T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENGELENMEMİŞ KÜTLELERİN MEKANİK SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

MURAT ÖZBEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. BERNA BOLAT

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENGELENMEMİŞ KÜTLELERİN MEKANİK SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Murat ÖZBEK tarafından hazırlanan tez çalışması 20.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmada atalet sürücü adlı bir itiş sistemi çalışılmıştır. Günümüz uzay yarışında farklı teknolojilere ihtiyaç duyulmakta ve bu doğrultuda birçok çalışma yapılmaktadır. Sistemi oluşturan kütlelerin kendi ataletleri ve hareketleri kullanılarak doğrusal hareket oluşturmak amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik tasarım ve çalışmalar Rusya, Yunanistan, ABD, Kanada ve diğer ülkelerde de yapılmış ve tasarım geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. BERNA BOLAT'a, desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU'ya ve herzaman yanımda olan destekçim, annem Sıddıka ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Gelişmelere açık olan bu çalışmayı, yeni fikirlere ve uygulamalara yön göstereceğini düşünerek paylaşmaktan mutluluk duyuyorum.

Temmuz, 2016

Murat ÖZBEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 6
1.3 Hipotez 6

BÖLÜM 2

ATALET SÜRÜCÜSÜ – INERTIAL DRIVE 7

2.1 Hareketin Denklemi 8
2.2 Sürtünme 9
2.2.1 Statik sürtünme: 9
2.2.2 Kinetik sürtünme: 9
2.2.3 Sürtünme katsayıları arasındaki genel ilişki: 9

BÖLÜM 3

ATALET SÜRÜCÜSÜ'NÜN TASARIM PRENSİBİ 11

3.1 Genel 11
3.2 Faz 1: Motorun hızlanması 12

3.2.1 $\mathbf{M}$ Kütlesinin Konum, Hız, İvme Denklemleri: 14

3.2.2 m Kütlesinin Konum, Hız, İvme Denklemleri: 15

3.3 Faz 2: Motorun yavaşlaması 17
3.3.1 Enerjinin Korunumu 17
3.3.2 Birinci Faz Boyunca Sisteme Verilen Toplam Enerji, Yapılan İş: 19
3.3.3 İkinci Faz Boyunca Sisteme Verilen Toplam Enerji, Yapılan İş: 20

BÖLÜM 4

ATALET SÜRÜCÜSÜ'NÜN TASARIM VE İMALATI 22

4.1 Atalet Sürücüsünün Temel Tasarım Kriterleri: 22
4.2 Atalet Sürücüsünün Komponentlerinin Seçimi: 23
4.2.1 Servo Motor ve Sürücü Seçimi: 25
4.2.2 Redüktör Seçimi: 26
4.2.3 Kaplin Seçimi: 30
4.3 Kol, Ek Ağırlık ve Taşıyıcı Platform Tasarımı 30
4.3.1 Kol Tasarımı 31
4.3.2 Kol-Redüktör Bağlantısı, Konik Kilit Seçimi 39
4.3.3 Ek Ağırlık Tasarımı 41
4.3.4 Platform Tasarımı 41
4.4 Atalet Sürücünün İmalat Ve Montajı 45

BÖLÜM 5

ATALET SÜRÜCÜSÜNÜN MATLAB SIMULINK PROGRAMI İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ 47

5.1 Simscape Modülünün Kurulululumu 48
5.2 Solidworks'teki Katı Modelin Simscape'e Aktarılması 48
5.3 Sistem Uzayının Tanımlanması 51
5.4 Dönme Hareketinin Mantığı, Simulinkte Tanımlanması 53
5.4.1 Joint Actuator Blok 53
5.4.2 Sinyal Blokları ve Joint Actuator Blok Bağlantısı 54
5.4.3 Sensör ve Kontrol Blokları ve Bağlantıları 56
5.5 Diferansiyel Denklem Çözücü(Solver) Seçimi 61
5.6 Simülasyonda Konum, Hız, Pozisyon Değerlerinin Okunması 64
5.6.1 Çevrimin 677 Saniye Aralıksız Devam Etmesi Durumu: 65
5.6.1.1 Gövdenin Hızı: 65
5.6.1.2 Gövdenin Pozisyonu: 65
5.6.1.3 Ek Ağırlığın Hızı: 66
5.6.1.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu: 66
5.6.1.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı: 67
5.6.2 Sisteme Tek Çevrim Enerji Verilmesi ve Sonra Verilmediği Durum: 67

5.6.2.1 Gövdenin Hızı: 68
5.6.2.2 Gövdenin Pozisyonu: 69
5.6.2.3 Ek Ağırlığın Hızı: 69
5.6.2.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu: 70
5.6.2.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı: 70
5.6.3 İkinci Fazsız, Birinci Faz Hareketi Sonrası Çevrim Gözlemi: 71
5.6.3.1 Gövdenin Hızı: 73
5.6.3.2 Gövdenin Pozisyonu: 73
5.6.3.3 Ek Ağırlığın Hızı: 74
5.6.3.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu: 74
5.6.3.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı: 75
5.6.4 Sistemin İvmesiz, Sabit Hız İle Hareket Etmesi Durumu: 75
5.6.4.1 Gövdenin Hızı: 76
5.6.4.2 Gövdenin Pozisyonu: 77
5.6.4.3 Ek Ağırlığın Hızı: 77
5.6.4.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu: 78
5.6.4.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı: 78

BÖLÜM 6

DENEY DÜZENEĞİNİN KONTROL SİSTEM KURULUMU VE PROGRAMLANMASI 79

6.1 Kontrol Sisteminin Bileşenleri 79
6.2 Kontrol Sisteminin Programlanması 80
6.2.1 Bilgisayar PLC Bağlantısı 81
6.2.2 Deney Düzeneği PLC Programı 84

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER 87

EK-A

Servo Motor Özellikleri 90

ÖZGEÇMİŞ 91

SİMGE LİSTESİ

y_M	*M Kütlesinin y eksenindeki konumu*
y_m	*m Kütlesinin y eksenindeki konumu*
p_m	*m Kütlesinin konumu*
v_m	*m Kütlesinin hızı*
a_m	*m Kütlesinin ivmesi*
ϕ*(t)*	*m kütlesinin dönme açısı*
$\dot{\phi}$	Açısal hız
ω	Açısal hız
$\ddot{\phi}$	Açısal ivme
N	*Yüzeye dik kuvvet*
μ_s	*Statik Sürtünme katsayısı*
μ_k	*Kinetik Sürtünme katsayısı*
Ff	$\dot{y}_M$ *hızına ters yönde sürtünme kuvveti*
n_2	*Çıkış hızı*
P	*Motor gücü*
T_2	*Redüktör çıkış torku*
E_k	*Kinetik enerji*
l	Kollar x eksninde üst üste iken, z ekseninde ek ağırlıkların aralarındaki mesafe
r	*Dönem* kolu yarı çapı

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Bilgisayar destekli çizim
Env	Çevre
DC	Doğru akım
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici
Rpm	Dakikadaki dönme sayısı
3D	3 Boyut

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Dean Drive'ın 3D şeması 1
Şekil 1. 2 DC Motor, mekanik siviç ve potansiyometre ile yapılan deneme 2
Şekil 1. 3 Lego Mindstorm Serisi ekipmanları ile yaptığım çalışma 3
Şekil 1. 4 Lego Mindstorm Motor sürme programı 3
Şekil 1. 5 Tolchin'in mekanizması (1977) 4
Şekil 1. 6 Shipov'un mekanizması (2002) 5
Şekil 1. 7 Provatidis Mekanizmasının Simülasyon Görüntüsü 6
Şekil 2. 1 Sürücünün Üstten Görünümü 7
Şekil 3. 1 Atalet sürücüsünün çevrimi 12
Şekil 3. 2 m Kütlelerinin açısal hız vektörlerinin gösterimi 16
Şekil 3. 3 Birinci faz sonunda, t1 anında m kütlesi üzerindeki kinetik enerji 19
Şekil 4. 1 Atalet sürücüsünün komponentlerinin seçimi 23
Şekil 4. 2 Atalet sürücü tasarım iyileştirmesi 24
Şekil 4. 3 ECMA-C10807GS AC Teknik resmi 25
Şekil 4. 4 ECMA-C10807GS AC Teknik özellkleri 26
Şekil 4. 5 Redüktör helisel dişli yapısı 27
Şekil 4. 6 Motor, kaplin, redüktör montajı 30
Şekil 4. 7 Kol tasarım ilkeleri 1 31
Şekil 4. 8 Kol tasarım ilkeleri 2 32
Şekil 4. 9 Kol tasarım ilkeleri 3 33
Şekil 4. 10 Kol tasarım ilkeleri 4 35
Şekil 4. 11 Kol tasarım ilkeleri 5 36
Şekil 4. 12 Kol tasarım ilkeleri 6 36

Şekil 4. 13 Kol tasarım ilkeleri 7 37
Şekil 4. 14 Kol tasarım ilkeleri 8 37
Şekil 4. 15 Kol tasarım ilkeleri 9 38
Şekil 4. 16 Nihai kol tasarım 38
Şekil 4. 17 Eğilme analizi 39
Şekil 4. 18 Vogel redüktör 40
Şekil 4. 19 Ek ağırlık tasarımı 41
Şekil 4. 20 Platform tasarımı 1 42
Şekil 4. 21 Platform tasarımı 2 42
Şekil 4. 22 Platform tasarımı 3 43
Şekil 4. 23 Platform tasarımı 4 43
Şekil 4. 24 Platform tasarımı 5 44
Şekil 4. 25 Platform tasarımı 6 44
Şekil 4. 26 Platform tasarımı 7 45
Şekil 4. 27 Nihai tasarım 46
Şekil 5. 1 Mathworks dökümanları 48
Şekil 5. 2 Matlab'e model yükleme 48
Şekil 5. 3 Matlab'e model yükleme 49
Şekil 5. 4 Matlab'e model yükleme 49
Şekil 5. 5 Matlab'e model yükleme 50
Şekil 5. 6 Matlab'e model yükleme 50
Şekil 5. 7 Matlab'e model yükleme 51
Şekil 5. 8 Çevre bloğunun programlanması 51
Şekil 5. 9 Matlab modelinin çalıştırılması 52
Şekil 5. 10 Matlab modelinin çalıştırılması 52
Şekil 5. 11 Matlab blokları 53
Şekil 5. 12 Joint actuator blok 53
Şekil 5. 13 Joint actuator blok ayarları 54
Şekil 5. 14 Step blok 54
Şekil 5. 15 Step blok ayarları 55
Şekil 5. 16 Signal builder blok 55

Şekil 5. 17 Signal builder blok ayarları 55
Şekil 5. 18 Integrator ve mux blokları ve ayarları 56
Şekil 5. 19 Joint sensör blok 57
Şekil 5. 20 Joint sensör blok ayarları 57
Şekil 5. 21 Joint sensör ölçüm değerleri 58
Şekil 5. 22 Switch blok 58
Şekil 5. 23 Switch blok ayarları 59
Şekil 5. 24 Simulink model bağlantıları 59
Şekil 5. 25 Body sensör blok 60
Şekil 5. 26 Body sensör blok ayarları 60
Şekil 5. 27 Tamamlanan model 61
Şekil 5. 28 Ode karşılaştırma [9] 62
Şekil 5. 29 Simulation 63
Şekil 5. 30 Model configuration parameters 63
Şekil 5. 31 Çözücü seçimi 64
Şekil 5. 32 Sistemden alınan değerlerin birimleri 65
Şekil 5. 33 Hız-zaman grafiği 65
Şekil 5. 34 Konum-zaman grafiği 66
Şekil 5. 35 Hız-zaman grafiği 66
Şekil 5. 36 Konum-zaman grafiği 67
Şekil 5. 37 Açısal hız-zaman grafiği 67
Şekil 5. 38 Tek bir çevrim için gerekli sinyal 68
Şekil 5. 39 Hız-zaman grafiği 69
Şekil 5. 40 Konum-zaman grafiği 69
Şekil 5. 41 Hız-zaman grafiği 70
Şekil 5. 42 Konum-zaman grafiği 70
Şekil 5. 43 Açısal hız-zaman grafiği 71
Şekil 5. 44 Sisteme sadece birinci fazda enerji verilmesi 72
Şekil 5. 45 Hız-zaman grafiği 73
Şekil 5. 46 Konum-zaman grafiği 73
Şekil 5. 47 Hız-zaman grafiği 74

Şekil 5. 48 Konum-zaman grafiği 74
Şekil 5. 49 Açısal hız-zaman grafiği 75
Şekil 5. 50 Sistemin ivmesiz, sabit hız ile hareketi için gerekli sinyal 76
Şekil 5. 51 Hız-zaman grafiği 76
Şekil 5. 52 Konum-zaman grafiği 77
Şekil 5. 53 Hız-zaman grafiği 77
Şekil 5. 54 Konum-zaman grafiği 78
Şekil 5. 55 Açısal hız-zaman grafiği 78
Şekil 6. 1 Deney düzeneği kontrol ünitesi 80
Şekil 6. 2 Deney düzeneği başlangıç pozisyon kontrolü 80
Şekil 6. 3 Deney düzeneği kontrol ünitesi üzerindeki başlangıç butonu 81
Şekil 6. 4 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 1 82
Şekil 6. 5 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 2 82
Şekil 6. 6 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 3 83
Şekil 6. 7 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 4 83
Şekil 6. 8 Deney düzeneği PLC programı 84
Şekil 6. 9 PLC Programında değer değiştirme 86

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4. 1 Redüktör teknik özellikleri 28
Çizelge 4. 2 Kaplin teknik özellikleri 30
Çizelge 4. 3 Kol malzeme teknik özellik karşılaştırma 34
Çizelge 4. 4 Konik kilit teknik özellikleri 40
Çizelge 4. 5 Platforma yüklenecek yük 43
Çizelge 4. 6 Platforma malzeme karşılaştıma tablosu 45
Çizelge 5. 1 Çözücüler Arasındaki Farklar 64
Çizelge 6. 1 Deney ölçümleri 86

ÖZET

DENGELENMEMİŞ KÜTLELERİN MEKANİK SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Murat ÖZBEK

Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. BERNA BOLAT

Bu çalışmada, içerisindeki dengelenmemiş, zıt yönde düzgün olmayan dairesel hareket yapan kütlelerin ataleti ile doğrusal hareket yapan mekanizmalar incelenmektedir. Sisteme dışarıdan bir kuvvet uygulamadan, sistemin toplam kütlesi değiştirilmeden sistem içerisindeki kütlelerin hareketlerinin belirli şartlar altında sistemin hızını, momentumunu etkilemesi çalışılmıştır. Dairesel hareketin lineer harekete dönüşümü incelenmiştir.

Konu hakkında yapılmış deney düzenekleri ve tasarımlar incelenmiştir. Atalet sürücü olarak adlandırılan mekanizmanın tasarımı, nasıl geliştirilebileceği üzerinde durulmuştur.

Solidworks programında tasarlanan bir sistem Matlab-Simulink programında modellenmiştir. Matlab'in diferansiyel denklem çözücüleri kullanarak modellenen sistemden ölçümler alınmıştır.

Tasarlanan deney düzeneği imal edilmiştir. Çalıştırılan sistemden alınan verilerle bilgisayar verileri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma uzay mekikleri, uydu konumlama sistemleri, su ve yağ pompaları, titreşimli konveyörler, uçan mekanizmalar, gemi hareketleri ve benzeri birçok alanda kullanılabilecek bir teknolojinin gelişimi konusunda fikir vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Atalet, merkezcil kuvvet, itme, sürtünmesiz hareket, sürtünmeli hareket, dairesel hareket.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF UNBALANCED MASSES' ON MECHANICAL SYSTEMS

Murat ÖZBEK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Yrd. Doç. Dr. BERNA BOLAT

This paper investigates the motion of an object which is forced by the attached inertial drive which has two counter-rotating unbalanced masses. The movement of the object without being under any external force influences, without changing the total mass of the system, with using the internal masses' movements under certain conditions of the system was studied.

The current designs were investigated and a new design was done with Solidworks Cad program. The design was modelled at Matlab-Simulink diferantial solver program. The model was tested and the results were noted.

The design was manufactured. The manufactured testing mechanism was run and the results of the study was compared with the computer program outputs.

With this study, we have opinions about inertial drives, inertial propulsion, rotating masses, centrifugal forces, frictionless drive, space ships, satelite positioning systems, water and oil pumps, conveyors with vibration, flying mechanisms, ship movements and so on areas.

Key Words: inertial drive, inertial propulsion, synchronization, dean drive, centrifuga forces, frictionless drive, friction drives, propulsion, circular motion.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

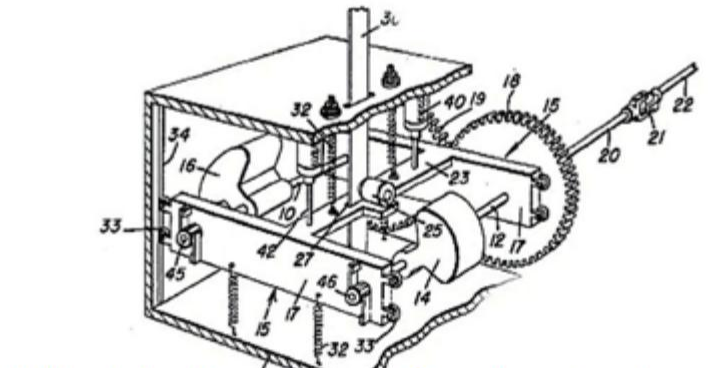
1.1 Literatür Özeti

Konu hakkında binlerce çalışma ve patent bulunmaktadır. En bilinen mekanizma Norman Dean'in geliştirmiş olduğu "Dean Drive" adlı mekanizmadır. Bu mekanizma hakkında birçok pratik uygulama, matematiksel analiz ve mühendislik araştırmaları yapılmıştır.

Dean Drive:

Elektromanyetik bir sistemdir. Dengelenmemiş kütlelerin dairesel hareketlerinin belirli şartlar altında sistemi tek yöne doğrusal salınıma zorlamaktadır.

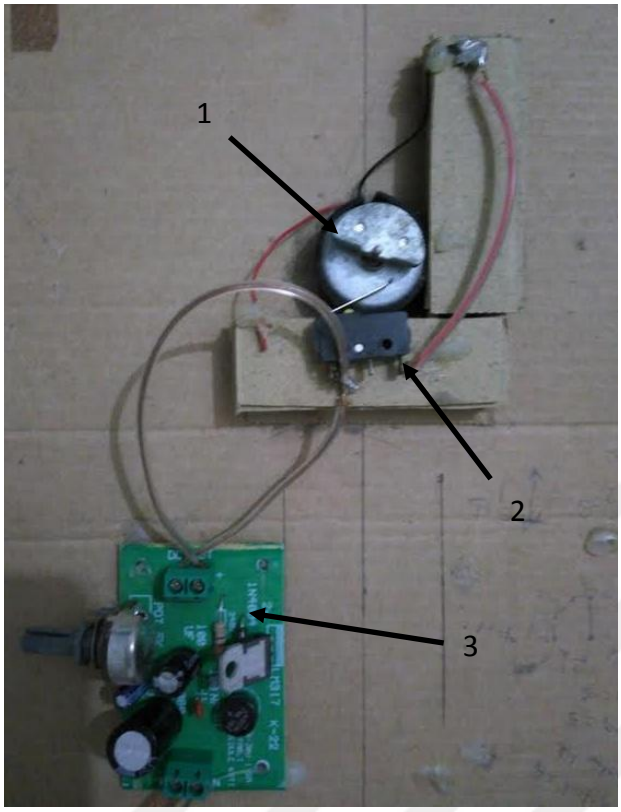
Sistem tek yönlü sürtünme mekanizması ile çalışmaktadır. Sistemin senkronizasyonu için elektromanyetik aktüatörler kullanılmıştır.



Şekil 1. 1 Dean Drive'ın 3D şeması

Daha önce yaptığım çalışmalarda senkronizasyon problemi ile karşılaştım.

İlk çalışmada, DC motor, konum ayarı ve sürtünme oluşturması için mekanik siviç, hız ayarı için potansiyometre kullandım. Bu çalışmada hızı ve konumu senkronize edemediğim için sonuç alamadım.



1-Dengelenmemiş kütleli DC motor

2-Mekanik siviç

3-Potansiyometre

Şekil 1. 2 DC Motor, mekanik siviç ve potansiyometre ile yapılan deneme

Lego markasının mindstorm serisi ile yaptığım bir diğer çalışmada, sistemde kullandığım haberleşme ünitesinin veri aktarım hızı yeterli olmadığı ve aynı zamanda kullandığım bileşenlerin yeterince rijit olmaması sebep ile değişkenleri kontrol altına alarak sistemi senkronize edemediğim için hareket istenilen şekilde gerekleşmedi. (Şekil 1.3)

Labview'ın geliştirdiği arayüzün kullanıldığı bu sette hazırladığım düzenek için yazdığım programı şekilde 1.4'de görülebilir.

Bu deney düzeneğinde kullanılan ışık sensörü, kolların bulunduğu pozisyon bilgisini plc'ye gönderip, plc'nin datayı işleyerek tekrar sistemi tetiklemesi arasındaki geçen zamanın uzun olması ve sistemin bu zaman aralığında konum kaybetmesi sebebi ile deneme istenilen sonucu vermedi.



1-Dengelenmemiş ağırlıklı

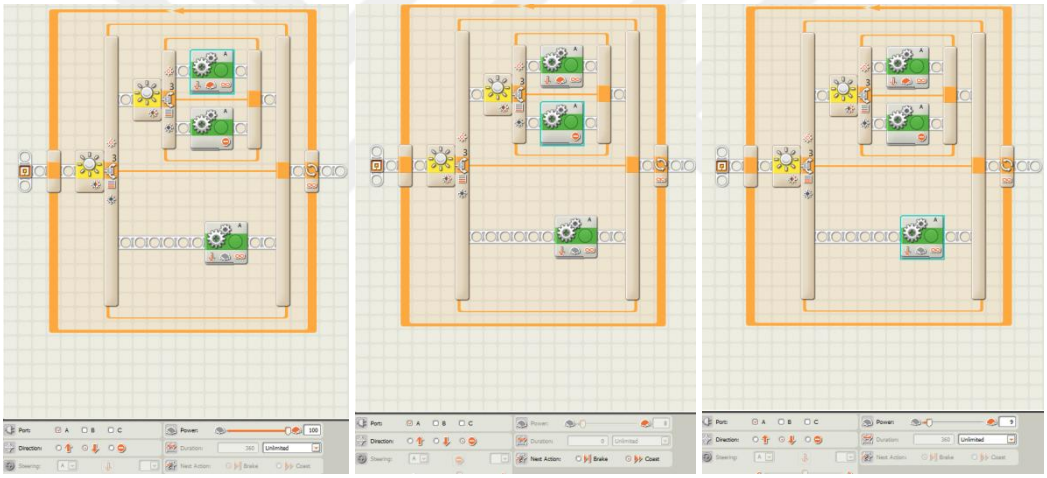
2-Servo motor

3-Güç kaynağı, sürücü ve PLC 'yi içinde bulunduran kontrol ünitesi

4-Işık sensörü ve karşılığı

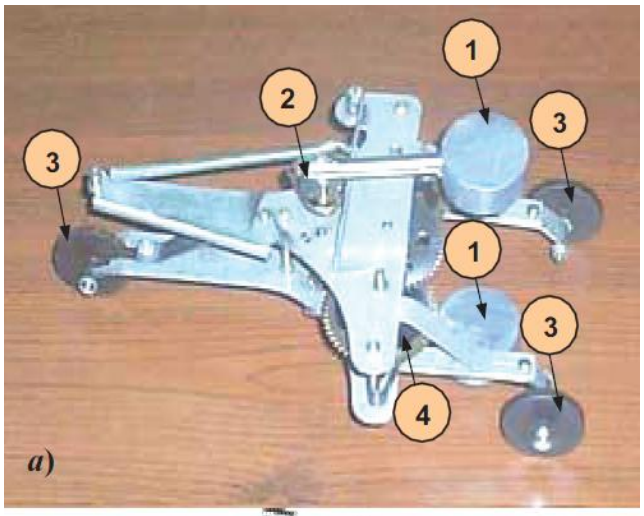
5-Tekerlekli platform

Şekil 1. 3 Lego Mindstorm Serisi ekipmanları ile yaptığım çalışma



Şekil 1. 4 Lego Mindstorm Motor sürme programı

Bu çalışmalar sonucunda edindiğim bilgiler ve araştırmalarımda karşılaştırdığım kaynakları göz önünde bulundurarak Rus mühendis Tolchin'in modelinin [1] en basit ve istikrarlı model olduğuna karar verdim. Bu modeli geliştirmek için çalışmalarımı sürdürdüm.



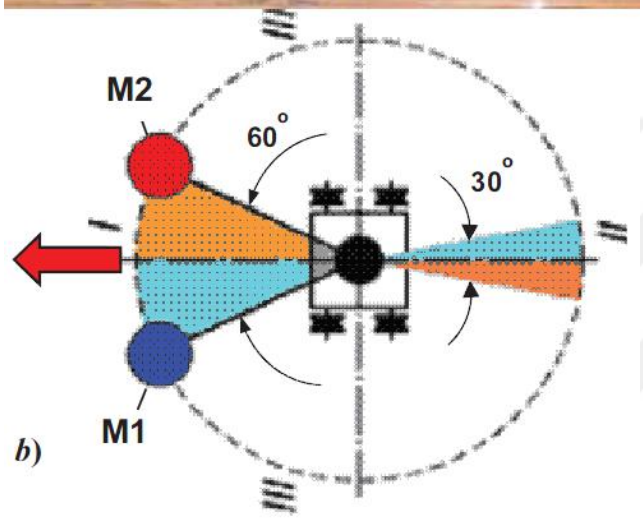
Tolchin Mekanizmasının Bileşenleri:

1-İtici momentumu oluşturan kaşılıklı kütleler.

2-Motor freni.

3-Tekerlekler.

4-Yaylı motor.



Hareket Analizi

I.2 Kütle ivmeleneniyor.

II.Kütleler yavaşlıyor.

III.Sabit hızla hareket.

Şekil 1. 5 Tolchin'in mekanizması (1977)

Tolchin'in mekanizmasında 80 gram itme ölçülmüştür. Mekanizmanın toplam ağırlığı 0.95 kg'dır.

I. Fazda kütleler pozitif (+)a ile ivmelenmekte ve III. faz başlangıcına varıncaya kadar hızlanmaktadır.

II. Fazda kütleler negatif (–)a ivmelenmekte ve sistemin hızı başlangıç hızına dönmektedir.

III. Fazda mekanizma hızı I. fazın sonundaki sabit hızla dairesel harekete devam etmektedir.

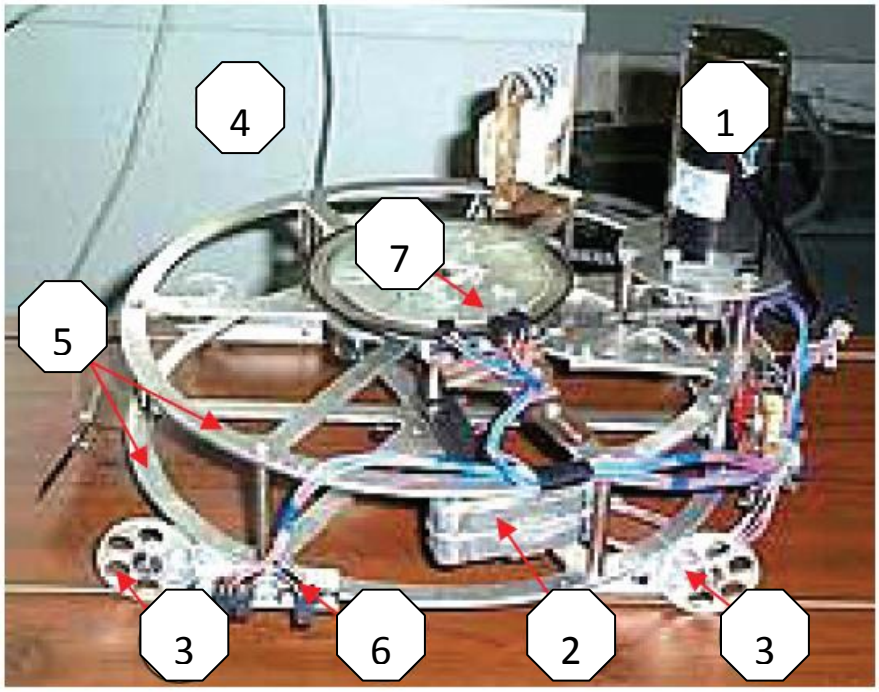
Çevrim bu şekilde tamamlanmaktadır. Tolchin'in mekanizmasında 80 gram itme ölçülmüştür. Mekanizmanın toplam ağırlığı 0.95 kg'dır.

Mekanizmanın üstü kapatılarak dış ortamdan soyutlanmış ve itme hareketinin tekrarladığı gözlemlenmiştir.

Mekanizma rampa yukarı, yerçekimine karşı hareket edebilmektedir. Sonuç olarak mekanizmanın karşılıksız itme kuvveti oluşturduğu ölçülmüştür.

Konu ile ilgili ünlü mekanizmalardan biri 2002 yılında Shipov tarafından Tolchin'in sürücüsünü elektrikli motor ve bilgisayar kontrolü ile modifiye ederek oluşturulmuştur.

Toplam 1.8kg'lık mekanizmada 147N itiş ölçülmüştür. Faz I ve II programsal olarak optimize edilmiştir. Şekil 1. 6'te sistemi görebilirsiniz.



Şekil 1. 6 Shipov'un mekanizması (2002)

Fazların uzunluk optimizasyonu sonucu cihaz sadece ileri yönde hareket edecek şekilde programlanmıştır.

Tolchin ve Shipov mekanizmaları "Torsion field theory"[1] ile açıklanmıştır.

2008 Yılında Moskova Uzay Araştırmaları Enstitüsü, Tolchin Mekanizmasının yeni bir versiyonunu Jubilee uydusuna kurmuş ve test etmiştir. Alınan sonuçlar, sürücünün, uydu dışına herhangi bir kütle atmadan uydu yörünge konumlama konusunda kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Yakın gelecekte bu ve benzer mekanizmalar derin uzay keşiflerinde kullanılmak için umut vaat etmektedir.

Shipov Mekanizmasının Bileşenleri:

1- Servo motor.

2- İtici momentumu oluşturan karşılıklı kütleler 2 adet kütle.

3-Tekerlekler ve ray.

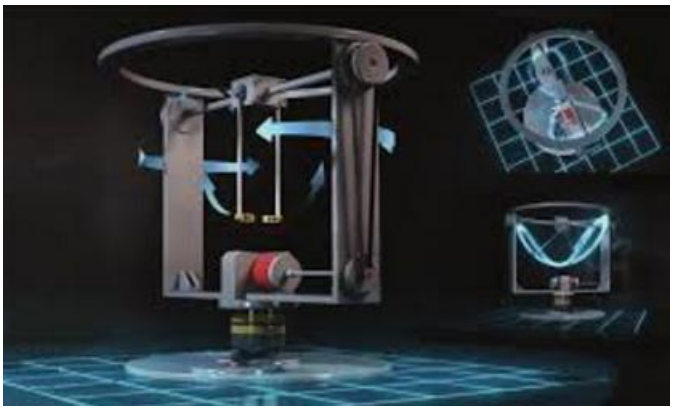
4-Bilgisayar.

5-Aracın gövdesi.

6-Hareket sensörleri.

7-Pozisyon sensörü.

Konu ile ilgili en güncel çalışmalardan biri Prof. Dr. Christopher PROVATIDIS tarafından hazırlanmıştır.



Şekil 1. 7 Provatidis Mekanizmasının Simülasyon Görüntüsü

Şekil 1. 7'de Provatidis'in z eksenini ekleyerek geliştirmeye çalıştığı mekanizma görülmektedir. Motor hızını değiştirmeden kütlelerin yörüngelerini değiştirerek itme kuvveti oluşturulmaya çalışılmıştır.

Dean drive, Tolchin'in mekanizması ve benzeri birçok çalışma ve patent bulunmaktadır. Bu çalışmaları Prof Ivan Loukanov çalışmasında [2] derlemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Dengelenmemiş kütlelerin belirli frekanslarda hareketlerinin kontrol edilmesi ve Bu dengelenmemiş kütlelerin bağlı bulundukları sistem üzerindeki toplam etkileri incelenmektedir. Dairesel hareket sırasında oluşan kuvvetlerden lineer hareket elde eden bir sistem tasarlamak ve tasarlanan sistemin maksimum itme kuvvetine ulaşması için sistem parametre optimizasyonu amaçlanmıştır.

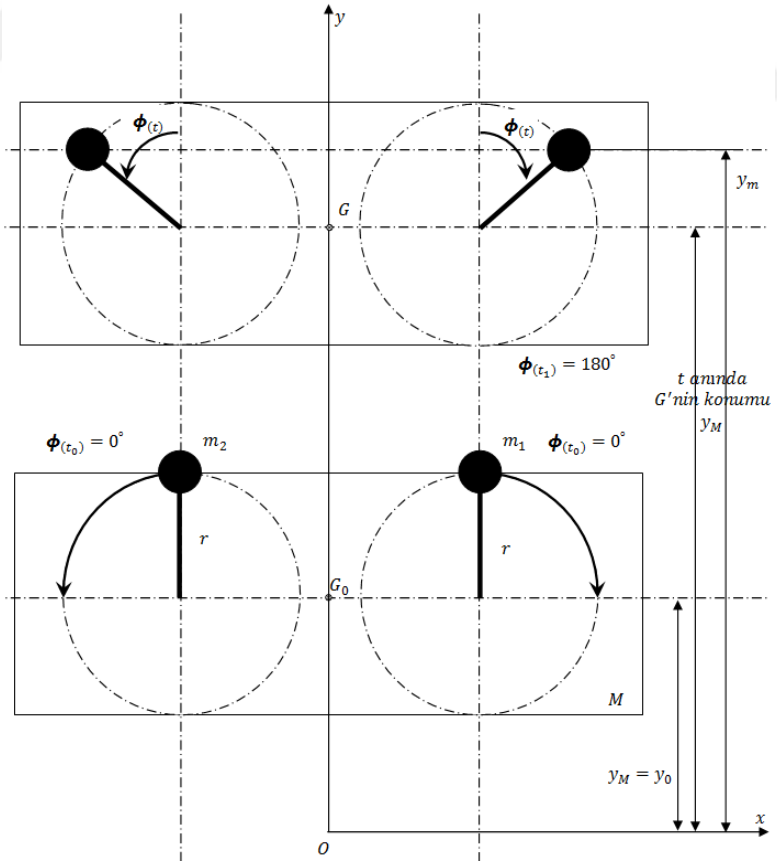
1.3 Hipotez

Bilgisayar ortamında yapılan testler sonucunda bir deney tasarımı hazırlanabilir ve dairesel hareket sırasında oluşan kuvvetlerden lineer hareket elde edilebilir. Tasarlanan sistemin maksimum itme kuvvetine ulaşması için sistem parametreleri optimize edilebilir.

BÖLÜM 2

ATALET SÜRÜCÜSÜ – INERTIAL DRIVE

Jiroskop veya dönen kütlelerin ataletinden yararlanan birçok çeşit atalet yönlendirici bulunmaktadır. Bu mekanizmaların temelinde 2 adet m kütle G'ye eşit uzaklıktaki dönme merkezleri etrafından birbirlerine zıt yönde dönmektedir. Hareket vektörlerinin x eksenindeki bileşenleri, kütleler aynı olduğu ve dönüşleri zıt yönde olduğu için birbirlerini dengelemekte, G, x ekseninde hareket etmemektedir.



Şekil 2. 1 Sürücünün Üstten Görünümü

2.1 Hareketin Denklemi

t=0 Anında mekanizmanın ağırlık merkezi G_0 noktasındadır. m kütlelerinin atalet kuvveti sistemin statik sürtünmesinden fazla olduğu zaman sistem hareket edebilmektedir.

m Kütlelerinin x eksenindeki kuvvet vektörleri, kütleler eşit ve zıt yönlü hareket yaptığı için birbirlerini eşitlemekte ve atalet sürücünün x ekseninde toplam kuvveti sıfırlanmaktadır. Bu sebeple M kütlesi x'te hareket etmediği için, M yüklesinin hareketini incelerken, m kütlelerin y ekseninde yaptığı toplam atalet kuvveti $-2m\ddot{y}_m$ kadar olacaktır.

$$|v_m| = \sqrt{(x_m^2 + y_m^2)} \tag{2.1}$$

$$Mv_M = M\ddot{y}_M \tag{2.2}$$

Newton'un 2. Yasası (F=ma) ile etkileştirildiğinde:

$$M\ddot{y}_M = -2m\ddot{y}_m - F_f \tag{2.3}$$

$$y_m = y_M + r\cos(\phi) \tag{2.4}$$

$$\omega = \dot{\phi} \tag{2.5}$$

$$\dot{y}_m = \dot{y}_M + rw(-sin\phi)_m \tag{2.6}$$

$$\ddot{y}_m = \ddot{y}_M + r(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi) \tag{2.7}$$

(2.7) ifadeyi ve (2.3)'ü eşitlikte yerine koyarsak,

$$(2m + M)\ddot{y}_M = \underbrace{-2mr(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi)}_{F_m} - F_f \tag{2.8}$$

$$\lambda = \frac{-2mr}{2m+M} \tag{2.9}$$

Eşitliğin iki tarafınıda (2m+M)'e bölersek,

$$\ddot{y}_M = \lambda(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi) - \frac{F_f}{2m+M} \tag{2.10}$$

$$F_{atalet} = -2mr(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi)$$

$$= (2m + M)\,\lambda(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi) \tag{2.11}$$

2.2 Sürtünme

Sistemin hareket edebilmek için yenmesi gereken sürtünmeler.

2.2.1 Statik sürtünme:

$$F_s \leq F_{s,max} \equiv \mu_s N \tag{2.12}$$

2.2.2 Kinetik sürtünme:

$$F_k = \mu_k N \tag{2.13}$$

2.2.3 Sürtünme katsayıları arasındaki genel ilişki:

$$\mu_s > \mu_k \tag{2.14}$$

Sürtünme sebebi ile sistem üzerindeki kinetik enerji sürtünme işine dönüşecektir. V_0 Hızı ile düz bir eksen üzerinde hareket eden objenin alabileceği maksimum mesafe:

$$iş = W = Fx = \Delta E_k = m(rw)^2 \tag{2.15}$$

$$\Delta E_k = \Delta(\frac{1}{2}mV^2) \tag{2.16}$$

$$y_{max} = \frac{V^2}{2} \tag{2.17}$$

$$mg\mu_k y_{max} = \frac{1}{2mV^2} \tag{2.18}$$

$$y_{max} = \frac{V^2}{2g\mu_k} \tag{2.19}$$

BÖLÜM 3

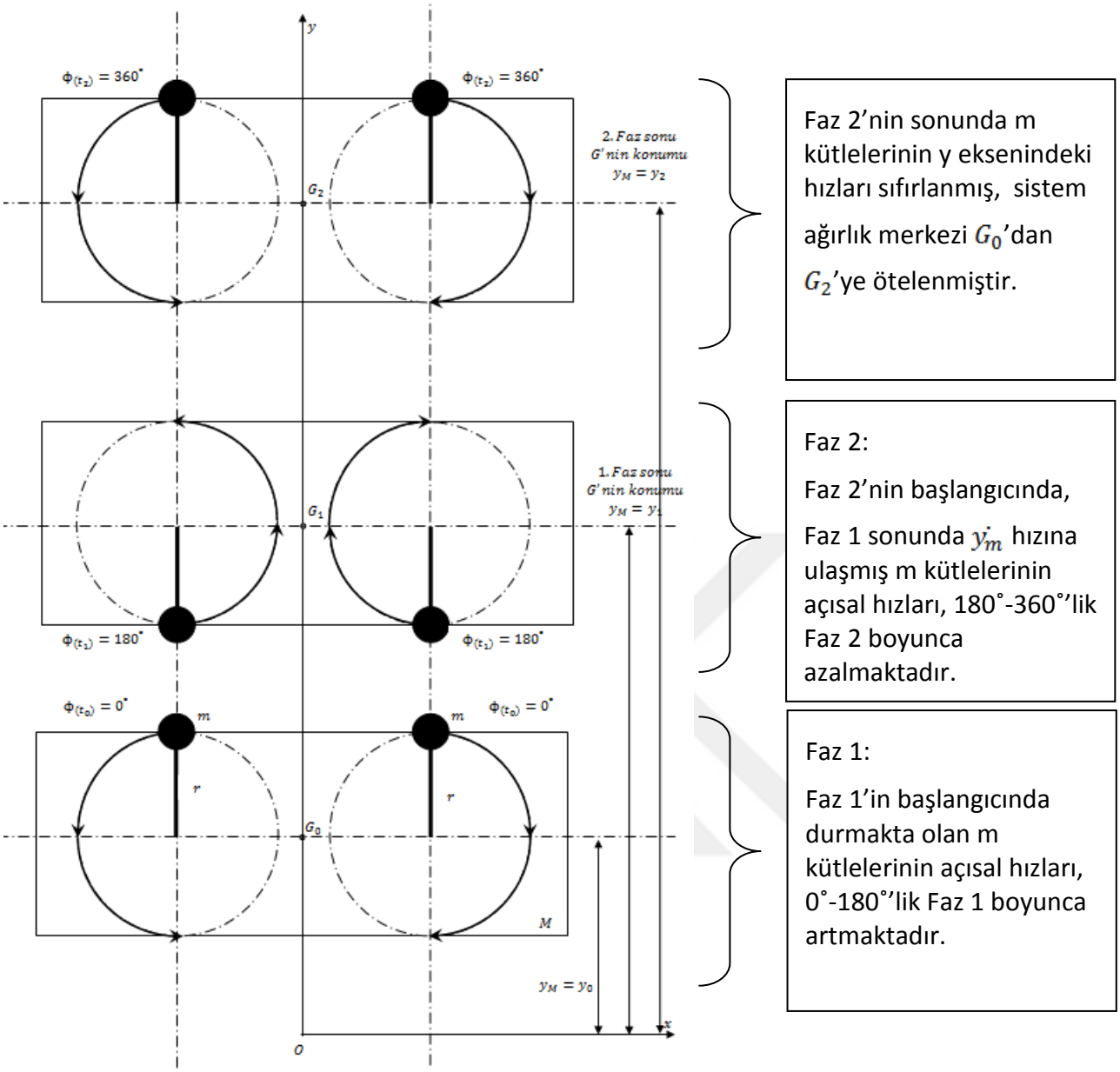
ATALET SÜRÜCÜSÜ'NÜN TASARIM PRENSİBİ

3.1 Genel

Bu bölümdeki amacımız, M Kütleli gövdeli atalet sürücü üzerinde, m kütlelerini tutan kolların bağlı bulundu şaftların üzerindeki zamana bağlı açısal hızların denklemlerini oluşturmaktır. $\omega(\phi)$ veya $\omega(t)$, 360°'lik çevrimde $\phi \in [0,2\pi]$ periyodik olarak tekrarlanmaktadır.

Tasarımdan istenenler:

- Atalet sürücüsünün başlangıç pozisyonunda hareketsiz olması
- Mekanizma çalışması sonucu sadece ileri yönde hareket oluşması
- Aynı çevrimin sürekli devam etmesi



Şekil 3. 1 Atalet sürücüsünün çevrimi

3.2 Faz 1: Motorun hızlanması

Bu faz başlangıç açısı olan 0˚ ile 1.Fazın sonu olan 180˚ derece aralığındadır. Bu fazın başlangıcında m1 ve m2 kütleleri y ekseni üzerinde, y ekseni ile 0˚ açı yapmaktadır. Bu fazda Şekil 3.1'de belirtildiği üzere, açısal ivme pozitif(+)'tir. Açısal hız zamana bağlı olarak artacaktır.

$(\phi_i, t = t_i = 0), (\phi_0, t = 0), \omega = \dot{\phi}$

$$\phi(t) = \phi_i + \omega_i t + \frac{\dot{\omega}}{2} t^2 \tag{3.1}$$

$$\omega(t) = \omega_i + \dot{\omega} t \tag{3.2}$$

(3.1) ve (3.2) numaralı eşitlikleri kullanarak,

$$\omega(t) = (\omega_i{}^2 + 2\dot{\omega}(\phi - \phi_i))^{1/2} \qquad \phi_i \leq \phi \leq \phi_0 \tag{3.3}$$

$m_1 = m_2 = m$

m Kütlelerinin ivmelenmesiyle oluşan etki kuvvetine, atalet sürücüsünün gövdesi zıt yönde tepki kuvveti ile karşılık verecektir.

Eşitlik:

$$F = M\ddot{y}_M = -2m\ddot{y}_m \tag{3.4}$$

m Kütlelerinin 180˚'lik hareketi t anı boyunca kat etmesi sırasında yapılan iş:

$$W = FX \tag{3.5}$$

(3.4) ve (3.5) numaralı eşitlikleri kullanarak;

$$W_{m1+m2(\phi=0-180)} = -2m\ddot{y}_m(y_{\mathrm{m}(\phi=180)} - y_{\mathrm{m}(\phi=0)}) \tag{3.6}$$

$$W_{M(\phi=0-180)} = M\ddot{y}_M(y_{\mathrm{M}(\phi=180)} - y_{\mathrm{M}(\phi=0)}) \tag{3.7}$$

$$W_{m1+m2(\phi=0-180)} = W_{M(\phi=0-180)} \tag{3.8}$$

3.2.1 M Kütlesinin Konum, Hız, İvme Denklemleri:

İvme:

Sürtünmenin olmadığı ortam için denklem (2.9) ve (2.10)'u tekrar ele alalım, $F_f = 0$,

$$\ddot{y}_M = \lambda(\omega^2(-cos\phi) - \dot{\omega}sin\phi) \tag{3.9}$$

Hız:

Atalet sürücüsünün gövdesi M'in hız denklemini (3.9) numaralı denklemin integralini alınarak bulunur:

$$\dot{y}_M = V_0 + \lambda w(sin\phi_0 - sin\phi) \tag{3.10}$$

Hız:

Birinci Fazın sonunda, m kütleleri 180˚'lik hareketi yaptığında bildiğimiz değerleri yerlerine koyarak denklemin sağlamasını yapalım:

$$y_0 = 0, V_0 = 0, \phi_0 = 0^\circ, \phi = 180^\circ$$

$$\dot{y}_M = V_0 + \lambda w(sin\phi_0 - sin\phi)$$

Hız:

$$= 0 - \frac{2mrw(0-0)}{2m+M} = 0m/s$$

Konum:

Atalet sürücüsünün gövdesi M'in konum denklemini (3.10) numaralı denklemin integralini alınarak bulunur:

$$y_1 = y_M = y_0 + V_0 t + (\lambda w sin\phi_0)t + \lambda(cos\phi - cos\phi_0) \tag{3.11}$$

Hız:

Birinci Fazın sonunda, m kütleleri 180˚'lik hareketi yaptığında, bildiğimiz değerleri yerlerine koyarak denklemin sağlamasını yapalım:

$$y_0 = 0, V_0 = 0, \phi_0 = 0^{\circ}, \phi = 180^{\circ}$$

$$y_1 = 0 + 0 + 0 - \left(-\frac{2mr}{2m+M}\right)(1+1) = \frac{4mr}{2m+M}$$

3.2.2 m Kütlesinin Konum, Hız, İvme Denklemleri:

1. Fazın sonunda m kütlelerinin konum, hız ve ivme denklemlerini m_1 ve m_2 kütlesi için ayrı ayrı eşitlikleri oluşturarak inceleyeceğiz.

Birinci Fazın sonunda, m kütleleri 180˚'lik hareketi yaptığında, bildiğimiz değerleri yerlerine koyarak denklemlerin sağlamasını yapalım:

Konum:

m1 kütlesinin konumunu birinci fazın başında p_m1_0, birinci fazın sonunda p_m1_1 olarak adlandırırsak;

$$p_{m1} = y_M + \mathrm{rcos}(\phi) + rsin(\phi) \tag{3.12}$$

t=0 anında:

$$p_m1_0 = y_{M0} + \mathrm{rcos}(0) + rsin(0) = \mathrm{r},$$

t=1 anında:

$$p_m1_1 = y_{M1} + rcos(180) + rsin(180) = y_{M1} - \mathrm{r} = \frac{4mr}{2m+M} - r$$

m2 Kütlesinin konumunu birinci fazın başında p_m2_0, birinci fazın sonunda p_m2_1 olarak adlandırırsak;

$$p_{m2} = y_M + \mathrm{rcos}(-\phi) + rsin(-\phi) = y_M + \mathrm{rcos}(\phi) - rsin(\phi) \tag{3.13}$$

t=0 anında:

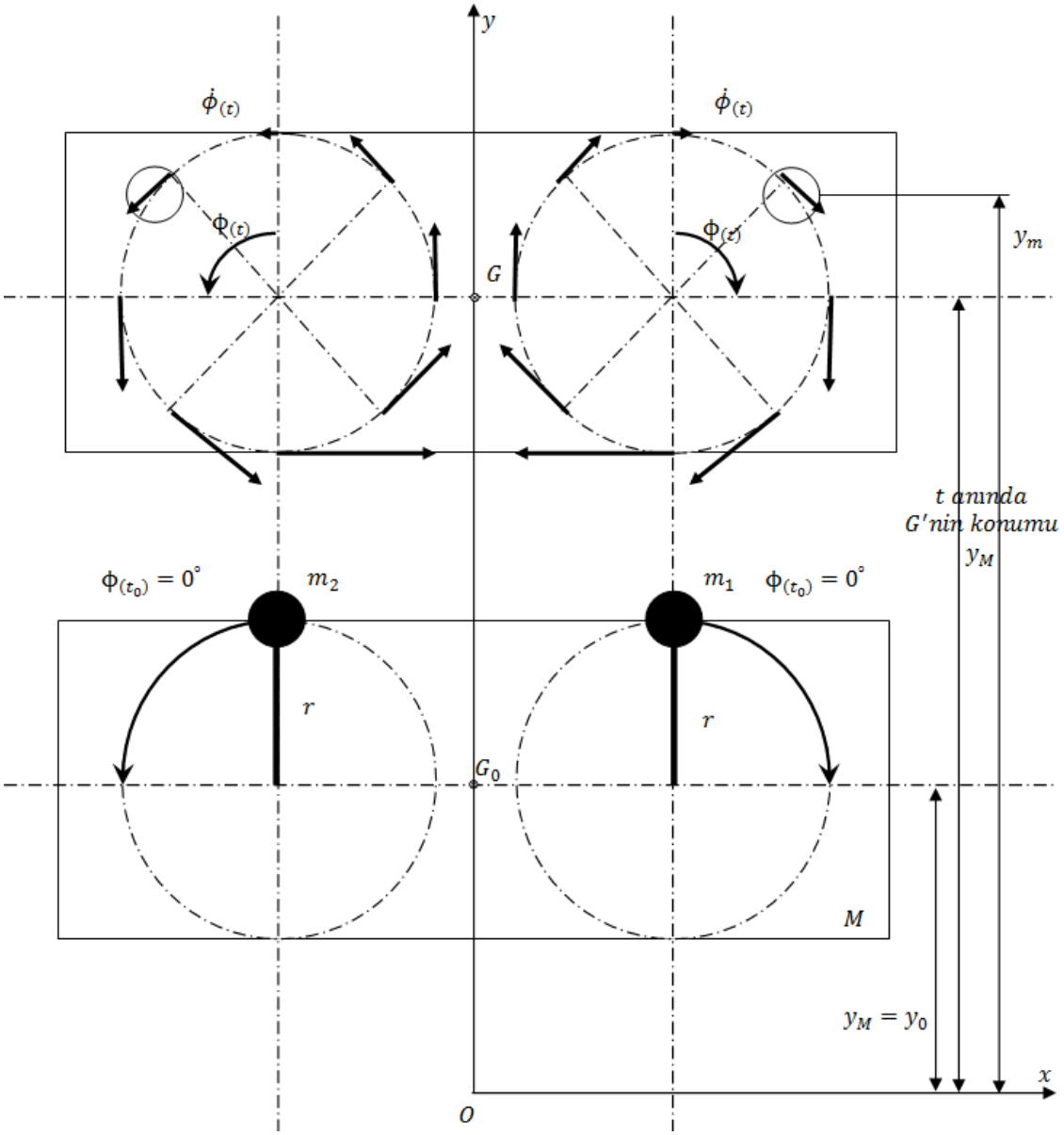
$$p_m2_0 = y_{M0} + \mathrm{r}\cos(0) - r\sin(0) = \mathrm{r},$$

t=1 anında:

$$p_m2_1 = y_{M1} + r\cos(180) - r\sin(180) = y_{M1} - \mathrm{r} = \frac{4mr}{2m+M} - r$$

Hız:

m_1 ve m_2 kütlelerinin pozisyon denklemlerinin(3.12-3.13) türevini alarak (3.14-3.15)hız denklemlerini elde ediyoruz,



Şekil 3. 2m Kütlelerinin açısal hız vektörlerinin gösterimi

$$v_{m1} = \dot{y}_M + rw(\cos\phi - sin\phi) \quad (3.14)$$

$$v_{m2} = \dot{y}_M + rw(\cos\phi - sin\phi) \quad (3.15)$$

İvme:

m_1 ve m_2 kütlelerinin hız denklemlerinin(3.14-3.15) türevini alarak alttaki ivme denklemlerini elde ediyoruz,

$$a_m = a_{m1} = a_{m2} = \ddot{y}_M + r(\dot{\omega}(sin\phi + \cos\phi) + \omega^2(\cos\phi - sin\phi) \quad (3.16)$$

3.3 Faz 2: Motorun yavaşlaması

Bu faz başlangıç açısı olan 180˚ ile 1.Fazın sonu olan 360˚ derece aralığındadır. Bu fazın başlangıcında m_1 ve m_2 kütleleri y ekseni üzerinde, y ekseni ile 180˚ yapmaktadır. Bu fazda Şekil 3. 2'de belirtildiği üzere, açısal ivme negatif(-)'tir. Açısal hız zamana bağlı olarak azalacaktır.

$(\phi_1 = 180), \omega = \dot{\phi}$

3.3.1 Enerjinin Korunumu

$$E_k = 1/2[M\dot{y}_M^2 + 2mv_m^2] \quad (3.17)$$

$$\Delta E_k = E_{k1} - E_{k0}$$

$$= 1/2[M\dot{y}_M^2 + 2m(\dot{y}_M + rw(\cos 180 - sin180))^2] - 1/2[M\dot{y}_M^2 + 2m(\dot{y}_M + rw(\cos 0 - sin0))^2]$$

$$= m[(\dot{y}_{M1} + rw(\cos 180 - sin180))^2 - (\dot{y}_{M0} + rw(\cos 0 - sin0))^2]$$

$\dot{y}_M$ hızı $\phi = 360^\circ$ iken aynı zamanda 2. Çevrimin 1. fazının başlangıç anında $M, m1\ ve\ m2$'nin hızı olacaktır.

1. Fazın başında $\phi_0 = 0^\circ$ iken, *M*, m_1 ve m_2 kütlelerinden oluşan sistem üzerindeki toplam kinetik enerji:

$$E_{k0} = 1/2[M\dot{y}_M^2 + 2m(\dot{y}_M + rw(\cos 0 - sin0)\ )^2]$$

Mekanizma hareketine ilk başladığında, ilk çevrimi ele alacak olursak,

$\dot{y}_M = 0$ Ve $v_m = 0$,

$E_{k0} = 0\ joule = kgm^2/s^2$

1. Fazın sonunda $\phi_1 = 180^\circ$ iken, *M*, m_1 ve m_2 kütlelerinden oluşan sistem üzerindeki toplam kinetik enerji, $\dot{y}_M$ =0 olduğu için:

$$E_{k1} = 1/2[M\dot{y}_M^2 + 2m(\dot{y}_M + rw(\cos 180 - sin180)\ )^2]$$

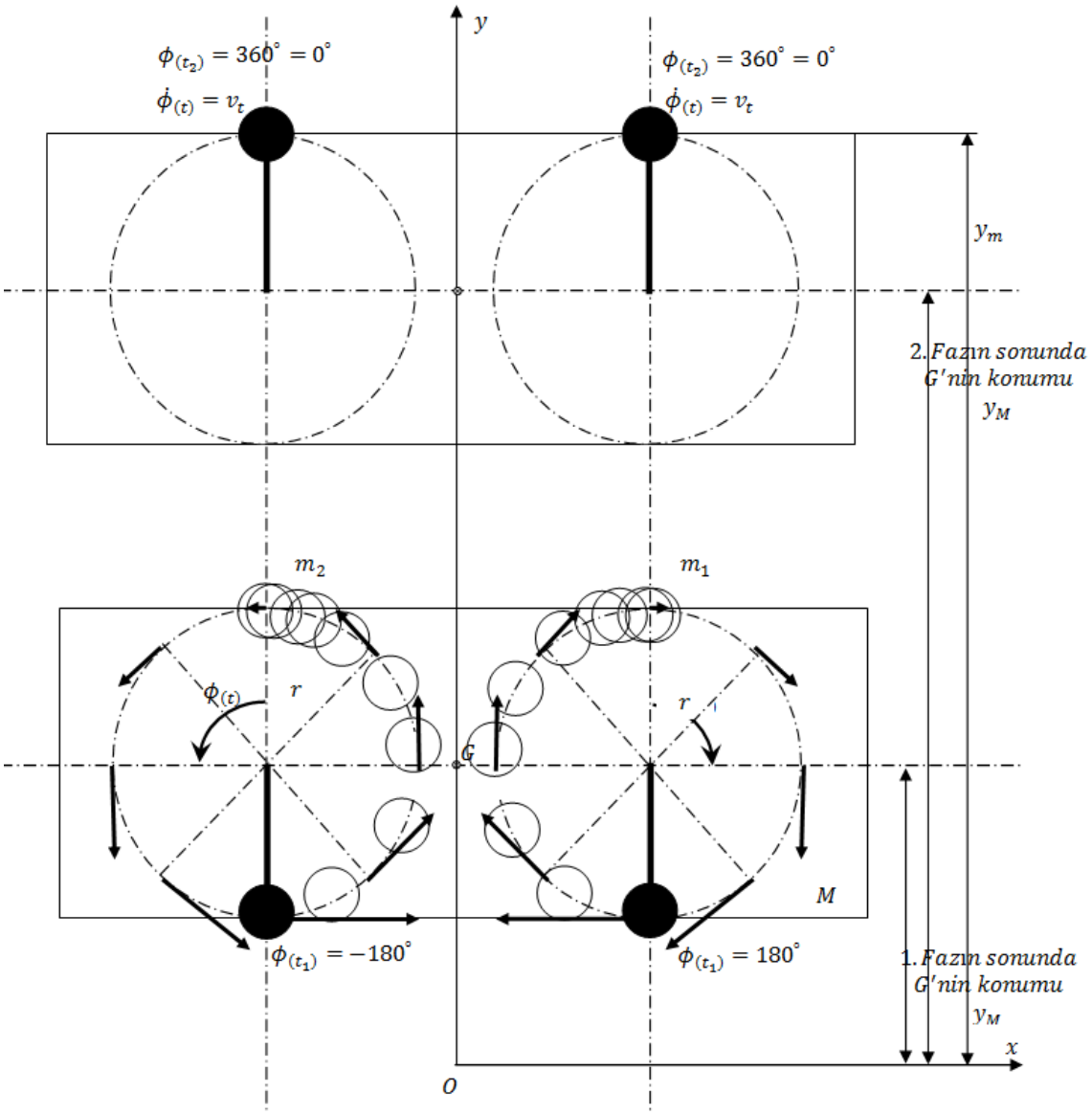
$$= m(rw(\cos 180 - sin180)\ )^2$$

$$= m(rw)^2$$

1. Fazın sonunda $\phi_1 = 180^\circ$ iken, *M kütlesi anlık olarak durduğu için üzerinde kinetik enerji bulunmamaktadır.* Bu sırada m_1 ve m_2 kütlelerinin hızlarının y bileşeni 0 iken, x bileşeni $\pm \boldsymbol{rw}$ kadardır. 1. Fazın başı ile sonu arasında oluşan bu $\boldsymbol{\Delta E_k}$, sistemin 2. Fazdaki toplam hareketinin enerjisi olarak kullanılacaktır.

$$\Delta E_k = m(rw)^2 \qquad (3.20)$$

$180^\circ - 360^\circ$ Hareket aralığında v hızı ile hareket eden m kütlelerinin hareketini engellemek için motor yavaşlamaktadır. Bu sırada m kütlelerinin hareketine ters yönde motor kuvvet uygulanmaktadır. Gövdeye bağlı motorun uyguladığı bu dirençten oluşan kuvvete, atalet sürücüsünün gövdesi zıt yönde tepki kuvveti ile karşılık verecek ve *M*, m_1 ve m_2 kütleleri y ekseninde aynı yöne ötelenecektir.



Şekil 3. 3 Birinci faz sonunda, t1 anında m kütlesi üzerindeki kinetik enerji

Eşitlik:

3.3.2 Birinci Faz Boyunca Sisteme Verilen Toplam Enerji, Yapılan İş:

$$\sum E_{1.Faz} = W_M + W_{m1} + W_{m2} + W_{fM} + W_{fm1} + W_{fm2} + \Delta E_{k(M)} + \Delta E_{k(m1)} + \Delta E_{k(m2)}$$

(3.21)

Bu çalışmada sürtünmelerin olmadığını kabul ediyoruz.

$$W_{fM}, W_{fm1}, W_{fm2} = 0$$

$$\Delta E_{k(M)} = E_{k(M,\phi=180)} - \Delta E_{k(M,\phi=0)}$$

$$= 0 - 0 = 0$$

$$\Delta E_{k(m1+m2,\phi=180-0)} = E_{k(m1+m2,\phi=180)} - \Delta E_{k(m1+m2,\phi=0)}$$

$$= m(rw)^2$$

3.3.3 İkinci Faz Boyunca Sisteme Verilen Toplam Enerji, Yapılan İş:

Birinci faz sonunda m1 ve m2 kütleleri üzerinde biriken toplam kinetik enerji ile sistemde bir enerji kaybı olmadığı için, sisteme müdahale edilmez ise dönme hareketi sabit hızla sonsuza kadar devam edecektir(Bölüm 5.6.3'te sistem 2. Faz olmadan simule edilmiştir). 2. Fazda bu kinetik enerji ile sistemin öteleme hareketi yapmasını sağlayacağız.

$$\sum E_{2.Faz} = m(rw)^2$$

2. Fazın sonunda yapılan işler ve sistem üzerinde olan kinetik enerji,

$$\sum E_{2.Faz} = W_M + W_{m1} + W_{m2} + W_{fM} + W_{fm1} + W_{fm2} + E_{k(M)} + E_{k(m1)} + E_{k(m2)}$$

(3.22)

$$W_{m1+m2(\phi=360-180)} = -2m\ddot{y}_m(y_{m(\phi=360)} - y_{m(\phi=180)}) \quad (3.23)$$

$$W_{M(\phi=360-180)} = M\ddot{y}_M(y_{M(\phi=360)} - y_{M(\phi=180)}) \quad (3.24)$$

$$W_{m1+m2(\phi=360-180)} = W_{M(\phi=360-180)} \quad (3.25)$$

Bu çalışmada sürtünmelerin olmadığını kabul ediyoruz.

$$W_{fM}, W_{fm1}, W_{fm2} = 0$$

2. Fazın sonunda M ve m kütlelerinin hızları eşitlenmektedir. Sistemdeki toplam kinetik enerji:

$$E_{k(M,\phi=360)} = 1/2[M\dot{y}_M^2] \quad (3.26)$$

$$E_{k(m1+m2,\phi=360)} = m(\dot{y}_M + rw(\cos 360 - sin360)\,)^2]$$

$$= m\dot{y}_M{}^2$$

$$m(rw)^2 = W_M + W_{m1} + W_{m2} + W_{fM} + W_{f1} + W_{f2} + \Delta E_{k(M)} + \Delta E_{k(m1)} + \Delta E_{k(m2)}$$

$$= M\ddot{y}_M\left(y_{\mathrm{M}(\phi=360)} - y_{\mathrm{M}(\phi=180)}\right) - 2m\ddot{y}_m\left(y_{\mathrm{m}(\phi=360)} - y_{\mathrm{m}(\phi=180)}\right) + 0 + 0 + 0 + E_{k(M,\phi=360)} + E_{k(m1+m2,\phi=360)}\, m(rw)^2$$

$$= M\ddot{y}_M\left(y_{\mathrm{M}(\phi=360)} - y_{\mathrm{M}(\phi=180)}\right) - 2m\ddot{y}_m\left(y_{\mathrm{m}(\phi=360)} - y_{\mathrm{m}(\phi=180)}\right) + 1/2[M\dot{y}_M^2] + m\dot{y}_M{}^2$$

$$= 1/2[M + 2m]\dot{y}_M{}^2$$

$$\Delta \mathrm{V} = \dot{y}_M = \sqrt{2m(rw)\text{^}2/[M + 2m]} \qquad (3.27)$$

BÖLÜM 4

ATALET SÜRÜCÜSÜ'NÜN TASARIM VE İMALATI

Atalet sürücüsünün amacı, sürücüyü oluşturan tüm kompanentlerin, çevrim sonunda bir arada aynı yöne doğru hızlanmaları ve yol kat edebilmeleridir. Ana gövdeye bağlı kolların kütlelerin birinci faz sonundaki toplam kinetik enerjilerinin sistemi ikinci fazda hareket ettirmesi prensibi ile çalışmaktadır.

Tasarım ve imalatımızı bu prensibi göz önünde bulundurarak gerçekleştireceğiz.

4.1 Atalet Sürücüsünün Temel Tasarım Kriterleri:

Amacımız sisteme belirli bir yönde hız kazandırarak yol almasını sağlamaktır. (3.27) Denklemi ele alalım;

$$\Delta V = \sqrt{2m(rw)\text{^}2/[M + 2m]}$$

Şekil 3. 2 temel tasarımı ele alacak olursak, tasarım kriterleri belirlenebilir.

- x ekseninde oluşan kuvvetlerin birbirini tam olarak sönümleyebilmesi için m1 ve m2 kütleleri eşit olmalı.
- m1 ve m2 kütleleri ile oluşan kinetik enerji doğru orantılıdır. Sistem üzerindeki etkilerini inceleyebilmek bu kütleleri arttırılabilir tasarlamalıyız.
- Kinetik enerjisini etkileyen bir diğer faktör m kütlelerinin "V" hızıdır. $V = wr$. Açısal hızı doğru kontrol edebilmek için enkoderli servo motor kullanmak günümüz teknolojileri arasında en mantıklı olandır.
- M Kütlesi, dairesel hareket yapmayan, platform, redüktör, kontrol ünitesi, güç ünitesi, kablo ve mekanik bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. M Kütlesi,

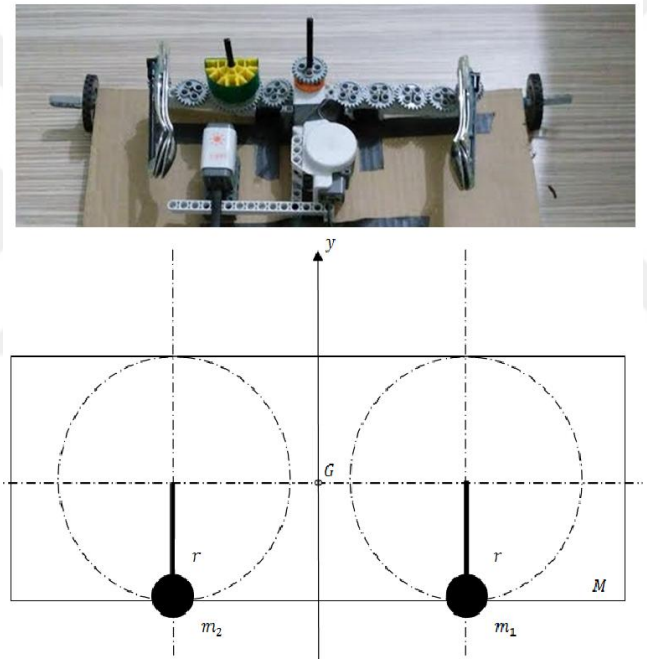
eşitlikte payda kısmında olması sebebi ile sistemin hızının olabildiğince kısa sürede artabilmesi amacıyla olabildiğince düşük olmalıdır.

- Amacımız deneysel, ekonomik, ergonomik bir sistem oluşturmak olduğu için elimizdeki şartlarla yukarıdaki şartları sağlayan en optimize sistemi oluşturmalıyız.

4.2 Atalet Sürücüsünün Komponentlerinin Seçimi:

Sistemin hafif olabilmesi için olabildiğince az parçadan oluşması ve bileşenlerin gerekli teknik şartları sağlaması gerekmektedir.

İlk model denemelerinde kullandığım Lego Mindstorm serisi komponentlerde bazı teknik sorunlar sebebi ile sistem çalışmadı. Sorunları sıralayacak olursak:

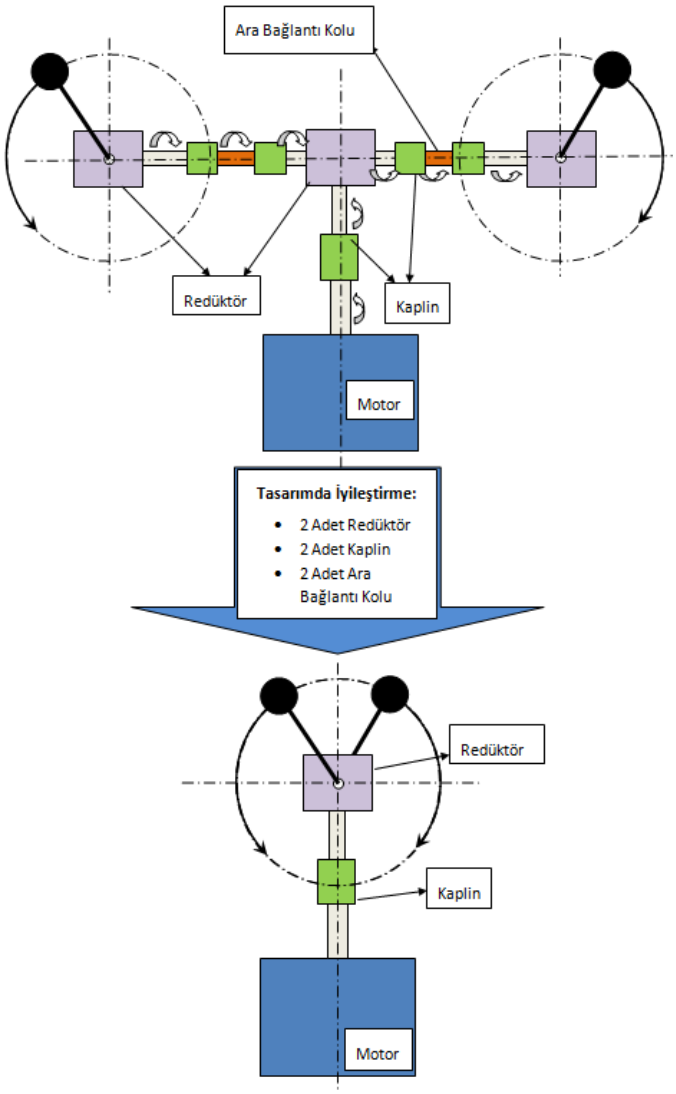


Şekil 4. 1 Atalet sürücüsünün komponentlerinin seçimi

- Aktarma dişlilerinin yataklamaları ve aralarındaki boşluklar konum kaybına sebep oluyordu.
- m1 ve m2 kütlelerinin bağlı bulunduğu millerin burulma mukavemetleri yetersiz olduğu için salınıma sebep oluyordu.
- Sistemin güç kaynağı, PLC ve sürücüsünün bulunduğu elektronik donanımın tepki süreleri yeteri kadar hızlı olmadığı için sistem zamanla pozisyon kaybediyordu.

- Motor deneme için gerekli hıza çıkacak güçte değildi.

Şekil 1.3.3'teki Tolchin mekanizmasının tasarımı daha az kompanent içermektedir. Bu tasarım örnek alınarak, bir önceki modelde yaşanan teknik sıkıntıları yaşamamak için endüstriel kompanentlerden oluşan, Servo motorlu ve PLC'li yeni bir tasarım yapmaya karar verdim.



Şekil 4. 2 Atalet sürücü tasarım iyileştirmesi

PLC-Servo motor pozisyonlama otomasyonu kapsamında yaptığım araştırmalar sırasında Bursa Coşkunöz Eğitim Vakfından Teknik öğretmen Dinçer YILMAZ'ın eğitim videoları [3]kompanent seçimi konusunda fikir edinmemi sağladı.

Çeşitli otomasyon firmaları ile yaptığım görüş alışverişlerinden sonra Bülent KARAYAZI'nın "Endüstriyel Kontrol" adlı kitabı da inceledikten sonra, sistemi oluşturan motor, sürücü ve PLC'yi Delta firmasından almaya karar verdim.

4.2.1 Servo Motor ve Sürücü Seçimi:

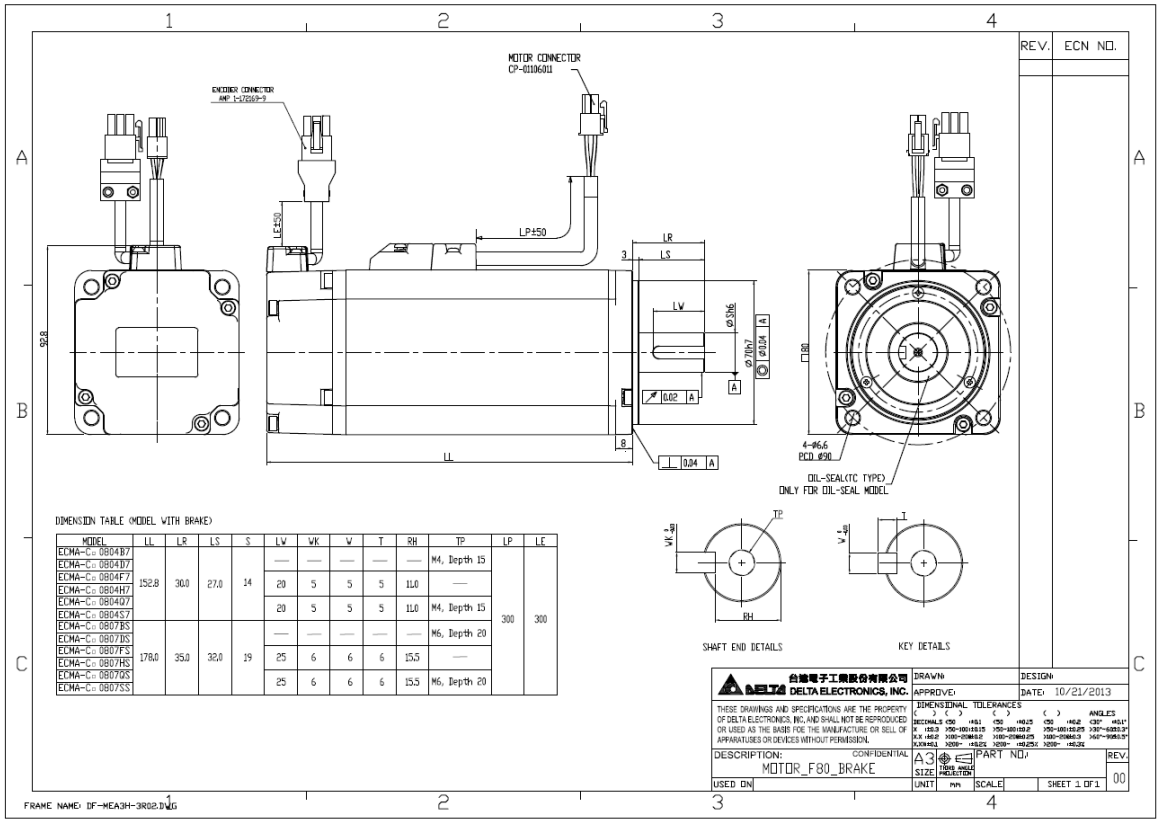
Her çevrimde belirli bir açıda durup tekrar hareket etmeye başlayan bir sistem tasarlanmaktadır. Çevrim sonunda aynı pozisyonda aynı açısal ivme, hız ve konumu sağlayabilecek stabilitede bir sistem ve yapılacak denemeler sırasında bu değerlerin kolaylıkla değiştirilebilmesi amacıyla, sistemde servo motor kullanımına karar verildi.

Servo motor teknik özellikleri EK-A'da belirtilmiştir.

Bu serinin en küçük boyutlu ve maliyeti en uygun modelleri olan 1.27Nm'lik ECMA-C10604FS ile 2.39Nm'lik ECMA-C10807FS arasında seçim yapmam gerekti.

Boyutsal ve fiyat anlamında fazla bir fark olmadığı için Tork Değeri yüksek olan model seçildi.

ECMA-C10807GS AC Servo Motor 750W 2500PPR 3000rpm Frensiz 2.39 Nm.



Şekil 4. 3 ECMA-C10807GS AC Teknik resmi

Servo Motor Specifications

Low Inertia Series - 220V Series

ECMA Series	C104	C △ 04	C △ 06		C △ 08		C △ 09		C △ 10		C △ 13
	0F	01	02	04 □ S	04	07	07	10	10	20	30
Rated output power (kW)	0.05	0.1	0.2	0.4	0.4	0.75	0.75	1.0	1.0	2.0	3.0
Rated torque (N-m)*1	0.159	0.32	0.64	1.27	1.27	2.39	2.39	3.18	3.18	6.37	9.55
Maximum torque (N-m)	0.477	0.96	1.92	3.82	3.82	7.16	7.14	8.78	9.54	19.11	28.65
Rated speed (r/min)	3000						3000		3000		3000
Maximum speed (r/min)	5000						3000		5000		4500
Rated current (A)	0.69	0.90	1.55	2.6	2.6	5.1	3.66	4.25	7.3	12.05	17.2
Maximum current (A)	2.05	2.70	4.65	7.8	7.8	15.3	11	12.37	21.9	36.15	47.5
Power rating (kW/s)	12.27	27.7	22.4	57.6	24.0	50.4	29.6	38.6	38.1	90.6	71.8
Rotor moment of inertia ($x10^{-4}$kg-m^2)	0.0206	0.037	0.177	0.277	0.68	1.13	1.93	2.62	2.65	4.45	12.7
Mechanical time constant (ms)	1.2	0.75	0.80	0.53	0.74	0.63	1.72	1.20	0.74	0.61	1.11
Torque constant-KT (N-m/A)	0.23	0.36	0.41	0.49	0.49	0.47	0.65	0.75	0.44	0.53	0.557
Voltage constant-KE (mV/(r/min)	9.8	13.6	16	17.4	18.5	17.2	24.2	27.5	16.8	19.2	20.98
Armature resistance (Ohm)	12.7	9.30	2.79	1.55	0.93	0.42	1.34	0.897	0.20	0.13	0.0976
Armature inductance (mH)	26	24.0	12.07	6.71	7.39	3.53	7.55	5.7	1.81	1.50	1.21
Electrical time constant (ms)	2.05	2.58	4.3	4.3	7.96	8.36	5.66	6.35	9.3	11.4	12.4
Insulation class	Class A (UL), Class B (CE)										
Insulation resistance	100MΩ , DC 500V above										
Insulation strength	1.8k Vac,1 sec										
Weight (kg)(without brake)	0.42	0.5	1.2	1.6	2.1	3.0	2.9	3.8	4.3	6.2	7.8
Weight (kg)(with brake)	--	0.8	1.5	2.0	2.9	3.8	3.69	5.5	4.7	7.2	9.2
Max. radial shaft load (N)	78.4	78.4	196	196	245	245	245	245	490	490	490
Max. thrust shaft load (N)	39.2	39.2	68	68	98	98	98	98	98	98	98
Power rating (kW/s)(with brake)	--	25.6	21.3	53.8	22.1	48.4	29.3	37.9	30.4	82	65.1
Rotor moment of inertia ($x10^{-4}$kg-m^2)(with brake)	--	0.04	0.19	0.30	0.73	1.18	1.95	2.67	3.33	4.95	14.0
Mechanical time constant (ms)(with brake)	--	0.81	0.85	0.57	0.78	0.65	1.74	1.22	0.93	0.66	1.22
Brake holding torque [Nt-m (min)]*2	--	0.3	1.3	1.3	2.5	2.5	2.5	2.5	8	8	10.0
Brake power consumption (at 20°C)[W]	--	7.3	6.5	6.5	8.2	8.2	8.2	8.2	18.7	18.7	19.0

Şekil 4. 4 ECMA-C10807GS AC Teknik özellkleri

Ağırlık: 3kg

Motor'a karar verildikten sonra diğer bileşenler motorun teknik özelliklerine göre seçilmiş ve tasarlanmıştır.

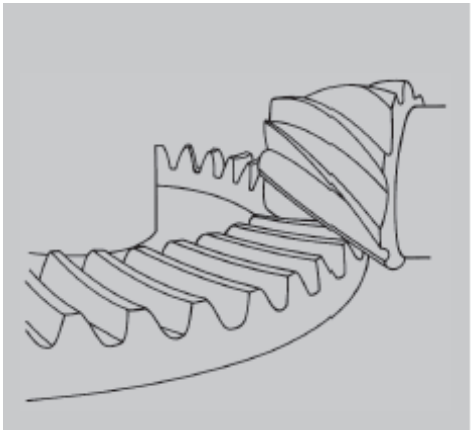
4.2.2 Redüktör Seçimi:

Sistemde kullanmak üzere, servo ile kullanıma uygun bir redüktör seçilmeli.

Küçük kütlelerin pozisyonlarının önemli olması sebebi ile redüktör olabildiğince az boşluklu bir yapıda olmalı.

Harekette sürekli dur kalk olduğu ve kuvvetler yön değiştirdiği için boşluksuz olması önemli. Aksi takdirde redüktör dişlilerinde çarpmadan dolayı deformasyon olabilir.

Bu sebeple helisel dişlili redüktörler tercih sebebidir.



Şekil 4. 5 Redüktör helisel dişli yapısı

Kuvvet aktaran bu bileşenin, sistemin toplam kütlesini arttırmaması amacı ile olabildiğince hafif olması gerekmektedir. Bu sebeple alüminyum gövdeli bir redüktör tercih sebebidir.

Çıkış hareketinin ters yönlü ve çıkışların aynı hızda olması gereklidir.

$$T_2 = \frac{9550 \text{ x } P \text{ x } \eta \ (0{,}95)}{n_2} \quad [Nm] \tag{4.1}$$

2.39 Nm, 0.75 kw'lık bir motor ile süreceğim redüktörün çıkış maksimum torkunu Vogel kataloğundaki formülizasyon ile buluyoruz.

50 Size kategorisindeki oranı en yüksek redüktör 1:4.

Giriş hızının maksimum 3000rpm olduğu göz önünde bulundurulursa, redüktörün çıkış hızı maksimum 750rpm olabilir.

$$T_2 = (9550 \text{ x } 0.75 \text{ x } 0.95)/750$$

$$= 9.0725Nm = 0.924821kgm$$

Bu özellikleri taşıyan bir redüktör serisini Bonfiglioli, Zero-Max markasında buldum fakat tek ürün ithalatını zor olduğu için alternatif olarak bulduğum Vogel marka ürünü distribütöre 09/07/2015 tarihinde sipariş ettim, ürünü 13.10.2015 tarihinde teslim aldım.

Seçilen Model:

Type K

Design: BA20

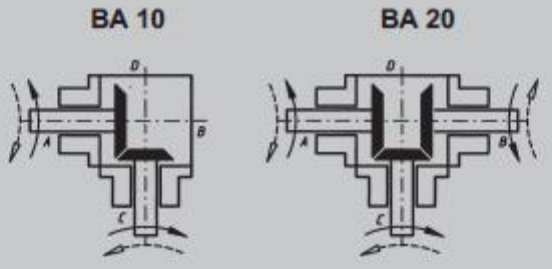
Size: 50

Ratio: 1-4

Ağırlık: 1.7kg

Çizelge 4. 1 Redüktör teknik özellikleri

Typ / Type K, MK

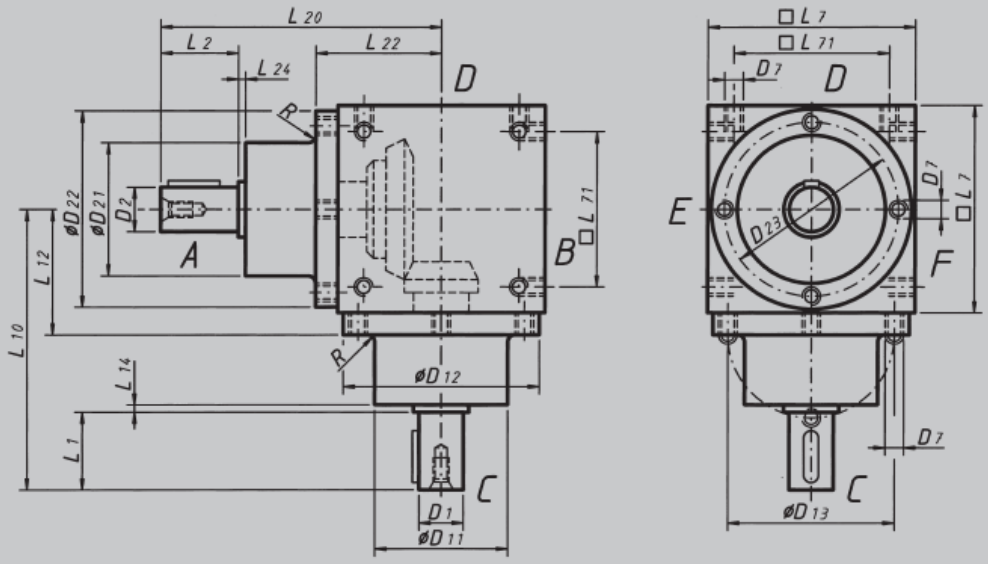


Antriebsdrehz. Input speed n_1 min^{-1}	Abtriebsdrehz. Output speed n_2 min^{-1}	Größe / Size 50		Größe / Size 100		Größe / Size 200		Größe / Size 230		Größe / Size 250	
		Abtriebsdrehmoment / Nominal output torque									
		P KW	T_2 Nm	P KW	T_2 Nm	P KW	T_2 Nm	P KW	T_2 Nm	P KW	T_2 Nm
i = 4,0											
50	12,50	0,02	15	0,05	38	0,12	95	0,23	175	0,37	280
250	62,50	0,10	15	0,25	38	0,60	92	1,11	170	1,77	270
500	125,00	0,18	14	0,48	37	1,15	88	2,16	165	3,14	240
1000	250,00	0,34	13	0,92	35	2,09	80	3,93	150	5,50	210
1500	375,00	0,51	13	1,34	34	2,91	74	5,50	140	7,46	190
2000	500,00	0,63	12	1,62	31	3,56	68	6,81	130	9,16	175
3000	750,00	0,86	11	2,28	29	4,71	60	7,85	100	12,57	160

Typ / Type K

Größe Size	Übersetzung Ratio	D1	D2	D7	D11	D12	D13	D21	D22	D23
50	1 - 2	12_{j6}	12_{j6}	M6	44_{f7}	64,5	54	44_{f7}	64,5	54
	3 + 4									

Typ / Type K



Çizelge 4. 1 Redüktör teknik özellikleri (Devam)

Getriebegröße Gearbox size	50	100	200	230	250	300	370	400	500	600
Gewicht (kg) Bauart 10, 30, 40, 50, 70 Weight (kg) Design 10, 30, 40, 50, 70	1,7	5	12,5	18	25	45	70	100	200	400
Gewicht (kg) ML, MH, MK Bauart 10, 30, 40, 50, 70 Weight (kg) ML, MH, MK Design 10, 30, 40, 50, 70	2	5,5	14	24	35	57	87	135	293	475
Schmiermittelmenge (kg) Lubricant quantity (kg)	0,07	0,15	0,4	0,6	0,8	2	3,5	5	13,5	30

Technical data

VOGEL

		Gearbox size			
		50	100 - 230	250 - 400	500 + 600
Efficiency η	For nominal input power	0,85 ≤ η ≤ 0,94	0,9 ≤ η ≤ 0,94	0,95 ≤ η ≤ 0,96	0,96 ≤ η ≤ 0,98
Housing and flange	Design	Cube formed Attachment thread in the housing-K= 2 x ø			
	Material	Cast iron EN-GJL-250 (EN-JL-1040) or spheroidal graphite iron EN-GJS-400-15 (EN-JS-1040) or EN AC-AlSi10Mg a T6 (EN-AB-43000)			
	Special design	Housing and flanges aluminium Cast steel or welded construction Stainless steel Galvanic coating			
Shaft	Design	Shaft centring DIN 332, sheet 2 With keyway DIN 6885, sheet 1			
	Tolerance	j6 resp. k6			
	Material	C 45 (1.0503) or 42 Cr Mo 4+QT (1.7225)			
	Special design	Stainless steel or chromium coated Shafts without key and keyway Involute spline shaft DIN 5480 and 5482 Spline shaft profile DIN ISO 14			
Hollow shaft	Design	With keyway or without keyway and with shrink disc			
	Tolerance	H7			
	Material	C 45 (1.0503)			
	Special design	Stainless steel Involute spline bore DIN 5480 and 5482 Spline shaft bore profile DIN 5463 Cast bronze design			
Bevel gear set	Design	Klingelnberg Palloid resp. Klingelnberg Zyklo-Palloid spiral teeth Optimized for low noise and high torque Milled teeth, case-hardened and lapped in pairs			
	Material	16 Mn Cr 5 (1.7131) or 17 Cr Ni Mo 6 (1.6587)			
	Special design	To noise or torque optimized gearset ZPG-gearset (case-hardened and teeth fine ground to quality 4)			
Connection hub to shaft	Design	Force-fitted resp. form-fitted Parts are shrunk fitted			
Oil seals	Design	With or without dust lip DIN 3760			
	Material	NBR or Viton			
	Special design	Special oil seals, PTFE, Labyrinth seals			
Bearings	Design	Ball bearings and taper roller bearings			
	Special design	Reinforced bearings for higher radial and axial load			
Lubrication	Design	DIN 51502 mineral grease or oil, speed dependent Advised with your order			
	Mounting position	Dependent to mounting position, see maintenance manual			
	Filling capacity				
	Special design	Mineral and synthetic special grease and oil lubrication Grease and oil for food processing Special high or low temperature oil Forced oil lubrication			
Surface protection	Design	Primer coat			
	Color shade	RAL 7035 Light grey			
	Special design	Primer coat in special colours Galvanic coating			
Noise		approx. 75 dB(A) in 1m distance			
Bearing life time		approx. 20 000 hours by 1500 rpm			
Max. gearbox temperature		80° C (176° F)			

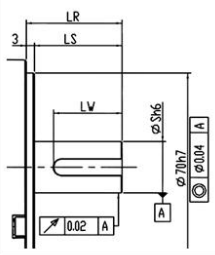
4.2.3 Kaplin Seçimi:

Servo motor ile redüktör arasında güç

Redüktörün giriş milinin çapı 12mm, motorun çıkış mili çapı 19 ve motorun üretiiği maksimum tork 2.39Nm göz önünde bulundurularak Birlik marka GS19 numaralı kaplin sisteme uygun görülmüştür.

Çizelge 4. 2 Kaplin teknik özellikleri

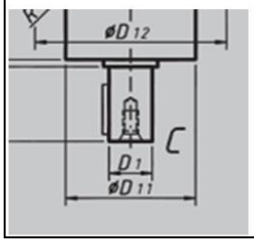
Motor Mil Çapı S 19mm



DIMENSION TABLE (MODEL WITH BRAKE)

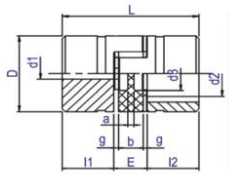
MODEL	LL	LR	LS	S
ECMA-C□ 0804B7	152.8	30.0	27.0	14
ECMA-C□ 0804D7				
ECMA-C□ 0804F7				
ECMA-C□ 0804H7				
ECMA-C□ 0804Q7				
ECMA-C□ 0804S7				
ECMA-C□ 0807BS	178.0	35.0	32.0	19
ECMA-C□ 0807DS				
ECMA-C□ 0807FS				
ECMA-C□ 0807HS				
ECMA-C□ 0807QS				
ECMA-C□ 0807SS				

Redüktör Giriş Mil Çapı D1 12mm



Typ / Type K

Größe Size	Übersetzung Ratio	D1
50	1 - 2	12
	3 + 4	





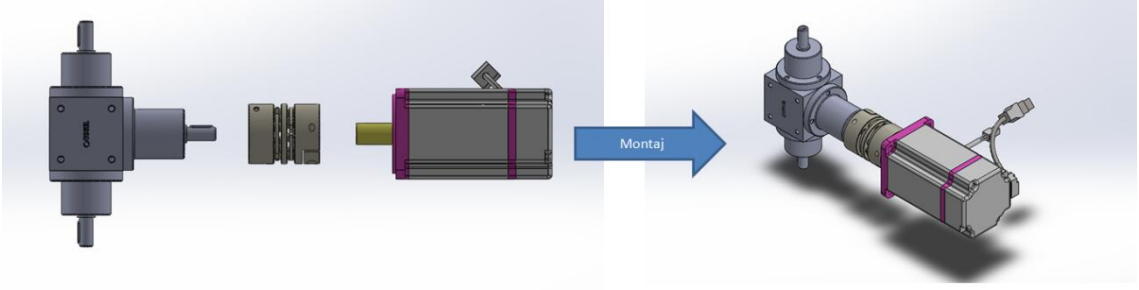
KAPLIN GS	ÖLÇÜLER - mm d1-d2	D	L	l_1 / l_2	Tork Nm	Maks.D evir
GS 9	4-9	20	30	10	5	22500
GS 12	4-12	25	34	11	9	15000
GS 14	6-14	30	35	11	12.5	12700
GS 19	6-24	40	66	25	17	9550

4.3 Kol, Ek Ağırlık ve Taşıyıcı Platform Tasarımı

Tasarlanan sistem M,m1, m2 kütlelerinden oluşmaktadır. m1 ve m2 kütlelerinin üzerlerindeki enerjinin M kütlesi üzerindeki etkileri ölçümlenmek istenmektedir. Sürtünmeli ortamda çalıştırılacak deney düzeneğinden olabildiğince sağlıklı sonuçlar alabilmek için M kütlesini oluşturan motor, redüktör, kaplin, platform ve tekerleklerin olabildiğince hafif olması gerekmektedir.

Motor ve redüktör bu kapsamda mevcut endüstriel ürünler arasından seçilmiştir.

Platform, kol ve ek ağırlıkların tasarımları solidworks programında yapılmıştır. Bu sırada olabildiğince hafif ve kolay imal edilebilir olmaları önceliktir.



Şekil 4. 6 Motor, kaplin, redüktör montajı

4.3.1 Kol Tasarımı

Redüktörün toplam çıkış torku maksimum $0.924821kgm$ olarak hesaplanmıştı.

Redüktörün 2 çıkışı var ve bu çıkışlara bağlı kollar aynı kütle ve tasarıma sahip. Bu durumda yükün eşit paylaşıldığını düşünebiliriz.

Bir kola yüklenebilecek maksimum tork $0.924821kgm$'ın yarısı kadar, yani

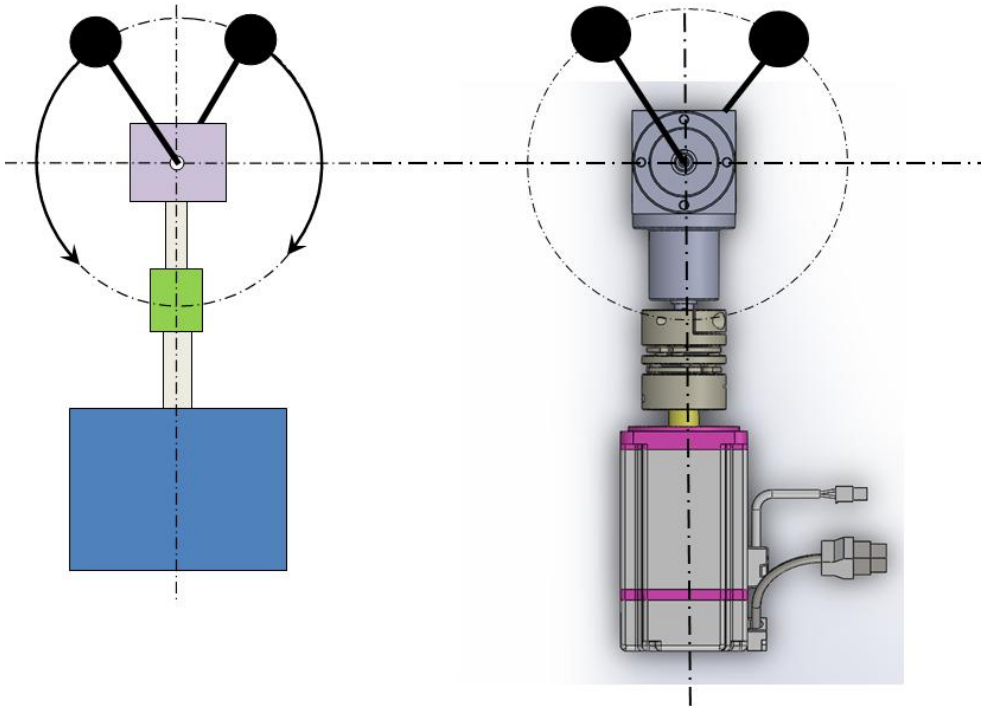
$$\frac{0.924821kgm}{2} = 0.46241kgm$$

kadardır.

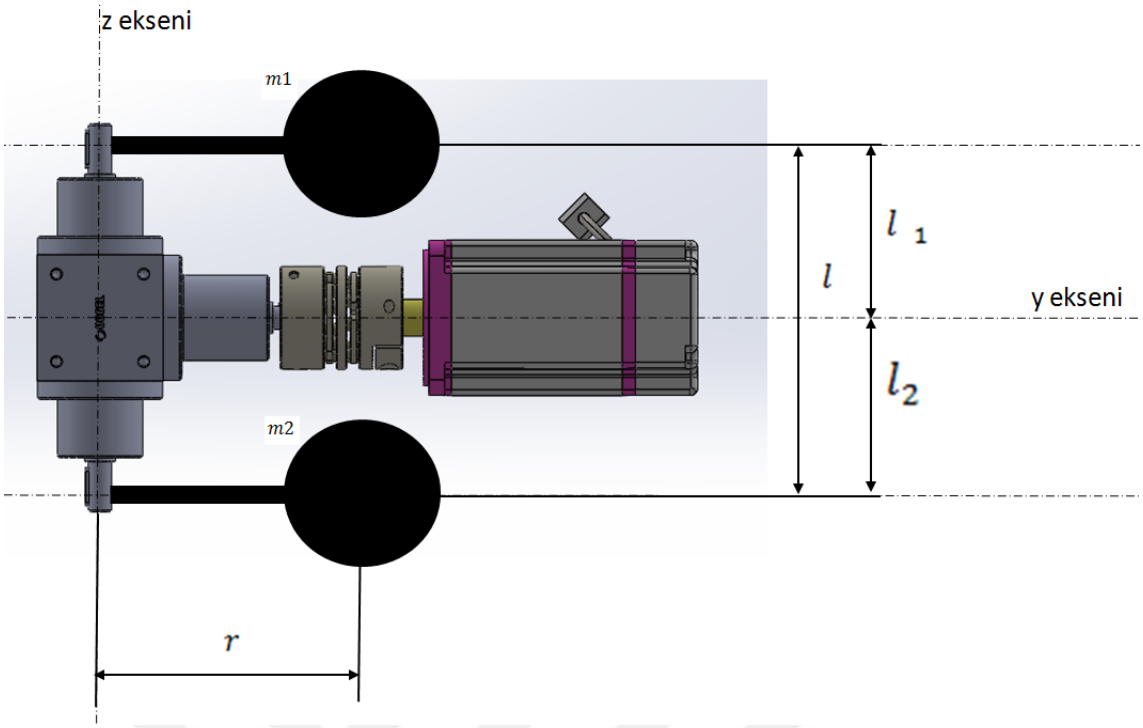
39 Numaralı ifadeyi hatırlayalım, ΔV'nin olabildiğince fazla olması için denklemin payda kısmının ($2m(rw)\text{^}2$) olabildiğince büyük olması gerekiyor. Hız değişimi "m'nin karekökü" ile doğru orantılı ilen "rw" ile doğru orantılıdır.

Aynı zamanda m'in artışı sistemin toplam kütlesini de arttırmaktadır.

Açısal hız "w" tamamen motorun özelliklerine bağlı olduğu için "m" ve "r" arasında sistemin boyutlarınıda düşünerek denge kurmalıyız.



Şekil 4. 7 Kol tasarım ilkeleri 1



Şekil 4. 8 Kol tasarım ilkeleri 2

Sistem üzerindeki m kütlelerinin aralarındaki "l" mesafe farkının sistem hareket sırasında sistemin dengesini bozmaması için 0 olması gerekmektedir. Fakat deney düzeneğindeki kolların ağırlıklarını ayarlanabilir yapacağımız için simetrik bir kol tasarımı tercih edildi.

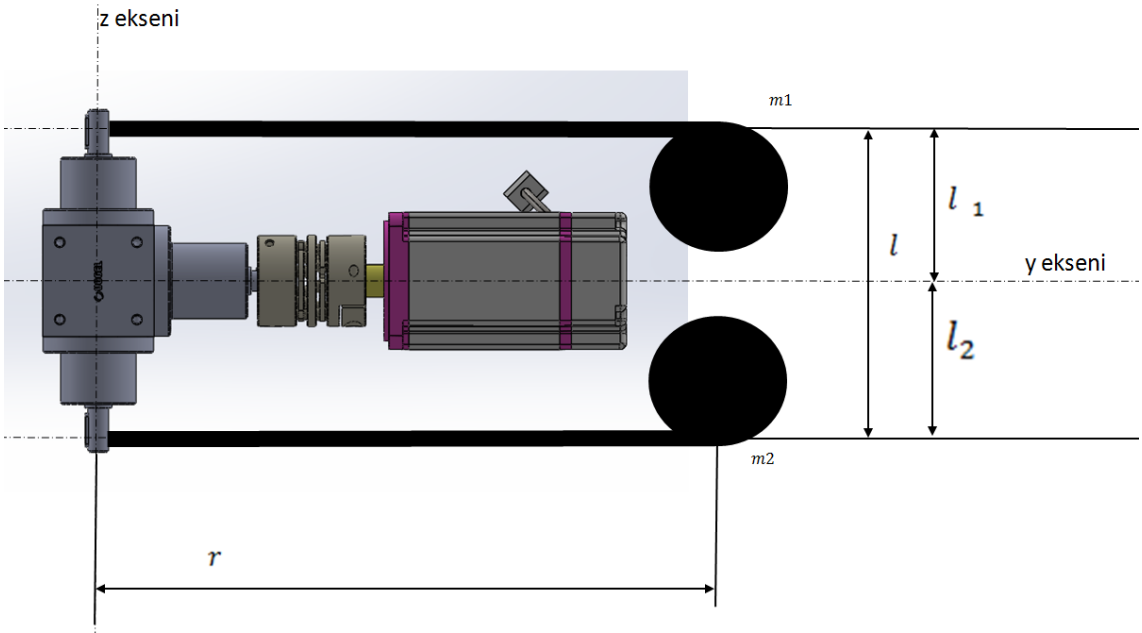
İmalat ve montaj sonrasında "l" mesafesinden kaynaklı kontrol edilemeyen bir titreşim oluşması durumunda, sistemin üzerine dengeleme kütleleri yerleştirilebilir.

Ek ağırlıkların eklenmesi ile kol ve ek ağırlıklardan oluşan m ağırlıklarının ağırlık merkezleri değişeceği için simetrik bir kol tasarımı seçilmiştir.

Kütleler eksene yaklaştığı zaman kaplin ve motora çarpma riski bulunmaktadır.

Aynı zamanda sistemin bir platform üzerine konumlanması gerekmektedir.

Bu gereksinimler göz önünde bulundurularak sistemin tasarımı "Şekil 4. 11"'deki gibi yapılmaya karar verilmiştir.



Şekil 4. 9 Kol tasarım ilkeleri 3

Tasarım sonrası imalat aşamasında malzeme bulma sıkıntısı yaşamamak için ilk tasarımları St37 ile gerçekleştirdim. Solidworks'ün veri havuzundaki ilgili mekanik özellikleri göz önünde bulundurdum.

Tasarlanan kol beklediğimden büyük olduğu için AISI 4130 (830C normalized) çelik ile değiştirdim. İmalat aşamasında bu çeliğin piyasada bulamadım. Yerine özgül ağırlığı AISI 4130'dan %65 daha az, mekanik özellikleri %31 kadar daha az dayanıklı olan, toplamda AISI 4130 'den birim hacimde %93 daha dayanıklı Alüminyum 7075 ile çalıştım.

Çizelge 4. 3 Kol malzeme teknik özellik karşılaştırma

St 37

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	79000	N/mm^2
Mass Density	7800	kg/m^3
Tensile Strength	360	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	235	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-005	/K
Thermal Conductivity	14	W/(m·K)
Specific Heat	440	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

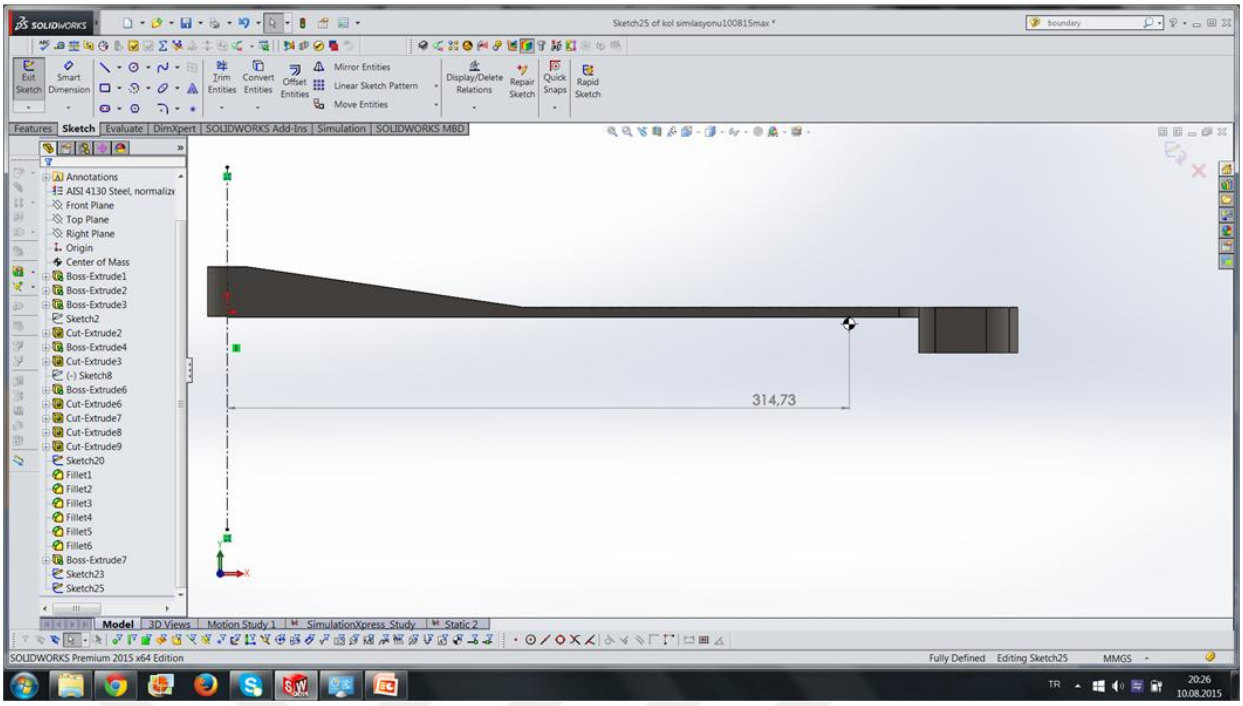
AISI 4130

Property	Value	Units
Elastic Modulus	205000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	80000	N/mm^2
Mass Density	7850	kg/m^3
Tensile Strength	731	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	460	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	42.7	W/(m·K)
Specific Heat	477	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Alüminyum 7075 T6

Property	Value	Units
Elastic Modulus	72000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Tensile Strength	570	N/mm^2
Yield Strength	505	N/mm^2
Tangent Modulus		N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-005	/K
Mass Density	2810	kg/m^3
Hardening Factor	0.85	N/A

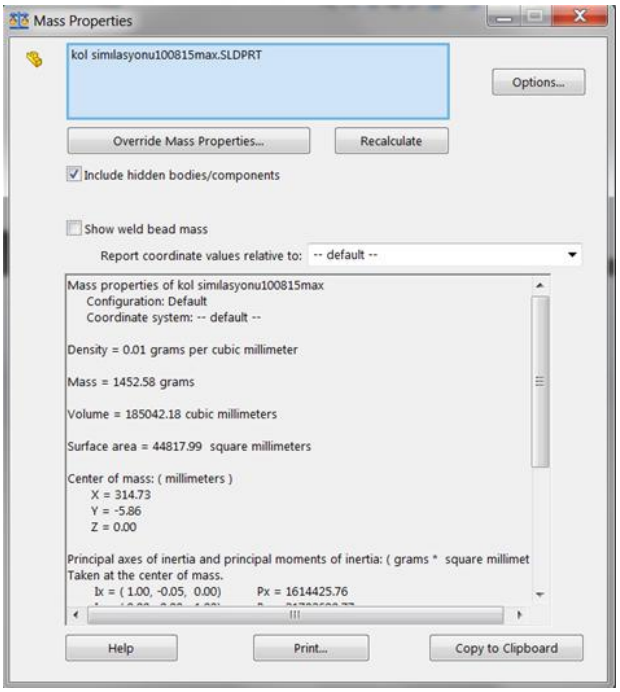
Redüktör çıkış milindeki maksimum tork 0.462kgm olmalı. Kol'un ağırlık merkezi ve ağırlığı bu değer de göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 10 Kol tasarım ilkeleri 4

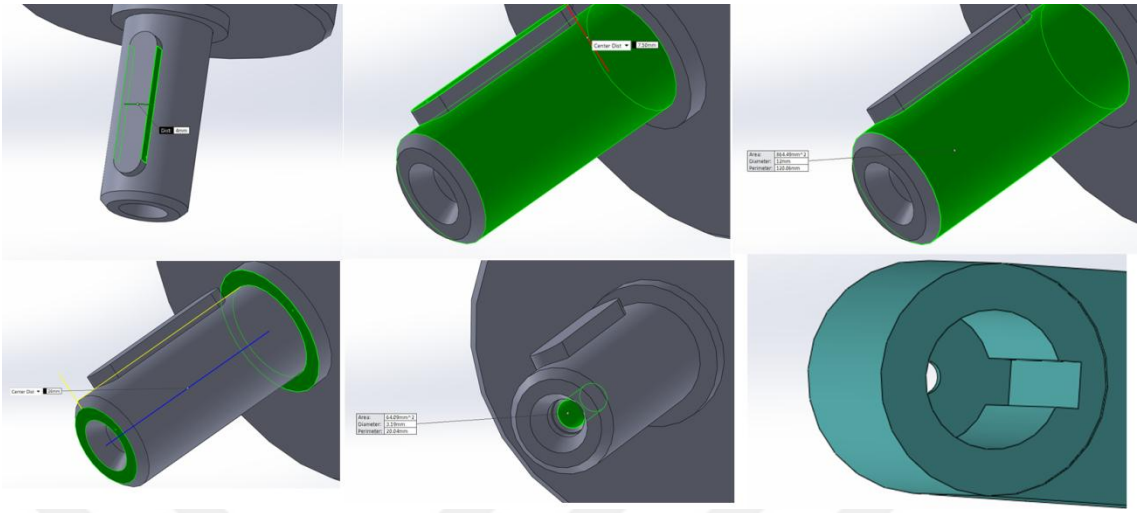
Kol ve ek ağırlıkların tek parça olarak yapıldığı bu tasarım ile r yarıçapı optimize edilmiştir.

Çizelge 4. 4 Kol tasarımın teknik özellikleri



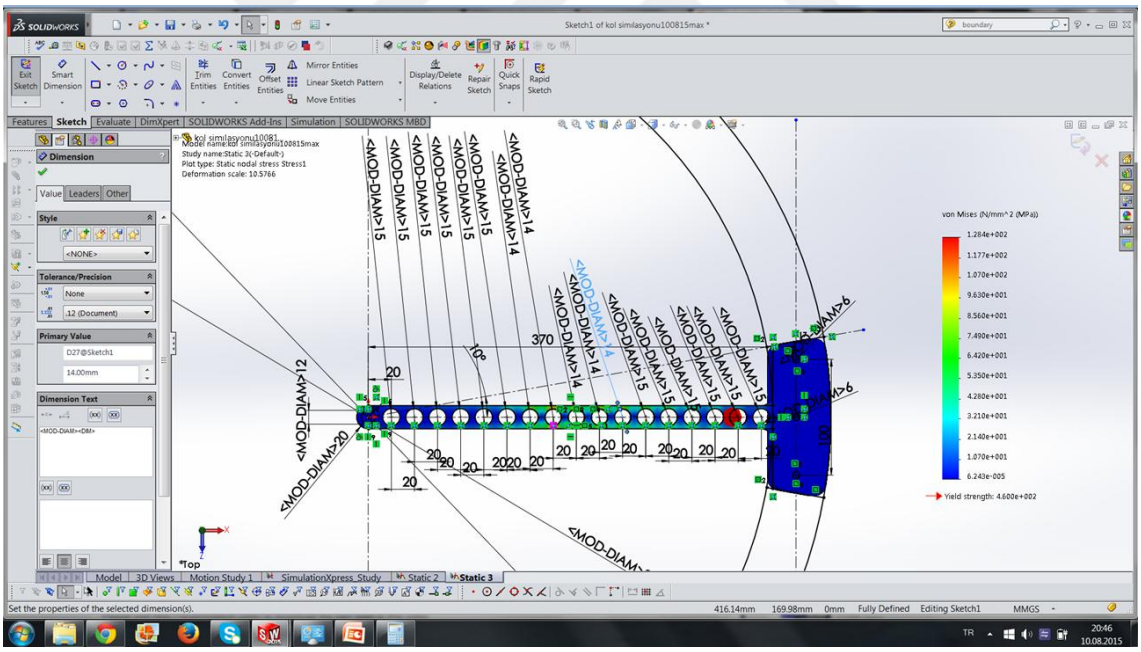
$0{,}31473m \text{ x} 1{,}45258kg = 0{,}458kgm < 0{,}462kgm$

Kol ile redüktör bağlantısında kuvvet aktarımı kama ile yapılmaktadır. Kolun bağlantı kısmı, redüktörün mili ve redüktörün mili ile beraber gelen kama'ya göre tasarlanmıştır.

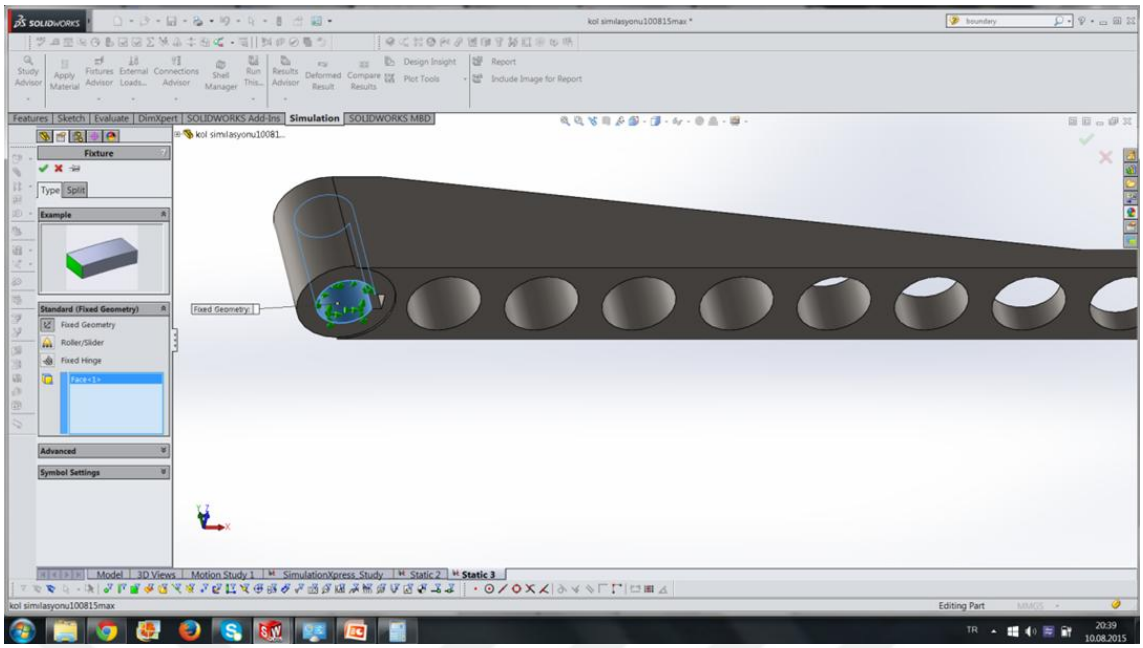


Şekil 4. 11 Kol tasarım ilkeleri 5

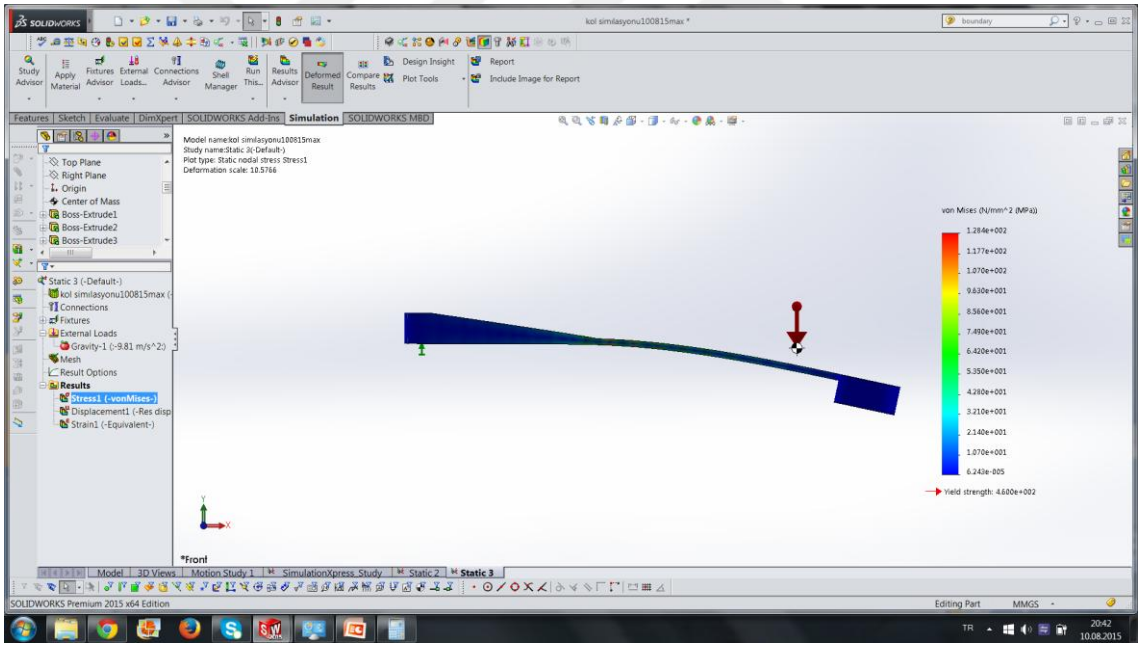
Parça simulationxpress yardımı ile mekanik hesaplamalar neticesinde hafifletilmiştir.



Şekil 4. 12 Kol tasarım ilkeleri 6



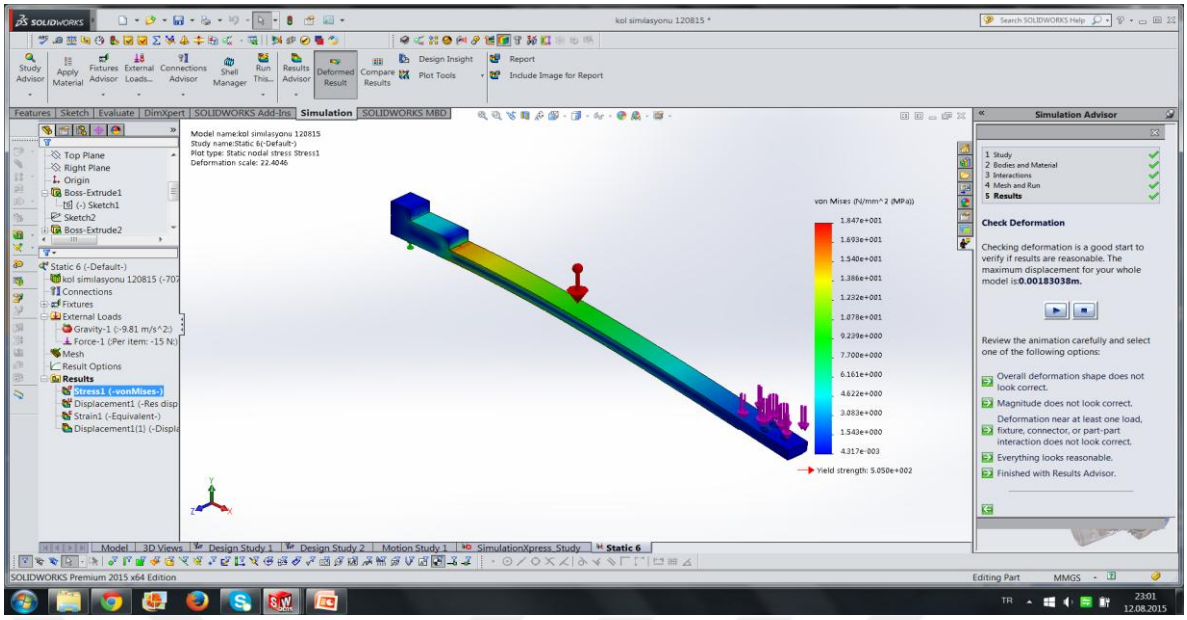
Şekil 4. 13 Kol tasarım ilkeleri 7



Şekil 4. 14 Kol tasarım ilkeleri 8

Sanayide yaptığım araştırmalar sonucunda, parçanın bu kadar ince bir işçilik ile imalatının maliyetli olacağı anlaşıldı. Malzemeyi değiştirerek tasarımı kolaylaştırmaya karar verdim.

Mekanik özelliklerini ve piyasa bulunabilirliğini inceledikten sonra alüminyum 7000 serisi malzeme kullanmaya karar verdim.

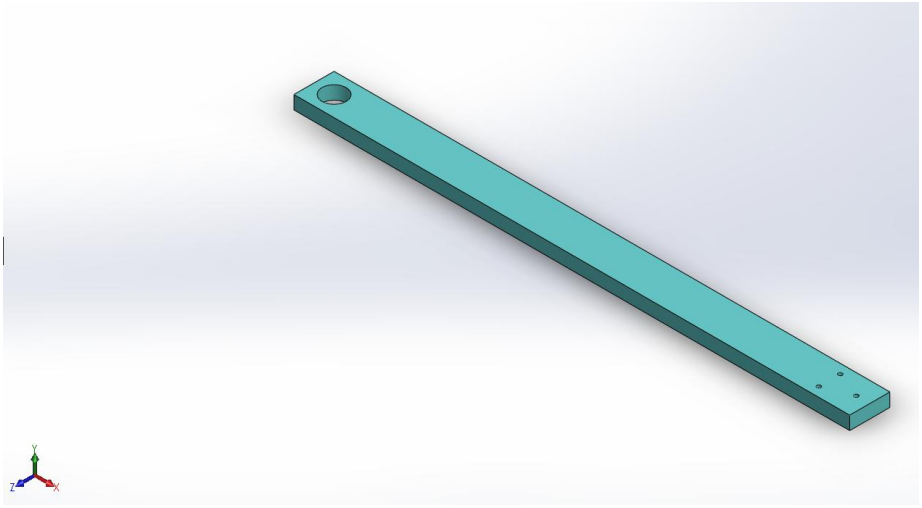


Şekil 4. 15 Kol tasarım ilkeleri 9

1.45258kg yük taşıması gereken kolu 15N ile simulationxpress analiz programında analiz edildi, gerekli değerleri sağladığı gözlemlendi.

4.3.2 Bölümünde anlatacağım redüktör milleri üzerindeki kama pozisyonlarının Vogel'in internet sitesindeki ile uyuşmaması sebebi ile kolun redüktöre bağlantı kısmında iyileştirme yapılmıştır.

Kollara, seçilen konik kilidin yerleştirilebilmesi için H8-h8 Tolerans - Rt<16µm imalat toleranslarında 18mm'lik birer delik eklenmiştir.



Şekil 4. 16 Nihai kol tasarım

Kol, dönme sırasında kendi ataleti ve üzerine bağlanan ek ağırlıkların oluşturacağı kuvvet etkisinde eğilmeye zorlanacaktır. Sisteme etkiyen kuvvet açısal ivme ile doğru orantılıdır.

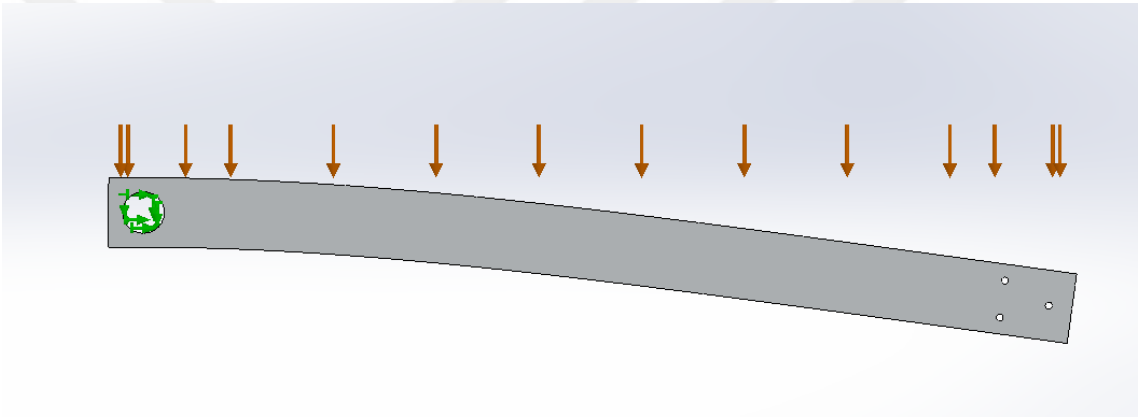
$$M_e = I\ddot{\phi} \tag{4.2}$$

$$a = r\ddot{\phi} \tag{4.3}$$

$$F_i = ma \tag{4.4}$$

$$I = mr^2 \tag{4.5}$$

$$M_e = F_i r = mr^2\ddot{\phi} \tag{4.6}$$



Şekil 4. 17 Eğilme analizi

Tasarımın eğilme momentine dayanımını değerlendirelim. Kolun redüktör bağlantı merkezinden, ek ağırlıkların takıldığı uca kadar mesafesi 400mm. Sisteme montajda takılan konik kilit mekanizmasının maksimum tutabileceği tork 57Nm.

$$57Nm/0.4m = 142.5\ N$$

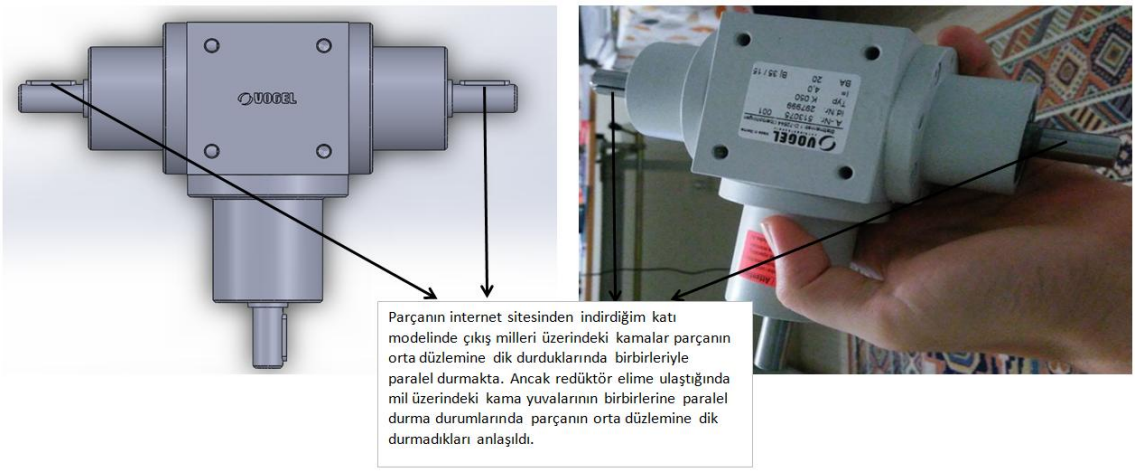
Bu durumda sistemi ile eğmeye kuvveti ile test ettiğimizde, simulationxpress sonlu elemanlar programı hesabı sonucuna göre 28.9077 kat emniyetli olduğu anlaşılmıştır. 142.5N'dan fazla bir kuvvet etkisinde kaldığında bağlantı elemanı konik kilit pozisyon kaçıracak fakat kol deforme olmayacaktır.

4.3.2 Kol-Redüktör Bağlantısı, Konik Kilit Seçimi

Teslim alınan redüktör, teknik dataları sağlamakla beraber, çıkış millerinin kama yuvaları gövdeye dik bir şekilde aynı anda aynı yöne bakacak şekilde sabitlenemiyordu.

Tasarım, Vogel'in sitesinden indirilen katı model ile yapıldığı için bu problemi çözmek için kol tasarımında iyileştirmeye gidilmiştir.

Aynı zamanda, kolların pozisyonlarını hassas bir şekilde ayarlayabilmek aynı zamanda muhtemel bir çarpma durumunda redüktör ve kolların zarar görmemesi amacıyla redüktör ve kollar arasına konik kilitler konulmuştur.

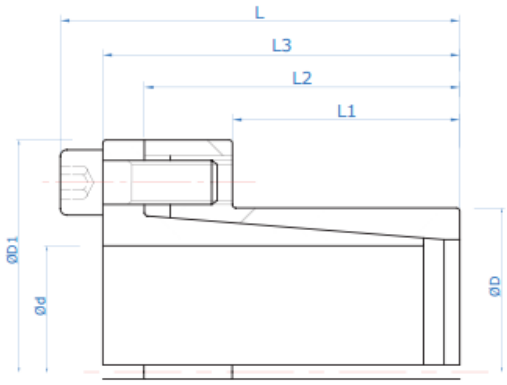


Şekil 4. 18 Vogel redüktör

Çizelge 4. 4 Konik kilit teknik özellikleri

T Tipi





	ÖLÇÜLER							BAĞLANTI ELEMANI			BAŞARIMLARI				AĞIRLIK
	d	D	D1	L3	L2	L1	L	DIN 912		Ma	Mt	Fass	Ps	Ph	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Ad.	12.9 TİP	Nm	Nm	kN	N/mm²	N/mm²	Kg
TKK T 012*18	12	18	32	14	23	26	30	4	M4	5	57	9	138	99	0,07

Seçilen konik kilit kendiliğinden yataklanan bir kilittir. İki konik parça, bir çember ve DİN 912 normlarına uygun bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Orta ve yüksek tork gerektiren yerlerde ve küçük çaplı uygulamalarda önerilir.

H8-h8 Tolerans - Rt<16µm

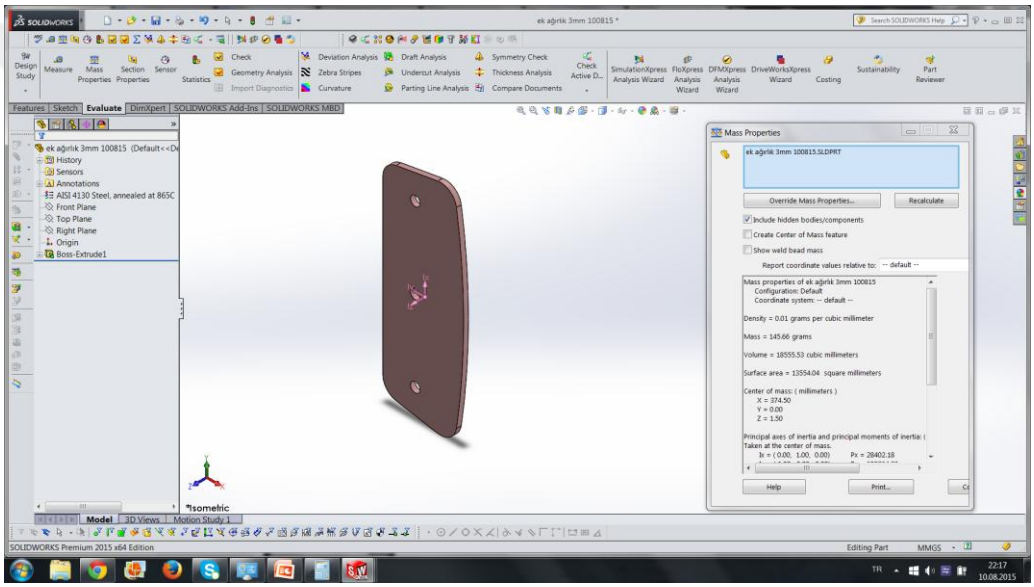
Redüktör çıkış mili çapı 12mm'dir. Tork taşıma kapasitesi 57Nm olan TKK T 012*18 numaralı T tipi konik kilit seçilmiştir.

4.3.3 Ek Ağırlık Tasarımı

Kol tasarımı sırasında kol ve ek ağırlıklar, kolu optimize edebilmek için beraber tasarlanmıştı. Kolun ek ağırlık kısmını küçük parçalara bölerek, sistem üzerinde yapacağımız denemeler sırasında sistemin vereceği tepkileri değerlendirebileceğiz.

Herbiri 147 gram.

Bu ağırlıklar herhangi bir dış kuvvete mağruz kalmadıkları ve kola 3 adet M3 cıvata bağlandığı için bu ağırlıklara bir kuvvet analizi yapılmamıştır.

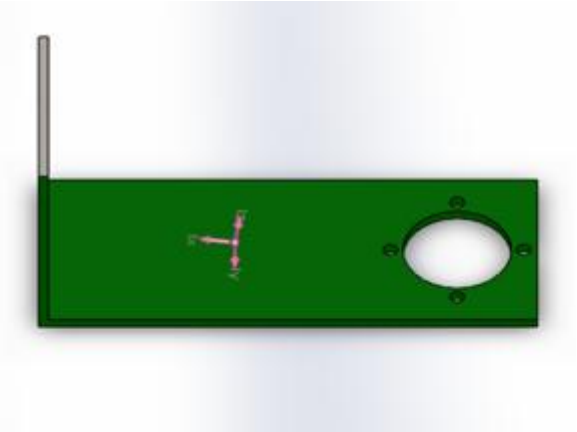


Şekil 4. 19 Ek ağırlık tasarımı

4.3.4 Platform Tasarımı

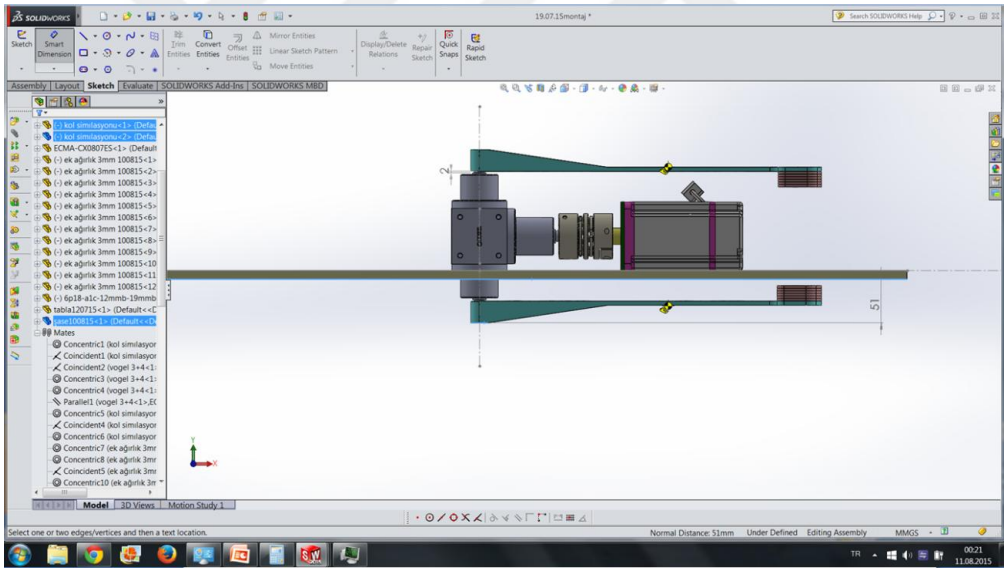
Kol ve ek ağırlıkları tasarlanan, motor , redüktör ve kaplin montajını yaptığımız sistem bir platform üzerine kurulmalıdır.

Yerçekimsiz ortamda redüktör ve motoru bağlayan bir platform tasarlamamız yeterli olacaktı.

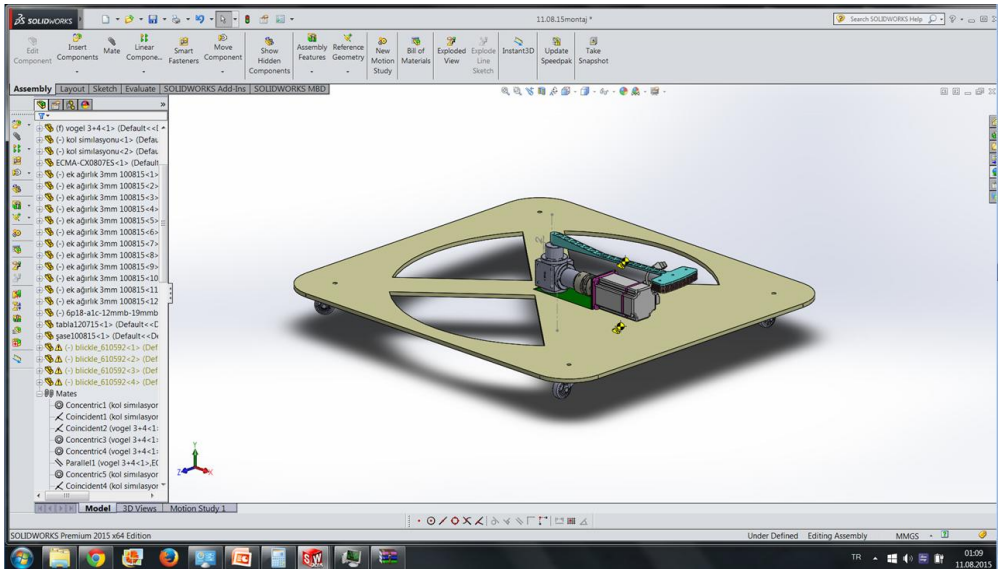


Şekil 4. 20 Platform tasarımı 1

Ancak sistemi imal ettiğimizde, yerçekimli ortamda test edeceğimiz için, zemin ile sistemin hareketli parçalarının temasını kesebilmek ve sistemin hareketini inceleyebilmek amacıyla, platformun zeminden belirli bir seviye yüksek olması gerekir. Platform, hareketinin kısıtlanmaması için tekerlekli tasarlandı.



Şekil 4. 21 Platform tasarımı 2

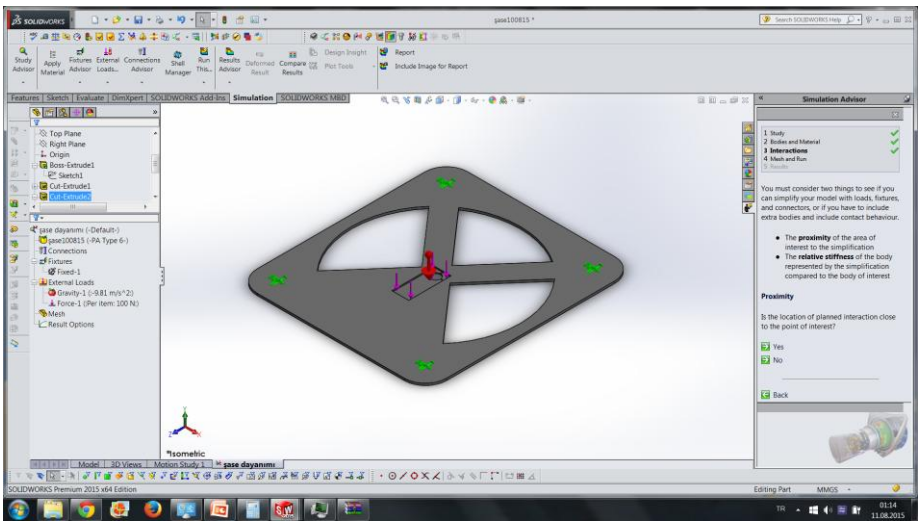


Şekil 4. 22 Platform tasarımı 3

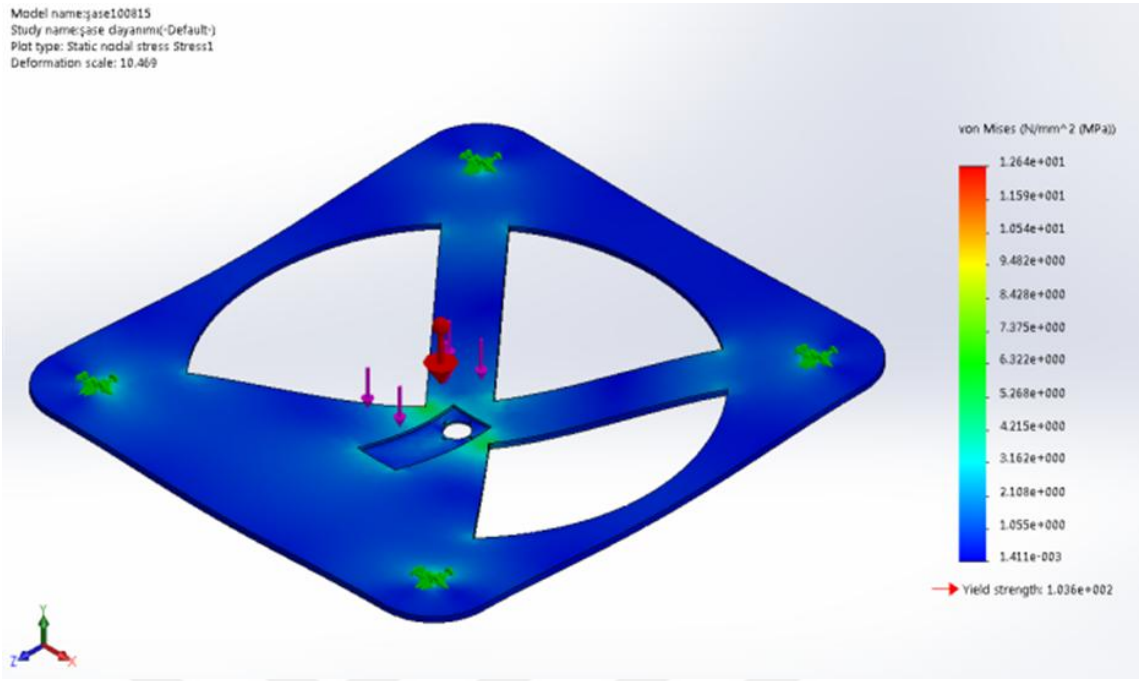
Çizelge 4. 5 Platforma yüklenecek yük

Bileşen	**Ağırlık**
Delta C10807GS Servo motor Redüktör 1.7kg	3kg
Vogel Redüktör	1.7kg
Ağırlık eklenmiş şekilde kollar	3kg
Sensör, sensör tutucu, kablolar ve kaplinler	0.5kg
Toplam	8.2kg

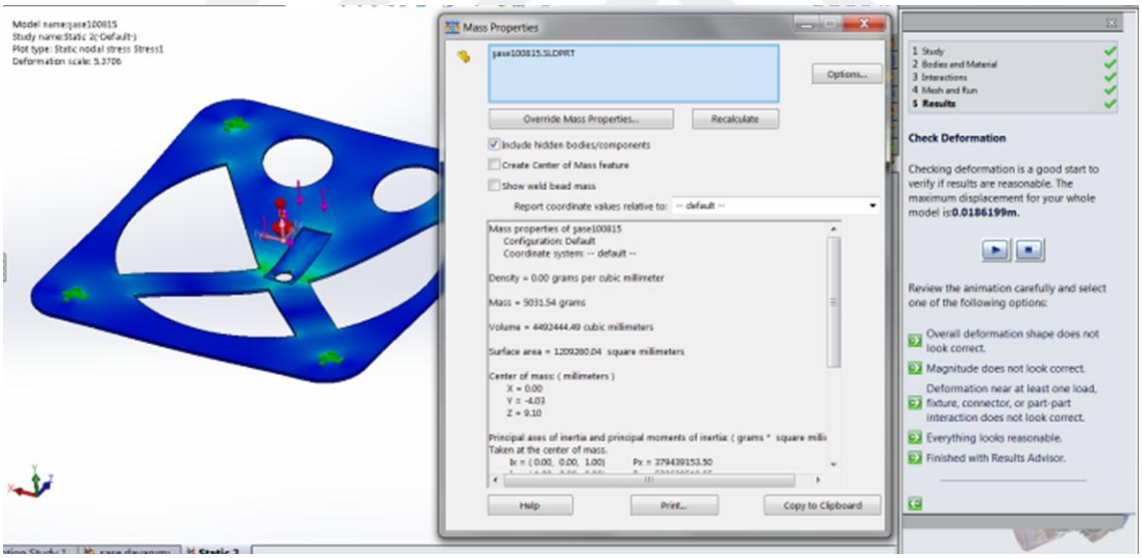
Platform merkezine 8.2kg'dan %24 daha fazla bir kuvvet olan 100N kuvvet uygulanarak Solidworks'ün simulationxpress programı ile mukavemet, gerilim analizleri yapılmış ve uygulanan kuvvet karşısında şekil değiştirmeyecek kadar hafifletilmiştir.



Şekil 4. 23 Platform tasarımı 4



Şekil 4. 24 Platform tasarımı 5



Şekil 4. 25 Platform tasarımı 6

Plakanın kalınlığını 10mm'den 5 mm'ye kadar indirdim. Motorun yerleştirileceği kısımlarda hafifletme amaçlı delikler açıldı. Poliamid PA-Type 6'da deformasyon 18mm'den fazla oldu.

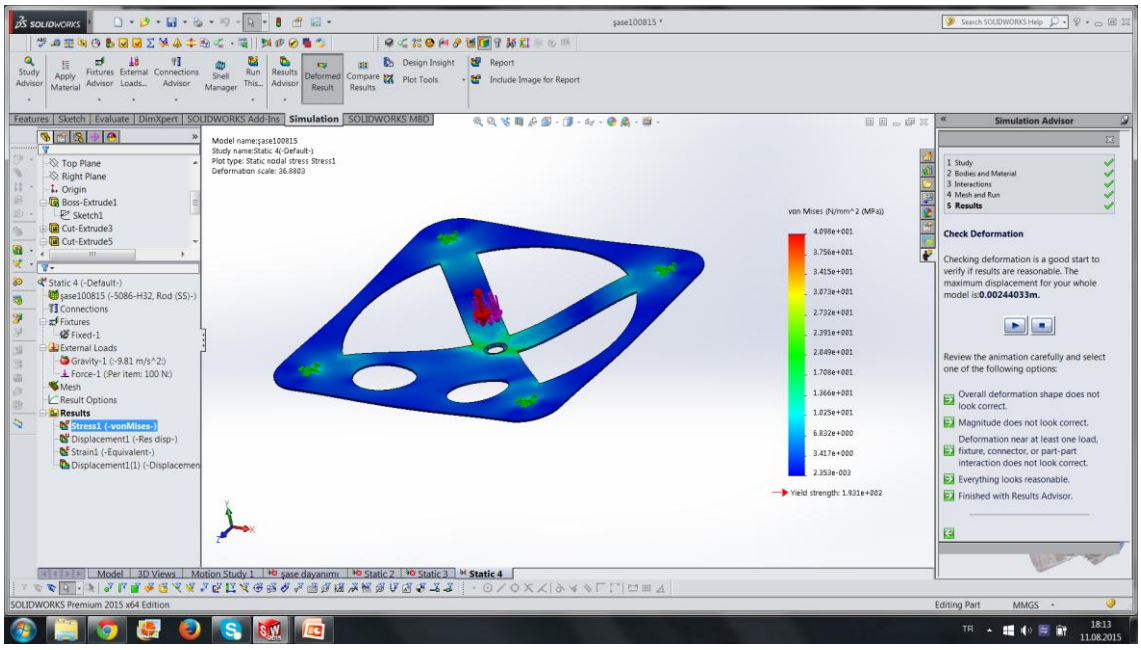
Malzeme değişikliğine gittim.

5000 Serisi alüminyum sanayide kolaylıkla bulunabildiği için bu seriye yöneldim.

Çizelge 4. 6 Platforma malzeme karşılaştıma tablosu

PA-Type 6 Poliamid		
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2620	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.34	N/A
Shear Modulus	970.4	N/mm^2
Mass Density	1120	kg/m^3
Tensile Strength	90	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	103.65	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	0.233	W/(m·K)
Specific Heat	1601	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

5086 Alüminyum		
Property	Value	Units
Elastic Modulus	71000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Tensile Strength	290	N/mm^2
Yield Strength	193.05	N/mm^2
Tangent Modulus		N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-005	/K
Mass Density	2660	kg/m^3
Hardening Factor	0.85	N/A



Şekil 4. 26 Platform tasarımı 7

100N Yük altında 2mm'lik bir çökme bu 900X900 boyutlarında bir deney platformu için kabul edilebilir. Tasarım bu şekilde donduruldu.

4.4 Atalet Sürücünün İmalat Ve Montajı

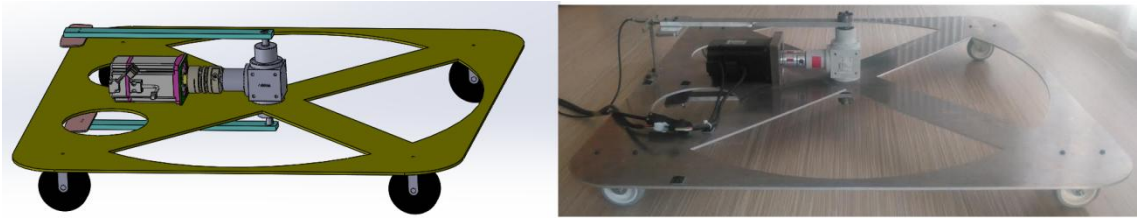
Atalet sürücüsünün çalışma prensibini 3.bölümde matematiksel olarak yazılmıştı. Bu mantıkla 5. Bölümde görüleceği üzere Matlab programı kullanarak sistem modellenmiştir. Kayda değer sonuçlar alındıktan sonra tasarımını yaptığımız deney mekanizmasının imalatına karar verilmiştir.

Motor, redüktör, kaplin, tekerlek ve konik kilitler standart endüstriel ürünlerden seçilmiş ve spariş edilmiştir.

Taşıyıcı platform lazer ile kesilerek imal edilmiştir.

Motor tutucu ve redüktöre bağlı kollar torna ve freze kullanarak imal edilmiştir.

Bağlantı elemanı olarak M3, M4 civatalar kullanılmıştır.



Şekil 4. 27 Nihai tasarım

Sistemin kontrol üniteleri ve programı 6. Bölümde incelenecektir.

BÖLÜM 5

ATALET SÜRÜCÜSÜ'NÜN MATLAB SIMULINK PROGRAMI İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Hareket denklemlerini 3.bölümde oluşturduğumuz sistemi Matlab programı kullarak modelleyeceğiz. Matlab programında simscape modülünü kullanacağız.

Simscape modülü Autodesk Inventor®, Creo™ Parametric, ve SolidWorks® programları ile uyumlu. Başka CAD programlarından da ".xml "formatına dönüştürücü yazılımları mevcut.

Simscape-Simmechanic bizlere 3D ortamda, fiziksel modellemeleri yapmamızı sağlayan bir simulink kütüphanesidir. Robot, araç süspansiyonu, uçak iniş takımları gibi, 3D sistemlerin, kütüphanesi içerindeki elemanları kullanarak, kinematik çözümünü bu aracı kullanarak alabiliriz.

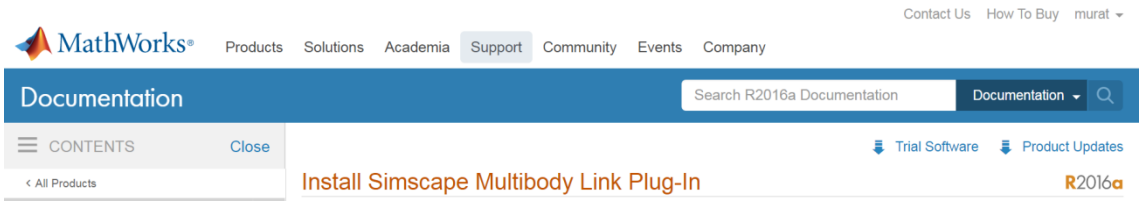
Simscape kullanımının 2 ana avantajı vardır:

- Yaptınız modellemeye hâkim olmanızdir. Diger bir değişle modelin arka planda oluşturdugu denklemleri görebiliyorsunuz. Bu da modeli isteğimiz şekilde değistirmemize olanak sağlıyor.
- 2. en büyük avantajı ise modelleme yaparken veya temel modelleme sonrası yapacağımız işlemlerde Matlab'ın tüm imkanlarını kullanabilmemiz, örneğin bir kontrolcü tasarlarken control toolbox kullanılabilir veya bir optimizasyon yapılacaksa optimizasyon toolbox rahatlıkla kullanılabilir. Bu işlerimizi çok hızlandırmakta ve programlar arası haberleşme problemini ortadan kaldırmaktadır.

5.1 Simscape Modülünün Kurululumu

Simscape'i kullanabilmek, Solidworks'te hazırlamış olduğunuz tasarımı Matlab'e export edebilmeniz için bilgisayarınızda solidworks'ün ve matlab'in kurulu olması gerekmektedir.

Simscape bağlantısının kurulumu konusunda "kaynaklar, 7 numara" matlab sayfası bağlantısında gerekli yönlendirme yapılmıştır. Bu adresten gerekli ek program indirilip yüklenebilir. Adım adım matlab'e girmeniz gereken kodlar yazılmıştır.



Şekil 5. 1 Mathworks dökümanları

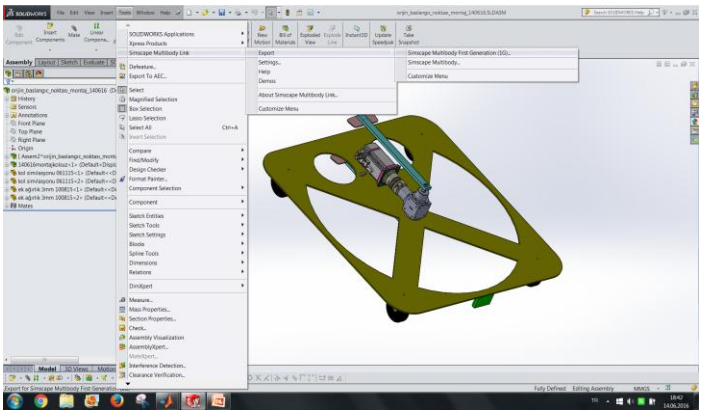
5.2 Solidworks'teki Katı Modelin Simscape'e Aktarılması

Solidworks'te tasarlanan parçaların malzeme seçimi ile beraber, geometrileri, ağırlık merkezleri, özgül ağırlıkları, kütleleri belirlenmektedir. Solidworks'te oluşturulan montajlarda, parçalar arası belirlediğiniz "mate"'ler ile mekanizmanın hareket serbestliğini belirtebilirsiniz.

Oluşturduğunuz sistemin montaj katı modeli solidworksten matlab'e export ederken bu özellikler de tam olarak matlab-simscape'e aktarılmaktadır. Ve matlab'in oluşturacağı sistem "workflow"'unda parametre olarak tanımlanacaktır.

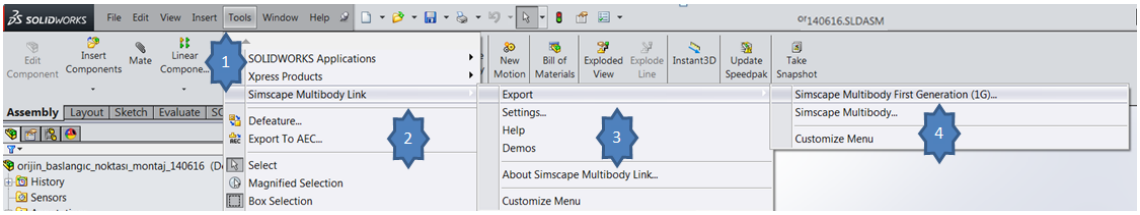
Oluşturduğumuz modeli simscape'e yükleyelim:

İlk olarak aktarmak istediğimiz montaj katı modelini solidworks'te açıyoruz. ismi "or140616.SLDASM"



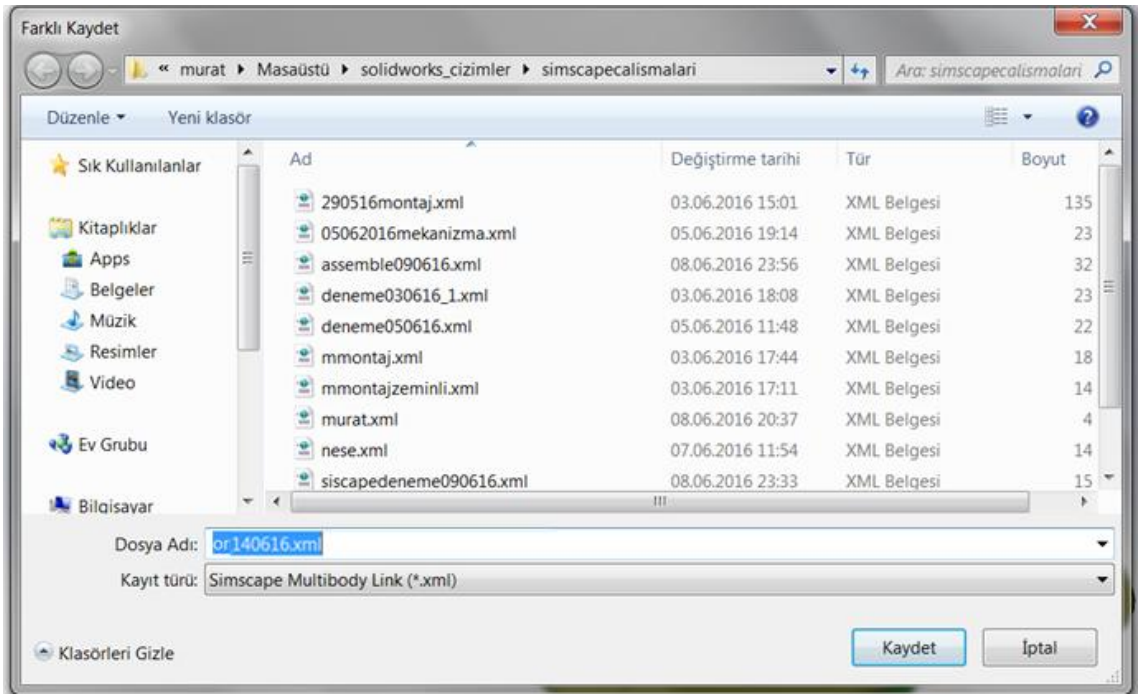
Şekil 5. 2 Matlab'e model yükleme

SLDASM dosyasını solidworkste açtıktan sonra, solidworks arayüzünde üstteki kısımdan sırasıyla, Tools, Simscape Multibody Link, Export, Simscape Multibody First Multibosy Generation seçeneklerini tıklıyoruz.



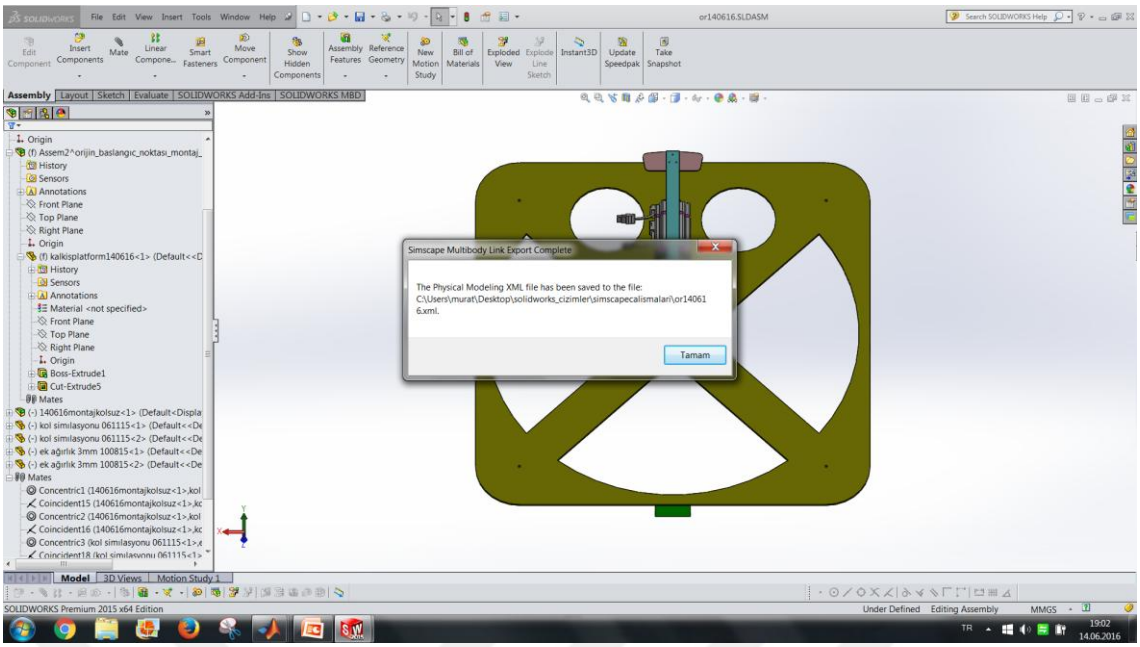
Şekil 5. 3 Matlab'e model yükleme

Dosyayı ".xml" formatında export etmeyi onaylayın.



Şekil 5. 4 Matlab'e model yükleme

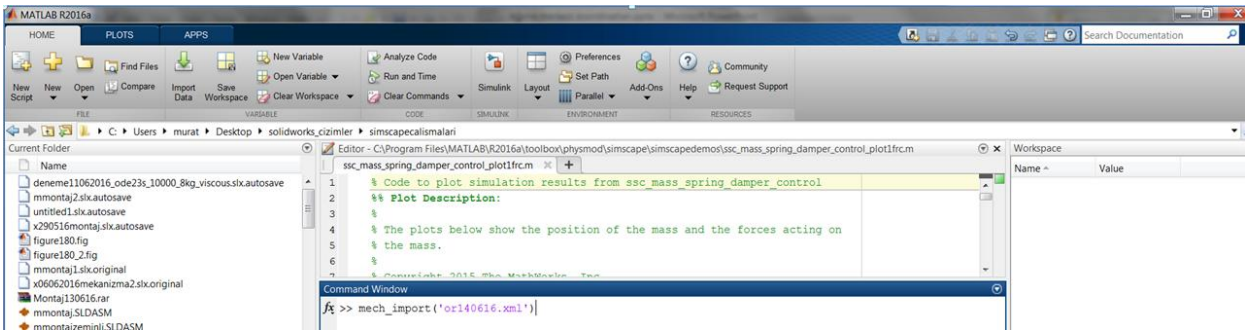
Sistem export işlemini sağlıklı bir şekilde bitirdiğinde alttaki resimdeki mesajı verecektir. Export işlemi sırasında, mate'ler veya parçalar konusunda bir mantıksızlıkla karşılaşırsa hata mesajı verecektir. Kayıt yaptığınız dosya adresine matlab'te ihtiyacınız olacağı için dikkat edin.



Şekil 5. 5 Matlab'e model yükleme

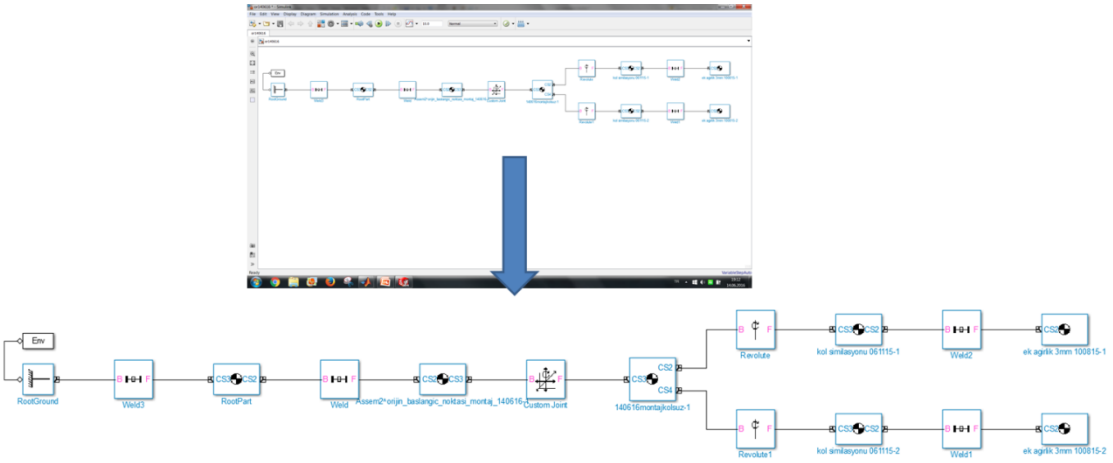
Solidworks'te export işlemi tamamlandıktan sonra matlab'i çalıştırıyoruz.

Matlab ana ekrana, matlab'in simulink kütüphanesinden blok'lar kullanarak , solidworks'te oluşturduğumuz "or140616.xml" adlı dosyayının iş akış diyagramını oluşturmasu için"mech_import('…') komutunu kullanıyoruz.



Şekil 5. 6 Matlab'e model yükleme

Simulink penceresi açılacak ve montaj'ın workflow'u oluşacaktır.

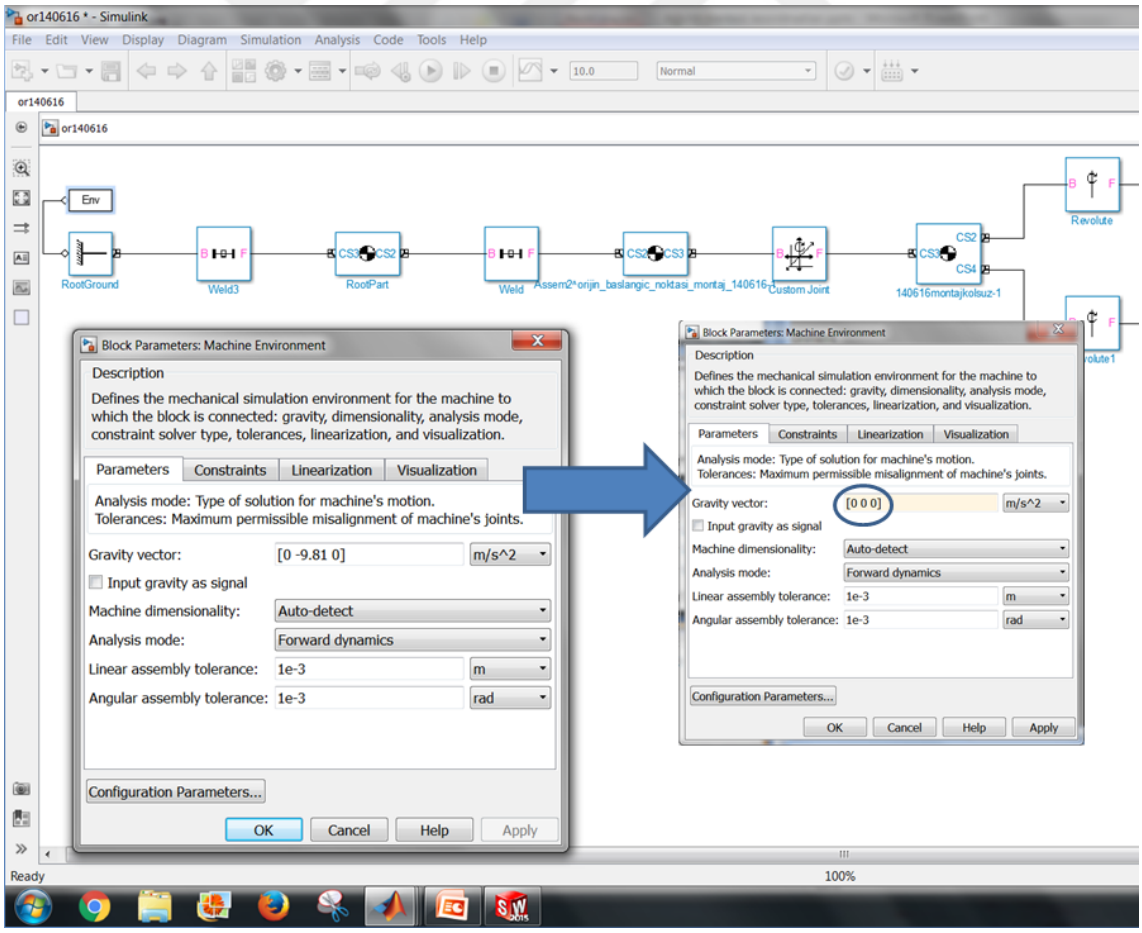


Şekil 5. 7 Matlab'e model yükleme

5.3 Sistem Uzayının Tanımlanması

Simscape'te modelin çalıştırılabilmesi için yer referansı ve çevrenin tanımlanması mecburidir. Rootground ve Env blokları yer referansı ve çevrenin özelliklerinin girildiği blok'lardır.

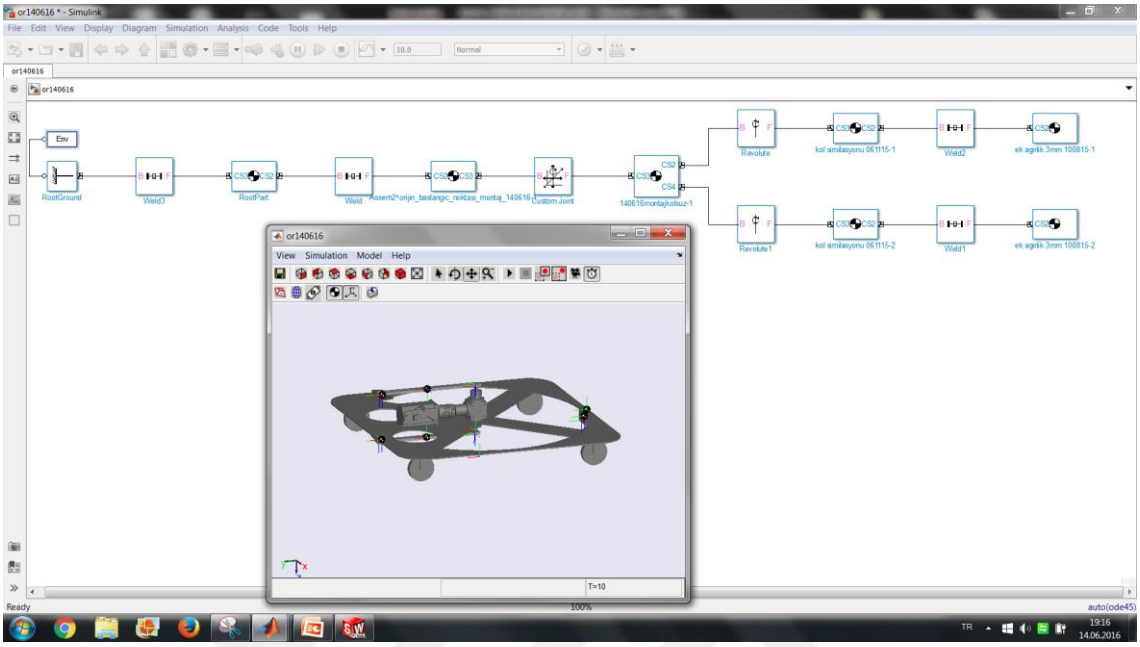
Modelimizi serbest uzayda denemek istediğimiz için yer çekimini sıfır yapalım.



Şekil 5. 8 Çevre bloğunun programlanması

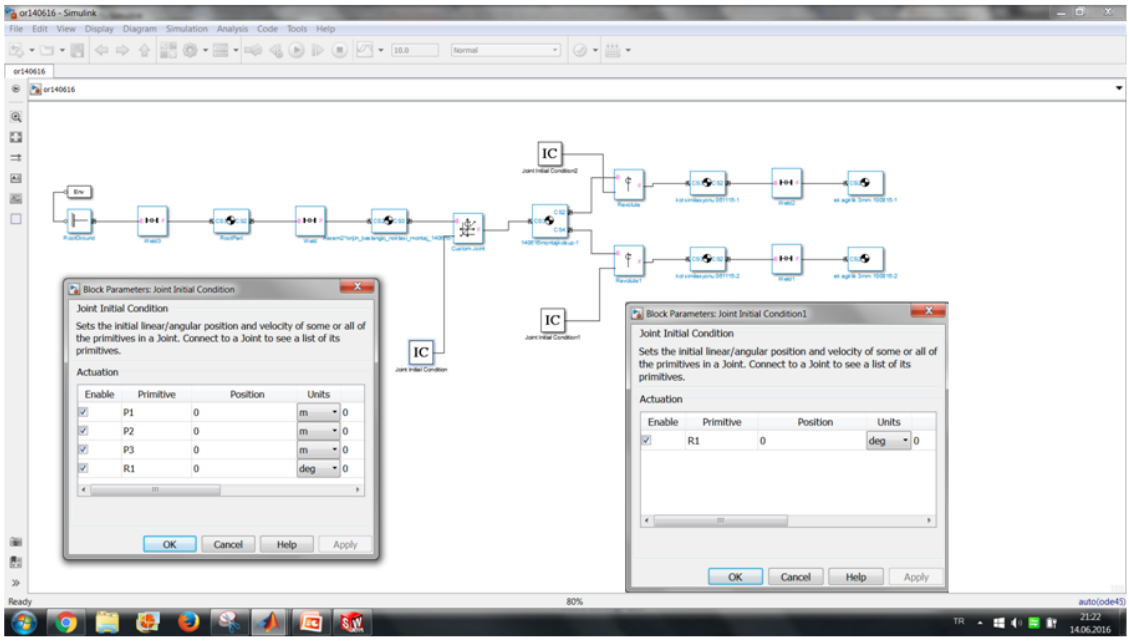
Diğer değişkenler deney sistemimiz için uygun olduğu için değiştirmiyoruz.

Sistemi çalıştırma butonuna” ” bastığınızda, katı model matlab ekranına gelecektir.



Şekil 5. 9 Matlab modelinin çalıştırılması

Sistem bağlantı pozsiyon, konum, hız, ivme bilgilerinin bulunduğu Joint initial condition bloklar’ının(IC blok) sisteme eklenmesi genel uygulamalarda önerilmektedir. Workflow’a IC’leri ekleyelim. Solidworks’ün tanımladığı konumları kullanacağımız için değerleri değiştirmiyoruz.

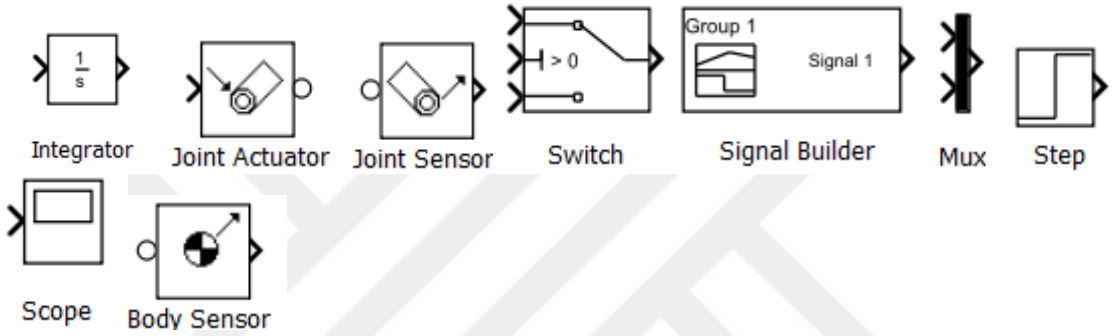


Şekil 5. 10 Matlab modelinin çalıştırılması

5.4 Dönme Hareketinin Mantığı, Simulinkte Tanımlanması

Simulink'e yüklenen katı modele dönme hareketini sağlamak, hareketi istenilen zamana bağlı ivme, hız ve konuma göre kontrol etmek için kontrol ünitesi ve döndürücü sistem eklemeliyiz. Simulink kütüphanesindeki standart hareket ve kontrol blok'larını kullanacağız.

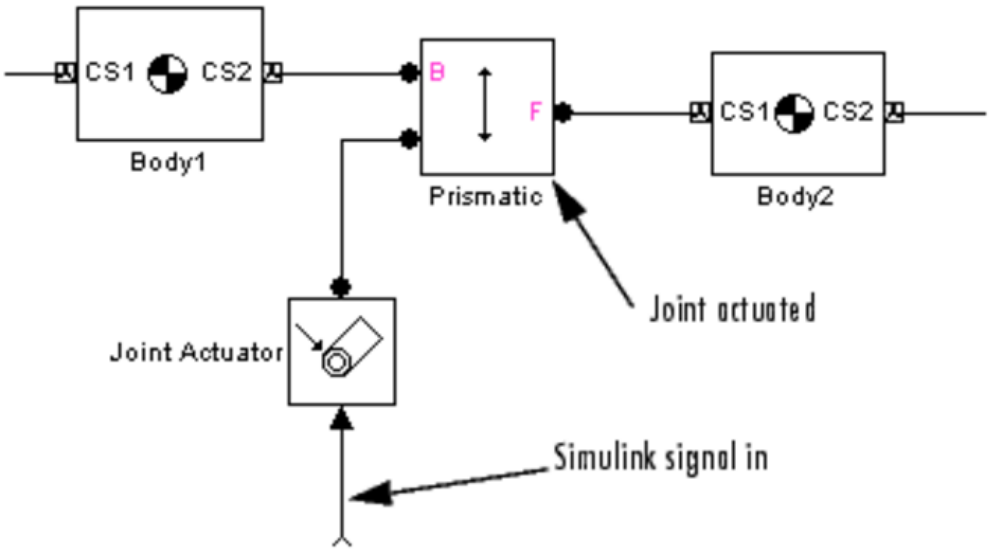
Simulinkte dönme hareketini vermek için kullanılan temel blok "joint actuator"'dür. Bu bloğu sürmeki için ve gerekli kontrolü sağlayabilmek amacıyla kullanılan bloklar şu şekildedir:



Şekil 5. 11 Matlab blokları

5.4.1 Joint Actuator Blok

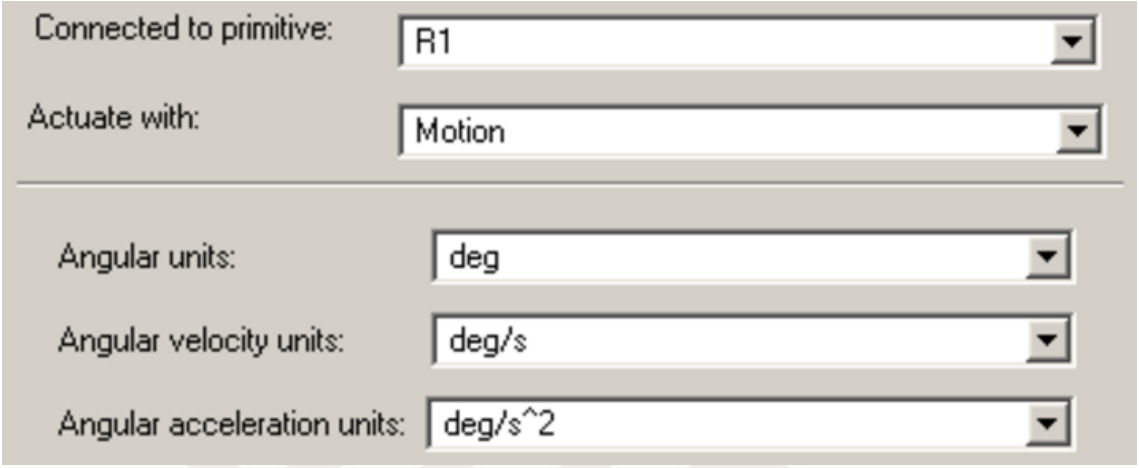
Birbirine bağlı parçalar arasında tanımlanan serbestlik derecelerine göre bağlantılara hareket vermek için kullanılır.



Şekil 5. 12 Joint actuator blok

Hareket genelleştirilmiş kuvvet ve hareket olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada hareket olarak tanımlanmıştır. Hareket lineer ve dairesel tanımlanabilir. Lineer harekette bloğu ivme, hız ve pozisyon sinyalleri ile beslemek gerekirken dairesel harekette bu değerler açısal ivme, açısal hız ve açısal pozisyon olmaktadır.

Dairesel bir hareket çalışmaktayız. Bu sebeple sinyal girişlerimiz açısal ivme, açısal hız ve açısal pozisyon olacaktır.



Şekil 5. 13 Joint actuator blok ayarları

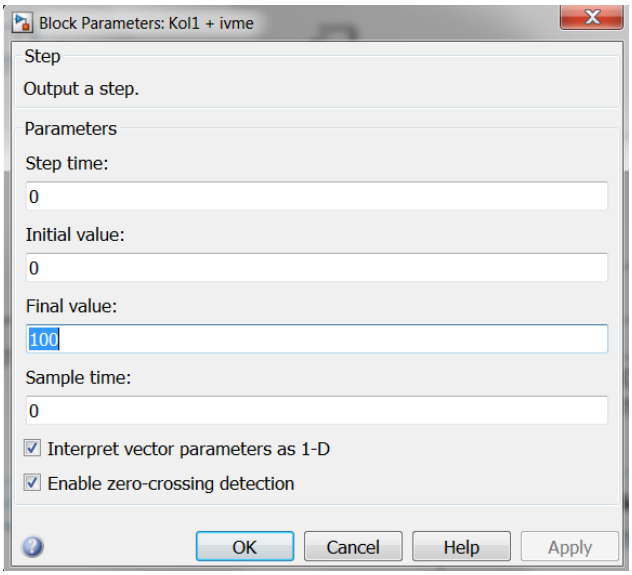
5.4.2 Sinyal Blokları ve Joint Actuator Blok Bağlantısı

Simulink kütüphanesinde "sources" kısmında birçok sinyal kaynağı bulunmaktadır. Bu bloklar zamana bağlı sinyaller üretebilmektedir. Kütüphanede sinüs, cosinüs eğrileri gibi hazır sinyal üreteçleride bulunmaktadır.

Bu çalışmada açısal ivme sinyali kullacağız. Örneğin, bekleme süresi(step) olmadan 100deg/ s^2'lik bir ivme üretmek için bloğu aşağıdaki gibi doldurdum. Step'in 0 olduğu durumlarda sabit değer (constant) bloğuda kullanılabilir.

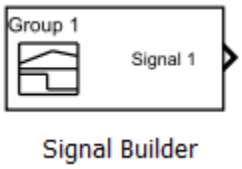


Şekil 5. 14 Step blok



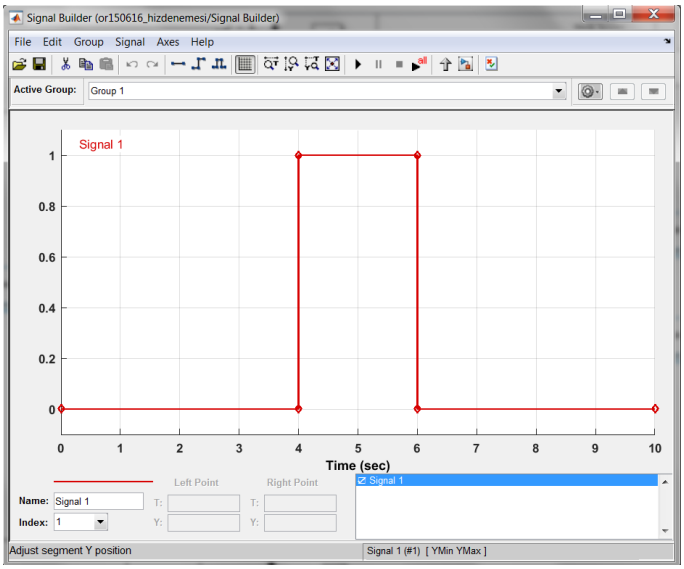
Şekil 5. 15 Step blok ayarları

Değişken bir sinyal vermek istendiğinde sinyal builder ile sinyal oluşturulabilir.



Şekil 5. 16 Signal builder blok

Örneğin, 4 saniye 0 birim sinyal daha sonra 2 saniye boyunca 1 birim sinyal veren daha sonra tekrar 4 saniye o birim sinyal veren bir signal builder bloğu.

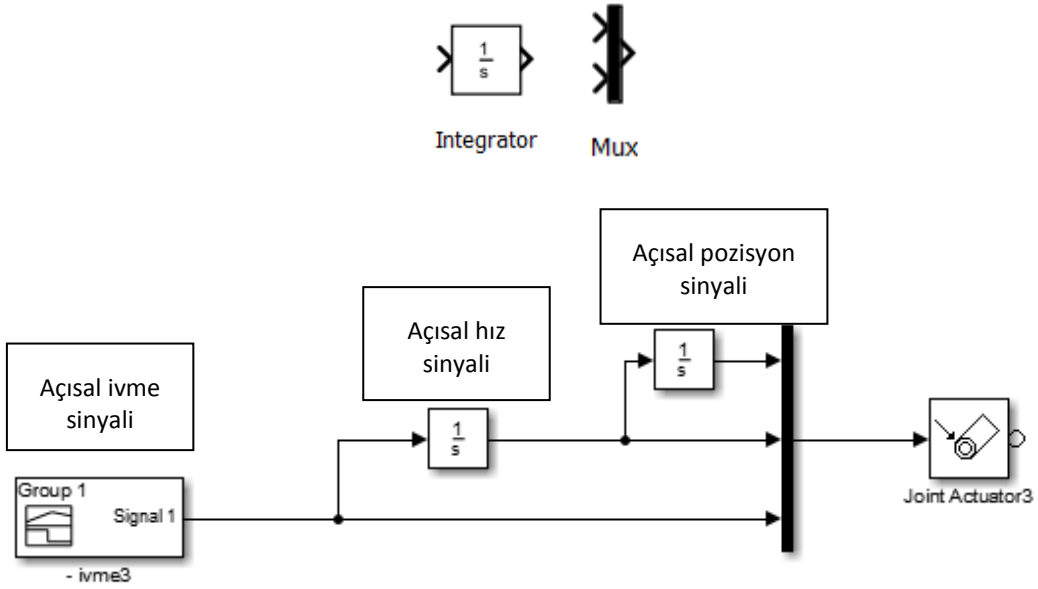


Şekil 5. 17 Signal builder blok ayarları

Joint actuator'e açısal ivme'nin yanı sıra açısal hız ve açısal pozisyon sinyalleride bağlamalıyız.

Step bloğundan gelen açısal ivme sinyalini bir kez integre ederek açısal hız sinyalini, açısal hız sinyalini de bir kez ingetre ederek açısal konum sinyalini elde edeceğiz.

İntegrasyon için “integrator” bloğunu, üretilen 3 sinaylin joint actuator’e beraber bağlanabilmesi için “mux” bloğunu kullanacağız.



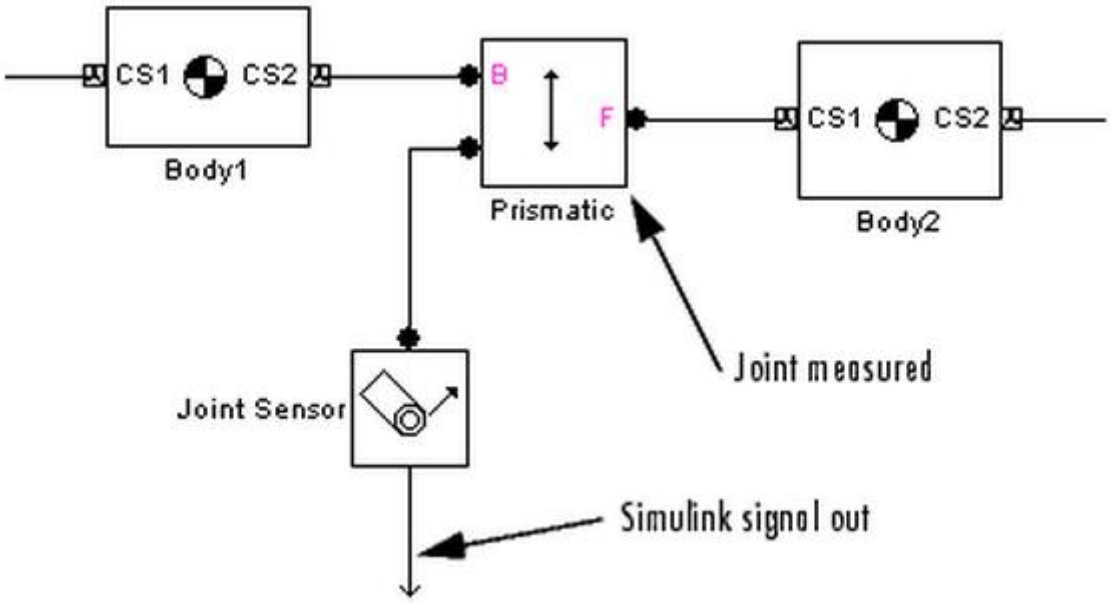
Şekil 5. 18 Integrator ve mux blokları ve ayarları

Joint actuator’ü artık hareket ettirebiliyoruz.

5.4.3 Sensör ve Kontrol Blokları ve Bağlantıları

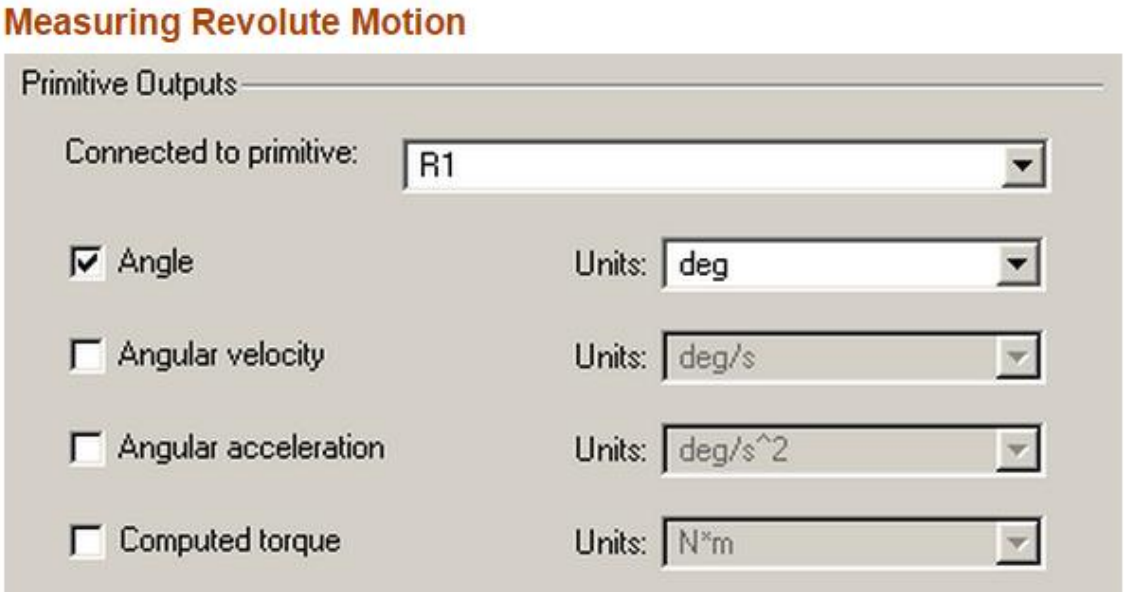
Joint actuator’ü 5.3.1.2’deki sinyal ve bağlantılarla hareket ettirebiliyoruz. Bu bölümde açısal pozisyon kontrolünü nasıl sağladığımız üzerinde duracağız.

Joint actuatör’ün açısını kontrol edebilmek için öncelikle, açısının ne olduğunu bilmemiz gerekmektedir. Sistemden anlık açı bilgisini alabilmek için “Joint Sensör” adlı simulink bloğunu kullanacağız.



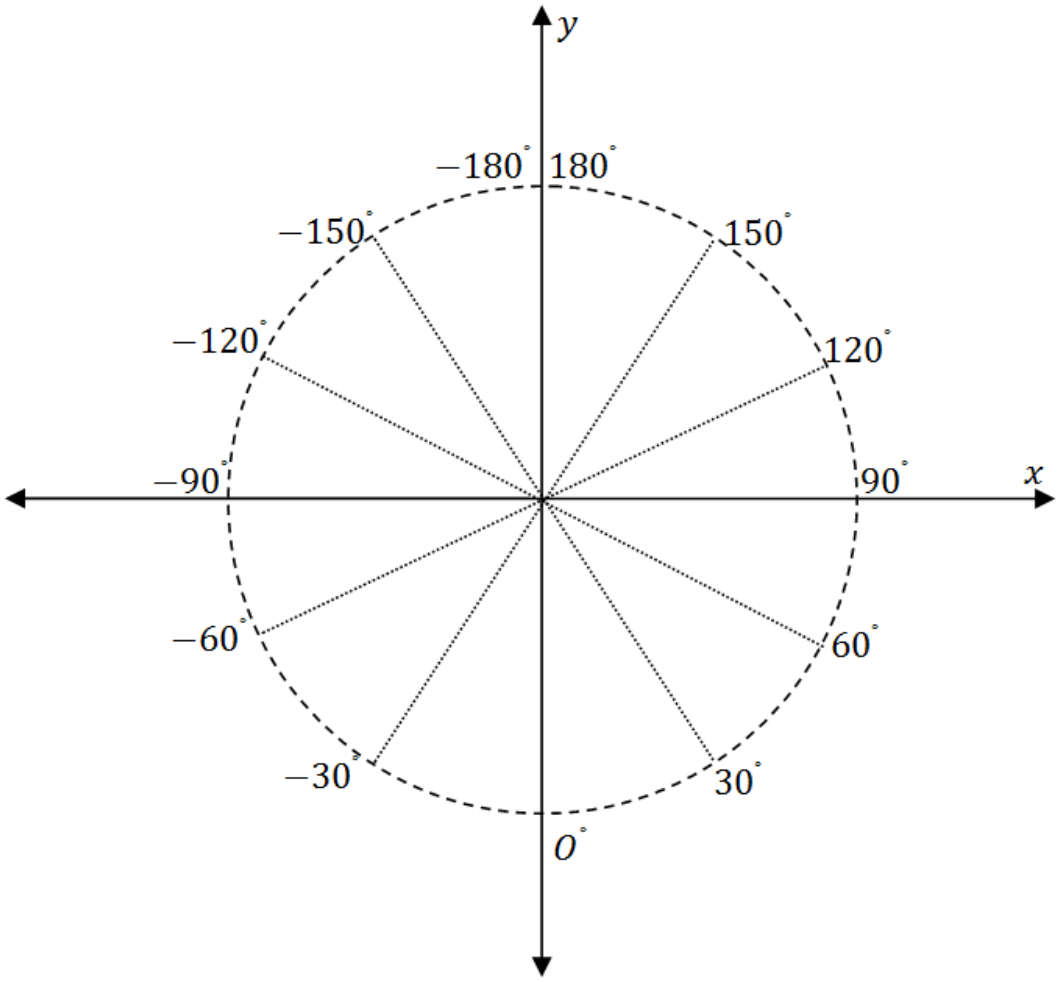
Şekil 5. 19 Joint sensör blok

Dönme hareketinin simülasyonunu yaparken kullandığımız Joint sensör, dönme eksenine bağlandığında açısal pozisyon, açısal hız, açısal ivme ve bağlantıdaki tork değerlerini
gösterebiliyor.



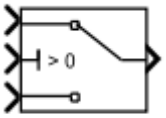
Şekil 5. 20 Joint sensör blok ayarları

Joint sensör'ün gösterdiği ivme değerlerini çevrim sırasında -180° ile 180° arasındadır. Bu bilgi kullanacağımız kontrolcünün programlanması için gerekmektedir.



Şekil 5. 21 Joint sensör ölçüm değerleri

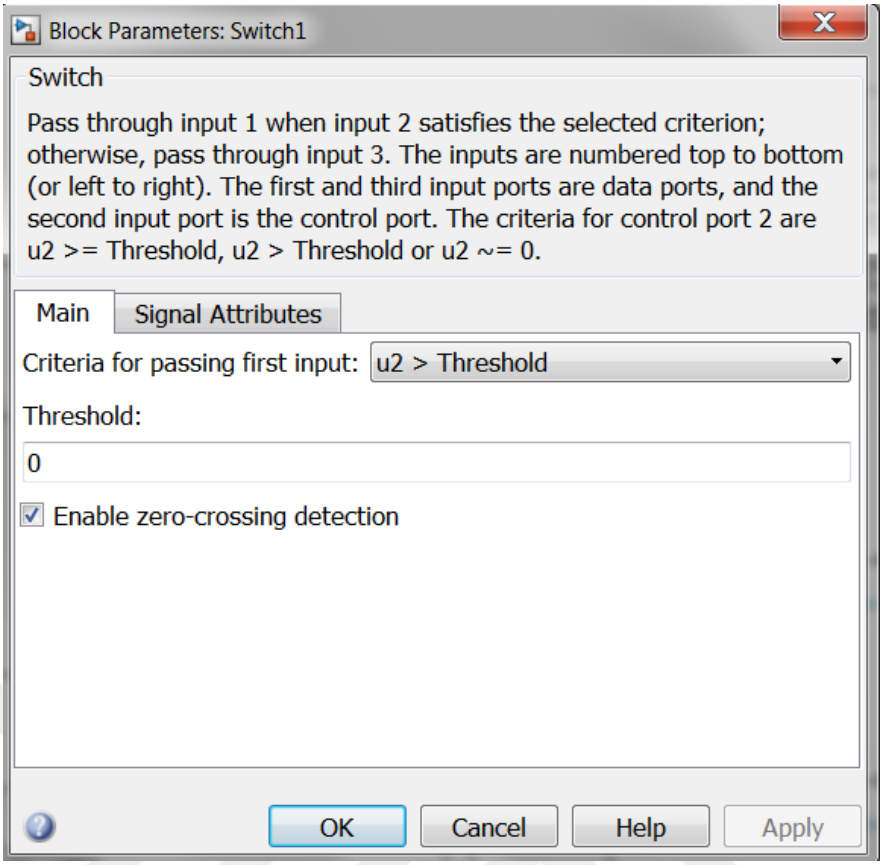
Atalet sürücü sistemde dairesel hareket, çevrimin 1. Fazında (+) ivme ile hızlanmakta, 2. Fazında(-) ivme ile yavaşlamaktadır. Sistem çalışma koşulu 180 derece hızlanıp, 180 derece yavaşlama olarak belirlenebilir. Başka bir koşul olmadığı için sistemin kontrolünde "switch" bloğunu kullanmak yeterli görülmüştür.



Switch

Şekil 5. 22 Switch blok

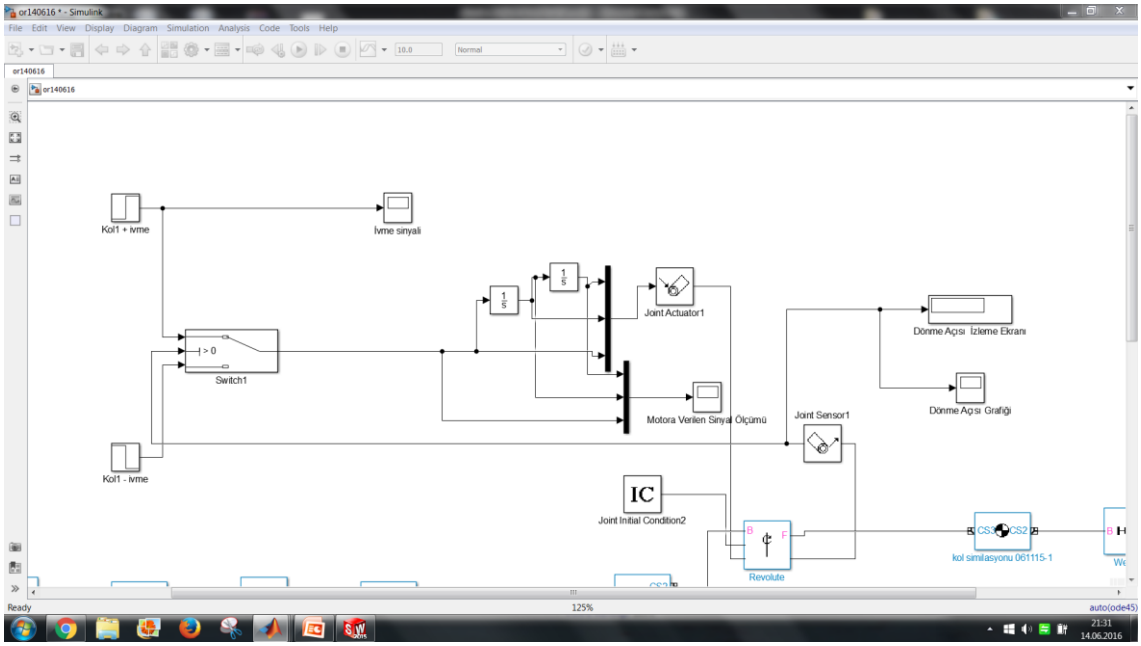
Switch bloğunda, koşulun bağlı olduğu sinyal sol orta girişe girilmektedir. Bloğun içine girilen koşul sağlanıyorsa, sol üst taraftaki input sinyali switch bloğunun sağ tarafındaki çıkıştan output olarak çıkmakta, eğer koşul sağlanmıyorsa, switch bloğunun sol alt input girişine girilen sinyal output olarak sağ taraftaki çıkıştan çıkmaktadır.



Şekil 5. 23 Switch blok ayarları

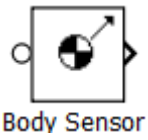
Çevrimi eşit iki faza ayırmak için switch bloğuna girilen koşul “u2>0”’dır.

Çevrim şu şekilde oluşmuştur:

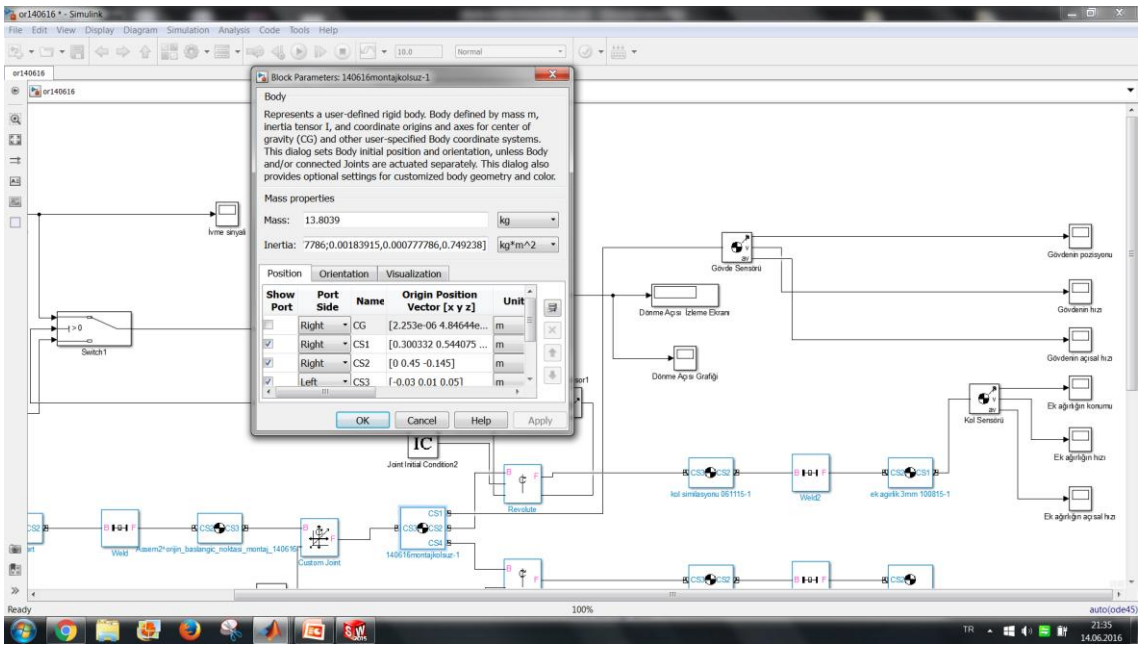


Şekil 5. 24 Simulink model bağlantıları

Solidworks'ten katı modeli matlab uzayına gönderdiğimizde, sisteme başlangış koordinatları atamaktadır. Pozisyon, hız ve ivme değerlerini öğrenmek istediğiniz parçaya "body sensör" bloğu bağlayabilirsiniz.



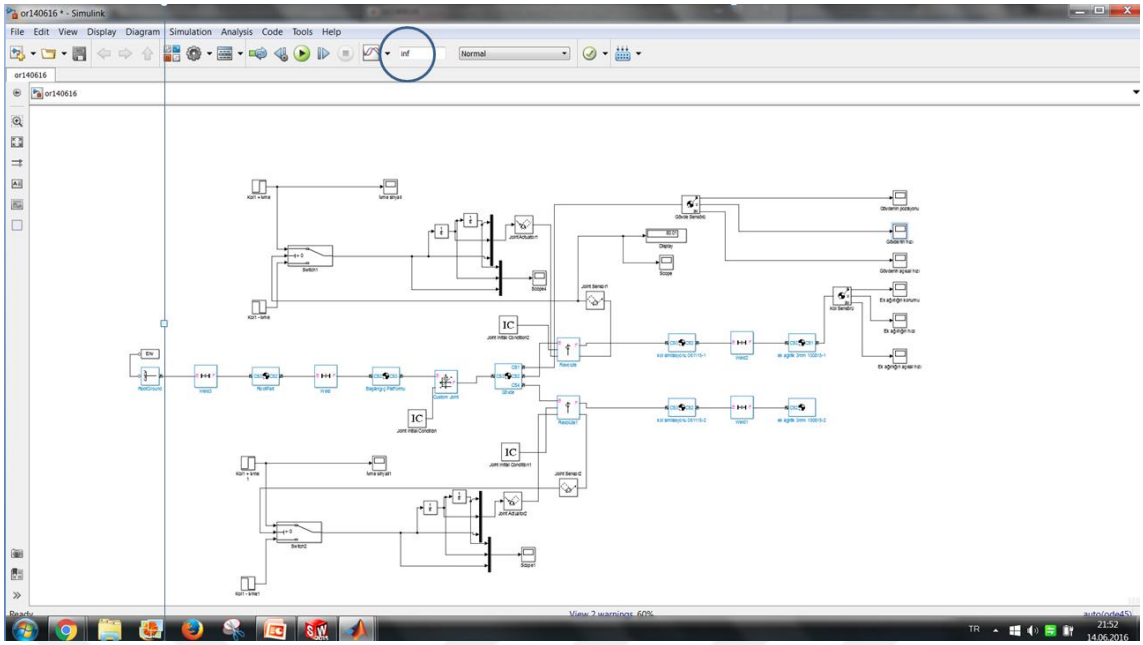
Şekil 5. 25 Body sensör blok



Şekil 5. 26 Body sensör blok ayarları

Sisteme bağladığınız body sensör bloğundan, sensörum bağlı bulunduğu parçanın uzaydaki konumunu, bu sensöre bağladığınız "scope" blokları ile pozsiyon, hız ve ivme değerlerini görebilirsiniz.

Katı modelimizin kolları bir redüktör ile motor'a bağlılar. Vogel'in sitesinden indirdiğimiz CAD'te redüktör dönmemektedir. Bu sebeple, solidworks programında, katı modelde kolları redüktör milleri ile eşleştirdikten sonra başlangıç pozisyonlarına alınmıştır. Matlab'te bu iki kol için ayrı ayrı joint actuator ve kontrol sistemleri eklenmiştir.



Şekil 5. 27 Tamamlanan model

5.5 Diferansiyel Denklem Çözücü(Solver) Seçimi

Matlab simulink diferansiyel denklem çözümlerinde otomatik olarak ode45 adlı diferansiyel denklem çözücüyü kullanmaktadır. Bu çözücü en genel problem çözücü olmakla beraber, zaman zaman sistemlerin kontrollerinde hata verebilmekte ve sonuçlar anlamsızlaşmaktadır.

Alfio Quarterio ve Fausto Saleri tarafından hazırlanmış olan "Scientific Computing with Matlab and Octave" [9] adlı yayında "ode"'ların karşılaştırılması ile ilgili örnekler mevcuttur.

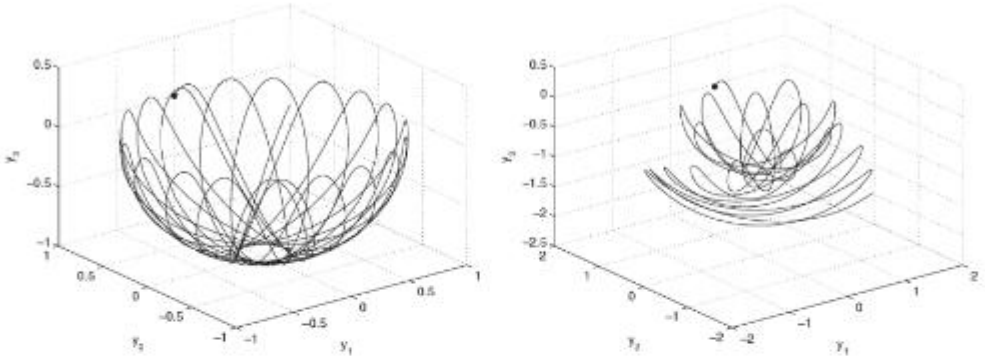


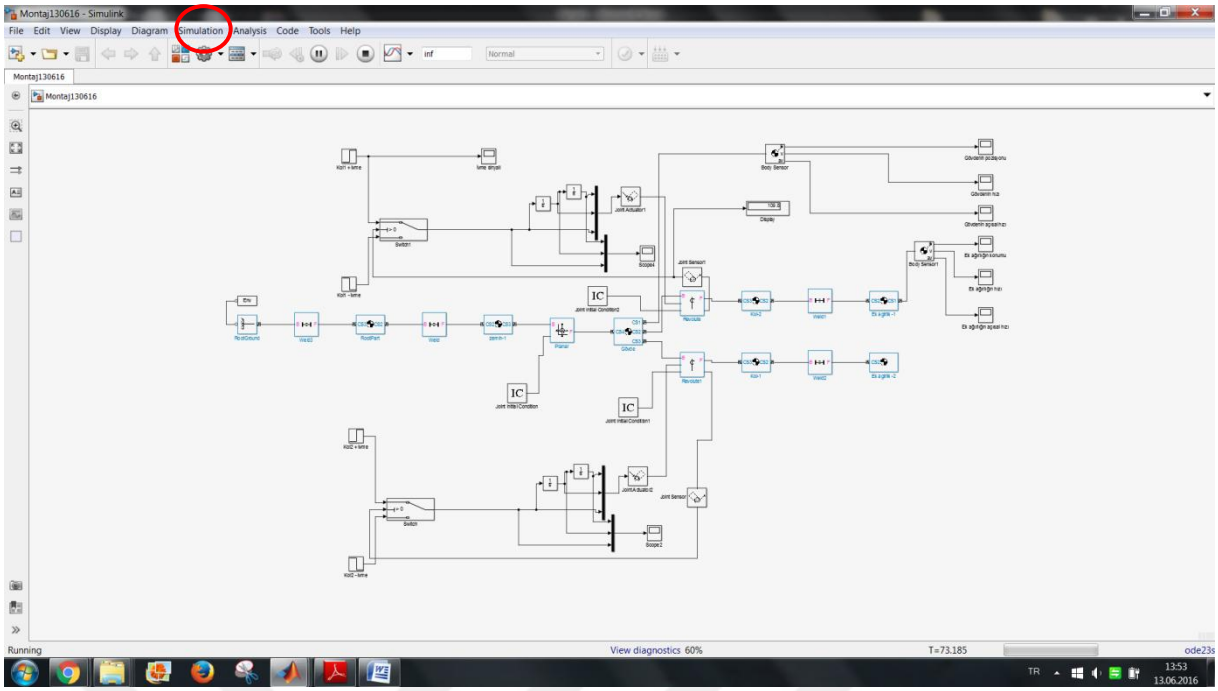
Fig. 7.19. The trajectories obtained using methods `ode23` (*left*) and `ode45` (*right*) with the same accuracy criteria. In the second case the error control fails and the solution obtained is less accurate

As a comparison, let us solve the same problem using the explicit adaptive methods of type Runge-Kutta `ode23` and `ode45`, featured in MATLAB. These (unless differently specified) modify the integration step in order to guarantee that the relative error on the solution is less than 10^{-3} and the absolute error is less than 10^{-6}. We run them using the following commands

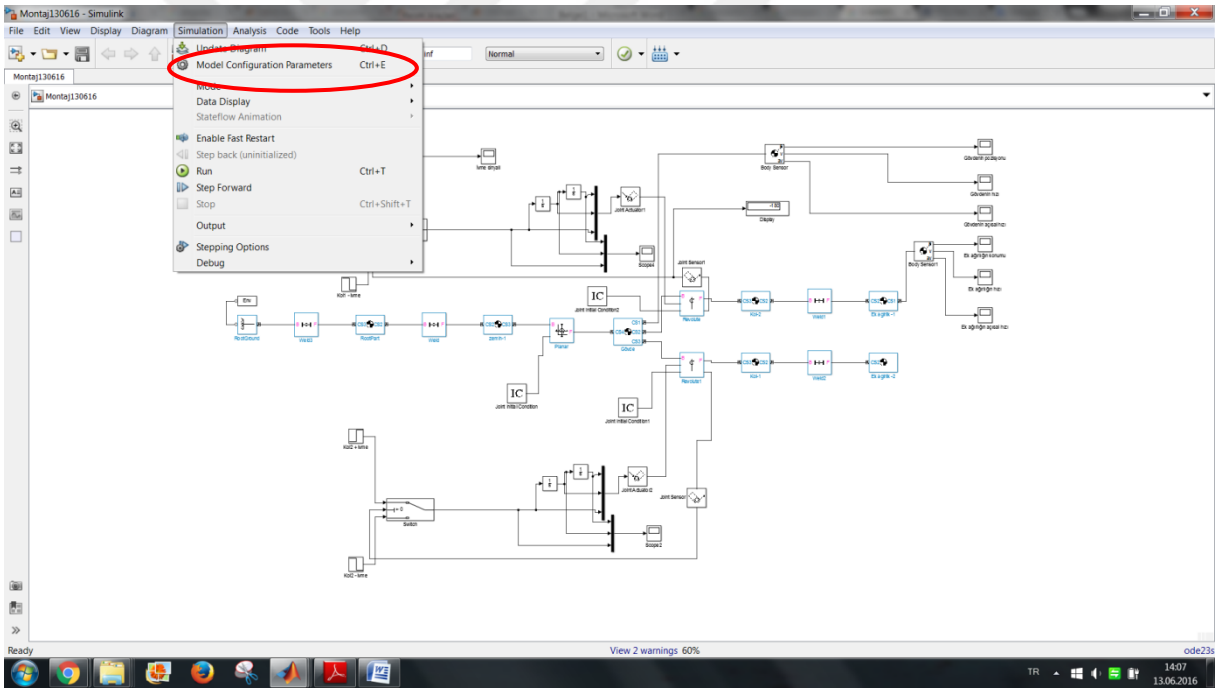
```
[t1,y1]=ode23('fvinc',tspan,y0');
[t2,y2]=ode45('fvinc',tspan,y0');
```

Şekil 5. 28 Ode karşılaştırma [9]

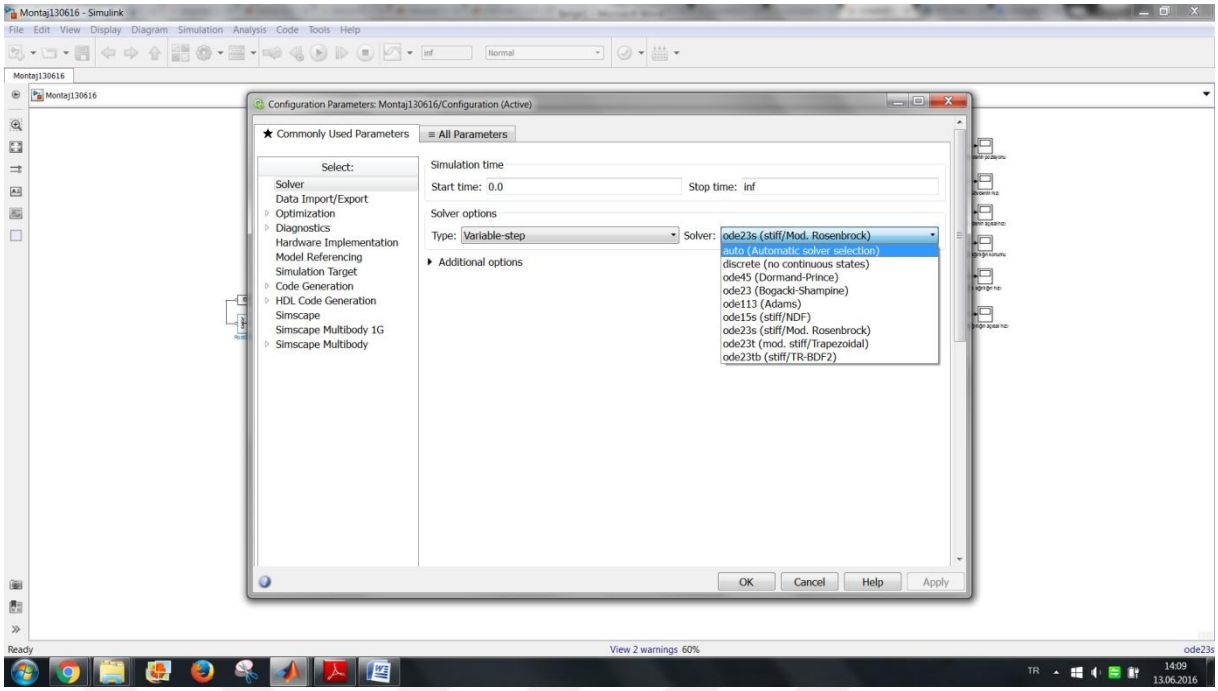
Çözücü(Solver) ayarları sırasıyla şu şekilde yapılmaktadır:



Şekil 5. 29 Simulation



Şekil 5. 30 Model configuration parameters



Şekil 5. 31 Çözücü seçimi

Çözücülerin aralarındaki farklar incelendikten sonra sırasıyla denendi.

Çizelge 5. 1 Çözücüler Arasındaki Farklar

Solver	Problem Type	Order of Accuracy	When to Use
ode45	Nonstiff	Medium	Most of the time. This should be the first solver you try.
ode23	Nonstiff	Low	If using crude error tolerances or solving moderately stiff problems.
ode113	Nonstiff	Low to high	If using stringent error tolerances or solving a computationally intensive ODE file.
ode15s	Stiff	Low to medium	If ode45 is slow because the problem is stiff.
ode23s	Stiff	Low	If using crude error tolerances to solve stiff systems and the mass matrix is constant.
ode23t	Moderately Stiff	Low	If the problem is only moderately stiff and you need a solution without numerical damping.
ode23tb	Stiff	Low	If using crude error tolerances to solve stiff systems.

Ode23, ode23s, ode23t, ode23tb, ode113 Diferansiyel denklem çözücüleri kullanıldığında sonuçlarda ve oluşan grafiklerde anlam veremediğimiz bir değişkenlik olmadı. Başlangıçta farklı başlamalarına rağmen yüksek devirlerde benzer sonuçlar göstermektedirler.

Simülasyonu ode23 ile çözdürülmüştür.

5.6 Simülasyonda Konum, Hız, Pozisyon Değerlerinin Okunması

Simülasyon, parametreler altta belirtilen değerlerde iken çalıştırıldı:

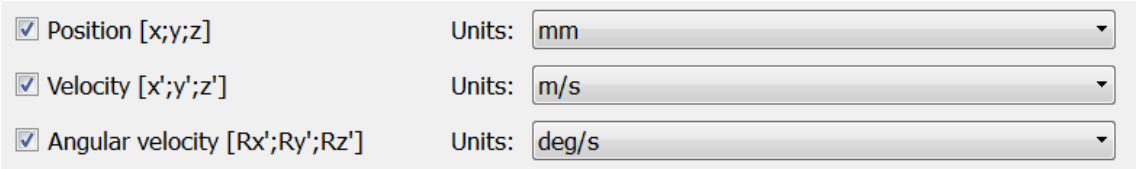
Açısal ivme: 1. Fazda $\ddot{\phi} = 100\ derece/s^2$,2. Fazda $ve\ \ddot{\phi} = -100\ derece/s^2$,

Sistemin kolsuz ağırlığı: 13.8039kg,

Kolların her biri: 340g,

Kollara eklenen ek ağırlık: 1'er adet (147g),

Pozisyon, hız ve açısal hız değerlerini inceleyeceğiz. Birimler:

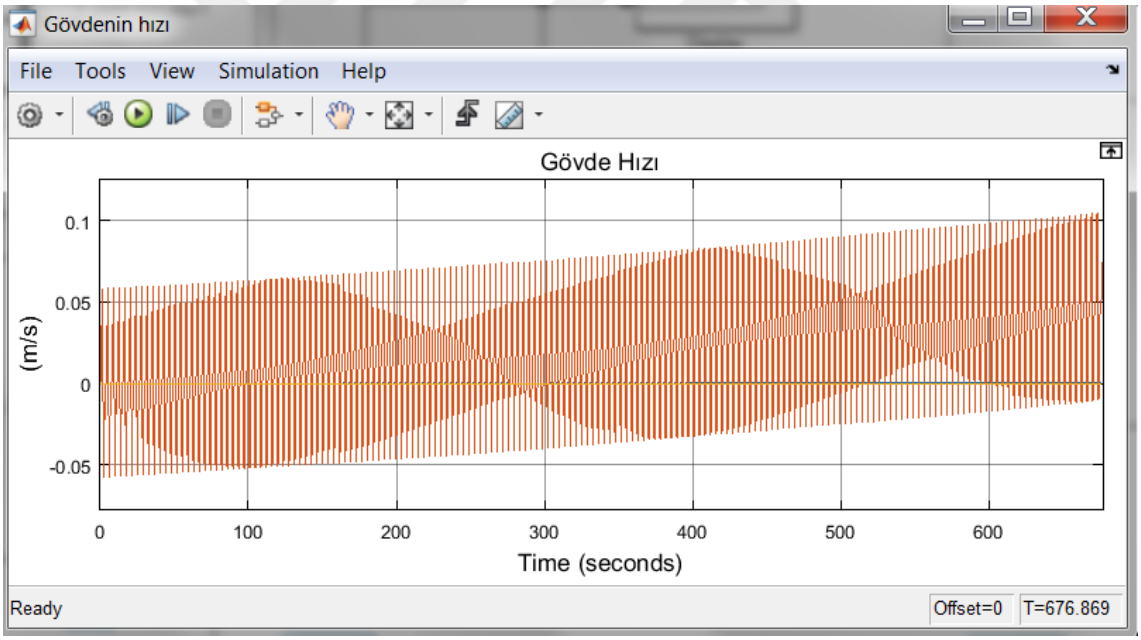


Şekil 5. 32 Sistemden alınan değerlerin birimleri

5.6.1 Çevrimin 677 Saniye Aralıksız Devam Etmesi Durumu:

5.6.1.1 Gövdenin Hızı:

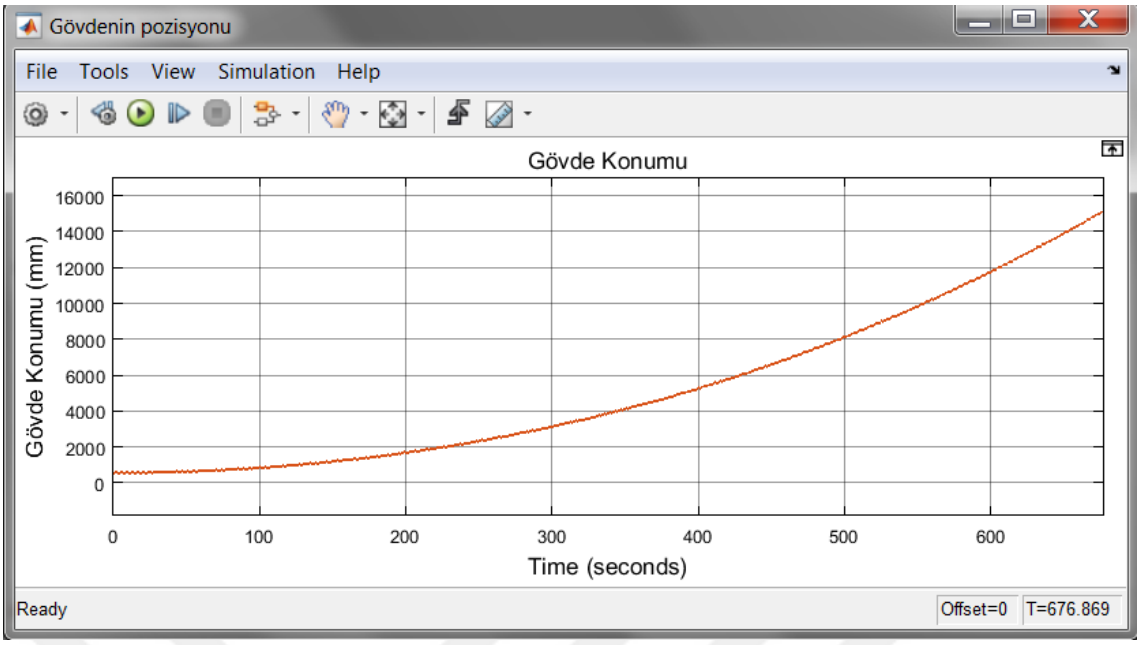
Çevrim sürdüğü sürece sistemin hızı artmaktadır.



Şekil 5. 33 Hız-zaman grafiği

5.6.1.2 Gövdenin Pozisyonu:

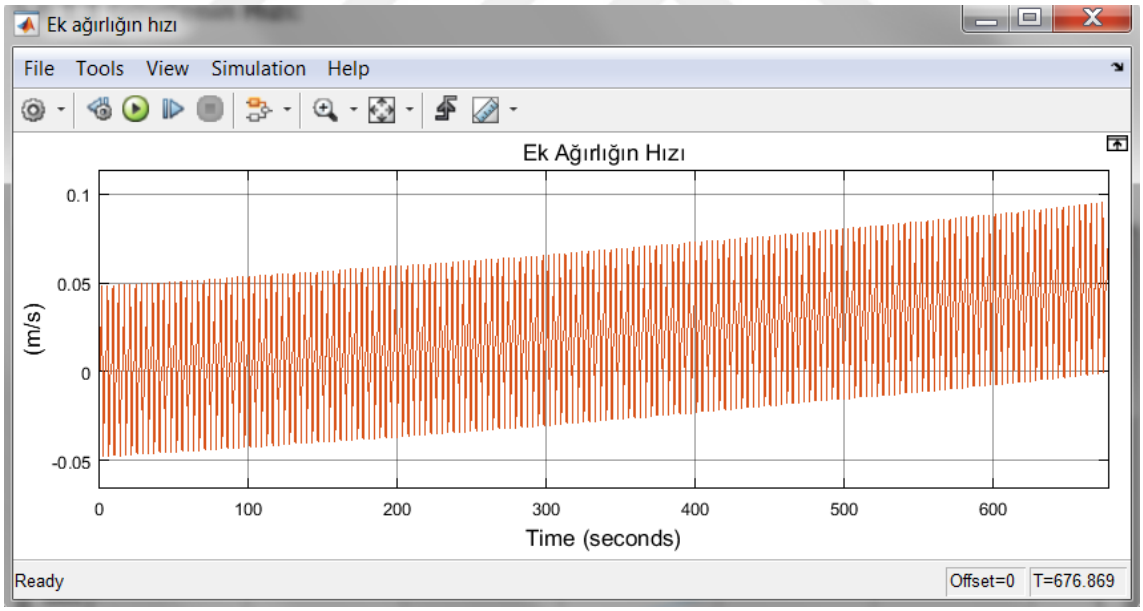
Hızın artması ile beraber, gövdenin konum değişikliği grafikten izlenebilir.



Şekil 5. 34 Konum-zaman grafiği

5.6.1.3 Ek Ağırlığın Hızı:

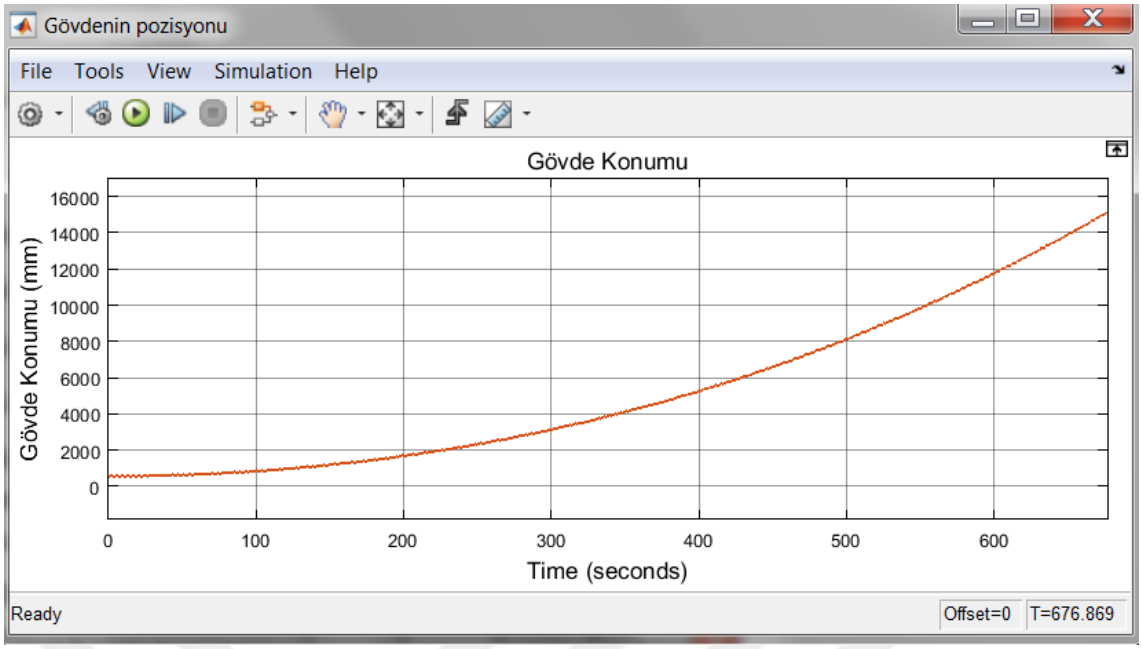
Gövde ile beraber kollarda ötelendiği için hızları zamanla artmaktadır.



Şekil 5. 35 Hız-zaman grafiği

5.6.1.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu:

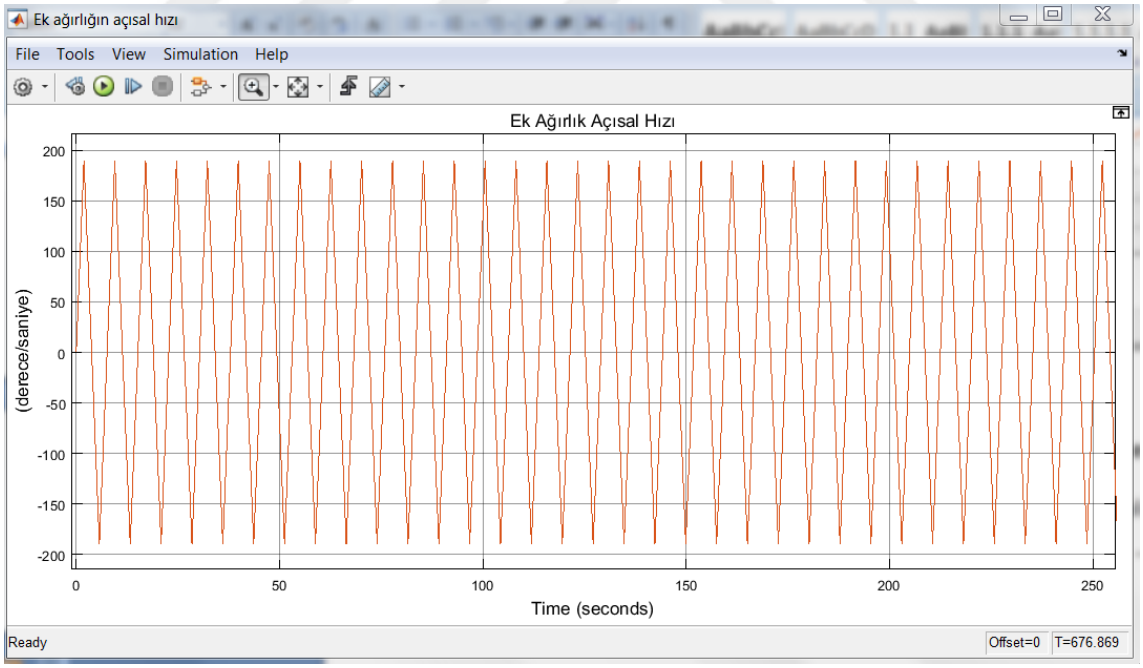
Ek ağırlık ve kolların pozisyonları gövde ile beraber ötelendikleri için zamanla değişmektedir.



Şekil 5. 36 Konum-zaman grafiği

5.6.1.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı:

Durur pozisyonda iken birinci fazda hızlanan ve ikinci fazda yavaşlayıp duran kolların açısal hız-zaman grafiğinde açısal hızın belirli bir aralık dışına çıkmadığı gözlenebilir.



Şekil 5. 37 Açısal hız-zaman grafiği

5.6.2 Sisteme Tek Çevrim Enerji Verilmesi ve Sonra Verilmediği Durum:

Simülasyon, parametreler altta belirtilen değerlerde iken çalıştırıldı:

Açısal ivme: 1. Fazda $\ddot{\phi} = 100\ derece/s^2$,2. Fazda $ve\ \ddot{\phi} = -100\ derece/s^2$,

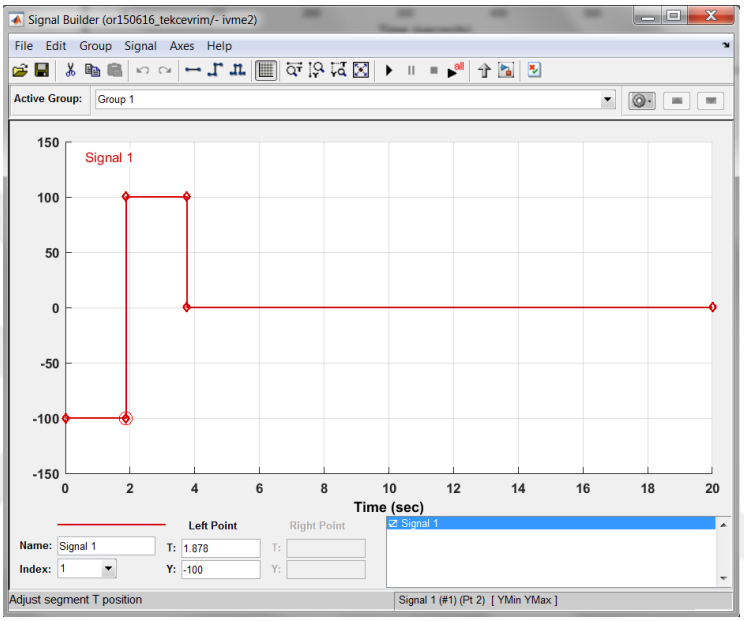
Sistemin kolsuz ağırlığı: 13.8039kg,

Koların her biri: 340g,

Kollara eklenen ek ağırlık: 1'er adet (147g),

Bir çevrim 3.756s olarak hesaplandı. 1. Fazda 1.878sn hızlanma, 2. Fazda 1.878 sn yavaşlama için signal builder ile bir sinyal oluşturuldu. Ve sistem bu sinyal ile sadece 1 tur çalıştırıldı. Toplam 74 saniye sistem gözlemlendi.

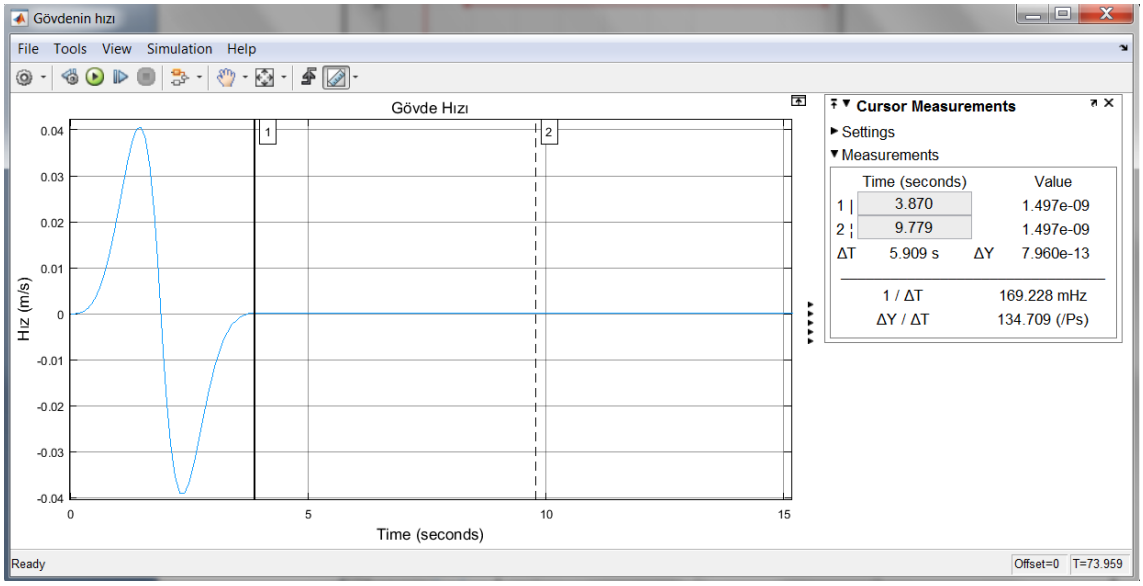
Oluşturulan sinyal:



Şekil 5. 38 Tek bir çevrim için gerekli sinyal

5.6.2.1 Gövdenin Hızı:

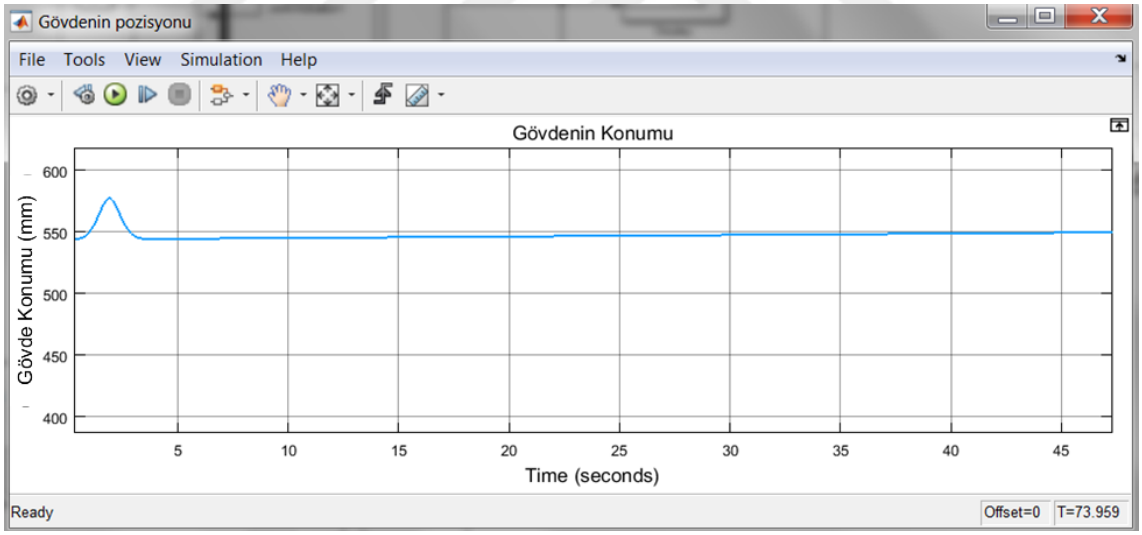
Durur pozisyonda iken birinci fazda hızlanan ve ikinci fazda yavaşlayıp duran kolların sisteme bir öteleme hareketi kazandırdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. 39 Hız-zaman grafiği

5.6.2.2 Gövdenin Pozisyonu:

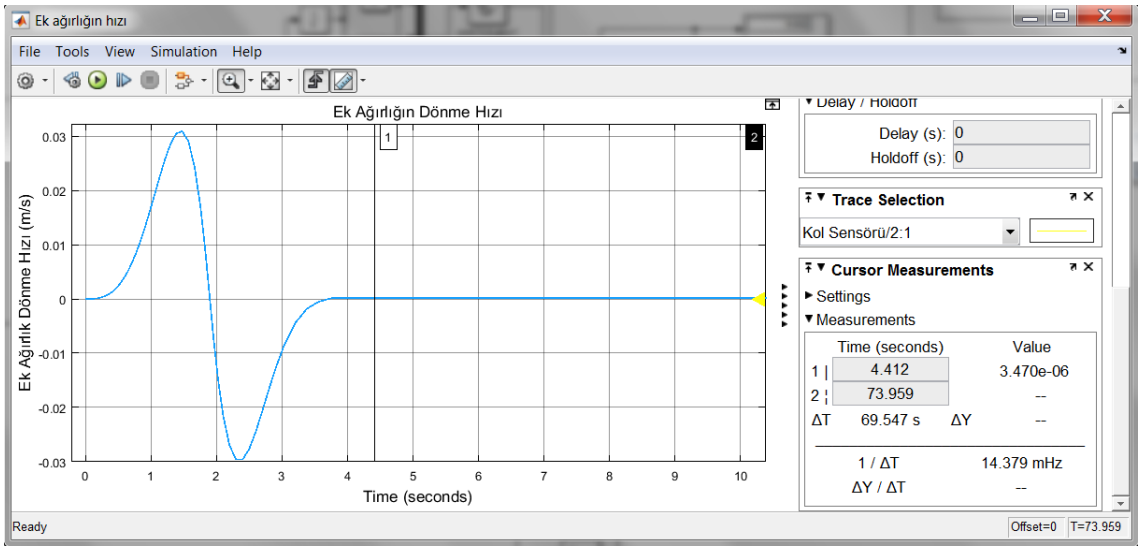
Bir çevrimden sonra sisteme tekrar enerji verilmemesine rağmen sistem, herhangi bir sürtünme ve enerji kaybı ile karşılaşmadığı için mevcut hızı ile uzayda hareketine devam etmektedir.



Şekil 5. 40 Konum-zaman grafiği

5.6.2.3 Ek Ağırlığın Hızı:

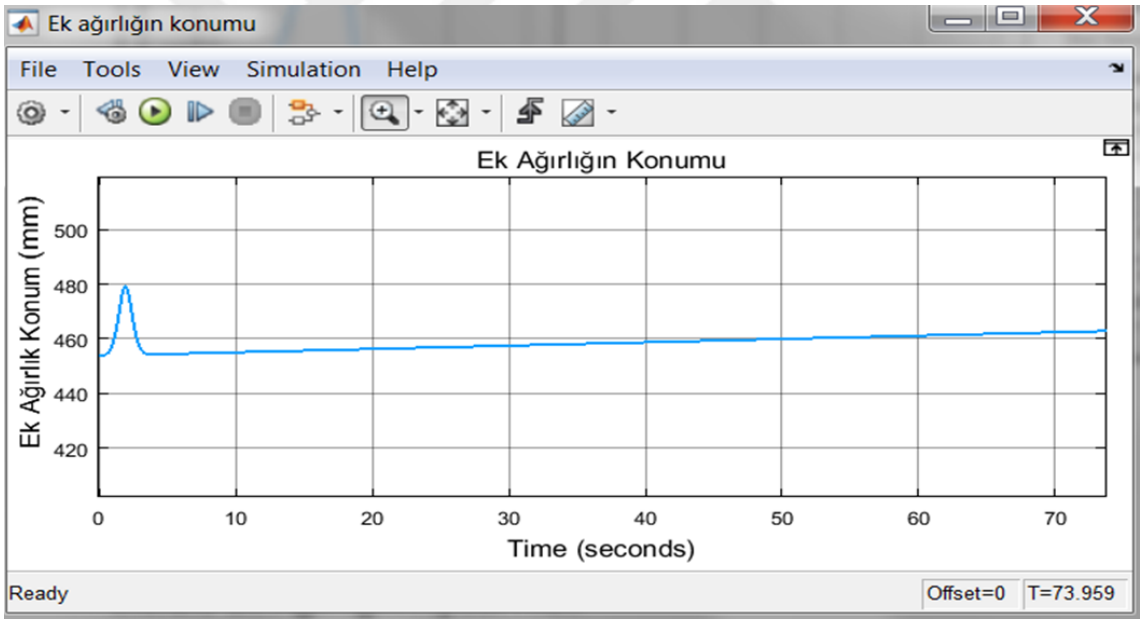
Kollar ve ek ağırlıklarda gövde ile beraber ötelenmektedir.



Şekil 5. 41 Hız-zaman grafiği

5.6.2.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu:

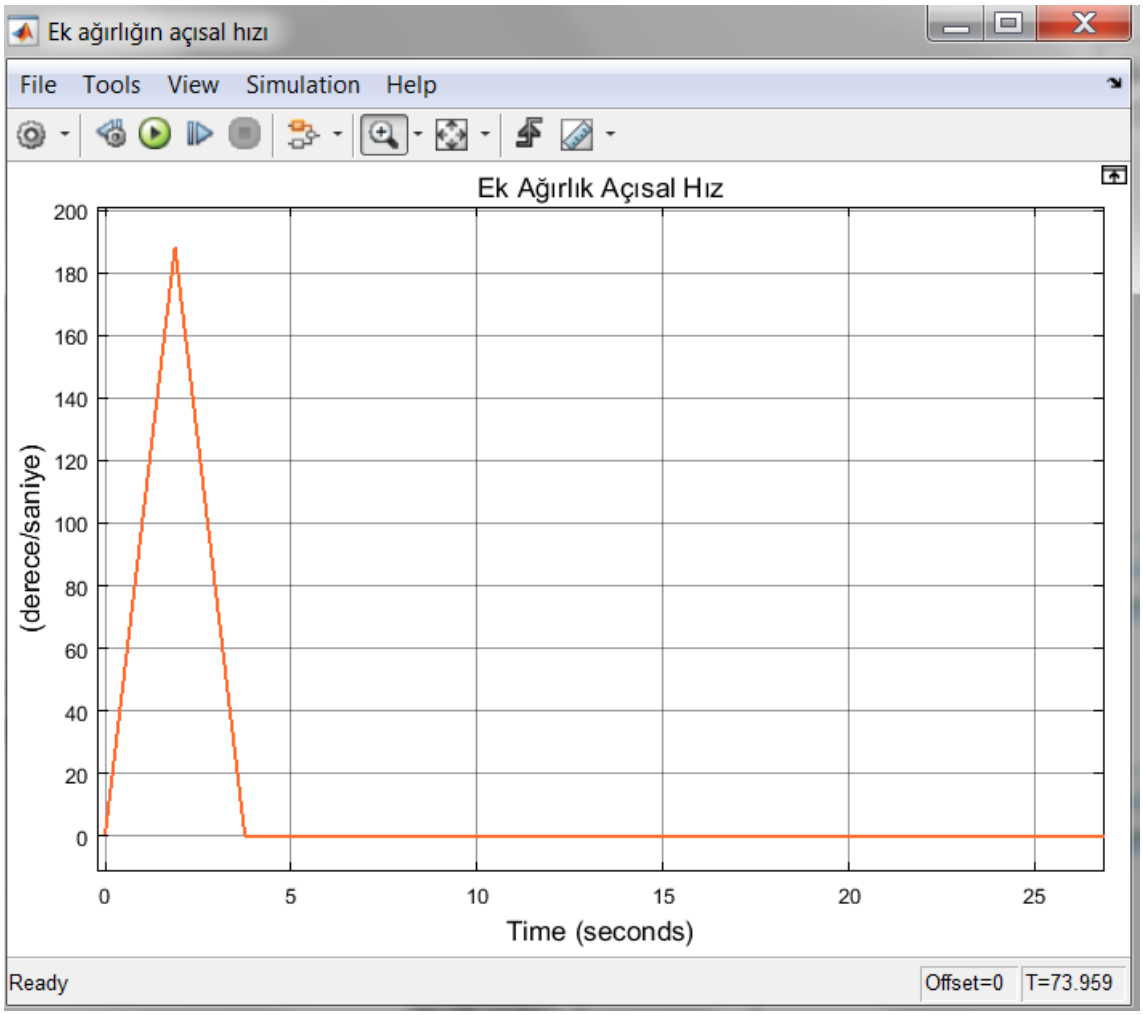
Kollar ve ek ağırlıklarda gövde ile beraber ötelenmektedir.



Şekil 5. 42 Konum-zaman grafiği

5.6.2.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı:

Kollar birinci fazda sabit ile ivmelenerek hızlandıktan sonra, sabit ivme ile yavaşlayarak durmuş, bir çevrimi tamamlamışlardır.



Şekil 5. 43 Açısal hız-zaman grafiği

5.6.3 İkinci Fazsız, Birinci Faz Hareketi Sonrası Çevrim Gözlemi:

Bu deneme, 2. Faz olmasa sistemin nasıl hareket edeceğini, öteleme gözlemlemek için hazırlandı.

Simülasyon, parametreler altta belirtilen değerlerde iken çalıştırıldı:

Açısal ivme: 1. Fazda $\ddot{\phi} = -100\ derece/s^2$,2. Fazda $ve\ \ddot{\phi} = 0\ derece/s^2$,

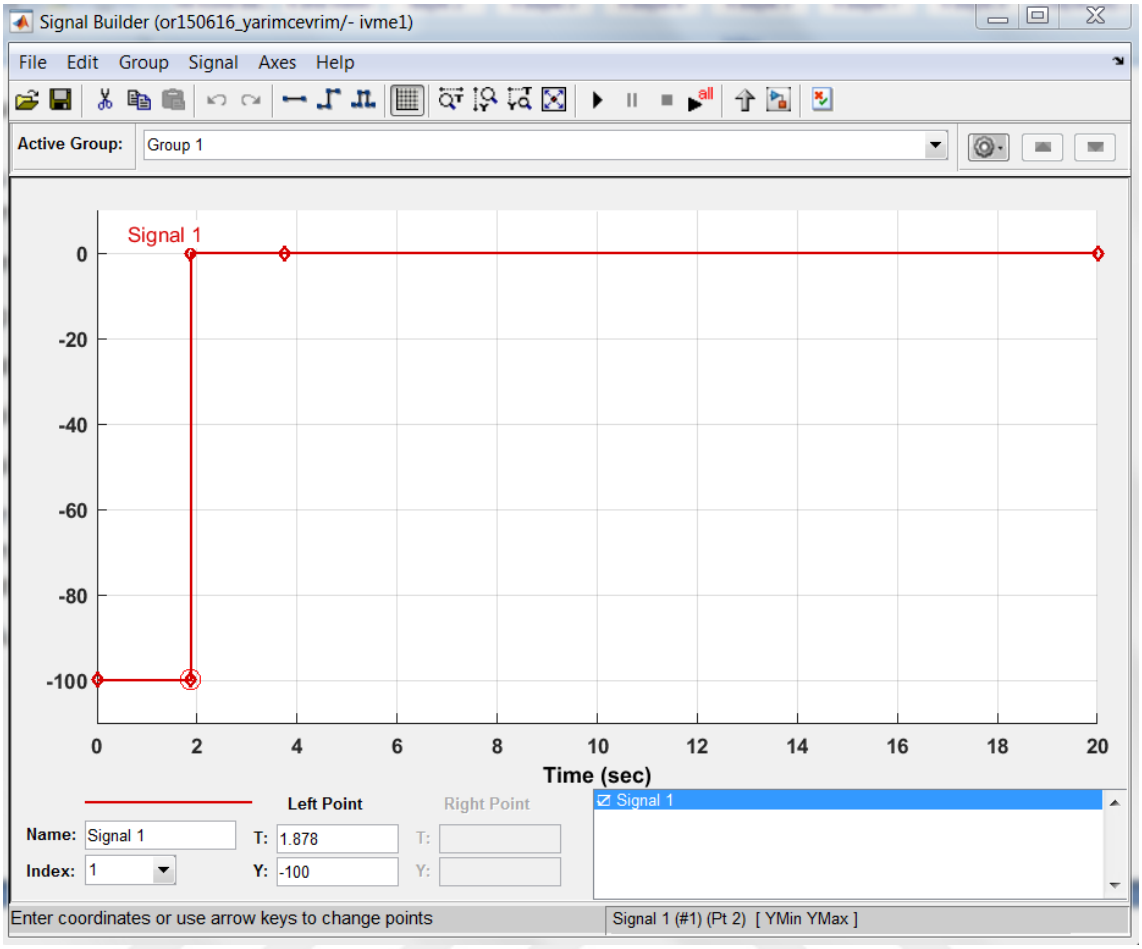
Sistemin kolsuz ağırlığı: 13.8039kg,

Koların her biri: 340g,

Kollara eklenen ek ağırlık: 1'er adet (147g),

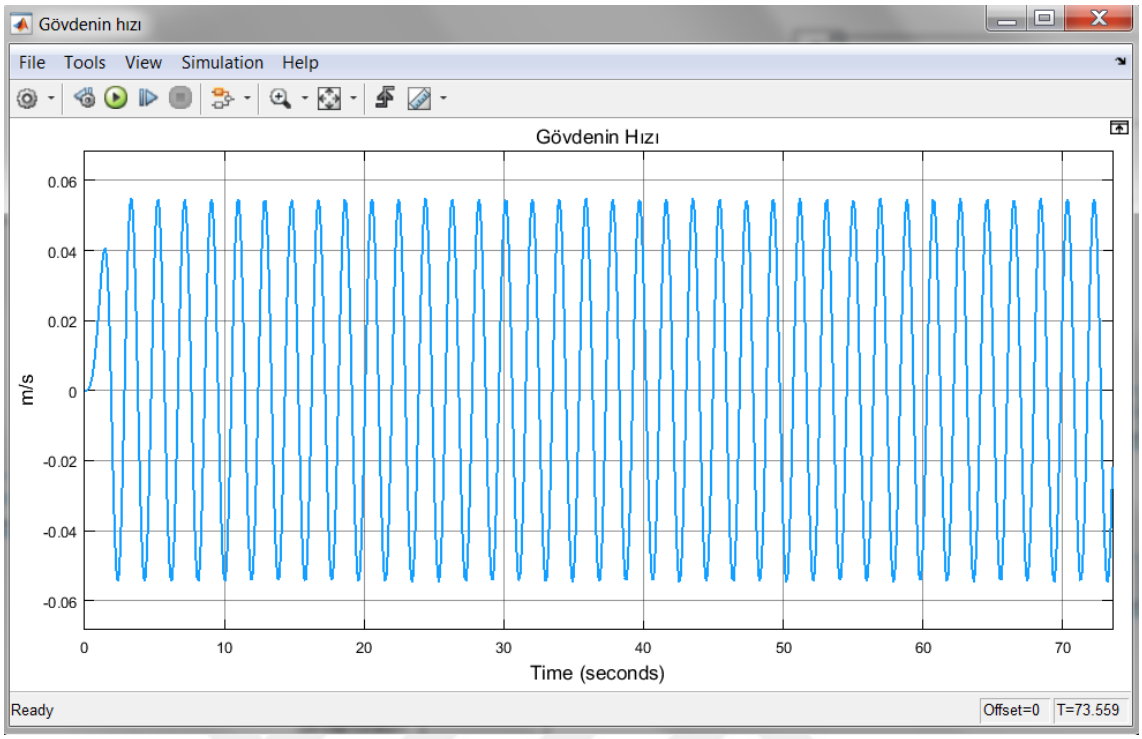
Bir çevrim 3.756s olarak hesaplandı. 1. Fazda 1.878sn hızlanma için signal builder ile bir sinyal oluşturuldu. Ve sistem bu sinyal ile sadece 1 tur çalıştırıldı. Toplam 73 saniye sistem gözlemlendi.

Oluşturulan sinyal:



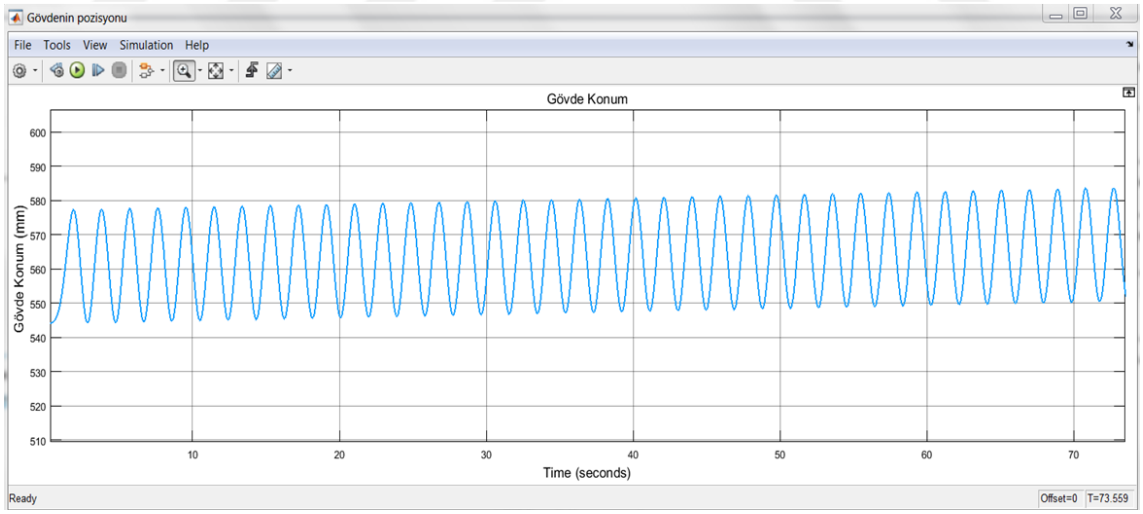
Şekil 5. 44 Sisteme sadece birinci fazda enerji verilmesi

5.6.3.1 Gövdenin Hızı:



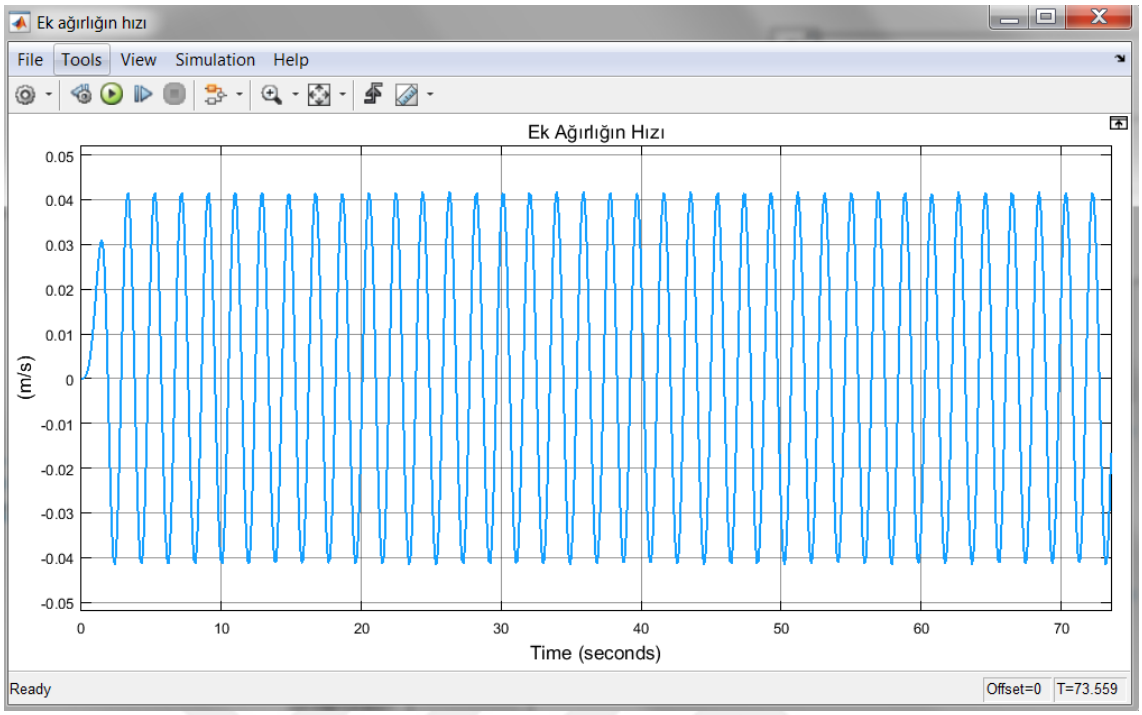
Şekil 5. 45 Hız-zaman grafiği

5.6.3.2 Gövdenin Pozisyonu:



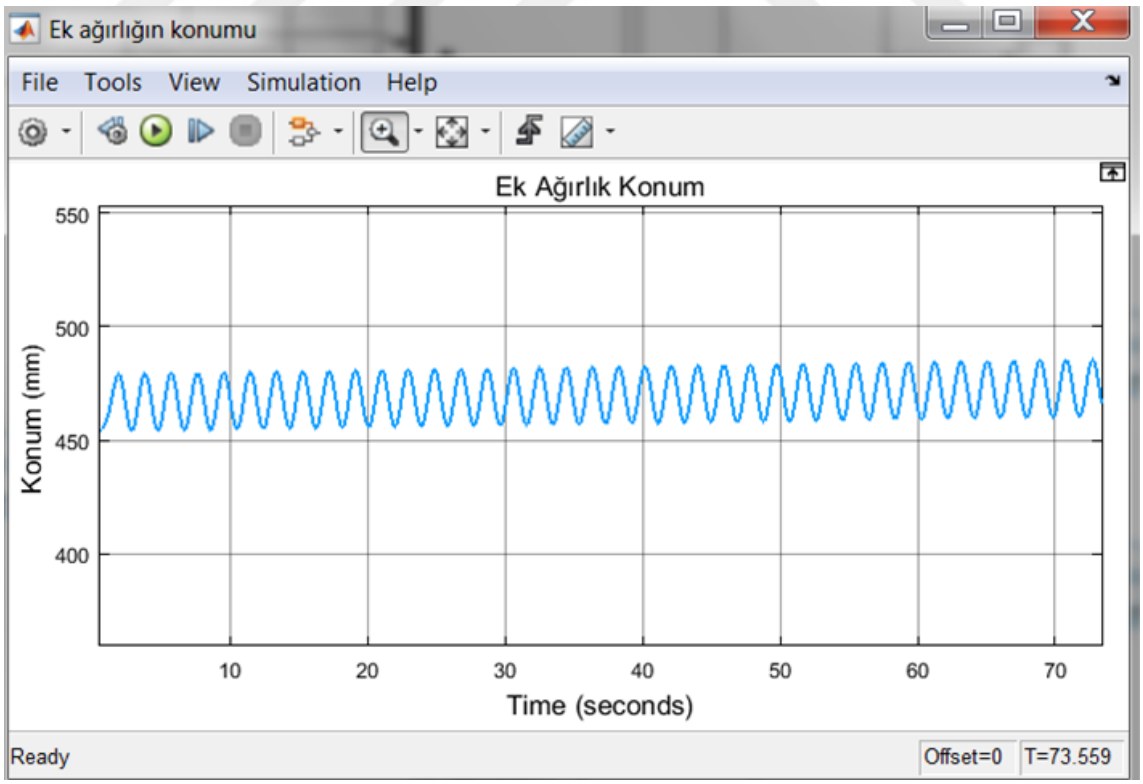
Şekil 5. 46 Konum-zaman grafiği

5.6.3.3 Ek Ağırlığın Hızı:



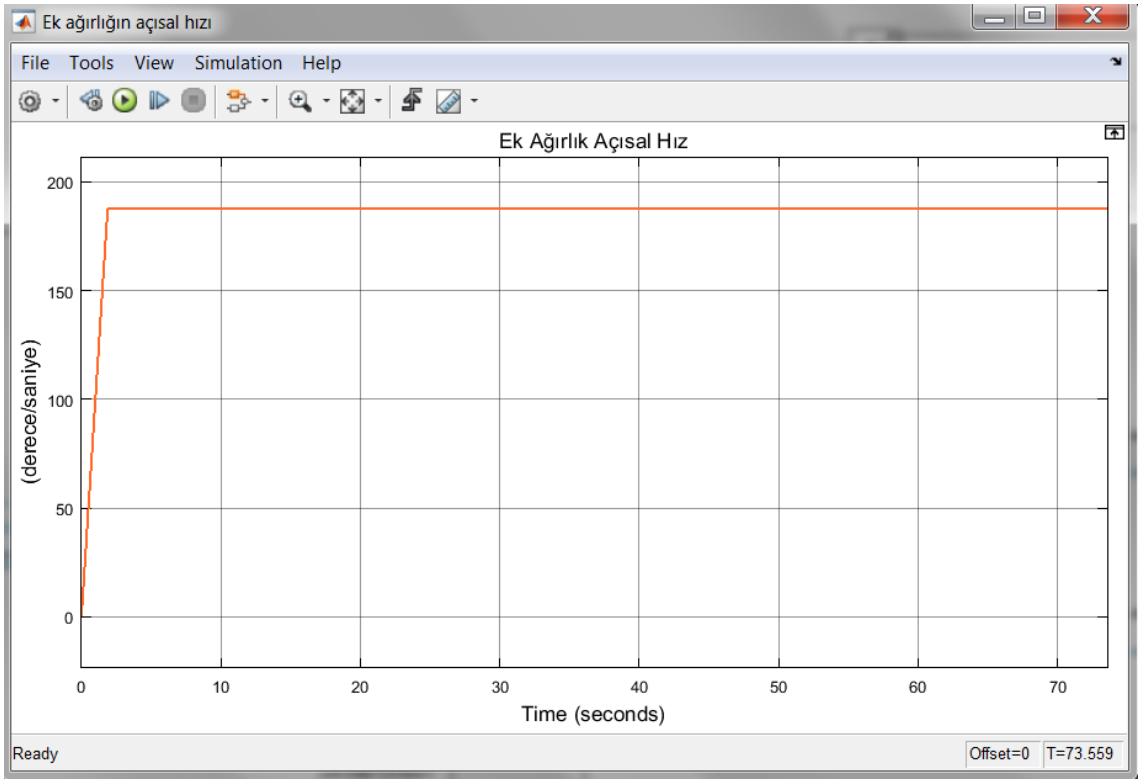
Şekil 5. 47 Hız-zaman grafiği

5.6.3.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu:



Şekil 5. 48 Konum-zaman grafiği

5.6.3.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı:



Şekil 5. 49 Açısal hız-zaman grafiği

5.6.4 Sistemin İvmesiz, Sabit Hız İle Hareket Etmesi Durumu:

Bu denemede sistemin ivmesiz sabit hız ile hareketi gözlemlendi. Ötelemeyi gözlemlemek için hazırlandı.

Simülasyon, parametreler altta belirtilen değerlerde iken çalıştırıldı:

Açısal ivme: $\ddot{\phi} = 0\ derece/s^2$,

Açısal Hız: $\dot{\phi} = 100\ derece/s$,

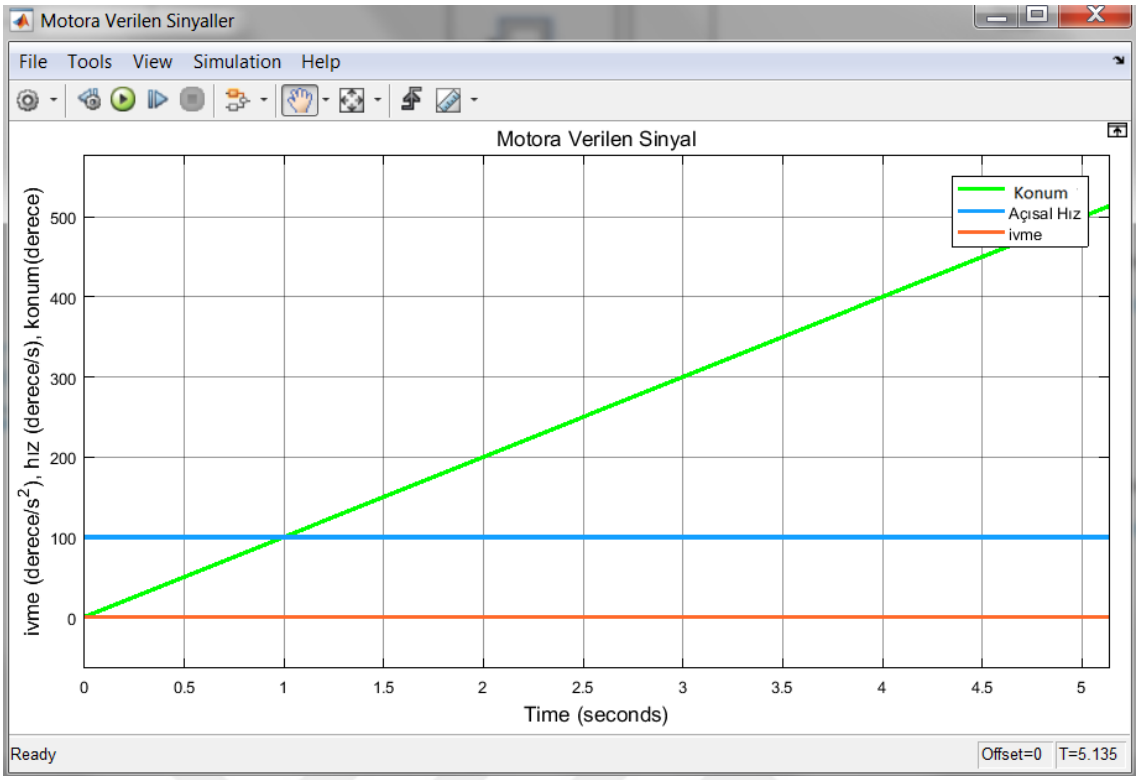
Sistemin kolsuz ağırlığı: 13.8039kg,

Koların her biri: 340g,

Kollara eklenen ek ağırlık: 1'er adet (147g),

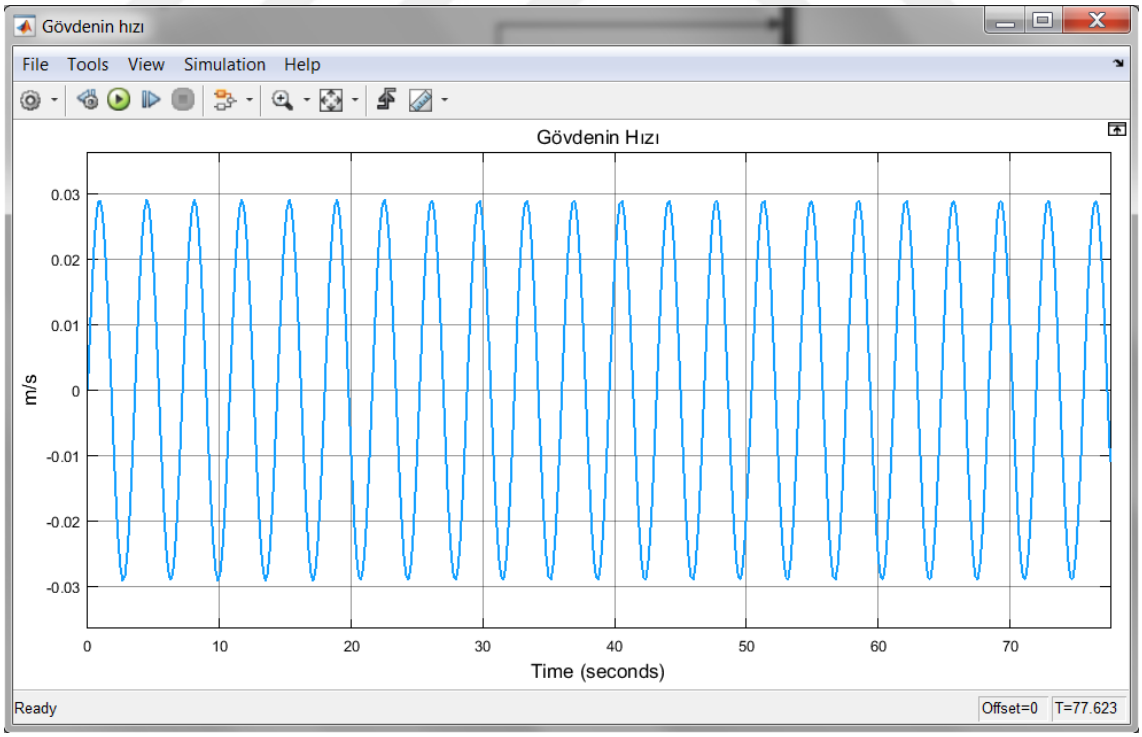
Toplam 77 saniye sistem gözlemlendi.

Oluşturulan sinyal:



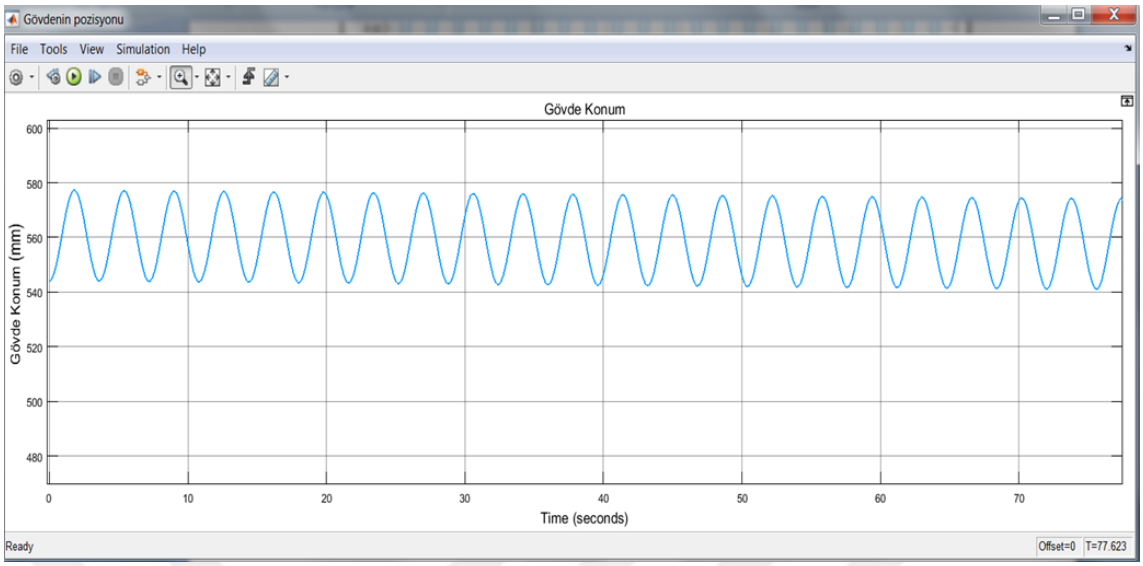
Şekil 5. 50 Sistemin ivmesiz, sabit hız ile hareketi için gerekli sinyal

5.6.4.1 Gövdenin Hızı:



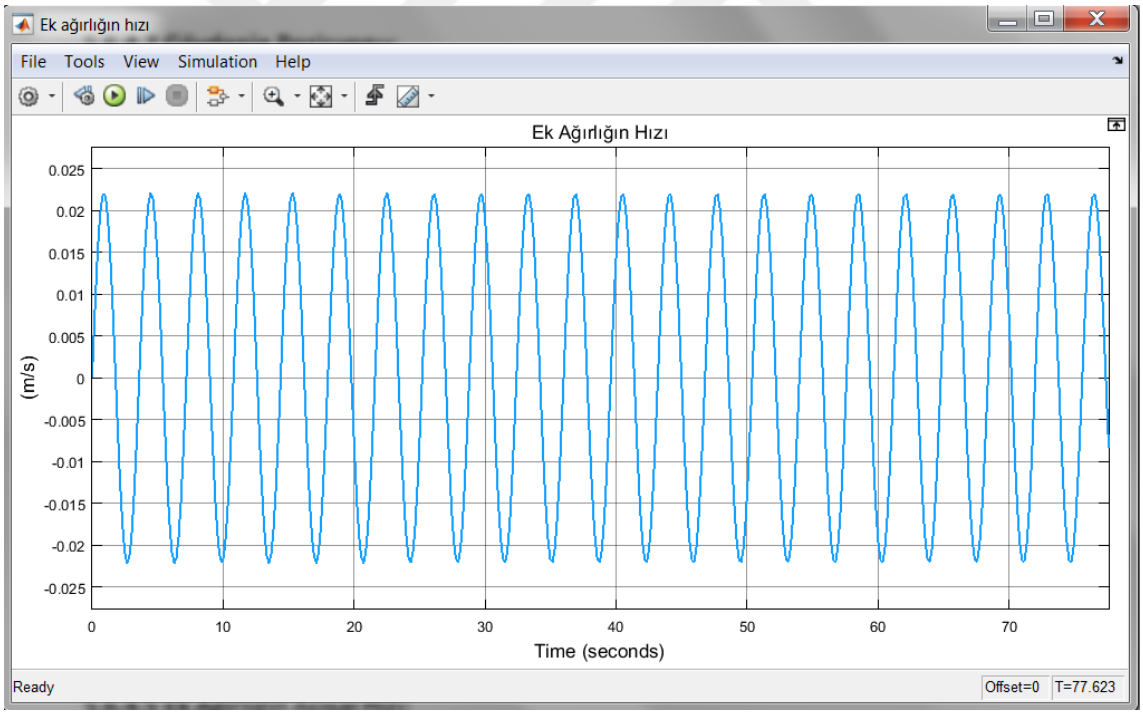
Şekil 5. 51 Hız-zaman grafiği

5.6.4.2 Gövdenin Pozisyonu:



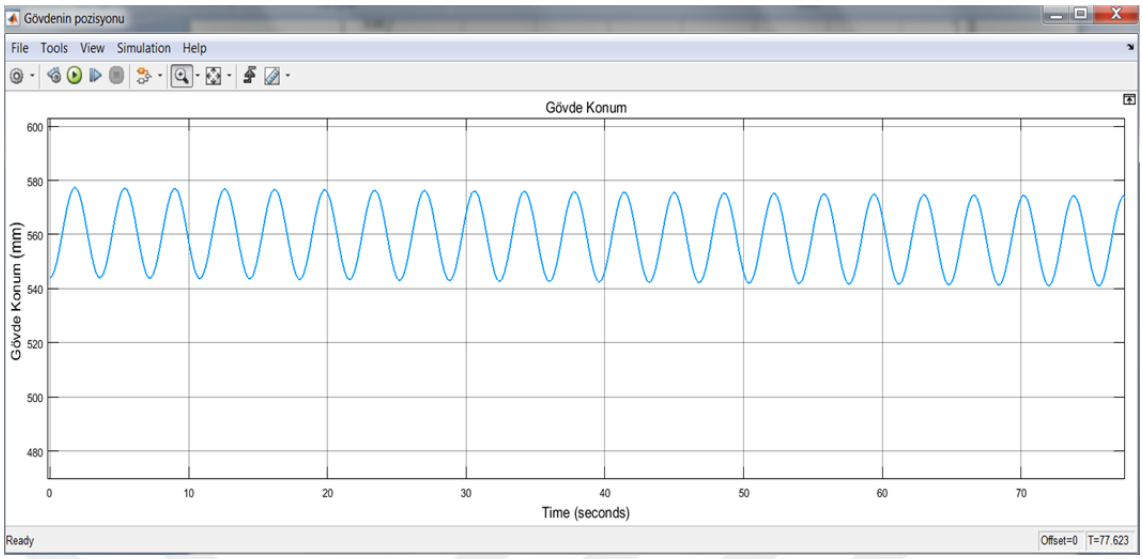
Şekil 5. 52 Konum-zaman grafiği

5.6.4.3 Ek Ağırlığın Hızı:



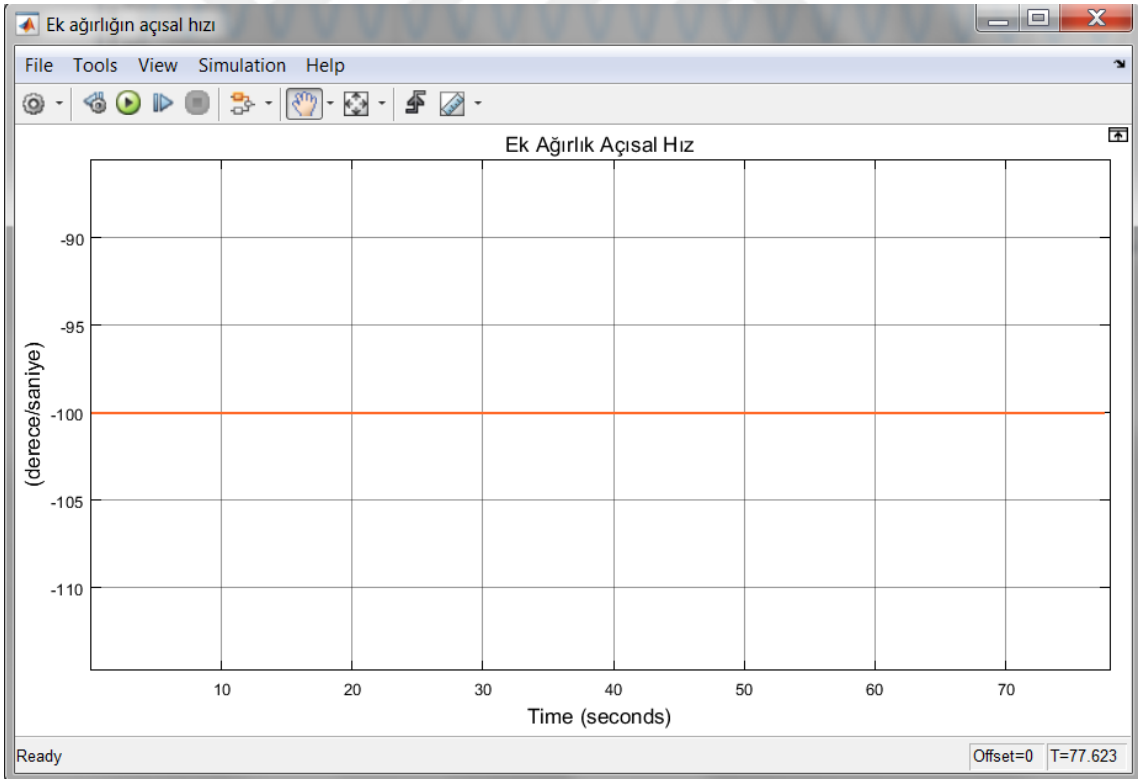
Şekil 5. 53 Hız-zaman grafiği

5.6.4.4 Ek Ağırlığın Pozisyonu:



Şekil 5. 54 Konum-zaman grafiği

5.6.4.5 Ek Ağırlığın Açısal Hızı:



Şekil 5. 55 Açısal hız-zaman grafiği

BÖLÜM 6

DENEY DÜZENEĞİNİN KONTROL SİSTEM KURULUMU VE PROGRAMLANMASI

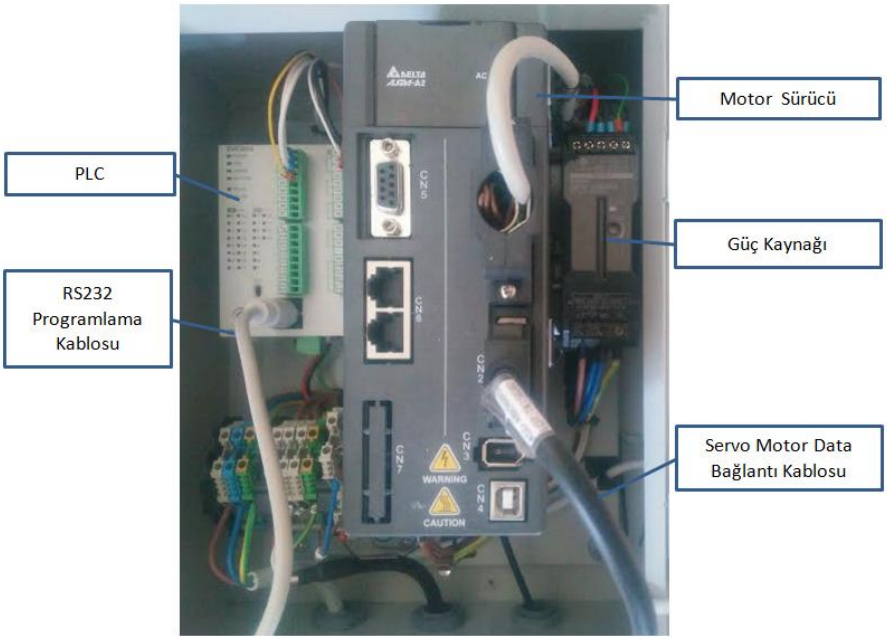
Bu bölümde, 4. Bölümde mekanik tasarım, imalat ve montajı tamamlanan deney düzeneğinin kontrol sistem kurulumu ve bu sistemin programlanması işlenecektir.

Donanımın tedariği, bağlantısı, programlama ve denemeler konusunda Dostel Otomasyon San. Ltd. Şti.'deki personelle beraber çalışılmıştır.

6.1 Kontrol Sisteminin Bileşenleri

Sistemde kullanılan ECMA-C10807GS AC Servo motorun sürülebilmesi için gerekli teknik özelliklere sahip donanım şu şeklide seçilmiştir:

- Güç Kaynağı: Omron S8VK—C06024
- Motor Sürücü: Delta ASD-A2-0721-M
- PLC: Delta DVP28SV
- Pano
- Anahtar, kablo ve bağlantı elemanları
- USB 2.0 – RS232 Seri çevirici
- Omron E2A Endüktif Sensör



Şekil 6. 1 Deney düzeneği kontrol ünitesi

6.2 Kontrol Sisteminin Programlanması

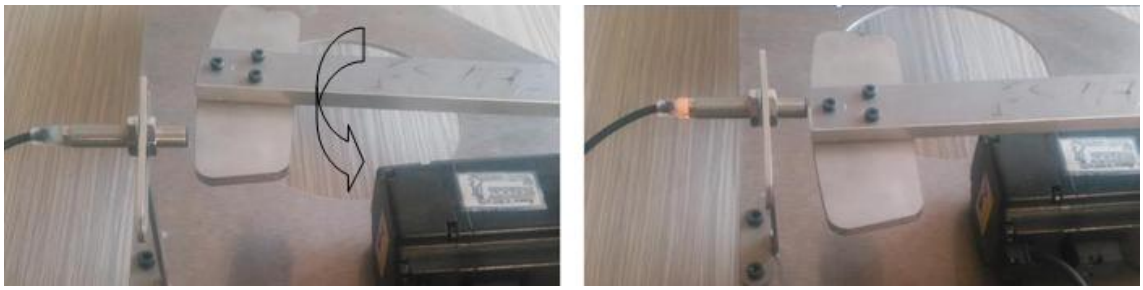
Program WPLSoft 2.41 ile düzenlendi. WPLSoft yazılımı Windows tabanlı bilgisayarlarda Delta DVP serisi PLC'ler ve VFD-E serisi sürücüler için program düzenleyicisidir.

Ladder diyagram ve kod olarak program düzenleyebilen bu programda, programı ladder diyagram olarak düzenlenmiştir.

Düzenlenen program PLC'ye kaydedilmiştir. Sistem bilgisayar bağlantısı olmadan çalışabilmektedir. Enerji kaynağına bağlanmış olan kontrol panosunun şalteri açıldıktan 2-3 sn sonra PLC ve sürücü kullanıma hazır olmaktadır.

Yazılan programın mantığı:

- Ek ağırlık bağlanmış kollar home-başlangıç pozisyonuna gelir.(Sağ resimde sensörün ışığı yanıyorsa, kol başlama pozisyonuna gelmiştir.)



Şekil 6. 2 Deney düzeneği başlangıç pozisyon kontrolü

- 1.Faz boyunca hızlanır

- Anlık sabit bir hıza ulaşır(Rampa değerleri değiştirilerek bu bölge genişletilebilir.)
- 2.Faz Boyunca yavaşlar

Birinci fazdaki hızlanma ve ikinci fazdaki yavaşlama, ladder programında rampa fonksiyonu ile yapılmıştır, değiştirilebilir.

PLC'deki program kontrol panosu üzerindeki başlat-durdur butonu ile çalıştırılabilir.



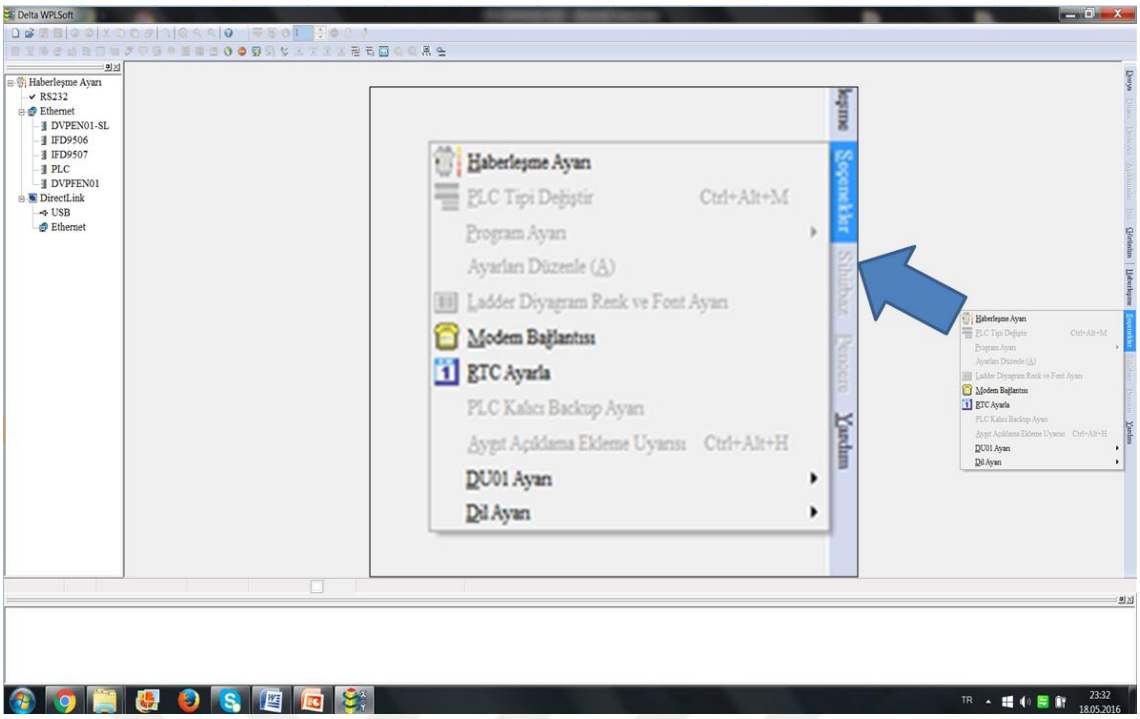
Şekil 6. 3 Deney düzeneği kontrol ünitesi üzerindeki başlangıç butonu

6.2.1 Bilgisayar PLC Bağlantısı

Bilgisayarda hazırlanan ladder programının PLC'ye yüklenmesi veya PLC üzerindeki programın bilgisayardan kontrol edilebilmesi için PLC ve bilgisayar arasında bir bağlantı olması gerekmektedir.

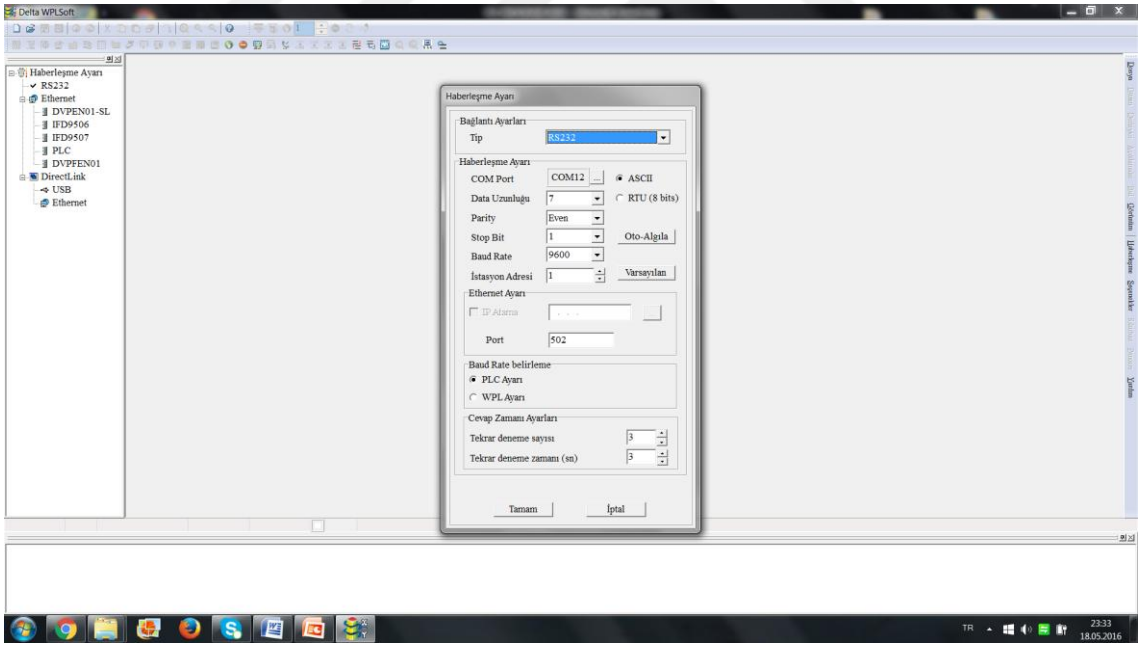
Bu deney düzeneğinde RS232 portu dönüştürücüsü kullanarak bilgisayarın USB girişi ile PLC arasına kablo bağlayarak bu bağlantıyı sağlayabiliyoruz.

Sistem çalışırken WPLSoft'u çalıştırdıktan sonra, ana ekranın sağ tarafındaki seçenekler kısmının üzerine geldikten sonra "Haberleşme Ayarı" tıklanmalı.

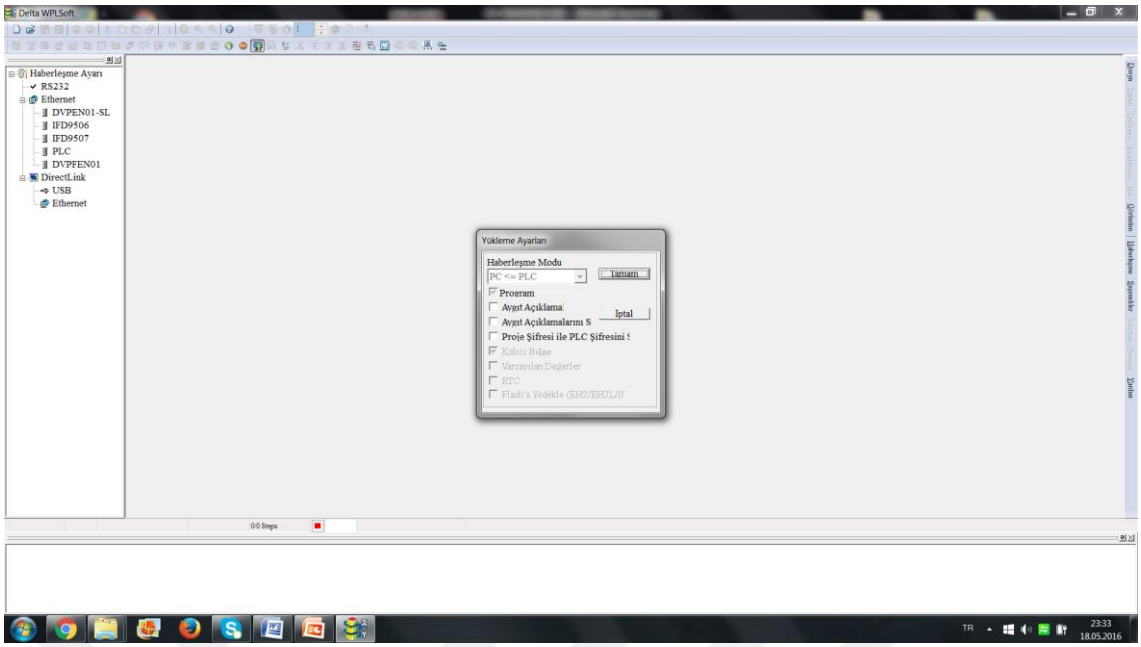


Şekil 6. 4 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 1

Port bağlantısı sağlanmalı.



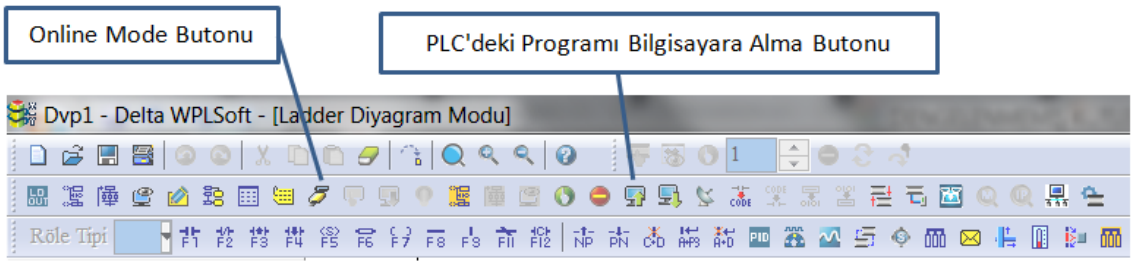
Şekil 6. 5 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 2



Şekil 6. 6 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 3

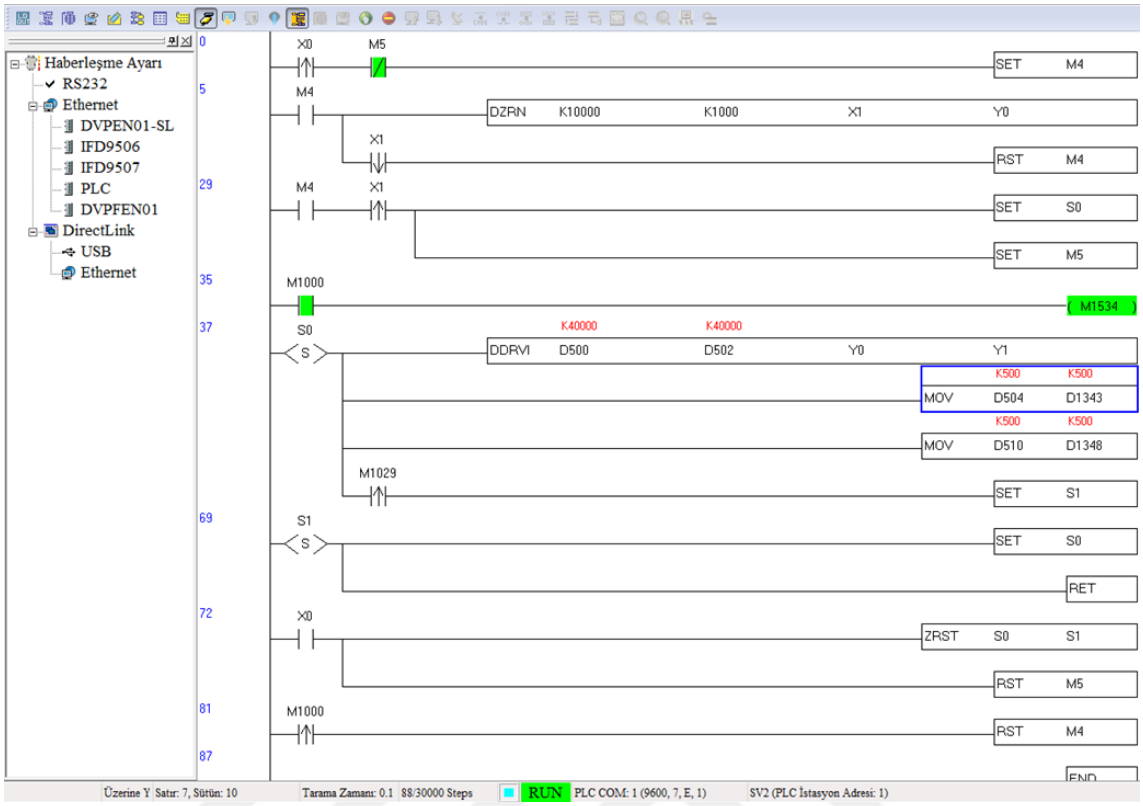
Bağlantı sağlandıktan sonra sistem “Online Mode”’a alınabilir.

Program üzerinde değişiklik yapılabilir.



Şekil 6. 7 WPLSoft programı ile PLC haberleşmesi 4

6.2.2 Deney Düzeneği PLC Programı



Şekil 6. 8 Deney düzeneği PLC programı

- 0. Satır:

  X0 Başlat butonuna manuel basılması

  M5 Sistem home-Başlangış pozisyonunu arar.

  M4 PLC içerisindeki röleyi çektirerek çevrimi başlatır.

- 5. Satır:

  M4 Kontak kapanıyor. DZRN komutu ile servo motor home-başlama pozisyonu sinyali gelene kadar 1000 pals hızı ile hareket eder.

  X1 Home pozisyon sensörü, kolu gördükten sonra M4'ü resetler.

- 29. Satır:

  M4, X1'i devreden çıkar.

- 35. Satır:

  M1000, M1534'ü aktif edilmesi ile hızlanma ve yavaşlama rampaları ayarlanabilir.

- 37. Satır:

S0, DDRVI ALT Programını devreye alıyor. DDRVI komutu ile istenilen frekansta istenilen pals adedi incremental ve rampalı olarak üretilir. Burada:

D500: Konum. Servo motorun bir turu 10000 pals olarak ayarlandı. Redüktörün 4:1 oranında devri düşürmesi sebebi ile kolların bir tur atabilmesi için motorun 40000 pals dönmesi gerekmektedir.

D502: Hız. Sistemin ulaşacağı maksimum hızı belirtmektedir.

D504: Kalkış rampası. Buraya girilen pals değeri sonunda sistemin hızı D502'de belirtilen hıza ulaşacaktır.

D510: Duruş rampası. Buraya girilen pals değeri sonunda sistemin hızı sıfırlanacaktır.

- 69. Satır:

  37. Satırdaki alt programın, dış müdahale olmadıkça döngüsel olarak devam etmesini sağlamaktadır.

- 72. Satır:

  Başlat butonuna basılmasıyla, home pozisyon sensörünü ve 37. Satıdaki döngüyü resetler.

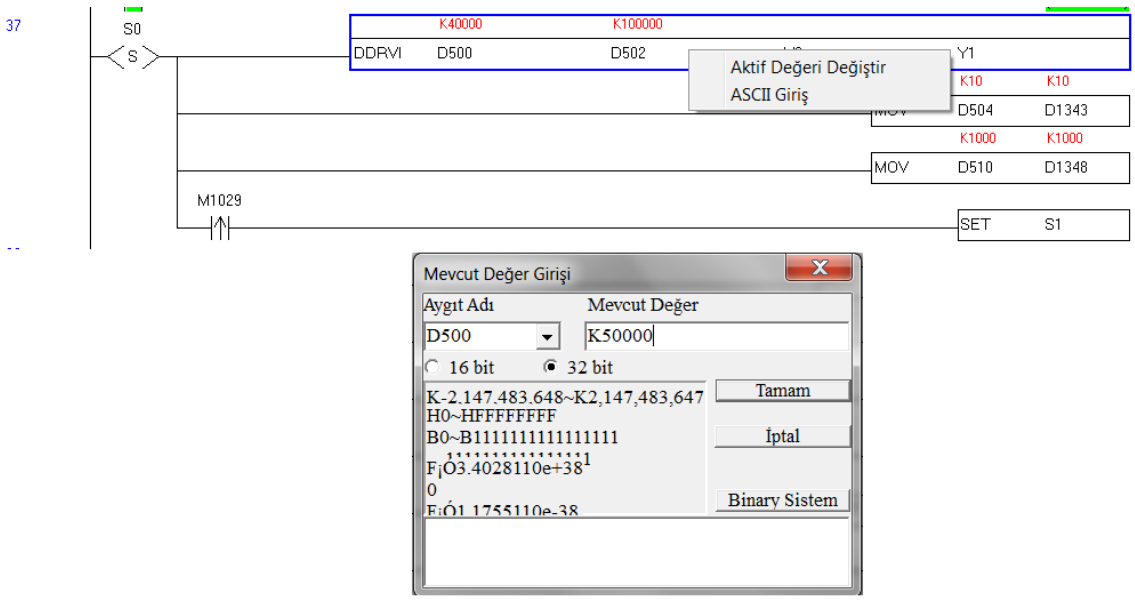
- 81. Satır:

  72. Satırdaki Başlat butonuna manuel basılması ile çevrim durur.

- 87. Satır:

  Programın bittiğini simgeler.

Başlangıç pozisyonu, hız, rampa değerleri değiştirilmek istendiğinde, değiştirilmek istenen değerin bloğu farenin sol tuşu ile seçildikten sonra farenin sağ tuşuna basılınca çıkan menüde aktif değeri değiştir seçeneği seçilerek yapılabilir.



Şekil 6. 9 PLC Programında değer değiştirme

Örneğin, D500 değerini 40000 pals'tan 50000'a çıkarmak için mevcut değer kısmına K50000 yazılması gerekmektedir. Bu değişiklil yapılırsa, sistem bir tam turu 50000 pals olarak algılayacaktır.

Kalkış ve duruş rampalarının değiştirilmediği, maksimum hızın arttırıldığı bir deney düzeneği konum değişimi ölçümlendi. Her ölçüm 3'er kez yapılıp ortalamaları alınmıştır. İvme yükseldikçe birim zamandaki yer değişimin artışı gözlemlenmiştir. Ölçüm cihazı ve deney ortamında iyileştirme yapılarak daha sağlıklı sonuçlar alınabilir. Farklı zemin ve eğimlerde sistem farklı sonuçlar verecektir. Konum değişikliğini tespit ettiğimiz bu çalışma kayıtları aşağıdaki çizelgeye işlenmiştir.

Çizelge 6. 1 Deney ölçümleri

D500	D502	D504	D510	Bir Çevrim Sonrası Gövdenin Yer değiştirmesi(mm)
40000	40000	1000	1000	19
40000	60000	1000	1000	33
40000	80000	1000	1000	48
40000	100000	1000	1000	51

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Uzayda kapalı bir kutu düşünün. Bu kutu üzerine dışarıdan herhangi bir kuvvet uygulanmamakta ve kutudan dışarı bir kütle atılmamasına rağmen, kutu farklı yönlerde doğrusal hareket edebiliyor. Bu çalışmada, kutunun içine baktık. Bir gövdeye sabitlenmiş, zıt yönlü düzgün olmayan dairesel hareket yapabilen iki adet kola bağlı eşit kütlelerin ataleti ile tüm sistemi hareket ettirmesini analiz ettik. Yarattığımız titreşimi bir yöne yönlendirmeye çalıştık.

Şu ana kadar konu hakkında yapılmış en etkili çalışmaları değerlendirdik. Tasarımlarını inceledik. Bir tasarım gerçekleştirdik, bilgisayarda analiz programları kullanarak hareketi ve kuvvetleri analiz ettik. Analizler sonucu elde ettiğimiz bulgularla, bağlantılı oldukları bir cismin üzerinde zıt yönlü dönme hareketi yapan iki eşit kütleli cismin sistemi hareket ettirebileceğini gözlemledik. Tasarladığımız sistemi imal ettik ve tekerleklerine herhangi bir kuvvet verilmeyen bu sistemin doğrusal hareketini gözlemledik. Bu sisteme atalet sürücüsü adını verdik.

Sürtünmesiz, enerji kayıpsız ortamda teorik ve sürtünmeli ortamda deneysel çalışmalar yaptık. Statik sürtünmeyi yenerek, dinamik sürtünme ve enerji kayıplarına rağmen hareket edebilen bir deney tasarımını hayata geçirdik.

Olabildiğince basit, uygun maliyetli, bakımı kolay, az komponentten oluşan bir sistem tasarladık.

Atalet sürücüler, endüstriel olarak kullanım alanı geniş bir teknolojidir. Uydu ve uzay araçlarının hareket ettirilmesi, konumlanması yanı sıra, yumuşak ve stabil olmayan

yüzeylerde hareket sağlayabilecek mekanizmalarda kullanılabilir. Toprağa saplanmış tank, traktör, iş makinaları bu teknoloji ile hareketlerine devam edebilirler. Buzlanmış, kaygan zeminlerde, virajlarda kontrolünü kaybetmiş araçları güvenli sınırlarda tutmaya yarayabilir.

Atalet sürücü eksen pozisyonları servo motorlarla kontrol edilen bir jiroskobun iç çemberine sabitlenirse, oluşturduğu doğrusal kuvvet ve jiroskop pozisyon kontrolü sayesinde uzayda istenilen yöne hareket edebilen bir sistem tasarlanabilir.

Sistemi, kollara bağlı kütlelerin ataletleri yönlendirmektedir. Aslında bu ağırlıklar dışındaki tüm sistem bileşenleri sistemin kütlesini arttırmaktadır. Dairesel manyetik yataklar kullanılarak tasarlanabilecek yeni bir sistemde, kolların, bağlantı elemanlarının, redüktör, motor ve platformun ağırlığından arındırılmış çok daha verimli sistemler tasarlanabilir.

Matlab'te yaptığımız analizler sonucu, hareketin ana kaynağının ivme'deki değişkenlik olduğu gözlemlenmiştir. İvme sistemin hareketinin temel değişkenidir. Gövdenin kütlesinin olabildiğince az, kollara bağlı ağırlıkların dönme yarıçapları ve kütlelerinin olabildiğince büyük olması, sisteme verilen enerjiye karşılık olarak sistemden alınabilecek hareketi en üst düzeylere çıkaracaktır.

Muhtemelen uzay projelerinde kullanılan bu teknolojiyi incelemek ve konu hakkında araştırma yapmaktan ve çalışmalarımızı paylaşmaktan mutluluk duyarım.

KAYNAKLAR

[1] Tolchin V.N., (1997), Inertzoid. Inertia force as a source of motion, Perm publishers, (in Russian).

[2] Ivan LOUKANOC, (2014). "Application of Inertial Forces for Generating Unidirectional Motion"

[3] Bursa Coşkunöz Eğitim Vakfı, PLC Kontrol, http://www.coskunozegitimvakfi.org.tr, 10 Mayıs 2016.

[4] Matlab, simmechanics kurulum ve kullanımı konusunda bilgi, http://analizsimulasyon.com/2014/12/24/matlab-simmechanics/, 24.12.2014

[5] İsmail H. ŞANLITÜRK, Matlab simmechanics Modelleme, https://www.youtube.com/watch?v=t3EoM_4KmtI, 15 Mayıs 2016.

[6] İsmail H. ŞANLITÜRK, Matlab Simmechanics Sensörler ve Tahrik, https://www.youtube.com/watch?v=8SRicBinpIc, 15 Mayıs 2016.

[7] İsmail H. ŞANLITÜRK, Matlab Simmechanics Kontrol, https://www.youtube.com/watch?v=w3_o7WjnNLU, 15 Mayıs 2016.

[8] Mathworks, Simmechanics program kurulumu, http://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ug/installing-and-linking-simmechanics-link-software.html, 10 Mayıs 2016.

[9] Alfio Quarteroni, Fausto Saleri, Paola Gervasio, 2014, Scientific Computing with Matlab and Octave.

[10] Mathworks, Simmechanics programlama, http://blogs.mathworks.com/simulink/2012/02/01/applying-motion-to-simmechanics-models/, 10 Mayıs 2016.

[11] Dostel Otomasyon , (2014). Ürün Kataloğu.

[12] Christopher G. Provatidis, (2013), "Mechanics of Dean Drive on Frictional Ground".

[13] M. G. Millis and N. E. Thomas, "Responding to Mechanical Antigravity," NASA/TM-2006-214390, AIAA-2006-4913. http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2006/TM-2006-214390.pdf, 10 Aralık 2006.

SERVO MOTOR ÖZELLİKLERİ

ASDA-A2 Serisi Özellikleri:

- CANopen (DS402) yüksek hızlı network haberleşme kontrolü destekler(1Mbps)
- Dahili tam kapalı çevrim fonksiyonu sayesinde harici encoder,lineer cetvel ile hassas pozisyon kontrolü sağlar
- Absolute veya incremental encoderli motor seçenekleri
- 20 Bit (1280000ppr) yüksek çözünürlüklü line receiver encoder
- Elektronik CAM kontrol fonksiyonu ile motor milinin hareket yolu isteğe göre ayarlanabilir
- Harici modüller için ilave bağlantı portu
- PC ile gerçek zamanlı data iletişimi ve görüntüleme için dahili USB bağlantı portu
- 0.2~3kW güç aralığı
- ASDA-A veya ASDA-B serilerine göre %40 daha az yer kaplar
- 1 kHz speed responsiveness karakteristiği
- Modbus RS-485/RS-232 haberleşme portu
- Harici pozisyonlama,dahili pozisyonlama ,Hız, Tork kontrol modları
  64 dahili pozisyon register
  3 dahili hız register
  3 dahili tork register
- Easy /Auto/Manuel tuning modları
- Tork/Hız limit fonksiyonları
- Dahili Homing fonksiyonu
- Elektronik çevrim oranı tanımlanabilir
- ASDA-Soft PC yazılımı

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Murat ÖZBEK
Doğum Tarihi ve Yeri	:14.11.1985 Mersin
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:muratozbek@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Matematik-Fen	İçel Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2014-2016	Benteler Gebze Taşıt Sanayi Tic. Ltd. Şti	Proje Kalite Mühendisi
2011-2014	Ford Otosan A.Ş.	Proses, Bakım Mühendisi
2010-2011	EGM Ltd. Şti.	Makine Mühendisi