

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU TÜNELLERİNDE MODEL HAREKET KONTROLÜ VE  
SENKRON AERODİNAMİK KUVVET ÖLÇÜM SİSTEMİ  
TASARIMI**

**MERT SEYDİ KOCA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2019**

**SU TÜNELLERİNDE MODEL HAREKET KONTROLÜ VE  
SENKRON AERODİNAMİK KUVVET ÖLÇÜM SİSTEMİ  
TASARIMI**

**DESIGN OF MODEL MOTION CONTROL AND  
SYNCHRONOUS AERODYNAMIC FORCE  
MEASUREMENT SYSTEM IN WATER TUNNELS**

**MERT SEYDİ KOCA**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2019



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih:13/06/2019

Öğrencinin Adı, Soyadı: Mert Seydi KOCA

Öğrencinin Numarası: 21520170

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK

Tez Başlığı: Su Tünellerinde Model Hareket Kontrolü Ve Senkron Aerodinamik Kuvvet Ölçüm Sistemi Tasarımı

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam ( 246 ) sayfalık kısmına ilişkin, 13 / 06 / 2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı (% 3)'dür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

13 / 06 / 2019

Prof.Dr. Sedat NAZLIBİLEK

## TEŐEKKÜR

Çalıőmanın sonuca ulaőtırılmasında yardımcı ve yol gösterici olduğu için Sayın Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK'e, tezimi hazırlayabilmem adına sağladığı maddi, manevi ve fikri desteği için Sayın Doç. Dr. Ali Ruhően ÇETE'ye, deney düzeneğinin mekanik tasarımında buldukları katkılar için Sayın Hakan DARAK ve Sayın Erhan ÖZAKKAŐ'a teőekkür ederim.

Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd. şti, Alfer Mühendislik Taahhüt Ticaret Ve Sanayi A.ő ve Çukurova Üniversitesi'ne tezimi somut olarak gerçekleştirilmeme ön ayak oldukları için teőekkür ederim.

Ayrıca havacılık ve aerodinamik konusunda bana kazandırdıkları için Sayın Çağrı KORALAY'a, çalıőmamda küçük veya büyük yardımını esirgemeyen herkese, tez hazırlama sürecindeki destek ve anlayıőları için arkadaşlarıma ve ruh eőim Merve Gözde KAVAKLI'ya ve beni, ben yaptıkları için canım çekirdek aileme teőekkürü borç bilirim.

## ÖZ

“SU TÜNELERİNDE MODEL HAREKET KONTROLÜ VE SENKRON AERODİNAMİK KUVVET ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI”

Mert Seydi KOCA

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Akışa maruz kalacak modelin veya yapının üretimine başlanmadan önce, aerodinamik kuvvet analizinin yapılması kritik önem arz etmektedir. Günümüzde bu ihtiyacı gidermek adına tasarlanan birçok aerodinamik test donanımı kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; su tüneli içerisinde akışkan analizinin yapılması istenen modele robotik olarak eksenel hareket, yunuslama hareketi ve yalpa hareketi kazandırabilen aerodinamik kuvvet ölçüm ve analiz sisteminin AR-GE ve tasarım süreci ele alınmıştır. Sürecin robotik hareket düzeneğine bağlı altı eksenli, dış, denge düzeneği ile statik, dinamik ve adım tarama deneylerinin aerodinamik kuvvet ölçümü ve uçuş benzetimi başlıkları altında gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Önceden belirlenmiş otomatik hareket ve kuvvet ölçüm senaryoları, model hareket kontrolü ve aerodinamik kuvvet ölçümü bütünlük Labview® arayüzü üzerinden sağlanmıştır.

Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında yazılım ve donanım tasarımı tamamlanan bu laboratuvar düzeneği Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd. Şti. bünyesinde üretilerek Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarlarının kullanımına sunulmuştur.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** 6 Eksenli, 6 Bileşenli, Dış, Kuvvet, Denge Ölçüm Sistemi, Su Tüneli, Rüzgâr Tüneli, Aerodinamik Test Düzeneği, Labview®, Çırpan Kanat Hareketi, Yunuslama Hareketi, Deneysel Aerodinamik, Otomasyon, HMI Tasarımı, Sistem Tasarımı, 3 Eksenli. Senkron, Aerodinamik, Arayüz, Tasarımı.

**Danışman:** Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK, Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

It is crucial to test aerodynamic forces of a model or structure which will be exposed to flow before production. For this reason, there are many kinds of aerodynamic test equipments designed and still being used.

In this study, which focuses on the R&D and design processes of aerodynamic force measurement system is designed to provide axial, pitching and rolling movements of the various models that are required to perform fluid analysis within the water tunnel.

It is aimed to perform static, dynamic and step scanning experiments under the titles of aerodynamic force measurement and flight simulation with the help of six-axis external force balance system which is connected to robotic motion control system.

Predetermined automatic motion control and force measurement scenarios, model motion control and aerodynamic force measurement are provided with integrated Labview® interface.

As a result, this laboratory equipment is designed in the scope of thesis, produced in-site of Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd. Şti. and it is currently being used by the department of machine engineering in Cukurova University.

**KEYWORDS:** 6DOF, External, Force Balance, Water Tunnel, Aerodynamic, Test, Labview®, Plunging, Experimental Aerodynamics, Automation, HMI, System Design, Six, Axis, 3DOF, 6 Axis, 3 Axis, 6 Component, Interface Design, Synchronous, Dynamic, Static, Step

**Advisor:** Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK, Baskent University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering.

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ .....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ .....	xii
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Tüneller .....	3
1.1.1 Rüzgâr tünelleri .....	3
1.1.1.1 Rüzgâr tüneli bileşenleri .....	5
1.1.1.2 Açık çevrim rüzgâr tüneli .....	6
1.1.1.3 Kapalı çevrim rüzgâr tüneli .....	8
1.1.2 Su tünelleri .....	9
1.2 Tünellerde Aerodinamik Kuvvet Testleri .....	11
1.2.1 Boyutsuzlaştırma .....	12
1.2.2 Kanat profili .....	14
1.2.3 Kuvvet ölçümü ile beraber yapılabilen akış gözlemeleme testleri.....	14
1.2.4 Yunuslama ve çırpan kanat hareketleri .....	15
2 VERİ TOPLAMA .....	17
2.1 Algılayıcılar .....	18
2.1.1 Algılayıcı terminolojisi .....	18
2.1.1.1 Tekrarlanabilirlik .....	19
2.1.1.2 Histerezis .....	19
2.1.1.3 Tepki süresi .....	20
2.1.1.4 Doğrusallık .....	20
2.1.1.5 Dinamik doğrusallık .....	21
2.1.1.6 Çözünürlük .....	21
2.1.1.7 Çıkıntı .....	22
2.1.1.8 Doğruluk .....	22
2.1.1.9 Hassasiyet .....	23
2.1.1.10 Aralık .....	23
2.1.1.11 Dinamik aralık .....	23
2.1.2 Yük hücresi .....	24
2.1.3 Gerinim ölçer .....	25
2.1.3.1 Wheatstone köprüsü .....	28
2.2 Veri toplama modülü .....	29

2.2.1	Örnekleme	30
2.2.1.1	Örnekleme hızı	34
2.2.1.2	Örnekleme çözünürlüğü	38
2.2.2	Bilgisayar veri yolu	40
2.3	Veri toplama bilgisayarı	40
2.4	Veri toplama yazılımları	41
2.4.1	Sürücü yazılımı	41
2.4.2	Uygulama yazılımı	42
2.4.2.1	Veri görüntüleme	43
2.4.2.2	Veri kayıt etme	44
2.4.2.3	Veri hacmi	45
2.5	Kuvvet-Denge Sistemi İle Yük Ölçümü	46
2.5.1	İç kuvvet-denge sistemi ile yük ölçümü	48
2.5.2	Dış kuvvet-denge sistemi ile yük ölçümü	49
3	HAREKET KONTROL	50
3.1	Servo Mekanizması	51
3.1.1	Geri besleme cihazları	53
3.1.1.1	Analog enkoderler	53
3.1.1.2	Dijital enkoderler	53
3.2	İnsan-Makine Arayüzü	54
3.3	Çok Eksenli Hareket Mekanizmaları	55
4	GÜRÜLTÜ VE GÜRÜLTÜDEN KAÇINMA YÖNTEMLERİ	58
4.1	Elektromanyetik Girişim (EMI) Ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)	58
4.2	Yalıtım	60
4.3	Toprak döngüsü	61
4.4	Kablolama	62
4.5	Sinyal filtreleme	63
4.5.1	Analog filtreler	68
4.5.2	Dijital filtreler	69
4.5.2.1	Üstel filtre	70
4.5.2.2	Çift üstel filtre	71
4.5.2.3	Hareketli ortalama filtresi	72
4.5.2.4	Atlama(spike) filtresi	73
4.5.3	Analog ve dijital filtrelerin karşılaştırılması	74
5	TÜNELLERDE KUVVET ÖLÇÜMÜ DENEY DÜZENEKLERİ	77
5.1	Benzer Düzenekler İncelenirken Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar[4]	77
5.2	İncelenen Kuvvet Ölçümü Deney Düzenekleri	78



5.2.1 Örnek deney düzeneği[1] .....	78
5.2.2 Örnek deney düzeneği[2] .....	79
5.2.3 Örnek deney düzeneği [3] .....	81
5.2.4 Örnek deney düzeneği [4] .....	83
5.2.5 Örnek deney düzeneği [5] .....	85
6 DENEY DÜZENEGİ DONANIMLARI.....	87
6.1 Model Hareket Düzeneği.....	89
6.2 Dış Kuvvet Denge Düzeneği .....	93
6.3 Elektronik Donanım Birimleri .....	100
6.3.1 Birimler arası kablaaj.....	100
6.3.2 Veri toplama birimi.....	102
6.3.2.1 <u>Ana güç gürültü filtresi</u> .....	103
6.3.2.2 <u>Güç kaynağı</u> .....	103
6.3.2.3 <u>Voltaj regülatörü kartı</u> .....	104
6.3.2.4 <u>Veri toplama modülü(DAQ)</u> .....	104
6.3.2.5 <u>Güç dağıtım kartı</u> .....	105
6.3.2.6 <u>Konnektörler, kablolar ve kutu</u> .....	105
6.3.3 Konnektör bloğu .....	106
6.3.4 Hareket kontrol birimi.....	108
6.3.4.1 <u>Motor kontrolcü</u> .....	109
6.3.4.2 <u>Daisy chain RS-232</u> .....	111
6.3.4.3 <u>Motor sürücü</u> .....	112
6.3.4.4 <u>Güç kaynağı</u> .....	114
6.3.4.5 <u>Voltaj regülatörü</u> .....	115
6.3.4.6 <u>Fan ve ledler</u> .....	115
6.3.4.7 <u>Konnektörler ve kablolar</u> .....	116
6.3.5. Hat dönüştürme birimi .....	116
6.3.5.1 <u>Trafo</u> .....	118
6.3.5.2 <u>Akım koruma sigortası ve fan</u> .....	118
6.3.5.3 <u>Konnektörler ve kablolar</u> .....	119
6.3.6 Acil durum kumandası .....	120
6.4 Motorlar .....	121
6.4.1 Dairesel hareket motoru .....	121
6.4.2 Doğrusal hareket motoru .....	121
6.5 RS-232-USB çevirici.....	122
6.6 Kablolar ve konnektörler.....	122
7 DENEY DÜZENEGİ YAZILIMI(LABVIEW®).....	123

7.1 Labview® Tanıtımı .....	123
7.1.1 Labview® tanıtımı (ön panel).....	123
7.1.2 Labview® tanıtımı (blok diyagram) .....	127
7.2 Arayüzün Veri Toplama Ve Analiz Kabiliyetleri.....	131
7.3 Kayıt Edilen Çıktı Örneği .....	139
7.4 Arayüzün Hareket, Kontrol Ve Otomatik İşlem Kabiliyetleri .....	140
7.5 Arayüzün Mimari Tasarımı .....	148
7.5.1 Arayüzün tasarımı (motor kontrol) .....	150
7.5.2 Arayüzün tasarımı (veri toplama) .....	183
8 TEST SONUÇLARI .....	208
8.1 Veri Toplama Sonrası İşlemler .....	208
8.1.1 Sonuçların boyutsuzlaştırılması.....	208
8.1.2 Çevrimdışı filtreleme.....	208
8.2 Durağan(Statik) Test Sonuçları .....	209
8.3 Dinamik(Çırpan Kanat) Test Sonuçları .....	212
9 SINIRLAR.....	219
9.1 Mekanik Sınırlar .....	219
9.2 Elektronik Sınırlar .....	221
10 SONUÇ .....	223
10.1 Avantajlar Ve Özgün Katkı .....	224
10.2 Çıkarımlar Ve Öneriler.....	225
10.3 Kaynaklar Listesi .....	227

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Kapalı Çevrim, Ses Altı Rüzgâr Tüneli .....	3
Şekil 1.2	Bal Peteği (Honeycomb) .....	5
Şekil 1.3	Açık Çevrim Rüzgâr Tüneli Bileşenleri .....	6
Şekil 1.4	Atmosferik, Açık Çevrim, Ses Altı Rüzgâr Tüneli .....	6
Şekil 1.5	Açık Çevrim Ses Altı Rüzgâr Tüneli .....	7
Şekil 1.6	Kapalı Çevrim Rüzgâr Tüneli Bileşenleri .....	8
Şekil 1.7	Su Tüneli Tasarımı Örneği .....	9
Şekil 1.8	Su Tüneli .....	10
Şekil 1.9	Su Tüneli Açık, Üst Kesit Görüntüsü .....	10
Şekil 1.10	Aerodinamik Kuvvet Ve Momentler .....	11
Şekil 1.11	Temel Kanat Profili Terimleri .....	14
Şekil 1.12	Kanat Modeli Hareketine Akışın Etkisi[7] .....	15
Şekil 1.13	Temsili Yunuslama Ve Ötelenme Hareketi[7] .....	16
Şekil 2.1	Veri Toplama Sistemi .....	17
Şekil 2.2	Tekrarlanabilirlik Örneği .....	19
Şekil 2.3	Histeresis Örneği .....	19
Şekil 2.4	Tepki Süresi Örneği .....	20
Şekil 2.5	Doğrusallık Örneği .....	20
Şekil 2.6	Dinamik Doğrusallık Örneği .....	21
Şekil 2.7	Çözünürlük Örneği .....	21
Şekil 2.8	Çıkıntı Örneği .....	22
Şekil 2.9	Doğruluk Örneği .....	22
Şekil 2.10	Hassasiyet Örneği .....	23
Şekil 2.11	Gerinim Ölçer Temel Yapısı .....	26
Şekil 2.12	Wheatstone Köprüsü Temel Yapısı .....	28
Şekil 2.13	Temel Örnekleme İşlemi .....	31
Şekil 2.14	Dijitalden Analoga Çevirmede, Sıfırıncı Dereceden Tutma .....	31
Şekil 2.15	Birinci Dereceden Tutma İle Sinyalin Yeniden Düzenlenmesi .....	32
Şekil 2.16	Temel, Kapalı Döngü Kontrol Sistemi Blok Şeması .....	33
Şekil 2.17	Örnekleme Hızı Karşılaştırması .....	34
Şekil 2.18	Düşük Frekansta Örnekleme İle Oluşan Örtüşme Hatası .....	36
Şekil 2.19	Sinüsoidal Dalga Üzerinde 3 Bit Ve 16 Bit Çözünürlük Karşılaştırması .....	39
Şekil 2.20	Bilgisayar Veri Yolu Türleri .....	40
Şekil 2.21	Basitleştirilmiş Kuvvet Denge Sistemi .....	46
Şekil 2.22	İdeal Moment Ve Kuvvet Denge Sistemi .....	47
Şekil 2.23	İç Kuvvet Denge Sistemi .....	48
Şekil 2.24	Dış Kuvvet Denge Sistemi .....	49
Şekil 3.1	Motorların Temel Çalışma Prensipleri .....	50
Şekil 3.2	Elektrik Motoru Çeşitleri .....	51
Şekil 3.3	Servo Mekanizması .....	52
Şekil 3.4	Servo Mekanizmasında Telafi Süreci .....	52
Şekil 3.5	Artımlı Enkoderin Temel Yapısı .....	54

<b>Şekil 3.6</b>	İnsan-Makine Arayüzü(Hmı) Tasarım Örneği.....	55
<b>Şekil 3.7</b>	Senkron Ve Asenkron Hareket Karşılaştırması .....	56
<b>Şekil 3.8</b>	Hareket Eksenleri.....	56
<b>Şekil 3.9</b>	Boşluk (Backlash) .....	57
<b>Şekil 4.1</b>	Emisyon Ve Alınganlık .....	58
<b>Şekil 4.2</b>	Toprak Döngüsü.....	61
<b>Şekil 4.3</b>	İdeal Filtre Karakteristikleri.....	64
<b>Şekil 4.4</b>	Yüksek Geçiren Filtre .....	65
<b>Şekil 4.5</b>	Alçak Geçiren Filtre .....	65
<b>Şekil 4.6</b>	Bant Geçiren Filtre .....	66
<b>Şekil 4.7</b>	Bant Durduran Filtre.....	66
<b>Şekil 4.8</b>	Yüksek Geçiren Rc Devresi .....	67
<b>Şekil 4.9</b>	Alçak Geçiren Rc Devresi .....	67
<b>Şekil 4.10</b>	Bant Geçiren Rc Filtresi .....	67
<b>Şekil 4.11</b>	Bant Durduran Rc Filtresi.....	67
<b>Şekil 4.12</b>	Atlama Gürültüsü .....	73
<b>Şekil 4.13</b>	Kapalı Döngü Kontrol Sistemi Blok Şeması .....	74
<b>Şekil 4.14</b>	Eklene Sinüsoidal Gürültüde Filtre Performansları: (A) Kare Dalga Ve Gürültü (B) Analog Üstel Filtreler (C) Dijital Üstel Filtreler (D) Ağırlıklı Ortalama Filtreleri [8].....	75
<b>Şekil 4.15</b>	Eklene Gaussian Gürültü Karşısında Filtre Performansları: (A) Kare Dalga Ve Gürültü (B) Analog Üstel Filtreler (C) Dijital Üstel Filtreler (D) Ağırlıklı Ortalama Filtreleri[8] .....	76
<b>Şekil 5.1</b>	Örnek Dene Düzeneği Görüntüsü [1] .....	78
<b>Şekil 5.2</b>	Örnek Dene Düzeneği Görüntüsü [2] .....	80
<b>Şekil 5.3</b>	Örnek Dene Düzeneği Görüntüsü [3] .....	82
<b>Şekil 5.4</b>	Örnek Dene Düzeneği Görüntüsü [4] .....	84
<b>Şekil 5.5</b>	Örnek Dene Düzeneği Görüntüsü [5] .....	86
<b>Şekil 6.1</b>	Dene Düzeneği Ve Kontrol Birimlerinin Yerleşimi.....	87
<b>Şekil 6.2</b>	Hareket Düzeneği .....	89
<b>Şekil 6.3</b>	Hareket Düzeneğinde Kullanılan Hazır Parçalar .....	90
<b>Şekil 6.4</b>	2 Eksenli Hareket İçin Taşıyıcı Hareket Düzeneği .....	91
<b>Şekil 6.5</b>	Hareket Düzeneği Montaj Görüntüsü .....	92
<b>Şekil 6.6</b>	Kuvvet Ölçüm Düzeneğinin Dış Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar .....	93
<b>Şekil 6.7</b>	Kuvvet-Denge Ölçüm Düzeneği (Konnektör Bloğu Olmadan).....	94
<b>Şekil 6.8</b>	Kuvvet-Denge Ölçüm Düzeneği (Konnektör Bloğu İle) .....	94
<b>Şekil 6.9</b>	Kuvvet Denge Düzeneğinin İç Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar (1).....	96
<b>Şekil 6.10</b>	Kuvvet Denge Düzeneğinin İç Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar (2).....	97
<b>Şekil 6.11</b>	Kuvvet Denge Düzeneği Tasarım Görüntüsü.....	98
<b>Şekil 6.12</b>	Kuvvet Denge Düzeneği Montaj Görüntüsü .....	98
<b>Şekil 6.13</b>	Dış Kuvvet Denge Düzeneğinin Hareket Düzeneğine Yerleşimi .....	99
<b>Şekil 6.14</b>	Dene Düzeneği Donanımlarının Temel Kablaj Şeması .....	100

<b>Şekil 6.15</b>	Veri Toplama Birimi Montaj Görüntüsü .....	102
<b>Şekil 6.16</b>	Veri Toplama Birimi Blok Şema.....	102
<b>Şekil 6.17</b>	Veri Toplama Birimi İç Görünüm .....	103
<b>Şekil 6.18</b>	Veri Toplama Birimi Voltaj Regülatörü Kartı Devresi.....	104
<b>Şekil 6.19</b>	Veri Toplama Birimi Güç Dağıtım Kartı .....	105
<b>Şekil 6.20</b>	Konnektör Bloğu.....	106
<b>Şekil 6.21</b>	Konnektör Bloğu İç Görünümü .....	107
<b>Şekil 6.22</b>	Hareket Kontrol Birimi Ve İç Görünümü .....	108
<b>Şekil 6.23</b>	Hareket Kontrol Birimi Blok Şema .....	108
<b>Şekil 6.24</b>	Kontrolcü Arayüzü (3) .....	109
<b>Şekil 6.25</b>	Kontrolcü Arayüzü(1) .....	110
<b>Şekil 6.26</b>	Kontrolcü Arayüzü (2) .....	111
<b>Şekil 6.27</b>	Veri İletişimi Arayüzü (Daisy Chain Rs-232) Temel Bağlantı Şeması .....	111
<b>Şekil 6.28</b>	Veri İletişimi Arayüzü (Daisy Chain Rs-232) Kablağı.....	112
<b>Şekil 6.29</b>	Motor Sürücüler İle Motorların Bağlantı Şeması[10].....	113
<b>Şekil 6.30</b>	Hareket Kontrol Birimi Güç Kaynağı Blok Şema .....	114
<b>Şekil 6.31</b>	Hareket Kontrol Birimi Voltaj Regülatörü .....	115
<b>Şekil 6.32</b>	Hareket Kontrol Birimi Fan Ve Led .....	115
<b>Şekil 6.33</b>	Hat Dönüştürme Birimi .....	116
<b>Şekil 6.34</b>	Hat Dönüştürme Birimi Blok Şema .....	117
<b>Şekil 6.35</b>	Hat Dönüştürme Birimi İç Görünüm .....	117
<b>Şekil 6.36</b>	Faz Transformatörü.....	118
<b>Şekil 6.37</b>	Yüksek Akım Koruma Sigortası Ve Fan .....	118
<b>Şekil 6.38</b>	Hat Dönüştürme Birimi Konnektörleri .....	119
<b>Şekil 6.39</b>	Acil Durum Kumandası .....	120
<b>Şekil 6.40</b>	Kullanılan Pozisyonlama Motorlarının Yapısı[10] .....	121
<b>Şekil 7.1</b>	Deney Düzeneği Yazılımı Ön Panel Ve Blok Diyagram Örneği .....	123
<b>Şekil 7.2</b>	Çoklu Ölçüm, Analiz Ve Kayıt İçin Tasarlanmış Örnek Hmi. ....	125
<b>Şekil 7.3</b>	Zamana Bağımlı Çoklu Ölçüm, Analiz Ve Kayıt İçin Tasarlanmış Örnek HMI. ....	125
<b>Şekil 7.4</b>	Hareket Kontrolü Ve Eş Zamanlı Kuvvet Ölçümü, Analizi Ve Kaydı İçin Tasarlanmış Örnek HMI.....	126
<b>Şekil 7.5</b>	2 Döngü İle 2 Çekirdekte, 2 Farklı Görev İşleten Hmi Blok Diyagramı Tasarımı .....	129
<b>Şekil 7.6</b>	Subvı Blok Diyagramı Tasarımı .....	130
<b>Şekil 7.7</b>	Subvı Ön Panel Tasarımı .....	130
<b>Şekil 7.8</b>	Başka Bir Vı Blok Diyagramında Hazır Subvı Kullanımı .....	130
<b>Şekil 7.9</b>	Arayüzün Veri Toplama Ve Analiz Kabiliyetleri(1) .....	131
<b>Şekil 7.10</b>	Arayüzün Veri Toplama Ve Analiz Kabiliyetleri(2) .....	134
<b>Şekil 7.11</b>	Arayüzün Veri Toplama Ve Analiz Kabiliyetleri(3) .....	136
<b>Şekil 7.12</b>	Arayüzün Veri Toplama Ve Analiz Kabiliyetleri(4) .....	138
<b>Şekil 7.13</b>	Kaydedilen Çıktı Örneği .....	139
<b>Şekil 7.14</b>	Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(1) .....	141
<b>Şekil 7.15</b>	Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(2) .....	143

<b>Şekil 7.16</b>	Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(3) .....	144
<b>Şekil 7.17</b>	Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(4) .....	146
<b>Şekil 7.18</b>	- Deney Animasyonu Penceresi.....	147
<b>Şekil 7.19</b>	Arayüzün Mimari Tasarımı .....	148
<b>Şekil 7.20</b>	Enkoder Verilerinin Alınması Ve Durum Verilerinin Hesaplanması İçin Akış Şeması.....	150
<b>Şekil 7.21</b>	Temel Hareketler, Adım Tarama Ve Dinamik Ölçüm Hareketleri İçin Rutinler Hazırlanması, Komutların Kontrolcüye Gönderilmesi .	153
<b>Şekil 7.22</b>	Girilen Değerlerin Mekanik Düzeneğe Ve Kontrolcüye Göre Dönüştürülmesi İçin Akış Şeması .....	153
<b>Şekil 7.23</b>	Tek Eksende Çok Komutlu Hareket İşlemi İçin Akış Şeması .....	157
<b>Şekil 7.24</b>	Tek Eksende Tek Komutlu Hareket İşlemi İçin Akış Şeması.....	159
<b>Şekil 7.25</b>	İki Eksende Çok Komutlu Hareket İşlemi İçin Akış Şeması.....	160
<b>Şekil 7.26</b>	İki Eksende Tek Komutlu Hareket İşlemi İçin Akış Şeması .....	161
<b>Şekil 7.27</b>	- Eve Dönüş Hareketi İçin Akış Şeması .....	162
<b>Şekil 7.28</b>	Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(1) .....	164
<b>Şekil 7.29</b>	Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(2) .....	169
<b>Şekil 7.30</b>	Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(3) .....	171
<b>Şekil 7.31</b>	Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(4) .....	172
<b>Şekil 7.32</b>	Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(5).....	172
<b>Şekil 7.33</b>	Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(1) .....	174
<b>Şekil 7.34</b>	Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(2) .....	181
<b>Şekil 7.35</b>	Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(3) .....	182
<b>Şekil 7.36</b>	Algılayıcı Verilerinin Toplanması Ve Filtrelenmesi, Zaman Verisinin Tutulması Ve İhtiyaca Göre Sıfırlanması İçin Akış Şeması .....	183
<b>Şekil 7.37</b>	Algılayıcı Verilerin Birim Dönüşümü, İşlenmesi, Analizi Ve Kaydı ...	187
<b>Şekil 7.38</b>	Algılayıcı Verilerinin Büyüklüklerini Etkileyen, Filtre Etkilerinin Giderilmesi, Voltajdan Kuvvete Çevrilmesi İçin Akış Şeması .....	188
<b>Şekil 7.39</b>	Algılayıcılara Dara İşlemlerinin Uygulanması İçin Akış Şeması .....	189
<b>Şekil 7.40</b>	Algılayıcılara Otomatik Dara İşlemi Uygulanması İçin Akış Şeması	191
<b>Şekil 7.41</b>	Dara İşleminin Geri Döndürülmesi Ve Dara İşlemi Yapıldığına Dair Gösterge Oluşturulması İçin Akış Şeması .....	192
<b>Şekil 7.42</b>	Aerodinamik Kuvvet Ve Momentlerin Hesaplanması İçin Akış Şeması .....	193
<b>Şekil 7.43</b>	Açıya Göre Adaptif Aerodinamik Kuvvet Ve Momentlerin Hesaplanması İçin Akış Şeması .....	193
<b>Şekil 7.44</b>	Minimum, Maksimum, Ortalama Ve Salınım Tespitlerinin Yapılması İçin Akış Şeması(1).....	194
<b>Şekil 7.45</b>	Minimum, Maksimum, Ortalama Ve Salınım Tespitlerinin Yapılması İçin Akış Şeması(2).....	194
<b>Şekil 7.46</b>	Çeşitli Grafiklerin Ve Analiz Yöntemleri Eklenmesi İçin Akış Şeması(1).....	195
<b>Şekil 7.47</b>	Çeşitli Grafiklerin Ve Analiz Yöntemleri Eklenmesi İçin Akış Şeması(2).....	197
<b>Şekil 7.48</b>	(Seçilen Değişken-Zaman) Grafiği Oluşturulması İçin Akış Şeması	199

<b>Şekil 7.49</b>	Veri Kaydının, Paketler Halinde Veya Sürekli Seçeneğinde Yapılması İçin Akış Şeması .....	201
<b>Şekil 7.50</b>	Veri Sayısı Ve Süreye Göre Kayıt İşleminin Düzenlenmesi İçin Akış Şeması(1) .....	202
<b>Şekil 7.51</b>	Verilerin, Gerçek Zamanlı Veya Toplu Seçeneği İle Diziler Halinde Kaydı (1).....	203
<b>Şekil 7.52</b>	Verilerin, Gerçek Zamanlı Veya Toplu Seçeneği İle Diziler Halinde Kaydı (2).....	204
<b>Şekil 8.1</b>	Delta Kanat Modeli Ve Bağlantı Aparatı Görüntüsü[14] .....	209
<b>Şekil 8.2</b>	0 Ve 4 Derece Yalpa Açılarında, Taşıma Kuvveti Katsayısı-Yunuslama.Açısı Grafiği[14] .....	210
<b>Şekil 8.3</b>	0 Ve 4 Derece Yalpa Açılarında, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Yunuslama Açısı Grafiği[14] .....	210
<b>Şekil 8.4</b>	Taşıma Katsayısı-Yunuslama Açısı Grafiği[6] .....	211
<b>Şekil 8.5</b>	$\pm 5$ Derece Dinamik Hareket Grafiği.....	213
<b>Şekil 8.6</b>	Filtrenin Faz Ve Büyüklük Kaydırma Etkisi Grafiği .....	213
<b>Şekil 8.7</b>	Faz Ve Büyüklük Etkisi Tespiti İçin Filtrelenmiş Dinamik Hareket Grafiği .....	213
<b>Şekil 8.8</b>	Yunuslama Açısı- Kuvvet Katsayısı Grafiği(Solda), Yunuslama Açısı-Moment Katsayısı Grafiği(Sağda)[7] .....	214
<b>Şekil 8.9</b>	Ağırlıklı Ortalama Dâhil Ve Hariç, Taşıma Kuvveti Katsayısı- Zaman Grafiği.....	214
<b>Şekil 8.10</b>	Çevrimdışı İyileştirme İle Taşıma Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği	214
<b>Şekil 8.11</b>	Gürültü Atlamaları Dâhil Ve Hariç, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	215
<b>Şekil 8.12</b>	Ağırlıklı Ortalama Dâhil Ve Hariç, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	215
<b>Şekil 8.13</b>	Çevrimdışı İyileştirme İle Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	215
<b>Şekil 8.14</b>	Gürültü Atlamaları Dâhil Ve Hariç, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	216
<b>Şekil 8.15</b>	Ağırlıklı Ortalama Dâhil Ve Hariç, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	216
<b>Şekil 8.16</b>	Çevrimdışı İyileştirme İle Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	216
<b>Şekil 8.17</b>	Hücum Açısı, Taşıma Kuvveti Katsayısı, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği.....	217
<b>Şekil 10.1</b>	HMI Arayüzünün Ön Panel Görüntüsü.....	223

## KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	Analog digital converter
CFD	Computational fluid dynamics
DAQ	Data acquisition
DOF	Degree of freedom
EMC	Electromagnetic compebility
EMI	Electromagnetic immunity
FIR	Finite impulse response
HMI	Human machine interface
IIR	Infinite impulse response
AC	Alternative current
DC	Direct current
PID	Proportional intergal derivative
PIV	Particle image velocimery
PLA	Poliaktik asit
PPM	Parts per million
RTD	Resistance temperature detectors
RTA	Real time avaraging
SMPS	Switch mode power supply
SUBVI	Sub virtual instrument
TDMS	Technical data management streaming
USB	Universal serial bus
VI	Virtual instrument
CL	Lift coefficient
CD	Drag coefficient
CM	Moment coefficient
RM	Rolling moment
YM	Yawing moment
PM	Pitching moment
CPU	Central processing unit
PLC	Programmable logic controller
SNR	Singal to noise ratio
API	Application programming interface



PMDC	Permanent magnet direct current
DSP	Digital signal processing
PG	Protective ground
PG	Protective ground
TTL	Transistor to transistor logic
LB	Doğrusal hareket motorunun başlangıç noktası
RBN	Referans başlangıç noktası
DHMH	Doğrusal hareket motoru hızı
BDS	Bir döngünün süresi
DUH	Dairesel hareket motorunun üst hızı
DAH	Dairesel hareket motorunun alt hızı
DHS	Dairesel hareket motoru hareket sayacı
UYDS	Ufak, yukarı dairesel hareket sayısı
UYLS	Ufak, yukarı doğrusal hareket sayısı
RDM	Ray üzerinde bir döngüde gidilen mesafe
ULB	Ufak doğrusal hareketin büyüklüğü
ALH	Aşağı doğrusal hareket
YLH	Yukarı doğrusal hareket
UADS	Ufak aşağı dairesel hareket sayacı
AUDH	Aşağı, ufak dairesel hareket
YUDH	Yukarı, ufak dairesel hareket
LHS	Doğrusal hareket sayacı
YULH	Yukarı, ufak doğrusal hareket
DUAA	Dairesel harekette, üst uçtan alt uca harekette adım sayısı
DAUA	Dairesel harekette, alt uçtan üst uca harekette adım sayısı
DUAT	Dairesel harekette üst uçtan alt uca harekette toplam adım sayısı
DAUT	Dairesel harekette alt uçtan üst uca harekette toplam adım sayısı
DT	Dairesel harekette yaptığı toplam adım sayısı
LUAA	Düzlemsel harekette, üst uçtan alt uca harekette adım sayısı
LAUA	Düzlemsel harekette, alt uçtan üst uca harekette adım sayısı
LUAT	Düzlemsel harekette, üst uçtan alt uca harekette toplam adım sayısı
LAUT	Düzlemsel harekette alt uçtan üst uca harekette toplam adım sayısı
LT	Düzlemsel harekette toplam adım sayısı
LAB	Doğrusal hareket adım büyüklüğü

DB	Dairesel hareket motorunun başlangıç noktası
RBN	Referans başlangıç noktası
SVT	Saniyede veri toplama
VTO	Veri toplama oranı
DTV	Döngüde toplanacak veri
VTH	Veri toplama havuzu
ODV	Ölçülen değer voltaj
TG	Periyot gecikmesi
MOD	Maksimum ölçülebilir değer
KD	Algılayıcının kalibrasyon değeri
ODG	Ölçülen değer gram
DS	Döngü sayısı
AUL	Açı üst limit
AAL	Açı alt limit
AR	Açı çözünürlüğü
AS	Açı sayacı
RH	Rayın hatvesi
HG	Hareketin genliği
KA	Kanat açısı
MAA	Mutlak atak açısı
DAT	Doğrusal harekette motorun, bir adımı için gereken tur sayısı
LH	Doğrusal hareket motoru hızı
HGT	Hareketin doğrusal genliği için motorun atması gereken tur sayısı
CR	Carriage return
QMH	Queued message handler
QSM	Queued state machine
AE	Action engine
ALMCLR	Alarm clear

# 1 GİRİŞ

## Amaç

Tünel içerisinde akışkan analizinin yapılması istenilen çeşitli modellerin seçeneğe göre eksenel, yunuslama ve yalpa hareket imkânlarını sağlayan, motorlu, doğrusal ray üzerine konumlandırılması ile sistem taraması yapabilen hareket kontrol sisteminin tasarımının gerçekleştirilmesi.

Altı eksenli, dış, denge sisteminde konumlandırılmış kuvvet algılayıcıları ile eş zamanlı veya belirlenmiş adımlarda statik, dinamik ve tarama ölçümleri alabilen robotik sistem yardımı ile akışkan kuvvet analizi ve uçuş benzetim sisteminin tasarımının gerçekleştirilmesi.

## İsterler

Modele ilişkin hareketler, her bir eksen için servo kontrollü motorlar vasıtasıyla sağlanacaktır.

Sistemin hareketleri, analizi ve veri toplama tünel dışında bulunan bilgisayardaki tek bir arayüz ile kontrol edilecektir.

Simülatör(model) hareketleri, sistemin başlatılmasının ardından, önceden planlanan komutlarla robot tarafından otomatik olarak gerçekleştirilecektir.

Sistem, hareketler ile eş zamanlı, altı eksenli ölçüm sistemi ile kuvvete ilişkin verileri toplayabilecektir.

Sistem iki eksenle(yalpa ve yanal eksen) motorlu, dikey eksenle elle hareket kabiliyetine sahip olacaktır.

## **Motivasyon**

- Hava araçlarının, üretim öncesi mukavemet, dayanım ve verimi adına yapılan çalışmalara destek olmak.
- Su tüneline uygun test düzeneği geliştirerek hava aracı testleri için rüzgâr tünellerine nazaran sıkıştırılabilirlik(değişken yoğunluk, değişken reynolds sayısı) engelini önüne geçmek.
- Otomatik hareket senaryoları ile deney süresini kısaltmak, operatör hatasını veya işlevini en aza indirmek.
- Bütçe sınırları içerisinde en iyileştirme çalışmalarını sağlamak.
- Bütünleşik arayüz ile tek ekranda motor kontrolü, veri toplama, kayıt ve analiz işlemlerini gerçekleştirerek ilgili personel yetiştirmeyi kolaylaştırmak.
- Modüler sistem tasarımı ile farklı tünellere adapte edilebilirliği ve kolay bakım onarımı sağlamak.

## **Özgün Katkı**

Analiz, hareket kontrol ve veri toplama işlemleri bütünleşik bir bilgisayar arayüzü üzerinden eş zamanlı gerçekleştirilmiştir.

Deney öncesi belirlenen senaryolar ile çok daha kısa sürelerde deney yapılabilir. Deney esnasında operatöre ihtiyaç duyulmadan dinamik kuvvet ölçümü(çırpan kanat, yunuslama) ve adım tarama ölçümü(dairesel veya doğrusal) yapılabilmiştir.

Su tünellerinde kullanılmak üzere üretilmiş olan sistem ile bu denli kapsamlı hava aracı testleri çok daha düşük bütçeler ile gerçekleştirilebilmiştir.

Değiştirilebilir algılayıcı aralıkları ve tünel kavrama aparatı ile çeşitli boyutlardaki tünellere adapte edilebilir yapıdadır.

Özgün kuvvet ölçüm düzeneği tasarımı ile 6 adet algılayıcı kullanılarak 6 eksenli kuvvet ve moment ölçümü sağlanabilmiştir.

Özgün kuvvet ölçüm düzeneği tasarımı ile bakım ve onarım kolaylığı sağlanmıştır.

Kullanıcı isteğine göre filtre, veri toplama sayısı, veri toplama süresi, veri toplama yöntemi, model bağlantı yönü, model hareket senaryo detayları seçilebilmektedir. Bu sayede kullanıcı isteğine yapılabilecek deney ayrıntı çeşitliliği artırılmıştır.

## 1.1 Tüneller

Akışkan olan maddenin(hava veya su), çeşitli hız ve durumlarda, rüzgârın davranışını ve/veya ölçeklendirilmiş/ölçeklendirilmemiş belirli bir katı modelin üzerindeki etkisini gözlemlemek ve ölçmek amaçlı olarak geliştirilmiş, temel olarak içerisinde kontrollü bir akış olan tüplere tüneller denir.

Tünellerde hava araçları, yer araçları, gemiler, rüzgâr türbinleri, yapı modelleri, insan pozisyonu, anten gibi birçok akış altı testi yapılabilmektedir.

Akışkanların karmaşık sonuçları tünellerde deneysel olarak gözlenebilmektedir.

Mühendisler ve araştırmacılara güvenilir veri sağlayabilirler.

Aerodinamik alanında hızlı, ekonomik ve isabetli sonuçlar genellikle tüneller ile alınır.

### 1.1.1 Rüzgâr tünelleri

Rüzgâr tünellerinde temel olarak basınç dağılımı, hız karakteristiği ve aerodinamik kuvvetlerin ölçümü yapılır.



**Şekil 1.1** Kapalı Çevrim, Ses Altı Rüzgâr Tüneli <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Turbotek Turbo Makine Teknolojileri LTD.ŞTİ-Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Çeşitli görevler için optimize edilmiş aerodinamik yapıya sahip araçlara akışın etkisi, bilgisayar ortamında CFD(hesaplamalı akış dinamiği) ile modellenerek de yapılabilmektedir. Fakat tünel testleri ile doğru sonuçlara ulaşmak daha muhtemel görülmektedir.

Rüzgâr tünelleri temel olarak; içerisinde akan rüzgârın hızına, kapalı veya açık çevrim olmasına, emme veya basma türünde tasarlanmış olmasına göre sınıflandırılırlar. Şekil 1.1'de kapalı çevrim, ses altı, emme türünde rüzgar tüneli gösterilmektedir.

Mach(M) sayısı, akışkan hızının ses hızına olan oranıdır.[13]

Akış hızına göre sınıflandırma aşağı gibidir;

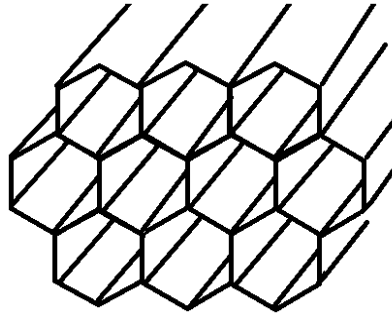
- Ses Hızı Altı(Subsonic) sınıfı (M < 0.8(340m/s))
- Ses Hızına Geçiş(Transonic) sınıfı (0.8 < M < 1.2(408m/s))
- Ses Üstü(Supersonic) sınıfı (1.2 < M < 5.0(1700m/s))
- Ses Hızından Çok Daha Hızlı(Hypersonic) sınıfı (M > 5.0)

### 1.1.1.1 Rüzgâr tüneli bileşenleri

Rüzgâr tüneline; [13]

**Fan motoru** ile akış oluşturulur. Fan motorunun çalışma yönü, akışın daralma konisinden test odasına doğru olacağı şekilde ayarlanmalıdır. Tasarlanacak tünel yapısına göre basma veya emme şeklinde düzenlenebilirler.

**Kanatçıklar** ile tünelin keskin dönüşlerinde akışın daha az bozulması hedeflenmiştir.



Şekil 1.2 Bal Peteği (Honeycomb)

**Akış doğrultucu**, Şekil 1.2'de gösterildiği üzere genellikle bal peteği (honeycomb) modelinde plakadan ibarettir ve akışın kayba uğramadan dikey ve düşey olarak doğrultulması, türbülans (hava burgacı) yoğunluğunun azaltılması için kullanılır. Bal peteği yapısı boşluksuz olarak en az materyal ile en fazla boşluk yapısının sağlandığı modeldir.

Akışın düzlemde eşit debiye sahip olması için akış doğrultucu ile beraber en uygun geçirgenlik oranında **akış düzelticileri** (çelik ağ) de kullanılabilir.

Düzeltilmiş akış test odasına gelmeden önce kontrollü bir şekilde **daralma konisi** ile hızlandırılır.

**Difüzör** ise test odasında kullanılmış düzgün akışın olabildiğince bozulmadan tekrar tünele kazandırılması veya tahliyesi amacı ile küçük boyutlu test kesitini tekrar tünel boyutlarına getirmede kullanılır.





Şekil 1.4'de gösterilen büyük ölçekli test odasına sahip açık çevrim tüneline daralma konisi ile test odası arasında bulunan tünel parçası, atmosferik sınır koşullarını oluşturabilmek amaçlıdır. Bu kısma konumlandırılan parçalar ile yüzey bozukluğunun sebep olduğu sınır tabaka modellenir.



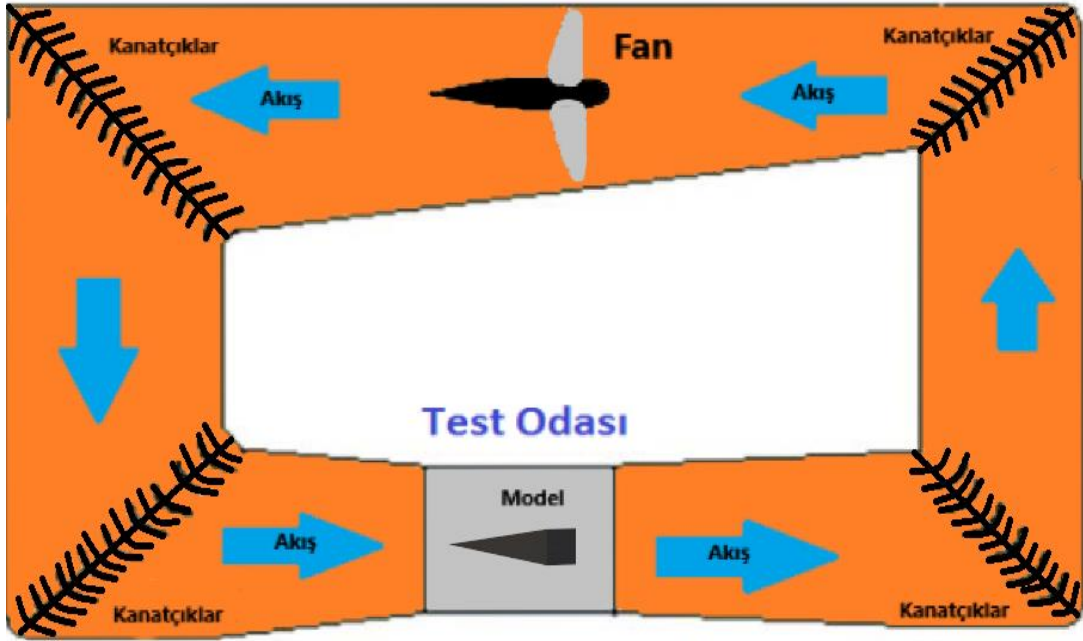
**Şekil 1.5** Açık Çevrim Ses Altı Rüzgâr Tüneli <sup>3</sup>

Şekil 1.5'de gösterilen tüneller, küçük test odası kesitlerine sahip açık çevrim rüzgâr tünelleri olup, akademik çalışmalarda ve akışkanlar dinamiği eğitimlerinde de kullanılmaktadırlar.

---

<sup>3</sup> Turbotek Turbo Makine Teknolojileri LTD.ŞTİ.-Bilkent Üniversitesi

### 1.1.1.3 Kapalı çevrim rüzgâr tüneli



**Şekil 1.6** Kapalı Çevrim Rüzgâr Tüneli Bileşenleri

Kapalı çevrim rüzgâr tünelleri, kullanılan akışı tekrar tünele kazandırarak enerji verimi sağlarlar.

Şekil 1.6'da kapalı çevrim rüzgâr tüneli bileşenleri gösterilmektedir.

Kapalı çevrim rüzgâr tünellerinde, açık çevrim tünellere göre verimi daha yüksek olduğu için, aynı güçte motor ile daha yüksek hızlara ulaşılabilir. Ancak, üretim maliyeti açık çevrim tünellere göre daha yüksektir, daha fazla alana ihtiyaç vardır, duman ile akış gözlemi gibi deneylerde tahliye sistemine ihtiyaç duyulur ve aynı hava kullanıldığı için uzun süreli çalışmada ısınma problemi görülebilir.

### 1.1.2 Su tünelleri

Su tünelleri de, rüzgâr tünelleri gibi akışkan analizi için kullanılırlar.

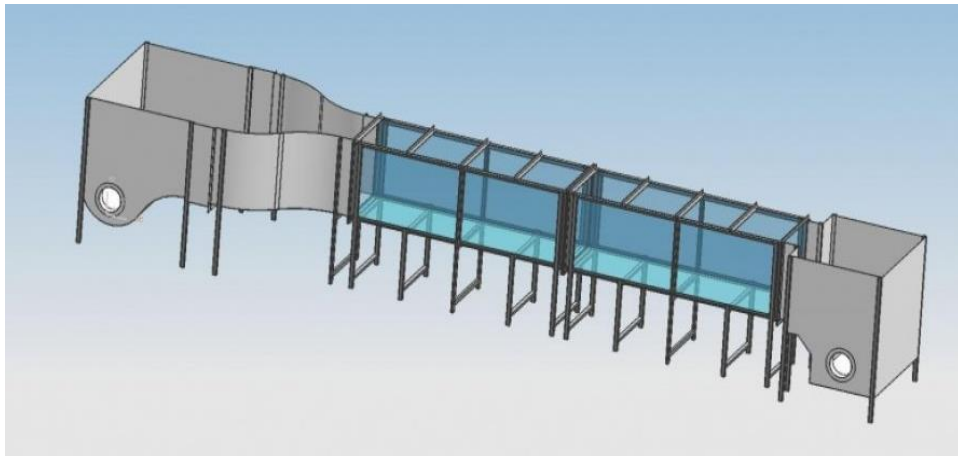
Kapalı döngü rüzgâr tüneli yapısına çok benzeyen su tünellerinde, akışkan olarak hava yerine su kullanılır.

Su tünelleri, rüzgâr tüneline kullanılan fan motoru yerine, su pompası kullanılarak çalışırlar.

Akış hızının, rüzgar tünellerinde havacılık testlerine uygun olması için en düşük sınır 100m/s(0.3M) 'dir. Bunun sebebi ise akışkanın sıkıştırılabilirliğe uygun olması gerekmesidir. Su tünellerinde akışkan olarak su kullanıldığı için bu durumun önüne geçilir.

Bunun sebebi suyun yoğunluğu, havanın yoğunluğuna kıyasla daha yüksek olması (Havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup> iken, suyun yoğunluğu 997 kg/m<sup>3</sup> 'tür.) dolayısı ile daha yüksek hızlar modellenebilir.

Bunun yanında PIV(Particle Image Velocimetry) akış görüntüleme boya sistemleri sistemler ile aynı anda kuvvet denge sistemleri kullanılabilir. Böylelikle eş zamanlı analize de olanak sağlanmış olur.



**Şekil 1.7** Su Tüneli Tasarımı Örneği<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Turbotek Turbomakina Teknolojileri LTD ŞTİ



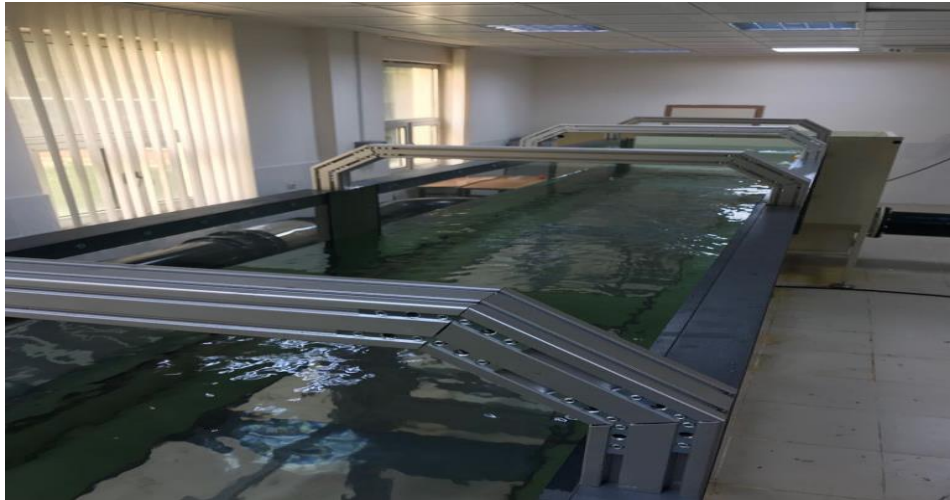
**Şekil 1.8** Su Tüneli<sup>5</sup>

Şekil 1.7'de tasarımı, Şekil 1.8'de üretimi bitmiş hali, Şekil 1.9'da ise çalışır durumu gösterilen çift döngülü su tüneline bulunan 2 adet su pompası ile 40cm/saniye hıza ulaşabilmektedir.

Bu tünelin geniş test odası gözlem kesiti PIV ve akış gözlemlene deneylerinin daha rahat yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

Su tünellerinde yüksek hızda oluşan dalgalanmalar deneyi olumsuz etkilemektedir.

Tünelin iç yüzeyinin kalitesi ve akış yönlendirmenin yanı sıra tünelin uygun hızlarda kullanılması da önem arz etmektedir.



**Şekil 1.9** Su Tüneli Açık, Üst Kesit Görüntüsü<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Turbotek Turbomakina teknolojileri LTD ŞTİ-Korkut Ata Üniversitesi

## 1.2 Tünellerde Aerodinamik Kuvvet Testleri

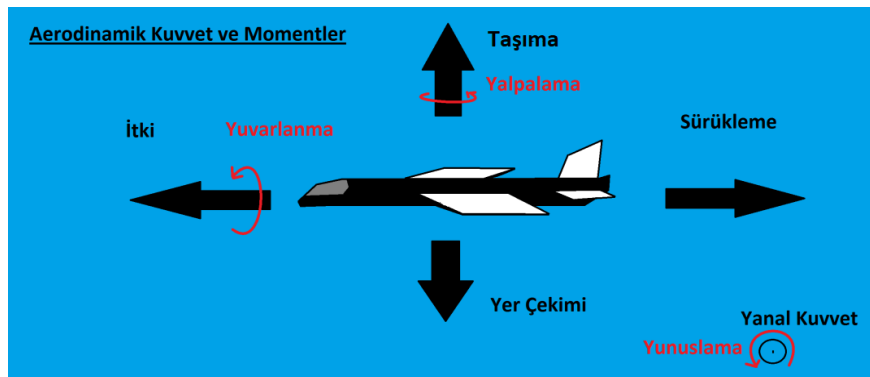
Tünellerde yapılan kuvvet testleri ile kontrollü akış altında ve doğrultuda test edilmesi istenen cismin kuvvetlerinin ve momentlerinin eş zamanlı olarak incelenmesi amaçlanır. Bu inceleme sonucunda hangi hızda, hangi açıda, hangi modelin nasıl sonuçlar verdiği gözlenir. Böylelikle;

- Belirli açılardaki akışın model üzerindeki özel davranışları incelenir.
- Modelin verimliliği araştırılır.
- Modelin tanımlanan görevi yerine getirip getiremeyeceği anlaşılır.
- Modelin akış altında sınırları belirlenir.

Örneğin hava araçları, yapısı gereği rüzgârın uçuş için gerekli olan gücünü ve davranışını kullanırken, uçuşu kötü yönde etkileyecek olan gücünden ve davranışından sakınacak şekilde üretilmeye çalışılmaktadır. Bu da bir hava aracında uçuş testi yapmadan önce verim ve güvenilirlik açısından rüzgâr tüneli içerisinde çeşitli senaryolar ile test edilmesi gerekliliğini doğurmuştur.

Bu testler, rüzgârın çeşitli hızlarda olduğu zamanlarda, hava aracı çeşitli eksenlerdeki açılarda iken yapılır.

Birçok kombinasyon denenir ve alınan kuvvet ölçümleri ile bu senaryolar üzerinde çalışma gerçekleştirilir.



Şekil 1.10 Aerodinamik Kuvvet ve Momentler

Aerodinamik kuvvetler ve momentler Şekil 1.10'da gösterilmektedir.

<sup>6</sup> Turbotek Turbomakina teknolojileri LTD ŞTİ-Korkut Ata Üniversitesi

Bir hava aracının kuvvet verimi, bir başka anlamı ile sürüklenmenin düşük olması ve taşıma kuvvetinin yüksek olması olarak basite indirgense de, bu moment ve kuvvetlerin en uygun değerleri üzerine araştırmaları yoğunlukla aşağıdaki deneyler ile hâlâ devam etmektedir;

- **Taşıma Katsayısı(CL) Deneyleri**
- **Sürüklenme Katsayısı (CD) Deneyleri**
- **Moment Katsayısı(CM) Deneyleri**
- **Akış Altında İtki(Thrust) Deneyleri**
- **Dayanım Testleri**
- **Rezonans Testleri**

### **1.2.1 Boyutsuzlaştırma**

Boyutsuzlaştırma, karmaşık ve bilinmeyen değişkenler içeren denklemlerin değişkenlerini sınırlamak ve edinilen değişkenin birimsizleştirilmesi işlemidir.

Havacılıkta sıklıkla, bilinmeyen veya doğrusal olmayan, çok fazla değişken içeren durumlar ile uğraşıldığı için aerodinamik kuvvet ve momentlerin katsayıları bulmak için yaygın olarak kullanılır.

Boyutsuzlaştırma gereksinimi duyulan, karmaşık ve eksik bileşen içeren durumlarda en güvenilir çözüm yöntemi deneydir.

Eşitlik 1.1'den Eşitlik 1.6'ya kadar, havacılıkta kullanılan boyutsuzlaştırma işlemleri yapılmaktadır. [9]

Dinamik Basınç:

$$q_{\infty} \equiv \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad (1.1)$$

Taşıma Katsayısı:

$$C_L \equiv \frac{L}{q_{\infty} S} \quad (1.2)$$

Sürüklenme Katsayısı:

$$C_D \equiv \frac{D_r}{q_{\infty} S} \quad (1.3)$$

Normal Kuvvet Katsayısı:

$$C_N \equiv \frac{N}{q_{\infty} S} \quad (1.4)$$

Eksenel Kuvvet Katsayısı:

$$C_A \equiv \frac{A}{q_{\infty} S} \quad (1.5)$$

Moment Katsayısı:

$$C_M \equiv \frac{M}{q_{\infty} S l} \quad (1.6)$$

$V_{\infty}$ : Akış Hızı

$\rho_{\infty}$ : Yoğunluk

L: Taşıma Kuvveti

$D_r$ : Sürüklenme Kuvveti

M: İlgili Moment

N: Normal Kuvvet

A: Eksenel Kuvvet

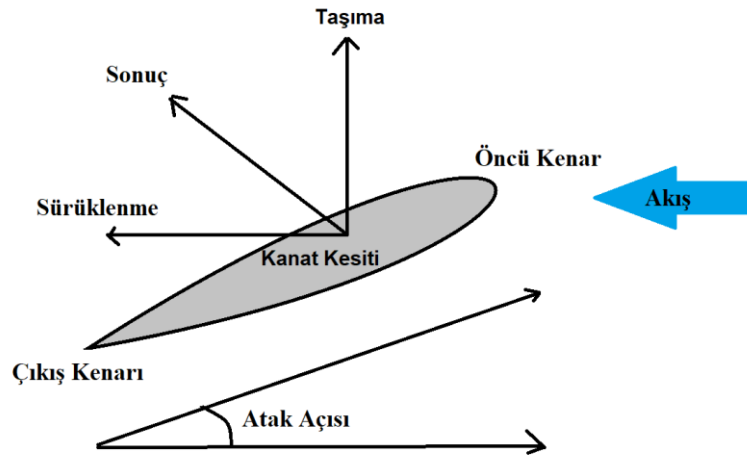
l: Moment Kolu

S: İlgili Alan Bileşeni

### 1.2.2 Kanat profili

Bir kanadın enine kesitine veya parçasına kanat profili (airfoil) denir. Birçok farklı yapıda tasarlanıp üretilebilen kanat ve kanatçıklar, kullanıldığı araca göre en uygun şekilde seçilmesi gerektiğinden, seçilen kanat profillerinin çeşitli hız ve açılarda kuvvet ve basınç testlerinden geçirilip, analizinin yapılması büyük önem arz etmektedir.

Şekil 1.11’de temel kanat profili terimleri gösterilmektedir.



Şekil 1.11 Temel Kanat Profili Terimleri

### 1.2.3 Kuvvet ölçümü ile beraber yapılabilen akış gözlemeleme testleri

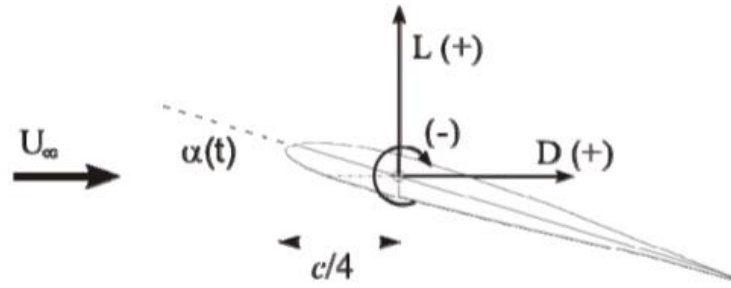
Su tünellerinin en büyük avantajlarından birisi de kuvvet ölçümü ile eş zamanlı akış gözleme yapılabilmesidir. Rüzgâr tünellerinde akış gözleme için sis makinası kullanılır. Fakat sis makinası ile gözlemlenen veriler sınırlıdır.

Su tünellerinde ise parçacık hız görüntüleme yöntemi olan PIV (**particle image velocimetry**) ile temel olarak çok yüksek hızlı kamera ve izlenebilir parçacıklar içeren özel boyalar kullanarak belli bir bölgedeki akışın hız vektörleri gözlemlenebilmektedir. Bu işlem esnasında kuvvet ölçümü de yapılabilir.



#### 1.2.4 Yunuslama ve ırpan kanat hareketleri

Mini ve mikro hava araularının git gide yaygınlaşması ve teknolojidaki gelişmelerin bu tip hava araularına bütünleştirilmesi ile birçok alanda daha fazla kullanılabilir hale gelmesi sebebiyle, kanada verilen atak açısı limitlerindeki çırpma hareketinin belirli bir frekansta tekrarlanması aracılığıyla, hava aracının havada asılı kalma verimi ve bu hareket sonucunda oluşan vortex ve türbülansların incelenmesine gerek duyulmuştur.



şekil 1.12 Kanat Modeli Hareketine Akışın Etkisi[7]

Yunuslama hareketi(plunge) ise, ırpan kanat hareketi sonucunda ortaya çıkan, kanadın akışa dik olarak ötelenmesini ve kısa süreli asılı kalmasını da içeren harekettir. şekil 1.12'de akışın etkisi sonucu kanat üzerinde oluşan kuvvetler gösterilmektedir.

Yunuslama ve eş zamanlı, akışa dik öteleme hareketi için ilgili denklemler aşağıdaki gibidir;[7]

$$h(t)=h_{amp}\cos(2\pi ft+\psi) \quad (1.7)$$

$$a(t)=a_0+a_{amp}\cos(2\pi ft) \quad (1.8)$$

$h(t)$ : Akışa dik, doğrusal ötelenme hareketi

$\alpha(t)$ : Açısal yunuslama hareketi

$h_{amp}$ : Ötelenme hareketinin genliği

$\alpha_{amp}$ : Yunuslama hareketinin genliği

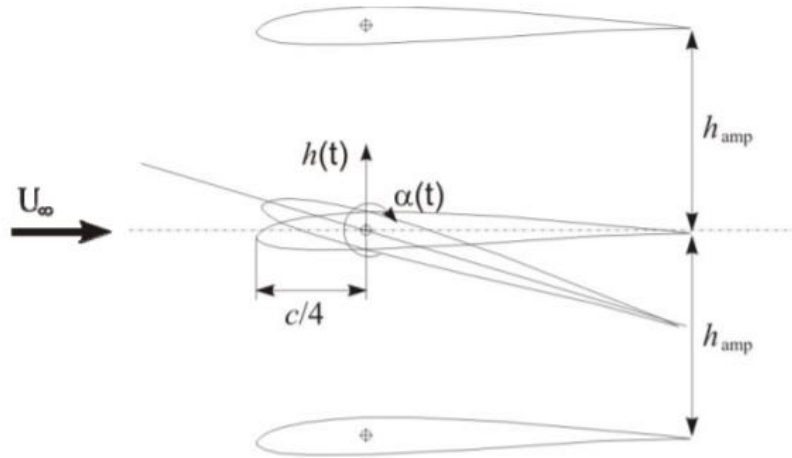
$\alpha_0$ : Başlangıç hücum açısı

$f$ : Yunuslama ve ötelenme hareketlerinin salınım frekansları

$\psi$ : Yunuslama ve ötelenme hareketleri arasındaki faz açısı

$U_\infty$ : Serbest akış hızı

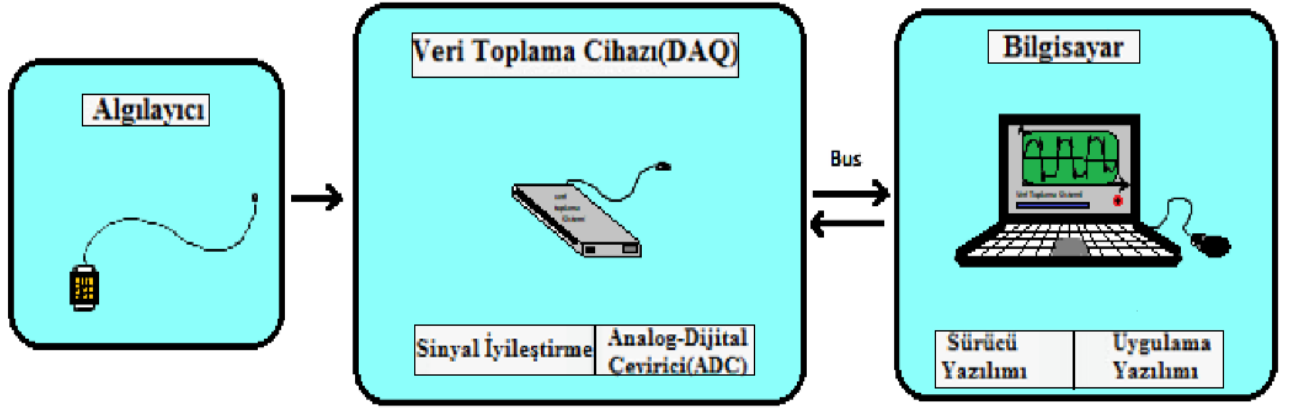
Şekil 1.13'de yunuslama hareketinin temsili çizimi yer almaktadır;[7]



Şekil 1.13 Temsili Yunuslama ve Ötelenme Hareketi[7]

## 2 VERİ TOPLAMA

Veri toplama cihazı; voltaj, basınç, kuvvet, sıcaklık gibi fiziksel olguların veri toplama cihazı aracılığı ile dijital ortama aktarılmasıdır.



Şekil 2.1 Veri Toplama Sistemi

Temel olarak bir veri toplama sistemi, Şekil 2.1'de gösterildiği üzere verilerin toplanacağı bir bellek, veri toplama ve sinyal iyileştirme sistemi, algılayıcı ve güç kaynağından oluşur.

## 2.1 Algılayıcılar

Bulunduğu çevredeki fiziksel bir olguyu tespit eden ve insanın gözlemleyebileceği ve kullanabileceği şekilde, elektronik bir cihaza aktaran cihaza algılayıcı denir.

Oda sıcaklığı, ışık kaynağının yoğunluğu, bir cisme etkiyen kuvvet gibi fiziksel bir olgunun ölçülmesi algılayıcılar ile mümkündür.

Bazı algılayıcılar, veri toplama cihazları tarafından sağlıklı bir şekilde okunabilmesi için harici sinyal düzenleme devrelerine ihtiyaç duyarlar.

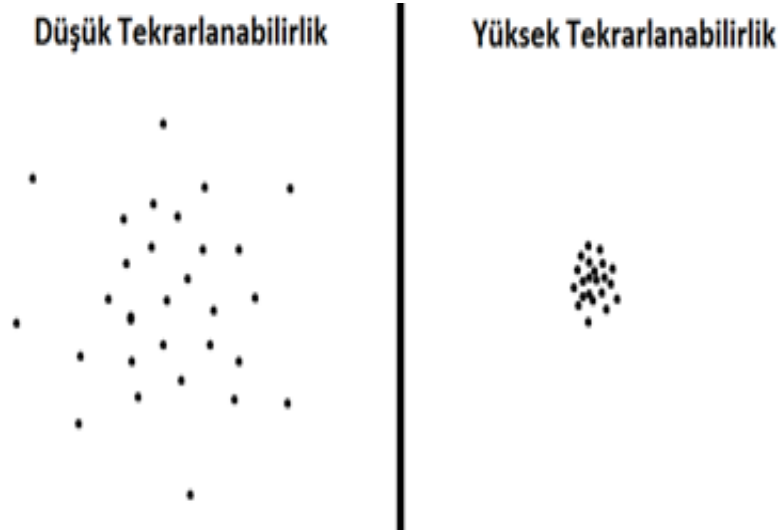
İyi bir algılayıcı, algılaması beklenen olguyu, algılaması istenildiği hassasiyette algılamakta, bu olgu dışında olan olgulara karşı yalıtılmış olması beklenir. Aynı zamanda, algılaması gerektiği olguya etkisinin de bulunmaması gerekir.

### 2.1.1 Algılayıcı terminolojisi

Algılayıcıların sınır koşulları ve algılayıcı hatalarından bahsederken bilinmesi gereken algılayıcı hatalarını ve sınırlarını kapsayan algılayıcı terminolojisi mevcuttur. Bu terimler temel olarak aşağıdaki gibidir;[11]

- Tekrarlanabilirlik
- Histerezis
- Tepki Süresi
- Doğrusallık
- Dinamik Doğrusallık
- Çözünürlük
- Çıkıntı
- Doğruluk
- Hassasiyet
- Aralık
- Dinamik Aralık

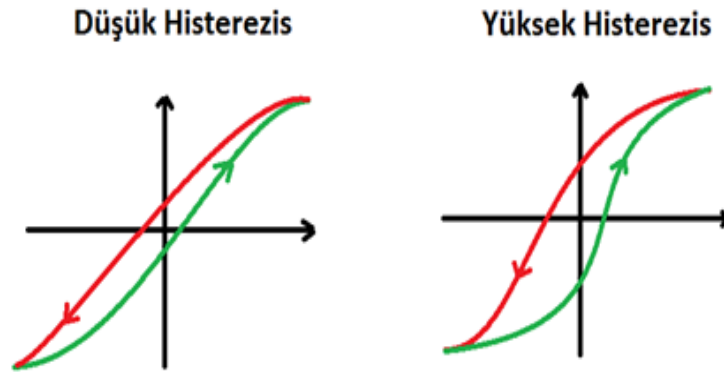
### 2.1.1.1 Tekrarlanabilirlik



Şekil 2.2 Tekrarlanabilirlik Örneği

Farklı zamanlarda aynı değerde giriş değişikliğinin çıkışta yakın gözlenebilmesine denir. Farkın hatası, yüzdesi ile tekrarlanamama cinsinden ifade edilir. Şekil 2.2' de yüksek ve düşük tekrarlanabilirlik gösterilmektedir.

### 2.1.1.2 Histerezis



Şekil 2.3 Histerezis Örneği

Algılayıcının algılaması gereken değeri farklı ölçüm doğrultularında iken nasıl algıladığıdır. Hata yüzdesi cinsinden ifade edilir. Şekil 2.3' de yüksek ve düşük histerezis gösterilmektedir.

### 2.1.1.3 Tepki Süresi

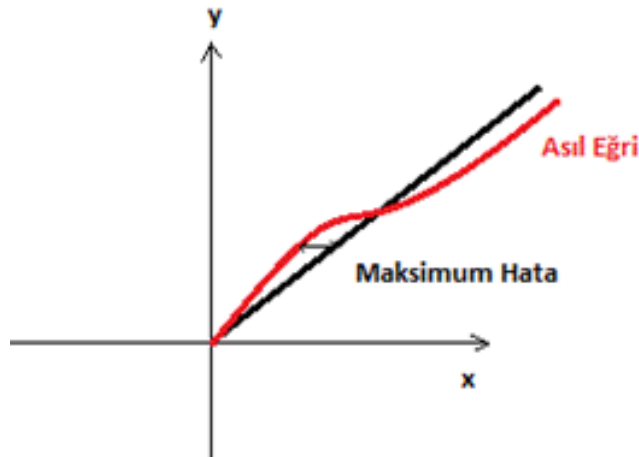


Şekil 2.4 Tepki Süresi Örneği

Algılayıcının algıladığı değerden sonra algılayacağı değer için gerek duyduğu süreye denir. Şekil 2.4'de yüksek ve düşük tepki süresi gösterilmektedir.

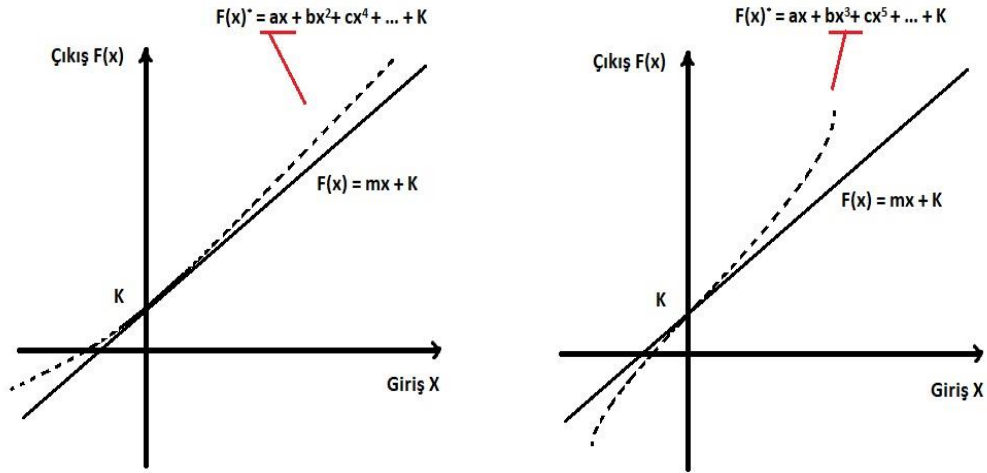
### 2.1.1.4 Doğrusallık

Algılayıcının gerçek çıktı eğrisinin olması gereken ideal çıktı eğrisine yakınlığına denir. Doğrusal olmama yüzdesi cinsinden ifade edilir. Şekil 2.5 'te asıl eğri, maksimum hata ve ideal ölçüm gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Doğrusallık Örneği

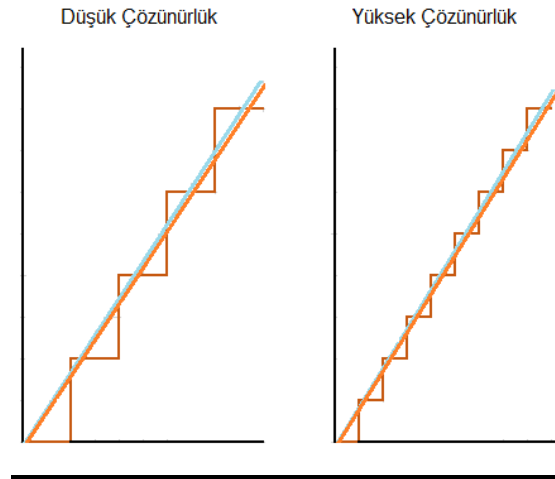
### 2.1.1.5 Dinamik doğrusallık



**Şekil 2.6** Dinamik Doğrusallık Örneği

Dinamik doğrusallık, algılayıcının hızlı girdi değişiklikleri için doğrusal çıktı oluşturabilmesidir.

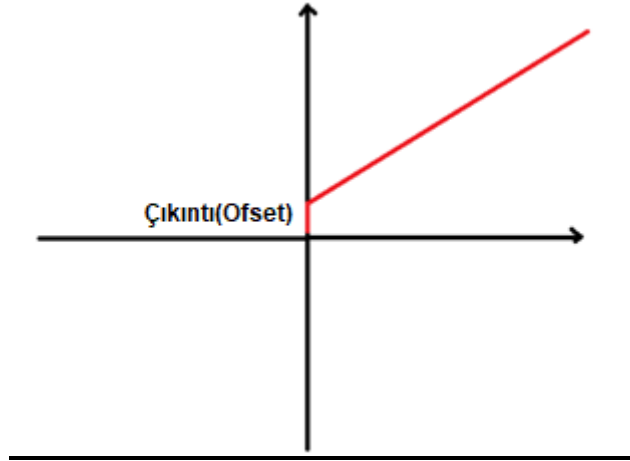
### 2.1.1.6 Çözünürlük



**Şekil 2.7** Çözünürlük Örneği

Çıkış sisteminde var olacak en küçük giriş artışı değeri farkına denir. Genellikle analog/dijital çeviriciler için kullanılır. Şekil 2.7'de yüksek ve düşük çözünürlük gösterilmektedir.

### 2.1.1.7 Çıkıntı



Şekil 2.8 Çıkıntı Örneği

Giriş sıfır olduğu zaman algılayıcının sağladığı çığışa denir. Şekil 2.8'de çığıntı gösterilmektedir.

### 2.1.1.8 Doğruluk

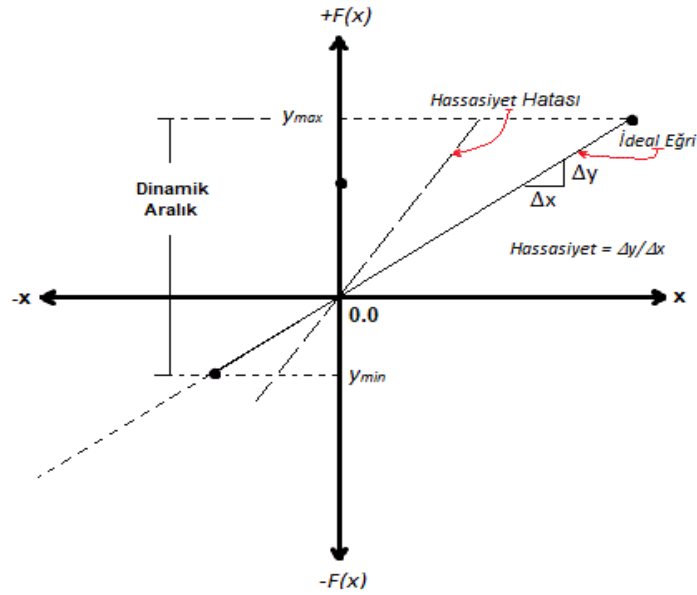


Şekil 2.9 Doğruluk Örneği

Uygulanan giriş ile algılayıcının sağladığı değer arasındaki farkın düşüklüğüne denir. Hatanın yüzdesi cinsinden ifade edilir. Şekil 2.9'da yüksek ve düşük doğruluk gösterilmektedir.



### 2.1.1.9 Hassasiyet



Şekil 2.10 Hassasiyet Örneği

Algılamada fark edilebilecek çıkış etkisini oluşturabilen en küçük giriş değerine hassasiyet denir. Şekil 2.10'da hassasiyet ve hassasiyet hatası gösterilmektedir.

### 2.1.1.10 Aralık

Ölçülen birimin, ölçülebilecek minimum ve maksimum aralıklarını belirtmede kullanılır. Minimum ve maksimum değerler her zaman eşit olmayarak değişkenlik gösterebilir.

### 2.1.1.11 Dinamik aralık

Ölçülen birimin, ölçülebilecek minimumu ve maksimumunun toplamıdır.

### 2.1.2 Yük hücre si

Günümüzde profesyonel yk ölümü sistemlerinde, eski zamanlarda kullanılan mekanik terazilere kıyasla, Gerinim ler tabanlı yk hücreleri daha yaygın olarak tercih edilirler. Çünkü kalibrasyon ve bakım gerektirmezler.[11]

Yük hücreleri uygunlaştırılmış veya uygunlaştırılmamış olabilirler. Genellikle uygunlaştırılmış algılayıcılar daha pahalıdırlar. Çünkü filtreleme ve sinyal yükseltme için bileşenler içerirler. Eğer uygunlaştırılmamış köprü tabanlı algılayıcılar ile çalışılıyor ise donanım çeşitli sinyal iyileştirme uygulamalarına ihtiyaç duyar. Birçok yk hücre si tipinden birkaçı aşağıda bahsedilmiştir;

**Lama tipi yük hücreleri**, genellikle doğrusal bir kuvvet beklendiğinde ve tartma uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Hem küçük, hem de büyük yüklerin (10 lb'den 5k lb'ye kadar) lmelerinde kullanılmaktadırlar. Ortalama hassasiyet seviyesine sahip bu tip algılayıcılar, yüksek doğruluk oranına sahiptirler. Bu yük hücre si basit bir yapıya ve düşük bir maliyete sahiptir.

**S tipi yük hücre si**, mekanik tasarımı haricinde lama tipine benzer. Tasarımlarının farkı(karakteristik S şekli) sayesinde, "yanal yük reddi" ve "ortalananmamış yükün ağırlığının ölçülmesi" gibi büyük etkilere sahiptirler.

**Silindir tipi yük hücre si** hem S tipi hem de lama tipi yük hücrelerinden daha büyük yüklere dayanabilirler. Ayrıca hareketli yükleri kolayca idare eder ve çok hassastırlar. Ancak yatay yük koruması gerektirirler.

**Pankek tipi yük hücreleri**, hareketli yükler için yanlış tercih olacaktır. Doğru bir ölçüm elde etmek için, uygulamada zaman kısıtlaması veya dinamik, hızlı ölçümler gerekiyorsa bu tip yk hücreleri yerine silindir tipi algılayıcılar daha doğru tercih olacaktır. Genellikle bu tip yk hücrelerinin fiyatı daha uygundur.

**Düğme ve pul tipi yük hücreleri** genellikle, daha küçük nesnelerin ağırlığını(200 lb'ye kadar) lmek için kullanılırlar.

### 2.1.3 Gerinim ölçer

Rüzgâr tünellerinde hava aracı testi yapılırken, hava aracına zarar vermeden yapılabilecek ölçümlerden biri kuvvet ölçümüdür. Kuvvet ölçümünün de temel bileşeni gerinim ölçerlerden oluşur. Gerinim ölçer doğrudan veya mekanik bir denge sistemine gömülü olarak kullanılabilir. Birden fazla sayıda kuvvet-denge mekanizmasına bağlanan gerinim ölçerler ile 3 kuvvet (taşıma, sürüklenme, yanal kuvvet) ve 3 moment (yunuslama momenti, yalpalama momenti, yuvarlanma momenti) ölçülebilir.

Basınç algılayıcılarında ve kuvvet hücrelerinin yapılarında büyük ölçüde gerinim ölçerler kullanılır.

Gerinim, genellikle direnç barındıran gerinim ölçerler ile ölçülür. Bu yassı dirençler genellikle bükülmesi beklenen bir yüzeye yapıştırılırlar. Direnç barındıran gerinim ölçerler uçak kanatlarının yapısal testlerinde kullanılırlar. Gerinim ölçerler ile yüzeydeki çok küçük bükülmeler, kıvrılmalar ve çekiler tespit edilebilir. Birden fazla direnç içeren gerinim ölçer, beraber bağlanarak bir köprü oluşturulabilirler.

Daha hassas ölçüm için, sistemde daha fazla gerinim ölçer kullanılabilir. Bir Wheatstone köprüsü devresi kurmak için dört aktif gerinim ölçer kullanılabilir. Buna tam köprü kurulumu denir. Yarım(iki adet gerinim ölçer) ve çeyrek(bir adet gerinim ölçer) köprü kurulumları da mevcuttur. Belirli sınırlar çerçevesinde ne kadar fazla gerinim ölçer kullanılırsa o kadar doğru sonuçlara ulaşmak mümkündür. [13]

Gerinim ölçerler akım veya voltaj beslemesine(uyarımına) ihtiyaç duyarlar ve sıcaklığa duyarlıdır. Bu sebeple sıcaklık sapmaları görülebilir.

Bükülme ve eksenel ölçümler için kullanılan kurulumlarda, ek gerinim ölçerlere ihtiyaç duyabilirler.

Eksenel köprüler, bir malzemenin gerilmesini veya çekilmesini ölçer.

Bükülme köprüleri, bir malzemenin bir tarafındaki gerilmeyi ve karşıt tarafındaki büzülmeyi ölçer.

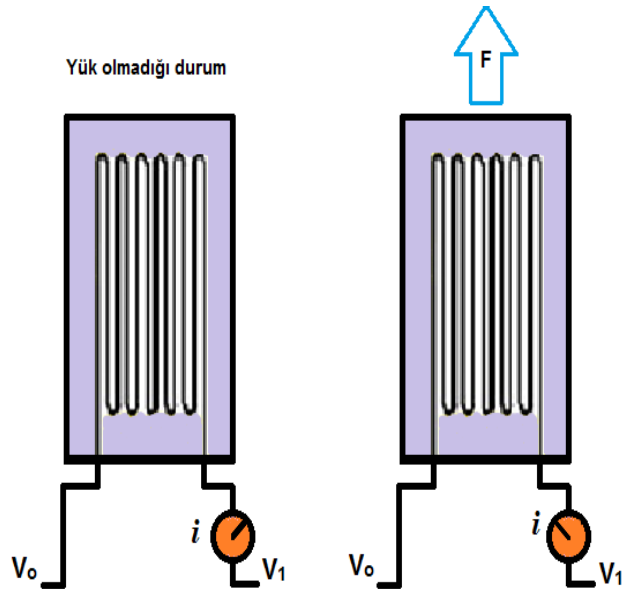
Burulma köprüleri, bir malzemenin çevirilerek bükülmesini ölçer.

Gerilme, küçük bir değişikliğe eşdeğer boyutsuz bir birim olan “e” veya “ε” ile ölçülür. Bu da objenin ölçüm esnasında görülen uzunluğundaki ufak değişimin tam uzunluğa bölünmesine eşittir.

Sıcaklık ölçüm sistemlerine benzer şekilde, düzenli bir elektriksel ölçümün yapılamadığı, elektromanyetik girişim içeren gürültülü ortamlarda fiber optik sensörler, gerinim ölçümü için kullanılabilirler. Fiber optik gerinim sensörleri elektriksel olarak iletken değildir. EMI kaynaklı gürültüye karşı bağımsızlık gösterirler. Uzun mesafe veri iletimlerinde, sinyal bütünlüğünde neredeyse hiç kayıp yaşanmamaktadır.

Gerinim ölçerler, kuvvet ölçümü alınacak eksene yerleştirilmiş mekanik parçanın üzerine dikkatlice yapıştırılır ve uygulanan kuvvet karşısında parçanın esnemesi ile gerinim ölçer de esner.

Boyundaki değişim gerinim ölçerde yer alan direncin büyüklüğünü etkiler ve elektrik ile beslenen gerinim ölçerden geçen akım değişir. Şekil 2.11’de gerinim ölçerlerin temel yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.11** Gerinim Ölçer Temel Yapısı

F: Uygulanan Kuvvet

A: Tel Alanı

İ: Akım

V: Voltaj

P: Özdirenç

R: Direnç

l= Tel Uzunluğu

Ohm yasası:

$$i = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

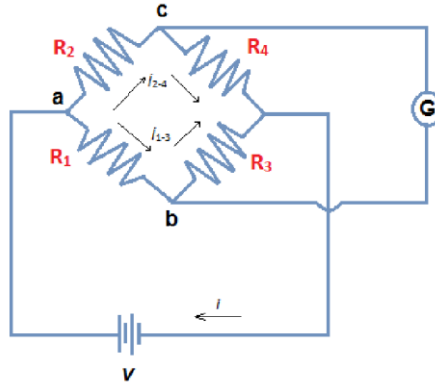
$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2'ye dayanarak, kuvvet arttığı zaman akım azalır, direnç artar, uzunluk artar, akım azalır. [13]

$$i \sim \frac{1}{F} \quad (2.3)$$

### 2.1.3.1 Wheatstone köprüsü

Isıdaki değişim ile de etkilenen gerinim ölçer direnci kuvvet ölçümünü etkileyebileceği için birden fazla gerinim ölçerden oluşan wheatstone köprüsü adı verilen devre kullanılır.[13] Şekil 2.12’de temel Wheatstone devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Wheatstone Köprüsü Temel Yapısı

$$i = i_{1-3} + i_{2-4} \quad (2.4)$$

$$i_{1-3} = \frac{V}{R_1 + R_3} \quad (2.5)$$

$$i_{2-4} = \frac{V}{R_2 + R_4} \quad (2.6)$$

$$V_b - V_a = \frac{V R_1}{R_1 + R_3} \quad (2.7)$$

$$V_c - V_a = \frac{V R_2}{R_2 + R_4} \quad (2.8)$$

$$G = V_c - V_b \quad (2.9)$$

$$\frac{G}{V} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \quad (2.10)$$

Isıdaki değişim tüm dirençleri etkiler. 2.4 ile 2.10 arasındaki eşitliklerde gösterildiği gibi Wheatstone köprüsü devresinde dirençlerin farkı kullanılarak ölçüm alındığı için ölçümün ısıdan etkilenmemesi hedeflenmiştir.

## 2.2 Veri Toplama Modülü

Veri toplama donanımları, bilgisayar ve çeşitli olgu sinyalleri arasında arayüz görevi görür. Başlıca görevi, gelen analog sinyalleri bilgisayarın işleyebileceği şekilde dijitalleştirmektir.

Birçok veri toplama modülü, ölçüm sistemlerini ve işlemlerini otomatik hale getirmek amaçlı ek fonksiyonlar da içerir. Örneğin dijital-analog dönüştürücüler ile analog çıkış verebilme, dijital giriş ve çıkışları, sayaçlar, zamanlayıcılar ve dijital darbe üreticiler.

Algılayıcılardan veya olgulardan edinilen sinyaller gürültülü veya doğrudan ölçülmesi tehlikeli olabilmektedir. Sinyal iyileştirme devresi, sinyali manipüle ederek ADC tarafından ölçülebilecek hale getirir. Bu devre yükseltme, zayıflatma, filtreleme ve izolatörler içerebilir. Bazı veri toplama cihazları, belirli algılayıcı sinyallerini ölçebilmek için özelleştirilmiştir.

Algılayıcılar tarafından oluşturulan analog sinyaller, bilgisayar tarafından ölçülebilmek için öncelikle dijitale çevrilmelidir. Bir ADC entegresi analog sinyalin anlık zamandaki karşılığını edinerek sinyali dijitale çevirir. Pratikte analog sinyaller zamanda değişkendirler ve ADC bu sinyallerden önceden tanımlanmış derecede örnekleme yaparak analog sinyalleri zamana bağımlı olarak işlenebilir, dijitale hale çevirir. Bu örnekler bilgisayar veri yolu ile bilgisayara aktarılır ve uygun yazılım aracılığı ile tekrar birleştirilir.

Veri toplama cihazı, bilgisayara port veya bir slot ile bağlanır. Veri yolu, bilgisayar ve veri toplama cihazı arasında verileri ve direktifleri aktaran arayüz görevi görür. Veri toplama cihazları yaygın olarak USB, PCI, PCI Express ve Ethernet veri yollarını kullanırlar. 802.11Wi-Fi ile kablosuz çalışan cihazlar da kullanılmaya başlamıştır.

Farklı uygulamalar için farklı avantajları olan veri yolları kullanılabilir.

## 2.2.1 Örnekleme

Bir dijital bilgisayar kontrol için kullanıldığında, sürekli ölçümler, analog-dijital çeviriciler (ADC) ile dijital forma dönüştürülürler. Bu işlem gereklidir, çünkü dijital bilgisayarlar doğrudan analog bir sinyali işleyemez.

İlk olarak sinyal zaman içinde ayrı noktalarda örneklenmelidir. Daha sonra örnekler sayısallaştırılmalıdır.

Örnekler arasındaki başarılı, ardışık zaman aralığı örnekleme periyodu( $\Delta t$ ) olarak anılır. Eşitlik 2.11 ve Eşitlik 2.12'de örnekleme oranı ve örnekleme frekansı hesaplanmaktadır.

Örnekleme oranı;

$$f_s = \frac{1}{\Delta t} \quad (2.11)$$

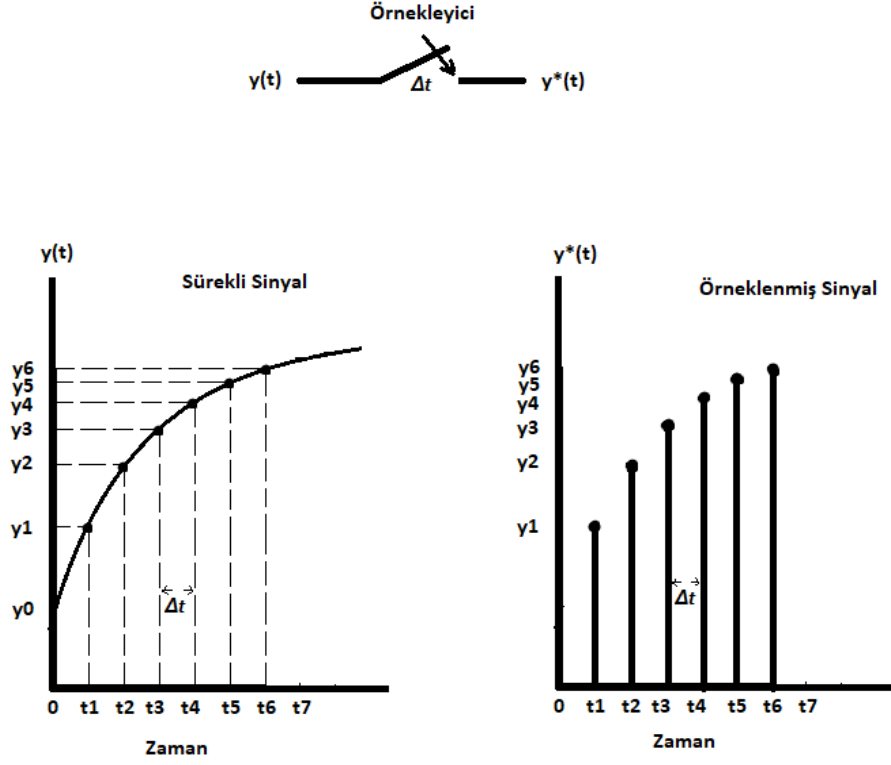
Örnekleme frekansı;

$$\omega_s = \frac{2\pi}{\Delta t} \quad (2.12)$$

Eğer  $\Delta t$  dakika biriminde ise  $f_s$  dakikadaki döngüdür ve  $\omega_s$  dakikadaki radyandır.

Şekil 2.13'de idealleştirilmiş, periyodik örnekleme işlemi gösterilmektedir. Bu sinyal  $y^*(t)$ ,  $y_0$ ,  $y_1, y_2$  ölçümlerini,  $t_1, t_2, t_3$  örnekleme zamanlarında temsil eden bir dizi dürtüdür. Şekildeki gösterim aynı zamanda dürtü modülasyonu olarak da anılır. Bu da örneklenmiş veri sistemlerinin analizinde sıklıkla kullanılır. Örnekleme işleminin anlık olarak gerçekleştiği varsayımına dayanır.



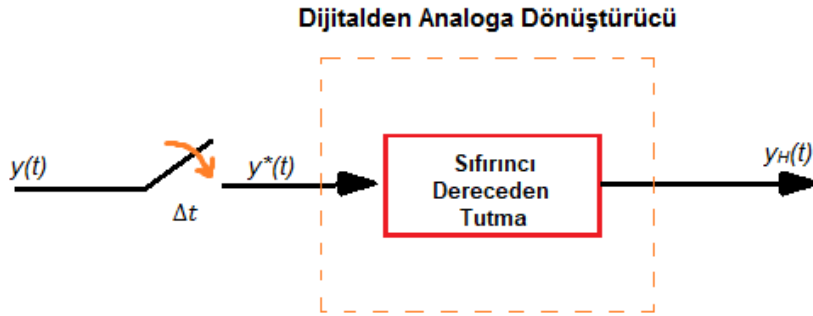


**Şekil 2.13** Temel Örnekleme İşlemi

Dijital kontrol uygulamalarında kontrolör çıkış sinyali, son kontrol elemanına gönderilmeden önce dijitalden analog forma dönüştürülmelidir.

Bu operasyon, sinyal yeniden yapılandırması olarak anılır ve dijital-analog çeviriciler(DAC) ile yapılır.

Şekil 2.14'de gösterildiği gibi DAC, sıfırıncı dereceden tutma olarak çalışmaktadır.



**Şekil 2.14** Dijitalden Analoga Çevirmede, Sıfırıncı Dereceden Tutma

Sıfırncı dereceden tutma işleminin çıkış sinyali bir sonraki gelene kadar sabit olarak alınır. Bu işlem Eşitlik 2.13 ve Eşitlik 2.14'de gösterilmektedir.[8]

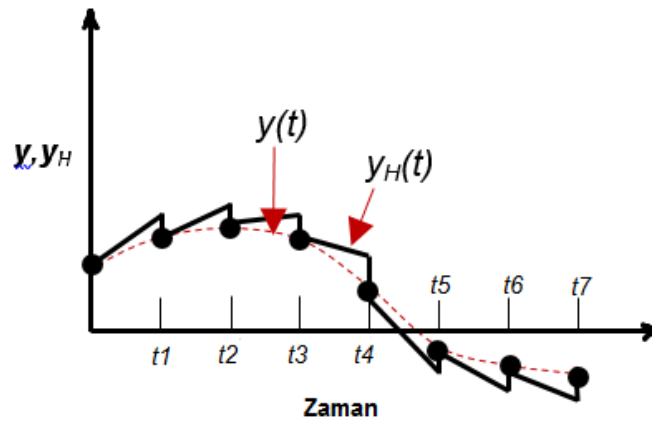
$$y_H(t) = y_{n-1} \quad (2.13)$$

$$t_{n-1} \leq t < t_n \quad (2.14)$$

Birinci dereceden tutma, dijital sinyali,  $t_{n-1}$  ile  $t_n$  arasındaki zaman aralığı için önceki girdinin değişimine bağlı olarak doğrusal olarak Eşitlik 2.15 ve 2.16'da extrapolasyon'a uğrattır.[8]

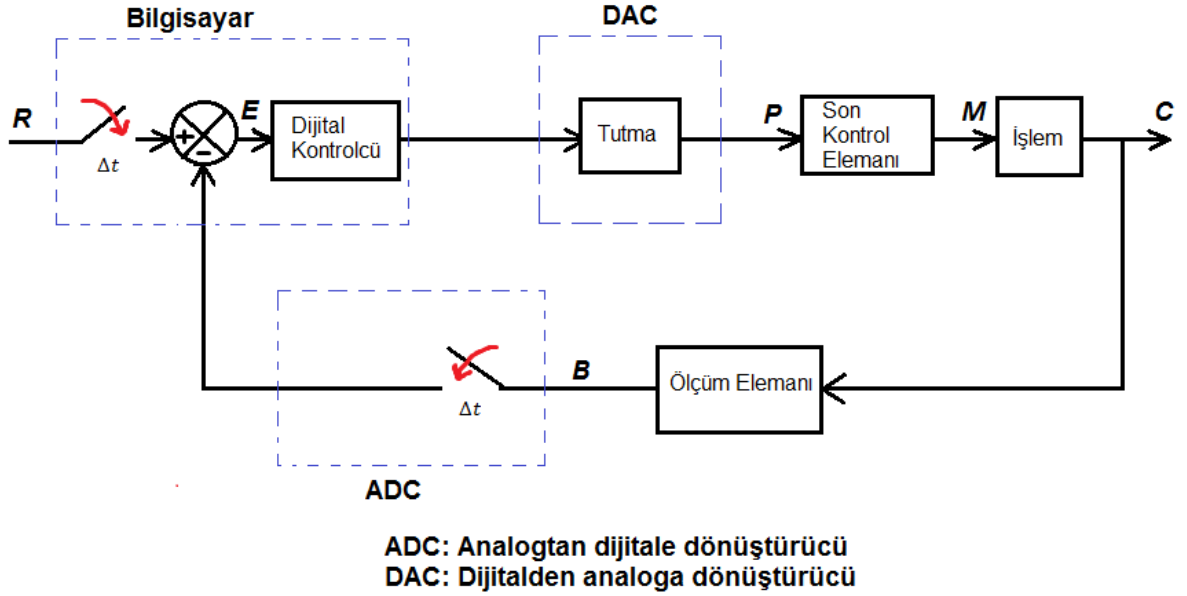
$$y_H(t) = y_{n-1} + \left( \frac{t-t_{n-1}}{\Delta t} \right) (y_{n-1} - y_{n-2}) \quad (2.15)$$

$$t_{n-1} \leq t < t_n \quad (2.16)$$



**Şekil 2.15** Birinci Dereceden Tutma ile Sinyalin Yeniden Düzenlenmesi

İkinci dereceden tutma veya daha yüksek dereceden tutmalar, özelleşmiş amaçlı DAC'ler için tasarlanıp uygulanabilirler. Karmaşıklaşmış bu yaklaşımların, birçok kontrol işlemi için uygulanmaya değer bir etkisi bulunmamaktadır. Sonuç olarak birçok uygulamada sıfırncı dereceden tutma en çok kullanılan tutma olarak yeterli gelmektedir. Şekil 2.15'de birinci dereceden tutma ile sinyalin yeniden düzenlenmesi gösterilmektedir.



**Şekil 2.16** Temel, Kapalı Döngü Kontrol Sistemi Blok Şeması

Şekil 2.16'da geri beslemeli, dijital kontrolör içeren, kontrol döngüsü için blok şema gösterilmektedir. Hem sürekli (analog), hem de örneklenmiş (dijital) sinyaller diyagramda bulunmaktadır.

Genellikle iki örnekleyici senkronize çalışır ve aynı örnekleme süresine sahiptirler. Ancak bazı uygulamalarda örnekleyicilerden biri diğerinden daha hızlı çalışır.

Örnek olarak, bir işletim ile sık örnekleme, diğer bir işletimle de bu ölçümlere filtreleme yapılabilir. Fakat kontrol hesaplamaları yapılırken aktüatörde sık işletimden kaçınmak gerekebilir.

Şekil 2.16'daki blok diyagramda çeşitli sinyaller arasındaki matematiksel ilişkiler sembolik olarak gösterilmektedir.

Transfer fonksiyonları, örneklenmiş veri sistemleri ve örnekleyicileri içeren blok diyagramlarının analizinde kullanılmaktadır.

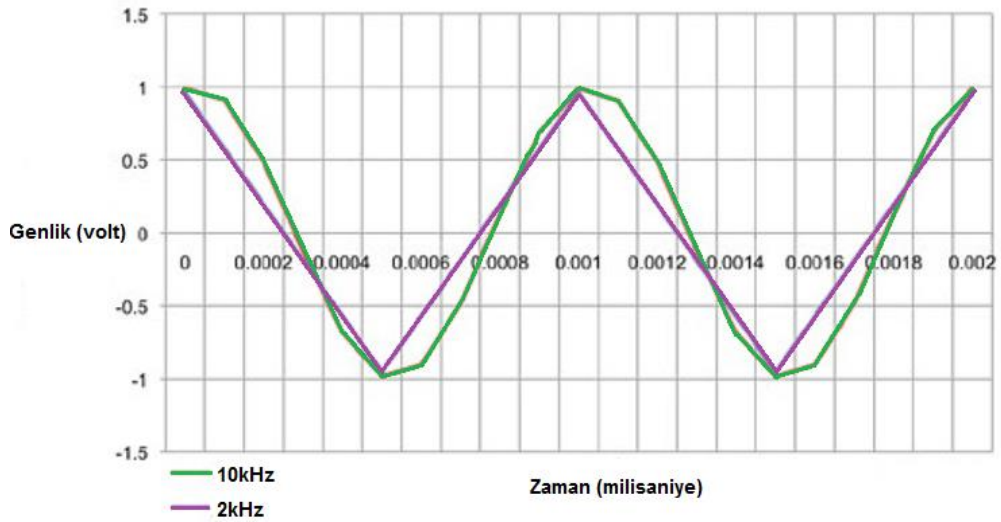
### 2.2.1.1 Örnekleme Hızı

Veri toplama cihazlarının en önemli özelliklerinden biri örnekleme oranıdır. Örnekleme oranı, veri toplama cihazının ADC'sinin örnekler alınması istenen sinyalden örnek alma hızına denir.

Örnekleme hızı donanım veya yazılım ile düzenlenebilir. Bu hız saniyede 2 milyon örneğe kadar çıkabilmektedir. Uygulamada ihtiyaç duyulan en yüksek örnekleme hızı, ölçülmesi veya üretilmesi gereken en yüksek frekanslı birime göre belirlenebilir.

Nyquist teoremine göre sağlıklı bir şekilde istenilen sinyali tekrar üretebilmek için, işlenecek en yüksek frekansın en az iki katı kadar örnekleme yapılması gerekmektedir. Ancak pratikte işlenecek olan sinyali sağlıklı bir şekilde tekrar üretebilmek için en yüksek frekans parçasının yaklaşık 10 katı kadar örnekleme hızına sahip sistemler kullanılmalıdır. Böylelikle daha doğru ve hassas çalışılabilmektedir.

Örnek olarak 1kHz frekansına sahip bir sinüs dalgasının ölçümü yapılmak istendiğinde Nyquist teoremine göre en az 2kHz örnekleme yapmamız gerekmektedir. Fakat 10kHz örnekleme yapmak daha sağlıklı bir ölçüm sağlayacaktır. Şekil 2.17'de 1kHz sinüs dalgasının 2kHz ve 10 kHz ile örneklendiğinde ortaya çıkan fark gösterilmektedir.



**Şekil 2.17** Örnekleme Hızı Karşılaştırması

Üzerinde çalışılacak en yüksek frekans belirlediği zaman, uygulamada kullanılacak en uygun veri toplama cihazı da belirlenebilir.

Veri toplama ve kontrol gerçekleştirmek için kullanılacak bilgisayar tabanlı bir sistemin özellikleri belirlenirken örnekleme oranı ve gürültü miktarı önemli kıstaslardır. Filtreleme ve kontrol methodu bu kıstaslara göre belirlenir.

Örnekleme periyodu belirlenir ise bilgisayarın işleme alabildiği ölçüm noktası sayısı ve süreç kontrolü önemli kıstaslardır.

Özel bir dijital kontrol sistemi tek bir ölçüm noktasına bağlıysa, bu ölçüm istenilen sıklıkta, bilgisayarın sınırları dâhilinde örneklenebilir. Ancak çok sayıda hızlı örnekleme ölçüm noktalarının kullanılması, gereksiz yere bilgisayara yükleme yapıldığı ve performansının diğer görevler için kısıtlandığı anlamına gelebilir.

Örnekleme periyodu seçimi için bir dizi kural koymadan önce örtüşme konusunun ele alınması gerekmektedir.

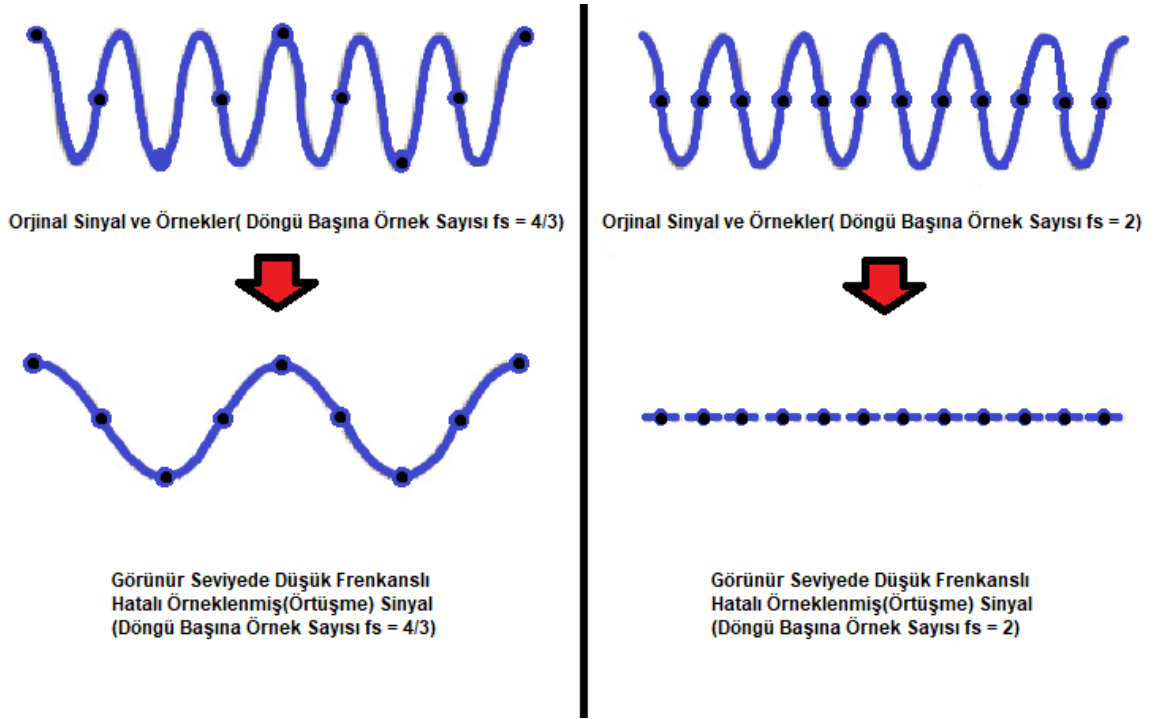
## Örtüşme

Örnekleme oranı, önemli süreç bilgilerinin kaybolmaması için yeterince büyük olmalıdır.

Örnekleme sırasında ortaya çıkabilecek bilgi kaybı Şekil 2.18'de gösterilmektedir.

Sinüzoidal sinyalin, döngü başına örnek 4/3 oranında örneklendiğini varsayalım. Bu örnekleme oranı, yeniden oluşturulan sinyalin sahip olduğu periyodun daha uzunmuş gibi görünmesine neden olmaktadır. Bu da örtüşmeye sebep olur. Sinüzoidal sinyalden, her bir periyot için iki adet örnek alınır bile, sinyali istediğimiz gibi yapılandıramamış oluruz. Bunun sebebi; alınan örnekler eş merkezli olacağı için dalga yapısı oluşturulamaz.

Shannon'ın örnekleme teoremine göre, sinüzoidal bir sinyalin bir periyotta örnekleme sayısı ikiden fazla olması gerekir.[8]



**Şekil 2.18** Düşük Frekansta Örnekleme İle Oluşan Örtüşme Hatası

Örtüşme ayrıca, sinüzoidal olmayan bir işlem değişkeni örneklendiğinde de ortaya çıkar.

Genel olarak, bir işlem ölçümü  $ws$  örnekleme sıklığıyla örnekleniyorsa,  $ws/2$ 'den yüksek frekanslı işlem değişkenleri, yüksek frekanslı bileşenleri olarak, düşük olanlar ise örneklenen sinyaldeki düşük frekanslı bileşenler " $w < ws/2$ " olarak görünmektedir.

Bu gibi düşük frekanslı bileşenler, eğer normal işlem varyasyonları ile aynı frekans aralığında ise (kritik frekansa yakın frekanslar  $W_n$ ) çeşitli kontrol problemleri doğurabilirler.

Bir örtüşme engelleme filtresi kullanarak örtüşme ortadan kaldırılabilir.

### **Örnekleme Hızı Karşılaştırılması**

Çok yavaş örnekleme, geri bildirim kontrolü sisteminin (rahatsızlıklarla baş edebilme yeteneği) etkinliğini azaltabilir.

Aşırı durumlarda, örnekleme periyodunun süresi, işlem yanıt süresinden daha uzun ise, hatalı bir durumda oluşan hata, işlemi etkiler ve kontrolör bu hata için düzeltici bir işlem uygulayamadan hatanın etkisi ortadan kalkabilir. Bu durumda kontrol sistemi geçici bozukluklara tepki veremez ve sadece kararlı durum kontrolü yapabilir.

Bu sebeple örnekleme periyodu seçilirken süreç dinamikleri (bozulma özellikleri dâhil) göz önünde bulundurulmalıdır.

Öte yandan, örneklemenin yüksekliğinde de ekonomik bir dezavantaj vardır. Bilgisayarın kapasitesinin kaldırabileceği örnekleme hızı düştükçe, örnekleme periyodu da azalır. Bu sebeple en uygun örnekleme periyodu uygulamadan uygulamaya değişir.

Bununla birlikte mantıklı olan yaklaşım, dinamik bilginin kaybolmamasını sağlayacak, olabilecek en uzun örnekleme periyodu süresinin belirlenmesi, ardından da bilgisayarın sınırlarına ve bütçeye göre örnekleme periyodunun süresinin kısaltılmasıdır.

İşletim koşulları önemli ölçüde değişiyorsa, örnekleme periyodunun da değişmesi gerekebilir.

Örneğin, bir işlem birimine beslenen akış hızı, önemli ölçüde artmış ise, kalış süresi ve dolayısıyla birim zaman sabiti indirgenir.

Sonuç olarak, daha tatmin edici bir kontrol mekanizması için daha küçük bir örnekleme periyodunun kullanılması gerekebilir.

Sinyal-gürültü oranı (SNR) ayrıca örnekleme periyodu seçimini de etkiler.

Düşük sinyal-gürültü oranı olduğu zaman, hızlı örnekleme yapılmamalıdır. Çünkü ölçülen değışkende bir örnekleme zamanından diğerine gözlenen değışiklikler, esas olarak küçük işlem değışiklikleri yerine yüksek frekans gürültüsüne denk gelebilir.

Düşük sinyal-gürültü oranına sahip değerleri ile karşılaşıyor ise, ölçümlerin gözlenir bir şekilde sapmalar yapmasını engellemek, ölçüleri iyileştirmek için filtre kullanılmalıdır.

### **2.2.1.2 Örnekleme Çözünürlüğü**

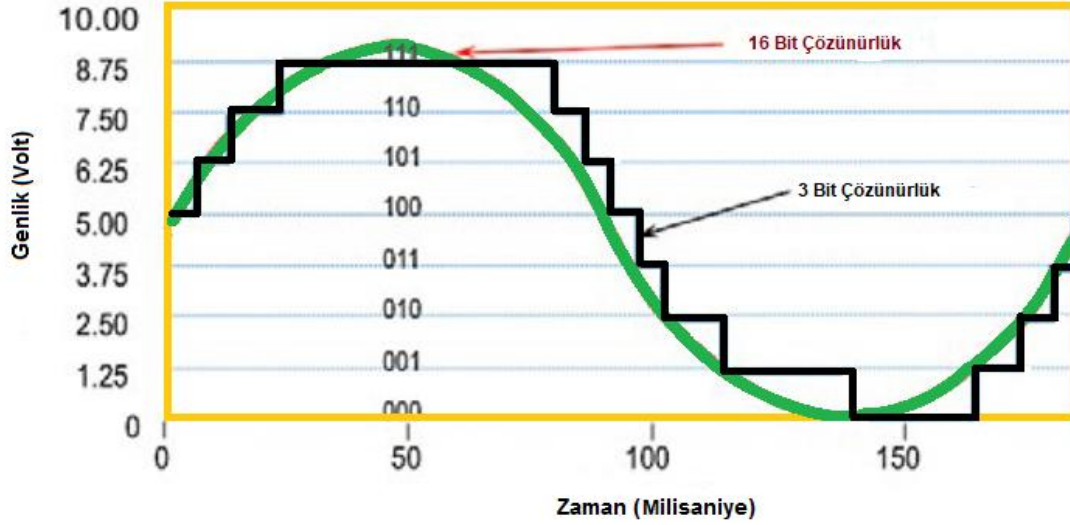
Sinyaldeki en küçük tespit edilebilen değışiklik, ihtiyaç duyulan veri toplama cihazının çözünürlüğünü belirler. Çözünürlük; ADC'nin, sinyali tanımlayacağı binary seviyelerinin sayısına denir. Örneğin 3 bit ADC 8 ayırık voltaj seviyesi gösterebilirken, 16 bit ADC 65,536 ayırık voltaj seviyesi gösterebilme kapasitesine sahiptir. Şekil 2.19'da görüldüğü üzere 3 bit ADC ile örneklenmiş bir sinüs sinyali adım fonksiyonuna benzerken 16 bit ADC ile örneklenmiş bir sinüs sinyali çok daha temiz bir sinüs sinyali ortaya çıkarmaktadır.

Genellikle veri toplama cihazları 4/- 5 V veya +/- 10 V voltaj aralıklarına sahiptirler. Bu voltaj seviyelerine göre eşit olarak dağılım yapılarak çözünürlük belirlendiği zaman +/- 10 V aralığında 12 bit çözünürlük 5mV değışim gözlemlenebilecek, 16 bit kullanıldığı zaman 300 µV değışim gözlemlenebilecek anlamına gelmektedir.

Genellikle 12, 16, 18 ve 24 bit çözünürlüğe sahip veri toplama cihazları kullanılmaktadır. Küçük ve büyük voltaj aralıklarında algılayıcılar kullanılacak ise, dinamik veri aralığına sahip cihazlar da bulunmaktadır. Örneğin gerinim ölçer, yük hücresi veya termokuple gibi algılayıcılar için yükseltici kullanmadan ölçüm almak mümkün görünmese de, seçime göre bu voltaj aralıklarında ölçümler alabilecek,



dinamik aralık belirlemeye uygun veri toplama cihazları da mevcuttur. Uygulamaya göre kullanılacak algılayıcılar ve bu algılayıcıların voltaj aralığına göre bir veri toplama cihazı seçilmesi gerekmektedir.



**Şekil 2.19** Sinüsoidal Dalga Üzerinde 3 Bit ve 16 Bit Çözünürlük Karşılaştırması

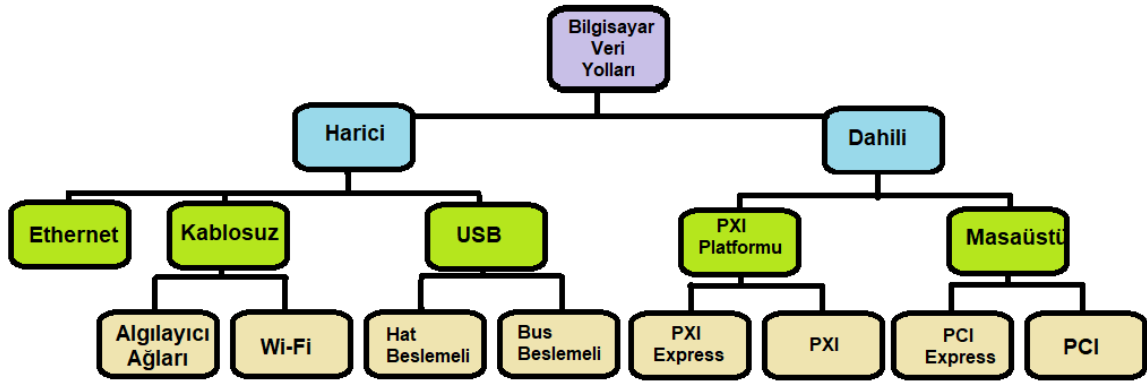
Doğruluk; cihaz tarafından örneklenen bir sinyalin değerini gösterme kabiliyetinin ölçüsü olarak tanımlanır. Bu terim çözünürlük ile ilgili değildir, ancak doğruluk, cihazın çözünürlüğünden daha iyi olamaz.

Ölçümün doğruluğunun nasıl belirlendiği, ölçüm cihazının türüne bağlıdır. İdeal bir cihaz her zaman gerçek değeri yüzde 100 kesinlik ile ölçer, fakat gerçekte, cihazlar üreticinin belirttiği hata oranına sahiptirler ve bu hata belirtilmelidir.

Bir cihazın doğruluğunun sadece cihaza değil, aynı zamanda ölçülen sinyalin tipine de bağlı olduğu unutulmamalıdır. Ölçülen sinyal gürültülü ise, ölçümün doğruluğu olumsuz yönde etkilenir. Değişken derecelerde doğruluk ve fiyat noktalarına sahip geniş veri toplama cihazları yelpazesine sahiptir. Bazı cihazlar, doğruluğu geliştirmek için otomatik kalibrasyon, izolasyon ve diğer devreler sağlayabilir. Temel bir veri toplama cihazının 100 mV üzerinde mutlak bir doğruluk sağlaması durumunda, bu özelliklere sahip olan daha yüksek performanslı bir cihaz, 1 mV civarında mutlak bir doğruluğa sahip olabilir. Doğruluk gereksinimleri saptandıktan sonra, bunları karşılayan doğrulukta bir veri toplama cihazı seçilebilir.

## 2.2.2 Bilgisayar veri yolu

Çok çeşitli veri yollarından seçim yapılabilecek farklı veri toplama cihazı seçenekleri olduğunda, uygulama ihtiyaçları için doğru veri yolunu seçmek gerekmektedir. Her bir veri yolu farklı avantajlara sahiptir ve ana bilgisayardan verim, gecikme, taşınabilirlik veya mesafe için optimize edilmiştir. Şekil 2.20’de bilgisayar veri yolu türleri gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Bilgisayar Veri Yolu Türleri

## USB(Universal Serial Bus) Veri Yolu

Evrensel Seri Veri Yolu (USB) orijinal olarak, klavyeler ve fareler gibi çevre aygıtlarını bilgisayarlarla bağlamak için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, ölçüm ve otomasyon dâhil olmak üzere birçok uygulamada da kullanılabilir.

USB kullanarak sisteme bağlanan aygıtlar, çalışma durumunda iken sisteme dâhil edilebilirler veya sistemden çıkarılabilirler. Bu sayede USB, bir aygıtı eklemek veya çıkarmak için bilgisayarı kapatma gereğini ortadan kaldırır.

USB veri yolu, otomatik cihaz algılama özelliğine sahiptir, bu da kullanıcı tarafından cihazların yapılandırılması gerekmediği anlamına gelir. Yazılım sürücülerini yükledikten sonra, işletim sistemi cihazı tek başına algılayıp kurmalıdır.

## 2.3 Veri Toplama Bilgisayarı

Programlanabilir yazılıma sahip bir bilgisayar, veri toplama cihazının işlemlerini kontrol etme, ölçülen veriyi işleme, ölçüm, görselleştirme ve kayıt için kullanılır.

Farklı uygulamalar için farklı tip bilgisayarlar kullanılmaktadır. Masaüstü bilgisayar, işlem gücü sayesinde laboratuarlarda, diz üstü bilgisayarlar taşınabilirliklerinden dolayı saha görevlerinde, endüstriyel bilgisayarlar ise sağlamlıklarından dolayı fabrika ortamlarında kullanılabilirler.

## **2.4 Veri Toplama Yazılımları**

- **Sürücü Yazılımı**

Sürücü yazılımı, uygulama yazılımının cihaz ile iletişim kurmasını sağlar. Veri toplama cihazının uygulama ile iletişimini, register seviyesinde programlama ve düşük seviye donanım komutlarını birbirinden ayırarak basitleştirir. Veri toplama cihazının sürücü yazılımı ile uygulama yazılımı arasında arayüz(API) oluşturur.

- **Uygulama Yazılımı**

Uygulama yazılımı bilgisayar ile kullanıcı arasında bağlantı kurar. Ölçüm verilerini kullanıcıya sunarak veri toplamayı, analiz etmeyi ve ölçüm verilerini kullanmayı rahat hale getirir. Bu yazılımlar önceden kurulmuş, fonksiyonları önceden tanımlanmış yazılımlar da olabilir, özelleşmiş fonksiyonlar oluşturmak için bir ortam olarak tasarlanmış da olabilir. Özelleşmiş yazılımlar genellikle veri toplama cihazının çoklu fonksiyonlarını otomatik olarak kullanmak için, sinyal işleme algoritmaları uygulamak için ve özelleştirilmiş kullanıcı arayüz görselleri oluşturmak için kullanılırlar.

### **2.4.1 Sürücü yazılımı**

Bir veri toplama cihazı seçilirken sürücü yazılımı genellikle göz ardı edilir. Sürücü yazılımı, donanım ile uygulama yazılımı arasındaki iletişim katmanıdır. Donanım özellikleri çok önemliyken, zayıf sürücü yazılımı, tüm sistemin geliştirme süresini ve performansını büyük ölçüde etkileyebilir.

Sonuç olarak, veri toplama cihazı sürücüleri genellikle her işletim sistemi türünü ve sürümünü desteklemez. Çoğu veri toplama cihazı sürücüsü, yaygın oldukları için Windows işletim sistemi sürümleriyle çalışır. Ancak, alternatif bir işletim sistemi kullanılıyorsa, bir veri toplama cihazı seçmeden önce, bu işletim sistemini destekleyip desteklemediğini göz önünde bulundurmak gerekir.

Uygulama yazılımı ile çeşitli derecelerde sürücü entegrasyonu vardır. Her sürücünün merkezinde bir kütüphane (genellikle bir DLL) bulunur. Bu kütüphane veri toplama donanımı iletişimini yönetir. Normalde, kütüphane çeşitli programlama dilleri için dokümantasyon ile birlikte verilir. Bu paketler, kütüphanenin işlevlerini belirli bir programlama dili için uyumlu bir ara birime dönüştüren kod katmanlarıdır. Bazı durumlarda, tercih edilen dil için bir paket sağlanmamış olabilir, bu yüzden uygulama yazılımı ile arayüz oluşturmak için sürücü paketinin elle yazılması gerekebilir.

#### **2.4.2 Uygulama yazılımı**

Uygulama yazılımı, modern veri toplama cihazı sistemlerinin merkezinde yer alır ve uygulama ihtiyaçlarına uygun bir yazılım aracı seçilebilmesini ve sistem olgunlaştıkça kolayca ölçeklendirmeyi sağlar.

Kullanıma hazır yazılım araçları, en kolay ve en hızlı öğrenenlerdir, çünkü programlama detaylarını kullanıcıdan soyutlarlar ve tipik olarak yalnızca kurulum için kullanıcıdan birkaç ayrıntı isterler. Veri toplama sistemi için çalışmaya hazır yazılım araçları arasında karar verirken, aracın veri edinme gereksinimlerini tamamlama becerisine sahip olduğundan ve aracı hızlı bir şekilde öğrenmeye yardımcı olacak uygun kaynakların bulunduğundan emin olunmalıdır.

Yeni bir uygulama geliştirme ortamı değerlendirirken, bu programlama dilinin düşük seviyeli detaylarından ziyade, eldeki mühendislik problemine odaklanma olanağı dikkate alınmalıdır.

Labview® gibi grafiksel programlama dilleri genellikle daha kolay öğrenilir, çünkü uygulama daha sezgiseldir ve bir mühendisin düşündüğü şekilde görsel olarak tutarlıdır.[11]

### **2.4.2.1 Veri görüntüleme**

Çoğu uygulama bir çeşit görselleştirme gerektirir, ancak karar verilmesi gereken bu işlemin nerede(çevrim dâhilinde, çevrim dışı veya her ikisinde de) gerçekleştiğidir.

#### **Çevrim Dâhilinde(Inline)**

Inline görselleştirme, verilerin toplandığı aynı uygulamada görüntülediği anlamına gelir. Örneğin, edinilen veriler bir bilgisayar ekranında görüntülenebilir, böylece bir teknisyen ölçülen sinyali tam anlamıyla görebilir ve tüm bağlantıların doğru şekilde yapıldığından emin olabilir. Inline analiz, inline görselleştirmeyle çalıştırılıyorsa, aynı sinyalin filtrelenmiş bir sürümü de monitörde görüntülenebilir. Bu tür bir mimari, edinilen verileri neredeyse gerçek zamanlı olarak görselleştirebildiği için “anında geri bildirim” sağlar, ancak seçilen uygulama yazılımının ihtiyaç olabilecek tüm görselleştirme araçlarını içermesini gerektirir.

Inline analizlerin dezavantajı veriyi görsel olarak görüntülemek, gerekli hesaplamaları yapmak ve verileri görüntülemek için ekstra işlem gücü gerektirmesidir. Kullanıcı arayüzü güncellemeleri, bir CPU'nun gerçekleştirdiği en yüksek işlemci yoğunluğundaki işlemlerden biridir. Uygulamanın kesin zamanlama gereksinimleri varsa, görselleştirmenin bir sistem darboğazı haline gelmediğinden ve bazı verilerin kaçırılmadığına neden olmadığından emin olunması gerekir. Uygulamayı geliştirirken, verileri elde etmek, analiz etmek ve görselleştirmek için ne kadar zaman harcanabileceği ölçülebilir ve herhangi bir veri noktasının kaçırılmadığından emin olunabilir. Başka bir seçenek de kodu paralel hale getirerek, iplik(thread) veri alımını gerçekleştirirken, diğeri sinyal işleme ve görselleştirmeyi yapmasıdır. Bu, çoğu makinede birden fazla CPU'dan yararlanarak sağlanır.

#### **Çevrim Dışı(Offline)**

Inline görselleştirme, uygulamada her zaman doğru yöntem ve gereklilik değildir. Veriler alınırken gözlemlenmesi gerekmediğinde veya bilgisayar işlemcisinin tamamen diske veri toplamaya ve veri akışına odaklanabildiği uygulamalarda, offline görselleştirme tercih edilebilir. İleri bir tarihte yapılacak denetim için veri depolanırken uygun bir depolama formatı ve özel bir offline görselleştirme aracının

seçilmesini gerekir. Verileri offline olarak görüntülemek, edinilen ham verilere erişilebildiği için veriler ile etkileşim kurarken sınırsız esneklik sağlar. Ek olarak, veri ediniminin zamanlaması ve bellek kısıtlamaları ile sınırlı değildir ve CPU'nun artık sayısal olarak yoğun grafik güncellemelerini gerçekleştirmediğinden, canlı edinim sırasında bir darboğaz olarak görselleştirme artık bir sorun olmaktan çıkar.

Birçok uygulama, hem inline hem de offline veri görselleştirmeyi birleştirir. Inline görselleştirme, sistemin gözlenebilmesi adına gereken minimum işleme sınırlandırılır (örneğin, bir grafiğin güncelleme hızını yavaşlatmak). Verileri görsel olarak incelemek ve ilişkilendirmek için offline görselleştirme, inline görselleştirme ile birlikte kullanılabilir. Böylece veri toplama işlemine olan etki minimuma indirilir.

#### **2.4.2.2 Veri kayıt etme**

Verilerin ölçeklenebilir şekilde depolanması, uyumlu bir veri yönetimi çözümüne ulaşmanın ilk adımıdır. Çoğu zaman veriler, tutarsız formatlarda açıklayıcı bilgiler olmadan saklanır ve bilgisayarların dizileri üzerinde dağılır, bu da belirli bir veri kümesini bulmanın ve ondan kararlar almayı çok zorlaştıran bir bilgi mezarlığı oluşturur.

TDMS, ikili tabanlı bir dosya formatıdır, bu yüzden küçük bir disk izi vardır ve verileri diske yüksek hızlarda aktarabilir. Aynı zamanda, TDMS dosyaları, veriler ile beraber açıklayıcı bilgileri veya nitelikleri depolayan bir başlık bileşeni içerir. Dosya adı, tarih ve dosya yolu gibi bazı özellikler otomatik olarak kaydedilir; Bununla beraber, özel belirlenen nitelikler de kolayca eklenebilir. TDMS'nin bir başka avantajı da dosya formatı, dosya, grup ve kanal seviyeleri olmak üzere yerleşik, üç seviyeli hiyerarşidir. Bir TDMS dosyası sınırsız sayıda grup içerebilir ve her grup sınırsız sayıda kanal içerebilir. Test verilerinin her birine açıklayıcı ve belgelemeyi kolaylaştıran nitelikler eklenebilir. Bu hiyerarşi, test verilerinin içsel bir organizasyonunu oluşturur.[11]

TDMS dosyaları, Microsoft Excel ve OpenOffice Calc gibi birçok yaygın uygulamada da açılabilir. TDMS dosyaları, kolay değiştirilebilirlik, hız ve boyuttan ödün vermeden dahil edilebilirlik özelliğini kullanır.

TDMS dosya türü, verileri analiz etmek veya görselleştirmek için son derece verimlidir. TDMS, çeşitli farklı yazılım paketlerine verileri yüklemek için eklentileri olan veya ücretsiz bir DLL kullanabilen açık bir standarttır. [11]

#### **2.4.2.3 Veri hacmi**

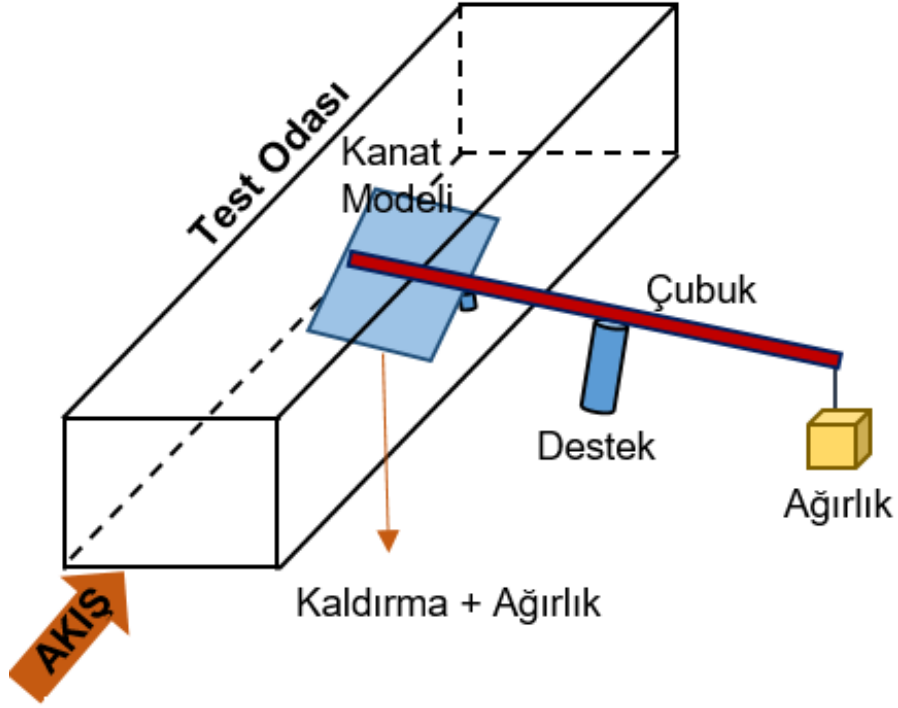
Günümüzde, yaygın uygulamaların veri akış hızları genellikle MS / s oranlarına ulaşmakta ya da bunları aşmaktadır. Tek bir veri kanalını 1 MS / s'de toplayan bir uygulamada, bir saniyelik alımda toplam 1.000.000 veri noktası toplanır. Birkaç dakika içinde, milyarlarca veri noktası gigabaytlık sabit disk alanına kaydedilebilir.

Geleneksel raporlama araçları, büyük miktarda veri içeren bir veri dosyasını yüklemeyi denediğinde, her bir veri noktasını belleğe yüklemeye çalışırlar. Büyük bir veri kümesinin tamamını bu araçlara yüklemek, yüklenmesi gereken veri miktarından dolayı genellikle çok fazla zaman alabilir.

Bir veri toplama sistemi tasarlarken, seçilen raporlama aracı ve seçilen dosya formatı ile toplanacağı düşünülen veri miktarının işlenebileceğinden emin olunması gerekmektedir.

## 2.5 Kuvvet-Denge Sistemi ile Yük lm

Kuvvet-denge sistemi bir veya daha fazla gerinim ölçerden oluşan ve modelin bir veya daha fazla eksenini için kuvvet ve momentlerini ölçmek için kullanılır. llmesi hedeflenen kuvvetler, hava araçları için taşıma, sürüklenme ve yan kuvvet, ölçülmesi hedeflenen momentler ise yunuslama, yalpa ve yuvarlanmadır.



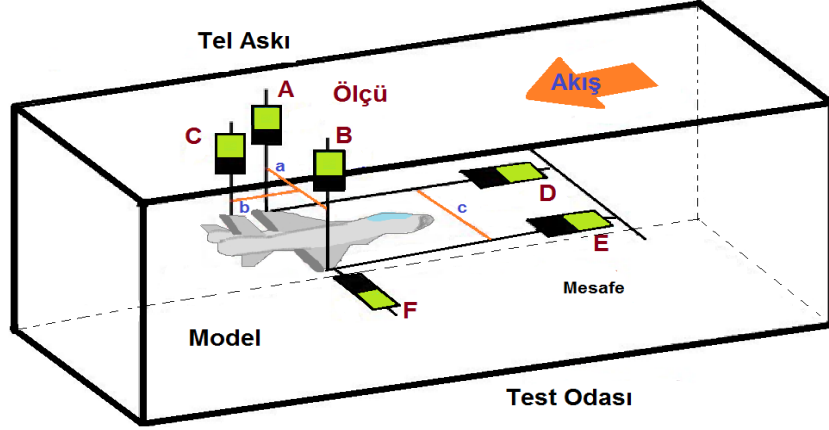
Şekil 2.21 Basitleştirilmiş Kuvvet Denge Sistemi

Şekil 2.21'de gösterilen sistemde, mekanik olarak ağırlıklar ile kuvvet ölümü yapılmaktadır.

Sistem dengelendiği zaman ne kadar kuvvet uygulandığı tespit edilebilir.



Elektronik algılayıcılar ile bütün kuvvet ve momentleri aynı anda ölçebilmek için ideale en yakın kurulum Şekil 2.22'de gösterildiği gibidir.[13]



Şekil 2.22 İdeal Moment ve Kuvvet Denge Sistemi

Modelin ağırlığı  $W$ , gerinim ölçerlerin yük çıktıları da Şekil 2.22'de gösterildiği gibi isimlendirilirse;[13]

Taşıma kuvveti( $L$ )

$$L = A + B + C - W \quad (2.17)$$

Sürüklenme kuvveti( $Dr$ )

$$Dr = E + D \quad (2.18)$$

Yanal kuvvet( $Y$ )

$$Y = F \quad (2.19)$$

Olacaktır.

- Sistemde yuvarlanma momenti(RM) yok ise A ile B eşit olacak fakat sistemde yuvarlanma momenti var ise yuvarlanma momenti,

$$\mathbf{RM} = (\mathbf{A} - \mathbf{B})\mathbf{x}\frac{\mathbf{a}}{2} \quad (2.20)$$

- Aynı şekilde yalpa momenti,

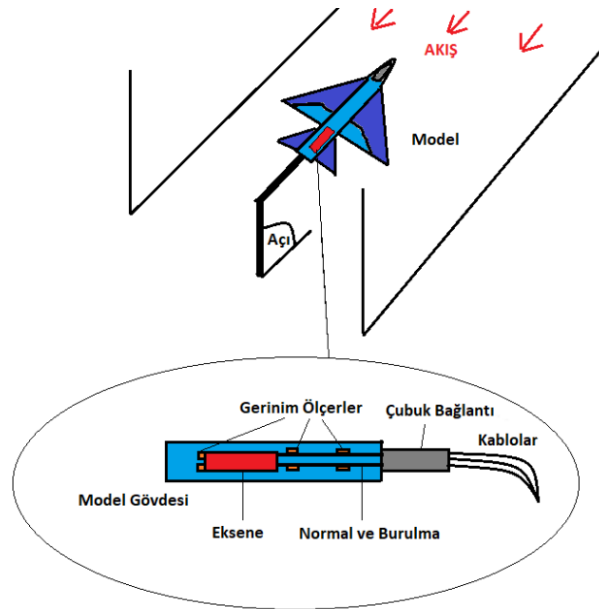
$$\mathbf{YM} = (\mathbf{D} - \mathbf{E})\mathbf{x}\frac{\mathbf{C}}{2} \quad (2.21)$$

- Yunuslama momenti ise,

$$\mathbf{PM} = \mathbf{C} \times \mathbf{b} \quad (2.22)$$

Olacaktır.

### 2.5.1 İç kuvvet-denge sistemi ile yük ölçümü

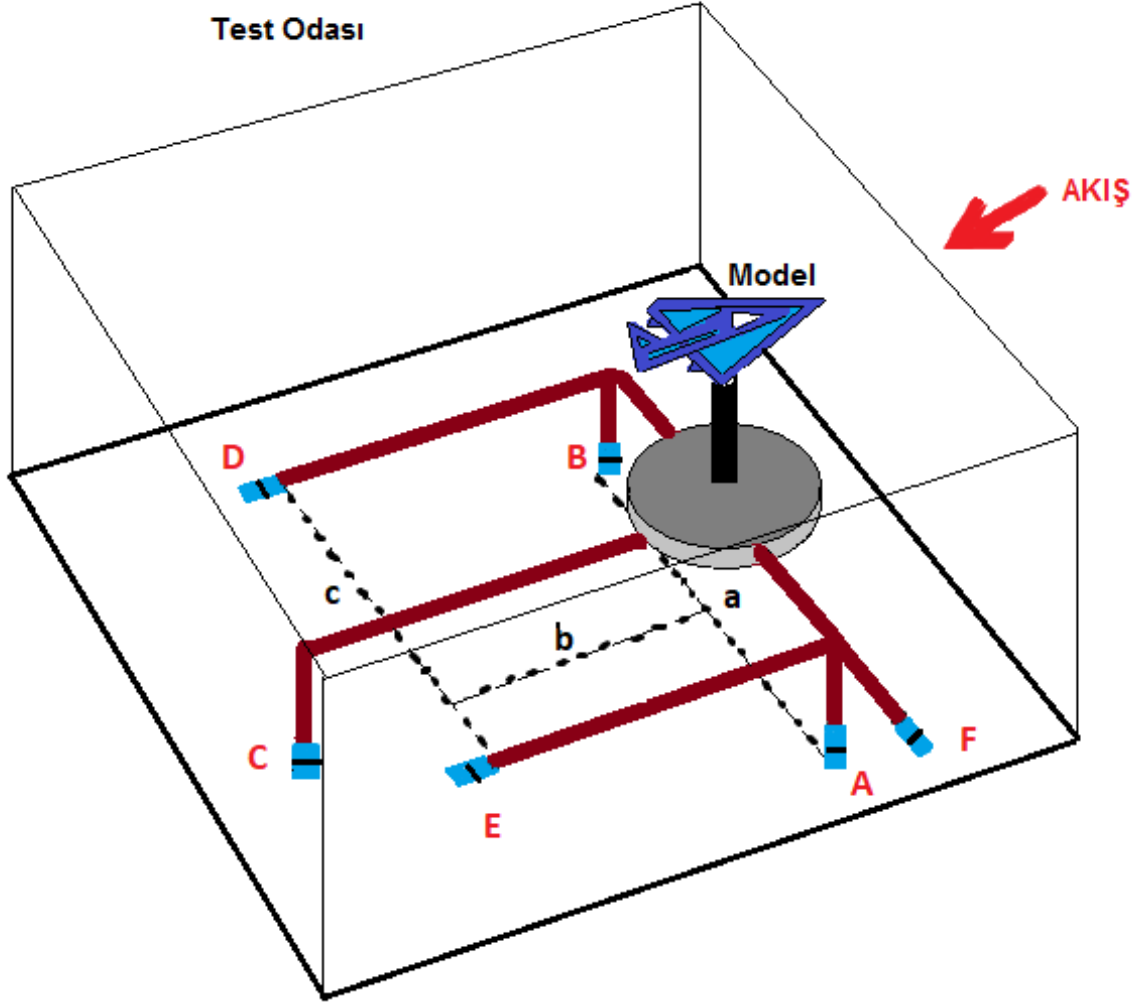


**Şekil 2.23** İç Kuvvet Denge Sistemi

Şekil 2.23'de gösterildiği gibi iç kuvvet denge sisteminde algılayıcılar tünelin içerisine girmektedir.

Metal gövdeye sahip bu sistemde algılayıcılar bağlantı aparatına yerleştirilir. Dışarıya çıkan tek şey olan kablolar, voltaj veya akım değerlerini veri toplama sistemine aktarır. 1 moment ve 2 kuvvet ölçümü aynı anda yapılabilir.[13]

## 2.5.2 Dış kuvvet-denge sistemi ile yük ölçümü



Şekil 2.24 Dış Kuvvet Denge Sistemi

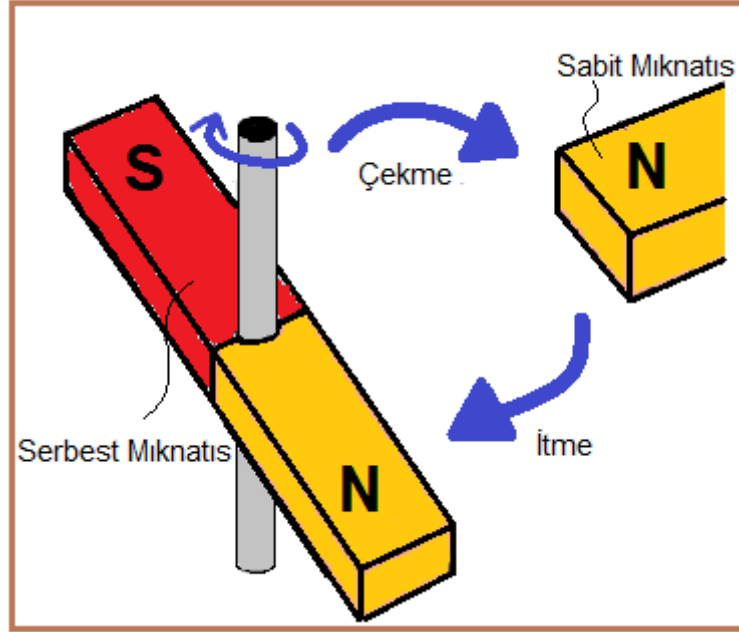
Şekil 2.24'de gösterildiği gibi dış kuvvet denge sisteminde algılayıcılar, tünelin dışında bulunur ve bağlantı noktasına bağlıdır.

Kuvvetler ve momentler bağlantı aparatı üzerinden iletilir.

3 kuvvet ve 3 moment ölçümü aynı anda alınabilmektedir. [13]

### 3 HAREKET KONTROL

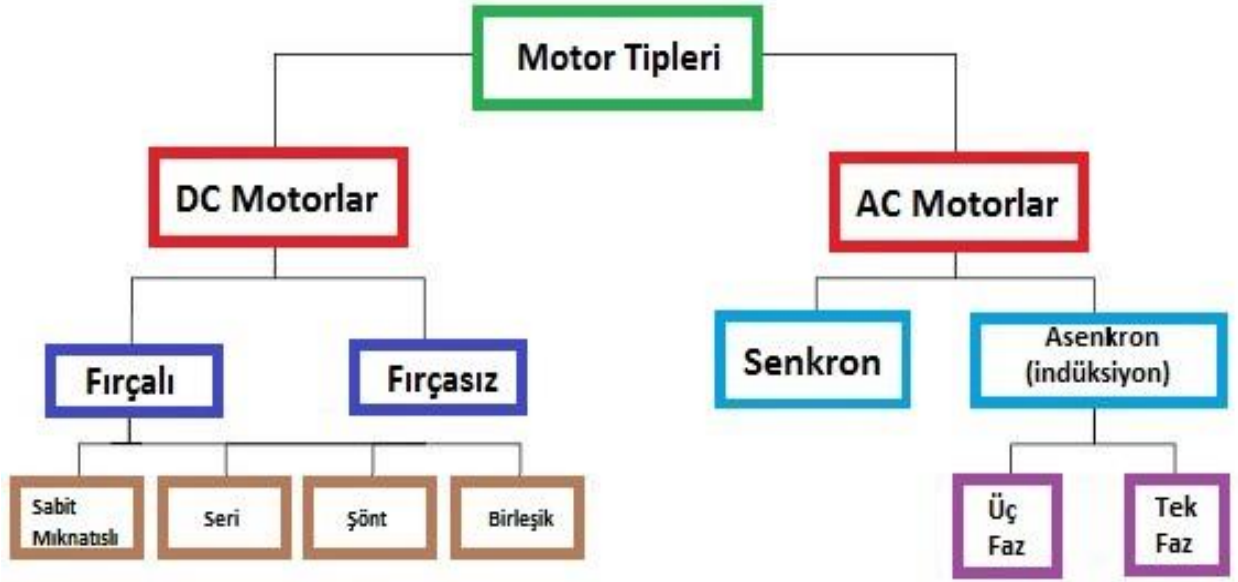
Elektrik motorlarının temel çalışma prensibi elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmektir. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi motorların temel çalışma prensibi, içerisinde akım geçen bir iletkenin yarattığı manyetik alan ve eş/karşı polaritede manyetik alanın birbiri ile etkileşiminden ortaya çıkan hareketin yönlendirilmesidir. Bunu sağlarken hareket değişkenlerinin kontrolü ve motorun verimi çok önemlidir.



**Şekil 3.1** Motorların Temel Çalışma Prensibi

Motorun sağladığı dönme hareketinin hızı, döner hareketin motor mili üzerinde oluşturduğu tork, motor milinin pozisyonu kontrol edilebilen ve çeşitli alanlarda kullanılan olgulardır. Bahsedilen olguların kontrolünü sağlayabilen ve sağlayamayan, verimlilik-maliyet çeşitliliklerine sahip birçok motor türü bulunmaktadır. Motor türleri genellikle yapılarına, beslemelerine ve kontrol metotlarına göre sınıflandırılırlar. Motor çeşitlerinin her birinin kullanım alanı, avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

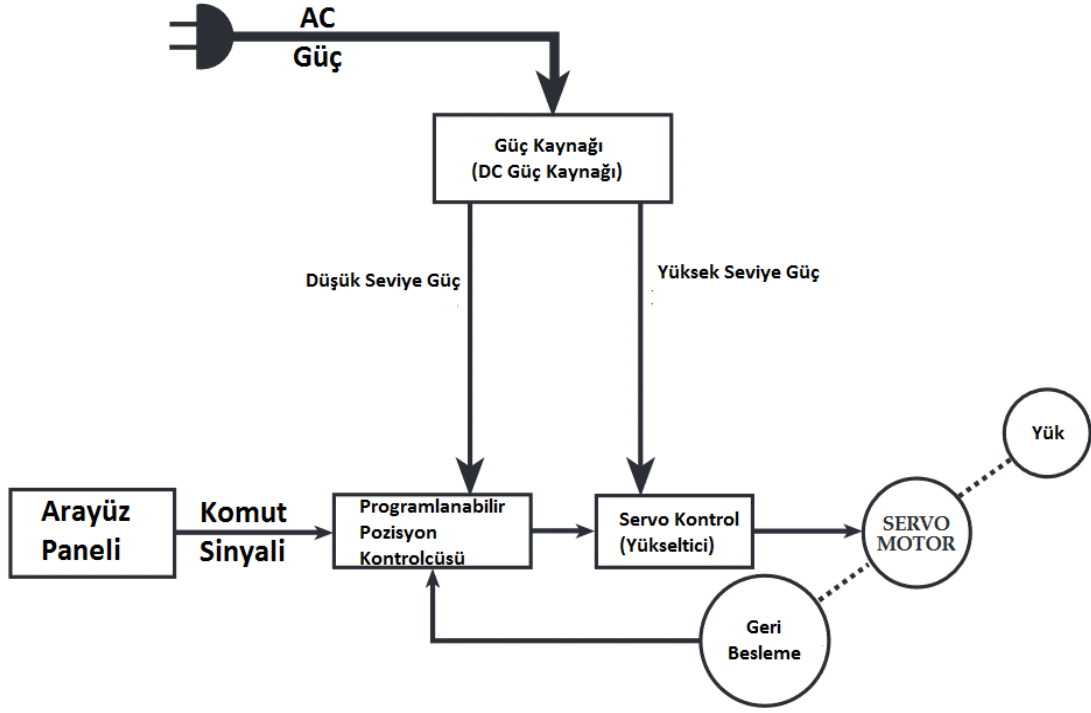
Endüstride en sık kullanılan elektrik motoru çeşitleri Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Elektrik Motoru Çeşitleri

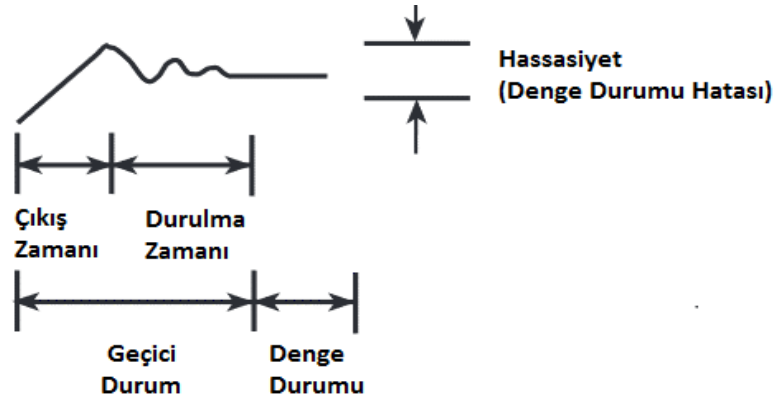
### 3.1 Servo Mekanizması

“Servo” bir sistemin fonksiyonu veya görev olarak düşünülebilir. Sisteme gönderilen, hareket komut sinyalinin iki yönlü, hata geri beslemesi sayesinde hareketin istenilen harekete haricinde hata kontrolü ve düzeltme işlemlerinin de yapılabilir olduğu, çıktının girdiyi etkilediği kontrol tipidir. Servo fonksiyonu, kendisinde toplanan komut ve geri besleme sinyallerini düzenleyerek yeni bir komut oluşturur. Servo, bu komut sinyalini yükselterek motora gönderilecek uygun seviyeye getirir. Böylelikle servo kontrolü ile motor hareketi sağlanmış olur. Servo mekanizmasının temel çalışma prensibi Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.3** Servo Mekanizması

Servo mekanizmalarda telafi sürecinin bulunması gerekmektedir. Kararlı çalışan bir sistemin denge durumu (steady state) ve geçici (transient) modlarının bulunması gerekmektedir. Servo mekanizmasında telafi süreci Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.4** Servo Mekanizmasında Telafi Süreci

### **3.1.1 Geri besleme cihazları**

Servo sistemi hız, dengeleme ve pozisyon için geri beslemeye ihtiyaç duyar. Bunun için özelleşmiş cihazlar mevcuttur.

#### **3.1.1.1 Analog enkoderler**

Enkoder, güç aktarımı amaçlı olmayan fakat mekanik hareketi, yüksek hassasiyette voltaj geri beslemesine dönüştüren jeneratörler olarak düşünülebilir. Hızın ve istikrarın geri beslemesini sağlayan bu cihazlar doğrusal kabul edilmekle birlikte dalgalanmalar içeren çıktılar verir. Bu yüzden endüstride yüksek hassasiyet içeren uygulamalarda tercih edilmezler.

#### **3.1.1.2 Dijital enkoderler**

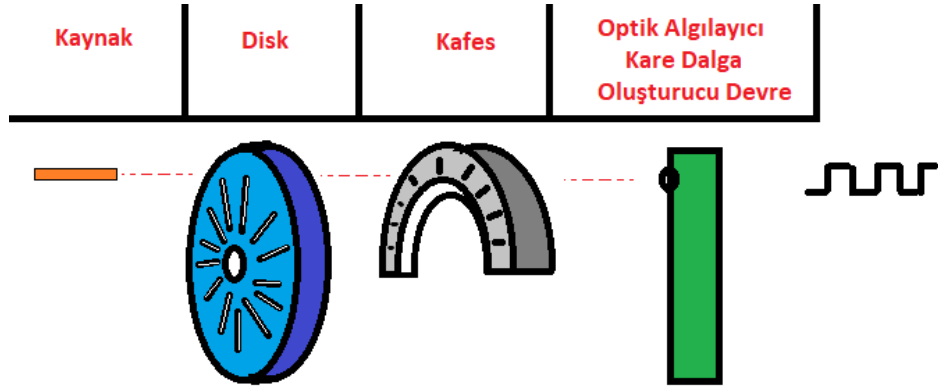
Dijital enkoder de analog enkoder gibi mekanik hareketi, dijital geri besleme olarak elde ettiğimiz cihazlardır. Açık çözünürlüğüne sahip bu cihazlar kare dalga, sinüzoidal dalga veya mutlak pozisyon ile mesafe geri beslemesine de sahiptirler.

#### **Mutlak Enkoder**

Mutlak enkoder'ler fırçalı veya fırçasız olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her ikisinde de bulunan kodlanmış disk üzerinden pozisyon bilgisi elde edilir. Fırçalı modellerde fırçanın temas ettiği kodlanmış disk üzerinden, fırçasız modellerde ise fotoelektrik algılayıcı ile kodlanmış disk üzerinden pozisyon bilgisi elde edilir. Güç kesintisinde pozisyon kaybı yaşanmayan Mutlak Enkoder'li sistemlerde tekrar elektrik verildiği zaman, sıfır noktasının buldurulmasına gerek duyulmamaktadır.

#### **Artımlı Enkoder**

Artımlı enkoder'de 360 derece dönerken darbeler veya sinüzoidal dalgalar ile bu bilgi sayılır. Çizgiler içeren bir diske sahip olan bu enkoder'de çizgi sayısı ve bu diske ışık veren bir kaynak ve diskte bulunan çizgilerin arka tarafa geçirdiği dalga ile pozisyon, hız ve yön bilgisi elde edilebilir. Şekil 3.5'de artımlı enkoderin temel yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 3.5** Artımlı Enkoderin Temel Yapısı

### Çözücüler

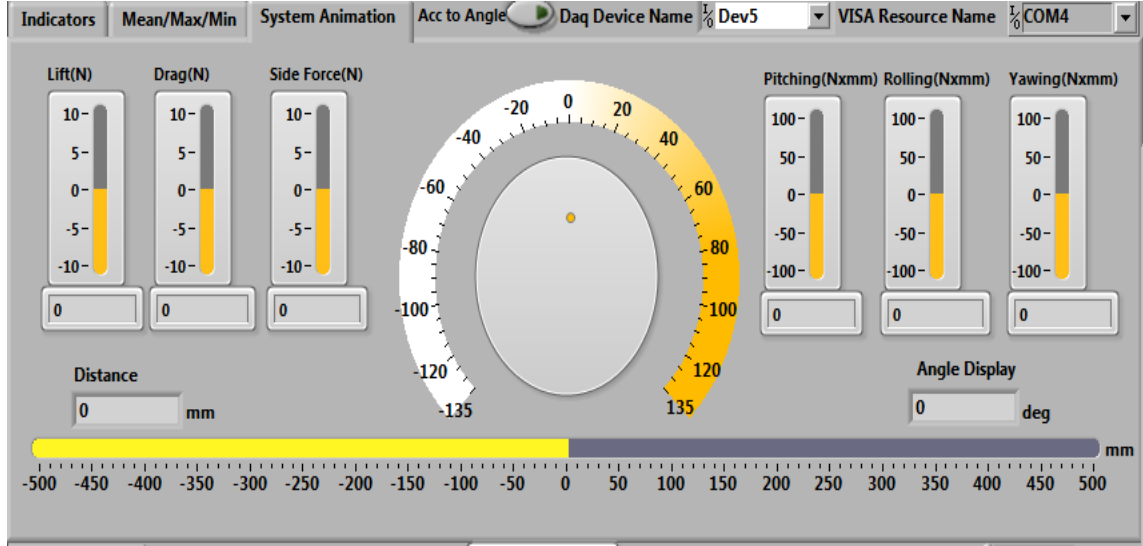
Bu tip geri besleme cihazlarının yapısı basit bir motora benzer. İçinde bulunan rotor/stator sargı konfigürasyonu aracılığı ile oluşturulan mekanik hareketi voltaj çıktısına çevirirler.

### 3.2 İnsan-Makine Arayüzü

Endüstride, makinelerin kontrolü için önemli noktalardan biri de insan makine arayüzleridir(HMI). Düğmeler, göstergeler, kontrol çubukları gibi girdi ve çıktılardan oluşan bu sistemlerde karışık işlemlerin kontrolü özelleşmiş arayüzler ile insana sunulur. Sıcaklık, hız, basınç, pozisyon, uyarı gibi göstergeler ve özelleşmiş düğmeler, kontrol değeri girdileri ile otomasyon sağlanır. Bu işlemler Windows tabanlı makineler üzerinden, programlanabilir mantıksal kontrolcülere(PLC) gönderilen komutlar ile gerçekleştirilir.

Bu sistemler ile endüstride güvenilirlik, kontrol hassasiyeti, teknik bakım kolaylığı, kullanıcı dostu ortam kalitesi artırılmıştır. Şekil 3.6'da HMI tasarım örneği gösterilmektedir.





Şekil 3.6 İnsan-Makine Arayüzü(HMI) Tasarım Örneği

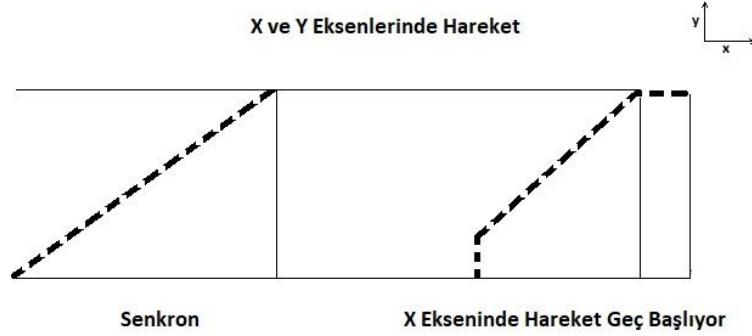
### 3.3 Çok Eksenli Hareket Mekanizmaları

Makine kontrol ve otomasyonunda, bir veya birden fazla eksen koordinasyonu ihtiyacı vardır. Çok eksen senkronizasyonu terimi, koordinasyon gerektiren hareketler ve hareket kontrolü teknikleri içerisinde kullanılmaktadır.

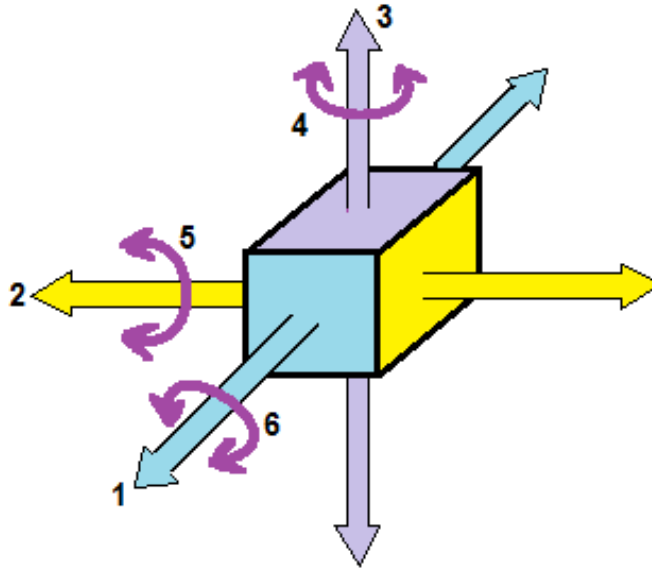
Bu günün otomasyon ve kontrol ihtiyaçları dahilinde daha sofistike sistemler için çok eksenli hareket sistemleri oluşturulmaya başlanmıştır.

Hareket eksenleri, DOF(Degree of Freedom) olarak da adlandırılırlar. Bunlar döner ve doğrusal hareketlerden oluşur. Yuvarlanma, yunuslama ve yalpa döner hareketleri temsil ederken; yukarı, aşağı, sağ, sol, ileri ve geri hareketler doğrusal hareketleri temsil eder. Şekil 3.8'de hareket eksenleri gösterilmektedir.

Çok eksenli uygulamalarda senkronize ve asenkron hareketler mevcuttur. Belirlenen eksenler belirli mesafeleri belirli zaman içerisinde kat ederler. Şekil 3.7’de senkron ve asenkron hareketlerin karşılaştırılması gösterilmektedir.

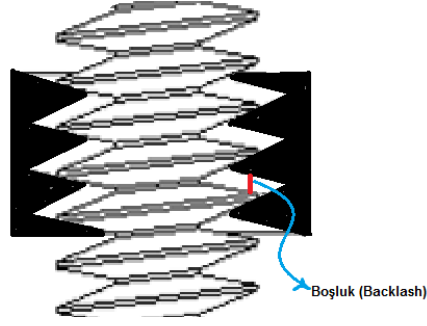


**Şekil 3.7** Senkron ve Asenkron Hareket Karşılaştırması



**Şekil 3.8** Hareket Eksenleri

Birçok makinede senkronizasyon sadece başlama ve durmaktan ibaret değildir. Pozisyon, hız ve ivme verileri de bu makinelerin olması gerektiği gibi çalışmasında önem arz etmektedir. Eksenlerin çarpışması, erken veya geç hareket eden eksenler ve tanımlananın dışında hareket eden eksenler istenilen sonuçların alınamamasını sağlamaktadır.



**Şekil 3.9** Boşluk (Backlash)

Mekanik yaklaşımla bakıldığı zaman motorların hareketi ile hareket etmesi gereken eksenlerdeki dişliler arasında var olan boşluklar (backlash) veya diş atlama problemleri senkronizasyon, hareket hassasiyeti, doğruluğu ve tekrarlanabilirliği tüm sisteme bakıldığında büyük hata oranları doğurabilmektedir. Bu hatalar ise senkronizasyon için büyük kayıplar anlamına gelmektedir. Şekil 3.9'da mekanik boşluk gösterilmektedir.

İstenilen hassasiyete, kuvvete ve dayanıma sahip mekanik donanımın maliyet, büyüklük, ağırlık ve hassasiyet kıstaslarına göre seçilmesi gerekmektedir.

Çok eksenli hareketlerde bir eksenle hareket sistemini başka bir eksenin taşıması çok olasıdır. Bu bilgiler doğrultusunda en uygun sistem elemanlarının seçilmesi ve sistem tasarımının yapılması gerekmektedir.

Elektronik motor kontrol sistemlerinin gelişmesi ile birkaç mekanik problemlerin önüne geçilebilmeye başlanmıştır. Servo kontrol tekniği ile sürekli olarak pozisyon kontrolü ve düzeltmesi yaparak pozisyon kontrolü yapılabilmektedir. Dişli atlama, boşluk (backlash) gibi problemler için ise eksene yerleştirilmiş kontrol noktaları gibi çözümler bulunmaktadır.

## 4 GÜRÜLTÜ VE GÜRÜLTÜDEN KAÇINMA YÖNTEMLERİ

Elektronik cihazların verimli ve sağlıklı çalışmasını kötü yönde etkileyen en önemli etkenlerden biri gürültüdür. Gürültü, elektromanyetik ve iletken yoluyla sisteme dâhil olabilir veya sistem, doğası gereği kendi yarattığı gürültüden temizlenmeye ihtiyaç duyan bir sistem olabilir. Şekil 4.1'de emisyon ve alınganlık gösterilmektedir.

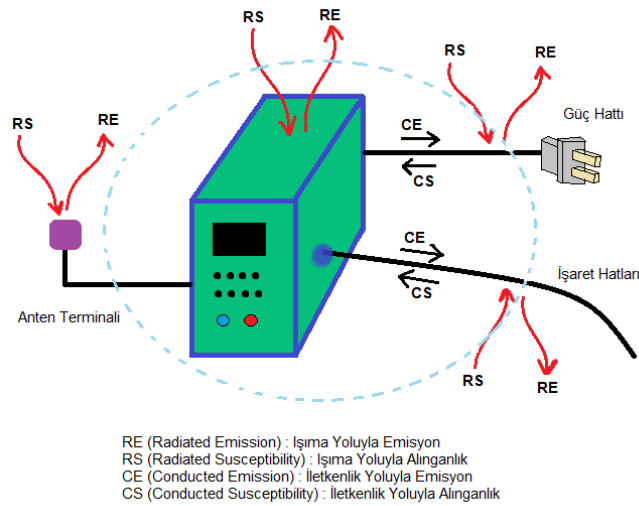
Bir sistemin dış etkenlerden kaynaklanan gürültüye karşı yalıtımlı olması için birçok yöntem vardır. Bu yöntemler ile sistem dış etkenlere yalıtımlı hale getirilebilir, fakat sistemin doğası gereği kendi gürültüsünden kaynaklanan bozuklukların giderilebilmesi için sonradan işlenmesi gerekmektedir.

### 4.1 Elektromanyetik Girişim (EMI) ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

**Elektromanyetik girişim**, elektrikli ve elektronik cihazların performansında azalmalara, bozulmalara veya hatalı işlemesine yol açan radyo frekanslarında doğal veya insan kaynaklı her türlü bozucu etki veya işaret olarak tanımlanabilir.

Bir cihazın elektromanyetik uyumlu olarak kabul görülmesi için 3 şart vardır:

- ▶ Kendi içinde girişime yol açmamak (özuyumluluk).
- ▶ Diğer cihazlara girişimde bulunmamak.
- ▶ Diğer cihazlardan kaynaklanan girişime karşı bağışıklı olmak.



Şekil 4.1 Emisyon ve Alınganlık

Elektromanyetik girişim, cihazın etkilendiği elektromanyetik ortamın bir sonucu olarak gözlenir. Belirli bir bölgede meydana gelen tüm elektromanyetik olaylar, o bölgenin elektromanyetik ortamını oluştururlar. Oluşan bu elektromanyetik ortamın başlıca etkileri de EMI ve EMC olarak söylenebilir. Elektromanyetik çevreyi ise karakterize etmek istersek, 2 unsur karşımıza çıkar:

- Frekans / Zaman
- Genlik ( Elektromanyetik enerjinin şiddeti veya gerilim-akım cinsinden değeri vb.)

Elektromanyetik girişimi oluşturan başlıca sebepler;

- Kalitesiz kablolar
- Baskı devre elemanları
- Bağlantı noktalarındaki sızıntılar
- Dirençler, kondansatörler, bobinler
- Eleman değişikliği
- Elektromekanik cihazlar
- Sayısal devre elemanları
- Mekanik anahtarlar
- Besleme hattı dalgalanmaları
- Çevrede bulunan elektromanyetik yayılım yapan cihazlar
- Toprak döngüsü oluşturabilecek karmaşık sistemler
- Yanlış, uyumsuz yalıtım
- Sistemin zamanla korozyona uğraması gibi faktörler elektromanyetik girişime sebep olabilecek şeylerdir.

**Elektromanyetik uyumluluk**, elektromanyetik enerjinin yaratılması, iletilmesi ve alınması durumlarında sağlanan ve elektromanyetik açıdan bir girişim oluşturmayacak her türlü etki olarak tanımlanabilir.

Oluşan standartlar sonucunda, bir elektronik ürünün pazarlanabilmesi açısından elektromanyetik uyumluluk çok önemli bir kıstas haline gelmiştir. Eğer bir ürün herhangi bir ülkenin elektromanyetik uyumluluk koşullarını sağlamıyorsa, ürün o ülkede satılamaz.

Elektromanyetik uyumluluk ve girişim konusunda hem cihaz seviyesinde, hem de platform ve sistem seviyesinde çeşitli testler mevcuttur. Bu testlerde kullanılan ölçütler de EMI - EMC Standartları olarak belirlenmişlerdir. Bu standartlar ürünün elektromanyetik olarak kalitesini belirleyen başlıca unsurlardır. Standartlarda iki önemli unsur yer alır:

- Test sınır değerleri.
- Test yöntemleri.

Askeri cihazlar için ayrı standartlar mevcut iken, ticari cihazlar için de ayrı standartlar mevcuttur.

## **4.2 Yalıtım**

Sistemin iletken bir kafes, kutu içerisinde bulunması ile sistemin elektromanyetik girişime yalıtımı sağlanmış olur. Devre kartlarının, bağlantı noktalarının, algılayıcıların ve anten görevi görebilecek sistem elemanlarının kutulanması çok önemlidir.

Bu kutuların herhangi bir kaçak durumu ihtimaline karşın topraklanması gerekmektedir. Fakat ana toprak hattı, algılayıcılar gibi gürültüye duyarlı elektronik sistemler için temiz bir topraklama noktası olmadığı için kaçak durumu topraklaması ile düşük gerilim toprakları birbirinden farklıdır. Veri hattı, düşük gerilim işlemleri için var olan devre elemanları, algılayıcı toprakları gibi topraklar DC besleme, referans toprağına bağlanırken, pano, motor, ana besleme hattı toprağına bağlanır. Bu sayede gürültüden kaçınırken sağlıklı bir sistem oluşturulmuş olur.

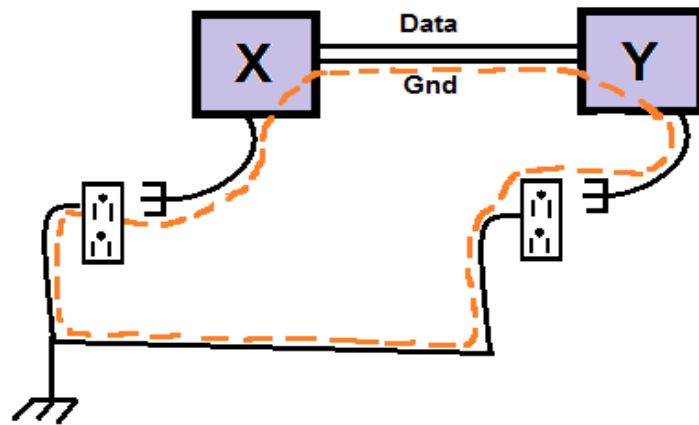
### 4.3 Toprak Döngüsü

Birçok karmaşık sistemde, sistemin içerdiği alt sistemler ayrı ayrı topraklanmaya ihtiyaç duyabilir. Bilgisayar ile kontrolü sağlanan çoğu sistemde, bağımsız düzenekler bilgisayarda toplanan port'lar ile toprak döngüsü oluşturmaktadır. Örnek olarak motor kontrol düzeneği ile veri toplama düzeneği aynı bilgisayarda portlar aracılığı ile toplanmaktadır. Toprak döngüsü, tespitinin güçlüğü ve getirdiği zararlar yüzünden büyük tehlikelere sebep olurken, tasarım ve kurulumda özen isteyen bir noktadır. Şekil 4.2'de toprak döngüsü gösterilmektedir.

Farklı, fakat ortak bağlantı noktası içeren sistemlerin topraklanmasında farklı toprakların farklı potansiyellerinden dolayı kabloların, bağlantıların ve sistemin üzerinde oluşan gerilim, verilere ve sisteme büyük zararlar verebilmektedir.

Mümkün olduğunca eş topraklar kullanarak, toprak dağıtımlarını dağıtım noktalarından yaparak, gerektiği zaman kesintisiz güç kaynakları(UPS) kullanarak, yüksek gerilim makineleri ile düşük gerilim cihazlarını birbirinden tamamen izole ederek bunun önüne geçilebilir.

Bilgisayar üzerindeki port'ların toprak yolları ile birbirine etkileyen sistemler en sık rastlanan toprak döngülerinden biridir. Bunun önüne geçmek için galvanik yalıtıma sahip veri aktarım elemanları kullanılabilir.



Şekil 4.2 Toprak Döngüsü

#### 4.4 Kablolama

Kablo seçiminde, kablonun üzerinden ne kadar akım geçeceği alt sınır, kablonun ne kadar yer kaplaması ve bükülme derecesi üst sınır olacak şekilde kalınlığı seçilmelidir. Kablo, elektromanyetik enerjiye ulaşacağı yüke kadar kılavuzluk eder. Sistemin en uzun parçalarını oluştururlar ve bundan dolayı EMI gürültüsünün ortamdan alınıp verilmesinde etkin birer anten görevini üstlenirler.

Kablonun blendajlı (zırhlı) olması ile kablonun zarar görmesi engellenirken, ekranlı (alüminyum folyo benzeri kaplama) olması ile elektromanyetik girişime veya içeride oluşabilecek elektromanyetik yayılıma karşı dayanımı belirlenir. Kablonun blendajı, bir uçtan toprak hattı ile topraklanmalıdır. Topraklama ile kablonun üzerinde biriken statik enerji ve radyo frekansları ile oluşabilecek gerilim toprağa gönderilir. Bir uçtan topraklanması gerekmesinin sebebi ise kablonun üzerinde toprak döngüsü oluşturarak, kablonun üzerinde voltaj oluşmasını engellemektir.

Konnektör bağlantılarına kadar gelen kablo yalıtımı sağlandıktan sonra uçların yalıtımı sağlanmalıdır. Bu da iletken kaplamalı konnektörler tercih ederek, iletim hattını tamamen bir kafes içerisine alarak olur. Kullanılan kablo her ne kadar yalıtımlı da olsa uçlar açılması gerektiği için konnektör seçimi çok önemlidir. Konnektörler, kaplamalarının ısıya, suya ve darbeye olan yalıtımına göre seçilir. Bağlantı yöntemleri farklılık gösterebilen bu konnektörlerin bağlantıları veri iletiminin hızına ve önemine göre altın seçilebilir. Altın, sanılanın aksine en iyi iletken değildir. Altının korozyona ve elektromanyetik girişime olan dayanımı yüksek olduğu için sadece çevrenin en çok etkileyebileceği ve bağlantı noktası olan konnektör uçlarında tercih edilmelidir.

Bağlantı uygulamaları, ihtiyaç dâhilinde kullanılan konnektörlere uygun donanımlar ve yetkin bireyler tarafından yapılmalıdır. Bağlantı noktalarının doğru yapılması ile sistemin düşük empedanslı olması sağlanır. Bağlantı noktalarının uygun olmaması ile bağlantı noktasında düşük olsa da direnç oluşarak sistemin yanlış çalışmasına sebebiyet verebilir.



## 4.5 Sinyal Filtreleme

İşlem kontrolünde, analog sinyallerle ilişkili gürültü birçok sayıda kaynağa sahiptir: ölçüm cihazı, elektrikli donanım veya işlemin kendisi.

Elektriksel olarak üretilen gürültünün etkileri, ekranlı kablolar, topraklama vb. uygun işlemler uygulanarak en aza indirgenebilir.

İşlemin kendisinden kaynaklanan gürültülere(karıştırma, türbülans ve düz olmayan çoklu fazlı akışlar) bağlı değişimlerden dolayı da gürültü oluşabilir.

Hem işlem gürültüsünün, hem de ölçüm gürültüsünün etkileri sinyal koşullandırma veya filtreleme ile azaltılabilmektedir.

Analog ve dijital filtreler, belirli harmonikler içeren ve belirlenmiş frekansları geçiren veya eleyen bir elektrik devresi parçasıdır. Filtreler istenilen sonuca göre kombine edilmiş RLC elemanlardan oluşur.

Filtrelerin çeşitleri şunlardır;

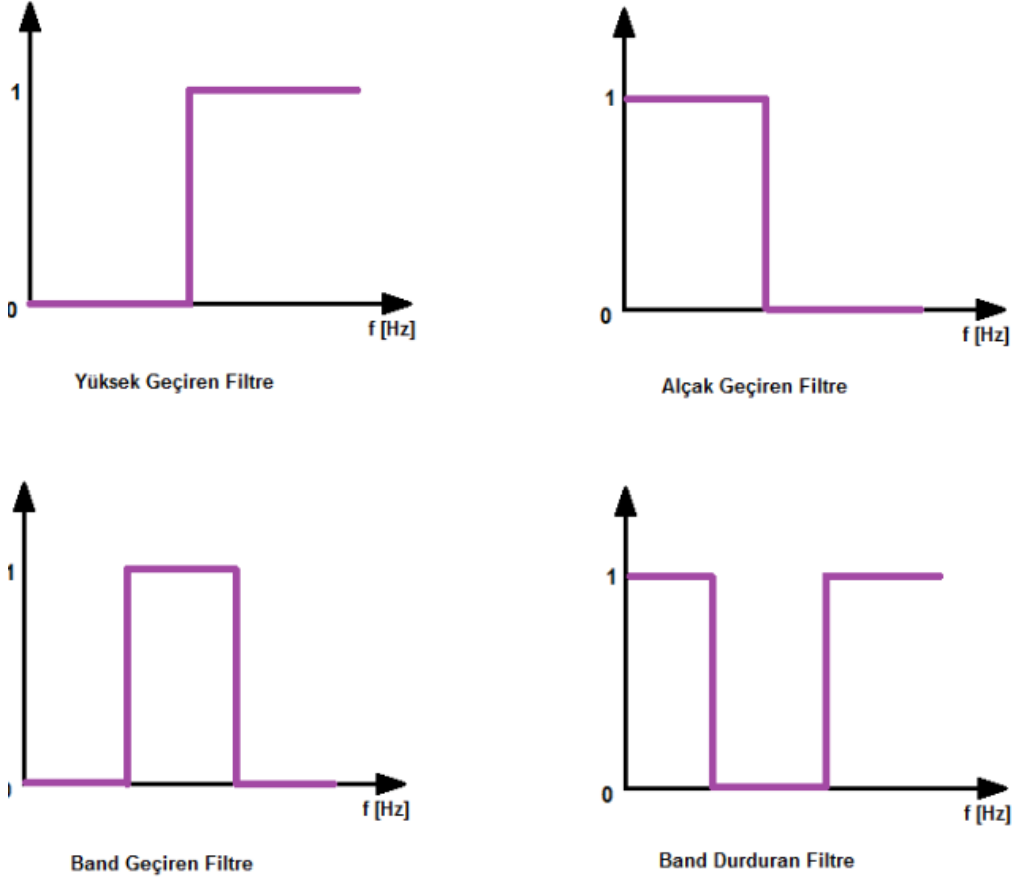
**Aktif filtreler**–RLC ile beraber kullanılan işlemsel yükselteçlerden ve harici güç kaynaklarından oluşurlar.

**Pasif filtreler**– yalnızca RLC elemanları içerirler.

**Dijital filtreler**– Sinyal modelleme yöntemleri ile dijital ortamda tasarlanmış filtrelerdir.

Yüksek geçiren, alçak geçiren, bant geçiren, bant durduran filtreler isteğe göre istenmeyen frekansları durdurup, istenen frekansları geçirirler.

İdeal filtre karakteristikleri, Şekil 4.3'de gösterilmektedir;



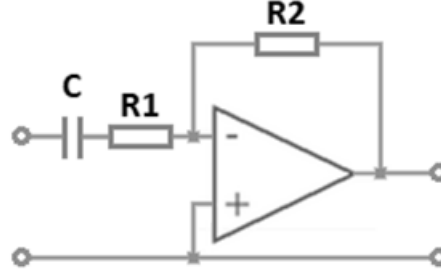
Şekil 4.3 İdeal Filtre Karakteristikleri

## Analog ve Dijital Filtreler

### Aktif Filtreler

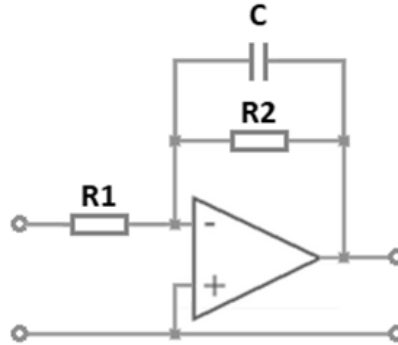
Birçok aktif filtre çeşidi arasında en popülerleri Bessel Filtre, Butterworth Filtre ve Chebyshev Filtre'dir.

**Yüksek Geçiren Filtre:** Belirlenen sınırın üstündeki frekans parçalarını geçirirken, istenilen sınırdan düşük frekans bileşenleri elenir. Şekil 4.4'te yüksek geçiren analog filtre tasarımı gösterilmektedir.



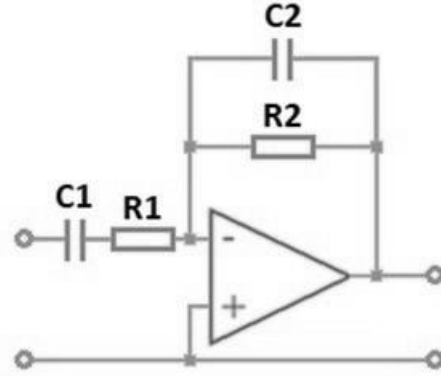
**Şekil 4.4** Yüksek Geçiren Filtre

**Alçak Geçiren Filtre:** Belirlenen sınırın altındaki frekans parçalarını geçirirken, istenilen sınırdan yüksek frekans bileşenleri elenir. Şekil 4.5'te alçak geçiren analog filtre tasarımı gösterilmektedir.



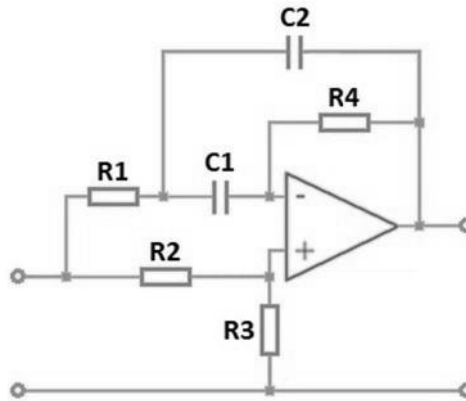
**Şekil 4.5** Alçak Geçiren Filtre

**Bant Geçiren Filtre:** Belirlenen sınırlardaki frekans parçalarını geçirirken, istenilen sınırlar dışındaki frekans bileşenleri elenir. Şekil 4.6'ds bant geçiren analog filtre tasarımı gösterilmektedir.



**Şekil 4.6** Bant Geçiren Filtre

**Bant Durduran Filtre:** Belirlenen sınırların dışındaki frekans parçalarını geçirirken, istenilen sınırlardaki frekans bileşenleri elenir. Şekil 4.7'de gösterilen filtre notch filtre olarak adlandırılır ve 2. dereceden filtre olarak tasarlanmıştır.

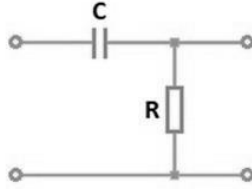


**Şekil 4.7** Bant Durduran Filtre

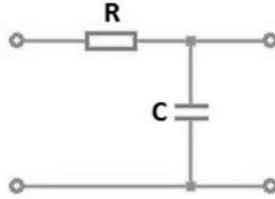
### **Pasif Filtreler**

Pasif filtreler RLC elemanlarından oluşurlar ve harici bir işlemsel yükseltece ve güç kaynağına ihtiyaç duyulmaz. Bobin ve kapasitör sayısı ile filtrenin derecesi belirlenir. Filtrenin derecesi ise çıkış tepkisinin şeklini belirler.

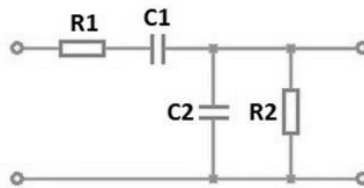
Bobin, kapasitör ve dirençlerin çeşitli dizilimleri ile filtrenin karakteristiği belirlenir. Hangi devre elemanından çıkışın alınacağı, seri ve paralel bağlantılar ile sinyalin karakteristiği oluşturulur. Sinyalin frekans tepkisinin zamana göre transfer fonksiyonu çıkarılır ve istenilen sonuç belirlenmiş zamanlarda yakalanmış olur. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11' de RC devresi ile filtre tasarımları gösterilmektedir.



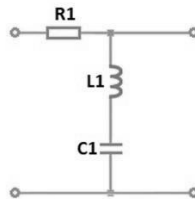
**Şekil 4.8** Yüksek Geçiren RC Devresi



**Şekil 4.9** Alçak Geçiren RC Devresi



**Şekil 4.10** Bant Geçiren RC Filtresi



**Şekil 4.11** Bant Durduran RC Filtresi

#### 4.5.1 Analog filtreler

Yüksek frekanslı dalgalanmaları söndürmek için genellikle üstel filtre kullanılmaktadır. Buna alçak geçiren filtre adı da verilir. Bu filtrenin çalışması Eşitlik 4.1'de gösterilen birinci dereceden bir transfer fonksiyonu veya eşdeğer bir birinci dereceden türev denklemi ile tanımlanabilir.[8]

$$\tau_F \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (4,1)$$

Burada (x) ölçülen değerdir (filtre girişi), (y) ise çıkış, filtrelenmiş değerdir ve (tF) filtrenin zaman sabitidir.

Filtrenin steady-state kazancınının 1 olduğu unutulmamalıdır.

Üstel filtre, aynı zamanda basit RC elektrik devresinden inşa edilmiş olup, bir RC filtresi olarak da adlandırılabilir.

Örtüşme başlığında da gösterildiği gibi, yüksek frekanslı bir sinyalin nispeten yavaş örnekleme yapıp düşük frekanslı bir sinyal üretir. Bu nedenle yüksek frekanstan kaynaklı gürültüyü kaldırmak için mümkün olduğu kadar örneklemeden önce işlem verilerini filtrelemek ve bir analog filtre kullanılması gerekmektedir. Bu durumda genellikle analog filtre olarak başvuru olan örtüşme engelleme filtresi kullanılmaktadır. Bu filtre, örnekleme periyodunun sinyal düzenleme işleminden bağımsız olarak seçilmesine izin verir.

(tF)'nin üç saniyeden düşük olduğu uygulamalar için direnç-kapasitans bileşenlerinden üretilen pasif analog filtreler uygundur.

Sürüklenme gibi yavaşça değişen dinamik sinyaller için (tF), üç saniyeden daha büyük olmalıdır. Bu da aktif analog filtreler ve yükselteçler kullanılarak sağlanır.

Ancak, yükseltici tabanlı filtreler, eşdeğer bilgisayar yazılımı ile uygulanan dijital filtrelere göre daha pahalıdır.

Sonuç olarak, çok yavaş değişen sinyaller için dijital filtreleme yapmak, örnekleme periyodu çok küçük olmamasına ve bilgisayar için ekstra hesaplama yükü olmasına rağmen daha iyi olabilir.

#### 4.5.2 Dijital filtreler

Analog ve dijital filtreler temelde aynıdır. Küçük farklılıklar kurulum farklılıklarından dolayı gözlenebilir. Geleneksel filtreler ile DSP(dijital sinyal modelleme) işlemi aynı yolları izleyerek tasarlanmıştır ve çıkışları birbirine çok yakındır. Fark ise işlenecek sinyalin türüdür. Dijital sinyal modellemeye bakılacak olduğunda, işlenecek olan sinyal, ayrık zamanda ADC(analog-dijital çevirici) tarafından örneklenmiş, sürekli zamanda ise sinyalin sayısal dizilere aktarılmış halidir.

DSP filtreleri çok çeşitli alanlarda kullanılırlar ve maliyeti çok düşüktür. Buna rağmen gürültünün sinyale katılması çeşitli problemlere sebep olur. Bunun önüne geçmek için sistemin girişinde çeşitli filtreler kullanılabilir.

Dijital filtrelerin temel ayrımı aşağıdaki gibidir:

**FIR dijital filtreler** (Sonlu Darbe Tepkisi) – FIR filtrenin özelliği anlık örnekleme ve önceki giriş sinyaline göre çıkış örneği oluşturmaktır. Bu yüzden bu tip filtreler öz yinelenmeli olmayan filtreler olarak da adlandırılabilirler.

**IIR digital filter** (Sonsuz Darbe Tepkisi) – FIR filtrelerden farkı, IIR filtrelerin geri besleme döngüsüne ihtiyacı olmasıdır. Her çıkış örneği önceki örneğe ve çıkış sinyaline göre düzenlenir. Bu da öz yinelenmeli olarak adlandırılmalarının sebebidir.

En çok kullanılan dijital filtre türleri:

- Üstel Filtreler
- Çift Üstel Filtreler
- Hareketli Ortalama Filtreleri
- Atlama(Spike) Filtreleri

#### 4.5.2.1 Üstel filtre

İlk olarak üstel filtreyi dijital olarak düşünmek gerekmektedir. Eşitlik 4.2 ile Eşitlik 4.7 arasında gösterildiği gibi ölçülen değişkenin örnekleri “ $x_{n-1}$ ,” $x_n$ ” ve ilgili filtrelenmiş değerler “ $y_{n-1}$ ,” $y_n$ ” olarak kullanılabilir. Burada “ $n$ ” anlık örneklenen sabit olarak düşünülmektedir.[8]

$$\frac{dy}{dt} \cong \frac{y_n - y_{n-1}}{\Delta t} \quad (4.2)$$

$$\tau_F \frac{y_n - y_{n-1}}{\Delta t} + y_n = x_n \quad (4.3)$$

$$y_n = \frac{\Delta t}{\tau_F + \Delta t} x_n + \frac{\tau_F}{\tau_F + \Delta t} y_{n-1} \quad (4.4)$$

$$\alpha \triangleq \frac{1}{\tau_F / \Delta t + 1} \quad (4.5)$$

$$1 - \alpha = 1 - \frac{1}{\tau_F / \Delta t + 1} = \frac{\tau_F}{\tau_F + \Delta t} \quad (4.6)$$

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha) y_{n-1} \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.8’de “ $\alpha$ ” anlık olarak filtrelenen ölçümün ağırlıklı bir toplam olduğunu, “ $y_{n-1}$ ” ise önceki örneklenmiş ve filtrelenmiş değeri gösterir.[8]

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha) y_{n-1} \quad (4.8)$$

Bu işleme, tek üstel düzleştirme denir. A için sınırlayıcı durumlar aşağıdaki gibidir;

$\alpha = 1$ : Filtreleme yok (Filtre çıkışı ham  $x_n$  ölçümdür).

$\alpha \rightarrow 0$ : Ölçüm ihmal edilir.

Yukarıdaki sınırlarda, “ $\tau_F = \Delta t (1 - \alpha) / \alpha$ ” için, Eşitlik 4.9 kullanılmaktadır.

$$\alpha \triangleq \frac{1}{\tau_F / \Delta t + 1} \quad (4.9)$$



Bununla birlikte " $\alpha = 1$ " filtrenin sıfırdaki zaman sabitidir(filtreleme yok).

Eşitlik 4.10'da " $\alpha$ " için farklı bakış açıları türetilebilir veya " $dy/dt$ " için şemalar oluşturulabilir.

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha)y_{n-1} \quad (4.10)$$

#### 4.5.2.2 Çift üstel filtre

Bir başka dijital filtre, çift üstel veya ikinci mertebeden filtre olarak adlandırılan, yüksek frekanslı gürültüyü ortadan kaldırmak için bazı avantajlar sunan filtredir. İkinci mertebeli filtre, iki adet birinci mertebeden filtrenin seri olarak bağlanması ile oluşur.

İkinci filtre üstel filtrenin çıkışına Eşitlik 4.11, 4.12 ve 4.13'de gösterilen işlemi uygulamak içindir;[8]

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha)y_{n-1} \quad (4.11)$$

$$\bar{y}_n = \gamma y_n + (1 - \gamma)\bar{y}_{n-1} \quad (4.12)$$

$$\bar{y}_n = \gamma \alpha x_n + \gamma(1 - \alpha)y_{n-1} + (1 - \gamma)\bar{y}_{n-1} \quad (4.13)$$

Bir önceki örnekleme Eşitlik 4.14'de gösterilen sonucu verir;

$$\bar{y}_{n-1} = \gamma y_{n-1} + (1 - \gamma)\bar{y}_{n-2} \quad (4.14)$$

$y_{n-1}$  için çözümü ise;

$$y_{n-1} = \frac{1}{\gamma}\bar{y}_{n-1} - \frac{1-\gamma}{\gamma}\bar{y}_{n-2} \quad (4.15)$$

Çift üstel filtre için yeniden düzenleme işlemi Eşitlik 4.16'da gösterilen ifadeyi verir:

$$\bar{y}_n = \gamma \alpha x_n + (2 - \gamma - \alpha)\bar{y}_{n-1} - (1 - \alpha)(1 - \gamma)\bar{y}_{n-2} \quad (4.16)$$

" $\gamma = \alpha$ " seçmek için eşitliği basitleştirirsek;

$$\bar{y}_n = \alpha^2 x_n + 2(1 - \alpha)\bar{y}_{n-1} - (1 - \alpha)^2 \bar{y}_{n-2} \quad (4.17)$$

Çift üstel filtre, üstel filtreye göre özellikle ( $\gamma = \alpha$ ) olduğu durumlarda yüksek frekans gürültüsünün giderilmesinde daha avantajlıdır.

Dijital sistemler(veya filtreler) için sürekli ölçümlerde analog filtrelere benzer sonuçlar ortaya çıkarırlar.

Çift üstel filtrenin üstel filtrelere göre bir dezavantajı daha karmaşık olmasıdır.

Sonuç olarak, tek üstel filtreler işlem kontrol uygulamalarında daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **4.5.2.3 Hareketli ortalama filtresi**

Üçüncü tip dijital filtre, hareketli ortalama filtresidir.

Belirli bir sayıdaki geçmiş veri noktasının ortalamalarını, her veri noktasına aynı ağırlığı vererek alır.

Hareketli ortalama filtresi, genellikle en son verilere daha fazla ağırlık veren üstel filtreden daha az etkilidir.

Hareketli ortalama filtre, Eşitlik 4.18'de gösterildiği gibi ifade edilebilir[8]:

$$y_n = \frac{1}{J} \sum_{i=n-J+1}^n x_i \quad (4.18)$$

(J), ortalaması alınan geçmiş veri noktalarının sayısıdır. ( $y_n$ ) filtrelenmiş değeri gösterirken, önceki filtrelenmiş değeri, ( $y_{n-1}$ ) olarak ifade edersek;

$$y_{n-1} = \frac{1}{J} \sum_{i=n-J}^{n-1} x_i \quad (4.19)$$

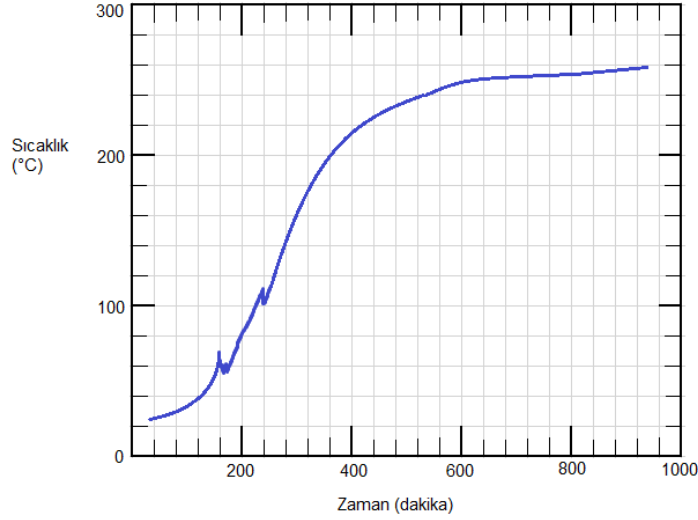
Eşitlik 4.19, Eşitlik 4.18'den çıkarılırsa, Eşitlik 4.20'de gösterildiği gibi hareketli ortalamanın tekrarlayan formunu elde ederiz;

$$y_n = y_{n-1} + \frac{1}{J} (x_n - x_{n-J}) \quad (4.20)$$

Üstel ve hareketli ortalama filtreleri, alçak geçiren filtrelerin örnekleridir. Yüksek frekanslı gürültüyü ortadan kaldırarak, gürültülü verileri düzeltmek için kullanılırlar.

#### 4.5.2.4 Atlama(Spike) filtresi

Gürültülü bir ölçüm aniden büyük miktarda değişirse ve daha sonra bir sonraki örnekleme anındaki orijinal değere (veya buna yakın) dönerse, gürültünün bir atlama (spike) olduğu söylenebilir. Şekil 4.12’de atlama gürültüsü gösterilmektedir.



**Şekil 4.12 Atlama Gürültüsü**

Genel olarak gürültü atlamaları, algılayıcının çevresindeki yanlış elektrik sinyallerinden kaynaklanabilir.

Eğer gürültülü ölçüm denetleyiciye gönderilmeden önce gürültü atlamaları filtreleme ile kaldırılmaz ise; denetleyici büyük, ani değişiklikler ile manipüle olur.

Atlama(Spike) filtreleri (ya da değişim filtreleri oranı) filtrelenmiş çıktının, bir örnekleme anından diğerine değişmesini sınırlandırarak uygulanır.

( $\Delta x$ ) izin verilen maksimum değişiklik olarak kabul edersek, atlama(spike) filtresi Eşitlik 4.21’de gösterildiği gibi yazılabilir:[8]

$$y_n = \begin{cases} x_n & , |x_n - y_{n-1}| \leq \Delta x \\ y_{n-1} - \Delta x & , y_{n-1} - x_n > \Delta x \\ y_{n-1} + \Delta x & , y_{n-1} - x_n < \Delta x \end{cases} \quad (4.21)$$

Ölçümde belirlenen sınırdan büyük bir değişiklik olursa, örnek, önceki filtre çıkışı  $\pm$  izin verilen maksimum değişim ile değiştirir.

Bu filtre, elektrik kesintisi, termokupl veya benzer bir cihazın hattında bir kesinti veya bir ADC aksaklığı gibi cihaz hatalarının tespitinde de kullanılabilir.

Daha ileri tasarımlara sahip dijital filtreler mevcuttur, ancak işlem kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Bunlar yüksek geçirgen filtreler içerir.

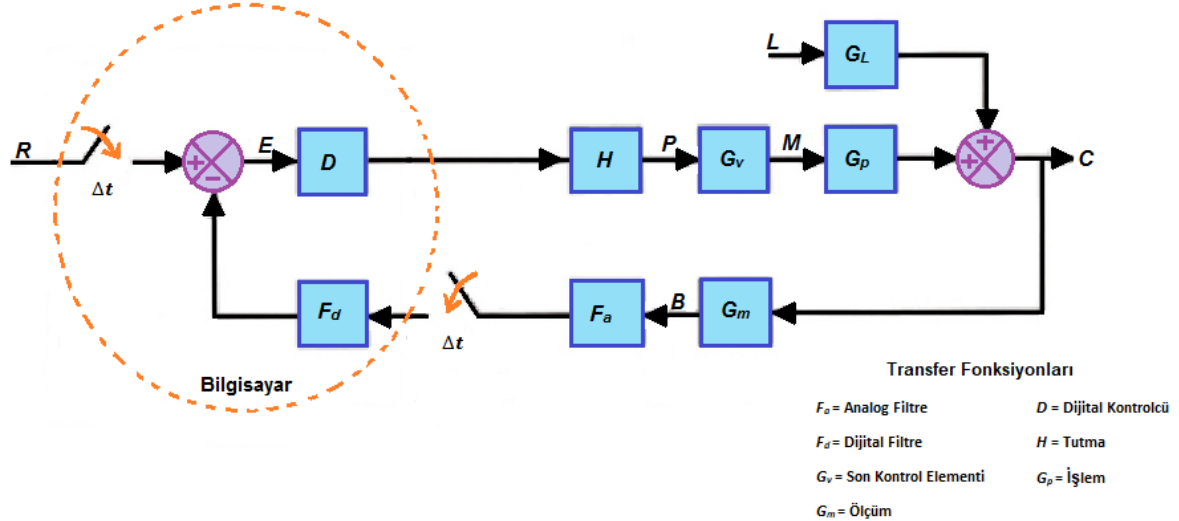
#### 4.5.3 Analog ve dijital filtrelerin karşılaştırılması

Dijital filtreler, işleme uyması için kolayca ayarlanabilir (programlanabilir). Kolaylıkla değiştirilebilirler.

Analog filtreler ile örnekleme periyodu seçimi yapılamazken, dijital filtreler ile bu seçim mümkündür.

Dijital filtreler hesaplama zamanı ve bilgisayar depolama alanı gerektirir. Bu bazen veri toplama ve kontrol sisteminin etkinliğini sınırlandırabilir. Analog filtreler ayrı donanım cihazlarıdır ve diğer hesaplama görevleri ile etkileşime girmezler.

Analog filtreler özellikle yüksek frekans gürültüleri ve örtüşme problemlerinin ortadan kaldırılması için etkilidirler.

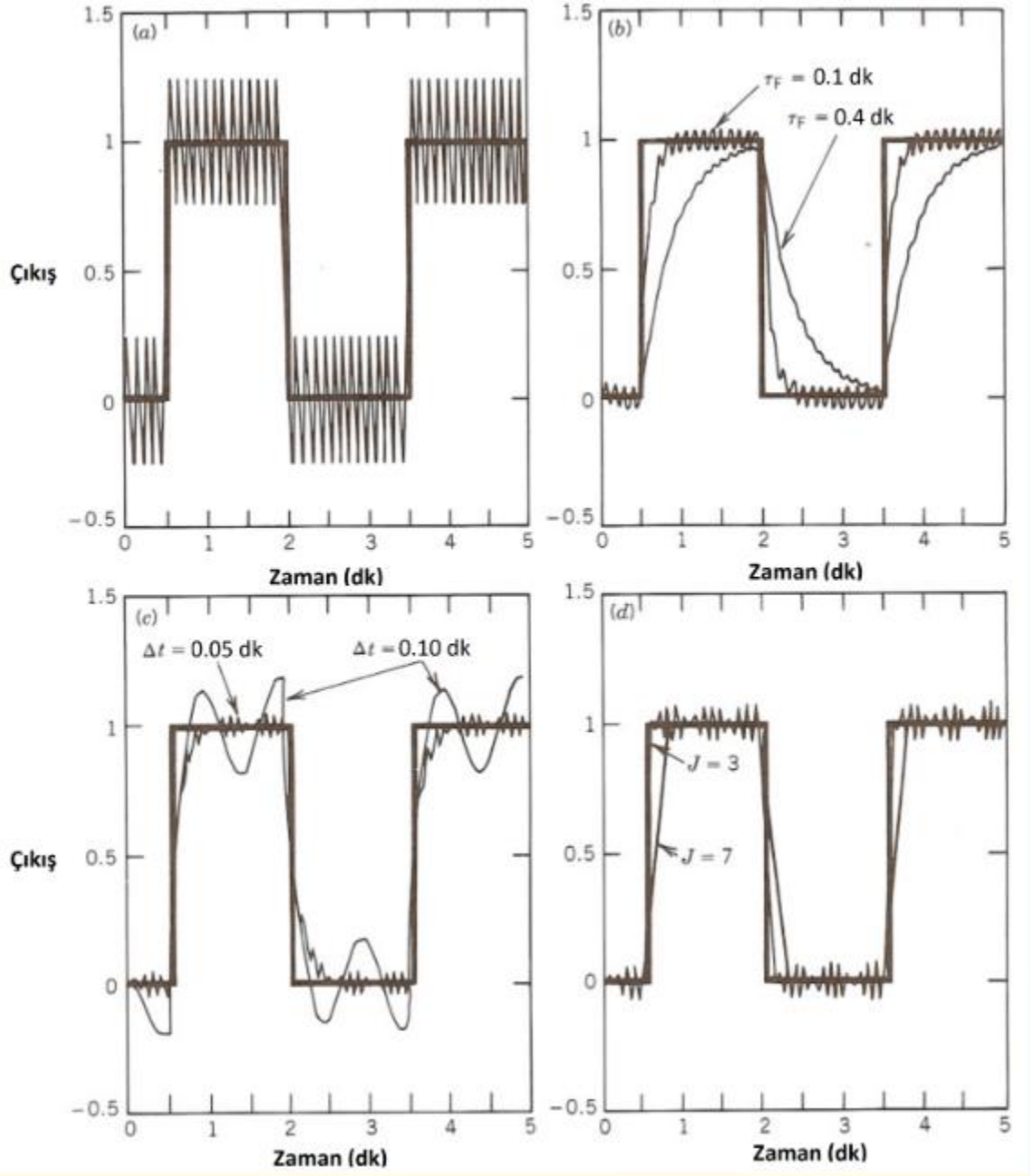


**Şekil 4.13** Kapalı Döngü Kontrol Sistemi Blok Şeması

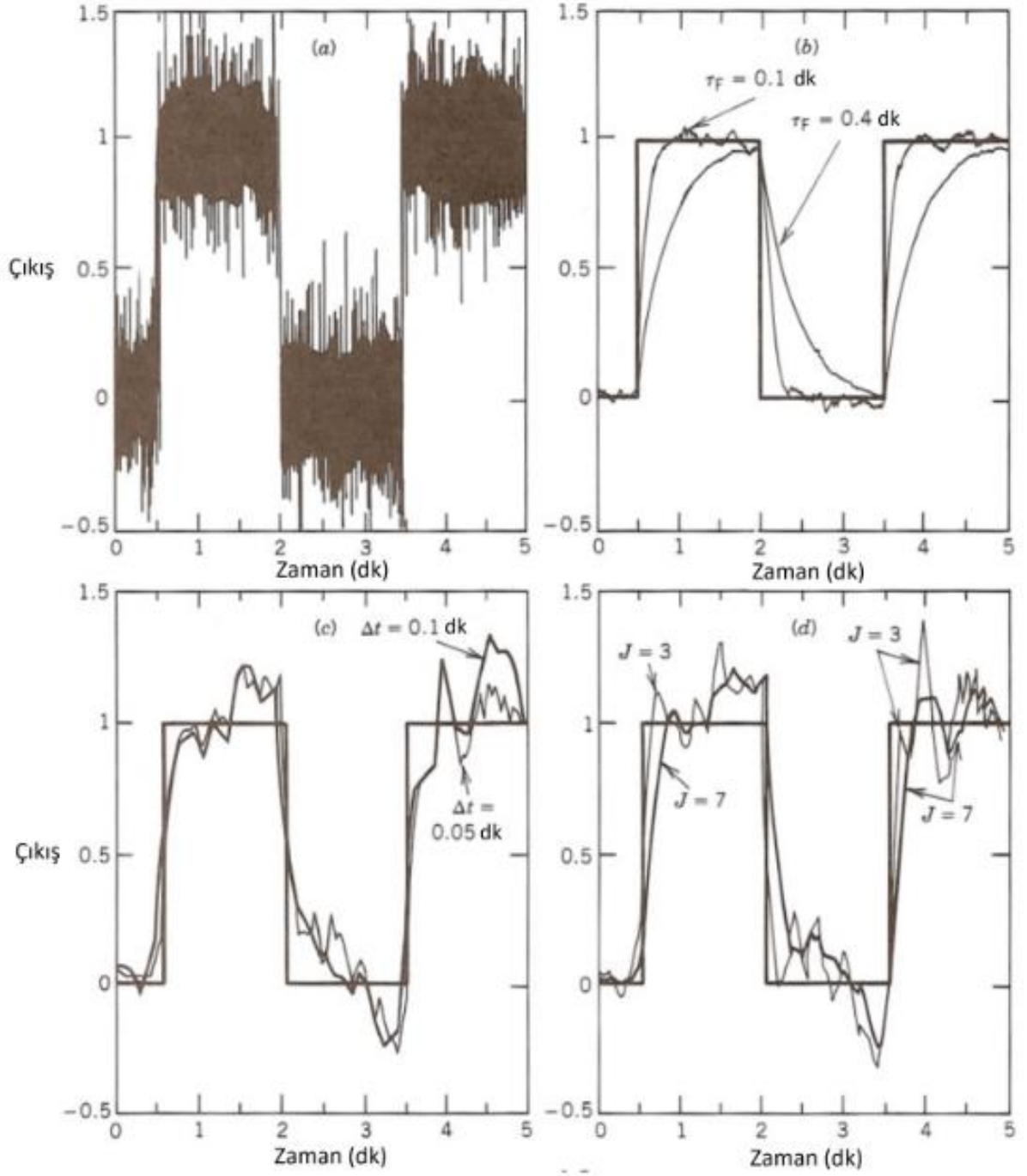
Şekil 4.13'de gösterildiği gibi, hem analog hem de dijital filtrelerin kullanılması gürültünün filtrelenmesinde en iyi performansa sahip yöntemdir.

Bu yapılandırmada yüksek frekanslı gürültü, analog filtre ile filtrelenir. Dijital filtre ise düşük frekanslı gürültüyü bastırır. [8]

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te çeşitli filtrelerin sinüsoidal ve rastgele gürültü karşısındaki performansları gösterilmektedir.



**Şekil 4.14** Eklenen Sinüsoidal Gürültüde Filtre Performansları: (a) Kare Dalg ve Gürültü (b) Analog Üstel Filtreler (c) Dijital Üstel Filtreler (d) Ağırlıklı Ortalama Filtreleri [8]



**Şekil 4.15** Eklenen Gaussian Gürültü Karşısında Filtre Performansları: (a) Kare Dalgaya ve Gürültü (b) Analog Üstel Filtreler (c) Dijital Üstel Filtreler (d) Ağırlıklı Ortalama Filtreleri[8]

## 5 TÜNELLERDE KUVVET ÖLÇÜMÜ DENEY DÜZENEKLERİ

### 5.1 Benzer Düzenekler İncelenirken Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar[4]

- Farklı tip test durumları için dayanımının yüksekliği
- Parça sayısı, üretim ve montaj kolaylığı
- Üretim süreci ve kullanılan materyaller
- Gerinim ölçer sayısı ve yerleştirme metodu
- Yenilenme, geliştirme, tamir ve bakım kolaylığı.
- Yenilikçi yaklaşıma sahip oluşu
- Fiyat
- Tünele bağlantı kolaylığı adapte edilebilirliği
- Farklı tip modellerin kullanılabilirliği
- Ölçüm sonuçlarının doğruluğu
- Kuvvet ve tork bileşenlerinin ayrıştırılabilirliği için şeklin uygunluğu.
- Sonuçların işlenmesi.

## 5.2 İncelenen Kuvvet Ölçümü Deney Düzenekleri

### 5.2.1 Örnek deney düzeneği[1]

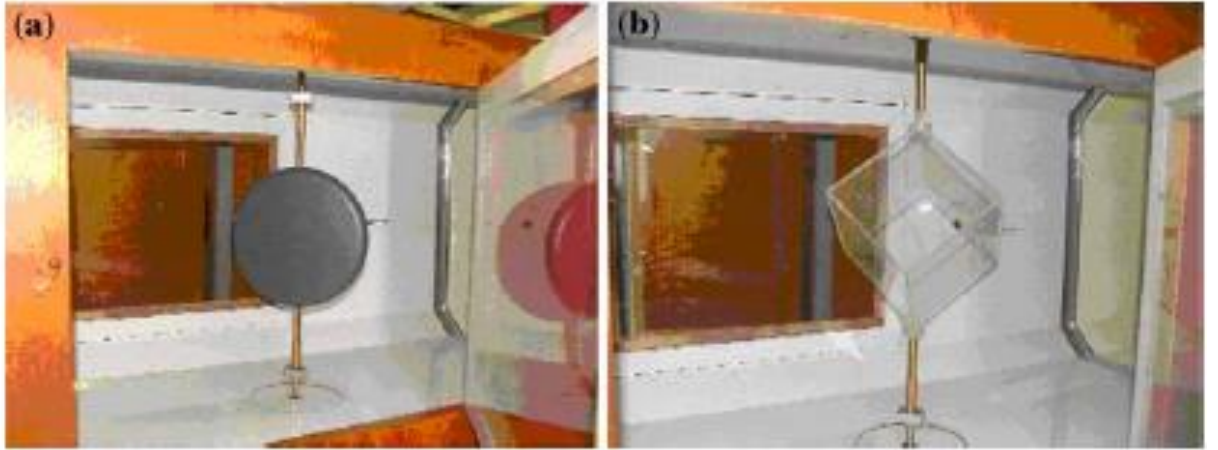
Bu makale V. Portman ve arkadaşları[1] tarafından, Rüzgâr tünellerinde kullanılmak üzere tasarlanmış, 6 eksenli, izotropik, sürüklenmenin yaratacağı kuvvet ve tork bileşenlerinin ölçümü hakkındadır.

Kuvvet ölçer, aerodinamik rüzgâr tüneline, model üzerine oluşan yük ve moment ölçümleri için tasarlanmış ve üretilmiştir.

Kalibrasyon sonucunu doğrusallık, histeresis ve tekrarlanabilirlik dâhil tüm ölçekte hata %0.1 olarak tespit edilmiştir.

6 adet yük hücresi kullanılarak tasarlanan 6 eksenli iç kuvvet denge sisteminde, model, uygun noktalara yerleştirilmiş boru tipi kuvvet ölçüm hatları ile tünelde askıda kalacak şekilde, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi monte edilmiştir.

Böylelikle kuvvetlerin birbirlerinden etkilenmediği ve dış kuvvet sistemi gibi tasarımlara nazaran kalibrasyon prosedürünün daha basit olduğu belirtilmiştir.



Şekil 5.1 Örnek Deney Düzeneği Görüntüsü [1]



### 5.2.2 Örnek deney düzeneği[2]

Bu çalışmada Lincoln P. Erm ve Phil Ferrarotto tarafından[2], DSTO Su Tüneli için beş bileşenli, gerinim ölçerli Denge Sistemi geliştirilmiştir.

Kuvvet ölçer, aerodinamik su tüneline, model üzerine oluşan yük ve moment ölçümleri için tasarlanmış ve üretilmiştir.

Denge Sistemi, sınırlar dâhilinde oldukça düşük kabul edilen yuvarlanma( $\pm 0.1$  N.m), yunuslama( $\pm 0.2$  N.m )ve yalpa( $\pm 0.2$  N.m )momentlerini, yanıl( $\pm 25$  N) ve normal( $\pm 25$  N) kuvvetleri ölçmek için Şekil 5.2'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.

Bu yüklerin, düşük hızlı rüzgâr tünellerinde ölçülen yüklerden, büyüklük olarak 2 ile 3 kat arası daha küçük olduğu belirtilmiştir.

Denge sisteminin aksel kuvvetleri ölçmek için tasarlanmadığı belirtilmiştir.

Düşük yük değerlerinden dolayı yarı iletken tipi gerinim ölçerler tercih edilmiştir.

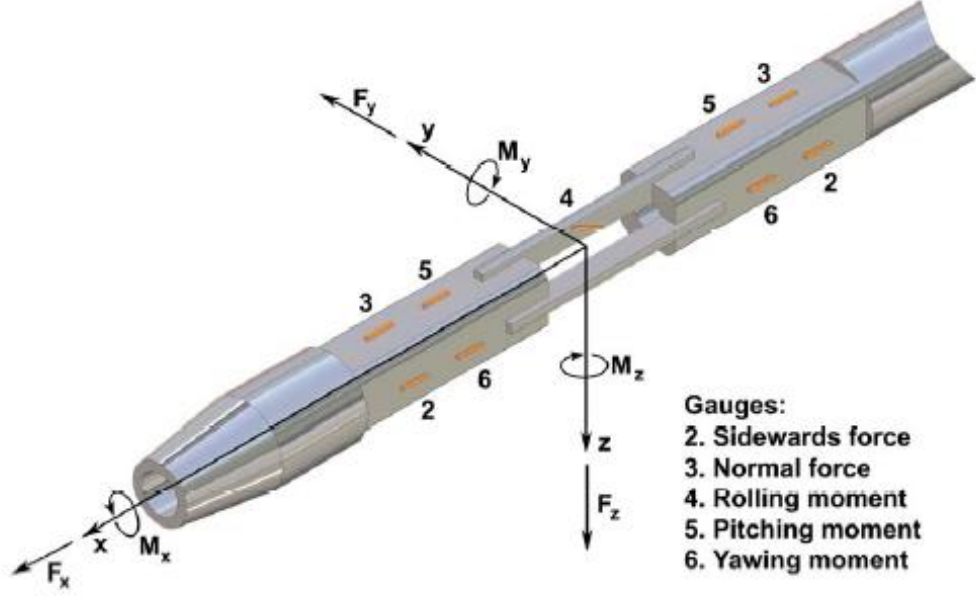
Denge sistemindeki Wheatstone Köprüleri'nden alınan çıkış voltajları, bilgisayar tabanlı veri toplama sisteminde örneklenmeden önce band çıkarma(nulling), yükseltme ve filtreleme gibi 5 kanal için düzenlenmiş sinyal iyileştirme sisteminden geçirilmiştir.

Denge sistemi, el ile, geleneksel ağırlık ölçümü prosedürü uygulanarak kalibre edilmiştir. Bu prosedür, farklı tipteki yükler ve momentler sistematik olarak denge sistemine uygulanmış ve karşılık olarak alınan voltaj çıktıları ile aralarında ilgili ilişki kurulmuştur.

Birinci dereceden kalibrasyon sonunda tespit edilen doğruluk hataları %0.1'den düşük olduğu tespit edilmiştir.

Denge sistemi aksel kuvvetleri ölçmek için tasarlanmadığı belirtilmiştir. Bunun sebebi model üzerindeki ölçeklendirilmiş sürtünme etkisinden kaynaklı sürüklenme kuvvetinin, gerçek boyutlu modelleri temsil etmediği, aynı zamanda model üzerine uygulanan sınır tabakasının, su tünellerinde laminar iken gerçek boyutlarda baskın olarak türbülanslı olduğu öne sürülmüştür.

İkinci ve üçüncü dereceden kalibrasyon prosedürleri, birinci dereceden kalibrasyon prosedüründen sonra çok düşük etki sağladıkları, eş zamanlı ölçümler gerektirdikleri bu yüzden de çok karmaşık oldukları için aynı zamanda birinci derece kalibrasyon prosedüründen sonra hata %0.1 e düştüğü için tercih edilmemiştir.



Şekil 5.2 Örnek Deney Düzeneği Görüntüsü [2]

### 5.2.3 Örnek deney düzeneği [3]

Bu düzenek Marija Samardžić ve arkadaşları tarafından[3], altı eksenli, platform tipi, dış, kuvvet ölçüm sistemi adı altında tasarlanmış ve üretilmiştir.

Kuvvet ölçer, aerodinamik rüzgâr tüneline, model üzerine oluşan yük ve moment ölçümleri için tasarlanmış ve üretilmiştir.

Şekil 5.3'de gösterilen ölçüm sisteminde üç dikey ve üç yatay yük hücreleri bulunmaktadır, bununla beraber, sistemde üçgen şeklinde platform ve bu platformun bağlı olduğu döner tabla mevcuttur.

Test edilecek model üçgen platforma üç adet bağlantı kirişleriyle sabitlenmektedir.

Modele yalpalama ve yunuslama hareketleri, bilgisayar kontrollü iki adet adım motoru vasıtasıyla verilmektedir.

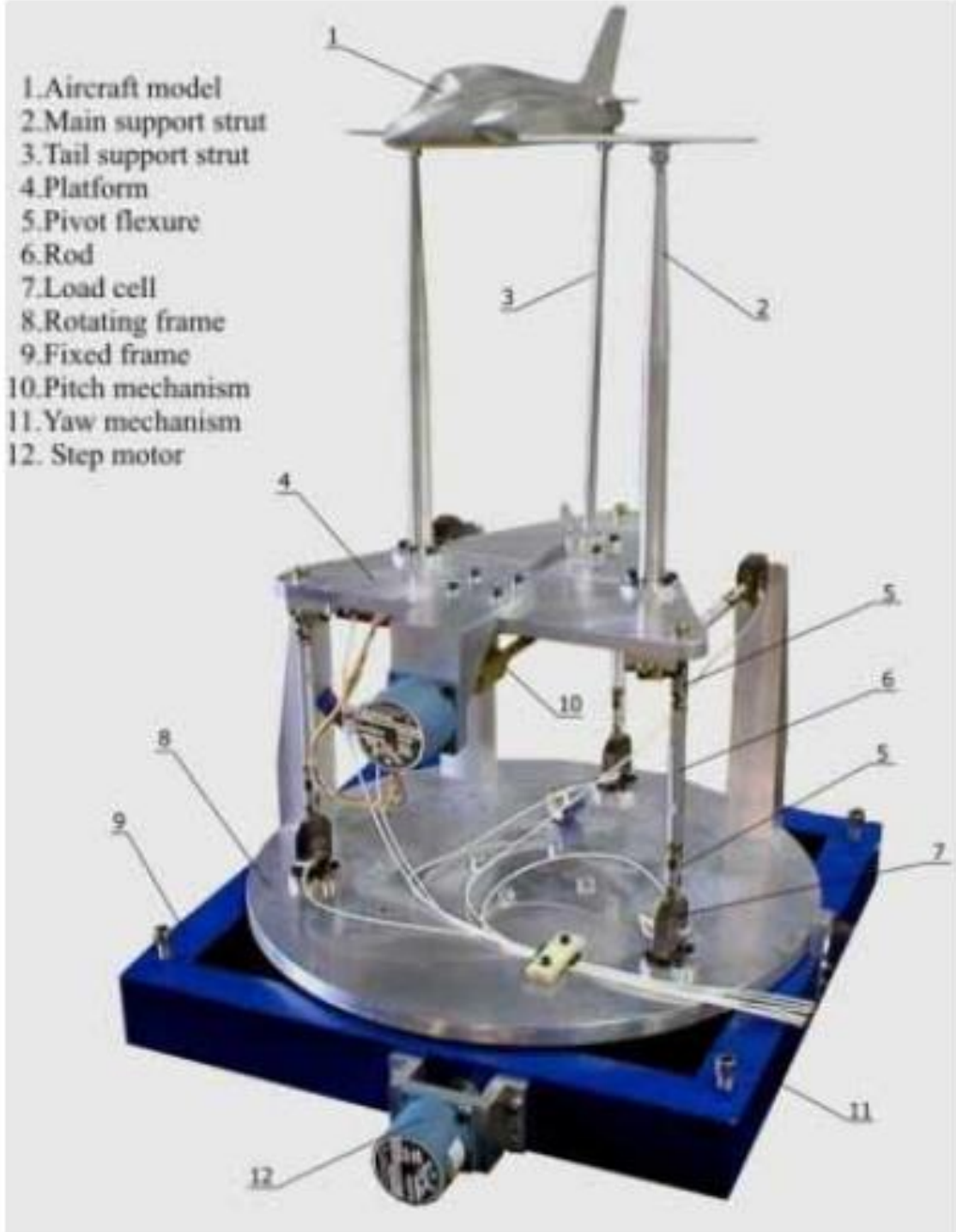
Seçilen model, yunuslama hareketinde -20 ve +20 ve yalpalamada -180 ve +180 aralığında hareket edebilmektedir.

Yapılan çalışmada, kuvvet ve momentler, net ağırlıklar ile kalibre edilmiştir.

Ağırlıklar el ile değiştirilip, denge noktası referans alınarak, belirli noktalara net ağırlık uygulanmıştır. Bu sayede, farklı bölgelere pozitif ve negatif yükler uygulanmıştır. Matematiksel olarak kalibrasyon hesabı için kullanılan modelde, çıkış sinyalleri uygulanan yüklerin fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Bunun sonucunda ölçülen her bir bileşen için hata ve tam ölçek yüzdesi grafikleri çıkarılmıştır.

Yapılan çalışma, verilerin toplam hata oranının tam ölçekte %0.25'in olduğunu göstermiştir.

Aynı işlem birleşik kuvvetler için de yapılmış ve denge gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda, tatmin edici sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 5.3 Örnek Deney Düzeneği Görüntüsü [3]

#### 5.2.4 Örnek deney düzeneği [4]

João Tiago Pinheiro Fernandes tarafından[4], rüzgâr tüneli için 6 bileşenli kuvvet denge sistemi tasarlanmıştır.

Kuvvet ölçer, aerodinamik rüzgâr tüneline, model üzerine oluşan yük ve moment ölçümleri için tasarlanmış ve üretilmiştir.

“Stevard” masası modeli kullanılarak 6 eksenli hareket sistemi oluşturulmuştur.

Stevard modeli, temel olarak 2 adet, 6 kenarlı tablanın, çubuklar ile birbirine bağlanması ile oluşturulmuştur.

Şekil 5.4’te gösterilen düzende, üstte duran tabla, altta durana göre daha küçüktür. Eksenel hareketlerin verilebilmesi için top tipi eklem bağlantıları kullanılmıştır.

Hava aracı ve kanat modeli için kuvvet denge sisteminin boyutlandırması yapılmıştır.

İlgili modellerin her biri için beklenen maksimum yükler hesaplanarak sistem düzenlemesi yapılmıştır.

“XFLR5” yazılımı kullanılarak ilgili durumlar için maksimum yük aralığı belirlenmektedir.

Sistem değerlendirme matrisi ve kalite puanlandırma tablosu oluşturulmuştur. Sistem özelliklerini puanlandırma amacı ile çeşitli formüller belirlenmiştir.

Tasarlanan sistemde üst platform ile alt platformu birbirine bağlayan çubuklara yerleştirilen gerinim ölçerler ile kuvvet ölçümü yapılmıştır.

Kullanılan gerinim ölçerlerin ölçüm hassasiyetinin %0.1’e kadar olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda ihtiyaç duyulan minimum ölçüm hassasiyetinin %1’in altında olması gerektiğinden bahsedilmiştir.



**Şekil 5.4** Örnek Deney Düzeneği Görüntüsü [4]

### 5.2.5 Örnek deney düzeneği [5]

Chaturi Singh\* ve K. Poddar tarafından [5] Hindistan Kanpur Teknoloji Enstitüsü, Ulusal Rüzgar Tüneli Tesisi'nde Labview® tabanlı, otomatik, rüzgar tüneli düzeneğinin kurulması ile ilgili çalışma yapılmıştır.

Kuvvet ölçer, aerodinamik rüzgar tünelinde, model üzerine oluşan yük ve moment ölçümleri için tasarlanmış ve üretilmiştir.

Sistemin en önemli ayırt edici özelliklerinden biri, model pozisyonlama ve konumlandırma işlemleri için operatorü rahatlatarak otomatik hareket kabiliyetlerine (statik ve dinamik kuvvet ölçümleri, basınç profile ölçümleri, rüzgar yönüne göre, modelin pozisyon ve hareket oryantasyonunun gerçekleştirilmesi) sahiptir.

Taşıma eksen hareketi, yunuslama hareketi, yalpa hareketi ve yuvarlanma hareketi gerçekleştirebilen, Şekil 5.5'te gösterildiği gibi 4 eksenli, servo kontrollü motorlar ile hareket kontrolü sağlanmıştır.

Tünele gömülü, üst ve alt döner tablalar ile yalpa hareketi, bu döner tablolara sabitlenmiş boru tipi hareket sistemi ile taşıma hareketi, yuvarlanma ve yunuslama hareketi yapılabildiği belirtilmiştir.

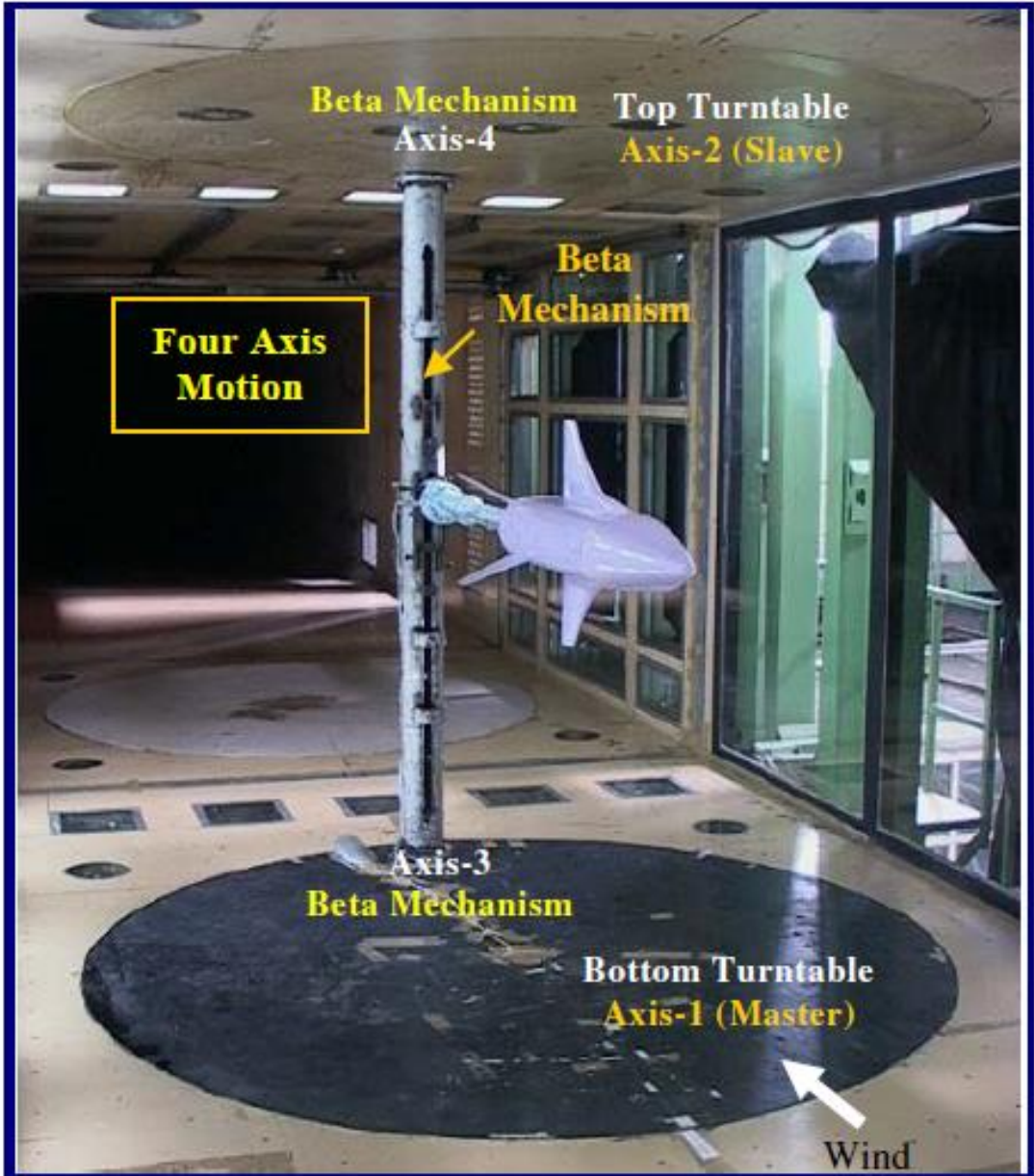
Modelin içinde gömülü 6 bileşenli kuvvet denge sisteminin, gerinim ölçerlerden oluştuğu belirtilmiştir.

Programlanabilir yükseltici ve 4 kutuplu Butterworth filtresi kullanılarak örnekleme öncesi her kanalda sinyal iyileştirmeleri yapılmıştır.

Ölçüm sisteminin doğruluğu, kalibrasyon sonrası tüm ölçekte  $\pm 0.2\%$  olarak elde edilmiştir.

Labview® tabanlı uygulama ile 8 tarayıcı ve her tarayıcıda bulunan 32 basınç portu, 20 kHz tarama hızı ile tarandığında 256 basınç noktasından ölçüm alınabilmektedir.

Basınç değerlerinin tüm ölçekte doğruluğu ise  $\pm 0.05\%$  olarak belirtilmiştir.



Şekil 5.5 Örnek Deney Düzeneği Görüntüsü [5]



## 6 DENEY DÜZENEĞİ DONANIMLARI

Deney düzeneğini, diğer örneklerinden ayıran en temel özelliklerden biri kompakt bir tasarıma sahip oluşudur.

Özel tasarım bir ürün olarak üretilen Şekil 6.1'de gösterilen sistem, çeşitli boyut ve özelliklerde tünellere adapte edilebilecek yapıdadır.



**Şekil 6.1** Deney Düzeneği ve Kontrol Birimlerinin Yerleşimi

Algılayıcılar, düşük voltaj algılayıcı kabloları, veri toplama sistemi ve hızlı veri taşıma kabloları; gürültü (EMI) ve gürültü korumalı kurulum için (EMC) fazladan önem arz etmektedir.

Sürücüler, sürücü kabloları, yüksek voltaj ve/veya yüksek frekans içeren kablolar için sistemden yalıtılmış ve belirli uzaklıktan geçirilmiş bir hat planı olması gerekmektedir.

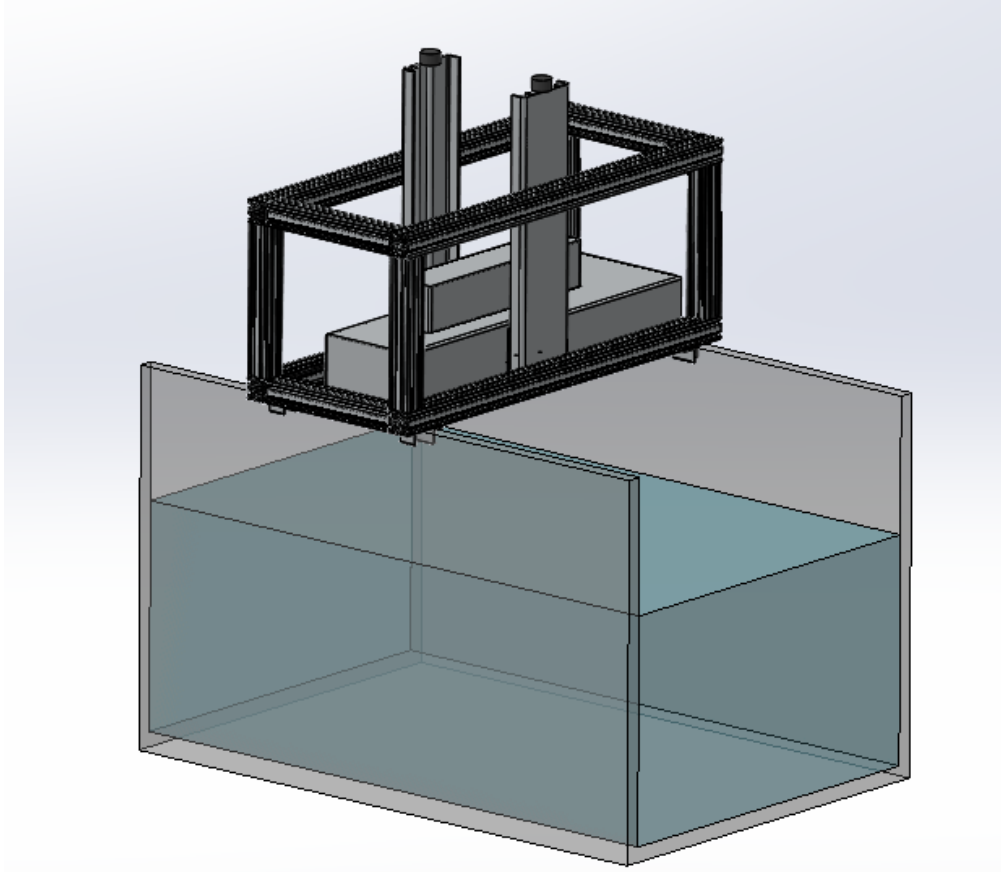
Motor kontrol birimi ve veri toplama biriminin bilgisayar bağlantısı olduğundan, bilgisayara göre konumlandırılmış olmalı ve en uygun uzaklık seçilmelidir.

Kabloların fazla uzun olmaması gerekmektedir, fakat sistem hareketli olduğu için sisteme kurulumun yakın olması da önem arz etmektedir.

Acil müdahale gerektiren düğmeler ve donanım, kullanıcının yakınında bulunmalıdır.

## 6.1 Model Hareket Düzeneği

Şekil 6.2'de gösterildiği gibi su tüneline yerleştirilen deney düzeneğinin 4 köşesinde bulunan bağlantı aparatları, sigma profillerden oluşmaktadır. Bu da deney düzeneğini farklı genişlikteki tünellere bağlanmaya uyumlu hale getirmiştir.



**Şekil 6.2** Hareket Düzeneği

Hareket kontrolünü sağlayacak sistemin mekanik hassasiyeti de, motorların hassasiyeti kadar önemlidir.

2 adet bilyeli doğrusal hareket rayından oluşan sistem, kompakt olabilmesi için en uygun boyutlarda tasarlanmıştır.

Yüksek moment ve kuvvetlere maruz kalabileceği için sistemin mekanik dayanımı, maruz kalacağı moment ve kuvvetlerden en az 3 kat fazla olabilecek şekilde seçilmiştir.

Aynı zamanda su sıçramaya dayanıklı olan sistem, tamamen paslanmaz çelik parçalar ve alüminyum kasadan oluşmaktadır. Sistemde bulunan ve bir kısmı Şekil 6.3'te yer bütün parçalar nemli ortamdan kaynaklanabilecek korozyona dayanıklı olarak seçilmiş ve üretilmiştir.

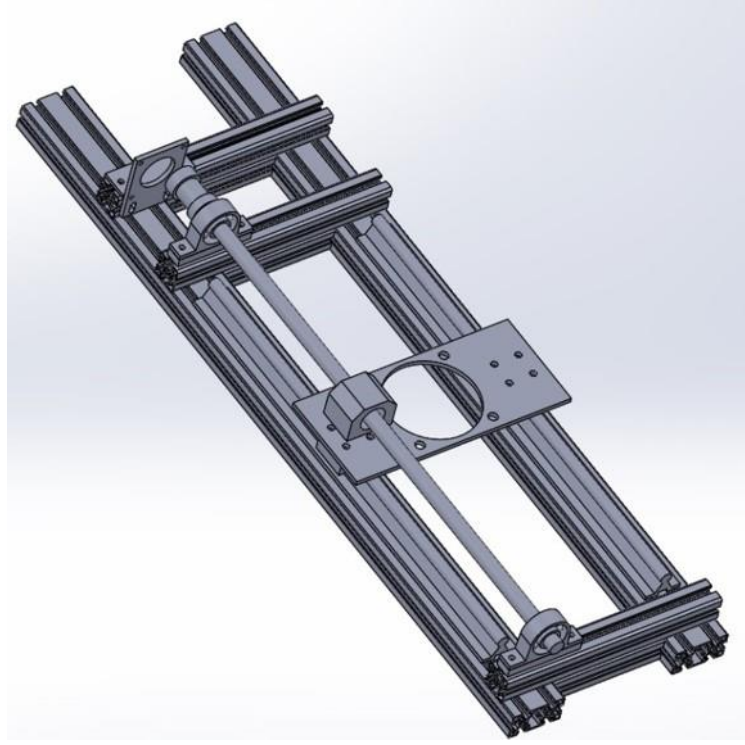


**Şekil 6.3** Hareket Düzeninde Kullanılan Hazır Parçalar

Tünelde, modelin doğrusal hareketini sağlayacak olan sistem, 2 adet rulmanda sabitlenmiş olan bir rayın, bilyeli yatak üzerinde hareketi ile oluşturulmuştur.

Bu hareket, Şekil 6.4'te gösterilen dairesel hareket motorunu taşıyacak parça aracılığı ile diğer yatağa aktarılır. Böylelikle taşınacak yük dağıtılmış olur.

Doğrusal hareket motoruna bağlanmadan önce kaplından geçen kurulum ile üretim toleransının oluşturacağı salınım sönümlenmiş olur.

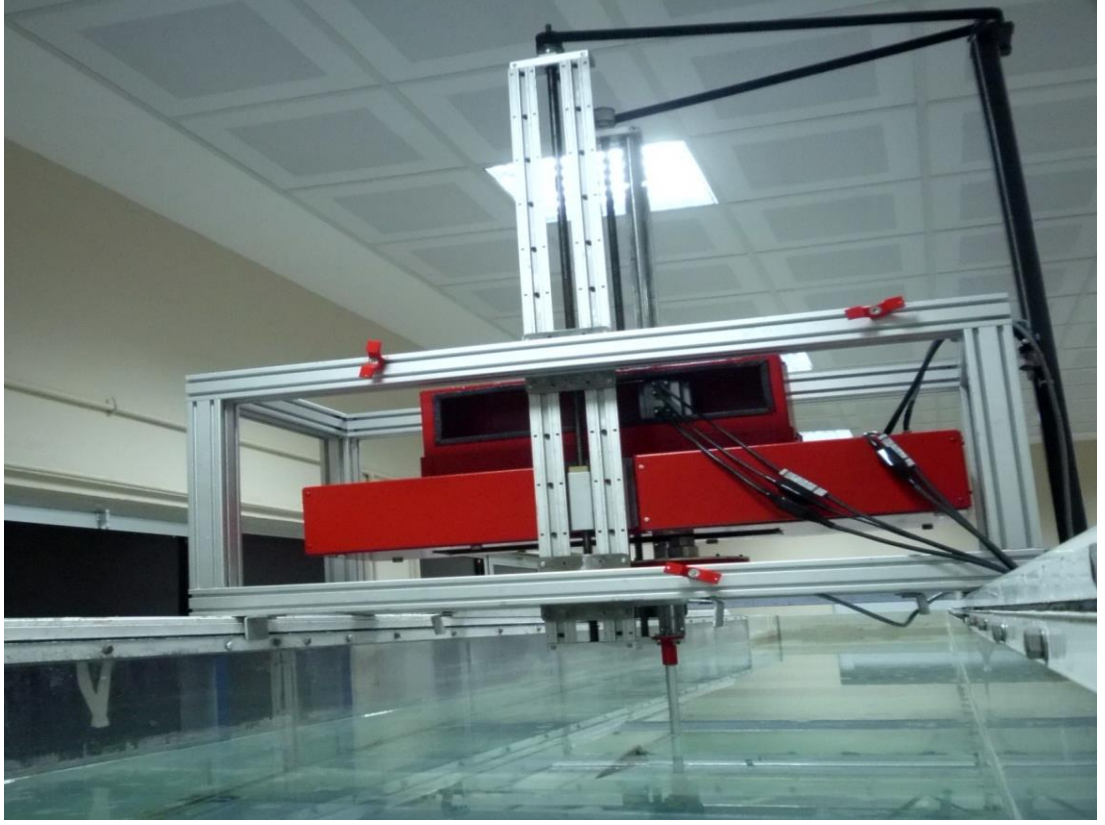


**Şekil 6.4** 2 Eksenli Hareket İçin Taşıyıcı Hareket Düzeneği

Dairesel hareket motoru, doğrusal ray sistemi aracılığı ile hareket ettirilir ve bu motora bağlı kuvvet ölçüm sistemi ve model de hareket ettirilmiş olur.

Üretimler ve kullanılan parçalar, lazer kesim yöntemi ile yüksek hassasiyette üretilmiş paslanmaz bağlantı parçalarından oluşmaktadır. Her parçanın üretim hassasiyeti 0,1mm'nin altındadır.

0.5mm hatveye(1 turda 0.5mm ilerleme) sahip ray ile yüksek hassasiyette konumlandırma yapılabilir. Hatve, 1 turda(360 derece) rayda doğrusal ilerleme miktarına denir.



**Şekil 6.5** Hareket Düzeneği Montaj Görüntüsü

Hareket sistemi, kablolar hareket esnasında zarar gelmeyecek şekilde fitiller ile desteklenmiş kanal içerisinde bulunmaktadır.

Şekil 6.4'te gösterilen hareket düzeneği, alüminyum kasanın içerisine yerleştirilir. Montajı Şekil 6.5'te gösterildiği gibi tamamlanan kasa, iki makaralı, mekanik taşıyıcı düzeneğe monte edilir.

Makaralı taşıma düzeneği ile bütün deney düzeneği yukarı-aşağı hareket edebilmektedir.

Modelin tünelin içerisine ne kadar gireceği, makaralı dümen tekeri aracılığı ile elle sağlanır.

## 6.2 Dış Kuvvet Denge Düzenegi



**Şekil 6.6** Kuvvet Ölçüm Düzeneginin Dış Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar

Şekil 6.6'da gösterilen dış kuvvet denge sistemi ile eş zamanlı; taşıma, sürüklenme, yan kuvvet ve yunuslama, yuvarlanma, yalpa momentleri ölçülebilmektedir.

Düzenek sayesinde, tek bir mil üzerinden aktarılan kuvvet ve momentler, farklı tünel ve uygulamalar için kullanılabilir.

Üzerinde belirli kenarlarda bulunan sıkı geçme yöntemiyle takılan pimler ile kutunun oryantasyonunun kalıcılığı sağlanmış olup, aynı zamanda bu yöntem ile montaj ve parçalarına ayırma işlemi, sistemin oryantasyonu etkilenmeden gerçekleştirilebilir.

Mil ve mile bağlı yük aktarım sistemi ile kutunun dış kasası arasında en uygun boşluk bulunmaktadır. Harekete olanak sağlayabilecek ve yük aktarımını etkilemeyecek kadar geniş, fakat kutunun yalıtımını da olabildiğince tehlikeye sokmayacak kadar dar tasarlanmıştır.



**Şekil 6.7** Kuvvet-Denge Ölçüm Düzeneği (Konnektör Bloğu Olmadan)



**Şekil 6.8** Kuvvet-Denge Ölçüm Düzeneği (Konnektör Bloğu İle)



Algılayıcı kablolarının çıkacağı veya bir bağlantı elemanı takılabilecek olan delik, referans merkez noktası olarak belirlenmiştir. İsteğe göre taşınabilirliği daha yüksek olan bağlantı elemanlı model, isteğe göre algılayıcı değişimine olanak sağlayan metal rakorlu sisteme çevrilebilir halde bırakılmıştır.

Şekil 6.8'de gösterilen, konnektör bloğuna sahip ve Şekil 6.7'de gösterilen konnektör bloğuna sahip olmayan, iki düzeneğin de birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Fakat üretim, her ikisinin de uygulanabilmesine olanak sağlamıştır.

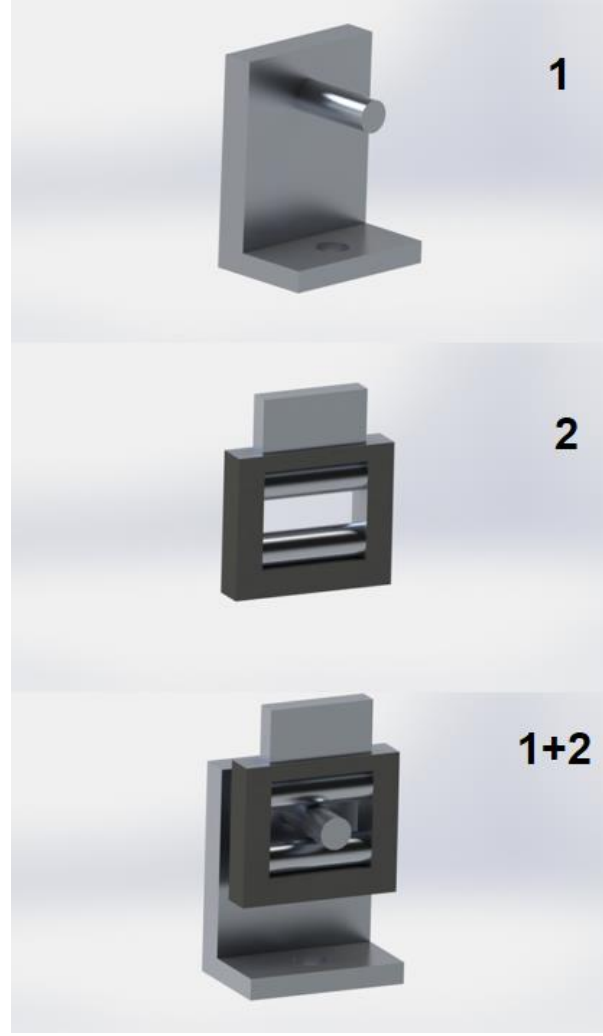
Kuvvet sistemimizin içerisinde bulunan algılayıcımız küçük boyutları, farklı aralıklara olanak sağlayabilen sabit kasası ve momentten etkisi en düşük olan bağlantı noktası tasarımı gibi birçok avantajı sayesinde sistemimize uyumlu olacağı düşünülmüştür.

İtki ve çeki kuvvetlerini ölçmeye uygundur.

Algılayıcının maksimum mekanik dayanımı, seçilmiş olan değerinin 10 katına kadardır. Bu küçük algılayıcının mekanik dayanımı, düzeneğin zorlu kullanım koşulları için yeterli bulunmuştur.

Kuvvet aktarım sistemi, 1 ekseninde kuvvet iletmesi, bunun haricindeki kuvvet ve momentlerden etkilenmemesi için tasarlanmıştır.

Algılayıcıya bağlanacak olan Şekil 6.9'da gösterilen 1 numaralı parça, rondelalı vida ile bağlanır. Bu parçada var olan pim; paslanmaz, sürtünme katsayısı düşük çelikten üretilmiştir ve pasivasyon (yüzey kalitesi artırmak için asit tankında bekletilme işlemi) işleminden geçmiştir. Aynı şekilde 4 numaralı görselde görüldüğü gibi, 1 numaralı parçanın kenarları yuvarlatılarak üretilmiştir.

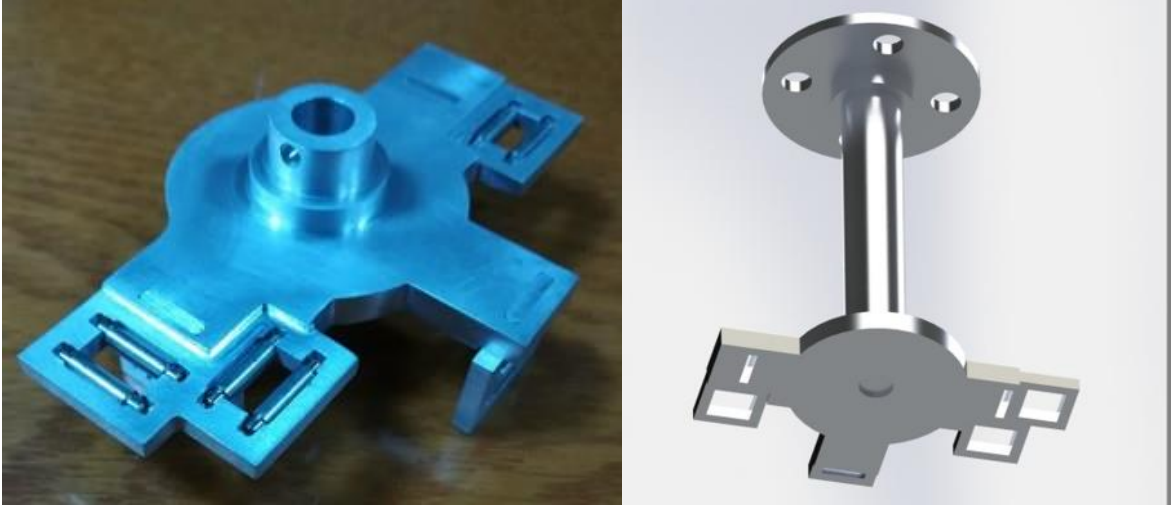


**Şekil 6.9** Kuvvet Denge Düzeneğinin İç Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar (1)

Ana milin bağlandığı parçaya sıkı geçme yöntemi ile birleştirilen, Şekil 6.9'da gösterilen 2 numaralı parçanın içerisinde bulunan 2 adet paslanmaz pim de 1 numaralı parçadaki pimlerle aynı özellikleri taşımaktadır. Bu iki pim arasında geçen 1 numaralı parça pimi ile algılayıcının mile bağlantısı sağlanmış olur.

Bu iki sistem birbiri ile pimlerin arasında takılan pim sayesinde pim pime basarak kuvvet iletimi bağlı olan algılayıcının kuvvet alma yönlerinde sağlanır, fakat pimler arasında bulunan pim diğer eksenlerde rahatlıkla hareket edebilir. Pimlerin sağladığı, yuvarlatılmış köşelere sahip boşluk sayesinde parçalar, karşıt pimlerde istenmeyen bir momentin oluşmayacağı şekilde tasarlanmıştır.

Kayıplar ise, paslanmaz çeliğin paslanmaz çeliğe sürtünmesinin getirdiği mekanik kayıptır.

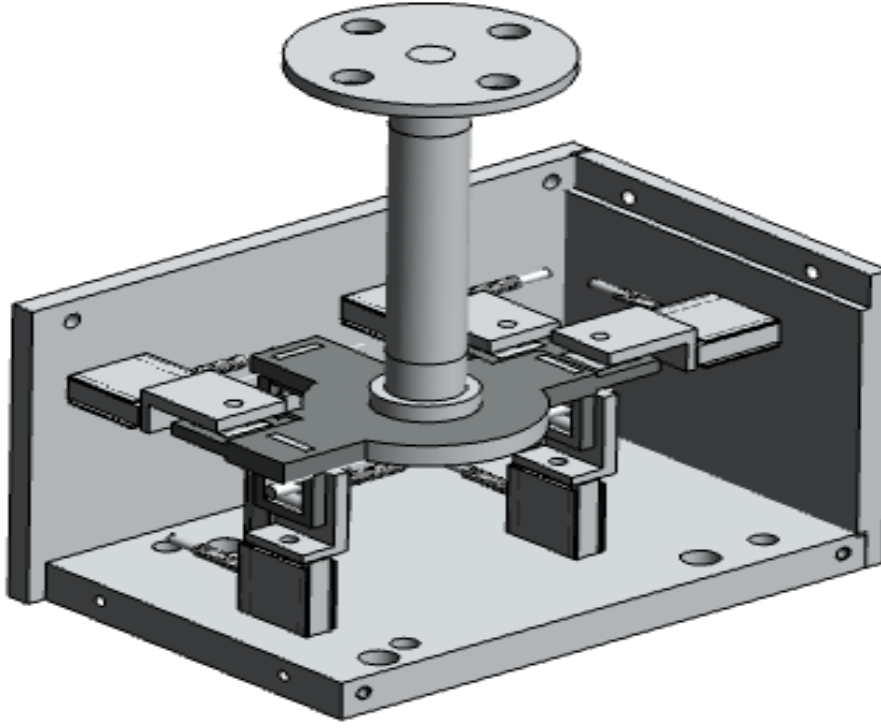


**Şekil 6.10** Kuvvet Denge Düzeneginin İç Aksamında Kullanılan Özel Üretim Parçalar (2)

2 adet sürüklenme yönünde, 1 adet yan kuvvet yönünde ve 3 adet taşıma yönünde bulunan algılayıcıların sayesinde, birbirleri arasındaki mesafelerin kullanılarak yunuslama, yuvarlanma ve yalpa momentleri de ölçülebilir.

Şekil 6.10'da gösterildiği gibi mil ve algılayıcı bağlantı parçası arasında açısız oryantasyonun sağlanabilmesi için, sistemin model bağlantı parçası ile mil arasındaki bağlantı delikleri ve algılayıcı bağlantı parçası ile mil arasındaki mil bağlantı delikleri yüksek hassasiyette birbirine paralel olarak delinmiştir.

Algılayıcılar kuvvet aktarımını kutunun sadece 3 adet kenarına iletir. Bu 3 kenar birbirine sıkı geçme pimler ile bağlanmıştır ve katı bir yapı gibi davranmaktadır. Düzenek, oldukça dar tasarlanmış olmasına rağmen algılayıcıların tamamı, temas noktaları hariç kuvvete maruz kalmamaktadır. Kablo geçiş noktaları, algılayıcılara kuvvet uygulamayacak ve momente sebep olmayacak şekilde belirlenmiştir.



**Şekil 6.11** Kuvvet Denge Düzeneği Tasarım Görüntüsü



**Şekil 6.12** Kuvvet Denge Düzeneği Montaj Görüntüsü

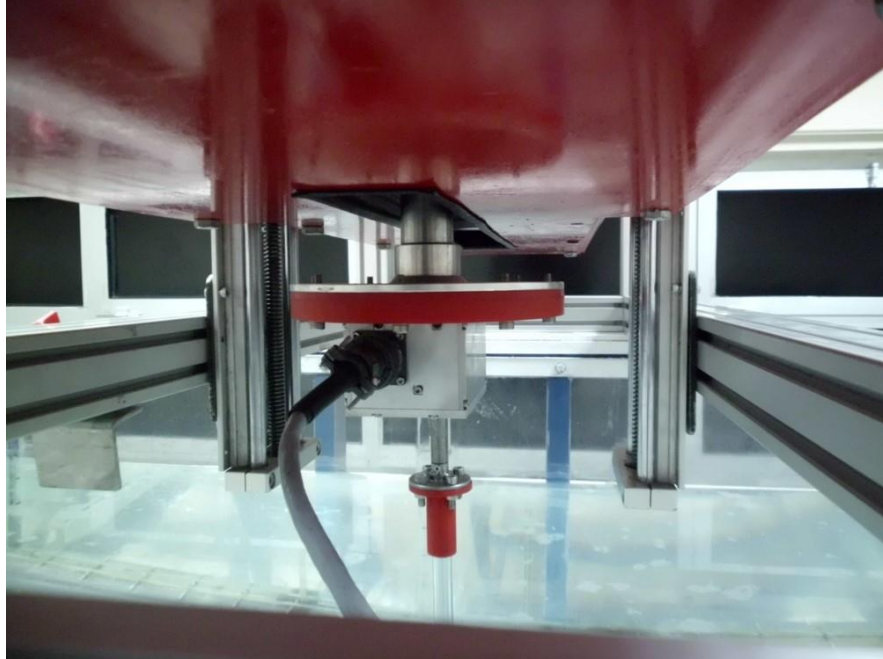
Üretim hassasiyeti en fazla 0,1mm olduğu için, bu toleransın da sisteme kötü yönde etki etmemesi planlanmıştır.

Düşük ölçüde boşluk olması gereken yerlerde boşluksuz ölçü verilip tolerans boşluk yaratabilecek yönde belirlenerek üretime verilmiştir. Bu sayede en fazla tolerans kadar boşluk ile sistem toplanmıştır.

Şekil 6.12’de gösterilen sistem toparlanırken, kesinlikle hareket etmemesi gereken algılayıcı bağlantı vidaları çift katlı rondela, hareket etmemesi gereken vidalar ise tek rondela ile toplanmıştır (Rondela, vidalama işleminde vida başı ile sistem arasına konulan tek sarımlı bir yaydır. Ön gerilme kuvveti ile vidanın titreşimden kaynaklanan hareketinin azaltılması için kullanılır.)

Algılayıcıların kutunun yüzeyine oturacağı yerlere, algılayıcının temas edeceği kadar alanda ve 1mm derinliğinde boşluklar açılmıştır. Bu algılayıcı oturma noktaları sayesinde, algılayıcının vidasının gevşemesi ve algılayıcının olduğu yerde dönerek vidayı çözmesi engellenmiştir. Aynı zamanda bu boşluklara 0.3mm conta levhalar ile oturtturulan algılayıcıların takılma, titreşimden kaynaklı vidasını çözme, yüksek titreşim toleransı riskleri engellenmiştir.

Şekil 6.13’de dış, kuvvet denge düzeneğinin hareket düzeneğine yerleşimi gösterilmektedir.

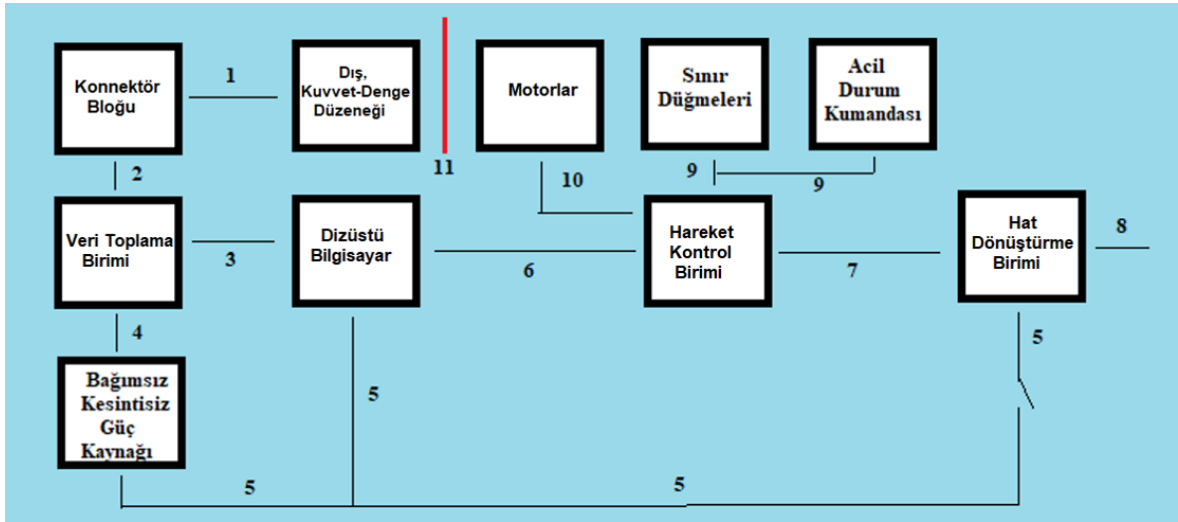


**Şekil 6.13** Dış Kuvvet Denge Düzeneğinin Hareket Düzeneğine Yerleşimi

### 6.3 Elektronik Donanım Birimleri

- Veri Toplama Birimi
- Konnektör Bloğu
- Hareket Kontrol Birimi
- Hat Dönüştürme Birimi
- Acil Durum Kumandası

#### 6.3.1 Birimler arası kablaj



Şekil 6.14 Deney Düzeneği Donanımlarının Temel Kablaj Şeması

Şekil 6.14'te gösterilen şemada bulunan rakamların açıklamaları aşağıda açıklanmıştır;

(1) Konnektör bloğu kullanılmak isteniyor ise; İki tarafı da çıkarılmayan rakorlardan oluşan, algılayıcıların analog verilerini konnektör bloğuna aktaran, aynı zamanda da algılayıcı beslemeleri içeren veri hattıdır.

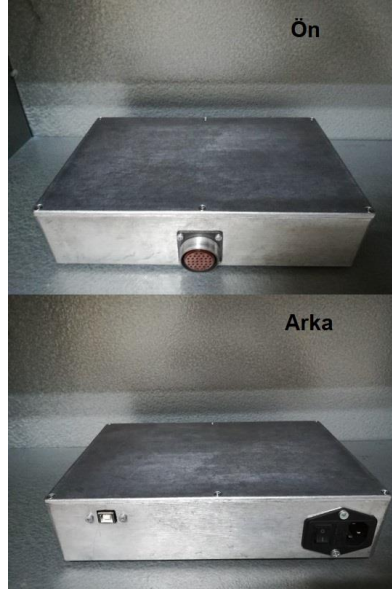
(2) İki tarafı da çıkarılabilen konnektörlerden oluşan, konnektör bloğu ile veri toplama birimi arasında algılayıcıların analog verilerinin ve algılayıcı beslemelerinin taşınmasında kullanılan veri hattıdır.

(3) Veri toplama biriminde bulunan modül kontrolünün sağlandığı, toprak döngüsü oluşturabilen, veri kaybına sebebiyet verebilecek gürültüden korunmak için galvanik USB izolatör kullanılması gereken, USB veri hattıdır.

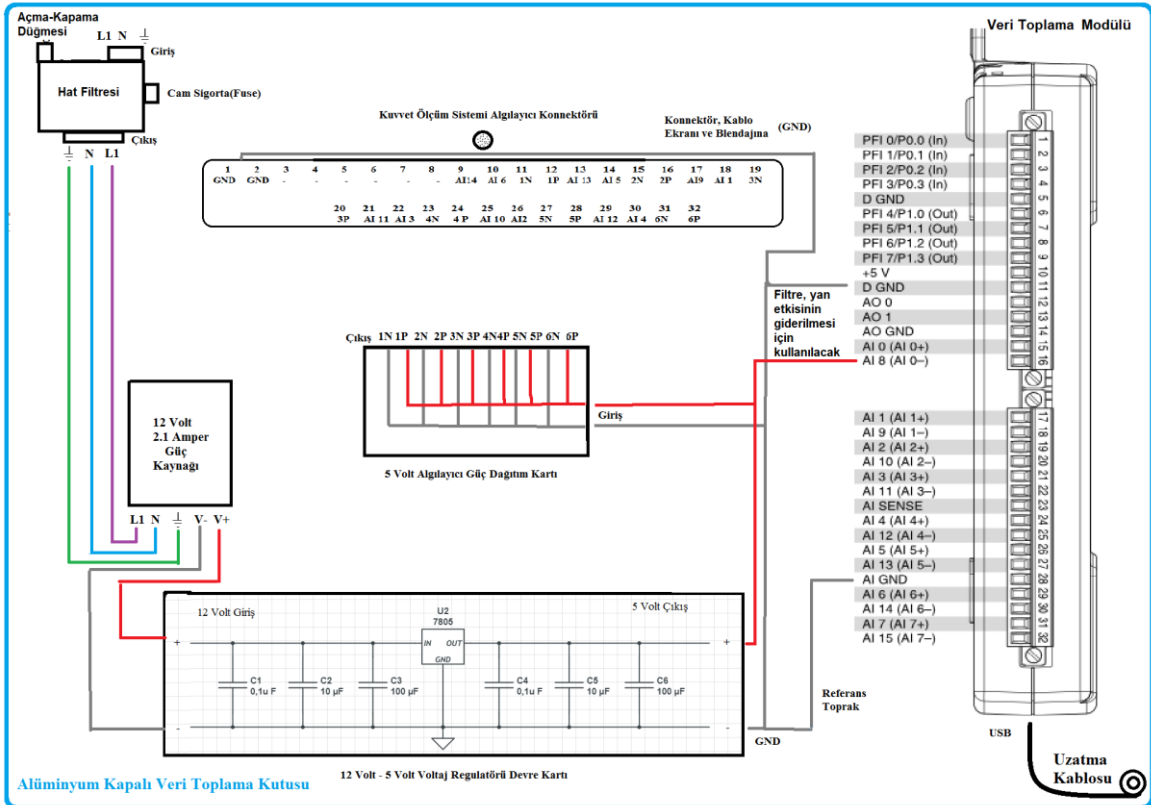
- (4)** Veri toplama birimine algılayıcıların beslemesinde kullanılacak gücü bataryadan sağlayan besleme hattıdır.
- (5)** Deney yapılacağı zaman fişten çekilmesinin veri temizliğine büyük etkisinin olduğunun gözlemlendiği, toprak döngüsüne sebebiyet verebilen, olmadığı zaman dizüstü bilgisayar ve bağımsız, kesintisiz güç kaynağı ile çalışılabilen tek faz 220 volt şehir şebekesi besleme hattıdır.
- (6)** Motor kontrolcülerin RS232 port'una ve bilgisayarın USB port'una RS232-USB çevirici ile bağlanmış, motor kontrol, seri haberleşme hattıdır.
- (7)** 3 faz 220 volt, motor sürücülerinin besleme hattıdır.
- (8)** 3 faz 380 volt, şehir şebekesi besleme hattıdır.
- (9)** Sınır düğmelerinin besleme, geri bildirim bağlantıları ve acil durum kumandasının besleme ve geri bildirim bağlantılarından oluşmaktadır.
- (10)** Enkoderler, motor beslemeleri ve elektromanyetik fren kablolarından oluşmaktadır.
- (11)** Yalıtkan(PLA) 15mm levha kullanılarak motorların kuvvet düzeneğinden yalıtılması sağlanmıştır.

### 6.3.2 Veri toplama birimi

Veri toplama biriminin montaj görüntüsü Şekil 6.15'te, blok şeması Şekil 6.16'da, kutu içi görüntüsü Şekil 6.17 gösterilmektedir.

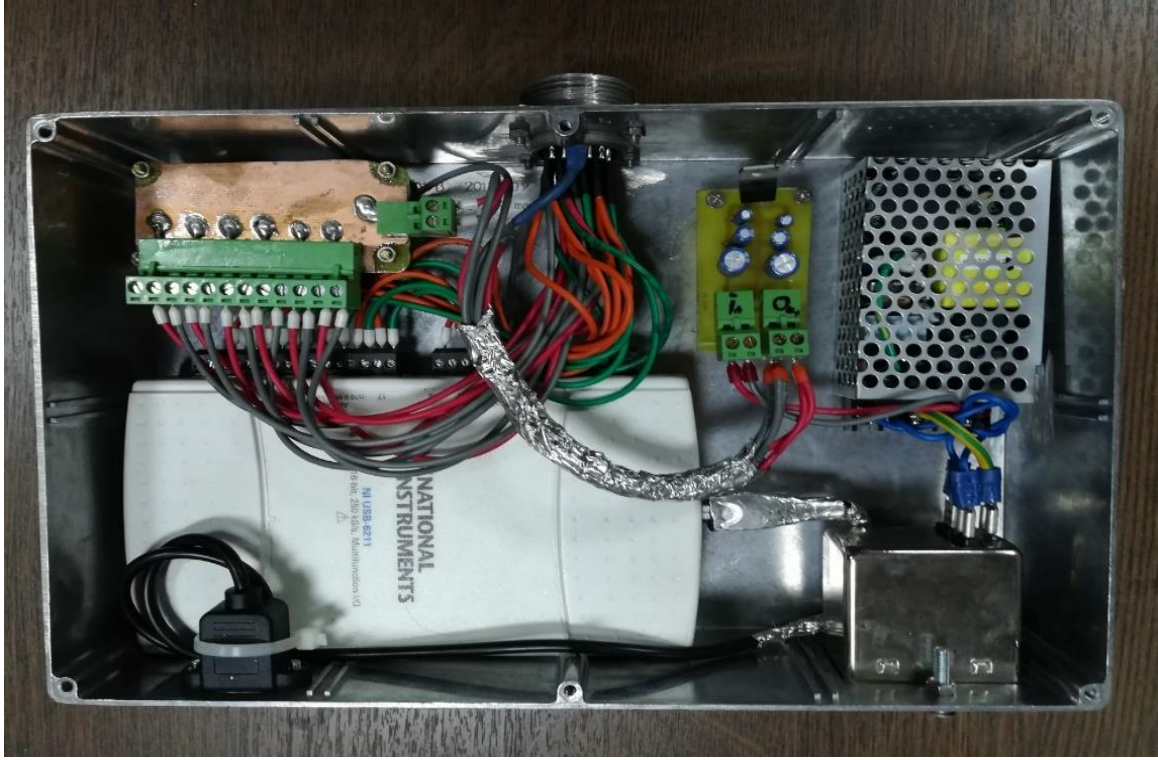


Şekil 6.15 Veri Toplama Birimi Montaj Görüntüsü



Şekil 6.16 Veri Toplama Birimi Blok Şema





**Şekil 6.17** Veri Toplama Birimi İç Görünüm

### **6.3.2.1 Ana güç gürültü filtresi**

Besleme amaçlı kullanılan hattaki gürültüyü olabildiğince engelleyebilmek adına ana hat gürültü filtresi kullanabiliriz. Güç girişi olarak kullanılan bu filtre, filtreleme özelliğinin yanısıra sigorta, aç/kapa düğmesi ve güç konnektörü de içermektedir. Metal kılıfı ile veri toplama birimi kutusuna temas eden güç girişi ile veri toplama birimini tamamen kapalı hale getiririz. Bu sayede veri toplama birimi daha modüler ve korunaklı hale gelmektedir.

### **6.3.2.2 Güç kaynağı**

Algılayıcılar için gerekli olan gerilim, smps (switch mode power supply) anahtarlamalı güç kaynağı ile sağlanmıştır. Fiyatı, verimi ve boyutunun avantajı ile algılayıcıların beslemesi olarak kullanılan bu güç kaynağının dezavantajı, yüksek frekansta gürültü oluşturmasıdır.

Bu problemin, doğrusal regülatör devresi ile çözülmesi hedeflenmiştir.

Çıkış voltajı:12V Çıkış akımı 2.1A Güç: 25.2W

Gürültü:120mVp-p  $\pm 0.5\%$  yük regülasyonu  $\pm 0.5\%$  hat regülasyonu

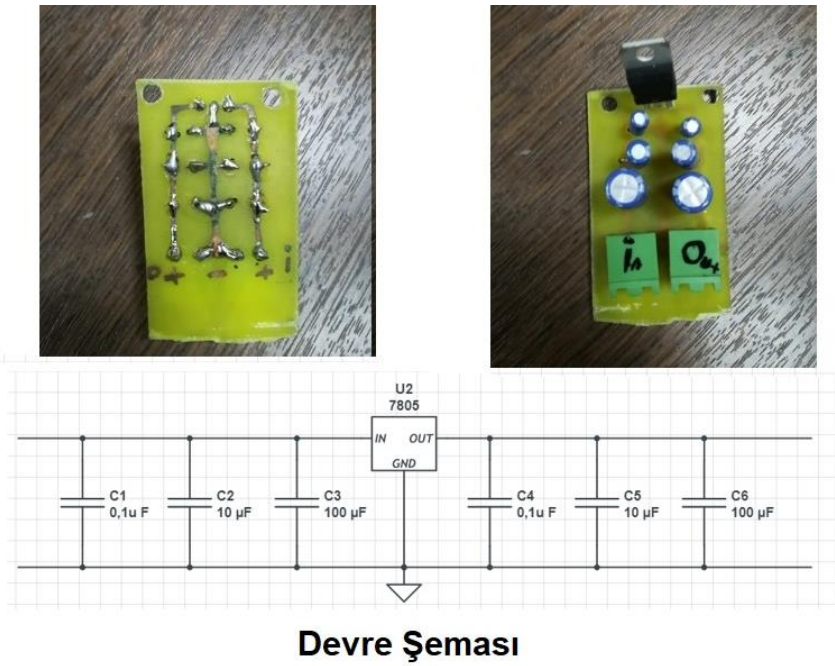
Boyut: 78mm x 51mm x 28mm

### 6.3.2.3 Voltaj regülatörü kartı

L7805 voltaj regülatörü entegresi kullanarak oluşturulan doğrusal voltaj regülatörü ile 12 volt giriş voltajı, kullanılabilir daha temiz 5 volt çıkış voltajına çevrilmiştir.

Voltaj regülatörü kartının devre şeması ve dizili görüntüsü Şekil 6.18'de gösterilmektedir.

Farklı frekansları ayıklayabilmek için kullanılan 3 çeşit kapasitör regülatörün girişine, 3 adet de çıkışına yerleştirilmiştir. Bu kapasitörlerin değerleri sırasıyla 0,1  $\mu$ F - 10  $\mu$ F-100  $\mu$ F 'tır.



Şekil 6.18 Veri Toplama Birimi Voltaj Regülatörü Kartı Devresi

### 6.3.2.4 Veri toplama modülü(DAQ)

- ADC Çözünürlüğü: 16 bit
- Örnekleme: 250.000 örnek/saniye
- Zamanlama Çözünürlüğü: 50ns
- Kanallar: 8 adet fark kanalı, 16 adet tekil kanal
- Zamanlama Doğruluğu: Örnekleme oranına göre 50 ppm
- Veri Transferi: USB
- DC ile 60Hz Arası için Genel Ortam Gürültüsü Engeli(CMRR):100dB

### 6.3.2.5 Güç dağıtım kartı



**Şekil 6.19** Veri Toplama Birimi Güç Dağıtım Kartı

Veri toplama biriminde kullanılan güç dağıtım kartı; kablolaj kolaylığını sağlayabilmek, düzenli ve modüler bir kablolaj sağlayabilmek ve güç beslemesini dağıtabilmek için tasarlanmıştır. Güç dağıtım kartı Şekil 6.19'da gösterilmektedir.

Çift yüzlü epoksi bakır plaket ile hazırlanan bu kartta, 5V güç beslemesi ve toprak dağıtılmak istenmiştir.

Üst yüze 5V güç girişi, alt yüzeye ise toprak girişi yüzey monte yöntemi ile lehimlenmiş ve 12 adet çıkış, aynı şekilde yüzey monte ile 6 adet üst 6 adet alt yüzeyden alınmıştır.

### 6.3.2.6 Konnektörler, kablolar ve kutu

Panel monte, yuvarlak, 32 pin, askeri algılayıcı konnektörün kablolu kutunun üzerine monte etmeden önce yapılmıştır.

Panel monte, USB uzatma kablosu ile de modülerliği sağlamış olur.

Ara bağlantılar için enya 0,5 nyaf kablo kullanılmıştır.

Ana kutu, alüminyum iletken 2mm kalınlığında kapalı kutudan üretilmiştir.

Sinyal konnektör deliği ve güç hattı deliği elektromanyetik yalıtım sağlanabilmesi amacıyla kapalı kalabilecek şekilde delinmiştir.

Pano tipi USB deliği, USB portunun toprağı ile ana hat toprağı arasında toprak döngüsü (ground loop) oluşmaması için boşluklu bırakılmıştır.

### 6.3.3 Konnektör bloğu

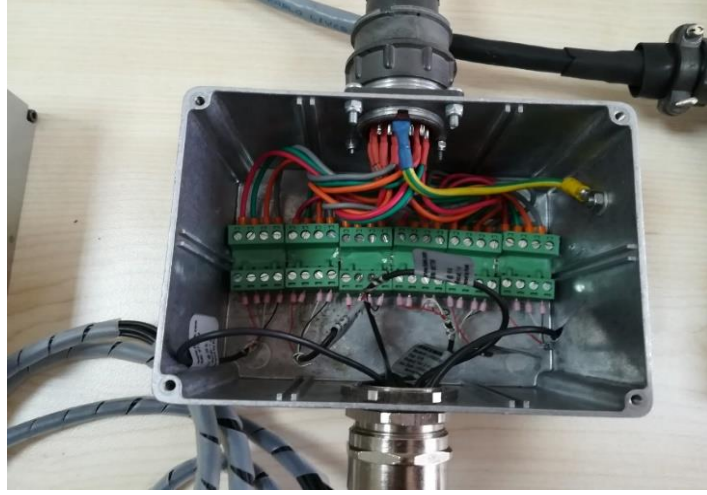


**Şekil 6.20** Konnektör Bloğu

Farklı modellere adapte edilebilen, farklı model ve testler için uygun olan 6 eksenli kuvvet ölçüm düzeneğinde, 6 adet kuvvet algılayıcısı bulunmaktadır. Kullandığımız algılayıcıların, farklı tünellere ve testlere uygun olabilmesinin ana koşullarından biri de farklı kuvvet aralıklarına uygun fakat aynı boyutlarda algılayıcı seçeneklerinin de bulunmasıdır. Konnektör bloğunun montaj görüntüsü Şekil 6.20'de gösterilmektedir.

Algılayıcılar seçilirken kullanım alanına göre aralık belirlenmektedir. Bu aralık çok geniş olursa, sabit aralıkta voltaj çıkışı edindiğimiz için gürültü de aynı oranda artacaktır. Eğer algılayıcımız istediğimiz aralığın dışında kuvvete maruz kalırsa doğrusallık bozulacak, aynı zamanda da algılayıcımızın bozulmasına sebebiyet verecektir.

Konnektör bloğu; istenilen aralıkta algılayıcı kullanımını değiştirilebilir yapmak, algılayıcıların kabloları kısaltılmadan, kendi kabloları kullanılarak değiştirilebilir, kuvvet ölçüm düzeneğini açmadan algılayıcılardaki voltajı kontrol edebilmek, bakım ve tespit yapabilmek, yeterli kablo uzunluğuna ulaşabilmek için tasarlanmıştır.



**Şekil 6.21** Konnektör Bloğu İç Görünümü

Algılayıcıların kendi kabloları kısaltılmadan kullanılmıştır.

Kuvvet düzeneğinde algılayıcıların yerleşimi, kablo uzunluklarının kablaj rotasına göre ayarlanabilir olmasını sağlamıştır.

Konnektör bloğu kutusu, izole edilmiş alüminyum kutudur ve temiz toprağa bağlıdır.

Konnektör bloğu kutusu içinde değişim ve kontrol kolaylığı adına terminaller bulunmaktadır.

Kuvvet ölçüm düzeneği ve konnektör bloğu; çoklu contaya sahip metal rakorlar ile birbirine bağlanmıştır.

Kablo karışıklığı olmaması adına kuvvet algılayıcılarının kabloları kablo çorabı ile kaplanmıştır.

Kuvvet algılayıcılarının kablo dayanımının artırılması ve belirlenen rotalar için kablo uzunlukları kaymaması için toplandıktan sonra, rakorlarına toplu bir şekilde kablo kelepçesi ile bağlanmıştır. Konnektör bloğunun iç görüntüsü Şekil 6.21'de gösterilmektedir.

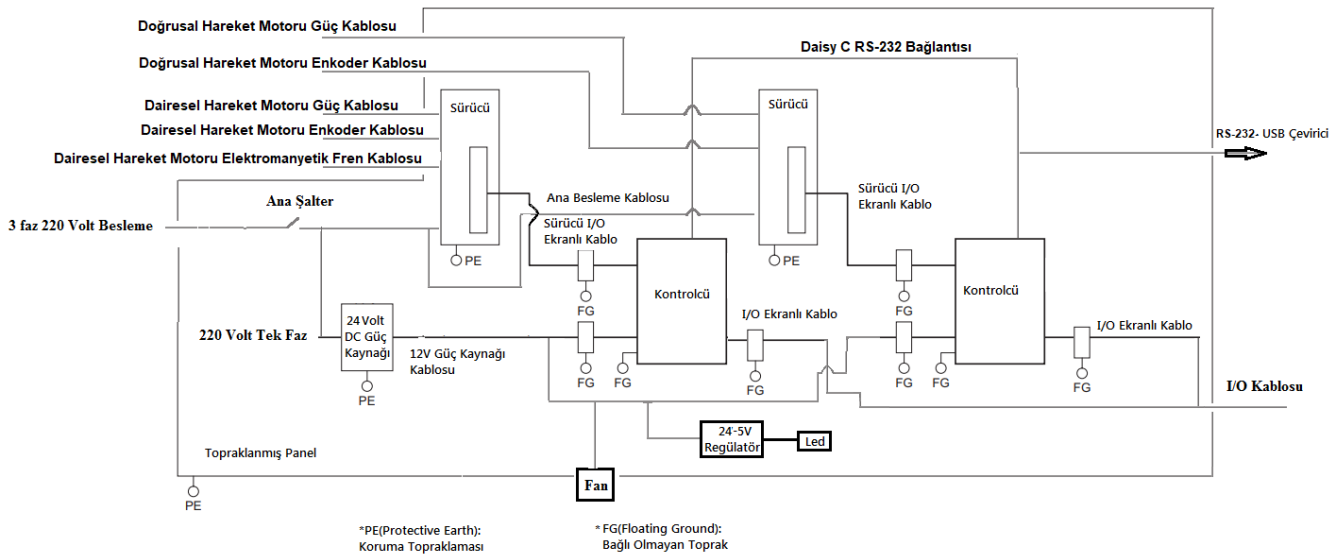
Taşınabilirlik için konnektör bloğu ile veri toplama birimi arasında askeri tip, yuvarlak, sökülebilen konnektör kullanılmıştır.

### 6.3.4 Hareket kontrol birimi



Şekil 6.22 Hareket Kontrol Birimi ve İç Görünümü

Modüler ve tüm biriminin bir arada olması avantajı, karışık ve düzensiz görünümlü kablaj sorununu doğurmuştur. Bu soruna çözüm olabilmesi adına sinyal kabloları ekranlı olarak kullanılmış, konnektörler dış ortama EMI tehlikesine dayanıklı olarak seçilmiş ve kablo yolları, kablo bağları ile belirlenmiştir. İçerisinde gezen kabloların hareket kabiliyetleri olabildiğince sınırlandırılmıştır. Hareket kontrol birimi ve iç görüntüsü Şekil 6.22’de, blok şeması Şekil 6.23’de gösterilmektedir.



Şekil 6.23 Hareket Kontrol Birimi Blok Şema

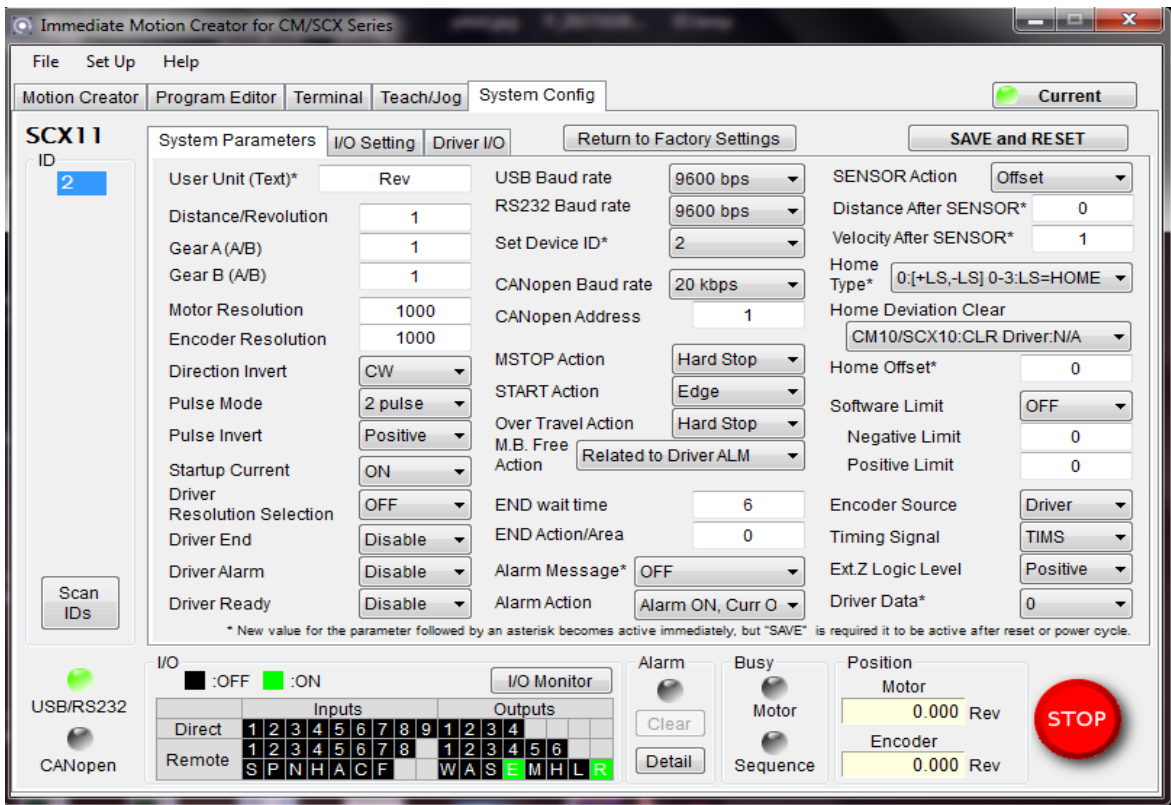
### 6.3.4.1 Motor kontrolcü

Motorlar, kontrolcü modül ile kontrol edilmiştir. Modül, 1 eksende hareket kontrolü için tasarlanmış ve 1.24 MHz darbe frekansına sahiptir.

Motor sürücüsüne yapılan bağlantı ile ve "Daisy Chain" bağlantı modeli ile çoklu eksen kontrolüne olanak sunar.

Modülde bulunan I/O bağlantıları ile sınır düğmesi, acil durum düğmesi gibi ek donanımlara da olanak sağlar.

Modül, Labview® ile oluşturulmuş arayüz üzerinden kontrol edilecek olmasına rağmen adres atamak, darbe modu seçimi, I/O düzenlemeleri gibi ana konfigürasyon ayarları, harici Şekil 6.24'te gösterilen arayüz üzerinden yapılır.

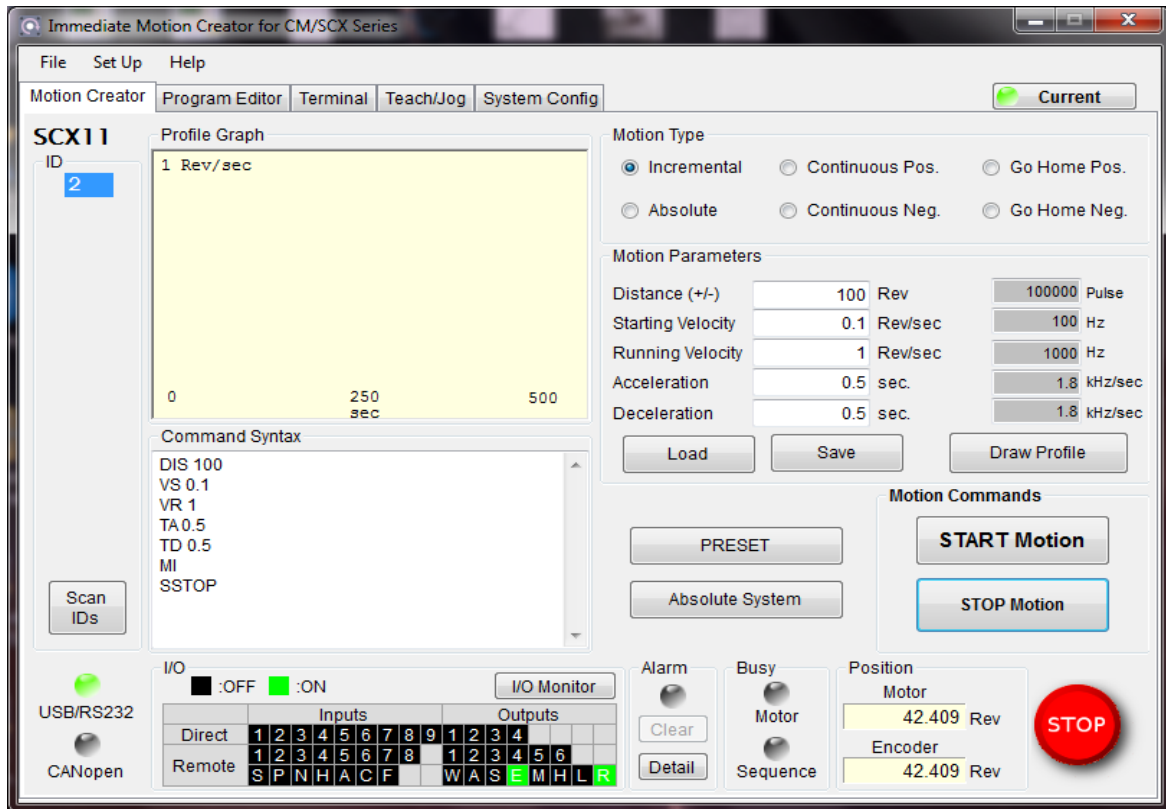


Şekil 6.24 Kontrolcü Arayüzü (3)

Her bir motor için kontrol modu, çözünürlük, yön, dişli oranı, vb ayarlamalar Şekil 6.24'de gösterilen ekranda yapılır.

Temel hareket komutları aşağıdaki gibidir;

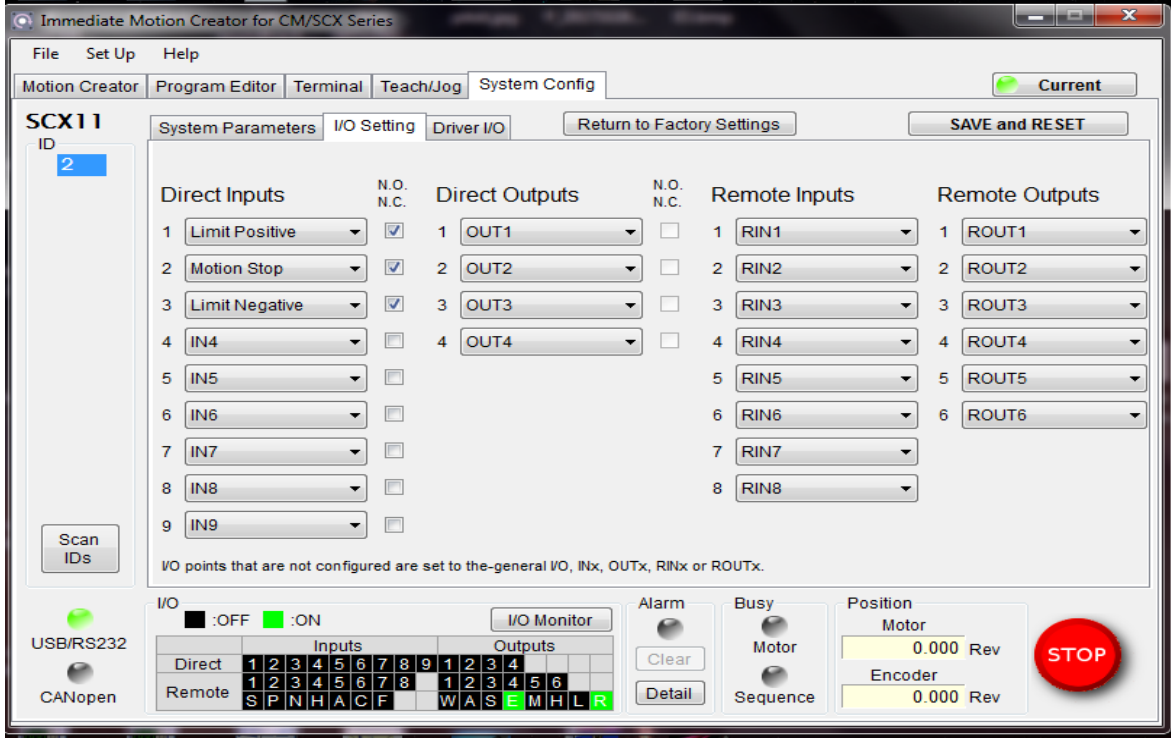
- D I S; Hareket mesafesi artışı
- V R; Hareket hızı
- V S; Başlama hızı
- T A; Hızlanma zamanı
- T D; Yavaşlama zamanı
- M I; Artım mesafesi kadar hareket et
- M A; Mutlak mesafeye hareket et
- M C P; Pozitif yönde sürekli hareket et
- M C N; Negatif yönde sürekli hareket et
- M G H P; Mekanik başlama noktasına git
- A L M C L R; Alarm durumunu temizle



Şekil 6.25 Kontrolcü Arayüzü(1)

Şekil 6.25'de gösterilen kontrolcü arayüzü ana kontrol ekranı üzerinden temel hareket komutları tek bir motor için sağlanabilmektedir.



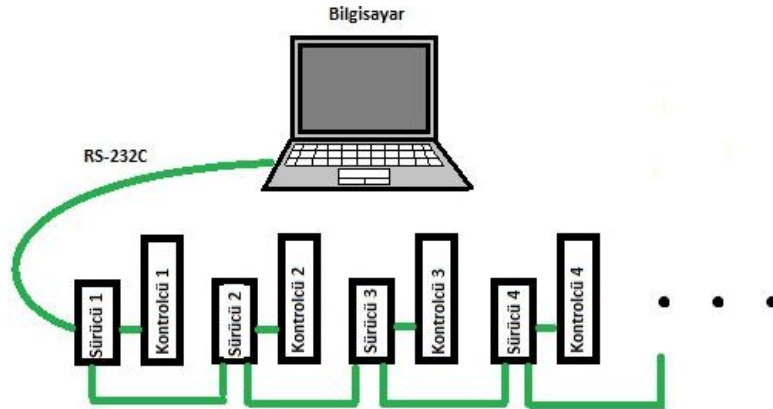


Şekil 6.26 Kontrolcü Arayüzü (2)

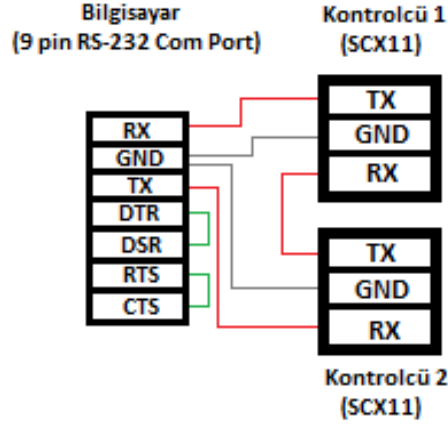
Sistemde kullanılacak girdi ve çıktılar ve normalde açık veya normalde kapalı olduğu Şekil 6.26'da gösterilen ekranda tanımlanır.

### 6.3.4.2 Daisy chain RS-232

Şekil 6.27'de temel bağlantı şeması gösterilen Daisy Chain bağlantısı, çok noktalı ağ topolojisi tabanlı, birden çok terminali haberleşme halkasına bağlama yöntemidir. Şekil 6.28'de gösterildiği gibi her cihazın (Tx) terminali bir sonraki cihazın (Rx) terminaline bağlanır. Böylelikle bağlantı yapısı basitleşmiş olur.



Şekil 6.27 Veri İletişimi Arayüzü (Daisy Chain RS-232) Temel Bağlantı Şeması



**Şekil 6.28** Veri İletişimi Arayüzü (Daisy Chain RS-232) Kablajı

### 6.3.4.3 Motor sürücü

Güçlü motorların kontrolünde hattan alınan enerjiyi darbelere çevirerek hız, tork, pozisyon kontrolü yapılabilecek hale getirmek için motor sürücülere ihtiyaç duyulur.

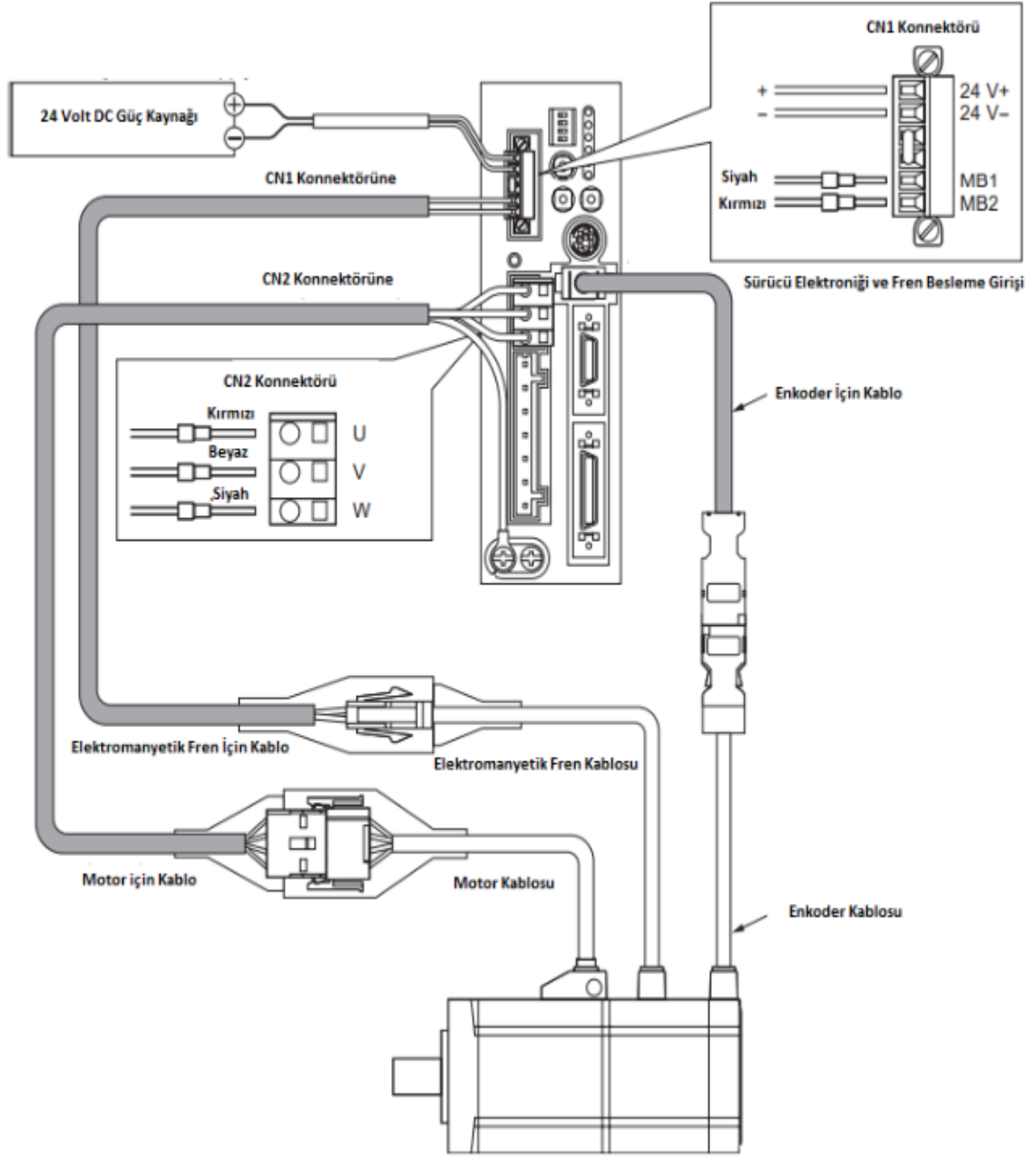
3 faz 220 Volt AC güç girişine ihtiyaç duyan sürücüler, harici olarak 24 Volt DC beslemeye de ihtiyaç duymaktadır.

500kHz hat çıkışına sahip olan sürücülerin çalışma modu (tork, pozisyon, hız) pozisyon modu olarak, sistem kurulumunda belirlenir.

Motor kabloları(enkoder, elektromanyetik fren, güç çıkışı), kontrolcü, topraklama, 24 Volt besleme ve ana güç besleme hattı bağlandıktan sonra sistem hazır hale gelir.

Şekil 6.29'da motor sürücüleri ve motorların bağlantı şeması gösterilmektedir.

Motorların güç sınıfı farkı olduğu için, farklı sürücüler seçilmiştir. Fakat kullanılan kontrolcü darbe kontrolünü sağladığı için, iki kontrolcü arasında güç sınıfı farkı bulunmamaktadır.



**Şekil 6.29** Motor Sürücüler İle Motorların Bağlantı Şeması[10]

#### 6.3.4.4 Güç kaynağı

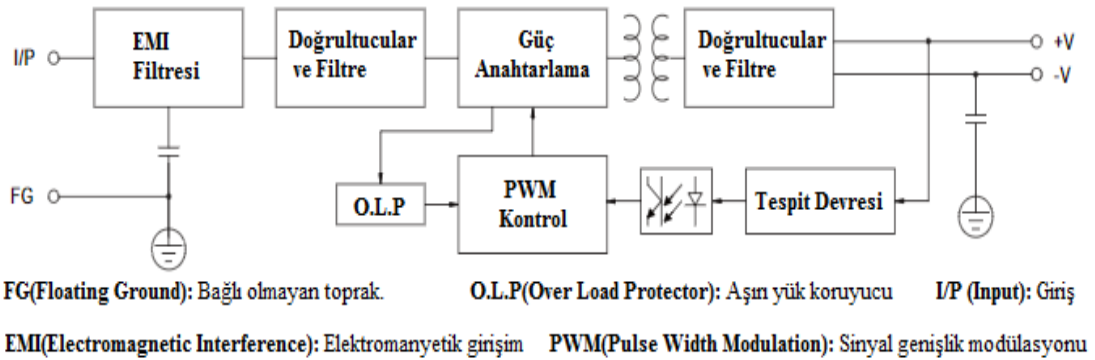
Sürücü, kontrolcü, fan, led ve I/O için gerekli olan gerilim, smps (switch mode power supply) anahtarlama güç kaynağı ile sağlanmıştır.

Fiyatı, verimi ve boyutunun avantajı ile algılayıcıların beslemesi olarak kullanılmıştır.

Güç kaynağının blok şeması Şekil 6.30'da gösterilmektedir.

Güç kaynağının özellikleri aşağıda gösterilmiştir;

- Çıkış voltajı:24V
- Çıkış akımı 6.5A
- Güç: 156W
- Gürültü:120mVp-p  $\pm 0.5\%$  yük regülasyonu  $\pm 0.5\%$  hat regülasyonu
- Boyut: 152,5 mm x 97 mm x 38mm



Şekil 6.30 Hareket Kontrol Birimi Güç Kaynağı Blok Şema

#### 6.3.4.5 Voltaj regülatörü



**Şekil 6.31** Hareket Kontrol Birimi Voltaj Regülatörü

2V-36V giriş gerilimini, 2V-36V aralığında düşürebilen, buck tipi, adım aşağı (step down) çevirici ile pano içerisindeki, 1 adet, 2.5 watt led beslenmektedir.

Voltaj çeviricisi Şekil 6.31'de gösterilmektedir.

5 ampere kadar dayanabilen çevirici, ledi sürmeye yeterli gelirken, yüksek gerilim değerini verim kaybına uğratmadan aşağı çekebilmektedir.

#### 6.3.4.6 Fan ve ledler



**Şekil 6.32** Hareket Kontrol Birimi Fan ve Led

220volt ile çalışan pano içi soğutma fanı ile sürücülerin ortaya çıkardığı ısı dengelenmiştir.

İstenildiği zaman düğme ile aktif olan, pano içi aydınlatma sağlayabilmek adına 1 adet güç ledi kullanılmıştır.

Kullanılan fan ve led Şekil 6.32'de gösterilmektedir.

#### 6.3.4.7 Konnektörler ve kablolar

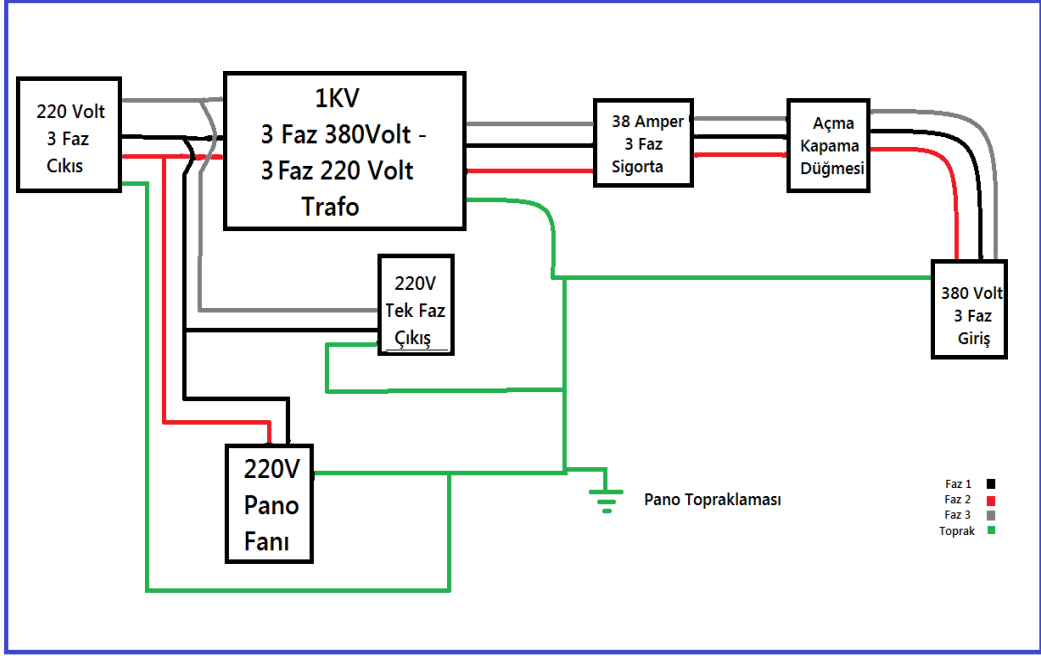
- 220 volt 3 faz besleme konnektörü
- 220 volt 3 faz açma/kapama şalteri
- 220 volt 3 faz kabloları
- Led açma/kapama düğmesi, sürücü beslemeleri, kontrolcü beslemeleri, pano fanı besleme, vb kullanılan kablolaj kabloları
- Doğrusal ve dairesel hareket motoru için sürücü- kontrolcü arası dijital I/O(dijital girdi-çıkı) kablosu ve konnektörleri
- Doğrusal ve dairesel hareket motoru besleme kablosu ve konnektörü
- Dairesel hareket motoru elektromanyetik fren kablosu ve konnektörü
- Kontrolcü harici I/O kablosu ve konnektör

#### 6.3.5. Hat dönüştürme birimi



**Şekil 6.33** Hat Dönüştürme Birimi

Amerika şehir şebekesine uygun motor sürücüleri için şehir şebekesi gerilimi, 1 KV trafo ile 220V 3 faza dönüştürülür. Bunun yanında, soğutma fanı, yüksek akım koruma sigortası ve açma kapama düğmesine sahip hat dönüştürme birimi ile 220V tek faz çıkış da elde edilir. Hat dönüştürme biriminin montaj görüntüsü Şekil 6.33'de, blok şeması Şekil 6.34'de, iç görüntüsü Şekil 6.35'de gösterilmektedir.



Şekil 6.34 Hat Dönüştürme Birimi Blok Şema



Şekil 6.35 Hat Dönüştürme Birimi İç Görünüm

### 6.3.5.1 Trafo



**Şekil 6.36** Faz Transformatörü

1KV güce sahip olan trafo, 380 volt 3 faz şehir şebekesi gerilimini 220 volt 3 faz gerilime çevirmesi için seçilmiştir. Kullanılan trafo Şekil 6.36'da gösterilmektedir.

Motor sürücülerinin besleme gerilimi Amerika şehir şebekesine uygun olduğu için, hazırlanan trafo, pano içerisinde yer almaktadır.

### 6.3.5.2 Akım koruma sigortası ve fan



**Şekil 6.37** Yüksek Akım Koruma Sigortası ve Fan

Yüksek akım koruma otomatik anahtarlı sigorta; kısa devre, iletken ve kabloların ısınması veya kopması ve çarpılma riskini ortadan kaldırmak için, panonun trafo girişine yerleştirilmiştir. Kullanılan yüksek akım koruma sigortası ve fan Şekil 6.37'de gösterilmektedir.

3 faz sigorta, 40 ampere kadar açma yapmaması ve gecikmeli açma yapması, motorlarımızın tutma torkunu yenerken açma yapmamasını sağlamak amaçlı olarak seçilmiştir.



Panoda bulunan fan, trafonun ısınma probleminin önüne geçebilmek için 220 volt AC ile çalışan bir pano fanıdır. Trafo çıkışından aldığımız 220 volt ile beslenmektedir.

### 6.3.5.3 Konnektörler ve kablolar



**Şekil 6.38** Hat Dönüştürme Birimi Konnektörleri

Panoda enerjinin alındığı yer dişi, verildiği yer erkek olmalı mantığı ile 3 faz erkek konnektörü ile 380 volt 3 faz hattından enerji alırsınız. Karışıklığın önüne daha fazla geçebilmek adına enerji alınan şehir şebekesine bağlanacak konnektör kırmızı, 220 volt 3 faz konnektörü ise mavi seçilmiştir. Kullanılan kablo ve konnektörler Şekil 6.38’de gösterilmektedir.

5 lik Nyaf kablo ile kabloya enerji kaybının önüne geçilir. Aynı zamanda panonun iç plakası 5 lik nyaf topraklama kablosu ile topraklanmıştır.

220 volt 3 faza dönüştükten sonra ise dişi 3 faz konnektörü ile enerji sağlanır.

220 volt monofaz çıkışına da sahip olan panoya, bilgisayar ve veri toplama birimi de bağlanabilir.

Açma/kapama şalteri ile ana hatta gitmeden tüm birimin enerjisi açılıp kapanabilir.

### 6.3.6 Acil durum kumandası



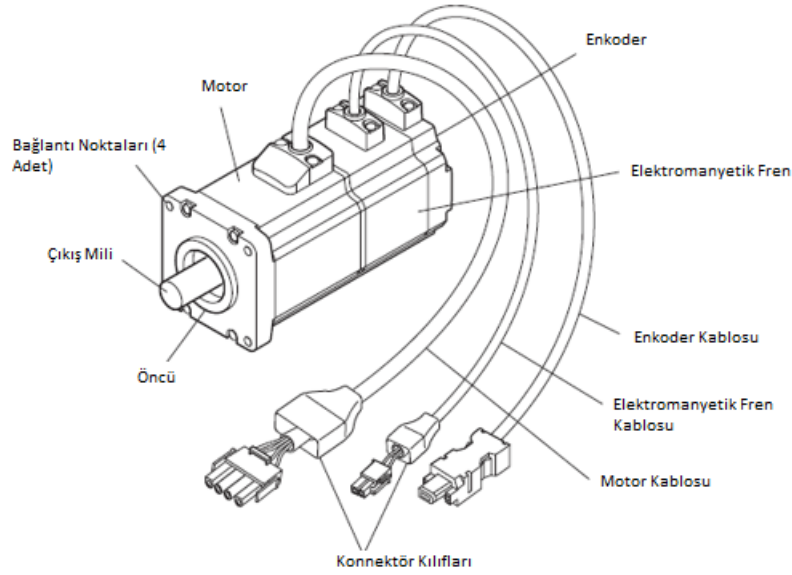
**Şekil 6.39** Acil Durum Kumandası

Şekil 6.39'da görüldüğü üzere, üst sırada bulunan lamba, sınır düğmesine varıldığını veya kontrolcünün hata uyarısı verdiğini kullanıcıya göstermektedir.

Üst sırada bulunan düğme, acil veya acil olmayan durumlarda dairesel hareket motorunun durmasını sağlamaktadır.

Alt sırada bulunan düğme, acil veya acil olmayan durumlarda doğrusal hareket motorunun durmasını sağlamaktadır.

## 6.4 Motorlar



**Şekil 6.40** Kullanılan Pozisyonlama Motorlarının Yapısı[10]

Kullanılan motorun yapısı Şekil 6.40'da gösterilmektedir.

### 6.4.1 Dairesel hareket motoru

- Çıkış Gücü: 400 Watt
- Maksimum izin verilen hız:3000 tur/dakika
- İzin verilen tork:25.4 Nxm Maksimum tork:76.2 N·m Redüktör oranı: 1/25
- Algılayıcı: Mutlak enkoder(1 turda 20bit, çoklu turlarda 16 bit)
- Çözünürlük:100 to 100000P/R (bir turdaki darbe sayısı)
- Besleme Voltajı: 3 faz 200-230VAC 50/60Hz
- Kapalıyken devreye giren elektromanyetik fren

### 6.4.2 Doğrusal hareket motoru

- Çıkış Gücü: 100 Watt
- Maksimum izin verilen hız:3000 tur/dakika
- İzin verilen tork:2.86Nxm Maksimum tork:8.59N·m Redüktör oranı: 1/10
- Algılayıcı: Mutlak enkoder (1 turda 20bit, çoklu turlarda 16 bit)
- Çözünürlük:100 to 100000P/R (bir turdaki darbe sayısı)
- Besleme Voltajı: 3 faz 200- 230VAC 50/60Hz

## 6.5 RS-232-USB Çevirici

RS-232 seri haberleşme kullanan motor kontrolcüsünü, bilgisayarın USB portu üzerinden kontrol etmek istediğimiz için RS232-USB çeviriciye ihtiyaç duyulmuştur.

## 6.6 Kablolar ve Konnektörler

Kullanılan kabloların gürültüden etkilenmemesi ve voltaj düşümünün minimum olması hedeflenmiştir. Bu da; ekranlı (iletken folyo kaplı) kablo hatları, altın uçlu bağlantı elemanları, iletken bağlantı elemanları, hareket kabiliyetindeki düşüşün en uygun seviyede olacağı kadar kalın kablo hatları kullanılarak sağlanmıştır.

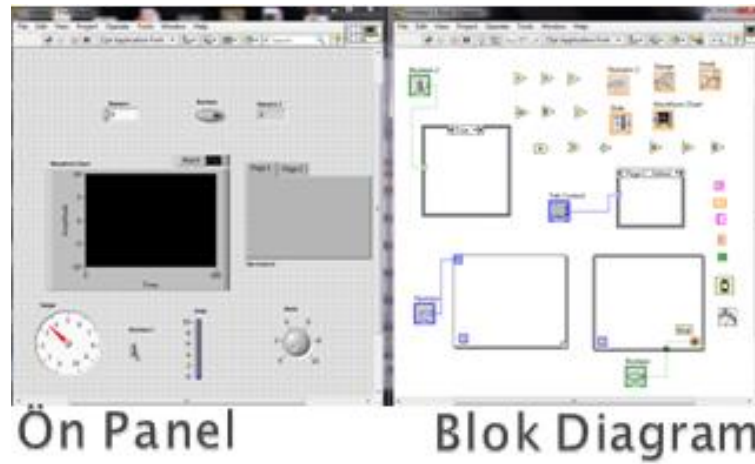
- 220V Güç Konnektörü (Gürültü Filtresi),
- 220V Güç Kablosu
- Usb A-B Veri Kablosu
- Usb A-A Panel Uzatma Kablosu
- RS-232-Usb Çevirici
- Usb Uzatma Kablosu
- 3 Faz Erkek-Dişi Uzatma Kablosu
- 3 Faz Dişi Konnektör
- 3 Faz Erkek Konnektör
- 1 Faz Dişi Konnektör
- Enkoder Kablosu
- Motor Besleme Kablosu
- Elektromanyetik Fren Kablosu
- I/O Kablosu ( Limit Düğmeleri, Durdurma Düğmesi ve Uyarı Işığı)
- Kumanda I/O Kablosu(Durdurma Düğmesi ve Uyarı Işığı)
- Kuvvet Denge Algılayıcısı Besleme ve Sinyal Kablosu
- Genel Kablaj Kabloları

## 7 DENEY DÜZENEĞİ YAZILIMI(LABVIEW®)

Labview®, ön panel ve blok diyagramdan oluşan VI(Virtual Instrument) olarak adlandırılan Şekil 7.1’de gösterildiği gibi bir yapıya sahip programdır.

Ön panele veya blok diyagrama eklenen parçacıklar, eş zamanlı olarak diğerinde de belirmektedir.

Kontrollere ve göstergelere blok diyagramda yapılan işlemler, ön panele yansımaktadır. Uygulama, ön panel üzerinden kullanılır.



Şekil 7.1 Deney Düzenegi Yazilimi Ön Panel ve Blok Diyagram Örneği

### 7.1 Labview® Tanıtımı

#### 7.1.1 Labview® tanıtımı (ön panel)

##### Dekorasyonlar

Yazılar, fotoğraflar ve dâhili görsel tasarım detayları (kabartmalar, çerçeveler, vb.) eklenebilir. Kullanıcı dostu bir HMI(Human Machine Interface) tasarımında görsel tasarım önemlidir.

##### Konteynerler

Etiket(Tab) adı verilen konteynerler, aynı zamanda kontrol değişkeni olarak da kullanılırlar. Bu pencereler, kullanıcının seçimine göre belirlenen içerikleri gösterirler. Etiket, kontrol değişkeni olarak blok diyagramda “case” yapısı ile kullanılır ise, pencere seçimine göre farklı işlemler gerçekleştirilebilir.

## **Girdiler**

Düğmeler: Görsel olarak birçok çeşit düğme seçeneği bulunmaktadır. Aynı zamanda bu düğmelere 6 ana mekanik işlem atanabilir. Bunlar;

- Basıldığında, bırakıldığında veya bırakılana kadar aktif ol,
- Basıldığında, bırakıldığında veya bırakılana kadar tersine dön.

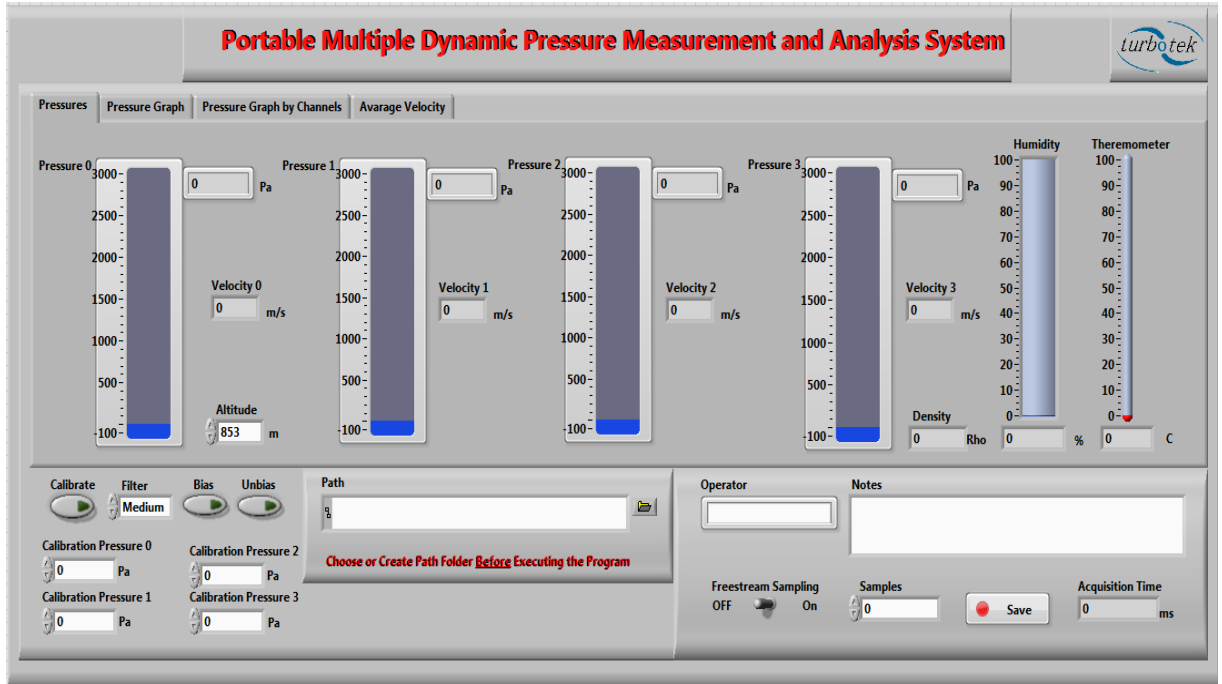
Kontrol Değişkenleri: Dizgi veya element olmak üzere çeşitli türlerde("string", "integer", "boolean", vb.) girdiler, çeşitli yollar ile (kontrol barları, kontrol kutucukları, kontrol potları, vb.) kullanılabilirler. Aynı zamanda iletişim protokolü girdileri gibi özelleşmiş girdiler de kullanılabilirler.

## **Çıktılar**

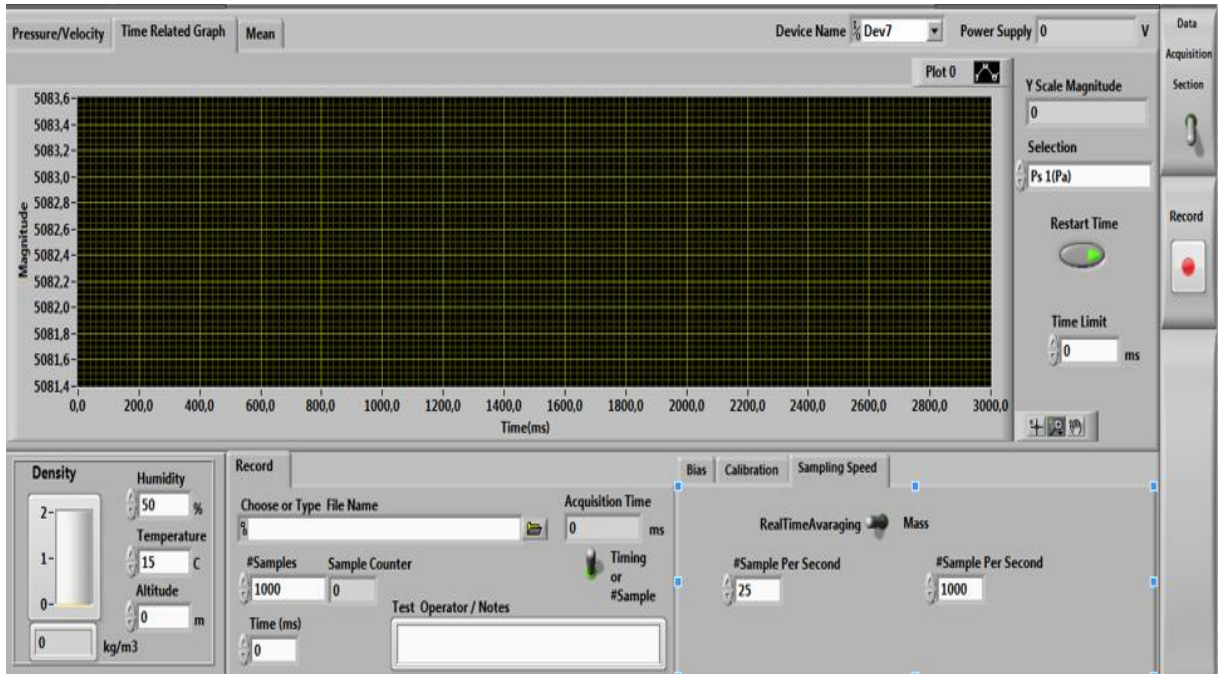
Grafikler: XY grafikleri, X-veri grafikleri ve çizelgeler kullanıcıya sunulabilir. Bu grafikler üzerinde gözlem araçları mevcuttur. Aynı zamanda grafikler bilgisayara JPEG formatında çıktı olarak kaydedilebilir.

Değişkenler: Dizgi veya element olmak üzere çeşitli türlerde("string", "integer", "boolean", vb.) girdiler, çeşitli yollar ile (çıkıtı barları, çıkıtı kutucukları, çıkıtı potları, vb.) çıkıtı olarak gözlemlenebilir. Aynı zamanda iletişim protokolü çıkıtıları gibi özelleşmiş çıkıtılar da kullanılabilirler.

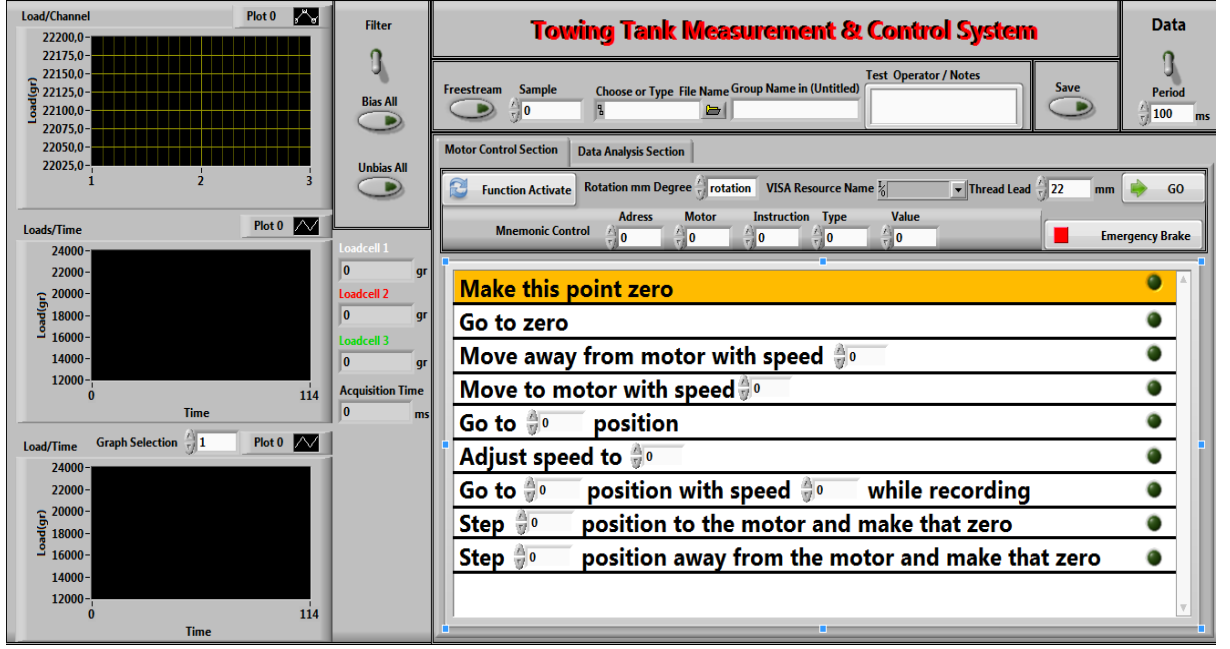
## Labview® ön panel tasarımı örnekleri



Şekil 7.2 Çoklu Ölçüm, Analiz ve Kayıt İçin Tasarlanmış Örnek HMI.



Şekil 7.3 Zamana Bağımlı Çoklu Ölçüm, Analiz ve Kayıt İçin Tasarlanmış Örnek HMI.



**Şekil 7.4** Hareket Kontrolü ve Eş Zamanlı Kuvvet Ölçümü, Analizi ve Kaydı İçin Tasarlanmış Örnek HMI.

Çeşitli HMI tasarım örnekleri Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de gösterilmektedir.



### 7.1.2 Labview® tanıtımı (blok diyagram)

Programın sadeleşmesi için yazı tabanlı kodlamadaki alt rutinlere benzer olarak program alt parçacıkları(subVI) oluşturulabilmektedir. Modüler programlama özelliği ile oluşturulan bir blok diyagram parçacığı alt programa dönüştürülerek başka programlarda da kullanılabilir.

Oluşturulan her ana döngü, programda bir görev olarak açılmaktadır. Bir çekirdekte 2 farklı görev, bağımsız olarak veya öncelikleri belirlenerek çalıştırılabilmektedir.

Labview® yazılım tasarımında seçilen mimari türü önem arz etmektedir. Mimari türleri programın temel yapısı ve kullanım amacına göre belirlenmektedir. Bununla beraber büyük boyutlu yazılımlarda birçok mimari türü birleştirilerek en uygun mimari açığa çıkmaktadır.

Birkaç temel mimari türü aşağıdaki gibidir;

- Temel Tasarım Mimarileri
  - Durum Makinesi Tasarım Mimarisi
  - Olay İşleyicisi Tasarım Mimarisi
  - Efendi/Köle Tasarım Mimarisi
  - Üretici/Harcayıcı Tasarım Mimarisi
- Orta Düzeyde Tasarım Mimarileri
  - Sıralı Mesaj İşleyicisi(QMH) Tasarım Mimarisi
  - Sıralı Durum Makinesi(QSM) Tasarım Mimarisi
  - Aksiyon Motoru(AE)
- İleri Tasarım Mimarileri
  - Nesne Yönelimli Tasarım Mimarisi
  - Aktör Yönelimli Tasarım Mimarisi

## **Yapılar**

“For”, “While”, “If-Case”, Süreli Yapı(Timed Loop), Sıralı Yapı(Flat Sequence) ve benzeri yapılar pencere yapısı ile kurulmaktadır. Açılan ilgili pencerenin içerisinde tasarlanan işlemler o yapıda işlem görmektedir.

## **Sayısal işlemler ve karşılaştırmalar**

Matematiksel işlemler için tanımlanmış fonksiyonlar bulunmaktadır. İlgili matematiksel işlemlerin çıktıları da kullanıma göre değişkenlik gösterir. Örneğin karşılaştırma işlemleri, boolean türünde çıktı vermektedir.

## **Mantıksal işlemler ve karşılaştırmalar**

“And”, “Or”, “Xor”, “Xnor”, “Not” gibi “Boolean” türünde değişkenlere uygulanan mantıksal işlemler bulunmaktadır.

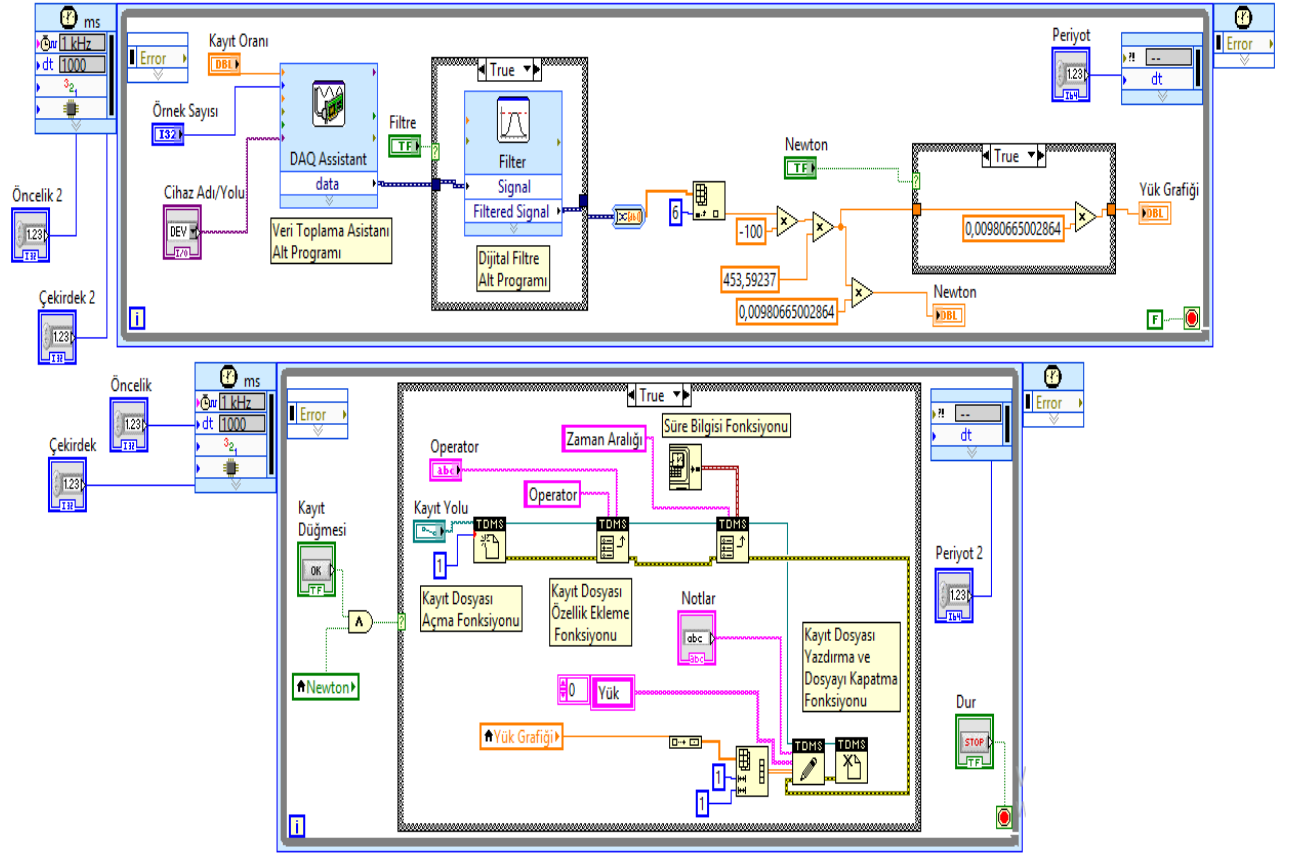
## **Dizgi işlemleri**

Dizgiye ekle, dizgiden çıkar, sırala, boyut değiştir, boyut çıktısı ver gibi dizgi işlemleri mevcuttur. Bunlar kendi sinyal modellerimizi oluşturabilirken, hazır sinyal modelleme ve işleme fonksiyonları da kullanabiliriz.

## **Bağlantılar**

İşlemler ve değişkenler arasındaki bağlantılar, ilgili birimler arası çizilen hatlar ile oluşturulmaktadır. Aynı zamanda Yerel(Local) ve Genel Çapta(Global) değişkenler ile bağlantı kurulabilmektedir.

## Labview® blok diyagram tasarımı örnekleri

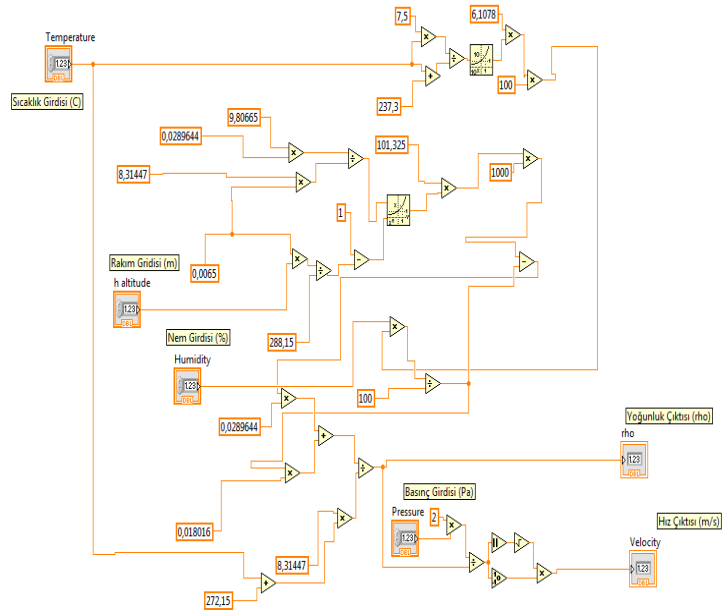


**Şekil 7.5** 2 Döngü ile 2 Çekirdekte, 2 Farklı Görev İşleten HMI Blok Diyagramı Tasarımı

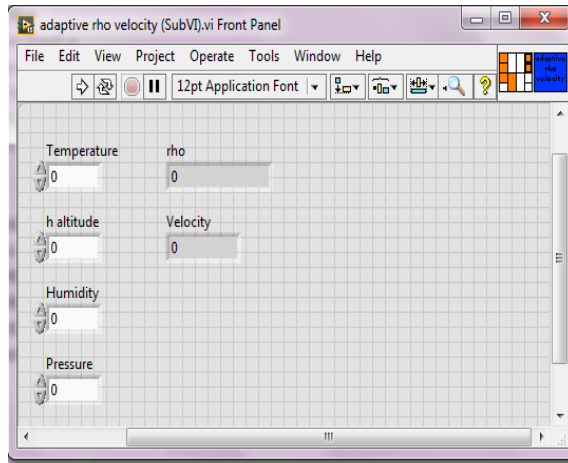
2 döngü ile 2 çekirdekte, 2 farklı görev işleten HMI için blok diyagram tasarımı Şekil 7.5'te gösterilmektedir.

SubVI blok diyagram tasarımı Şekil 7.6'da, SubVI ön panel tasarımı Şekil 7.7'de gösterilmektedir.

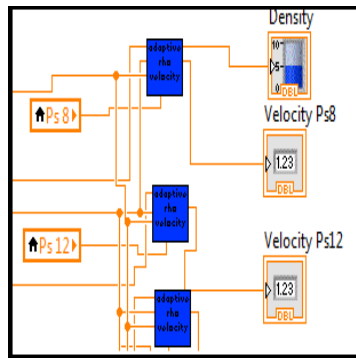
Hazırlanan subVI'ın başka bir programda kullanımı Şekil 7.8'de gösterilmektedir.



**Şekil 7.6** SubVI Blok Diyagramı Tasarımı

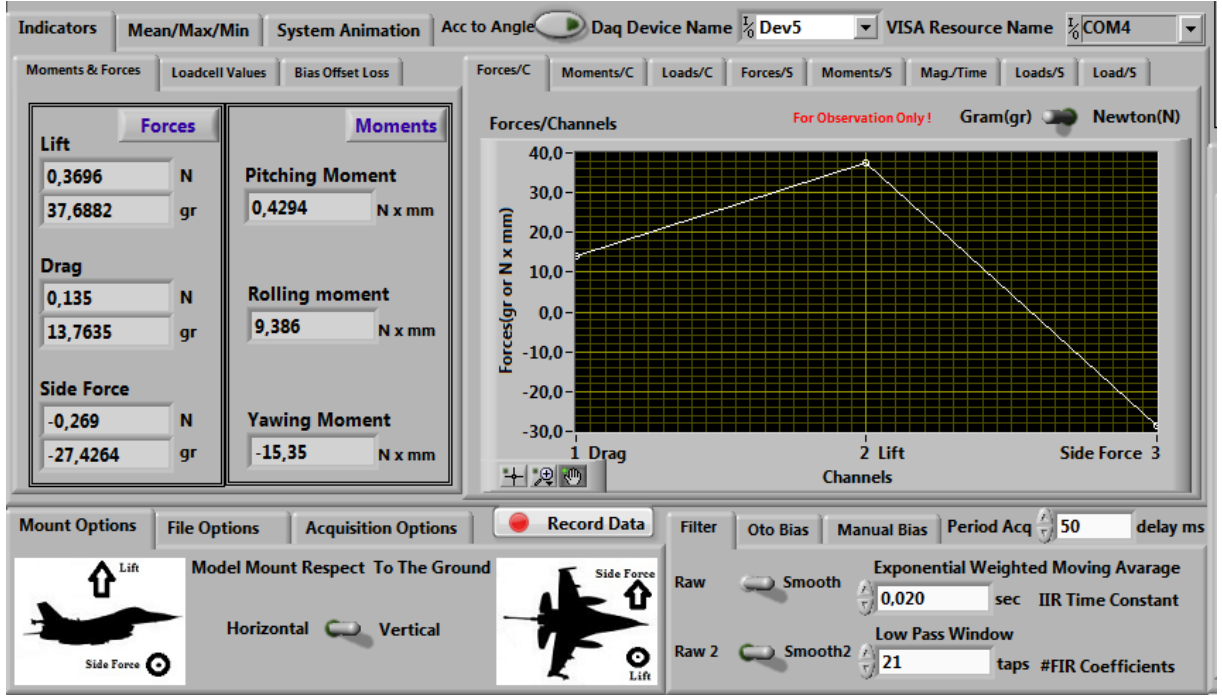


**Şekil 7.7** SubVI Ön Panel Tasarımı



**Şekil 7.8** Başka Bir VI Blok Diyagramında Hazır SubVI Kullanımı

## 7.2 Arayüzün veri toplama ve analiz kabiliyetleri



Şekil 7.9 Arayüzün Veri Toplama ve Analiz Kabiliyetleri(1)

Şekil 7.9'da gösterilen arayüzün veri toplama ve analiz biriminin ana başlıkları aşağıdaki gibidir;

- Göstergeler(Indicators), Ortalama(Mean)/Maksimum(Max)/Minimum(Min), Sistem Animasyonu(System Animation) başlıklarını içeren bir panel,
- Bağlantı Seçenekleri(Mount Options), Dosyalama Seçenekleri(File Options), Veri Toplama Seçenekleri(Acquisition Options) başlıklarını içeren bir panel,
- Filtre(Filter), Otomatik Dara(Oto Bias), Manuel Dara(Manual Bias) başlıklarını içeren bir panel ve
- Visa Formatında Kaynak İsmi(Visa Resource Name), Veri Toplama Cihazı İsmi(DAQ Device Name), Açığa Bağımlı(Acc to Angle), Veri Kaydı(Record Data) ve Veri Toplama Periyodu(Period Acq) kontrollerinden oluşmaktadır.

Şekil 7.9'da görüldüğü üzere Göstergeler(Indicators) kısmı, kendi içerisinde çeşitli grafikler ve göstergeler barındırır. Bunlar gram ve Newton cinsinden kuvvetler ve moment göstergeleri, kuvvetler-kuvvet kanalı grafiği, momentler-moment kanalı grafiği, algılayıcı yükleri-algılayıcı kanalı grafiği, kuvvetler-veri grafiği, momentler-veri grafiği, seçilen büyüklük- zaman grafiği, algılayıcı yükleri-veri grafiği ve seçilen algılayıcı yükü-veri grafiği gibi göstergeler ve grafiklerdir.

Bu grafikler “Gram” veya “Newton” cinsinden seçilebilir ve kullanıcının kolay algılayabilmesi amaçlı renklendirilmiş olup, analizi kolaylaştırmak, çeşitlendirmek ve kolay hata tespiti amaçlı yapılmıştır.

Bağlantı seçeneği(Mount options), sisteme bağlanan modelin türüne ve deneyin türüne göre Dikey(Vertical) veya Yatay(Horizontal) olarak seçilebilir. Bu seçime göre bütün göstergeler yenilenmektedir.

IIR(Infinite Impulse Response) ve FIR(Finite Impulse Response) filtre seçenekleri ile çeşitli dijital filtreleme kombinasyonları seçilebilir. IIR filtre için üstel ağırlıklı hareketli ortalama kullanılmış ve zaman sabiti değiştirilerek filtre etkisi ayarlanabilir hale getirilmiştir. FIR filtre için ise alçak geçiren filtrenin pencere türü kullanılmış “tap” katsayısına göre filtre etkisi değiştirilebilir hale getirilmiştir. Bunun kullanıcıya sunulmasının sebebi dinamik veya statik uygulamalarda bilinçli olarak değiştirilebilir olması gereksiniminden dolayı ve yapılan deneyde filtrenin de etkisinin hesaba katılabilmesi amaçlıdır.

Veri kaydı(Record data) düğmesi kimi otomatik uygulamada kendisi aktif olurken, istenildiği zaman da Dosya Seçenekleri(File Options) ve Veri Toplama Seçenekleri(Acquisition Options) belirlendikten sonra el ile kayıt başlatmak içindir.

Açıya bağımlı(Acc to Angle) düğmesi, değiştirilen algılayıcı açısına göre akış yönünün bağımlı olarak hesaplanması amaçlı olup, algılayıcının, 360 derece verim testi ve bazı havacılık testlerinde kullanılır.

Veri Toplama Cihazı İsmi(DAQ Device Name) ve Visa Kaynak İsmi(Visa Resource Name) bilgisayara bağlı olan veri toplama cihazının hangisi olduğunu ve RS232 motor kontrol portunun hangisi olduğunu programa tanıtmak amaçlıdır.

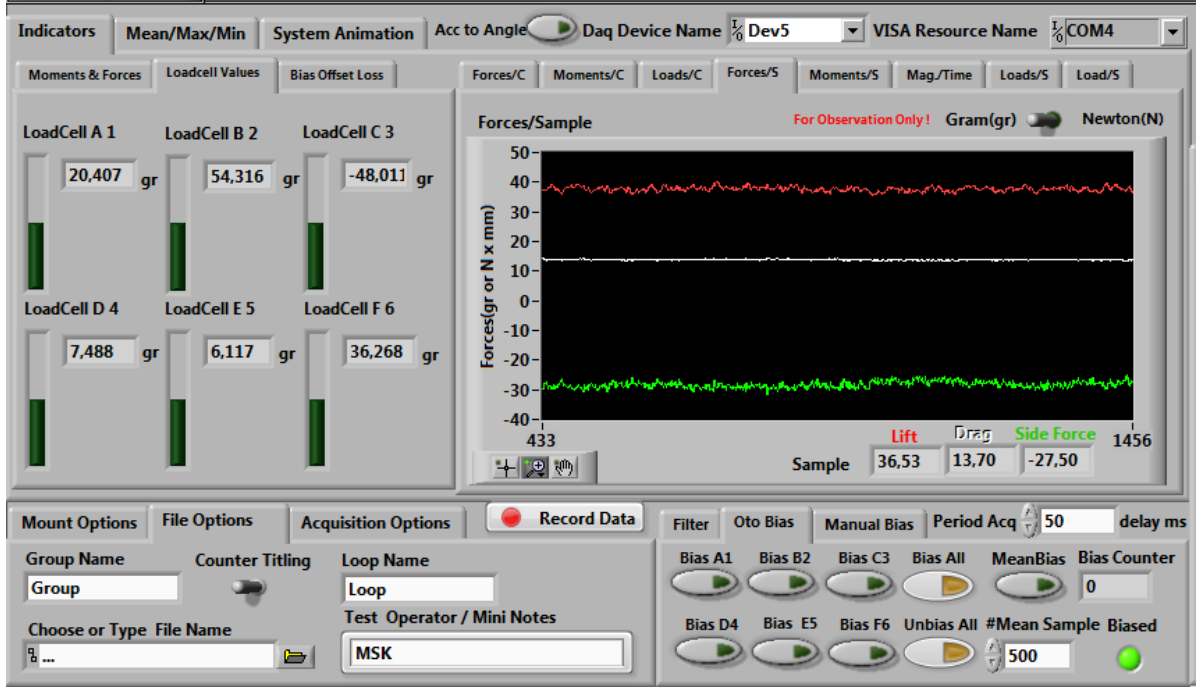
Veri Toplama Periyodu(Period Acq), Veri Toplama Seçenekleri(Acquisition Options) üzerinden kullanıcının yaptığı düzenlemeye göre otomatik olarak değişen, fakat kullanıcının belirli uygulamalarda görmesinin faydalı olabileceği bir göstergedir.

Şekil 7.9'daki Kuvvetler(Forces)/Kanallar(Channels) grafiğinde, Sürtünme(Drag), Taşıma(Lift) ve Yanal Kuvvet(Sideforce) kuvvetleri ile seçeneğe göre gram veya Newton büyüklükleri gözlemlenebilmektedir. Bu grafik ile kuvvet dağılımı, kuvvet katsayıları ve verimlilik analizi yapılabilmektedir.

Aynı zamanda bütün kuvvet ve momentler, gram ve Newton cinsinden göstergelerde gözlemlenmektedir.

Dikey bağlama seçeneği ile bağlanmış bu modelde, resimler ile bir hava aracının nasıl bağlandığı gözlemlenerek bağlantı seçilmelidir. Yanal kuvvet (Sideforce), Sürüklenme Kuvveti(Drag), Taşıma Kuvveti(Lift), Yunuslama (Pitching) momenti, Yuvarlanma (Rolling) momenti ve Yalpa (Yawing) momenti aynı zamanda gözlemlenebilmektedir.

Pürüzsüz(Smooth) seçeneği ile iki filtre de aktif halde kullanılmaktadır. 0.020 saniye IIR(Infinite Impulse Response) zaman sabiti ve 21 Musluk(Tap)'tan oluşan FIR filtresi aktifleştirilmiştir.



**Şekil 7.10** Arayüzün Veri Toplama ve Analiz Kabiliyetleri(2)

Şekil 7.10'da yer alan Yük Hücreleri Değerleri(Loadcell Values) adlı kısımda, düzenekte bulunan yük hücresi algılayıcılarının, ayrı ayrı değerlerini gözlemlenerek kuvvet ölçüm düzeneğinin hata tespiti ve genel analizi yapılabilmektedir.

Kuvvetler/Veriler(Forces/Sample) grafiğinde de düzenekteki kuvvetler gözlemlenebilmektedir. Böylelikle hangi ekseninde daha fazla kuvvet yoğunluğu olduğu ve titreşimin düzeyini gözlemlenebilmektedir.

Dosya Seçenekleri(File Options) kısmından ise Grup İsmi(Group Name) veya Döngü İsmi(Loop Name) seçeneği Sayaç Başlıklama(Counter Titling) düğmesi ile seçilebilmektedir.

Bazı uygulamalarda otomatik olarak grup veya döngü seçilmektedir. Grup seçeneği bütün verilerin toplandığı sayfa ismidir. Döngü seçeneği ise otomatik olarak belirlenen sayfaların başlığıdır. Otomatik döngü ismi verilen uygulamalarda grup veya döngü ismi girdisi, deneyin aşamasını belirlemek için kullanılmaktadır. Örneğin "30m/s hız, 20 derece açı".

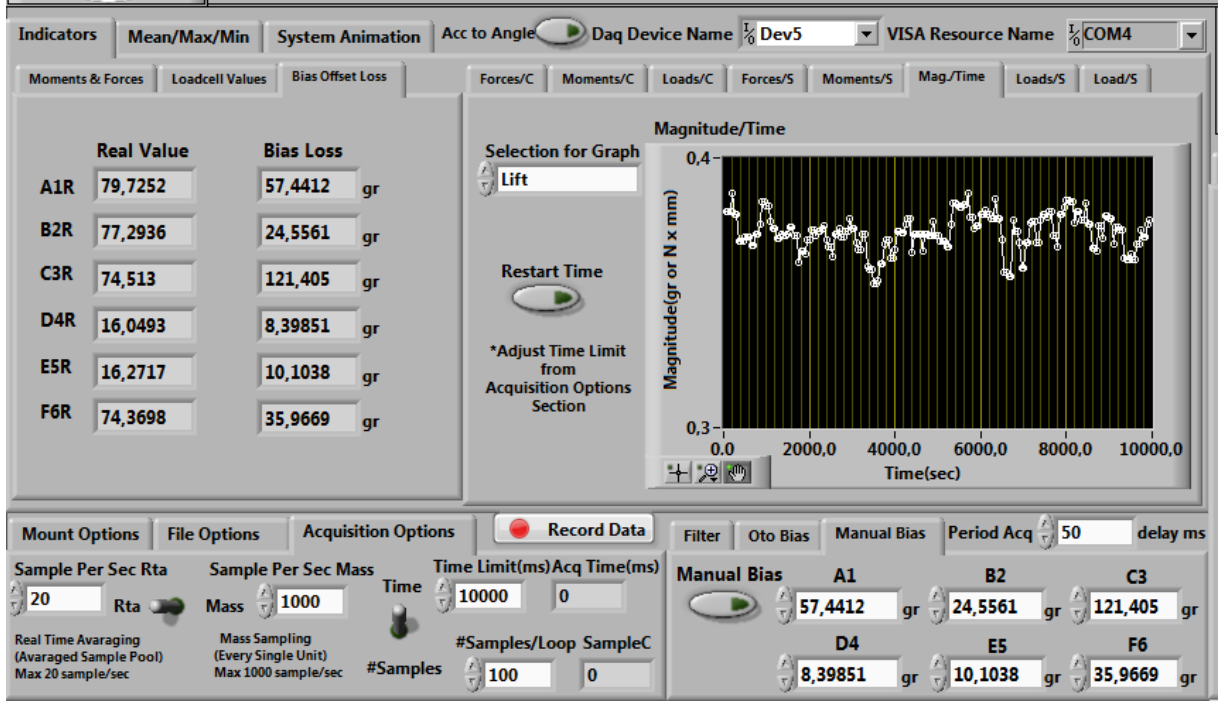


Ana dosya ismi, Dosya İsmi Yaz veya Dosya Seç(Choose or Type File Name) başlığından belirlenmektedir. Burada ister yeni dosya oluşturma, ister var olan dosyaya ek kayıt yapma seçeneği bulunmaktadır.

Test Operatörü/Ufak Notlar(Test Operator/Mini Notes) kısmında operatör ismi veya deneyin ne deneyi olduğuna dair bilgi eklenebilmektedir. Bu bilgi, kayıt yapılan dosyada ana başlıklardandır. Örneğin “3 numaralı kanadın dinamik kuvvet deneyi”.

Otomatik Dara Alma(Oto Bias) kısmında her bir algılayıcının ayrı ayrı dara alma düğmeleri, hepsini aynı anda dara almak amaçlı düğme, hepsinin dara işlemini iptal etme düğmesi bulunmaktadır. Bununla birlikte, Ortalama Dara Alma(Mean Bias) isimli düğme ortalama dara hesabı için Örnek Sayısı(#mean Sample) girdisi doğrultusunda bir süre topladığı anlık verilerin ortalaması ile dara işlemini gerçekleştirir. Bunun amacı kullanıcının, anlık dara değerini, elektriksel salınımın uç noktalarında almasını engellemek ve sağlıklı bir dara verisi elde etmektir. Sonrasında bu dara verileri, her döngüde alınan veriden çıkarılarak darası alınmış veri olarak kullanıcıya sunulur.

Herhangi bir dara işlemi yapıldığında, kullanıcının haberi olması için Darası Alındı(Biased) gösterge ışığı yeşile döner. Ortalama dara alınırken, Dara Sayacı(Bias Counter) ortalama örnek sayısı kadar saymaya başlar ve kullanıcı bu sayede sisteme dokunmaması gerektiğini veya bir değişiklik yapmaması gerektiğini bilir.



Şekil 7.11 Arayüzün Veri Toplama ve Analiz Kabiliyetleri(3)

Şekil 7.11’de gösterildiği üzere Dara Eksiltme Çıkıntısı (Bias Offset Loss) kısmında dara alındığı zaman, gerçek veri ile birlikte, gerçek veriden dara verisi olarak çıkarılan değerin miktarının gözlemlenebilmesi amaçlıdır.

Bu veri, Elle Dara Alma (Manual Bias) kısmında gerekebilmektedir. Elle Dara Alma kısmında, her bir algılayıcı için girilen veriye göre dara alınabilmektedir. Bunun amacı, sistemin tekrar başlatıldığı veya dara bilgisinin kaybedildiği durumlarda, önceden belirlenmiş dara verilerinin kullanılabilmesi ile veya daha karışık uygulamalarda istenilen dara bilgisinin elle girilebilmesi içindir. Bu dara verisinin kullanılması isteniyorsa Elle Dara Alma(Manual Bias) düğmesinin aktifleştirilmesi gerekmektedir.

Veri Toplama Seçenekleri(Acquisition Options) sekmesinde, Saniyede Alınan Veri(Sample Per Sec) Gerçek Zamanlı Ortalama(RTA) ve Saniyede Alınan Veri(Sample Per Sec) Toplu(Mass) seçenekleri bulunmaktadır. Bu seçenekler iki seçeneğin ortasında bulunan düğme ile seçilir.

Gerçek Zamanlı Ortalama(RTA) seçeneği, en fazla saniyede 20 örnek almaktadır. Fakat bu örnekler ortalaması alınmış, temizlenmiş ve çeşitli ek özelliklere sahip örneklerdir. Her döngüde bir adet örnek oluşturulur. Bu sayede her bir örneğin

kaçıncı saniyede alındığı, motor pozisyonu gibi seçenekler de kayıt edilebilir. Az sayıda(saniyede 20 adet) veri toplanmasının problem olmayacağı uygulamalarda tercih edilmektedir.

Toplu(Mass) seçeneği ise veri toplama cihazının sınırlarını zorlamaya yöneliktir. Veri toplama cihazının saniyede verebildiği, sağlıklı, en çok örnek toplanır(saniyede 1000). Bunlar temizlense de, bazı özelliklerden(her örneğin hangi saniyede alındığı verisi, motor pozisyon verisi, veri toplama zamanı verisi) uzaktır.

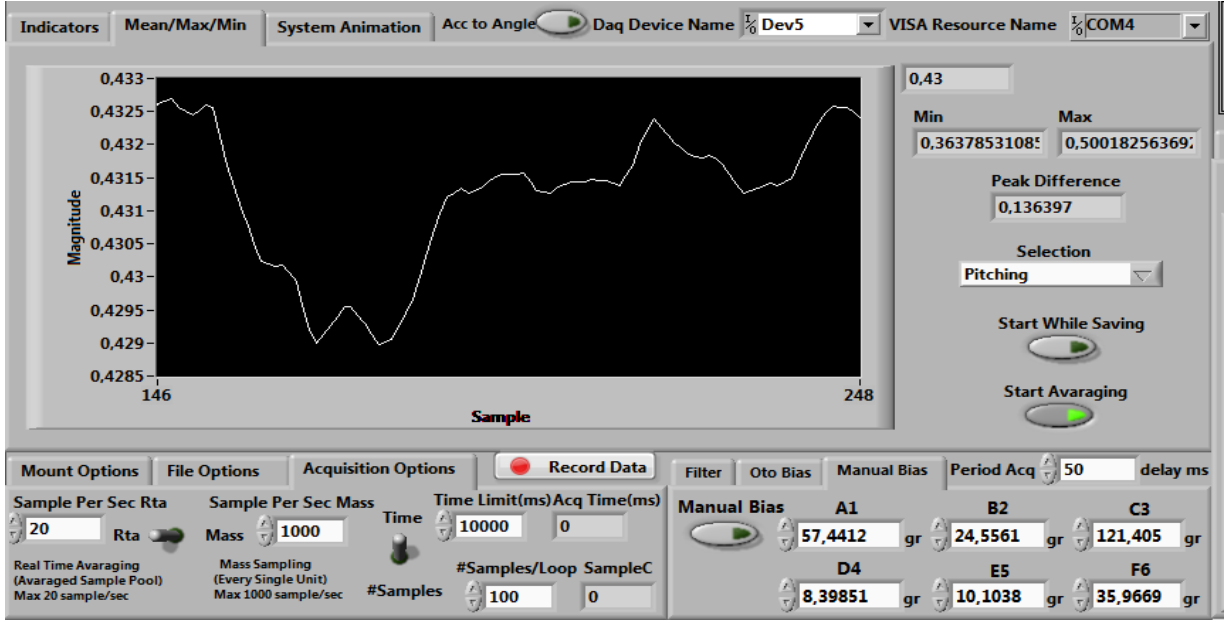
Her iki seçenekte de transfer fonksiyonları uygulanmaktadır. Fakat RTA da her döngüde uygulanırken, Toplu(Mass) seçeneğinde veriler toplandıktan sonra kayıt etmeden hemen önce transfer fonksiyonundan geçirilerek kuvvet verileri oluşturulur.

Girilen veri hızına göre Veri Toplama Periyodu (Period Acq) göstergesindeki bekleme süresi belirlenir. Bununla birlikte grafikler ve göstergeler de yavaşlar. (Grafikler ve göstergeler Toplu(Mass) seçeneğinde olsa da her döngüde bir yenilenir ve RTA verilerini gösterir.)

Zaman/Veri (Time/Samples) düğmesi, verinin kaydının ne kadar süreceği veya kaç adet veri toplanacağı seçeneğini kullanıcıya sunar. Aynı zamanda veri sayısı ve kayıt süresi de Veri Toplama Süresi (Acq time(ms)) ve Veriler (Samples) kısmından gözlemlenebilir.

Büyükük/Zaman(Mag/Time) kısmında bulunan grafik, Grafik İçin Seçim (Selection For Graph) sekmesindeki seçilmiş seçeneğin büyükük-zaman grafiğini gösterir. Bu grafik, Zamanı Yeniden Başlat (Restart Time) seçeneği ile aktif hale gelir veya kayıt anında süreye bağımlı olarak otomatik olarak başlar. Elle başlatılmak istenilen grafikte veri toplama seçenekleri bölümündeki Zaman Limiti(Time Limit) girdisi istenilen süreye göre girilmelidir.

Böylelikle zamana bağılı grafik de elde edilir ve süre bitiminde grafik kaydı yapılabilir.



**Şekil 7.12** Arayüzün Veri Toplama ve Analiz Kabiliyetleri(4)

Şekil 7.12’de gösterildiği üzere Ortalama/Maksimum/Minimum(Mean/Max/Min) isimli bölümde Seçim(Selection) düğmesi ile karar verilen seçimin Minimum(Min), Maksimum(Max) ve Uçlar Arası Fark(Peak Difference) değerleri gözlenir. Büyüklük/Veri(Magnitude/Sample) grafiği ile ise veri akışına göre ortalama büyüklük gözlenir.

Bu gözlemler, Ortalamayı Başlat(Start Avaraging) düğmesine basıldıktan sonra başlar ve tekrar basılarak kapatılana kadar devam eder. Eğer Ortalama Almayı Başlat(Start Avaraging) düğmesine basılmadan önce otomatik hareketlerde yer alan Kayıt Alırken Başlat(Start While Saving) düğmesi de basılı ise kayıt alınırken otomatik olarak ortalama da başlatılır ve kayıt dosyasında ortalama başlığı altında ortalama maksimum ve minimum seçim için kayıt edilir.

Bu bölümde gözlemlenen değerler, ortalama başlat düğmesine basıldıktan sonra her döngüde kayıt edilen dizginin ortalamasının kullanıcıya sunulması algoritması ile oluşturulmaktadır. Ortalamaya başlatıldıktan sonra verinin değişmesi(farklı açılara geçilmesi, tünelin hızının değiştirilmesi, vb.) ortalama değeri de etkileyecektir. Yapılan her değişiklikte, düğmenin kapatılıp tekrar başlatılması gerekmektedir.

### 7.3 Kayıt edilen çıktı örneği

Şekil 7.13'de gösterildiği gibi 10000'er örnekten oluşan kanallar, kayıt dosyasında başlıklar halinde yer almaktadır. Yük Hücresi algılayıcıları, kuvvetler, momentler, minimum, maksimum ve ortalama değerler, kayıt süresi, daralar, doğrusal hareket ve dairesel hareket motorlarının açı değerleri, dinamik ve adım tarama detayları, vb. olmak üzere 38 adet farklı başlık halinde veri kayıtları bulunmaktadır.

Excel dosyası olarak da kullanılabilen TDMS dosya türünde kayıt edilen veriler, Excel üzerinde sonradan işlem görmeye uygundur.

Group	Channels	Description		
Group	38			
Group				
Channel	Datatype	Unit	Length	
Loadcell A1(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Loadcell B2(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Loadcell C3(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Loadcell D4(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Loadcell E5(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Loadcell F6(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Side Force(N)	DT_DOUBLE		10000	
Dreg(N)	DT_DOUBLE		10000	
Lift(N)	DT_DOUBLE		10000	
Yaw(Nxmmm)	DT_DOUBLE		10000	
Roll(Nxmmm)	DT_DOUBLE		10000	
Pitch(Nxmmm)	DT_DOUBLE		10000	
min	DT_DOUBLE		10000	
max	DT_DOUBLE		10000	
mean	DT_DOUBLE		10000	
Time(ms)	DT_DOUBLE		10000	
model Encoder(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Rail encoder(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Angle of DM(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Angle(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Angle 2(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss 2(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss3(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss4(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss5(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Calibration Loss6(gr)	DT_DOUBLE		10000	
Amplitude(mm)	DT_DOUBLE		10000	
Amplitude 2(mm)	DT_DOUBLE		10000	
speed of DM(deg/sec)	DT_DOUBLE		10000	
Angle Upper Limit(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Angle Lower Limit(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Resolution Angle(deg)	DT_DOUBLE		10000	
Cycle	DT_DOUBLE		10000	
Cycle of DM	DT_DOUBLE		10000	
Reference Point Distance(mm)	DT_DOUBLE		10000	
Reference Point Distance 2(mm)	DT_DOUBLE		10000	
Rail Distance (mm)	DT_DOUBLE		10000	

	A	B	
1	Loadcell A1(gr)	Loadcell B2(gr)	Lc
2	92,21599276	76,43579084	
3	91,39821587	76,4989872	
4	91,06635069	76,52875061	
5	90,91221446	76,92115617	
6	90,14862846	76,7764887	
7	90,03768591	76,70067716	
8	90,12181527	76,1798983	
9	90,74446594	75,61017644	
10	91,00929983	75,69579899	
11	91,51722826	76,08623186	
12	91,33874217	76,58664654	
13	91,06234118	76,6843842	
14	91,007091	76,98314225	
15	90,65672934	76,85130137	
16	91,07936846	76,6752101	
17	91,22410918	76,5278616	
18	91,31525977	76,60804366	
19	91,23871264	76,15348	
20	90,90788304	76,152724	
21	90,76431317	76,66100339	
22	90,84525541	77,17602924	
23	90,34138485	77,08770785	
24	90,21144648	77,48090117	

Şekil 7.13 Kaydedilen Çıktı Örneği

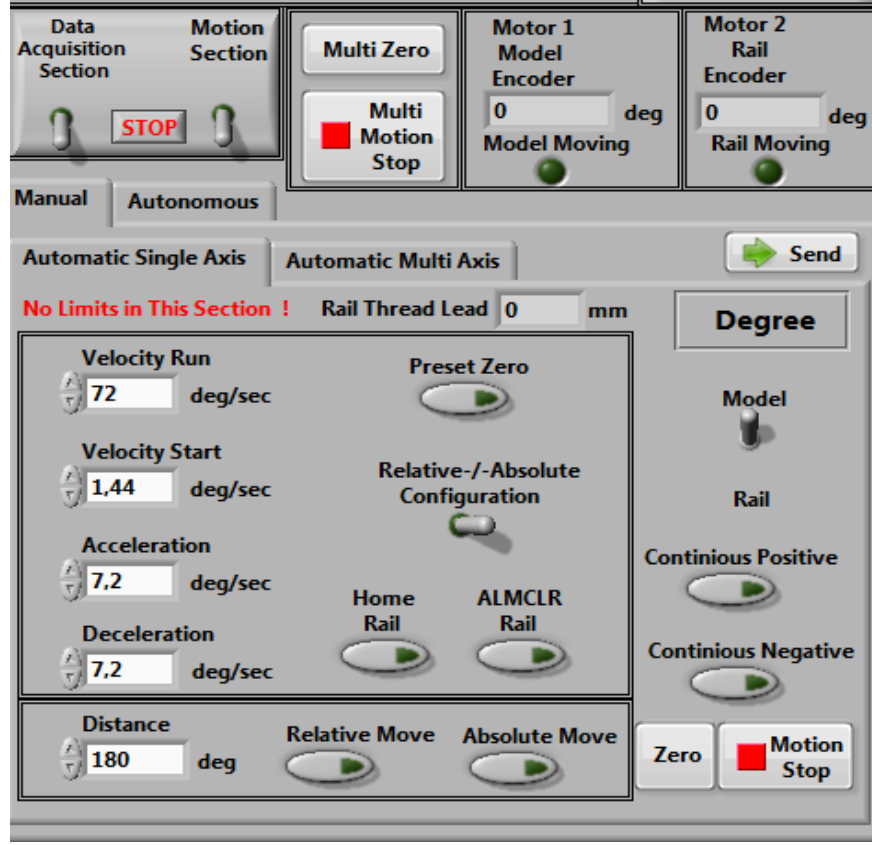
#### **7.4 Arayüzün hareket, kontrol ve otomatik işlem kabiliyetleri**

Hareket sistemimiz 2 adet senkron ve/veya asenkron hareket edebilen, mekanik bağlantı doğrultusunda yunuslama, yalpa veya yuvarlanma hareketini sağlayan, dairesel hareket sağlamak amaçlı motordan ve doğrusal hareket sağlamak amaçlı raya hareket veren motordan oluşmaktadır.

Bu motorların kontrolü Labview® programı ile sağlanacak ve kendi kontrol kutusu olacaktır. USB ile bilgisayara bağlanarak kontrol edilebilecek olan sistem modele gelecek akışı bozmayacak şekilde tünele yerleştirilecektir.

Eğitim amaçlı, akademik amaçlı ve profesyonel olarak da kullanılabilir olan bu sistem birçok tünel kesitine uyum sağlayabilmektedir.

Yüksek hızlara olan dayanımını, yüksek çalışma ve tutma torklarındaki motorlar ve yapısal bütünlüğü ile sağlamaktadır.



**Şekil 7.14** Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(1)

Şekil 7.14'de gösterildiği üzere Dairesel hareket motoru ve doğrusal hareket motorundan oluşan düzenekte, veri toplamayı aktifleştirmek amaçlı Veri Toplama Bölümü(Data Acquisition Section) ve Motor Bölümü(Motor Section) için iki adet düğme bulunmaktadır. Dur(Stop) isimli düğme ile de program tamamen durdurulabilmektedir

Çoklu Sıfır(Multi Zero) düğmesi ile motorlar belirlenmiş "0" pozisyonuna gitmekte ve Çoklu Hareket Durdurma(Multi Motion Stop) düğmeleri ile motorlar durdurulabilmektedir.

Şekil 7.14'de belirtilen 1 Numaralı, Modeli Tutan Motorun Enkoderi(Motor 1 Model Encoder) ve 2 Numaralı, Doğrusal Hareket Motorunun Enkoderi(Motor 2 Rail Encoder) göstergeleri, açısal olarak motorların anlık pozisyonlarını göstermektedir. Dairesel Hareket Motoru Hareket Halinde(Model Moving) ve Doğrusal Hareket Motoru Hareket Halinde (Rail Moving) göstergeleri, motorlar hareket halindeyken yeşil renkte görünmektedir.

Kontrol sekmeleri, Elle(Manual) ve Otonom(Autonomous) olarak ikiye ayrılır. Elle(Manuel) kontrol kısmı da kendi içinde Otomatik Tekli Eksen(Automatic Single Axis) ve Otomatik Çoklu Eksen(Automatic Multi Axis) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

### **Otomatik Tekli Eksen(Automatic Single Axis)**

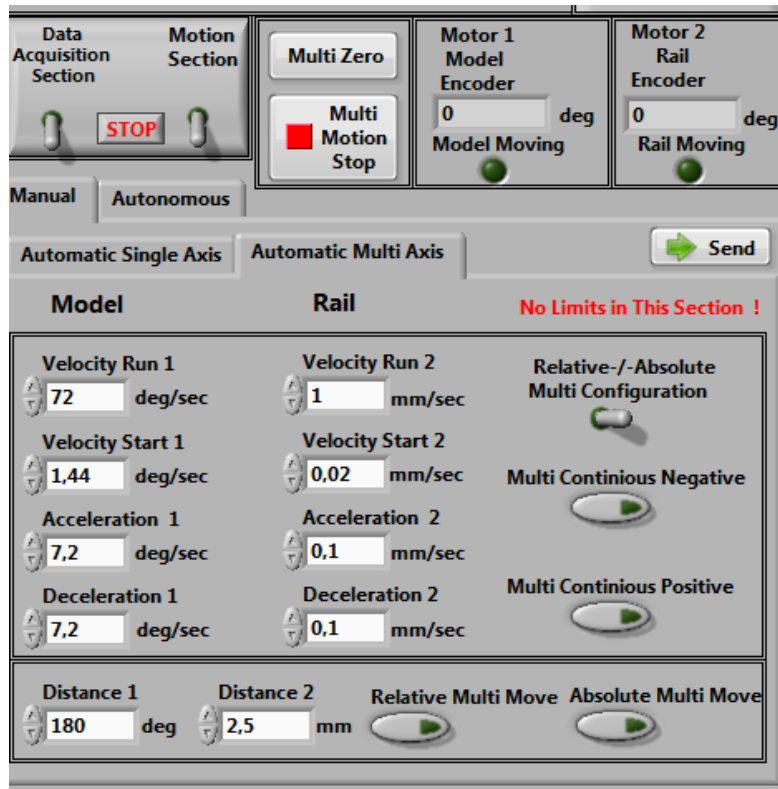
- Otomatik Tekli Eksen(Automatic Single Axis) sekmesinden Model/Ray(Model/Rail) düğmesi ile belirlenen motorun hareketleri sağlanır.
- Bu kısımda yazılımsal limit bulunmamaktadır ve kullanıcının buna dikkat etmesi beklenir.
- Ray Hatvesi(Rail Thread Lead) kullanılan rayın hatvesinin milimetre cinsinden karşılığıdır. Hareket vermek amaçlı sisteme girilen açı ile ne kadar doğrusal hareket sağlanacağı hesaplanabilir
- İlerleme Hızı(Velocity Run), Başlangıç Hızı(Velocity Start), İvmelenme(Acceleration), Yavaşlama(Deceleration) ve Mesafe(Distance) girdileri ile hareket sağlanabilir. Ancak her harekette tüm verileri göndermemek amaçlı olarak Relatif Hareket(Relative Move) ile bulunduğu konuma ek hareket ve Mutlak Hareket(Absolute Move) ile koordinattaki mutlak hareket düğmeleri eklenmiştir. Bunlar ile sadece Mesafe(Distance) verisi gönderilerek belirlenen motor hareket ettirilebilir. Detaylı hareket istenildiğinde ise tüm hareket detaylarını göndermek için yine Relatif/Mutlak Düzenleme(Relative/Absolute Configuration) düğmesinden hareket türü seçildikten sonra Gönder(Send) düğmesi ile detaylı hareket komutu gönderilebilir.
- Sıfıra Eşitle(Preset Zero) düğmesi motorun anlık pozisyonunu sıfır kabul etmesi içindir.
- Doğrusal Hareket Motoru Eve Dön(Home Rail) düğmesi, doğrusal hareket motorunun otomatik olarak "0" pozisyonunu araması ve limit düğmeye ulaştığındaki noktayı sıfır kabul etmesine olanak veren otomatik bir işlem düğmesidir.
- Doğrusal Hareket Motoru İçin Alarm Durumunu Temizle (Alarm Rail) Düğmesi, limit düğmesine varıldığında doğrusal hareket motoru sürücüsünün verdiği hata uyarısının sıfırlanması içindir. Kontrol kumandası üzerinde yanan



kırmızı lamba bu ve bunun gibi alarm durumları içindir ve “Almclr Rail” düğmesi ile bu lamba söner.

- Sürekli Pozitif(Continious Positive) düğmesi, belirlenen motorun sürekli olarak pozitif yönde dönmesini sağlar. Aynı şekilde Sürekli Negatif(Continious Negative) düğmesi, belirlenen motorun sürekli negatif yönde dönmesini sağlar. Bu işlemlerde sınır olmadığı için kullanıcının sınırlara dikkat etmesi gereken işlemlerdir.
- Sıfır(Zero) düğmesi ile belirlenmiş olan motor, sıfır noktasına döner.
- Hareket Durdurma(Motion Stop) düğmesi ile belirlenmiş olan motorun hareketi durur.

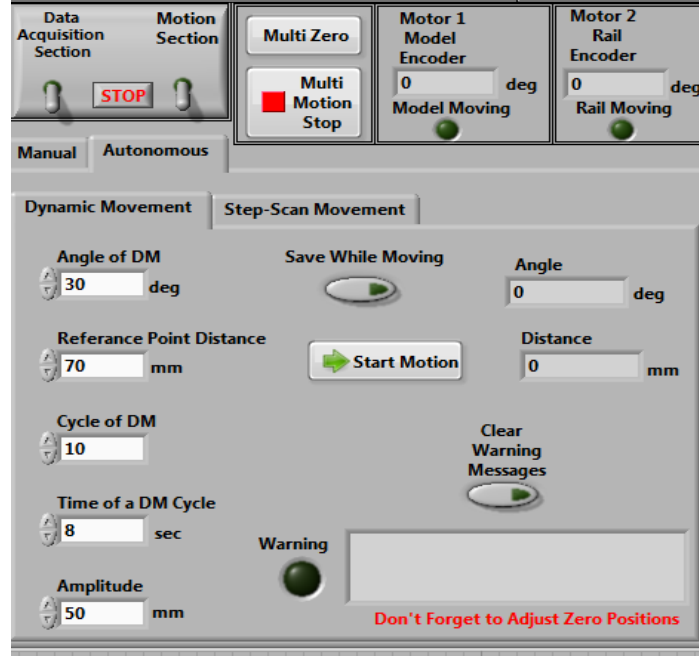
### Otomatik Çoklu Eksen (Automatic Multi Axis)



Şekil 7.15 Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(2)

Otomatik Çoklu Eksen(Automatic Multi Axis) kısmında ise Şekil 7.15’de görüldüğü üzere iki motor için de kontrol seçenekleri mevcuttur. Burada belirlenen girdiler ile iki motorun aynı anda hareket etmesi sağlanır.

Doğrusal hareket motoru için belirlenmiş olan girdiler, Ray(Rail) başlığının altındadır ve hatve verisi hesaplanarak mm/saniye(mm/sec) cinsinden girilmiştir.



**Şekil 7.16** Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(3)

Şekil 7.16'da gösterildiği gibi Otonom(Autonomous) bölümünün altında iki adet başlık bulunmaktadır Bu başlıklar Dinamik Hareket(Dynamic Movement) ve Adım Tarama Hareketi(Step-Scan Movement) dir.

Dinamik hareket bölümünde dinamik deneylerin gerçekleştirilebilmesi için özelleşmiş senaryolar mevcuttur. Bu senaryolar ile ileri düzey akışkan deney ve analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 7.16'da gösterilen dinamik hareket senaryosunda, Dinamik Hareket Açısı(Angle of DM), Referans Noktası Uzaklığı(Referance Point Distance), Dinamik Hareketin Döngü Sayısı(Cycle of DM), Dinamik Hareket Döngüsünün Tamamlanma Süresi(Time of a DM Cycle) ve Yunuslama Hareketinin Genliği(Amplitude) verileri ile belirlenir. Bu veriler girilerek yunuslama hareketi senaryosu gereklilikleri tanımlanmış olur.

Hareket Halindeyken Kayıt Al(Save While Moving) düğmesi aktif iken dinamik hareket başladığı anda kayıt başlar ve bittiğinde kayıt durur. İstenildiği zaman bu düğme kapatılarak sadece anlık analiz de yapılabilir.

Hareketin başlaması için hareket detayları girildikten sonra Harekete Başla(Start Motion) düğmesine basılarak hareket başlatılır.

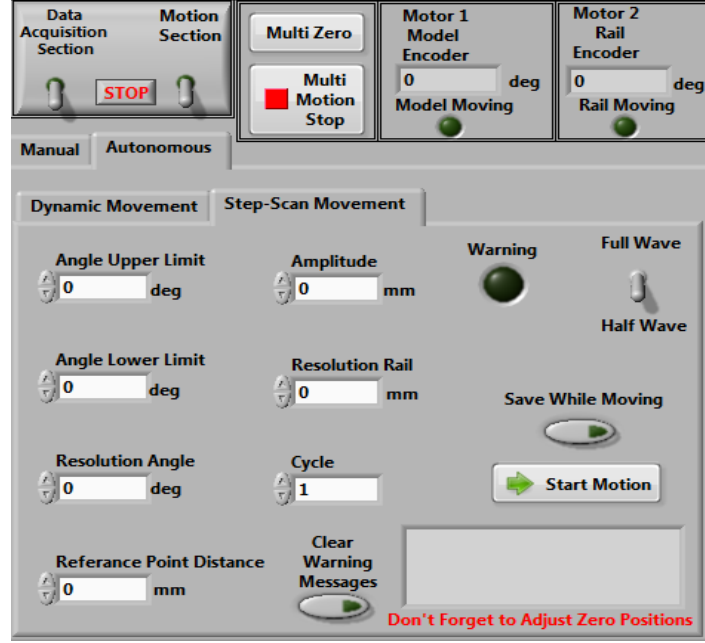
Uyarı(Warning) lambası ve bu lambanın yanındaki uyarı yazısı, sistemin belirlenmiş hareket senaryosunu gerçekleştiremeyeceği anlamına gelir ve nedeni bu bölümde yazar.

Bu uyarılar, sistemin hız ve mesafe sınırlarının yeterli olmaması veya girilen değerlerin uyumluluk problemi doğuracağına kullanıcıya iletilmesi içindir.

Bu uyarı yazısı çıkıp uyarı lambası yandığı zaman, kullanıcı Uyarı Mesajlarını Temizle(Clear Warning Messages) düğmesine basmadan sistem çalışmaya devam etmez.

Açı(Angle) ve Mesafe(Distance) göstergeleri, anlık olarak motorların pozisyonlarını kullanıcıya göstermek için eklenmiştir.

Bu deneylere başlamadan önce, sıfır noktasının doğru bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.



**Şekil 7.17** Arayüzün Hareket Kontrol Kabiliyetleri(4)

Şekil 7.17’de gösterilen Otonom(Autonomous) bölümünün bir diğer sekmesi olan Adım Tarama Hareketi(Step Scan Movement), sistem ve model taraması için kullanılan ve birçok deneyin gerçekleştirilebileceği otomatik hareket senaryolarından biridir.

Bu bölümde belirlenen Açık Üst Limiti(Angle Upper Limit), Açık Alt Limiti(Angle Lower Limit), Dairesel Dairesel Hareket Çözünürlüğü(Resolution Angle), Doğrusal Hareket Çözünürlüğü(Resolution Rail), Döngü Sayısı(Cycle), Referans Başlangıç Noktası Mesafesi(Referance Point Distance) girdileri ile tarama hareketinin detayları girilir.

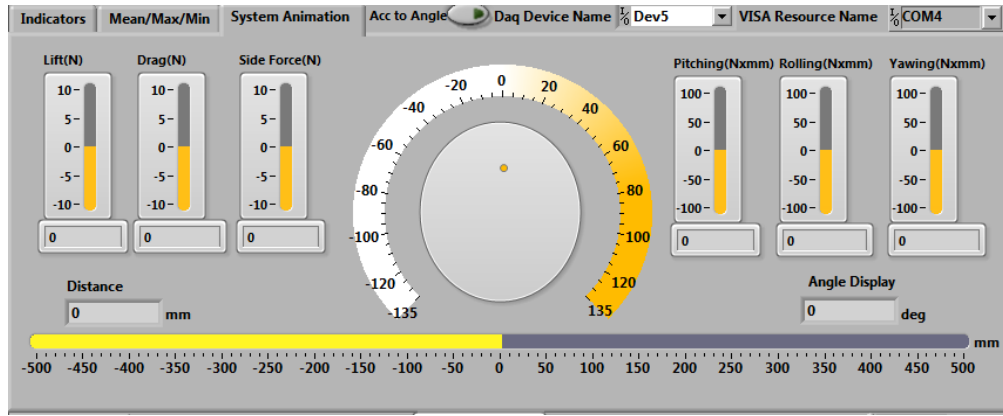
Tam Dalga(Full Wave) ve Yarım Dalga(Half Wave) düğmesi ile hareketin türü belirlenir.

Hareket Halinde Kayıt Et(Save While Moving) düğmesine basılı iken Harekete Başla(Start Motion) düğmesine basılırsa, hareket; belirlenen açı ve mesafe çözünürlüğünde, belirlenen limitler arasında ve belirlenen dalga türü ile başlar. Bu hareket ile açı veya mesafe çözünürlüğünde hareket ettikten sonra belirlenmiş sayıda veya sürede veri toplanıp bir sonraki adıma geçilir. Böylelikle belirlenen her açı ve mesafe ile tarama deneyleri otomatik olarak sağlanmış olur.

Bu hareket senaryosu ile verimli bir veri toplama deneyi gerçekleştirilmiş ve otomatik işlem kabiliyeti ile de, veri güvenilirliği operatörün dikkatine bırakılmamış olur.

Uyarı(Warning) lambası ve uyarı yazısı bölümü, sistemin sınırlarının dışına çıkıldığı zaman veya istenilen konfigürasyonun deneye uygun olmadığının kullanıcıya gösterilmesine olanak verir. Uyarı mesajının silinmesi, uyarı lambasının sönmesi ve harekete baştan devam edebilmek için, Uyarı Mesajlarını Sil(Clear Warning Messages) düğmesine basılması gerekmektedir.

Bu deneylere başlamadan önce sıfır noktasının doğru bir şekilde ayarlanmış olması gerekmektedir.



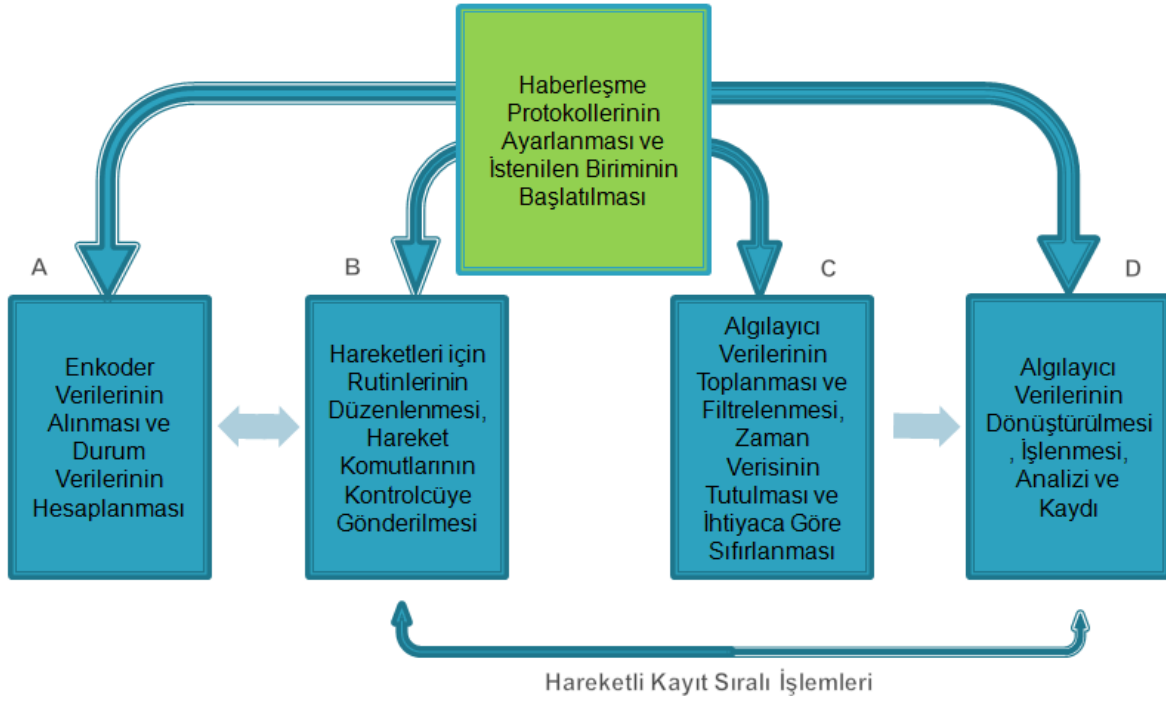
**Şekil 7.18** Deney Animasyonu Penceresi

Şekil 7.18'de gösterildiği üzere Sistem Animasyonu(System Animation) kısmında sistemdeki motorların pozisyonları enkoder verilerine göre anlık değiştirilerek, dairesel ve doğrusal motor animasyon olarak gösterilmektedir. Aynı zamanda Taşıma(Lift), Sürüklenme(Drag), Yanal Kuvvet(Sideforce) gibi kuvvetler ve Yunuslama(Pitching), Yuvarlanma(Rolling), Yalpa(Yawing) momentleri anlık olarak gözlemlenmektedir.

Kayıt, data, vb. seçenekler ile beraber açılabilen bu sayfada basit analizler ve veri kontrolleri aynı ekran üzerinden gözlemlenebilmektedir.

Bu kısım sayesinde rahat izlenemeyen uzaklıkta veya karışıklıkta olan model hareketleri gözlemlenebilmektedir. Hangi açı ve mesafede ne kadar kuvvet ve moment oluştuğunun analizi kolaylıkla yapılabilmektedir.

## 7.5 Arayüzün Mimari Tasarımı



Şekil 7.19 Arayüzün Mimari Tasarımı

“Exe” olarak kaydedilmiş VI uzantısı, Labview® yüklü olmayan bilgisayarda “Visa” Protokolü eklentisi ve “Run Time Engine” eklentisi kurulması ile çalıştırılabilir.

Program, ilgili uygulama çalıştırıldığı zaman otomatik olarak koşmaya başlamaz. İlgili bölümler için olan döngülere, bölüm düğmeleri aktif hale gelene kadar girilmez.

Motor Kontrol Bölümü ile Veri Toplama Bölümünü aktif etmek için iki ayrı düğme bulunmaktadır. Bu bölümler, dinamik veri toplama ve adım veri toplama işlemlerinde birbirleri ile etkileşim halindedirler. Bununla beraber eğer bölüm düğmeleri aktif hale getirilmediyse, bölümler harici olarak da çalıştırılabilmektedirler.

Tasarım mimarimiz “olay işleyicisi”, “üretici harcamacı” ve “sıralı durum makinesi” mimarilerinden etkilenmiş “durum makinesi” ve “üretici harcamacı” mimarisi hibritidir.

Şekil 7.19'da gösterildiği üzere arayüz, bilgisayarda 4 farklı İplik(Thread) kullanmaktadır. Bu ipliklerde kullanılan bir takım değişkenler, birbirleri ile bağımlı olmasına rağmen, birbirlerinin hızını ve performansını etkilemeyecek şekilde tasarlanmıştır.

Farklı görev döngülerinde senkron, asenkron, paralel ve bağımsız işleyen görevler bulunmaktadır. Adım tarama işlemi ile sıralı çalışma ve olaya işleyicisi yapısına geçilebilir.

Veri toplama cihazından sürekli olarak toplanan veriler, farklı ve eş sıklıkta olmak üzere bu verilerin işlendiği ve kayıt edildiği döngüye aktarılmaktadır. Üretici/Harcayıcı mimarisinden de burada esinlenilmiştir.

Farklı mimarilerden oluşan bu programın, her döngüsünün içinde temel olarak durum makinesi mimarisi ile program çalışmaktadır.

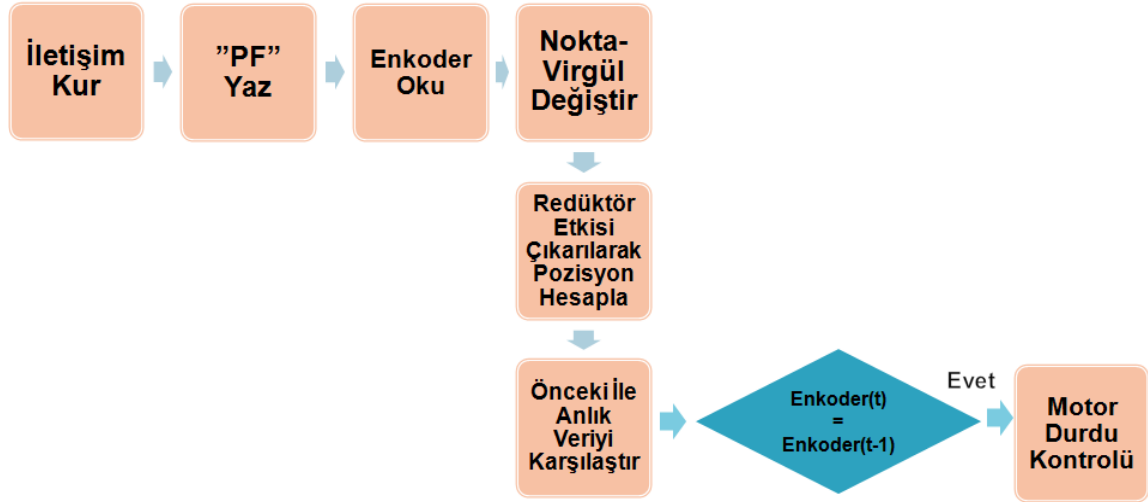
Bu mimari düzeni için en az 2 çekirdekli bir bilgisayarda çalışmak, gereken performansı sağlayacaktır.

Şekil 7.19'da gösterilen ipliklerden "C" ve "D", veri toplama birimi düğmesi; "A" ve "B", motor kontrol birimi düğmesi ile aktif edilmektedir. Bu düğmeler ile motor birimi ve veri toplama birimi aynı anda veya ayrı ayrı aktif edilebilmektedir.

Veri toplama bölümü aktif hale getirilmeden önce, veri toplama cihazının hangi port'ta olduğu programda belirtilmelidir. Veri Toplama Cihazı İsmi(DAQ Device Name) kısmına bu bilgi girilir veya ok tuşu ile bulunmuş cihazlardan biri seçilerek devam edilir.

Motor kontrol bölümü aktif hale getirilmeden önce, motor kontrol cihazının hangi port'ta olduğu programda belirtilmelidir. Visa Kaynak İsmi(Visa Resource Name) kısmına bu bilgi girilir veya ok tuşu ile bulunmuş cihazlardan biri seçilerek devam edilir.

### 7.5.1 Arayüzün tasarımı (motor kontrol)



Şekil 7.20 Ankoder Verilerinin Alınması ve Durum Verilerinin Hesaplanması için Akış Şeması

Şekil 7.20’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **İletişim Kur** = “Visa Open” fonksiyonu ile iletişim protokolü açılır.
- **PF Yaz** = Kontrolcüye, enkoder değerini sormak için “PF” komutu, “Visa Write” fonksiyonu ile gönderilir.
- **Enkoder Oku** = 10 milisaniye beklendikten sonra “Visa Read” fonksiyonu ile enkoder pozisyon değeri okunur.
- **Nokta-Virgül Değiştir** = “String” türünde elde edilen verinin içindeki nokta(.) karakteri, virgül(,) karakteri ile değiştirilir.
- **Redüktör Etkisi Çıkarılarak Pozisyon Hesapla** = Ankoder verisi, motorların redüktör oranlarına bölünür ve enkoder verisi hesaplanır.
- **Önceki ile Anlık Veriyi Karşılaştır** = 14 döngüde bir, önceki ankoder verisi ile anlık ankoder verisi karşılaştırılır.
- **Motor Durdu Kontrolü** = Motorların anlık ve bir önceki ankoder verileri eşit ise eşit olan motorun durduğuna dair bayrak kaldırılır.

Program başlatıldıktan sonra kullanıcı, ilk başta kullanacağı bölümün (veri toplama ve/veya motor kontrol) ilgili cihazı uygulamaya tanıtılabilmek için ilgili portu seçmesi gerekmektedir.



Portlar tanıtıldıktan sonra istenilen kısım veya kısımlar, Hareket Bölümü(Motion Section) düğmesi ve Veri Toplama Bölümü(Data Acquisition Section) düğmesi aracılığı ile aktif hale getirilir.

Motor kontrol işlemleri iki ayrı döngüden oluşmaktadır. Bu döngülerden birinde enkoder verileri elde edilirken, diğerinde hareket kontrol işlemleri yapılmaktadır. Motor Kontrol işlemlerinin iki ayrı döngüden oluşmasının sebebi, hareket kontrol işlemlerinin tepki hızlarının yüksek olmasının gerekmesi ve enkoder verisinin sürekli olarak işleme sokulmasının gerekmesidir.

Motor Kontrol Kısmı(Motion Section) düğmesi aktif iken, program; motor hareket kontrol ve enkoder veri toplama döngülerine girebilmektedir.

Enkoder verilerinin toplanması ve motorların hareket kontrolü döngüleri, yoğunluklu sıralama ile yapılmaktadır. 25 milisaniye gecikmeli ve motor hareket kontrolü döngüsü aktif olmadığı zaman, sırası gelince enkoder veri toplama döngüsü aktif olmaktadır. Bunun sebebi iletişim protokolünün aynı anda veri alıp veri gönderme işlemini yerine getirememesi ve bir rutin belirlenmediği takdirde veride bozulmalar yaşanabilmesidir.

Enkoder verilerinin okunduğu döngüde, Sıralı İşlem Döngüsü(Flat Sequence Structure) kullanılmıştır. Bu döngü türünde, belirlenen sıra ile bir işlem yapıldıktan sonra, diğer işlem başlamaktadır.

Motorların Enkoder Verilerinin Alınması ve Durum Verilerinin Hesaplanmasında İlk olarak, Visa İletişim Protokolü ile hareket kontrolcüsüne erişim sağlanır. Visa Protokolü açılır.

Motorların kontrolcüsüne Visa Yaz(Visa Write) fonksiyonu kullanılarak "PF" komutu (Kontrol kartından enkoder bilgisini isteme komutu) gönderilir.

10 milisaniye gecikme ardından kontrolcüden gelen "PF" değeri, Visa Oku(Visa Read) fonksiyonu kullanılarak okunur.

Okunan paket, sırası ile tüm cihaz adresleri ve "PF" komutu ile beraber enkoder verilerini içermektedir. Gönderilen paket, "İlgili Motorun Tanımlı Olduğu Adres>PF", "PF = İlgili Motorun Enkoder Verisi" şeklinde olmaktadır.

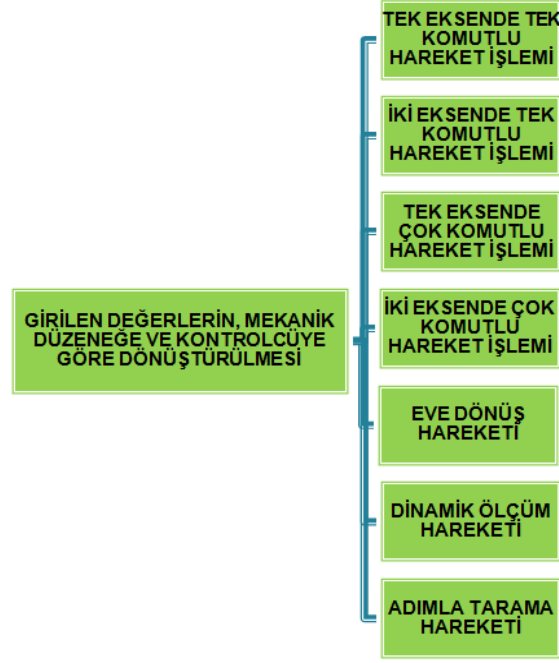
String olarak elde edilen motor pozisyon verisinin ondalık kısmı (.)nokta karakteri ile ayrıldığı ve Labview® programı aynı işlem için (,)virgül karakteri kullandığı için, nokta ile virgül karakterleri değiştirilir. Bu değişim işlemi Labview®'da bulunan, "string" türünde Bul ve Değiştir(Find and Replace) fonksiyonu ile harici olarak hazırladığımız, "Noktadan Virgüle Değiştir" isimli bir SubVI ile gerçekleştirilir.

"String" türünde edinilen bu veriler tanımlama karakterleri hariç tutularak "integer" değerlere dönüştürülür. Böylece motorun adresi(hangi motor olduğu) ve pozisyon verisi edinilmiş olur.

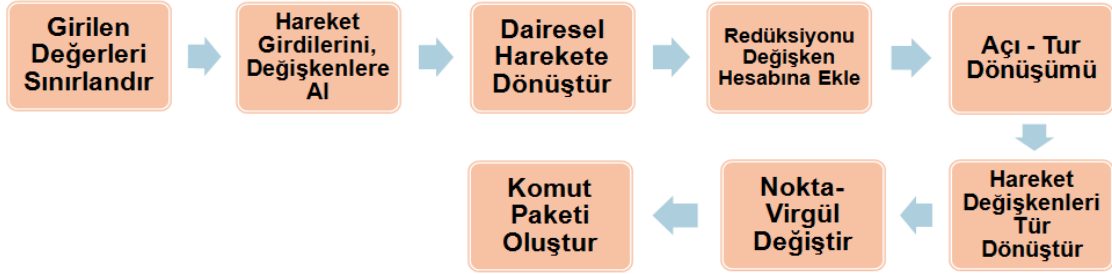
Kullandığımız motorların redüktör oranları hesaba katılarak, enkoder verileri, sistemimiz doğrultusunda ilgili pozisyon verilerine dönüştürülür.

Motorların pozisyon verileri, "integer" türünde değişkenlere atılır.

Uygulamamıza, motorlarımızın hareket ettiğine dair dijital bir gösterge eklememizin amacı, motorların hareket anında olup olmadığının kavranmasına yardımcı olmaktır. Enkoder Verisi Toplama Döngüsünün son aşamasında döngü sayacı, her döngüde bir artmak üzere, on dörde eşitlendiği zaman (14 döngüde bir kere) edinilen son enkoder verisi ile bir önceki enkoder verisi arasında farklılık yoksa motor hareketi durmuş anlamında, hareket edip etmediğine dair olan gösterge kapalı duruma getirilir. Bu döngü içerisinde kapalı duruma getirme işlemi yapılırken, motor hareket kısmı döngüsü içerisinde, hareket komutu verildiği her anda, gösterge açık duruma getirilir.



**Şekil 7.21** Temel Hareketler, Adım Tarama ve Dinamik Ölçüm Hareketleri için Rutinler Hazırlanması, Komutların Kontrolçüye Gönderilmesi



**Şekil 7.22** Girilen Değerlerin Mekanik Düzeneğe ve Kontrolçüye Göre Dönüştürülmesi için Akış Şeması

Şekil 7.22’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Hareket Girdilerini, Değişkenlere Al** = Hız, başlama hızı, hızlanma, yavaşlama, mesafe verileri değişkenlere alınır.
- **Dairesel Harekete Dönüştür** = Bu değişkenlerin her biri, ray için hatveye(5mm) bölünür ve “360” ile çarpılarak dairesel harekete dönüştürülür.
- **Redüksiyonu Değişken Hesabına Ekle** = Bu değişkenler, ray(1/10) ve radyal hareket(1/25) motorlarının redüksiyon oranları ile çarpılır.
- **Açı - Tur Dönüşümü** = Elde edilen değerler “360” ile bölünür ve enkoder için gerekli olan tur sayısına dönüştürülür.

- **Hareket Değişkenleri Tür Dönüştür** = “Integer” türünde hesaplanmış değişkenler “String” türüne dönüştürülür.
- **Nokta-Virgül Değiştir** = “String” türündeki değişkenlerin içindeki nokta(.) karakteri, virgül(,) karakteri ile değiştirilir
- **Komut Paketi Oluştur** = (Motor Adresi->CR->İlgili Komut->CR->İlgili Değer), sıralaması ile “String” türündeki değişkenler, “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek komut paketi oluşturulur.

Sistemde iki adet motor bulunmaktadır. Bunlardan biri bağlı olduğu ray sistemi ile modele doğrusal hareket sağlamakta, diğeri ise modele dairesel hareket sağlamaktadır.

Doğrusal hareket motorunun bağlı olduğu rayın hatvesi 5mm'dir. Bu da motorun bir tur dönmesi ile konumlandırılan ekseninde 5mm hareket edeceği anlamına gelmektedir.

Dairesel hareket sağlayan motorun redüksiyon oranı(1/25) ve doğrusal hareket sağlayan motorun redüksiyon oranı(1/10) redüktörler aracılığı ile değiştirilerek, motorların aynı zamanda torku artırılmıştır.

Motor bölümü programdan aktif hale getirilmeden önce, motor panosu kapalı ise açık vaziyete getirilmeli, programdan ise Visa Kaynak İsmi(Visa Resource Name) ile motor kontrolcüsünün bağlı olduğu port sisteme tanıtılmalıdır.

Programın motor bölümü için belirlenmiş döngüsüne, Motor Birimi(Motor Section) düğmesi aktif hale getirildiğinde ve motor enkoder verisi edinmediği esnada(ilgili bayrak indiğinde) girilecek şekilde koşul içerisine alınmıştır.

Motor döngüsünün koşulu içerisinde hesaplanan ilk formül, girdi olarak kullanıcının belirlediği değişkenlerin, redüksiyon ve hatve hesaba katılarak hesaplanan ve kontrol birimine gönderilecek verilerin oluşturulmasıdır.

Bu girdiler hız, hızlanma, yavaşlama, başlangıç hızı ve mesafedir. Bu girdilerin her biri ray için, hatveye bölünüp, 360 ile çarpılmalıdır. Böylelikle doğrusal hareket değişkenleri dairesel harekete dönüştürülmüş olmaktadır. Artık doğrusal ve dairesel hareket motorlarımızın her ikisi de dairesel olarak hesaba katılabilir.

Kontrolcümüz, kendisine gelen verileri tur cinsinden hesaplayarak işlem yapmaktadır. Bu sebeple kullanıcıdan istenilen derece cinsinden veriler, tur cinsine çevrilmelidir. Aynı zamanda da redüksiyon oranları da bu hesaba katılır. Bu hesap ise, girilen verinin(doğrusal hareket motoru için, dairesel harekete dönüştürülmüş veri) redüksiyon oranı ile çarpıldıktan sonra 360'a bölünmüş halidir.

Sistem sınırları, kullanıcı tarafından, düzeneğin mekanik sınırları zorlanamayacak şekilde yazılımda sınırlandırılmıştır. En yüksek girilebilecek değer aşıldığı zaman, en yüksek girilebilecek değere yuvarlama yapılmaktadır.

Buna rağmen El İle(Manual) hareket sekmesinde sınırlar aşılabilmektedir. Bu sınır aşımı, mekanik olarak yanlış nokta "0" olarak düzenlendiyse veya sürekli olarak hareket etme düğmeleri ile mümkün olmaktadır. Bunu engellemek için düzeneğin eksen limitlerinde bulunan limit düğmeleri ile sistem durdurulabilmektedir. Aynı zamanda da bilgisayarın takılması veya bilgisayardan durdurma işlemi yapılamadığı durumlar için hareket durdurma düğmelerinin ve limit düğmesine ulaşırsa limit düğmesine ulaşıldığına dair ışıklı göstergenin bulunduğu bir, taşınabilir kullanıcı kumanda da mevcuttur.

Limit düğmelerine ulaşılması durumunda sistem uyarı vermekte ve durdurulmaktadır. Sistemi uyarı durumundan çıkarmak ve tekrar çalışır duruma getirebilmek için programda kullanıcıya sunulmuş Alarm Durumunu Temizle(Almclr) düğmesine basılması gerekmektedir. Oldukça basit olması ile birlikte, bu işlem, kullanıcının yazılım limitlerini zorlamaması gerektiğini ve daha dikkatli davranması gerektiğini hatırlatmak amaçlı olarak kullanıcıya yaptırılmaktadır.

Bu işlemlerde kullanılan enkoder verileri ile aynı zamanda doğrusal hareket ve dairesel hareket motorlarının benzetimi yapılmaktadır. Dış kuvvet denge düzeneğinden edinilen kuvvet ve moment verileri ile beraber doğrusal hareket motoru pozisyonu ve dairesel hareket motoru pozisyonu tek bir pencerede kullanıcıya sunularak düzeneğin anlık benzetim görüntüsü üzerinde çalışılması mümkün olmaktadır.

Motor kontrol birimimizin manual penceresi, 2 ayrı pencereden oluşmaktadır. İlk pencere tek eksenli motor hareketidir. Bu pencerede, yapılacak işlemde önce,

işlemin, dairesel hareket motoru(model) - doğrusal hareket motoru(rail) seçeneğinin seçilmesi beklenmektedir. Aynı zamanda önceki pozisyona göre ek hareket(relative) – mutlak pozisyon(absolute) düğmesinden, hareketin, kesin pozisyon mu yoksa ek olarak yapılacak olan bir hareket mi olacağı seçilmelidir. Bu seçenekler ile tek eksenle, bu pencere ile istenilen motor, istenildiği şekilde hareket ettirilmektedir. Kullanıcıdan istenilen bilgilerin cinsi doğrusal hareket motorunda da, model motorunda da aynıdır(derece).

Bu döngümüz içerisinde iletişim protokolü olan Visa Aç(Visa Open) ile protokolümüz uygun hale getirilmiştir.

Kontrolcüye gönderilecek bu işlemlerin tanıtılabilmesi için gönderilmesi gereken bir veri yapısı bulunmaktadır.

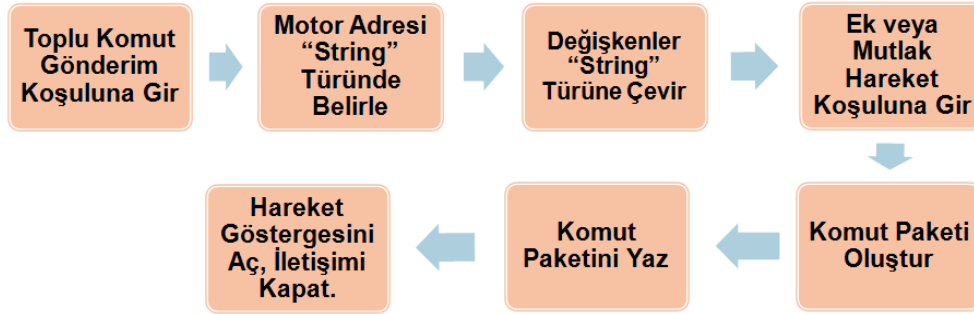
Bu yapı "String" cinsinden olmalıdır. Aynı zamanda Labview® da ondalık için kullanılan (virgül) karakteri yerine (nokta) karakteri kullanılmalıdır. Bu sebeplerle hazırlanan SubVI ile "Integer" cinsinden değerler "String" türüne çevrilmekte ve Dizgi İçinde Bul ve Değiştir(Search and Replace String) işlemi ile virgüller, noktalara çevrilmektedir.

Başta hangi motorun kontrol edileceğine dair adres bulunmalıdır. (@1 veya @2)

Her satırdan sonra CR(Carriage Return) kullanılmalıdır. Böylelikle gönderilen komutlardan, teslim alındığına dair veri gelecek ve veri iletişimi karışıklığı yaşanmayacaktır. Bütün komutlar 'concatenate strings' işlemi ile birleştirilecek ve gönderilecektir. "Concatenate Strings" fonksiyonu ile tek seferde 24' e kadar değişken artarda eklenerek gönderilebilmektedir.

İlgili hareket veya hareket yöntemi komutu girilmelidir. Bu komutlar aşağıdaki gibidir;

- VR(hız)
- VS(başlangıç hızı)
- TA(hızlanma)
- TD(yavaşlama)
- DIS(konuma ek hareket) bu komut kullanılacak ise hareket değerinden sonra ek olarak MI eklenir
- MA (kesin pozisyon)
- MCP( sürekli olarak saat yönünde hareket)
- MCN( sürekli olarak saat yönünün tersine hareket)
- SSTOP(durdurma)
- PRESET(bulunulan konumu 0 pozisyonu olarak belirleme)
- ALMCLR(alarm durumunu kaldırma)



Şekil 7.23 Tek Eksende Çok Komutlu Hareket İşlemi için Akış Şeması

Şekil 7.23’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Ek veya Mutlak Hareket Koşuluna Gir** = Ek veya mutlak hareket seçimi düğmesine göre koşulların içerisine girilir.
- **Komut Paketi Oluştur** = (Motor Adresi->Hız-> Başlama Hızı->Hızlanma->Yavaşlama->Mesafe), “String” türünde değişkenlerin sıralaması, her komuttan sonra “CR” eklenmek üzere “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek komut paketi oluşturulur.

- **Komut Paketini Yaz** = Birleştirilen “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir.
- **Hareket Göstergesini Aç, İletişimi Kapat.** = “Visa Close” fonksiyonu ile iletişim sonlandırılır. Bu esnada hangi motor seçildiyse, o motorun hareket ettiğine dair bayrak kaldırılır.

Tek eksenli hareket sayfasında, kullanıcının girdiği değerlerin(hız, hızlanma, pozisyona gidiş, vb) aynı anda güncellenmesi ve uygulanması için, kullanıcı, send(gönder) düğmesine bastığı anda, kullanıcının belirlemiş olduğu motor(model veya ray), hareket türü(ek hareket, kesin pozisyon hareketi), hız, hızlanma, yavaşlama, başlama hızı gibi verilerin her biri, CR(Carriage Return) ile ayrılmak üzere, “Otomatik STR” adlı, “String” türünde bir değişkene, “Concatenate Strings” kullanılarak birleştirilir.

Bu birleşim esnasında model veya ray seçeneği ile motorun adresi olarak eklenecek komut (@1, @2) belirlenir.

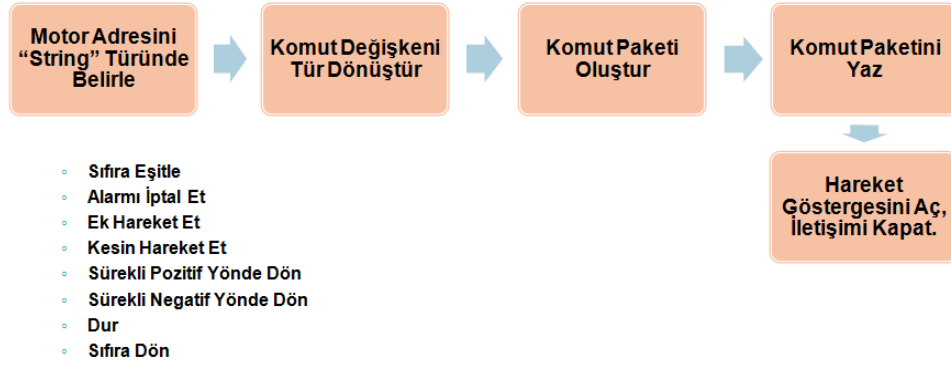
Ek hareket veya kesin pozisyon seçeneği aracılığıyla pozisyon komutu olarak eklenecek olan “DIS-MI” ikili komutu veya “MA” komutu belirlenir.

Toplanmış olan bu “String” türündeki değişken, önceden açılmış olan Visa protokolümüze Yaz(Write) işlemi ile gönderilmektedir. Ardından da Visa Kapat (Visa Close) komutu ile Visa protokolü kapalı hale getirilmektedir.

Hareketinin devam edip etmediği göstergesi için, hareket komutu uygulandığında, tahmini yapılacak hareketlerden sonraki enkoder verisi hesaplanarak bir değişkende tutulur. Bu değişkende tutulan veri ile gerçek enkoder verisi sürekli olarak karşılaştırılmaktadır. Hesaba göre hatalı bir hareket olduğu zaman sistem uyarı vermektedir. Aynı zamanda donanımdan elde edilememiş hareketin durumu ile ilgili veri hesaplanarak kullanıcıya sunulabilmektedir. Bu da hareket komutu gönderildiği anda aktif edilen hareket ediyor bayrağı, belirli bir süre değişiklik saptanmayan enkoder değişkeni, hesaplanan konum ile varılan konum karşılaştırmaları ile mümkün olmaktadır.

Gönder(Send) düğmesi ile tüm veriler güncellenirken harici düğmeler ile yalnızca istenilen komut da uygulanabilmektedir.





**Şekil 7.24** Tek Eksende Tek Komutlu Hareket İşlemi için Akış Şeması

Şekil 7.24’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Komut Değişkeni Tür Dönüştür** = İlgili, “Integer” türündeki komut değişkeni “String” türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Oluştur** = (Motor Adresi-> İlgili Komut-> İlgili Değer->”CR”), “String” türünde sıralama “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek komut paketi oluşturulur.
- **Komut Paketini Yaz** = Birleştirilen “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir.
- **Hareket Göstergesini Aç, İletişimi Kapat** = “Visa Close” fonksiyonu ile iletişim sonlandırılır. Bu esnada hangi motor seçildiyse, o motorun hareket ettiğine dair bayrak kaldırılır.

Şekil 7.24’de belirtilen komutlar için ayrı koşul pencereleri, ayrı “Visa Write” ve “Visa Close” fonksiyonlarından oluşan koşullar kullanılmaktadır. “Visa” protokolü ile kontrolcümüze gönderilecek “String” türünde değişkenler ayrı ayrı düzenlenmektedir.

Şekil 7.24’de belirtilen komutlar;

- **Sıfıra Eşitle(Preset zero)** düğmesi ile anlık konum sıfır olarak belirlenir.
- **Alarm Durumunu Temizle(ALMCLR)** düğmesi ile “Alarm” durumu kaldırılır. Bunun ana sebebi, eve dön otomatik fonksiyonunda, model limit düğmesine vardığı zaman durur ve alarm verir. Bu alarm durumu kaldırılarak harekete devam edilebilmesi için otomatik olarak gönderilen komut, kullanıcının da alarm durumunu kaldırması gerektiği koşullar için eklenmiştir.

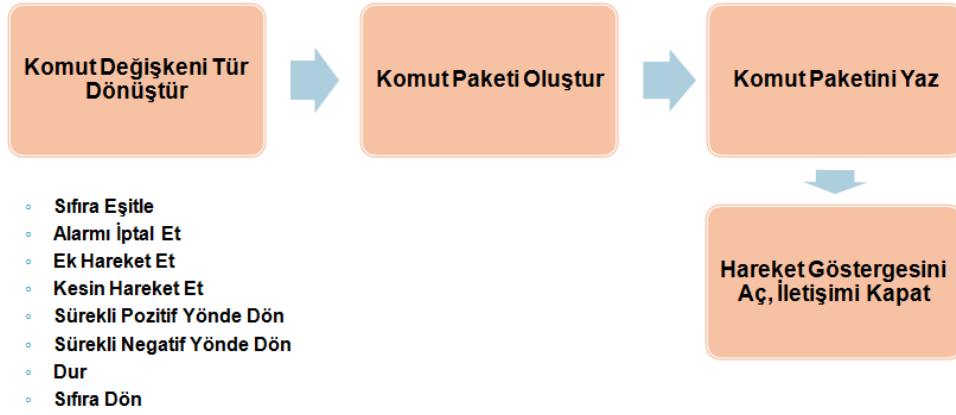
- **Ek Hareket(Relative Move)**, arayüze kullanıcının girdiği mesafe bilgisi, belirlenmiş motorun ek hareket komutu olarak gönderilir.
- **Mutlak Hareket(Absolute Move)** arayüze kullanıcının girdiği mesafe bilgisi, belirlenmiş motorun mutlak pozisyona yapılan hareket olarak gönderilir.
- **Sürekli Pozitif Yönde Hareket(Continious Positive)** belirlenmiş motor, önceden belirlenmiş olan hız ve ivme verileri ile saat yönünde harekete başlar.
- **Sürekli Negatif Yönde Hareket(Continious Negative)** belirlenmiş motor, önceden belirlenmiş olan hız ve ivme verileri ile saat yönünün tersinde harekete başlar.
- **Hareket Durdurma(Motion Stop)** belirlenmiş motor hareket halindeyse durdurulur.
- **Sıfır(Zero)** belirlenmiş motor "0" olarak belirlenmiş pozisyona gider.



**Şekil 7.25** İki Eksende Çok Komutlu Hareket İşlemi için Akış Şeması

Şekil 7.25’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Ek veya Mutlak Hareket Koşuluna Gir** = “Ek Hareket” veya “Mutlak Hareket” düğmesine göre koşulların içerisine girilir.
- **Komut Paketi Oluşturulur** = (Motor Adresi1->Hız1-> Başlama Hızı1->Hızlanma1->Yavaşlama1->Mesafe1->Motor Adresi2->Hız2-> Başlama Hızı2->Hızlanma2->Yavaşlama2->Mesafe2), sıralamasıyla, her satır arasında “CR” komutu kullanılmak üzere “String” türünde komutlar birleştirilirler.
- **Komut Paketini Yaz** = Birleştirilen “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir.
- **Hareket Göstergesini Aç, İletişimi Kapat.**= “Visa Close” fonksiyonu ile iletişim sonlandırılır. Bu esnada hangi motor seçildiyse, o motorun hareket ettiğine dair bayrak kaldırılır.



**Şekil 7.26** İki Eksende Tek Komutlu Hareket İşlemi İçin Akış Şeması

Şekil 7.26’da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Komut Değişkeni Tür Dönüştür** = İlgili, “Integer” türündeki komut değişkeni “String” türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Oluştur** = (Motor Adresi1-> İlgili Komut-> İlgili Değer1->Motor Adresi2->İlgili Komut->İlgili Değer 2), “String” türünde sıralama, her komut arasına “CR” komutu eklenir ve “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek komut paketi oluşturulur.
- **Komut Paketini Yaz** = Birleştirilen “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir.
- **Hareket Göstergesini Aç, İletişimi Kapat.**= “Visa Close” fonksiyonu ile iletişim sonlandırılır. Motorların hareket ettiğine dair bayrağı kaldırılır.

El ile(Manual) hareketin 2. penceresi ise Otomatik Çoklu Eksen(Automatic Multi Axis) dir. Bu pencerede her iki motoru aynı anda yönetmek hariç Otomatik Tekli Eksen (Automatic Single Axis) penceresinin kısmen aynısıdır.

Toplu Gönderim(Send) işleminde her iki motora aynı anda hareket komutu verebilmek için tekli eksene komut yollar gibi (Adres->Komut->Değer) yollanmaktadır. “Concatenate Strings” fonksiyonu ile her iki motorun işlemleri art arda(Dairesel Hareket Motorunun Adresi->komut1->değer1->komut2->değer2->Doğrusal Hareket Motorunun Adresi->komut1->değer1->komut2->değer2) şeklinde sıralanır.

Toplu gönderim işlemi olan Gönder (Send) işlemi haricinde olan işlem düğmeleri de tekli eksen hareketinde olduğu gibi harici yapılabilmektedir. Bunlarda da (Dairesel Hareket Motorunun Adresi->komut1->değer1->Doğrusal Hareket Motorunun->komut1->değer2-) şekilde gönderim sağlanmaktadır.

Hareket işlemlerinin, toplu veya tekli olmak üzere her birinde, hareket eden motorun hareket ettiğine dair bayrak kalkmaktadır. Eş zamanlı harekette de bu geçerlidir.



**Şekil 7.27** Eve Dönüş Hareketi için Akış Şeması

Şekil 7.27’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **“Negatif Yönde Hareket” Komutu Yaz** = “Eve Dön(Home)” düğmesine basıldığında, doğrusal hareket motorunu negatif yönde hareket ettirecek komut paketi, doğrusal hareket motoru kontrolcüsüne “Visa Write” fonksiyonu ile gönderilir.
- **İletişimi Sonlandır, “Hareket Başladı” Bayrağını Kaldır.** = “Visa Close” fonksiyonu ile iletişim sonlandırılır. Bu esnada doğrusal hareket motorunun harekete geçtiğine ve eve dönüş işleminin başladığına dair bayrak kaldırılır.
- **Alarm Sorgu” Komutu Yaz** = Eve dönüş hareketi esnasında; “Limite Varıldı Alarmı” sorgu komutu, 3 döngüde 1 kere, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye gönderilir.
- **Alarm Durumu Oku** = Limite varıldığında, kontrolcünün geri göndereceği alarm mesajı(Negatif Limit için: 66, Pozitif Limit için: 60) kontrol edilir.

- **“Eve Varıldı” Mesajı Eşleşti** = Limite varıldığına dair mesaj karşılaştırılır ve “Eve Varıldı” bayrağını kaldır.
- **Alarm Durumunu Kaldır ve Limit Kontrolünü Kapat** = “Eve Varıldı” bayrağı kalktığıında alarm durumunun kaldırılması için “ALMCLR” komutu ve “Limit Düğmesi Kontrolünün İptal Komutu” , “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye Gönderilir.
- **5mm Geri Gel** = Doğrusal hareket motoru, pozitif yönde, redüktör ve hatve de hesaba katıldığı zaman 10 tur(5mm ilerleme) dönerek, mekanik limit düğmesinden kurtarılır.
- **Konum Sıfırla, Limit Kontrolünü Aç** = Doğrusal hareket motorunun bulunduğu konum, başlangıç noktası(sıfır) sayılması istenildiği için “0” olarak değiştirilir. Bu işlem, “Preset” komutu, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye gönderilerek yapılır. “Limit Düğmesi Kontrolü Açma Komutu”, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye gönderilir.

Ev(Home) düğmesi doğrusal hareket motoruna özel olarak tasarlanmış, otomatik bir işlemi gerçekleştirmektedir.

Bu işlem, doğrusal hareket motorunun limit düğmesine kadar yavaş yavaş ilerleyip, mekanik limiti bulduktan sonra 5mm geri gelerek limit düğmesinin basılı pozisyondan kurtulmasını sağladıktan sonra bulunduğu noktayı 0 pozisyonu olarak kayıt etmesinden ibarettir.

Bu işlemin yapılabilmesi için doğrusal hareket motoru kontrolcüsünün Daisy RS232 bağlantısı, tekli RS232 bağlantıya çevrilerek sürücü yazılımı aracılığı ile limit düğmesine vardığı zaman durma komutu tekrar düzenlenmelidir. Bu düzenleme ile motor limit düğmesine vardığı zaman durdurulur fakat bu durdurma komutu 1 kere gönderildikten sonra limit düğmesinden kurtulana kadar bir daha durdurma komutu gitmez. Böylelikle alarm durumu kaldırıldıktan sonra, limit düğmesi basılı olmasına rağmen hareket komutu gönderilebilir.

Motorların temel özellikleri kendi kontrolcü yazılımı üzerinden düzenlenmektedir. Bu düzenlemelerde kontrolcünün giriş çıkış pinleri limit düğmesi, durdurma düğmesi olarak ayarlanmıştır, darbe seçeneği, 2’li darbe seçeneği olarak

ayarlanmıştır. Böylelikle motorlar her iki yöne de dönebilmektedir. Limit düğmesi alarm durumu düzenlenmiştir.



Şekil 7.28 Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(1)

Şekil 7.28’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Hareket Değişkenleri Hesapla** = Kullanıcı tarafından belirlenen hareket isterlerine göre hareket değişkenleri hesaplanır.
- **Sınır Kontrolü ve Hareket Sayaçları Atama** = Hareket hesaplarından çıkan sonuçların, sınır kontrolü yapılır, hareket sayaçları atanır.
- **Hata Mesajı Göster ve Temizle** = İlgili hatanın kullanıcıya gösterildiği “Warning” değişkenine hatanın “String” türündeki açıklaması atılır. Hata mesajının kullanıcı tarafından, bir düğme ile temizlenmesi beklenir. “Dinamik Hareket Başlat” düğmesi kapalı duruma getirilir.
- **“Aşama Bitti” Bayrağını Kaldır** = Bir sonraki aşamaya geçilmesini sağlayacak bayrak kaldırılır
- **Başlangıç Komutları Yaz, Hareket Göstergesini Aç** = Başlangıç koşulları ile hesaplanan motorların başlangıç hızları ve pozisyonları, kontrolcüye “Visa Write” fonksiyonu ile gönderilir. Motorların hareket ettiğine dair göstergeler aktif olur.
- **“Başlangıç Pozisyonuna Vardı” Bilgisi Ver, Sürekli Modda Kayıt Aç** = “Başlangıç Pozisyonuna Varıldı” bayrağı kalktığı zaman, “Hareket Başlamaya Hazır” bayrağı ve veri toplanacaksa, “Sürekli Veri Toplama Moduna Geç” bayrağı kaldırılır. Kayıt aktif hale getirilir

Otomatik dinamik hareket işlemi kullanıcı tarafından istenen belirli hareket değişkenleri ile modele deney başında belirlenen, tekrarlı hareketler verme amaçlıdır. Kullanıcı tarafından girilmesi gereken hareket kıstasları;

- Kanat hareketi açısı,
- Doğrusal hareket motoru başlangıç noktası,
- Hareket döngü sayısı,
- Bir adet döngünün süresi,
- Yunuslama(Plunge) hareketi isteniyorsa doğrusal hareket motoru tarafından verilecek hareket genliği,
- Hareket ile kayıt alma seçeneği,
- Başlangıçta bu ana girdi değişkenleri ile hareket rutininin değişkenleri belirlenir. Eğer girdiler düzeneğin sınırlarına veya hareketin yapısına uygun değil ise ilgili hata mesajı, hata kutucuğunda belirir ve hata göstergesi açık duruma gelir.

Bu mesajın kullanıcıda bir uyarı niteliği taşıması için hata mesajının temizlenmesi işlemi bir düğme ile kullanıcıya yaptırılır.

Başlangıçta kullanıcının girdileri ve programda tanımlı sınırlar dâhilinde hareket rutininin değişkenleri ve sayaçları belirlenir. Belirlenen değişken ve sayaç hesaplamaları aşağıdaki gibidir;

$$LB = \frac{RBN}{RH} \times 360 \quad (7.1)$$

$$LH = \frac{\left(\frac{HG}{RH} \times 360 \times 4\right)}{BDS} \quad (7.2)$$

Adım 1

$$DUH = \frac{\left(\frac{HG}{RH} \times 360 \times 4\right)}{BDS} \times \frac{KA}{\left(\frac{HG}{RH} \times 360 \times \frac{1}{2}\right)} \quad (7.3)$$

Adım 2:

$$DUH = \frac{8}{BDS} \times KA \quad (7.4)$$

Adım 1:

$$DAH = \left(\frac{HG}{RH} \times 360 \times 4\right) \times \frac{KA}{\left(\frac{HG}{RH} \times 360 \times \frac{1}{2}\right)} \times \frac{1}{2} \quad (7.5)$$

Adım 2:

$$DAH = 4KA \quad (7.6)$$

Adım 1:

$$DHS = UYDS + UYDS + (2 DS - 1) \times 2 \quad (7.7)$$

Adım 2:

$$DHS = 2x(UYDS + 2 DS - 1) \quad (7.8)$$

Adım 1:

$$LHS = UYLS + DS + (DS - 1) \quad (7.9)$$

Adım 2:

$$LHS = UYLS + 2DS - 1 \quad (7.10)$$

$$ULB = \frac{\left(\frac{HG}{RH} \times 360\right)}{2} \quad (7.11)$$

$$RDM = \frac{HG}{RH} \times 360 \times 4 \quad (7.12)$$

ALH=DS

YLH=DS-1

UADS=2    UYDS=2    UYLS=2



Yukarıda düzenlenen (7.1)'den (7.12)'ye kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

- Doğrusal Hareket Motorunun Başlangıç Noktası = LB
- Referans Başlangıç Noktası=RBN
- Rayın Hatvesi=RH
- Doğrusal Hareket Motoru Hızı =DHMH
- Hareketin Genliği =HG
- Bir Döngünün Süresi = BDS
- Dairesel Hareket Motorunun Üst Hızı =DUH
- Kanat Açısı = KA
- Dairesel Hareket Motorunun Alt Hızı=DAH
- Dairesel Hareket Motoru Hareket Sayacı=DHS
- Ufak, Yukarı Dairesel Hareket Sayısı=UYDS
- Döngü Sayısı =DS
- Ufak, Yukarı Doğrusal Hareket Sayısı=UYLS
- Ray Üzerinde Bir Döngüde Gidilen Mesafe=RDM
- Ufak, Doğrusal Hareketin Büyüklüğü =ULB
- Aşağı Doğrusal Hareket =ALH
- Yukarı Doğrusal Hareket =YLH
- Ufak, Aşağı Dairesel Hareket Sayacı =UADS
- Ufak, Yukarı Dairesel Hareket Sayacı =UYDS
- Ufak, Yukarı Doğrusal Hareket Sayacı =UYLS
- Doğrusal Hareket Sayacı =LHS
- Doğrusal Hareket Motoru Hızı= LH

Hesaplanan değişkenlere ve sayaçlara göre hareketin, düzeneğin mekanik ve elektronik sınırlarına uygun olup olmadığının kontrolü yapılır. Bu kontroller sonucunda, hareketin uygun olmadığı durumlarda hata mesajı verilir.

Hata mesajları;

- Doğrusal hareket motoru hesaplanan hızı, sistem sınırları dışındadır.
- Dairesel Hareket Motoru hesaplanan hızı, sistem sınırları dışındadır.
- Açık büyüklüğü sistem sınırları dışındadır.
- Doğrusal hareket motorunun vereceği doğrusal hareketin büyüklüğü sistem sınırları dışındadır.
- Belirlenen maksimum hızlar, doğrusal hareket motoru ve dairesel hareket motoru için saniyede 5040 derecedir.
- Hata yoksa ve sistem hareket değerleri tanımlandıysa kalkan bayraklar ile sonraki aşamaya geçilir.

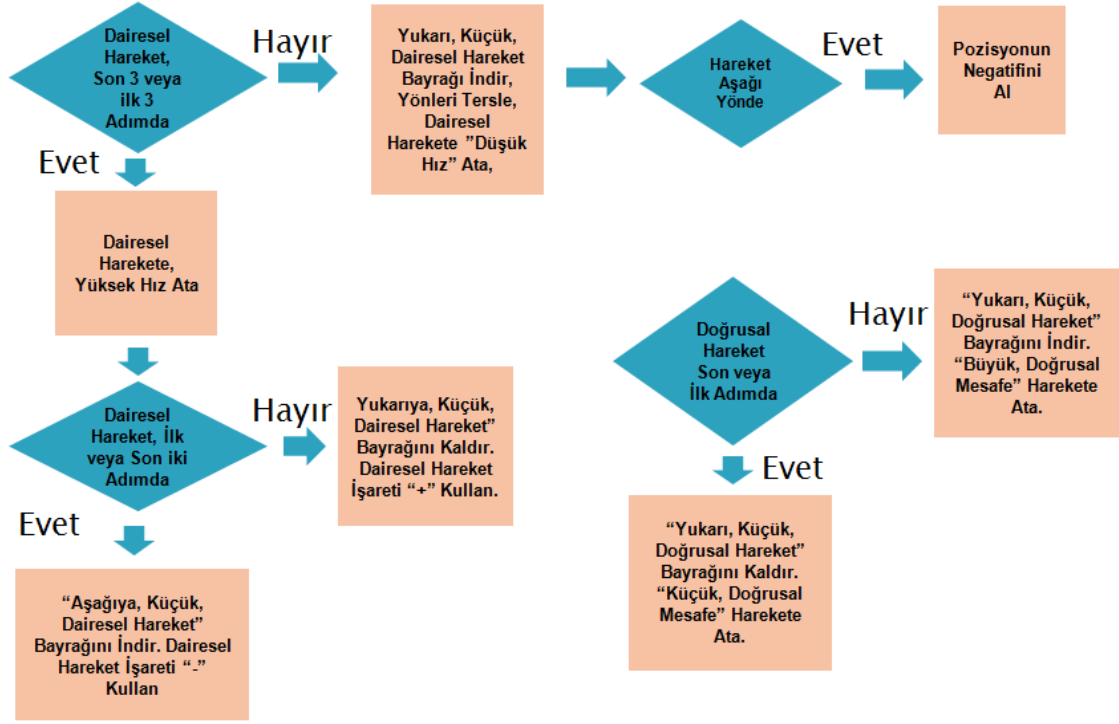
Sonraki aşama, modeli başlangıç noktasına götürecektir olan hareketin verilmesidir.

Başlangıç kısmında belirlenmiş olan, doğrusal ve dairesel hareket motorlarının, istenilen harekete göre başlangıç pozisyonlarına, motorlar kesin pozisyonda hareket komutu olan "MA" komutu ve belirlenen hızların tanıtılması için "VR" komutu kullanılır.

Çoklu eksenlerde, sırası ile (Dairesel Hareket Motoru adresi->VR->Dairesel Hareket Motoru hızı->MA->Dairesel Hareket Motoru başlangıç pozisyonu->doğrusal hareket motoru adresi->VR->doğrusal hareket motoru hızı->MA->doğrusal hareket motoru başlangıç pozisyonu değeri) olmak üzere, her komutun arasında CR(Carriage Return) kullanılarak "Concatenate String" fonksiyonu ile birleştirilir ve "Visa Write" protokolü ile hareket komutu kontrolcüye gönderilir.

Bu işlemde hareketin başladığına dair bayrak kalkar. Hareket bitiminde programda belirlediğimiz enkoder eşleştirme metodu ile uyarı gelecektir. Bu uyarı geldiği zaman hareketin bittiği ve motorların başlangıç pozisyonuna vardıkları anlaşılır.

Eğer hareket ile birlikte veri kaydı da alınacak ise ("Save While Moving" düğmesi aktif hale getirildiyse) veri alımının döngü türüne girmeden veri alımı bitene kadar alınmasının sağlandığı sürekli veri alımı(continiuous) bayrağı kaldırılır.



Şekil 7.29 Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(2)

Şekil 7.29'da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Yukarı, Küçük, Dairesel Hareket Bayrağı İndir, Yönleri Tersle, Dairesel Harekete "Düşük Hız" Ata, Pozisyonun, Hareket Aşağı Yönde ise Negatifini Al** = "Yukarı, Küçük Dairesel Hareket" bayrağı iner. Dairesel hareket hızı, "Düşük Hız" olarak atanır. Yön Bayrakları, 2 harekette 1 kere terslenir. Pozisyon değişkeni, yön aşağı ise "-" ile çarpılır.
- **Dairesel Harekete, Yüksek Hız Ata** = Dairesel hareket motoru hızı, belirlenen "Yüksek Hız" olarak atanır.

Motorlara hareket komutlarının gönderildiği Şekil 7.29'da gösterilen koşula, sıralı olarak bir döngüde, sadece Dairesel Hareket Motoru hareket halinde değilken, bir döngüde ise her iki motor da hareket halinde değilken girilmektedir. Bu koşul değişim işleminin sebebi ise yunuslama(plunge) hareketinde Dairesel Hareket Motoru her koşulda hareket halinde olması gerekmesine rağmen doğrusal hareket motoru 2 işlemde birinde harekete geçmelidir.

Bu aşamada, doğrusal hareket motorunun ve Dairesel Hareket Motorunun yönleri ve yarı büyüklükte mi yoksa tam büyüklükte mi olacakları belirlenmektedir. Bu belirleme işlemi için aşağıdaki koşul formülleri kullanılmaktadır.

Bir sonraki aşama olarak, belirlenen dairesel ve doğrusal hareket motorlarının yarım veya tam hareketleri ve yönlerine ek olarak ilk aşamada hesaplanan hız ve büyüklüklere göre, ilgili döngüde kontrolcüye gönderilecek mesafe verisi ve hız verisi atanır.

Dairesel hareket motoru için;

Adım 1:

$$AS = ((2DS - 1) \times 2) + 4 \quad (7.13)$$

Adım 2:

$$AS = 4DS + 2 \quad (7.14)$$

$$AS \leq 3 \text{ veya } AS = 4DS + 2 \Rightarrow AS \leq 2 \Rightarrow AUDH = \text{Doğru} \quad (7.15)$$

$$AS > 2 \Rightarrow YUDH = \text{Doğru}$$

$$AS > 3 \text{ ve } AS \neq 4DS + 2 \Rightarrow YUDH = \text{Yanlış} \quad (7.16)$$

Doğrusal hareket motoru için;

Adım 1:

$$LHS = DS + (DS - 1) + 2 \quad (7.17)$$

Adım 2:

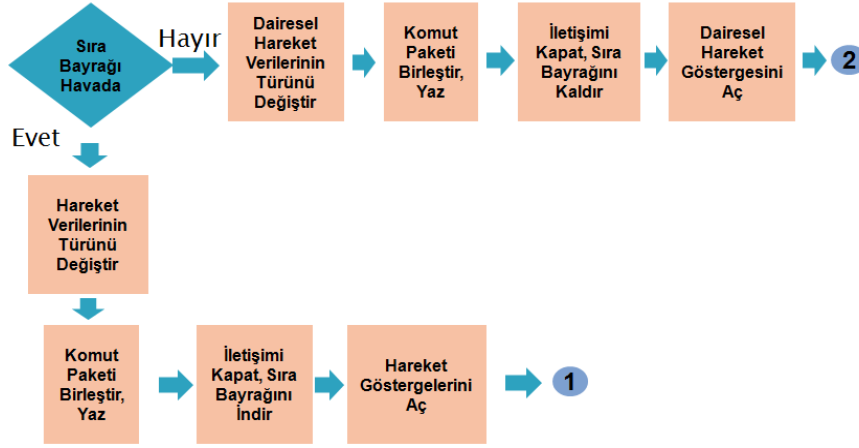
$$LHS = 2DS + 1 \quad (7.18)$$

$$LHS = 2DS + 1 \text{ veya } (LHS=1) \Rightarrow YULH = \text{Doğru} \quad (7.19)$$

$$LHS \neq 2DS + 1 \text{ veya } (LHS \neq 1) \Rightarrow YULH = \text{Yanlış} \quad (7.20)$$

Yukarıda düzenlenen (7.13)'den (7.20)'ye kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

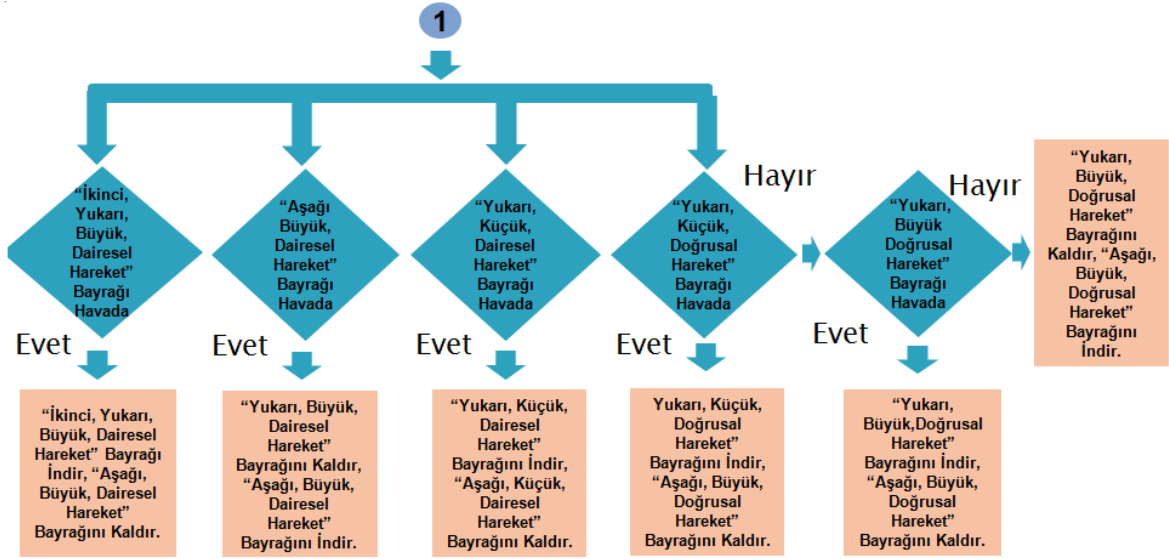
- Açı Sayacı =AS
- Aşağı, Ufak Dairesel Hareket =AUDH
- Yukarı, Ufak Dairesel Hareket =YUDH
- Döngü Sayısı = DS
- Doğrusal Hareket Sayacı =LHS
- Yukarı, Ufak Doğrusal Hareket =YULH



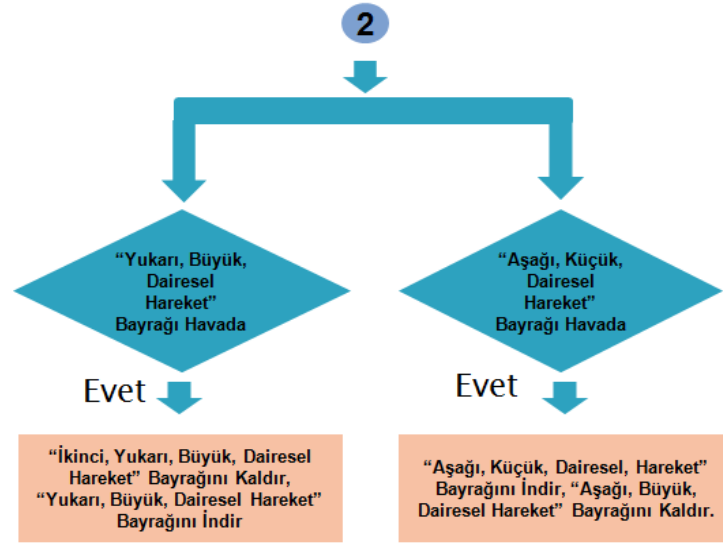
Şekil 7.30 Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(3)

Şekil 7.30’da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Sıra Bayrağı Havada** = Her iki motorun da aktif olduğu, sırayla değişen bayrak havada.
- **Dairesel Hareket Verilerinin Türünü Değiştir** = Dairesel hareket motoru için hız ve mesafe verileri, “String” türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Birleştir, Yaz** = “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek oluşturulan “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir
- **İletişimi Kapat, Sıra Bayrağını Kaldır.** = Visa iletişim protokolü “Visa Close” fonksiyonu ile kapatılır. Sıralı değişen bayrak kaldırılır.
- **Dairesel Hareket Göstergesini Aç** = Dairesel hareket motorunun hareket haline geçtiğine dair bayraklar kaldırılır
- **Hareket Verilerinin Türünü Değiştir** = Her iki motor için de belirlenmiş olan hız ve mesafe verileri “String” türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Birleştir, Yaz** = “Concatenate Strings” fonksiyonu ile birleştirilerek oluşturulan “String” türündeki komut paketi, “Visa Write” fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir
- **İletişimi Kapat, Sıra Bayrağını İndir.** = Visa iletişim protokolü “Visa Close” fonksiyonu ile kapatılır. Sıralı değişen bayrak indirilir.
- **Hareket Göstergelerini Aç** = Her iki motorun hareket haline geçtiğine dair bayraklar kaldırılır



Şekil 7.31 Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(4)



Şekil 7.32 Dinamik Ölçüm Hareketi İçin Akış Şeması(5)

Bir sonraki, motorlara hareket komutlarının gönderildiği koşula, sıralı olarak bir döngüde sadece Dairesel Hareket Motoru hareketi, bir döngüde her iki motora da hareket verilmektedir. Bu koşul değişim işleminin sebebi ise yunuslama(plunge) hareketinde Dairesel Hareket Motoru her koşulda hareket halinde olması gerekmesine rağmen doğrusal hareket motoru, 2 işlemde birinde harekete geçmelidir. Bu hareket komutu gönderim işlemi seçimi, hareket komutlarının temel olarak belirlendiği ilgili döngüye girerken de bahsettiğimiz koşul bayrağı ile

girilmektedir. Her adımda terslenen bu bayrak ile sıralı işlem gerçekleştirilir. Bu bayrak ise hareket komutu gönderim işleminden sonra terslenmektedir.

Yalnızca Dairesel Hareket Motoruna hareket verilen işlemin içerisinde, aynı zamanda belirli koşullar da (Şekil 7.32'de belirtilmiştir) tekrar güncellenmektedir. Aynı zamanda dairesel hareket sayacı da 1 azaltılır.

Bu işlemin içerisinde motor kontrol birimine, "DIS" ve "VR" komutları ile açı hızı ve açı pozisyonu gönderilir. (Dairesel Hareket Motoru adresi->VR->Dairesel Hareket Motoru hızı->DIS->Dairesel Hareket Motoru başlangıç pozisyonu->MI) sırasında olmak üzere, her iletinin arasında CR(Carriage Return) kullanılarak "Concatenate String" fonksiyonu ile birleştirilir ve "Visa Write" protokolü ile hareket komutu kontrolcüye gönderilir.

Doğrusal hareket motoru ve dairesel hareket motoruna hareket verilen işlemin içerisinde, aynı zamanda koşullar da (Şekil 7.32'de belirtilmiştir) tekrar güncellenmektedir. Aynı zamanda dairesel hareket ve doğrusal hareket sayaçları bir azaltılır.

Bu işlemin içerisinde motor kontrol birimine, "DIS" ve "VR" komutları ile açı hızı, açı pozisyonu, Doğrusal Hareket Motoru hızı ve Doğrusal pozisyon gönderilir.

Çoklu ekseninde, (Dairesel Hareket Motoru adresi->VR->Dairesel Hareket Motoru hızı->DIS->Dairesel Hareket Motoru başlangıç pozisyonu->MI->doğrusal hareket motoru adresi->VR->doğrusal hareket motoru hızı->DIS->doğrusal hareket motoru başlangıç pozisyonu değeri->MI) sıralaması ile olmak üzere, her iletinin arasında CR(Carriage Return) kullanılarak "Concatenate String" fonksiyonu ile birleştirilir.

Son olarak da Visa Yazma(Visa Write) protokolü ile hareket komutu kontrolcüye gönderilir.



**Şekil 7.33** Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(1)

Şekil 7.33’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Hareket Değişkenleri Hesapla** = Kullanıcı tarafından belirlenen hareket isterlerine göre hareket değişkenleri hesaplanır.
- **Sınır Kontrolü ve Hareket Sayaçları Atama** = Hareket hesaplarından çıkan sonuçların, sınır kontrolü yapılır, hareket sayaçları atanır.
- **Hata Mesajı Göster ve Temizle** = İlgili hatanın kullanıcıya gösterildiği “Warning” değişkenine hatanın “String” türündeki açıklaması atılır. Hata mesajının kullanıcı tarafından, bir düğme ile temizlenmesi beklenir. “Adım Tarama Hareketi Başlat” düğmesi kapalı duruma getirilir.
- **“Aşama Bitti” Bayrağını Kaldır** = Bir sonraki aşamaya geçilmesini sağlayacak bayrak kaldırılır
- **Başlangıç Komutları Yaz, Hareket Göstergesini Aç** = Başlangıç koşulları ile hesaplanan motorların başlangıç hızları ve pozisyonları, kontrolcüye “Visa Write” fonksiyonu ile gönderilir. Motorların hareket ettiğine dair göstergeler aktif olur.
- **“Başlangıç Pozisyonuna Vardı” Bilgisi Ver, Sürekli Seçeneğinde Kayıt Aç** = “Başlangıç Pozisyonuna Varıldı” Bayrağı Kalktığı Zaman, “Hareket Başlamaya Hazır” bayrağı kaldırılır.
- **Kayıt Sayısını, Adım Sayısına Eşitle** = Veri toplama bölümündeki “Döngü Sayısı” değişkeni, doğrusal ve dairesel hareket adımlarının fazla olanına eşitlenir.



Otomatik adım tarama işlemi kullanıcı tarafından istenen belirli hareket değişkenleri ile modele deney başında belirlenen, tekrarlı hareketler verme amaçlıdır.

Kullanıcı tarafından girilmesi gereken hareket kıstasları;

- Modelin varacağı üst açılı limiti,
- Modelin varacağı alt açılı limiti,
- Doğrusal hareket motorunun hareket çözünürlüğü(adım büyüklüğü),
- Model, dairesel hareket motorunun açılı çözünürlüğü(adım büyüklüğü),
- Doğrusal Hareket Motorunun referans başlangıç mesafesi,
- Eğer hareket yalnızca doğrusal olacak ise hareketi genliği,
- Döngü sayısı,
- Hareket ile kayıt alınacak mı alınmayacak mı seçeneği,
- Dalga türü seçeneği(tam dalya, yarım dalga),

Başlangıçta bu ana girdi değişkenleri ile hareket rutininin değişkenleri belirlenir. Eğer girdiler düzeneğin sınırlarına veya hareketin yapısına uygun değil ise ilgili hata mesajı, hata kutucuğunda belirir ve hata göstergesi açık duruma gelir.

Bu mesajın kullanıcıda bir uyarı niteliği taşıması için hata mesajının temizlenmesi işlemi bir düğme ile kullanıcıya yaptırılır.

İlk durumda, doğrusal ve dairesel hareket motorlarının adım sayıları, ufak adım sayıları, büyük adım sayıları, saat yönünde ve tersinde adım sayıları olmak üzere hareket oluşturulurken sayaç olarak kullanılacak olan değişkenleri, kullanıcı girdilerine göre hesaplarız.

Bu hesap, otomatik hareketimizin ilk adımıdır. Bu adımda kullanıcının girdileri ile hareket belirlenirken, sınır ve hata durumları da burada belirlenir. Bu adım doğrulanmadan bir sonraki adıma geçilemez.

Burada tespiti yapılan hata durumları;

- Dairesel hareket açısının, düzeneğin sınırlarının dışında olması,
- Rayın gerçekleştireceği doğrusal hareketin, sistem sınırları dışında olması,
- Açı girdisinin, açı adım büyüklüğüne bölünemeyecek şekilde belirlenmiş olması,
- Doğrusal hareket girdisinin, doğrusal hareket adım büyüklüğüne bölünemeyecek şekilde belirlenmiş olması,

Otomatik hareket için sayaç olarak kullanılacak değişkenlerin hesaplanması;

**Tam Dalga;**

$$MAA = \frac{AUL - AAL}{2} \quad (7.21)$$

$$DAUA = DUAA = \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \quad (7.22)$$

$$DUAT = DAUT = \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \times DS \quad (7.23)$$

$$DUAT = DAUT = \left( \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \times DS \times 4 \right) + 1 \quad (7.24)$$

**Yarım Dalga;**

$$MAA = (AUL - AAL) \quad (7.25)$$

$$DAUA = DUAA = \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \quad (7.26)$$

$$DUAT = DAUT = \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \times DS \quad (7.27)$$

$$DUAT = DAUT = \left( \frac{MAA - (MAA \bmod(AR))}{AR} \times DS \times 2 \right) + 1 \quad (7.28)$$

(7.21)'den (7.28)'e kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

- Kanada verilen dairesel dalga hareketinde kanadın, üst uçtan alt uca yaptığı harekette attığı adım sayısı =DUAA
- Kanada verilen dairesel dalga hareketinde kanadın, alt uçtan üst uca yaptığı harekette attığı adım sayısı=DAUA
- Kanada verilen dairesel dalga hareketinde kanadın üst uçtan alt uca yaptığı harekette attığı toplam adım sayısı=DUAT
- Kanada verilen dairesel dalga hareketinde kanadın alt uçtan üst uca yaptığı harekette attığı toplam adım sayısı=DAUT
- Kanada verilen dairesel dalga hareketinde kanadın yaptığı toplam adım sayısı=DT
- Açı Üst Limit = AUL
- Açı Alt Limit = AAL
- Mutlak Atak Açısı = MAA
- Açı Çözünürlüğü =AR
- Döngü Sayısı =DS

Yapılan taban işleminde mod sıfırdan farklı çıkarsa açı girdisinin, açı adım büyüklüğüne bölünemeyecek şekilde belirlenmiş olması hatasını verir.

### **Tam Dalga;**

$$HGT = \frac{\left(\frac{HG}{RH} \times 360\right)}{2} \quad (7.29)$$

$$DAT = \left(\frac{LAB}{RH} \times 360\right) \quad (7.30)$$

$$LAUA = LUAA = \frac{HGT - (HGT \text{ mod } DAT)}{DAT} \quad (7.31)$$

$$LUAT = LAUT = \frac{HGT - (HGT \text{ mod } DAT)}{DAT} \times DS \times 4 \times 2 \quad (7.32)$$

$$LT = \left(\frac{HGT - (HGT \text{ mod } DAT)}{DAT} \times DS \times 4\right) + 1 \quad (7.33)$$

## Yarım Dalga;

$$HGT = \left(\frac{HG}{RH} \times 360\right) \quad (7.34)$$

$$DAT = \left(\frac{LAB}{RH} \times 360\right) \quad (7.35)$$

$$LAUA = LUAA = \frac{HGT - (HGT \bmod DAT)}{DAT} \quad (7.36)$$

$$LUAT = LAUT = \frac{HGT - (HGT \bmod DAT)}{DAT} \times DS \times 2 \quad (7.37)$$

$$LT = \left(\frac{HGT - (HGT \bmod DAT)}{DAT} \times DS \times 2\right) + 1 \quad (7.38)$$

(7.29)'dan (7.38)'e kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

- Kanada verilen düzlemsel dalga hareketinde kanadın, üst uçtan alt uca yaptığı harekette attığı adım sayısı=LUAA
- Kanada verilen düzlemsel dalga hareketinde kanadın, alt uçtan üst uca yaptığı harekette attığı adım sayısı=LAUA
- Kanada verilen düzlemsel dalga hareketinde, kanadın üst uçtan alt uca yaptığı harekette attığı toplam adım sayısı=LUAT
- Kanada verilen düzlemsel dalga hareketinde kanadın alt uçtan üst uca yaptığı harekette attığı toplam adım sayısı=LAUT
- Kanada verilen düzlemsel dalga hareketinde kanadın yaptığı toplam adım sayısı=LT
- Rayın hatvesi =RH
- Hareketin Genliği =HG
- Döngü Sayısı = DS
- Doğrusal Hareket Adım Büyüklüğü =LAB
- Doğrusal Harekette Motorun, Bir Adımı İçin Gereken Tur Sayısı = DAT
- Hareketin Doğrusal Genliği İçin Motorun Atması Gereken Tur Sayısı = HGT

Yapılan taban işleminde mod sıfırdan farklı çıkarsa doğrusal hareket girdisinin, doğrusal hareket adım büyüklüğüne bölünemeyecek şekilde belirlenmiş olması hatasını verir.

### Tam Dalga İçin Başlangıç Pozisyonu Belirleme;

$$DB = AUL - \frac{AUL - AAL}{2} \quad (7.39)$$

$$LB = \frac{RBN}{RH} \times 360 \quad (7.40)$$

### Yarım Dalga İçin Başlangıç Pozisyonu Belirleme;

$$DB = AAL \quad (7.41)$$

$$LB = \frac{RBN}{RH} \times 360 \quad (7.42)$$

(7.39)'dan (7.42)'ye kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

- Dairesel Hareket Motorunun Başlangıç Noktası = DB
- Doğrusal Hareket Motorunun Başlangıç Noktası=LB
- Referans Başlangıç Noktası=RBN
- Açı Üst Limiti=AUL
- Açı Alt Limiti=AAL
- Rayın hatvesi=RH

Referans başlangıç noktasına genlik, artı ve eksi uçlarda toplandığı zaman, model mekanik sınırdan dışarı çıkıyorsa “düzeneğin mekanik sınırının dışında” hatası verir.

Doğrusal veya dairesel hareket motoru limit girdileri sistemin mekanik sınırlarının dışına çıkıyorsa açı veya ray olarak belirtilerek sistemin mekanik sınırlarının dışına çıktığına dair hata verir.

Hata yoksa ve sistem hareket değerleri tanımlandıysa kalkan bayraklar ile sonraki aşamaya geçilir.

Sonraki aşama sistemi başlangıç noktasına götürecek olan hareketin verilmesidir.

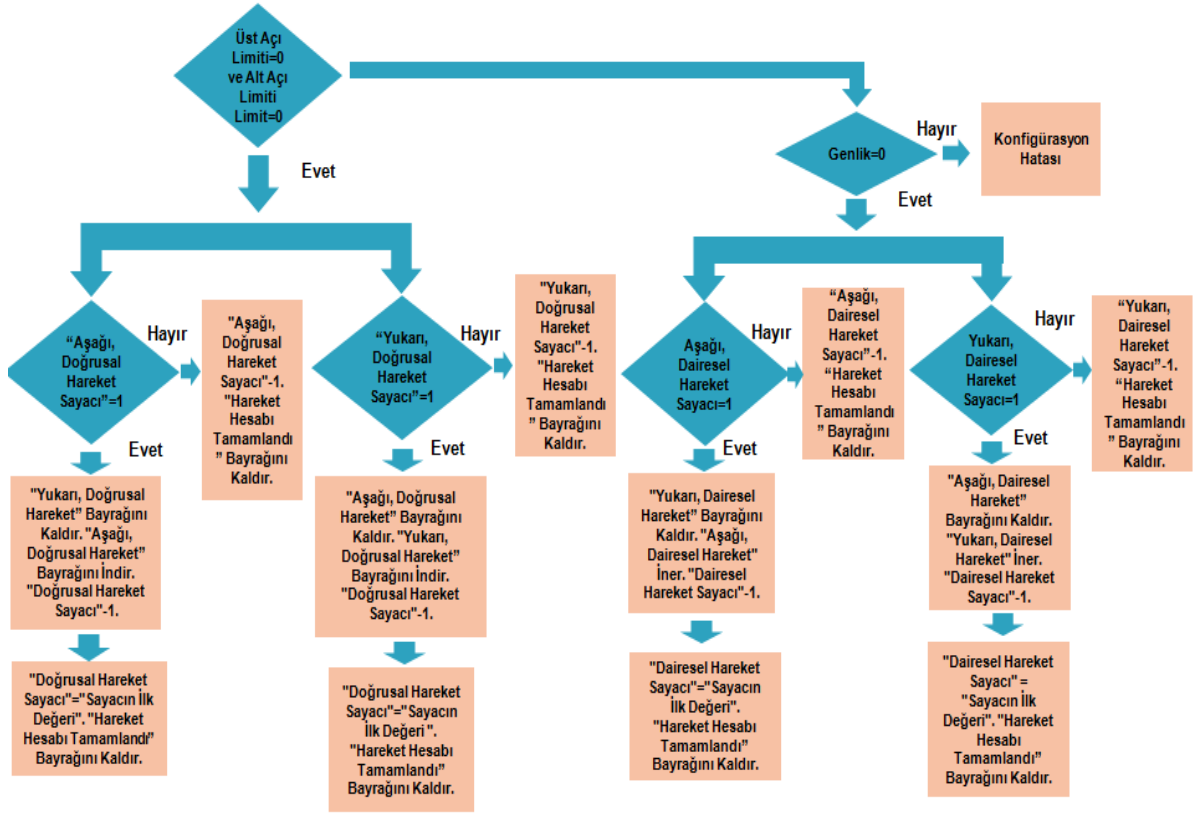
Başlangıç kısmında belirlenmiş olan, doğrusal ve dairesel hareket motorlarının, istenilen harekete göre, başlangıç pozisyonlarına, motorlar kesin pozisyonda hareket komutu olan “MA” komutu kullanılarak, çoklu eksenle, (Dairesel Hareket Motoru adresi->MA->Dairesel Hareket Motoru başlangıç pozisyonu->doğrusal hareket motoru adresi->MA->doğrusal hareket motoru başlangıç pozisyonu değeri) sırasında olmak üzere, her iletinin arasında CR(Carriage Return) olacak şekilde, “Concatenate String” fonksiyonu kullanılarak birleştirilir ve “Visa Write” protokolü ile hareket komutu kontrolcüye gönderilir.

Bu işlemde hareketin başladığına dair bayrak kalkar. Hareket bitiminde programda belirlediğimiz enkoder eşleştirme metodu ile uyarı gelecektir. Bu uyarı geldiği zaman hareketin bittiği ve motorların başlangıç pozisyonuna vardıkları anlaşılır.

Eğer hareket ile birlikte veri kaydı da alınacak ise, bir başka deyişle Hareket Halinde iken Kayıt Al(Save While Moving) düğmesi aktif hale getirildiyse hesaplanmış olan doğrusal hareket ve dairesel hareket ölçümlerinden, büyük olan ölçüm sayısı, veri toplama fonksiyonundaki Döngü(Loop) değişkenine atılır. Böylelikle kaydın kaç döngü olacağı, motor hareketi ile belirlenmiş olur.

Veri kaydında, her toplu yazılan veri dizgilerinde 1 adet azalacak şekilde belirlenmiş bir Döngü(Loop) değişkeni vardır. Bu değişken motor hareketi ile beraber kullanılmıyor ise 1'dir. Motor hareketi ile kullanıldığı zaman belirlenen bu değişken başta belirlenmiş sayıda veya süre boyunca veriye ulaştığında bir azalır ve adım işlemi bayrağı değişir. Bu bayrak tekrar veri toplayabileceği şekilde yalnızca otomatik adım fonksiyonunda değiştirilmektedir.

Bu değişim istenilen adım hareketi yapıldığında bayrağı değiştirerek veri toplama döngüsüne tekrar girilmesini sağlar. Bu da her hareket adımından sonra veri toplanması ve her veri toplama süreci bitiminde hareket adımının başlaması anlamına gelir. Bu sıralı işlemlerin sayısı, otomatik adım hareketi kısmının başında belirlenen doğrusal hareket ve Dairesel Hareket Motorunun ölçüm sayısı ile belirlenmiştir.



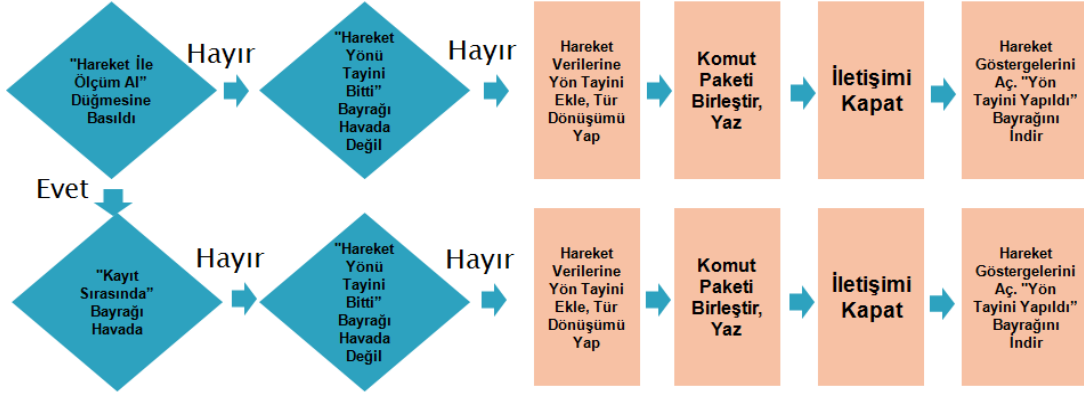
**Şekil 7.34** Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(2)

Bir sonraki aşamamızda doğrusal hareket motoru ve Dairesel Hareket Motoru için belirlenmiş olan yukarı hareket ve aşağı hareket sayaçları kontrol edilir.

Bu kontrol aşaması tamamlanmadan motora hareket verilmez. İlgili kontrolde, önceden belirlenmiş değişkenler kontrollü bir şekilde her adımda bir azaltılarak, bir hareket(yukarı veya aşağı) tamamlanır. Tamamlanan hareketten sonra aşağı veya yukarı bayrağı tersine dönerken eski hareket sayacı tekrar ilk değerine getirilir.

Bu durum dâhilinde diğer hareketlerin yarısı büyüklüğünde olan ilk ve son hareketler de kontrol edilmektedir. Bu kontrol ana, toplam ölçüm sayacı ile sağlanır.

Her belirlenen hareketten sonra doğrusal hareket motoru ve Dairesel Hareket Motorunun ne yönde hareket edeceğine dair ve artık motora hareket verilmesi gerektiğine dair bayraklar kalkar.



Şekil 7.35 Adım Tarama Hareketi İçin Akış Şeması(3)

Şekil 7.35’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Hareket Verilerine Yön Tayini Ekle, Tür Dönüşümü Yap** = Hareket için belirlenmiş olan mesafe verileri yön bayraklarına göre "-" veya "+" ile çarpılır. Hız ve mesafe verileri "String" türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Birleştir, Yaz** ="Concatenate Strings" fonksiyonu ile birleştirilerek oluşturulan "String" türündeki komut paketi, "Visa Write" fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir
- **İletişimi Kapat** = Visa iletişim protokolü "Visa Close" fonksiyonu ile kapatılır.
- **Hareket Göstergelerini Aç. "Yön Tayini Yapıldı" Bayrağını İndir** = Her iki motorun hareket haline geçtiğine dair bayraklar kaldırılır. Yön tayini hesabının yapıldığına dair bayrak indirilir.
- **Hareket Verilerine Yön Tayini Ekle, Tür Dönüşümü Yap** = Hareket için belirlenmiş olan mesafe verileri yön bayraklarına göre "-" veya "+" ile çarpılır. Hız ve mesafe verileri "String" türüne çevrilir.
- **Komut Paketi Birleştir, Yaz** ="Concatenate Strings" fonksiyonu ile birleştirilerek oluşturulan "String" türündeki komut paketi, "Visa Write" fonksiyonu ile kontrolcüye iletilir
- **İletişimi Kapat** = Visa iletişim protokolü "Visa Close" fonksiyonu ile kapatılır.
- **Hareket Göstergelerini Aç, "Yön Tayini Yapıldı" Bayrağını indir** = Her iki motorun hareket haline geçtiğine dair bayraklar kaldırılır. Yön tayini hesabının yapıldığına dair bayrak indirilir.



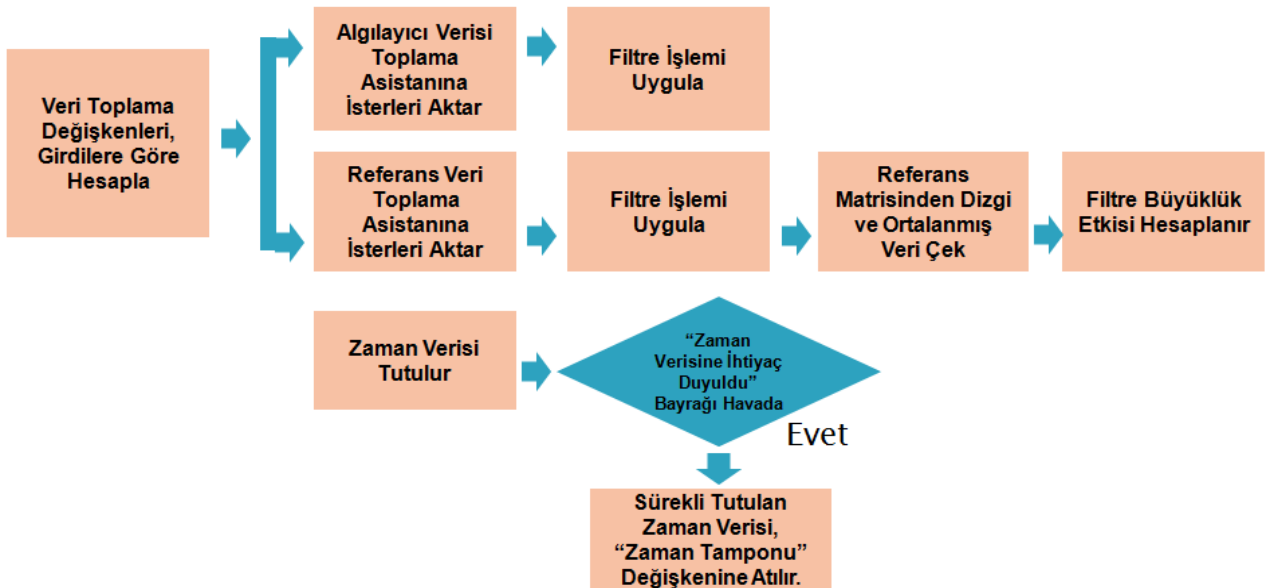
Bir sonraki adımda doğrusal hareket ve dairesel hareket motorlarının hangi yönde döneceği önceden belirlenmiştir ve ilgili yöne göre adım büyüklükleri (-) veya (+) ile çarpılarak ek hareket komutu kullanılarak kontrolcüye gönderilir.

Ek hareket komutu “MI” ve “DIS” ikilidir. Çoklu eksenle yapılacak olan bu harekette, (Dairesel Hareket Motoru Adresi->DIS->Dairesel Hareket Motoru Başlangıç Pozisyonu->MI->Doğrusal Hareket Motoru Adresi->DIS->Doğrusal Hareket Motoru Başlangıç Pozisyonu Değeri->DIS) sırasında olmak üzere, her iletinin arasında CR(Carriage Return) kullanılarak “Concatenate String” fonksiyonu ile birleştirilir. Visa Yaz(Visa Write) protokolü ile hareket komutu kontrolcüye gönderilir.

Gönderim esnasında aktif hale getirilen motorların hareket haline geçtiğine dair bayraklar ile beraber, hareket bittiğinde veri toplamanın başlatılacağı bayrak kaldırılır.

Bu bayrak, adım hareket protokolünde olduğuna dair olan başka bir bayrağın, rutinin başından sonuna kadar aktif kaldığı durumda, veri toplama biriminin koşul durumlarından biri halindedir.

### 7.5.2 Arayüzün tasarımı (veri toplama)



**Şekil 7.36** Algılayıcı Verilerinin Toplanması ve Filtrelenmesi, Zaman Verisinin Tutulması ve İhtiyaca göre Sıfırlanması için Akış Şeması

Şekil 7.36'da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Veri Toplama Değişkenleri, Girdilere Göre Hesapla** = "Gerçek Zamanlı Ortalama" veya "Toplu" veri toplama seçeneğine ve kullanıcı girdilerine bağlı olarak, Veri Toplama Oranı(Rate), "Periyot" ve "Tek Döngüde Toplanacak Veri Sayısı" hesaplanır.
- **Algılayıcı Verisi Toplama Asistanına İsterleri Aktar** = Algılayıcı verisi toplama asistanına, Veri Toplama Oranı (Rate), "Tek Döngüde Toplanacak Veri Sayısı", "Veri Toplayacak Modülün İletişim Adresi" aktarılır.
- **Filtre İşlemi Uygula** = Toplanan verilerden oluşan matrise, seçilen filtre işlemi uygulanır ve "Filtrelenmiş Veri Matrisi" değişkenine atılır.
- **Referans Veri Toplama Asistanına İsterleri Aktar** = Referans olacak güç kaynağı kanalı için kullanılan veri toplama asistanına, Veri Toplama Oranı (Rate) ve "Tek Döngüde Toplanacak Veri Sayısı", veri toplayacak modülün port girdileri aktarılır.
- **Filtre İşlemi Uygula** = Toplanan verilerden oluşan matrise, seçilen filtre işlemi uygulanır ve "Filtrelenmiş Veri Matrisi" değişkenine atılır.
- **Referans Matrisinden Dizgi ve Ortalanmış Veri Çek** = Filtrelenmiş, referans veri matrisinden, "Index Array" fonksiyonu ile dizgi çekimi işlemi yapılır. Çekilen dizginin, her döngüde ortalaması alınır ve ilgili elementlere atılır.
- **Filtre Büyüklük Etkisi Hesaplanır** = Ortalaması alınmış ve filtrelenmemiş veri, ortalaması alınmış ve filtrelenmiş veriye bölünür. Filtrenin veri büyüklüğüne olan etkisi hesaplanır.
- **Zaman Verisi Tutulur** = Milisaniye cinsinden zaman verisi, sürekli olarak "Tick Count" fonksiyonu ile zaman değişkeninde tutulur.

Veri toplama bölümü düğmesi aktif hale getirildiğinde veri toplama ile ilgili iki döngü çalışmaya başlar.

Veri toplama asistanı belirlediğimiz veri toplama hızına, veri toplama sıklığına, veri büyüklüğüne, kullanılan kanallara ve bu kanallara bağlanan algılayıcıların cinslerine göre, ayrı bir döngüde, veri toplama cihazından gelen verileri bir dizgiye, voltaj cinsinden aktarır. Veri toplama işlemleri gerçek zamanlı ortalama(RTA) ve Toplu(Mass) olmak üzere iki ana başlıkta kullanıcıya sunulmuştur.

Veri toplama cihazından gelen verilerin aktarıldığı dizgi, kullanıcı tarafından belirlenmiş, üstel ağırlıklı hareketli ortalama(zaman sabiti kullanıcı tarafından belirlenmektedir.) ve/veya FIR, alçak geçiren(FIR katsayısı) filtre işleminden geçer.

Belirlenmiş filtre işlemi, algılayıcıların beslemesinin veri toplama cihazına da bağlanması ile test amacı ile uygulanır ve algılayıcıların beslemesinin filtre işleminden önce ve sonra ölçülen değeri birbiri ile bölünerek filtre işleminin herhangi bir modülasyona sebep olup olmadığı gözlemlenir. Eğer oluyorsa bu oran veriler ile çarpılarak sapmanın önüne geçilmiş olunur.

Kanallardan toplanan ve matrise yazılan veriler anlık ve toplu veri toplama bölümünden ana veri toplama bölümüne yerel değişkenler ile aktarılır.

Toplu veri toplama seçeneğinde uygulanan formüller;

Adım 1:

$$VTO = \frac{SVT}{50} \times 5 \times \frac{1000}{SVT} \quad (7.43)$$

Adım 2

$$VTO = 100 \quad (7.44)$$

Adım 1:

$$VTH = \frac{1000}{\frac{SVT}{50}} \quad (7.45)$$

Adım 2:

$$VTH = \frac{50000}{SVT} \quad (7.46)$$

Adım 1:

$$TG = VTH \quad (7.47)$$

$$DTV = 50 \quad (7.48)$$

(7.43)'den (7.53)'e kadar numaralandırılmış eşitliklerde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

Saniyede Veri Toplama = SVT (toplu seçeneğinde en fazla 1000, gerçek zamanlı ortalama seçeneğinde en fazla 20 olarak sınırlandırılmış kullanıcı girdisidir.)

Veri Toplama Oranı = VTO

Veri Toplama Havuzu = VTH

Döngüde Toplanacak Veri = DTV

Periyot Gecikmesi= TG

Gerçek Zamanlı Ortalama(RTA) seçili ise uygulanan formüller;

Adım 1

$$VTO = \frac{SVT \times 1000 \times 5}{SVT} \quad (7.49)$$

Adım 2

$$VTO = 5000 \quad (7.50)$$

$$DTV = VTH = \frac{1000}{SVT} \quad (7.51)$$

Adım 1

$$TG = \frac{1}{VTO} \times VTH \times 5000 \quad (7.52)$$

Adım 2

$$TG = VTH = DTV = \frac{1000}{SVT} \quad (7.53)$$

Gerçek zamanlı ortalama seçeneğinde, veri toplama cihazının topladığı veri paketlerinin her döngüde ortalaması alınır ve işleme bu şekilde sokulur ve beraberinde birçok işlem yapılabilirken, toplu kayıt seçeneğinde her döngüde, yalnızca veri toplama cihazının elde ettiği tüm veriler kullanıcıya kayıt işleminde doğrudan sunulmaktadır. Toplu kayıt seçeneği ile gerçek zamanlı ortalama seçeneğinin birbirlerine göre avantajları vardır.

Toplu kayıt seçeneği avantajları:

- Elde edilen her veriye kayıttan sonra ulaşabilmek.
- Yüksek sayıda ve hızlı kayıt imkânı. Saniyede 1000 veri toplayabilme imkânı.

Gerçek zamanlı ortalama avantajları:

- Verilerin gözlemlendiği grafikler ve göstergelerde toplu kayıt seçeneği seçili dahi olsa gerçek zamanlı ortalamanın gözlemlenebilmesi.
- Saniyede 20 adet veriye kadar veri toplayabilme imkânı.
- Her veri ile beraber veri kayıt zamanı eklentisi.
- Kayıttaki ortalama, minimum, maksimum değışkenlerinin de bulunması.
- Motor ile ilgili değışkenlerin de kayıttaki bulunması.



Şekil 7.37 Algılayıcı Verilerin Birim Dönüşümü, İşlenmesi, Analizi ve Kaydı



**Şekil 7.38** Algılayıcı Verilerinin Büyüklüklerini Etkileyen, Filtre Etkilerinin Giderilmesi, Voltajdan Kuvvete Çevrilmesi için Akış Şeması

Şekil 7.38’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Algılayıcı Matrisinden, Dizgi ve Ortalanmış Veri Çek** = Veri analiz kısmına taşınan filtrelenmiş veri matrisi, “Index Array” fonksiyonu ile alt, algılayıcı kanallarını barındıran dizgilerine ayrılır. Çekilen dizgilerin, her döngüde ortalaması alınır ve ilgili elementlere atılır.
- **Filtrenin Büyüklük Etkisini Gider** = her döngüde ortalaması alınarak elde edilmiş elementler, hesaplanmış filtre etkisine bölünür.
- **Algılayıcı Transfer Fonksiyonu Uygula** = Filtre etkisine bölünmüş algılayıcı elementlerine, ilgili algılayıcının kalibrasyon değeri, maksimum ve minimum değerlerinin de eklendiği transfer fonksiyonu uygulanır.
- **Elementler “Gerçek” Değişkenine Atılır** = Transfer fonksiyonu uygulanmış veriler, dara alma işleminde kullanılmak üzere “Gerçek” olarak tanımlanmış değişkenlere atılır.
- **“Darası Alınmış Veri” = “Gerçek” – “Dara”** = Her döngüde, dara alma işlemi ile elde edilen dara değerleri gerçek değerlerinden çıkarılarak kuvvet verileri elde edilmiş olur.

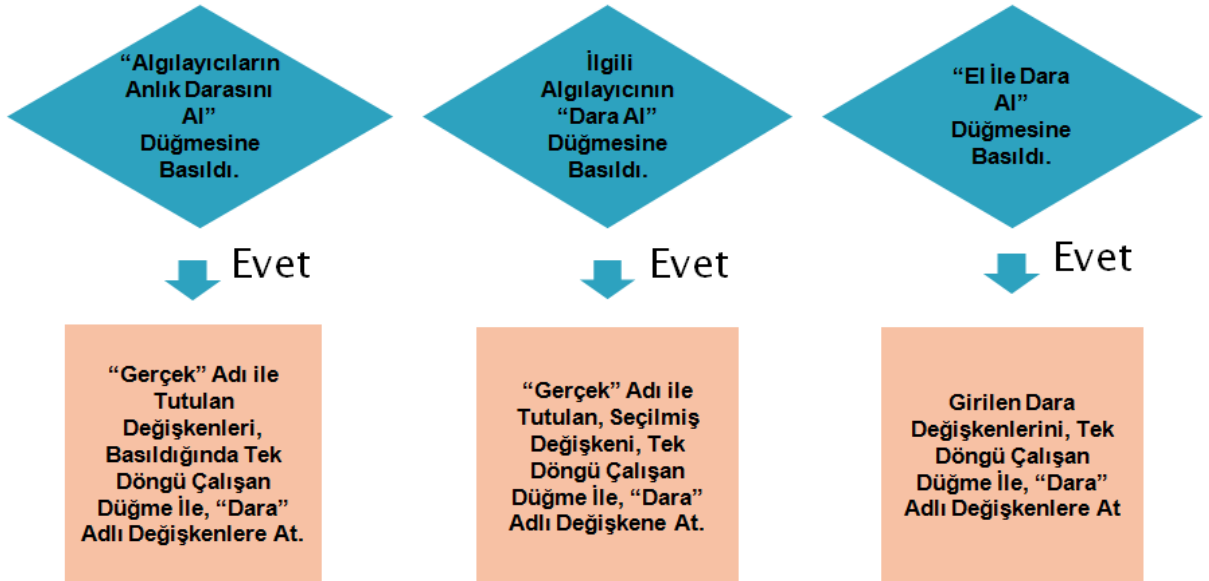
Ana veri toplama bölümünde, her döngüde veri havuzunun ortalaması alınır ve güç kaynağı ile belirlenmiş filtre sapma katsayısı ile çarpılır.

Bu veriler artık voltajdan grama çevrilmeye hazırdır. Her yük hücresinin kalibrasyon katsayısı, maksimum ve minimum değerleri ve besleme voltajları girdi olarak tanımlanan bir transfer fonksiyonundan oluşan SubVI ile voltaj değerleri gram ve Newton olmak üzere kuvvete çevrilir.

$$ODG = \frac{ODV \times MOD}{KD} \times \frac{1}{BV} \quad (7.54)$$

(7.54) eşitliğinde kullanılan değişkenlerin açılımı aşağıdaki gibidir;

- Ölçülen Değer Voltaj(mV) = ODV
  - Maksimum Ölçülebilir Değer(gr)= MOD
  - Algılayıcının kalibrasyon değeri (mv/V)= KD
  - Ölçülen Değer(gr) = ODG
  - Besleme(V)=BV
- Burada algılayıcının kendine has kalibrasyon değeri satıcı tarafından sağlanmaktadır ve bu değerlerin 2 yıl süre ile garantisi olduğu belirtilmiştir. 2 yıl sonra tekrar satıcıya gönderilerek kalibrasyon değeri elde edilir.
  - Kalibrasyon değerinin birimi(mv/V) içerisindeki “mv”, belirlenen besleme voltajı altında iken en yüksek sağladığı voltaj değeridir. “V” ise besleme voltajı olarak düşünülmektedir. Bahsi geçen değer ise bu iki değer birbirleri ile oranıdır. Sabit olarak teslim edilen bu kalibrasyon değerleri, besleme voltajı 5V iken sağlanmış olan bahsi geçen orandır.



**Şekil 7.39** Algılayıcılara Dara İşlemlerinin Uygulanması için Akış Şeması

Şekil 7.39'da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

Kuvvete çevrilmiş olan değerler kullanıcının isteğine göre dara işleminden geçirilebilirler. Bu işlem, birden fazla yolla yapılabilmektedir. Bu yollar, anlık dara alma, istenilen kanalın darasını alma, ortalama ile dara alma, el ile dara alma ve dara alma işlemini iptal etme gibi yollardır.

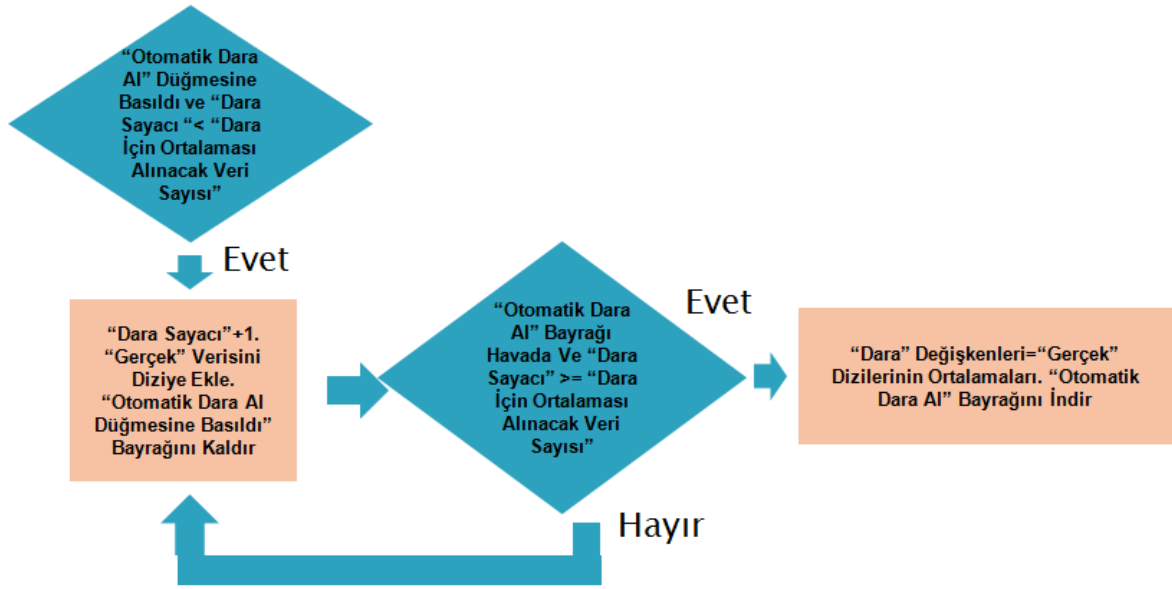
Anlık dara alma işlemi, o döngüde algılayıcıların gösterdiği değerleri dara değişkenlerine atarak ve bu dara değişkenlerini devam eden döngülerde elde edilen değerlerden çıkararak sağlanır. Bu dara işlemi ile hızlı bir şekilde tüm algılayıcıların daralarını almak mümkündür.

İstenilen kanalın darasını alma işlemi, o döngüde istenilen algılayıcının gösterdiği değeri dara değişkenine atarak ve bu dara değişkenini devam eden döngülerde elde edilen değerden çıkararak sağlanır. Bu dara işlemi hızlı bir şekilde istenilen algılayıcının darasını almak mümkündür.

El ile dara alma işleminde, kullanıcı tarafından önceden belirlenmiş dara değerleri programa girilir ve bu değerler ilerleyen döngülerde toplanan değerden çıkarılarak dara alma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Böylelikle duraksama gerektiren deneylerde veya önceden denenmiş, onaylanmış ve daraların belirlendiği deneylerde tüneli durdurmadan deneylere devam etme sağlanmış olur.

Su tünellerinin çalıştırılması ile beraberinde akışın istenilen forma gelmesi ve su tüneli durdurulduğunda içerideki akışın da durması uzun süren işlemlerdir. El ile dara alma işlemi bu gibi uygulamalarda pratiklik sağlamaktadır.

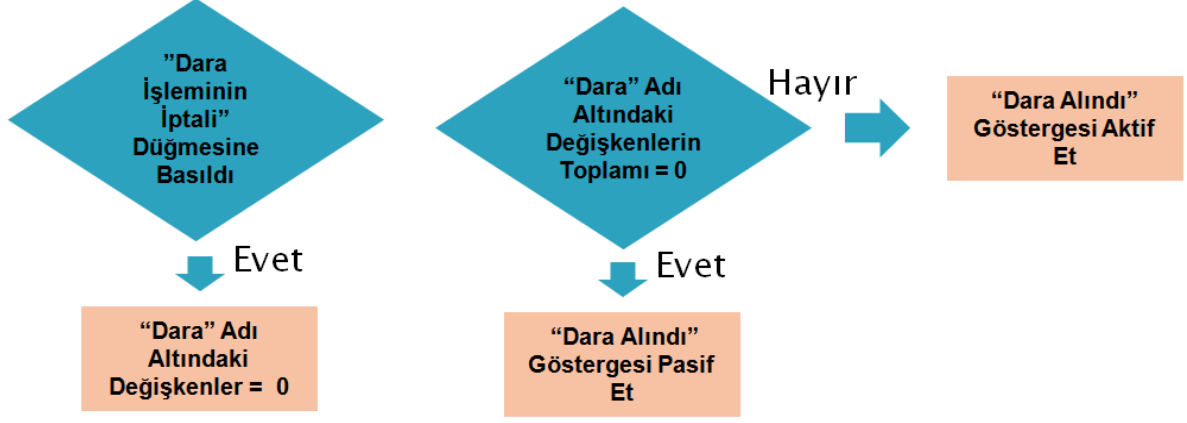




**Şekil 7.40** Algılayıcılara Otomatik Dara İşlemi Uygulanması için Akış Şeması

Şekil 7.40’da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Dara Sayacı”+1. “Gerçek” Verisini Diziye Ekle. “Otomatik Dara Al Düğmesine Basıldı” Bayrağını Kaldır** = Dara Sayacı Her Döngüde 1 Artar. “Gerçek” adı altında edinilen her algılayıcı verisi, ilgili dizgiye, “Insert Into Array” fonksiyonu ile eklenir. “Otomatik Dara Al” düğmesine basıldığına dair bayrak kalkar.
- **“Dara” Değişkenleri=“Gerçek” Dizilerinin Ortalamaları. “Otomatik Dara Al” Bayrağını İndir** = Algılayıcıların “Gerçek” adı altındaki verileri ile dolan dizilerin ortalamaları alınır ve “Dara” adı altındaki değişkenlere atılır. “Otomatik Dara Al” fonksiyonun bayrağı iner.



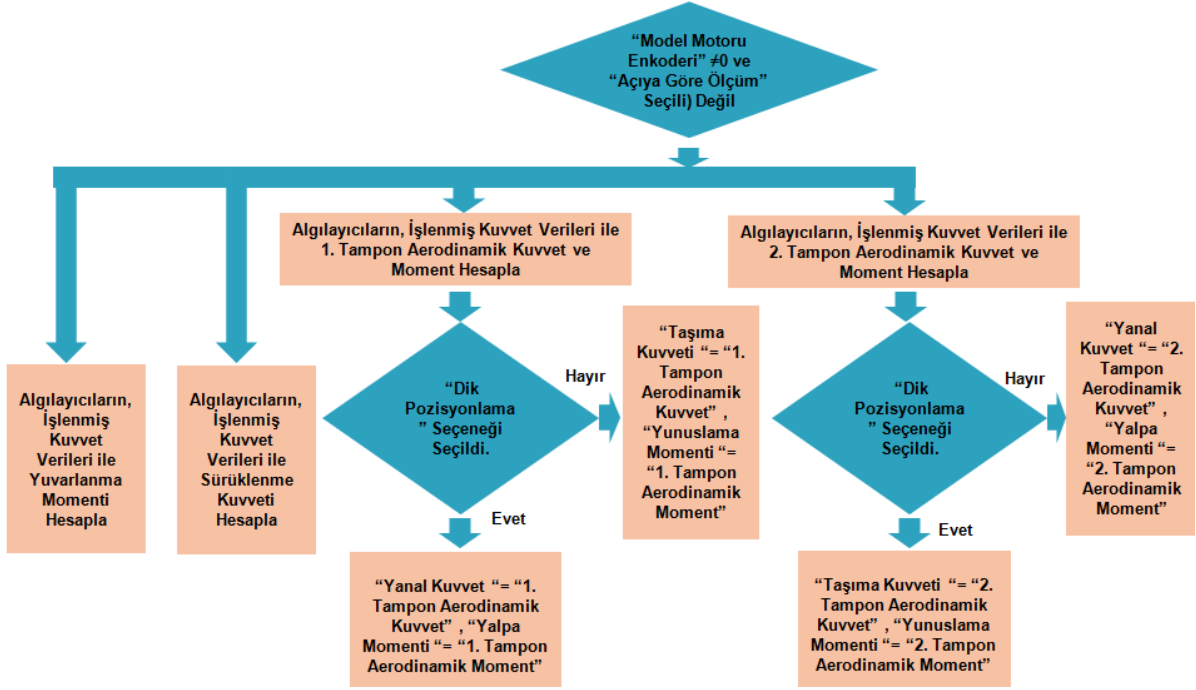
**Şekil 7.41** Dara İşleminin Geri Döndürülmesi ve Dara İşlemi Yapıldığına Dair Gösterge Oluşturulması için Akış Şeması

Dara işlemi yapıldıktan sonra, tek tuş ile bu işlemi eski haline getirmek mümkündür. Bu tuş ile çıkarılan sayılar sıfıra eşitlenir ve istenilirse tekrar dara alma işlemi yapılabilir.

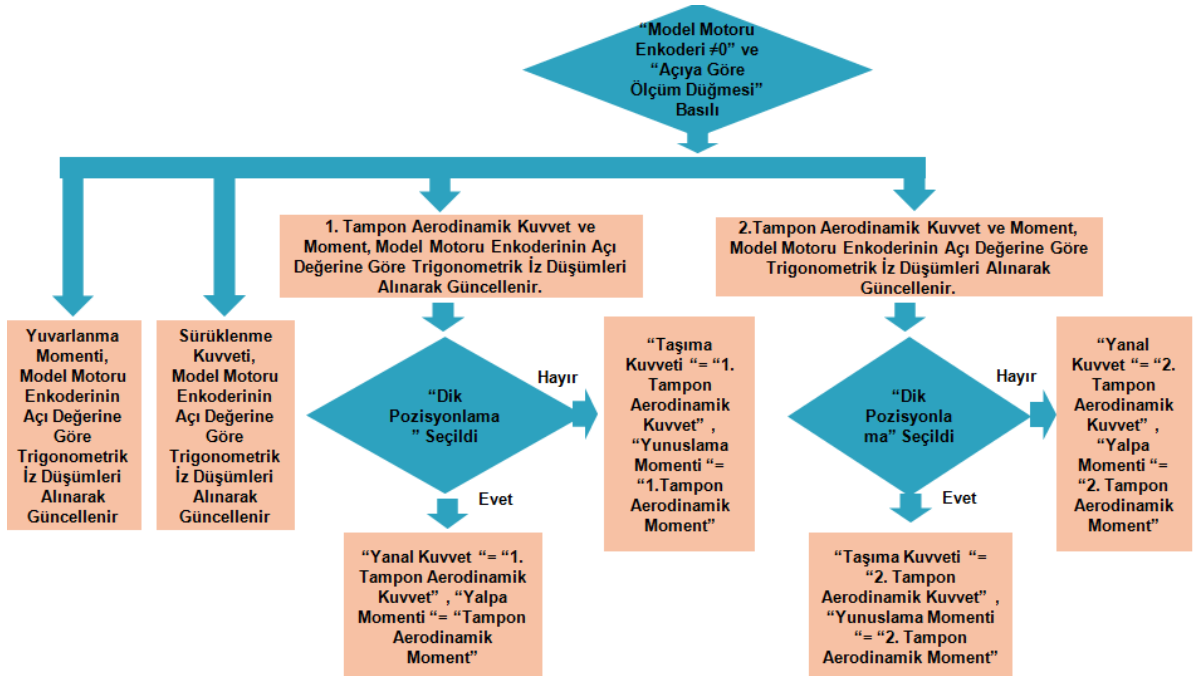
Dara alma işlemlerinden herhangi biri gerçekleştirildiyse bir başka deyişle verilerden çıkarılan dara değişkenlerinden herhangi biri sıfıra eşit değilse dara göstergesi kullanıcıyı uarmaktadır.

Dara işlemleri gerçekleştikten sonra bu veriler harici kuvvet denge sistemi uyarlamaları ile kuvvet ve momentleri elde etmek için kullanılırlar.

Ortalama ile dara alma işleminde, kaç adet veri ile dara alınması isteniyorsa o değer kullanıcıdan istenir. Düğmeye basıldığı andan istenilen veri sayısına ulaşana kadar tüm veriler tutulur ve bir dizgiye atılır. Bu dizginin, işlemin sonunda ortalaması alınır ve dara değişkenleri belirlenir. Bu değişkenler ilerleyen döngülerde elde edilen değerden çıkarılarak verinin darası alınmış olur. Bu işlemin faydası verideki salınımdan kaynaklanan dara alma toleransını ortadan kaldırmak ve daha sağlıklı bir dara alma işlemi gerçekleştirmektir.



Şekil 7.42 Aerodinamik Kuvvet ve Momentlerin Hesaplanması için Akış Şeması

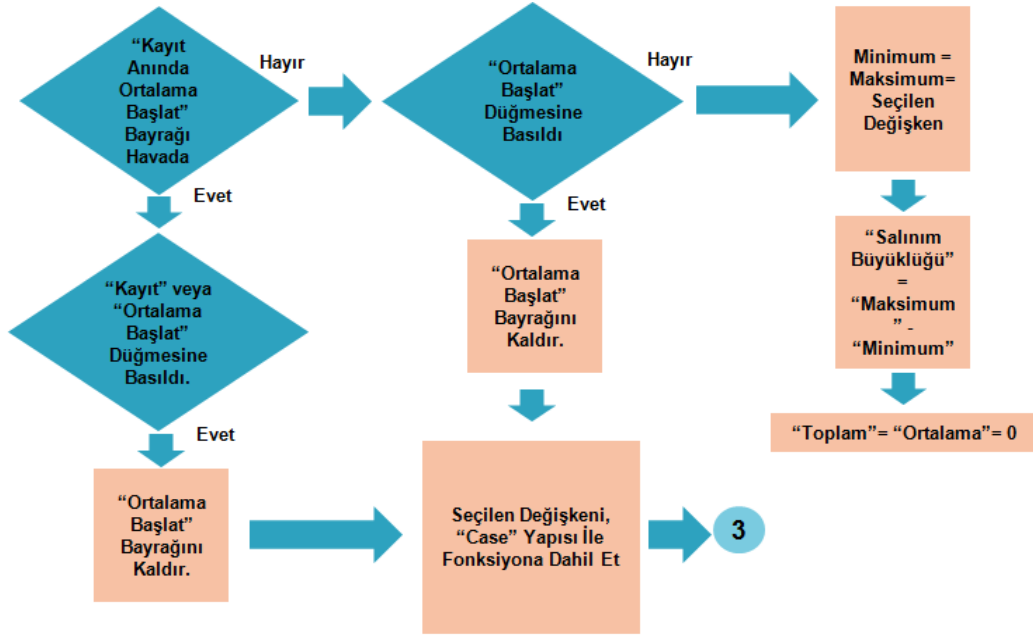


Şekil 7.43 Açıya Göre Adaptif Aerodinamik Kuvvet ve Momentlerin Hesaplanması için Akış Şeması

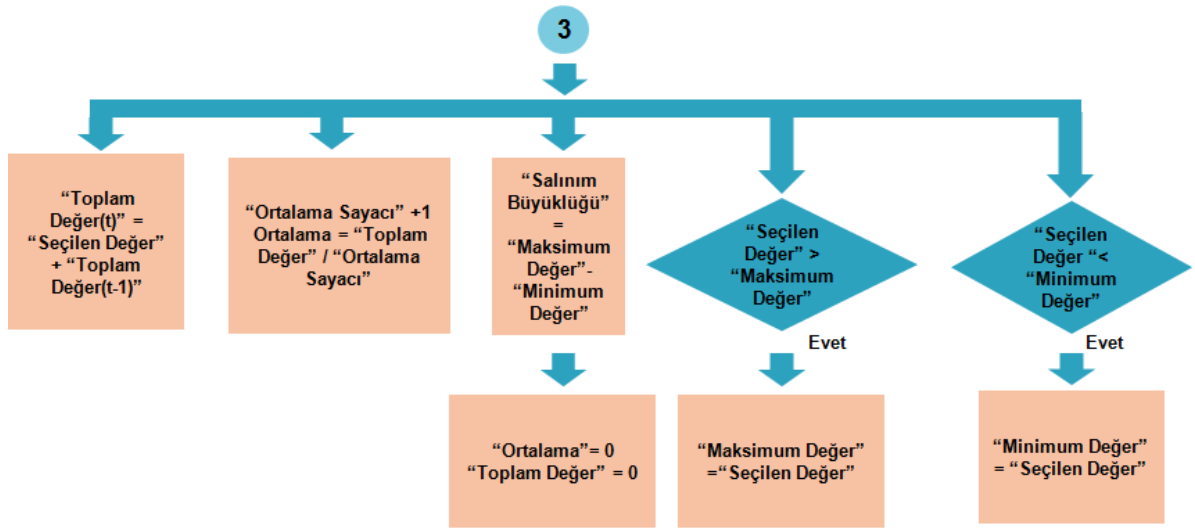
Açıya göre adaptif kuvvet ve moment seçeneği, motor enkoderinden edinilen açı bilgisi dâhilinde, hesaplanan kuvvet ve momentler, sistemdeki tüm algılayıcıların ilgili doğrultudaki kuvvetlerinin trigonometrik karşılıkları ile hesaplanmasıdır.

Bu seçenek aktif hale getirilip sisteme dairesel hareket verildiği zaman sistemde gözlenen kuvvet ve moment verilerinde değişiklik olmaması idealdir.

Bu esnada gözlenen değişimler sistemin mekanik ölçüm toleransını ifade etmektedir. Bu da 6 eksenli ölçüm sistemimizin bir ölçüde başa çıkmasını beklediğimiz testlerden biridir.



Şekil 7.44 Minimum, Maksimum, Ortalama ve Salınım Tespitlerinin Yapılması için Akış Şeması(1)



Şekil 7.45 Minimum, Maksimum, Ortalama ve Salınım Tespitlerinin Yapılması için Akış Şeması(2)

İstenilen değerin ortalama, maksimum ve minimum sapmalarının tespiti için düzenlenen bölümde kullanıcı tarafından belirlenen değişken "case" içerisinde seçilmiş olur.

Bu değişkenin değerleri Ortalama Başla(Start Avaraging) düğmesi ile sınanmaya başlar.

En büyük değeri, daha büyük değer gelene kadar tutulur. En küçük değeri daha küçük değer gelene kadar tutulur.

Her döngüde ortalama belirleme işlemi ise bir sayaç yardımı ile olur. İlk döngüden itibaren, belirlenmiş ortalama döngünün sayacının bir eksiği ile çarpılır, yeni değişken ile toplanır ve döngünün sayacına bölünür. Bu şekilde dizgi ihtiyacı olmadan gerçek zamanlı ortalama belirlenmiş olur.

Her veride ortalama biraz daha sabitlenir. Bir yandan da tutulan maksimum ve minimum değişkenleri, kullanıcıya salınım(türbülans, gürültü, vb.) hakkında bilgi verir.



**Şekil 7.46** Çeşitli Grafiklerin ve Analiz Yöntemleri Eklenmesi için Akış Şeması(1)

Kullanıcının analiz esnasında çeşitli grafikler ile deneyi gözlemleyebilmesi büyük önem arz etmektedir. Bunun için gerçek zamanlı çeşitli grafikler oluşturulmuştur ve kullanıcıya bu grafikler üzerinde analiz yapabilme imkânları sunulmuştur.

**Tüm Algılayıcı Kuvvetleri-Veri Grafiği:** Algılayıcıların her birine uygulanan kuvvetler grafikte gözlemlenebilmektedir. Bunun için “bundle” özelliği ile kuvvet elementlerinden oluşturulan “cluster” dalga formu çizelgesine yansıtılmıştır. Takılma yapan, uygun verinin alınamadığı veya daha derin bir analiz ihtiyacı duyulan durumlarda bu grafik incelenmektedir. X ekseninin veri olması ile de sistemin hızı ve bozulmuş olan verinin hangi veri olduğu daha kolay incelenebilmektedir.

**Tüm Kuvvetler-Veri Grafiği:** Algılayıcılardan toplanmış ve hesaplanmış olan kuvvetler bu grafikte gözlemlenebilmektedir. Bunun için “bundle” özelliği ile kuvvet elementlerinden oluşturulan “cluster” dalga formu çizelgesine yansıtılmıştır. Kuvvetler aynı çizelge üzerinde incelenebilirken, istenilen veri anında kuvvetlerin birbirleri ile ilişkileri incelenebilmektedir.

**Tüm Momentler-Veri Grafiği:** Algılayıcılardan toplanmış ve hesaplanmış olan momentler bu grafikte gözlemlenebilmektedir. Bunun için “bundle” özelliği ile moment elementlerinden oluşturulan “cluster” dalga formu çizelgesine yansıtılmıştır. Momentler aynı çizelge üzerinde incelenebilirken, istenilen veri anında momentlerin birbirleri ile ilişkileri incelenebilmektedir.

**Seçilen Algılayıcı Kuvveti-Veri Grafiği:** Algılayıcıların seçilen birine uygulanan kuvvet grafikte gözlemlenebilmektedir. Bunun için seçilen kuvvet “case” içerisinde belirlenip doğrudan dalga formu çizelgesine yansıtılmıştır. Takılma yapan, uygun verinin alınamadığı veya daha derin bir analiz ihtiyacı duyulan durumlarda bu grafik incelenmektedir. X ekseninin veri olması ile de sistemin hızı ve bozulmuş olan verinin hangi veri olduğu daha kolay incelenebilmektedir.



**Şekil 7.47** Çeşitli Grafiklerin ve Analiz Yöntemleri Eklenmesi için Akış Şeması(2)

Şekil 7.47’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Algılayıcı Kuvvetlerini ve Kanal Sayılarını Birleştir** = Sunulmaya hazır, algılayıcı kuvvet verilerini, (“1”-“Veri 1” -“2”- “Veri 2”-“3”-“Veri3”-“4”-“Veri4”-“5”-“Veri5”-“6”-“Veri6”) sırası ile “Build Array” fonksiyonu kullanarak birleştir.
- **Tek Sıralılar, Çift Sıralılar Ayır** = Oluşturulan dizi, “Decimate 1D Array” fonksiyonu ile tek sıralılar ve çift sıralılar olarak ayrılır.
- **Tek ve Çift Sıralı Değişkenleri, Dinamik Dönüşüm ile Grafığe Aktar** = Çıktısı grafik değişkenine bağlanacak olan “Build XY Graph” fonksiyonunun “X” girdisine tek sıralılar, “Y” girdisine çift sıralılar, “Convert To Dynamic Data” fonksiyonundan geçirilerek bağlanır.
- **Aerodinamik Kuvvetleri ve Kanal Sayılarını Birleştir** = Sunulmaya hazır, aerodinamik kuvvet verilerini, (“1”-“Veri 1” -“2”- “Veri 2”-“3”-“Veri3”) sırası ile, “Build Array” fonksiyonu kullanarak birleştir.
- **Tek Sıralılar, Çift Sıralılar Ayır** = Oluşturulan dizi, “Decimate 1D Array” fonksiyonu ile tek sıralılar ve çift sıralılar olarak ayrılır.
- **Tek ve Çift Sıralı Değişkenleri, Dinamik Dönüşüm ile Grafığe Aktar** = Çıktısı grafik değişkenine bağlanacak olan “Build XY Graph” fonksiyonunun “X” girdisine tek sıralılar, “Y” girdisine çift sıralılar, “Convert To Dynamic Data” fonksiyonundan geçirilerek bağlanır.

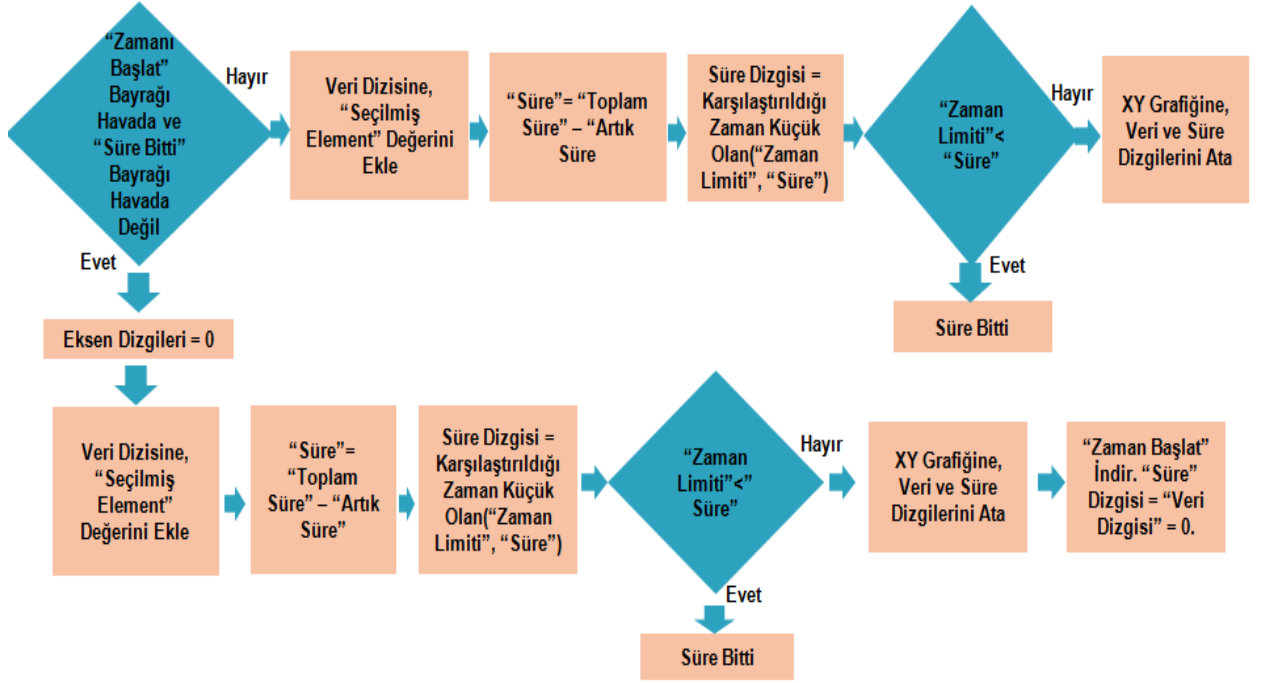
- **Aerodinamik Momentleri ve Kanal Sayılarını Birleştir** = sunulmaya hazır, aerodinamik moment verilerini, (“1”-“Veri 1” -“2”- “Veri 2”-“3”-“Veri3”) sırası ile, “Build Array” fonksiyonu kullanarak birleştir.
- **Tek Sıralılar, Çift Sıralılar Ayır** = Oluşturulan dizi, “Decimate 1D Array” fonksiyonu ile tek sıralılar ve çift sıralılar olarak ayrılır.
- **Tek ve Çift Sıralı Değişkenleri, Dinamik Dönüşüm ile Grafiğe Aktar** = Çıktısı grafik değişkenine bağlanacak olan “Build XY Graph” fonksiyonunun “X” girdisine tek sıralılar, “Y” girdisine çift sıralılar, “Convert To Dynamic Data” fonksiyonundan geçirilerek bağlanır.

Tüm Algılayıcı Kuvvetleri-Kanal: Tüm algılayıcı kuvvetlerinin gözlemlenebildiği bu grafikte X eksenini algılayıcıyı temsil eder. Böylelikle algılayıcıların kuvvet dağılımı gözlemlenebilmiş olur. Bu yöntem ile algılayıcılara uygulanan kuvvetlerin dağılımı daha uygun analiz edilebilmektedir. Zaman bilgisi taşımayan bu grafikte gözlemlenmek istenilen durum anlık algılayıcıların her birine uygulanan kuvvet dağılımıdır.

Tüm Kuvvetler- Kanal: Tüm aerodinamik kuvvetlerin gözlemlenebildiği bu grafikte X eksenini kuvvetin hangi kuvvet olduğunu temsil eder. Böylelikle aerodinamik kuvvet dağılımı gözlemlenebilmiş olur. Bu yöntem ile modele uygulanan kuvvetlerin dağılımı daha uygun analiz edilebilmektedir. Zaman bilgisi taşımayan bu grafikte gözlemlenmek istenilen durum anlık olarak uygulanan kuvvet dağılımıdır.

Tüm Momentler- Kanal: Tüm aerodinamik momentlerin gözlemlenebildiği bu grafikte X eksenini momentin hangi moment olduğunu temsil eder. Böylelikle aerodinamik moment dağılımı gözlemlenebilmiş olur. Bu yöntem ile modele uygulanan momentlerin dağılımı daha uygun analiz edilebilmektedir. Zaman bilgisi taşımayan bu grafikte gözlemlenmek istenilen durum anlık olarak uygulanan moment dağılımıdır.





**Şekil 7.48** (Seçilen Değişken-Zaman) Grafiği Oluşturulması için Akış Şeması

Şekil 7.48’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Veri Dizisine, “Seçilmiş Element” Değerini Ekle** = Sıfır atanmış “Veri” dizisine, “Build Array” fonksiyonu ile kullanıcı tarafından seçilmiş, element verisi eklenir.
- **“Süre”= “Toplam Süre” – “Artık Süre”** = “High Resolution Relative Seconds” fonksiyonu kullanılarak elde edilen “Toplam Süre”, 1000 ile çarpılarak milisaniyeye dönüştürülür. “Artık Süre”, “Toplam Süre” değişkeninden çıkarılarak “Süre” elde edilir.
- **Süre Dizgisi = Karşılaştırıldığı Zaman Küçük Olan(“Zaman Limiti”, “Süre”)** = “Zaman Limiti” ile “Süre” karşılaştırılır. Küçük olan değişken, sıfır atanmış süre dizisine, “Build Array” fonksiyonu kullanılarak eklenir.
- **XY Grafiğine, Veri ve Süre Dizgilerini Ata** = “Build XY Graph” fonksiyonunun “X” girdisine, “Süre” dizgisi, “Y” dizgisine, “Veri” dizgisi bağlanır ve grafiğe yansıtılır.
- **Eksen Dizgileri = 0** =Grafiği oluşturacak eksenlerin, “Shift Register” kullanılarak oluşturulan dizgilerine “0” atanır.

- **Veri Dizisine, “Seçilmiş Element” Değerini Ekle** = Sıfır atanmış “Veri” dizisine, “Build Array” fonksiyonu ile kullanıcı tarafından seçilmiş, element verisi eklenir.
- **“Süre”= “Toplam Süre” – “Artık Süre”= “High Resolution Relative Seconds”** fonksiyonu kullanılarak elde edilen “Toplam Süre”, 1000 ile çarpılarak milisaniyeye dönüştürülür. “Artık Süre” değeri elde edilir.
- **Süre Dizisi = Karşılaştırıldığı Zaman Küçük Olan(“Zaman Limiti”, “Süre”)** =“Zaman Limiti” ile “Süre” karşılaştırılır. Küçük olan değişken, sıfır atanmış süre dizisine, “Build Array” Fonksiyonu Kullanılarak Eklenir.
- **XY Grafiğine, Veri ve Süre Dizilerini Ata**= “Build XY Graph” fonksiyonunun “X” girdisine, “Süre” dizisi, “Y” girdisine, “Veri” dizisi bağlanır ve grafiğe yansıtılır.

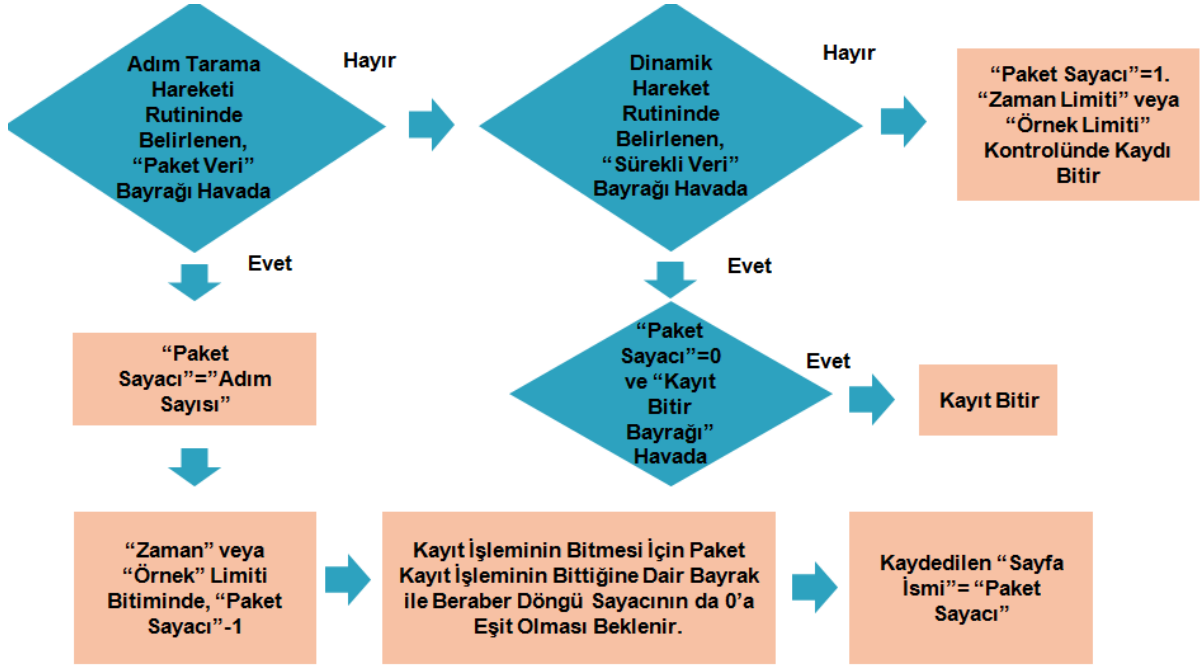
(Seçilen Değişken- Zaman) Grafiği: Bu grafikte kullanıcı her bir momenti, her bir kuvveti ve her bir algılayıcı kuvvetini seçebilmektedir. Bu seçimde belirlenmiş olan büyüklük grafiğin Y eksenini oluşturmaktadır. X eksenini ise zamanı temsil etmektedir.

Kullanıcının belirlediği zaman limiti ile alınan ölçümler bu grafiğe yansımaya başlar ve belirlenen zaman limiti geriye saymaya başlar. Bu zaman limiti(T) programda Y grafiğine, 0-T olarak değiştirilerek yansıtılır.

Shift Register yardımı ile zaman verisi ve gözlemlenecek olan veri büyüklüğü XY grafiğine ilgili eş eksenini ile beraber aktarılmış olur.

Bu veriler birbirleri ile birleştirildiğinde (zaman-seçilen birim büyüklüğü) grafiği ortaya çıkar.

Aynı zamanda bu grafik, programda zamana bağlı kayıt alma seçeneği ile kayıt alınmaya başlandığı anda otomatik olarak çıktı verecek şekilde, yerel değişkenler kullanılarak düzenlenmiştir. Kayıt düğmesine basıldığı anda veya grafik gözlemek amaçlı Zamanı Tekrar Başlat(Restart Time) düğmesine basıldığı zaman gösterim işlemlerinin içerisinde bulunduğu döngüye girerek bu işlem sağlanmıştır.



**Şekil 7.49** Veri Kaydının, Paketler Halinde Veya Sürekli Seçeneğinde Yapılması İçin Akış Şeması

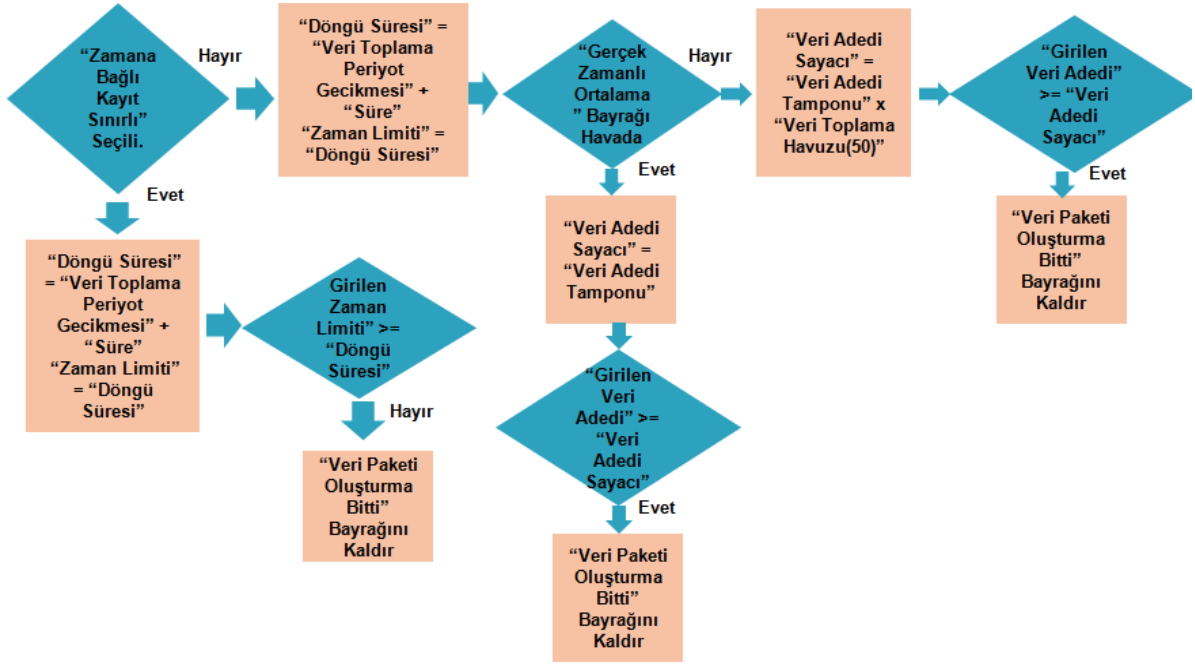
Şekil 7.49'da kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Kaydedilen "Sayfa İsmi"= "Paket Sayacı"** = Adım Tarama Hareketinde "Paket Sayacı", "String" Türüne Çevrilir. Kayıt İçerisinde, Her Pakette Yeni Sayfa Açılır ve "Paket Sayacı", "Sayfa İsmi" Girdisine Atanır.

Veri kaydının paketler halinde olması "adım-kayıt" otomatik işleminde önem arz etmektedir.

Veri toplama- hareket etme- veri toplama şeklinde yapılan bu otomatik işlemde her kayıt öbeği Excel programında farklı sayfalara kayıt edilmektedir. Böylelikle kullanıcı açısından adımları yorumlamak daha kolay olmaktadır.

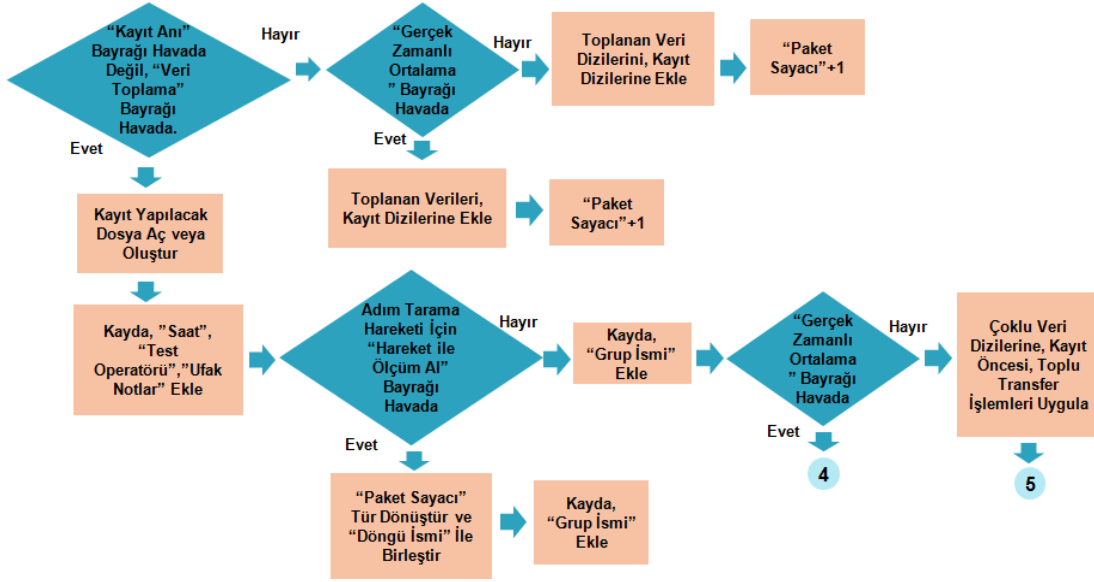
Bu işlem kayıt esnasında, kayıt seçeneğinin(TDMS driver set properties) sayfa girdisi olan "string" türünde değişkenin, her adımda artan bir sayacın, "string" türüne çevrilerek, bu girdi olarak alınması ile düzenlenmiştir. Her kayıt adımı bir sayaçta tutulur ve bu sayaç son kayıt anında "string" türüne çevrilerek, kaydın sayfa seçeneğine girdi olarak verilir.



Şekil 7.50 Veri Sayısı ve Süreye Göre Kayıt İşleminin Düzenlenmesi için Akış Şeması(1)

Şekil 7.50'de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **“Döngü Süresi” = “Veri Toplama Periyot Gecikmesi” + “Süre”.** **“Zaman Limiti” = “Döngü Süresi”** =Kayıt ile Beraber Başlatılmış Olan “Süre”, Seçime Bağlı Hesaplanan, “Veri Toplama Periyot Gecikmesi” ile Toplanarak “Döngü Süresi” Elde Edilir. Bu da “Zaman Limiti” Değişkenine Atılarak Zaman Grafiğinde Kullanılır.
- **“Döngü Süresi” = “Veri Toplama Periyot Gecikmesi” + “Süre”.** **“Zaman Limiti” = “Döngü Süresi”** =Kayıt ile Beraber Başlatılmış Olan “Süre”, Seçime Bağlı Hesaplanan, “Veri Toplama Periyot Gecikmesi” ile Toplanarak “Döngü Süresi” Elde Edilir. Bu da “Zaman Limiti” Değişkenine Atılarak Zaman Grafiğinde Kullanılır.



**Şekil 7.51** Verilerin, Gerçek Zamanlı veya Toplu Seçeneği İle Diziler Halinde Kaydı (1)

Şekil 7.51’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Toplanan Veri Dizilerini, Kayıt Dizilerine Ekle**= “Çoklu Veri Toplama” seçeneği ile edinilmiş veri dizileri, “Insert Into Array” fonksiyonu kullanılarak, kayıt için toplanan dizilere eklenir.
- **Toplanan Verileri, Kayıt Dizilerine Ekle** = “Gerçek Zamanlı Ortalama” seçeneği ile edinilmiş veriler, “Insert Into Array” fonksiyonu kullanılarak, kayıt için toplanan dizilere eklenir.
- **Kayıt Yapılacak Dosya Aç veya Oluştur**= “TDMS Open or Create” fonksiyonu ile kayıt yapılacak dosya, açılır veya oluşturulur
- **Kayda, "Saat", "Test Operatörü", "Ufak Notlar" Ekle**= “Set Properties” fonksiyonu ile “Saat”, “Ufak Notlar”, “Test Operatörü” kaydedilen veri dosyasına eklenir.
- **Kayda, "Grup İsmi" Ekle**= “Set Properties” fonksiyonu ile “Grup İsmi” kaydedilen veri dosyasına eklenir.
- **Çoklu Veri Dizilerine, Kayıt Öncesi, Toplu Transfer İşlemleri Uygula** = İşlem görmemiş kanal dizilerini barındıran değişkenlere, filtre büyüklük etkisi giderme, kuvvete dönüşüm, dara alma, istenirse “Motor Açısına Göre Aerodinamik Kuvvetlerin ve Momentlerin Hesabı” seçeneği ile veya istenilen montaj türüne göre aerodinamik kuvvetlerin ve momentlerin hesaplanması işlemleri uygulanır.

- “**Paket Sayacı**” Tür Dönüştür ve “**Döngü İsmi**” İle Birleştir= “Paket Sayacı”, “String” türüne çevrilir ve “Döngü İsmi” ile “Concatenate String” fonksiyonu kullanılarak birleştirilir.
- **Kayda**, “**Grup İsmi**” Ekle= “Set Properties” fonksiyonu ile “Grup İsmi” kaydedilen veri dosyasına eklenir.



**Şekil 7.52** Verilerin, Gerçek Zamanlı veya Toplu Seçeneği İle Diziler Halinde Kaydı (2)

Şekil 7.52’de kısaltılan bazı işlemlerin daha detaylı açıklaması aşağıdaki gibidir;

- **Veri Dizilerini Birleştir. Başlık Dizisi Oluştur**= Toplanan Veri Dizileri “Build Array” fonksiyonu ile birleştirilir. Aynı sıra ile “String” türünde sabit, başlık dizisi oluşturulur.
- **Kayıt Boyutu Belirle**= Birleştirilmiş veri dizisinin, kanal adet boyutu “38” olarak belirlenir. Veri Adet Boyutu, bir kanalın “Array Size” fonksiyonu ile elde edilir.
- **38 Değişken İçin Kayıt Matrisi Boyutlandır**= Her bir başlık, bir sütun olarak şekilde (38 Sütun) ve bir başlık altında toplanan veri adedi kadar satır olacak şekilde, “Reshape Array” fonksiyonu ile kayıt matrisi boyutlandırılır

- **Boyutlandırılan Kaydı, “TDMS” Formatında Yaz** = Boyutlandırılan veri matrisi, “TDMS Write” fonksiyonunun “Veri” girdisi, “String” türündeki değişken isimleri dizisi “Kanal İsmi” girdisi olarak tanımlanır.
- **Veri Dizilerini Birleştir. Başlık Dizisi Oluştur**= Toplanan veri dizileri “Build Array” fonksiyonu ile birleştirilir. Aynı sıra ile “String” türünde sabit başlık dizisi oluşturulur.
- **Kayıt Boyutu Belirle**= Birleştirilmiş veri dizisinin, kanal adet boyutu “12” olarak belirlenir, veri adet boyutu, bir kanalın “Array Size” fonksiyonu ile elde edilir.
- **12 Değişken İçin Kayıt Matrisi Boyutlandır**= Her bir başlık, bir sütun olarak şekilde (38 Sütun) ve bir başlık altında toplanan veri adedi kadar satır olacak şekilde, “Reshape Array” Fonksiyonu ile Kayıt Matrisi Boyutlandırılır
- **Boyutlandırılan Kaydı, “TDMS” Formatında Yaz** = Boyutlandırılan veri matrisi, “TDMS Write” fonksiyonunun “Veri” girdisi, “String” türündeki değişken isimleri dizisi “Kanal İsmi” girdisi olarak tanımlanır.

Veri kaydının zaman sınırlı olması: Veri toplama süresi veri toplama döngüsünün dışında, başka bir döngüde belirlenen zaman ile tayin edilmektedir. Veri toplama işlemi başladığı anda, bir değişkene alınan zaman sabiti, sürekli saymakta olan zamandan çıkarılır ve veri toplama süresi elde edilir. Bu zaman değişkeni kayıt edilen veri ile beraber kayıt edilir. Böylelikle toplanan her örneğin zamanı da beraberinde kayıt edilmektedir. Zaman sınırı kullanıcı tarafından belirlendiğinde veri kaydetme döngüsünün bir koşulu olarak, belirlenen zaman limitine ulaşıldığı zaman kaydın durdurulması vardır.

Veri kaydının örnek sınırlı olması: Kullanıcı tarafından örnek sınırlı veri kaydı seçeneği seçildiği zaman toplanan örnek sayısı istenilen sınıra ulaştığı zaman kayıt işlemi durdurulur.

Veri toplama işlemi esnasında her döngüde veri yazdırmamak amaçlı toplanılan veriler öncelikle Dizgiye Ekle(Insert Into Array) fonksiyonu ile bir dizgiye eklenmektedir. Kayıt işlemi bittiği zaman tek hamlede toplanan verileri yazdırmak çok daha pratik olmakla beraber programın performansında önemli ölçüde hızlanma görülmektedir.

Bir dizgide toplanan bu verilerin kaydı için öncelikle veri girdisi için dizgiyi tekrar boyutlandır fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonda kayıt edilen veri matrisinin şekli TDMS yazdırma fonksiyonuna uygunlaştırılması sağlanmıştır. Gerçek Zamanlı Ortalamada(RTA) 38, Toplu(Mass) kayıta 12 olmak üzere bir boyutumuz belirlidir. Diğer boyut bilgimizi, herhangi bir kanal dizgimize Dizgi Boyutu(Array Size) fonksiyonu uygulayarak bulabiliriz.

Veri paketi girdimizi ise tüm kanal dizgilerini Dizgi Oluştur(Build Array) fonksiyonu kullanarak bir dizgiye çevirerek sağlarız. Böylelikle TDMS formatında uygun başlık altında uygun verilerimizi kayıt edebilmekteyiz.

Veri kaydının istenilen dosyaya yapılması veya veri kaydı dosyası açılması: TDMS olarak kayıt edilen veriler için, kayıt dosyasının açılmasında TDMS eklentisinin Aç(Open) fonksiyonu, Aç veya Oluştur (Open or Create) seçeneği ile kullanılmıştır.

Veri kaydının belirlenen dosya içerisinde istenilen sayfaya yapılması sayfa ismi tayini: TDMS olarak kayıt edilen verilerin istenilen sayfaya yapılmasında TDMS eklentisinin Özellik Belirle(Set Properties) fonksiyonu girdileri kullanıcıya sunulmuştur.

Veri kaydına ufak notlar eklenmesi: TDMS olarak kayıt edilen verilerin istenilen sayfaya yapılmasında TDMS eklentisinin Özellik Belirle(Set Properties) fonksiyonu girdileri kullanıcıya sunulmuştur.

Programda veri kaydı işlemi gerçekleştirebilmek adına çeşitli kolaylıklar ve seçenekler vardır. Fakat veri kaydının toplu veya gerçek zamanlı ortalama ile yapılması koşuluna göre veri kaydı iki seçeneğe bağımlı yapılmaktadır.

Toplu seçeneği seçili olduğu zaman veri toplama cihazından gelen veri paketleri, istenilen değerlere(kuvvet, moment) çevrildikten sonra doğrudan kaydedilmektedir. Yan eklenti kayıtları bu koşulda mümkün olmamaktadır.

Gerçek zamanlı ortalama seçeneği ile kayıt seçeneği seçildiği zaman her program döngüsünde bir element elde edildiği için bu elementin yanında her döngüde kontrol edilmiş veya elde edilmiş elementler ile veri paketleri oluşturulabilmektedir.



Toplu kayıt seçeneği saniyede 1000 adet kayda ulaşabilmekte fakat algılayıcı verileri hariç ek veriler kaydedilmemektedir.

Gerçek zamanlı ortalama ile veri toplama cihazının elde ettiği paketler her döngüde ortalaması alındığı için her döngüde 1 adet veri sağlamaktadır. Bu verinin yanına motor kontrol değişkenleri, motor kontrol verileri ve örneğin zaman verisi gibi veriler eklenebilmektedir. Fakat saniyede 20 veri kaydı sunmaktadır.

Veri kaydında, kayıt edilen verilere isim tayini ve kayıt yöntemi ise TDMS eklentisinin Yaz(Write) fonksiyonu kullanılmıştır.

Bu fonksiyonun veri girdisine yapılan veri girdileri, verilerin istenilen formata uygun bir veri matrisine çevrildiği koşulda mümkün olmaktadır. Kanal girdisi için istenilen veriler ve bu verilerin kanal isimleri gerçek zamanlı ortalama kaydı için 38 adet kanal, Toplu(Mass) seçeneği için 12 adet kanaldır. Kanal isimleri 1x12'lik ve 1x38'lik "String" türünde matrisler ile fonksiyona girdi olarak atanmaktadır.

## 8 Test Sonuçları

Deneysel çalışma iki aşamada yapılmıştır,

İlk deney, kanat durağan(statik) durumda iken, ikinci deney, kanat çırpan kanat(dinamik) hareket yaparken kuvvet ve momentler kaydedilmiştir.

### 8.1 Veri toplama sonrası işlemler

#### 8.1.1 Sonuçların Boyutsuzlaştırılması

Sonuçların boyutsuzlaştırılması işlemi Eşitlik 8.1, 8.2 ve 8.3'te gösterilmektedir.

$$CD = \frac{\text{Sürüklenme Kuvveti}}{\frac{1}{2} \times 999 \times (0.175)^2 \times \text{Sürüklenme Alan Bileşeni}} \quad (8.1)$$

$$CL = \frac{\text{Taşıma Kuvveti}}{\frac{1}{2} \times 999 \times (0.175)^2 \times \text{Taşıma Alan Bileşeni}} \quad (8.2)$$

$$CM = \frac{\text{Yunuslama Momenti}}{\frac{1}{2} \times 999 \times (0.175)^2 \times \text{Moment Alan Bileşeni} \times \text{Moment Kolu}} \quad (8.3)$$

Su yoğunluğu: 999kg/m<sup>3</sup>

Akış hızı: 0.175 m/s

#### 8.1.2 Çevrimdışı filtreleme

“Excel” uygulaması içerisinde toplanan dinamik deney verilerine çevrimdışı filtreleme uygulanmıştır. Bu filtreleme 3 aşamadan oluşmaktadır.

- Aşama: Verilerin merkez noktası(bias), gürültü atlamalarının oranı, gürültü atlamalarının kabul edilemeyecek sınır değerleri saptanır.
- Aşama: Saptanan sınır değerlerinden yüksek çıkan veriler, belirlenen merkez noktasına yerleştirilir(bias)
- Aşama: Veriler, 100 veri penceresine sahip ağırlıklı ortala filtresinden geçirilir.

Filtrenin faz kaydırma ve büyüklük değiştirme etkisi gözlemlenir. İşlem bu etkiler göz önünde bulundurularak değerlendirilir veya tekrar düzenlenir.

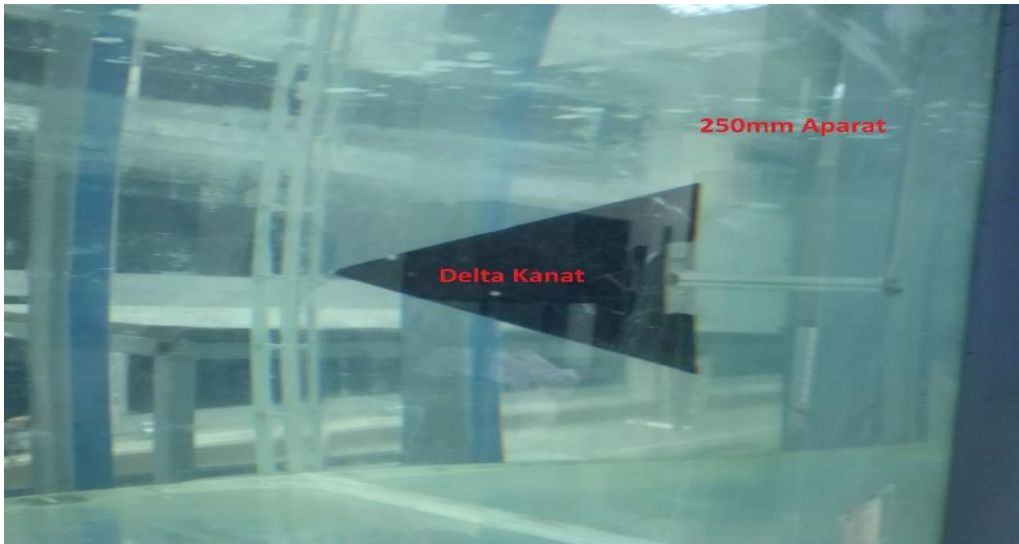
## 8.2 Durağan(Statik) test sonuçları

Deney, tasarlanan ve üretilen düzenek ile Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan su tüneli[14] içerisinde yapılmıştır.

Deney için delta kanat modeli kullanılmıştır.

Kanat modeli dikey olarak bağlanmış ve programda bağlantı türü belirtilmiştir.

Kanat modeli test odasının tam ortasında konumlandırılmış ve yüzey geriliminden uzaklaştırılmıştır.



**Şekil 8.1** Delta Kanat Modeli ve Bağlantı Aparatı Görüntüsü[14]

Şekil 8.1'de gösterilen kanat modeli ile ölçüm sistemi bağlantısı arasında kullanılan bağlantının uzunluğu 250mm'dir.

20, 25 ve 30 derece yunuslama açılarının karşılaştırılması için yapılmıştır[14].

0 derece yalpa açısında ve 0 derece yuvarlanma açısındadır.

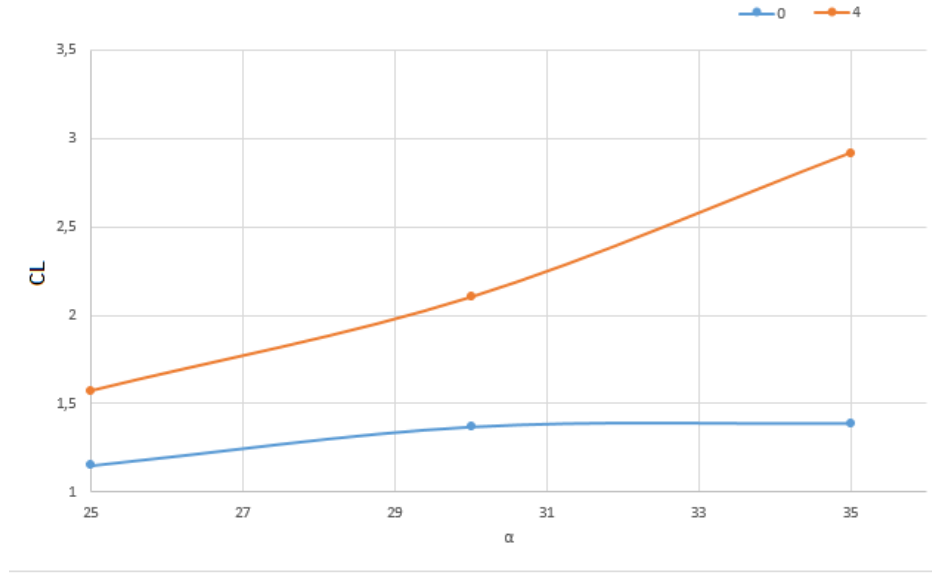
Saniyede 1000 adet veri toplanmış, her 50 veride bir ortalama alınarak, kayıt edilirken saniyede 20 veriye düşürülmüştür.

Su tüneli, akış hızı 175mm/saniye hıza sahip olacak şekilde çalıştırılmıştır.

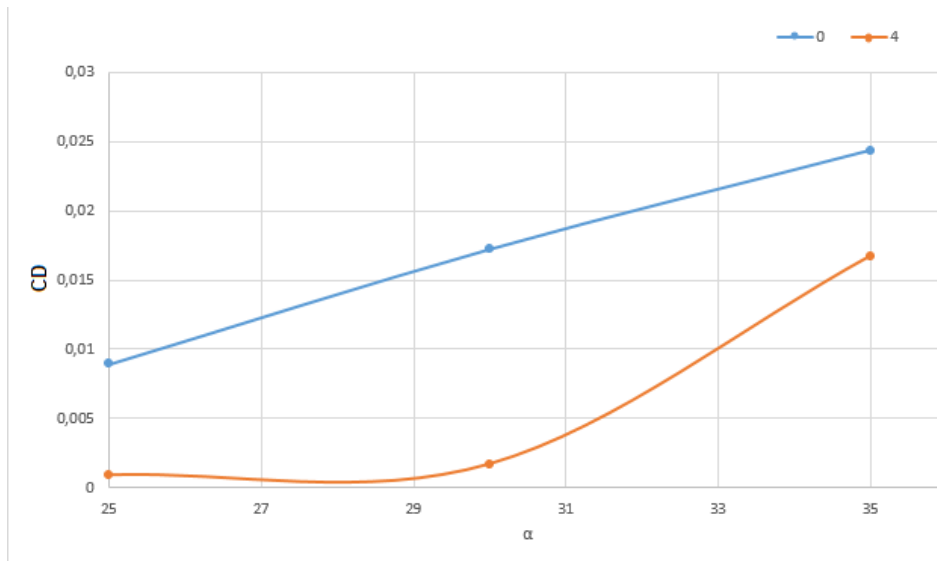
Toplam 60 saniye ölçüm alınmıştır.

Her 6 kanalda, her değişken için, 1200'er veri kaydedilmiştir.

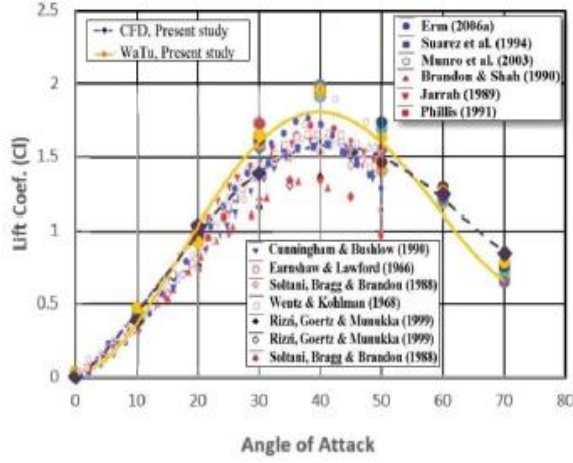
Kanat modeline 90 derece başlangıç yunuslama açısı verilmiş, daha yüksek hassasiyete sahip olduğu düşünölen(daha düşük aralıklı) algılayıcılar sürüklenme yönüne getirilmiş, deney bu bilgiye göre düzenlenmiştir. Veriler bu bilgiye göre güncellenmiştir.



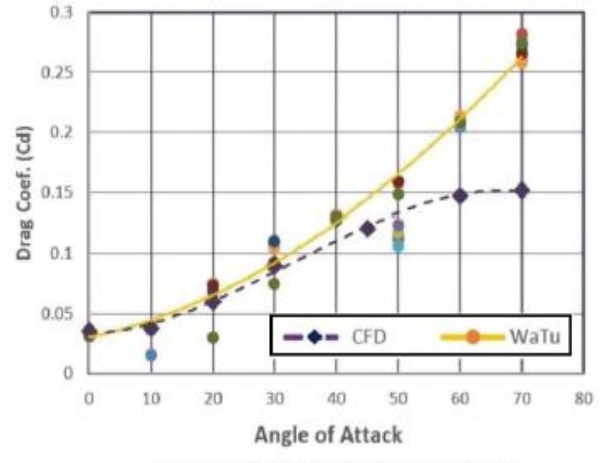
**Şekil 8.2** 0 ve 4 Derece Yalpa Açılarında, Taşıma Kuvveti Katsayısı-Yunuslama Açısı Grafiği[14]



**Şekil 8.3** 80 ve 4 Derece Yalpa Açılarında, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Yunuslama Açısı Grafiği[14]



(a) Lift coefficient 70° delta wing vs AoA



(b) Drag coefficient on 70° delta wing vs AoA

**Şekil 8.4** Taşıma Katsayısı-Yunuslama Açısı Grafiği[6]

Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'te gösterildiği gibi deney sonuçları, Wibowo ve diğerleri [6] tarafından yapılan su tüneli çalışmasında alınan Şekil 8.4'te gösterilen grafiklerle benzerlik göstermektedir.

Hücum açısının artmasıyla taşıma kuvveti, beklenildiği gibi doğrusala yakın bir biçimde artmaktadır. Taşıma kuvveti ile beraber, sürüklenme kuvvetinde de artış görülmektedir.

Wibowo ve diğerleri[6] tarafından yapılan çalışmada, daha fazla hücum açısı denenmiştir Bunun sonucunda taşıma kuvvetinin kaybolduğu 40 derecelik stall açısını ve sürüklenme katsayısındaki keskin artışı daha geniş bakış açısı ile görebiliyoruz.

Deney sonucunda elde ettiğimiz Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'te gösterilen grafiklerde gözlemlenen, sürüklenme kuvvetinin ve taşıma kuvvetinin artış eğimi dikkate alındığı zaman, kanat modeline göre değişen açı limitinin(stall açısı) geçmesiyle birlikte, taşıma kuvvetinde keskin bir azalma ve sürüklenme kuvvetinde maksimum artma gözlemlenmesi beklenmektedir.

### 8.3 Dinamik(Çırpan Kanat) test sonuçları

Deney, tasarlanan ve üretilen düzeneğe ile Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan su tüneli[14] içerisinde yapılmıştır.

Deney için Şekil 8.1'de gösterilen delta kanat modeli kullanılmıştır.

Kanat modeli dikey olarak bağlanmış ve programda bağlantı türü belirtilmiştir.

Kanat modeli test odasının tam ortasında konumlandırılmış ve yüzey geriliminden uzaklaştırılmıştır.

Kanat modeli ile ölçüm sistemi bağlantısı arasında kullanılan bağlantının uzunluğu 250 mm'dir[14].

25 derece orta nokta yunuslama açısında, +-5 derece hareket ettirilerek dinamik test gözlemlenmiştir.

Kanat modeline 5 tam dalga hareketi yaptırılmıştır.

Model, 0 derece yalpa açısında ve 0 derece yuvarlanma açısında.

Saniyede 1000 adet veri toplanmış, her 50 veride bir ortalama alınarak, kayıt edilirken saniyede 20 veriye düşürülmüştür

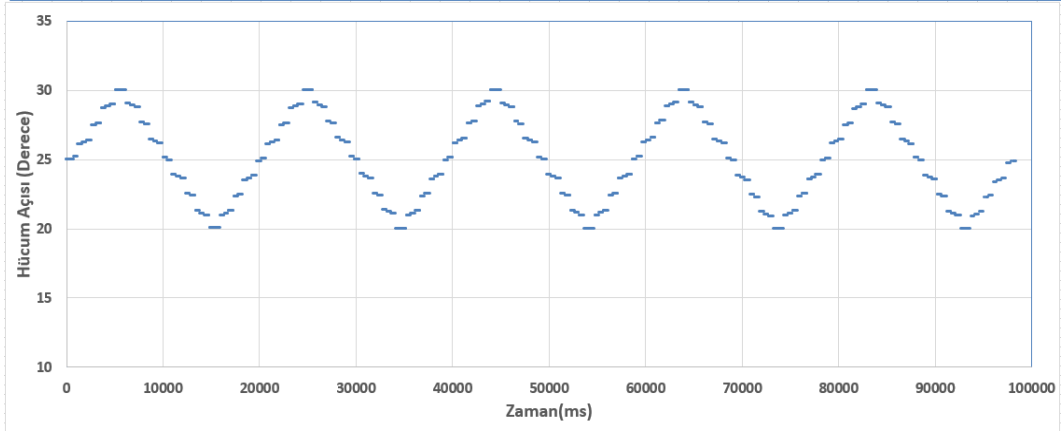
Su tüneli pompa motoru aktif hale getirilmiş fakat akış oluşturulmamıştır. Hareket titreşimi ve gürültü etkisi gözlemlenmiştir.

Kuvvet ve momentlerin, deney sonrasında sıfır sapmasının çevrimdışı ortamda gözlemlenebilmesi için modelin darasının alınmaması tercih edilmiştir.

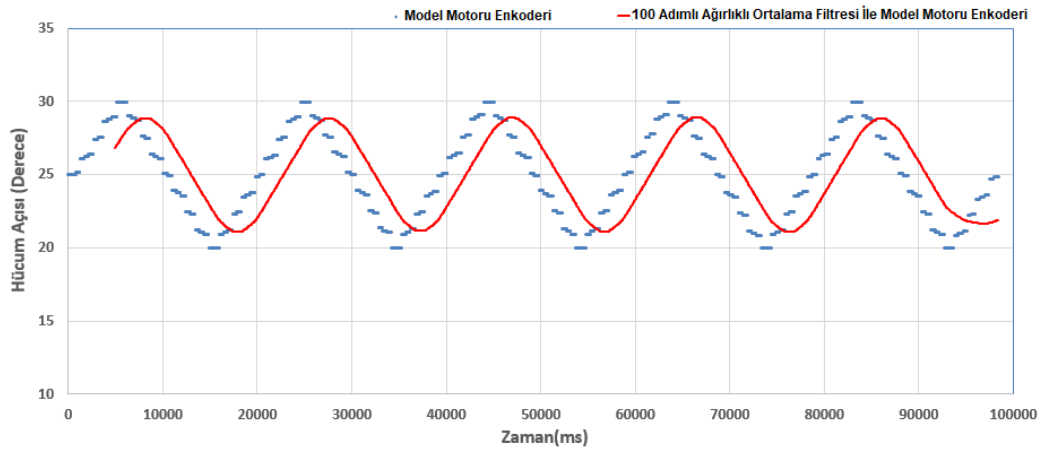
Toplam 100 saniye ölçüm alınmıştır. Her 6 kanalda, her değişken için, 1000'er veri kaydedilmiştir.

Su tüneli, akış hızı 175mm/saniye hıza sahip olacak şekilde çalıştırılmıştır.

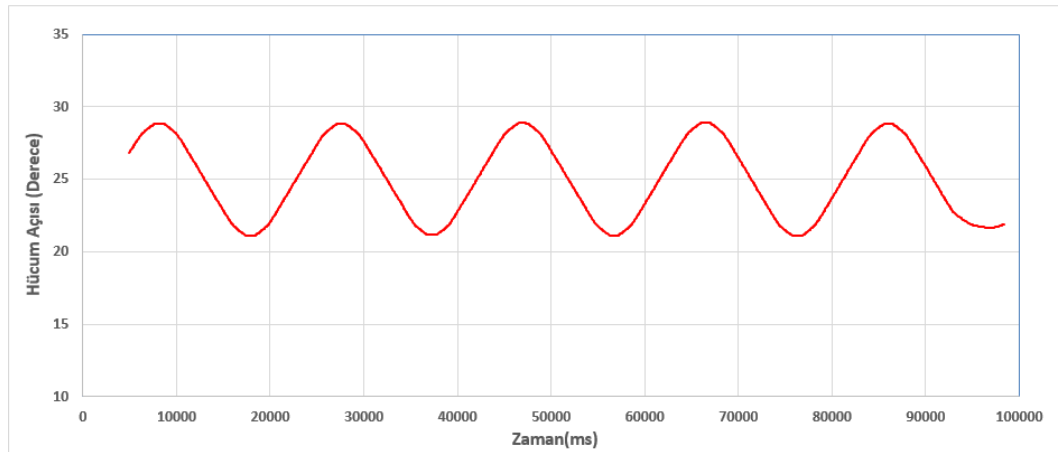
Kanat modeline 90 derece başlangıç yunuslama açısı verilmiş, daha yüksek hassasiyete sahip olduğu düşünülen(daha düşük aralıklı) algılayıcılar sürüklenme yönüne getirilmiş, deney bu bilgiye göre düzenlenmiştir. Veriler bu bilgiye göre güncellenmiştir.



**Şekil 8.5** ± 5 Derece Dinamik Hareket Grafiği



**Şekil 8.6** Filtrenin Faz ve Büyüklük Kaydırma Etkisi Grafiği



**Şekil 8.7** Faz ve Büyüklük Etkisi Tespiti İçin Filtrelenmiş Dinamik Hareket Grafiği

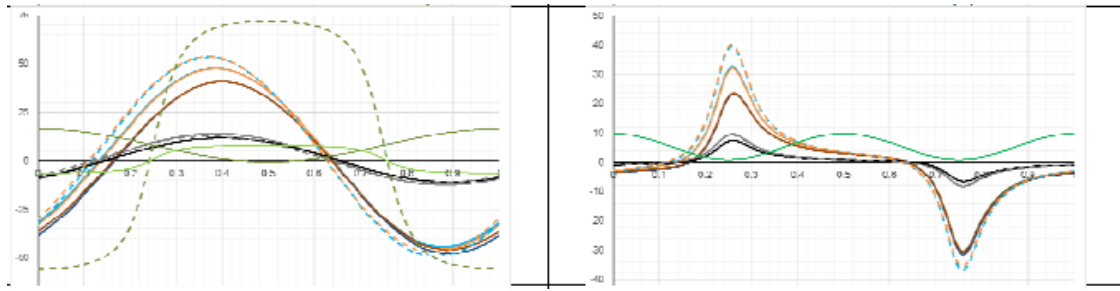
Düzenek tarafından, kanat modeline 0,05 Hz sinüzoidal hareket yaptırılmıştır.

5 döngüde zamanlama hatası %1 civarındadır.

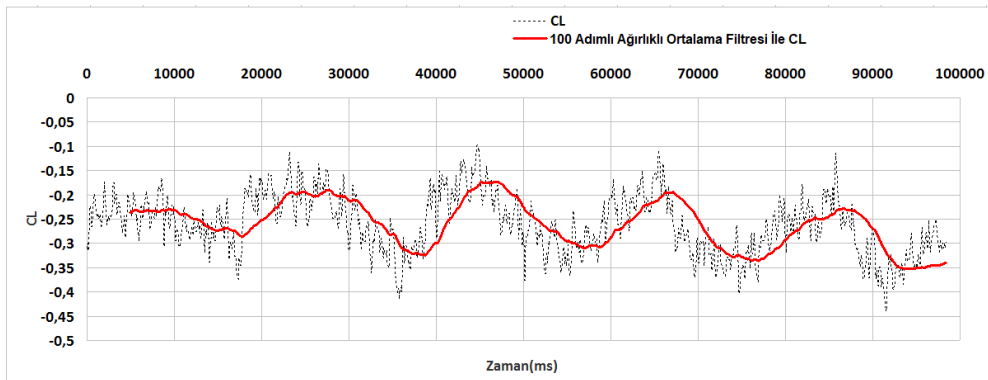
5 döngüde açı sapması 0,02 derece civarındır.

Harekete eş zamanlı olarak kuvvet verileri toplanılan bu deneyde pozisyonlama motorları ve tünel motorunun verilere etkisi %1 in altındadır.

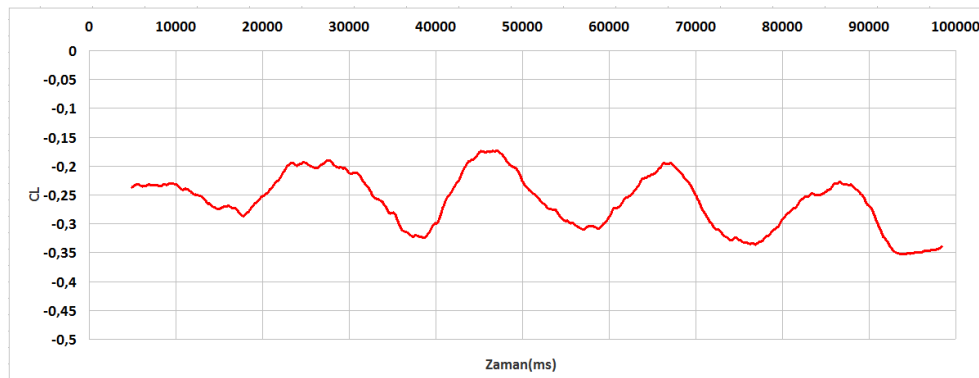
Şekil 8.6'de gösterildiği üzere filtre işlemi, genliği %80 oranında düşürmekte ve +45° faz farkına sebep olmaktadır. Bu etkiler göz önüne alınarak sonuçlar değerlendirilmeli veya düzenlenmelidir.



**Şekil 8.8** Yunuslama Açısı-Kuvvet Katsayısı Grafiği(Solda), Yunuslama Açısı-Moment Katsayısı Grafiği(Sağda)[7]

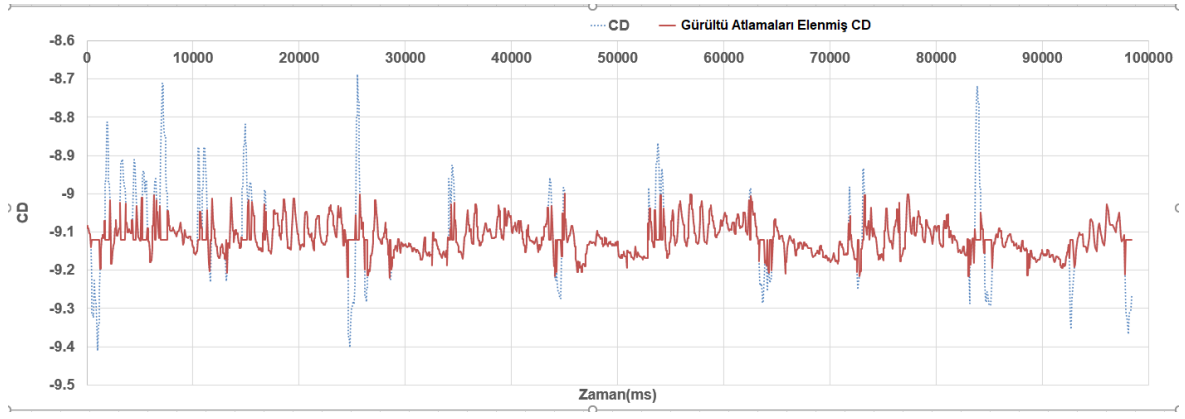


**Şekil 8.9** Ağırlıklı Ortalama Dâhil ve Hariç, Taşıma Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği

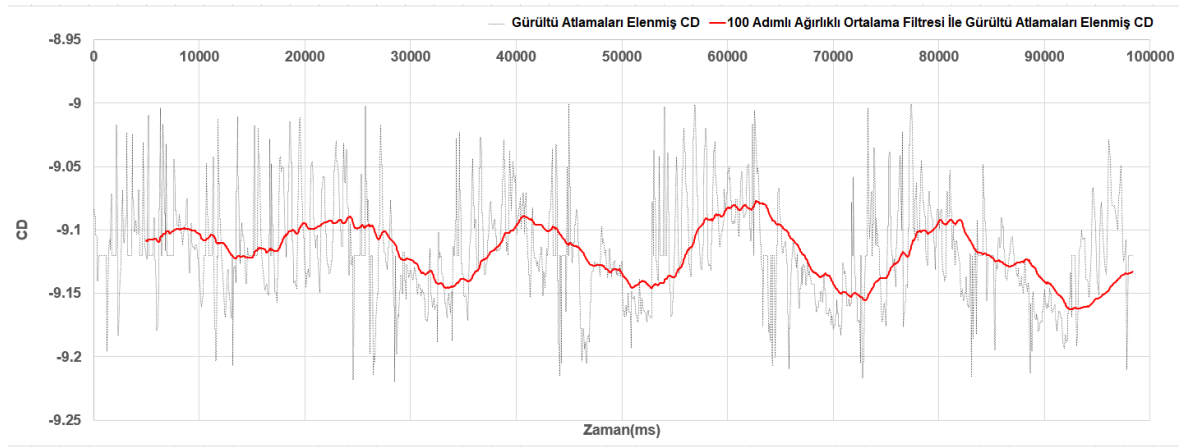


**Şekil 8.10** Çevrimdışı İyileştirme İle Taşıma Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği

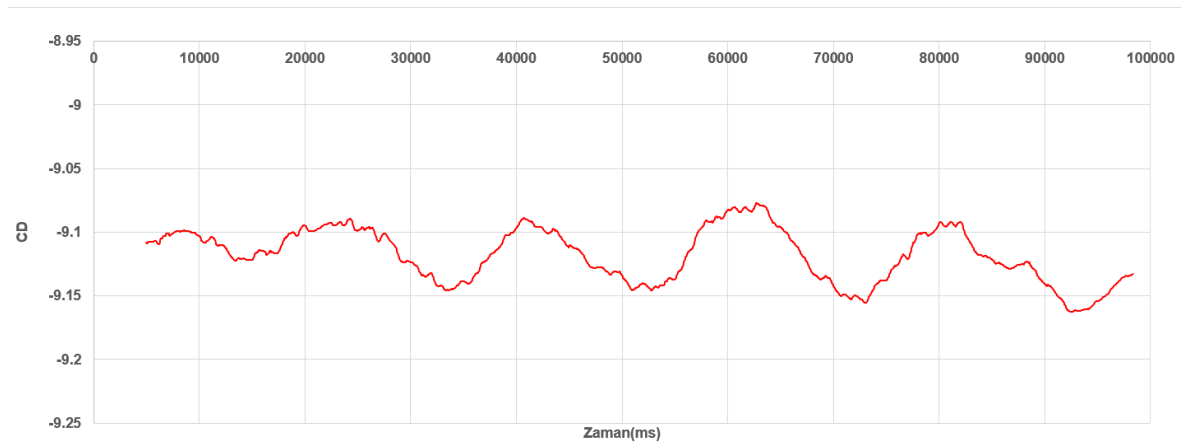




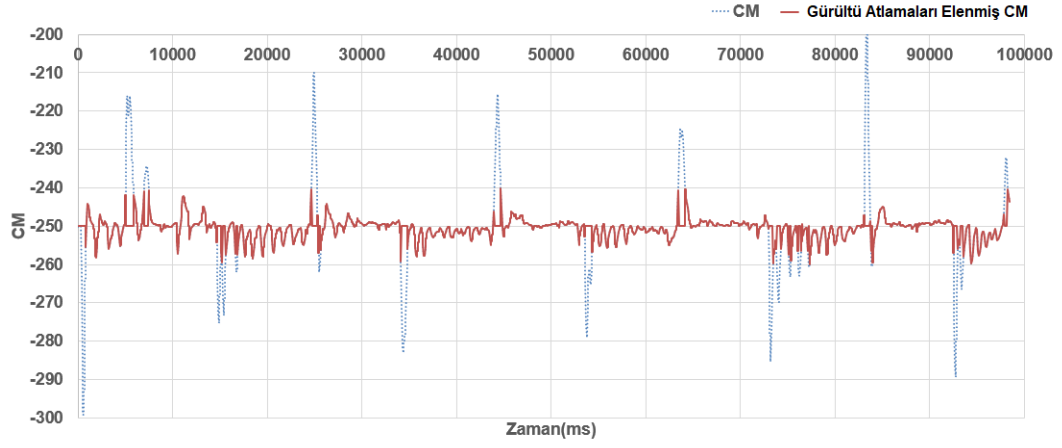
**Şekil 8.11** Gürültü Atlamaları Dâhil ve Hariç, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği



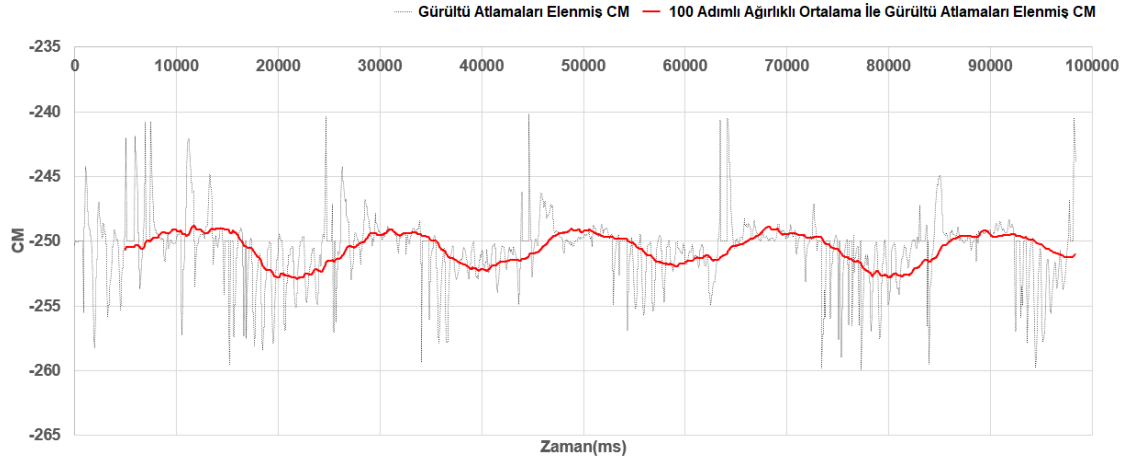
**Şekil 8.12** Ağırlıklı Ortalama Dâhil ve Hariç, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği



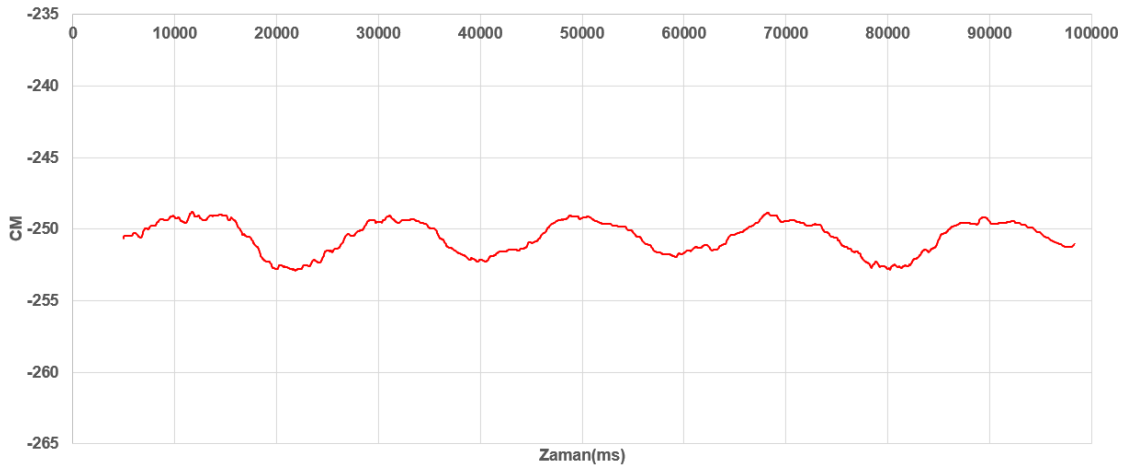
**Şekil 8.13** Çevrimdışı İyileştirme ile Sürüklenme Kuvveti Katsayısı-Zaman Grafiği



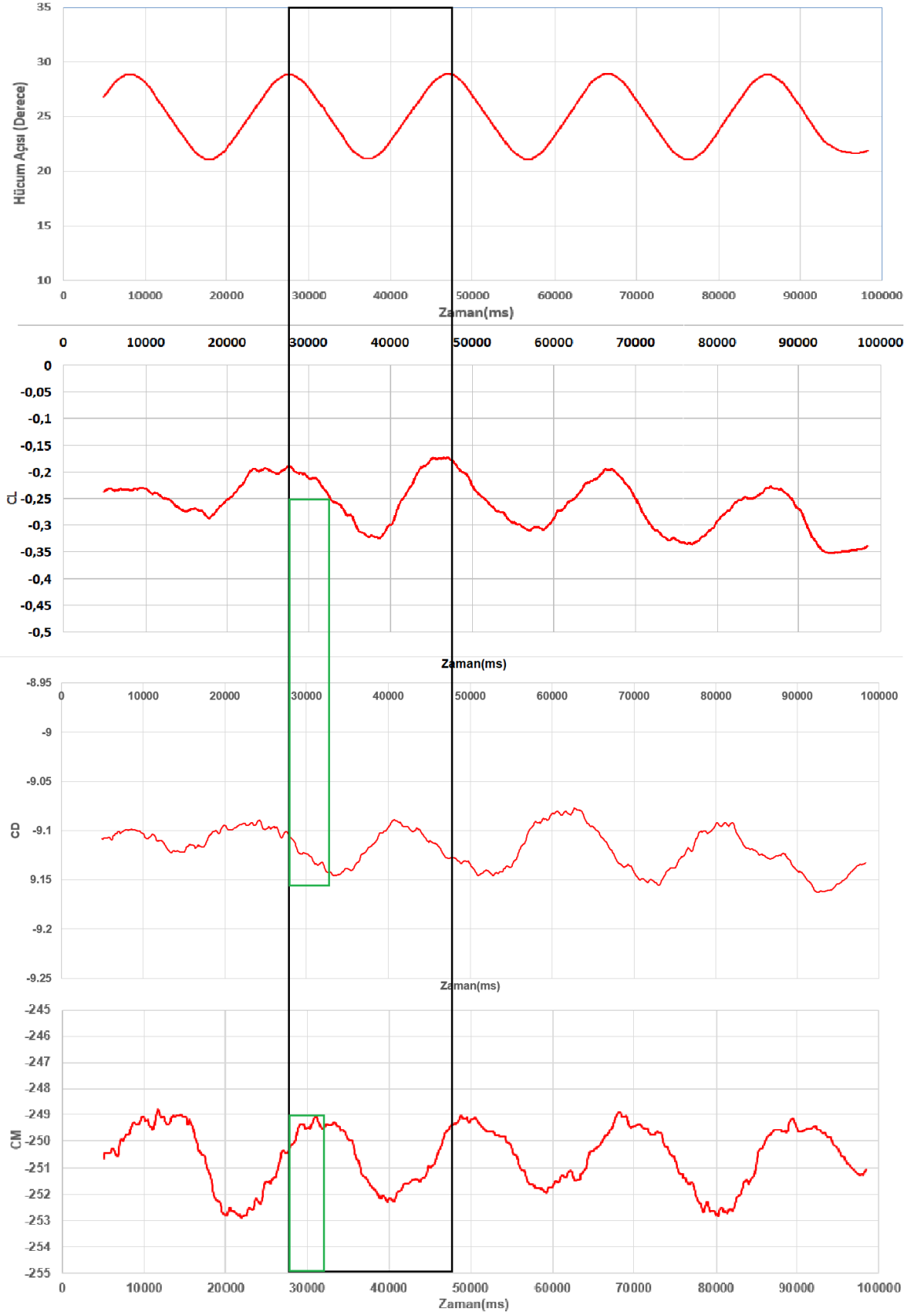
**Şekil 8.14** Gürültü Atlamaları Dâhil ve Hariç, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği



**Şekil 8.15** Ağırlıklı Ortalama Dâhil ve Hariç, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği



**Şekil 8.16** Çevrimdışı İyileştirme ile Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği



**Şekil 8.17** Hücüm Açısı, Taşıma Kuvveti Katsayısı, Sürüklenme Kuvveti Katsayısı, Yunuslama Momenti Katsayısı-Zaman Grafiği

Şekil 8.17'deki grafiği inceleyecek olursak; hücum açısını sağlayan motorun enkoderi referans alındığı zaman taşıma kuvveti faz farkı oluşturmamış, hücum açısı ile eş zamanlı ve eş yönlü olarak değişmiştir.

Aynı zamanda Şekil 8.17'de taşıma kuvvetindeki keskin azalma bölgesinin  $90^\circ$  faz farkı ile sürüklenme kuvvetindeki keskin artışa karşılık geldiğini görürüz ki bu da beklenen bir sonuçtur. Aynı sonuç, Karakaş ve diğerleri tarafından, su tüneline yapılan çırpan kanat deneyinde de görülebilir[7].

Beklenildiği gibi; yunuslama momenti katsayısı ile sürüklenme kuvveti katsayısı arasındaki  $180^\circ$  faz farkı, moment ile sürüklenme kuvveti arasında, bu açılarda ters ilişki olduğunu göstermiştir. Bu durumun simetrik olarak tekrarlanması, hücum açısındaki artış ve azalmalar olarak düşünülebilir.

Referans aldığımız Kuvvet Katsayısı - Zaman ve Moment Katsayısı - Zaman grafikleri[7] ile çevrimdışı sinyal iyileştirme sonucunda elde ettiğimiz grafikler karşılaştırıldığı zaman sonuçlar benzerlik göstermektedir.

## 9 SINIRLAR

### 9.1 Mekanik Sınırlar

Düzeneğin doğrusal hareketini sağlayan ray, 400mm hareket sınırına sahiptir. Bu sınır dijital olarak programda sınırlandırılmıştır. Fakat programda bulunan el ile(manual) hareket ve devamlı hareket özelliklerinde dijital sınırın dışına çıkılabilmektedir. Bu durumda koruma sağlayabilmek için her iki sınırdaki doğrusal hareket motoruna durma komutunu gönderecek limit düğmeleri bulunmaktadır.

Düzeneğin dairesel hareketini sağlayan motoru limitleyen, kuvvet algılayıcı düzeneğinin analog çıkış ve beslemelerini barındıran kablonun hasar görmemesi için düzeneğin +/- 360 derece dairesel hareket sınırına sahiptir. Dairesel hareket motoru da dijital olarak sınırlandırılmış olmasına rağmen programda bulunan el ile(manual) hareket ve devamlı hareket kısımlarında bu sınırın dışına çıkabilmektedir. Bunu engelleyecek bir limit düğmesi bulunmamaktadır. Bununla beraber acil durum kumandası, yüksek dayanıklılıkta seçilmiş, kuvvet algılayıcı düzeneğin analog çıkış ve beslemelerini barındıran kablo sayesinde problemin kısmen önüne geçmek hedeflenmiştir.

Düzenek dikey ekseninde 500mm olmak üzere, yukarı-aşağı hareket ettirilebilmektedir. Alt sınır, kuvvet algılayıcı düzeneğin milinin suya temas etmeyeceği şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle test edilecek model, su tüneline 500mm'ye kadar daldırılabilmesi veya 1000mm uzunluğunda modellerin rahatlıkla kullanılabilmesine olanak sağlamıştır.

Deney düzeneği 500mm-800mm aralığında test odası genişliğine sahip tünellere bağlanmaya uygun tasarlanmıştır.

Düzenek, değiştirilebilir aralıkta çalışan kuvvet algılayıcıları dâhilinde 100lb(yaklaşık 50kg) ağırlıkta modeller ve uygulanacak akış kuvvetleri ile çalışılmak için mekanik dayanıma sahiptir. Ancak ideal çalışma düzeneği düşünüldüğünde, en fazla 10lb(yaklaşık 5kg) modeller kullanılmalıdır. Düzenek, modele uygulanacak kuvvetlerin, 10lb sınırlarında olduğu hızlarda çalışan tünellerde tercih edilmelidir.

Algılayıcı sistemimizin mekanik doğruluğu %5 olarak değerlendirilmiştir.

Etken sınırlayıcı faktörler aşağıdaki gibidir;

- Teorik olarak sürtünmesiz kabul edilmiş, kuvvet aktarımı sağlaması için tasarlanmış pimlerin sürtünmesi(kuru çelik üzerinde kuru çelik 0.8 sürtünme katsayısına sahiptir),
- Pimlerin arasındaki boşluk (%1 hassasiyette üretilmiş CNC üretimi kuvvet algılayıcı düzeneğin parçaları yüzünden oluşan 0.1mm boşluk veya sıkışmanın oluşturduğu takılmalar veya boşluk),
- Katı olarak kabul edilmesine rağmen kuvvet ölçüm düzeneğindeki vidalar ve pimlerin getirdiği ufak oynar boşluklar,
- Algılayıcıların yerleştiği yüzeylerdeki, tek vidalı sabitlemeden kaynaklanan, oynarlıklar,
- Kuvvet aktarımını sağlayacak milin, eş eksende olması gereken sabitleme deliklerindeki eksen kaçıklığı ve boşluklar.

Yüksek hassasiyette üretim, düşük sürtünme katsayısındaki çelik pim seçimi, tasarım ve montaj detayları ile bu toleranslar mümkün olduğunca düşürülmüştür.

Düzenek tamamen ve alüminyumdan ve yüksek mukavemet gereken yerlerde paslanmaz çelikten üretilmiştir. Böylelikle korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptir.

## 9.2 Elektronik Sınırlar

Düzenekte kullanılmış algılayıcıların özellikleri[12]:

- Doğrusal olmama:  $\pm 0.1\%$
- Histerezis:  $\pm 0.1\%$
- Tekrarlanamazlık:  $\pm 0.05\%$
- Çalışma sıcaklığı:  $-60 - 200^{\circ}\text{F}$  ( $-50 - 93^{\circ}\text{C}$ )
- Telafi edilen sıcaklık aralığı:  $60 - 160^{\circ}\text{F}$  ( $15 - 72^{\circ}\text{C}$ )
- Sıcaklık sıfır kayması: Çıkış Voltajının  $\pm 0.01\%$  / $^{\circ}\text{F}$  (çıkış voltajının  $0.018\%$  / $^{\circ}\text{C}$ )
- Sıcaklık kayma değeri: Kuvvetin  $\pm 0.02\%$  / $^{\circ}\text{F}$  (kuvvetin  $0.036\%$  / $^{\circ}\text{C}$ )

Düzenekte kullanılmış veri toplama modülünün özellikleri[11]:

- ADC Çözünürlüğü: 16 bit
- Örnekleme: 250.000 örnek/saniye
- Zamanlama Çözünürlüğü: 50ns
- Kanallar: 8 adet fark kanalı, 16 adet tekil kanal
- Zamanlama Doğruluğu: Örnekleme oranına göre 50 PPM
- Veri Transferi: USB
- DC ile 60Hz Arası için Genel Ortam Gürültüsü Engeli(CMRR):100dB
- Sistemimizde algılayıcı beslemesi için kullanılan güç kaynağının özellikleri:
- Çıkış voltajı:12V Çıkış akımı 2.1A Güç: 25.2W
- Gürültü:120mVp-p  $\pm 0.5\%$  yük regülasyonu  $\pm 0.5\%$  hat regülasyonu

Düzenekte kullanılmış motorların özellikleri(doğrusal hareket motoru)[10]:

- Çıkış Gücü: 100 W
- Maksimum izin verilen hız:3000 tur/dakika
- İzin verilen tork:2.86N.m
- Maksimum tork:8.59N.m
- Redüksiyon oranı: 1/10
- Algılayıcı: Mutlak enkoder(1 turda 20bit, çoklu turlarda 16 bit)
- Çözünürlük:100 ile 100000P/R (bir turdaki darbe sayısı)
- Besleme Voltajı: 3 faz 200-230VAC 50/60Hz

Düzenekte kullanılan motorların özellikleri (dairesele hareket motoru)[10]:

- Çıkış Gücü: 400 W
- Maksimum izin verilen hız:3000 tur/dakika
- İzin verilen tork:25.4 N x m
- Maksimum tork:76.2 N x m
- Redüksiyon oranı: 1/25
- Algılayıcı: Mutlak enkoder(1 turda 20bit, çoklu turlarda 16 bit)
- Çözünürlük:100 ile 100000P/R (bir turdaki darbe sayısı)
- Besleme Voltajı: 3 faz 200-230VAC 50/60Hz
- Kapalıyken devreye giren elektromanyetik fren

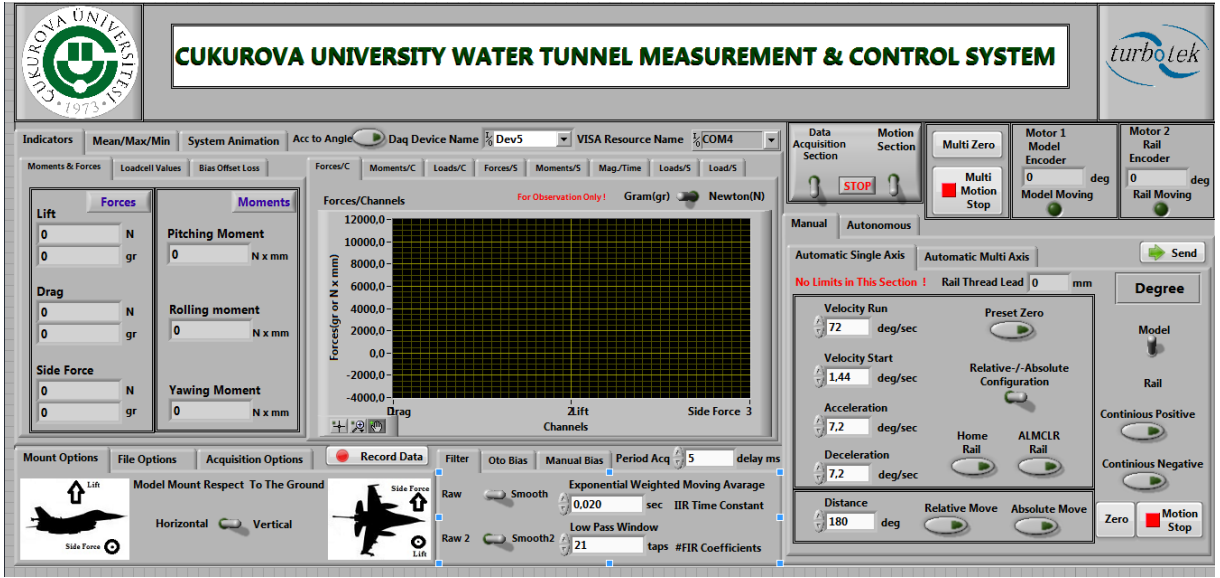
Düzenekte kullanılmış doğrusal hareket motoru, saniyede 14 tur atarak, saniyede 70mm doğrusal hareket hızı ile modele hareket verebilmektedir. Dairesel hareket motoru ise mekanik olarak  $\pm 190$  derece ile sınırlı olsa da, modele saniyede 3.5 tur atılabilecek hızlara ulaşabilmektedir.

Veri Toplama Hızı ve Doğruluğu:

- Saniyede 20 örneğe kadar detaylı ve işlenmiş veri toplama veya saniyede 1000 örneğe kadar toplu veri toplama seçeneği vardır.
- Sistem boşta çalışırken toplam gürültü genliği maksimum %2'dir.
- Kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen ve en uygun görülen gecikme-filtreleme oranına sahip filtre seçenekleri ile maksimum gürültü genliği %1'dir. (0,02 saniye zaman sabiti seçeneğine sahip IIR filtre ve 21 katsayı seçeneğine sahip FIR filtre kullanıldığı zaman).
- 0,01 saniye ile 0,250 saniye arasında, 11 adet zaman sabiti seçeneği ile IIR filtre seçeneği kullanıcıya sunulmuştur.
- 3 ile 251 arasında, 11 adet filtre katsayısı seçeneği ile FIR filtre seçeneği kullanıcıya sunulmuştur.



## 10 SONUÇ



Şekil 10.1 HMI Arayüzünün Ön Panel Görüntüsü

Düzenek Şekil 10.1'de gösterilen arayüz ile kontrol edilmekte, veri toplama, işleme, modelleme ve kayıt etme özelliklerine sahiptir. Motor kontrolü, otomatik işlemler, yüksek performansta eş zamanlı çalışma özelliklerine sahip olan arayüzde işlemler, analiz ve kontrol için olabildiğince basitleştirilmiş ve kullanıcı dostu olarak tasarlanmıştır.

Bu sistem sayesinde yunuslama, dönme ve yalpa hareketleri için ayrı ayrı senaryolar belirlenmiş olacaktır.

Uçuşun birçok karakteristiğın benzetimini yapabilecek ve test edilen modelin verimliliğine, sınır koşullarına ve kabiliyetlerine dair detaylı bir bilgi sağlamış olacaktır.

Çeşitli akışkan kuvvet deneyleri için özel tasarlanmış bu arayüz ve sistem ile deneyler çok daha kısa sürede tamamlanabilirken, havacılık, makine, elektronik ve fizik gibi çeşitli mühendislik ana dallarına hizmet verebilecek yapıdadır.

## 10.1 Avantajlar ve Özgün Katkı

Analiz, hareket kontrol ve veri toplama işlemleri bütünleşik bir bilgisayar arayüzü üzerinden eş zamanlı gerçekleştirilmiştir.

Deney öncesi belirlenen senaryolar ile çok daha kısa sürelerde deney yapılabilir. Deney esnasında operatöre ihtiyaç duyulmadan dinamik kuvvet ölçümü(çırpan kanat, yunuslama) ve adım tarama ölçümü(dairesel veya doğrusal) yapılabilmektedir.

Su tünellerinde kullanılmak üzere üretilmiş olan sistem ile bu denli kapsamlı hava aracı testleri çok daha düşük bütçeler ile gerçekleştirilebilmiştir.

Birçok çeşit ve boyutta tünele adapte edilebilir yapıdadır.

Taşınabilir ve ufak boyutlardadır.

Paslanmaz yapısı sayesinde su tüneli ve nemli ortamlarda uzun süre çalışmaya uygundur.

Analiz, hareket kontrol ve veri toplama işlemleri tek bir bilgisayar arayüzü üzerinden gerçekleştirilebilir.

Detaylı işlem kabiliyetlerine rağmen basitliğe ve görsel olarak doyuruculuğa uygun tasarlanmış arayüzü sayesinde eğitim amaçlı kullanmaya ve kullanıcının sisteme hızlı adapte olmasına uygundur.

Uygulanacak testlere özel, otomatik hareket senaryoları belirlenmiştir. Bu sayede en uygun sürede test tamamlanabilir.

Yüksek hassasiyette konumlanma ve ölçüm almaya uygundur. Bunun yanında tepki süresinin düşüklüğü de dinamik testler yapmaya göre özel tasarlanmıştır.

Maliyeti, benzeri ürünlere kıyasla çok daha uygundur.

## 10.2 Çıkarımlar ve Öneriler

- Mekanik dayanım aralığı yüksek tutularak ve değiştirilebilir aralıklı algılayıcı kurulumu ile farklı tip deneyler için uygun görülmüştür.
- 6 eksenin(3 aerodinamik moment ve 3 aerodinamik kuvvet) tamamı için eş zamanlı ölçüm alınabilmesini sağlayan yük hücresi yerleşimi 6 adet yük hücresi ile sağlanmasına rağmen yeterli bulundu.
- Donanımlar ve yazılım, yenilikçi yaklaşımlar ile tasarlandı.
- Örneklerine göre çok daha düşük maliyetler ile üretildi.
- 2 kişi ile herhangi bir ağır makine veya elektrikli el aleti kullanılmadan tünele monte edilebildi.
- Excel formatında alınan kayıtlarda, kullanıcının kolay anlayabileceği temel başlıklar, birimler, saat, tarih, deney notları, farklı deneyleri veya adımları otomatik olarak farklı sayfalara kaydedilerek düzenlendi. Son kullanıcının kolay anlayabileceği ve ek işlem yapabileceği hale getirildi.
- Türbülans, anlık sıçramalar, mekanik takılmalar, mekanik boşluklar ve titreşim gibi doğrusal olmayan etkenler deney sonuçlarını büyük oranda etkilemektedir. Bunların önüne geçebilmek için daha fazla algılayıcı kullanarak ortalama değer almak, mümkün olduğunca sağlam yapıda bağlantı elemanları kullanmak, daha yüksek hızlarda deneyler yapmak, cihazın düzenli bakımını yapmak ve doğal frekanslardan kaçınmak gerektiği gözlemlendi.
- Veri Toplama Birimi içerisinde, algılayıcıların beslemesi olarak kullanılan SMPS güç kaynağı yerine batarya kullanıldığı durumda hattan kaynaklı gürültü kalktığı için gürültü miktarı yaklaşık 3dB azaltıldı.
- Deneylerde kullanılan ve en uygun olduğu gözlemlenen filtre katsayı seçenekleri (0,02 saniye zaman sabiti seçeneğine sahip IIR filtre ve 21 katsayı seçeneğine sahip FIR filtre) belirlendi. Veri kaçırma, geç kalmış tepki süresi, hatalı büyüklük ve faz kayması gibi filtreleme katsayısını düşük tutma sebeplerinden kaçınılırken, filtreleme seviyesi yeterli bulundu.
- İncelenen statik deney sonuçlarında sürüklenme ve taşıma kuvvet katsayıları beklenen sonuçlarla örtüştü. Düşük hızlı deneylerde gürültü, olması gerekenden fazla gözlemlendi. Harici işlemde geçen veriler ile istenilene yakın sonuçlara ulaşıldı.

- İncelenen dinamik deney sonuçlarında yunuslama momenti, sürüklenme ve taşıma kuvvet katsayıları beklenen sonuçlarla örtüştü. Düşük hızlı deneylerde gürültü, olması gerekenden fazla gözlemlendi. Harici işlem den geçen veriler ile istenilene yakın sonuçlara ulaşıldı.
- Dairesel hareket motorunun olması gerekenden fazla tork değerine sahip ve ağır olduğu sonucuna ulaşıldı. Yüksek hızlı tünellerde gerçekleştirilen deneylerde kullanılabilmek için tutma tork değeri yüksek seçilmiştir. Fakat en uygun değerden daha ağır olduğu sonucuna varılmıştır.
- Konnektör bloğu ve değiştirilebilir yük hücreleri kullanılarak oluşturulan kuvvet denge düzeneğinde, istenildiğinde yüksek aralıklı veya düşük aralıklı algılayıcılar kullanılabilir. Bu özellik ile mekanik sınırlar dâhilinde yüksek hassasiyet veya yüksek yük aralığı seçeneğine göre sistem düzenlenebilir. Bu da deneyden deneye olmasa bile tünelden tünele adapte edilebilir bir kuvvet ölçüm düzeneği anlamına gelmektedir.
- Algılayıcıların olabildiğince yakınına(algılayıcılar ile konnektör bloğu mesafesinde, yaklaşık 30 cm), gerinim ölçer yükselticisi(analog alçak geçiren filtre, yükseltici, sınırlayıcı, sıfırlayıcı ve benzeri analog sinyal iyileştirme parçası) kullandığında algılayıcılardan maksimum verim alınabileceği ön görüldü.
- USB Galvanik İzolatör kullanılması ile kontrol bilgisayarında birleşen, veri toplama ve motor kontrol portlarından kaynaklı toprak döngüsünün önüne geçilebileceği ön görüldü.
- Hattan bağımsız güç kaynağı(Online UPS) kullanılarak istenmeyen toprak döngüsünün önüne geçilebileceği gözlemlendi.
- Endüstriyel bilgisayar kullanılarak, motor kontrolü için gerekli RS-232 iletişimde, USB çevirici kullanılmadan daha hızlı iletişim kurulabileceği ve daha yüksek tepki hızlarında kontrol sağlanabileceği ön görüldü.
- Otomatik dinamik harekette 1.2.4 başlığında bahsi geçen denklemlerin kullanılmasının ileride daha esnek sonuçlara olanak sağlayacağı düşünüldü.

### 10.3 Kaynaklar Listesi

- [1] V. Portman • B. Z. Sandler •V. Chapsky • I. Zilberman. A 6-dof isotropic measuring system for force and torque components of drag for use in wind tunnels. Springer Science+Business Media, B.V. (2009)
- [2] Lincoln P. Erm Ve Phil Ferrarotto. Development of a five-component strain-gauge balance for the dsto water tunnel. Air Vehicles Division Dsto(Defence Science And Technology Organisation) (2009)
- [3] Samardžić, M., Anastasijević, Z., Marinkovski, D., Ćurčić, D., & Isaković, J.. External six-component strain gauge balance for low speed wind tunnels. Scientific Technical Review, 64(3), 40-46. (2014)
- [4] João Tiago Pinheiro Fernandes.. Design of a wind tunnel force balance. Técnico Lisboa. (2018)
- [5] Chaturi Singh\* and K. Poddar. Implementation of a labview-based automated wind tunnel instrumentation system. National Wind Tunnel Facility Indian Institute Of Technology Kanpur (INDIA). (2009).
- [6] Wibowo, S. B., Sutrisno, Rohmat, T. A., Anwar, Z., Syadi, F. R., Mahardika, R., & Naufal, W. F.. An investigation into the use of gama water tunnel for visualization of vortex breakdown on the delta wing. In aip conference proceedings(VOL. 2001, NO. 1, P. 050007). AIP PUBLISHING. (2018, August)
- [7] Karakaş, F., Paça, O., Köse, C., Son, O., Zaloğlu, B., FenerciOğlu, İ., & Çetiner, O.. Çırpan kanatta kanat profilinin etkisi. Journal Of Aeronautics And Space Technologies (Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi), 2(7), 1-16. (2014)
- [8] Dale E. Seborg, Duncan A. Mellichamp, Thomas F. Edgar, Francis J. Doyle Process dynamics and control, II Edition (2004)
- [9] Fundamentals of Aerodynamics Fifth Edition John D. Anderson, Jr. Curator of Aerodynamics National Air and Space Museum Smithsonian Institution and Professor Emeritus University of Maryland, February 12, 2010
- [10] <https://www.orientalmotor.com/>,2017
- [11] <https://www.ni.com/en-us.html>,2017
- [12] <https://www.futek.com/>,2017
- [13] <https://https://www.grc.nasa.gov>,2017
- [14] Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü  
Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd. Şti.  
Alfer Mühendislik Taahhüt Ticaret Ve Sanayi A.Ş

Korkut Ata Üniversitesi

Bilkent Üniversitesi

Orta Doğu Teknik Üniversitesi