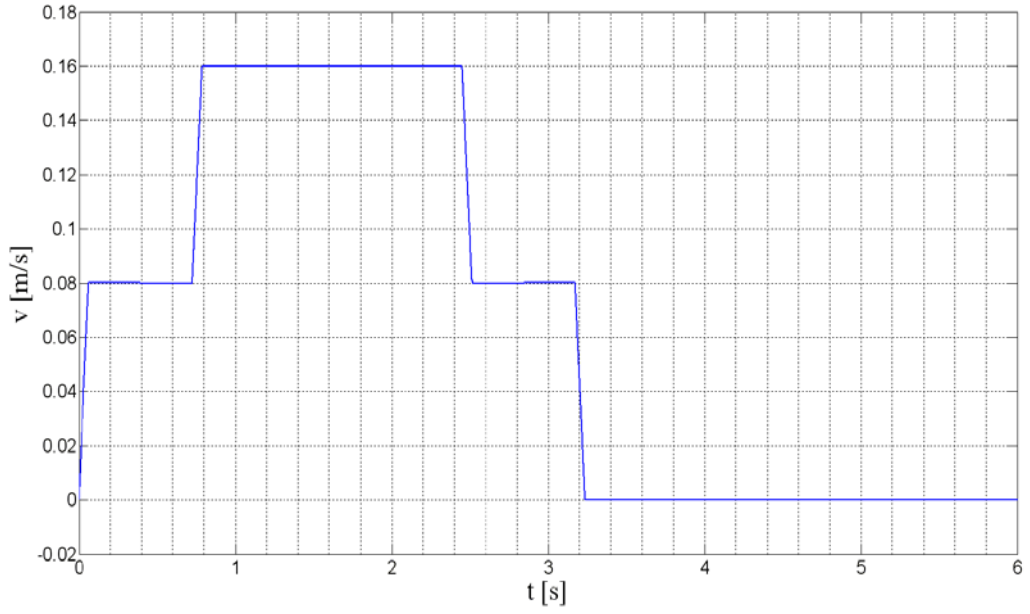


GİTHUSK kontrolcü devrede iken uygulanan 100 Hz frekanslı rastgele gürültünün salınım etkisi

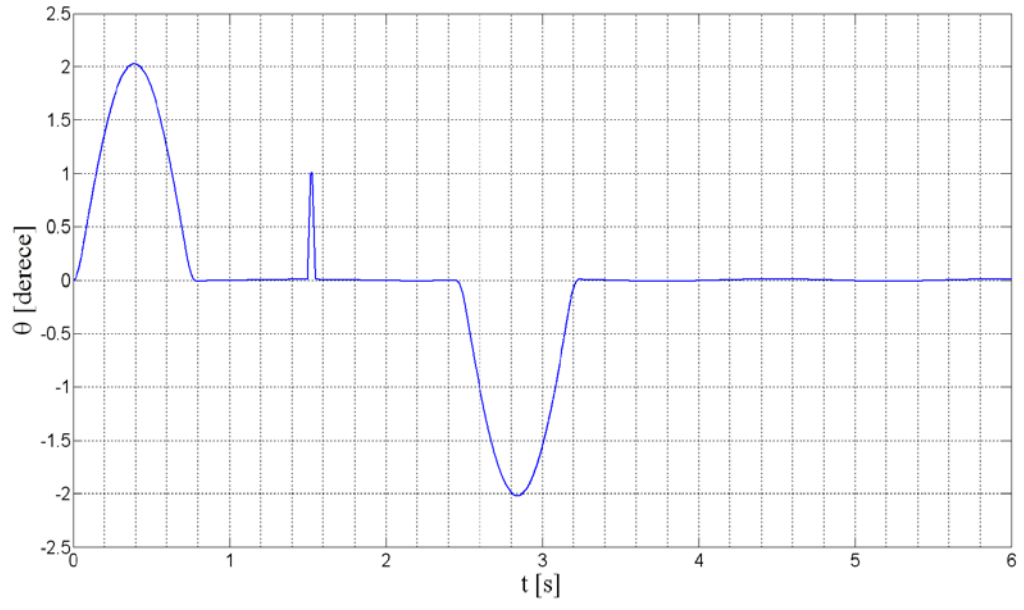
Ek – 3.18 Simülasyon 18 ; Bozucu etki : Tek darbe



Uygulanan 1 derece genlikli tek darbe gürültünün grafiği

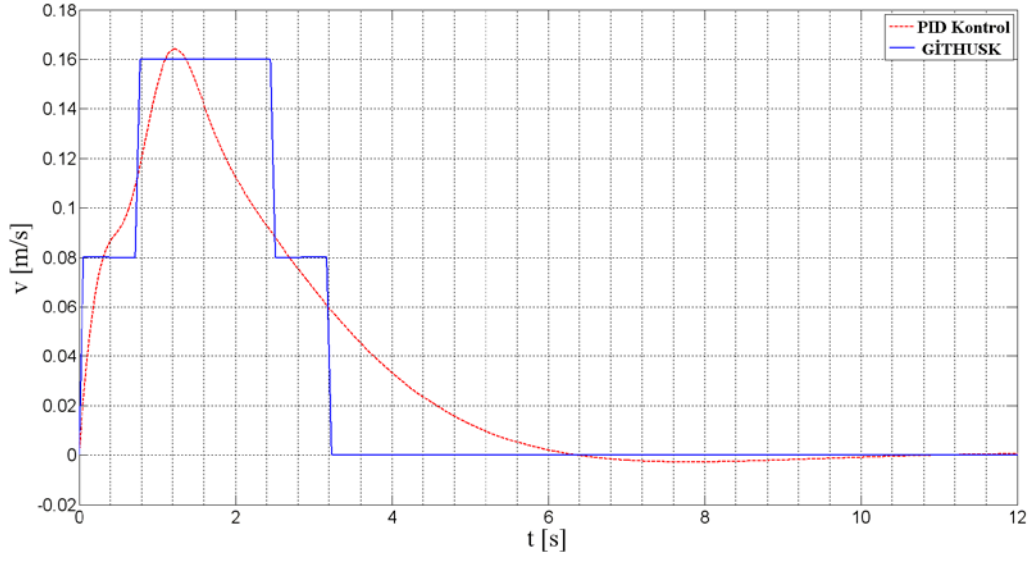


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği

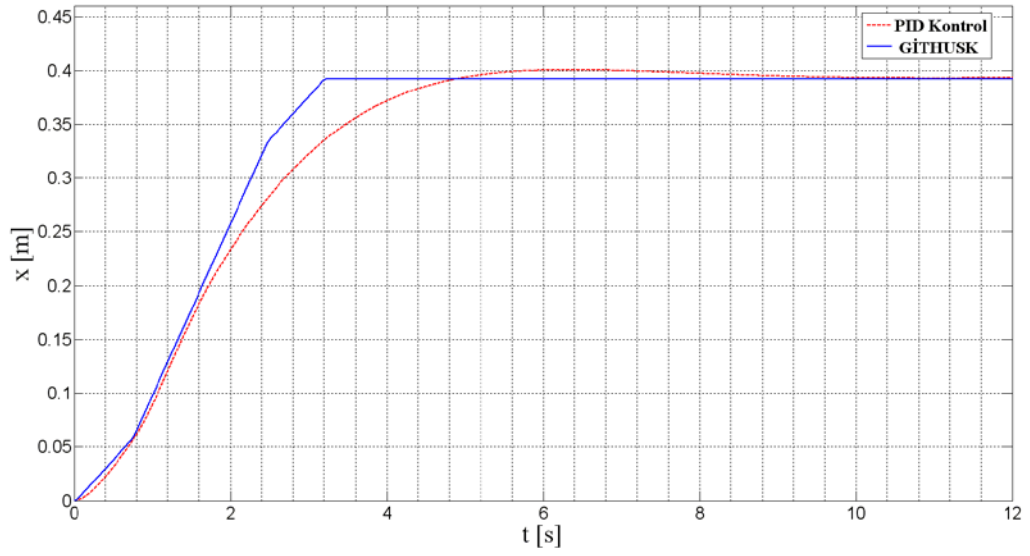


GİTHUSK kontrolcü devrede iken uygulanan 1 derece genlikli tek darbe gürültünün salınımına etkisi

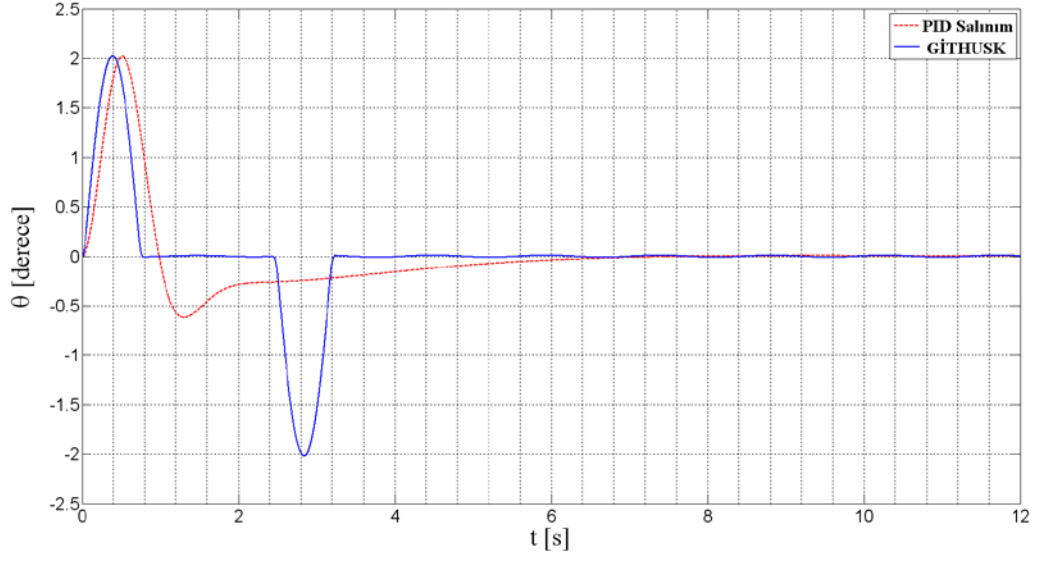
Ek – 3.19 Simülasyon 19 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=1024 Hz



1024 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün oluşturduğu araba hızı – zaman grafiği

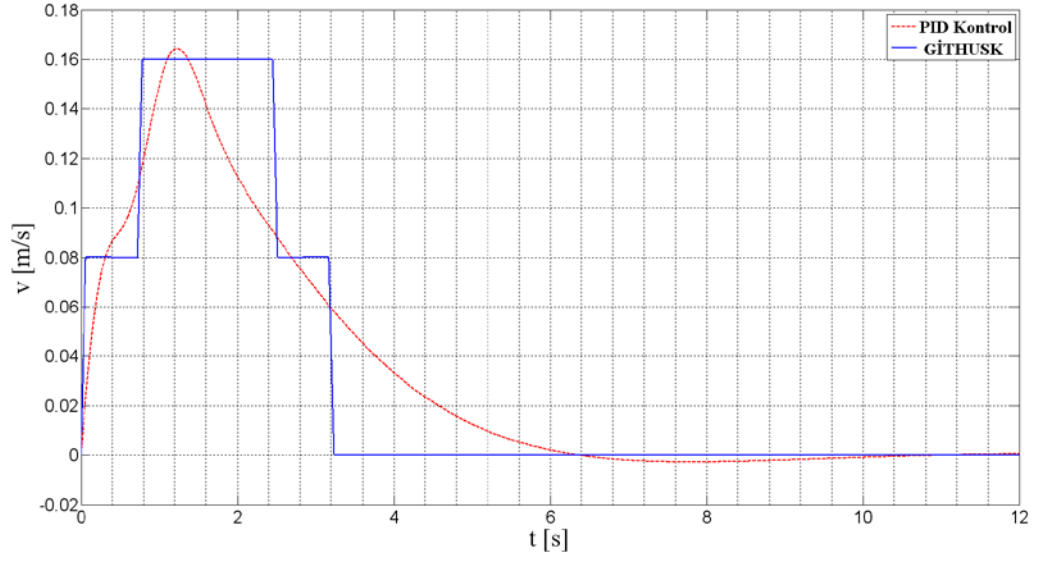


1024 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

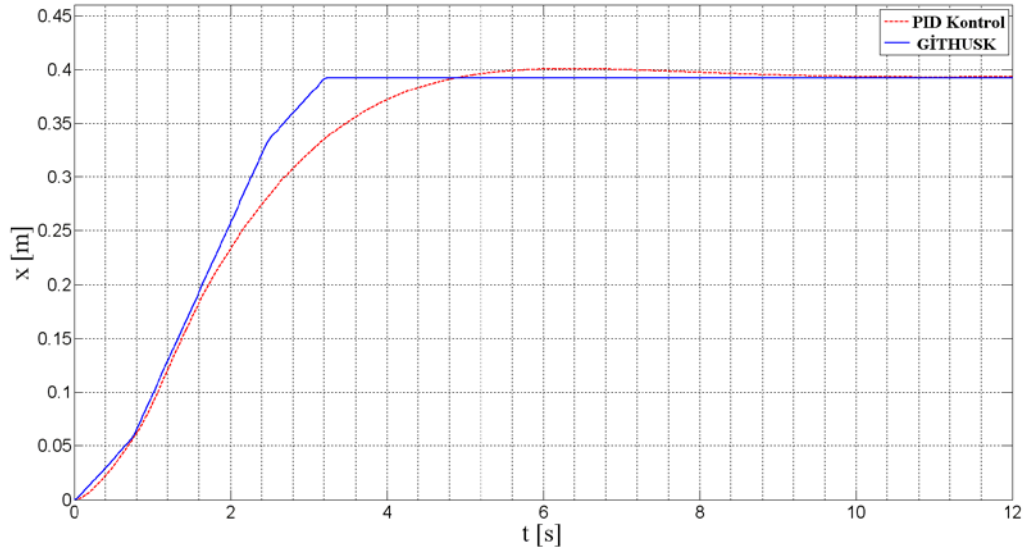


1024 Hz döngü frekansında, GITHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

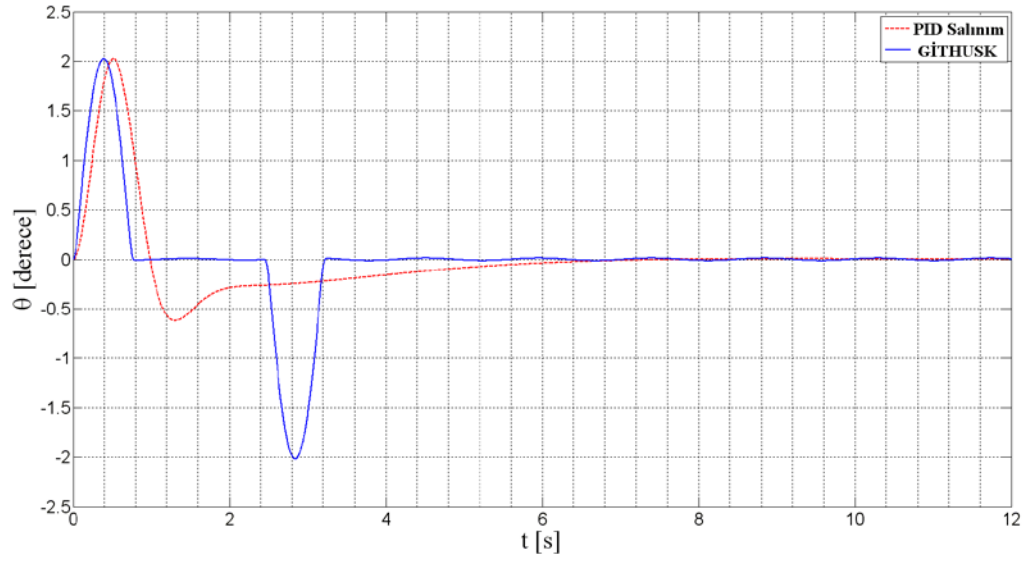
Ek – 3.20 Simülasyon 20 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=256 Hz



256 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün oluşturduğu araba hızı – zaman grafiği

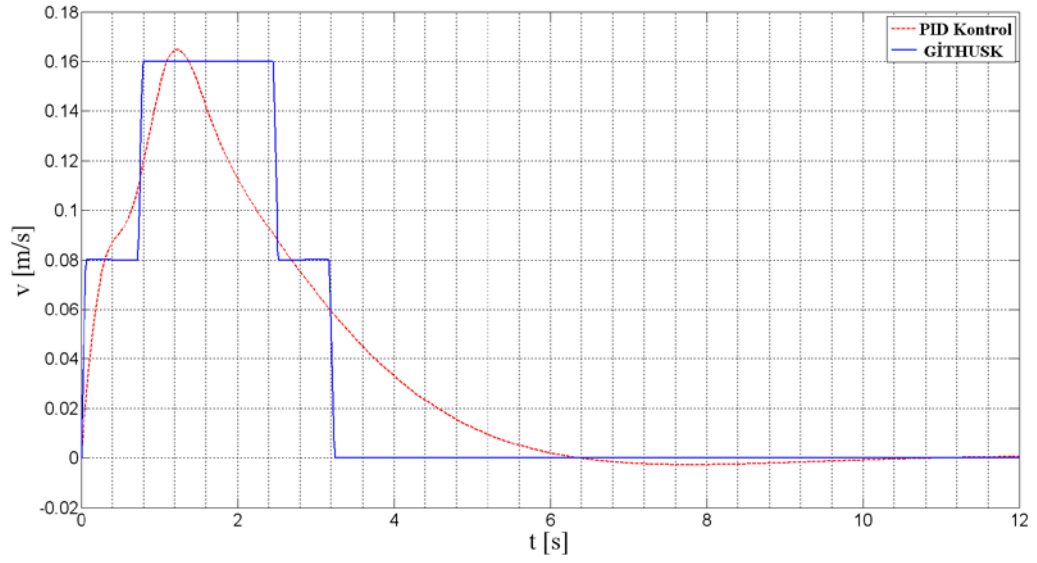


256 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

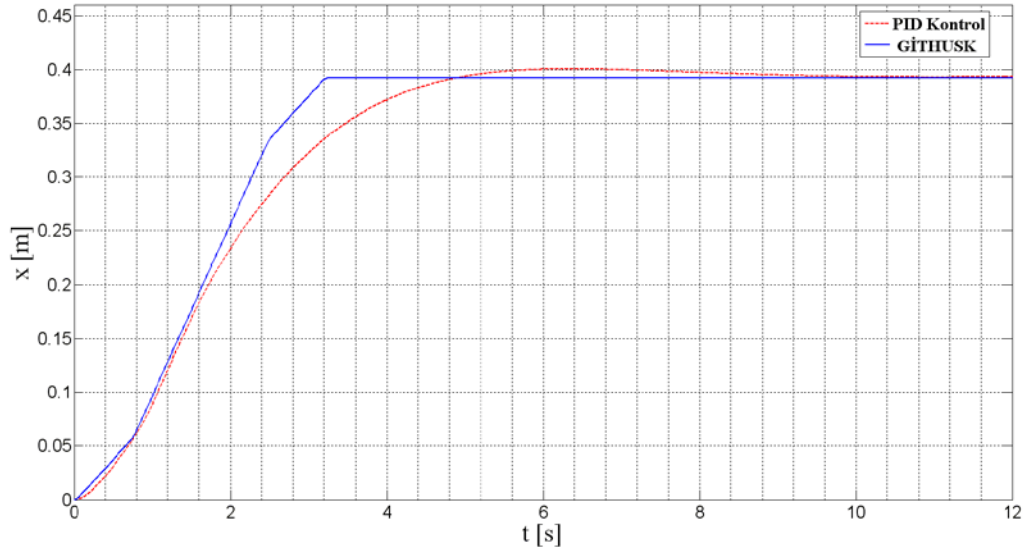


256 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı
– zaman grafiği

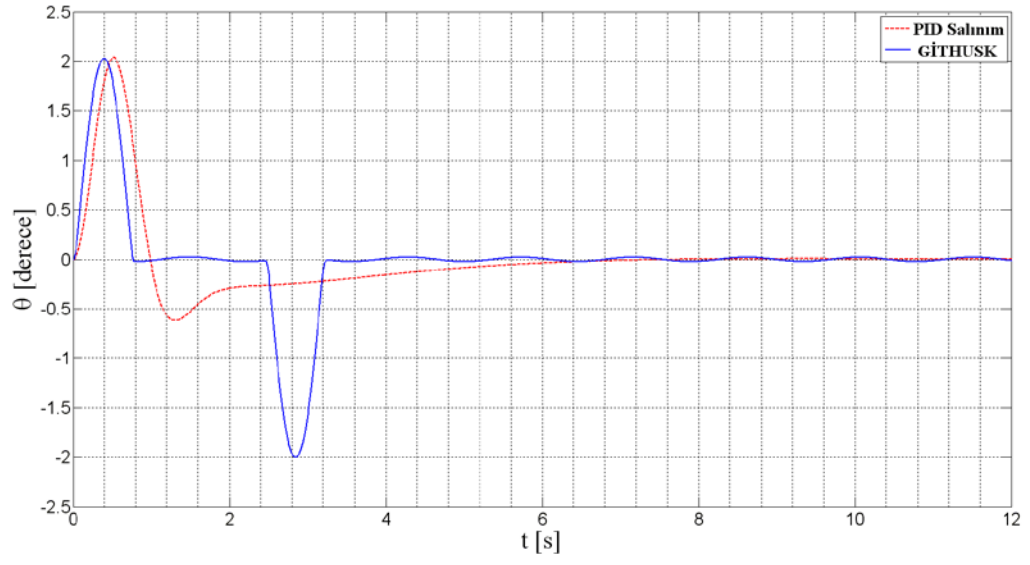
Ek – 3.21 Simülasyon 21 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=32 Hz



32 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün oluşturduğu araba hızı – zaman grafiği

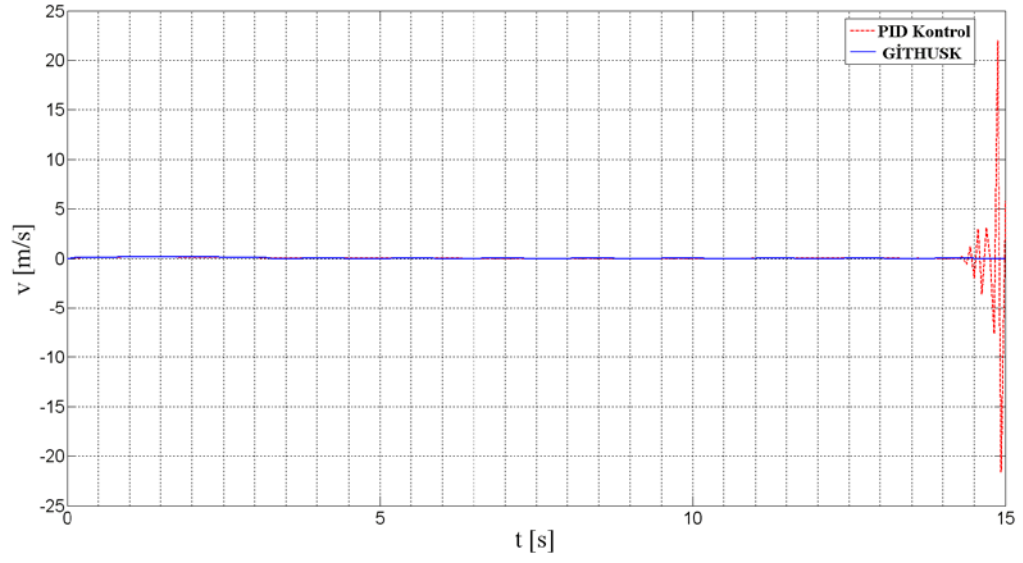


32 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

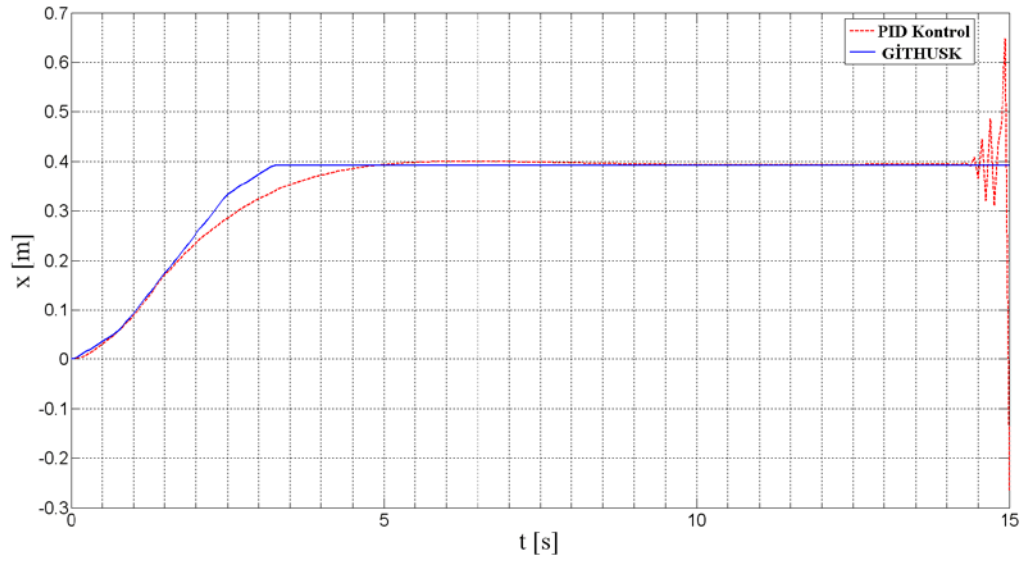


32 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

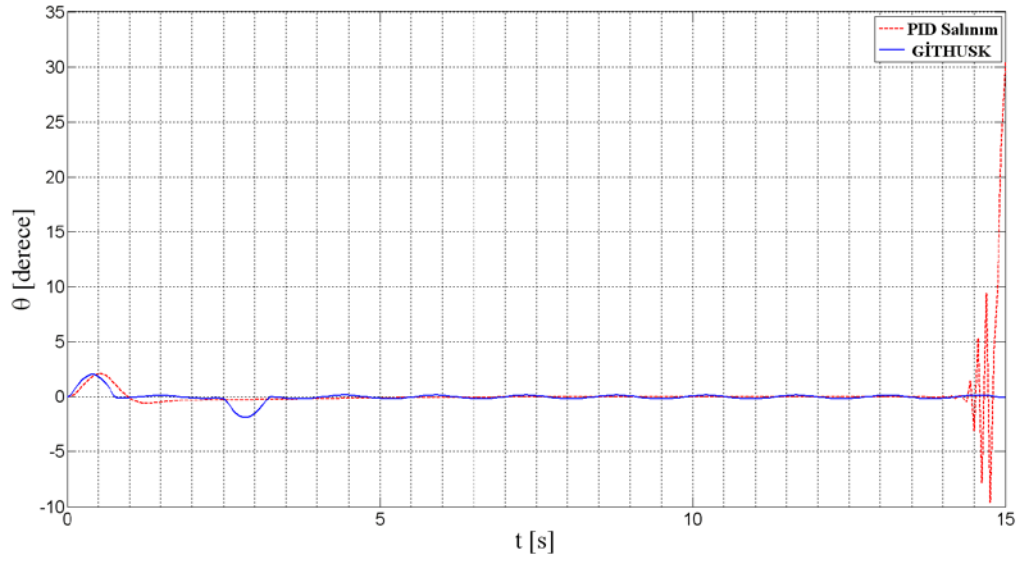
Ek – 3.22 Simülasyon 22 : $V_{maks}=0.16$ m/s ; frekans=16 Hz



16 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün oluşturduğu araba hızı – zaman grafiği

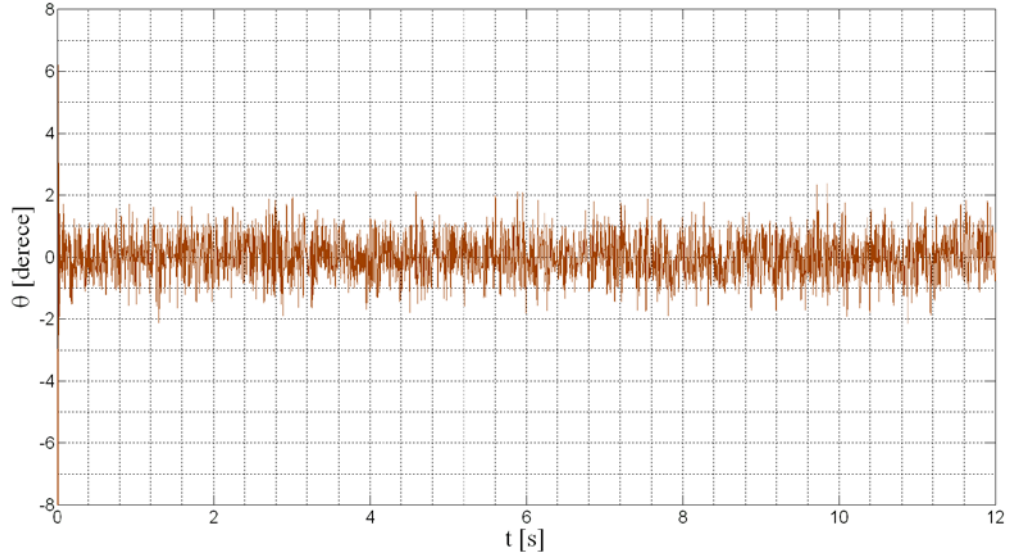


16 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

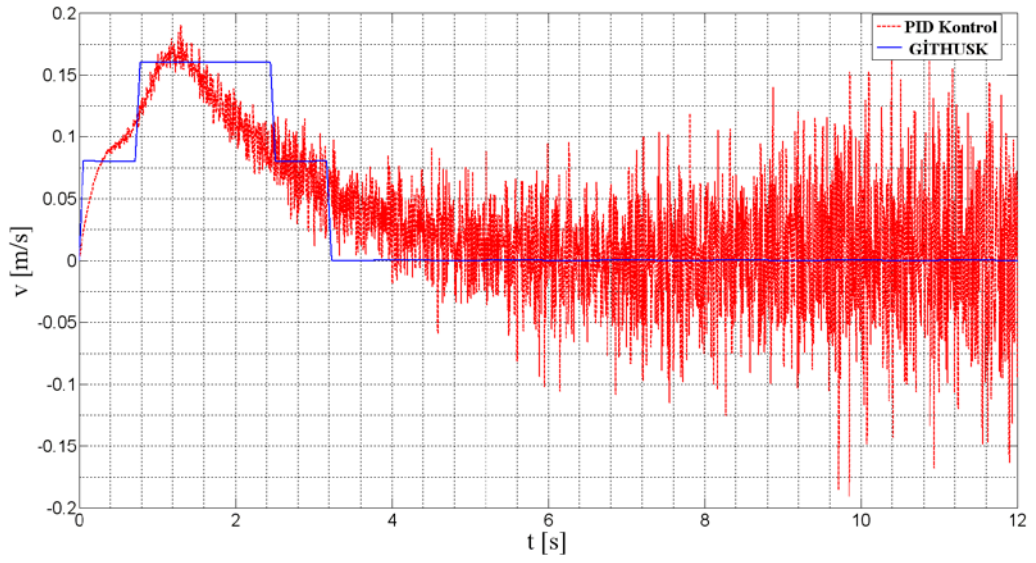


16 Hz döngü frekansında, GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

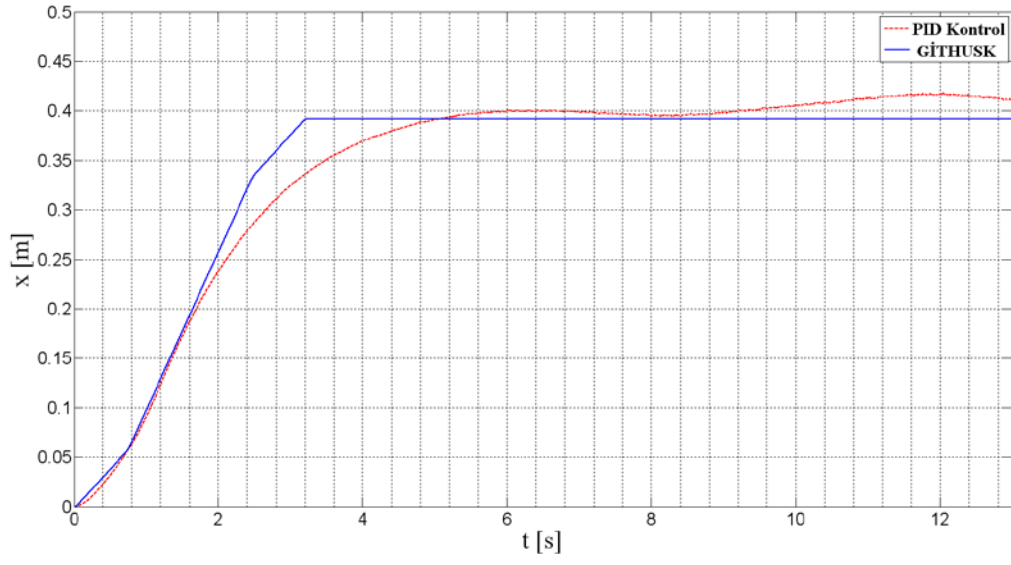
Ek – 3.23 Simülasyon 23 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü, frekansı 100 Hz



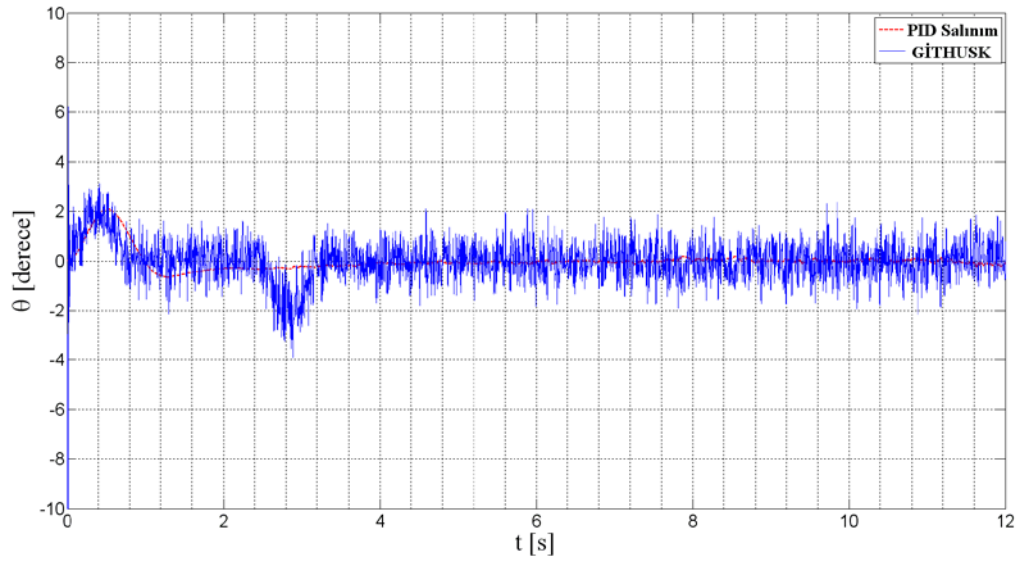
Uygulanan 100 Hz frekanslı rastgele gürültünün grafiği



Gürültü uygulandığı sırada GITHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği

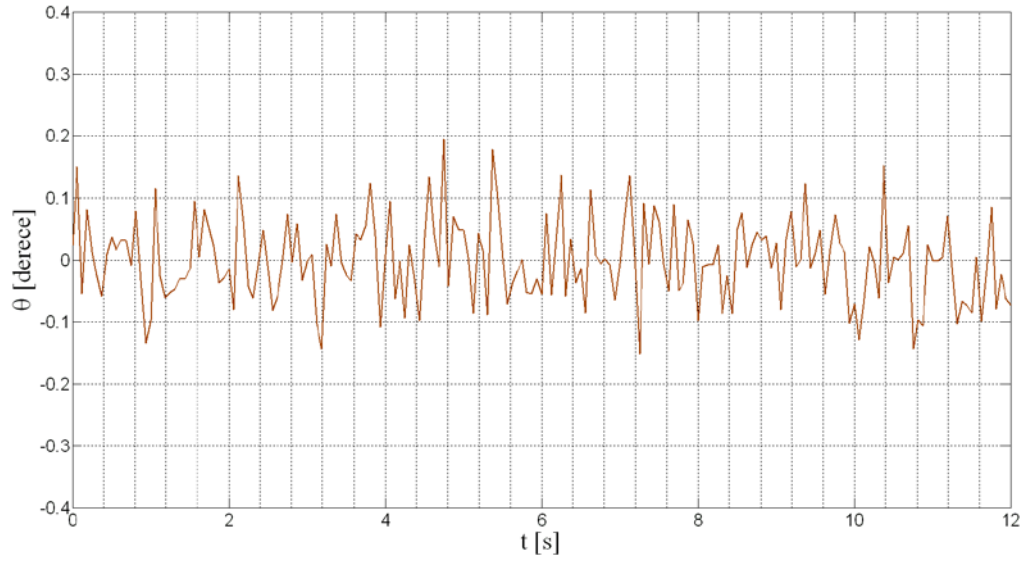


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

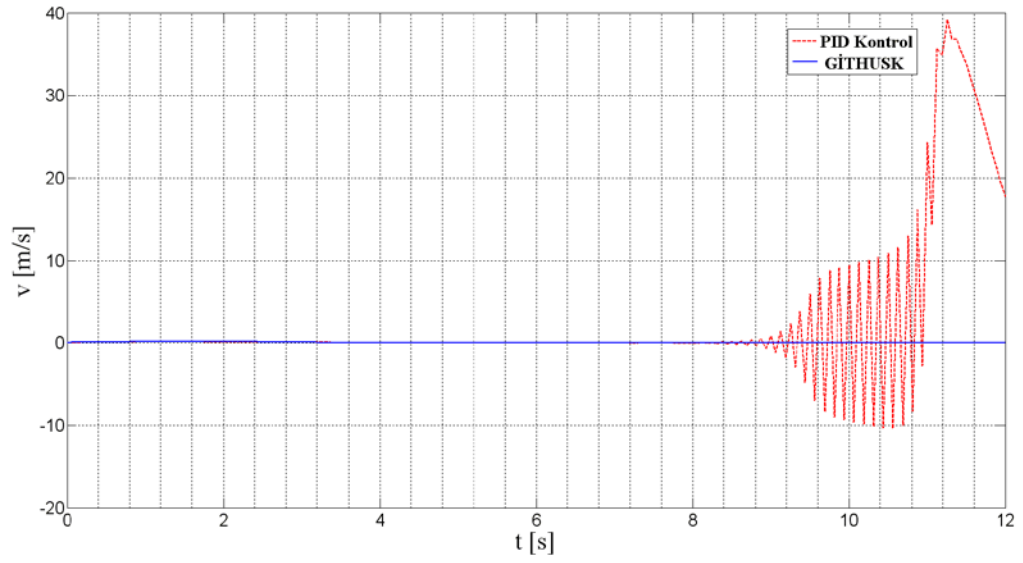


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

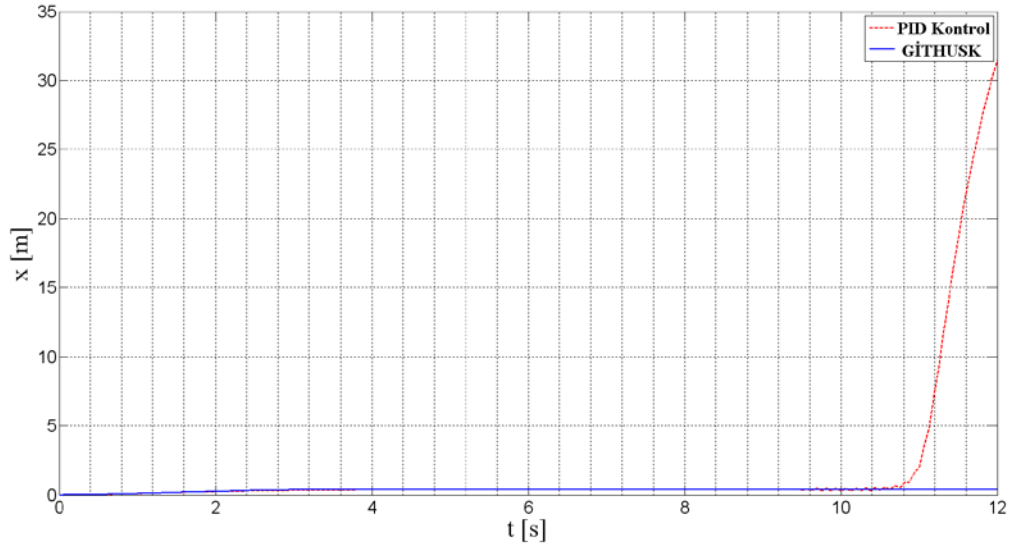
Ek – 3.24 Simülasyon 24 ; Bozucu etki : Rastgele gürültü, frekansı 16 Hz



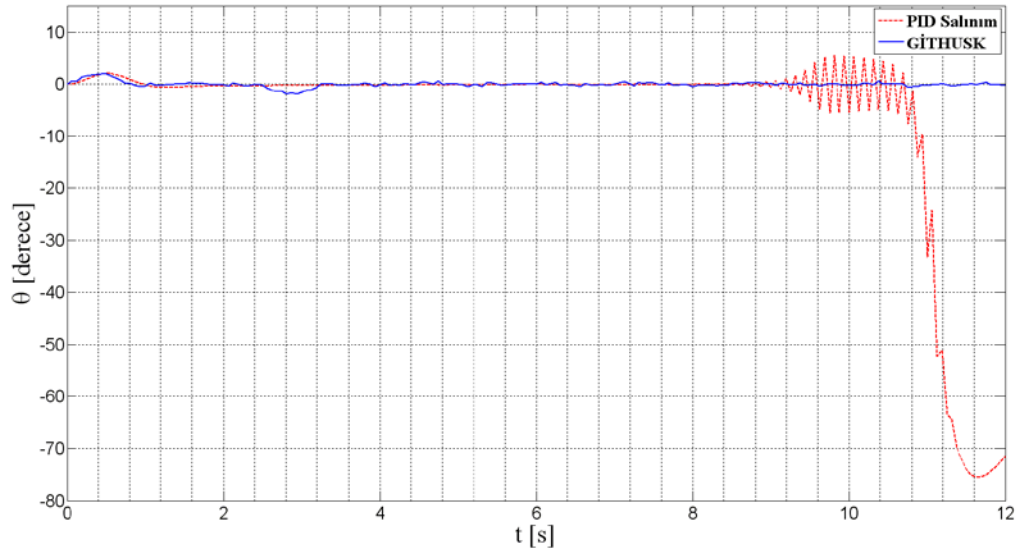
Uygulanan 16 Hz frekanslı rastgele gürültünün grafiği



Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği

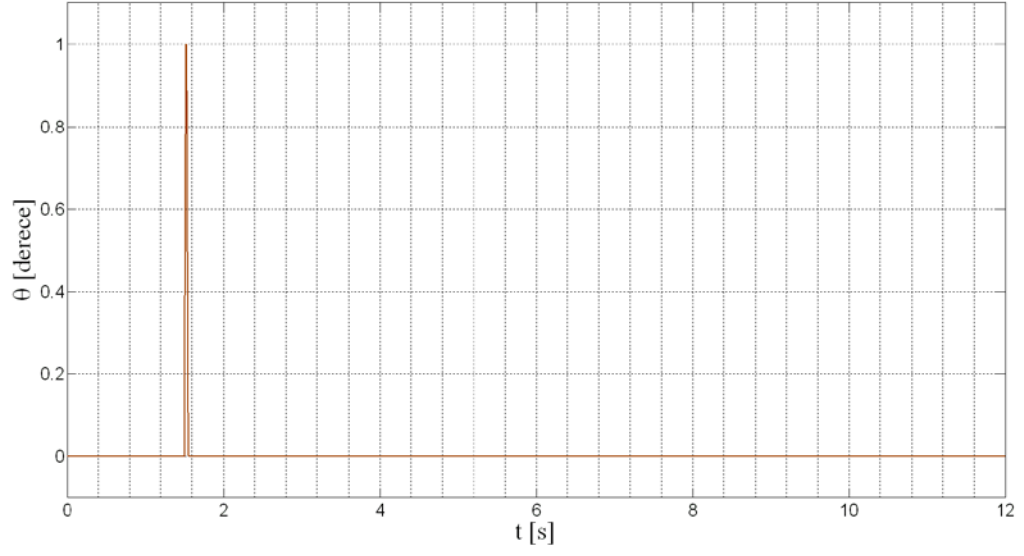


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği

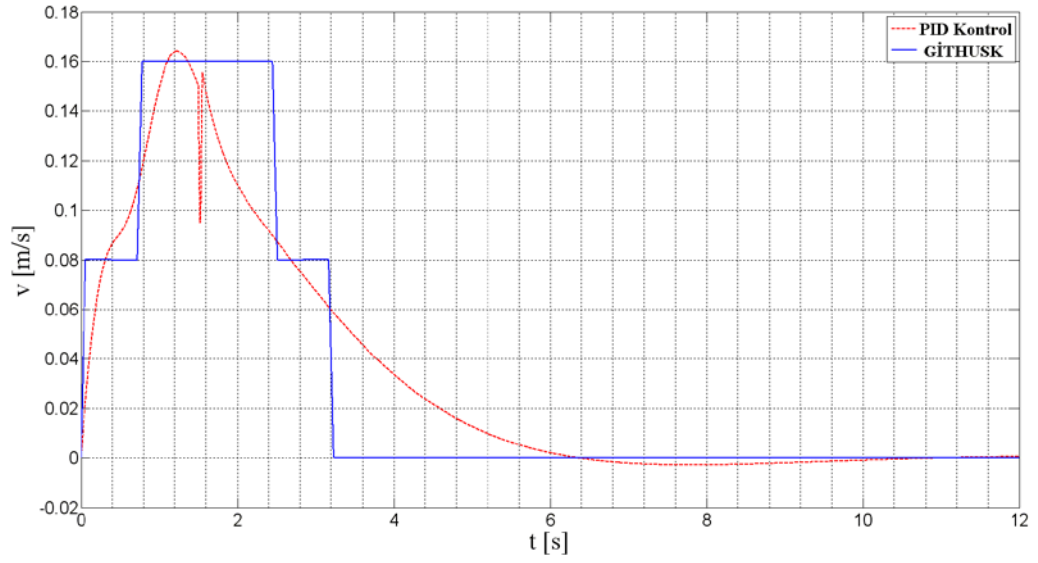


Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

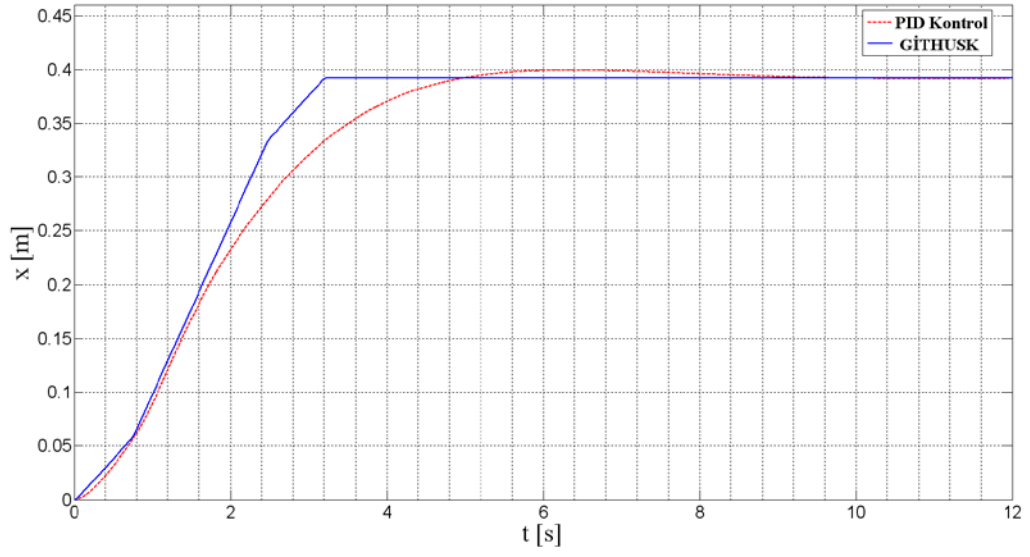
Ek – 3.25 Simülasyon 25 ; Bozucu etki : Tek darbe



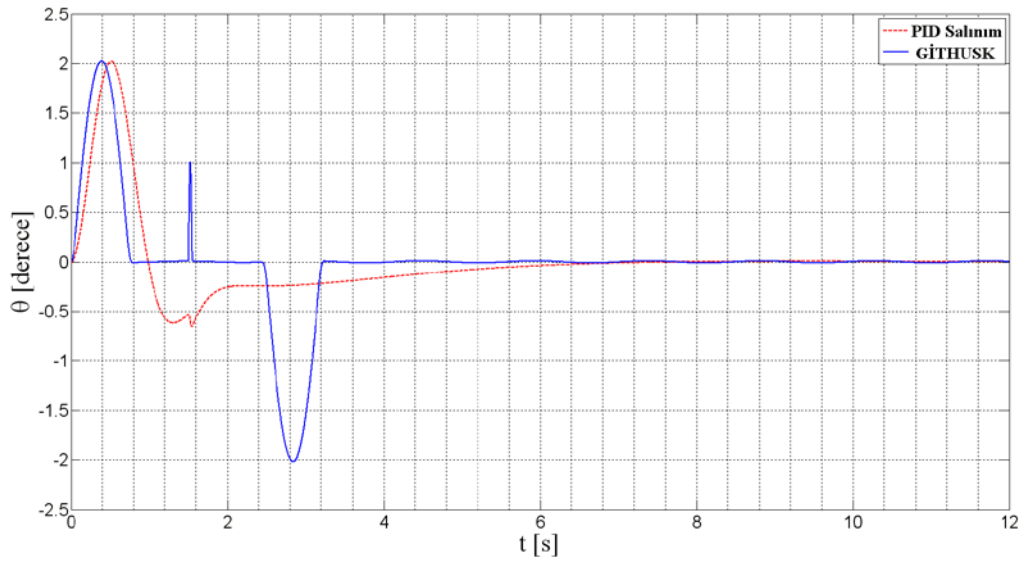
Uygulanan 1 derece genlikli tek darbe gürültünün grafiği



Gürültü uygulandığı sırada GITHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün uyguladığı hızın zamana göre grafiği



Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı konum – zaman grafiği



Gürültü uygulandığı sırada GİTHUSK kontrolcü ile PID kontrolcünün sağladığı salınım açısı – zaman grafiği

Ek – 4 Görüntü İşleme Programı Kodları

```

Private Declare Function SendMessage Lib "USER32" Alias "SendMessageA" (ByVal hWnd As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As Long) As Long
Private Declare Function SendMessageAsLong Lib "USER32" Alias "SendMessageA" (ByVal hWnd As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As Long) As Long
Private Declare Function capCreateCaptureWindow Lib "avicap32.dll" Alias "capCreateCaptureWindowA" (ByVal lpszWindowName As String, ByVal dwStyle As Long, ByVal X As Long, ByVal Y As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As Long, ByVal hwndParent As Long, ByVal nID As Long) As Long
Private Declare Function CreateCompatibleDC Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long) As Long
Private Declare Function CreateCompatibleBitmap Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As Long) As Long
Private Declare Function GetDeviceCaps Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal iCapability As Long) As Long
Private Declare Function GetSystemPaletteEntries Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal wStartIndex As Long, ByVal wNumEntries As Long, lpPaletteEntries As PALETTEENTRY) As Long
Private Declare Function CreatePalette Lib "gdi32" (lpLogPalette As LOGPALETTE) As Long
Private Declare Function SelectObject Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal hObject As Long) As Long
Private Declare Function BitBlt Lib "gdi32" (ByVal hDCDest As Long, ByVal XDest As Long, ByVal YDest As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As Long, ByVal hDCSrc As Long, ByVal XSrc As Long, ByVal YSrc As Long, ByVal dwRop As Long) As Long
Private Declare Function DeleteDC Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long) As Long
Private Declare Function GetForegroundWindow Lib "USER32" () As Long
Private Declare Function SelectPalette Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal hPalette As Long, ByVal bForceBackground As Long) As Long
Private Declare Function RealizePalette Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long) As Long
Private Declare Function GetWindowDC Lib "USER32" (ByVal hWnd As Long) As Long
Private Declare Function GetDC Lib "USER32" (ByVal hWnd As Long) As Long
Private Declare Function GetWindowRect Lib "USER32" (ByVal hWnd As Long, lpRect As RECT) As Long
Private Declare Function ReleaseDC Lib "USER32" (ByVal hWnd As Long, ByVal hdc As Long) As Long
Private Declare Function GetDesktopWindow Lib "USER32" () As Long
Dim AVIhWnd As Long, temp As String
Dim koord_X, koord_Y, koord_X2, koord_Y2, Sifir_X, Sifir_Y
Dim kare_cizmeye_baslandi As Boolean
Dim zaman_eski, zaman, X1_ESKI, X1, Y1_ESKI, Y1, Velocity_X, Velocity_Y, Velocity_Object
Dim Velocity_X_ESKI, Velocity_Y_ESKI, ivme_Object, ivme_X, ivme_Y
Dim ZAMAN2_2, ZAMAN2_1
Dim Aktif_Alan_Sec As Boolean
Dim Veri_Kaydet As Boolean
Dim veri_Zaman1, veri_Zaman2, veri_Zamani
Dim kalibrasyon As Boolean

```

```

Dim cizgi_cizmeye_baslandi As Boolean
Dim Cizgi_Uzunlugu
Dim Kalibrasyon_Katsayisi
Dim F_X, F_Y, F_XY, kutle

```

```

Public Function CreateBitmapPicture(ByVal hBmp As Long, ByVal hPal As Long) As
Picture

```

```

    Dim r As Long
    Dim Pic As PicBmp
    Dim IPic As IPicture
    Dim IID_IDispatch As GUID
    With IID_IDispatch
        .Data4(0) = &HC0
        .Data4(7) = &H46
    End With
    With Pic
        .Size = Len(Pic)
        .Type = vbPicTypeBitmap
        .hBmp = hBmp
        .hPal = hPal
    End With
    r = OleCreatePictureIndirect(Pic, IID_IDispatch, 1, IPic)
    Set CreateBitmapPicture = IPic

```

```

End Function

```

```

Public Function CaptureWindow(ByVal hWndSrc As Long, ByVal Client As Boolean, ByVal
LeftSrc As Long, ByVal TopSrc As Long, ByVal WidthSrc As Long, ByVal HeightSrc As
Long) As Picture

```

```

    Dim hDCMemory As Long
    Dim hBmp As Long
    Dim hBmpPrev As Long
    Dim r As Long
    Dim hDCSrc As Long
    Dim hPal As Long
    Dim hPalPrev As Long
    Dim RasterCapsScrn As Long
    Dim HasPaletteScrn As Long
    Dim PaletteSizeScrn As Long
    Dim LogPal As LOGPALETTE
    If Client Then
        hDCSrc = GetDC(hWndSrc)
    Else
        hDCSrc = GetWindowDC(hWndSrc)
    End If
    hDCMemory = CreateCompatibleDC(hDCSrc)
    hBmp = CreateCompatibleBitmap(hDCSrc, WidthSrc, HeightSrc)
    hBmpPrev = SelectObject(hDCMemory, hBmp)
    RasterCapsScrn = GetDeviceCaps(hDCSrc, RASTERCAPS)
    HasPaletteScrn = RasterCapsScrn And RC_PALETTE
    PaletteSizeScrn = GetDeviceCaps(hDCSrc, SIZEPALETTE)
    If HasPaletteScrn And (PaletteSizeScrn = 256) Then
        LogPal.palVersion = &H300
    End If

```

```

LogPal.palNumEntries = 256
r = GetSystemPaletteEntries(hDCSrc, 0, 256, LogPal.palPalEntry(0))
hPal = CreatePalette(LogPal)
hPalPrev = SelectPalette(hDCMemory, hPal, 0)
r = RealizePalette(hDCMemory)
End If
r = BitBlt(hDCMemory, 0, 0, WidthSrc, HeightSrc, hDCSrc, LeftSrc, TopSrc, vbSrcCopy)
hBmp = SelectObject(hDCMemory, hBmpPrev)
If HasPaletteScrn And (PaletteSizeScrn = 256) Then
    hPal = SelectPalette(hDCMemory, hPalPrev, 0)
End If
r = DeleteDC(hDCMemory)
r = ReleaseDC(hWndSrc, hDCSrc)
Set CaptureWindow = CreateBitmapPicture(hBmp, hPal)
End Function
Public Function CaptureScreen() As Picture
    Dim hWndScreen As Long
    hWndScreen = GetDesktopWindow()
    Set CaptureScreen = CaptureWindow(hWndScreen, False, 0, 0, Screen.Width \
Screen.TwipsPerPixelX, Screen.Height \ Screen.TwipsPerPixelY)
End Function
Public Function CaptureForm(frmSrc As Form) As Picture
    Set CaptureForm = CaptureWindow(frmSrc.hWnd, False, 0, 0,
frmSrc.ScaleX(frmSrc.Width, vbTwips, vbPixels), frmSrc.ScaleY(frmSrc.Height, vbTwips,
vbPixels))
End Function
Public Function CaptureClient(frmSrc As Form) As Picture
Set CaptureClient = CaptureWindow(frmSrc.hWnd, True, Tarama_alani_sol_ust_X,
Tarama_alani_sol_ust_Y, frmSrc.ScaleX(Tarama_alani_Genislik, frmSrc.ScaleMode,
vbPixels), frmSrc.ScaleY(Tarama_alani_Yukseklilik, frmSrc.ScaleMode, vbPixels))
End Function
Public Function CaptureActiveWindow() As Picture
    Dim hWndActive As Long
    Dim r As Long
    Dim RectActive As RECT
    hWndActive = GetForegroundWindow()
    r = GetWindowRect(hWndActive, RectActive)
    Set CaptureActiveWindow = CaptureWindow(hWndActive, False, 0, 0, RectActive.Right -
RectActive.Left, RectActive.Bottom - RectActive.Top)
End Function
Public Sub PrintPictureToFitPage(Prn As Printer, Pic As Picture)
    Const vbHiMetric As Integer = 8
    Dim PicRatio As Double
    Dim PrnWidth As Double
    Dim PrnHeight As Double
    Dim PrnRatio As Double
    Dim PrnPicWidth As Double
    Dim PrnPicHeight As Double
    If Pic.Height >= Pic.Width Then
        Prn.Orientation = vbPRORPortrait
    Else

```

```

    Prn.Orientation = vbPRORLandscape
End If
PicRatio = Pic.Width / Pic.Height
PrnWidth = Prn.ScaleX(Prn.ScaleWidth, Prn.ScaleMode, vbHiMetric)
PrnHeight = Prn.ScaleY(Prn.ScaleHeight, Prn.ScaleMode, vbHiMetric)
PrnRatio = PrnWidth / PrnHeight
If PicRatio >= PrnRatio Then
    PrnPicWidth = Prn.ScaleX(PrnWidth, vbHiMetric, Prn.ScaleMode)
    PrnPicHeight = Prn.ScaleY(PrnWidth / PicRatio, vbHiMetric, Prn.ScaleMode)
Else
    PrnPicHeight = Prn.ScaleY(PrnHeight, vbHiMetric, Prn.ScaleMode)
    PrnPicWidth = Prn.ScaleX(PrnHeight * PicRatio, vbHiMetric, Prn.ScaleMode)
End If
Prn.PaintPicture Pic, 0, 0, PrnPicWidth, PrnPicHeight
End Sub
Private Sub Command11_Click()
Set Picture1.Picture = CaptureClient(Me)
End Sub
Private Sub Check2_Click()
If Check2.Value = 1 Then Timer4.Enabled = True
If Check2.Value = 0 Then Timer4.Enabled = False
End Sub
Private Sub Command6_Click()
    Call SavePicture(Picture1.Image, ("Kamera_kayit_koordinatlari_" &
Format(Year(Now()), "00") & Format(Month(Now()), "00") & Format(Day(Now()), "00") &
Format(Hour(Now()), "00") & Format(Minute(Now()), "00") & Format(Second(Now()),
"00") & ".bmp"))
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
Aktif_Alan_Sec = Not Aktif_Alan_Sec
If Aktif_Alan_Sec = True Then
    Command1.BackColor = RGB(0, 255, 0)
    Picture1.MousePointer = 2
    Timer1.Enabled = False
Else:
    Command1.BackColor = RGB(255, 0, 0)
    Picture1.MousePointer = 0
    Timer1.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub Command3_Click() 'Aktif alani resetle
On Error Resume Next
Timer1.Enabled = False
Picture1.Width = mycapture.Width
Picture1.Height = mycapture.Height
Picture2.Width = mycapture.Width
Picture2.Height = mycapture.Height
Tarama_alani_sol_ust_X = 0
Tarama_alani_sol_ust_Y = 0
Tarama_alani_Genislik = mycapture.ScaleWidth * 15

```

```

Tarama_alani_Yukseklk = mycapture.ScaleHeight * 15
Timer1.Enabled = True
End Sub
Private Sub Command4_Click()
Sifir_X = koord_X
Sifir_Y = koord_Y
End Sub
Private Sub Command5_Click()
On Error Resume Next
Veri_Kaydet = Not Veri_Kaydet
If Veri_Kaydet = True Then
    Command5.BackColor = RGB(255, 0, 0)
    Open ("Kamera_kayit_koordinatlari_" & Format(Year(Now()), "00") &
Format(Month(Now()), "00") & Format(Day(Now()), "00") & Format(Hour(Now()), "00") &
Format(Minute(Now()), "00") & Format(Second(Now()), "00") & ".txt") For Output As #1
        veri_Zaman1 = Timer * 1000
        Command5.Caption = "Veri Kaydediliyor"
        Print #1, "t;X;Y;V_X;V_Y;V_XY;a_X;a_Y;a_XY;F_X;F_Y;F_XY"
Else:
    Command5.BackColor = RGB(0, 255, 0)
    Close #1
    Command5.Caption = "Veri Kaydet"
End If
End Sub
Private Sub Command7_Click()
On Error Resume Next
kalibrasyon = Not kalibrasyon
If kalibrasyon = True Then
    Command7.BackColor = RGB(0, 255, 0)
    Picture1.MousePointer = 2
    Timer1.Enabled = False
Else:
    Command7.BackColor = RGB(255, 255, 255)
    Picture1.MousePointer = 0
    Timer1.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub Command8_Click()
kute = Val(Text2.Text)
End Sub
Private Sub Form_Load()
AVIhWnd = capCreateCaptureWindow("CaptureWindow", WS_CHILD Or WS_VISIBLE,
0, 0, mycapture.Width, mycapture.Height, mycapture.hWnd, 0)
If 0 = AVIhWnd Then
    MsgBox "Yakalama penceresi olusturulamadi!", vbCritical
Exit Sub
Else
    temp = SendMessage(AVIhWnd, WM_CAP_DRIVER_CONNECT, 0, 0)
    temp = SendMessage(AVIhWnd, WM_CAP_SET_PREVIEW, 1, 0)
    temp = SendMessage(AVIhWnd, WM_CAP_SET_PREVIEWRATE, PREVIEWRATE, 0)
    temp = SendMessageAsLong(AVIhWnd, WM_CAP_EDIT_COPY, 1, 0)

```

```

    mycapture.Picture = Clipboard.GetData
End If
Picture1.AutoRedraw = True
koord_X = 0
koord_Y = 0
cozunurluk = 4
Tarama_alani_sol_ust_X = 0
Tarama_alani_sol_ust_Y = 0
Tarama_alani_Genislik = mycapture.ScaleWidth * 15
Tarama_alani_Yuksekluk = mycapture.ScaleHeight * 15
Sifir_X = 0
Sifir_Y = 0
kutle = 1800
End Sub
Private Sub progExit_Click()
On Error Resume Next
    Clipboard.Clear
    Unload Me
End Sub
Private Sub selectSource_Click()
    temp = SendMessageAsLong(AVThWnd, WM_CAP_DLG_VIDEOSOURCE, 0&, 0&)
End Sub
Private Sub Command2_Click()
On Error Resume Next
renk_tanit = Not renk_tanit
If renk_tanit = True Then
    Command2.BackColor = RGB(0, 255, 0)
    Picture1.MousePointer = 2
    Timer1.Enabled = False
Else:
    Command2.BackColor = RGB(255, 0, 0)
    Picture1.MousePointer = 0
    Timer1.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
On Error Resume Next
If renk_tanit = True Then
    sol_ust_X = X
    sol_ust_Y = Y
    Shape2.Visible = True
    Shape2.Width = 1
    Shape2.Height = 1
    Shape2.Left = X
    Shape2.Top = Y
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
    kare_cizmeye_baslandi = True
End If
If Aktif_Alan_Sec = True Then

```

```

Tarama_alani_sol_ust_X = X
Tarama_alani_sol_ust_Y = Y
Shape2.Visible = True
Shape2.Width = 1
Shape2.Height = 1
Shape2.Left = X
Shape2.Top = Y
Picture3.Cls
Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
kare_cizmeye_baslandi = True
End If
If kalibrasyon = True Then
    Line3.X1 = X
    Line3.Y1 = Y
    Line3.Visible = True
    Line3.X2 = X
    Line3.Y2 = Y
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
    cizgi_cizmeye_baslandi = True
End If
End Sub
Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As
Single)
On Error Resume Next
If renk_tanit = True Then
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
    If kare_cizmeye_baslandi = True Then
        Shape2.Width = X - sol_ust_X
        Shape2.Height = Y - sol_ust_Y
    End If
End If
If Aktif_Alan_Sec = True Then
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
    If kare_cizmeye_baslandi = True Then
        Shape2.Width = X - Tarama_alani_sol_ust_X
        Shape2.Height = Y - Tarama_alani_sol_ust_Y
    End If
End If
If kalibrasyon = True Then
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
    If cizgi_cizmeye_baslandi = True Then
        Line3.X2 = X
        Line3.Y2 = Y
    End If
End If
End Sub

```



```
Private Sub Picture1_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
```

```
On Error Resume Next
```

```
If renk_tanit = True Then
```

```
    sag_alt_X = X
```

```
    sag_alt_Y = Y
```

```
    Shape2.Width = X - sol_ust_X
```

```
    Shape2.Height = Y - sol_ust_Y
```

```
    Shape2.Visible = False
```

```
    kare_cizmeye_baslandi = False
```

```
    Picture1.MousePointer = 0
```

```
    Text3.Text = sol_ust_X & " " & sol_ust_Y & " " & sag_alt_X & " " & sag_alt_Y
```

```
    Renk_Tani Picture1, 10
```

```
    Text3.Text = Text3.Text & vbCrLf & max_kirmizi & " " & max_yesil & " " & max_mavi & " " & min_kirmizi & " " & min_yesil & " " & min_mavi
```

```
    renk_tanit = False
```

```
    Command2.BackColor = RGB(255, 0, 0)
```

```
    Timer1.Enabled = True
```

```
End If
```

```
If Aktif_Alan_Sec = True Then
```

```
    Tarama_alani_sag_alt_X = X
```

```
    Tarama_alani_sag_alt_Y = Y
```

```
    Shape2.Width = X - Tarama_alani_sol_ust_X
```

```
    Shape2.Height = Y - Tarama_alani_sol_ust_Y
```

```
    Shape2.Visible = False
```

```
    kare_cizmeye_baslandi = False
```

```
    Picture1.MousePointer = 0
```

```
    Aktif_Alan_Sec = False
```

```
    Command1.BackColor = RGB(255, 0, 0)
```

```
    Picture1.Width = Shape2.Width * 15
```

```
    Picture1.Height = Shape2.Height * 15
```

```
    Picture2.Width = Shape2.Width * 15
```

```
    Picture2.Height = Shape2.Height * 15
```

```
    Picture4.Cls
```

```
    Timer1.Enabled = True
```

```
End If
```

```
If kalibrasyon = True Then
```

```
    Picture3.Cls
```

```
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, X - 25, Y - 25, 50, 50, vbSrcAnd
```

```
    If cizgi_cizmeye_baslandi = True Then
```

```
        Line3.X2 = X
```

```
        Line3.Y2 = Y
```

```
    End If
```

```
    cizgi_cizmeye_baslandi = False
```

```
    Picture1.MousePointer = 0
```

```
    kalibrasyon = False
```

```
    Command7.BackColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
    Cizgi_Uzunlugu = (Abs(Line3.X1 - Line3.X2) ^ 2 + Abs(Line3.Y1 - Line3.Y2) ^ 2) ^ (1 / 2)
```

```
    Kalibrasyon_Katsayisi = Val(Text1.Text) / Cizgi_Uzunlugu
```

```
    Line3.Visible = False
```

```

    Timer1.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub Slider1_Change()
    cozunurluk = Slider1.Value
End Sub
Private Sub Slider2_Change()
    foto_cekim_hizi = Slider2.Value
    If foto_cekim_hizi = 1 Then Timer3.Interval = 100
    If foto_cekim_hizi = 2 Then Timer3.Interval = 500
    If foto_cekim_hizi = 3 Then Timer3.Interval = 1000
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
    On Error Resume Next
    ZAMAN2_1 = Timer
    Set Picture1.Picture = CaptureClient(Me)
    Siyah_Yap Picture1, Picture2
    sutun_toplami_onceki = 0
    sutun_toplami = 0
    satir_toplami_onceki = 0
    satir_toplami = 0
    For i = 1 To Picture2.ScaleWidth Step cozunurluk
        If sutun_toplami > sutun_toplami_onceki Then sutun_toplami_onceki = sutun_toplami
        sutun_toplami = 0
        For j = 1 To Picture2.ScaleHeight Step cozunurluk
            If sutun_toplami > sutun_toplami_onceki Then koord_X = i
        Next j
    Next i
    For j = 1 To Picture2.ScaleHeight Step cozunurluk
        If satir_toplami > satir_toplami_onceki Then satir_toplami_onceki = satir_toplami
        satir_toplami = 0
        For i = 1 To Picture2.ScaleWidth Step cozunurluk
            If satir_toplami > satir_toplami_onceki Then koord_Y = j
        Next i
    Next j
    Shape1.Visible = True
    Shape1.Left = koord_X - Shape1.Width / 2
    Shape1.Top = koord_Y - Shape1.Height / 2
    Picture3.Cls
    Picture3.PaintPicture Picture1.Image, 15, 15, 150, 150, Shape1.Left, Shape1.Top, 50, 50,
    vbSrcAnd
    Picture4.PaintPicture Picture2.Image, 0, 0, 250, 250, 0, 0, 600, 600
    koord_X2 = (koord_X - Sifir_X) * Kalibrasyon_Katsayisi
    koord_Y2 = (koord_Y - Sifir_Y) * Kalibrasyon_Katsayisi
    Label1(0).Caption = Format(koord_X2, "000.00")
    Label1(1).Caption = Format(koord_Y2, "000.00")
    Label1(2).Caption = "Vel_X = " & Format(Velocity_X, "000.00")
    Label1(3).Caption = "Vel_Y = " & Format(Velocity_Y, "000.00")
    Label1(4).Caption = "Vel_XY = " & Format(Velocity_Object, "000.00")
    Label1(8).Caption = Format(koord_X2, "000.00")
    Label1(9).Caption = Format(koord_Y2, "000.00")

```

```

Label1(7).Caption = "Vel_X = " & Format(Velocity_X, "000.00")
Label1(6).Caption = "Vel_Y = " & Format(Velocity_Y, "000.00")
Label1(5).Caption = "Vel_XY = " & Format(Velocity_Object, "000.00")
Label1(10).Caption = "Ivme_X = " & Format(ivme_X, "000.00")
Label1(11).Caption = "Ivme_Y = " & Format(ivme_Y, "000.00")
Label1(12).Caption = "Ivme_XY = " & Format(ivme_Object, "000.00")
Label1(13).Caption = "F_X = " & Format(F_X, "000.00")
Label1(14).Caption = "F_Y = " & Format(F_Y, "000.00")
Label1(15).Caption = "F_XY = " & Format(F_XY, "000.00")
If Veri_Kaydet = True Then
    veri_Zaman2 = Timer * 1000
    veri_Zamani = veri_Zaman2 - veri_Zaman1
    Print #1, veri_Zamani & ";" & Format(koord_X2, "000.00") & ";" & Format(koord_Y2,
"000.00") & ";" & Format(Velocity_X, "000.00") & ";" & Format(Velocity_Y, "000.00") &
";" & Format(Velocity_Object, "000.00") & ";" & Format(ivme_X, "000.00") & ";" &
Format(ivme_Y, "000.00") & ";" & Format(ivme_Object, "000.00") & ";" & Format(F_X,
"000.00") & ";" & Format(F_Y, "000.00") & ";" & Format(F_XY, "000.00")
End If
ZAMAN2_2 = Timer
Label2.Caption = Format(Round(1 / (ZAMAN2_2 - ZAMAN2_1), 2), "00.00") & " fps."
End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
On Error Resume Next
zaman_eski = zaman
X1_ESKI = X1
Y1_ESKI = Y1
Velocity_X_ESKI = Velocity_X
Velocity_Y_ESKI = Velocity_Y
X1 = koord_X * Kalibrasyon_Katsayisi
Y1 = koord_Y * Kalibrasyon_Katsayisi
zaman = Timer()
Velocity_X = (X1 - X1_ESKI) / (zaman - zaman_eski)
Velocity_Y = (Y1 - Y1_ESKI) / (zaman - zaman_eski)
Velocity_Object = ((Velocity_X) ^ 2 + (Velocity_Y) ^ 2) ^ (1 / 2)
ivme_X = (Velocity_X - Velocity_X_ESKI) / (zaman - zaman_eski)
ivme_Y = (Velocity_Y - Velocity_Y_ESKI) / (zaman - zaman_eski)
ivme_Object = ((ivme_X) ^ 2 + (ivme_Y) ^ 2) ^ (1 / 2)
F_X = kutle * ivme_X / 1000000
F_Y = kutle * ivme_Y / 1000000
F_XY = kutle * ivme_Object / 1000000
End Sub
Private Sub Timer3_Timer()
    If Check1.Value = 1 Then
        Call SavePicture(Picture1.Image, ("Kamera_kayit_koordinatlari_" &
Format(Year(Now()), "00") & Format(Month(Now()), "00") & Format(Day(Now()), "00") &
Format(Hour(Now()), "00") & Format(Minute(Now()), "00") & Format(Second(Now()),
"00") & Format(veri_Zamani, "00") & ".bmp"))
    End If
End Sub

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 01.08.1979

Doğum Yeri: Bursa

Lise: 1990-1997 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans: 1998-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans: 2001-2006 Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi
İşletme Bölümü

Yüksek Lisans: 2004-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon
Programı

Doktora: 2006-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon
Programı

Çalıştığı kurumlar:

2009-Devam Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği
Bölümü Araştırma Görevlisi