

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YANMA ODASI BASINCI  
ÖLÇME SİSTEMİNİN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Reha OĞUZ**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**Danışman: Prof. Dr. Zafer DÜLGER**

**KOCAELİ , 2008**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YANMA ODASI BASINCI  
ÖLÇME SİSTEMİNİN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Reha OĞUZ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Mayıs 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 07 Temmuz 2008**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Zafer DÜLGER**

**Üye**

**Doç. Dr. Ahmet ERDİL**

*Ahmet Erdil*

**Üye**

**Doç. Dr. Adnan PARLAK**

*Adnan Parlak*

**KOCAELİ, 2008**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Silindir içi basıncı içten yanmalı bir motorda ölçülmesi mümkün olan en önemli değişkendir. Ölçülebilen diğer değişkenlerin aksine bu değişken, yanma olayı süresince motor silindirleri içersinde ne gibi olayların cereyan ettiği hakkında detaylı bilgiler elde edilmesini sağlar. Silindir içi basıncı, içten yanmalı bir motorun kalp atışlarına, silindir içi basıncın ölçülmesi ve elde edilen verilerin analizi de motor kardiyolojisine benzetilebilir.

Bu tez, buji ile ateşleme sistemine sahip içten yanmalı bir motordaki silindir basıncı ölçümlerinden alınan zengin içerikli bilgilerin sağladığı avantajları elde etmeye yönelik deneysel bir çalışmadır.

Motorlarda yanma odası basıncı ölçümü konusundaki deneysel çalışmaya girmem için beni destekleyen ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Zafer DÜLGER'e, Deney setinin kurulmasında ve çalışmanın her aşamasında katkı sağlayan Doç. Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya, Doç. Dr. Adnan PARLAK'a, Arş. Gör. Murat KAPSIZ'a, Arş. Gör. Gökhan ERGEN'e, Arş. Gör. Vezir AYHAN'a ; manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Z. Özlem OĞUZ'a ve hayatım boyunca beni destekleyip bugünlere getiren annem Emine OĞUZ ile babam Rahmi OĞUZ'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	vii
ÖZET.....	x
İNGİLİZCE ÖZET.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. MOTOR DİZAYNI VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİ.....	15
2.1. Önemli Motor Karakteristikleri.....	15
2.2. Pistonlu Motorların Geometrik Özellikleri.....	16
2.3. Fren Torku ve Güç.....	21
2.4. Çevrim Başına Düşen İndike Güç.....	23
2.5. Mekanik Verim.....	25
2.6. Ortalama Efektif Basınç.....	26
3. SİLİNDİR BASINCI VERİLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ.....	29
3.1. Yanma Verimi.....	30
3.2. Direkt Enjeksiyonlu Motorlar.....	31
4. GERÇEK ZAMANLI VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ.....	40
4.1. Gerçek Zaman Arayüzü.....	40
4.2. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi Elemanları.....	40
4.2.1. Sensörler.....	42
4.2.1.1. Sensörlerle ilgili genel terimler.....	42
4.2.1.2. Statik ve dinamik karakteristikler.....	44
4.3. Anlık Motor Verilerinin Toplanması.....	45
4.3.1. Sinyal Şartlandırıcı.....	45
4.3.2. Çoklama (Multiplexing).....	46
4.3.3. Analog / Dijital Çeviriciler.....	46
4.3.4. Örnekleme ve Tutma.....	47
4.3.5. Hız Sinyali ve Şaft Kodlayıcısı.....	47
4.3.6. Devir ve Üst Ölü Nokta (ÜÖN) Referans Sinyali.....	48
4.3.7. Örnekleme Hızı.....	49
4.4. Silindir Basıncının Ölçülmesi.....	51
4.4.1. Piezo-elektrik Basınç Sensörü Prensibi.....	51
4.4.2. Basınç Sensörünün Hazırlanması.....	53
4.4.3. Sensör Çıkışının Mutlak Basınca Çevrilmesi.....	54
5. DENEY KOMPONENTLERİNİN AÇIKLANMASI.....	56
5.1. Deney Materyalleri.....	56
5.1.1. Deney Motoru.....	57
5.1.2. Basınç Sensörü.....	58
5.1.3. Kodlayıcı (Encoder).....	60
5.1.4. Yük Amplifikatörü ve Sinyal İşleyici.....	61
5.1.5. Veri Aktarma Sistemi.....	63

5.1.5.1. Veri toplama arayüz kartı.....	63
5.1.5.2. Veri toplama kartı.....	64
5.1.6. Sinyal Düzenleyici.....	65
5.2. Yazılım.....	66
6. PROJENİN UYGULANMASI.....	67
6.1 Genel Tanım.....	67
6.2. Veri Toplama Sisteminin Genel İşleyişi .....	68
6.3 Veri Toplama Sisteminin Hassasiyeti ve Ölçülen Değerlerin Doğruluğu.....	68
6.4. Ölçüm ve Analiz Süreçlerinin Adımları .....	73
6.4.1. Ölçüm.....	73
6.4.1.1. MATLAB programında yazılan ölçüm programının çalıştırılması.....	74
6.4.2. Analiz.....	75
7. SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR.....	86
EKLER.....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	101

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Silindir, piston, bağlantı mili, ve krank milinin geometrik şekli.....	18
Şekil2.2. Anlık piston hızının ortalama piston hızına oranının krank açısına bağlı olarak gösterilmesi.....	20
Şekil 2.3. Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi.....	21
Şekil 2.4. P-V diyagramı örnekleri. (a) iki stroklu çevrime sahip motor için, (b) dört stroklu çevrime sahip motor için, (c) dört stroklu çevrime ve buji ateşleme sistemine sahip bir motorun P-V diyagramı ve egzoz ve giriş strokları.....	23
Şekil 3.1. Yanma süresince toplam ve net ısı transferinin değişimi.....	34
Şekil 3.2. Silindir basıncı, $p$ ve silindir basıncından hesaplanan yakıtın kütsel yanma hızının, Krieger ve Borman metodunun kullanılmasıyla krank açısının bir fonksiyonu olarak gösterilmesi.....	37
Şekil 3.3. Değişkenlerin yanma odasında ve ön odada direkt enjeksiyonlu dizel motorun ısı transfer analizi için şematik olarak gösterilmesi.....	39
Şekil 4.1. Üç Sensör ve İki Hareket Elemanı Bulunan VTKS Sisteminin Ana Elemanları.....	41
Şekil 4.2. Devir Referans Sinyali Üretilmesi.....	49
Şekil 4.3. Silindir Basınç Ölçüm Düzenegi.....	51
Şekil 4.4. Piezo-elektrik Basınç Sensörleri.....	52
Şekil 5.1. Deney Seti.....	56
Şekil 5.2. Deneyde Kullanılan Tek Silindirli Motor.....	57
Şekil 5.3. Kistler 6061B Basınç Sensörü.....	59
Şekil 5.4. Kodlayıcı (Encoder).....	61
Şekil 5.5. Veri Toplama Arayüz Kartı.....	63
Şekil 5.6. Veri Toplama Arayüz Kartı Bağlantıları.....	63
Şekil 5.7. Veri Toplama Kartı.....	64
Şekil 5.8. Sinyal Düzenleyici.....	65
Şekil 6.1. Deney Sisteminin Blok Halinde Gösterimi.....	67
Şekil 6.2. Derece Başları ve Derece Başlarındaki Basınç Bilgilerinin Gösterilmesi.....	71
Şekil 6.3. Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Önceki Sinyal Görüntüleri.....	76
Şekil 6.4. Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Sonraki Sinyal Görüntüleri.....	76
Şekil 6.5. Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Önceki Sensör Verilerinin Grafiği.....	77
Şekil 6.6. Düzeltme Katsayısıyla Çarpıldıktan Sonraki Sensör Verilerinin Grafiği.....	77
Şekil 6.7. Düzeltilmiş Sinyal Görüntüleri.....	78
Şekil 6.8. Filtrelemeden Önceki Sensör Verilerinin Görüntüsü.....	79
Şekil 6.9. Filtrelemeden Sonraki Sensör Verilerinin Görüntüsü.....	79
Şekil 6.10. İkinci Filtreden Sonra Sensör Bilgisi Görüntüsü.....	80
Şekil 6.11. Basınca Dönüştürülmüş Sensör Bilgisi.....	82
Şekil 7.1. Ölçümlerdeki Verilerden Elde Edilen Basınç – Hacim Grafiği.....	83

Şekil 7.2 Silindir İçi Basıncın Krank Açısına Bağlı Değişimi..... 84

## **TABLolar DİZİNİ**

Tablo 4.1. Bir Basınç Sensörünün Özellikleri (Kistler).....	43
Tablo 5.1 Test Motorunun Teknik Özellikleri.....	58
Tablo 5.2 Kullanılan Basınç Sensörünün Teknik Özellikleri.....	59
Tablo 5.3 Kullanılan Enkoderin Teknik Özellikleri.....	61
Tablo 5.4 Yük Amplifikatörüne Ait Teknik Özellikler.....	62
Tablo 5.5 Veri Toplama Kartının Teknik Özellikleri.....	64
Tablo 5.6 Sinyal Düzenleyiciye Ait Teknik Bilgiler.....	65



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

### SEMBOLLER

- A : toplam yüzey alanı ( $\text{cm}^2, \text{m}^2$ )  
A<sub>ch</sub> : silindir başının yüzey alanı ( $\text{cm}^2, \text{m}^2$ )  
A<sub>p</sub> : piston tacının yüzey alanı ( $\text{cm}^2, \text{m}^2$ )  
b : F kuvvetinin rotor merkezine olan dik uzaklığı (cm,m)  
A<sub>v</sub> : aracın ön yüzey alanı  
B : silindir çapı (cm, m)  
C : sinyal şartlandırıcının çıkış voltajı ile basınç arasındaki oranı belirleyen katsayı  
C<sub>D</sub> : aracın aerodinamik direnci  
C<sub>R</sub> : dönme direnci katsayısı  
E<sub>AÖN</sub> : piston alt ölü noktada iken sinyal şartlandırıcı çıkışındaki voltaj değeri (mV,V)  
E<sub>0</sub> : herhangi bir krank açısındaki voltaj değeri (mV, V)  
F : kuvvet (N)  
g : yerçekim ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )  
h<sub>i</sub> : sisteme giren veya çıkan akışın entalpisi  
l : bağlantı mili uzunluğu (cm,m)  
L : strok uzunluğu (cm,m)  
m : kütle (gr,kg)  
m<sub>f</sub> : silindire beslenen yakıt kütlesi (g, kg)  
m<sub>i</sub> : i bölgesinde tüm sistem sınırları boyunca sistemin içine doğru olan kütle transfer hızı (gr/s, kg/dk.)  
m<sub>0</sub> : yakıtın rnjeksiyondan önceki kütlesi (gr, kg)  
M<sub>v</sub> : aracın kütlesi (kg)  
N : krank milinin dönme hızı (devir/dk.)  
N<sub>R</sub> : her bir silindir, bir güç stroku boyunca krankın yaptığı devir sayısı  
P : basınç (Pa,bar)  
P<sub>AÖN</sub> : piston alt ölü noktada iken ölçülen basınç değeri (bar, Pa)  
P<sub>b</sub> : fren gücü (W)  
P<sub>f</sub> : sürtünme gücü (W)  
P<sub>i</sub> : her bir silindir tarafından üretilen güç (W)  
P<sub>ig</sub> : rulmanların, pistonların ve motorun diğer mekanik aksamının oluşturduğu sürtünmeleri yenmek için ve motor parçalarının çalıştırılması için kullanılan toplam güç (W)  
Q : sisteme yapılan ısı transferi miktarı (cal,kcal)  
Q<sub>n</sub> : sisteme yapılan net ısı transferi (cal, kcal)  
Q<sub>ht</sub> : silindir çeperlerine yapılan ısı transferi (cal, kcal)  
Q<sub>LHV</sub> : düşük yanma ısısı (cal,kcal)  
r<sub>c</sub> : sıkıştırma oranı.  
R : bağlantı mili uzunluğunun krank çapına oranı  
R : mutlak gaz sabiti

$R_{BS}$	: silindir çapının strok uzunluğuna oranı
$s$	: krank mili eksenine ile piston pimi eksenine arasındaki uzaklık
$\bar{S}_p$	: ortalama piston hızı (m /s)
$S_v$	: aracın hızı (km / h)
$T$	: motor tarafından üretilen tork (Nm)
$T$	: mutlak sıcaklık ( $^0K$ )
$U$	: sistem içerisindeki tüm maddelerin toplam enerjisi (j,kj)
$V$	: silindir hacmi ( $cm^3$ )
$V_c$	: minimum silindir hacmi ( $cm^3$ )
$V_d$	: süpürülen silindir hacmi ( $cm^3$ )
$W_{c,i}$	: her çevrimde elde edilen indike iş (j)
$W_{c,ig}$	: sıkıştırma ve genişleme strokları boyunca piston üzerine yapılan iş (j)
$W_p$	: pompa işi (j)
$\alpha$	: krank çapı (cm,m)
$\theta$	: krank açısı (derece)
$\square$	: denge oranı
$\gamma$	: özgül ısıların oranı.
$\eta_m$	: mekanik etkinlik
$\rho_a$	: çevresel hava yoğunluğu ( $g / cm^3, g / m^3$ )

## KISALTMALAR

A/D	: Analog / Dijital
AC	: Alternative Current
ADC	: Analog – Dijital Çevirici
D/A	: Dijital / Analog
d/d	: devir / dakika
DC	: Direct Current
DHK	: Doğrudan Hafıza Kullanımı
EGGD	: Egzoz Gazı Geri Dönüşümü
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
F / A	: hava – yakıt oranı
GAGÇK	: Genel amaçlı giriş-çıkış kartı
HC	: Hidro Karbon
HCCI	: Homogenous Charge Compression Ignition
HP	: Horse Power
IMEP	: Indicated Mean Effective Pressure
KA	: Krank Açısı
LPF	: Low Pass Filtre

mep : mean effective pressure  
NIK : Negatif Sıcaklık Katsayılı  
SiC : Silikon-Karpit  
SPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı  
VIS<sup>TM</sup> : Vibration Insensitive Sensing  
VTKS : Veri Toplama ve Kontrol Sistemi  
VTS : Veri Toplama Sistemi  
ÜÖN : Üst Ölü Nokta

# İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YANMA ODASI BASINCI ÖLÇME SİSTEMİNİN TASARIMI

REHA OĞUZ

**Anahtar Kelimeler :** Basınç, piezo-elektrik sensör, içten yanmalı motor, enkoder.

**Özet :** İçten yanmalı motorlar, yüz yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. İlk içten yanmalı motor, buji-ateşlemeli olarak 1876 yılında Otto tarafından geliştirilmiştir. 1892 yılında ise Diesel patlamalı motorları icat etmiştir. Bu tarihten günümüze motorlar sürekli olarak gelişmektedir ve motorda gerçekleşen süreçler hakkındaki genel bilgi düzeyi, yeni teknolojilerin kullanılabilir hale gelmesiyle, yeni motor teknolojilerine olan talep arttıkça ve motorların kullanımı ile ilgili çevresel kısıtların değişmesiyle birlikte artış göstermiştir. İçten yanmalı motorlar ve bu motorun üretiminde rol alanlar, güç ve enerji alanında baskın bir role sahiptirler. Son 25 yılda motorlar üzerine yapılan çalışmalar ve kaydedilen gelişmeler büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu çalışmalar daha çok alternatif yakıt türlerinin içten yanmalı motorlarda kullanılması, hava kirliliğini azaltan egzoz gazlarının emisyonu ve resirkülasyonu, yakıtın daha ekonomik kullanımı gibi konular üzerine yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmada, içten yanmalı bir motorun silindir içi basıncının krank açısına bağlı değişimi incelenmiştir. Motora ait bu verilerin toplanması ve analiz edilmesi, motorda gerçekleşen yanma sürecinin karmaşık yapısı hakkında önemli bilgiler elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada içten yanmalı bir motora ait verilerin toplanması ve analiz edilmesini sağlayan bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Motora ait verilerin toplanması ve değerlendirilmesi, motorun çalışma koşulları altındaki karakteristik özelliklerini belirlemek için hem endüstriyel olarak hem de akademik amaçlı olarak kullanılmaktadır. Toplanması ve analizi mümkün olan motor verilerinden en kullanışlı olanı silindir içi basınç verileridir. Basıncın ve basınç verilerinden elde edilen parametrelerin analiz edilmesi kompleks yanma süreci hakkında detaylı bilgiler elde edilmesini sağlar.

Motora ait verilerin kaydedilmesine yönelik bir çok metot vardır. Geleneksel uygulamalarda veri sabit bir hızla kaydedilir ve iki kayıt noktası arasındaki zaman farkı her zaman sabittir. Fakat motor çevrimi bir dizi mekanik mekanizmanın birleşiminden (sürgü-krank mekanizması, poppet valfleri v.b) meydana geldiğinden ve bu mekanizmalar için yanma olayının nasıl cereyan ettiği büyük önem taşıdığından verilerin belirli bir zaman aralığı yerine belirli bir krank açısı aralığında kaydedilmesi gerekir.

# **DESIGNING OF THE COMBUSTION CHAMBER PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

**Reha OGUZ**

**Keywords :** Pressure, piezo-electrical sensor, internal combustion engine, encoder

**Abstract :** Internal combustion engines have a history about 100 years. The first internal combustion engine was a spark ignition engine and was developed by Otto in 1876. In 1892, Diesel invented the compression ignition engine. Since that time they continue to develop, as our knowledge about the processes that takes place in an engine, as new technologies became available, as the demand for new technologies arose, and as the environmental constraints changed. Internal combustion engines and the industry which manufactures the engines, has a vital role in the fields of power and energy. In the last 25 years the research on the internal combustion engines had an explosive growth. These researchers usually focused on using alternative fuels in the internal combustion engines, emission and recirculation of the exhaust gases that pollute the air and more economic ways to use fuels in the engines.

In this study, the changes of in cylinder pressure of an internal combustion engine based on crank angle are analyzed. Gathering and analyzing these type of engine data supplies valuable information about the complex burn processes that take place in the engine. In this project, it's aimed to develop a system that is capable of gathering and analyzing engine data.

Gathering and analyzing the engine data is used in industry and also is used for academic purposes and determining the characteristics of an engine under working conditions. The most useful data type that is possible to collect and analyze, is the in-cylinder pressure data for an engine. Analyzing the pressure data and the parameters that relate to the in-cylinder pressure, gives detailed information about complex burn processes.

There are a lot of ways to store the engine data. In most applications, data is gathered in a constant speed and the time difference that passes along the two data points is always constant. But because of the engine cycle consists of some mechanical processes and it's important how the burn processes takes place for these mechanical systems, it's advisable to collect the data in a constant crank angle range instead of gathering these data in a constant time period.

## 1. GİRİŞ

Bu tezin amacı, motora ait verilerin krank açısına bağı olarak toplandığı ve analiz edildiğı bir sürecin kağıda dökülmesidir. Verilerin tam ve doğru bir şekilde kaydedilmesi motor performansına ait önemli parametrelerin analiz edilmesini sağlayacaktır.

Yanma sürecinin analizi ile elde edilen bilgiler, hem endüstriyel anlamda hem de akademik çalışmalarda, modifikasyonların motor dizaynı ve kalibrasyonu ve yanma hızı ve yanma sürecinin tamamlanması üzerine etkilerini belirlemede kullanılır.

Bu proje çok çeşitli amaçlar için kullanılabilir:

1. Motor Gelişimi: Motor kontrol sistemlerinin kalibrasyonu ve motor parçalarının tasarımında.
2. Motor Testi: Programlanabilir bir EKÜ ile birlikte kullanımı sağlandığında, sistem bir motorun kontrolünü ve yanma sürecine ait verilerin (ateşleme zamanı, IMEP değerlerinin ölçülmesi gibi) kaydedilmesini sağlayabilir.
3. Motor Kontrolü: Silindir basıncı ve hasar kontrolünü kullanan kapalı çevrim kontrol sistemlerinin araştırılmasında.
4. Öğrenme Amacıyla: Termodinamik ve içten yanmalı motorlarla ilgili öğrenme amaçlı aktivitelerin, toplanan silindir basıncı verileri ve elde edilen parametreler ile desteklenmesinde. (Robert, 2001)

Bu projede tamamlanan sistem, yanma olaylarının hızlı bir şekilde karşılaştırılmasına, verilerin hızlı bir şekilde toplanarak analiz edilmesine imkan sağlayacaktır.

Bu proje, veri toplama ve veri analizi konularındaki anahtar noktalar üzerine yayınlanmış olan çalışmalarla ilgili literatür taramasıyla başlamaktadır. Proje, veri toplama ve veri analizi olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. (Robert,2001)

Silindir içi basınç ölçümü konusunda literatürde yer alan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Zeng P ve Assanis D, (2004) yayınladıkları makalede silindir içi basıncının yapılandırılması ve ısı transfer analizine uygulanmasından söz etmişlerdir. Bu makalede, frekansla ilişkili olan boyutsuz basınç eğrileri konseptine bağlı olarak silindir basıncının yapılandırılmasını amaçlayan yeni bir metodun elde edilmesi amaçlanmıştır. Geniş bir motor yükü ve motor hızı aralığında çalışılmış olup silindir basıncı profillerinin bu geniş çalışma aralığı koşullarında benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Dolayısıyla, frekans alanındaki normalizasyondan sonra silindir basıncı izleri bir grup boyutsuz basınç eğrisine dönüşmektedir. Boyutsuz basınç eğrileri, istenilen herhangi bir koşul altında elde edilen basınç diyagramlarına dönüştürülebilen bir eğri ailesi ile tanımlanabilir. Bu makalede kullanılan metodun doğruluğunun analizi yapılmış ve motorun ısı transferi analizine uygulaması yapılmıştır.

Michal Takats, (2002) yayınladığı makalede silindir içi basınç verilerinin kaydedilmesi ve veri toplama sistemlerinden bahsetmiştir. Bu çalışmada Takats, test yatağı ölçüm mekanizmasının silindir içi basınç ölçümleriyle entegrasyonunu sağlamayı amaçlamıştır. Otomasyona dayalı veri toplama sistemi ve basınç ölçüm şablonu sistemi tasarlanmış ve bu iki sistemin birlikte kullanılmasının ne gibi avantajlarının olduğundan da bahsedilmiştir.

Hountalas D ve Anestis A, (1996) yaptıkları çalışmada, basınç sensörü pozisyonunun yüksek hızlı dizel motorlarda ölçülen silindir basıncı üzerine etkilerinden söz etmişlerdir. Bu çalışmanın ana teması, yüksek hızlı dizel motorlarda basınç dönüştürücüsü pozisyonunun ölçülen basınç diyagramları üzerine etkilerini saptamaktır. Bu amaçla simülasyonlar kullanılarak, yanma odası ve basınç sensörü arasındaki bağlantıyı sağlayan kanaldaki düzensiz akış probleminin sonlu farklar

metoduyla çözüldüğü teorik bir araştırma yapılmıştır. Değişik şartlar altında yüksek hızlı dizel motorun çalışmasını simüle edebilmek için basit bir yanma modeli kullanılmıştır. Teorik araştırma, bağlantı kanalı geometrisinin (çap ve uzunluk) ve motor hızı ile motora uygulanan yükün ölçülen basınç diyagramı ve bu diyagramdan elde edilen parametreler üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmaları içermektedir. Bu araştırma sonucunda, basınç sensörünün yanma odasından uzakta bir yere yerleştirilmesi ile meydana gelen basınç ölçüm hatalarının büyüklüğüne karar vermemizi sağlayan önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Shidfar A ve Garshasbi M, (2004) içten yanmalı bir motorun silindir içi basınç verilerine ait diferansiyel bir model üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla, sıkıştırma stroku analiz edilmiş olup silindir basıncı verilerinin modellenmesinde Fourier kuralı uygulanmıştır. Bu eşitlikte bilinmeyen bir fonksiyon ortaya çıkmaktadır. Bu bilinmeyen fonksiyon kübik B eğrilerine benzemektedir. Bu fonksiyondaki bilinmeyen parametreleri tahmin edebilmek için Levenberg – Marquardt algoritmasının değiştirilmiş bir şekli kullanılmıştır. Ana problemin nümerik çözümü basınç ölçümlerinin simülasyonlarında kullanılmıştır.

Sellnau M, (2000) basınç – oran yönetimini ve düşük maliyetli basınç sensörlerini kullanarak motorun silindir basıncına bağlı olarak kontrol edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Burada, düşük maliyetli, silindir basıncını ölçebilen ve dört silindirli motorun bujilerine takılabilen basınç sensörlerinin kullanıldığı bir motor kontrol sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem her bir silindirin ateşleme zamanını, hava/yakıt oranlarını ve en iyi yakıt ekonomisi ile her bir aracın tüm kullanım ömrü boyunca en düşük emisyonunu sağlayan egzoz gazı resirkülasyonunu (EGR) optimize etmek için oluşturulmuştur. Bu makalede, motor kontrolünü sağlayan sistemler ve silindir basınç sensörü sistemlerine değinilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ateşleme zamanı ve EGR kontrolü, hasar ve ateş almama tespiti, silindirden silindire hava/yakıt dengesi ve soğuk başlama kontrolünün gösterilmesiyle yayınlanmıştır.

Ivansson N,(2003) yayınladığı tezde HCCI tipi bir motorda artık gaz oranlarının silindir basıncına bağlı olarak tahmin edilmesine yönelik yöntemlerin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Bu tezin ana amacı, silindir basıncı verilerine bağlı olarak artık



gaz oranlarının tahmin edilmesini sağlayan bir algoritmanın formüle dökülmesidir. Gaz sıcaklığının da silindir basıncı ile birlikte kullanılmasıyla tahminleme yönteminin geliştirilebileceği vurgulanmıştır. Formüllerle ifade edilen bu algoritma, daha sonra dengeli koşullar altında çalışan tek silindirli bir HCCI motorundan elde edilen verilerle test edilmiştir. Testlerde elde edilen sonuçlar, simülasyonlardan elde edilen artık gaz oranları ile karşılaştırılmış ve ikisi arasında %4'lük bir hata payı olduğu görölmüştür. Bu tezde ayrıca hataya sebep olan faktörlerin etkileri de incelenmiştir.

Chen L ve Mehregany M,(2007) makalelerinde yüksek sıcaklığa ve basınca dayanıklı, silikon-karpit yapılı kapasitif bir basınç sensörü ile silindir içi basıncın ölçülmesinden bahsetmişlerdir. Bu makalede, düşük maliyetli minyatür boyutlarda ve üretimi seri olarak yapılabilen 300 °C – 600 °C arasındaki çalışma sıcaklıklarında yüksek basınçların ölçümünü gerçekleştiren ve silindir içi basınç verilerinin görüntülenmesi uygulamalarında kullanılan bir sensörün elde edilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu silikon-karpit (SiC) yapılı sensörler, SiC'nin yüksek ısıya dayanıklı olmasından dolayı kullanışlı olup yüzey mikro-işleme yöntemiyle üretilirler. Sensör, yüksek ısıya dayanımlı seramik kaplama ile kaplanır ve yaklaşık 5 MPa (700 psi) basınç ile yanma odasındaki 574 °C'lik sıcaklığa dayanabilecek duruma getirilir. Yükseltici entegre edilmiş bir devre yardımıyla, kapasitans güç ölçümü yapabilmek için, 300 °C sıcaklığa kadar elde edilen veriler voltaja çevrilir. Daha yüksek sıcaklıklarda, kapasitans, aynı sensör elementlerini kullanan bir LCZ metre ile ölçölür. Yüksek sıcaklıktaki emilimden ve onlarca sıcaklık/basınç çevriminden sonra seramikle kaplanmış olan sensörler hala doğru bir şekilde çalışmaya devam etmişlerdir. Yanma odasındaki dinamik basıncın görüntülenebilmesi için sensör kaplanarak, deneylerde kullanılan motorun silindir başlığı üzerine yerleştirilmiştir. Sensörün etkinliği deney motorundaki basıncın görüntülenmesi için kullanılan referans sistem ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Dr. Kurtz A ve diğerleri, (2004) yaptıkları çalışmada, içten yanmalı motorlarda yapılan ölçümlerde yüksek isabet sağlayan, basınca dayanıklı bir sensör sisteminin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadırlar. Motor testi konusu rekabet düzeyi yüksek bir konu olup büyük miktarda silindir içi basınç ölçümü yapılmasını

gerektirmektedir. Tüm motor testlerinde yüksek sıcaklık ve vibrasyon olduğundan, bu amaç için seçilen sensörün performans ölçütlerinde herhangi bir düşüşe sebep olmaksızın bu zorlayıcı şartlara dayanabilir yapıda olması gerekmektedir. Bu çalışmada, ölçümlerde yüksek isabet sağlayan, basınca dayanıklı bir basınç sensörünün tasarlanması amaçlanmıştır. Bu sensör, küçük yapı ve statik ve dinamik olarak ölçüm yapabilme kapasitesine sahip bir sensördür. Aynı zamanda, yüksek veri toplama hızları için kullanılacak yüksek bir frekansa ve olağanüstü çalışma koşullarında stabilitesini koruyabilecek bir yapıya sahiptir. Bu sensör yeni bir dizayna sahip olmakla birlikte, “Vibrasyona Duyarsız Ölçüm (Vibration Insensitive Sensing - VIS™)” elemanına sahiptir. Ölçüm yapan eleman silikonla kaplanmış olup zorlu çevresel koşullara ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına (500 °C) ve bu uygulamadaki yüksek vibrasyona dayanabilmeyi sağlayan bir teknolojiye sahiptir. Sensörün veri alma frekansı 150 kHz'nin üzerindedir. Bu çalışmada bu sensörle yapılan motor testlerinden elde edilen sonuçlar, yayınlanmış ve değerlendirilmiştir. Uzun dönemde stabilitesini koruyabilen ve düşük sesli bir ortamda mükemmel statik ve dinamik ölçümlerin yapılması sağlanmıştır.

Berg J ve diğerleri, (1998) içten yanmalı motorların silindir içi basıncının basınca dayanıklı bir basınç sensörü ile ölçülmesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada silindir içi basıncın ölçülmesi için yüksek sıcaklığa ve basınca dayanıklı bir sensörün geliştirilmesini amaçlamaktadırlar. SiC yapı bu sensör 20 MPa'dan daha yüksek bir basınç altında karakterize edilmiş ve özel olarak tasarlanmıştır. Bu sensörün duyarlılığı yaklaşık olarak 1.9 mV / MPa'dır ve bu duyarlılık değeri 300 °C sıcaklıkta 1.2 mV / MPa değerine düşmektedir. Dinamik silindir basıncına ait verilerin görüntülenebilmesi için bu sensör motorun silindir başlığının üzerine yerleştirilmiş ve motora uygulanan değişik yükler altında, 1500 devir / dakika hızında çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ilgili bir değerlendirmenin yapılabilmesi için, kuartz yapı bir basınç sensörü referans olarak kullanılmıştır. Değişik yükler altındaki maksimum basınç 2 MPa olarak ölçülmüştür. Kalibre edilmiş olan SiC yapı bu sensör ile referans olarak kullanılan sensör arasındaki farkın yapılan tüm deneylerde 0.1 MPa'dan daha düşük olduğu saptanmıştır.

Kuo P, (1996) termodinamiğin temel prensiplerini kullanarak buji-ateşlemeli bir motorun silindir içi basınç değişimlerinin tam olarak tahminlemeye çalışmıştır. Tanımladığı model, silindirde gerçekleşen giriş, sıkışma, yanma ve genişleme süreçlerinin tümünü hesaba katmaktadır. Var olan basınç verileri ile karşılaştırıldığında modelin tahminlerde yüksek isabet sağladığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada modelin, buji ateşleme açısı ve yanma süresinin tahminlenmesindeki becerisi de değerlendirilmiştir.

Brunt M ve Pond C, (1996) yayınladıkları makalede, motorda meydana gelen hasarların silindir içi basıncına bağlı olarak analiz edilmesini sağlamışlardır. Bu makalede, motorda meydana gelen hasarlara ait verilerin elde edilmesinde krank açısına bağlı silindir basıncı ölçümünün analizi kullanılmıştır. İncelenen hususlar, hasar modeli özellikleri, örnekleme hacminin ve örnekleme frekansının etkileri, optimum hasar pencerelemesi ve sensör ile bağlama elemanlarının silindir içi pozisyonlarının etkileri olarak özetlenebilir. Bu çalışma aynı zamanda, sensörlerin doğal frekanslarının yüksek olması gerektiğini, boşluk rezonansından korunmak için silindire düzgün bir şekilde bağlanması gerektiğini ve sensör pozisyonunun hasar sinyallerini belirgin bir şekilde etkilediğini de göstermektedir.

Klein M ve diğerleri, (2004) sıkıştırma oranlarının silindir basıncına bağlı olarak tahmin edilmesi üzerine yazdıkları makalede motorlu ve ateşlemeli çevrimlerin her ikisi için de sıkıştırma oranlarının silindir basıncı eğrilerinden tahminlenmesine imkan sağlayan dört metottan söz etmektedirler. Bahsedilen bu metotlardan ilk üçü, silindir basıncı için politropik sıkıştırma modeline dayanmaktadır. Bu metotların, düşük sıkıştırma oranlarında simüle edilen çevrimlerin sıkıştırma sonuçları için iyi sonuçlar verdiği fakat yüksek sıkıştırma oranlarında bu basit modelin ısı transferine ait veriler konusunda yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu ise modelden elde edilen sonuçlarda büyük sapmaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ısı transferinin ve çatlakların etkisinin genel olarak kullanılan ısı yayılımı modeli ile birlikte modellendiği dördüncü bir metot geliştirilmiştir. Geliştirilen bu metot yardımıyla düşük sıkıştırma oranlarında olduğu kadar yüksek sıkıştırma oranlarında da isabetli tahminler elde edilmiştir.

Schuller T, (2005) yayınlanan makalesinde, bir dizel motorun yanma odası basıncında meydana gelen dalgalanmaların akustik analizine yer vermektedir. Bu makalede, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorun yanma odasındaki basınç dalgalanmalarının oluşturulması üzerine son zamanlarda kullanılan ileri düzeyli cihazlar ve ölçüm teknikleri kullanılarak deneysel bir çalışmanın yapılması amaçlanmıştır. Farklı çalışma şartlarında, birçok motor çevrimindeki basıncın zamana bağlı değişimini incelemek için silindirlerin üst kısımlarına yerleştirilen sensörlerden faydalanılmıştır. Spektral analizler ve zaman analizleri kullanılarak stokastik dalgalanmaların basınç-zaman eğrilerinin periyodik kısmını birkaç kHz'lik bir alanda dalgalanma göstererek domine ettiği gösterilmiştir. Bu gözeleme bağla olarak basınç (i) periyodik ve üniform olan, zamana bağlı değişkenliği yavaş olan bir terimin ve (ii) stokastik, üniform olmayan, zamana bağlı değişimi hızlı olan ve yanma odası içersinde gelişen olayları tanımlamaya yarayan başka bir terimin toplamı olarak ifade edilmiştir. Yanma odasındaki hacim değişimi, ortalama periyodik ısı yayılımı varyasyonları ve yanma odasının çeperinde görülen ısı kayıpları basınç-zaman eğrisinin düşük frekanslı olmasının sebepleri olarak sayılabilir. Fakat belirli bir frekans değerinden sonra, basınçtaki dalgalanmaların yanma odasının her noktasında üniform olmadığı görülmüştür. Yüksek frekansla dalgalanan basınçta görülen bu sapmaların ısı yayılımında görülen dalgalanmalarla ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bir motor çevrimi boyunca veya bir çevrimden diğer bir çevrime, maksimum akustik enerji yoğunluğunun frekans aralığı içersine üniform bir şekilde dağılmadığı fakat kesikli frekans aralıklarında meydana geldiği görülmüştür. Bu maksimum enerji yoğunluğunun aynı kesikli frekans aralığında oluşmadığı ve incelenen motor çevrimine bağlı olarak sürekli aynı seviyeye ulaşmadığı görülmüştür. Silindir içi basıncın güç spektrumu çevresindeki rezonanslara karşılık gelen yüksek yoğunluklar tarafından domine edilmektedir. Birçok motor çevrimi boyunca silindir içi basınç değişimlerini kontrol etmeyi amaçlayan farklı mekanizmalara yol göstermek amacıyla bu makalede stokastik dalgalanmaları ve yanma değişkenliğini hesaba katan yeni simülasyon araçlarının geliştirilmesinin önemine de değinilmiştir.

Shiao Y ve Moskwa J, (1995) buji ateşlemeli bir motorun lineer olarak hareket etmeyen bir gözlemleyici kullanılarak incelenmesinde silindir basıncının ve yanma

ısı yayılımının tahmin edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Silindir basıncı motorun ve motordaki yanma olayının analizinde kullanılacak önemli bir parametredir. Sadece motor hızı ölçümlerine dayalı olarak silindir basıncını ve çok silindirli ve buji-ateşlemeli bir motordaki yanma ısı yayılımını tahmin edebilmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Motorların doğal yapıları lineer olmadığından yapılan bu tahminlerde lineer olmayan ve hareketli gözlemleyici adı verilen bir observer tanımlanmıştır. Çoğu uygulamada silindir içi basıncı motorun kontrolü ve incelenmesinde kullanılan önemli bir değişkendir. Bu konuda çalışan araştırmacılar, istenilen basınç büyüklüğünü elde edebilmek için birbirinden farklı direkt ve indirekt yöntemler önermişlerdir. Fakat bu yöntemler maliyet, güvenilirlik, doğruluk, kullanılabilirlik gibi özellikler yönünden farklılıklar göstermektedirler. Motor hızına bağlı olarak basınç ve yanma ısı yayılımının hareketli gözlemleyiciler kullanılarak tahminlenmesi, istenilen durumun elde edilmesi için düşük maliyetli ve güvenilir bir yöntemdir. Bu makalede, çok silindirli, buji-ateşlemeli bir motorun silindir basıncı ve yanma ısı yayılımının tahmin edilmesine yer verilmiştir. Silindir pistonu ÜÖN'ya ulaştığında, basıncın tahminlenmesinde meydana gelen gözlemlenebilir problemlerine dayalı olarak meydana gelen tahmin hatalarından da bahsedilmiştir. Son olarak, motorun incelenmesinde kullanılan bu yöntemin uygulama alanlarına yer verilmiştir.

Matekunas F (2007) basınç oranlarını kullanarak içten yanmalı bir motorun kontrol metoduyla ilgili bir patent çalışması sunmuştur. Burada, direkt enjeksiyonlu motorun değişik hava/yakıt oranlarında çalışmasını sağlayan bir metottan bahsedilmiş olup bu metot, anlık silindir içi basıncına bağlı olarak, sıkıştırma ve genişleme basınçlarına karar verilmesinden ve bu basınçlara karşılık gelen krank açısı pozisyonunun takip edilmesinden oluşmaktadır. Basınç oranlarına bağlı olarak ortaya çıkan yanma ısı hesaplanmaktadır. Buradaki bir başka amaç da, bu yöntemin HCCI tipi motorlarda da kullanılmasını sağlamaktır.

Heywood J (1998) içten yanmalı motorlar için yayınlanan kitabında silindir içi basıncının bir çevrimden diğer bir çevrime, krank açısına bağlı olarak değişimini ele almış ve ortalama yük ve ortalama bir motor hızında elde edilen basınç ve ısı yayılım hızlarını krank açısının bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir. Burada ayrıca hızlı

yanma çevrimlerinde daha yavaş yanma çevrimlerine göre maksimum basıncın daha yüksek olduğundan ve hızlı yanma çevrimlerinde tepe basıncının üst noktaya yakın bölgelerde oluştuğundan söz etmektedir. Bu çalışmada aynı zamanda yanma hızı ile basınç değişimleri arasındaki ilişkiden bahsedilmiştir. Heywood'a göre basıncın değişim hızı, silindir hacminin değişim hızına bağlı olduğu kadar yanma hızının değişimine de bağlıdır.

Blazek J, (2004) yayınladığı makalede, yanma sürecinin silindir içi basınç ölçümüne bağlı olarak analizini ele almıştır. Bu makalede, buji-ateşlemeli bir motorun yanma sürecinde meydana gelen problemlerin tepe basıncı yakınlarındaki yanma basıncındaki değişimlerin sebep olduğu yanma sürecinin çevrimsel değişkenliği sonucunda ortaya çıktığını savunmuştur. Blazek, genel olarak, yanma sürecinden ve yanma sürecinde meydana gelen silindir içi basınç değişimlerinden bahsetmiştir.

Chan ve diğerleri (2004) çıkış gücünün, Eddy Current dinamometre ile ölçüldüğü bir benzin motorunda alternatif yakıt olarak farklı oranlarda karışımların (etanol-benzin) performans ve emisyonlar üzerine etkilerini incelemiştir. CO, CO<sub>2</sub>, HC emisyonları önceden kalibre edilmiş bir egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülmüştür. Hava/Yakıt oranları da egzoz kombinasyonlarından hesaplanmıştır. Yakıt sistemine enjeksiyon miktarını belirleyen bir kontrolör konulmuş ve hava/yakıt oranı elle kumandalı olarak ayarlanabilmiştir. Hava akış oranı, oksijen sensöründen tespit edilmiştir. Deneylede farklı karışım oranlarında etanol-benzin kullanılmıştır. Deneyleler %20-%100 gaz kelebeği açıklığında ve iki farklı devir (3000 – 4000 d/d) kademesinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yakıt tipine göre tork üretimi değerlendirilmiş, hava/yakıt oranlarına bağlı olarak da emisyon sonuçları yorumlanmıştır.

Çelik ve Bayır, (2005) Visual Basic 6.0 programından yararlanarak içten yanmalı bir motorun fiziksel özelliklerini ve çalışma ortamı koşullarını bilgisayar ortamına aktaran kullanıcı ara yüzüne sahip bir program yazmışlardır. Bu çalışmada veri toplama kartı olarak Advantech firmasının PCI 1710 HG modeli kullanılmıştır. Örnekleme hızı 20 Hz'e kadar ayarlanabilmiştir. Test motoru bir DC jeneratörüne bağlanmış ve jeneratörünün uyarım akımının değiştirilmesiyle kademeli olarak çıkış gücü ölçülmüştür. Motorun fiziksel parametrelerini tespit edebilmek için algılayıcılar

bağlanmış ve sistemdeki fiziksel veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu sayede motorun çalışmasını etkileyen parametreler incelenmiş ve motor performansının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sayın (2004) doktora çalışmasında, oktan sayısı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (SPG) karışımının buji-ateşlemeli bir motorun performans ve emisyonuna etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada motor torku prony freni, hava akışı eğik manometre ve orifis kullanılarak tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi için hacimsel ve mekanik kontrollü 1000 cc'lik ölçekli kap kullanılmıştır. Motor devri takometre ile tespit edilmiş, sıcaklıklar ise K tipi termokupl ile belirlenmiştir. Deneysel sabit yükte gerçekleştirilmiş ve egzoz emisyonları ölçülmüştür.

Selim, (2005) tek silindirli, indirekt enjeksiyonlu ve değiştirilebilir sıkıştırma oranı özelliğine sahip bir dizel motor kullanmış ve 650 çevrimden elde ettiği verilerin istatistiksel analizini yapmıştır. Ardışık çevrimleri yakalamak için motor devri 1300 d/d 'da tutulmuştur. Testler için iki adet bilgisayar ve iki adet veri toplama sistemi kurulmuştur. Birinci veri toplama sisteminde hava/yakıt oranı, motor devri, motor torku, sıcaklık bilgilerini giriş bilgileri olarak veri toplama kartına bağlamıştır. MACBASIC dilinde bir program yazarak bu giriş verileri toplanmıştır. İkinci veri toplama sisteminde ise, silindir gaz basıncını, ÜÖN bilgisini giriş bilgisi olarak veri toplama kartına bağlamıştır. Su soğutmalı, piezo-elektrik bir sensör ve sinyal şartlandırıcısı ile birlikte gaz basıncı verileri alınmıştır. Veri toplama kartı 250 kHz örnekleme hızına sahip olup program olarak LabVIEW kullanılmıştır.

Yılmaz, (2004) eğitim amaçlı bir motor test sistemi kurmuştur. Bu test sistemi dinamometre, bir hidrolik pompa, yağ tankı, yağ filtresi, yağ ve su ısı değiştirgeci, supaplar ve bir bilgisayardan oluşmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında hacimsel ölçüm yöntemlerinden yararlanılmıştır. Ölçüm hatalarını en aza indirmek amacıyla, yüksek hızlarda 100 ml hacimli ölçek kullanılmış olup motor titreşimleri motor titreşimleri bu sistemdeki yakıt bağlantı borularını etkilediğinden oluşabilecek ölçüm hataları nedeniyle kütleli yakıt tüketimi tercih edilmemiştir. Testler sabit hızda ve sabit yükte yapılmış ve yakıt tüketimi ölçülmüştür. Yük ve hız artışına bağlı olarak yakıt tüketiminin de artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca toplanan veriler

yardımla motor gücü de hesaplanmıştır. Daha sonra bu veriler kullanılarak motor yükü ile yakıt tüketimi, motor devri ile yakıt tüketimi ve motor devri ile yakıt ekonomisi grafikleri elde edilmiştir.

Kumar ve diğ. (2005), yakıt giriş sıcaklığının motor performansına, emisyonlarına ve yanma karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Test motoru olarak, tek silindri direk enjeksiyonlu ve çıkış gücü 2.8 kW olan bir dizel motor kullanılmıştır. Testlerde elektrikli dinamometre, hava akış oranı için orifis plaka ve hava tankı ÜÖN bilgisi için optik shaft kodlayıcısı kullanılmıştır. Egzoz gazı sıcaklığı düşük veri hızına sahip K tipi termokupl tercih edilmiştir. AVL-Indiwin firmasının yüksek frekanslı veri toplama sistemiyle birlikte çalışan silindir gaz basıncı sensörünün ve enjeksiyon hattı basınç sensörünün sisteme entegre edilmesi sağlanmıştır. Kızıl ötesi egzoz gaz analiz cihazı ile HC / CO emisyon sonuçları alınırken, NO emisyon sonuçları Beckman kemilüminesans analizör ile ölçülmüş, bununla birlikte is ölçümü için Hartridge is ölçer kullanılmıştır. Emisyon ölçüm cihazları testlerden önce kalibre edilmiştir. Daha sonra veriler 50 çevrim için toplanmış ve ortalaması hesaplanmıştır. Bütün veriler, motor kararlı halde çalışırken alınmıştır.

Mattias ve Thomas (2004), turbo şarjlı ve Egzoz Gazı Geri Dönüşüm'ü (EGGD) bir dizel motorunun hava yolunun diagnostik tabanlı modelini oluşturmuş ve bu akış ile ilgili gerçek zamanlı olarak elde edilen verileri toplamışlardır. Prototip olarak geliştirilen test modelinin çalıştırılması için test aracına yazılım ve donanım kurulmuştur. Basınç, sıcaklık ve hız sensörleri kullanılmış ve toplanan veriler bir Analog – Dijital (A/D) konvertör kullanılarak bilgisayar donanımına aktarılmıştır. Yazılım olarak ETAS'ın INCA yazılımı ve MATLAB'dan faydalanılmıştır. Öncelikle aracın sensörlerinden gelen sinyaller için diagnostik sistem kurulmuştur. Elektronik Kontrol Ünitesine (EKÜ) gelen sinyaller veri toplama kartı aracılığıyla diz üstü bilgisayara aktarılmıştır. Sistem iki adımda gerçekleştirilmiş olup ilk önce motordan gelen veriler INCA yazılımı ile toplanmış daha sonra kaydedilen veriler diagnostik algoritmanın oluşturulduğu MATLAB dosyasına aktarılmıştır. Diagnostik sisteme, oluşabilecek hataların ayrıntılı bir listesi yüklenerek, diagnostik sistemin çıkışıyla aracın davranışı tahmin edilmiştir.



Huzzain ve diğ. (2004), joboba ve dizel yakıtı karışımı kullanılarak dizel motorun performansı ve emisyon sonuçlarını değerlendirmişlerdir. DC güçle çalışan bir elektrik jeneratörü motora bağlanmış ve jeneratörü kontrol etmek için sisteme harici bir uyarım devresi eklenmiştir. Bu devre, otomatik bir AC transformatöründen ve bir doğrultmaç köprüsünden oluşmaktadır. DC jeneratör uyarım voltajı otomatik transformatör tarafından belirlenmiş ve kontrol edilmiştir. Jeneratör uyarım voltajı değerleri verilerek yükleme değerleri belirlenmiştir. Yakıt tüketimi ölçümü 1 ml ölçüm aralıklı ve 100 ml hacimli cam kavanoz ile gerçekleştirilmiştir. Emme havası akış oranı, 0,45 m<sup>3</sup> hacminde bir sönümleme tankı, laminar akış elemanı (Laminar Flow Element) 1-5000 ölçüm aralıklı ve 1 Pa çözünürlüğe sahip dijital bir diferansiyel basınç manometresi kullanarak ölçülmüştür. Motor hızı ölçümü için 1 d/d çözünürlüğe sahip optik takometre kullanılmıştır. Ortam havası sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı önceden kalibre edilmiş K tipi termokupullar kullanılarak belirlenmiştir. Termokupullardan gelen sinyaller National SCXI sistemine girilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır.

Yine aynı çalışmada, emisyon ölçüm sisteminde, su soğutmalı egzoz gazı örnekleiyici ve ANAPOLE EU200 kalibrasyonlu egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Egzoz gaz örnekleiyici elektrokimyasal hücreler kullanarak bu hücrelerden elde edilen sinyaller A/D çeviriciden geçirilerek yükseltilmiş ve aynı zamanda filtrelenerek egzoz gazı ölçümü yapılmıştır. İs miktarı ise 0'dan 9'a kadar bölmelendirilmiş bir filtre kağıdı ile ölçülmüştür. Egzoz gazı analiz cihazı tarafından CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> emisyonlarının ölçümü yapılmıştır.

İçingür ve Altıparmak, (2002) deneysel çalışmalarda enjeksiyon basıncı ve yakıtın setan sayısının direk enjeksiyonlu bir dizel motorun performans ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Deneyle farklı setan sayısına sahip yakıtlar ve farklı enjeksiyon basınçlarında gerçekleştirilmiştir. Testler, elektrikli bir dinamometre (Cussons – P86653) ile yapılmıştır. Dinamometre sistemi ile motor hızı, torku, yakıt ve yağ sıcaklıkları, yakıt tüketimi ölçülmüş ve sonuçlar veri toplama sistemine aktarılmıştır. Motor testleri tam yükte ve 1500 – 4500 d/d arasında 500 d/d aralıklarla motor kararlı hale geldikten sonra yapılmıştır. Emisyon ölçümleri ise VLT gaz analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Ajav ve diğ. (1999), tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak etanol ve dizel karışımı kullanarak sabit hızda motor performansını, özgül yakıt tüketimini, egzoz gaz sıcaklığını ve yağlama yağı sıcaklığını ölçümlemişlerdir. Motor test sisteminde hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Hava tüketim ölçüm sistemi için sönümleme tankı, orifis plaka, U tipi manometre, egzoz gazı sıcaklığının tespiti için K tipi termokupl yağ sıcaklığı içinse T tipi termokupl kullanılmıştır. Yakıt tüketimini ölçmek için hacimsel ölçüm yapan bir cihaz kullanılmıştır. Deneyle beş farklı yükte, yüksüz, %25, %50, %75 ve tam yükte olmak üzere sabit bir motor hızında (1500 d/d) yapılmıştır. Her bir yükleme koşulunda testler 3 defa tekrarlanmıştır. Her test koşulu için motor en az 5 dk. çalıştırılmış ve daha sonra veriler toplanmıştır. Bu veriler; yük, hız, yakıt tüketimi için zaman, sönümleme tankında bulunan orifiste görülen basınç düşüşü, egzoz gazı, yağlama yağı ve soğutma suyu sıcaklıkları, egzoz emisyonları değerleridir.

Rakopoulos ve diğ. (2004), test motoru olarak Ricardo – Cussons tek silindirli ve su soğutmalı motoru kullanmışlardır. Test motoru hem otto hem de dizel motoru olarak çalışabilme özelliğine sahiptir. Test motoru DC bir jeneratör ile yüklenerek dinamometre kontrol paneli üzerinde bulunan bir potansiyometre ile yükleme ayarları yapılmıştır. Devir ve yük sensörlerinden gelen sinyaller kontrol paneli üzerinde gösterilmiştir. Motordaki soğutma suyunun dolanımı, bir pompa yardımıyla sıcaklık kontrollü bir ısı değiştirgecinden geçirilerek sağlanmıştır. Stratejik noktadaki sıcaklık bilgileri çok noktalı sıcaklık göstergesine sahip elektronik bir cihazdan okunmaktadır. Yakıt tüketiminin ölçümü için kümülatif akış ölçer, hava debisi için viskoz tip laminar akış ölçer kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, silindir gaz basıncı, enjeksiyon hattı basıncı ve üst ölü nokta bilgileri alınmıştır. Kistler marka iki adet minyatür tip piezoelektrik sensör ve sinyal şartlandırıcısı yardımıyla silindir gaz basıncı ve enjeksiyon hattı basıncı ölçülmüştür. Motor test sistemindeki sekiz kanaldan gelen veriler, Keithley DAS 1801 ST A/D veri toplama kartına bağlanmıştır. Veri toplama kartının, Doğrudan Hafıza Kullanımı (DHK) özelliğinden yararlanarak sekiz kanal için 312.5 ksample / s hızında motor verileri toplanmıştır. Yüksek hızda veri toplanması için geliştirilen ve veri toplama kartı tarafından desteklenen Test Point programı kullanılmıştır.

Johnson, (2005) titreşim ve hız sinyallerinden aldığı veriler ile silindir gaz basıncı verileri arasında doğrusal olmayan bir model kurarak silindir içi gaz basıncını tahmin etmeye çalışmıştır. Deney düzeneğinde silindir gaz basıncını AVL QC33C basınç sensörü ile ölçmüştür. Titreşim sensörü olarak PCM 353M15 modeli ve motor devri için 1800 puls / devir örnekleme hızına sahip açısız kodlayıcı kullanılmıştır. Her üç örnekleme için 0,2 derece krank açısı hassasiyetinde yapılan 50 çevrimin ortalamaları hesaplanmıştır.

Motor araştırmaları ve var olan sistemlerin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar, motor performansını arttırmak, çevre dostu motorlar üretmek, alternatif yakıtların kullanımını en iyi şekilde sağlayabilmek, egzoz emisyonlarını en aza indirgeyebilmek açısından önem taşımaktadır. İşte bu noktada araştırmaların en iyi şekilde yapılabilmesi için motor testleri sonucunda toplanan verilerin güvenilir olduğu kadar hassasiyetinin de yüksek olması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek, kurulan motor test düzeneğinde deneysel verilerin toplanabilmesi, anlık motor verilerinin elde edilebilmesi seçilen veri toplama sisteminin örnekleme hızının ve sistemde kullanılan sensörlerin hassasiyetlerinin yüksek olması ile gerçekleştirilebilir. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalarda motor test sisteminin nasıl kurulduğu ve deneylerin yapılış metotları önem taşımaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında kurulan motor sistemi yüksek hızlarda veri toplayan bir sistemdir. Bu özellik sayesinde parametrelere ait anlık değerler toplanabilmekte , elde edilen verilerle motorun performans eğrileri oluşturulabilmektedir. Bilimsel çalışmalar için kurulan bu test sistemi aynı zamanda eğitim amaçlı kullanılabilir olacak olup, bir eğitim seti işlevini de yerine getirmesi planlanmıştır.

## 2. MOTOR DİZAYNI VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİ

### 2.1. Önemli Motor Karakteristikleri

Bu bölümde, çalışır durumdaki motorun önemli karakteristik özelliklerini belirlemede kullanılan parametreler ve geometrik bağıntılar verilecektir. Bir motoru kullanan kişi için önem taşıyan faktörler:

1. Çalışma aralığı boyunca motorun performansı.
2. Bu çalışma aralığında motorun yakıt tüketimi ve tüketilen bu yakıtın kullanıcıya maliyeti.
3. Yine bu çalışma aralığında motorun ürettiği ses düzeyi ve havayı kirleten egzoz emisyonları.
4. Motorun maliyeti ve kurulumunun kolaylığı
5. Motorun güvenilirliği, dayanıklılığı, bakım gereksinimleri ve bu faktörlerin motorun uygunluğunu, kullanılabilirliğini ve çalışma maliyetini ne şekilde etkilediği. olarak sayılabilir. Bu faktörler kullanıcının birinci planda göz önünde bulundurduğu toplam çalışma maliyetini ve motorun çevresel kısıtlamaları sağlayıp sağlamamasını etkilemektedir. Bu bölüm esas olarak, motorun performans, etkinlik ve emisyon karakteristikleriyle ilgilidir. Yukarıda sayılan diğer faktörlerden bahsedilmemesi bu faktörlerin önemsiz olduğu anlamına gelmez.

Motor performansını tanımlanırken genelde şu iki ifade kullanılır:

1. Motorun çalışma aralığındaki bütün motor hızlarında motordan elde edilen maksimum güç (veya maksimum tork) olarak ifade edilebilir.
2. Motor çalışmasının kabul edilebilir düzeyde olduğu hız ve güç aralıkları.

Motor performansının tanımlanmasında şu tanımlar da yaygın olarak kullanılmaktadır:

Maksimum Oransal Güç: Kısa çalışma periyotları boyunca motorun üretmesine izin verilen maksimum güç miktarını ifade eder.

Normal Oransal Güç: Motorun sürekli çalışması süresince üretmesine izin verilen maksimum güç miktarıdır.

Oransal Hız: Oransal gücün elde edildiği krank milinin dönme hızının ifadesidir.

## 2.2. Pistonlu Motorların Geometrik Özellikleri

Aşağıdaki parametreler, pistonlu bir motorun temel geometrik özelliklerinin tanımlanmasını sağlarlar:

Sıkıştırma Oranı:

$$r_c = \frac{\text{Maksimum Silindir Hacmi}}{\text{Minimum Silindir Hacmi}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.1)$$

dir.

Burada  $V_d$  , süpürülen silindir hacmini  $V_c$  ise minimum silindir hacmini ifade etmektedir.

Silindir çapının strok uzunluğuna oranı,

$$R_{BS} = \frac{B}{L} \quad (2.2)$$

Bağlantı mili uzunluğunun krank çapına oranı,

$$R = \frac{l}{a} \quad (2.3)$$

şeklinde tanımlanır.

Buna ek olarak, strok uzunluğu ile krank çapı arasındaki ilişki ise:

$$L = 2a \quad (2.4)$$

şeklindedir.

Bu parametreler için genelde şu değerler belirlenmiştir:

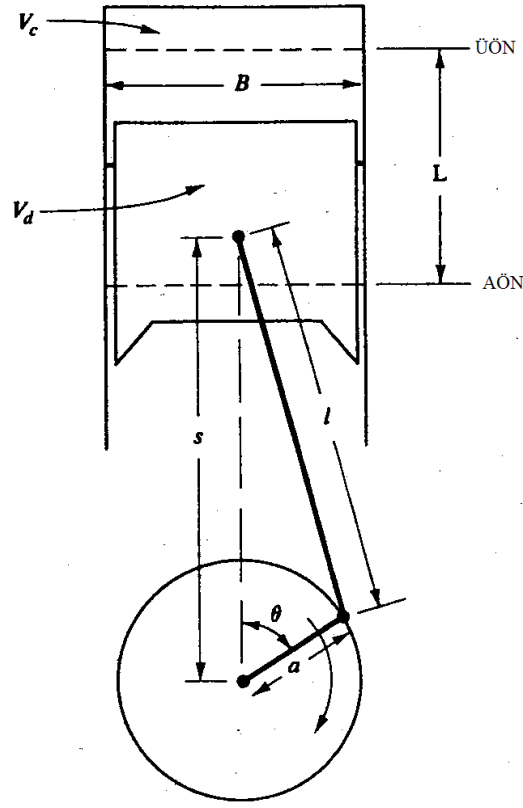
$r_c$  , buji ateşlemeli motorlar için 8-12 arasında, sıkıştırma ile ateşlenen motorlar için 12-24 arasında değerler alır.

$R_{bs}$  değeri, küçük ve orta büyüklükteki motorlar için 0.8-1.2 arasında değerler alırken, büyük ve düşük hızlı sıkıştırılmalı motorlarda 0.5'e kadar düşüş göstermektedir.

R değeri ise, küçük ve orta boyutlardaki motorlar için 3 ila 4 arasında değişim gösterirken, büyük ve düşük hızlı sıkıştırılmalı motorlarda 5-9 arasında değerler alabilmektedir.

Herhangi bir  $\theta$  krank açısındaki silindir hacmi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V = V_c + \frac{\pi B^2}{4}(1 + a - s) \quad (2.5)$$



Şekil 2.1. Silindir, piston, bağlantı mili, ve krank milinin geometrik şekli. (B= Silindir çapı, L=Strok uzunluğu I= bağlantı mili uzunluğu,  $\alpha$ = krank yarıçapı,  $\theta$ =krank açısı) (Heywood,1998)

Bu şekilde s uzunluğu krank mili eksenine ile piston pimi eksenine arasındaki uzaklığı ifade etmekte olup aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$s = a \cos \theta + (l^2 - a^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Şekil 2.1'de gösterilen  $\theta$  açısı, krank açısı olarak belirtilir. Yukarıda belirtilen eşitlikler tekrar düzenlenirse:

$$\frac{V}{V_c} = 1 + \frac{1}{2} (r_c - 1) [R + 1 - \cos \theta - (R^2 - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}] \quad (2.7)$$

Herhangi bir  $\theta$  krank açısındaki yanma odasının toplam yüzey alanını ifade eden A değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$A = A_{ch} + A_p + \pi B(l + a - s) \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte  $A_{ch}$  , silindir başının yüzey alanını,  $A_p$  , piston tacının yüzey alanını göstermektedir. Üstü kapalı pistonlar için  $A_p = \frac{\pi B^2}{4}$  olur. Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.7 kendi aralarında tekrar düzenlenirler ise:

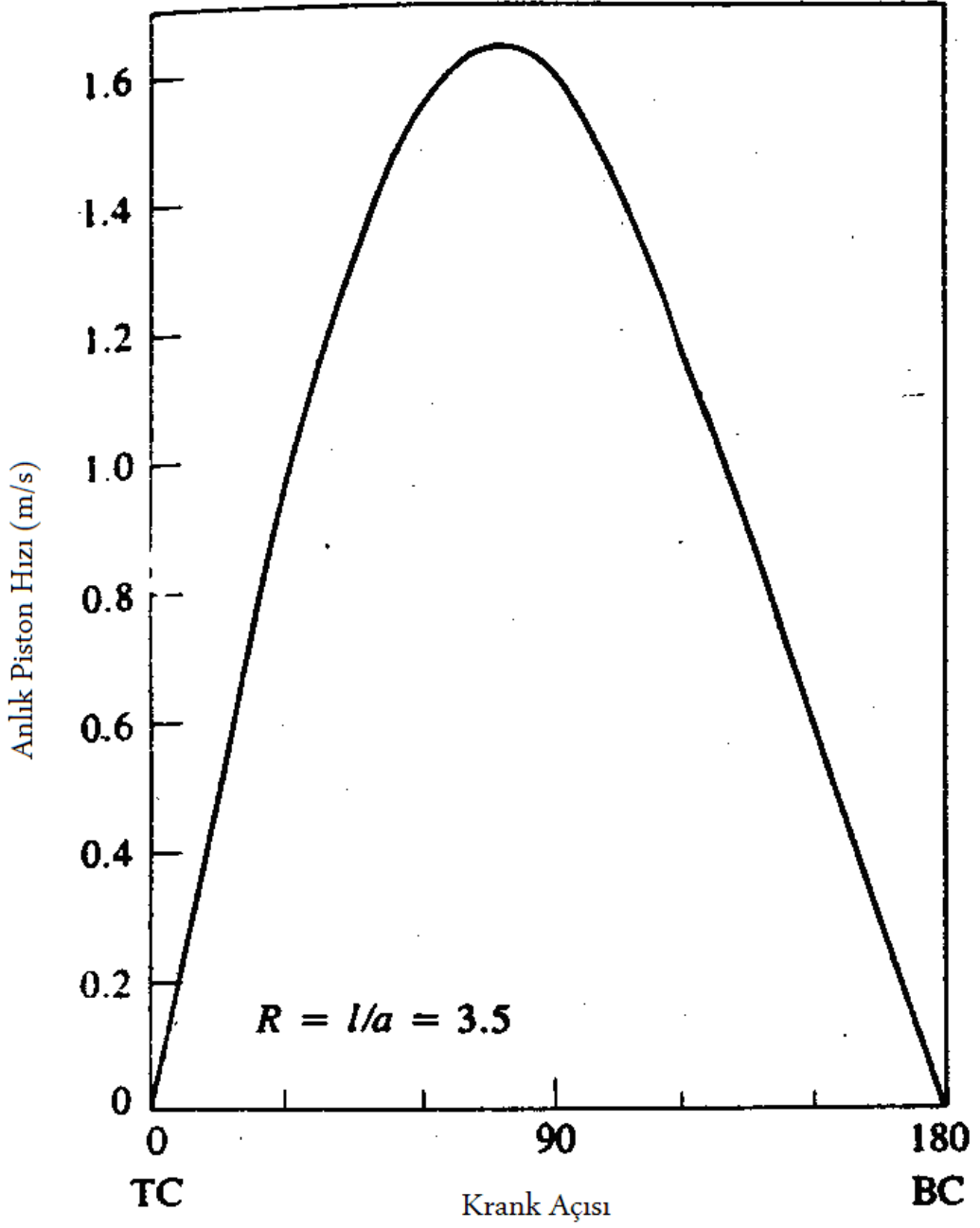
$$A = A_{ch} + A_p + \frac{\pi BL}{2} \left[ R + 1 - \cos\theta - (R^2 - \sin^2\theta)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.9)$$

Önemli bir karakteristik olan hız, ortalama piston hızı olarak ifade edilir. Ortalama piston hızı  $\bar{S}_p$  ile gösterilir ve:

$$\bar{S}_p = 2LN \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte N, krank milinin dönme hızını göstermektedir. Ortalama piston hızı, motor davranışını piston hızının bir fonksiyonu olarak ilişkilendirirken, krank milinin dönme hızına göre kullanılması daha uygun bir parametredir.





Şekil 2.2: Anlık piston hızının ortalama piston hızına oranının krank açısına bağlı olarak gösterilmesi. ( $R=3.5$ ) (Heywood,1998)

Örneğin, giriş manifoldu ve silindirdeki gaz akım hızına bağlı olan anlık piston hızı  $S_p$  aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir:

$$S_p = \frac{ds}{dt} \quad (2.11)$$

Piston hızı strok başlangıcında sıfırdır. Strokun orta noktasına yakın bir noktada maksimum değerine ulaşır ve strok sonunda tekrar sıfır değerini alır. Eşitlik 2.5'in diferansiyeli hesaplanıp düzenlenirse:

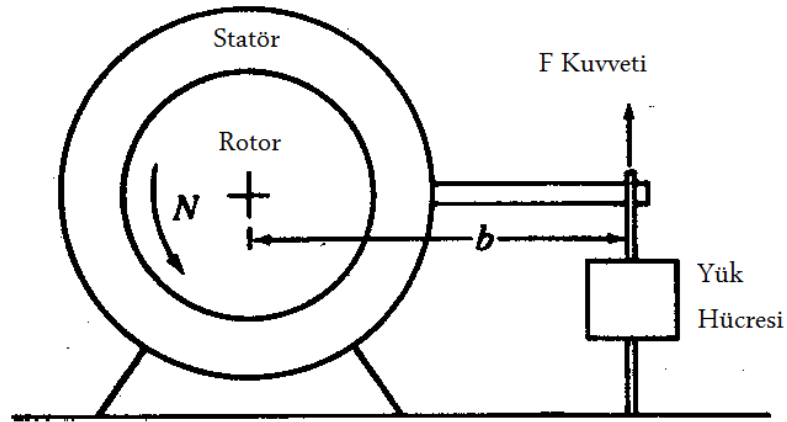
$$\frac{S_p}{S_p} = \frac{\pi}{2} \sin\theta \left[ 1 + \frac{\cos\theta}{(R^2 - \sin^2\theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (2.12)$$

Şekil 2.2'de,  $S_p$  'nin tüm stroklar boyunca,  $R=3.5$  değeri için nasıl bir değişim gösterdiğini göstermektedir.

Piston içersinde gaz akışına karşı oluşan direnç ve hareket eden parçaların eylemsizlik momentleri ile oluşan gerilmeler yüzünden ortalama piston hızının maksimum değeri 8-15 m/s aralığında sınırlanmaktadır. (1500-3000 ft/dak.) Otomobil motorları bu aralığın üst sınırında çalışmakta iken alt sınır büyük dizel motorlar için geçerlidir.

### 2.3. Fren Torku ve Güç

Motor torku genellikle bir dinamometre yardımıyla ölçülür. Motor bir test yatağına bağlandıktan sonra krank mili dinamometre rotoruna bağlanır. Şekil 2.3'te bir dinamometrenin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 2.3: Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik olarak gösterilmesi. (Heywood,1998)

Bir dinamometrede rotor, statöre elektromanyetik olarak, hidrolik olarak veya düşük sürtünmeli rulmanlar yardımıyla üretilen mekanik sürtünme yoluyla bağlanır. Statör, rotora sabitlenerek dengelenir. Statöre uygulanan tork, statörün ağırlıkla, kuvvetle veya pnömatik olarak dengelenerek ölçülür.

Şekil 2.3'teki notasyon kullanarak, eğer motor tarafından uygulanan torku T ile gösterirsek:

$$T = Fb \quad (2.13)$$

olur. Motor tarafından üretilen ve dinamometre tarafından absorbe edilen P kuvveti, dinamometre tarafından ölçülen torkun ve açısal dönme hızının bir ürünüdür.

$$P = 2\pi NT \quad (2.14)$$

ile bulunabilir. Burada N, krank milinin dönme hızını ifade etmektedir. SI birim sistemi ile

$$P(\text{kW}) = 2\pi N(\text{devir/s})T(\text{N.m}) \times 10^{-3} \quad (2.15)$$

veya Amerikan birimleriyle:

$$P(\text{hp}) = \frac{N(\text{devir/dak.})T(\text{lbf.ft})}{5252} \quad (2.16)$$

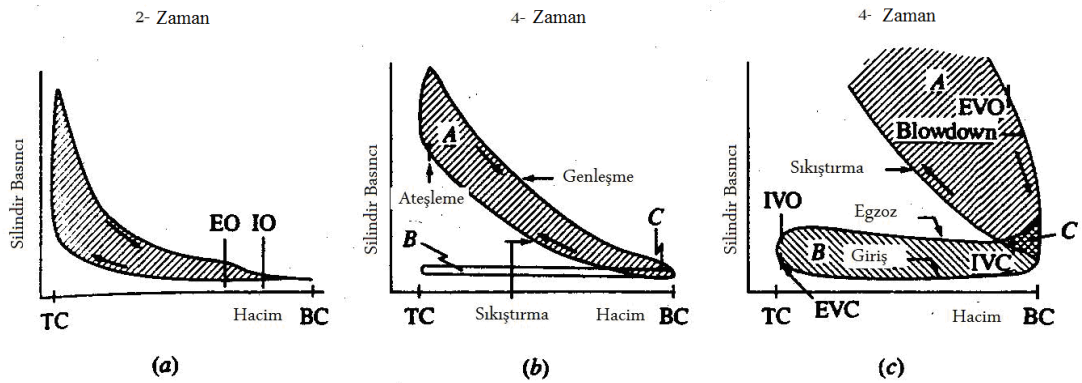
şeklinde ifade edilir. Burada tork, motorun iş yapabilme yetisini gösteriyorken, güç, işin yapılma oranının bir ifadesidir.

Yukarıda tanımlanan şekilde ölçülen motor gücü, fren gücü ( $P_b$ ) olarak adlandırılmaktadır. Bu güç, motor tarafından yüke veya frene verilen kullanılabilir gücü ifade eder.

## 2.4. Çevrim Başına Düşen İndike Güç

Motorun tüm çalışma çevrimi boyunca silindir içindeki gaz basıncına ait veriler, gazdan pistonu yapılan iş transferinin hesaplanmasında kullanılabilir. Silindir basıncı ve bu basınç değerlerine karşılık gelen silindir hacmi değerleri, Şekil 2.4'teki gibi bir P-V diyagramına aktarılabilir. Her çevrimde elde edilen İndike iş,  $W_{c,i}$  (her bir silindir için) bu diyagramlar tarafından sınırlandırılan kapalı alanların toplamının alınması ile bulunur.

$$W_{c,i} = \oint PdV \quad (2.17)$$



Şekil 2.4: P-V diyagramı örnekleri. (a) iki stroklu çevrime sahip motor için, (b) dört stroklu çevrime sahip motor için, (c) dört stroklu çevrime ve buji ateşleme sistemine sahip bir motorun P-V diyagramı ve egzoz ve giriş strokları (pompa çevrimi) (Heywood,1998)

2 stroklu çevrimler için Eşitlik 2.14'ün hesaplanması kolaydır.4 stroklu motorlar için giriş ve egzoz stroklarının da eklenmesiyle, indike işin iki farklı tanımı ortaya çıkmaktadır:

Çevrim başına toplam indike iş,  $W_{c,ig}$ , sadece sıkıştırma ve genişleme strokları boyunca piston üzerine yapılan işi ifade eder.

Çevrim başına net indike iş,  $W_{c,in}$ , çevrimin bütün strokları boyunca piston üzerine yapılan işi gösterir.

Şekil 2.4 (b) ve (c) de,  $W_{c,ig}$  değeri (Alan A+Alan C),  $W_{c,in}$  değeri ise (Alan A+Alan C) – (Alan B +Alan C) yani (Alan A – Alan B) kadardır. Bu alanların her biri pozitif bir büyüklüğü ifade eder. Alan B + Alan C değeri, giriş ve egzoz strokları boyunca silindir gazları tarafından pistonu yapılan işi ifade etmekte olup, pompa işi,  $W_p$ , olarak adlandırılır. Pompalama işinin transferi, eğer giriş stroku boyunca ölçülen basınç, egzoz stroku boyunca ölçülen basınçtan daha küçük ise silindir gazlarına yapılır. Eğer egzoz strokundaki basınç giriş strokundan daha düşükse, pompa işinin transferi silindir gazlarından pistonu doğru gerçekleşir. Bu durum yüksek miktarda yüklenen turbo şarjlı dizel motorlarda görülen bir durumdur.

Her bir silindir tarafından üretilen güç, her çevrimde elde edilen indike iş cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$P_i = \frac{W_{c,i} N}{N_R} \quad (2.18)$$

Bu eşitlikte  $N_R$ , her bir silindir için, bir güç stroku boyunca krankın yaptığı devir sayısını ifade etmektedir. 4 stroklu çevrimler için  $N_R$  değeri 2, 2 stroklu çevrimler için  $N_R$  değeri 1'dir. Bu güç indike gücü ifade etmekte olup, silindir gazlarından pistonu olan işin transfer hızını göstermektedir. Bu güç, motordaki sürtünmeleri yenmek için harcanan güç olan fren gücünden ve pompa gücünden farklıdır.

4 stroklu motorların, çevrim başına iş veya güç gibi indike iş ve güç miktarları belirtilirken, “indike” terimi için yapılan tanımlama daima açık bir şekilde belirtilmelidir. En yaygın olarak kullanılan toplam indike güç, gerektiği yerde gücü ifade etmek için kullanılacaktır. Çünkü indike değerler, sıkıştırma, yanma ve genişleme süreçlerinin her birinin motor performansı v.b. gibi değerler üzerine etkilerini tanımlayabilmek için kullanılırlar. Bu yüzden toplam indike güç tanımı en uygun tanımlamadır. Bu değer, şafttaki kullanılabilir iş miktarını ve motorda meydana gelen tüm kayıpları yenmek için harcanan işin toplamıdır. Dahası, standart motor test kodları, fren gücünü ve sürtünme gücünü ölçümleyebilmek için çeşitli prosedürlere (sürtünme gücü testi, motorda gerçekleşen toplam kayıpların tahmin edilmesinde daha isabetli sonuçlar elde edilmesini sağlar.) sahiptirler. Fren gücü ve

sürtünme gücünün toplamından elde edilen değer, indike gücün tahmininde kullanılabilir alternatif bir yol sunar. Burada elde edilen değer, toplam indike gücün tahmini değerine yakın bir değerdir.

Fren ve indike gibi terimler, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi ve özgül emisyon miktarları gibi parametrelerin tanımlanması için de kullanılırlar.

## 2.5. Mekanik Verim

Toplam indike işin bir kısmı egzoz gazlarının dışarı atılması ve yeni şarjın silindirlere alması için harcanırken diğer bir kısmı da, rulmanların, pistonların ve motorun diğer mekanik aksamının oluşturduğu sürtünmeleri yenmek için ve motor parçalarının çalıştırılması için kullanılır. Tüm bu güç gereksinimleri, sürtünme gücü,  $P_f$ , altında toplanır ve:

$$P_{ig} = P_b + P_f \quad (2.19)$$

dir. Sürtünme gücünün tam olarak tahmin edilebilmesi zordur. Yüksek hızlı motorlar için kullanılan bir yöntem, motoru bir dinamometreye bağlamak veya dinamometre ile çalıştırmaktan ve sürtünme kayıplarını yenmek için dinamometre tarafından motora verilen gücün ölçülmesinden ibarettir. Burada motor hızı, yağ ve su sıcaklıkları, çevresel koşullar gibi parametreler motorun ateşleme ile çalıştırılması durumundaki değerleriyle aynı tutulmalıdır. Bu metotta meydana gelen hatalar genellikle piston üzerindeki gaz basıncı kuvvetinin ve silindir çeperlerindeki yağ sıcaklıklarının motorun ateşlenmesi durumundaki değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Motor tarafından üretilen fren gücü (veya kullanılabilir gücün) indike güce oranına mekanik etkinlik denir ve  $\eta_m$  ile gösterilir. Mekanik etkinlik değeri:

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{ig}} \quad (2.20)$$

olarak hesaplanır. Sürtünme gücü gazın silindir içersine alınması ve dışarı atılması için harcanan gücü içerdiğinden dolayı, mekanik etkinlik değeri, gaz pedalı pozisyonuna, motor dizaynı ve motor hızına bağlıdır. Modern bir otomobil motoru için tipik değerler, gaz kelebeğinin tam açık olduğu durumda, 30-40 devir/s (1800-2400 devir/dk.) hızlarında % 90, maksimum oransal hızın gerçekleştiği noktada %75 civarındadır. Motora verilen yakıt miktarı düşürüldüğünde, mekanik etkinlik değeri de düşüş göstermekte olup motor boşta çalışırken neredeyse 0 değerine düşmektedir.

## 2.6. Ortalama Efektif Basınç

Tork, belirli bir motorun iş yapabilme yeteneğini ifade etmekte olup motor büyüklüğüne bağlı bir değişkendir. Motor performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir başka parametre olan çevrim başına iş değişkeni, her bir çevrimde elde edilen işin, bu çevrimde boşaltılan silindir hacmine bölünmesiyle elde edilir. Bu şekilde elde edilen bir değişken, birim alana düşen kuvvet birimleriyle ifade edildiğinden bu değişken “ortalama efektif basınç” olarak adlandırılır. Eşitlik 2.15’ten:

$$\text{Çevrim Başına İş} = \frac{Pn_R}{N} \quad (2.24)$$

Burada  $n_R$  , bir silindir için her güç strokuna düşen krank çevrim sayısıdır. (dört stroklu motorlar için iki, iki stroklu motorlar için bir) böylelikle;

$$mep = \frac{Pn_R}{V_d N} \quad (2.25)$$

SI ve US birim sistemleri için sırasıyla;

$$mep(kPa) = \frac{P(kW)n_R \times 10^3}{V_d(dm^3)N(devir/s)} \quad (2.26)$$

$$\text{mep}(\text{lb/in}^2) = \frac{P(\text{hp})n_R \times 396000}{V_d(\text{in}^3)N(\text{devir/dk})} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. Ortalama efektif basınç, Eşitlik 2.13 kullanılarak tork cinsinden de ifade edilebilir:

$$\text{mep}(\text{kPa}) = \frac{6.28n_R T(\text{N.m})}{V_d(\text{dm}^3)} \quad (2.28)$$

$$\text{mep}(\text{lb/in}^2) = \frac{75.4n_R T(\text{lb.ft})}{V_d(\text{in}^3)} \quad (2.29)$$

İyi dizayn edilmiş motorların maksimum fren ortalama efektif basıncı iyi bir şekilde ayarlanmıştır ve geniş bir motor boyutu aralığı için sabit bir değerdedir. Böylelikle herhangi bir motorun ürettiği bmep değeri bu norma göre karşılaştırılabilir ve motor tasarımının etkinliğini belirleyen motorun güç üretirken kullandığı hacmi ne kadar etkin bir şekilde kullandığı hakkında bilgiler verir. Aynı zamanda tasarım hesapları için, belirli bir motor hızında belirli bir torkunun veya gücünün elde edilmesini sağlayacak olan motor hacmi de belirli uygulamalar için uygun bmep değerlerinin kullanılmasıyla tahmin edilebilir.

Bmep için tipik değerler aşağıdaki gibidir:

Doğal emişli, buji ateşlemeli motorlar için, maksimum torkun elde edildiği motor hızında (yaklaşık 3000 devir/dakika) maksimum bmep değerleri 850-1050 kPa arasında değişmektedir. Maksimum oransal güç noktasında bmep değerlerinde %10 ila %15 düşüş gözlenmektedir. Turbo şarjlı, buji ateşlemeli motorlar için maksimum bmep değeri, 1250-1700 kPa arasında değişim göstermektedir. Maksimum oransal güç noktasında ise bu aralık 900-1400 kPa dır. Doğal emişli, dört stroklu dizel motorlar için, maksimum bmep değeri 700-900 kPa aralığında değişmekte olup, maksimum oransal güç noktasında bu değer 700 kPa civarındadır. Turbo şarjlı, dört stroklu dizel motorun maksimum bmep değeri 1000-1200 kPa arasında değişim göstermektedir. Turbo şarjlı, sonradan soğutmalı motorlar için bu değer 1400 kPa



değerine kadar ulaşabilmektedir. Maksimum oransal güç noktasında bmep değeri 850-950 kPa arasında değişmektedir. İki stoklu çevrime sahip dizel motorların performansı dört stroklu motorların performansı ile kıyaslanabilecek düzeydedir. Büyük, düşük hızda çalışan, iki stroklu dizel motorlar 1600 kPa bmep değerine kadar ulaşabilmektedirler.

### 3. SİLİNDİR BASINCI VERİLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ

Silindir basıncının, sıkıştırma ve genişleme strokları boyunca krank açısına bağlı olarak değişiminin incelenmesi, yanma olayının gelişimi hakkında kantitatif bilgiler elde edilmesini sağlar. Yakıtın kimyasal enerjisinin salınma hızının (genellikle ısı yayılımı olarak bilinir.) ve yakıtın yanma hızının analizini sağlayan uygun metotlar yardımıyla bir dizel motordaki yanma süreci tam olarak tanımlanabilmektedir. Bu analiz metotları, buji ateşlemeli motorlar için bölüm 9.2.2'de belirtildiği gibidir ve sonlu dengeli (basınç ve sıcaklık değerleri uniform olan) açık bir sistem için termodinamiğin birinci kanunu ile başlamaktadır. Bu gibi bir sistem için birinci kanun:

$$\frac{dQ}{dt} - p \frac{dV}{dt} + \sum_i m_i h_i = \frac{dU}{dt} \quad (3.1)$$

Burada  $dQ/dt$  değeri, sistem sınırları boyunca sisteme yapılan ısı transferini ifade etmektedir.  $p dV/dt$  değeri ise, sistem sınırlarının değişmesinden dolayı, sistem tarafından yapılan işin transfer hızını gösterir.  $m_i$  ,i bölgesinde tüm sistem sınırları boyunca sistemin içine doğru olan (sistem dışına doğru olan kütle akışı negatif değerlerle gösterilir.) kütle transfer hızıdır.  $h_i$  , sisteme giren veya çıkan akışın entalpisini simgelemektedir.  $U$  ise sistem içersindeki tüm maddelerin toplam enerjisini ifade etmektedir.

Aşağıda sayılacak olan faktörlerden dolayı, bu eşitliğin dizel motorlara uygulanması güçleşmektedir:

1. Yakıt silindir içersine enjekte edilir. Silindir içersine verilen sıvı yakıt buharlaşarak hava ile karışır ve uniform olmayan ve zamanla değişen bir yakıt/hava oranı oluşturur. Yani bu süreç sonlu dengeli değildir.

2. Yanmış gazların kompozisyonları uniform yapıda değildir ve tam olarak bilinmemektedir.

3. Dizel motorlardaki ısı transferinin tahmin edilmesinde kullanılan korelasyonların doğruluk derecesi tam doğru bir şekilde tanımlanmamıştır.

4. Boşlukların bulunduğu alanlar (piston, ringler ve silindir çeperi arasında kalan hacim gibi) temizleme hacminin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu hacim içerisinde yer alan gazlar, silindir çeperi sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğutulur. Böylelikle yoğunlukları ve bu boşlukların temizleme hacmi içerisindeki relatif önem derecesi artış gösterir. Bu yüzden bu boşluklar, ısı transferini artırır ve yanma odasının diğer kısımlarından farklı koşullar altında ihmal edilemeyecek büyüklükte bir sürtünme içermektedir.

Bu problemler yüzünden, karmaşık analiz metotları ve daha basit metotlar sadece yaklaşık sonuçlar elde edilmesini sağlayabilirler.

### **3.1. Yanma Verimi**

Isı yayılımı ve yanan yakıt kütlesi tahminlerinde önemli bir faktör yanma olayının tamamlanmasıdır. Dizellerdeki hava kullanımı egzozdaki siyah duman oluşması yüzünden sınırlandırılır. Bu dumanın büyük bir kısmı karbondur. Oluşan bu duman ve yanmayan hidrokarbonlar gibi tamamlanmamış yanma ürünleri, yanma etkinliğini düşürür ve bu düşüşün büyüklüğü fazla değildir. Tam yükleme koşulları altında, motora beslenen yakıtın %0.5'i egzozdaki siyah dumana dönüştüğünde bile elde edilen etkinlik değeri kabul edilemez düzeydedir. Hidrokarbon emisyonları, yakıtın %1'lik kısmından daha küçük bir büyüklüğe sahiptirler. Dışarı atılan karbon monoksite yakıt enerjisi de yaklaşık %0.5 civarındadır. Bu yüzden etkin olmayan yanma düzeyi daima %2'den küçük olmakta yani yanma etkinliğinin düzeyi %98'den daha büyüktür. Bu emisyonlar ve bunların hava kirliliğine etkileri düşündüğümüzde, olaya enerji çevrimi yönünden baktığımızda, yanma olayının ve ısı yayılımının tam olarak gerçekleştiğini varsaymak iyi bir tahmindir.

### 3.2. Direkt Enjeksiyonlu Motorlar

Bu tip motorlar için silindirin içeriği tek ve açık bir sistem niteliğindedir. Sistem sınırları içerisinde akışı sağlanan (giriş ve egzoz vanaları kapalı durumdayken) kütleler sadece yakıt ve boş hacimlerdir. Boş hacim akışını genelleştiren bir yöntem bölüm 9.2.2 de verilmiştir. Burada hacmin yer değiştirmesinin etkileri ihmal edilecektir. Bu yüzden Eşitlik 3.1 şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$\frac{dQ}{dt} - p \frac{dV}{dt} + \sum_i m_f h_f = \frac{dU}{dt} \quad (3.2)$$

Basınç verilerinden hareket ederek yanmaya ilişkin bilgilerin elde iki metot yaygın olarak kullanılır. Her iki metotta da, silindir içeriğinin sıcaklığının, yanma süresi içerisindeki her hangi bir t anında uniform olduğu kabul edilir. Bu metotlardan biri yakıt enerjisi ve ısı yayılım hızının yaklaşık değeri ile ilgili bilgiler verirken diğeri, yakıtın yanma hızı ile ilgili verilerin elde edilmesini sağlar. Burada “yaklaşık” kelimesi bu verilerin birer tahmin olmasından ve gerçek değerlerinin tam olarak kararlaştırılmamasından dolayı kullanılmıştır.

Isı yayılım analizi, Eşitlik 3.2’deki U ve  $h_f$ , değişkenleri silindir içeriğinin iç enerjisi ve enjekte edilen yakıtın entalpisi olarak kabul edilirse,  $dQ/dt$  terimi, kimyasal enerji veya yakıtın yanması ile ortaya çıkan ısı miktarı (pozitif bir büyüklük) ile sistemden yapılan ısı transferi (motorlarda ısı transferi sistemden yapılır ve termodinamik kurallara göre bu negatif bir büyüklüktür.) arasındaki farkı ifade eder. Eğer  $h_{s,f}$  değeri yaklaşık sıfır olarak alınırsa Eşitlik 3.2 şu forma dönüşür:

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{dQ_{ch}}{dt} - \frac{dQ_{ht}}{dt} = p \frac{dV}{dt} + \frac{dU_s}{dt} \quad (3.3)$$

Net ısı yayılım hızını gösteren  $dQ_n/dt$  terimi, toplam ısı yayılım hızını gösteren  $dQ_{ch}/dt$  ile silindir çeperlerine yapılan ısı transferi olan  $dQ_{ht}/dt$  arasındaki fark kadardır bu da piston üzerine yapılan iş ile silindir içeriğinin iç enerjisinin değişim hızının toplamıdır.

Eğer silindir içersinde yer alan gazların ideal gaz davranışı gösterdiklerini varsayarsak, Eşitlik 3.3 aşağıdaki formda tekrar yazılabilir:

$$\frac{dQ_n}{dt} = p \frac{dV}{dt} + mC_v \frac{dT}{dt} \quad (3.4)$$

$pV=mRT$  ideal gaz denkleminde, R sabit kabul edilirse aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5, Eşitlik 3.4 ile birlikte tekrar düzenlenirse:

$$\frac{dQ_n}{dt} = \left(1 + \frac{c_v}{R}\right) p \frac{dV}{dt} + \frac{c_v}{R} V \frac{dp}{dt} \quad (3.6)$$

ya da:

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{\gamma}{\gamma-1} p \frac{dV}{dt} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dp}{dt} \quad (3.7)$$

Burada  $\gamma$  , özgül ısıların (  $c_p / c_v$  ) oranını ifade etmektedir. Dizel motordaki ısı yayılımı analizi için 1.3-1.35 aralığı uygundur. Eşitlik 3.6, genellikle bu aralıktaki sabit bir  $\gamma$  değeri ile kullanılır. Bilimsel olarak, dizel motorun ısı yayılımı analizi için  $\gamma$ 'nın sıkıştırma stroku sonundaki hava sıcaklığına (yanma olayı yüzünden yaklaşık 1.35) ve yanma sonrasında oluşan yanmış gazların toplam denge oranına uygun olarak (yaklaşık 1.26-1.3 aralığında) değerler aldığını varsayabiliriz. Yanma süresince en doğru hesaplamaları sağlayabilecek olan  $\gamma$  değerinin hesaplanması için uygun bir yöntem mevcut değildir.

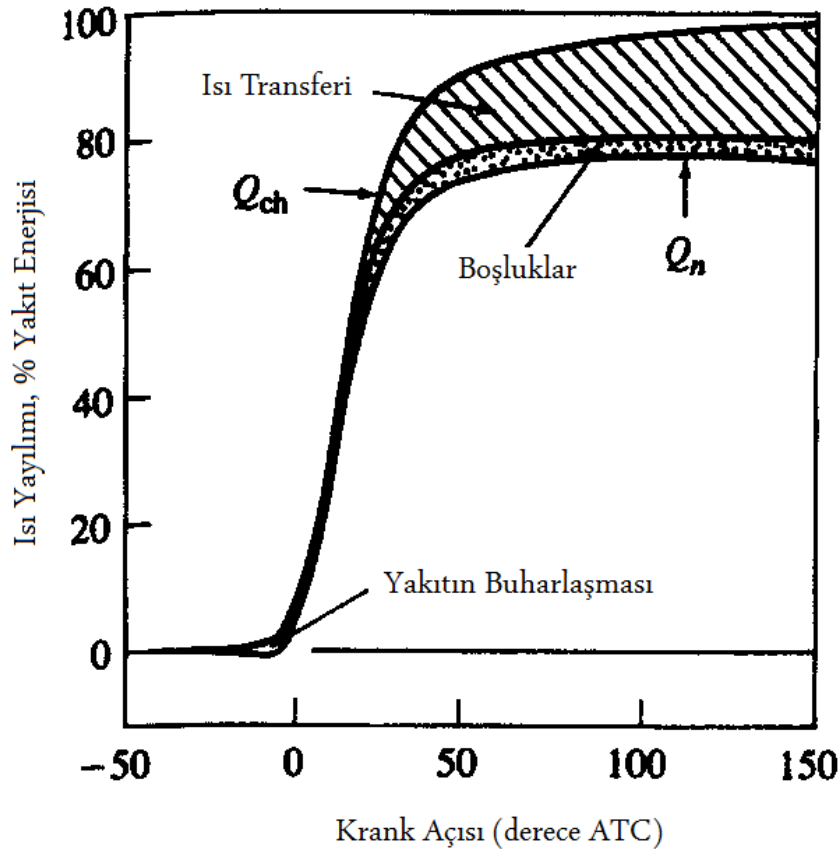
Eşitlik 3.2'ye dayalı ve ısı transfer analizine yönelik daha iyi yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu yöntemler, yanma olayının öncesinde, yanma süresince ve yanma olayının sonrasında daha karmaşık modele sahip gaz içeriklerine sahiptirler

ve ısı transferinin ve boşlukların etkilerini de göz önünde bulundurmaktadırlar. Fakat şu hususları da göz önünde bulundurmak gerekir: (1) karışımın üniform yapıda olmaması (yakıt / hava oranının üniform olmaması ve yanan ile yanmayan gazların üniform yapıda olmaması), (2) kullanılan ısı transfer analizi modelinin doğruluk derecesi, (3) boşlukların ısı transfer analizine etkileri. Daha karmaşık ısı transferi modelleri için bu hususlar çoğaltılabilir. Bu, kullanılan modelin doğruluk derecesi ile ilgilidir. Çoğu mühendislik uygulamalarında Eşitlik 3.6, dizel motorun yanma analizi için yeterlidir.

Ek olarak Eşitlik 3.6'da ihmal edilen ısı transferi teriminin ( $dQ_{ht} / dt$ ) modele dahil edilmesiyle daha isabetli sonuçlar elde edilebilir. Böylelikle toplam ısı transfer hızının gerçek değerine daha yakın sonuçlar elde etmiş oluruz. Toplam ısı transfer hızının tüm yanma süreci boyunca integralinin alınması ile elde edilen sonuç (yüzde birkaç hata ile beraber – analizin tam doğru sonuç vermemesinden dolayı), silindirde enjekte edilen yakıt kütlesi  $m_f$  ile yakıtın düşük ısınma ısısının,  $Q_{LHV}$ 'nin çarpımına eşittir. Yani:

$$Q_{ch} = \int_{t_{ik}}^{t_{son}} \frac{dQ_{ch}}{dt} dt = m_f Q_{LHV} \quad (3.8)$$

olur. 3.1 ile 3.4 arasındaki eşitliklerle, Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7'de zaman değişkeni  $t$  yerine krank açısı  $\theta$  kullanılabilir.



Şekil 3.1: Yanma süresince toplam ve net ısı transferinin değişimi. (turbo-şarjlı, direkt injeksiyonlu motorlarda, ortalama bir hızda, ısı transferinin relatif büyüklüğü ile boşluk ve yakıt buharlaşması ile ısı artışının etkilerini göstermektedir.) (Heywood,1998)

Şekil 3.1'de, toplam ve net ısı transferinin relatif büyüklüklerine ve ısı transferi, boşluk etkileri ile turbo-şarjlı dizel bir motorun orta yükleme ve ortalama bir hızda çalıştırılması sonucu oluşan yakıtın buharlaşma ısısı ve yakıtın ısınmasına ilişkin değişim grafikleri görülmektedir. Net ısı yayılımı, yanma sonucu oluşan toplam ısı yayılımından, silindir çeperlerine yapılan ısı transferi, boşluk ve yakıt buharlaşması ve ısınmasının (yukarıdaki eşitlikte ihmal edilen kütle artış terimi olan  $dU/dt$  terimi) etkileri çıkarılmasıyla elde edilir. Bu son terim ihmal edilebilecek kadar küçük bir değerdir. Dizel yakıtın buharlaşma entalpisi ısınma entalpisinin %1'inden daha küçüktür. Yakıt buharının enjeksiyon sıcaklığından tipik sıkıştırılmış hava sıcaklığına ısıtılması ile ilgili olan enerji değişiminin değeri yakıtın ısınması için harcanan enerjinin yaklaşık %3'ü kadardır. Tüm yanma periyodu boyunca integrasyonu alınan ısı transferinin değeri, toplam ısı yayılımının %10'u ile %25'i arasındadır.

Yanmış kütle oranı analizi, Eğer, Eşitlik 3.1’de yer alan yakıtın, havanın ve yanmış olan gazların iç enerjileri, tutarlı bilgilere dayalı olarak değerlendirilirse, bu eşitlik, silindir basıncı-krank açısı verilerinden hareketle, yakıtın yanan kütle oranının yaklaşık olarak hesap edilmesinde kullanılabilir. Krieger ve Borman’a dayanarak Eşitlik 3.2 aşağıdaki forma dönüştürülebilir:

$$\frac{d}{dt}(\mu) = -p \frac{dV}{dt} + \frac{dQ}{dt} + h_f \frac{dm}{dt} \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte Q, yanma odası içersindeki gaza yapılan ısı transferini simgelemektedir. (Yani  $Q = -Q_{ht}$ ), m, yanma odasındaki toplam kütle,  $dm/dt$  ise kütle değişim hızını ifade etmektedir.

Yanma süresince silindir içersindeki gazların özellikleri (bu gazların uniform oldukları ve bir p basıncı ile ortalama T sıcaklığında kimyasal denge içersinde oldukları varsayılmaktadır.), basınç, p, sıcaklık, T ve denge oranı  $\Phi$ ’nin bir fonksiyonu niteliğindedir.

$$u = u(T, p, \varphi) \text{ ve } R = R(T, p, \varphi) \quad (3.10)$$

Böylelikle:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial R}{\partial p} \frac{dp}{dt} + \frac{\partial R}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (3.11)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\partial R}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial R}{\partial p} \frac{dp}{dt} + \frac{\partial R}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (3.12)$$

Aynı zamanda:

$$\varphi = \varphi_0 + \left( \frac{m}{m_0} - 1 \right) \frac{1 + (F/A)_0}{(F/A)_s} \quad (3.13)$$



ve:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{(1 + (F/A)_0) dm}{(F/A)_s m_0 dt} \quad (3.14)$$

(F/A) değeri hava yakıt oranını, alt indis olan 0 yakıt enjeksiyonundan önceki ilk değerini ve s alt indisi ise sitokiyometrik değeri simgelemektedir. Dolayısıyla:

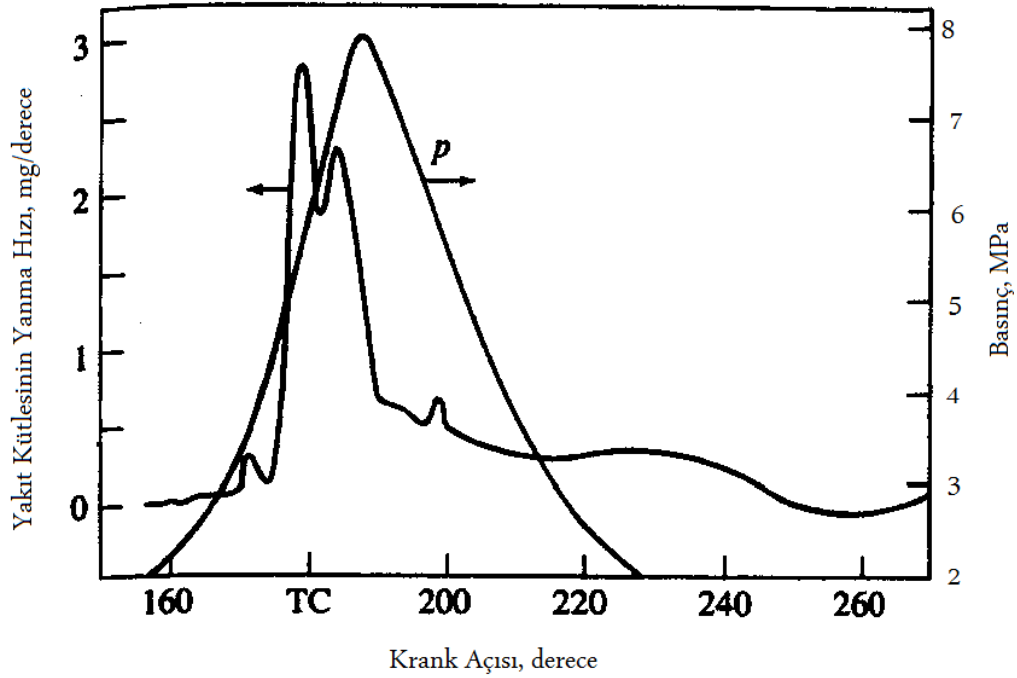
$$\frac{1}{m} \frac{dm}{dt} = \frac{-(RT/V)(dV/dt) - (\partial u/\partial p)(dp/dt) + (1/m)(dQ/dt) - CB}{u - h_f + D(\partial u/\partial \phi) - C[1 + (D/R)(\partial R/\partial \phi)]} \quad (3.15)$$

Bu eşitlikte yer alan değerlerin formülleri aşağıda verilmiştir:

$$B = \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} - \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial p} \frac{dp}{dt} + \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (3.16)$$

$$C = \frac{T(\partial u/\partial T)}{1 + (T/R)(\partial R/\partial T)} \quad (3.17)$$

$$D = \frac{[1 + (F/A)_0]m}{(F/A)_s m_0} \quad (3.18)$$



Şekil 3.2: Silindir basıncı,  $p$  ve silindir basıncından hesaplanan yakıtın kütleli yanma hızının, Krieger ve Borman metodunun kullanılmasıyla krank açısının bir fonksiyonu olarak gösterilmesi. (Direkt İnjektionlu motorda 3200 devir / dakika hızında ve tam yüklem koşullarında elde edilen verilerle çizilmiştir.) (Heywood,1998)

Eşitlik 3.12,  $m_0$ ,  $\square_0$ , ve  $p(t)$  nin değerleri belli iken  $m(t)$  için, sıvı mekaniği özelliklerini taşıyan uygun modeller için ve ısı transferi terimi olan  $dQ/dt$  için nümerik olarak çözülebilir.

Şekil 3.2'de açık yanma odasına sahip direkt enjektionlu dizel motoru için elde edilen basınç verileri ve yukarıda söz edilen metotla bu basınç verilerinden hesaplanan yakıtın kütleli yanma hızı,  $dm/dt$ , nin değişimi görülmektedir. Burada Annand'ın ısı transfer modeli kullanılmıştır ve sonuç olarak yakıt kütleli yanma hızı yaklaşık olarak hesap edilmiştir. Bu değer, yakıtın ısınma ısısı ile çarpıldığında yakıtın kimyasal enerjisi veya ısı yayılım hızı yaklaşık olarak elde edilir. Esas kütleli yanma oranı bilinemez. Çünkü, yakıtın tümü tam yanma ürünlerini oluşturacak şekilde yeterli miktarda hava ile yanmamaktadır. Yakıtın yaklaşık %60'ı tüm yanma periyodunun ilk 1/3'lük kısmında yanmaktadır. Yakıtın yanma hızının tüm yanma süreci boyunca integralinin alınması ile toplam yanan yakıt kütleli elde edilir. Yakıtın kimyasal enerjisi, genişleme süreci boyunca salınmaya devam eder. Bu yüzden bu hesaplamaların doğruluk derecesi veya gerçek değerine yakınlığı düşüş

gösterir. Isı transferinin tahmin edilmesinde yapılan hatalar yaklaşık olarak hesaplanan yakıt yanma hızının değerini büyük miktarda etkilemektedir.

Krieger ve Borman, kritik varsayımlar ve değişkenler için duyarlılık analizi çalışmaları yapmışlardır. Sonuç olarak ürün olarak çıkan gazların ayrışmalarının etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu kanıtlamışlardır. Bu ise Eşitlik 3.12'nin basitleştirilmesine imkan sağlayabilir. Ayrışma olmaksızın:

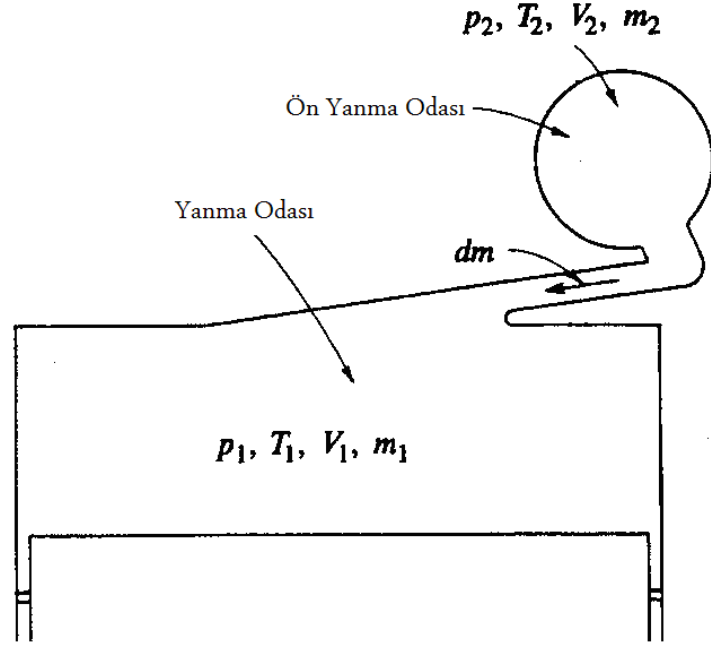
$$u = u(T, \varphi) \text{ ve } R = \bar{R}/M \quad (3.19)$$

değerleri sabit kabul edilebilir. (Moleküler ağırlığı simgeleyen M değeri küçük bir değişim göstermektedir.) Böylelikle:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{[1 + (c_v/R)]p(dV/dt) + (c_v/R)V(dp/dt) - (dQ/dt)}{h_f + (c_v/R)(pV/m) - u - D(\partial u/\partial \varphi)} \quad (3.20)$$

Burada D değeri daha önceki  $[1 + (F/A)_0]m/[(F/A)_s m_0]$  değeri ile aynıdır. Isı transfer modelinde yer alan kesin olmama durumu ve uniform olmama ile boşluk etkileri göz önünde bulundurulduğunda Eşitlik 3.13'ün yeterli düzeyde sonuçlar verdiği söylenebilir.

Krieger ve Borman tarafından incelenen diğer bir duyarlılık analizi çalışması, basınç verilerinin  $2^0$  öne ve  $2^0$  geriye alınması ve gruplandırılması üzerinedir. Bu çalışmada basınç verileri  $\pm 34$  kPa, ısı transfer hızı  $\pm \%50$  ve başlangıç kütlesi  $\%5$  artış göstermiştir. başlangıç kütlesinin değişim oranının yanma hızı hesaplarına etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir.



Şekil 3.3: Değişkenlerin yanma odasında (1 indisi ile gösterilenler) ve ön yanma odasında (0 indisi ile gösterilenler) direkt enjeksiyonlu dizel motorun ısı transfer analizi için şematik olarak gösterilmesi. (Heywood,1998)

Isı transferinin  $\pm\%50$  değişmesi yanan kütle miktarını  $\pm\%5$  değiştirmiştir. Basınç verilerinin gruplandırılmasıyla yanan kütle miktarında görülen değişim daha yüksektir. Tam doğru basınç verilerinin (büyüklük ve gruplandırma olarak) elde edilmesi ısı yayılımı ve yanan yakıt kütlesi oranı için en önemli gereksinim olduğunu vurgulamak gerekir.

## **4. GERÇEK ZAMANLI VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ**

Bu bölümde, veri toplama sisteminde kullanılan bilgisayar algoritması ile bu algoritmanın sahip olduğu arayüz prosedürü anlatılacaktır. Gerçek bir veri toplama sisteminde, mekatronik bir tasarım için gerekli olan bir bilgisayar, sensör, aktüatör, genel amaçlı A/D ve D/A dönüştürücüsü olan bir veri toplama kartı gerekmektedir. Bu gibi araçlar tüm mekatronik uygulamalar için gerekli olan temel donanımlardır. Ayrıca bu uygulamalarda kullanılan en önemli unsurlardan birisi de, kullanılan yazılım programıdır. Bu yazılım programlarına örnek olarak, Windows tabanlı LabVIEW, LabWindows, Vinsim, Simulink, MATLAB ve Matrix verilebilir.

### **4.1. Gerçek Zaman Arayüzü**

Gerçek zaman arayüzü, bilgisayarla veri toplama sistemi arasında bağlantının sağlanarak ver akışının gerçekleştirilmesi için tanımlanmış genel bir terimdir. Monitör, klavye, yazıcı, disket, modem gerçek zaman arayüzüne verilebilecek örneklerdir. Genel bir ifadeyle arayüz süreci, sensör, aktüatör ve bir sistemden oluşmaktadır. Örneğin veri toplama sisteminde insan operatör, sensörün ise klavyeyi oluşturduğunu varsayabiliriz. Zira verilerin sistemden bilgisayara girişi klavye, yani sensörler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Monitör ise aktüatör görevini, yani hareket verici olarak bilgisayardaki bilgileri aktarma işlemini yapmaktadır.

### **4.2. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi Elemanları**

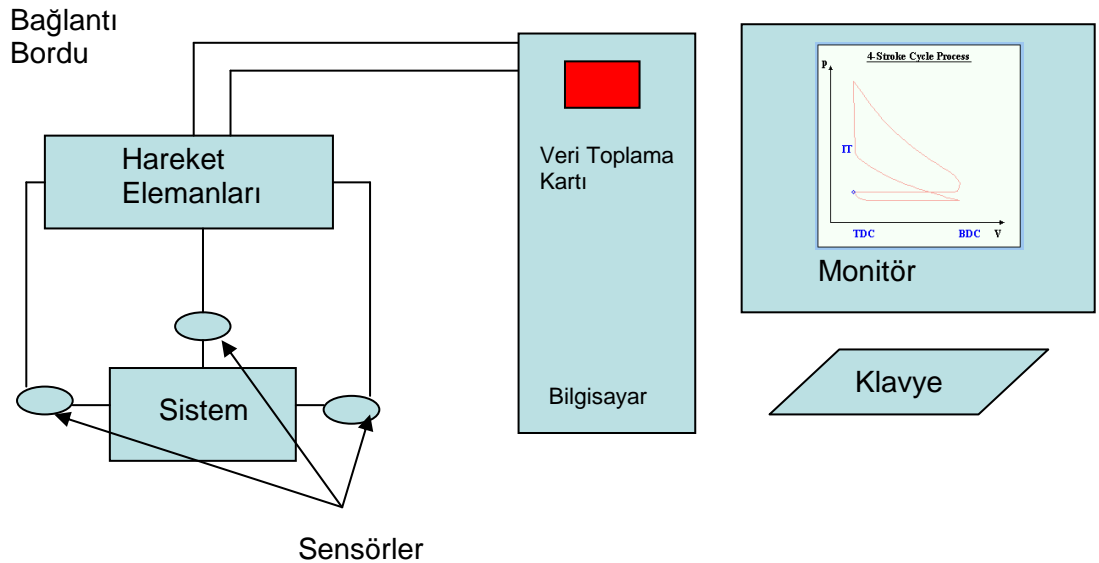
Bir Veri Toplama Sistemi (VTS), sensörlerden gelen gerçek verilerin alınması için gerekli olan yazılım ve donanım elemanlarından oluşmaktadır. Fiziksel olaylar karşısında sensörlerin gerilim, direnç gibi bazı parametrelerinde değişiklikler olmaktadır. Bu değişimlerden yararlanılarak sensörler sıcaklık, basınç, hız v.b. fiziksel olayları tespit etmektedirler. Elde edilen değişimlere göre sinyaller işlenip

bilgisayar ortamında toplandıktan sonra grafiksel halde görüntüleme , verileri yazdırma ve işleme olarak kullanılırlar.

Bir veri toplama sistemi, gözleme sistemi gibi düşünülebilir. Gözleme sistemi gerçek sistemden verileri alır ve verilerin işlenmesi sürecinde özelliklerini gösterir. Fakat sistem sinyal göndermez. Eğer hem deneysel verileri toplar hem de sisteme sinyaller gönderirse, bu özelliklere sahip sisteme Veri Toplama ve Kontrol Sistemi (VTKS) denir. (Bolton, 1995) Bir VTKS sistemi, VTS sisteminin bir üst sistemi olup içersinde sensör ve aktüatör olan iki eleman bulunmaktadır. Aktüatörler, sensörlerin çift yönlüsü olup, düşük güçteki bilgisayar sinyallerini aktarırlar. Bu aktarımlar, sıcaklık, hız, basınç v.b. şeklinde dış dünyaya yansımaktadır. Yaygın olarak kullanılan aktüatörler step motor, selenoid, röleler, hidrolik motorlar, hoparlörler, piezo-elektriklerdir.

Bilgisayarsız bir VTKS sistemi beş temel elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar:

1. Sensörler
2. Hareket ettirici elemanlar (Aktüatörler)
3. Bağlantı birleştirme paneli
4. Genel amaçlı giriş-çıkış kartı (GAGÇK)
5. Uygulama yazılımı.



#### 4.2.1 Sensörler

Fiziksel büyüklükleri elektriksel sinyallere çeviren elemanlardır. Sensörler yardımıyla mekatronik sistemde oluşan sıcaklık, ısı, nem, ışık vb. gibi fiziksel değişimler elektriksel işaretlere dönüştürülerek, giriş bilgisi olarak kontrol sistemine gönderilirler. Çevrim türü açısından sensörler aktif ve pasif olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (Gazi Obitet, 2005). Aktif sensörler fiziksel olaylar karşısında kendiliğinden elektriksel sinyal üretebilen sensörlerdir. Silindir gaz basıncı sensörü ve lambda sensörü motorlarda kullanılan aktif sensörlere örnek olarak verilebilir. Pasif sensörler kendi kendilerine gerilim üretemeyen sensörler grubuna dahildirler. Bu sensörlere örnek olarak yük hücreleri verilebilir. Sensöre bir referans sinyali gönderildiğinde geri dönen gerilim miktarındaki değişim yük miktarındaki değişimin bir fonksiyonudur. Örneğin sıcaklık sensörünü NIK (Negatif Sıcaklık Katsayılı) bir dirençtir. Sıcaklık arttıkça direnci düşer, azaldıkça ise artar. (Aslan ve Sürmen 2004)

##### 4.2.1.1. Sensörlerle İlgili Genel Terimler

Kurulan veri toplama sistemi veya kontrol sisteminde sensörler için bazı veriler mevcuttur. Bu verilerden yararlanarak sensörün sistemle uyumlu olup olmadığına karar verilir. Örneğin bir sistemde kullanılacak yük hücresinin maruz kalacağı yük 1000 kg ise ölçüm aralığı 0-800 kg olan bir yük hücresi seçilemez. Yine sıcaklıktan etkilenecek farklı sonuçlar veren bir sıcaklık sensörünün sistem sıcaklığıyla uygun bir çalışma sıcaklığında olması gerekmektedir. Bu noktada, sensörün sıcaklığa karşı duyarlılığı ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden sistem için seçilecek sensörün verilerinin ne anlama geldiğinin bilinmesi gerekir. Tablo 4.1’de bir sensör için verilerin ne anlama geldiği açıklanmıştır.

Ölçüm aralığı; Giriş verisinin değişim aralığını ifade eder. Örneğin basınç ölçümü için kullanılan Tablo 4.1’deki sensörün ölçüm aralığı 0-250 bardır.

Tablo 4.1 Bir Basınç Sensörünün Özellikleri (Kistler)

Ölçüm Aralığı	0-250 Bar, Sensör; 0-250 Bar arasında ölçüm yapabilir.		
Maksimum Çıkış voltajı	±10 V Sensör çıkışının değerini ifade eder.		
Hassasiyet ve Doğrusallık	0...250 Bar (50 °C), -26.09 pC/Bar ve ± %0.3 50 °C hassasiyetinin -26.09 pC/Bar ve doğrusallığının ise ± %0.3 olduğunu ifade eder.		
Doğal Frekans	90 kHz	Aşırı Yük (Overload)	300 bar

Not: Bu özelliklerin yanında, sensörlerle ilgili veriler içerisinde elektriksel özellikleri, mekanik özellikleri, çevresel özellikleri, boyutları gibi özellikler tabloda verilebilir.

Hata: Ölçme sonucu ile, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri arasındaki farktır.

Hata = Ölçülen değer – Gerçek değer

Eğer bir ölçme sisteminde gerçek basınç değeri 10 bar iken 15 barlık bir ölçüm değeri yapılmışsa yapılan hata +5 bardır. Eğer ölçülen değer 5 bar ise, hata değeri -5 bardır.

Tamlık: Genelde ölçüm aralığının yüzdesi olarak tanımlanır. Bir sensörün kalibre edildikten sonraki doğabilecek tüm hataların toplamıdır. Örneğin bir silindir gaz basıncı sensörü için tamlık değeri  $\pm 0.1$  olarak belirlenmiştir. Bu nedenle ölçme elemanından alınan değer ise gerçek değer  $\pm 0.1$  bar aralığında olmalıdır.

Hassasiyet: Birim girdiye karşın ne kadar çıktı olacağını gösteren ilişkidir. Örneğin bir basınç sensörünün hassasiyeti yapılan ayarlamalar sonucu 5 bar/V olarak ifade edilebilir.



Doğrusal olmayan hata: Birçok sensörün çalışma aralığı içinde giriş ile çıkış arasında lineer bir ilişkinin olduğu varsayılır. Girişe karşılık olarak çizilen çıktı grafiğinin düz bir çizgi olduğu kabul edilir. Halbuki çok az sensörde gerçek bir lineer ilişki mevcuttur ve bunun sonucu olarak da lineer varsayımdan kaynaklanan hatalar ortaya çıkmaktadır.

Ölü Bant: Sensörün çıkış vermediği giriş değerleri aralığıdır. Yani girdi hızı belirli bir değere ulaşmaya kadar çıktının alınmadığı bölüm olarak tanımlanabilir.

#### **4.2.1.2 Statik ve Dinamik Karakteristikler**

Statik karakteristikler, sensör giriş değerlerini aldıktan ve kararlı hale ulaştıktan sonra vermiş olduğu değerlerdir. Dinamik karakteristikler ise giriş değerinin değiştiği zaman ile sensör tarafından verilen değer kararlı hale geldiği zaman arasındaki davranışı ifade eder. Dinamik karakteristikler, sensörlerin belirli formlardaki girişlere cevabı şeklinde belirtilir.

Statik karakteristikler: Doğruluk, uygunluk, bozulma, topraklama, histerisiz (sensörler ölçülen büyüklüğün aynı değeri için sürekli artan veya azalan değişime bağlı olarak farklı değerler üretebilirler. Bu etkiye histerisiz hatası denir.), sensör kablosunun izolasyonu, minimum sinyal algılama, doğrusallık, mesafe, gürültü, ofset (Sensörün kontrol sisteminde çalışırken yapabileceği salınım değeridir.), çıkış empedans (Omik direncin akımın akışına gösterdiği zorluk) sınırları, tekrarlanabilirlik, çözünürlük, seçicilik ve hassasiyettir. (University of Wisconsin 2006; Kionik, 2006; Asiltürk ve Aydoğan, 2005)

Dinamik karakteristikler: Cevap zamanı, zaman sabiti, yükselme zamanı, oturma zamanı bir sensörün dinamik karakteristikleridir. Cevap zamanı, bir sensöre sabit bir giriş veya bir basamak giriş uygulandıktan sonra giriş değerlerinin belirli bir yüzdesini (örneğin %95) çıkış olarak verdiği noktaya kadar geçen zamana denir.

Zaman sabiti: Cevap zamanının %63,2'ye ulaşma zamanıdır. Atmosfer sıcaklığını ölçen bir termokuplın zaman sabiti 40-100 s olabilir.

Yükselme zamanı: Kararlı çıkış değerinin %10'dan %90'a veya 0 dan %100'e kadar ulaşması için geçen zamandır.

Oturma zamanı: Çıkışın kararlı değerine belirli bir yüzde toleransla (%2) ulaşma zamanını ifade eder.

### **4.3 Anlık Motor Verilerinin Toplanması**

İçten yanmalı motorlar üzerine yapılan araştırmalarda, her zaman anlık motor verilerine ait değerlerin alınması istenir. Silindir gaz basıncı, enjektör iğnesinin hareketi ve yakıt enjeksiyon basıncı gibi değişkenlerin anlık değerlerini kaydetmek çok önemlidir. Bu değişkenlerin büyüklüğü çoğu kez, çok küçük bir zaman periyodunda hızlı bir değişim göstermektedir.

Bu fiziksel değerleri görüntülemek için yüksek teknolojiye sahip cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu cihazlardan çıkan gerilim, tek veya çok kanallı bir osiloskop üzerinde gözlenebilmektedir. Bu gerilim değerlerinin kaydedilmesi ise daha sonraki inceleme ve analizler için büyük önem taşımaktadır. Günümüzdeki uygulamalarda, bu değişkenler dijital formlarda kaydedilmektedir. (Zhao ve Ladammatos, 2001) İlk önce, bu fiziksel değişkenlerin gerilim dönüşümü gerekir. Bölüm 4.2'de açıklandığı gibi veri toplama ve kontrol sistemi kurularak anlık motor verilerine ait değerler toplanmaktadır. Şekil 3.2'de PC tabanlı bir veri toplama sistemi ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Motor test sisteminde gerçek zamanlı veri toplayabilmek için veri toplama ve kontrol sistemi elemanları hakkında önemli hususlar aşağıda açıklanmıştır.

#### **4.3.1 Sinyal Şartlandırıcı**

Şekil 4.3'de veri toplama sisteminin dışında bulunan sensörler ve bu sensörlere ait sinyal koşullandırma yükselticileri görülmektedir. Önceden de açıklandığı gibi sensörler, fiziksel değişkenlerdeki değişimleri elektriksel büyüklükteki değişimlere dönüştürür. Sinyal şartlandırıcılar bütün veri toplama sistemleri için en önemli elemanlardır. Bazı sensörlerin çalışması için mutlaka bir sinyal şartlandırıcıya ihtiyaç

vardır. (National Instruments, 2005) Bununla birlikte çoğu sensörden çıkan elektriksel sinyaller, veri toplama sisteminde kullanım için uygun olmayabilir. Sinyal şartlandırıcılar, sensörlerin çıkışını yükseltmek, filtrelemek, izole etmek gibi işlevleri yerine getirirler.

### **4.3.2 Çoklama (Multiplexing)**

Deneysel motor çalışmalarında, veri toplama sistemi tarafından anında kaydedilen değişken verilerinin gerçek zamanlı olarak toplanması gerekmektedir. Bu veriler, alevlenme hızı, sıcaklıklar, silindir gaz basıncı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon başlangıcı, ateşleme zamanı, motor yükü, gaz kelebek açısı, hava akışı ve emme manifoldu basıncını içermektedir. (Zhao ve Ladammatos, 2001).

Aynı anda kaydedilecek olan tüm motor sensörü gerilim bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için; her sensör geriliminin sahip olduğu dijitalleştirilmenin yapılması ve veri işleme alt sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, tüm bu alt sistemlerin eş zamanlı olarak çalışması gerekir.

Birden çok kanalın aynı anda A/D çevirme işlemini yapabilmesi için analog çoklayıcı (multiplexer) kullanılır. Kurulan sistemde multiplexer sırasıyla her bir sensörün gerilimini seçer ve sayısallaştırma alt sistemine gerilimi gönderir. Tüm sensör gerilimlerinin sayısallaştırılıp depolanması tamamlanıncaya kadar, bu periyodik işlem devam eder. Yüksek dönüştürme hızlarına ihtiyaç duyulduğunda ise veri toplama kartının DHK kontrol özelliğinden yararlanır (Auslander ve Kempf, 1996)

### **4.3.3 Analog / Dijital Çeviriciler**

Analog / Dijital çeviricinin (ADC) görevi, her bir sensör gerilimini hafızada saklayarak dijital değere dönüştürmektir.

Veri toplanacak sistemin özelliklerine göre ADC'ler belirlenir. Bu noktada ADC'lerin ölçüm aralığı (örneğin  $\pm 10V$ ) çözünürlüğü (12 veya 16 bit), kod

dönüşümü (3 bit), doğrusal hata ve doğrusal olmayan hatası, gürültü değeri, dinamik ölçüm aralığı, bellek değeri gibi ayrıntılar dikkate alınarak belirlenir. (Bishop, 2002)

Uygulamada bir çok sinyal koşullandırma ünitesi kullanılmaktadır. Bu üniteler sensörlerden aldığı giriş sinyallerini belirli bir katsayı ile çarparak istenilen değere yükseltir. Bu yükseltme katsayısı kazanç olarak ifade edilir. Bu katsayı ayarlanarak sensör gerilimi istenilen değere ayarlanabilir.

İçten yanmalı motor araştırmaları için kullanılan veri toplama sistemlerinin yüksek örnekleme oranlarına sahip olması gerekir. Bu yüzden bu tip veri toplama sistemlerinde kullanılan A/D sinyal çevirici biriminin aynı şekilde yüksek çözünürlüğe sahip olması gerekir. Bu çözünürlük bit olarak ifade edilir ve çözünürlüğün en az 12 bit olması tercih edilir.

#### **4.3.4 Örnekleme ve Tutma**

Veri toplama sistemlerinde, ADC'ye girişte örnek-tutma devresi kullanılır. Bu devrenin kullanım sebebi, uygun bir analog/dijital süresinin oldukça uzun oluşudur. Bu durumu bertaraf etmek için bir örnek tutma devresinin ADC'den önce analog değeri alması ve depolaması gerekir. Dönüştürme işlemi ile kıyaslandığında, örnek tutma işlemi daha kısa sürmektedir. Örnek tutma işlemi arttırıldığı zaman devrede kullanılacak hafızanın belli bir büyüklüğe sahip olması gerekmektedir. Yüksek frekanslarda dönüştürme istenirse sinyallerin ortalama değeri alınır ve bu değer hafızada tutulur. (Auslander ve Kempf, 1996)

#### **4.3.5 Hız Sinyali ve Şaft Kodlayıcısı**

Bir veri toplama sistemi, bir dizi sensörlerden gelen giriş gerilimlerini depolar ve dijitalleştirir. Sistem, bu sensörler için , bir 'saat' ile kumanda edilen veri toplama ve depolama görevini yerine getirir. Saatin çıktısı bir dizi darbeden (pulsardan) oluşur. Her darbe, veri sistemine, bir grup sensör gerilimini kaydetmesi ve dijitalleştirilmesi için komut verir. Bu işlevi şaft kodlayıcısı yerine getirir. Genellikle yaygın olarak kullanılan kodlayıcılar, optik (photoelectric) olanlardır. Çalışma prensiplerine göre

de kodlayıcılar, açısız (rotary) ve doğrusal (lineer) olmak üzere iki çeşittir. Açısız kodlayıcılar kendi içersinde artan (incremental) ve mutlak (absolute) kodlayıcı olmak üzere ikiye ayrılır. Daha çok artan açısız kodlayıcılar açısız konumu ve açısız hareketi belirlemek için kullanılırlar. (Korte, 2005)

İki alternatif saat sistemi kullanılabilir:

1. Veri toplama kartı içinde bulunan bir “zaman saati” vardır. Bu saat, her 1 ms’de deneme (bir zincir) darbe çıkışı vermektedir.
2. Veri toplama sistemi dışında ise “krank açısı saati” vardır. Bu saat, krank milinin her bir derecelik dönüşünde bir darbe çıkışı üretmektedir.

Dahili bir zaman saati kullanmaktansa, harici bir krank açısı saatinin kullanılması tercih edilir. Çünkü motorda meydana gelen olaylar, pistonun emme ve egzoz supaplarının hareketine, yakıt ve ateşleme zamanına ve krank milinin dönmesine bağlıdır. Tüm bu olaylar zamandan bağımsız bir şekilde krank milinin dönüşüne bağlı olarak gerçekleşmektedir.

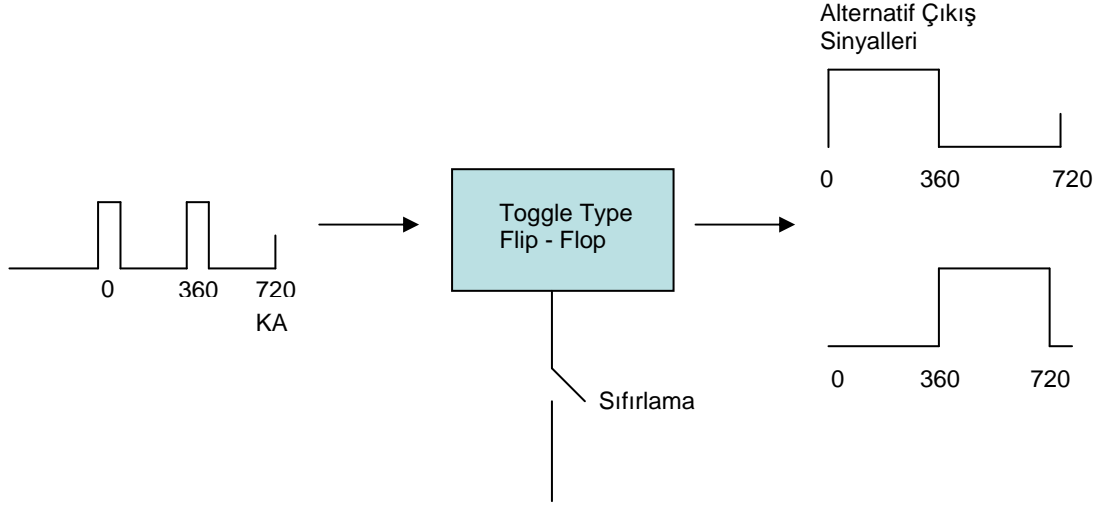
#### **4.3.6 Devir ve Üst Ölü Nokta (ÜÖN) Referans Sinyali**

Veri toplama sistemi, motor sensörlerinden çıkan gerilimleri ve motor devir referans sinyalini sürekli kaydeder. Bu sinyal, motorun krank mili sensöründen elde edilir. Sensör manyetik alan değişimini algılayarak bir sinyal üretir. (Bosch, 2000) Örneğin piston üst ölü noktada (ÜÖN) iken manyetik alan değişimi gerçekleşir ve sensör bir gerilim değeri üretir.

Dört zamanlı motorlarda, krank milinin iki dönüş hareketinde tam bir çevrim oluştuğu için bir çevrimde iki çıkış sinyali üretilir. Bu sinyallerden güç zamanında olanını tespit etmek, ateşleme ve püskürtme avanslarını bu noktada üretilen sinyale göre ayarlamak gerekmektedir.

Şekil 4.2’de devir referans sinyalinin üretilmesi görülmektedir. En çok kullanılan yöntem Toggle-Type Flip Flop gibi basit bir elektronik devre kullanmaktır. Bu devre

kullanılarak iki sinyal devresinden bir tanesi atlatılır. Şekil 4.2’de görülen bir flip – flop reset anahtarı, iki alternatifli çıkışın daha uygun olanını seçmek için kullanılabilir. Reset anahtarı, osiloskopta silindir gaz basıncının ve flip flop çıkışının gözlemi sırasında istenilen anlık çıkışı seçmek için anlık bir işleme sokulur.



Şekil 4.2 : Devir Referans Sinyali Üretilmesi

#### 4.3.7 Örneklem Hızı

Örneklem hızı bir saniyede toplanabilen maksimum veri sayısını ifade eder. Veri toplama sistemleri için en önemli parametre örneklem hızıdır. Örneklem hızı kanal sayısına ve veri toplanacak sistemin çalışma koşullarına göre şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Örneklem Hızı (örnek/s)} = (360^0 \text{ KA/dev} / (0.25^0 \text{ veya } 1^0 \text{ KA}) / \text{örnek}) \times (n \text{ d/d} / 60 \text{ s/d}) \times \text{kanal sayısı} \quad (4.1)$$

Örneğin 2000 d/d ile çalışan ve 4 adet motor sensörünün kullanıldığı bir sistemde sensörlerden çıkan gerilimler, krank milinin her bir derecelik dönüşü ile birlikte kayıt edildiğini varsayarsak, Eşitlik 3.1 kullanılarak  $1^0$  KA’da ve 2000 d/d için 12000 örnek / s değeri elde edilir. Dört adet motor sensörü giriş gerilimlerinin tüm dizisinin aynı örneklem hızında kaydedilebilmesi önemlidir. Alınan veriler çok kanallı bir

sistemle  $4 \times 12000 = 48000$  örnek / s 'lik bir örnekleme hızında dijitalleştirilmiş ve depolanmıştır.

Yukarıda hesaplanan 48000 örnek / s 'lik hızı depolama ve dijitalleştirme, modern veri toplama sistemi ile kolayca elde edilebilmektedir. Bununla birlikte aşağıda açıklanan sebeplerden dolayı, içten yanmalı motor deneylerinde 48000 örnek/s değerini aşan sayısallaştırma ve depolama hızları gerekmektedir. Çoğu kez, dizel motorlarda ön karışımli yanma periyodu veya buji ateşlemeli motorlarda tutuşma gecikmesi gibi yanma olayları yalnızca birkaç derecelik krank açısında meydana gelmektedir. Eğer detaylı bir çalışma yapılacaksa en az her  $0.5^0$  KA'lık bir aralıkta silindir içi gaz basıncının kaydedilmesi gerekir. Örneğin, 4000 devirli yüksek motor hızında iki tane motor sensöründen her  $0,25^0$  KA'lık verinin kaydedildiği düşünülürse, saniyedeki ADC'nin dijitalleştirme ve veri toplama işlemlerinin sayısı Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanırsa 192000 örnek / s bulunur.

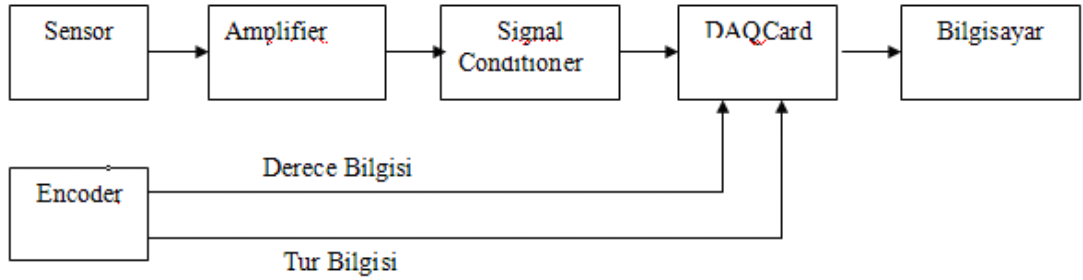
Bununla birlikte dijital (sayısallaştırılmış) verinin depolanmasıyla ilgili birçok problem ortaya çıkmaktadır. Hızlı veri toplama sistemleri ADC'nin dijital gerilimlerini çok hızlı bir şekilde kaydedebilen on-board hafızaya (buffer/ara bellek) sahiptir. Bununla birlikte ara bellek normal olarak sınırlı kapasitedir ve ADC veriyi sayısallaştırırken aynı zamanda on-board hafızasına aktarır ve ara bellek kolayca doldurulabilir. Ara bellek dolduğunda, dijitalleştirilmiş veri RAM veya hard diskin depolama ortamına aktarılarak boşaltılır. Bu işlem, ADC'nin dijital veriyi ara belleğe göndermeye devam ettiği süreçle eş zamanlı olmayabilir. Yüksek örnekleme hızlarında çalışan sistemlerde toplanan verilerin RAM veya hard diske aktarılmasında bellek yetersiz kalabilir. Bu problemin giderilmesi için giriş verilerinin sayısını azaltmak veya kayıt frekansını düşürmek gerekir. Kayıt frekansını düşürmek için içten yanmalı motorlarda  $0,25^0$  KA'sı yerine  $1^0$  KA'sında veri toplanması yeterlidir.

#### 4.4 Silindir Basıncının Ölçülmesi

İçten yanmalı motorlarda amaç kimyasal enerjiyi mekanik işe çevirmektir. Mekanik iş, gaz basıncının piston üzerindeki etkisiyle gerçekleştirilir. Bu yüzden silindir gaz basıncı doğrudan motor performansı ve çıkış gücünü etkilemektedir.

İlk basınç ölçümleri, buhar ile çalışan motorların gelişim dönemlerinden kalan tamamen mekaniksel bir indikatör mekanizması ile sağlanmıştır. Basınç-Hacim (P-V) diyagramları, piston hareketiyle eş zamanlı olarak çalışan ve silindir basıncıyla orantılı olarak hareket eden pikap iğnesiyle kağıt üzerine kaydedilmektedir. P-V diyagramları halen indikatör diyagramlarını referans almaktadır.

Şekil 4.3 modern laboratuarlarda kullanılan tipik bir silindir basınç ölçüm düzeneğini göstermektedir. Anlık basınç ölçüm değerleri osiloskopta görüntülenebilir veya hızlı bir veri toplama sistemi yardımıyla veriler kaydedilebilir. Sistemin kalbi piezo-elektrik dönüştürücüdür.



Şekil 4.3 : Silindir Basınç Ölçüm Düzeneği

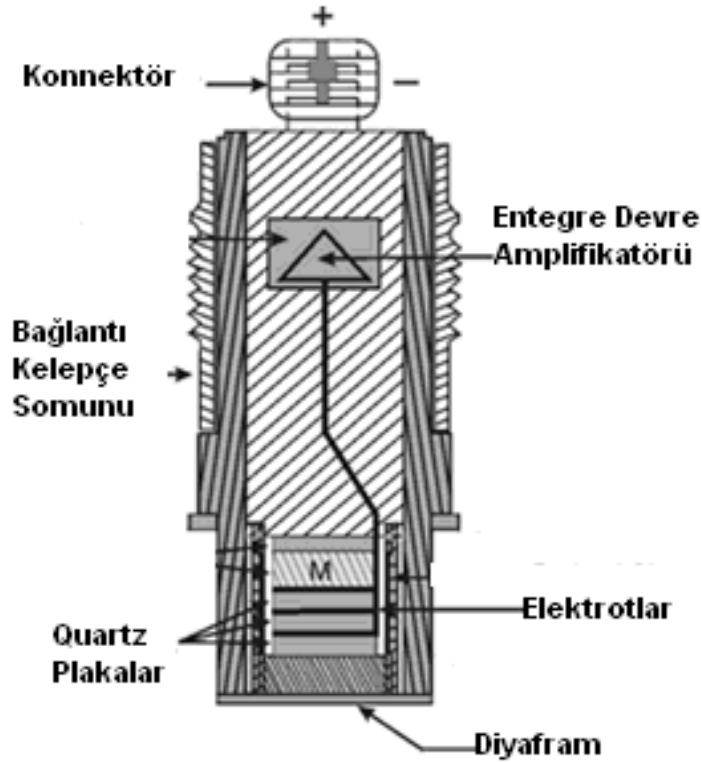
##### 4.4.1. Piezo-elektrik Basınç Sensörü Prensibi

Şekil 4.4'de Kistler Instruments Ltd. tarafından üretilen kuvars piezo-elektrik basınç sensörünün şekli görülmektedir. Kuvars kristal silindir şeklindedir ve iki temel piezo-



elektrik etki bulunmaktadır. Birincisi enine ikincisi ise boyuna etkidir. Enine etkide sensörün kristal yapısına y düzleminde bir kuvvet uygulanır ve x düzleminde gerilim elde edilir. Boyuna etkide ise kristalin x düzlemine kuvvet uygulanmakta yine x düzlemi üzerinden gerilim elde edilmektedir.

Kuvars kristal silindir şeklinde kesilmektedir. Silindir basıncı arttığı zaman kuvars kristal yanma odasındaki metal diyafram tarafından sıkıştırılmaktadır. Bu sıkıştırmadan dolayı silindirin iç ve dış yüzeyleri arasında gerilim oluşur. Oluşan bu gerilim, kristalin üzerindeki kuvvetle orantılı olarak piko kulomp (pC) olarak ölçülür. Bu özellik piezo-elektrik özellik olarak adlandırılır.



Şekil 4.4 : Piezo-elektrik Basınç Sensörleri.

Silindir içersindeki sıcaklığın artışıyla basınç sensörünün gövdesi genişleyecek ve kristal ön bir sıkıştırmaya maruz kalacaktır. Bunu dengelemek için metal bir yonga plakası kuvarsın alt katına eklenmiştir ve gövdeyle birlikte genişlemektedir. Piezo-

elektrik sensörler dış soğutma kanalı ve sıcaklık dengeleyici ile birlikte üretilmektedirler. Piezo-elektrik sensörlerde alev çarpmasından veya vurutudan kaynaklanan hataları azaltmak için alev koruyucu bulunmaktadır. Diyaframın silikon kauçukla kaplanmasıyla ısı transferi önlenmekte ve hata limitleri azaltılmaktadır. (Ferguson, 1986)

Su soğutma sistemi, sensörün termal şoklardan en az düzeyde etkilenmesini sağlamaktadır. Su soğutmalı silindir gaz basınç sensörleri, özellikle küçük çaplı içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır (Kistler, 2006).

#### **4.4.2 Basınç Sensörünün Hazırlanması**

Farklı hassasiyette ve farklı boyutlarda piezo-elektrik basınç sensörleri mevcuttur. Basınç sensörünün seçimi kullanılacağı çalışma şartlarına göre yapılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda termal etkiden dolayı (minimum sıcaklık etkisiyle maksimum hassasiyete sahip olması için) su soğutmalı basınç sensörleri tercih edilir. Basınç sensörlerinin seçiminde diğer önemli bir parametre ise doğal frekanslarıdır. Bu frekans değeri özellikle vurutulu yanmanın belirlenmesi yönünden önemlidir. Vurutulu yanmanın belirlenebilmesi için, sensörün doğal frekansının vurutu frekansından yüksek olması gerekmektedir.

Basınç sensörü özellikle silindir kapağına monte edilir. Bu sayede basınç sinyalindeki gecikme en aza indirgenmiş olur. Doğru ölçüm sonuçlarının alınabilmesi için sensörün montajının üretici firma talimatları doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Silindir basıncı parametresi içten yanmalı motorlar için önemli bir parametredir ve yanma analizinin yapılmasını sağlar. Sensörün silindir kapağına monte edilme yöntemi de önemlidir. Sensör monte edildiği konumda doğrudan silindir basıncını ölçebilmelidir. Buji ile ateşlemeli motorlarda basınç sensörü buji yuvasına monte edilebilir. Fakat dizel motorlarda buji olmadığı için başka bir noktaya montajının yapılaması gerekmektedir. Yapılan bir çalışmada teorik olarak test motorunun yanma modeli oluşturulmuştur. Deneysel çalışma ile de silindir gaz basıncı ölçülerek teorik ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Sonuç

olarak sensörün montajından kaynaklanan hata yüzdeleri belirlenmiştir. (Hountalas ve Anestis, 1998)

Sensörün çıkış sinyali çok küçük elektrik yükü formundadır. Sinyal yükselticisi için eş eksenli gürültü sinyali almayan ve yüksek izoleli kablo kullanılır. Sinyal yükselticisi basınç sensörü tarafından elektrik yükünü orantısal bir gerilim sinyaline çevirir.

Kalibrasyon, basınç çıkışı ve voltaj çıkışı arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu ilişki doğrusal olmak zorundadır. Kalibrasyon, dead weight tester denilen bir cihaz yardımıyla yapılmaktadır ve bu cihaz sinyal yükselticisi çıkışını kaydetmek için bir osiloskop ve kalibrasyonlu basınçların elde edilmesini sağlayan bir donanımdan oluşmaktadır.

Sensör, maksimum basınca kadar yükselir ve sinyal yükselticisinin ölçüm aralığı ve hassasiyeti ayarlanır. Sensör tarafından üretilen zamanla kayıplara uğrayacağından dolayı belirli zamanlarda sensör sinyal şartlandırıcı ile birlikte kalibre edilmelidir. Sinyal şartlandırıcı çıkışının sapması, genellikle sensörde düşük izolasyon direncinden veya kablo bağlantılarındaki gevşeklikten kaynaklanmaktadır. Eğer sinyal şartlandırıcı çıkışında hızlı bir sapma söz konusu ise, bu durum sapma süresince osiloskopta takip edilir ve kablo bağlantıları kontrol edilir.

#### **4.4.3 Sensör Çıkışının Mutlak Basınca Çevrilmesi**

Basınç sensörü kristalin üzerindeki kuvvetle orantılı olarak pC cinsinden yük üretmektedir. Bu yük değeri, sinyal şartlandırıcıda işlenerek istenilen çıkış voltajı ( $\pm 10$  V olmak üzere) alınabilir. Bu voltaj değerinin mutlak basınca çevrilmesi için, emme zamanında piston AÖN'de iken silindir basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu kabul edilir. Mutlak basınç herhangi bir krank açısında çıkış voltajından yararlanarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

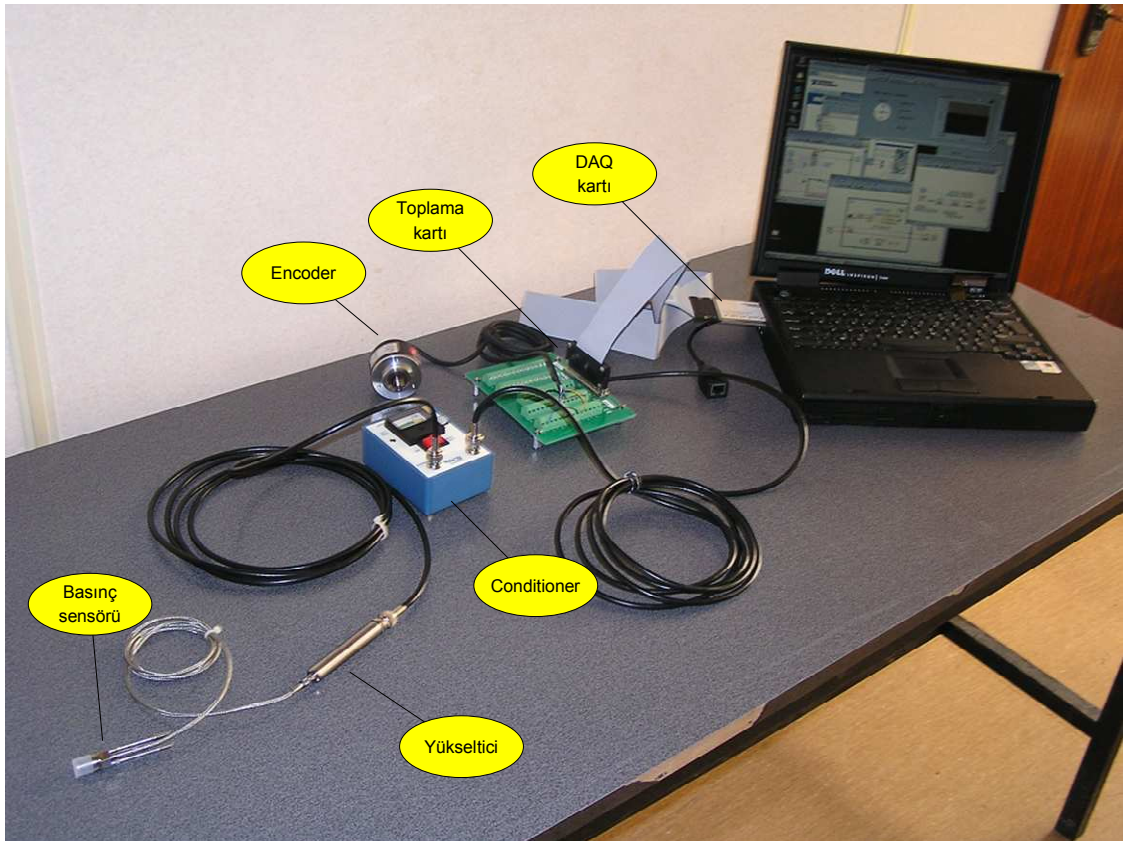
$$P_0 = C(E_0 - E_{AÖN}) + P_{AÖN} \quad (4.2)$$

Burada  $E_{AÖN}$  , piston alt ölü noktada iken sinyal şartlandırıcı çıkışındaki voltaj değeridir.  $E_0$  , herhangi bir krank açısındaki voltaj değerini,  $P_{AÖN}$  ise piston alt ölü noktada iken ölçülen basınç değerini ifade etmektedir.  $C$  ise sinyal şartlandırıcının çıkış voltajı ile basınç arasındaki oranı belirleyen bir katsayıdır. Örneğin sinyal şartlandırıcıda 0-250 bar ölçüm aralığı ve  $\pm 10$  V'luk bir çıkış ayarı istenildiğinde 25 bar için 1 V'luk çıkış gerilimi, 250 bar içinde 10 V'luk bir çıkış gerilimi elde edilir. Bu ayarlama sonucuna bağlı olarak  $C$  katsayısı 25 olarak hesaplanmış olur.

## 5. DENEY KOMPONENTLERİNİN AÇIKLANMASI

### 5.1 Deney Materyalleri

Deney sisteminde yapılan ölçümlerin ve elde edilen sonuçların doğru olması için gerekli olan özellikler şöyle sıralanabilir: sağlıklı ve güvenilir bir sistem oluşturulması ayrıca kullanıcının dikkati, istenilen sonuçların elde edilmesinde yardımcı olur. Deney sırasında gerekli olan ekipmanların dikkatli bir şekilde seçilmesi ve bağlantılarının hassas bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu ekipmanlar genel olarak; motor, basınç sensörü, yükseltici, sinyal şartlandırıcı, artımlı enkoder ve veri aktarma sisteminden oluşmaktadır. Şekil 5.1’de deney seti görülmektedir.



Şekil 5.1 : Deney Seti

### 5.1.1 Deney Motoru

Deneyleerde kullanılan test motoru 3.7 kW (5 HP) gücünde, 3600 d/d hıza ulaşabilen Tecumseh marka TD 110 MK II modelidir. Bu motorun resmi Şekil 5.2’de görülmektedir. Motor, dört zamanlı, hava soğutmalı tek silindirli, manyetolu ateşleme sistemine sahip benzinli bir motordur. Motorun seçilme nedenleri; küçük bir motor oluşu, dört zamanlı oluşu ve kullanımının kolay olmasıdır. Deney motoru 30 cm<sup>3</sup> silindir hacmine, 2300 d/d’da 10.3 Nm tork üretebilecek kapasiteye sahiptir. Motor düzeneğe adapte edilmiş bir marş motoru ile çalıştırılmaktadır.



Şekil 5.2 : Deneyde Kullanılan Tek Silindirli Motor.

Deneyleerde kullanılacak olan basınç sensörü silindir kapağına uygun şekilde tespit edilmiş alana açılan deliğe monte edilmiştir.

Deneyleerde kullanılan motora ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

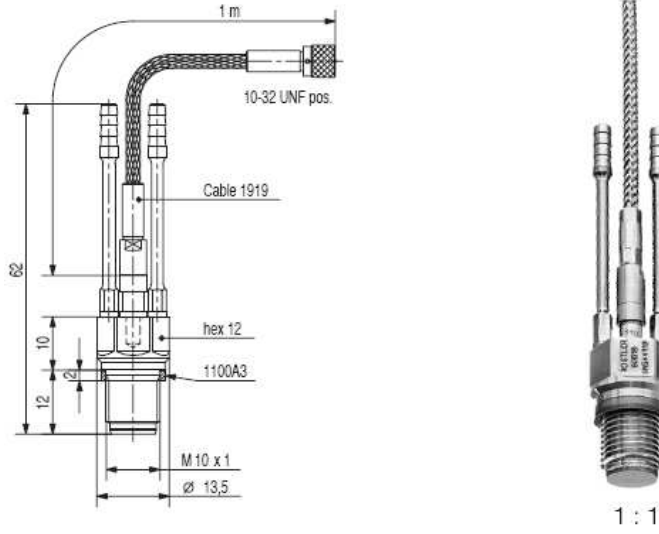
Tablo 5.1 : Test Motorunun Teknik Özellikleri.

<b>Model</b>	TD 110 MK II, Tek silindirli, dört zamanlı, benzin motoru
<b>Üretici Firma</b>	Tecumseh, ABD
<b>Piston hacmi</b>	199.6 cm <sup>3</sup>
<b>Strok Uzunluğu</b>	57.15 mm
<b>Bore</b>	66.69 mm
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	6:1
<b>Nominal Güç Çıktısı</b>	3600 d/d devir hızında 3.7 kW (5 HP)
<b>Maksimum Tork</b>	2300 d/d devir hızında 10.3 Nm
<b>Ateşleme Sistemi</b>	Manyetolu Ateşleme

### 5.1.2 Basınç Sensörü

Deneyler sırasında bir adet basınç sensörü kullanılmıştır. Basınç sensörü, silindir içersindeki basınç değişimlerini krank açısına bağlı olarak vermektedir. Bu da bizim silindir içi basınç-hacim değişimlerini gözlemleyebilmemize imkan sağlamaktadır. Motorlar için kritik bir öneme sahip olan P-V diyagramları bu sensörler yardımıyla çizilebilmektedir.

Deneylerde kullanılan basınç sensörünün modeli Kistler 6061B'dir. Basınç sensörü, şarj amplifikatörü, sinyal işleyici ve veri aktarma kartı yardımıyla değerleri monitöre aktarabilmektedir. Kullanılan basınç sensörünün şekli Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3 : Kistler 6061B Basınç Sensörü. (Kistler,2006)

Bu sensöre ait teknik bilgiler de Tablo 5.2’de görülebilmektedir.

Tablo 5.2 : Kullanılan Basınç Sensörünün Teknik Özellikleri. (Kistler,2006)

Özellik	Birim	Değer
Aralık	Bar	0...250
Kalibre Edilmiş Bölüm Aralıkları	Bar	0...50
	Bar	0...2.5
Overload	Bar	300
Duyarlılık	pC / Bar	-25
Doğal Frekans	kHz	90
Doğrusallık (Tüm aralıklarda)	%FSO	$\leq \pm 0.5$
Hızlanma Duyarlılığı		
Eksenel (soğutmalı)	Bar / g	<0.01
Radyal (Soğutmalı)	Bar / g	<0.0001
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	$^{\circ}\text{C}$	-50...350
Soğutma Suyu Akış Hızı	l / dk	0.5...1
Duyarlılık Artışı		
$50 \pm 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$	%	$\leq \pm 0.5$
$50...350 \text{ }^{\circ}\text{C}$	% / $^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.01$
Termo-şok		
1500 d/d’de, 9 bar IMEP basıncında		
$\Delta p$	bar	$< \pm 0.2$



Tablo 5.2 (Devamı) : Kullanılan Basınç Sensörünün Teknik Özellikleri. (Kistler,2006)

$\Delta$ IMEP	%	< $\pm$ 1
Yalıtım Direnci		
20 °C'de	T $\Omega$	$\geq$ 10
Şok Direnci	g	2000
Sıkıştırma Torku	Nm	10
Soğutma Suyu Basıncı	Bar	$\leq$ 6
Kapasitans (Kablolu)	pF	110
Ağırlık	g	18
Tıkaç (Seramik Yalıtıcı)	Cins	M4 x 0.35
<b>Özellik</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Aralık	Bar	0...250
Kalibre Edilmiş Bölüm Aralıkları	Bar	0...50
	Bar	0...2.5
Overload	Bar	300
Duyarlılık	pC / Bar	-25
Doğal Frekans	kHz	90
Doğrusallık (Tüm aralıklarda)	%FSO	$\leq$ $\pm$ 0.5
Hızlanma Duyarlılığı		
Eksenel (soğutmalı)	Bar / g	<0.01
Radyal (Soğutmalı)	Bar / g	<0.0001
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-50...350
Soğutma Suyu Akış Hızı	l /dk	0.5...1
Duyarlılık Artışı		
50 $\pm$ 35 °C	%	$\leq$ $\pm$ 0.5
50...350 °C	% / °C	$\leq$ 0.01
Termo-şok		
1500 d/d'de, 9 bar IMEP basıncında		
$\Delta$ p	bar	< $\pm$ 0.2
$\Delta$ IMEP	%	< $\pm$ 1
Yalıtım Direnci		
20 °C'de	T $\Omega$	$\geq$ 10
Şok Direnci	g	2000
Sıkıştırma Torku	Nm	10
Soğutma Suyu Basıncı	Bar	$\leq$ 6
Kapasitans (Kablolu)	pF	110
Ağırlık	g	18
Tıkaç (Seramik Yalıtıcı)	Cins	M4 x 0.35

### 5.1.3. Kodlayıcı (Encoder)

Motorun silindir içi basıncına ve performansına ait değerler için en büyük problemlerden bir tanesi de, pistonun konumu ve silindir basıncının eş zamanlı olarak görüntülenebilmesidir. Bu işlevi gören bir kodlayıcının (encoder) şekli Şekil 5.4'te görülebilmektedir.



Şekil 5.4 : Kodlayıcı (Encoder)

Deneyde kullanılan enkoderin teknik özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 5.3 : Kullanılan Enkoderin Teknik Özellikleri.

<b>Çözünürlük</b>	360 sinyal / devir
<b>Besleme Voltajı</b>	5 – 24 V
<b>Akım</b>	Maksimum 70 mA
<b>Kablo Uzunluğu</b>	1 m

Bu kodlayıcı, Metronix CSA-48-8-0360-2T model bir Quadratik Encoder olarak bilinen artımlı enkoder tiplerindedir. Absolute enkoderlerden farklı olarak derece bilgisini daha önceden belirlenen bir ilk referans noktasına göre verirler. Sayı olarak derece bilgisinin üretilmesi gerekmediğinden daha hassas yapıda üretilebilirler. Birbirine göre 90<sup>0</sup> derece faz farkı olan iki derece çıkışına bir de referans ya da tur bilgisi olarak kullanılan çıkışa sahiptir. Bu çıkışlar besleme voltajına uygun bir şekilde dijital bilgi üretirler.

#### 5.1.4 Yük Amplifikatörü ve Sinyal İşleyici

Kullanılan yük amplifikatörü PCB Piezotronics'in 422E15 modelidir. Deney düzeneğinde kullanılan yük amplifikatörü ve sinyal işleyicinin teknik özellikleri Tablo 5.4. de görülmektedir.

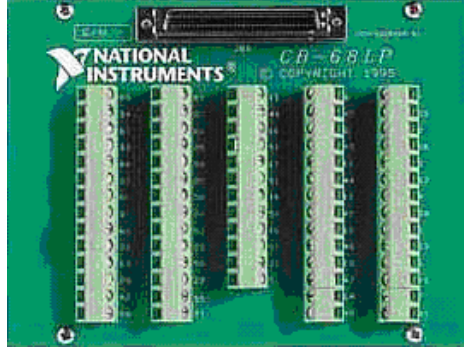
Tablo 5.4 : YüK Amplifikatörüne Ait Teknik Özellikler.(PCB, 2005)

PERFORMANS	İNGİLİZ BİRİMİ	Sİ BİRİM SİSTEMİ
Duyarlılık ( $\pm\%2$ ) (Yük Dönüşümü)	0.50 mV / pC	0.50 mV / pC
Giriş Aralığı (Elektriksel Yük)	$\pm 5000$ pC	$\pm 5000$ pC
Overrange	$\pm 3$ V	$\pm 3$ V
Düşük Frekans Tepkisi ( $-\%5$ )	5 Hz	5 Hz
Yüksek Frekans Tepkisi (2.2 mA)	30 kHz	30 kHz
(4 mA)	60 kHz	60 kHz
(20 mA)	100 kHz	100 kHz
Doğrusal Olmama	$\leq\% 1.0$ FS	$\leq\% 1.0$ FS
<b>ÇEVRESEL</b>		
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-65 ile 250 °F	-54 ile 121 °C
Sıcaklık Tepkisi (Duyarlılık Sapması)	$<\% 1$	$<\% 1$
Maksimum Şok	1000 g pk	9810 m/s <sup>2</sup> pk
<b>ELEKTRİKSEL</b>		
Uyarılma Gerilimi	18 – 28 VDC	18 – 28 VDC
Sabit Uyarılma Akımı	2.2 – 20 mA	2.2 – 20 mA
Çıkış Gerilimi (Belirli Ölçüm Aralığında)	$\pm 2.5$ Vpk	$\pm 2.5$ Vpk
Çıkış Empedansı	$<10$ ohm	$<10$ ohm
Maksimum Giriş Gerilimi	30 V	30 V
Geniş Bantlı Elektriksel Titreşim (1-10000 Hz)	12.5 $\mu$ V	-98 dB
Spektral Titreşim (1Hz)	10.9 $\mu$ V / Hz	-99 dB
(10 Hz)	0.7 Mv / Hz	-123 dB
(100 Hz)	0.1 $\mu$ V / Hz	-140 dB
(1 kHz)	0.04 $\mu$ V / Hz	-148 dB
(10 kHz)	0.03 $\mu$ V / Hz	-150 dB
Boşalma Zaman Sabiti	0.1 s	0.1 s
Direnç (Girişte gereken minimum değer)	7000000 ohm	7000000 ohm
Kaynak Kapasitans Yüklemesi	0.0005 %/pF	0.0005 %/pF
<b>FİZİKSEL</b>		
Kaplama Materyali	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik
Birleştirme Yöntemi	Kaynak	Kaynak
Elektriksel Bağlantı (Giriş)	10-32 eş eksenli jack	10-32 eş eksenli jack
(Çıkış)	BNC jack	BNC jack
Boyutlar (Çap x uzunluk)	0.5 in x 3.4 in	13 mm x 86 mm
Ağırlık	1.15 oz	32.7 gm
<b>SEÇMELİ VERSİYONLAR</b>		
T-TEDS IEEE P1451.4 Dijital Hafıza ve İletişim Kompliantı		
Sıcaklık Aralığı	-40 ile 185 °F	-40 ile 85 °C
Çıkış Bias Gerilimi	13.35 ile 14.85 VDC	13.35 ile 14.85 VDC

## 5.1.5 Veri Aktarma Sistemi

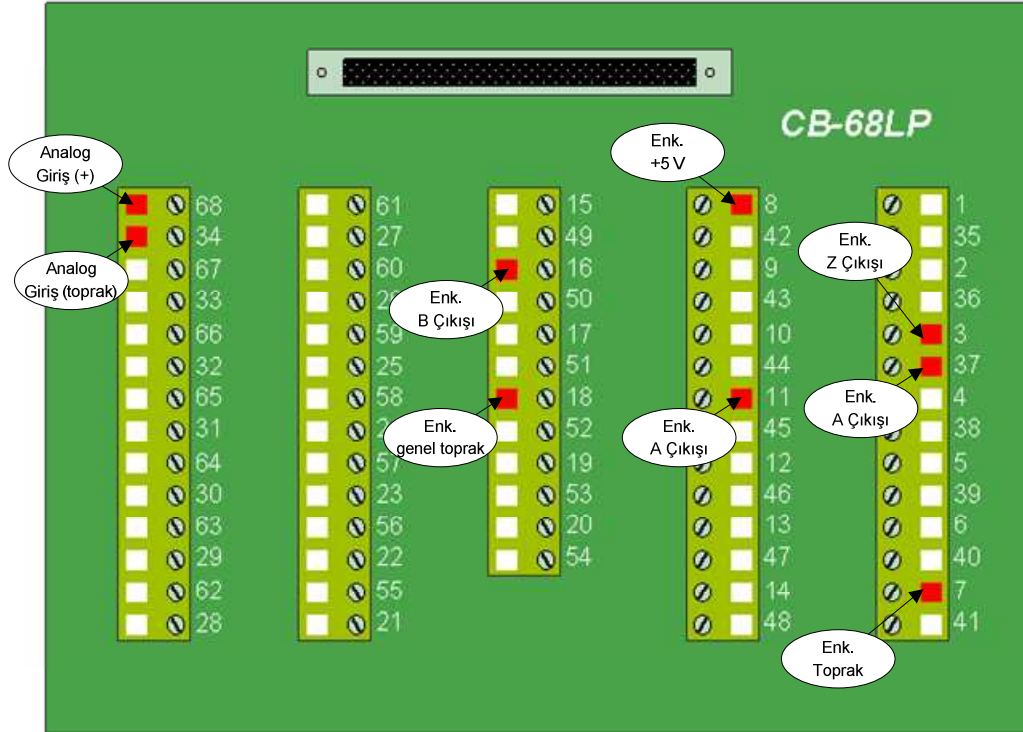
### 5.1.5.1 Veri Toplama Arayüz Kartı

Şekil 5.5'te deneyde kullanılan National Instruments'e ait CB-68LP model veri toplama arayüz kartı görülmektedir.



Şekil 5.5 : Veri Toplama Arayüz Kartı.

Aşağıdaki şekilde ise bu veri kartı üzerindeki bağlantılar görülmektedir:



Şekil 5.6 : Veri Toplama Arayüz Kartı Bağlantıları.

Bu arayüz kartı bilgisayarın PCMCIA yuvasına takılan ve bağlantı yerleri oldukça küçük olan veri toplama kartı ile veri toplama elemanları arasındaki bağlantıları kolaylaştıran ve veri toplama doğrudan bağlanabilen bir bağlantı noktası işlevi görür.

#### 5.1.5.2. Veri Toplama Kartı

Basınç sensöründen gelen verilerin toplanması ve şartlarının monitörde enkoder bilgilerinin kaydedilebilmesi için elektronik veri aktarma sisteminin kullanılması gereklidir. Bu sistem sensörden gelen bilgileri eş zamanlı olarak monitöre aktarabilme yeteneğine sahiptir. Bu sistemin veri aktarım hızı, motorun maksimum devirde çalıştığı koşullarda bile yeterli düzeydedir. Deneydeki veri toplama sisteminin en önemli parçası olan DAQCard-A1-16E modelinin resmi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Veri Toplama Kartı

Kullanılan bu veri kartına ait teknik özellikler ise Tablo 5.5’te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 : Veri Toplama Kartının Teknik Özellikleri

Aile (family)	NI 6041E
Yol (bus)	PCMCIA
Analog giriş (analog input)	16 SE/8 DF
Çözünürlük (resolution)	12 bit
Örnekleme oranı* (sampling rate)	500/250* kS/s
Giriş aralığı (input range)	$\pm 0,05 - 10$ V.
Sayısal G/Ç (dijital I/O)	8
Sayaç/Zamanlayıcı (C/T)	2, 24 bit
Tetikleme (trigger)	Analog ve sayısal

Veri aktarma kartı HP marka dizüstü bir bilgisayarın PCMCIA yuvasına yerleştirilerek bilgisayarın motordan gelen verileri alması ve derleyip kayıt etmesi sağlanmaktadır. Daha sonra veri aktarma kartı korumalı, yassı kablo olarak bilinen bir kablo yardımıyla arayüz kartı ile bağlanmıştır. Sensörün bu arayüz kartı ile bağlantısı sağlandığında, arayüz kartı sensör için bir arayüz oluşturarak bilgisayarla iletişimi sağlar.

DAQCard-A1-16E-4 modelindeki veri aktarma kartı, 16 tek uç ya da 8 farklı giriş kanalındaki verileri 12 bit çözünürlükte monitöre aktarabilmektedir. Sinyaller 5'den 100'e kadar elde edilebilir ve kanallar birbirinden bağımsızdır. Tek kanaldan yapılan taramalarda saniyede 500000 örnek, iki kanaldan yapılan taramalarda ise saniyede 250000 tane örnek alınabilmektedir. Bu uygulamada 3 kanaldan saniyede 80000 tane örnek alınmıştır. Veri aktarma kartı hem analog hem de dijital verilerin alınabilmesine olanak sağlar. Bu da motor test uygulamaları için gereklidir.

#### 5.1.6. Sinyal Düzenleyici

Deneyde kullanılan sinyal düzenleyici aşağıda görülmekte olup, özellikleri Tablo 5.6'da verilmiştir. Bu sensörün modeli ICP 480C02'dir.



Şekil 5.8 : Sinyal Düzenleyici

Tablo 5.6 : Sinyal Düzenleyiciye Ait Teknik Bilgiler

ÖZELLİK	İNGİLİZ BİRİMİ	SI BİRİM SİSTEMİ
<b>PERFORMANS</b>		
Kanal Sayısı	1	1
Frekans Aralığı (-%5)	0.05 ile 500,000 Hz	0.05 ile 500,000 Hz
Voltaj Kazancı ( $\pm$ %2)	1:1	1:1

Tablo 5.6 (Devamı): Sinyal Düzenleyiciye Ait Teknik Bilgiler

Hata / Bias Monitör / Metre ( $\pm 1$ V orta boyutlu)	13 VDC	13 VDC
<b>ELEKTRİKSEL</b>		
Uyarım Gerilimi (Sensöre)	27 ile 29 VDC	27 ile 29 VDC
Boşalma Zaman Sabiti	> 10 s	> 10 s
DC Ofset	<30 mV	<30 mV
Spektral Gürültü (1 Hz) (Kazanç 10)	0.25 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	-132 dB
(10 Hz) (Kazanç 10)	0.07 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	-143 dB
(100 Hz) (Kazanç 10)	0.05 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	-146 dB
(1 kHz) (Kazanç 10)	0.04 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	-148 dB
(10 kHz) (Kazanç 10)	0.03 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$	-150 dB
Geniş Bantlı Elektriksel Titreşim (1-10000 Hz)	3.25 $\mu\text{V}$ RMS	-110 dB RMS
Güç Gereksinimi (standart)	İç batarya	İç batarya
(alternatif)	DC Güç Kaynağı	DC Güç Kaynağı
İç Batarya (Cins)	9 V	9 V
(Miktar)	3	3
Batarya Ömrü (Standart Alkalin)	100 saat	100 saat
(Şarj Edilebilir Ni / Cad)	36 saat	36 saat
DC Güç Kaynağı	18 ile 29 VDC	18 ile 29 VDC
	3 mA	3 mA
<b>FİZİKSEL</b>		
Elektriksel Konektör (giriş, sensör)	BNC jack	BNC jack
(çıkış, aygıt)	BNC jack	BNC jack
(Dış Güç, DC)	3.5 mm Diameter Miniature Jack	3.5 mm Diameter Miniature Jack
Batarya Şarj Cihazı	#722 Switchcraft Jack	#722 Switchcraft Jack
Boyutlar (Derinlikxyükseklikxgenişlik)	4 in x 2.9 in x 2.2 in	10 cm x 7.4 cm x 5.6 cm
Ağırlık (batayalar dahil)	0.7 lb	0.3 kg
<b>SEÇENEKLER</b>		
Model 400A81 (3) 9Vuzun ömürlü lityum bataryalar		
Model 488A02 Masaüstü Batarya şarj cihazı, değiştirilebilir giriş voltajı, 110 & 220 VAC		
Model 488A03 AC Güç Kaynağı		

## 5.2 Yazılım

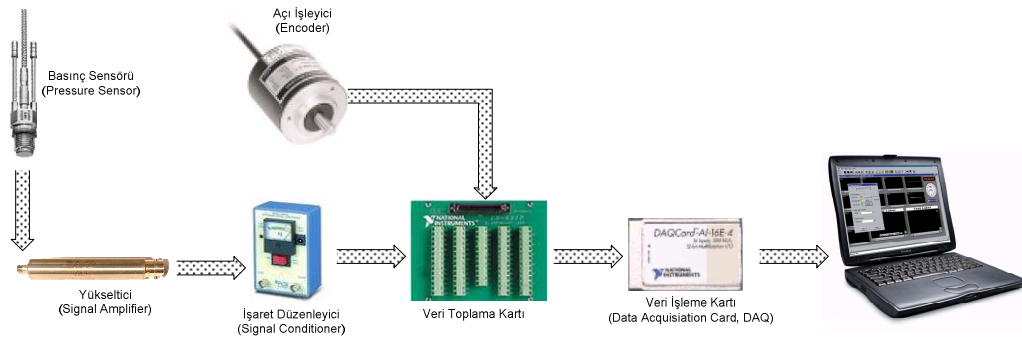
Çoğu güç çevirici ve motor izleme sistemleri, motor performansının ölçülmesi için, verileri DAQCard-A1-16E-4 veri aktarma kartına büyük oranda analog sinyaller formunda göndererek kullanırlar. Bu verileri toplamak ve değerlendirmek için bir grup paket yazılımlardan istifade edilir. Toplanan ve depolanan motor verileri MATLAB paket programı ile kontrol edilmiştir. Verilerin analizinde ise Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

## 6. PROJENİN UYGULANMASI

Yapılan deneysel çalışma, kısaca çeşitli alıcılardan gelen sinyallerin tek bir merkezde tek bir merkezde toplanmasından sonra bilgisayarda sayısal veri haline getirilmesine kadar geçen süreci kapsamaktadır.

### 6.1 Genel Tanım

Dört zamanlı bir motorun bir pistonunun üzerine yanma odasındaki basıncı ölçmek amacıyla bir basınç sensörü yerleştirilmiştir. Bu sensör bir yükselticiye ve “Signal Conditioner” devresine bağlanarak ölçülebilir bir sinyal vermesi sağlanmıştır. Ayrıca motora bir de Encoder bağlanarak dönüş açısı ve bir referans noktasına göre dairesel konumu belirlenmesi sağlanmıştır. Hem sensor hem de Encoder bilgileri bir genişleme kartı aracılığıyla bilgisayara takılı olan DAQCard aracılığıyla okunmuş ve MATLAB ile analiz edilerek krank milinin her açısına karşılık gelen basınç bilgileri şeklinde grafik ve değerler olarak raporlanmıştır. Sistemin temel blok gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.1 : Deney Sisteminin Blok Halinde Gösterimi.



## 6.2 Veri Toplama Sisteminin Genel İşleyişi

Veri toplama sisteminin genel işleyişi aşağıda adımlar halinde anlatılmıştır.

✓ Basınç sensörü yanma odasındaki basıncı kapasitif bilgi olarak dışarıya aktarmaktadır. Bu tür sensörler için tasarlanmış amplifikatör bu veriyi voltaj bilgisine çevirir. Hala yetersiz seviyede olan voltaj, “Signal Conditioner” aracılığıyla ölçülebilir biçime çevrilir.

✓ Ölçülebilir bilgiler ADC (Analog – Digital Convertor) özelliğine sahip bir DAQCard kullanılarak bilgisayara aktarılabilir. Bu kartlar giriş uçlarına uygulanan voltaj değerlerini sayısal bilgilere dönüştürür. Hassasiyetleri her kanalı okuyabileceği bit ile belirlenir. 12 bit’lik bir kart ölçüm aralığını  $2^{12} = 4096$  eşit parçaya bölerek ölçebilir.

Örneğin -1V ile 1V aralığındaki gerilimleri ölçmek için ayarlanmış 12 bitlik bir kart;  
 $2 \text{ V} / 4096 = 4,88 \times 10^{-4}$  hassasiyetle ölçüm yapabilir.

✓ Voltaj bilgilerine çevrilen basınç değerleri DAQCard’ın analog kanallarına bağlanır. Analog kanallar belirlenen bir aralıkta ( minimum -10 ve maksimum +10 V aralığında) voltaj bilgisini sayısal veriye dönüştürebilir. Küçük değerli voltaj bilgilerini okumak için bu aralık küçük tutulmalı böylece hassasiyet artırılmalıdır. Hem analog hem dijital kanalları aynı anda kullanmaya çalışmak kartın daha yavaş çalışmasına sebep olacağından “Encoder” bilgileri de analog kanallar üzerinden okunmuştur. Bu yöntem hem bütün verilerin aynı anda okunmasını sağlamış hem de oldukça hassas ölçümler yapılmasını olanaklı kılmıştır. Basınç bilgisi, derece bilgisi ve tur bilgisi olmak üzere toplam 3 analog kanal kullanılmıştır. Bu kanallar eş zamanlı olarak 80Khz örnekleme frekansında okunmuştur.

## 6.3 Veri Toplama Sisteminin Hassasiyeti ve Ölçülen Değerlerin Doğruluğu

• Kullanılan DAQCard üzerinde 16 tane analog kanal bulunmaktadır. Bu uygulamada analog kanalların 3 tanesi kullanılmıştır. Kartın maksimum örnekleme

kapasitesi 500Ksample/sec (Saniyede 500000 örnekleme) olarak belirtilmiştir. Aynı anda ne kadar fazla kanal okunmaya çalışılırsa bu hız o kadar düşecektir. Matlab programı kullanılarak karttan okuma çalışmaları sırasında 3 kanaldan aynı anda okuma yapıldığında maksimum 80KSample/sec hızına ulaşılabildiği görülmüştür. Daha yüksek hızlarda kart çalışmamış ve örnekleme hızının yüksek olduğu hatasını vermiştir. 80KSample/sec örnekleme hızı bu uygulama için oldukça yeterlidir.

Ortalama 2500 devir/dakika hızında dönen bir motor bir saniyede 15000 derecelik dönüş yapacaktır. Saniyede 80000 veri okuyan bu sistemle derecede 5 ölçüm almak mümkündür. Derece içinde çok sayıda ölçüm almak derecenin farklı yerlerinde ölçüm almak anlamına geleceği için (5 – 5.2 – 5.4 – 5.6 derece gibi) her derecede yalnızca derecenin başında ölçüm alınarak tam derecelerde ölçüm yapılması sağlanmıştır.

Analog kanalların hassasiyetleri belirlenirken seçilen kanaldan ölçülecek olan sinyalin büyüklüğü göz önüne alınmıştır. Dijital sinyaller olan Encoder sinyallerini ölçecek olan kanalların ölçüm aralığı -10V ile +10V olarak seçilmiştir. Bu kanalların hassasiyeti:

$$(10 - (-10)) / 2^{12} = 20/4096 = 0,0048V'tur.$$

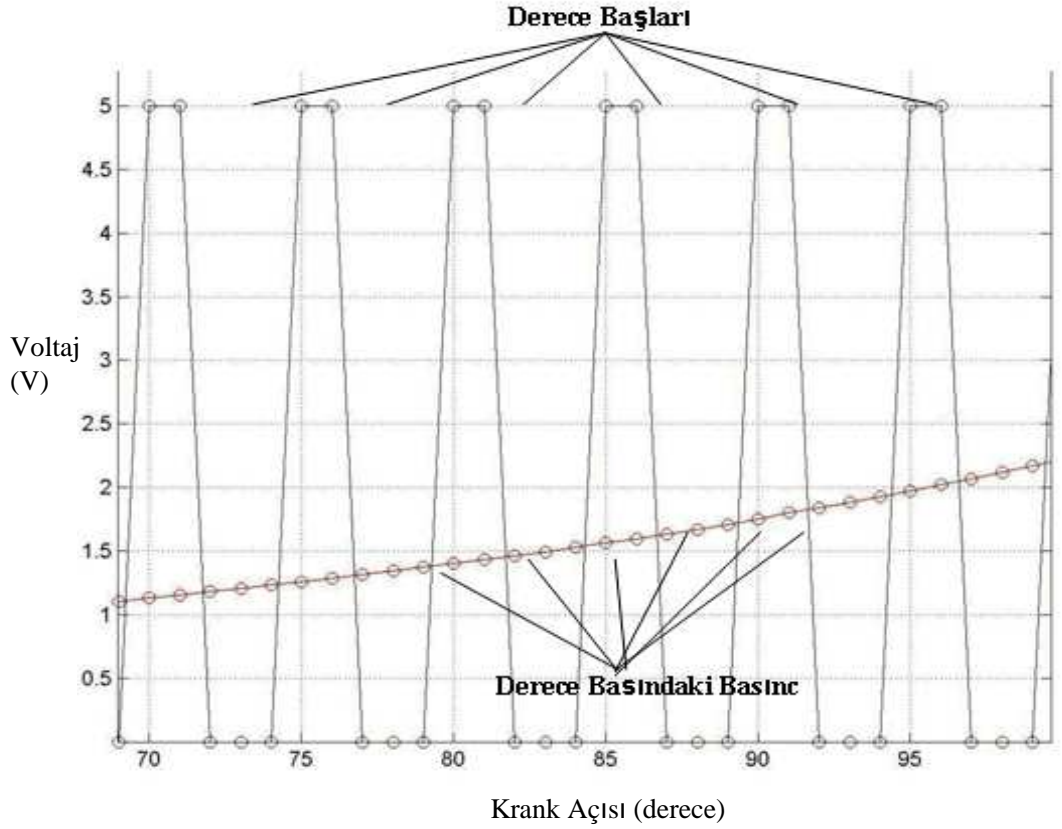
Bu durumda bu kanallarda yaklaşık 5 mV 'dan daha küçük olan elektriksel gürültüler okunan değeri etkilemeyecektir. 5mV'a kadar olan gürültü değişiklikleri kart tarafından donanımsal olarak algılanır fakat sayısal veriye dönüşürken kaybolurlar. Ara değerlerin ölçülmesini gerektirmeyen ve Volt seviyesinde olan bu sinyaller için yüksek voltaj aralığı seçmek gerekmiştir.

Sensör bilgisinin okunduğu kanalın ölçme aralığı ise -1V/+1V olarak seçilmiştir. Bu kanalın da hassasiyeti:

$$2 / 2^{12} = 2 / 4096 = 0,00048V olacaktır.$$

Bu kanalda daha hassas ölçüm yapılabileceği anlamına geldiği gibi elektriksel gürültülere karşı da daha duyarlı olduğunu da gösterir. 0.5mV civarındaki dalgalanmalar bile bu kanalın ölçümü sırasında fark edilecektir. Ölçülecek olan sensör bilgisi mV değerlerinde olduğu için düzgün bir ölçüm alabilmek ancak böyle küçük bir voltaj aralığı seçilerek mümkün olacaktır.

- Encoder çıkışlarından alınan sinyaller analiz edilirken, derece sinyalindeki yükselen kenarlar belirlenmiş ve bu kenarların, örneklemelerin kayıt edildiği matristeki yerleri belirlenmiştir. Yükselen kenarlar Encoder'in derece başlangıçlarını gösterdiğinden, basınç değerlerini içeren matriste aynı indislere sahip değerler derece başındaki değerlerdir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi derece başına gelen değerler alınmış ara değerler ise kullanılmadan bırakılmıştır. Yükselen kenarlar yazılımda, Encoder sinyallerinin 0V'dan 5V'a geçtiği an olarak belirlenmiş ve tespit edilmiştir.



Şekil 6.2 : Derece Başları ve Derece Başlarındaki Basınc Bilgilerinin Gösterilmesi

Şekilde görüldüğü gibi derece başlarındaki veriler alınıp diğer veriler temizlendiğinde, elde edilen örnekleme matrisi, her derece için basınç değerlerini ifade etmektedir. Bu matris ile tur referansı bilgisinin bulunduğu matris karşılaştırılarak üst ölü noktaya örtüşen basınç bilgisi seçilir. Bu belirlemenin ardından her bilginin bir dereceyi ifade ettiği bilindiğinden sadece derece ve basınç bilgisiyle işlem yapılabilecektir.

- Her derecede bir pulse üreten Encoder çıktısı sayesinde yalnızca tam derecelerdeki basınç değerleri okunabilmiş ve tur bilgisi çıktısı kullanılarak hangi derecenin “0” derece (üst ölü nokta) olduğu seçilmiştir. Bu referans çıktısının üst ölü noktaya karşılık gelebilmesi için, ilk olarak krank mili, ölçüm alınan piston üst ölü noktaya gelene kadar manuel olarak döndürülmüştür. Encoder çıkışlarından devir referansı olan ya da devir başına bir pulse veren çıktı osilaskop girişine bağlanmıştır. Osilaskop 5V/div voltaj seviyesine ayarlanmıştır. Ayrıca sinyalin fark edilebilmesi için Encoder’in bağlı olduğu girişte “Trigger Voltage” (tetikleme voltajı) 2V olarak

ayarlanmıştır. Encoder manuel olarak, osilaskop ekranında bu girişe ait sinyal 5V değerinde sabit kalana kadar döndürülmüştür. Motor mili ve Encoder, konumlarını koruyacak biçimde kuple edilmiştir. Bu sabitlemeden sonra kaydedilen sinyallerde referans sinyalinin 5V' çıktığı noktanın üst ölü nokta olduğu bilinmektedir.

- Ölçümler sırasında voltaj değerlerinin kablolar ve bağlantı noktalarında kayıplara uğradığı görülmüştür. Encoder çıkışlarının osilaskop ekranında 0 – 5 volt aralığında olduğu görülmüş fakat DAQCard ile yapılan ölçümlerde 3.8 V civarlarına düştüğü görülmüştür. Bu değerler kayıp oranlarını bulmamızı sağlamaktadır. Sensor voltajı da “Signal Conditioner” çıkışından sonra Encoder ile aynı sistemden geçtiği için aynı oranda kayba uğrayacaktır. Bu kayıp oranı sayısal olarak hesaplandıktan sonra Encoder çıkışını 5 V'a getirecek şekilde sinyaller düzeltilmiştir.

- Sinyaller ortamdaki elektrik motoru, bağlantı noktaları diğer cihazların yol açtığı manyetik alanlar ve benzeri sebeplerden dolayı gürültüler ile birleşmektedir. Bu gürültüler genelde sinyalden daha yüksek frekanslı gürültülerdir. Bu gürültüleri yok etmek için alçak geçiren filtre (Low Pass Filter, LPF) uygulanmıştır. Filtrenin kesim frekansı ölçüm değerlerini etkilememek için basınç bilgisinin frekansına çok yakın olmayacak şekilde 200Hz olarak seçilmiştir. Frekansın daha düşük alınması ölçüm verilerinin de değerlerinin düşmesine ve hesaplamaların hatalı olmasına sebep olacaktır. Aşağıdaki şekil uygulanan filtrenin frekanslara tepkisini ifade etmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere 120Hz civarından başlayarak yükselen frekansların değeri sıfıra kadar düşürülmektedir. Motorun hızını göz önüne alırsak ölçmek istediğimiz sinyalin frekansı 40Hz civarlarında olacaktır. Ancak motorun rölantri devrinden daha hızlı dönmesi durumunda bu frekans artacaktır. Bu sebeple filtre kesim frekansı ölçülecek frekanstan uzak seçilmiştir. Ölçülen frekanslarda ise filtrenin tepkisinin 1 olduğu görülmektedir. Bu tepki, frekansın değiştirilmeden kalacağını ifade etmektedir.

Buna ek olarak sinyal, sensör ile ölçüm kartı arasındaki yükseltici ve “Signal Conditioner” devreleri sebebiyle belirli bir voltaj seviyesi kadar üst voltajlara kaymaktadır. “DC Offset” olarak da bilinen bu durum Signal Conditioner gibi araya koyulan cihazların DC besleme geriliminden ya da ölçülen sistem ile ölçüm yapan

sistemin toprakları arasında fark oluşması durumundan kaynaklanabilmektedir. Bunu engellemek için sinyalin taban değeri 0 Volt olacak biçimde aşağı çekilmektedir.

## **6.4 Ölçüm ve Analiz Süreçlerinin Adımları**

### **6.4.1 Ölçüm**

#### **Gerekli Fiziksel Bağlantıların Yapılması**

- Sensör üzerinden çıkan koaksiyel kablo, yükseltici üzerinde bulunan giriş tarafına takılır.
- Yükselticinin çıkış tarafında bulunan sokete, her iki ucunda BNC konektör bulunan bir koaksiyel kablo takılır.
- Kablonun diğer ucundaki BNC konektör ise Signal Conditioner cihazının “Sensor” yazılı giriş kısmına takılır.
- Signal Conditioner cihazının “Scope” yazılı çıkış kısmına da yine iki ucunda BNC konektör bulunan bir koaksiyel kablo takılır bu kablonun diğer ucuna karşılık konektörü takılır. Karşılık olan PCB tipi konektörden iki kablo çıkarılır. Bu kablolar DAQCard ile bağlanan genişleme kartı üzerindeki klemenslerden uygun olanlara takılmak üzere hazırlanmıştır.
- Son olarak bilgisayarın PCMCIA yuvasına takılmış olan kart ile genişleme kartı, bir yassı kablo ile birbirine bağlanır böylece sensör verisini toplamak için gerekli olan bağlantılar tamamlanmış olur.
- Bu işlemlerin ardından Encoder bağlantıları yapılır:
  - Encoder çıkışlarından iki tanesi kullanılacaktır. Bunlara ek olarak Encoder’ın besleme girişlerinin de bağlantıları yapılmalıdır.

- Encoder 5V ile beslenecektir bunun için genişleme kartındaki 5V ve GND(toprak) uçları kullanılmıştır.
- Encoder'ın çıkışlarından tur başına bir pulse veren referans çıktısı ile her derecede bir pulse veren çıkış kullanılacaktır. Bu çıkışlar Encoder üzerinde A ve Z olarak belirtilen çıkışlardır.
  - Bağlantıların büyük kısmında özellikle uzun olan kablolar da koaksiyel kablolar kullanılmıştır. Bunun sebebi bu kabloların elektriksel gürültüye karşı daha dayanıklı olmasıdır. Koaksiyel kabloların iç kısmında bakır bir tel dışında bir yalıtım katmanı ve bunun dışında da örgü biçiminde ceket denilen bir iletken katman bulunmaktadır. En dışta ise bütün kabloyu izole eden yine yalıtkan bit katman bulunur. Ceket kısmı şekli ve iletkenliği ile elektriksel gürültülerin içerideki bakır kabloya iletilmesini önleyen, doğru topraklama yapıldığında iyi bir koruma sağlayan en önemli kısımdır.

#### **6.4.1.1 MATLAB Programında Yazılan Ölçüm Programının Çalıştırılması**

MATLAB programında yazılan ve kullanılan kodlar ekte verilmiştir. Kullanılan kodların çalıştırılma adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

- DAQCard'ın kullanılacak olan analog kanallarının açılması
- Kanalların voltaj aralıklarının ayarlanması.
- Örnekleme hızının belirlenmesi (80KHz).
- Tur başı referans sinyalinin tetiklemeyle ölçüm alınmaya başlanması.
- Alınan verilerin bir dosyaya kaydedilmesi.

Veri toplama işlemi sona erdikten sonra MATLAB ortamında “Save” komutu ile alınan ölçümler matris şeklinde MATLAB programının “mat” uzantılı dosya formatında kaydedilir. Bu dosyalar daha sonra “load” komutuyla yüklenerek analiz için kullanılır.

## 6.4.2 Analiz

Verilerin analiz edilmesinde izlenen yol adımlar halinde verilmiştir:

- Kayıtlı verilerin dosyadan okunması.
- Analiz programının çalıştırılması. (Programa ait kodlar ekte verilmiştir.)
- 5 V değerindeki sinyallerin değerine bakarak kayıp oranının bulunması.
- 5 V değerindeki sinyalin ölçümde görülen değeri 5'e bölünerek bulunur. Bu ölçümün çarpımsal olarak tersi düzeltmede kullanılacak olan çarpım katsayısı olarak bulunmuş olur. Örneğin 5 V değerindeki sinyalin değeri 3.8 V olarak ölçülmüşse :

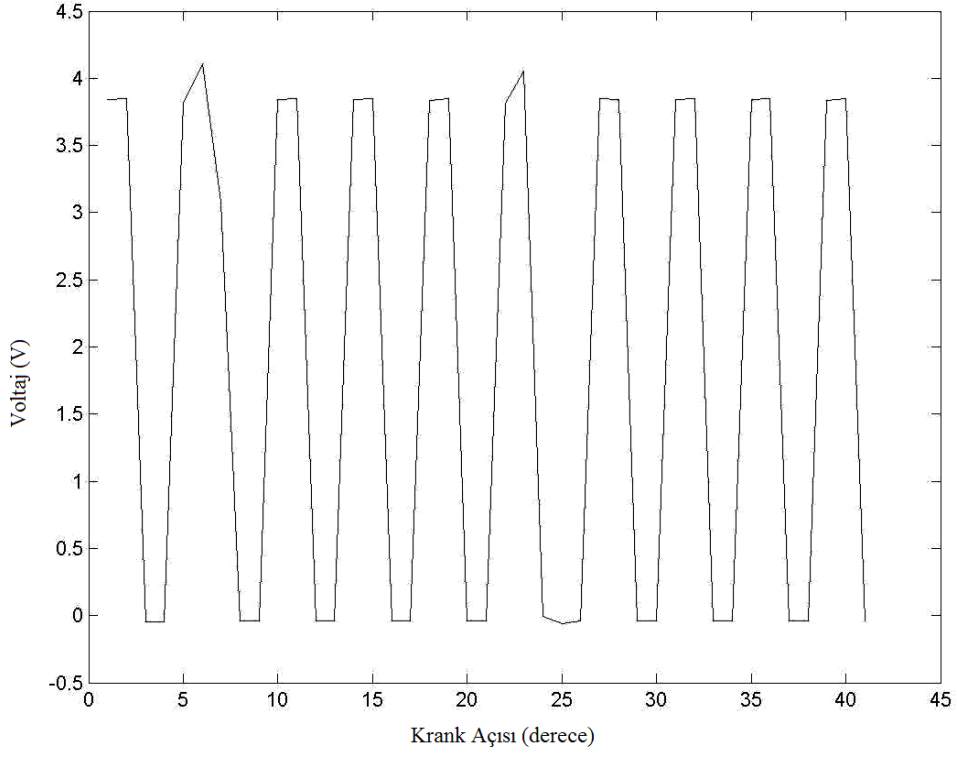
$Kayıp = 1 - (3.8 / 5) = 0.24 = \% 24$  kayıp vardır.

Düzeltilme Katsayısı =  $5 / 3.8 = 1.3157$

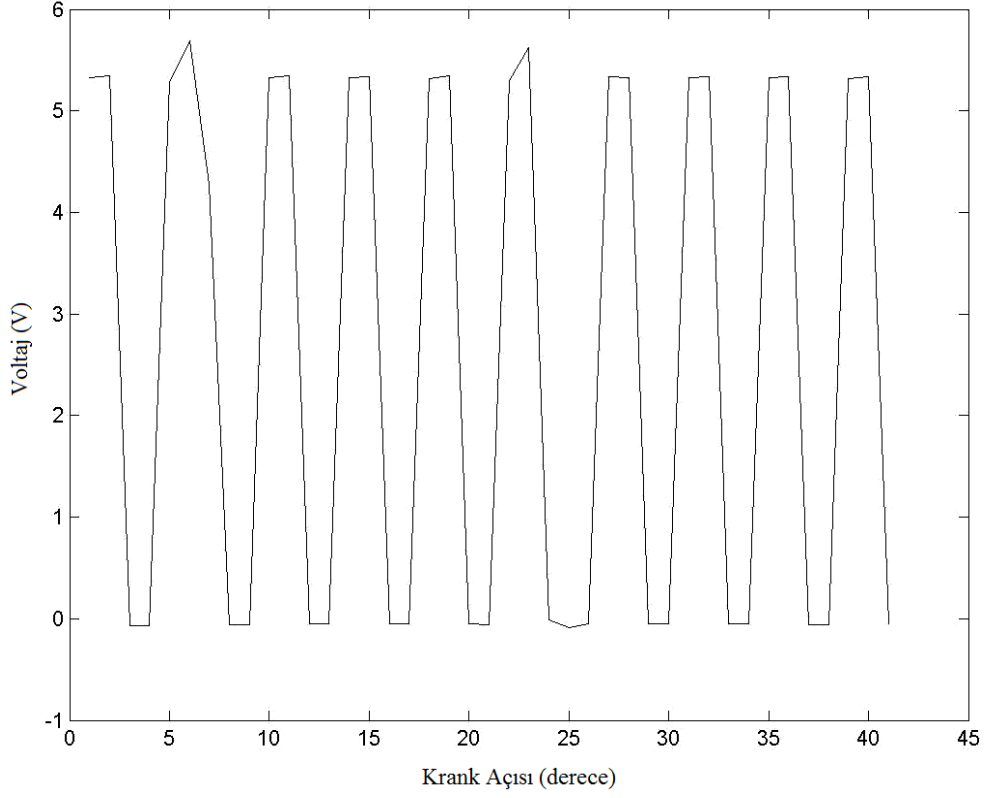
- Tüm verilerin değerinin kayıp oranı kadar yükseltilerek gerçek değerlerinin bulunması.

Aşağıdaki grafiklerde sinyallerin düzeltme katsayısı ile çarpılmadan önce ve sonraki değişimlerinden elde edilen grafikler görülmektedir.



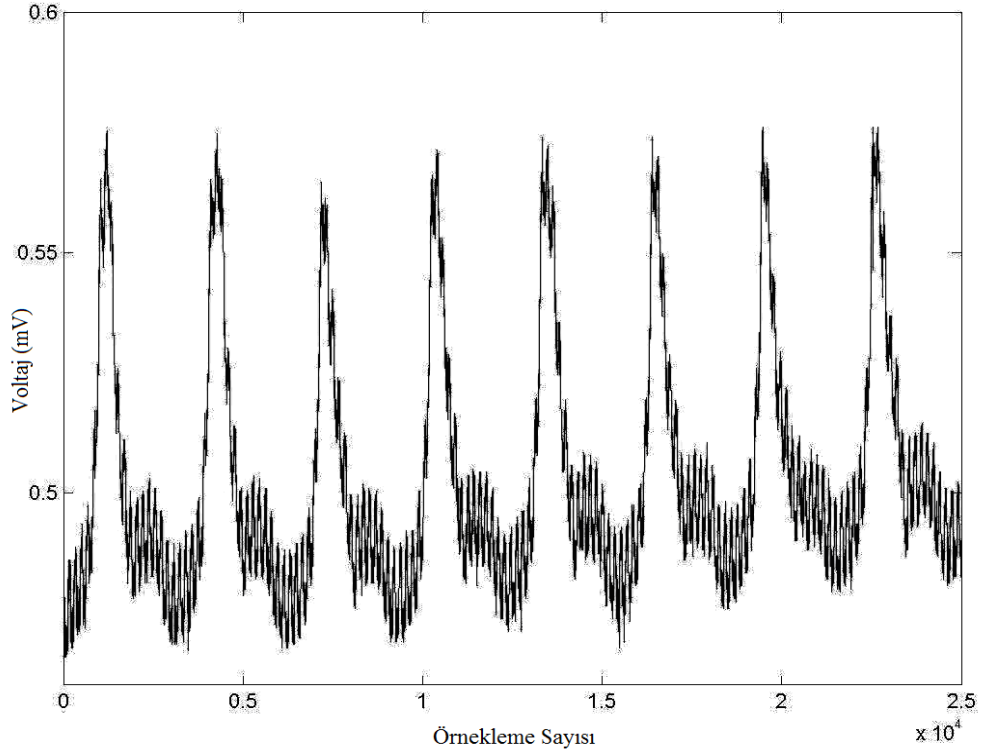


Şekil 6.3 : Enkoderin Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Önceki Sinyal Görüntüleri

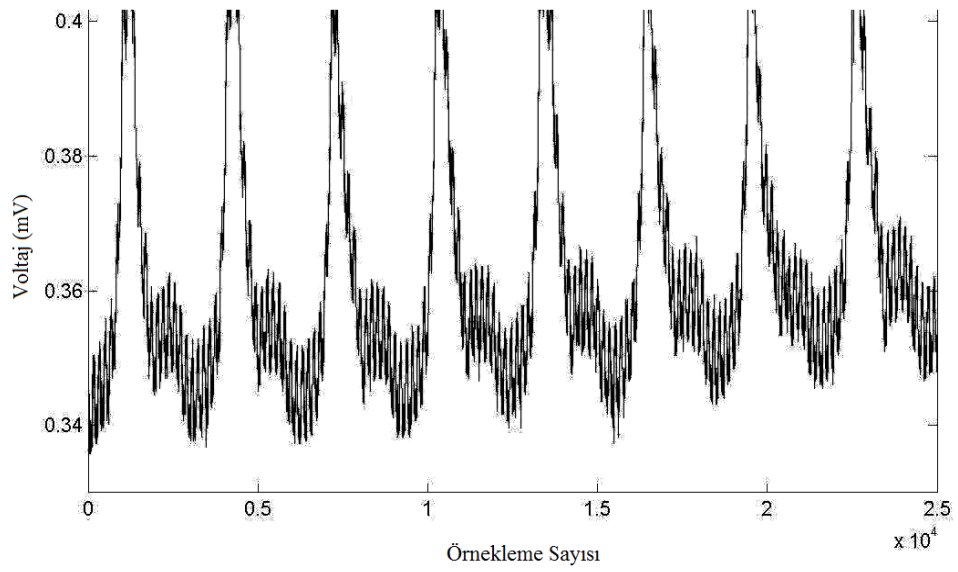


Şekil 6.4 : Basınç Sensörünün Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Sonraki Sinyal Görüntüleri.

Sinyal değerlerinin yanı sıra sensörden elde edilen veriler de düzeltme katsayısıyla çarpılarak düzeltilir.

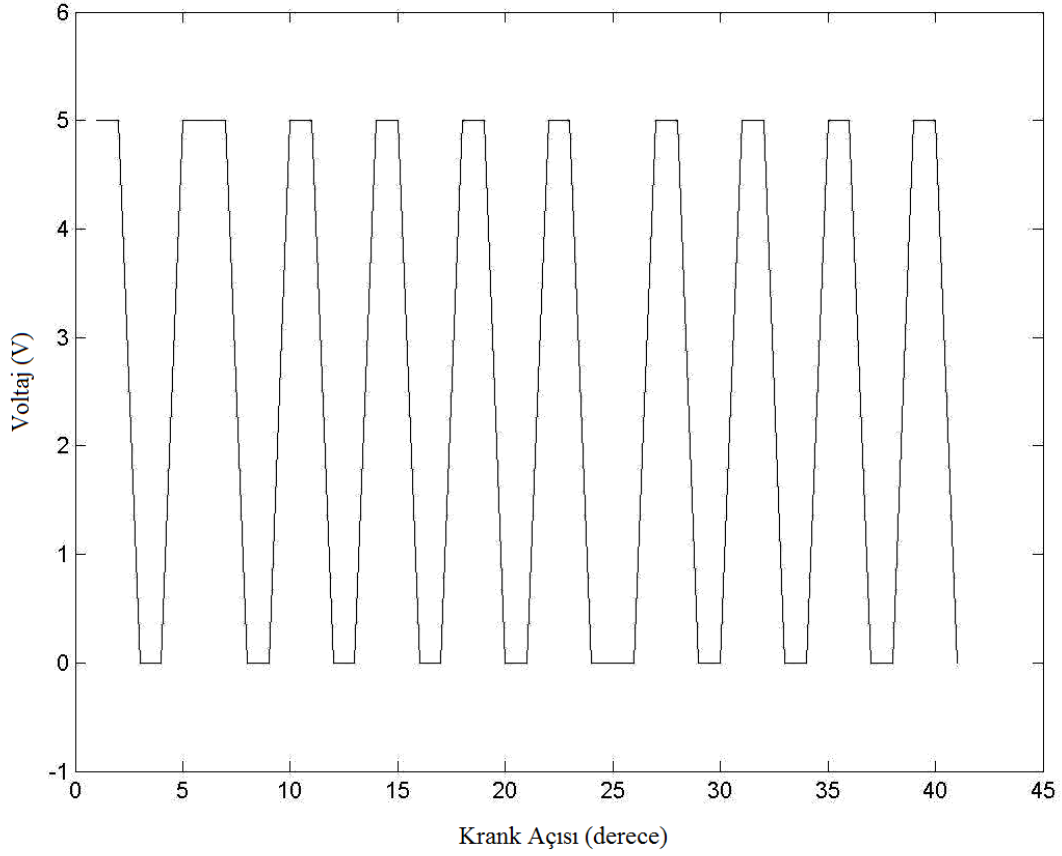


Şekil 6.5 : Düzeltme Katsayısıyla Çarpılmadan Önceki Sensör Verilerinin Grafiği.



Şekil 6.6 : Düzeltme Katsayısıyla Çarpıldıktan Sonraki Sensör Verilerinin Grafiği.

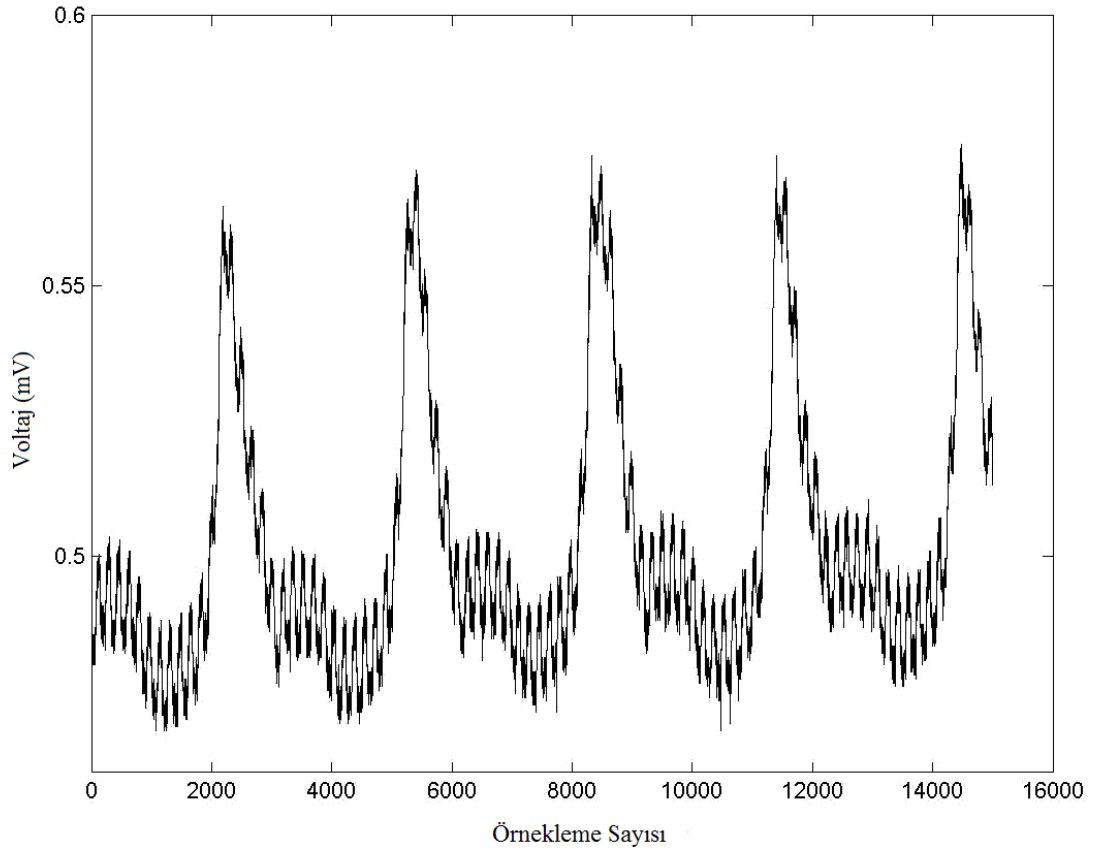
- Dijital veri olan Encoder bilgileri analog kanaldan okunurken elektronik gürültüden etkilenirler. Bu sinyaller, eşik değeri 3 Volt olmak şartıyla, eşik değerinin altı dijital olarak 0, üzeri ise dijital olarak 1 (5 Volt) olacak şekilde düzeltilmiştir.



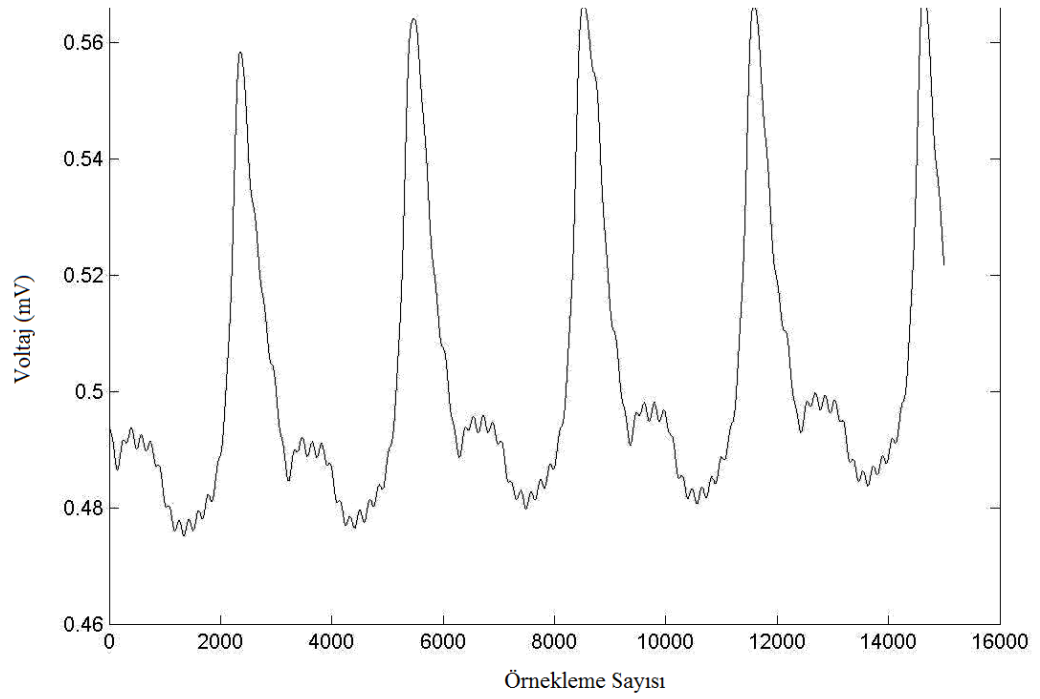
Şekil 6.7 : Düzeltilmiş Sinyal Görüntüleri.

- Sensörden okunmuş veriler gürültülerden temizlenmek için alçak geçiren filtreden geçirilmiştir. Bu filtre için MATLAB programının “butter” fonksiyonu kullanılmıştır.

Sinyallere ek olarak sensör verileri de filtrelenerek düzeltilmiştir. Aşağıdaki şekillerde sırasıyla filtrelemeden önce ve sonraki sensör verilerinin görüntüleri yer almaktadır.

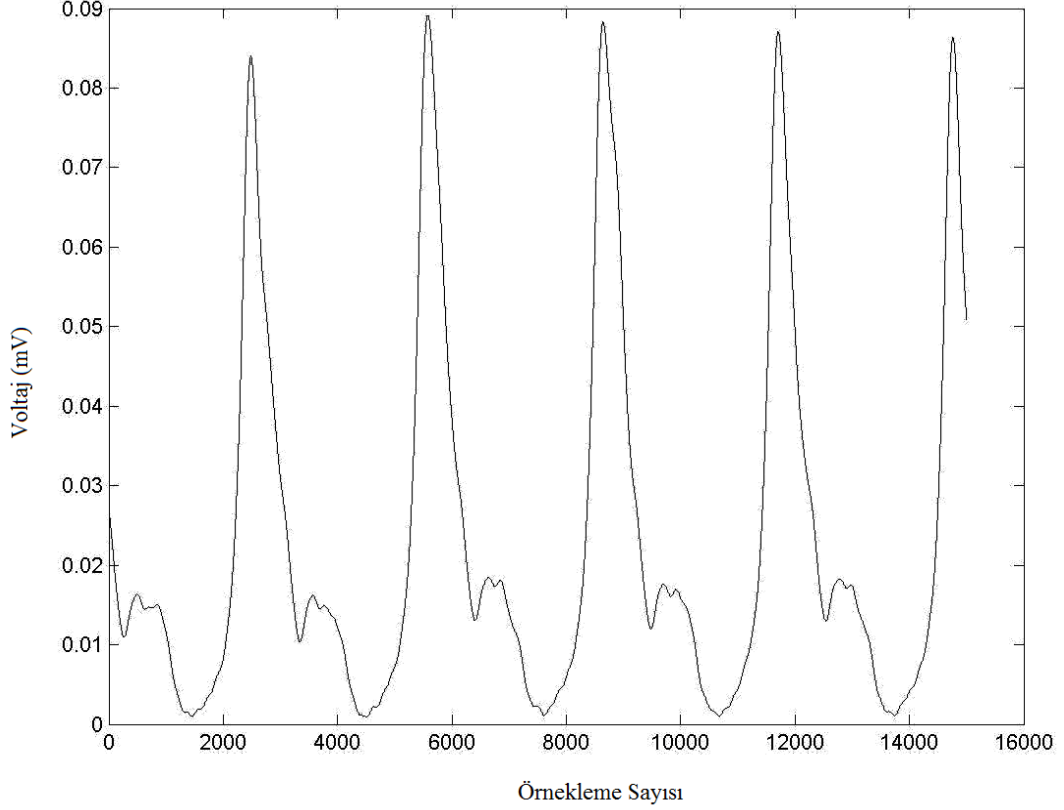


Şekil 6.9 : Filtrelemeden Önceki Sensör Verilerinin Görüntüsü.



Şekil 6.10 : Filtrelemeden Sonraki Sensör Verilerinin Görüntüsü.

- Sensör verilerindeki kayma ya da yükselme ( “DC offset” olarak bilinir ) sinyalin taban değeri 0’a çekilerek giderilmiştir. Bu işlem sonucunda oluşabilecek gürültü benzeri hataları önlemek için yeniden alçak geçiren filtre uygulanmıştır.



Şekil 6.11 : İkinci Filtreden Sonra Sensör Bilgisi Görüntüsü.

- Basınç/ Voltaj katsayısı ile sensör verileri çarpılır bu veriler basınç bilgisine dönüştürülmüştür.

Katsayının Hesaplanması :

Kullanılan sensör uygulanan basınca, bar başına 25 pC (pico coulomb) değerinde kapasitif çıkış üretmektedir. Bu sensöre bağlanan yükseltici ise pC başına 0.0005 Volt üretmektedir. Ölçülen voltaj 0.0005 ‘e bölüldüğünde pC cinsinden sensör çıktısı bulunur. Bu değer de 25’e bölüldüğünde bar cinsinden basınç değerine ulaşılmış olur.

$$\text{Sensör Çıktısı} = \frac{\text{Voltaj}}{0.0005} \quad (6.1)$$

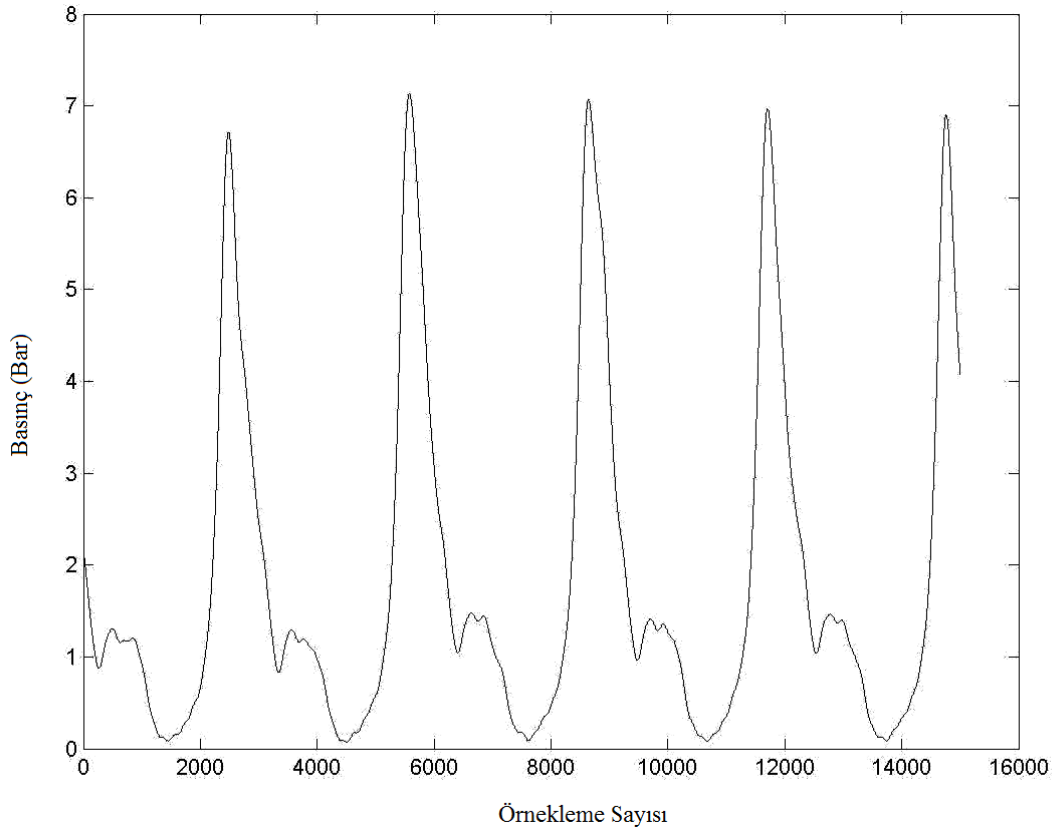
$$\text{Basınç Bilgisi} = \frac{\text{Sensör Çıktısı}}{25} \quad (6.2)$$

Örneğin okunan değer, 60 mV yani 0.06 V değerinde iken sensör çıktısı yukarıdaki eşitliğe göre 120 pC olmakta, basınç bilgisi ise 4.8 bar olarak hesaplanabilmektedir.

Yukarıdaki eşitliklerin birleştirilmesiyle:

$$\text{Basınç Bilgisi} = \text{Voltaj} \times 80 \quad (6.3)$$

eşitliği elde edilir. Aşağıda basınç değerlerine dönüştürülmüş olan sensör bilgilerinin grafiği görülebilmektedir.



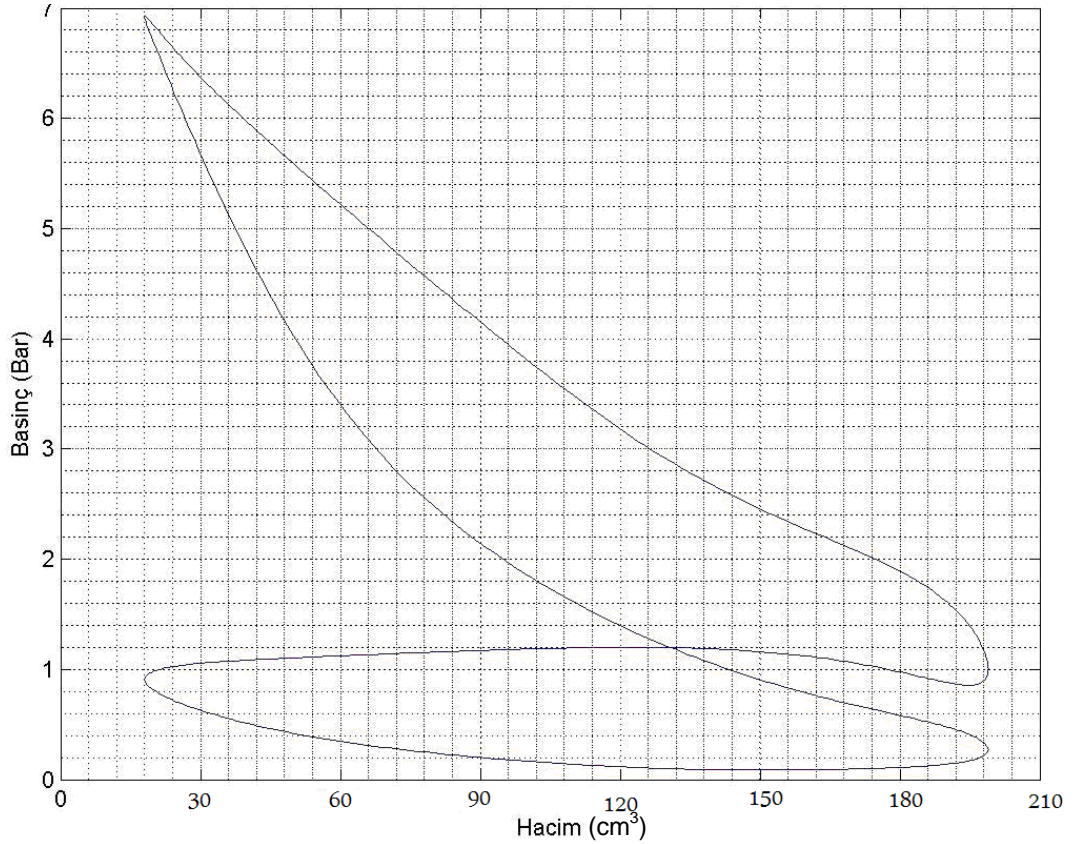
Şekil 6.12 : Basınca Dönüştürülmüş Sensör Bilgisi.

- Son olarak basınca dönüştürülen veriler, her dereceye karşılık gelen basınç bilgilerini içerecek şekilde ve motorun 4 zamanlı döngüsüne göre 720 derecelik bölümlere ayrılmış olarak CSV formatlı bir dosyaya kaydedilir. CSV dosyaları sütunları “;” işareti ile ayrılmış çok satırlı dosyalardır. Bu dosyalar EXCEL programıyla açılabilir üzerinde işlem yapılabilir ve istenirse EXCEL dosyası olarak kaydedilebilir.

## 7. SONUÇ

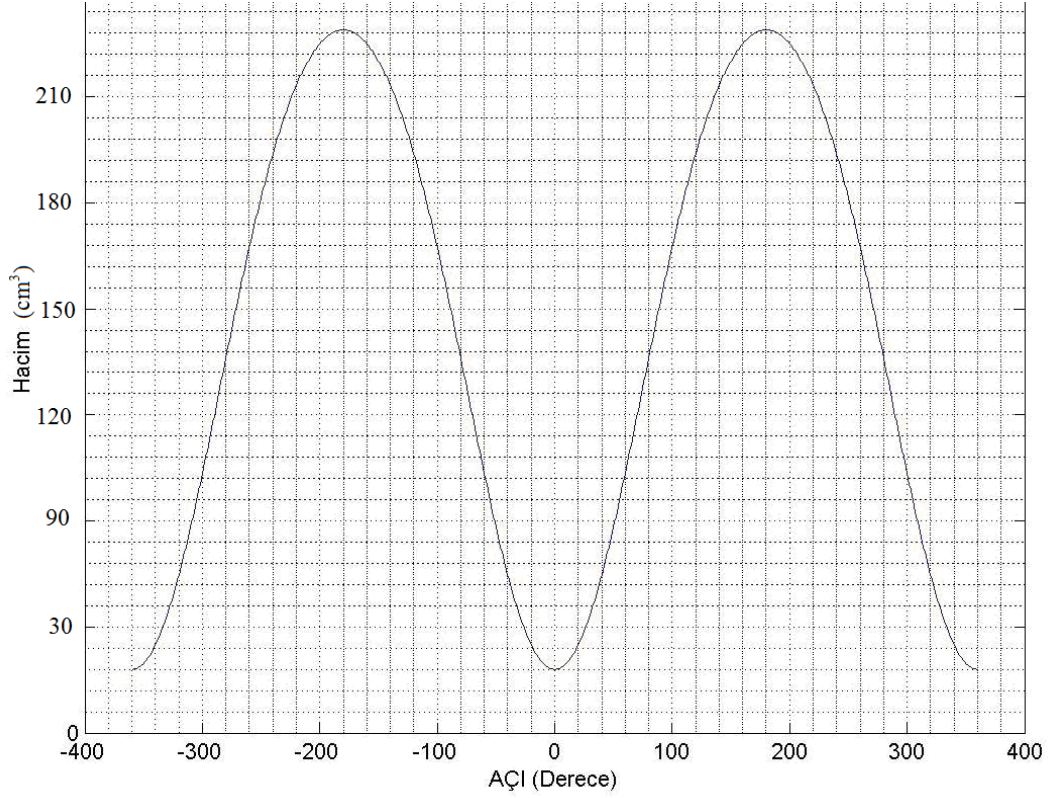
Silindir basıncına ait direk ölçümlerin yapılması, İndike Ortalama Efektif Basıncın (IMEP) ve İndike Gücün ölçülebilmesi için gereklidir. Tepe basıncı (Peak Pressure) ve tepe basıncı yükselmesi oranı gibi değişkenler de basınç verilerinden elde edilebilecek olan kullanılabilir değişkenlerdir.

Bu projede bir basınç sensörü yardımıyla tek silindirli bir motora ait basıncın zamana ve krank açısına bağlı değişimi incelenmeye çalışılmış ve bu verilerin grafiğe dökülmesi için bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Bu veri toplama sisteminde MATLAB kodlarıyla yazılmış olan programlar yardımıyla elde edilen Basınç – Hacim ve Basınç – Krank Açısı grafikleri aşağıda verilmiştir. Program kodları ilgili ekte görülebilir.



Şekil 7.1: Ölçümlerdeki Verilerden Elde Edilen Basınç – Hacim Grafiği.





Şekil 7.2 : Silindir İçi Basıncın Krank Açısına Bağlı Değişimi.

Bu grafiklere benzer bir çok grafik yine bu kodlar yardımıyla çizilebilmektedir. Verilerden elde edilen ve kodlar yardımıyla çizilen bazı grafik örnekleri Ekler kısmında verilmiştir.

Silindir basıncı verilerinin tam olarak ölçülebilmesi için üç şeye gerek vardır:

1. Motorun çalışma şartlarına dayanabilen bir basınç sensörü.
2. Basınç ölçümlerinin motorla senkronize edilmesi.
3. Ölçülen basınç değerlerinin kaydedilmesi.

Bu projede, kısaca çeşitli alıcılardan gelen sinyallerin tek bir merkezde toplandıktan sonra bilgisayar ile sayısal veri haline getirilme aşamasına kadar geçen süreç yer almaktadır.

Alıcılardan alınan veriler genelde çok düşük seviyede ve düzensiz verilerdir. Bunların doğrudan sayısallaştırılması ve analiz edilmesi çok güç olduğundan, sayısallaştırılacak olan veriler önce bir takım işlemlerden geçirilmektedir.

Bir alıcıdan alınan analog işaretlerin öncelikle yükseltilmesi gerekmektedir. Çünkü basınç sensöründe piezo kristal kullanıldığından, alıcının çıkışında üretilen yük pC seviyesinde olmaktadır. Bu seviyedeki sinyallerin analiz edilmesi çok güçtür. Bu nedenle sistemde voltaj yükseltici (Inline Voltage Amplifier) kullanılmalıdır.

Yükselticinin çıkışında girişine göre daha yüksek bir sinyal elde edilmektedir. Ancak burada da gürültü sorunu ortaya çıkmaktadır. Oluşan fazladan gürültüyü engellemek (veya azaltmak) için sinyal düzenleyici (signal conditioner) kullanılmalıdır.

Açı işleyici cihazın çıkışı zaten sayısal olduğu için onu ayrı bir işleme tabi tutmaya gerek yoktur. Basınç sensöründen gelen düzenlenmiş veri ve açı işleyiciden gelen sayısal veriler aynı kart üzerinde toplanmaktadır. Bu yapıda, açı işleyiciden gelen sayısal işaretler, tetikleme işareti (trigger signal) olarak kullanılmakta ve basınç sensöründen gelmekte olan veriyi örnekleme için kullanılmaktadır.

Yanma odasındaki basıncın alınabilmesi için yüksek sıcaklığa, termal şoklara, titreşimlere dayanıklı bir basınç sensörü seçilmelidir. Bunun için piezoelektrik sensörlerin kullanımı uygundur. Ayrıca yine bu sensörlerin sıcaklıktan etkilenmemesi için su soğutmalı sensörlerin kullanımı tercih edilmelidir. Basınç sensörünün motorun titreşiminden etkilenmemesi için basınç sensörünün doğal frekansı motorun frekansından farklı olması gerekmektedir.

Sensörlerden veri toplama kartına kadar olan kablolanmanın, veri kaybını önlemek için çok iyi izole edilmiş olması şarttır.

Enkoderden alınan açı bilgisinin doğru ve kullanılabilir olması için ÜÖN sıfırlamasının projede anlatıldığı gibi çok iyi ve hassas bir şekilde yapılması gerekir.

Projede kullanılan veri toplama sisteminde yazılım olarak MATLAB kullanılmıştır. MATLAB'da kullanılan alt programlar ekler kısmında verilmiştir.

## KAYNAKLAR

Ajav, E.A., Singh, B., Bhattacharya, T.K., “Experimental Study of Some Performance Parameters of A Constant Speed Stationery Diesel Engine Using Ethanol – Diesel Blends as Fuel”, *Biomass and Bioenergy*, 17, 357-365, (1999).

Asiltürk İ., Aydoğan, H., “Otomotiv Mekatroniğinde Sensör Uygulamaları”, 4<sup>th</sup> *International Advanced Technologies Symposium*, Konya, 977-982, 28-30 Eylül (2005).

Aslan, R., Sürmen A., “Otomotiv Elektroniği”, *Alfa Basım Yayım Dağıtım*, İstanbul, 42-45, (2004).

Auslender, D.M., Kempf, C.J., “Mechanical System Interfacing” , *Prentice Hall* , New Jersey, 139-161, (1996).

Bishop, R.H., “The Mechatronics Handbook” , *CRC PRESS*, Boca Rotan London, 239-242, (2002).

Blazek J., “The Combustion Process Analysis by Means of In-Cylinder Pressure Measurement”, *International Scientific Meeting Motor Vehicles & Engines*, Kragujevac, 4-6 Ekim (2004).

Bolton, W., “Mechatronics-Electronic Control Systems In Mechanical Engineering”, *Longman Ltd.*, Edinburgh, 16-91, (1995).

Bosch, “Automotive Handbook” , *Bosch*, 103-105, (2000).

Chen, L., Mehregany M., “A silicon carbide capacitive pressure sensor for in-cylinder pressure measurement”, *Elsevier Science Direct Article*, Cleveland, 7 (2007).

Çelik, M.B., Bayır, R., “Bilgisayar Destekli Motor Standı İçin Kullanıcı Ara Yüzü Yazılım Tasarımı” , 4<sup>th</sup> *International Advanced Technologies Symposium*, Konya, 977-982, 28-30 Eylül (2005).

Dr. Kurtz, A.D., Kane, A., Goodman S., Landmann W, Geras, L., Ned, A.A., “High Accuracy Piezoresistive Internal Combustion Engine Transducers”, *Kulite Semiconductor Products, Inc.*, New Jersey (2004).

Ferguson, C.R. “Internal Combustion Engines”, *John Wiley & Sons*, New York, 24-37, (1986).

Gazi Obitet, Algılayıcılar (Sensörler – Transducers), Gazi Üniversitesi TEF Obitet, <http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/sensorler/algilayici.htm> (Ziyaret Tarihi: 03 Şubat 2008)

Hountalas, D:T., Anestis A., “Effect of pressure transducer position on measured cylinder pressure diagram of high speed diesel engines”, *Energy Conversion and Management*, 39, 589-607, (1998).

Heywood, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *McGraw – Hill, Inc.*, New York, 128-136, (1998).

Huzayyin, A.S., Bawady, A.H., Rady M.A., Dawood, A., “Experimental Valuation of Diesel Engine Performance and Emission Using Blend of Jojoba Oil and Diesel Fuel” , *Energy Conversion and Management*, 45, 2093-2112, (2004).

Ivansson N., “Estimation of the Residual Gas Fraction in an HCCI-engine using Cylinder Pressure”, *Avdelning, Institution Division, Department, Linköping Universitet*, LiTH-ISY-EX-3441-2003, (2003).

j  
İçingür, Y., Altıparmak, D., “Effect of Fuel Cetane Number and Injection Pressure on DI Diesel Engine Performance and Emissions”, *Energy Conversion and Management*, 44, 389-397, (2002).

Kionik, MEMS Sensor Technology, <http://www.kionix.com/Adobe-Documents/MEMS/%20Sensor%20Terminology.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2008)

Kistler, “Instruction Manual”, *Kistler*, 18-66, (2004).

Klein, M., Eriksson L., “Utilizing Cylinder Pressure Data For Compression Ratio Estimation”, *Linköpings Universitet, SE-581 83 Linköping*, (2004).

Korte, R., The Basics of Encoders [online], MMS Online Article, <http://www.mmsonline.com/articles/049703.html> (Ziyaret Tarihi : 13 Mart 2008)

Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J., Tazerout, M., “Experimental Investigations On The Use of Preheated Animal Fat As Fuel in a Compression Ignition Engine”, *Renewable Energy*, 30, 1443-1456, (2005).

Kuo, P.S., “Cylinder Pressure in a Spark-Ignition Engine: A Computational Model”, *J. Undergrad. Sci.* 3 (Fall 1996), 141-145, (1996).

Mattias, M., Thomas, S., “Model Based Diagnosis of The Air Path of An Automotive Diesel Engine” , *Control Engineering Practice*, 12, 513-525, (2004).

M.E.B. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi “Araç Bakım ve Onarım – Benzinli Motorlar”, *MEGEP*, Ankara, (2005).

National Instruments, “The Measurement and Automation”, *Catalog 2005*, 180-200, (2005).

Özdamar, İ. Yelken, B., “Benzin Motorları”, *M.E.B. Yayınları, Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 47-61, (2001).

Robert, B “Combustion Data Acquisition and Analysis”, *Loughborough University, Department of Aeronautical and Automotive Engineering*, (2001).

Sayın C., “Oktan Sayısı ve LPG Karışımının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 20-40, (2004).

Selim, M.Y.E., “Effect of Engine Parameters and Gaseous Fuel Type On The Cyclic Viability of Dual Fuel Engines”, *Fuel*, 84, 961-971, (2005).

Sellnau, M., Matekunas, F.A., Battiston, P.A., Chen, F.C., Lancaster, D.R., “Cylinder-Pressure-Based Engine Control Using Pressure-Ratio-Management and Low-Cost Non-Intrusive Cylinder Pressure Sensors”, *SAE Technical Paper Series 2000-01-0932, SAE 2000 World Congress Detroit, Michigan 6–9 Mart 2000*, (2000).

Shidfar A., Garshasbi, M., “Numerical Study of In-Cylinder Pressure In an Internal Combustion Engine”, *Department of Mathematics, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran-16, Iran*, 163-170, (2004).

Takáts, M. “In-Cylinder Pressure Recording and Data Acquisition System”, *Josef Bozek Research Center of Engine and Automotive Technology, Czech Technical University*, Prag, (2002).

University of Wisconsin, Department of Mechanical Engineering, “Introduction to Sensor Terminology”, <http://mechatron.me.wisc.edu/Courses/me601/terms/sensorterm.html> (Ziyaret Tarihi : 15 Mart 2008)

Yilmaz, E., “Engine and Dynamometer System Service and Fuel Consumption Measurement”, *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, (2004).

Zeng, P., Assanis, D.N., “Cylinder Pressure Reconstruction and its

Application to Heat Transfer Analysis”, *SAE Technical Paper Series*, **2004-01-0922**, *Automotive Research Center, University of Michigan*, Detroit, Michigan, (2004).

Zhao, H., Ladammatos, N., “Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics”, *SAE Publication*, 2-109, (2001)

## **EKLER**

EK A: tetiklemeli_olcum.m	91
EK B: analyze_data.m	93
EK C: analyze_save_data.m	95
EK D: basinchacim.m	97
EK E: acihacim.m	98
EK - F: Grafikler	99

## EKLER

### EK – A : tetiklemeli\_olcum.m

```
%karttan bir nesne yarat
ai = analoginput('nidaq', 1);

%Okunacak Kanalları seç
%-----
%ENC OUT Z --> Tur başına 1 darbe, Referans açısı
addchannel(ai,1);
% ENC OUT A --> 360 derecede 360 darbe veren çıkış
addchannel(ai,3);
% basınç sensörü.
addchannel(ai,2);

%analog giriş tipini belirle
ai.InputType = 'SingleEnded';
%örnekleme hızını belirle
ai.SampleRate = 80000;
%Tetikleme Tipini Belirle
ai.TriggerType = 'SoftWare';
%Tetikleme Kanalını Seç -- ENC OUT A
ai.TriggerChannel = ai.Channel(1)
%Tetikleme Şartını Seç
ai.TriggerCondition = 'Rising'
%Tetikleme Eşik Değerini Seç
ai.TriggerConditionValue = 2
%Tetikleme başına alınacak veri sayısını belirle (n)
ai.SamplesPerTrigger = 400000;

%Sensor Kanalından Daha Hassas okuma için okuma aralığını daralt
ai.Channel(3).InputRange = [-1 1]
ai.Channel(3).SensorRange = [-1 1]
ai.Channel(3).UnitsRange = [-1 1]

ai.Channel(1).InputRange = [-10 10]
ai.Channel(1).SensorRange = [-10 10]
ai.Channel(1).UnitsRange = [-10 10]

ai.Channel(2).InputRange = [-10 10]
ai.Channel(2).SensorRange = [-10 10]
ai.Channel(2).UnitsRange = [-10 10]

%Kartı Çalıştır
start(ai);
    %tetiklemeyi Bekle
    while length(ai.Running) < 3
        drawnow
    end
    %Alınan veriyi hafızaya aktar
```



```
while ai.SamplesAvailable < 400000
    drawnow
end

    data = getdata(ai);

    plot(data);
%end

delete(ai);
clear ai;
```

## EK B: analyze\_data.m

```
% Bu kodlar ham veri dosyalarını analiz ettikten ve filtreledikten
sonra
% her turu bir sütun, her derece de bir satır olacak biçimde CSV
uzantılı % ve EXCEL tarafından işlenebilen bir dosya yaratır.

high_freq = 300;
low_freq = 10;
sampling_rate = 80000;

aciklama = 'analize başlandı'
%tur baslarini bul
tur_baslari = 1;
for i = 2:length(data);
    if data(i,1)>3 && data(i-1,1)<3
        tur_baslari(length(tur_baslari)+1) = i;
    end
end

% 5 voltluk cikisin kac volta düştüğüne bakarak düzeltme carpanı
bul.
ortalama = 0;
for i = 1:length(tur_baslari);
    ortalama = ortalama + data(tur_baslari(i),1);
end
ortalama = ortalama / length(tur_baslari);
v_katsayi = 5 / ortalama;

%datayi düzeltme katsayisi ile carp.
data(:,1:3) = data(:,1:3)*v_katsayi ;

% pulse bilgilerini digitale çevir
for i = 1:length(data);
    if data(i,1)>3
        data(i,1)=5;
    else
        data(i,1)=0;
    end

    if data(i,2)>3
        data(i,2)=5;
    else
        data(i,2)=0;
    end
end

%sensor datasını lowpass filtreden geçir.
[b a] = butter(4,high_freq/(sampling_rate/2),'low');
data(:,3) = filter(b,a,data(:,3) );

% offseti kaldır.
```

```

for i = 1:2:length(tur_baslari)-2
    data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3) =
    data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3) -
    min(data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3));
end

%sensor datasını lowpass filtreden geçir.
[b a] = butter(4,high_freq/(sampling_rate/2),'low');
data(:,3) = filter(b,a,data(:,3) );

%sensor datasını basınca ceviri
data(:,3) = data(:,3)*80;

%filtreleme ile bozulan turları at
data = data(tur_baslari(5):tur_baslari(length(tur_baslari)-5),:);

tur_baslari = tur_baslari(5:length(tur_baslari)-5);

aciklama = 'her derece için basınç bilgisi hesaplanıyor'
drawnow
%her turdaki derece bilgisini bul
data_yeni = [0 0];
for i = 2:length(data)
    if data(i,2) == 5 && data(i-1,2) == 0
        data_yeni(length(data_yeni)+1,1:3) = data(i,1:3);
    end
    % clc
    i*100/length(data)
end

%dosya yazmaya hazırla ve dosyaya yaz.
clear data;
data = data_yeni;
clear data_yeni;
clear tur_baslari;

tur_baslari = 1;
for i = 2:length(data);
    if data(i,1)>3 && data(i-1,1)<3
        tur_baslari(length(tur_baslari)+1) = i;
    end
end

aciklama = 'dosyaya yazılıyor'
drawnow
[dosya msg] = fopen('excel.csv','w');
for offset = 0:719
    for i = 3:2:length(tur_baslari)-4
        str = num2str(data(tur_baslari(i)+offset+180,3));
        for chr = 1:length(str)
            if str(chr) == '.'
                str(chr) = ',';
            end
        end
    end
end

```

```
        end
    end
    fprintf(dosya, '%s', str);
end
fprintf(dosya, '\n');
xXxx = offset*100/719;
disp(xXxx);
end
fclose(dosya);
```

## EK – C: analyze\_save\_data.m

```
high_freq = 300;
low_freq = 10;
sampling_rate = 80000;

aciklama = 'analize başlandı'
%tur baslarini bul
tur_baslari = 1;
for i = 2:length(data);
    if data(i,1)>3 && data(i-1,1)<3
        tur_baslari(length(tur_baslari)+1) = i;
    end
end

% 5 voltluk cikisin kac volta düştüğüne bakarak düzeltme carpanı
bul.
ortalama = 0;
for i = 1:length(tur_baslari);
    ortalama = ortalama + data(tur_baslari(i),1);
end
ortalama = ortalama / length(tur_baslari);
v_katsayi = 5 / ortalama;

%datayi düzeltme katsayisi ile carp.
data(:,1:3) = data(:,1:3)*v_katsayi ;

% pulse bilgilerini digitale çevir
for i = 1:length(data);
    if data(i,1)>3
        data(i,1)=5;
    else
        data(i,1)=0;
    end

    if data(i,2)>3
        data(i,2)=5;
    else
        data(i,2)=0;
    end
end

%sensor datasını lowpass filtreden geçir.
[b a] = butter(4,high_freq/(sampling_rate/2),'low');
data(:,3) = filter(b,a,data(:,3) );

% offseti kaldır.
for i = 1:2:length(tur_baslari)-2
    data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3) =
    data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3) -
    min(data(tur_baslari(i):tur_baslari(i+2)-1,3));
end
```

```

%sensor datasını lowpass filtreden geçir.
[b a] = butter(4,high_freq/(sampling_rate/2),'low');
data(:,3) = filter(b,a,data(:,3) );

%sensor datasını basınca çevir
data(:,3) = data(:,3)*80;

%filtreleme ile bozulan turları at
data = data(tur_baslari(5):tur_baslari(length(tur_baslari)-5),:);

tur_baslari = tur_baslari(5:length(tur_baslari)-5);

aciklama = 'her derece için basınç bilgisi hesaplanıyor'
drawnow
%her turdaki derece bilgisini bul
data_yeni = [0 0];
for i = 2:length(data)
    if data(i,2) == 5 && data(i-1,2) == 0
        data_yeni(length(data_yeni)+1,1:3) = data(i,1:3);
    end
    % clc
    %i*100/length(data)
end

clear data;
data = data_yeni;
clear data_yeni;
clear tur_baslari;

tur_baslari = 1;
for i = 2:length(data);
    if data(i,1)>3 && data(i-1,1)<3
        tur_baslari(length(tur_baslari)+1) = i;
    end
end

data_yeni = data(tur_baslari(3):tur_baslari(length(tur_baslari)-4),1:3);
save f.mat data_yeni;

% aciklama = 'dosyaya yazılıyor'
% drawnow
% [dosya msg] = fopen('excel.csv','w');
% for offset = 0:719
%     for i = 3:2:length(tur_baslari)-4
%         str = num2str(data(tur_baslari(i)+offset+180,3));
%         for chr = 1:length(str)
%             if str(chr) == '.'
%                 str(chr) = ',';
%             end
%         end
%     end

```

```
%      fprintf(dosya,';s',str);
%      end
%      fprintf(dosya,'\n');
%      xXxx = offset*100/719;
%      disp(xXxx);
% end
% fclose(dosya);
```

## EK -D: basınchacim.m

```
%bu kodlar filtrelenmiş veri dosyalarındaki (f1.mat, f2.mat.. gibi)
%verileri ve acihacim verilerini kullanarak basınç-hacim grafiğini
%oluşturur

Vc = 30;
L = 10.08;
A = 3;
D = 8;
tetha = -359:1:360;
V = Vc + (L + A - A*cos(tetha*pi/180) - sqrt(L*L-
A*A*sin(tetha*pi/180).*sin(tetha*pi/180)))*pi*D*D/4;

figure
plot(tetha,V);
xlabel('AÇI (Derece)');
ylabel('Hacim');

tursayisi = ((length(data_yeni) - mod(length(data_yeni),720)) /
720)-1;
for index = 1:1:720
    ortalama(index) = 0;
end
for offset = 0:1:tursayisi
    for index = 1:1:720
        ortalama(index) = ortalama(index) +
data_yeni(offset*720+index,3);
    end
end
ortalama = ortalama / tursayisi;
maxpoint = 0;
for i = 1:1:length(ortalama)
    if ortalama(i) == max(ortalama)
        maxpoint = i-1;
    end
end
ortalama2 = ortalama(maxpoint:720);
ortalama2(length(ortalama2)+1:720) = ortalama(1:maxpoint-1);

figure
plot(V,ortalama2, '.');
xlabel('Hacim');
ylabel('Basınç (Bar)');

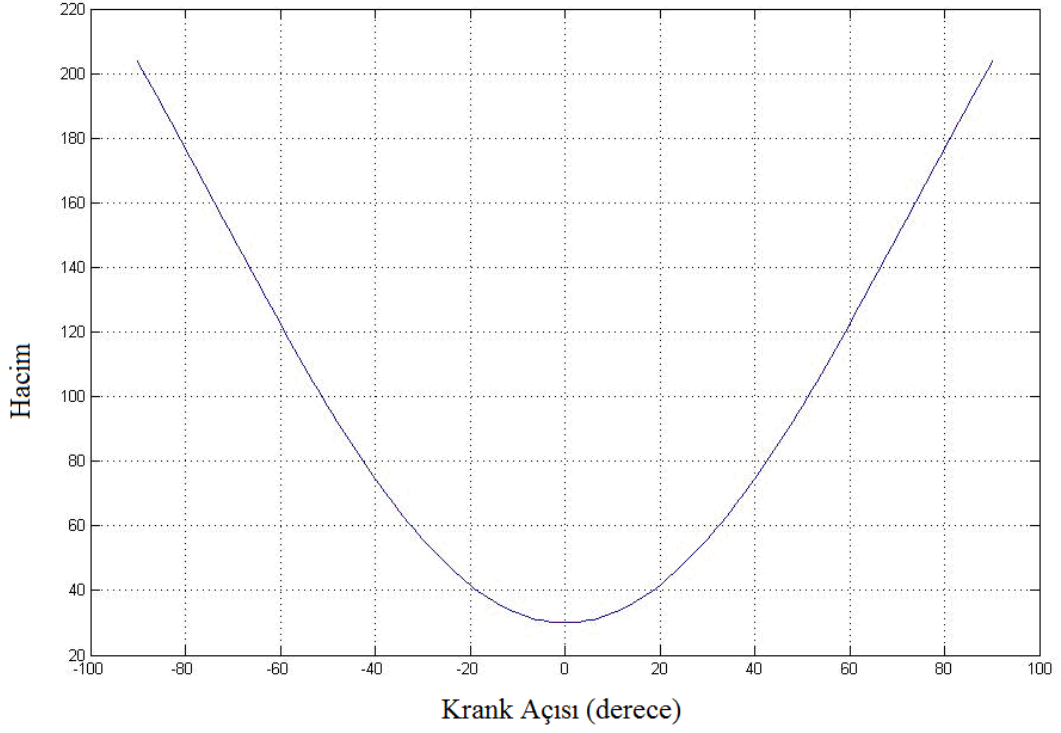
figure
plot(log10(V),log10(ortalama2), '.');
label('LOGARİTMİK');
xlabel('Hacim');
ylabel('Basınç (Bar)');
```



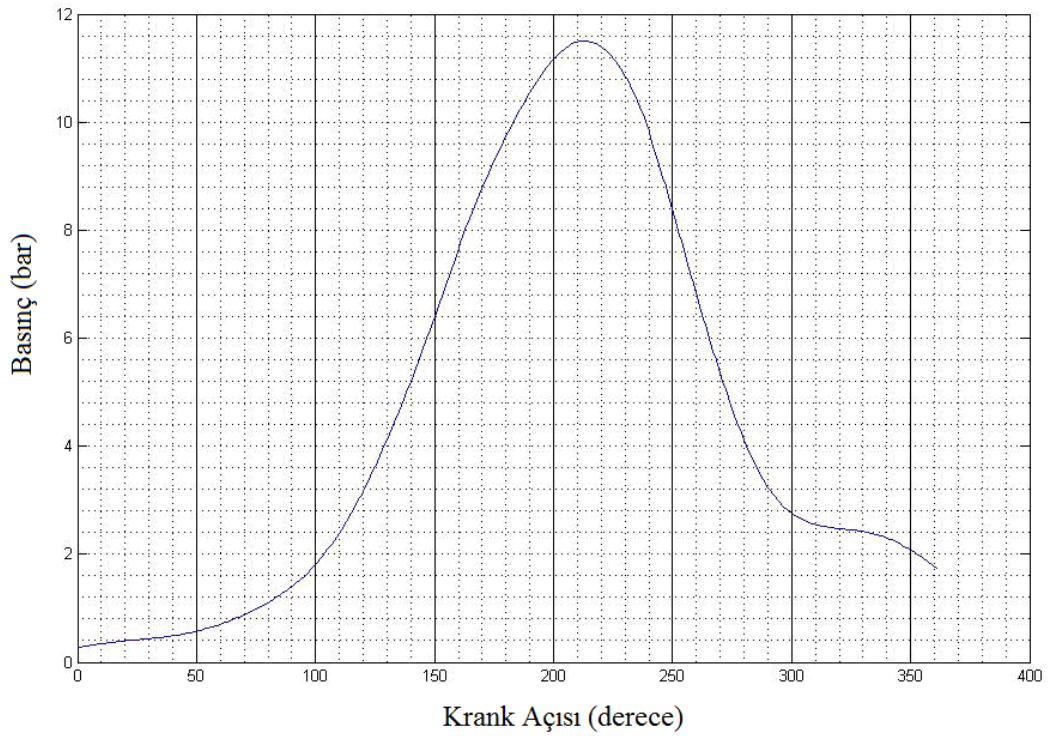
## **EK E: acihacim.m**

```
Vc = 30;  
L = 10.08;  
A = 3;  
D = 8;  
tetha = -360:1:360;  
V = Vc + (L + A - A*cos(tetha*pi/180) - sqrt(L*L-  
A*A*sin(tetha*pi/180).*sin(tetha*pi/180)))*pi*D*D/4;  
plot(tetha,V);
```

## EK - F: Grafikler



Açı hacim -90 +90 derece arası için



-180 +180 derece arası açı ve basınç grafiği

## ÖZGEÇMİŞ

Tez çalışmasını yapan Reha OĞUZ 15 Şubat 1969 yılında Malazgirt'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul 50.Yıl Avcılar İnsa Lisesi'nde 1987 yılında tamamladı. 1988 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1992 yılında aynı bölümden Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1993 yılında Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesinde Yedek Subaylık görevine başladı. 1994 yılında Yedek Subaylığa devam ederken Kara Kuvvetleri Komutanlığı'nın açmış olduğu Muvazzaf Subaylık sınavını kazanarak Silahlı Kuvvetlere Mühendis Teğmen olarak katıldı. Çeşitli askeri fabrikalarda görev yaptıktan sonra halen 1'inci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'nda yüzbaşı rütbesi ile görevine devam etmektedir. 2006 – 2007 öğretim yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Mühendis Yüzbaşı Reha OĞUZ evli ve iki çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.