

**BİR HAVACILIK TESİSİNDE BULUNAN MOTOR VE DİŞLİ
KUTULARI TEST SİSTEMİNİN PLC KULLANARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Erhan ERBAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2007
ANKARA**

Erhan ERBAY tarafından hazırlanan BİR HAVACILIK TESİSİNDE BULUNAN MOTOR VE DİŞLİ KUTULARI TEST SİSTEMİNİN PLC KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bedri TUÇ

Üye : Prof. Dr. Can ÇOĞUN

Üye : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Üye : Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selim TÜRKBAŞ

Tarih : 04/05/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Erhan ERBAY

**BİR HAVACILIK TESİSİNDE BULUNAN MOTOR VE DİŞLİ KUTULARI
TEST SİSTEMİNİN PLC KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Erhan ERBAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2007**

ÖZET

Bu çalışmada bir havacılık tesisinde bulunan eski bir test sisteminin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucu eski sistemin özellikle elektronik kısmının tamamen değiştirilmesi gerektiği ve mekanik sistemlerin nispeten yeterli olduğu görülmüştür. Havacılıkta kullanılan test cihazlarında istenilen hassasiyet, doğruluk ve hız son derece önemlidir. Geliştirilen test sisteminin ayrıca fayda ve maliyet analizi yapılarak, işletmeye olan katkısı değerlendirilmiştir. Bu proje uygulandığında mevcut test sistemi, T700 motorunun testlerini yapabilecek kabiliyete sahip olacaktır.

Bilim Kodu : 914.1.096
Anahtar Kelimeler : Türbinli motor test, PLC, Sensör, Modifikasyon
Sayfa Adedi : 130
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL

**IMPROVEMENT OF TURBINE ENGINE AND GEARBOX TEST SYSTEM
IN AN AVIATION ESTABLISHMENT USING PLC**

(M.Sc.Thesis)

Erhan ERBAY

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

May 2007

ABSTRACT

In aviation, the precision, accuracy and speed of the test system is very important. In this study, an existing test system in an aviation establishment is analysed for its suitability to test T700 series turbine engines. The analysis shows that the system can be modified by adding new sensors, PLC and mechanical equipments. Further more The contribution of the improvement test system is evaluated to the plant with benefit - cost analysis. It can be concluded that the recommended modifications are applied, the analysed test system is expected to have the capability to test T700 engines.

Science Code	: 914.1.096
Key Words	: Turbine engine test, PLC, sensor, modification
Page Number	: 130
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasındaki yardım ve katkılarından dolayı Hocam Doç. Dr Mustafa YURDAKUL'a, yüksek lisans öğrenimim boyunca gösterdikleri anlayıştan dolayı Grup Amirim Sayın Teoman ÖZMEN'e teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışmam sırasında, Motor Aksesuar Grup Amirliği, Teknik Koordinasyon Bölümü ve Türbinli Motor Kısmı personeli başta olmak üzere, yardım ve desteklerini esirgemeyen tüm mesai arkadaşlarıma, yoğun ve stresli günlerimde manevi destekleriyle her zaman yanımda olan çok değerli anneme ve kardeşlerime, son olarak tezimi hazırlamam aşamasında, gösterdiği anlayış ve verdiği büyük destekten dolayı sevgili eşim İdil ERBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELERVE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. T700 MOTORUNUN TANITILMASI	5
2.1.T700 Motorunun Teknik Özellikleri	7
2.2.T700 Motorunu Oluşturan Yardımcı Sistemler.....	8
2.2.1.Aksesuar modülü.....	8
2.2.2.Tork sistemi.....	10
2.2.3.Yağlama sistemi	12
2.2.4.Kontrol sistemi.....	13
2.2.5.Elektrik sistemi	15
2.3.Test Aşamaları	18
3. MEVCUT TEST ÜNİTESİNİN TANITILMASI.....	21
3.1. Test Sisteminin Oluşturan Elemanlar.....	21
3.2. Motor Test Montaj Modülü	23
3.3. Test Treyler Modülü.....	23

	Sayfa
3.3.1.Kontrol konsolu.....	24
3.3.2.Yakıt ünitesi.....	30
3.3.3.Kontrol kabin modülü.....	31
3.3.4.Yağlama sistemi	31
3.3.5.Su freni sistemi.....	32
3.3.6.Su kulesi.....	35
3.3.7.Kesintisiz güç kaynağı modülü	36
3.3.8.Test ünitesinde kullanılan algılayıcılar (sensörler).....	36
3.4. Mevcut Sistemin T700 Motor Testine Uyumluluğu	37
3.4.1.Mekanik olarak uyumluluğu	38
3.4.2.Elektronik olarak uyumluluğu	41
4. TEST ÜNİTESİNDE YAPILMASI GEREKEN İYİLEŞTİRMELER.....	45
4.1. Mekanik Modifikasyon	47
4.1.1.Motor montaj sehpası	47
4.1.2.Yağlama sistemi	48
4.2. Elektronik Modifikasyon	49
4.2.1.Gösterge ve kontrol paneli	49
4.2.2.Sensör modifikasyonu	49
4.2.3.PLC seçim kriterleri	55
4.2.4.PLC ünitesinin yapılandırılması	57
4.2.5.Yazılım	61
4.3. İyileştirme Yapılacak Test Sisteminde Kullanılacak Elemanlar	63
4.3.1.İyileştirme için gerekli olan malzemeler	65

	Sayfa
5. MALİYET ANALİZİ	66
5.1.Mekanik Elemanların Maliyeti	66
5.2.Elektronik Elemanların Maliyeti.....	66
5.2.1.Sensör Maliyeti.....	66
5.3.Görüntüleme Ve Kontrol Paneli	69
5.4.PLC Maliyeti	69
5.5.T700 Motorunun Yurt Dışı Test Maliyet Hesabı.....	71
5.6.T700 Motorunun Yurt İçi Test Maliyet Hesabı.....	72
5.6.1.Test ünitesinde yapılacak yatırımın ekonomiklik analizi	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	80
EKLER	83
EK-1 Türbinli motorların tanıtılması.....	84
EK-2 Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler.....	95
Ek-3 PLC'yi oluşturan elemanların teknik özellikleri.....	112
EK-4 Motor montaj sehpası teknik resmi.....	129
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. T700 Motoru teknik özellikleri.....	8
Çizelge 2.2. T700 motoru üzerindeki yardımcı birimlerin görevleri.....	9
Çizelge 2.3. E1 soketlerinden okunan parametreler.....	17
Çizelge 2.4 E3 soketlerinden okunan parametreler.....	17
Çizelge 2.5. T700 Motoruna yapılan testler.....	19
Çizelge 3.1. Yakıt sistemindeki akış ölçer teknik özellikleri.....	30
Çizelge 3.2. Yağlama sistem teknik özellikleri.....	32
Çizelge 3.3. Su freninin teknik özellikleri.....	33
Çizelge 3.4. Su freni sisteminde kullanılan basınç ve sıcaklık sensör özellikleri.....	34
Çizelge 3.5. Tork elemanının özellikleri.....	34
Çizelge 3.6. Su kulesi teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.7. Mevcut test ünitesinde kullanılan sensörler.....	37
Çizelge 3.8. T700 serisi motorların testteki maksimum değerleri.....	40
Çizelge 3.9.Su freninin teknik özellikleri.....	40
Çizelge 3.10. Mevcut sistemin mekanik kısımlarının kabiliyet durumu.....	41
Çizelge 3.11. Mevcut sistem sensör değerlendirmesi	42
Çizelge 3.12. Mevcut sistemin elektronik kısımlarının kabiliyet durumu.....	44
Çizelge 4.1. Test ünitesini oluşturan elemanlar.....	46
Çizelge 4.2. Sembol listesi.....	51
Çizelge 4.3. Motor üzerindeki sensör listesi.....	51
Çizelge 4.4. Yardımcı birimler üzerindeki sensör listesi.....	53

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.5. Motor üzerindeki sıcaklık sensör listesi ihtiyaç durumu.....	53
Çizelge 4.6. Motor üzerindeki basınç sensör ihtiyaç durumu.....	54
Çizelge 4.7. Motor üzerindeki titreşim ölçer ihtiyaç durumu.....	55
Çizelge 4.8. Motor üzerindeki akış ölçer ihtiyaç durumu.....	55
Çizelge 4.9. Test ünitesi için seçilen PLC özellikleri.....	57
Çizelge 4.10. T700 testi için analog giriş değerleri.....	59
Çizelge 4.11. Seçilen titreşim ölçer cihazı özellikleri.....	59
Çizelge 4.12. Birinci derece alarm limit değerleri.....	60
Çizelge 4.13. T700 kontrol parametreleri.....	62
Çizelge 4.14. İyileştirilen sistemde kullanılacak elemanların listesi.....	65
Çizelge 5.1. Kullanılan sıcaklık sensörlerinin model ve fiyat bilgileri.....	67
Çizelge 5.2. Kullanılan basınç sensörlerin model ve fiyat bilgileri.....	68
Çizelge 5.3 Test ünitesinde kullanılacak akış sensör fiyat bilgisi.....	68
Çizelge 5.4. Titreşim sensörlerin model ve fiyat bilgisi.....	69
Çizelge 5.5 Görüntüleme ve kontrol paneli.....	69
Çizelge 5.6. PLC oluşturan elemanların fiyat listesi.....	70
Çizelge 5.7. Modifikasyon için gerekli malzemelerin maliyet listesi.....	70
Çizelge 5.8. Yurt dışı motor test maliyet hesabında kullanılan değişkenler.....	71
Çizelge 5.9. Yurt dışı motor test maliyetinde hesaplanan giderler.....	71
Çizelge 5.10. Yurt içi motor test maliyet hesabında kullanılan değişkenler.....	72
Çizelge 5.11.Yurt içi motor test maliyetinde hesaplanan giderler.....	73
Çizelge 5.12. Maliyet hesabında kullanılan değişkenler.....	74

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. Yurt dışı test maliyeti.....	74
Çizelge 5.14. Yurt içi test maliyeti.....	75
Çizelge 5.15. Kazanç hesaplanmasındaki değişkenler.....	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. T700 motorunun kesit resmi.....	6
Şekil 2.2. T700 Motoruna ait veri okuma yerleri.....	7
Şekil 2.3. T700 motoru aksesuar modülü.....	9
Şekil 2.4. T700 tork ölçüm sistemi.....	11
Şekil 2.5. T700 motorlarındaki tork sensörü okuma prensibi.....	12
Şekil 2.6. T700 motoru yağlama sistem şeması.....	13
Şekil 2.7. T700 kontrol ünitesi şeması.....	14
Şekil 2.8. T700 motoru elektrik şeması.....	16
Şekil 3.1. Test ünitesini oluşturan alt sistemler.....	22
Şekil 3.2. Test ünitesinin veri akış şeması.....	23
Şekil 3.3. Gösterge kumanda paneli.....	25
Şekil 3.4. Sıcaklık/basınç okuma modülü.....	26
Şekil 3.5. Motor titreşim ölçer modülü.....	27
Şekil 3.6. Kullanıcı analog paneli.....	28
Şekil 3.7. Kullanıcı kontrol paneli	29
Şekil 3.8. Servis güç kontrol paneli.....	29
Şekil 3.9. Yakıt ünitesi akış şeması.....	30
Şekil 3.10. Su kulesinin bağlantı şeması.....	36
Şekil 4.1. Geliştirilecek test ünitesinin mekanik ve elektronik elemanları.....	45
Şekil 4.2. Geliştirilecek motor test sisteminin elemanları.....	46
Şekil 4.3. T700 motorunun motor montaj sehpası.....	47
Şekil 4.4. Yağlama sistem şeması.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Gösterge ve kontrol paneli.....	49
Şekil 4.6. T700 motor üzerinde bulunan sensör yerleşim şeması.....	51
Şekil 4.7. Yardımcı birimlerin üzerindeki sensörlerin yerleşim şeması.....	52
Şekil 4.8. PLC tasarım aşamaları	56
Şekil 4.9.İyileştirme yapılan test ünitesi yerleşim planı.....	64
Şekil 5.1.Yıllara göre test edilen T700 motor sayıları.....	73

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1 Mevcut test sisteminin görünümü.....	21
Resim 3.2. Yağlama sistemi.....	31
Resim 3.3. Su freninin yapısı.....	33
Resim 4.1. T700 Yağlama sistemi.....	48
Resim 4.2. T700 motoru üzerindeki sensör konumlanması.....	50
Resim 4.3. Scada programı ile hazırlanan izleme ara yüzü.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\emptyset$	Dişlilerin bağıl konum açısı
N_g	Gaz türbin devri
N_p	Güç türbin devri
T	Su freninin ürettiği maksimum tork
P_{sf}	Su freni gücü
$E1$	Kontrol ünitesi veri aktarma soketi
$E3$	Motordan test ünitesine veri aktarma soketi
P_{sig}	Fark basınç
P_{sia}	Mutlak basınç
Shp	Şaft beygir gücü
USD	ABD Doları

Kısaltmalar	Açıklama
TGT	Türbin gaz çıkış sıcaklığı
T_I	Toplam işçilik
i_U	İşçilik ücreti
YT	Yakıt tüketimi
$T_{\text{ÇS}}$	Toplam çalıştırma süresi
YF	Birim yakıt fiyatı
$T_{\text{ÜF}}$	Test ünitesi fiyatı
TG	Tesis gideri
EG	Enerji gideri
$N_{\text{Ü}}$	Nakliye ücreti
$T_{\text{ÇÖ}}$	Toplam çalışma ömrü
AG	Amortisman gideri

Kısaltmalar	Açıklama
TAG	Toplam amortisman gideri
GG	Genel üretim gideri
İG	İşçilik gideri
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici
TYG	Toplam yakıt gideri
AG	Amortisman gideri
TAG	Toplam amortisman gideri
GG	Genel üretim gideri
İG	İşçilik gideri
TYG	Toplam yakıt gideri
TM	Toplam maliyet
SK	Satış karı
TSM	Toplam satış maliyeti
TM	Toplam maliyet
MS	Motor sayısı
YDTM	Yurt dışı test maliyeti
YİTM	Yurt içi test maliyeti
TYİTM	Toplam yurt içi test maliyeti
TYDTM	Toplam yurt dışı test maliyeti
OS	Olma sıklığı
MBF	Motor birim fiyatı
MA	Yıllık test yapılan motor adedi
FA	Fayda analizi
TK	Toplam kazanç
OK	Ortalama kazanç

1. GİRİŞ

Türbinli motor test cihazları, imalatı veya bakımı yapılmış motorların verilen test içeriğine göre testinin yapılmasına imkan verir. Yapılan test işlemi sayesinde, motorlarda imalat ya da bakım esnasında oluşan hataların tespit edilmesine olanak sağlar. Test esnasında alınan veriler (basınç, debi, sıcaklık, tork) ve test metotları her motor tipi için farklılıklar göstermektedir.

Türbinli motor test sistemleri temel olarak, mekanik ve elektronik ünitelerden oluşmaktadır. Test sistemlerinin, mekanik kısımlarından daha çok elektronik kısımlarında farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Elektronik sistemleri, analog, veri aktarım ve PLC (Programlanabilir mantıksal denetleyici) destekli olmak üzere üç çeşittir.

Analog sistemli test cihazları ilk olarak geliştirilen test sistemleridir. Bu tip cihazlarda, herhangi bir veri aktarım sistemi olmaksızın sensörlerden alınan değerler analog göstergelerden okunmaktadır. Bu tip cihazlar hassasiyet ve emniyet bakımından günümüzde yetersiz kalmaktadır. Analog sistemli test cihazlarından sonra ise veri aktarım ünitesine sahip test üniteleri geliştirilmiştir. Bu tip sistemler veri aktarım ünitesi, bilgisayar ve monitörlerden oluşmaktadır. Veri aktarım sistemlerinde; sıcaklık, basınç, tork, yakıt akışı gibi parametreler elektronik kartlara aktarılır. Daha sonra bu değerler bilgisayar ünitesinde işlenerek sayısal veri olarak monitörden okunur. En son teknoloji ürünü olarak geliştirilen elektronik sistemlerde, veri aktarım ünitesinin yerini PLC kontrol ünitesi almıştır. PLC kontrolü sayesinde test sisteminin hassasiyeti yüksek, sistem daha güvenilir ve işlem süreleri daha kısadır.

Türbinli motor test sistemlerinin mekanik kısımları; şase, test montaj arabası, güç sistemi, soğutma kulesi, yağlama ünitesi ve test kontrol odasından oluşmaktadır. Bu sistemler motorların gerektirdiği testlerin farklı olmasından dolayı bazı farklılıklar göstermektedir.

Bu tez çalışmasında 5 nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'na bağlı fabrikada bulunan ve 1985 yapımı analog türbinli motor test ünitesinin, T700 motorunu test edebilecek tarzda geliştirmesi yapılacaktır. Bu cihazda General Electric firması imali T700 serisi türbinli motorların test işlemleri yapılamamaktadır. Yapılacak çalışmada, T700 motorunun testinin yapılabilmesi için mevcut test sisteminin, PLC kontrollü bir sisteme dönüştürülmesi planlanmaktadır. Tezde öncelikli olarak, T700 motorunun test gereksinimleri belirlenmiştir. Daha sonra mevcut sistemin elemanları tek tek incelenerek bu test için uyumluluğu incelenmiştir. İyileştirme için gerekli olan değişiklikler tespit edilerek, bu değişiklikler için ihtiyaç duyulan elemanların teknik özellikleri, görevleri belirlenerek ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın uygulamaya geçtiğinde ise hem teknik hem de ekonomik yönden işletmeye büyük katkı sağlanması beklenmektedir.

Literatürde bulunan motor test sistemlerinin değerlendirilmesi

Literatürde yapılan araştırmalarda, genellikle türbinli motorların test sistemlerinin birkaç parçasının incelendiği görülmektedir.

Ayaz tarafından yapılan çalışmada, gaz türbinli motorların hava aracı üzerinde arıza tespitinin yapılması hedeflenmiştir [1]. Motor test sistemi yazılımla desteklenerek, test esnasında alınan veriler grafiksel olarak ekrandan elde edilmektedir. Bu sayede hava aracı üzerinde motorun arızasının çeşidi ve önemi tespit edilmektedir.

Özmen tarafından yapılan diğer bir çalışmada, türbinli motorların sadece çalıştırılmasıyla ilgili bir test düzeneği geliştirilmiştir. Yapılan çalışma ile, 250 Kw gücünde gaz türbinli motorların uygun çalışma şartlarını gerçekleştiren bir test sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sadece belirtilen güçteki türbinli motorların rolantide çalışmasını gerçekleştirebilmektedir. Bu test düzeneği taşınabilir özellikte olup, belirtilen türbinli motorların ilk kontrolünü yapmak için imal edilmiştir. Bu sistem mekanik olarak motorun bağlanacağı bir şase ile ilgili bağlantı elemanlarından oluşurken, elektronik

olarak ise alıştırma, durdurma butonlarıyla analog yağ basıncı, devir, yakıt göstergelerinden oluşmaktadır [2].

Ayrıca literatürde, türbinli motor test sistemlerinin motor performansını izleme ve değerlendirme alanında çalışma yapılmıştır [1,3,4]. Bu çalışmada türbinli motorların test kriterlerini ve motor performanslarını takip edilmesine yarayan bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde, test esnasında motordan alınan veriler analiz edilebilmektedir. Bu özellik sayesinde test süresi kısalımış ve hata en aza indirgenmiş olmaktadır.

Pratt Whitney firması tarafından ise orta seviye motor test ve kontrol sistemi geliştirilmiştir [5-7]. Geliştirilen bu test cihazı F-15 ve F-16 modeli savaş uçaklarının motorlarında kullanılabilmektedir. Bu cihaz sayesinde, hava aracı üzerinde yapılan test işleminde, motorlarda meydana gelen problemler tespit edilebilmektedir. Ayrıca test esnasında elde edilen verilerin depolanması, transferi ve performans izleme işlemleri test cihazı yapılabilmektedir. Geliştirilen sistem, motorun hava aracı üzerinde sökölmezsizin sadece parametrelerin (sıcaklık, basınç, tork, devir, debi) gözlenmesine imkan vermektedir.

Rolls-Royce turboşaft motorlarının test üniteleriyle ilgili Graves tarafından çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada analog Rolls-Royce test sistemine işlerlik kazandırmak için bir iyileştirme yapılmıştır. Analog kısım tamamen kaldırılarak yerine, PLC destekli kontrol ünitesi konulmuştur. Ayrıca bu test sisteminde, PLC ile uyumlu alışan SCADA (Yönetmel denetim ve veri toplama) yazılımı kullanılmıştır. Kullanıcı bu yazılım sayesinde test verilerini monitörden takip edebilmekte ve test kayıtları bilgisayar ortamında saklanabilmektedir [8].

Literatür araştırmalarının sonucunda, Graves dışında analog özellikli türbinli motor test sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. T700 motor test sisteminin elektronik kısmındaki PLC,

sensör ve yazılım alanlarında yapılacak iyileştirmelerde Graves'in yaptığı çalışma faydalı olmuştur.

2. T700 MOTORUNUN TANITILMASI

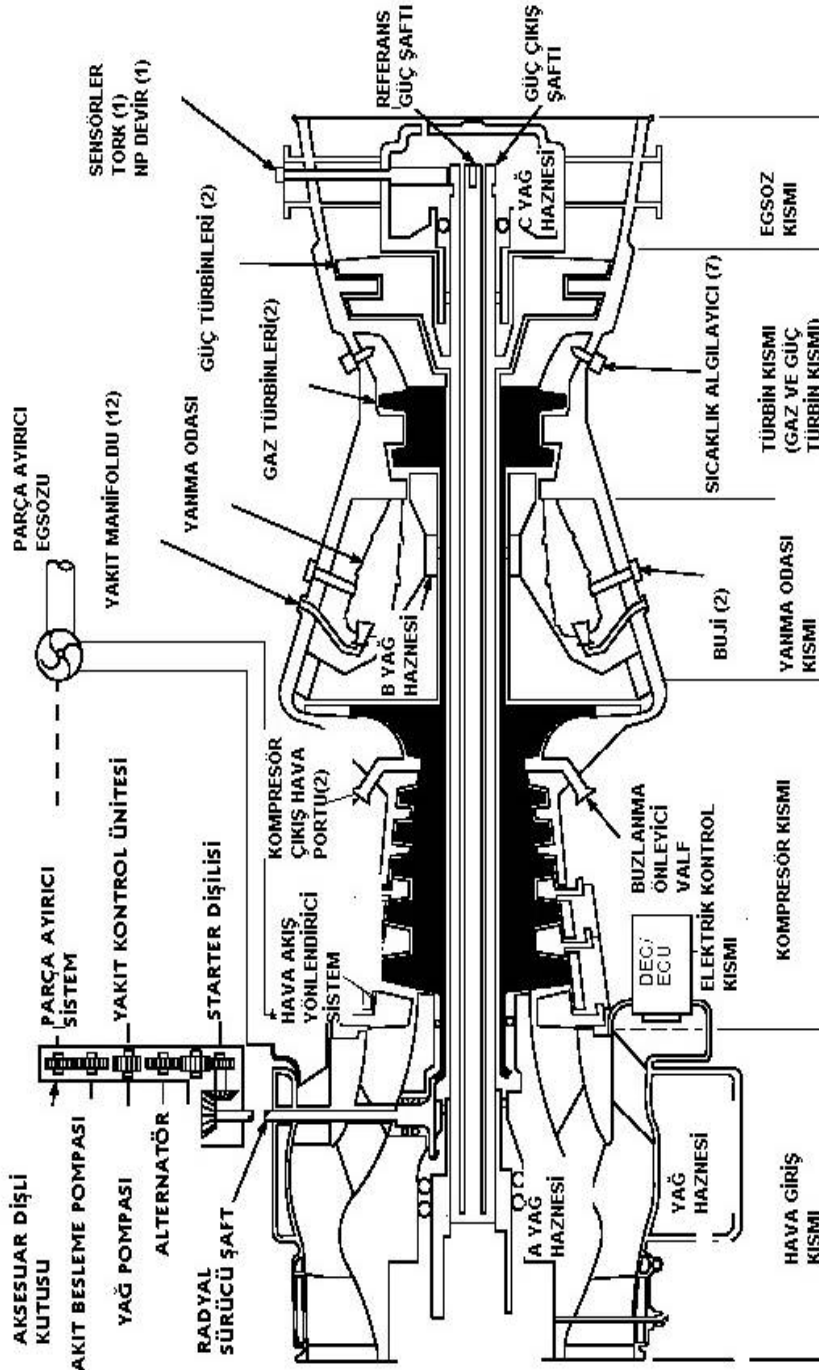
İyileştirme yapılacak cihazda T700 motorunun test işlemi gerçekleştirilecektir. T700 serisi türbinli motor, General Electric firması tarafından imal edilen turboşaft tipi bir türbinli motordur. Bütün gaz türbinler sıkıştırma ve yanma sonucu, gazların genişlemesiyle elde edilen enerjiyle çalışırlar. Bu motorlar Brayton termodinamik çevrimine göre çalışırlar. Turboşaft motorlardan elde edilen enerji helikopterlerin ana ve kuyruk rotor sistemine aktarılır. EK-1'de türbinli motorların tanıtımıyla ilgili bilgi verilmektedir.

T700 motorunun kesiti, Şekil 2.1' de verilmektedir. Motorda iki farklı sistem bulunmaktadır. Bunlar gaz ve güç türbin sistemleridir. Gaz türbini, kompresörü döndürmesiyle, yanma odası için gerekli havanın emilmesini sağlar. Emilen hava yanma odasına gönderilir ve burada yanma işlemi gerçekleşir. Bu döngü çalışma süresince devam eder. Güç türbinlerinin, gaz türbinleriyle mekanik olarak bağlantısı yoktur. Sadece sıcak gazlar gaz türbinlerinden sonra güç türbinlerine akışı vardır. Güç türbinleri helikopterlerin rotor sistemlerine direkt olarak bağlıdır. Gaz türbinleri, motorun çalışması için gerekli olan elemanların çalışması için güç üretir. Güç türbinleri ise helikopterin ihtiyacı olan gücü üretir.

Turboşaft motor düzgün kararlı şartta, hava yoğunluğu ve sıcaklığının geniş aralığında rolantiden tam güce ulaşır. Motorun verimli çalışması, istenilen güç konumunda en az yakıt akışıyla elde edilir. Turboşaft motorlarda giren havanın miktarı motor verim ve gücüne etki eder. T700 motorlarında hava giriş kısmında bulunan statörlerin iki kademesi hareketlidir. Bu hareket sayesinde kesit değiştirilerek havanın akış debisi daha kolay kontrol edilir.

Turboşaft motorlarda olduğu gibi hava giriş kısmı, kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz kısımlarından oluşmaktadır. Hava giriş kısmı; hava yönlendirme, hava ve ana giriş kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımda hava yabancı maddelerden temizlenerek kompresör kısmına gönderilir. Kompresör

kısmı ise, kompresör yatağı, kompresör rotoru ve yayıcı kısımdan oluşmaktadır.



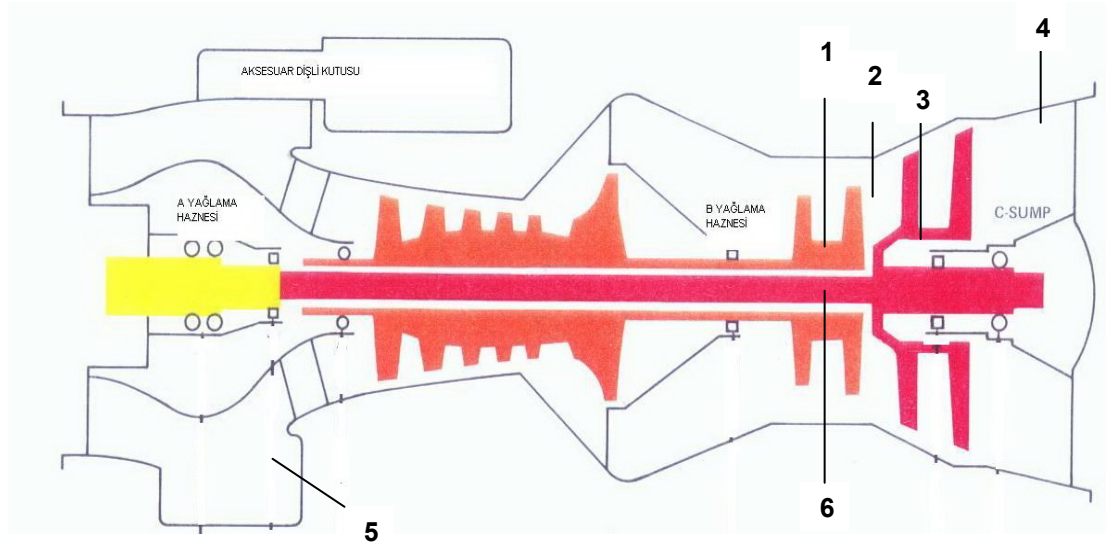
Şekil 2.1. T700 motorunun kesit resmi [9]

Kompresör toplam 6 kademeli olup, 5 kademe aksenal, 1 kademe ise santifürüj disklerden oluşmaktadır. Yanmanın meydana geldiği kısım ise hava saptırıcı, orta tutucu ve yanma odasından oluşmaktadır. T700 motorunun yanma odası halka şeklindedir. Türbin kısmında türbinler ve yönlendiriciler mevcuttur. 2 kademeli gaz ve güç türbinlerinden oluşmaktadır. Turboşaft motorlarda gaz türbinleri kompresöre, güç türbinleri ise güç çıkış şaftına bağlıdır. Egzoz kısmı ise egzoz yönlendirici parçasından oluşmaktadır [8].

Modern gaz türbinli motorların çalışma ortamında ısı ve malzemeyle ilgili limit değerleri mevcuttur. Verilen limit değerlerin aşılması durumunda motorda hasarlar meydana gelir.

2.1. T700 Motorunun Teknik Özellikleri

T700 motorunda test esnasında gerekli verilerin ölçüldüğü yerler Şekil 2.2’de ve onların isimleriyle limit değerleri Çizelge 2.1’de verilmektedir [7].



Şekil 2.2. T700 Motoruna ait veri okuma yerleri [9]

Çizelge 2.1. T700 Motoru teknik özellikleri [10]

No	Teknik veriler	Üst limit değeri
1	Gaz türbin devri	44700 d/dak
2	Gaz türbin çıkış sıcaklığı	878 ° C
3	Güç türbin devri	20900 d/dak
4	Titreşim	1.5 in/s
5	Yakıt akışı	850 lb/hr
6	Güç şaftı torku	520 ft.lb

2.2. T700 Motorunu Oluşturan Yardımcı Sistemler

T700 motorunda 5 ana kısımdan başka motorun çalışmasını sağlayan yardımcı üniteler bulunmaktadır. Bunlar aksesuar modülü, tork sistemi, yağlama sistemi, kontrol sistemi ve elektrik sisteminden oluşmaktadır.

2.2.1. Aksesuar modülü

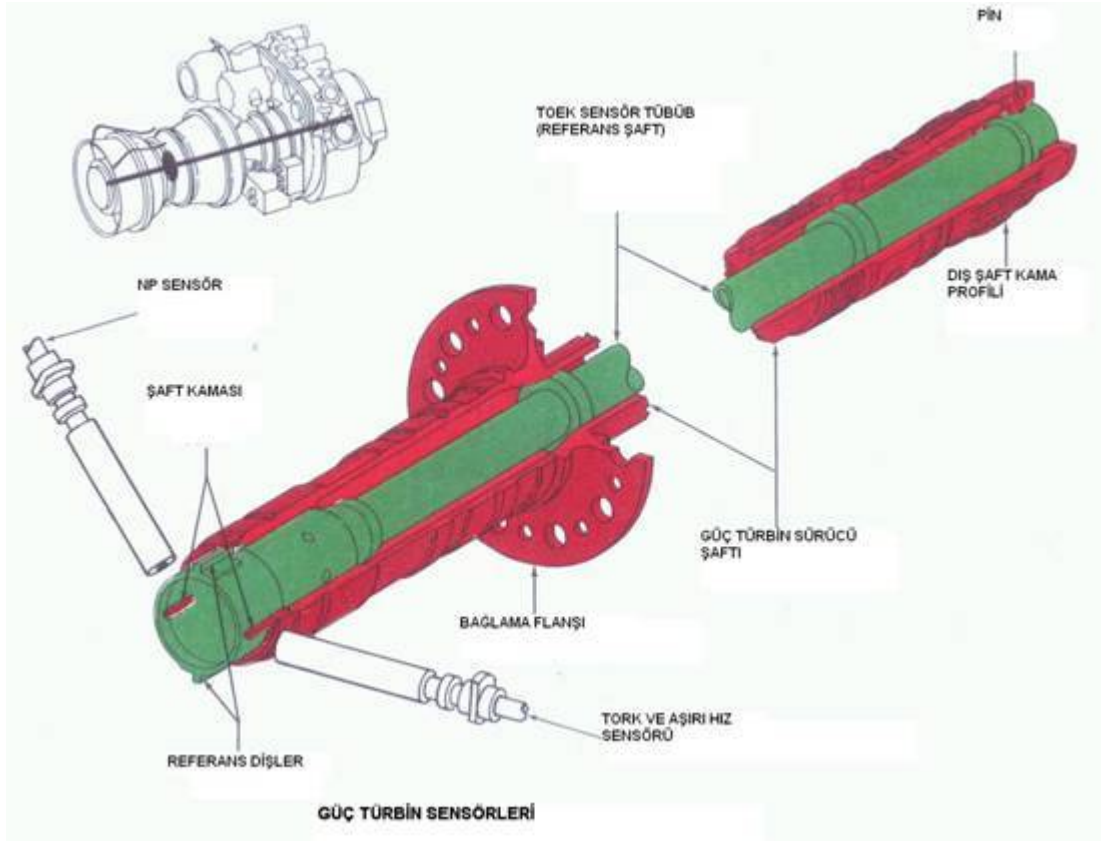
Aksesuar modülü motorun üzerinde bulunan yardımcı ünitelere hareket veren dişli kutusudur ve yakıt akış pompası, yağ pompası, alternatör, yakıt kontrol ünitesi ve parça ayırıcı sistemden oluşmaktadır (Şekil 2.3). Bu ünitelerin çalışma devirleri birbirinden farklı olup aksesuar modülü sayesinde devirleri ayarlanmaktadır.

Çizelge 2.2.(Devam) T700 motoru üzerindeki yardımcı birimlerin görevleri [9]

S.No	Parça Adı	Görevi
6	Yağ soğutucu	Motor içinde dolaşan yağın soğutulmasını sağlar. Eşanjör yapısında olan bu parçanın içinde yakıt dolaşarak yağın soğutulması sağlanır.
7	Yakıt filtresi	Motor içinde dolaşan yakıtın içindeki yabancı maddelerin süzülmesini sağlar.
8	Alternatör	Alternatörün motordan aldığı mekanik dönüşü elektrik enerjiye döndürür.
9	Yağ pompası	Motordaki yağın belirli basınç değerine yükseltilmesini sağlar.
10	Yakıt pompası	Motordaki yakıtın belirli basınç değerine yükseltilmesini sağlar.
11	Parça ayırıcı sistem	Motorun kompresörü tarafından emilen hava içindeki yabancı maddeleri ayrılmasını sağlar.

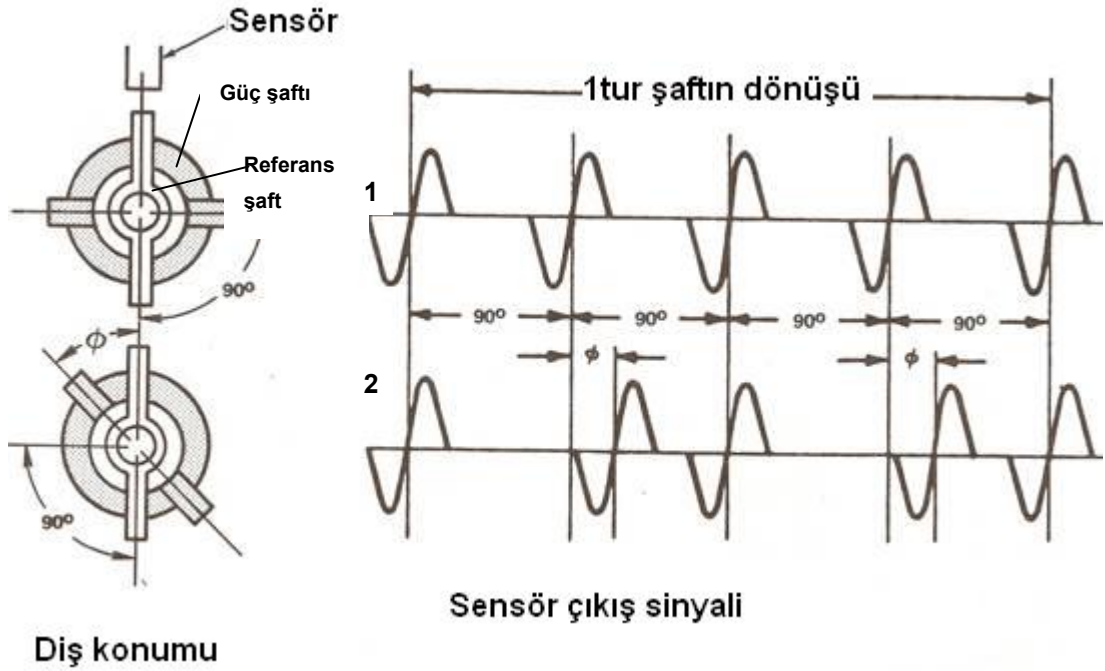
2.2.2. Tork sistemi

T700 motorlarının tork ölçümü motor üzerinde bulunan tork şaftı üzerindeki tork sensörleri ile ölçülmekle beraber test esnasında motorun değişik güç konumlarında test edilmesi için su freni veya dinamometre gibi tork kontrol cihazlarının kullanılması gerekmektedir. Şekil 2.4'te T700 motorlarının tork okuma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.4. T700 tork ölçüm sistemi [9]

T700 motorunun tork okuma sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.5'te verilmiştir. Motor yüke maruz kaldığında güç şaftı referans şaftına oranla θ kadar bir açısal bükülmeye maruz kalır. θ açısı (0-7,4) derece arasında değişir. En fazla 7,4 derece tork şaftında bükülme meydana geldiğinde motorun maksimum tork değeri 403 lb.ft olur.

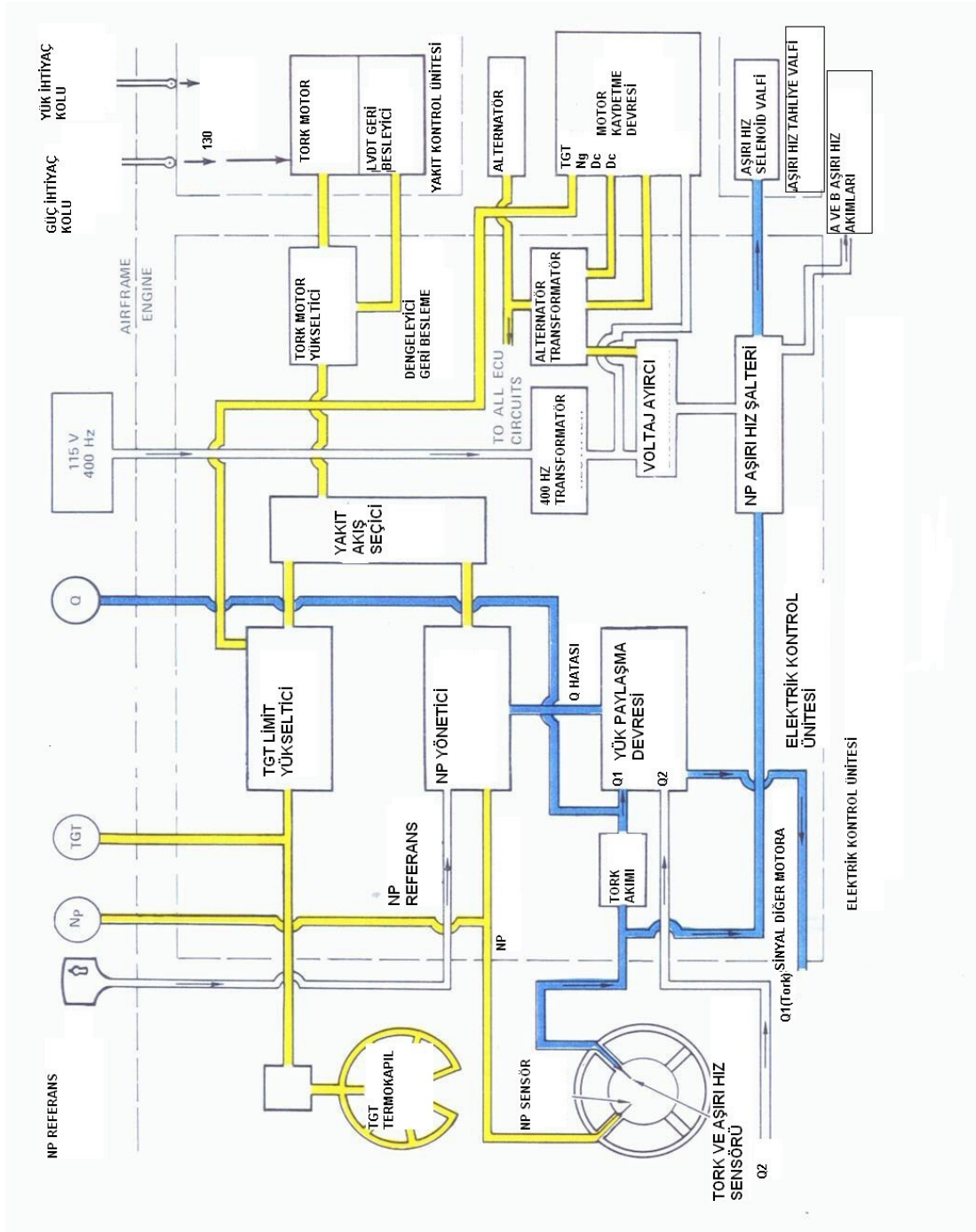


Şekil 2.5. T700 motorlarındaki tork sensörü okuma prensibi [9]

1. grafikte güç şaftı ile referans şaft arasındaki burulma açısı $\phi=0$ bu konumda motor yüksüz çalışmaktadır. 2. grafikte ise güç şaftı ile referans şaft arasında burulma açısı $\phi > 0$ olduğu durumda ise motorun yüklü olduğu durumu mevcuttur.

2.2.3. Yağlama sistemi

T700 motorlarındaki yağlama sistemi sayesinde yataklara, dişlilere A, B ve C yağlama haznelerinden yağ ile hava karışarak yağlama işlemi gerçekleştirilir. Yağlama sistemi yağ basma ve emme pompaları, dönüş süzgeçleri, keçe baskı ve yağlama hazne havalandırması, acil yağlama sistemi, yağ filtreleme ve durumu izleme, yağ tankı, yağ soğutucusu, yağ sıcaklığı ve basınç izleme, soğuk yağ tahliye ve soğutucu bypass valfleri ile talaş tutucularından oluşmaktadır (Şekil 2.6).



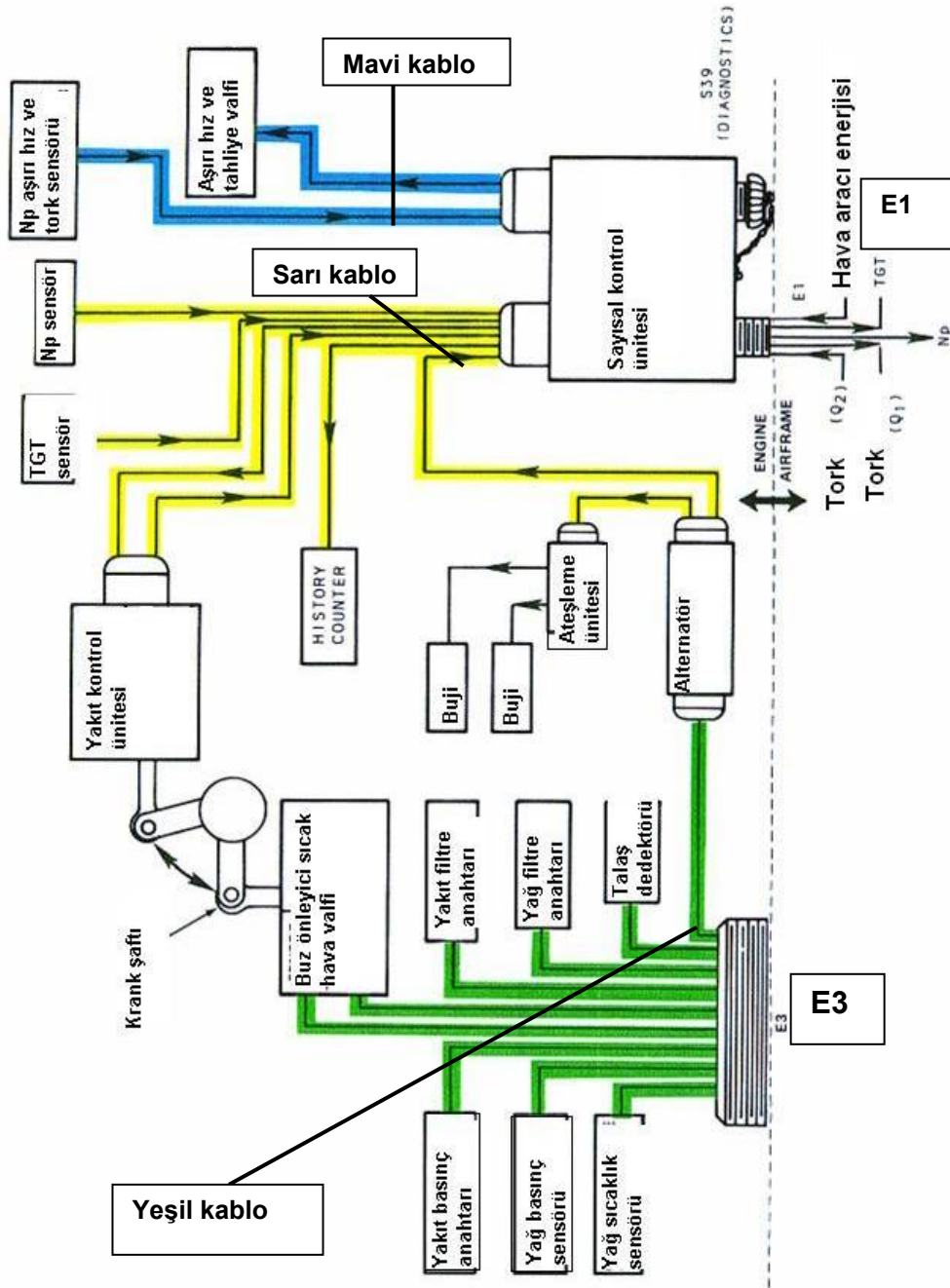
Şekil 2.7. T700 kontrol ünitesi şeması [9]

2.2.5. Elektrik sistemi

T700 motorlarında elektrik sistemi, buz önleyici hava akış sistemini ve motor güç seviyesini kontrol eder. Ayrıca yanma odasındaki hava yakıt karışımını ateşleyerek yanmayı sağlar. Buna ek olarak elektrik gösterge ve ikaz uyarı sisteminin çalışmasını sağlamaktadır. Kablo demetleri, mekanik özelliği desteklemek için ayrı ayrı renklere ayrılmıştır. Sarı kablo demeti, güç ve kontrol sisteminin sinyallerini besler. Mavi kablo demeti, aşırı hız aşımı ve tork sinyalleri temsil eder. Sarı ve mavi kablodan demetlerinden elde edilen veriler kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir. Kontrol ünitesinden ise bu değerler E1 soketinden motor test ünitesine aktarılır. Yeşil kablolar ise motor durumunun kontrol edilmesi için gerekli sensörlerden elde edilen bilgileri E3 soketi aracılığıyla test ünitesine aktarılır (Şekil 2.8).

Ayrıca elektrik sistemi aşağıda belirtilen fonksiyonları sağlar.

- Hava aracı enerjisi kullanılmaksızın, motorun çalışması için gerekli aralıkta, tüm elektrik kontrol gerekliliklerini ve motorun ateşlenmesi için gerekli elektrik enerjisini sağlar.
- Kumanda parçaları ile motor elektrik bağlantıları arasında bağlantıyı sağlar.
- Güç türbin devri, türbin gaz sıcaklığı ve iki motor arasındaki yük paylaşım sinyalinin kararlı ve hassas biçimde yakıt kontrol ünitesine iletilmesini sağlar.
- Güç türbin devri aşırı hız sistemi için topraklanma yeteneğini kontrol eder.
- Çalışma esnasında motoru ateşlemeyi sağlar.



Şekil 2.8. T700 motoru elektrik şeması [9]

Kontrol ünitesinden elde edilen veriler E1 soketinden motor test ünitesine aktarılır. Aktarılan veriler Çizelge 2.3.'te verilmektedir.

Çizelge 2.3. E1 soketlerinden okunan parametreler

S.No	Parametre	Açıklama
1	Güç türbin dönüş devri	Güç türbin devrinin ölçülmesi sağlanır.
2	Türbin gaz sıcaklığı	Türbin gaz sıcaklığı ölçülmesi sağlanır.
3	Motor torku	Motor tork değerinin ölçülmesi sağlanır.
4	Güç türbin devri aşırı hız butonu	Güç türbin devri limiti aştığında gücü kısar.
5	Güç türbin dengeleme butonu	Güç türbin hız değerinin dengelenmesi sağlanır.
6	Güç geçiş butonu	Güç geçişlerini sağlar.
7	Tork eşleştirme butonu	Tork değerinin eşleştirilmesi sağlanır.

T700 motoru üzerindeki sensörlerden alınan veriler ise E3 soketi vasıtasıyla motor test ünitesine gönderilir. E3 soketinden elde edilen verilerin listesi ise Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. E3 soketlerinden okunan parametreler

S.No	Parametre	Açıklama
1	Yağ basıncı	Verilen değerlerin doğrudan test ünitesine aktarılması sağlanır.
2	Yağ sıcaklığı	
3	Yağ basınç fark değeri	
4	Yakıt basınç	
5	Gaz türbin devri	
6	Talaş dedektör göstergesi	
7	Yakıt filtre göstergesi	
8	Yağ filtre bypass göstergesi	
9	Buzlanma önleyici valf göstergesi	

2.3. Test Aşamaları

T700 tipi türbinli motorlar genel maksat (Skorsky) ve taarruz (Whisky) helikopterlerinde kullanılmaktadır. Bu helikopterler üstlendikleri görev itibariyle her zaman göreve hazır durumda bulunmaları gerekmektedir. Çeşitli test aşamaları ile motorların göreve hazır olup olmadığı belirlenir.

Test işlemi, üretilen veya onarım gören motorlarda uygulanır. Motorlara uygulanacak test adımları motor üretici firması tarafından belirlenmektedir [10]. Bu test adımlarının her birinde farklı kontroller yapılmaktadır (Çizelge 2.5). Test işlemi bittikten sonra elde edilen veriler doğrultusunda değerlendirme işlemi yapılmaktadır. Ayrıca T700 serisi motorlar modüler olduğu için hangi parçası onarıldıysa, o parçayla ilgili test işlemleri de gerçekleştirilebilir. Örneğin, güç türbin onarımı sonrası motora; rolanti, alıştırma testi, TGT ayar testi, tork eşleştirme, güç türbin titreşim, güç sistemini yönetme ve performans test adımları uygulanmaktadır.

Çizelge 2.5. T700 Motoruna yapılan testler [10]

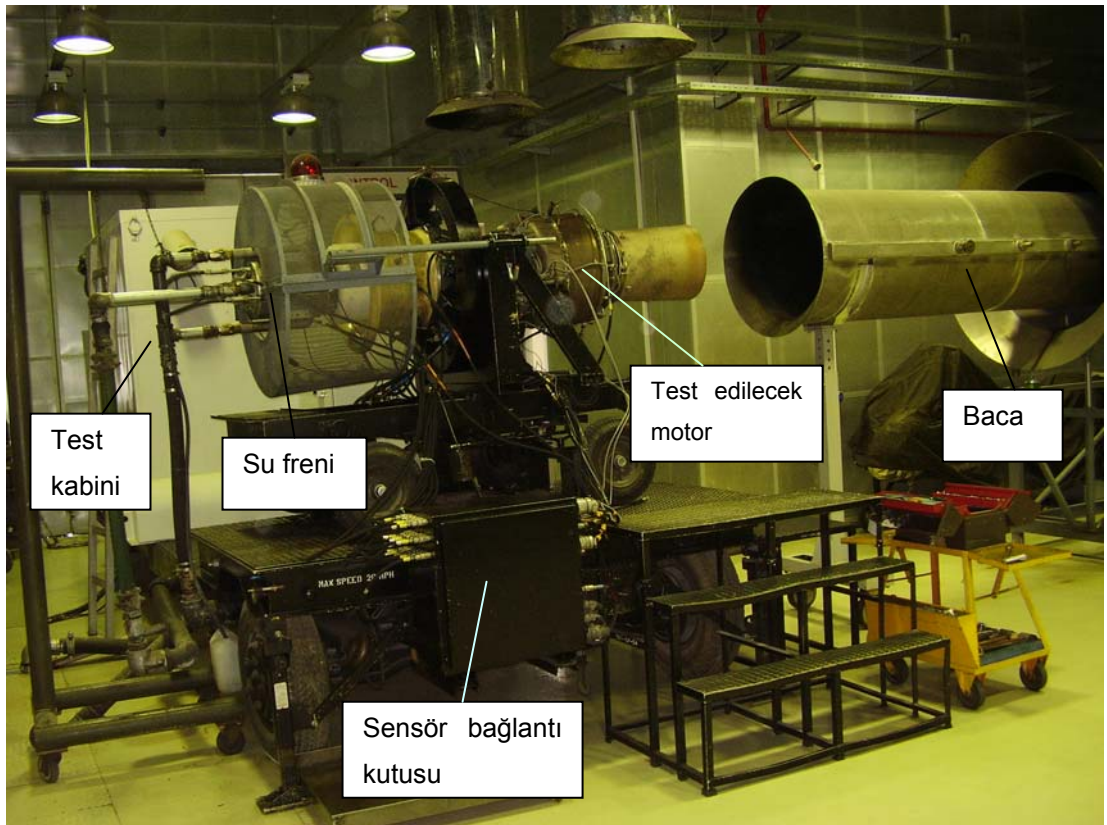
S.No	Test Adımı	Açıklama
1	Rolanti	Motorun ilk çalışmasının düzgün kararlı olduğunun kontrolüdür. Motorun rolanti konumunda istenilen devire ulaşmaması yada yüksek titreşim olması rolanti testinde ortaya çıkar.
2	Alıştırma testi	T700 motoru modüler bir motordur. Özellikle gaz ve güç sistemlerindeki parçalarda onarım sırasında değişiklikler meydana geldiğinden motor parçaları tekrar uyumlu hale getirmek gerekmektedir. Bu test sayesinde belirli bir süre motorun çalıştırılması sonucu motor parçalarının uyumlu hale gelmesi sağlanır.
3	Güç türbini aşırı hız fonksiyon kontrolü	T700 motorlarında güç türbini normalde maksimum 22000 d/dak devire ulaşabilir. Bu devri aştığında ise motorda aşırı hız aşımından dolayı hasarlanma meydana gelir. Helikopterin uçuş halinde bu arızanın meydana gelmesi motorun tamamen görev yapamaz hale gelmesiyle sonuçlanır.
4	Yağ tüketimi testi	Bu test sayesinde motorun birim zamandaki yağ tüketimi tespit edilir. Motorda meydana gelecek dahili ve harici kaçaklar bu test sonucu tespit edilir. Belirtilen limit dışında yağ tüketimi tespit edilmesi motorun yağsız kalması sonucunu ortaya çıkarır. Uzun süre motorun bu şartlarda çalışması yataklarda ve dinamik sistemde hasarlanma meydana getirir.
5	TGT (Türbin gaz sıcaklığı testi) limit ayar testi	TGT sıcaklığının belirli limit değerini aşmaması gerekmektedir. Bu sıcaklığın artması soğutma sisteminde problem olduğunu gösterir. TGT sıcaklığının belirtilen limit değerini aşması motorun gaz ve güç türbin kanatçıklarının hasarlanmasına neden olur. Bu durumda motordan istenilen güç elde edilemez. Bu testle TGT sıcaklığının maksimum değeri tespit edilir.
6	Tork eşleştirme	T700 motorlarında üretilen güç, tork değeriyle ölçülmektedir. Bu testte mevcut test sisteminde ölçülen tork ile motorun kendi sisteminden okunan tork karşılaştırılır. İki tork değeri arasındaki fark kıyaslanır. Bu değer limit içinde olmaması motor tork sistemin hatalı olduğu sonucunu ortaya çıkarır.

Çizelge 2.5.(Devam) T700 motoruna yapılan testler [10]

S.No	Test Adımı	Açıklama
7	Buz önleyici hava ve başlatma valf testi	Bu valfin görevi helikopterde soğuk hava şartlarında hava giriş kısmındaki buzlanmanın önlemesine yöneliktir. Motora giren havanın sıcaklığının 4 °C altına düştüğünde motorun hava giriş kısmında buzlanma oluşur. Buzlanma olması durumunda valfin devreye girip motor giriş havasının ısıtılması bu valf sayesinde gerçekleştirilir.
8	Güç türbin titreşim testi	Titreşim bütün makinelerde olduğu gibi T700 motorlarında da istenmeyen bir durumdur. Titreşim döner parçaların balanssızlığından kaynaklanır. Güç türbin titreşimlerinin belirli limitlerde olması gerekmektedir. Motorun belirli tork ve devirlerinde titreşimleri ölçülür.
9	Güç sistemini yönetme kontrolü	Güç türbin hızı, yakıt kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Yakıt kontrol sisteminin kontrol edemediği durumlarda güç sistemi devre dışı kalır. Bu durumda motor güç üretemez.
10	Durma engelleme(stol) testi	T700 motorunda yanma odasındaki gaz basıncının kompresör ünitesinin sıkıştırdığı hava basıncından büyük olmaması gerekmektedir. Bu test adımı basınç farklarının kontrolü yapılmaktadır.
11	Performans testi	Performans testi motorların güç, yakıt akışı, sıcaklık verilerinin deniz seviyesi şartlarında indirgenip hesaplandığı testtir. Performans testi sonucunda motorun tamamen testten geçip ya da kaldığına karar verilir.

3. MEVCUT TEST ÜNİTESİNİN TANITILMASI

Mevcut test sistemi, yaklaşık 20 yıl önce mobil tip olarak sahra şartlarında türbinli motorların testini yapabilmek için tasarlanmıştır. Mevcut test sistemi ilerleyen zamanlarda sabit test ünitesine çevrilmiş olup, şu anda T53 serisi türbinli motorlar ile T63 serisi türbinli motorların test işlemlerini yapılabilmektedir. Mevcut test ünitesi üzerinde yapılacak iyileştirme ile T700 serisi türbinli motorların testini yapılabilecek seviyeye getirmek hedeflenmektedir. Resim 3.1’de mevcut test sistemi görülmektedir.

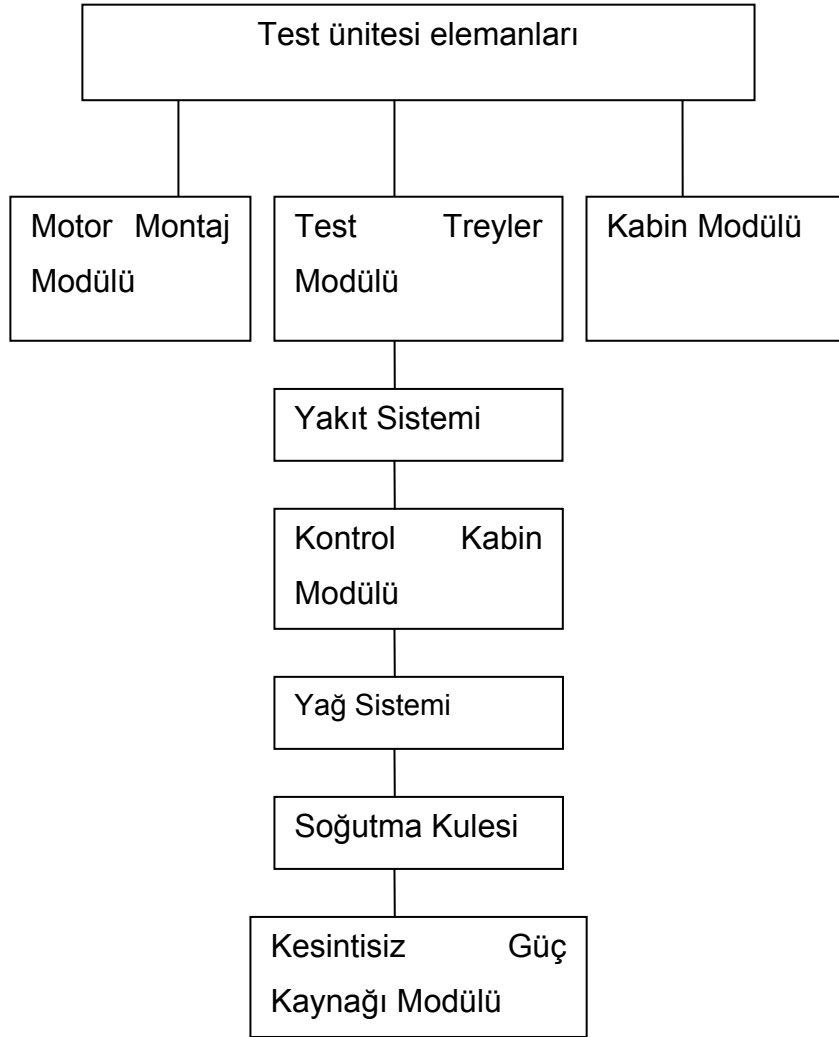


Resim 3.1 Mevcut test sisteminin görünümü [11]

3.1. Test Sisteminin Oluşturan Elemanlar

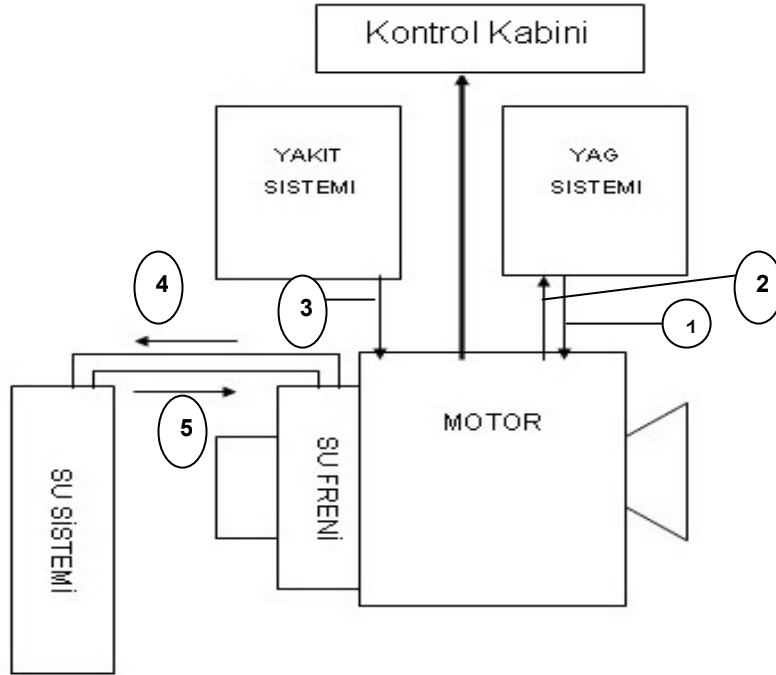
Mevcut test ünitesi 3 ana modülden oluşmaktadır. Bunlar motor montaj, test treyler ve kabin modülleridir. Test treyler modülü ise kendi içinde yakıt, elektrik starter, su, yağlama, hava, kontrol kabin modülü, kesintisiz güç

kaynağı ve soğutma kulesi olmak üzere 7 alt kısımdan oluşmaktadır. Test ünitesini oluşturan sistem elemanları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Test ünitesini oluşturan alt sistemler.

Test ünitesini oluşturan elemanların akış şeması ise Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Test ünitesinin veri akış şeması

1.Yağ girişi 2. yağ dönüş 3. yakıt girişi 4. Su girişi 5. Su çıkışı

3.2. Motor Test Montaj Modülü

Motor test montaj bölümü gelen motorların teste hazırlandığı kısımdır. Bu kısımda motorlar test arabasına monte edilerek, test için gerekli donanımlar monte edilir. Bu donanımlar, motorun sıcaklık, basınç, titreşim, akış, tork ve devir verilerini okuyacak algılayıcılar ile bunları tamamlayan yardımcı elemanlardan oluşmaktadır.

3.3. Test Treyler Modülü

Test treyler modülü ise kendi içinde yakıt sistemi, kontrol kabin modülü, yağ sistemi, soğutma kulesi ve kesintisiz güç kaynağı kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımların görevleri aşağıdaki kısımlarda anlatılacaktır.

3.3.1. Kontrol konsolu

Kontrol konsolu veri göstergesi, motor kontrol ve yardımcı kontrol merkezinin bulunduğu kısımdır. Veri gösterim sistem özelliği, test sırasındaki tüm motor parametrelerinin geliş güzel ulaşım ile dijital çıkışlar vermesidir. Motor kontrolü hidrolik güç kol pistonlarıyla yapılır. Konsolun tümüyle tasarım özelliği ileride geliştirmeğe esneklik verecek yapıdadır. Kontrol konsolu; tanı modülü, analiz modülü, kullanıcı modülü ve servis modülü olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır [11].

Tanı modülü

Tanı modülü modüler metal kabinden oluşmuş olup, içerisinde motor parametrelerini (sıcaklık, basınç ve tork) okumada kullanılan göstergeler mevcuttur. Parametrelerin dijital göstergeleri panele takılı olup aşağıdaki listedeki elemanlardan oluşmaktadır.

Tanı modülünün alt kısımlarını gösterge paneli ve veri ayırma kısımlarından oluşturmaktadır. Her bir kısım aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Dijital panel

Dijital panel toplam 3 çeşit olmak üzere yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık ve basınç/tork bölümünden oluşmaktadır. Bunlar veri ayırma anahtarıyla seçilir. Dijital sıcaklık ölçer, K ve J tipi sıcaklık ölçerler harici sıcaklık birleşim kutusundan alınan bilgiler doğrusallaştırarak göstergeye aktarır.

Basınç/tork metre değerleri, Şekil 3.3'te, 5 nolu butonlar seçilerek elde edilmektedir. Daha sonra elde edilen değerler verilen ekrandan okunur.



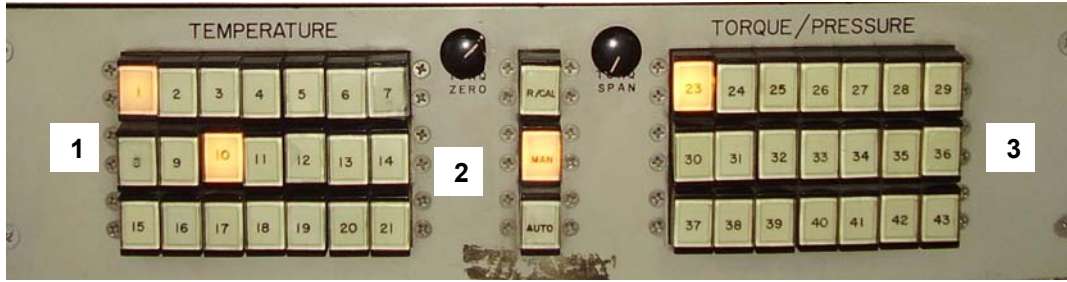
Şekil 3.3. Gösterge kumanda paneli.

1. Yüksek sıcaklık göstergesi 2. Düşük sıcaklık göstergesi
3. Basınç/Tork Göstergesi 4. Sıcaklık seçici anahtar
5. Basınç/Tork seçici anahtar

Veri ayırım kısmı

Veri ayırım kısmı, tanı parçasının üst kısmında bulunmaktadır. Bu kısmında 45 adet motor sıcaklık, basınç/tork değerlerine ait veri alınabilmektedir.

3 buton dikey pozisyonda merkezde bulunmaktadır. En üstteki anahtar yedektir. İkincisi “R/CAL ON” ve üçüncüsü “R/CAL OFF” tur. Sol taraftaki 21 buton birbirinden bağımsız olarak çalışmakta olup sıcaklık değerlerini okumak için kullanılır. Sağ taraftaki 21 buton ise basınç/tork değerlerini elde etmede kullanılır. “R/CAL ON” butonu basınç/tork fonksiyonlarının kalibrasyonunu yapmak için kullanılır. “R/CAL OFF” butonu ise R/CAL butonları kendi aralarında bir kilitlenme oluştuğunda aktif hale getirilir. Şekil 3.4’te bu butonlar görülmektedir.



Şekil 3.4. Sıcaklık/basınç okuma modülü

1. Sıcaklık kanal değiştirme anahtarı (TC1-TC21), 2. “ R/CAL ” ve “R/CALL OFF” anahtarı (TC1-TC21), 3. Basınç Kanalı değiştirme anahtarı (MT1-MT21)

Analiz alt modülü

Analiz alt modülünde motor testi esnasındaki verilerin analizi için kullanılan göstergeleri ve elektrik parçalarını içerir. Bunlar ise hız, yakıt/tüketim monitörü, çok kanallı titreşim ölçer, motor koruma ünitesi ve alarm üniteleridir.

Titreşim ölçer modülü

Titreşim ölçerler 4 eşdeğer kanaldan oluşur. Her kanalda takma tipi modüller kullanılır. Biri amplifikatör modülü diğeri ise gösterge modülüdür. Amplifikatör modülü hız ve ivme ölçer titreşim algılayıcının sinyalinin alır ve sinyali göstergeye aktarır. Gösterge modülü şartlandırılmış ve yükseltilmiş sinyali kabul eder ve hem analog hem de dijital şekilde sinyalleri gösterir. Titreşim ölçerler motor üzerine bağlandığında ve elektrik bağlantısı açıldığında , filtre düğmesi istenilen konuma getirildiğinde değerler ölçülebilir. Titreşim ölçerin yapısı ve elemanlar Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Motor titreşim ölçer modülü
1.Titreşim gösterge modülü 2. Titreşim seviye ayar düğmesi

Kullanıcı modülü

Kullanıcının modülünün görevi, motorun test edilmesi esnasında alınan verilerin operatör tarafından okunduğu kısımdır. Bu kısımda gösterge ve birincil kontrolleri içeren ekipmanların bulunduğu metal kabinden ibarettir. Kısım ayrıca güç ve sinyal dağılım kartını hidrolik tüp ve diğer birimlerle bağlantı için kablo bağlantılarını içerir. Kullanıcı modülü; kullanıcı analog paneli , kullanıcı kontrol paneli , P1 hava servis paneli ve kullanıcının kabin kısımlarından oluşmaktadır.

Kullanıcı analog paneli

Kullanıcının analog panelinde, hız göstergeleri % 0' dan %120 ye kadardır. Gaz kontrol pozisyon göstergesi, yakıt kontrol kolunun pozisyonunu gösterir. IGV pozisyon göstergesi, kompresör giriş kısmındaki hava yön kanatçıklarının açısını gösterir.

EGT göstergesi , (0-2000) °F gösterge aralığına sahiptir. Motor yağ sıcaklık göstergesi M7 DC iç köprü akım ölçer bir sistemdir. Bir bacağı motor yağ göstergesinin aralığı 0 ile 300 °F arasındadır. Yağ filtre çıkış basınç göstergesi 0-200 psi arasında çalışmaktadır (Şekil 3.6).



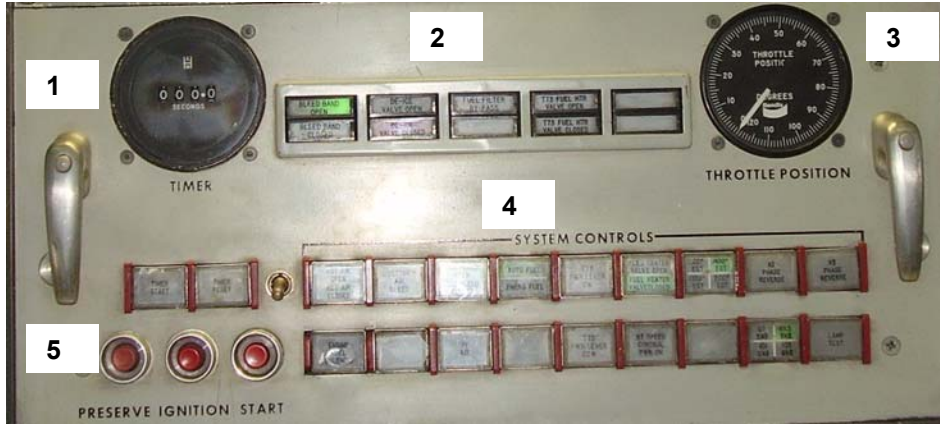
Şekil 3.6. Kullanıcı analog paneli

1. Gaz türbin hızı göstergesi (%) Güç Türbin hızı göstergesi (%)
2. Gaz kolu açısı (Derece) 3. Hava giriş kanatçık pozisyonu (Derece) 4. Tork basıncı (PSI) 5. Egzoz gaz sıcaklığı (° F)
6. Yağ sıcaklığı (° F)

Kullanıcı kontrol paneli

Kullanıcının kontrol paneli, test esnasında motorla ve sistemle ilgili uyarı ikaz butonlarının yer aldığı paneldir. Ön panelde süre göstergesi, ikaz açık/kapalı uyarı ışıkları, itme buton şalterleri ve şalter ışık birimleri mevcuttur. İkaz paneli servis modülünün üst kısmına monte edilmiştir. Sistemde toplam 15 adet ikaz lambası bulunmasına rağmen motor testinde 9 tanesi kullanılmakta olup 6 tanesi yedek konumdadır.

İtme butonları anlık şalterleri ise kronometreyi başlatma, kronometreyi durdurma, kronometreyi sıfırlama, motor çalıştırma selenoidi ve motor çalıştırmadır. Şekil 3.7' de kullanıcı kontrol paneli elemanları verilmektedir.



Şekil.3.7. Kullanıcı kontrol paneli

1. Kronometre 2. Motor uyarı butonu 3. Gaz kolu açısı
4. Yardımcı sistem ikaz buton paneli 5. Motor çalıştırma butonu

Servis modülü

Servis modülü metal kabinden oluşup içerisinde ölçüm cihazları, AC ve DC güç sağlayıcı cihazlar, kontrol ve gösterge akımları için güç ve sinyal dağıtım terminal kartı yer almaktadır. Servis modülü; İkaz sistemi, servis kontrolü, güç kaynağı, hava ayar sitemi ve iletişim modülü kısımlarından oluşmaktadır. Servis güç kontrol paneli içerisinde yer alan parçalar Şekil 3.7’de verilmiştir.

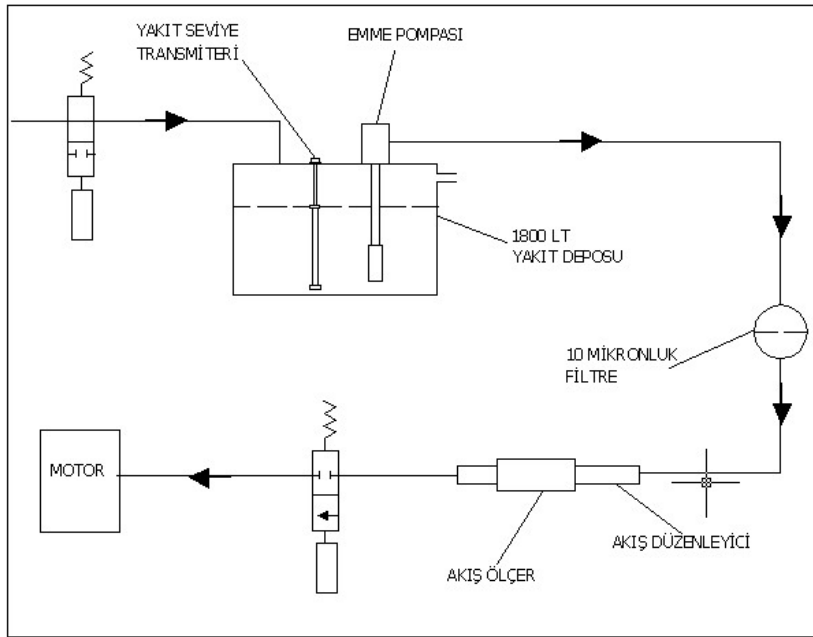


Şekil 3.8. Servis güç kontrol paneli

1. Su sistemiyle ilgili açma kapama butonları 2. Motor sistemi ile ilgili açma kapama butonları 3. Aydınlatma lamba butonları

3.3.2. Yakıt ünitesi

Yakıt ünitesinin başlıca görevi motor testi esnasında istenilen basınç ve debide yakıtı motora göndermektir. Sistem bünyesinde, yakıtın motora gönderilmesi için pompa, hat üzerinde filtre ve akış ölçer elemanları bulunmaktadır. Şekil 3.9'da ise yakıt ünitesinin akış şeması verilmektedir.



Şekil 3.9. Yakıt ünitesi akış şeması

Yakıt ünitesi üzerinde yakıt akışını ölçebilecek (95-965) pph kapasiteli akış ölçer kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de yakıt debisini ölçmede kullanılan akış ölçerlerin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yakıt sistemindeki akış ölçer teknik özellikleri

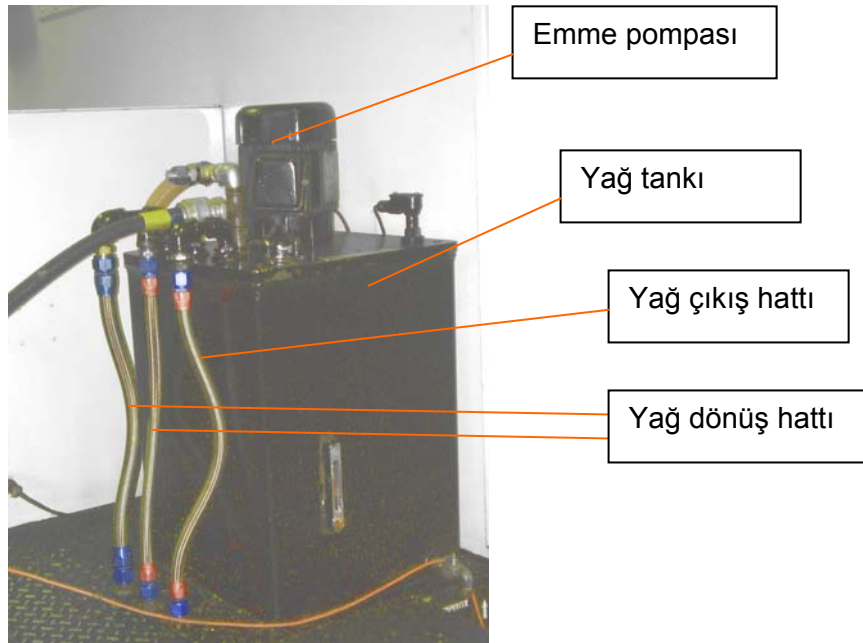
Parametre	Değerler
Ölçüm aralığı	(1.6-160) gpm veya (95-965) pph
Algılayıcı tipi	RF veya manyetik algılayıcı
Lineerlik	0.5 % (belirtilmediği sürece okunan değerin)
Tekrarlanabilirlik	± 0.05 %

3.3.3. Kontrol kabin modülü

Kontrol kabini, kontrol elemanları ve donanım cihazlarından oluşmaktadır. Bu kısımda test esnasında operatörlerin motorların test işlemlerini yaptıklarını ve kontrol ettiklerini ünitelerdir. İçerisinde veri aktarım ünitesi ve gösterge paneli yer almaktadır.

3.3.4. Yağlama sistemi

Test ünitesinde sabit bir yağlama ünitesi bulunmaktadır. Yağlama ünitesinin görevi motorun ihtiyaç duyduğu yağı belirli basınçta motora göndermektir. Yağ sistemi, pompa, yağ tankı, yağ çıkış hattı ve yağ dönüş hattından oluşmaktadır (Resim 3.2).



Resim 3.2. Yağlama sistemi

Mevcut sistem üzerinde bulunan yağlama ünitesinin çalışma değerleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

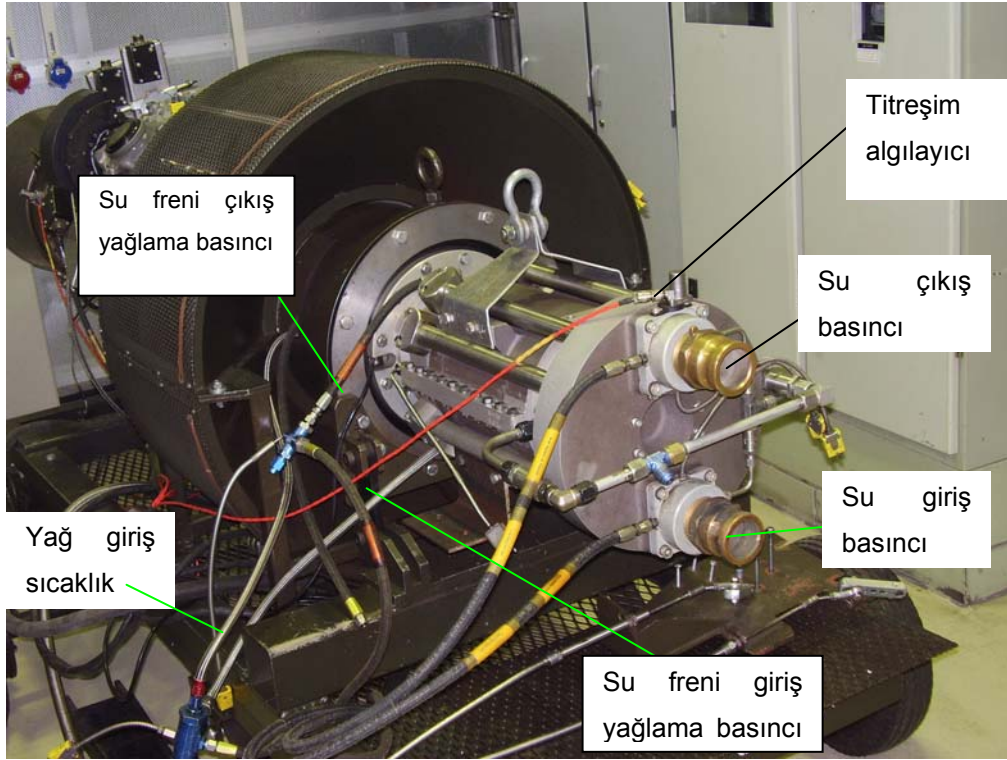
Çizelge 3.2. Yağlama sistem teknik özellikleri

Veriler	Çalışma değeri
Yağ kapasitesi	38 lt
Yağ çıkış debisi	28,5 lt/dak 25 psig basınçta ve 82 °C sıcaklıkta
Yağ dönüş debisi	(11,4 – 38) lt/dak (0-5) psig basınçta
Pompa motor gücü	1 hp
Pompa motor devri	1500 dev/dak.

3.3.5. Su freni sistemi

Test edilecek motorlarda belirli devirlerde tork elde edilebilmesi için değişik güç sistemleri kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan tork yükleme sistemleri havalı dinamometre ile su frenleridir. Havalı dinamometrelerde döner kanatçıklı rotor sistemi bulunmaktadır. Bu sistemde dış ortamdan emilen hava rotor kanatçığı üzerinde direnç oluşturmaktadır. Belirli bir devir ve tork altında dönen motordan üretilen tork bu sayede emilmektedir.

Su frenlerinde ise akışkan sudur. Bu sistem havalı dinamometreye göre daha fazla ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemde dolaşan suyun soğutulması için su kulesine ihtiyaç vardır. Bu sistem mekanik ve elektronik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Mekanik kısım, içerisinden su geçen kademeli disklerden oluşmaktadır. Elektronik kısımda ise bu yüklemeyi ölçecek tork elementi yer almaktadır. Aşağıdaki Resim 3.3 'de mevcut sistemde bulunan su freni görülmektedir.



Resim 3.3. Su freninin yapısı

Honeywell firması üretimi LTCT10471-03 parça numaralı su freninin teknik özellikleri verilmektedir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3.Su freninin teknik özellikleri

S.No	Özellik	Kapasite (Maksimum)
1	Su giriş basıncı	110 psig
2	Su giriş sıcaklığı	100 ° F
3	Su çıkış basıncı	110 psig
4	Su çıkış sıcaklığı	205 ° F
5	Güç emme kapasitesi	2500 Shp
6	Dönme devri	22000 dev/dak
7	Arka yatak sıcaklığı	230 ° F
8	Ön yatak sıcaklığı	200 ° F
9	Titreşim	2 mil/s

Bu sistemde toplam 4 adet yağ basıncı ve 3 adet sıcaklık değeri okunmaktadır. Kullanılan bu sensörlere ait bilgiler Çizelge 3.4 'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Su freni sisteminde kullanılan basınç ve sıcaklık sensör özellikleri.

Ölçülen Değer	Sensör tipi	Miktar (Adet)	Ölçüm Aralığı
Su freni yağ giriş basıncı	Basınç sensörü	1	0 - 50 psig
Su freni yağ çıkış basıncı	Basınç sensörü	1	0 - 50 psig
Su freni su giriş basıncı	Basınç sensörü	1	0 - 25 psig
Su freni su çıkış basıncı	Basınç sensörü	1	0 - 25 psig
Su freni yağ giriş sıcaklığı	Sıcaklık sensörü	1	40 – 130 ° F
Su freni su giriş sıcaklığı	Sıcaklık sensörü	1	40 - 225 ° F
Su freni su çıkış sıcaklığı	Sıcaklık sensörü	1	40 – 225 ° F

Tork elemanı

Su freninin iç kısmında bulunan tork elemanın görevi sisteme yükleme yapıldığında şaft üzerinde meydana gelen burulmayı, bünyesinde bulunan gerinim ölçerler vasıtasıyla üretilen sinyal vasıtasıyla tork değeri ölçülür. Mevcut sistemde bulunan tork elemanının teknik özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Tork elemanının özellikleri

S.No	Özellik	Değer
1	Tork aralığı	0-30000 in.lb
2	Doğruluk	± 0.5 %
3	Hassasiyet	1.5 mV/V

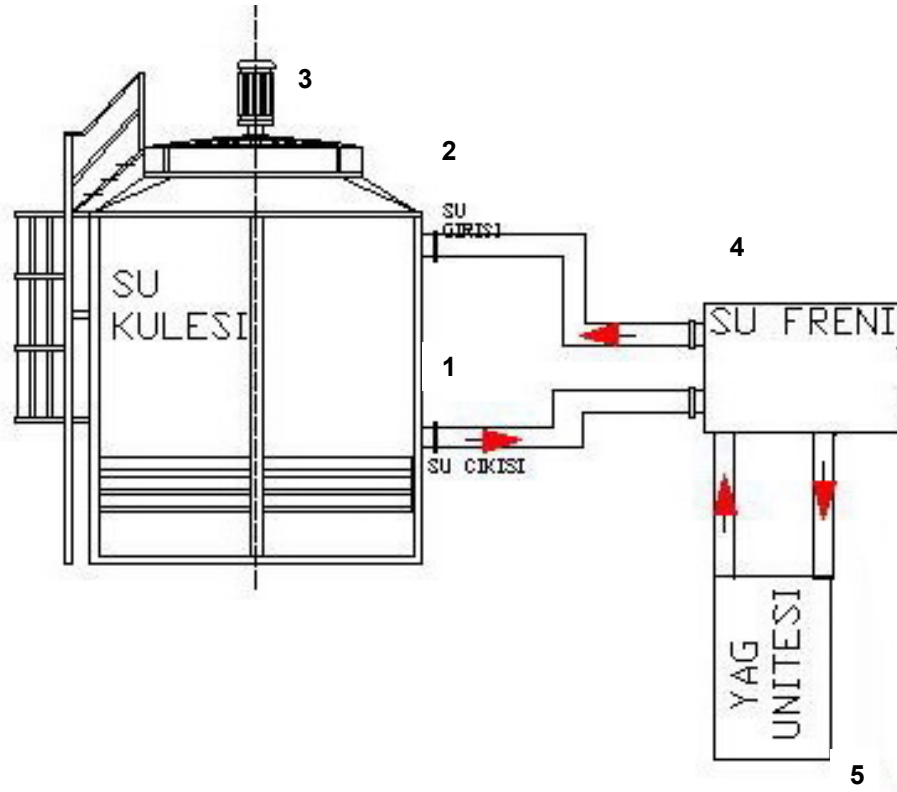
3.3.6. Su kulesi

Türbinli motorların test işleminde kullanılan su freninin içerisinde sürekli olarak su dolaşmaktadır. Aynı zamanda su freninde torkun elde edilmesiyle beraber sistemde dolaşan suyun sıcaklığı artmaktadır. Bunun için test ünitesinde bulunan soğutma kulesinin görevi su frenine sürekli olarak su sağlamakla beraber ısınan suyun soğumasını sağlamaktadır. T 700 motoru için kullanılan su freninde tam yük konumunda suyun ısısı yaklaşık 80 ° C'ye ulaşmaktadır. Suyun giriş sıcaklığı ise 45° C olması yeterlidir. Çizelge 3.6'da su kulesine ait teknik özellikler verilmektedir.

Çizelge 3.6. Su kulesi teknik özellikleri

S.No	Özellik	Miktar
1	Kapasite	4085000 kcal/h
2	Su giriş sıcaklığı	85 °C
3	Su çıkış sıcaklığı	42 °C
4	Yaş termometre sıcaklığı	21 °C
5	Fan motoru gücü	7.5 Kw
6	Fan motoru devri	750 d/dak

Yukarıda verilen teknik özelliklere göre su kulesi T700 motorunun testinde kullanılabilecektir. Su freni ve su kulesi birbirini tamamlayan iki mekanik cihaz olarak test ünitesinde kullanılmaktadır. Bu cihazların beraber kullanım şemaları Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10. Su kulesinin bağlantı şeması.

1. Su çıkışı 2. Su girişi 3. Su dolaşım pompası 4. Su freni
5. Yağ ünitesi

3.3.7. Kesintisiz güç kaynağı modülü

Mevcut sistemde kullanılan elektronik cihazların voltaj dalgalanmasından korumak için kesintisiz güç kaynağı bulunmaktadır. Kesintisiz güç kaynağı, 80 Kw gücünde olup, $380 \pm (\% 5)$ Volt, 3 faz ve $50 \pm (\% 5)$ Hz frekans değerinde elektrik sağlayabilmektedir. Ayrıca sistemde bulunan çevirici vasıtasıyla $220 \pm (\% 5)$ Volt ve $50 \pm (\% 5)$ Hz frekans değerinde enerji dönüştürülebilmektedir.

3.3.8. Test ünitesinde kullanılan algılayıcılar (sensörler)

Sensörlerin temel görevi basınç, sıcaklık akış, mesafe, yük ve titreşim gibi parametrelerin ölçülmesini sağlarlar. Sensörlerle ilgili detaylı bilgi Ek-2’de verilmektedir.

Mevcut test ünitesinde basınç,sıcaklık,akış,titreşim ve akış değerlerini ölçmede kullanılan farklı görevlerde algılayıcılar vardır. Bunlar yakıt, yağ, su, hava ve ısınmış gaz basınçların değerlerini ölçmede kullanılmaktadır. Test ünitesinde bulunan basınç algılayıcıların listesi ve teknik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmektedir.

Çizelge 3.7. Mevcut test ünitesinde kullanılan sensörler

S.No.	Tipi	Ölçüm aralığı	Adet
1	Basınç ölçer	0-25 Psig	1
2	Basınç ölçer	0-100 Psig	1
3	Basınç ölçer	0-200 Psig	1
4	Basınç ölçer	0-200 Psid	1
5	Basınç ölçer	0-500 Psig	1
6	Basınç ölçer	0-1000 Psig	1
7	Basınç ölçer	0-30 in.H ₂ O	1
8	Basınç ölçer	0-30 in.Hg	1
9	Basınç ölçer	0-69.3 in.H ₂ O	1
10	Basınç ölçer	0-60 in.Hg	1
11	Sıcaklık ölçer	0 -1700 ° F	21
12	Akış ölçer	0-950 lb/hr	1
13	Titreşim ölçer	0-0.5 in/s	1
14	Titreşim ölçer	0-1.5 in/s	1
15	Titreşim ölçer	0-5 in/s	1

3.4. Mevcut Sistemin T 700 Motor Testine Uyumluluğu

Mevcut test sistemini mekanik ve elektronik olarak iki bölümde uyumluluğunu inceleyeceğiz.

3.4.1. Mekanik olarak uyumluluğu

Bu kısımda test ünitesini oluşturan mekanik kısımları ele alarak T700 türbinli motorunun testini yapabilecek teknik özellikte olup olmadığının incelenmesi yapılacak ve gerekli iyileştirmelerin neler olduğu açıklanacaktır.

Mekanik sistem toplam beş ana ayrı modülden oluşmaktadır. Bunlar; motor test montaj modülü, yakıt sistemi, yağ sistemi, su freni ve soğutma kulesinden oluşmaktadır.

Motor montaj bölümü

Motor montaj bölümü, test ünitesinde motorun monte edildiği kısımdır. Bu kısım motorların test ünitesine bağlandığı ve test için gerekli olan ölçüm cihazlarına desteklik yapan şase konumundadır. Mevcut test standı daha önce diğer motor tiplerine göre tasarlandığından dolayı T700 türbinli motorunu test yapabilmek için bazı değişikliklerin yapılması gerekmektedir.

Yakıt sistemi

Mevcut test ünitesinin yakıt tankının kapasitesi 2000 kg olup, mevcut pompa sayesinde 950 lb/hr debide yakıt gönderebilme kapasitesine sahiptir. T700 motorlarının test işlemi yaklaşık 4 saat sürmektedir. Bu süre boyunca ortalama 600-700 lb/hr yakıt tüketimi sonucu 1500 kg yakıtı ihtiyaç bulunmaktadır. Mevcut sistem, iyileştirme yapılacak test ünitesinde kullanılabilecek durumdadır [10].

Yağlama sistemi

Mevcut sistemde testi yapılan türbinli motorlarda T53 ve T63 serisi motorların yağlama sistemleri harici olup, sistem bünyesinde bulunan depodan yağlama sağlanmaktadır. Bu tip motorların T53 serisi motorlar için kullanılan su frenindeki yataklarda gres tipi statik yağlama kullanılmaktadır. T63 serisi

türbinli motorlarda ise karbon fiber yatak kullanılıp bunlarda ise suyla yağlama kullanılmaktadır. Bu tip motorlar için kullanılan su frenlerinde harici yağlama ünitesine gerek yoktur. T700 motorlarında ise yağlama sistemi motorun kendine ait olup harici yağ kaynağına ihtiyaç duyulmaz. Yalnız T700 serisi motorların güç çıkış devri diğer motorlara göre yüksek olduğundan bu tip motorların güç emme sistemlerinin dışarıdan yağlanmaları gerekmektedir. Bundan dolayı su freninin yataklarının dinamik olarak yağlama yapılabilmesi için harici bir yağlama sistemine ihtiyaç duymaktadır.

Su freni

Türbinli motorlarda test esnasında tork elde etmek için çeşitli güç emici elemanlar kullanılmaktadır. Gaz türbinli motorlarda yaygın olarak kullanılan güç emme sistemleri, su freni ve havalı dinamometrelerdir. T700 motorların test işlemlerinde mevcut sistemin yapısına uyumluluğu nedeniyle su freni kullanılacaktır. Bu sistemde kullanılan su freni birden fazla kademeli döner disklerden oluşmaktadır. Kullanılan bu sistem içerisinde çalışan motorun gücünü emmek için suyun sürtünme kuvvetinden yararlanılmaktadır. Döner rotor disklerine suyun çarpması sonucu, Newton'un 3. kanununa göre etki tepki prensibine göre su diskleri durdurmaya çalışır. Bu esnada oluşan kesme kuvvetleri merkeze göre oluşan torkla güç elde edilir. Böylece motorun çeşitli devir ve tork altında ürettiği güç su freni sistemiyle ölçülür.

T700 Motoru güç gereksinimi

T700 motorunun test esnasındaki güç gereksinimi, su freninin seçiminde kullanılacaktır. Test edilen motorun maksimum gücünün (P_m) hesaplanması için Çizelge 3.8'de verilen parametrelerden yararlanılacaktır.

Çizelge 3.8. T700 serisi motorların testteki maksimum değerleri

Parametre	Kısaltma	Değer
Test esnasında çekilen maksimum motor torku	T_m	490 ft.lb
Test esnasında çekilen maksimum güç türbin devri	N_p	20900 d/dak

$$P_m = (T * N_p) / 63024 \quad (3.1)$$

$$P_m = 20900 * (490 \text{ ft.lb}) * (12 \text{ in/1ft}) / 63024$$

$$P_m = 1950 \text{ shp}$$

Buradan çıkan sonuca göre en az 1950 shp gücünde su freni kullanmamız gerekmektedir. Mevcut sistemde kullanılan ve su freninin özellikleri Çizelge 3.9'de verilmektedir.

Çizelge 3.9.Su freninin teknik özellikleri

S.No	Teknik özellikler	Kapasite (Maksimum)
1	Su giriş basıncı	110 psig
2	Su çıkış basıncı	110 psig
3	Güç emme kapasitesi (P_{sf})	5000 shp
4	Dönme devri	22000 dev/dak

$$P_{sf} = 5000 \text{ shp}$$

$P_{sf} > P_m$ olduğundan seçilen su frenini T700 testlerinde kullanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Soğutma kulesi

T700 motorlarının test işlemlerinde güç emme sistemi olarak su freni kullanılacaktır. Su freninin içinde dolaşan suyun soğutulması için su kulesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut sistemde kullanılan ve teknik özellikleri açıklanan soğutma kulesi T700 testlerinde kullanılabilir.

Aşağıdaki tabloda mevcut sistemde bulunan mekanik ünitelerin T700 türbinli motorunun testi için yeterli olup olmadığı hakkında yapılan değerlendirmeler Çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10. Mevcut sistemin mekanik kısımlarının kabiliyet durumu

Birimler	T700 Testi için	
	Yeterli	Yetersiz
Test Kabini	✓	
Motor test montaj modülü		✓
Yakıt sistemi	✓	
Yağ sistemi		✓
Su freni	✓	
Soğutma kulesi	✓	
Egzoz bacası	✓	

3.4.2. Elektronik olarak uyumluluğu

Mevcut test sisteminin elektronik kısmı, gösterge ve kontrol paneli, sensörler ve kesintisiz güç kaynağından oluşmaktadır. Bu ünitelerin T700 türbinli motorunun testini yapabilecek teknik özellikte olup olmadığının incelemesi yapılarak, gerekli iyileştirmelerin neler olduğu açıklanacaktır.

Gösterge paneli

Mevcut sistemde önceki bölümlerde bahsedildiği gibi herhangi bir veri aktarım sistemi kullanılmaksızın direkt olarak elde edilen veriler analog ve

dijital göstergelere aktarılmaktadır. T700 serisi türbinli motoru test edebilmek için yapılacak iyileştirmede sensörlerden alınan verilerin işlenmesi, programlanabilir mantıksal kontrol elemanlarıyla kontrol edilerek, yazılım aracılığıyla test esnasında elde edilen verilerin görüntülenmesi ve kontrol edilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenlerden dolayı mevcut sistemin gösterge sistemi ihtiyaca cevap vermemektedir.

Kesintisiz güç kaynağı

Mevcut sistemdeki elektrik güç kaynağı, 80 Kw kapasitesinde 50 Hz frekansta ve (220 – 380) Volt değerinde enerji sağlamaktadır. Bu sistem T700 motor testleri için yeterli olduğu için iyileştirme çalışmasında kullanılabilir [29].

Sensörler (Algılayıcılar)

Mevcut sistemde bulunan sensörlerin ölçüm değerleri ve diğer teknik özelliklerinin incelenmesi sonucu T700 türbinli motor testlerinde kullanılabilirlik yönünden yapılan inceleme Çizelge 3.11’de verilmektedir.

Çizelge 3.11. Mevcut sistem sensör değerlendirmesi

Sensör Tipi	T700 Test için		
	Kısmen Yeterli	Yeterli	Yetersiz
Sıcaklık			√
Basınç	√		
Akış ölçer	√		
Titreşim			√

Sıcaklık sensörler

Mevcut sistemde sıcaklık sensörleri, düşük sıcaklık aralığında J tipi ısı çift (-40 ile 750) °C arasında ölçme aralığına sahiptir. T700 motorlarında (-200 ile

1200) °C yüksek sıcaklık ölçme aralığına sahip K tipi ısı çifti kullanılmaktadır. Bu tip ısı çiftleri daha geniş aralıkta ve okuma hassasiyeti daha yüksek olduğu için kullanılması uygundur.

Basınç sensörler

T700 serisi türbinli motorların ve su freni sisteminde çeşitli bölgelerde basınç değerlerinin ölçülerek kontrol edilmesi gerekmektedir. Mevcut sistem üzerinde de farklı ölçüm aralıklarında kullanılan basınç ölçerler bulunmaktadır. Yapılan incelemede basınç ölçerlerin bir kısmı istenilen özellikte olup, bir kısmı ise istenilen ölçüm aralığının dışında bulunmaktadır. Bundan dolayı (0-50) psig ölçüm aralığında toplam 6 adet basınçölçer gerekmektedir.

Akış sensörler

Mevcut sistemde (95-965) lb/hr ölçüm aralığına sahip 1 adet türbin tipi akış ölçer bulunmaktadır. T700 serisi türbinli motorlarda ise okunan yakıt akış değeri (95-950) lb/hr aralığında olduğundan sistemdeki akış ölçer kullanılabilir. T700 motor test sisteminin yağlama sisteminin akışını ölçmek için 0,1 gpm ve 0,25 gpm olmak üzere iki adet akış ölçere daha ihtiyaç duyulmaktadır.

Titreşim ölçerler

Mevcut sistemde 3 adet analog titreşim ölçer kullanılmakta olup, ölçüm aralıkları (0-0,5) in/s, (0-1,5) in/s ve (0-5) in/s'dir. T700 motorunun testlerinde ise (0-5) in/s aralığında toplam 3 adet titreşim ölçere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durumda T700 motorunun test işlemlerinde 2 adet titreşim ölçere daha ihtiyaç bulunmaktadır.

PLC Donanım ve yazılım

Mevcut test sisteminde PLC ile ilgili elemanlar ve test verilerini görüntüleme ve değerlendirilmesine yönelik yazılım bulunmamaktadır.

Aşağıdaki Çizelge 3.12’de verilen mevcut test elemanlarının T700 testi için kabiliyet durumu hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 3.12. Mevcut sistemin elektronik kısımlarının kabiliyet durumu

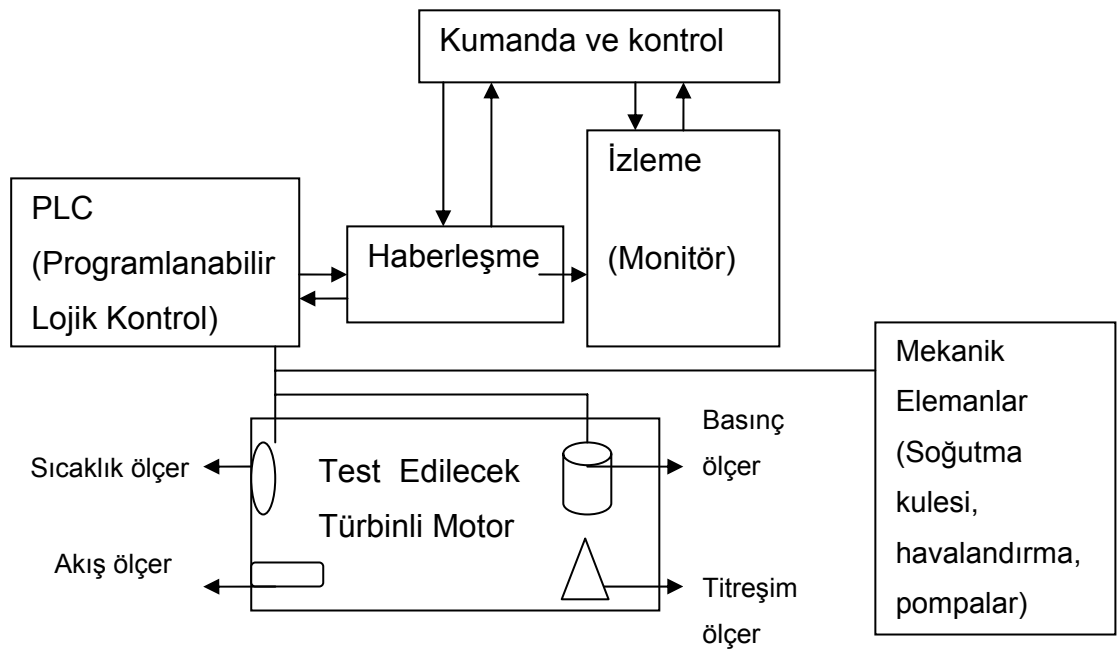
Birimler	T700 testi için	
	Yeterli	Yetersiz
Gösterge ve kontrol paneli		√
Sensörler		√
Kesintisiz güç kaynağı	√	
PLC donanım		√
Yazılım		√

Yapılan inceleme sonucu mevcut test sisteminin şu andaki mevcut haliyle Bölüm 2’de verilen testlerin hiçbiri yapılamamaktadır.

4. TEST ÜNİTESİNDE YAPILMASI GEREKEN İYİLEŞTİRMELER

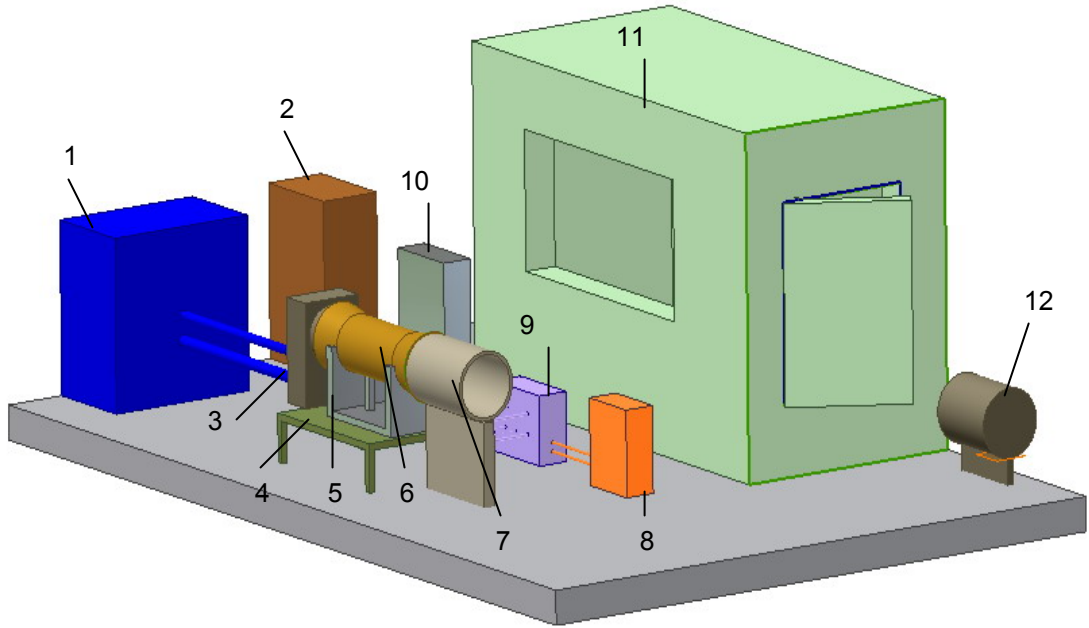
3. Bölümde açıklanan mevcut sistemin T700 test işlemleri için yetersiz olan kısımlarının iyileştirmeleri bu bölümde detaylandırılmıştır.

İyileştirme yapılacak test sisteminde bulunan elemanların arasındaki ilişki Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Geliştirilecek test ünitesinin mekanik ve elektronik elemanları.

Mevcut sistemin elemanlarından yararlanılarak tasarlanacaktır. Geliştirilecek test sistemini oluşturan elemanların yerleşim şeması Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Geliştirilecek motor test sisteminin elemanları

Bu test ünitesinde yer alan elemanlar ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test ünitesini oluşturan elemanlar

1	Su kulesi
2	PLC Programlanabilir lojik kontrol
3	Su freni
4	Şase
5	Motor montaj sehpası
6	T700 Motoru
7	Egzoz bacası
8	Elektrik güç kaynağı
9	Sensör giriş kutusu
10	Yağ ünitesi
11	Test kabini
12	Yakıt sistemi

Yukarıda verilen yerleşim planına göre yapılacak iyileştirme mekanik ve elektronik olarak iki kısımda incelenecektir.

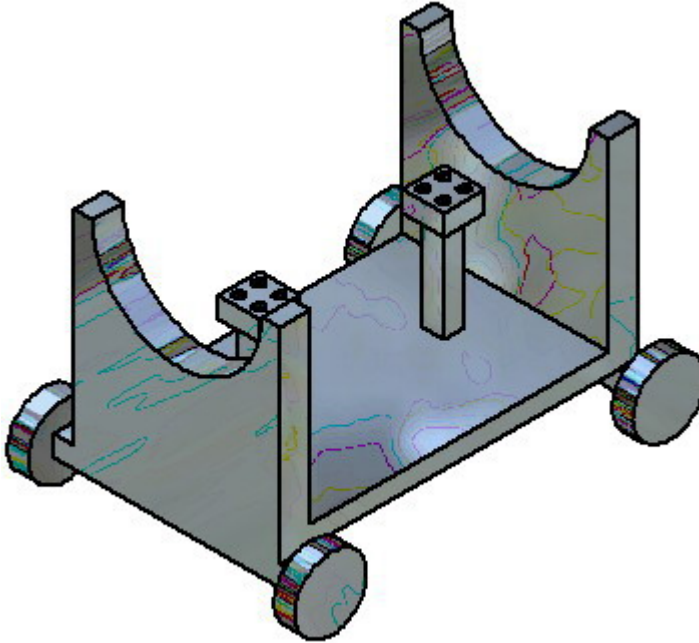
4.1. Mekanik Modifikasyon

3. Bölümde yapılan mevcut sistemin analizinde T700 motor testi için yağlama ve motor montaj sehpasında iyileştirme yapılacağı belirtilmiştir. Diğer kısımlarda ise herhangi bir iyileştirmeye gerek duyulmadığı tespit edilmiştir.

4.1.1. Motor montaj sehpası

Motor test montaj modülünün görevi test yapılacak motorun test ünitesine bağlanmasında ve motorun direkt olarak temasta olan su kulesi, yağ ünitesi, T700 motoru ve motor montaj sehpasının birbiriyle olan bağlantılarını sağlamaktır.

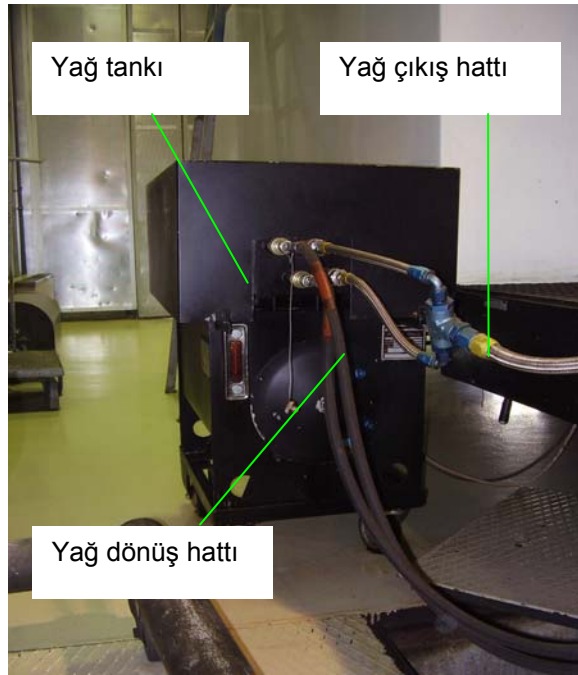
Motor montaj sehpası, motorların bağlandığı yer olması nedeniyle her bir motor tipinde farklıdır. Standart eleman olarak kabul edilen mobil montaj sehpası T700 motoruna uygun olarak hazır alınmaktadır (Şekil 4.3). Motor montaj sehpasının detaylı teknik resmi EK-4'te verilmektedir.



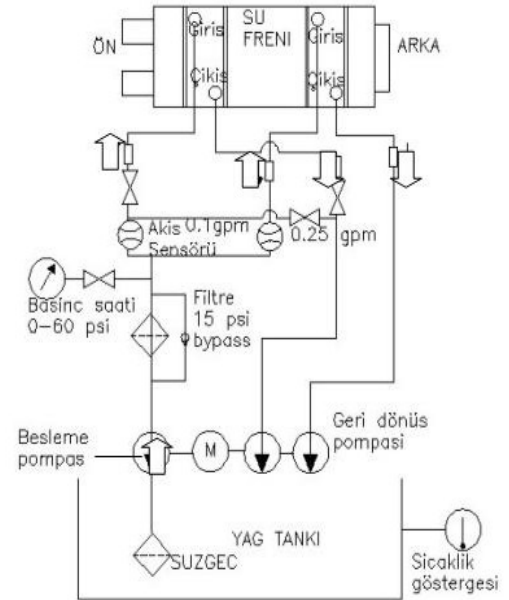
Şekil 4.3. T700 motorunun motor montaj sehpası

4.1.2. Yağlama sistemi

Mevcut sistemde bulunan yağlama ünitesi, sadece test yapılan türbinli motorların yataklarının yağlanmasında kullanılmaktadır. T700 serisi motorlarda dahili yağlama sistemi mevcuttur. Bu motorlar yüksek devirli olduklarından dolayı, güç emme sistemlerinde bulunan yatakların dinamik olarak ayrı bir yağlama ünitesi ile yağlanması gerekmektedir. İyileştirme yapılacak sistemdeki yağ ünitesinin temel görevi su freninin yataklarını yağlamak için gerekli olan yağı, sisteme belirli bir basınçta göndermek ve geri dönüşünü sağlamaktır. Resim 4.1 ve Şekil 4.4'te test ünitesinde kullanılan yağlama kısmına ait şema görülmektedir. Bu ünitenin kapasitesi 10 galon olup, yağ çıkış debisi 1750 rpm'de 2.8 gpm ve dönüş debisi ise 1750 rpm'de 1.4 gpm'dir. Bu döngü kapalı bir çevrim şeklinde olup belirli basınç ve debide yataklar dinamik olarak yağlanmaktadır.



Resim 4.1. T700 Yağlama sistemi.



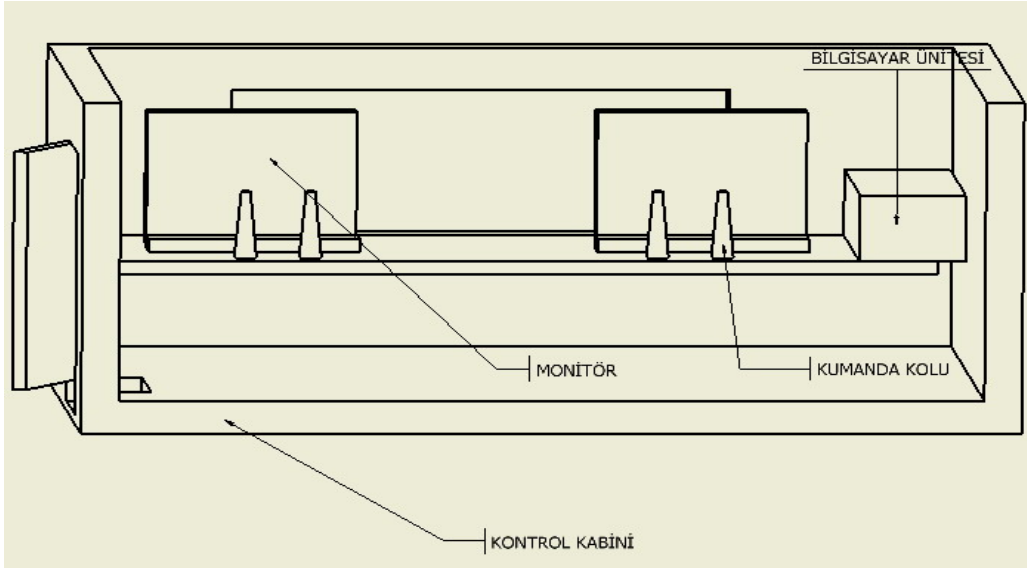
Şekil 4.4. Yağlama sistem şeması.

4.2. Elektronik Modifikasyon

Mevcut test sisteminde T700 serisi türbinli motorların test işlemlerini yapabilmek için elektronik kısmında; gösterge ve kontrol kabini, gösterge paneli, PLC donanım, yazılım, sensörler (algılayıcılar) ve güç kaynağının bulunması gerekmektedir.

4.2.1. Gösterge ve kontrol paneli

Mevcut sistemdeki gösterge panelinde, analog tipi gösterge cihazları bulunmaktadır. Bu ünite PLC ile kontrol edilen sistem için uyumlu değildir. İyileştirme yapılacak sistem de test verileri sayısal veri ortamında monitörler vasıtasıyla görüntülenecektir. Gösterge paneli test kabini içinde yer alıp yeni sistemde Şekil 4.4'te verildiği gibi olacaktır. Kontrol panelinde ise titreşim ölçer cihazı, motora ve su frenine ait kumanda kolları bulunacaktır.

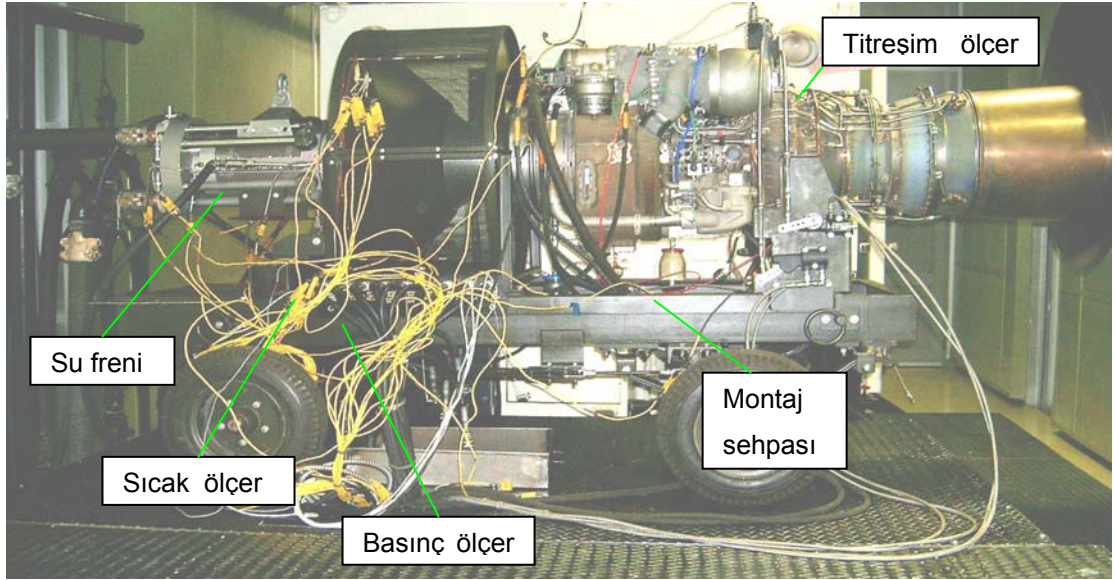


Şekil 4.5. Gösterge ve kontrol paneli

4.2.2. Sensör modifikasyonu

T700 motorunun test işleminde daha önce bahsedildiği gibi sıcaklık, basınç, titreşim, yakıt akışı, tork ve devir gibi parametreleri ölçecek sensörlere ihtiyaç

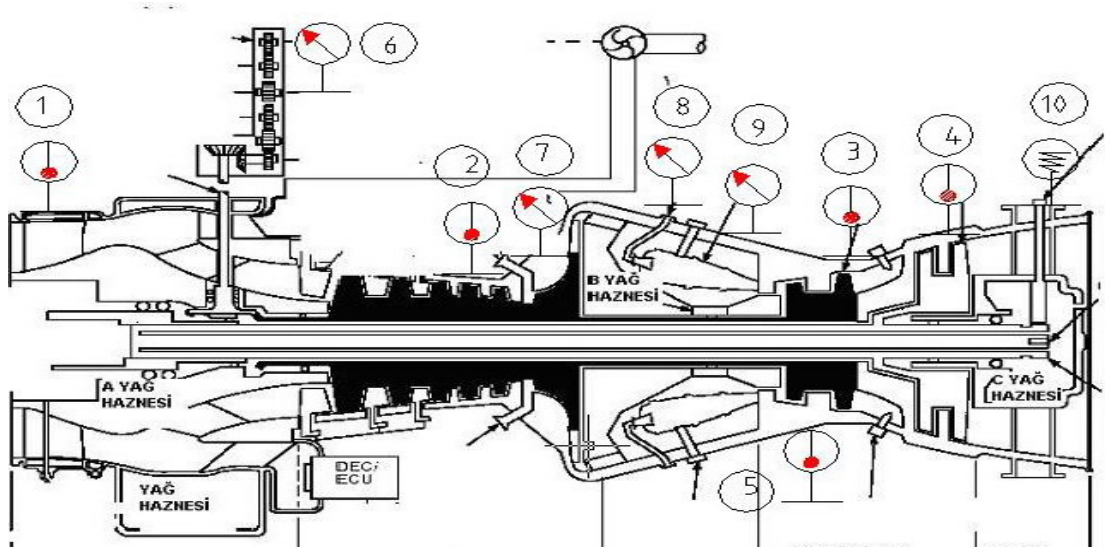
duyulmaktadır. Resim 4.2’de T700 motoruna ait sensörler şematik olarak gösterilmektedir.



Resim 4.2. T700 motoru üzerindeki sensör konumlanması

T700 Motoru üzerindeki sensörler

T700 motorlarının testi esnasında sıcaklık, basınç, tork, yakıt akışı, devir ve titreşim değerleri uygun özellikte sensörler kullanılarak ölçümleri yapılmaktadır. Şekil 4.6’da motor üzerinde bulunan sensörlerin yerleşim şeması verilmektedir.



Şekil 4.6. T700 motor üzerinde bulunan sensör yerleşim şeması.

Ayrıca yukarıdaki Şekil 4.4'te verilen şemadaki sembollerin tanımlamaları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Sembol listesi [10]

S.No	Tanım	Sembol
1	Sıcaklık ölçer	
2	Basınç ölçer	
3	Titreşim ölçer	
4	Akış ölçer	

Yukarıda verilen sensörlerin teknik özellikleri Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Motor üzerindeki sensör listesi [10]

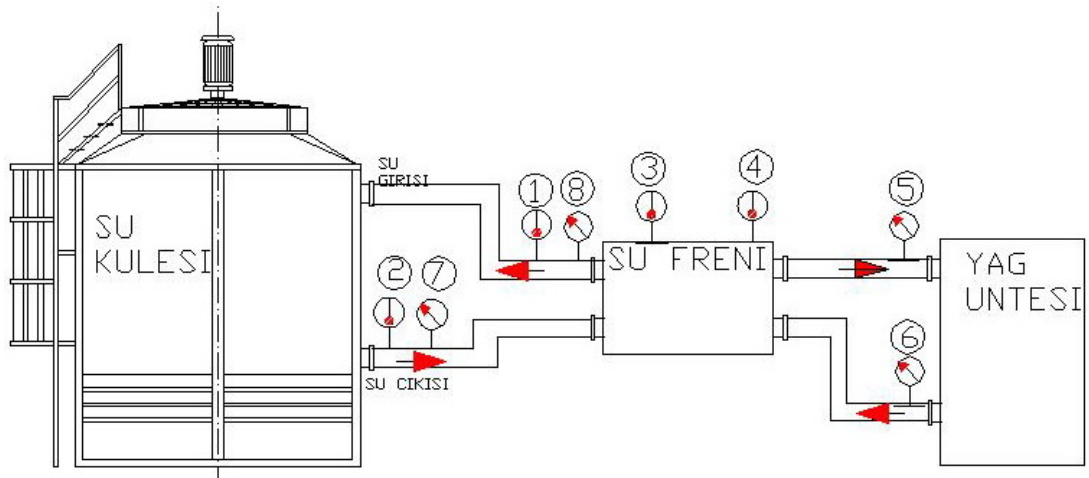
S.No	Parametre	Ölçüm Aralığı	Adet
1	Hava Giriş Sıcaklığı	0-140 ° F	14
2	Kompresör Boşalım Sıcaklığı	40-225 ° F	2

Çizelge 4.3.(Devam) Motor üzerindeki sensör listesi [10]

S.No	Parametre	Ölçüm Aralığı	Adet
3	B sump yağ dönüş sıcaklığı	40-300 ° F	1
4	Güç Türbin gaz giriş sıcaklığı	900-1659 ° F	1
5	Motor yağ dönüş sıcaklığı	40-300 ° F	1
6	Yakıt giriş basıncı	0-50 psig	1
7	Kompresör boşalım basıncı	0-300 psig	1
8	B sump yüksek basıncı	0-100 psig	1
9	B sump fark basıncı	0-30 psig	1
10	Güç türbin titreşimi	0-5 ips	3

Soğutma kulesi, su freni ve yağ ünitesindeki sensörler

Test sisteminde yer alan soğutma kulesi, su freni ve yağlama ünitesi birbirleriyle bağlantılı olarak çalışmaktadır. Bu sistemleri bir bütün olarak değerlendirmek daha doğrudur. Bu Şekil 4.7’de soğutma kulesi, su freni ve yağ ünitesi üzerinde bulunan sensörlerin yerleşim şeması verilmektedir.



Şekil 4.7. Yardımcı birimlerin üzerindeki sensörlerin yerleşim şeması

Yukarıda verilen sensörlerin teknik özellikleri ise Çizelge 4.4’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Yardımcı birimler üzerindeki sensör listesi [10]

S.No	Parametre	Ölçüm Aralığı	Adet
1	Su freni su çıkış sıcaklığı	0-250 ° F	1
2	Su freni su giriş sıcaklığı	0-250 ° F	1
3	Su freni ön yatak yağ sıcaklığı	40-130 ° F	1
4	Su freni arka yatak yağ sıcaklığı	40-130 ° F	1
5	Su freni yağ çıkış basıncı	0-50 psig	1
6	Su freni yağ giriş basıncı	0-50 psig	1
7	Su freni su giriş basıncı	0-50 psig	1
8	Su freni su çıkış basıncı	0-50 psig	1

Sıcaklık sensörü (Thermocouple)

Mevcut sistemde bulunan sıcaklık sensörlerin hepsi J tipi olduğundan, iyileştirme yapılacak sistemde daha hassa ve yüksek sıcaklıklarda ölçüm yapmak için K tipi sıcaklık sensörü kullanılacaktır. Kullanılan sıcaklık sensörleri, ısı çifti olarak da adlandırılmaktadır. Isıl çiftlerin özellikleri EK-2’de verilmektedir.Çizelge 4.5’te iyileştirme yapılacak sistemde T700 motorların test işlemleri için 24 adet K tipi ısı çifti ihtiyacı bulunmaktadır.

Çizelge 4.5. Motor üzerindeki sıcaklık sensör listesi ihtiyaç durumu [10]

S.No	Parametre (sıcaklık)	Ölçüm Aralığı	Adet	Açıklama
1	Hava giriş	0-140 ° F	14	K tipi ısı çifti
2	Kompresör boşalım	40-225 ° F	2	K tipi ısı çifti
3	B sump yağ dönüş	40-300 ° F	1	K tipi ısı çifti
4	Güç Türbin gaz giriş	900-1659 ° F	1	K tipi ısı çifti
5	Motor yağ dönüş	40-300 ° F	1	K tipi ısı çifti
6	Su freni su çıkış	0-250 ° F	1	K tipi ısı çifti
7	Su freni su giriş	0-250 ° F	1	K tipi ısı çifti
8	Su freni ön yatak yağ	40-130 ° F	1	K tipi ısı çifti

Çizelge 4.5.(Devam) Motor üzerindeki sıcaklık sensör listesi ihtiyaç durumu [10]

S.No	Parametre (sıcaklık)	Ölçüm Aralığı	Adet	Açıklama
9	Su freni arka yatak yağ	40-130 ° F	1	K tipi ısı çift
10	Yakıt	(-100)- (200) ° F	1	K tipi ısı çift

Basınç ölçer sensörü

Mevcut sistemdeki basınç sensörleri incelenerek Çizelge 4.6'da durum ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre iyileştirme yapılacak sistemde 5 adet (0-50) psig aralığında ve 1 adet (0-300) psig aralığında sensör ihtiyacı bulunmaktadır.

Çizelge 4.6. Motor üzerindeki basınç sensör ihtiyaç durumu [10]

S.No	Parametre (basınç)	Ölçüm aralığı	Adet	Açıklama
1	Yakıt giriş	0-50 psig	1	İhtiyaç yoktur
2	Kompresör boşalım	0-300 psig	1	İhtiyaç vardır
3	B sump yüksek	0-100 psig	1	İhtiyaç yoktur
4	B sump fark	0-30 psig	1	İhtiyaç vardır
5	Su freni yağ çıkış	0-50 psig	1	İhtiyaç vardır
6	Su freni yağ giriş	0-50 psig	1	İhtiyaç vardır
7	Su freni su giriş	0-50 psig	1	İhtiyaç vardır
8	Su freni su çıkış	0-50 psig	1	İhtiyaç vardır

Titreşim ölçme cihazı ve sensörü

Titreşim ölçerlerle ilgili detaylı bilgi EK-2'de verilmiştir. Mevcut sistemde kullanılan titreşim sensörlerin hassasiyeti T700 motorunun testi için gerekli ölçüm aralığına ve hassasiyetine sahip değildir. Bundan dolayı aşağıda Çizelge 4.7'de verilen özellikte titreşim ölçerlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.7. Motor üzerindeki titreşim ölçer ihtiyaç durumu [10]

S.No	Parametre	Ölçüm aralığı	Adet	Gerekli model ve miktarı
1	Güç türbin titreşimi	0-5 ips	3	2 adet ihtiyaç vardır.
2	Titreşim ölçme cihazı	0 – 40 Hz	Titreşim,mesafe, hız ve ivme ölçer	İhtiyaç vardır.

Akış ölçer sensörü

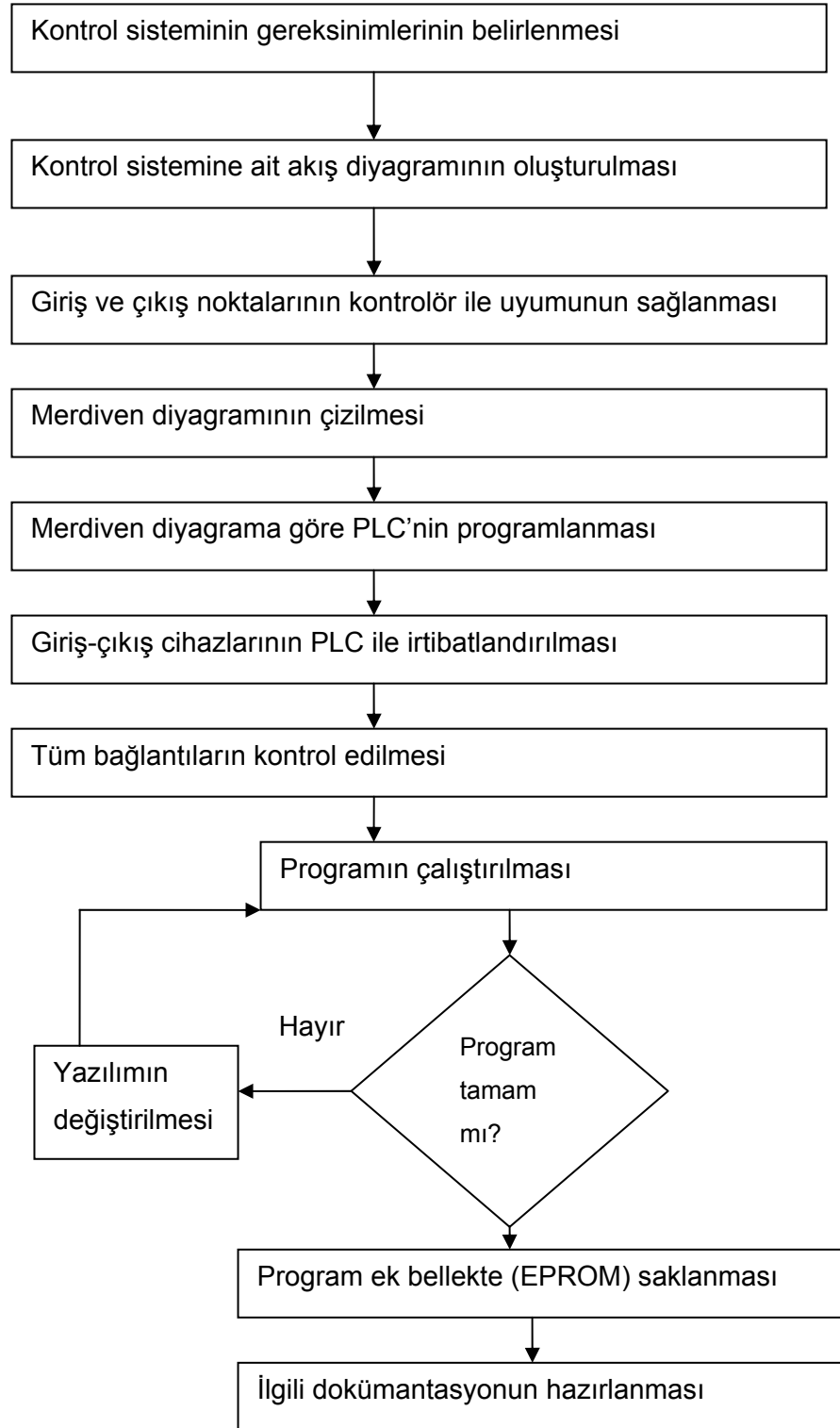
Akış ölçerlerle ilgili detaylı bilgi EK-2’de verilmiştir Mevcut sistemde bulunan akış ölçer özellikleri karşıladığından dolayı Çizelge 4.8’de verilen özellikte akış ölçerlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.8. Motor üzerindeki akış ölçer ihtiyaç durumu [10]

S.No	Parametre	Ölçüm aralığı	Adet	Açıklama
1	Yakıt akış ölçer	(0-850) lb/hr	1	İhtiyaç yoktur
2	Yağ akış sensörü	(0-0,1) gpm	1	İhtiyaç vardır
3	Yağ akış sensörü	(0,1-0,25) gpm	1	İhtiyaç vardır

4.2.3. PLC seçim kriterleri

Geliştirilecek olan test ünitesinde T700 testinin PLC kontrolüyle yapılması zaman, maliyet, hassasiyet ve esneklik yönünden önemli iyileştirmelerde bulunacaktır. PLC’lerin genel yapısı ve teknik özellikleri Ek-3’de verilmektedir. PLC tasarım aşaması Şekil 4.8’de verilen akış şemasına göre yapılmaktadır.



Şekil 4.8. PLC tasarım aşamaları

İyileştirme yapılacak test sisteminde PLC merkezi kontrol ünitesi; giriş modülü, çıkış modülü, merkezi kontrol ünitesi (CPU), hafıza ve çevresel birim üniteleri kullanılacaktır. Yukarıda verilen seçim kriterlerine göre iyileştirme yapılacak test ünitesinde kullanılacak PLC ile ilgili özellikler Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.9 Test ünitesi için seçilen PLC özellikleri

Modüller	Özellik	Açıklama
İşlemci	30,8 Kb	Opsiyonel hafıza eklenebilir özelliktedir.
Analog modülü	100 Giriş	12 bit çözünürlükte (0-5)V, (0-10)V, (1-5)V, (-5 – 5)V, (-10 – 10)V , (0-20) mA, (4-20) mA özellikte giriş kısımları olmalıdır.
I/O modülü	256 giriş çıkış	24 Vdc sürekli sinyal girişi olmalıdır.
Batarya	24 Vdc	Hafızanın silinmesini önlenmesi için batarya gereklidir.
İletişim	Ethernet	10 temel T network-10 mega baud veri aktarımı sağlamaktadır.

4.2.4. PLC ünitesinin yapılandırılması

Seçilen PLC ünitesi, test ünitesinde kontrol mekanizması görevini üstlenecektir. Burada PLC kontrol eden mekanizma, test edilecek motor ise kontrol edilen ünite konumundadır. PLC ünitesinde yer alan giriş ve çıkış sinyaller son derece önemlidir. T700 motor testinde, motorun yakıt akışı, titreşim, tork, basınç ve sıcaklık değerleri PLC'nin giriş modülünde yer alırken yağlama ünitesi, soğutma kulesi ve alarmların devreye alınması ise çıkış modülünde yer almaktadır. Giriş ve çıkış parametrelerinin PLC ile ilişkilendirilmesi Şekil 4.8'de verilmektedir.

- Yağ pompa açma kapatma
- Yağ ön ısıtma açma kapatma
- Soğutma kulesi fan açma kapatma

Sensörler

Aşağıdaki Çizelge 4.10'da T700 motorunun testi esnasında sensörlerden okunan basınç,sıcaklık ve akış değerlerinin PLC'nin analog giriş kısmına kaç adet giriş yapılacağı verilmektedir.

Çizelge 4.10. T700 testi için analog giriş değerleri

Analog giriş değerleri	Giriş miktarı (adet)
Basınç	6
Sıcaklık	24
Akış	1

Titreşim Ölçümü

Titreşim frekansları sinyal tiplerinin farklı olmasından dolayı PLC ünitesine doğrudan girişi yapılamamaktadır. Titreşim ölçmek için 3 adet (0-5) in/s ölçüm aralığında sensöre ve ölçülen değerleri görüntülemek ve analiz etmek için titreşim ölçer cihazına ihtiyaç vardır. Seçilen cihaza ait teknik özellikler Çizelge 4.11'de verilmektedir.

Çizelge 4.11. Seçilen Titreşim ölçer cihazı özellikleri [23]

Parametre	Özellik
Veri girişi	24 bit
Giriş kanal sayısı	8
Frekans aralığı	1Hz - 40Khz
Sensör tipi	Akseloremetre
Batarya	AC,DC

T700 motor testi için çıkış modülünde olacak parametreler

PLC'nin çıkış modülünde, T700 motor testindeki limit değerleri yer almaktadır. Çıkış modülü sayesinde, limit değerleri aştığında alarmların devreye girer. Alarm olduğunda ikaz verip, öncelik sırasına göre sistem ve kullanıcının gerekli önlemleri alınması sağlanır. T700 motorunun 1. derece alarm limit değerleri Çizelge 4.12'de verilmektedir.

Çizelge 4.12. T700 motoru alarm limit değerleri [10]

S/No	Parametre	1. derece alarm değeri	
		Alt değer	Üst değer
1	Su fren basıncı	80 psig	100 psig
2	Starter devri	10728 d/dak	23244 d/dak
3	Gaz türbin devri maksimum sürekli	-	45689 d/dak
4	Gaz türbin geçiş (12 sn.)	-	47000 d/dak
5	Güç türbin devri maksimum sürekli	-	22000 d/dak
6	Güç türbin devri geçiş (12 sn.)	-	25300 d/dak
7	TGT Sıcaklığı maksimum sürekli	-	1490 ° F
8	TGT Sıcaklığı(30 dak.)	-	1564 ° F
9	TGT Sıcaklığı Maksimum (10 dak.)	-	1612 ° F
10	TGT Sıcaklığı (2.5 dak.)	-	1657 ° F
11	TGT Sıcaklığı (12 sn.)	-	1740 ° F
12	TGT Sıcaklığı Çalıştırma	-	1564 ° F
13	Güç çıkış şaftı süreklilik	-	501 ft.lb
14	Güç çıkış şaftı torku ara güç (30 dak.)	-	543 ft.lb
15	Güç çıkış şaftı torku ara güç (12 sn.)	-	700 ft.lb
16	Başlangıç titreşim değeri	-	2.8 inch/sn
17	Geçiş değerlerinde	-	2.8 inch/sn
18	Düzgün-durağan titreşim	-	1.5 inch/sn
17	Rezonans devri güç türbin hızı	11495 d/dak	15675 d/dak

Yukarıda verilen 1. alarm değerleri limit değerine geldiğinde sistem ikaz verir. Aştığında ise test ünitesinin direkt olarak kapatılması yönünde PLC

programlanır. Burada ki amaç test esnasında verilen limitleri aştığında emniyetini sağlamak ve motoru hasarlara karşı korunmaktır.

4.2.5. Yazılım

Mevcut sistemde sensörlerden alınan veriler göstergelere aktarılmaktadır. Dolayısıyla herhangi bir ara yazılım kısmı kullanılmamaktadır. T700 testi yapılacak test ünitesinde PLC ile birlikte elde edilen parametreleri görüntü paneline aktaracak ara bir yazılım gerekmektedir. Yazılım sayesinde hem değer görüntülenmesi hem de test adımlarının takip edilmesi otomatik olarak sağlanmaktadır. Bu yazılımlar kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi PLC bünyesinde yer alan elemanları programlamak, diğeri ise okunan değerleri ekranda görüntülenmesini sağlayan programdır.

PLC elemanların programlanma yazılımı

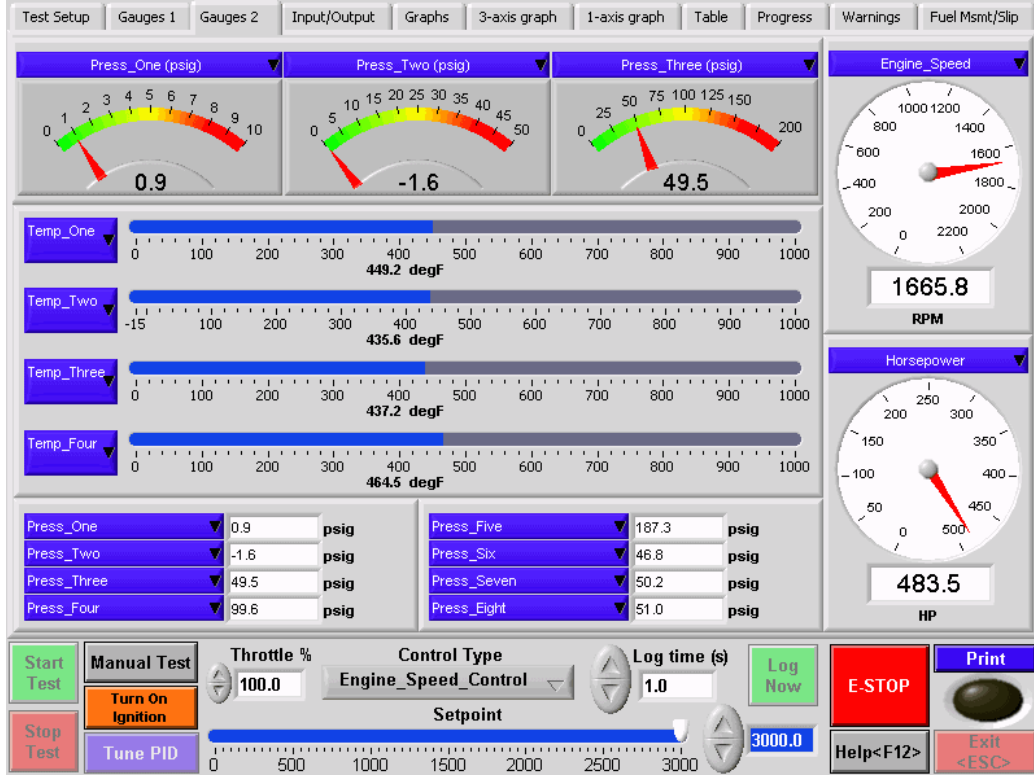
PLC programlamada her bir işlem, bir komut ile ifade edilmekte ve bu komutlar röle ve kontakların birbirleri ile bağlantılarını, çıkışların atanmasını, sayıcı, zamanlayıcıların programlanmasını ve aritmetik karşılaştırma işlemlerinin yapılmasını sağlamaktadır.

İyileştirme yapılacak motor test sisteminde sensörlerden okunan verileri belirli limitler dahilinde olmasını sağlayan, belirli koşullarda sistemi kontrol eden (açma, kapama) ara bir yazılım gerekmektedir. Günümüzde piyasada çok sayıda PLC markası ve her markasında değişik tipleri bulunmaktadır. Bunlardan başlıca bilinenleri Idec, Festo, Mitsubishi, Siemens-Simatic ve AEG Teachware olarak sıralayabiliriz. Bunlar arasında farklılık bulunmakla beraber aynı mantık çerçevesinde işlem yapmaktadır.

Parametrelerin görüntülenme yazılımı

Test esnasında sıcaklık, basınç, tork, akış ve titreşim motora ait verilerin gösterge panelinden okunması gerekmektedir. Görüntüleme işlemi yazılım sayesinde gerçekleştirilir. PLC sitemleriyle birlikte kullanılan çok çeşitli

yazılım mevcuttur. anlamada kullanılan başlıca yazılımlar Scada (yönetmel denetim ve veri toplama) ve Monitör Pro olarak gösterilebilir. Bu tip program kullanılarak hazırlanan programın monitörden görüntülenenen kısmından bir görüntü Resim 4.3'te verilmektedir.



Resim 4.3. Scada programı ile hazırlanan izleme ara yüzü.

Çizelge 4.13'te T700 motor test sayfasında bulunacak kontrol parametreleri görülmektedir. Test ünitesinde T700 motoru için görüntüleme programı olarak Scada kullanılacaktır.

Çizelge 4.13. T700 kontrol verileri

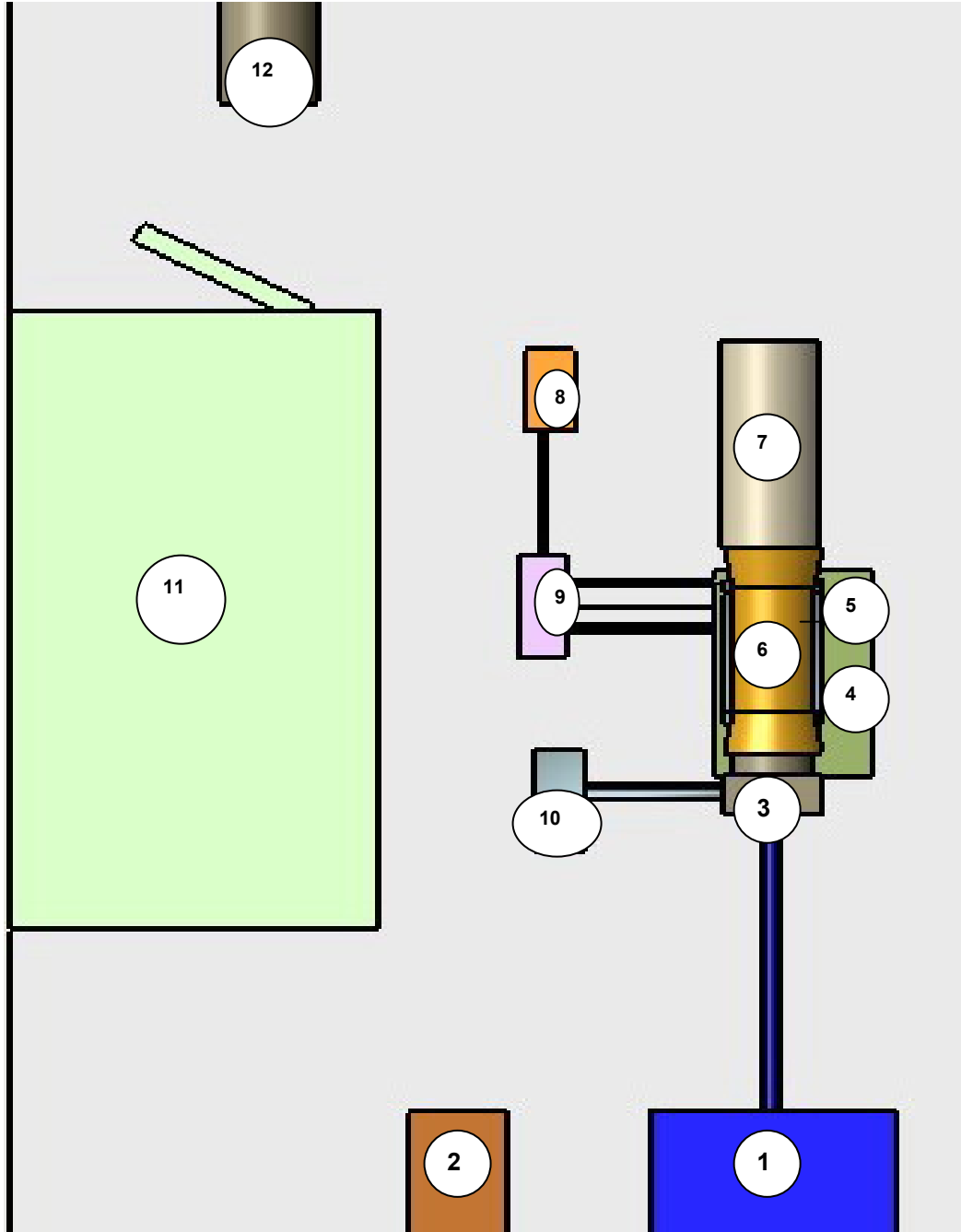
S.No	Kontrol verileri	Açıklama
1	Motor çalıştırma	Motor çalıştırılmasını takip etme
2	Yakıt sistemi	Yakıt istemiyle ilgili parametreler
3	Su freni	Su freniyle ilgili parametreler
4	Hata göstergesi	Test esnasındaki hataları görmek

Çizelge 4.13.(Devam) T700 kontrol parametreleri.

S.No	Kontrol verileri	Açıklama
5	Ateşleme	Ateşleme yapmak için buton
6	İkaz sistemi	Uyarı ikaz ifadelerini görmek
7	Motor parametre değeri	Devir,tork,debi,titreşim,sıcaklık görmek
8	Motor otomatik testi	T700 motoru otomatik testini yapmak
9	Motor performans değerlendirme	Performans değerlendirmesi yapmak
10	Acil durdurma	Tehlikeli durumlarda durdurmak

4.3. İyileştirme Yapılacak Test Sisteminde Kullanılacak Elemanlar

Bu sistem mekanik ve elektronik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. T700 test sistemi iyileştirilmesi Şekil 4.9'da verilen yerleşime uygun olarak yapılacaktır. Test ünitesinin iyileştirilmesi için ihtiyaç duyulan mekanik ve elektronik elemanlar ayrı ayrı tespit edilmiştir. Belirlenen malzemelerin temin edilmesiyle test ünitesinin iyileştirme çalışması tamamlanacaktır.



Şekil 4.9. İyileştirme yapılan test ünitesi yerleşim planı.

1. Su kulesi 2. PLC 3. Su freni 4.Şase 5. Motor montaj sehpası
6. T700 motoru 7. Egzoz bacası 8. Elektrik güç kaynağı
9. Sensör giriş ünitesi 10. yağlama ünitesi 11. Test kabini
12. Yakıt sistemi

4.3.1. İyileştirme için gerekli olan malzemeler

İyileştirme yapılacak test sisteminde ihtiyaç duyulan mekanik ve elektronik elemanların ihtiyaç listesi Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. İyileştirme yapılacak sistemde kullanılacak elemanların listesi

Malzeme	Kullanılan kısım	Alınacak miktar	Mevcut miktar
Test Kabini	Mekanik	-	1
Motor test montaj modülü	Mekanik	1	-
Yakıt sistemi	Mekanik	-	1
Yağ sistemi	Mekanik	1	-
Su freni	Mekanik	-	1
Soğutma kulesi	Mekanik	-	1
Egzoz bacası	Mekanik	-	1
Gösterge ve kontrol paneli	Elektronik	1	-
Sıcaklık sensörü	Elektronik	24	-
Basınç sensörü	Elektronik	6	2
Akış sensörü	Elektronik	2	1
Titreşim sensörü	Elektronik	2	1
Titreşim ölçme cihazı	Elektronik	1	-
Kesintisiz güç kaynağı	Elektronik	1	-
İşlemci	Elektronik	1	-
Hafıza	Elektronik	1	-
Dijital Giriş Çıkış	Elektronik	1	-
Analog giriş	Elektronik	1	-
Analog çıkış	Elektronik	1	-
Batarya	Elektronik	1	-
İletişim kartı	Elektronik	1	-
Ekran	Elektronik	2	-
Yazılım	Elektronik	1	-

5. MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde, T700 serisi türbinli motorların test işlemi için test ünitesinin iyileştirme çalışmasında gerekli olan mekanik ve elektronik elemanların maliyet analizi yapılmıştır.

5.1. Mekanik Elemanların Maliyeti

Mevcut test sisteminin iyileştirilmesi için motor montaj sehpası ve yağlama ünitesine ihtiyaç olduğu 4. Bölümde belirtilmiştir. Bu üniteler standart eleman olarak motor üretici firmasından daha önceden tedarik edildiği için işletmeye herhangi bir maliyeti bulunmamaktadır.

5.2. Elektronik Elemanların Maliyeti

Test sisteminin iyileştirilmesi için gösterge ve kontrol paneli, sensör, PLC elemanları ve yazılım ihtiyacı bulunmaktadır.

5.2.1. Sensör maliyeti

Modifikasyon çalışmasında gerekli olan başlıca sensör tipleri sıcaklık, basınç, akış ölçümü ve titreşim ölçer olarak belirlenmiş olup bunlarla ilgili fiyat ve model bilgisi ayrıntılı olarak EK-2’de verilmektedir. Bu bölümde ise T700 serisi türbinli motorların test işlemi için gerekli algılayıcıların fiyat ve modelleri belirlenmiştir [29-31].

Sıcaklık sensör maliyeti

Aşağıda verilen Çizelge 5.1’de motor testinde kullanılan sıcaklık sensör tipleri verilmiştir. T700 serisi motorlarda genellikle yüksek sıcaklık ölçmede kullanılan K tipi algılayıcı kullanılmaktadır. K tipi genel amaçlı bir ısı çiftidir. Çok geniş çeşitlilikte bulmak mümkündür. Bu tip ısı çiftler (-200 ile 1200) ° C arasında kullanılabilir. Hassasiyet yaklaşık 41 $\mu V/^{\circ}C$ ’dır.

Çizelge 5.1. Kullanılan sıcaklık sensörlerin model ve fiyat bilgileri

S. No	Ölçülen değer	Modeli	Ölçüm aralığı (° F)	Adet	Birim Fiyatı (USD)	Toplam Fiyatı (USD)
1	Güç türbin giriş sıcaklığı	OMEGA K	900 - 1659	1	100	100
2	B Sump yağ dönüş sıcaklığı	OMEGA K	0 - 395	1	100	100
3	Motor yağ dönüş sıcaklığı	OMEGA K	40 – 300	1	100	100
4	Yakıtın akış metredeki sıcaklığı	OMEGA K	40 -225	1	100	100
5	Kompresör boşalım sıcaklığı	OMEGA K	40-225	2	100	200
6	Su freni yağ sıcaklığı	OMEGA K	40-130	1	100	100
7	Su freni su giriş sıcaklığı	OMEGA K	0-250	1	100	100
8	Su freni su çıkış sıcaklığı	OMEGA K	0-250	1	100	100
9	Hava giriş sıcaklığı	OMEGA K	0 - 140	14	35	490
10	Dış hava sıcaklığı	OMEGA K	0 -100	1	50	50
Toplam						1640

Basınç sensör maliyeti

Daha önceden seçilen basınç sensörlerinin özellik ve fiyat bilgileri aşağıda verilmiş olup sistemde kullanılacak sensörlere ait maliyet hesabında bu veriler kullanılacaktır. Çizelge 5.2’de basınç sensörlerine ait model ve fiyat bilgileri verilmektedir.

Çizelge 5.2. Kullanılan basınç sensörlerin model ve fiyat bilgileri

S. No	Ölçülen değer	Modeli	Ölçüm aralığı (psig)	Adet	Birim fiyat (USD)
1	Yakıt basıncı	PX302-200 GV OMEGA	0-200	1	225
2	Su freni yağ giriş basıncı	PX302-050 GV OMEGA	0-50	1	225
3	Su freni yağ çıkış basıncı	PX302-050 GV OMEGA	0-50	1	225
4	Su freni su giriş basıncı	PX302-050 GV OMEGA	0- 50	1	225
5	Su freni su giriş basıncı	PX302-050 GV OMEGA	0 -50	1	225
6	B yuva alçak basıncı	PX302-030 GV OMEGA	0-30	1	225
7	Kompresör boşalım basıncı	PX302-300 GV OMEGA	0-300	1	225
Toplam maliyet					2025 (USD)

Akış sensör maliyeti

Test ünitesinde kullanılacak akış ölçerin fiyat bilgisi Çizelge 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.3 Test ünitesinde kullanılacak akış sensör model ve fiyat bilgisi

S.NO	Ölçülen değer	Ölçüm Aralığı (gpm)	Modeli	Adet	Birim fiyatı (USD)	Toplam fiyatı (USD)
1	Yakıt akışı	0-0,25	FTI FT4-8	2	1200	2400

Titreşim sensör maliyeti

T700 motorlarında 3 farklı noktadan 0-5 ips aralığında titreşimin ölçülmesi gerekmektedir. İyileştirme yapılacak test sisteminde 2 adet titreşim ölçer ve titreşim değerlerini görüntülemek için titreşim ölçme cihazına ihtiyaç duyulmaktadır (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Titreşim sensörlerin model ve fiyat bilgisi

S.No	Ölçülen değer	Ölçüm Aralığı	Modeli	Adet	Birim fiyatı (USD)	Toplam fiyatı (USD)
1	Titreşim şiddeti	0 – 5 in/s	ENDEVCO 6233C-10	2	1200	2400
2	Titreşim analizi	0 – 40 Hz	Titreşim,mesafe, hız ve ivme ölçer	1	10000	10000
Toplam maliyet						12400 (USD)

5.3. Görüntüleme ve Kontrol Paneli

Mevcut sistem için ihtiyaç duyulan görüntüleme ve kontrol paneli için maliyet bilgileri Çizelge 5.5’ de verilmektedir.

Çizelge 5.5. Görüntüleme ve kontrol paneli maliyet bilgileri

S.No	Malzeme	Model	Adet	Birim fiyat (USD)	Toplam Fiyat (USD)
1	Ekran (Monitör)	Siemens	2	1814,5	3629

5.4. PLC Maliyeti

T700 motorlarının testinde kullanılacak çeşitli tip sensörlerden (akış ölçer, sıcaklık ölçer, basınç ölçer , titreşim ölçer) elde edilen verileri kontrol etmek

için ihtiyaç duyulan PLC elemanlarına ait maliyet tablosu Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6. PLC oluşturan elemanların fiyat listesi

S.No	Malzeme	Model	Adet	Birim Fiyat (USD)
1	İşlemci (CPU)	Siemens	1	789
2	Hafıza (Memory)	Siemens	1	134
3	Dijital Giriş Çıkış (I/O)	Siemens	1	439
4	Analog giriş (Analog Input)	Siemens	1	565
5	Analog çıkış (Analog Output)	Siemens	1	170
6	Batarya (Batarya)	Siemens	1	17
7	İletişim kartı (Modbus)	Siemens	1	365
8	Yazılım görüntüleme	Scada	1	3000
Toplam Maliyet				5479 (USD)

Modifikasyon için gerekli sensör ve PLC donanımların toplam maliyeti Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7. Modifikasyon için gerekli malzemelerin maliyet listesi

S.No	Malzeme	Fiyat USD
1	Sıcaklık sensörü	1640
2	Basınç sensörü	2025
3	Akış sensörü	2400
4	Titreşim sensörü	12400
5	Görüntüleme elemanı	3629
6	PLC elemanları	9108
Toplam maliyet		27573 USD

5.5. T700 Motorunun Yurt Dışı Test Maliyet Hesabı

Maliyet analizinde T700 motorunun yurt dışında test işlemlerinin toplam işletmeye maliyeti önemlidir. Test maliyetine katkı yapan değişkenler ve hesaplamalar verilmektedir (Çizelge 5.8). Bir adet T700 motorunun yurtdışı test maliyeti 5720 USD 'dir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.8. Yurt dışı motor test maliyet hesabında kullanılan değişkenler

S.No	Değişkenler	Bir motor için gerekli miktar
1	Toplam işçilik (Tİ)	10 saat
2	İşçilik ücreti (İÜ)	150\$/saat
3	Yakıt tüketimi (YT)	150 lt/saat
4	Toplam çalıştırma süresi (TÇS)	8 saat
5	Birim yakıt fiyatı (YF)	1,8 \$/lt
6	Test ünitesi fiyatı (TÜF)	2000000 \$
7	Tesis gideri (TG)	5 \$ / saat
8	Enerji gideri (EG)	5 \$ / saat
9	Nakliye ücreti (NÜ)	750 \$/ Adet
10	Toplam çalışma ömrü (ÇÖ)	20 yıl

Çizelge 5.9 Yurt dışı motor test maliyetinde hesaplanan giderler

S.N.	Gider değişkenleri	Formül	Hesaplama (USD)
1	Amortisman gideri (AG)	$AG = TÜF/TÇÖ$	AG=11,4 USD/h
2	Toplam amortisman gideri (TAG)	$TAG = AG \cdot TÇS$	TAG= 91 USD
3	Genel üretim gideri (GG)	$GG = EG + TG$	GUG= 80 USD
5	İşçilik gideri (İG)	$IG = Tİ \cdot TÇS$	İG= 1500 USD
6	Toplam yakıt tüketimi (TYT)	$TYT = YT \cdot TÇS$	TYT= 1200 LT

Çizelge 5.9. (Devam) Yurt dışı motor test maliyetinde hesaplanan giderler

S.N.	Gider değişkenleri	Formül	Hesaplama (USD)
7	Toplam yakıt gideri (TYG)	$TYG = TYT \cdot BYF$	TYG= 2160 USD
8	Toplam maliyet (TM)	$TM = IG + YTG + TAG + GG + NÜ$	TM= 4581 USD
4	Satış Karı (SK)	$SK = TM \cdot 0,25$	SK= 1145USD
9	Yurt dışı maliyeti (YDTM)	$YDTM = TM + SK$	YDTM= 5726 USD

5.6. T700 Motorunun Yurt İçi Test Maliyet Hesabı

T700 motorunun iyileştirme yapılacak sistemde testinin yapılması durumunda, nakliye ücretinin tamamen devre dışı olup, amortisman gideri ve işçilik ücretlerinde ise düşüş olacaktır (Çizelge 5.10).Yapılan hesaplama sonucunda bir adet T700 motorunun geliştirilen test sistemindeki maliyeti 2362 USD'dir (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.10. Yurt içi motor test maliyet hesabında kullanılan değişkenler

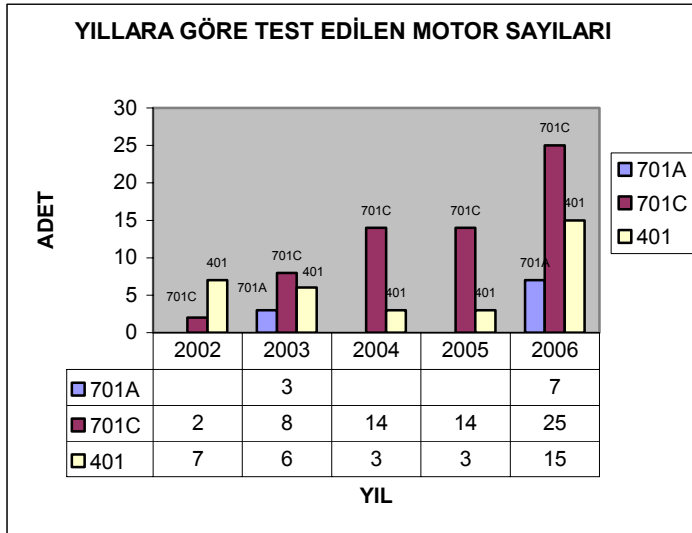
S.No	Değişkenler	Bir motor için gerekli miktar
1	Toplam işçilik (Tİ)	10 saat
2	İşçilik ücreti (İÜ)	15\$/saat
3	Yakıt tüketimi (YT)	150 lt/saat
4	Toplam çalıştırma süresi (TÇS)	8 saat
5	Birim yakıt fiyatı (YF)	1,8 \$/lt
6	Test ünitesi fiyatı (TÜF)	100000 \$
7	Tesis gideri (TG)	3 \$ / saat
8	Enerji gideri (EG)	3 \$ / saat
9	Toplam çalışma ömrü (TÇÖ)	20 yıl

Çizelge 5.11. Yurt içi motor test maliyetinde hesaplanan giderler

Hesap sırası	Gider değişkenleri	Formül	Hesaplama (USD)
1	Amortisman gideri (AG)	$AG = TUF/T\check{C}\ddot{O}$	AG=0,6 USD/h
2	Toplam amortisman gideri (TAG)	$TAG = AG \cdot T\check{C}S$	TAG= 4,8 USD
3	Genel üretim gideri (GG)	$GG = EG+TG$	GUG= 48USD
4	İşçilik gideri (İG)	$IG = T\check{I} \cdot T\check{C}S$	İG= 150 USD
5	Toplam yakıt tüketimi (TYT)	$TYT = YT \cdot T\check{C}S$	TYT= 1200 LT
6	Toplam yakıt gideri (TYG)	$TYG = TYT \cdot BYF$	TYG= 2160 USD
7	Yurt içi test maliyet (YİTM)	$TM = İG+YTG+TAG+GG$	TM= 2362 USD

5.6.1. Test ünitesinde yapılacak yatırımın ekonomiklik analizi

2002-2006 yıllarında test işlemi gerçekleştirilmiş T700 motorlarının sayısal bilgilerini içeren grafik Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1.Yıllara göre test edilen T700 motor sayıları

Yukarıdaki grafikten de anlaşıldığı üzere son yıllarda T700 serisi motorların bakım ömürlerinin dolmasından dolayı teste tabi tutulan motor sayılarında artma olduğu görülmektedir.

Motor test maliyet hesabı

Mevcut test sisteminin iyileştirilmesiyle beraber T700 motor testleri yurt içinde yapılabilecektir. Bu sayede hem maliyet düşecek hem de zamandan tasarruf edilecektir. Yurt içi ve yurt dışı motor maliyet hesaplarını analiz edilerek işletmenin kazancı hesaplanacaktır. Çizelge 5.11 'de maliyet hesabında kullanılan değişkenler verilmiştir.

Çizelge 5.12. Maliyet hesabında kullanılan değişkenler.

S.No.	Değişkenler	Kısaltma
1	Toplam yurt içi test maliyeti	TYİTM
2	Toplam yurt dışı test maliyeti	TYDTM
3	Motor sayısı	MS

Yıllara göre yapılan testlerin yurt dışı maliyet hesabı

Daha önce yapılan hesaplamada yurt dışında yapılan bir T700 motorunun test maliyetinin yaklaşık olarak 5726 USD'dir. Buradan yola çıkarak yıllara göre harcanan test maliyetlerini Çizelge 5.13'te verilmektedir.

Çizelge 5.13. Yurt dışı test maliyeti

Hesap sırası	Yıl	Formül	Hesaplama
1	2002	$TYDTM = YDTM * MS$	$TYDTM = 5726 * 9$ $TYDTM = 51534 \text{ USD}$
2	2003	$TYDTM = YDTM * MS$	$TYDTM = 5726 * 17$ $TYDTM = 97342 \text{ USD}$
3	2004	$TYDTM = YDTM * MS$	$TYDTM = 5726 * 17$ $TYDTM = 97342 \text{ USD}$
4	2005	$TYDTM = YDTM * MS$	$TYDTM = 5726 * 17$ $TYDTM = 97342 \text{ USD}$
5	2006	$TYDTM = YDTM * MS$	$TYDTM = 5726 * 47$ $TYDTM = 269122 \text{ USD}$

Yıllara göre yapılan testlerin yurt içi maliyet hesabı

Daha önce yapılan hesaplamada yurt içinde yapılan bir T700 motorunun test maliyetinin yaklaşık olarak 2362 USD'dir. Buradan yola çıkarak yıllara göre harcanan test maliyetleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14. Yurt içi test maliyeti

Hesap sırası	Yıl	Formül	Hesaplama
1	2002	$TYiTM = YiTM * MS$	$TM_{Yıl} = 2953 * 9$ $TM_{Yıl} = 26577 \text{ USD}$
2	2003	$TYiTM = YiTM * MS$	$TM_{Yıl} = 2953 * 17$ $TM_{Yıl} = 50201 \text{ USD}$
3	2004	$TYiTM = YiTM * MS$	$TM_{Yıl} = 2953 * 17$ $TM_{Yıl} = 50201 \text{ USD}$
4	2005	$TYiTM = YiTM * MS$	$TM_{Yıl} = 2953 * 17$ $TM_{Yıl} = 50201 \text{ USD}$
5	2006	$TYiTM = YiTM * MS$	$TM_{Yıl} = 2953 * 47$ $TM_{Yıl} = 138791 \text{ USD}$

Kazanç Analizi

1 yıl içerisinde T700 motorların iyileştirilen test ünitesinde test edilmesinin sağladığı kazanç Çizelge 5.15.'te verilmektedir.

Çizelge 5.15. iyileştirilen test sistemindeki 1 yıl içindeki kazanç

Hesap sırası	Değişkenler	Hesaplama
1	Yurt dışı test maliyeti (YDTM)	$YDTM = 5726 \text{ USD}$
2	Yurt içi test maliyeti (YiTM)	$YiTM = 2953 \text{ USD}$
3	Maliyet farkı (MF)	$MF = YDTM - YiTM$ $MF = 5726 - 2953$ $MF = 2773 \text{ USD}$
4	Kazanç (K)	$K = MF * MS$

Mevcut sistemin geliştirilmesiyle T700 motorunun fabrikada test yapılmasıyla 2002 yılında 24957 USD, 2003 yılında 47141 USD, 2004 yılında 47141 USD, 2005 yılında 47141 USD ve 2006 yılında 130331 USD kazanç elde edilebileceği hesaplanmıştır .

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Havacılıkta helikopter, sivil ve askeri alanda savunma, nakliye ve ulaştırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Helikopter, temel olarak motor, pal, dişli kutusu, şaft ve gövde elemanları gibi mekanik parçalardan oluşmaktadır. Bu önemli parçalardan biri olan türbinli motor ise hava aracının, enerji üreten ana parçasını oluşturmaktadır.

Türbinli motorlar yapı itibarıyla turboşaft, turbofan, turboprop ve turbojet olmak üzere dörde ayrılır. Bunlardan turboşaft tipi olan türbinli motorlarda üretilen güç şafta, buradan ise dişli kutuları vasıtasıyla pallere aktarılmaktadır. Bu tip motorlar çok çeşitli güç ve devir özelliklerinde olup, farklı firmalar tarafından üretilerek hava, deniz ve kara araçlarında kullanılmaktadır.

Bu motorlar ileri teknoloji gerektiren imalat teknikleriyle her dönemde zirvedeki yerini korumakta ve yüksek maliyetleriyle dikkat çekmektedir. Türbinli motorların işletme sürecindeki bakım, onarım ve test işlemleri için kalifiye işgücü, finans ve teknolojik ekipman gerekmektedir. Türbinli motorların bakım, onarım ve test işlemleri her bir model için üretici firmasının geliştirmiş olduğu prosedürler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

Yapılan çalışmada General Electric firması üretimi, T700 serisi turboşaft tipi türbinli motorların testinin yapılabilmesi için 5 nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı bünyesinde bulunan türbinli motor test ünitesi üzerinde iyileştirme çalışması yapılmıştır.

Mevcut test ünitesi 1980'li yılların teknolojisiyle üretilen türbinli motorların test işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu cihazları tedarik etmek yüksek maliyet ve dışa bağımlılığı gerektirmektedir. Bundan dolayı mevcut test sistemi üzerinde iyileştirme mevcut imkanlardan yararlanma ve maliyet yönünden son derece faydalı olacaktır.

Bu amaçtan yola çıkarak, öncelikle mevcut test sistemi üzerinde bulunan parçaların ayrıntılı olarak incelenmesi yapılmıştır. Diğer taraftan test işlemi yapılacak T700 serisi motorlara ait üretici firmasının geliştirmiş olduğu test işlemi incelenerek, eski sistemde hangi ünitelerin yeterli olduğu, hangi ünitelerin ise yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan inceleme sonucunda mevcut sistemin mekanik ekipmanlarını oluşturan motor montaj sehpası ve yağlama ünitelerinde iyileştirme ihtiyacı tespit edilmiştir. Elektronik yönden incelendiğinde ise PLC (Programlanabilir mantıksal denetleyici) elemanları, sensörler, yazılım , kontrol ünitesi ve gösterge paneli gerekmektedir. Bu durumda mevcut test ünitesine T700 motor test kriterlerini sağlayacak hassasiyette, sensörler ile gerekli programlanabilir sayısal kontrol ünitesinin ilave edilmesine karar verilmiştir. Yapılan iyileştirme projesiyle mevcut sistemin, istenilen hassasiyet, kontrol ve kullanım kolaylığı gibi fonksiyonlarını yerine getirebilecek duruma gelmesi sağlanacaktır.

Mevcut sistemdeki en büyük iyileştirme elektronik kontrol ünitesi, veri iletişimi, sensör yapılandırılması ve uygun özellikte PLC seçiminin oluşmaktadır. Sistemde bulunan sensörler, test edilen motorla ilgili sıcaklık, tork, devir, yakıt akışı, titreşim ve basınç ölçümleri ile yardımcı ünitelerin basınç ve sıcaklık ölçümlerini yapmaktadır. PLC'ler sahip oldukları işlemci sayesinde birçok veriyi değerlendirip çok kısa sürede cevap verebilmektedir. Mevcut test sisteminin iyileştirilmesiyle birlikte, T700 türbinli motorlara ait motor test parametreleri girilip ilgili devre elemanları bu direktifler doğrultusunda görev yapacaktır. Örneğin test için gerekli olan yardımcı ünitelerden yağlama ünitesi veya soğutma ünitelerinden bir tanesinin devre dışı kalmasında, PLC tarafından test işlemi acil olarak sonlandırılıp motorun bu esnada zarar görmesi kontrol ünitesi tarafından önlenmiş olacaktır.

Yapılan bu endüstriyel tasarım projesi, mevcut test sistemi için bir başlangıç teşkil etmektedir. Bu projenin uygulamaya geçtiğinde başlangıçta T700 motor

testi gerçekleştirilecek olup, ileride ise farklı motor modelleri için sistem geliştirmeye müsait yapıda olacaktır. Böylece test nitesi esnek bir yapıya kavuşacaktır. İyileştirme yapılacak sistem sayesinde işletme maddi olarak kazanç sağlayacaktır. Mevcut sisteme önceden iyileştirme yapılsaydı, geçmiş 5 yıllık döneme ait ortalama kazanç 29671 USD olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu iyileştirmede, eklenen donanımların teknik özellikleri, test ünitesindeki görevleri, kullanım yerleri, maliyet bilgileri çıkartılarak ileride yapılması planlanan test nitesi iyileştirme çalışması için sistem projesi olarak hazırlanmıştır. Böylece tamamen dış kaynaklardan alınması planlanan test nitesi kendi imkanımızla geliştirilecektir. Bu sayede hem teknik olarak yeni bir motor test kabiliyeti kazanmış hem de düşük yatırım maliyetiyle bu proje gerçekleştirilecektir. Yapılan bu iyileştirme çalışması ileride yapılacak buna benzer çalışmalar için referans alınıp geliştirilmeye açık konumdadır.

KAYNAKLAR

1. Ayaz, M., “Gaz türbinli motorlarının test standında ve yer çalıştırmasında diagnostik amaçlı izlenmesi ve değerlendirilmesi” , Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 12-50, (2002).
2. Özmen, T., “ Gaz türbin izleme sistemi” , Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30, (2006).
3. Bronson, J.R., Depold H.R., Rajamani R., “ Data normalization for engine health monitoring”, **Proceedings of GT 2005 ASME Turbo Expo**, USA, 1-10 (2005).
4. D’ercole, M., Biffaroni G., Grifoni F., Zanobini F., Pecchi P., “ Gas turbine testing and evaluation”, **Proceedings of GT 2005 ASME Turbo Expo**, USA, 1-15 (2005).
5. Stanley, A.W., “ A Commercial off the shelf approach to the organizational and intermediate level engine testing and diagnostics” , **Complex Support Equipment Pratt & Whitney Jupiter**, Canada, 1-5 (2001).
6. Buchine, G., Clark T.C., Reid, A.D., “ Advanced diagnostic software for jet engine test equipment ”, **United Technologies Pratt and Whitney**, Canada, 1-6 (1994).
7. Kong, C.D., “ Intelligent performance diagnostics of a gas turbine engine using user-friendly interface neural Networks”, **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**,76(4) ,391-397 (2004).
8. Graves,David A., “ Scada System for gas turbineengine testing”, **Proceedings of the 50 th International Instrumentation Symposium**, 1-5, (2004).
9. “T 700 Engine Training Guide”, **General Electric Co.**, USA, 1-50 (1998).
10. “Depot Maintenance Work requirement for T700 Engine”, **General Electric Co.**, USA, 1-42 (1998).
11. “Modular Engine Test System Maintenance Manual”, **Lycoming Textron Co.**, USA, 1-100 (1985).

12. Salman, K., "PLC ile Endüstriyel Otomasyon", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 1-12 (1999).
13. Kerem, Ç., "PLC Kullanım ve Programlama", **Özdisan A.Ş.**,Ankara,19-63 (2003).
14. Parr, E.A., "Endüstriyel Kontrol El Kitabı", **MEB**,Ankara, 1-110 (2002).
15. "Maintenance Manual Modular Engine Test System", **Lycoming Factory**, Connecticut, 41-101 (1998).
16. "Training Manual Transmission Test Stand", **ZFL Company**, Germany, 45-100 (2003).
17. Ian, R.S., "Sensor and Transducers", **Butterworth-Heinemann**, Third Edition,Oxford, 1-40 (2001).
18. Bliesener,R.,Ebel,F., Löffler,C., "Programlanabilir Lojik Kontrol Organları", **Festo Didactic**, Germany, 2-104 (1995).
19. Yağımlı, M., Akar, F., "Programlanabilir Lojik Denetleyiciler", **Beta Basım Yayım**, İstanbul , 45-62 (2004).
20. Özdamar, C., "PLC Teori ve Uygulama", 1st ed., **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 1-35 (1999).
21. Tuğrul, G., "Bilgisayar Teknolojisi ile Makine Kontrolü ",1st ed., **Dünya Yayıncılık**, İstanbul, 15-63 (1996).
22. Thomas, G., Marongoni, R.D., "Mechanical Measurements" 4th ed., **Addison-Wesley Publishing**, USA, 1-80 (1990).
23. Nelle, Z., "Handbook of Intelligent Sensors for Industrial Automation " 1st ed., **Adisson-Wesley Pub.**,Reading Mass, 15-55 (1992).
24. Usher, M.J., "Sensors and Transducers" 1st ed., **Mac Millan**, Houndmills, 18-92 (1985).
25. Özcan, M., "PLCler ve Uygulamaları ",1st ed., **Atlas Yayınevi**,İstanbul, 5-47 (2002).
26. Erika, K.R., "Instrumentation and Sensors",1st ed., **Butterworth-Heinemann**, Oxford,1-95 (1993).

27. Soloman, S., "Sensors Handbook", 2nd ed., **Mc Graw – Hill**, Newyork, 13-74 (1999).
28. Derya, O., "Sensör Yerleşim Optimizasyonu", **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 1-23 (2004).
29. "FT Series Turbine Flowmeters Installation," Operation and Maintenance Manual, **Flow Technology Inc.**,USA, 1-54 (2003).
30. Jacob, F., "Handbook of Modern Sensors", **Springer**, Newyork, 17-40 (1996).
31. Willis J., Tompkins, "Interfacing Sensors to the IBM PC", **Prentice Hall**, Englewood Cliff, 6-15 (1988).
32. John, G., Webster, "The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook", **Boca Raton**, Fla, 23-45 (1999).
33. Solomon, J., "Sensors Handbook", **McGraw-Hill**, Newyork, 11-25 (1999).
34. Sinclair, I.R., "Sensors and Transducers", 3 rd ed., **Newnes**, Oxford, 44-65 (2001).
35. Şahin, K., "Uçaklar ve Helikopterler", **İnkılap**, İstanbul, 78-98 (1999).
36. Pinney, P.C., Baker, E. W., "Measurement Instrumentation and Sensors Handbook", **CRC Pres**, USA, 72-117 (2000).
37. Cohen, H., Rogers G.F.C., Saravanamutto H.I.H., "Gas Turbine Theory, " **Longman Scientific and technical Publications**, England, 53-71 (2001).
38. Kerrebrick, J.I., " Aircraft Engine and gas Turbines" , **The MIT Pres**, USA, 7-25 (1992).

EKLER

EK-1 Türbinli motorların tanıtılması

1. TÜRBİNLİ MOTORLARIN TANITILMASI

Yanma sonucu meydana gelen basınçlı gazlar uygun bir şekilde yönlendirilerek türbinlerin döndürülmesiyle, güç elde edilen motorlara türbinli motor denir. Newton kanun ve prensiplerinden faydalanılarak geliştirilmiştir. Bu motorlar yüksek devirli olup güç ihtiyacı fazla olan hava ve deniz araçlarında kullanılmaktadır. Türbinli motorlar tasarım ve kullanım özelliklerine göre 4 ana sınıfta incelenir. Bunlar, turbojet, turbofan, turboprop ve turboşaft motorlardır.

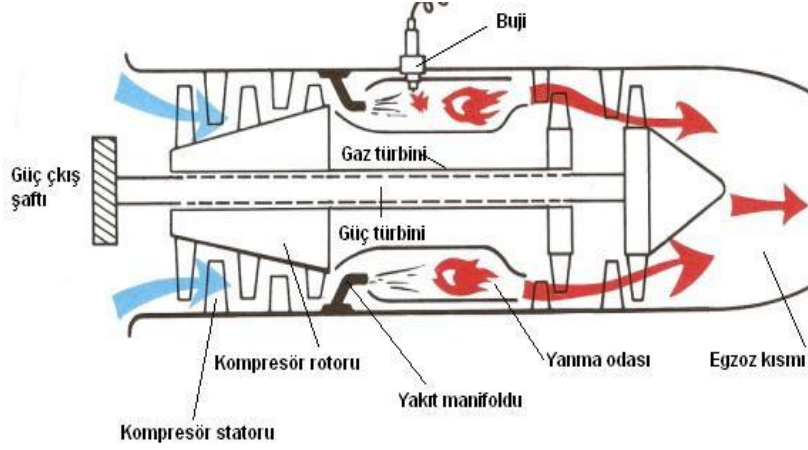
1.1. Turboşaft Motorların Çalışma Prensibi

Turboşaft motorlar temel olarak, kompresör, yanma odası, türbin ve egzoz lülesinden oluşmaktadır. Kompresör, alıktan gelen havanın belirli bir miktarda sıkışmasını sağlar. Kompresör basıncın artmasını sağlar. Yanma odasında kompresörden çıkan sıkıştırılmış hava ile yakıtın püskürtüldüğü yerdir. Yanma odasında, yakıtla birlikte yanan gazların enerjisi ve sıcaklığı artar. Türbinin dönü hareketi yanmış gazların, lüle vasıtasıyla yönlendirilerek türbine çarpması sonucu meydana gelir. Türbinler bir mil ile kompresör grubuna bağlıdır ve kendi dönmesini kompresör grubuna aktarır. Yanmış gazların döndürdüğü türbin milinden elde edilen devir ve tork şafta aktarılır.

1.2. Turboşaft Motorların Termodinamik Çevrimi

Turboşaft motorlar Brayton çevrimine sahip çalışırlar. Bu motorlara ait genel görünüm ve hava akışı Şekil 1.1'de verilmektedir.

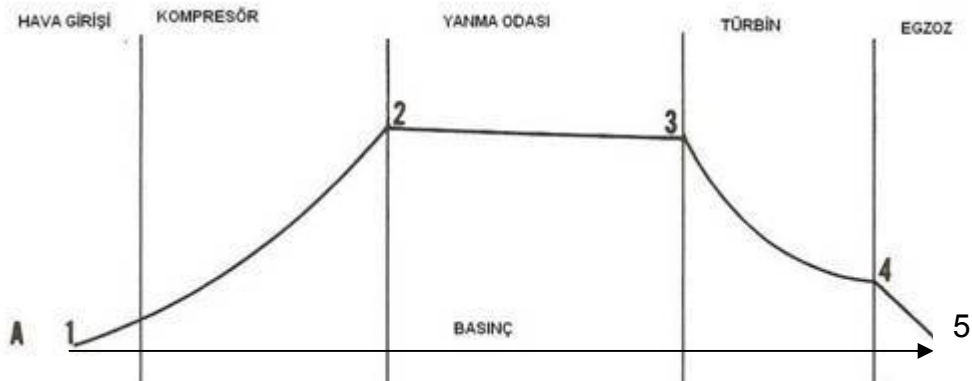
EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması



Şekil 1.1. Turboşaft motorunun genel şeması

Şekil1.2 de verilen basınç değişim grafiğine göre;

- 1-2 :Basınç kompresör tarafından emilen havanın etkisiyle artar.
- 2-3 :Yanma odasının yerini alarak basınç düşmeye başlar.
- 3-4 :Basınç hızla düşmeye başlar türbinde gazlar tarafından enerji üretilmesiyle egzozdan atılmasıyla basınç düşer.

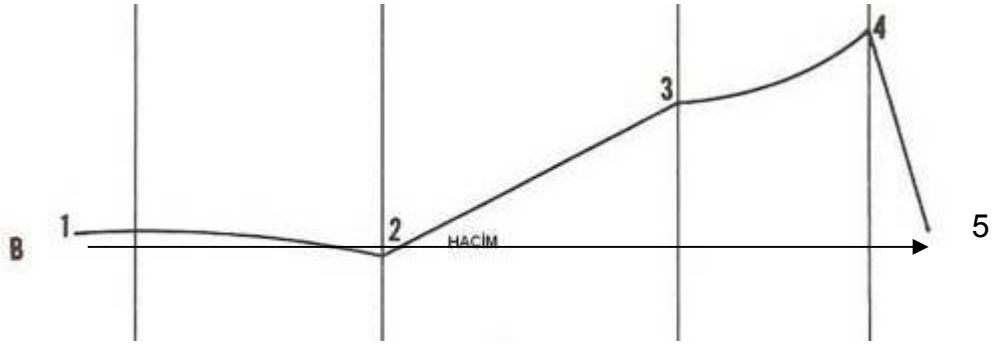


Şekil 1.2. Turboşaft motor çalışma çevrim basınç grafiği

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması

Şekil 1.3' de verilen hacim değişim grafiğine göre,

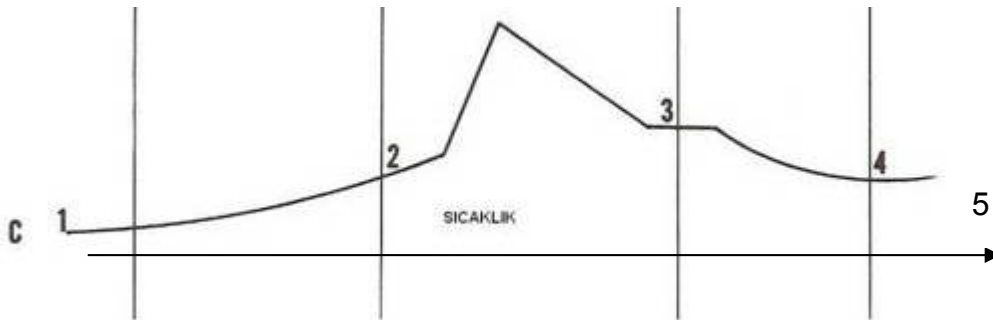
- 1-2 : Hacim kompresör kısmında düşer.
- 2-3 :Gazların yanma odasını terk etmesiyle hacim artar.
- 3-4 :Hacim türbinler tarafında enerjinin çekilmesiyle artar daha sonra egzozun açılmasıyla hızla azalmaya başlar.



Şekil 1.3. Turboşaft motor çalışma çevrim hacim grafiği

Şekil 1.4'te verilen sıcaklık değişim grafiğine göre;

- 1-2 :Kompresörden dolayı sıcaklık artar.
- 2-3 :Yakıtın yanma odasında yanmasıyla sıcaklık artar.
- 3-4 :Gazların türbin kanatçıklarına çarpması sonucu oluşan enerjinin elde edilmesiyle sıcaklık düşer. Daha sonra gazlar hızlıca egzoz edilir.



Şekil 1.4. Turboşaft motor çalışma çevrim sıcaklık grafiği

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması

Turboşaft motorlarda, türbin kompresörü ihtiyaç duyulan gücü üretir. Fazla güç çıkış şaftından elde edilebilen tork olarak ortaya çıkar. Turboşaft motorlarda gaz ve güç türbini olmak üzere iki farklı sistem mevcuttur.

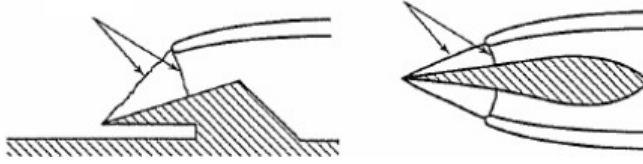
Güç sistemi ile gaz türbinlerinin arasında hiçbir mekanik bağlantı yoktur. Serbest güç türbin sistemi helikopter için ideal bir düzendir. Güç türbin sistemi helikopterin ana rotor pallerine güç sağlar. Bütün bu gücün elde edilmesinde yanma odasındaki yakıt akışının sağlanmasıyla sabit güç türbin devrinde değişik yükler altında güç üretilir. Bu kavram helikopterde turboşaft çalışma prensibini teşkil eder.

1.2.1. Hava giriş kısmı

Türbinli motorlarda hava giriş kısmına alık denir. Alıklar ses üstü ve ses altı olmak üzere iki çeşittir (Şekil 1.3). Alıkların görevleri aşağıda verilmiştir ;

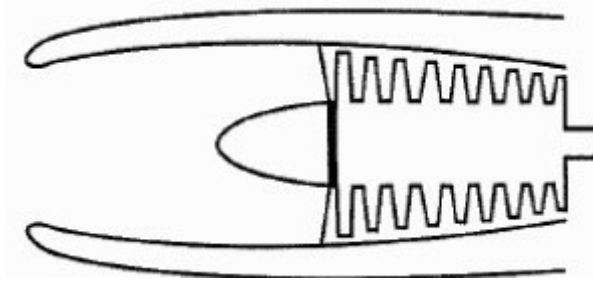
- a) Hava giriş kısmı motora giren hava hızını kompresöre uygun düzeye düşürür.
- b) Hız düşerken basınç artar.
- c) Alığın tasarımı ve çalışması giren havanın ses üstü veya ses altı oluşuna göre değişir.
- d) Alığın tasarımı ve çalışması giren havanın ses üstü veya ses altı oluşuna göre değişir.
- e) Sıkışma şok dalgaları ile olursa verim düşer.
- f) Ses altı akışta sıkışma oldukça verimlidir.

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması



(a)

Şekil 1.3.a. Ses üstü alık
b. Ses altı alık



(b)

Şekil 1.3.a. Ses üstü alık
b. Ses altı alık

1.2.2. Kompresör kısmı

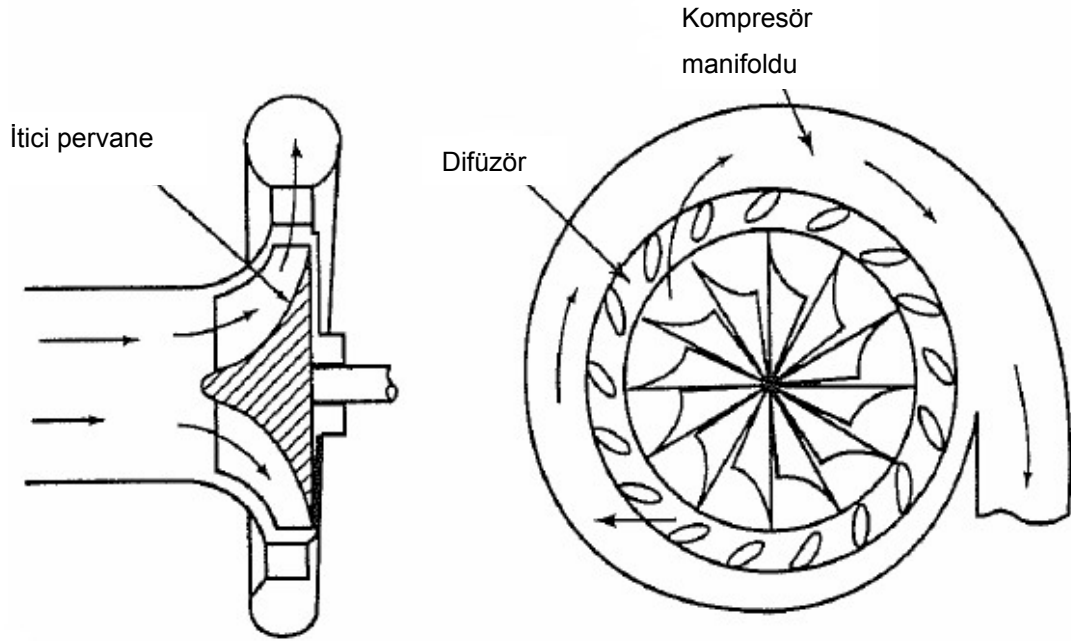
Türbinli motorlarda kompresörün işlevi gelen havanın basıncını artırarak yanma ve güç çekme sürecinin daha verimli olmasını sağlamaktadır. Basınç artarken hacim küçülür, böylece hava-yakıt karışımı daha küçük bir hacimde yakılabilir. Kompresörler santrifüj ve eksenel olmak üzere ikiye ayrılır.

Santrifüj kompresör

İtici pervane, difüzör ve kompresör manifoldu olmak üzere üçe ayrılır. Hava pervanenin dönüş hareketi ile hızlandırılır ve sonra difüzörde yayılarak yavaşlatılır ve basıncı artırılır. Difüzörde düzleşen akım manifoldta toplanarak yanma odasına gönderilir. Tek kademeli santrifüj kompresörün verimi düşüktür. En yüksek sıkıştırma oranı 4:1 ya da 5:1'dir. Çok kademeli santrifüj

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması

kompresörlerin verimleri biraz daha iyidir. Santrifüj kompresörlerin yapısı Şekil 1.4'de verilmektedir.

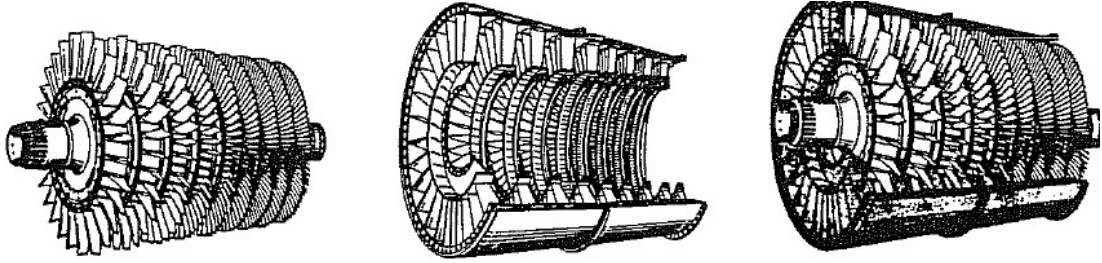


Şekil 1.4. Santrifüj kompresör

Eksenel kompresör

Eksenel kompresörlerde hava sırayla dönen rotor kanatları ve duran stator kanatları arasından eksenel yönde akar. Her bir rotor ve stator kanadı seti bir kademeyi oluşturur. Akış yönünde akışın kesit alanı azalır. Kesit azaldıkça yoğunluk artar. Her kademe küçük bir sıkıştırma oranı (1.1:1 veya 1.2:1) sağlar. Yüksek sıkıştırma oranları için çok kademe kullanmak gerekir. Eksenel kompresörler daha küçüktür ve santrifüj kompresörden daha düşük bir ön yüzey alanına sahiptir. En yüksek verim için kompresör sabit eksenel hızda çalışır. Daha fazla esneklik ve her kademenin daha düzgün yüklenmesi açısından yüksek sıkıştırma oranlı kompresörlerde iki farklı dönüş hızı olan ikili kompresör kullanılır. Eksenel kompresörlerin yapısı Şekil 1.5'de verilmektedir.

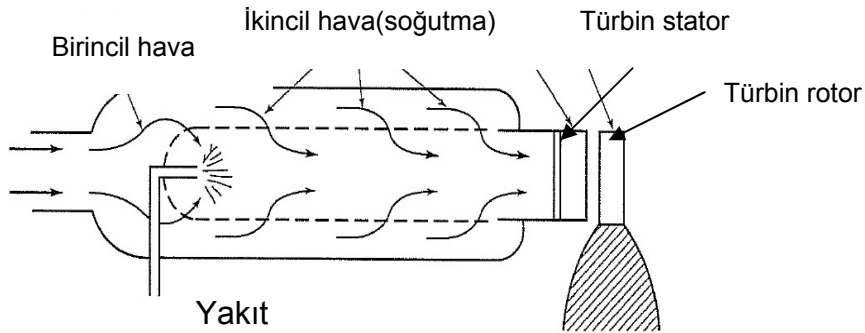
EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması



Şekil 1.5. Eksenel kompresör

1.2.3. Yanma odası

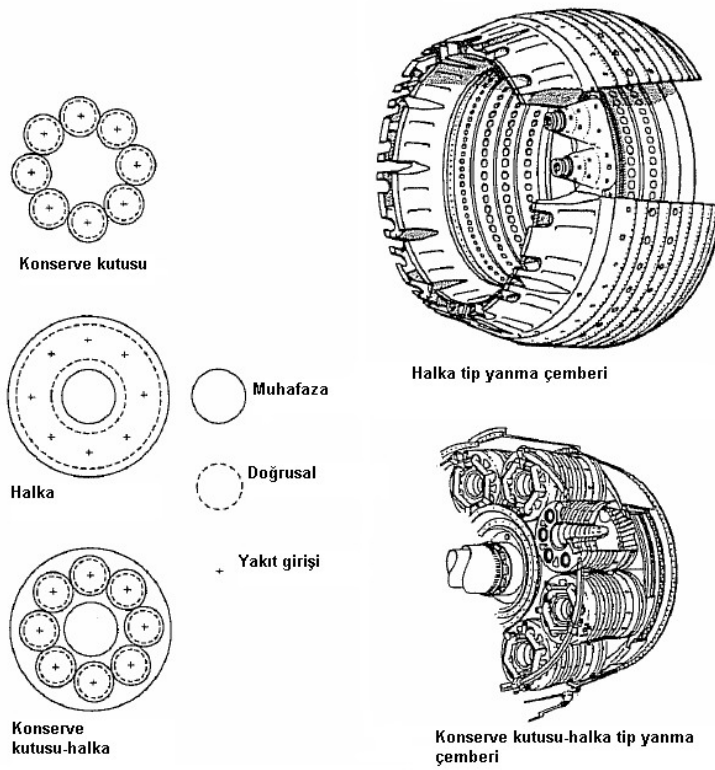
Türbinli motorlarda yanma odasının görevi hava-yakıt karışımını yakmak ve açığa çıkan gazları sabit sıcaklıkta türbine göndermek üzere tasarlanır. Gaz sıcaklığı, türbinin izin verilen yapısal sıcaklığını aşmamalıdır. Yanma odasına giren havanın (birincil hava) toplam hacminin yarısından azı yakıt ile karışır ve yakılır. Geriye kalan hava (ikincil hava) ya sadece ısıtılır ya da yanma ürünlerini ya da odanın yüzeylerini soğutmak için kullanılmaktadır (Şekil 1.6.). Hava yakıt oranı motor tiplerine göre ağırlık bakımından 30 ya da 60 birim havaya karşılık 1 birim yakıt olarak değişir. Yeni tasarım motorlarda ortalama oran 40:1'dir. Ancak sadece 40'ın 15'i yanma işleminde kullanılır.



Şekil 1.6. Yanma odası yakıt hava akışı

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması

Yanma odasının değişik şekillerde tasarımı yapılabilir. Bunlar; konserve kutusu, halka ve kutu-halka şeklindedir (Şekil 1.7). İyi bir yanma odası tasarımında geçen gazların basınç kaybı en az ve yanma verimi yüksek olmalıdır. Yanma odasının patlama ya da alevlenme eğilimi olmamalıdır. Yanma tamamen yanma odası içinde gerçekleşmelidir.



Şekil 1.7. Yanma odası tipleri

1.2.4. Türbin kısmı

Türbinli motorlarda enerjinin elde edilmesinde ve motorun enerji üretmesini sağlayan elemanlar türbinlerdir. Turboşaft ve turboprop motorlarda gaz ve güç türbinleri bulunmaktadır. Turbojet ve turboprop motorlarda ise sadece gaz türbini bulunmaktadır. Türbinlerin görevleri aşağıdaki gibi sıralanır;

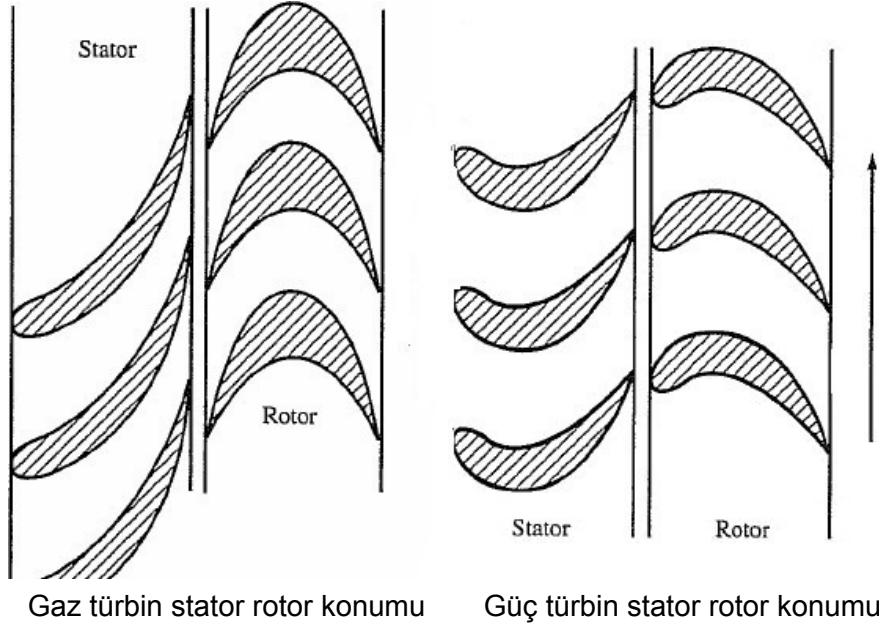
EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması

- Türbin yanma odasından çıkarak genişleyen gazdaki kinetik enerjiyi alır.
- Kinetik enerji kompresörü ve aksesuarları tahrik etmek için gerekli mil gücüne çevrilir.
- Eksenel akış türbininde bir türbin çark rotoru ve bir set sabit kanatlı stator bulunur.
- Stator kanatçıkları belli bir açıda yerleştirilmişlerdir ve gazları türbin çarkının kanatçıklarına boşaltan küçük lüle görevi yaparlar.
- Rotoru çıkış yapan gazlar kinetik enerjinin mekanik mil enerjisine dönüşmesini sağlar.
- Eksenel kompresör gibi eksenel türbin de kademelidir.
- Genelde türbinde kompresör kademesinden daha az kademe vardır.

Gaz türbinlerinde rotorun bağıl çıkış hızı ile bağıl giriş hızı birbirine eşit olup, rotorun girişi ve çıkışı arasında net basınç farkı bulunmamaktadır. Bu türbinin stator lüleleri çıkan gazların basıncını düşürüp hızını artıracak geçişler oluşturacak biçimde şekillendirilmişlerdir.

Güç türbinlerinde, rotor kanatları arasındaki geçişlerde rotordan bağıl çıkış hızı artar ve basınç azalır. Ayrıca güç türbin stator lüle geçişleri akışın yönünü neredeyse hiç değiştirmez (Şekil 1.8).

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması



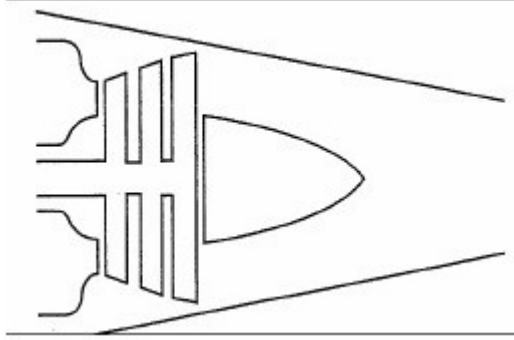
Şekil 1.8. Gaz ve güç türbin stator ve rotor konumu

1.2.5. Egzoz kısmı

Türbinli motorlarda egzoz kısmının amaçlarını şu şekilde sıralayabiliriz; yanmış gazların egzoz lülesinden çıkmadan önce hızını artırmak ve türbinden gelen gaz akışını toplayıp düzeltmektir. Yüksek itki elde etmek için yüksek çıkış hızı gerekir. Lüle gazı genişletip basıncı düşürerek bu yüksek hızı sağlar. Lüle üzerindeki basınç oranı genişleme sürecini belirler. Maksimum itki çıkış basıncı ortam basıncına eşit olduğunda elde edilir. Jet motorlarında genelde iki tip lüle kullanılır: daralan lüle ve daralan-genişleyen lüledir.

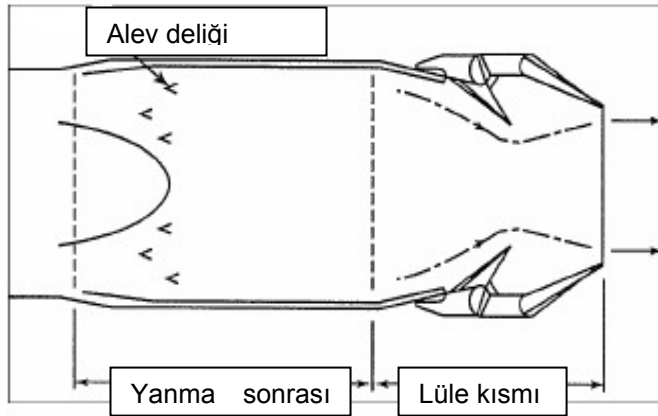
Daralan lüle, basınç oranı düşük olduğunda ve genelde ses altı uçaklar için düşük tepkili motorlarda kullanılır (Şekil 1.9).

EK-1 (Devam) Türbinli motorların tanıtılması



Şekil 1.9. Daralan lüle

Daralan-genişleyen lüle; bu tip lülelerde minimum alanı oluşturan bir boğaz kesiti bulunur. Ses üstü uçaklarda kullanılır ve geometrisinin değiştirilebilen tipleri vardır. Yüksek basınç oranı gereken durumlarda bu tip lüleler kullanılır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Daralan – genişleyen lüle

EK-2 Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2. ENDÜSTRİYEL SİSTEMLERDE KULLANILAN SENSÖRLER

Endüstriyel sistemlerde sıcaklık, basınç, tork, titreşim, mesafe, akış gibi parametreleri ölçmek için değişik özelliklerde sensör kullanılmaktadır. Sensörler istenilen nitelikleri farklı metotlarla ölçerek elektronik farklı birimlerdeki değerleri elektronik olarak anlamlı hale getirmektedir. Bunun sonucunda da bu büyüklük matematiksel olarak değer kazanmaktadır.

2.1. Sıcaklık Sensörleri (Isıl çift)

Isıl çiftler, çıplak tel olarak düşük maliyet ve hızlı cevap zamanı veya algılayıcıların içine yerleştirilerek kullanılabilir. Bu algılayıcılar çok geniş bir çeşide sahip olup değişik uygulamalar (endüstriyel, bilimsel, gıda sıcaklığı, tıp araştırmaları vb.) için uygundur. Tek kelime uyarı olarak algılayıcıların seçiminde doğru birleştiricinin seçildiğinden emin olunmalıdır. İki tip genel birleştirici vardır. Bunlar standart yuvarlak pimli ve küçük düz pimlidir. Minyatür pimli birleştirici daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl çift seçiminde hem yalıtımı hem de algılayıcı yapısı belirlenmelidir. Aşağıda ısıl çift tipleri ve özellikleri ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.1.1. K tipi ısıl çift (Kromel / Alümel)

K tipi genel amaçlı bir ısıl çiftidir. Rağbet edilmesinden dolayı ucuz maliyetlidir. Çok geniş çeşitlilikte bulmak mümkündür. Bu tip ısıl çiftler -200 °C ile 1200°C arasında kullanılabilir. Hassasiyet yaklaşık 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 'dır. Geçerli bir gerekçeniz yok ise K tipi ısıl çifti kullanabilirsiniz.

2.1.2. E tipi ısıl çift (Kromel/ Konstantan)

E tipi ısıl çifti yüksek voltaj çıkışına sahip olup (68 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) düşük sıcaklık istenen kullanılır. Diğer bir özelliği ise manyetik olmayışıdır.

EK-2 Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.1.3. J tipi ısı çifti(Demir / Konstantan)

Sınırlı ölçüm aralığı ile (-40 ile +750) °C J tipi ısı çifti K tipi ısı çiftinden daha az kullanılır. Ana uygulaması modern tip ısı çiftlerinden çıkmadan önce yaygın olarak kullanılmasıdır. J tipi ısı çifti 760°C üzerinde kalıcı kalibrasyon bozukluğuna neden olacağı için kullanılamaz.

2.1.4. N tipi ısı çifti (Nikrosil / Nisil)

Yüksek kararlılık ve dirençli olması istendiği durumlarda oksidasyon oluştuğu için N tipi ısı çifti kullanmak B,R,S tipi platinyumun yüksek maliyetinden dolayı uygundur. K tipinin geliştirilmiş hali olarak tasarlanmıştır bundan dolayı çok popüler olmuştur.

B,R ve S tipi ısı çiftleri iyi metal ısı çiftleri olup benzer karakteristikleri gösterir. Bütün ısı çiftlerinin içinde en kararlı olanlarıdır fakat düşük hassasiyetlerinden dolayı (yaklaşık 10 $\mu V/^{\circ}C$) bu tip ısı çiftleri sadece yüksek sıcaklık ölçümlerinde (300 °C) ,den yüksek değerlerde kullanılır.

2.1.5. B tipi ısı çifti (Platinyum/ Rodyum)

B tipi ısı çifti 1800 °C' a kadar yüksek sıcaklık ölçümleri için uygundur. Bu ısı çiftleri ender olarak kullanılmakta olup, (Sıcaklık/ voltaj eğrisinden dolayı) çünkü (0 - 42) °C aynı çıkış değeri göstermektedir. Bundan dolayı 50 °C'nin altındaki ölçümlerde kullanılamaz.

2.1.6. R tipi ısı çifti (Platinyum/Rodyum)

R tipi ısı çifti 1600 °C' a kadar yüksek sıcaklık ölçümleri için uygundur. Düşük hassasiyet (10 $\mu V/^{\circ}C$) ve yüksek maliyet onları genel amaçlar için kullanılamaz yapar.

EK-2 Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.1.7. S tipi ısı çift (Platinyum/Rodyum)

S tipi ısı çift 1600 °C' a kadar yüksek sıcaklık ölçümleri için uygundur. Düşük hassasiyet (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) ve yüksek maliyet onları genel amaçlar için kullanılamaz yapar. S tipi ısı çift yüksek kararlılıktan dolayı altının ergime noktası 1064,4 °C olarak kullanılır. Isıl çift seçiminde ele alınacak esas kriter ölçeceğimiz sıcaklık limitini ve hassasiyet değerlerini tespit etmektir.

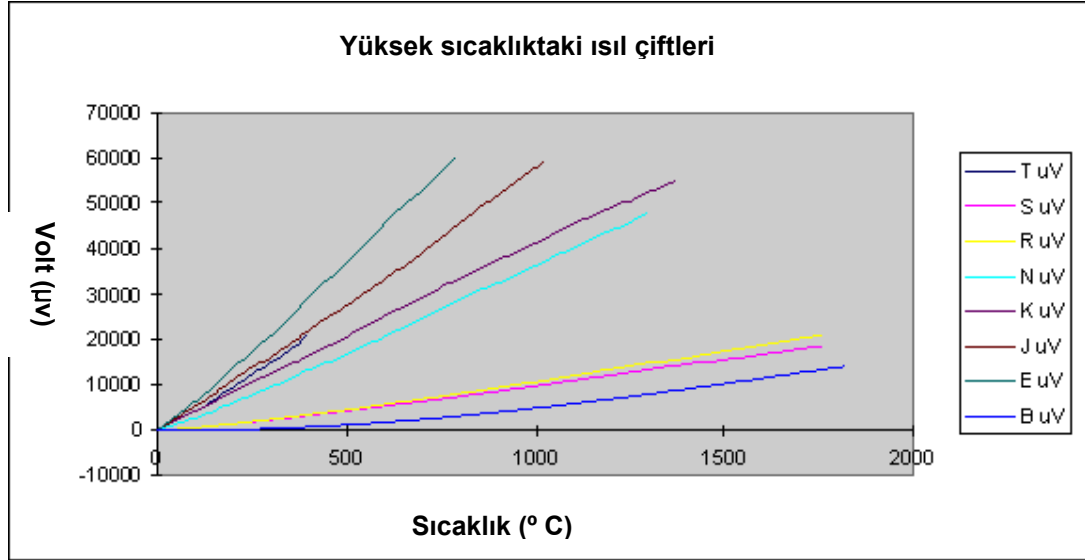
Aşağıdaki Çizelge 2.1'de ısı çiftlerin ölçüm aralıkları ile (0,1) – (0,025) °C değerlerindeki çözünürlüklerini göstermektedir.

Çizelge 2.1. Değişik ısı çiftlerin ölçüm aralıkları

Isıl çift tipi	Ölçüm Aralığı (°C)	0,1 °C Çözünürlük Değeri	0,025 °C Çözünürlük Değeri
B	20 ila 1820	150 ila 1820	600 ila 1820
E	-270 ila 910	-270 ila 910	-260 ila 910
J	-210 ila 1200	-210 ila 1200	-210 ila 1200
K	-270 ila 1370	-270 ila 1370	-250 ila 1370
N	-270 ila 1300	-260 ila 1300	-230 ila 1300
R	-50 ila 1760	-50 ila 1760	20 ila 1760
S	-50 ila 1760	-50 ila 1760	20 ila 1760
T	-270 ila 400	-270 ila 400	-250 ila 400

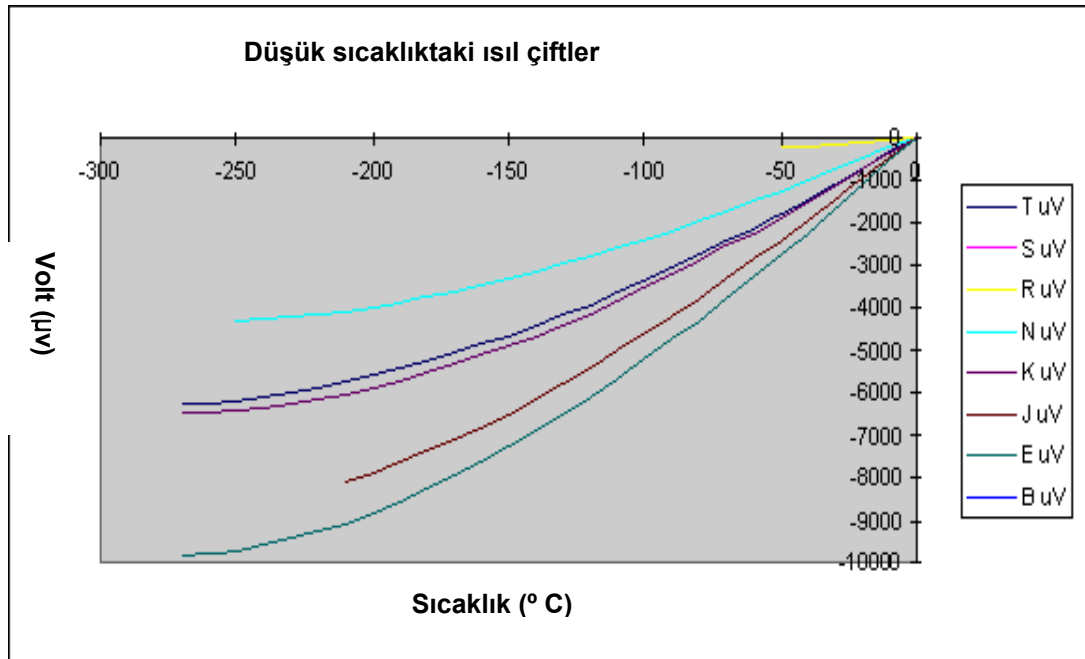
Şekil 2.1'de yüksek sıcaklıktaki ısı çiftlerin sıcaklığa karşı ürettikleri voltaj grafiği görülmektedir.

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler



Şekil 2.1. Yüksek sıcaklık ısı çiftlerinin sıcaklık-volt grafiği

Şekil 2.2'de düşük sıcaklıktaki ısı çiftlerinin sıcaklığa karşı ürettikleri voltaj grafiği görülmektedir.

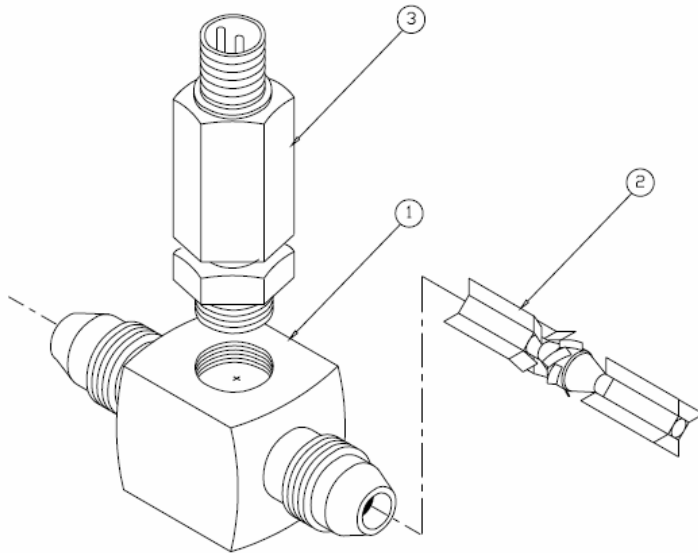


Şekil 2.2. Düşük sıcaklık ısı çiftlerinin sıcaklık-volt grafiği

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.2. Standart Akış Ölçerler

Standart hat tipi akış ölçer hacimsel olarak akış ölçüm cihazıdır. Akış algılama elemanı serbest olup, kanatlı rotor eksenel olarak kanatçıklara sıvının çarpması sonucu akışı algılayacak şekilde konumlandırılmıştır. Rotorun dairesel hızı sıvının hızıyla orandır. Bu durumda akış kararlı hale geldiğinde türbin rotor dairesel hızı akış ölçer içinden geçen sıvının doğru hacmini gösterir. Türbin rotorun dönüşü seçici tarafından algılanıp elektrik sinyalleri yaratılıyor. Seçici akış metrenin üstüne bitişik olup, yakın aralıkta montelidir. Her bir sinyal sıvının akış hacmine denkliğini temsil etmektedir. Frekans veya sinyal tekrarlılığı oranı ve toplam sinyal toplam sinyal toplamı toplam hacimsel ölçümü göstermektedir. Sıvı veya gazlar için kullanılan akış ölçerler birbirlerinin yerlerine kullanılamaz. Standart hat akış ölçer 3 ana parçadan oluşur. Aşağıdaki Şekil 2.3'te standart rotor tip akış ölçer görülmektedir.



Şekil 2.3. Standart rotor tip akış ölçer

1. Muhafaza 2. Rotor ve destek 3. Elektrik algılama ünitesi

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.2.1. Akış ölçer tipleri

Akış ölçerler yataklanma tiplerine göre bilyeli ve kayar olmak üzere ikiye ayrılır.

Bilye yataklı akış ölçer

Rotor tip ölçme sistemine sahip olup, rezonans frekans (RF) veya manyetik elektronik ölçüm ünitesine sahiptir. Çizelge 2.2. de bilyeli yataklı akış ölçerlerin teknik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.2. Bilye yataklı sıvı akış ölçer tablosu

Model	Ölçüm Aralığı (GPM) RF ALGILAYICI	Ölçüm Aralığı (GPM) MAG. ALGILAYICI
FT4-8	0.03-3	0.1-3
FT6-8	0.05-5	0.12-5
FT8-8	0.08-8	0.16-8
FT-08	0.1-10	0.2-10
FT-10	0.15-15	0.3-15
FT-12	0.25-25	0.5-25
FT-16	0.6-60	1-60
FT-20	1-100	1-100
FT-24	1.6-160	2.5-160
FT-32	2.5-250	3.5-250
FT-40	4.5-450	5.0-450
FT-48	Uygulanamaz	7.5-750
FT-64	Uygulanamaz	15-1500
FT-96	Uygulanamaz	50-3500
FT128	Uygulanamaz	60-6000
FT160	Uygulanamaz	100-10000
FT192	Uygulanamaz	1500-15000

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Yukarıdaki tabloda yer alan bilye yataklı akış ölçerler için;

- Tekrarlanabilirlik : ± 0.05 %
- Lineerlik : 0.5 % (Belirtilmediği sürece okunan değerin), yüksek sıcaklık manyetik algılayıcı kullanıldığında FT 4-8 ve FT 6-8 için okunan değerin ± 0.75 % 'dir.
- RF algılayıcılar : FT-48 ve daha büyük modellerde uygulanamaz

Kayar yataklı akış ölçer

Rotor tip ölçme sistemine sahip olup, rezonans frekans veya manyetik elektronik ölçüm ünitesine sahiptir. Çizelge 3.3'de kayar yataklı akış ölçerlerin teknik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.3. Kayar yataklı akış ölçer

Model	Ölçüm Aralığı (GPM) RF	Ölçüm Aralığı (GPM)
FT4-8	0.1-3.0	0.12-3.0
FT6-8	0.15-5.0	0.2-5.0
FT8-8	0.2-8.0	0.25-8.0
FT-08	0.25-10	0.3-10
FT-10	0.3-15	0.4-15
FT-12	0.5-25	0.5-25
FT-16	1.0-60	1.0-60
FT-20	1.0-100	1.5-100
FT-24	1.6-160	2.5-160
FT-32	2.5-250	3.5-250
FT-40	4-.5-450	5.0-450
FT-48	Uygulanamaz	7.5-750
FT-64	Uygulanamaz	15-1500
FT-96	Uygulanamaz	50-3500
FT128	Uygulanamaz	60-6000
FT160	Uygulanamaz	100-10000
FT192	Uygulanamaz	150-15000

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Yukarıdaki tabloda yer alan kayma yataklı akış ölçerler için;

Tekrarlanabilirlik : ± 0.1 5 FT-12 ve daha küçük boyutlar için olup, ± 0.05 % FT-16 ve daha büyük akış ölçerler için geçerlidir.

Lineerlik : ± 0.5 % aksi belirtilmediği sürece, ± 2 % okumalarda FT 4-8 ve ± 0.75 % ,FT 6-8 yüksek sıcaklık manyetik algılayıcısı kullanıldığında bu değer sağlanır. Ayrıca RF algılayıcı kayar yataklı akış ölçerlerde FT-48 ve daha büyük boyutlar için uygulanamaz.

2.2.2. Algılayıcı tipleri

Manyetik algılayıcılar

Manyetik algılayıcı çıkışı düşük bir sinyal seviyesi olup öyle ki 10 mV'tan zirve-zirve potansiyele ulaşır. Sinyal yükseltici, proses cihazı için dalga sinyali 10V zirve-zirve seviyesine getirmek için ihtiyaç duyulmaktadır. Manyetik algılayıcıların direnci 2275 Ω 'dur.

Rf algılayıcılar

RF algılayıcılar uygun bir yükseltici ile kullanılmak zorundadır. Sinyal yükseltici, proses cihazı için dalga sinyali 10V zirve-zirve seviyesine getirmek için ihtiyaç duyulmaktadır. Algılayıcıların tipik direnci 10 $\Omega \pm 10$ %'dur.

2.3. Basınç Algılayıcılar

Basınç algılayıcılar (transduserler) yapı itibarıyla sıvı ve gaz basınçlarını okumaya yarayan ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazlar silikon algılayıcı (sensör) teknolojiyle birlikte mikro işlemci sinyal şartlandırıcı ile birlikte kullanılarak basınç algılayıcılar üretilmiştir. Dış gövde muhafazası çevre titreşim, darbe

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

ve ısı etkilerine karşı çelik olarak tasarlanmıştır. Ayrıca basınç algılayıcılar yazılımlarla uyumlu olarak bilgisayarlardan değer alınabilmektedir. Resim 2.1 de verilmektedir.



Resim 2.1. Basınç algılayıcının temel görünümü

2.3.1. Basınç sensörlerin uygulamaları

Basınç sensörleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle motor test ünitelerinde, hava araçlarında, endüstriyel tesislerde otomasyon uygulamalarında, insansız su altı araçlarında, analiz cihazlarında ve araştırma geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.2. Basınç sensörlerinin teknik özellikleri

Küçük, dijital algılama ve kontrol sayesinde;

- Etkili veri iletimi ile 89 birime kadar RS 485 kabiliyeti kullanarak bağlantı sağlama,
- Kolay arabirim ile iletişim portu sayesinde direkt olarak PC'ye bağlanma,
- Kapalı çevrim sayesinde basınç algılayıcılar kolay kontrol edilebilmektedir.

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Çok Yönlü ve şekillendirilebilir

- Mevcut ve yeni sistemlerle bütün birimler 0-5 V analog ve RS-232 veya RS-485 dijital çıkış sinyal üretebilme
- Mevcut olan diyaframın çalışma medyaları gaz ve sıvıdır.
- Sağlam tasarım sayesinde titreşim ,ısı ve mekanik şok etkilerine rağmen çalışabilme
- Optimum çıkış ile kullanıcı tanımlı basınç birimi, ortalama ve güncelleme oranı yapabilmek mümkündür.

Kullanıcıya göre seçilebilir yazılım özellikleri

- Baud rate, parity ayarları, sürekli yayma, ASCII veya binary sinyal çıkışı, sensör sıcaklık çıkışı (°C veya °F), hassasiyet, data değeri biçimlendirilebilir analog çıkış özellikleri vardır.

2.3.3. Ölçüm kapasitesine göre basınç sensörleri

Ölçüm kapasitesine göre basınç algılayıcıları ikiye ayrılır. Bunlar, genel (küçük ve orta) ve yüksek kapasitelidir.

Küçük ve orta kapasiteli basınç sensörleri

Küçük ve orta kapasiteli basınç algılayıcılarına örnek olarak Omega firmasının ürünlerine ait teknik özellikler Çizelge 2.4’de verilmektedir.

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Çizelge 2.4. Küçük ve orta kapasiteli basınç algılayıcıları

S.No	Parametre	Çalışma aralığı
1	Çalışma voltajı	10 Vdc (5 – 15) Vdc aralığı
2	Tamlık	0.25 % tam ölçüm aralığında
3	Uzun süre tamlık	± 0.5 % tam ölçüm aralığında
4	Çalışma ömrü	100 000 000 tur
5	Çalışma sıcaklığı	(0 – 160) ° F (-18 ile 71) ° C
6	Dengeleme sıcaklığı	(30 – 160) ° F (-1 ile 71) ° C
7	Toplam ısı etkilere	1 % tam ölçüm aralığında

Omega firmasına ait genel tip basınç algılayıcılarına ait model ve fiyat bilgileri Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Genel tip basınç algılayıcılarına ait model ve fiyat bilgileri

S.No	Modeli	Kapasitesi	Fiyatı \$
1	PX302-015GV	15 psig	225
2	PX302-030GV	30 psig	225
3	PX302-050GV	50 psig	225
4	PX302-100GV	100 psig	225
5	PX302-200GV	200 psig	225
6	PX302-300GV	300 psig	225
7	PX302-500GV	500 psig	225
8	PX302-1KGV	1,000 psig	225
9	PX302-2KGV	2,000 psig	225
10	PX302-3KGV	3,000 psig	225
11	PX302-5KGV	5,000 psig	225
12	PX302-7.5KGV	7,500 psig	225
13	PX302-10KGV	10,000 psig	225
14	PX302-015AV	15 psia	225
15	PX302-030AV	30 psia	225
16	PX302-050AV	50 psia	225
17	PX302-100AV	100 psia	225

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Çizelge 2.5.(Devam) Genel tip basınç algılayıcıların model ve fiyat bilgileri

S.No	Modeli	Kapasitesi	Fiyatı \$
18	PX302-200AV	200 psia	225
19	PX302-300AV	300 psia	225
20	PX312-015GV	15 psig	225
21	PX312-030GV	30 psig	225
22	PX312-050GV	50 psig	225
23	PX312-100GV	100 psig	225
24	PX312-200GV	200 psig	225
25	PX312-300GV	300 psig	225
26	PX312-500GV	500 psig	225
27	PX312-1KGV	1,000 psig	225
28	PX312-2KGV	2,000 psig	225
29	PX312-3KGV	3,000 psig	225
30	PX312-5KGV	5,000 psig	225
31	PX312-7.5KGV	7,500 psig	225
32	PX312-10KGV	10,000 psig	225
33	PX312-015AV	15 psia	225
34	PX312-030AV	30 psia	225
35	PX312-050AV	50 psia	225
36	PX312-100AV	100 psia	225
37	PX312-200AV	200 psia	225
38	PX312-300AV	300 psia	225

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

Yüksek kapasiteli basınç sensörleri

Yüksek kapasiteli basınç algılayıcılarına örnek olarak Omega firmasının ürünlerine ait teknik özellikler Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6. Yüksek kapasiteli basınç sensörleri

S.No	Parametre	Çalışma aralığı
1	Çalışma voltajı	10 Vdc (5 – 15) Vdc aralığı
2	Tamlık	± 0.10 % tam ölçümde 0-999 psi
		± 0.15 % tam ölçümde 1000 psi ve yukarısı
3	Çalışma sıcaklığı	-54 ile 150 ° C

Omega firmasına ait yüksek basınç sensörlerine ait model ve fiyat bilgileri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Basınç sensörlerine ait model ve fiyat bilgileri

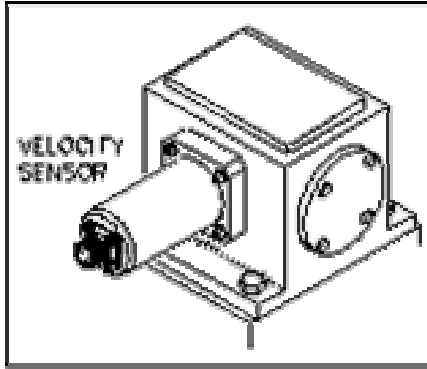
S.No	Model	Ölçüm Aralığı	Fiyat
1	PX5000L1-015AV	15 psi mutlak basınç	750
2	PX5000L1-015GV	15 psi fark basınç	750
3	PX5000L1-100AV	100 psi mutlak basınç	750
4	PX5000L1-100GV	100 psi fark basınç	750
5	PX5000L1-500GV	500 psi fark basınç	750
6	PX5000L1-1KGV	1,000 psi fark basınç	750
7	PX5000L1-5KGV	5,000 psi fark basınç	750
8	PX5000L1-10KGV	10,000 psi fark basınç	750

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.4. Titreşim sensörleri

Hızölçer algılayıcı çok yaygın döner makinelerin titreşimini izlemek için kullanılan sensördür.

Bu tip sensörler makinelerin üstüne kolayca monte edilir ve diğer sensörlerden daha ucuzdur. Bunun sebebi ise, bu tip algılayıcılar genel amaçlı makine uygulamalarında kullanım için idealdir. Hızölçer algılayıcılar uzun yıllardır döner makinelerin üzerinde titreşim ölçmek maksadıyla kullanılıyordu. Bugün çok değişik uygulamalara yardımcı olmak için de kullanılıyor. Hız ölçer algılayıcılar çok farklı fiziksel yapılarda ve çıkış hassasiyetlerde kullanılmaktadır. Resim 2.2’de titreşim ölçerin genel yapısı verilmektedir.



Resim 2.2. Titreşim sensörünün genel yapısı

2.4.1. Titreşim ölçerin çalışma teorisi

Manyetik alan arasında sarım bobin tel hareket ettiğinde sarımın uçları arasında voltaj meydana gelmektedir. Sarımın arasındaki akıdan enerjinin

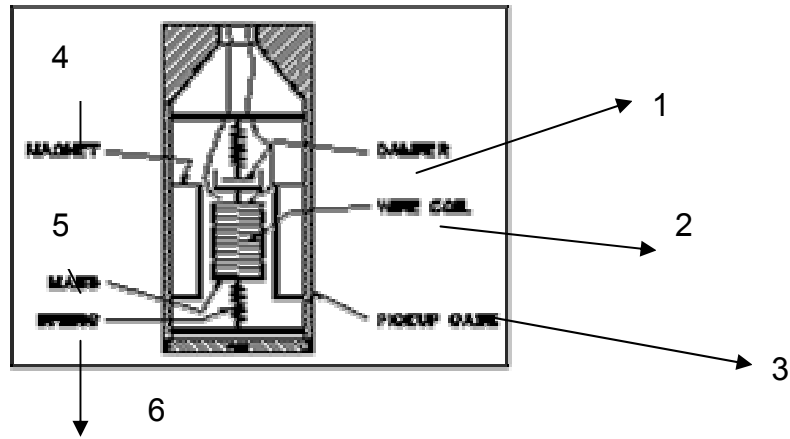
EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

transferiyle voltaj oluşumuna sebep olur. Sarım titreşimin hareketiyle manyetik alana zorlanır ve voltaj sinyali titreşim oluşturur.

2.4.2. Titreşim sensörün yapısı

Hızölçer algılayıcı kendiliğinden sinyal üretici olup, titreşim sinyalini üreten herhangi bir harici cihaza gerek yoktur. Bu sensörlerde 3 parça bulunmaktadır, kalıcı mıknatıs, sarım ve tel sarımı için yay destekleri vardır. Bu algılayıcı yay aksiyonlarını nemlendirmek için yağla doldurulur.

Yer çekim kuvvetlerinden dolayı hızölçerler yatay ve dikey olmak üzere farklı iki tip olarak üretilir. Bu durumda hız algılayıcıların konumlanmada döner makinelerde eksenleri titreşim yönüne göre monte edilirken hesaba katılmalıdır. Hızölçer algılayıcılar çapraz eksenel titreşimden kolay etkilenebilir ki eğer büyük miktarda olursa hızölçer sensöre hasar bırakabilir. Şekil 2.3'de titreşim ölçerin iç yapısı verilmektedir.



Şekil 2.3. Titreşim ölçerin elemanları

1. Yay 2. Sarmal bobin 3. Algılama elemanı 4. Manyetik parça
5.Kütle 6.Yay

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

2.4.3. Titreşim ölçer sayısının belirlenmesi

Bütün titreşim sensörleri kendi eksenleri boyunca hareketleri ölçerler. Bu noktadan hareket ederek sensör sayısını seçerken bu husus dikkate alınmalıdır. Makinelerin asimetrik yapılarından dolayı hareketin 3 ekseninde titreşim sinyalleri farklı olabilir. Uygulamada 3 eksenindeki titreşimi ölçmek için hızölçer algılayıcı yatay, dikey ve eksenel düzleme yerleştirilir. 3 sensör titreşim sinyalinin tanımlanmasını tamamlamasını sağlar.

2.4.4. Titreşim ölçerin montajı

En iyi frekans cevabı için, montaj yeri düz olmalıdır ve hızölçer algılayıcıdan % 10daha büyük olmalıdır. Sensörün montajını yerleştirmek için yüzey delme ve koniklik gerektirebilir.

2.4.5. Titreşim ölçerin hassasiyeti

Bazı hızölçer algılayıcılar döner makine uygulamaları için herhangi bir titreşim algılayıcıların yüksek çıkış hassasiyetine sahiptir. Hassasiyet üreticiden üreticiye göre çeşitlilik gösterir. Yüksek çıkış hassasiyeti yüksek gürültü bulunan yerlere yerleştirmekten kaçınılması faydalıdır. Bu hassasiyet değerleri ise 100mv/(in/sn), 200 mv/(in/sn), 300 mv/(in/sn), 400 mv/(in/sn) ve 500 mv/(in/sn) şeklinde değişmektedir.

2.4.6. Titreşim ölçerin frekans cevabı

Hız ölçer algılayıcıları üreticiye bağlı olarak frekans cevaplarında farklılıklara sahiptir. Bununla birlikte, birçok algılayıcı (10-1000) Hz arasında değişen frekansa sahiptir. Bu özellik döner makine uygulamaları için hız ölçer algılayıcı seçiminde önemlidir. Algılayıcının frekans cevabı tahmin edilen

EK-2 (Devam) Endüstriyel sistemlerde kullanılan sensörler

titreşim frekansı içinde olmalıdır. Bobinin yay desteğinden dolayı, doğal mekanik rezonans frekans cevap eğrisinin altında meydana gelir.

EK-3 Programlanabilir mantık denetleyicileri

3. PLC (PROGRAMLANABİLİR MANTIKSAL DENETLEYİCİLER)

3.1. PLC'nin Tarihçesi

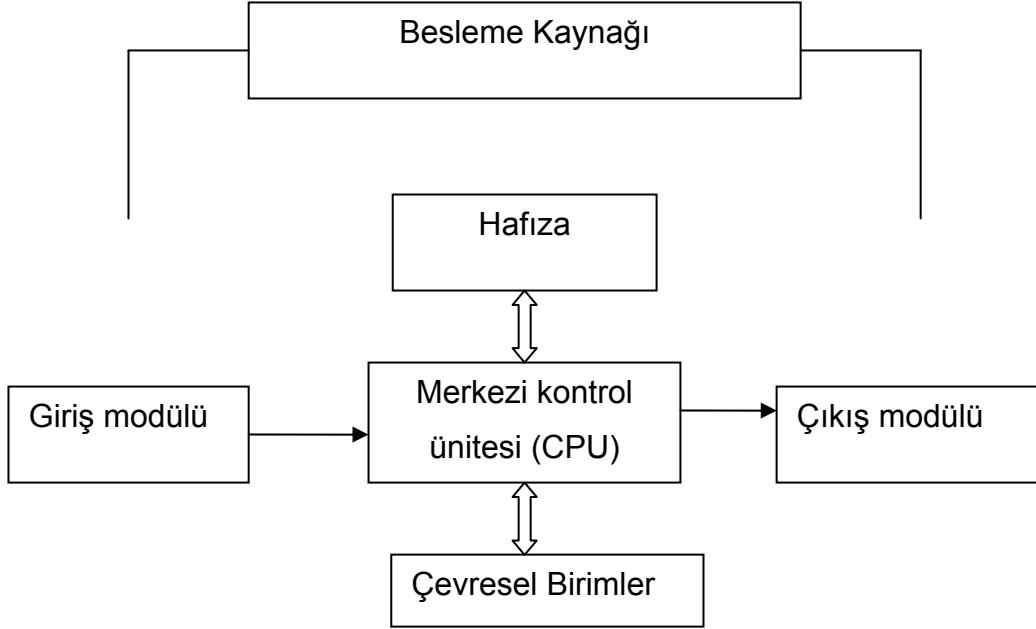
İlk programlanabilir mantık denetleyicileri otomobil üreticilerinin ihtiyaçları neticesinde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu cihazlar her yeni lojik yapılandırması için yeniden kablolama yapma ve ekstra donanım ekleme ihtiyacını ortadan kaldırdı. Bu yeni sistem kontrol panolarının ölçülerini küçültürken, aynı zamanda fonksiyonelliği önemli ölçüde arttırdı. Bu sistem ile insan hataları minimum seviyeye indirildi. İlk PLC, 084 modeli, Dick Morley tarafından 1969 yılında icat edildi. İlk ticari başarısı olan PLC, 184, 1973 yılında Michael Greenberg tarafından gündeme getirildi.

3.2. PLC Sistemi ve Çalışma Prensipleri

Endüstride kullanılmak üzere tasarlanmış, dijital olarak çalışan, belli fonksiyonları yerine getirmesi için yazılan kumanda komutlarını programlanabilen dahili belleğinde saklayan, lojik işlemler, ardışık kumanda, zamanlayıcı, sayıcı ve aritmetik fonksiyonlar gibi özel fonksiyonları kullanarak, analog ve ikili giriş/çıkışları ve onlara elektriksel olarak bağlanmış olan makine ve proseslerini çalışmalarını kontrol eden bir elektronik sistemdir.

Programlanabilir lojik kontrolör ve kendine ait çevre birimleri (PLC sistemi) kolayca endüstriyel kumanda sistemlerine entegre edilebilecek ve kendilerinden yapılması öngörülen fonksiyonları yerine getirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tanımlamaya göre, programlanabilir lojik kontrolör, özel endüstriyel kontrol problemlerinin çözümüne yönelik olarak tasarlanmış bilgisayardan başka bir şey değildir. PLC'nin iç yapısı Şekil 3.1'de verilmiştir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri



Şekil 3.1. PLC'nin iç yapısı

PLC'nin iç yapısı 5 grup altında incelenebilir. Bunlar besleme kaynağı, CPU (merkezi kontrol ünitesi), hafıza, giriş ve çıkış kapıları ile çevre birimlerinden oluşur.

3.2.1. Besleme kaynağı

Sistemin içinde RAM bellek ve gerçek zaman saati bulunması nedeniyle besleme geriliminin kesilmemesi gerekir. 110 volt ile 240 Volt arasında herhangi bir AC gerilim ile PLC beslenebilir. Bu besleme geriliminden 24 Volt DC gerilim elde edilir. Kullanıcıya kolaylık olması istenirse 24 voltun dışarıya çıkışından 0.250 Ampere kadar akım çekilebilir. Hafızaların kaybını önlemek için bir adet Lityum pil PLC'nin önünde bulunan bölüme yerleştirilmiştir. Bu pilin durumu bir kırmızı LED ile kullanıcıya bildirilir. Pil bittiği veya gerilimi düştüğü an bu LED yanıp sönmeye başlar.

EK-3.(Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

3.2.2. Giriş birimi

Programlanabilir kontrolör, programını ilgilendiren çevresel değişiklikleri, giriş kanalları ile kabul ettiği veriler aracılığı ile öğrenir. Giriş birçok cihazdan gelebilir. Bunlar arasında butonlar, anahtarlar, düğmeler, mikro şalterler, röleler, sınır anahtarları, fotosel (optik) algılayıcılar, sensörler, dedektörler, endüktif etki ile çalışan yaklaşım şalterleri veya PLC'ye uygun bir giriş sinyali üretebilecek cihaz ve makineler sayılabilir. Giriş sinyalleri nitelikleri bakımından üçe ayrılırlar.

Ayrık sinyaller

Butonlar, şalterler, sınır anahtarları, optik algılayıcılar, vb. ayrık giriş sinyali üreten cihazlardır. Bunlar arasında pano üzerinde kullanıcının müdahalesi ile çalışan türlerin yanında tezgah üzerinde makinenin hareketleri ile devreye giren otomatik kontrolü mümkün kılan türleri de vardır.

Sayısal sinyaller

Bilgisayarlar, PLC'ler, mikro işlemci donanımlı cihazlar ile sayısal değerler üreten özel ölçüm aygıtları ve anahtarlarından alınan sinyallerdir. Mikro işlemciye sahip cihazlar dijital esaslı çalıştıklarından birbirleri arasında kolayca veri aktarımı yapılabilir.

Analog sinyaller

Basınç, hız, sıcaklık, akış ve titreşim ölçümü yapılan cihazlardan alınan sinyaller analog tipindedir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

3.2.3. Çıkış birimi

Bir PLC, otomatik kontrolde yer alan birçok cihaza çıkış verebilir. Bunlar arasında selenoid valf, küçük motorlar, motor kontaktörleri, lambalar, röleler, vanalar, alarmlar, elektromanyetik kavrama, yüklerin çalışma şartlarını gösteren sinyal lambaları ve dijital gösterge sayılabilir.

Çıkış sinyalleri de aynen giriş sinyallerindeki sınıflandırmaya sahiptir. Ayrık sinyallere ;lambalar ve röleler, sayısal sinyallere dijital veriler, analog sinyallere motorlar ile ilgili sinyaller örnek verilebilir.

PLC'ler tiplerine göre değişik çıkış gerilimlerinde (5V, 24V, 110V, 220 V.) çalışan çıkış devrelerine sahiptirler. Her çıkışın izlenebilmesi için konumlarını gösteren ışıklı led diyotları PLC üzerinden çıkarılır.

3.2.4. Merkezi işlem birimi (CPU)

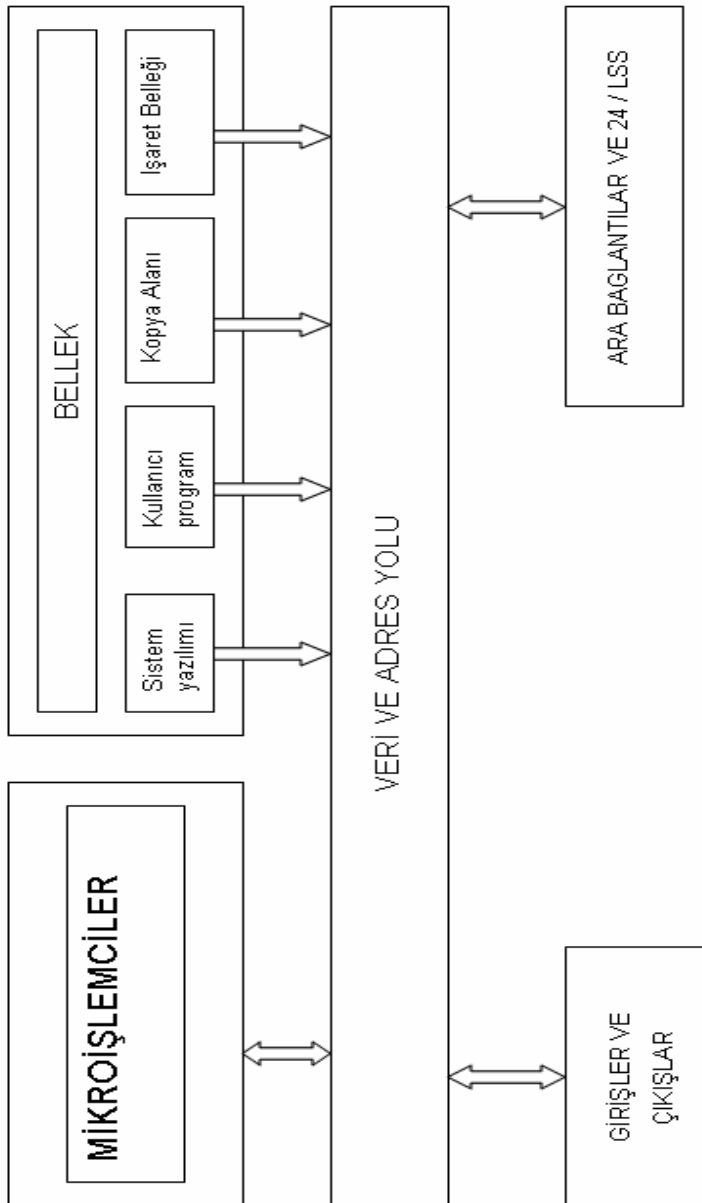
Otomasyon cihazı PLC kapalı bir üniteden oluşur. İçerisinde mikroişlemci işaret ve programlar için bellek, giriş ve çıkış üniteleri ve enerji besleme kaynağı bulunur. Kumanda sisteminden yapılması istenenler otomasyon cihazının program belleğine yazılır. Söz konusu program ayrı bir program cihazı (PC veya cihaza ait özel programlayıcı) yardımı ile yapılır. Şekil 3.2' de merkezi işlem birimi ile diğer elemanların ilişkileri verilmektedir.

PLC'de merkezi işlem ünitesi elemanlarının görevleri

Program belleği; tüm bağlantı komutlarını içinde bulunduran bir bellektir. Komutların tamamı programı oluşturur. Program belleği binlerce bellek hücresinden oluşur. Komutların kayıt edildiği program belleğine uygulanacak kumanda programı bir programlama gereci ile yazılabilir veya bir bellek modülü ile aktarılabilir. Kumanda programı belirli işlem sırasını takip eden komut akışından oluşur. Program belleğindeki program merkezi işlem

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

birimine aşağıdaki verileri iletir. Hangi giriş verilerinin alınacağını, bu verilerle ne yapılacağını, bunların birbiriyle nasıl ilişkilendirileceğini, çıkışa hangi verilerin aktarılacağını belirler.



Şekil 3.2. Bilgi işlem birimi veri akış şeması

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

PLC yazılım programları

PLC ile otomasyonda firma ve kullanıcı programı olmak üzere 2 tip program kullanılmaktadır.

Firma programı

Temel yazılım olup üretici firma tarafından kullanıcıya verilir. Firmanın sağladığı yazılım programının başlıca görevleri aşağıdaki gibidir.

- Kullanım, programlama ünitesi vasıtasıyla kullanıcı ile PLC arasındaki iletişim programlama cihazı üzerinden sağlanmaktadır.
- Bilgi akış kontrolü, elemanlar arasındaki veri akışında koordinasyonu sağlamak (bellek, girişler ve çıkışlar vb) veriler, fonksiyonel elemanları birbirine bağlayan veri yolu üzerinden taşınır.
- Yönetim, kullanıcı programını işletebilmesi için gerekli organizasyonu yapar.

Kullanıcı programı

Kullanıcı denetimi yapılacak sistemin kumanda-kontrol programını kendisi yazar. Bu program bir bellekte (kullanıcı belleği) saklanır. Mikroişlemci bu programla çalışır. Kullanıcı program belleğinin de belirli bir kapasitesi vardır. Sistemin çalışma prensibi gereği ne yapılacağını kesin olarak tanımlayan kullanıcı komutları, mikroişlemci tarafından sırası ile işlenir. İşlemin sonucu sinyal belleğinde geçici olarak saklanır. Son komut işlendikten sonra, programa tekrar baştan başlanır. Kullanıcı programı, programlama cihazı yardımıyla sadece bir kere yazılır istenildiği zamanda değiştirilebilir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

Sinyal belleği

Bellek programlamalı kumanda ünitesi tarafından işlenen bütün sinyaller (butonlar, kontaktörler, algılayıcılar ve benzerlerinden alınan kumanda işaretleri) işlenmeleri süresince saklanmaları gerekir. Benze şekilde gerçekleştirilen bağlantıların sonuçları da burada saklanır. Sinyal belleği, mantık işlemlerinin sonucunu geçici olarak saklamaktan başka anahtar, algılayıcı, vb giriş donanım bağlantılarının mevcut durumunu da saklar. Bu özellik programın bir çevrimi sırasında giriş sinyallerinin sabit kalması açısından önemlidir. Yine çıkış sinyallerinin sabit kalması açısından önemlidir. Yine çıkış sinyallerinin mevcut değerleri de burada saklanır.

Programın bir çevrimi bittikten sonra, giriş sinyallerinin mevcut durumu sinyal belleğine alınır. Çıkış sinyallerinin mevcut değerleri ise çıkış terminaline alınır. Hiçbir terminalde gönderilmeyecek olan ara sonuçlar merker-saklayıcı denilen kısımlarda saklanır.¹

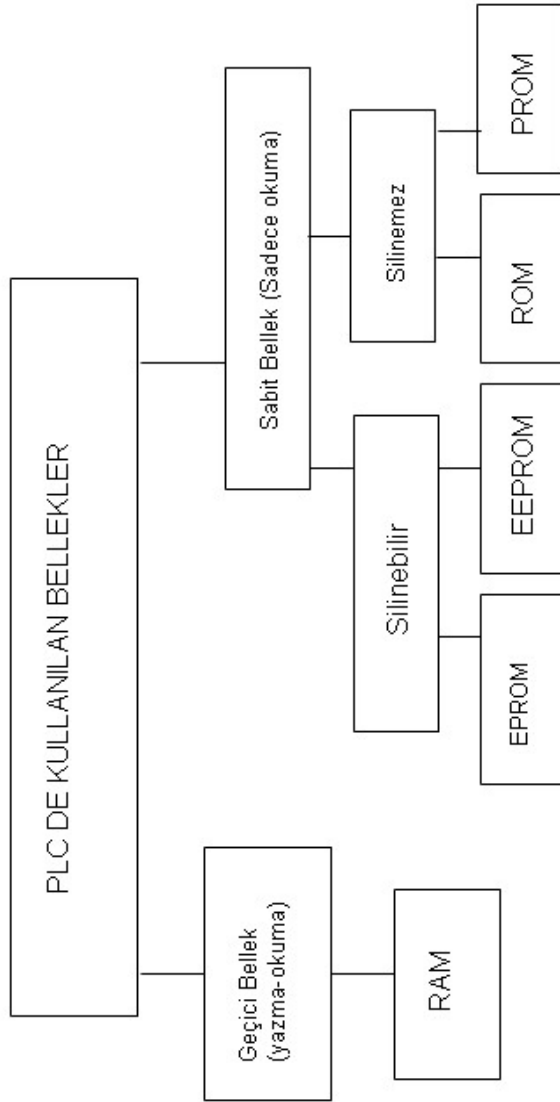
Zamanlayıcı ve sayıcı değerleri de, istenilen değer ve mevcut değer olmak üzere iki değer şeklinde işaret belleğinde saklanır. Her zamanlayıcının başlatma için bir giriş değeri ve bir çıkışı vardır. Sayıcıların ise bir giriş tetikleyicisi, bir serbest bırakma giriş değeri ve bir çıkışı vardır.

3.2.5. Bellek (Hafıza)

PLC'de kullanılan bellekler geçici ve sabit bellek olmak üzere iki grupta toplanır. Bellek türleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

¹ Merkerler, kablo ile yapılan kumandalarda kullanılan yardımcı rölelerle eşdeğerdedirler

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri



Şekil 3.3. Bellek türleri

EK-3. (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

Geçici bellek

Bu bellek sınıfına ram'ler girmektedir.

RAM (Random Access Memory)

İçerisine bilgi yazılabilen ve okunabilen bellektir. Sürekli durum değiştiren bir çevreyi algılamak zorunda olan bir belleğin içeriğinin tekrar programlanabilmesi gerekir. İşletim sistemi yüklendikten sonra transfer edilen veya programlama cihazı ile yüklenen programlar ve bilgiler RAM belleğe kaydedilir. RAM'a kaydedilen bilgiler cihaz kapatılır veya besleme gerilimi kesilirse silinir. Programın büyüklüğü RAM kapasitesi ile doğrudan ilgilidir.

Program RAM kapasitesinden daha büyük ise çalıştırılmaz. Serbest programlanabilir PLC'lerde RAM bellek kullanılır.

Sabit bellek

Bu bellek sınıfı kendi içinde silinebilir ve silinemez olmak üzere ikiye ayrılır. Silinebilir bellekler EPROM ve EEPROM yer almaktadır. Silinemez bellek sınıfında ise ROM ve PROM yer almaktadır.

Silinebilir bellek

Bu sınıfta EPROM ve EEPROM yer almaktadır.

EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)

Silinebilir ve tekrar programlanabilir bellektir. Silme işlemi ultra viyole ışınlarla yapılmaktadır. Dezavantajı ayrı bir programlama cihazına gereksinim duymasıdır.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

PLC’de yazılan veya transfer edilen komutların ideal olarak korunabilmesine olanak tanır. Aynı zamanda elektriksel olarak silinebilir bellektir.

Silinemez bellek

Bu sınıfta ROM ve PROM yer almaktadır.

ROM (Read Only Memory)

İçinde bulunan bilgi veya komutlar sadece okunabilir. Bu bellek içerisine kullanıcı tarafından bilgi veya komut yazılamaz. İşlemleri sırayla yürüten bu belleklere örnek olarak otomatik ev aletleri verilebilir. Bu cihazlara yerleştirilen Rom program bellekleri kesinlikle değiştirilemez. ROM içerisine yerleştirilmiş olan program kalıcı olarak saklanmıştır. Sistemin besleme gerilimi kesilse dahi Rom içerisindeki bilgiler silinmez. Değiştirilebilir programlı PLC’lerde Roml’lar yeniden programlanabilmektedir.

PROM (Programmable Read Only Memory)

Kullanıcı tarafından sadece bir defa programlanabilir. Daha sonra değişiklik yapılamaz.

3.2.6. Çevresel birimler

Çevre birimleri kullanıcının PLC ile haberleşmesini gerçekleştirir. PLC’lerde haberleşme protokol, fiziksel ortam ve sinyal olmak üzere 3 temel unsurdan oluşmaktadır.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

Protokol

Protokol haberleşme sisteminde veri alışverişi format ve veri zamanlaması için kullanılan kurallar topluluğudur. Protokoller dillere benzemektedir. Cihazlar birbirleriyle konuşabilmeleri için aynı protokolü desteklemeleri gerekmektedir. Her bir PLC firmasının ürettiği cihazların uyumlu olarak çalıştığı protokoller farklıdır. Örnek olarak Quantum kontrolör yedi ayrı iletişim ağında görev yapmaya olanak tanır. Bunlar;

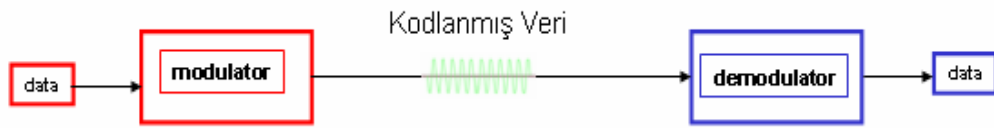
- Modbus
- Modbus Plus
- Ethernet (endüstriyel)
- Interbus-S
- Lan Works
- TCP/IP
- TCP/IP + Modbus ağlarıdır.

Her ağın iletişim standartları, protokolü, transfer veri hareketi kendine özgü olup birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Farklı iletişim ağları arasında uyum mümkündür. Ağ bağlantıları sayesinde PLC'ler, bilgisayarlar, programlayıcılar, insan-makine arabirimleri arasında iletişim gerçekleştirilmekte ve birçok kaynaktan bilgi aktarımı ve yönlendirme sağlanabildiğinden iletişim mimarisi esneklik kazanmaktadır. Tanı teşhis programları ve görsel led lambaları ile ağdaki hataların tespiti kolayca yapılabilmektedir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

Sinyal

Sinyal fiziksel ortam üzerinde taşınan verinin kodlanmış halidir. Şekil 3.4’de sinyal iletim şeması verilmektedir.



Şekil 3.4. Sinyal iletim şeması.

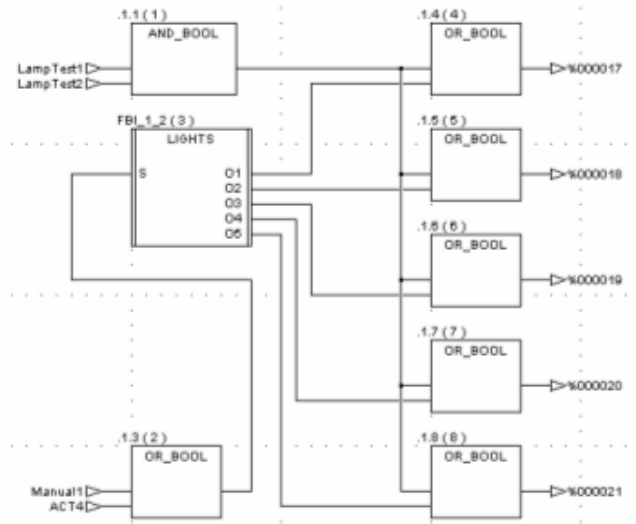
3.3. PLC Programlama Dilleri

PLC’nin programlanması için birden fazla yöntem geliştirilmiştir. IEC standartlarında ve IEC standardı dışında kalanlar olmak üzere iki grupta programlama yapılır. Günümüz PLC’leri IEC standartlarında programlama yapılabilir. Bunlar da kendi içinde Merdiven diyagram, basamaklı fonksiyon tablosu, fonksiyon blok diyagramı, metin yazılım ve komut yazılım olmak üzere 5 farklı dilde programlama yapılabilir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

3.3.2. Fonksiyon blok diyagramı

Fonksiyon blok diyagramının elemanları grafik olarak gösterilen fonksiyon ve fonksiyon bloklarıdır. Bu elemanlar, sinyal iletim hatları ile birbirleriyle bağlanırlar. Şekil 3.6'da fonksiyon blok diyagramına ait örnek verilmektedir.

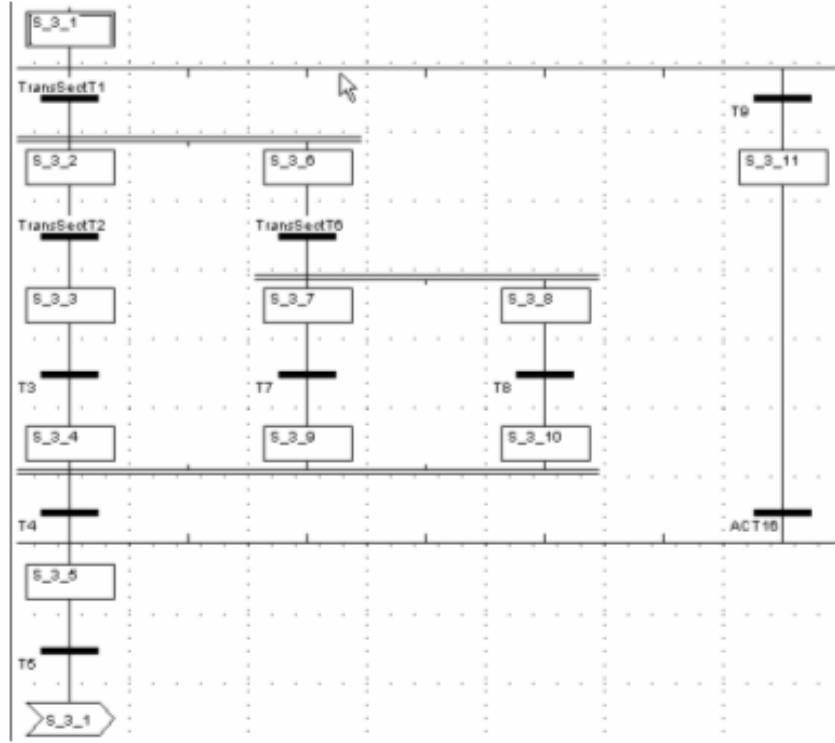


Şekil 3.6. Fonksiyon blok diyagramı.

3.3.3. Basamaklı fonksiyon diyagramı

Basamaklı fonksiyon diyagramı kumanda sistemlerine yönelik bir temel programlama aracı olarak tanımlanmaktadır. Açık olarak bölümlere ayrılmış yapısından dolayı bir kumanda programını özellikle anlaşılabilir duruma getirdiği için (IEC 61131-3)'ün en önemli bir bölümünü meydana getirmektedir. Şekil 3.7'de basamaklı fonksiyon diyagramına ait örnek verilmektedir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri



Şekil.3.7. Basamaklı fonksiyon diyagramı

3.3.4. Metin yazılım

Yapılandırılmış metin programlama dili, Pascal diline benzeyen yüksek seviyeli bir programlama dili olup, bu dillerin temel felsefelerini, özellikle de verilerin ve işlemlerin yapılandırılması ile ilgili olan en önemli prensipleri bileştirmiştir. Verilerin yapılandırılması, diğer beş programlama dilini meydana getiren ortak bölümdür. İşlemlerin yapılandırılması ise sadece metin dilinin önemli bir özelliğidir. Şekil 1.8'de metin yazılımına ait örnek verilmektedir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

```

Structured Text Start
VAR
  TIMER : TON;
END_VAR

TIMER(IN := NOT pulse,
      PT := t#1s); (* Blink timer *)
pulse := TIMER.Q;

(* Count every pulse *)
IF pulse = 1 THEN
  count := count + 1;
END_IF;
(* Animate lights according to counter *)
CASE count OF
  1: out1 := TRUE;
  2: out2 := TRUE;
  3: out3 := TRUE;
  4: out4 := TRUE;
  5: out5 := TRUE;
  6: out6 := TRUE;
  7: out7 := TRUE;
  8: out8 := TRUE;
ELSE (* All lights are on, switch them off again and start from the beginning *)
  out1 := FALSE;
  out2 := FALSE;
  out3 := FALSE;
  out4 := FALSE;
  out5 := FALSE;
  out6 := FALSE;
  out7 := FALSE;
  out8 := FALSE;
  count := 0;
END_CASE;
Structured Text End

```

Şekil 3.8. Metin yazılımı

3.3.5. Deyim listesi

Deyim listesi, metin olarak yazılan bir programlama dilidir. Bu dilde yazılan kumanda ard arda verilen komutlardan meydana gelmektedir. Ancak burada her bir komutun yeni bir satıra yazılması gerekir. Bir komutun formüle edilmesi için, önceden belirlenmiş olan sabit bir format bulunmaktadır. Her komut gerektiğinde ilave edilen bir operatörle (And, or, vb.) başlar. Bu operatörü sayet gerekliyse her bir işlem için birbirinden virgülle ayrılan bir veya birden fazla operant takip eder. Şekil 3.9'da deyim listesine ait örnek verilmektedir.

EK-3 (Devam) Programlanabilir mantık denetleyicileri

```

~~~~~~ INSTRUCTION LIST START ~~~~~~
VAR
  RUN_TIMER : TON; (* Blink timer *)
END_VAR

  (* Default for the marker *)
  LD    run_light1
  ST    run_light

  (* Create a 1.0 Hz. pulse *)
  LD    run_pulse
  STN   RUN_TIMER.IN
  CAL   RUN_TIMER(PT := t#1s)
  LD    RUN_TIMER.ET
  ST    animatetime
  LD    RUN_TIMER.Q
  ST    run_pulse
  JMPCH end      (* No pulse yet, nothing to do *)

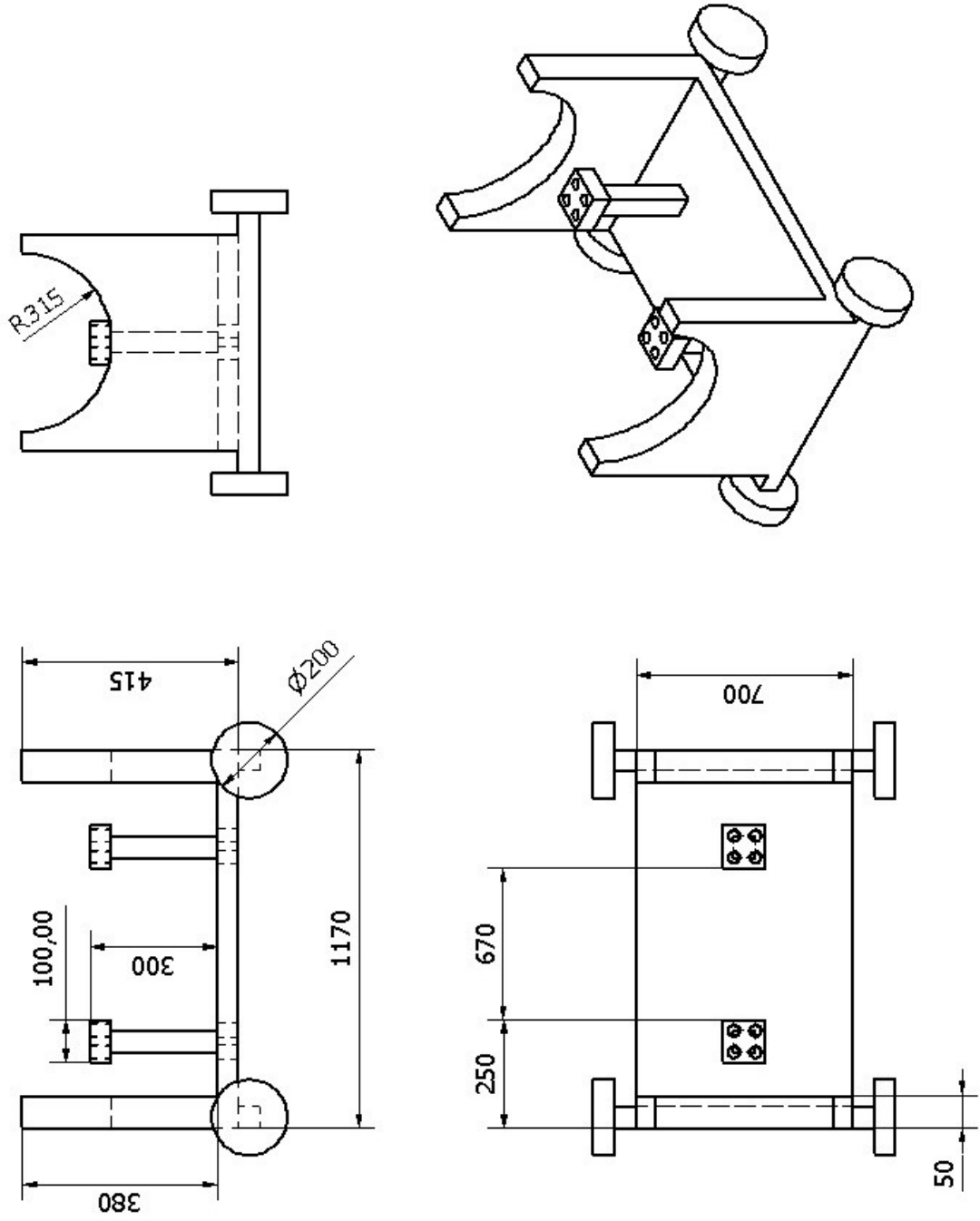
  LD    run_light8      (* Rotate all bits one position "up"
  ST    run_light
  LD    run_light7
  ST    run_light8
  LD    run_light6
  ST    run_light7
  LD    run_light5
  ST    run_light6
  LD    run_light4
  ST    run_light5
  LD    run_light3
  ST    run_light4
  LD    run_light2
  ST    run_light3
  LD    run_light1
  ST    run_light2
end:LD   run_light
      ST   run_light1

~~~~~~ Instruction List End ~~~~~~

```

Şekil 3.9. Deyim listesi

EK-4 Test montaj arabası



Resim 4.1 T700 motoru test montaj sehпасı teknik resmi.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERBAY, Erhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.08.1975 Ürgüp
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 252 62 00 /5431
Faks :0 (312) 252 61 82
e-mail : erhanerbay@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Müh. Böl.	1998
Lise	Başkent Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-	5 nci Ana Bakım Merkezi K.İğİ/ANKARA	Makina Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilim -Teknik , Havacılık, Bilgisayar Teknolojileri, Futbol