

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN
DENEYSEL TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğrt. Ali TÜRKCAN

Anabilim Dalı : Makina Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÇANAKÇI

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN
DENEYSEL TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğrt. Ali TÜRKCAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Temmuz 2006

Tez Danışmanı

Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI



Üye

Doç.Dr. Murat HOŞÖZ



Üye

Yrd.Doç.Dr.Cenk SAYIN



KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Motor test sistemi motor performansı, yakıt, yanma, egzoz emisyonu ile ilgili araştırmalar ve deneysel çalışmalar için önemli bir araçtır. Ölçülen parametrelerin güvenilirliği yapılan araştırmanın sonuçlarının yorumlanmasında en önemli faktörü oluşturmaktadır. Test sisteminde toplanan verilerin yüksek örnekleme oranlarına sahip olması test sonuçların güvenilirliğini arttırmaktadır. Bunun yanında yanma analizleri motor performansı ve kullanılan yakıtların yanma karakteristikleri hakkında bilgi vermekte ve motor performansını belirleyen parametreler arasındaki ilişkileri açıklamaya yardımcı olmaktadır.

Bu konuda çalışma imkanı veren ve değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya, tezimin her aşamasında yardımcı olan değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Cenk SAYIN'a, tezime desteklerinden dolayı değerli hocam Yrd.Doç.Dr. H.Metin ERTUNÇ'a, katkılarından dolayı çalışma arkadaşım Arş.Gör. A.Necati ÖZSEZEN'e ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Av. Saime TÜRKCAN'a ve hayatım boyunca beni destekleyip bugünlere getiren babam Durgut TÜRKCAN ile annem Nilgün TÜRKCAN'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR	vii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. DİNAMOMETRELER VE MOTOR TESTLERİ	8
2.1. Dinamometre ve Motor Test Sistemi	8
2.2. Geçmişten Günümüze Dinamometreler	10
2.2.1. Mekanik sürtünmeli dinamometreler	10
2.2.1.1. Prony freni.....	10
2.2.1.2. Bandlı fren.....	11
2.2.2. Hidrolik dinamometreler	12
2.2.3. Elektrikli dinamometreler	13
2.2.4. Elektromanyetik (Eddy Current) dinamometreler	14
2.3. Dinamometre Çalışma Alanı	15
2.4. Motor Test Metotları	16
2.5. Hava Debisinin Ölçülmesi	17
2.5.1. Orifis plaka ile hava debisinin ölçülmesi	18
2.5.2. Volümetrik verimin hesaplanması	21
2.5.3. Hava fazlalık katsayısı	21
2.6. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi.....	22
2.7. Sıcaklıkların Ölçülmesi.....	23
2.7.1. Termokapıl ile sıcaklık ölçümü prensibi.....	24
2.7.2. Termokapıl ile sıcaklık ölçüm devreleri	25
3. GERÇEK- ZAMANLI VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ	28
3.1. Gerçek - Zaman Arayüzü.....	28
3.2. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi Elemanları.....	28
3.2.1. Sensörler	30
3.2.1.1. Sensörlerle ilgili terimler	30
3.2.1.2. Statik ve dinamik karakteristikler	32
3.3 Anlık Motor Değerlerinin Toplanması.....	33
3.3.1. Sinyal şartlandırıcı	33
3.3.2. Çoklama (Multiplexing).....	34
3.3.3. Analog dijital çeviriciler	35
3.3.4. Örnekleme ve tutma	36
3.3.5. Hız sinyali ve şaft enkoder	36
3.3.6. Devir ve üst ölü nokta (ÜÖN) referans sinyali	37
3.3.7. Örnekleme hızı	38
3.4. Silindir Basıncının Ölçülmesi	39
3.4.1. Piezo-elektrik basınç sensörü prensibi	40

3.4.2. Basınç sensörünün hazırlanması	42
3.4.3. Sensör çıkışının mutlak basınca çevrilmesi	43
4. MOTOR TEST SİSTEMİ	44
4.1. Test Motorunun Özellikleri ve Teste Hazırlanması	44
4.2. Moment Ölçüm Düzeneği	45
4.2.1. Dinamometre	46
4.2.2. Yük hücresi (Load cell) ve kalibrasyon	47
4.2.3. Optik takometre ile devir ölçülmesi	49
4.2.4. Moment ölçümünün hesaplanması	50
4.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü	50
4.4. Sıcaklık Ölçüm Donanımı	51
4.5. Hava Debisi Ölçümü	53
4.6. Üst Ölü Nokta Bilgisinin Alınması	56
4.7. Silindir Basıncı Ölçüm Sistemi	57
4.8. Enjeksiyon Hattı Basınç Ölçüm Sistemi	60
4.9. Veri Toplama Sistemi	61
4.10. Verilerin Analizi	63
4.11. Silindir Basıncı Verilerinin Denetimi	64
4.12. Isı Dağılımının Analizi	64
4.13. Tutuşma Gecikmesinin Analizi	67
4.14. Deneylerin Yapılışı	68
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	70
5.1. Sonuçlar	70
5.1.1. Test sonuçlarının değerlendirilmesi	70
5.1.2. Silindir gaz basıncı verilerinin analizi	74
5.1.2.1. P-V ve logaritmik P-V diyagramlarının oluşturulması	74
5.1.2.2. 1000 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi	76
5.1.2.3. 1500 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi	78
5.1.2.4. 2000 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi	80
5.1.2.5. 2500 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi	82
5.1.2.6. 3000 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi	84
5.1.2.7. Silindir basıncının motor devriyle değişimi	86
5.1.3. Tutuşma gecikmesinin analizi	87
5.2. Tartışma ve Öneriler	91
KAYNAKLAR	94
EKLER	99
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dinamometre prensip şeması.....	9
Şekil 2.2. Fren torku ölçme prensibi	9
Şekil 2.3. Prony freni prensip şeması.....	11
Şekil 2.4. Bandlı frenin şematik görüntüsü.....	12
Şekil 2.5. Hidrolik dinamometre.....	12
Şekil 2.6. Eddy Current Dinamometresi	14
Şekil 2.7. İçten yanmalı bir motorun Eddy Current dinamometresine bağlantısı sonucu oluşan çalışma alanlarının şeması	15
Şekil 2.8. Orifis plakalı hava tankı ile hava debisi ölçümü prensip şeması.....	19
Şekil 2.9. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı (a)	22
Şekil 2.9. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı (b).....	23
Şekil 2.10. Basit bir termokapıl devresi	25
Şekil 2.11. Termokapıl ile sıcaklık ölçüm devresi.....	26
Şekil 2.12. Termokapıl referans sıcaklık eldesi	26
Şekil 3.1. Üç sensör ve iki hareket elemanı bulunan VTKS sisteminin ana elemanları	29
Şekil 3.2. PC tabanlı veri toplama sistemi	34
Şekil 3.3. Devir referans sinyali üretilmesi.....	37
Şekil 3.4. Silindir basınç ölçüm düzeneği.....	40
Şekil 3.5. Piezo-elektrik basınç sensörleri	41
Şekil 4.1. Motor test sisteminin genel görünümü	45
Şekil 4.2. Su dinamometresinin test sistemindeki konumu	46
Şekil 4.3. Dirençli uzama telinin yapısı ve yük hücresinin prensip şeması.....	47
Şekil 4.4. Yük hücresi elemanları	48
Şekil 4.5. Yük hücresinin kalibrasyon eğrisi	49
Şekil 4.6. Optik takometre ve volan kasnağı.....	49
Şekil 4.7. Moment ölçüm sistemi ve prensip şeması	50
Şekil 4.8. Yakıt tüketimi ölçüm donanımı	51
Şekil 4.9. Termokapılların kalibrasyonları için kurulan düzenek.....	52
Şekil 4.10. Termokapılların kalibrasyon eğrileri	52
Şekil 4.11. Hava debisi ölçüm donanımı	54
Şekil 4.12. Orifis plakanın ölçüm hattındaki konumu	54
Şekil 4.13. Krank mili konum sensörünün sinyal karakteristiği.....	57
Şekil 4.14. Üst ölü nokta sensörünün yerleşimi.....	57
Şekil 4.15. Silindir basınç sensörünün montaj resmi	58
Şekil 4.16. Sinyal şartlandırıcı ve bağlantıları	59
Şekil 4.17. Enjeksiyon hattı basınç sensörünün montaj resmi.....	60
Şekil 4.18. Veri toplama sistemi donanımı	62
Şekil 4.19. Logaritmil P-V diyagramı (1000 d/d, 40 Nm).....	65
Şekil 4.20. Enjeksiyon basıncı – KA grafiği (1000 d/d, 40 Nm).....	67
Şekil 4.21. Isı dağılımı - KA grafiği (1000 d/d, 40 Nm).....	68
Şekil 5.1. Tam yük çalışma şartlarında güç ve moment değişimi.....	71
Şekil 5.2. Test motorunun yakıt tüketimi.....	72

Şekil 5.3. Test motorunun özgül yakıt tüketimi.....	73
Şekil 5.4. Termik verimin motor devri ve yüke bağlı değişimi	73
Şekil 5.5. Motor hacminin KA'ya göre değişimi.....	75
Şekil 5.6. 80 Nm ve 30 Nm için P-V diyagramı (1500 d/d).....	75
Şekil 5.7. Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (1000 d/d).....	77
Şekil 5.8. Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (1000 d/d)	77
Şekil 5.9. Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (1000 d/d).....	77
Şekil 5.10. Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (1500 d/d).....	79
Şekil 5.11. Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (1500 d/d)	79
Şekil 5.12. Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (1500 d/d)	79
Şekil 5.13. Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (2000 d/d).....	81
Şekil 5.14. Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (2000 d/d)	81
Şekil 5.15. Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (2000 d/d)	81
Şekil 5.16. Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (2500 d/d).....	83
Şekil 5.17. Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (2500 d/d)	83
Şekil 5.18. Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (2500 d/d)	83
Şekil 5.19. Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (3000 d/d).....	85
Şekil 5.20. Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (3000 d/d)	85
Şekil 5.21. Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (3000 d/d)	85
Şekil 5.22. Silindir basıncının tam yüklerde motor devrine göre değişimi.....	86
Şekil 5.23. Enjeksiyon hattı basıncının tam yüklerde motor devrine göre değişimi.....	87
Şekil 5.24. Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (20 Nm).....	88
Şekil 5.25. Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (30 Nm).....	88
Şekil 5.26. Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (40 Nm).....	88

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Bazı termokupl malzemelerinin hassasiyet sabitleri	25
Tablo 3.1. Bir basınç sensörünün özellikleri	31
Tablo 4.1. Dizel test motorunun özellikleri	44
Tablo 4.2. Gerçek değerler ve indikatörde okunan değerler.....	48
Tablo 4.3. Gerçek değerler ve göstergede okunan değerler.....	53
Tablo 4.4. Basınç sensörü ve sinyal şartlandırıcının özellikleri	58
Tablo 4.5. Enjeksiyon hattı basınç sensörünün özellikleri	60
Tablo 4.6. Advantech PCI 1716 veri toplama kartının özellikleri	61
Tablo 5.1. Test motorunun katalog değerleri	74
Tablo 5.2. Tutuşma gecikmesinin devir ve yüke göre değişimi	89

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

a	: Krank yarıçapı (m)
A	: Orifis alanı (m ²)
b	: Moment kolu uzunluğu (m)
b _e	: Fren özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
B	: Silindir çapı (cm)
c _p	: Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
c _v	: Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kgK)
C	: Katsayı
C _E	: Genleşme katsayısı
C _d	: Orifis katsayısı
D ₁	: Orifisin dış çapı (mm)
D ₂	: Orifisin iç çapı (mm)
E _(θ)	: (θ) Krank açısında amplifikatör çıkış voltajı (V)
E _{AÖN}	: Emme alt ölü nokta çıkış voltajı (V)
F	: Dinamometrenin uyguladığı döndürme kuvveti (N)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
h	: Manometre kolundaki yüksek farkı (m)
h _y	: Yakıtın ısıl değeri (kJ/kg)
k	: Özgül ısıların oranı
\dot{m}	: Motora alınan hava debisi (kg/s)
$\dot{m}_{Hteorik}$: Motora alınması gereken teorik hava miktarı (kg/s)
\dot{m}_y	: Kütlesel yakıt miktarı (g/s)
n	: Devir sayısı (d/d)
n _c	: Silindir sayısı
n _{min}	: Minimum devir sayısı
n _s	: Dört veya iki zamanlı motor için katsayı
P _e	: Efektif güç (kW)
P _{AÖN}	: Alt ölü nokta basıncı (kPa)
P _(θ)	: (θ) Krank açısındaki basınç (kPa)
r	: Biyel kolu uzunluğu (cm)
S	: Strok boyu (cm)
Δθ	: Örnek alınacak krank açısı aralığı
ΔP	: Eğik manometrede okunan basınç farkı (Pa)
\dot{Q}	: Isı dağılımı (kJ/°KA)
R	: İdeal gaz sabiti (kJ/kg K)
R ²	: Korelasyon katsayısı
r _c	: Sıkıştırma oranı
T	: Tork (Nm)
T _o	: Atmosferik mutlak sıcaklık (K)
T _ç	: Çevre sıcaklığı (°C)
T _{egz}	: Egzoz gazı sıcaklığı (°C)
T _i	: Emme manifoldu girişindeki hava sıcaklığı (K)

$T_{sç}$: Soğutma suyu çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{sg}	: Soğutma suyu giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{yağ}$: Motor yağı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT	: Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
U	: İç enerji değişimi (kJ)
V_h	: Silindir hacmi (m^3)
V_s	: Strok hacmi (m^3)
V_{θ}	: θ Krank açısında silindir hacmi (m^3)
V_T	: Kararlı akış için gerekli hava tankı hacmi (m^3)
V_{Top}	: Toplam silindir hacmi (m^3)
ω	: Açısal hız (rad/s)
\dot{W}	: Pistonun yer değiştirmesine karşı yaptığı iş (kJ)
W_A	: Kazanılan iş (kJ)
W_B	: Kayıp iş (kJ)
η_v	: Hacimsel verim (%)
η_t	: Termik verim (%)
ρ	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_m	: Manometre sıvısının yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_i	: Emme manifoldu girişindeki havanın yoğunluğu (kg/m^3)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
θ	: Krank açısı
α_{AB}	: Termokapılı oluşturan metallere bağlı hassasiyet sabiti
β	: Orifis çap oranı

Alt indisler

AB	: A ve B Metali
ç	: Çevre
egz	: Egzoz
i	: Emme manifoldu
m	: Manometre
s	: Strok
sg	: Soğutma suyu giriş
sç	: Soğutma suyu çıkış
t	: Termik
T	: Tank
v	: Hacimsel
yağ	: Yağ
y	: Yakıt

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
A/D	: Analog Dijital
ADC	: Analog Dijital Çevirici
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
D/A	: Dijital Analog
DC	: Doğru Akım
DAC	: Veri Toplama ve Kontrol
DAS	: Veri Toplama Sistemi
DHK	: Doğrudan Hafıza Kullanımı
EAB	: Enjektör Açılma Basıncı
EGGD	: Egzoz Gazı Geri Dönüşümü
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
EMK	: Elektro Motor Kuvvet
GAGÇK	: Genel Amaçlı Giriş Çıkış Kartı
HC	: Hidrokarbon
İYM	: İçten Yanmalı Motor
KA	: Krank Açısı
NIK	: Negatif Isı Katsayılı Direnç
NO _x	: Azotoksit
NO ₂	: Azotdioksit
O ₂	: Oksijen
SPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
VTS	: Veri Toplama Sistemi
VTKS	: Veri Toplama ve Kontrol Sistemi

BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DENEYSEL TESPİTİ

Ali TÜRKCAN

**Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motorlar, Motor Test Sistemi, Veri Toplama,
Yanma Analizi**

Özet: İçten yanmalı motorlar üzerine yapılan araştırmalar, motor performansını arttırmak, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltmak ve alternatif yakıt kullanımını geliştirmek içindir. Bu araştırmalarda çok hızlı değişen silindir gaz basıncı ve yakıt enjeksiyon hattı basıncı gibi bazı değişkenlerin gözlemlenmesi ve kaydedilmesi gerekir. Bu durum motor testleri için oldukça önemlidir. Çünkü testler sonucunda elde edilen veriler, araştırmaların yorumlanmasında önemli bir rol oynar.

Bu çalışmada; içten yanmalı bir dizel motorun tork, güç ve fren özgül yakıt tüketiminin ölçülmesi ve yanma analizinin yapılabilmesi için bir motor test sistemi kurulmuştur. Yüksek örnekleme oranına sahip bir veri toplama sistemi ile silindir ve enjeksiyon hattı basınç verileri 0,25° krank açısı çözünürlüğünde toplanmıştır. Yanma analizi için elli çevrimin ortalaması hesaplanmıştır. Bununla birlikte silindir ve enjeksiyon hattı basınçları kullanılarak ısı dağılımı ve tutuşma gecikmesinin analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları grafikler ve tablolar halinde sunularak yorumlanmıştır.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF A DIESEL ENGINE'S PERFORMANCE PARAMETERS

Ali TÜRKCAN

Keywords: Internal Combustion Engines, Engine Test System, Data Acquisition, Combustion Analysis

Abstract: Researches on the internal combustion engines aim to increase engine performance to reduce fuel consumption and exhaust emissions and to improve the use of alternative fuels. In these researches, the observations and records of rapidly changes of the some variables such as cylinder pressure and fuel injection line pressure are required. This is very important for engine test systems, because acquired data in the engine tests have a vital role to explain the results.

In this study, an engine test system was set up to measure torque, power and brake specific fuel consumption and to analyze combustion characteristics in the engine cylinder. Data from the cylinder and fuel injection line were collected with a high sampling rate data acquisition system using a crank angle resolution of 0.25° . The means of fifty engine cycles were calculated for combustion analysis. At the same time, cylinder and fuel injection line pressures were used to analyze heat release and ignition delay. Results of the performed analysis were presented and interpreted as figures and tables.

1. GİRİŞ

1876 yılında Otto, 1892’de Dizel motorunun icadından sonra 100 yılı aşkın bir süredir motorlar üzerinde yapılan araştırma ve deneyler sonucunda oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bununla birlikte, diğer bilim dallarındaki teknolojik gelişmeler, bu gelişmelerin motorlara da uygulanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir.

Motorlu taşıt kullanımı ve üretimi, ulaştırma politikalarına, sosyo-ekonomik duruma ve diğer birçok şartlara rağmen artmaktadır. Bu artışla beraber motorlu taşıtların petrol tüketimindeki payı artmakta, dolayısıyla hava kirliliğini önemli bir sorun haline getirmektedir (Sayın ve diğ., 2005a). Bu nedenle egzoz emisyonları için sınırlamalar getirilmiştir. Bu bağlamda araştırmacılar taşıt kaynaklı emisyon oluşumunu azaltmak için bir çok araştırma yapmaktadırlar (İçingür ve Haşimoğlu, 2001). Hava kirliliğinin önlenmesindeki öncelikli seçenek ise, egzoz emisyonlarının azaltılması için gerekli önlemlerin (emisyon kontrol sistemleri, emisyonu azaltan karışımların yakıt olarak kullanılması vb.) alınmasıdır.

İçten yanmalı motorlar (İYM) yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler. Motorlar üzerinde yeni araştırmalar bir taraftan ilerlerken bir taraftan da var olan sistemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Motorlar üzerine yapılan araştırmaların temel amaçlarından biri, yanma sırasında meydana gelen enerji dönüşümünün olabildiğince yüksek verimde gerçekleşmesidir.

İYM’da hava ve yakıt tüketimi değerleri motor performans parametreleri olan indike güç, efektif verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif güç değerlerini etkileyen önemli parametrelerdir. Yakıttan en üst düzeyde enerji açığa çıkarabilmek için silindirlere en fazla havanın alınması gerekir (Heywood, 1988). Yanma karakteristikleri egzoz emisyonlarını, motor gücünü, yakıt sarfiyatını etkileyen en önemli faktördür. Bunun yanında yeni çıkan common rail teknolojisinde enjeksiyon

basıncının motor performansını ve emisyonlarını etkilediği tespit edilmiştir (Celikten, 2003).

Fosil kaynaklı yakıt (benzin, motorin) rezervlerin belirli bölgelerde toplanmış ve yakın zamanda tükenecek olması petrol krizlerine sebep olmuş ve alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır (Ulusoy ve Alibaş, 2002). Hava kirliliğine neden olan petrol kökenli yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO, HC, NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık sorunları oluşturmaktadırlar. Bu yüzden egzoz emisyonlarını azaltmak için yapılan çalışmaların önemi büyüktür (Keck, 1982).

Literatürdeki çalışmalar motor test sistemlerinin kurulumu, veri alma yöntemleri, deneylerin yapılış metotları, ölçüm çeşitleri ve yanma analizleri olarak incelenmiştir.

Chan ve diğ. (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, CO₂, HC emisyonları önceden kalibre edilmiş bir egzoz gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Hava/yakıt oranı egzoz kombinasyonlarından hesaplanmıştır. Yakıt sistemine enjeksiyon miktarını belirleyen bir kontrolör konulmuş ve hava/yakıt oranı elle kumandalı olarak ayarlanmıştır. Hava akış oranı oksijen sensöründen tespit edilmiştir. Deneylerde farklı karışım oranlarında etanol-benzin kullanılmıştır. Deneyler %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 oranına bağlı olarak da emisyon sonuçlarını yorumlamışlardır.

Çelik ve Bayır (2005) Visual Basic 6.0 programından yararlanarak içten yanmalı bir motorun fiziksel özelliklerinin ve çalışma ortamı koşullarını bilgisayar ortamına aktaran kullanıcı ara yüzü 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 jeneratörün uyarım akımının değiştirilmesiyle kademeli olarak çıkış gücü ölçülmüştür. Motorun fiziksel büyüklüklerini tespit etmek 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 indirek enjeksiyonlu ve değiştirilebilir sıkıştırma oranı özelliğine sahip bir dizel motor kullanmış ve 650 çevrimin 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 kurmuştur. 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 verilerini toplamıştır. İkinci veri toplama sisteminde ise silindir gaz basıncını ve üst ölü nokta bilgisini giriş bilgisi olarak veri toplama kartına bağlamıştır. Su soğutmalı piezo-elektrik bir sensör ve sinyal şartlandırıcısı ile birlikte silindir gaz basıncı verilerini almıştır. 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 tüketimini hesaplamak için, hacimsel ölçüm yönteminden yararlanılmıştır. Ölçüm hatalarını en aza indirmek için yüksek hızlarda 100 ml hacimli ölçek kullanılmış olup motor titreşimleri bu sistemdeki yakıt bağlantı borularını etkilediğinden oluşabilecek ölçüm hataları nedeniyle kütleli yakıt tüketimi tercih edilmemiştir. Testler sabit hızda ve sabit yükte yapılmış, yakıt tüketimi ölçülmüştür. Yük ve hız artışına bağlı olarak yakıt tüketiminin de arttığı görülmüştür. Toplanan veriler ile motor gücü 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 silindirli 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, üst ölü nokta bilgisi için optik shaft encoder kullanılmıştır. Egzoz gazı sıcaklığı için düşük veri hızına sahip K tipi termokupl tercih edilmiştir. AVL-Indiwin firmasının yüksek veri toplama sistemiyle birlikte çalışan silindir gaz basıncı sensörü ve enjeksiyon hattı basınç sensörünün sisteme montajı yapılmıştır. Kıızıl 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 ile is sonuçları elde edilmiştir. 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'lü (EGGD) bir dizel motorunun hava yolunun diagnostik tabanlı modeli oluşturulmuş ve bu akış ile ilgili gerçek zaman sonuçları içeren veriler toplamıştır. 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 bir diagnostik sistem kurulmuştur, Elektronik Kontrol Ünitesine (EKÜ) gelen sinyaller veri toplama kartı üzerinden 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.

Huzzayin ve diğ. (2004), joboba ve dizel yakıtı karışımı kullanılarak dizel motorun performansı ve emisyon sonuçlarını değerlendirilmiştir. DC bir elektrik jeneratörü motora bağlanmış ve jeneratörü kontrol etmek için sisteme harici bir uyartım devresi eklenmiştir. Bu devre, otomatik bir AC transformatörden ve bir doğrultmaç köprüsünden oluşmaktadır. DC jeneratör uyartım voltajı otomatik transformatör tarafından düzenlenmiş ve kontrol edilmiştir. Jeneratör uyartım voltajı değerleri seçilerek yükleme değerleri belirlenmiştir. Yakıt tüketimi ölçümü 1 ml ölçüm aralıklı ve 100 ml hacimli cam kavanoz ile gerçekleştirilmiştir. Emme havası akış oranı, 0,45 m³ hacminde bir sönümlenme tankı, laminar akış elemanı (Laminar Flow Element) 1–5000 ölçüm aralıklı ve 1 Pa çözünürlüğe sahip bir dijital diferansiyel basınç manometresi kullanılarak 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 termokupllar kullanılarak belirlenmiştir. Termokupllardan gelen sinyaller National SCXI veri toplama sistemine girilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır.

Yine aynı çalışmada emisyon ölçüm sisteminde, su soğutmalı egzoz gazı örnekleyici ve ANAPOLE EU200 kalibrasyonlu egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Egzoz gaz örnekleyici elektrokimyasal hücreler kullanarak bu hücrelerden elde edilen sinyaller A/D çeviriciden geçirilerek yükseltilmiş ve aynı zamanda filtrelenerek egzoz gazı ölçümü yapılmıştır. İş miktarı ise 0 dan 9'a kadar bölmelendirilmiş bir filtre kağıdı ile ölçülmüştür. Egzoz gazı analiz cihazı tarafından CO, CO₂, O₂, NO₂ emisyonları ölçümleri yapılmıştır.

İçingür ve Altıparmak (2002) deneysel çalışmalarında enjeksiyon basıncı ve yakıtın setan sayısının direk enjeksiyonlu bir dizel motorun performans ve emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneyler 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 gas 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 gazı sıcaklığını, yağlama yağı sıcaklığını ölçmüşlerdir. Motor test sisteminde hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Hava tüketim ölçüm sistemi için sönümlenme tankı, orifis plaka, U tipi manometre, egzoz gazı sıcaklığının tespiti için K tipi termokupl, yağ sıcaklığı için T tipi termokupl kullanılmıştır. Yakıt tüketimini ölçmek için hacimsel ölçüm yapan bir cihaz kullanılmıştır. Deneyler beş farklı yükte; yüksüz, % 25, 50, 75, ve tam yükte olmak üzere, sabit bir hızda (1550 d/d) yapılmıştır. Her bir yükleme koşulunda testler 3 defa tekrarlanmıştır. Her test koşulu için en az 5 dk motor çalıştırılmış ve daha sonra veriler toplanmıştır. Bu veriler: yük, hız, yakıt tüketimi için zaman, sönümlenme takında bulunan orifiste oluşan basınç düşümü, egzoz gazı, yağlama yağı ve soğutma suyu sıcaklıkları, egzoz emisyonları değerleridir.

Rakopoulos ve diğ. (2004), test motoru olarak Ricardo – Cussons tek silindirli su soğutmalı motor kullanmışlardır. Test motoru hem otto hem de dizel motor 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 gösterilmektedir. Motor soğutma suyu dolaşımı bir pompa yardımıyla sıcaklık kontrollü bir ısı değiştirgecinden geçirilerek sağlanmıştır. Stratejik noktalardaki sıcaklık bilgileri çok noktalı sıcaklık göstergesine sahip elektronik bir cihazdan okunmaktadır. Yakıt tüketimini 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 yararlanılarak sekiz kanal için 312.5 ksampl/s hızında motor verileri toplanmıştır. Yüksek hızda veri toplanması için geliştirilen ve veri toplama kartının desteklediği Test Point programı kullanılmıştır.

Johnson (2005), titreşim ve hız sinyallerinden aldığı veriler ile silindir gaz basıncı verileri arasında doğrusal olmayan bir model kurarak silindir gaz basıncını tespit etmeye çalışmıştır. Deney düzeneğinde silindir gaz basıncını AVL QC33C basınç sensörü ile ölçmüştür. Titreşim sensörü olarak PCM 353M15 modeli ve motor devri için 1800 pals/devir örnekleme hızına sahip açısal enkoder kullanılmıştır. Her üç farklı ölçüm için 0,2 derece krank açısı hassasiyetinde 50 çevrimin ortalamasını hesaplamıştır.

Motor araştırmaları ve var olan sistemlerin iyileştirilmeleri için yapılan çalışmalar, motor performansını artırmak, çevre dostu motorlar üretmek, alternatif yakıtların kullanımını en iyi şekilde sağlayabilmek, egzoz emisyonlarını en aza indirgeyebilmek için oldukça önemlidir. İşte bu noktada bu araştırmaların en iyi şekilde yapılabilmesi için motor testleri sonucunda toplanan verilerin güvenilir ve hassasiyetinin yüksek olması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek, kurulan motor test düzeneğinde deneysel verilerin toplanabilmesi, anlık motor değerlerinin 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 ve deney düzeneğinin nasıl kurulduğu ve deneylerin yapılış metotları önemlidir.

Yapılan bu tez çalışmasında kurulan motor test sistemi yüksek hızlarda veri toplayabilen bir sistemdir. Bu özelliği ile anlık motor değerleri toplanabilmekte, elde edilen verilerle motorun performans eğrileri ve yanma grafikleri oluşturulabilmektedir. Bilimsel çalışmalar için kurulan bu test sistemi aynı zamanda eğitim amaçlı kullanılabilir olup, bir eğitim seti işlevini de yerine getirmesi planlanmaktadır.

2. DİNAMOMETRELER VE MOTOR TESTLERİ

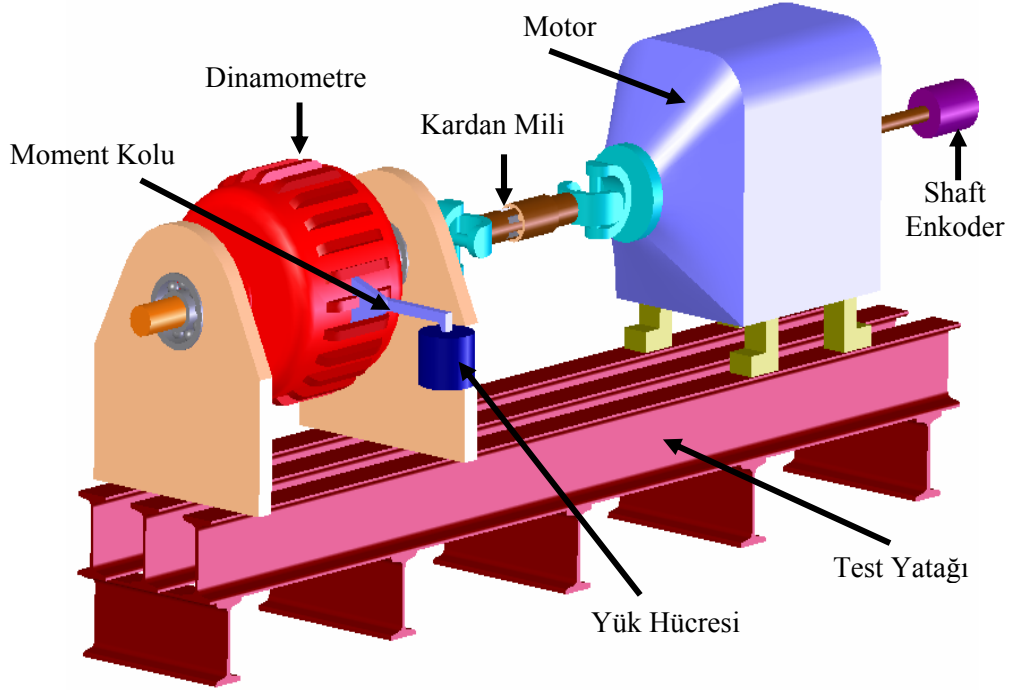
Bu bölümde dinamometre ile motor testi ve kontrolü, dinamometre çeşitleri, çalışma alanları ve koşulları anlatılacaktır. Hava debisi, yakıt tüketimi ve motorun belli noktalarındaki sıcaklıkların ölçülmesi ve sıcaklık ölçüm yöntemlerinden bahsedilecektir.

2.1. Dinamometre ve Motor Test Sistemi

Motorların performans karakteristikleri olan efektif güç, moment ve özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı olarak tespit edilebilmesi için motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekmektedir. Yükleme sistemleri genelde dinamometre veya ‘fren’ adını almakta olup, motorun çıkış miline uygulanan kuvvete de yük adı verilmektedir. Motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş ve güç bulunabilir (Borat ve diğ. 1994).

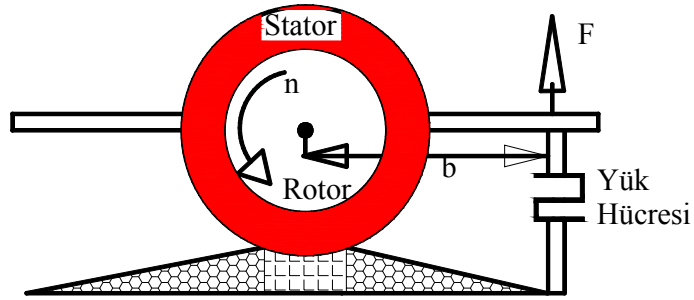
Bir motorun emisyon ve performansını belirlemek için motor hızının ve motor yükleme şartlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Dinamometreler Şekil 2.1’de görülen bir donanımla bu kontrolü yapabilmektedirler. Dinamometrenin gövdesine bağlanan moment kolunda, motorun yüklenmesiyle birlikte motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti oluşmaktadır. Bu oluşan döndürme kuvveti, moment kolu tarafından yük hücresine (load cell) iletilmektedir. Yük hücresinde bu kuvvet tespit edilerek moment hesaplanmaktadır. Shaft encoder ile motor devri ve krankın açısal konumu tespit edilmektedir.

Yaygın olarak kullanılan fren torku ölçme metodu Şekil 2.2’de görülmektedir. Motor bir test yatağı üzerine sabitlenerek, dinamometreye bağlanmıştır. Rotor elektromanyetik, hidrolik veya mekaniksel sürtünmeli ve sürtünme katsayısı düşük bir yatakla desteklenen bir stator ile birleştirilmiştir.



Şekil 2.1: Dinamometre prensip şeması

Stator, rotor ile dengeye getirilmektedir. Frenleme momenti doğrudan ölçülemediği için bu momente karşılık gelen kuvvet ölçülerek b moment kolu uzunluğu ile çarpılır.



Şekil 2.2: Fren torku ölçme prensibi

Ölçülen kuvvet F ise, motorun ürettiği tork T (Nm):

$$T = F \cdot b \quad \text{dir.} \quad (2.1)$$

Motor tarafından üretilen efektif güç P_e (kW), tork ve açısal hızın bir ürünü ve n (d/s) alınarak:

$$P_e = 2\pi \cdot n \cdot T \quad \text{denklemleri ile hesaplanabilir.} \quad (2.2)$$

Örneğin 1200 d/d'da dönen bir motorun ürettiği tork 20 Nm ise efektif güç denklem 2.2'den

$$P_e = \frac{2 \times 3,14 \times 1200}{60} \times 20 \times 10^{-3} = 2,515 \text{ kW olarak bulunur.}$$

2.2. Geçmişten Günümüze Dinamometreler

Günümüzde en modern dinamometreler, elektrikli dinamometrelerdir. Bunun yanı sıra hidrolik (su) frenler de kullanılmaktadır. İlk kullanılan dinamometreler ise mekanik sürtünmeli frenler olarak bilinmektedir.

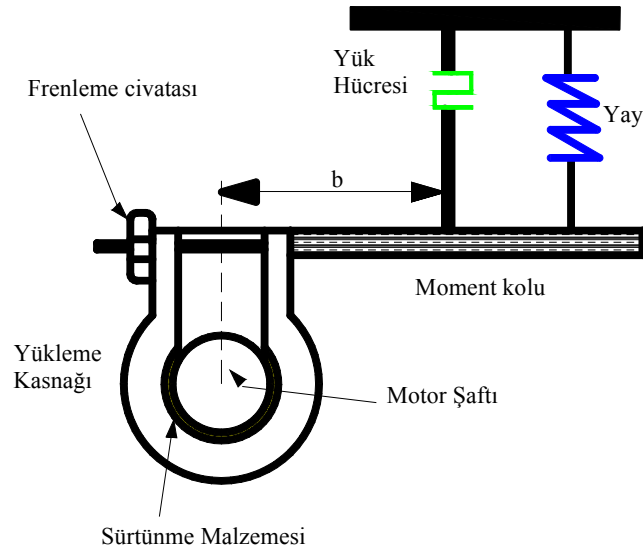
2.2.1. Mekanik sürtünmeli dinamometreler

Mekanik sürtünmeli dinamometreler temel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Prony freni ve bandlı frenler.

2.2.1.1. Prony freni

Prony freni ilk bilinen dinamometre olup Fransız mühendis Gaspard Clair François Marie Riche de Prony tarafından 1821 yılında Paris'te icat edilmiştir (Encyclopedia Britannica, 2005). Bu sistem motorun verdiği mekanik enerjiyi sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüştürür. Şekil 2.3'de bir motor frenleme düzeneği kavramsal şekliyle ortaya konulmuştur. Bu frende motor miline bağlı bir yüklem kasağı üzerine bastırılan demir, ağaç, balata gibi sürtünme malzemeleri ile kasağın dönmesi engellenmeye çalışılır.

Frenleme civatasının sıkılmasıyla motora uygulanan sürtünme kuvveti artacağından motor frenlenmeye çalışılır. Bu esnada yüklem kasağına bağlı olan moment kolunda frenleme kuvvetine eşit miktarda bir kuvvet oluşur. Bu döndürme kuvveti teraziye iletilerek kuvvet ölçülür ve ölçülen bu kuvvet sonucu moment ve güç değerleri hesaplanır (Krlab, 2005).



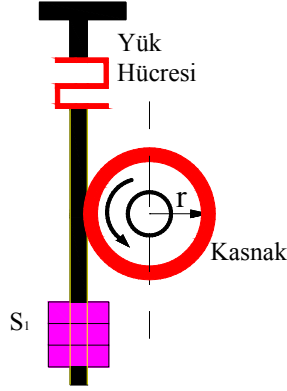
Şekil 2.3: Prony freni prensip şeması

Yükleme sırasında yüklemeye kasnağı üzerine yerleştirilmiş sürtünme malzemesi motor şaftını frenlemeye çalışırken, yüklemeye kasnağı ve sürtünme malzemesi ısınacaktır. Aşırı ısınmayı önlemek için Prony frenlerinde yüklemeye kasnağının içi su ile soğutulmaktadır. Yükleme sırasında darbe ve titreşimleri önlemek için bir yay veya amortisör konulmuştur.

Prony frenlerinin avantajlarını basit kullanımı, ucuz olması, küçük boyutlarda yapılması şeklinde sıralanabilir. Dezavantajı ise mekanik sürtünme ile çalışması sonucu ölçüm hatalarının fazla olmasıdır. Ayrıca motor yüklemeye süresi oldukça kısa bir süre için yapılabilmektedir.

2.2.1.2. Bandlı fren

Bandlı dinamometrelerde, prony dinamometrelerindeki balata türünden sürtünme malzemeleri yerine kayış, halat gibi elastik bantlar kullanılır. Motor mili bir kasnağa monte edilmiş ve kasnak üzerine sürtünme sağlayacak bantlar sarılmıştır. Kasnak ile bant arasında doğacak sürtünme kuvveti ile motor frenlenmeye çalışılır (Arslan, 1994). Şekil 2.4'de görüldüğü gibi S_1 ağırlığı artırılarak kasnak üzerindeki sürtünme kuvveti artırılır ve buna bağlı olarak frenleme momenti de artırılmış olur. Bu tip dinamometrelerin dezavantajı, hassas ölçüm sonuçları vermemesidir.



Şekil 2.4: Bandlı frenin şematik görüntüsü

2.2.2. Hidrolik dinamometreler

Hidrokinetik veya diğer bir adıyla hidrolik dinamometreler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip dinamometrelerde sisteme gönderilen suyun miktarına bağlı olarak frenleme etkisi değişmektedir. Su dinamometrelerinde motora uygulanmak istenilen frenleme değişimi oldukça uzun süre almaktadır. Bu durum bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu tip dinamometreler daha çok frenleme kuvvetine sahip olduklarından özellikle dizel motorların testleri için kullanılırlar (Horiba, 2005). Şekil 2.5 de hidrolik bir dinamometrenin resmi verilmiştir.



Şekil 2.5: Hidrolik dinamometre

Su sürtünmeli dinamometrelerde dönen kısımdaki mekanik enerji çark etrafında dolaşan suyun sürtünmesiyle suya ısı enerjisi şeklinde iletilir. Dolayısıyla su devamlı aktığı için bu suyun dışarı atılması ve yeni su takviyesi veya dışarı atılan sıcak suyun soğutulmasıyla tekrar dinamometreye gönderilmesi gerekir.

2.2.3. Elektrikli dinamometreler

Bu tip dinamometrelerde motorların yüklenmesinde motorla birlikte çalışan elektrik jeneratörleri kullanılmaktadır. Jeneratörle yüklemeye, motorun verdiği mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu elektrik enerjisi bir direnç grubu üzerinden geçirilip ısı enerjisine çevrilebilmektedir. Yükleme sırasında direnç grubuna uygulanan gerilim ve akım ölçülerek jeneratörün ürettiği güç bulunabilir. Elektrik dinamometrelerinde istenilen yükleme değeri elektromanyetik kavrama ile anında değiştirilebilir. Bu özellik çok önemli olup, bu sayede motor gaz keleşi ani açıldığı zaman dinamometre hemen bu duruma cevap verebilmektedir (Zhao ve Ladammatos, 2001).

Elektrik dinamometreleri doğru ve alternatif akım dinamometreleri şeklinde iki grupta incelenmektedir. Doğru akım dinamometreleri temelde doğru akım jeneratörüne bir muylunun monte edilmesiyle oluşur. Bu tip dinamometreler alternatif-doğru/doğru-alternatif (AC/DC) dönüştürücü devreleri yardımıyla kontrol edilirler. DC dinamometreler oldukça sağlamdır. Dezavantajları ise maksimum hızlarda yüksek ataletle sahip olmaları nedeniyle titreşim oluşturmalarıdır.

Alternatif akım dinamometreleri DC akım dinamometrelerinin performansına benzer bir performans göstermektedirler. Bu dinamometreler akım çeviriciye gerek duyulmaması ve düşük atalet davranışları nedeniyle DC akım dinamometrelerine göre avantajlıdır. Bu tip dinamometreler motor hızı ve besleme frekansı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Ayrıca AC akım dinamometrelerin diğer bir avantajı, yükleme anındaki ani değişimleri yapabilmeleridir (Bergeron, 2005).

2.2.4. Elektromanyetik (Eddy Current) dinamometreler

Elektromanyetik dinamometreler ebatlarına göre oldukça yüksek güç ölçüm kapasitesine sahiptir. Eddy Current dinamometrelerinin araştırma laboratuvarlarında oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Bu dinamometrelerde üretilen elektrik gücü, ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 2.6'da Eddy Current dinamometresinin genel görünüşü verilmiştir. Bu tip dinamometreler göreceli olarak basit ve robotik bir yapıya sahiptir (Plint ve Martyr, 1995). Bu tip dinamometrelerin yükleme sistemlerinde stator sargılarını beslemek gerekir. Bu işlem için gerekli olan doğru akım bir elektrik şebekesi veya bir doğru akım üreticinden sağlanır. Bu tip dinamometrelerde dinamometrenin büyüklüğüne ve sistemin ayarlarına göre tamlık, tam yüklemde +/- %3 ila +/- %5 arasında değişir (Magtrol, 2005).

Eddy Current dinamometreleri ile hidrolik dinamometrelerin farkları şunlardır: Hidrolik dinamometrelerin düşük devirlerde çalışma alanları Eddy Current'a göre daha azdır. Hidrolik dinamometrelerin kontrol sistemi Eddy Current'a göre daha zordur. İstenilen yükleme koşuluna hemen cevap veremezler. Aynı yükleme koşulu için Eddy Current dinamometresi hidrolik dinamometrelere göre daha hantal ve nispeten daha randımsızdır. Aynı zamanda Eddy Current dinamometresi çok pahalı ve kompleks bir yapıya sahiptir (Superflow, 2005).

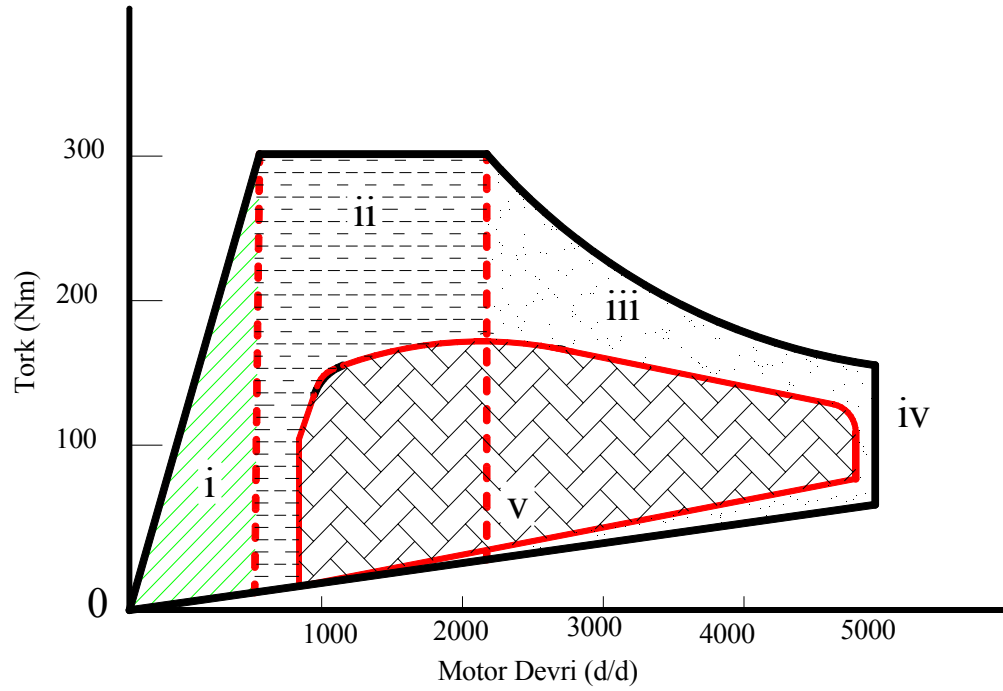


Şekil 2.6: Eddy Current Dinamometresi

2.3. Dinamometre Çalışma Alanı

Bölüm 2.1’de açıklandığı gibi bir dinamometrenin amacı, motorun dönmesine karşı koymaktır. Bir motor birkaç şekilde test edebilir. Örneğin; test edilmekte olan motorun hızı ve torku seçilebilir. Bir dinamometre, istenilen motor hızları ve torkları için gerekli olan durdurma direncini sağlamalıdır.

Örnek olarak, Eddy Current dinamometresi için Şekil 2.7’de tork veya hız işleme alanı görülmektedir. Şekildeki taralı bölge, frenleme yeteneğine sahip olan bir dinamometrenin motor tork ve hızının tüm koşullarını tanımlamaktadır. Şekil 2.7’de beş bölgeye sahip (i’den v’e) bir dinamometrenin çalışma alanı görülmektedir.



Şekil 2.7: İçten yanmalı bir motorun Eddy Current dinamometresine bağlantısı sonucu oluşan çalışma alanlarının şeması

Bu beş bölge, aşağıdaki işletim karakteristiklerinden ortaya çıkmaktadır.

i. Düşük hızlardaki tork bölgesi; Düşük dinamometre hızlarında dinamometre tarafında üretilen maksimum Eddy Current akımına karşılık gelen moment değerlerini ifade eder.

- ii. Dinamometre kararlı çalışma bölgesi; Dinamometrenin en kararlı çalıştığı bölgedir.
- iii. Yüksek devir tork bölgesi; Dinamometre şaftının dayanabildiği yüksek devirlerdeki tork bölgesini gösterir.
- iv. Dinamometre yükleme alanının dışında kalan bölgedir.
- v. Herhangi bir motorun çalışma alanını göstermektedir.

Şekil 2.7’de, gösterilen bir içten yanmalı motorun çalışma alanı dinamometre çalışma alanının içerisinde bir bölgede bulunduğundan dolayı, bu içten yanmalı motorun gerçekleştirdiği tüm çalışma koşulları bu dinamometre ile test edilebilir.

2.4. Motor Test Metotları

Dinamometrelerle motor testleri yapılırken belirli bir test koşulu belirlenir. Testler seçilen koşula göre yapılır ve sonuçlar yorumlanır. Örneğin tek silindirli motorlar için yapılan bir çalışmada, sabit hız testleri yapılmış ve test sonuçları bu koşullara göre yorumlanmıştır (Ajav ve diğ., 1999). Yapılan bir diğer çalışmada, dört silindirli buji ile ateşlemeli bir motor da prony freni kullanarak 20 ve 40 Nm sabit yüklerde ve 1000-2400 d/d ve 200 d/d aralıklardaki tüm koşullar için testler yapılmış ve yorumlanmıştır (Sayın, 2004). Chan ve diğ. (2004) Eddy Current ile buji ile ateşlemeli bir motorun testlerini %20–100 gaz kelebeği açıklığında ve iki farklı devir (3000–4000 d/d) kademesinde gerçekleştirilmiştir.

Çoğu araştırma motorları aşağıdaki test koşulundan birisi altında çalıştırılır;

- Sabit motor hızı,
- Sabit tork,
- Sabit kelebek açıklığı,

Sabit motor hızı testinde amaç, farklı çıkış torku için, motor test edilirken motor hızını sabit tutmaktır. Buji ile ateşlemeli bir motor için motor devri sabit tutularak yakıt miktarı değiştirilip farklı tork değerleri arasında ölçüm yapılabilir (Ferguson, 1986). Elektrik dinamometreleri, motor hızını otomatik bir şekilde sabit tutabilme özelliğine sahiptir. Dinamometre önce “sabit hız” moduna alınır ve hız, dinamometre

kontrol paneli üzerinden ayarlanır. Dinamometre kontrol paneli üzerinde görüntülenen tork değeri istenilen değere erişene kadar, derece derece yakıt miktarı arttırılmalıdır.

Sabit tork testinde yapılan testin amacı, farklı kelebek açıklıklarında motor test edilirken torku her zaman sabit tutmaktır (Plint ve Martyr, 1995). Sabit tork durumunda iken bu kontrol, ya el ile ya da otomatik olarak yapılabilir. Elektrikli dinamometrelerde motor torku otomatik olarak sabit tutulabilir: Dinamometre ilk önce “sabit tork” durumuna alınır ve tork değeri istenilen değere ayarlanır. Derece derece yükleme yapılır. Motora uygulanan direnç istenilen değerde tutulur. Gaz kelebeği açıklığı arttırılırken motora uygulanan tork direnci sabit tutulduğunda, motor hızı yükselmektedir. Arttırılmış kelebek açılımı, motora sağlanan yakıt akış oranını da arttırmaktadır. Buna bağlı olarak motor çıkış gücü artacaktır.

Sabit kelebek açıklığı testlerinde amaç, tork ve hızın farklı durumlarında motor test edilirken gaz kelebeği açıklığını (ya da motorun dizel olması durumunda yakıtı) her zaman sabit tutmaktır. Bu test koşulunda, bir motor için tam kelebek açıklığında tork ya da hız eğrilerini (maksimum güç eğrileri olarak da adlandırılan) elde etmek için kullanılır. Test başlamadan önce motor, seçilen kelebek açılımında ve en yavaş kararlı bir hızda çalıştırılarak testler aşağıda açıklandığı gibi yapılır.

İlk olarak, başlangıç motor hız ve tork çıkışı kaydedilir. Dinamometre direncinin azaltılması motor tork ve hızının yükselmesine sebep olur. Motor hızı ve torku tekrar kaydedilir. Dinamometre direnci bir miktar daha azaltılarak hız ve tork kaydedilir. Motor, maksimum çalışma hızına erişene kadar dinamometre direnci kademeli olarak azaltılarak bu işlem tekrarlanır. Aynı süreç, daha düşük sabit gaz kelebek açıklıklarında tekrarlanır (Zhao ve Ladammatos, 2001).

2.5. Hava Debisinin Ölçülmesi

Motorda tüketilen hava miktarı motor performansı için önemli bir parametredir. Hacimsel verim, indike güç, ısıl verim, yakıt tüketimi ve egzoz gazı geri dönüşüm miktarı, hava/yakıt oranına bağlıdır. Bu nedenle hava tüketimi önemlidir.

Denklem 2.3'ü kullanarak motora sağlanan hava debisini hesaplamak mümkündür.

$$\dot{m} = \eta_v \rho_i V_s \frac{n}{n_s 60} \text{ (kg/s)} \quad (2.3)$$

ρ_i = Emme manifoldu girişinde ölçülmüş havanın yoğunluğu (kg/m³)

$\rho_i = p_i / (RT_i)$

p_i = Emme manifoldu girişindeki mutlak basınç (Pa)

T_i = Emme manifoldu girişindeki hava sıcaklığı (K)

R = Hava için gaz sabiti (J/kg K)

η_v = Hacimsel verim

n_s = Sabit (2 zamanlı motorlar için $n_s = 1$ ve 4 zamanlı motorlar için $n_s = 2$)

V_s = Strok hacmi (m³)

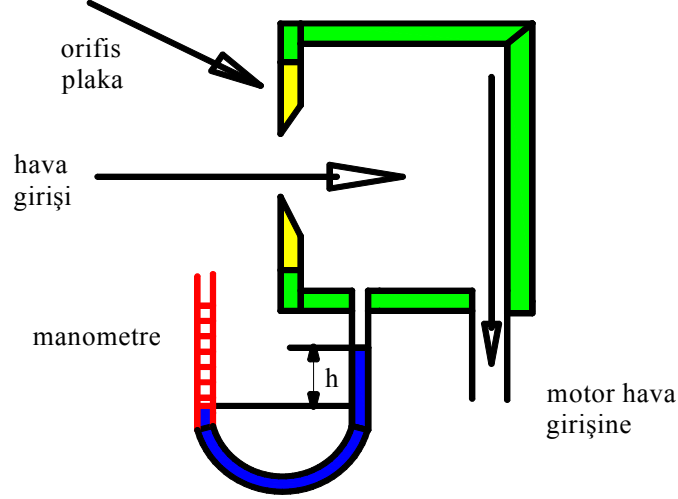
n = Motor devri (d/d)

Bir motorda emilen hava debisini hatasız ölçmek mümkün değildir. Hava debisi genelde anlık ve kararlı hava ölçüm yöntemi olarak iki şekilde ölçülür. Anlık hava akışı ölçümü yapılması esnasında hava akış oranı son derece değişkendir. Hava akış oranı, anlık zaman değişimlerinde maksimum ya da minimum değerlerine ulaşabilir. Ölçüm “anlık” hava akış oranını belirlemek için yapılır. Anlık hava akış oranının ölçümü, özel hızlı cevap verebilen aletleri gerektirir. Bu aletlerden çıkan sinyal, milisaniyeler zamanında ölçülen hava debisindeki büyük değişmelere cevap verebilir. Bilimsel çalışmalarda, anlık hava akış oranıyla genellikle ilgilenilmez. Onun yerine, bütün motor devri üstünde olan ortalama hava debisi dikkate alınır. Buna kararlı hava debisi denir.

2.5.1. Orifis plaka ile hava debisinin ölçülmesi

Kararlı hava debisi metodunun en basiti, Şekil 2.8'de gösterilen hava tankıdır. Motor giriş sistemi, geniş bir hava kutusuna bağlanır. Motor tarafından emilen hava, kalibreli keskin kenarlı orifis plaka ya da bir hava menfezi arasından motora alınır ve

kutu motora alınan havanın kararlı olmasını sağlar. Hava tankının hacmi, tüketilen hava titreşimini sönmölemek için yeterli şekilde büyük olmalıdır. Çünkü orifis plaka arasındaki hava akışının, mümkün olduğu kadar sabit tutulması gerekmektedir.



Şekil 2.8: Orifis plakalı hava tankı ile hava debisi ölçümü prensip şeması

Orifis plaka arasından kütlese hava debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Sayin ve Kilicaslan, 2002):

$$\dot{m} = C_d A \sqrt{2\rho\Delta_p} \quad (\text{kg/s}) \quad (2.4)$$

C_d = Orifis katsayısı,

A = Orifis alanı (m^2),

Δ_p = Basınç düşümü (Pa) (karşılıklı delik plakaları arasında) = $\rho_i g h$,

h = Manometre sıvı kolonundaki yükseklik farkı (m),

g = Yer çekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ρ_i = Manometre sıvısının yoğunluğu (kg/m^3)

ρ = Hava yoğunluğu (kg/m^3) = $p_o / (RT_o)$

P_o = Atmosferik mutlak basınç (Pa)

T_o = Atmosferik mutlak sıcaklık (K)

R = Hava için özgül gaz sabiti (J / kg K)

Pratikte $C_d=0,6$ birçok amaç için kafi bir şekilde doğru olacaktır. Yüksek tamlılık için 1,2 kPa den daha az Δ_p basınç düşümünü sınırlandıran bir orifis plaka tasarımını seçmek en iyisidir. Eğer orifis arasındaki hava kütle akış oranı kararlıdan ziyade titreşimli ise bu orifis plakası karşısındaki basınç düşümünün neden olduğu titreşimdir. Bu da birçok problemi ortaya çıkaracaktır.

Doğal akışın titreşiminden dolayı kaynaklanan hataları göz önünde tutarak hava akış titreşimini sönümlendirmek için orifis plakalar ile birlikte geniş bir hava tankı kullanılması önemlidir (Ferguson, 1986). Kararlı akış için gerekli hava tankı hacmi (V_T), aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$V_T = \frac{417 \times 10^6 n_s^2 d^4}{n_c V_s N_m^2} \quad (2.5)$$

n_s = Sabit (2 zamanlı motorlar için $n_s = 1$ ve 4 zamanlı motorlar için $n_s = 2$),

d = Orifis plaka çapı (m),

n_c = Motor silindir sayısı,

V_s = Strok hacmi (m^3),

N_m = Ölçümdeki minimum motor hızı (d/d)

Örneğin düşük motor hızlarında çalışan tek silindirli bir motor, 4 zamanlı ise daha geniş bir tank hacminin gerekli olacağı denklem 2.5’de görülmektedir. Çapı 0,025 m, strok hacmi 0,5 lt olan ve 1500 d/d ile çalışan 4 zamanlı tek silindirli bir motorda hava debisinin ölçülebilmesi için 600 lt’lik tank gerekmektedir. Bu ifadeye göre; gerekli tank hacminin orifis çapına bağlı olduğu açıktır (Zhao ve Ladammatos, 2001). Orifis yarıçapında %20’lik bir artış, gerekli tank hacminin iki katına çıkmasıyla sonuçlanır.

Hava tankının önemli bir dezavantajı, tankı motora bağlamak için uzun bir tüpün kullanılıyor olmasıdır. Bu uzun tüp, motorun önemli bir şekilde performansını ve emme havası karakteristiğini etkiler (Stone, 1992).

2.5.2. Volümetrik verimin hesaplanması

Kütlesel verim, motorun belli çalışma şartlarında emdiği (gerçek) hava miktarının aynı çalışma şartlarında emmesi gereken (teorik) hava miktarına oranıdır (Borat ve diğ. 1994). Motorun emdiği gerçek hava miktarının hesaplanması denklem 2.4'de açıklanmıştır. Silindir hacmi V_h (m^3), silindir sayısı n_c ve n_s sabit (2 zamanlı motorlar için $n_s=1$ ve 4 zamanlı motorlar için $n_s=2$) olan bir motorun, n (d/s) hızla dönerken teorik olarak emmesi gereken ρ_H yoğunluğundaki hava miktarı ise;

$$\dot{m}_{H,teorik} = \rho \cdot V_h \cdot n_c \cdot n_s \cdot n \text{ (kg/s)} \quad (2.6)$$

ve volümetrik verim de şu şekilde ifade edilmektedir,

$$\eta_v = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{H,teorik}} \quad (2.7)$$

Belli bir hacimdeki motorun gücü gerçek hava kapasitesine bağlı olarak artacağından, hacimsel verimin iyileştirilmesi motor gücünün ve performansının artırılması bakımından son derece önemlidir.

2.5.3. Hava fazlalık katsayısı

Yanma sırasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiyometrik (teorik) hava miktarına oranına hava fazlalık katsayısı denir. 1kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, teorik (stokiyometrik) hava-yakıt oranı olarak ifade edilir (İlbaş ve Yılmaz, 2002).

$$\text{Teorik Hava Yakıt Oranı} = \frac{1\text{kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi}}{1\text{kg yakıt}} \quad (2.8)$$

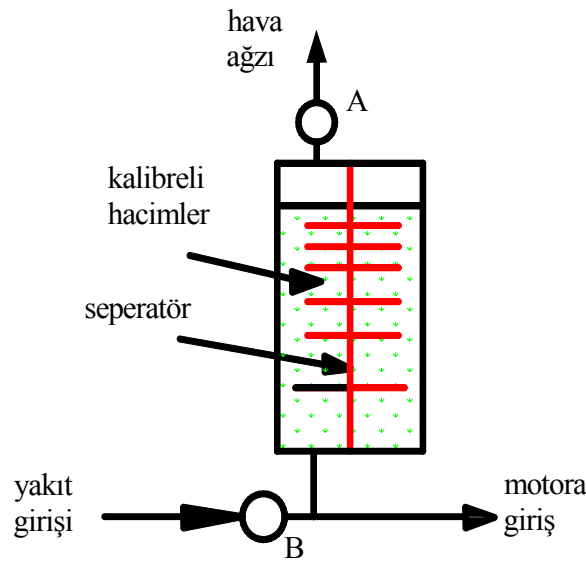
$$\text{Hava Fazlalık Katsayısı } (\lambda) = \frac{\text{Gerçek Hava Yakıt Oranı}}{\text{Teorik Hava Yakıt Oranı}} \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir.

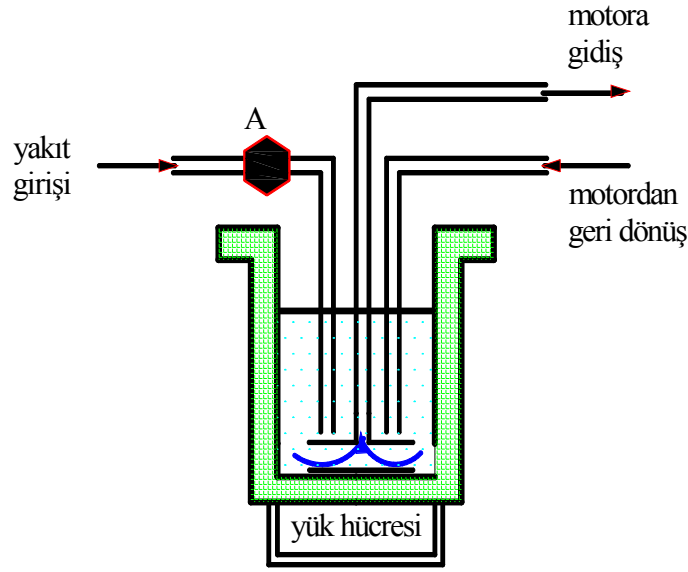
2.6. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi

Yakıt tüketiminin ölçülmesi, performans parametrelerini belirlemek için oldukça önemlidir. Şekil 2.9 (a), ortalama yakıt tüketiminin ölçülmesinde kullanılan hacimsel ölçekli cam tüp metodu görülmektedir. Bu metot, belirli bir zaman sürecinde tüketilen yakıt miktarını hacimsel olarak ölçmeye dayanır. Şekil 2.9 (a)'da gösterilen sistem konfigürasyonu aşağıdaki gibi çalışır. Ölçüm yapılmamasına rağmen B vanası açık kalır ve hava menfezi olan A, kapalıdır. Ölçüm yapıldığında hava menfezi kısmen açılır. Bu durumda cam tüp, açık B vanası içinden akan yakıtla dolar. Cam tüp yakıtla dolduğunda B vanası kapanır ve hava menfezi açılır. Bu esnada yakıt yalnızca cam tüpten motora ulaştırılır. Kalibre edilmiş cam tüpte yakıtın tüketimi bir kronometre ile ölçülür. Belli bir zaman sürecinde ortalama yakıt debisi hesaplanır. Cam tüp, genellikle kalibre edilmiş hacimleri içerir. Böylelikle motor yakıt tüketim oranı yüksek olduğunda daha geniş kalibre edilmiş hacim kullanılabilir.

Şekil 2.9 (b), tüketilen ortalama kütesel yakıt debisini ölçmek için kullanılan bir tartı metodunu göstermektedir. Bu metodun amacı; yakıt hacim tüketiminden ziyade doğrudan olarak yakıt kütesini ölçmektir. Herhangi bir anda kaptaki yakıt ağırlığı, yük hücresi kullanılarak ölçülür (Plint ve Martyr, 1995).



Şekil 2.9: Yakıt tüketimi ölçüm cihazı (a)



Şekil 2.9: Yakıt tüketimi ölçüm cihazı (b)

Ölçüm yapılmadığında kaptaki yeterli yakıt bulundurmak için A vanası periyodik olarak açılır. Yakıt tüketiminin ölçümü için test sırasında A vanası kapatılır ve yakıt motor tarafından emilir.

Belli bir zaman periyodunda tüketilen yakıtın kütlesi, yük hücresi kullanılarak ölçülür. A vanasının işlemini, zamanlayıcıyı kontrol eden ve kabın ağırlığını görüntüleyebilen bir elektronik kontrol vasıtasıyla bu sistem kolaylıkla otomatikleştirilebilir.

2.7. Sıcaklıkların Ölçülmesi

Günümüzde deney sistemleri kompleks olduklarından ve birçok sıcaklık değerinin aynı anda ve sürekli olarak okunması gerektiğinden, genellikle birden fazla girişli ve seçici anahtarlı dijital termometreler kullanılmaktadır. Böylece istenen bütün diğer değişkenlerle birlikte sıcaklık değerleri de yüksek frekanslı elektronik veri derleme sistemlerine (high frequency data acquisition systems) yüklenerek matematiksel değerlendirmeler yapılabilmektedir. Değişik termokupllara adapte olan kompleks ve pahalı ölçme cihazlarından kaçınmak için bütün ölçümlerde aynı tip termokupl kullanılması tavsiye edilir. 1000 °C' ye kadar 1 °C hassasiyetle sıcaklık ölçümü yapılabilen termokupl ve dijital göstergeler mevcuttur.

Egzoz gazı sıcaklığı çok hızlı değişim gösterebilen bir karakter arz ettiğinden bu değişimlerin anında ve yeterli bir hassasiyetle tespit edilmesi için çok hassas termokupllara ihtiyaç duyulur. Ancak bu termokupl kullanımları sürekli dikkat gerektirmekte ve termokupllarda arıza olduğunda ölçümlerde devamlılık özellikleri ortadan kalkmaktadır. Bu bakımdan kullanma süreleri haricinde sistemden sökülerek muhafaza edilmelidirler.

2.7.1. Termokupl ile sıcaklık ölçümü prensibi

Sıcaklık ölçülmesi ve kontrolünde kullanılan en önemli metotlardan birisidir. Bu yöntemde termokupl isimli bir elektrik devresi kullanılır. Termokupl farklı metal tellerden yapılmış ve en az bir tane elektriksel bağlantı noktası olan iki iletken meydana gelir.

Şekil 2.10'da termokupl kullanarak sıcaklık ölçümünün yapıldığı yaygın olarak kullanılan bir devre verilmiştir. Her bir bağlantı noktası, devreye Elektro-Motor Kuvvet (EMK) sağlar. Eğer $T_1 \neq T_2$ ise indüklenen EMK, T_1 ve T_2 sıcaklıkları arasındaki farka ve iletken metallerin türlerine bağlı olarak oluşur. Bu durumda sıcaklıklardan birisi bilindiğinde indüklenen EMK ölçülerek diğer sıcaklık bulunabilir.

Termoelektrik olayı elektrik ve ısının aynı anda bir iletken üzerinden akması sonucu oluşur. Başka bir ifadeyle elektron yoğunluğunun sıcaklığa göre farklı olması, elektron geçişinin ve EMK'nın oluşmasını sağlamaktadır. Her iki uç arasındaki ısı farkı veya elektron yoğunluğu farkından dolayı açık devrenin uçları arasında potansiyel fark meydana gelir (Figliola ve Beasley, 1991).

$$\alpha_{AB} = E / \Delta T \quad (2.10)$$

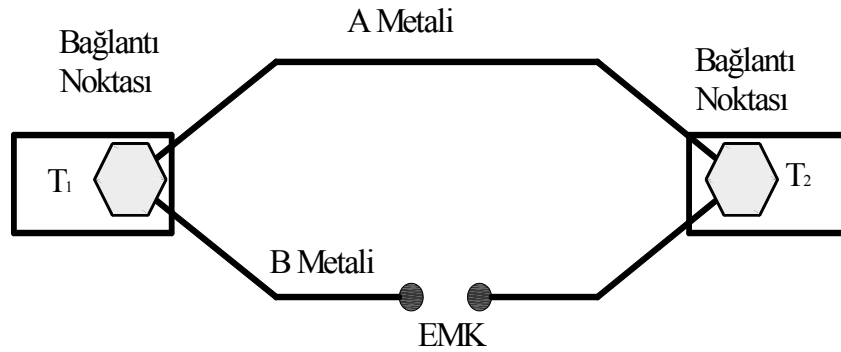
E: potansiyel fark (EMK) [V]

α_{AB} : Termokuplu oluşturan A ve B metallerine bağlı hassasiyet sabiti (V/ °C)

$$\Delta T = |T_1 - T_2| \quad (2.11)$$

Tablo 2.1’de bazı termokupl malzemeleri ile Platinyum arasındaki hassasiyet sabitleri gösterilmiştir. İki malzeme arasındaki α_{AB} ’yi bulmak için bu iki malzemenin platinyum ile olan α_{AB} ’leri birbirinden çıkarılır. Örneğin Krom-Nikel çifti için hassasiyet sabiti;

$$\alpha_{AB} = 25 - (-15) = 40 \mu V/^{\circ}C \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$



Şekil 2.10: Basit bir termokupl devresi

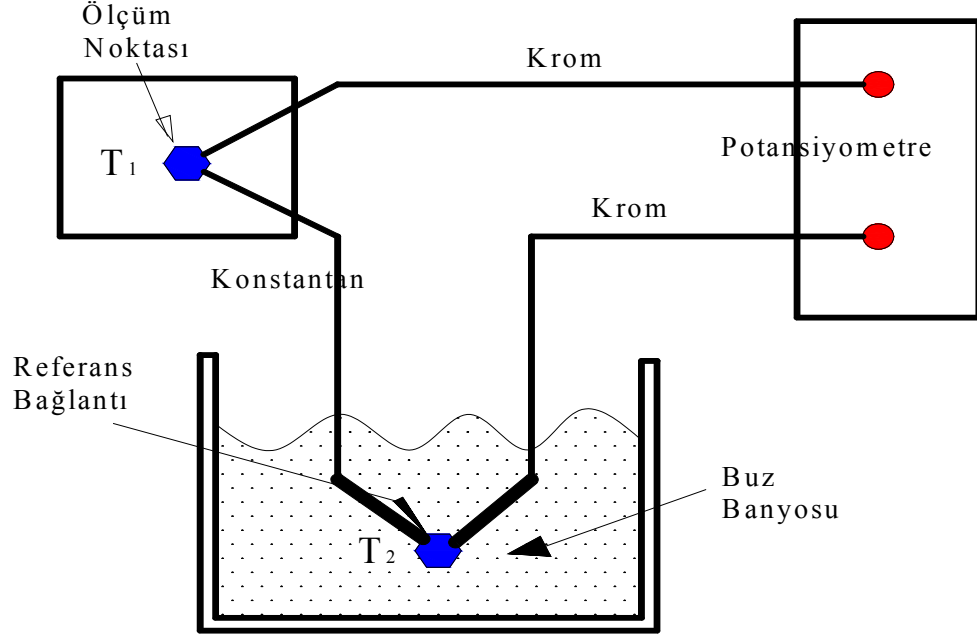
Tablo 2.1: Bazı termokupl malzemelerinin hassasiyet sabitleri (Holman, 1994)

Metal	$\alpha(\mu V/^{\circ}C)$	Metal	$\alpha(\mu V/^{\circ}C)$
Bizmut	-72	Bakır	6,5
Konstantan	-35	Altın	6,5
Nikel	-15	Demir	18,5
Platin	0	Krom	25
Alüminyum	3,5	Silikon	440
Radyum	6	Selenyum	900

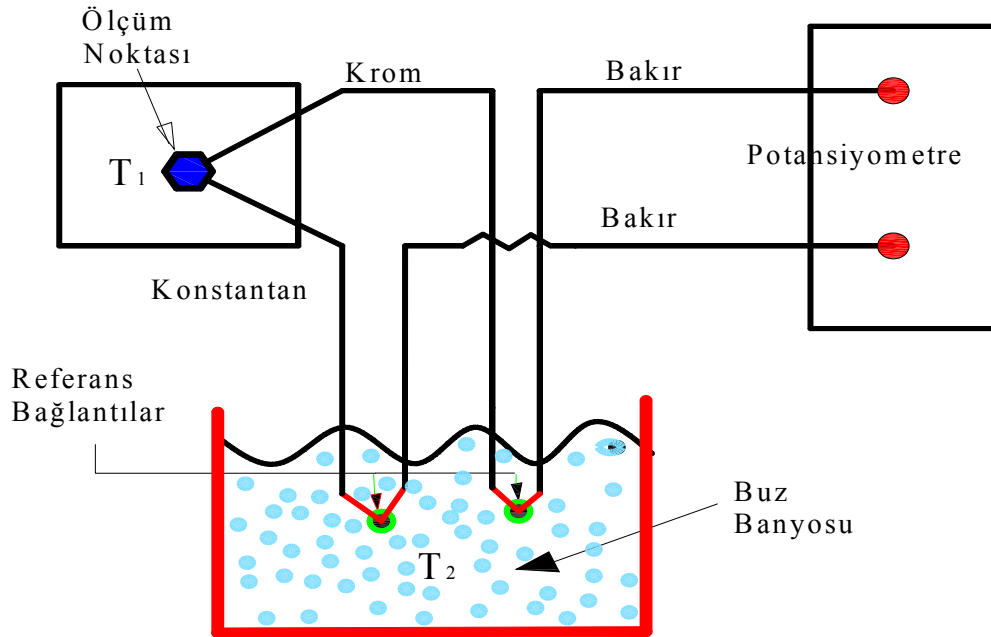
2.7.2. Termokupl ile sıcaklık ölçüm devreleri

Termokupl ile sıcaklık ölçümünde bağlantı noktalarından birinin sıcaklığı bilinen bir dengede tutulur. Bu bağlantı noktasına referans bağlantı denir. Ölçülecek sıcaklık ise diğer bağlantıya uygulanır. Şekil 2.11 ve 2.12’deki devrelerde indüklenen EMK’nın ölçümü multimetre tarafından yapılmaktadır. Şekil 2.12’de termokupl kanununa göre üçüncü bir metal ilave edilmesi indüklenen EMK’yı değiştirmez. Çünkü buz banyosu

içindeki referans bağlantılar ortam sıcaklığında tutulur. Ortam sıcaklığı ise bir termistör tarafından seçilir.



Şekil 2.11: Termokupl ile sıcaklık ölçüm devresi



Şekil 2.12: Termokupl referans sıcaklık eldesi

Termokupl ile sıcaklık ölçümünde bağlantı noktalarından birinin sıcaklığı sabit bir değerde tutulur. Bu bağlantı noktasına referans bağlantı denir. Ölçülecek sıcaklık ise diğer bağlantıya uygulanır.

Sonuç olarak Bölüm 2’de tork, hava debisi, yakıt tüketimi ve sıcaklık ölçümlerinin hangi metotlarla yapıldığı ve farklı ölçüm yöntemlerinin arasındaki avantajlar ve dezavantajlar açıklanmıştır. Kurulan test sisteminde bu durumlar dikkate alınmış ve moment, hava debisi, yakıt tüketimi ve sıcaklık ölçümü elemanları ölçüm ve test sistemlerinin avantajları ve dezavantajlarına göre seçilmiştir. Bu doğrultuda kurulan motor test sisteminde elde edilen veriler, bu esaslara göre derlenmiştir.

3. GERÇEK - ZAMANLI VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ

Bu bölümde bir veri toplama sistemi için bilgisayar algoritması ve ara yüzü prosedürü anlatılacaktır. Gerçek bir sistemde mekatronik bir tasarım için bilgisayar, sensör, aktüatör, genel amaçlı A/D ve D/A dönüştürücüsü olan veri toplama kartı gerekmektedir. Bu tip gereçler bütün mekatronik uygulamalar için gerekli olan temel donanımları oluşturmaktadır. Ayrıca bu uygulamalar için en önemli unsurlardan birisi de yazılım programıdır. Bunlara örnek olarak Windows tabanlı LabVIEW, LabWindows, Vinsim, Simulink ve Matrix, örnek olarak verilebilir.

3.1. Gerçek - Zaman Arayüzü

Gerçek zaman arayüzü, bilgisayar ile sistem arasında bağlantının sağlanarak veri akışının gerçekleştirilmesi olayı için tanımlanmış genel bir terimdir. Monitör, klavye, yazıcı, disket, modem gerçek zaman arayüzüne örneklerdir. Genel bir ifadeyle arayüz sürecini sınıflandırırsak; sensör, aktüatör, bilgisayar ve bir sistemden oluşmaktadır. Örneğin veri toplama sisteminde insan operatör, sensör ise klavyeyi oluşturur. Bilgilerin sistemden bilgisayara aktarılmasını klavye, yani sensör gerçekleştirir. Monitör ise aktüatör görevini, yani hareket verici olarak bilgisayardaki bilgileri aktarma işlemini yapmaktadır.

3.2. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi Elemanları

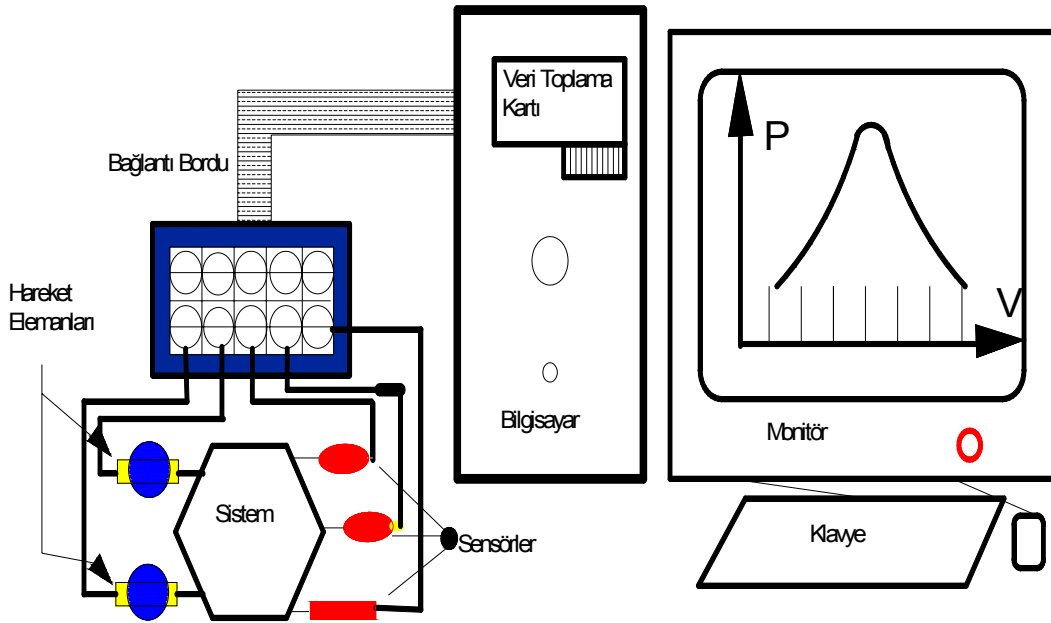
Bir Veri Toplama Sistemi (VTS) sensörlerden gelen gerçek verilerin alınması için yazılım ve donanım elemanlarından oluşmaktadır. Fiziksel olaylar karşısında sensörlerin gerilim, direnç, gibi bazı parametrelerinde değişimler olmaktadır. Bu değişimlerden yararlanılarak sensörler sıcaklık, basınç, hız vb. fiziksel olayları tespit etmektedirler. Elde edilen değişimlere göre sinyaller işlenip bilgisayar ortamında toplandıktan sonra grafiksel halde görüntüleme, dataları 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 sinyal gönderirse bu özellikteki sisteme Veri Toplama ve Kontrol Sistemi (VTKS) denir (Bolton, 1995). Bir VTKS sistemi, VTS sistemin bir üst sistemi olup içerisinde sensör ve aktüatör olan iki eleman bulunmaktadır. Aktüatörler, sensörlerin çift yönlüsü olup, düşük güç bilgisayar sinyallerini aktarırlar. Bu aktarımlar sıcaklık, hareket, basınç vb. 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 (Şekil 3.1).

Bu elemanlar;

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



Şekil 3.1: Üç sensör ve iki hareket elemanı bulunan VTKS sisteminin ana elemanları

3.2.1. Sensörler

Fiziksel büyüklükleri elektriksel sinyallere dönüştüren elemanlardır. Sensörler yardımıyla mekatronik sistemde oluşan sıcaklık, ısı, nem, ışık v.s. gibi fiziksel değişimler elektriksel işaretlere dönüştürülerek, giriş bilgisi olarak kontrol sistemine gönderilirler. Çevirim 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 girerler. Bu gruba yük hücresi örnek verebilir. 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).

3.2.1.1. Sensörlerle ilgili 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 etkilenerek farklı sonuçlar veren bir sıcaklık sensörünün sistem sıcaklığı ile uygun bir çalışma sıcaklığında olması gerekmektedir. Bu noktada sensörün sıcaklığa hassasiyet verisi ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden sistem için seçilecek sensörün verilerinin ne anlama geldiğinin bilinmesi gerekir. Tablo 3.1’de bir sensör için verilerin ne anlama geldiği açıklanmıştır.

Ölçüm aralığı; Girişin değişim aralığını ifade eder. Örneğin basınç ölçümü için kullanılan Tablo 3.1’deki sensörün ölçüm aralığı 0-250 bardır.

Tablo 3.1: 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'da hassasiyetinin – 26,09 pC/Bar ve doğrusallığının ise +/- % 0,3 olduğunu ifade eder.		
Kararlı çalışma sıcaklığı	0 °C +350 °C Sensörün kararlı çalışma sıcaklık aralığını ifade etmektedir.		
Doğal Frekans	90 kHz	Aşırı yük (Overload)	300 Bar

Not: Bunların yanında, sensörlerle ilgili veriler içerisinde elektriksel özellikleri, mekanik özellikleri, çevresel özellikleri, boyutları gibi veriler veri tablosunda verilir.

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 veriyorsa hata +5 bar dır. Eğer ölçülen değer 5 bar ise, hata değeri –5 bar'dır.

Tamlık: Genelde ölçüm aralığının yüzdesi olarak tanımlanır. Bir sensörün kalibre edildikten sonraki doğabilecek tüm hatalarının toplamıdır. Örneğin bir silindir gaz basıncı sensörü için tamlık değeri % +/- 0,1 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle ölçme elemanından alınan değer ise gerçek değerinin +/- 0,1 bar aralığında olmalıdır.

Hassasiyet: Birim girişe karşın ne kadar çıkış 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 ilişki olduğu varsayılır. Girişe karşı çizilen çıkış grafiğinde 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 çıkar.

Ölü bant: Sensörün çıkış vermediği giriş değerleri aralığıdır. Yani giriş belirli bir hız değerine ulaşıncaya kadar çıkışın alınamamasıdır.

3.2.1.2. 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 sensor 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, doğrusallık, minimum sinyal algılama, 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 dinamik karakteristiklerdir. Cevap zamanı bir sensöre sabit bir giriş veya bir basamak giriş uygulandıktan sonra giriş değerinin 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.

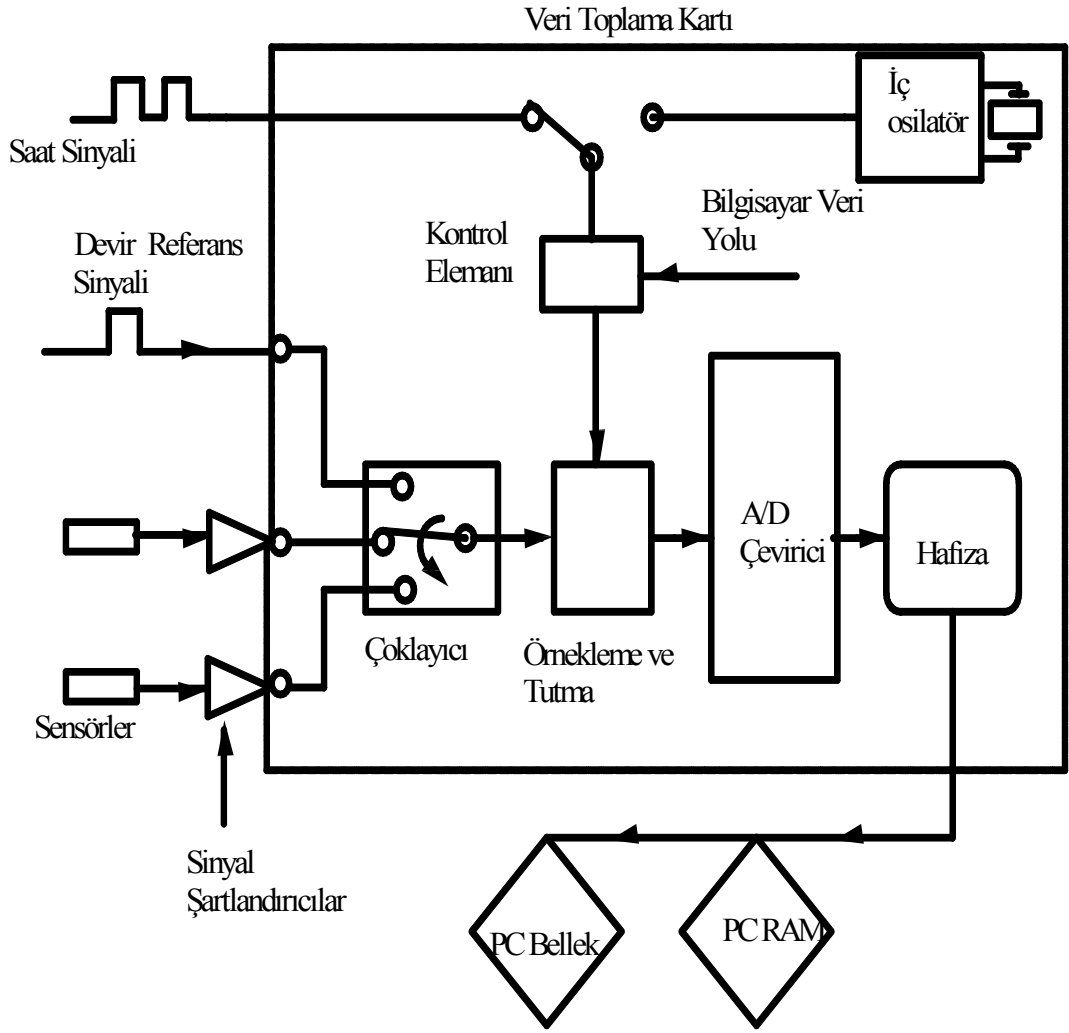
3.3 Anlık Motor Değerlerinin Toplanması

İçten yanmalı motorlar üzerine yapılan araştırmalarda, her zaman anlık motor değerlerinin alınmasını ister. Silindir gaz basıncı, enjektör iğnesinin hareketi ve yakıt enjeksiyon basıncı gibi değişkenlerin anlık değerlerini kaydetmek çok önemlidir. Bu değişkenlerin büyüklüğü çoğu kez, çok küçük zaman periyodunda hızlı bir şekilde değişir.

Bu fiziksel değişkenleri görüntülemek için yüksek teknolojiye sahip cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu cihazlardan çıkan gerilim, tek kanallı veya çok kanallı bir osiloskop üzerinde gözlenebilmektedir. Bu gerilimin kaydedilmesi ise daha sonraki inceleme ve analizler için çok önemlidir. Günümüzdeki uygulamalarda, bu değişkenler dijital formda kaydedilebilmektedir (Zhao ve Ladammatos, 2001). İlk önce, bu fiziksel değişkenlerin gerilim dönüşümü gerekir. Bölüm 3.2’de açıklandığı gibi veri toplama ve kontrol sistemi kurularak anlık motor değerleri toplanmaktadır. Şekil 3.2’de, PC tabanlı bir veri toplama sistemi detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Motor test sistemlerinde gerçek zamanlı veri toplayabilmek için veri toplama ve kontrol sistemi elemanları hakkında önemli noktalar aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1. Sinyal şartlandırıcı

Şekil 3.2’de veri toplama sisteminin dışında bulunan sensörler ve onların 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 elemandır. Bazı sensörler mutlaka bir sinyal şartlandırıcıya ihtiyaç duyarlar (National Instruments, 2005). Bununla birlikte çoğu sensörlerden çıkan elektriksel sinyaller veri toplama sisteminde kullanıma uygun değildir. Sinyal şartlandırıcılar, sensörlerin çıkışını yükseltmek, filtrelemek, izole etmek gibi işlevleri yerine getirirler.



Şekil 3.2: PC tabanlı veri toplama sistemi

3.3.2. 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 başlangıcı, enjeksiyon basıncı, ateşleme zamanı, motor yükü, gaz kelebek açısı, hava akışı ve emme manifoldu basıncını içermektedir (Zhao ve Ladammatos, 2001).

Aynı anda kayıt edilecek tüm motor sensör gerilim bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için; her sensör geriliminin, sahip olduğu

dijitalleştirmenin yapılması ve veri işleme alt sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, tüm bu alt sistemlerin, eşzamanda çalışması gerekir.

Birden çok kanalın aynı anda A/D çevirme işlemini yapabilmesi için analog çoklayıcı (multiplexer) kullanılır. Şekil 3.2' de gösterilen sistemde multiplekser, sırasıyla her bir sensörün gerilimini seçer ve sayısallaştırma alt sistemine gerilimi gönderir. Tüm sensör gerilimlerinin sayısallaştırılması ve depolanması tamamlanıncaya kadar bu periyodik işlem devam eder. Yüksek dönüştürme hızlarına ihtiyaç duyulduğunda ise veri toplama kartının DHK kontrol özelliği olmalıdır (Auslander ve Kempf, 1996).

3.3.3. Analog dijital çeviriciler

Şekil 3.2'de bir örnekleme ve tutma devresi üzerinde çoklayıcı tarafından seçilmiş gerilim bağlantısı görülmektedir. 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 +/- 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, birçok sinyal koşullandırma ünitesi kullanılmaktadır. Bu üniteler, sensörden aldığı giriş sinyalini belli bir katsayı ile çarparak istenilen değere yükseltir. Bu yükseltme katsayısı, kazanç olarak ifade edilir. Bu katsayı ayarlanarak sensör gerilimi istenilen değere getirilebilir.

İçten yanmalı motor araştırmaları için kullanılan veri toplama sistemlerinin yüksek örnekleme oranlarına sahip olması gerekir. Bu yüzden bu tip veri toplama sistemlerinde kullanılan analog – dijital sinyal çevirici biriminin aynı şekilde yüksek çözünürlüğe sahip olmalıdır. Bu çözünürlük bit olarak ifade edilir ve en az 12 bit olması gerekmektedir.

3.3.4. Örnekleme ve tutma

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi veri toplama sistemlerinde, ADC’ye girişte örnek-tutma devresi kullanılır. Bu devrenin kullanım sebebi, uygun bir analog-dijital dönüştürme süresinin oldukça yavaş oluşudur. Bu durumu bertaraf etmek için bir örnek tutma devresi ADC’ den önce analog değeri alır ve depolar. Dönüştürme işlemi ile kıyaslandığında daha kısa bir zamanda örnek tutma işlemini yapar. Örnek tutma işlemi arttırıldığı zaman devrede kullanılacak hafızanın belli bir büyüklüğe sahip olması gerekmektedir. Yüksek frekanslarda dönüştürme istenirse sinyalin ortalama değeri alınır ve bu değer hafızada tutulur (Auslander ve Kempf, 1996).

3.3.5. Hız sinyali ve şaft enkoder

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 çıkışı bir dizi darbelerden (palslar) oluşur. Her darbe, veri sistemine, bir dizi sensör gerilimlerini kayıt etmesi ve dijitalleştirilmesi için komut verir. Bu işlevi şaft enkoder yerine getirir. Genellikle yaygın olarak kullanılan enkoderlar optik (photoelectric) olanlardır. Çalışma prensiplerine göre de enkoderler açısız (rotary) ve doğrusal (lineer) olmak üzere iki çeşittir. Açısız enkoderlar ise kendi içinde artan (incremental) ve mutlak (absolute) enkoder olmak üzere iki çeşittir. Daha çok açısız artan enkoderlar açısız konumu ve açısız hareketi belirlemek için kullanılırlar (Korte, 2005).

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi iki alternatif saat sistemi kullanılabilir:

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

Dahili bir zaman saati kullanılmaktansa, harici bir krank açısı saati tercih edilir. Çünkü motorda meydana gelen olaylar, pistonun, emme ve egzoz supaplarının hareketine, yakıt ve ateşleme zamanına, krank milinin dönmesine bağlıdır. Tüm bu

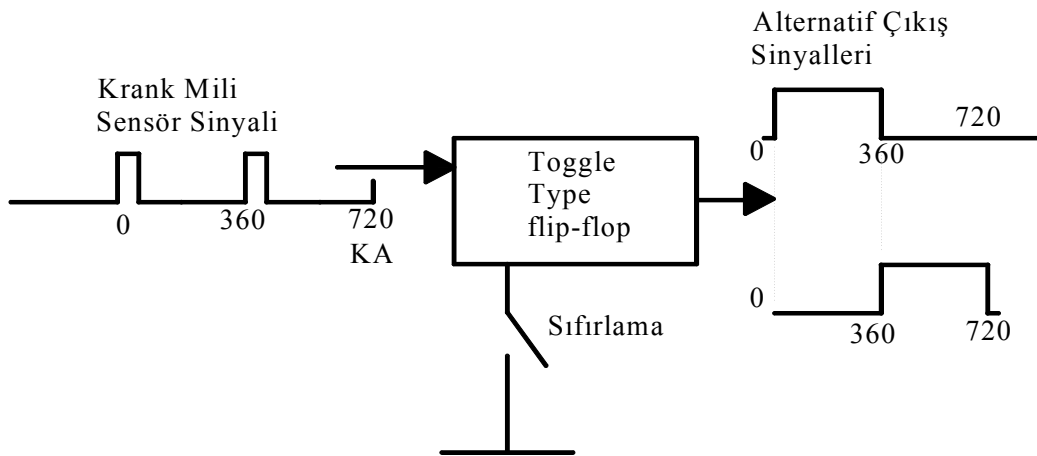
olaylar zamandan bağımsız bir şekilde krank milinin dönüşüne bağlı olarak gerçekleşmektedir.

3.3.6. 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 üretir.

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

Şekil 3.3’de devir referans sinyalinin üretilmesi görülmektedir. En çok kullanılan yöntem Toggle-Type Flip-Flop gibi basit bir elektronik devresi kullanılmaktadır. Bu devre kullanılarak iki referans sinyalinden bir tanesi atlatılır. Şekil 3.3’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 çıkışı seçmek için anlık bir işleme sokulur.



Şekil 3.3: Devir referans sinyali üretilmesi

3.3.7. Örnekleme hızı

Örnekleme hızı saniyede toplanabilen maksimum veri sayısını ifade eder. Veri toplama sistemleri için örnekleme hızı en önemli parametredir. Örnekleme hızı kanal sayısına ve veri toplanacak sistemin çalışma koşullarına göre şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Örnekleme Hızı (örnek/s)} = \frac{360^\circ \text{ KA/dev}}{(0,25^\circ \text{ veya } 1^\circ \text{ KA})/\text{örnek}} \times \frac{n \text{ d/d}}{60\text{s/d}} \times \text{kanal sayısı} \quad (3.1)$$

Örneğin 2000 d/d ile çalışan ve 4 adet motor sensörü kullanılan bir sistemde sensörlerden çıkan gerilimler krank milinin dönmesiyle her bir derecede kayıt edilmektedir. Gerilimin her bir dizisi için örnekleme hızı, Denklem 3.1 kullanılarak 1° KA 'da ve 2000 d/d için 12000 örnek/s'ye karşılık gelir. Dört adet motor sensörü giriş gerilimlerinin tüm dizisinin aynı örnekleme hızında kayıt edilebilmesi önemlidir. Çok kanallı bir sistemle, $4 \times 12000 = 48000$ örnek/s'lik bir oranda ADC'de dijitalleştirilmiştir. Benzer bir şekilde, 48000 örnek/s'lik bir oranda dijitalleştirilmiş veri depolanmaktadır.

Yukarıdaki 48000 örnek/s'lik hızı depolama ve dijitalleştirme, modern veri toplama sistemleriyle kolayca sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, aşağıda açıklanan sebeplerden dolayı içten yanmalı motor araştırmalarında 48000 örnek/s değerini geçen sayısallaştırma ve depolama oranları gerekmektedir. Çoğu kez, dizel motorlarda ön karışımli yanma periyodu veya buji ile ateşlemeli motorlarda tutuşma gecikmesi gibi yanma olayları yalnızca bir kaç derecelik krank açısında (KA) oluşmaktadır. Eğer detaylı bir çalışma yapılacaksa en az her $0,5^\circ \text{ KA}$ 'lık bir aralıkta silindir gaz basıncının kaydedilmesi gerekir. Örneğin, 4000 devirli yüksek motor hızında iki tane motor sensöründen her $0,25^\circ \text{ KA}$ 'lık verinin kaydedildiği düşünülürse, saniyedeki ADC'nin dijitalleştirme ve veri depolama işlemlerinin sayısı Denklem 3.1' den:

$$\frac{360^\circ \text{ KA/dev}}{0,25^\circ \text{ KA/örnek}} \times \frac{4000 \text{ d/d}}{60\text{s/d}} \times 2 \text{ giriş} = 192.000 \text{ örnek/s bulunur.}$$

Bununla birlikte, dijital verinin (sayısallaştırılmış veri) depolanmasıyla ilgili birçok problem 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 doldurabilir. Ara bellek dolduğunda, dijital veriyi RAM veya Hard diskin diğer depolama ortamına aktararak boşaltması gerekir. Bu işlem, ADC'nin dijital veriyi ara belleğe göndermeye devam ettiği süreçle eş zamanlı olmayabilir. Yüksek örnekleme oranlarında çalışılan sistemlerde toplanan verilerin RAM veya Hard diske aktarımında 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 °KA'sı yerine 1 °KA'sı veri toplanarak kayıt frekansı azaltılmış olur.

3.4. Silindir Basıncının Ölçülmesi

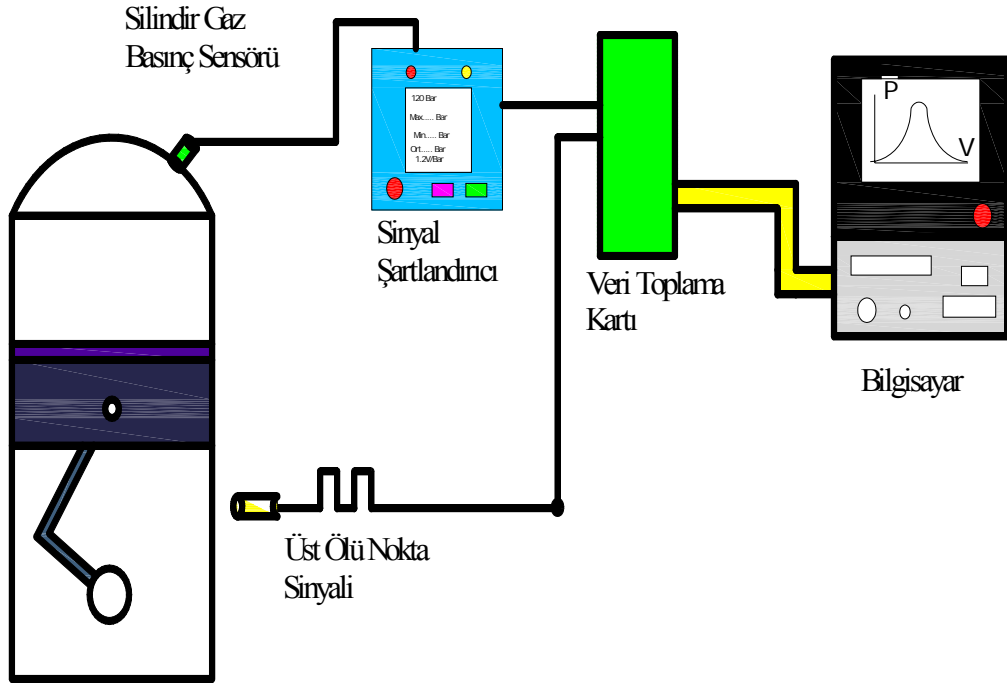
İçten yanmalı motorlarda amaç, kimyasal enerjiyi mekanik işe çevirmektir. Mekanik iş, gaz basıncının piston üzerindeki etkisiyle gerçekleştirilir. Bu yüzden silindir gaz basıncı doğrudan motorun performansı ve çıkış gücünü etkilemektedir.

İlk basınç ölçümleri buhar ile çalışan motorların gelişim dönemlerinden kalan tamamen mekaniksel bir indikatör mekanizması ile sağlanmaktadır. 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 3.4, modern laboratuvarlarda kullanılan tipik bir silindir basınç ölçüm düzeneğini göstermektedir. Anlık basınç ölçüm değerleri osilaskopta görüntülenebilir veya hızlı bir veri toplama sisteminde veriler kaydedilebilir. Sistemin kalbi piezo-elektrik dönüştürücüdür.

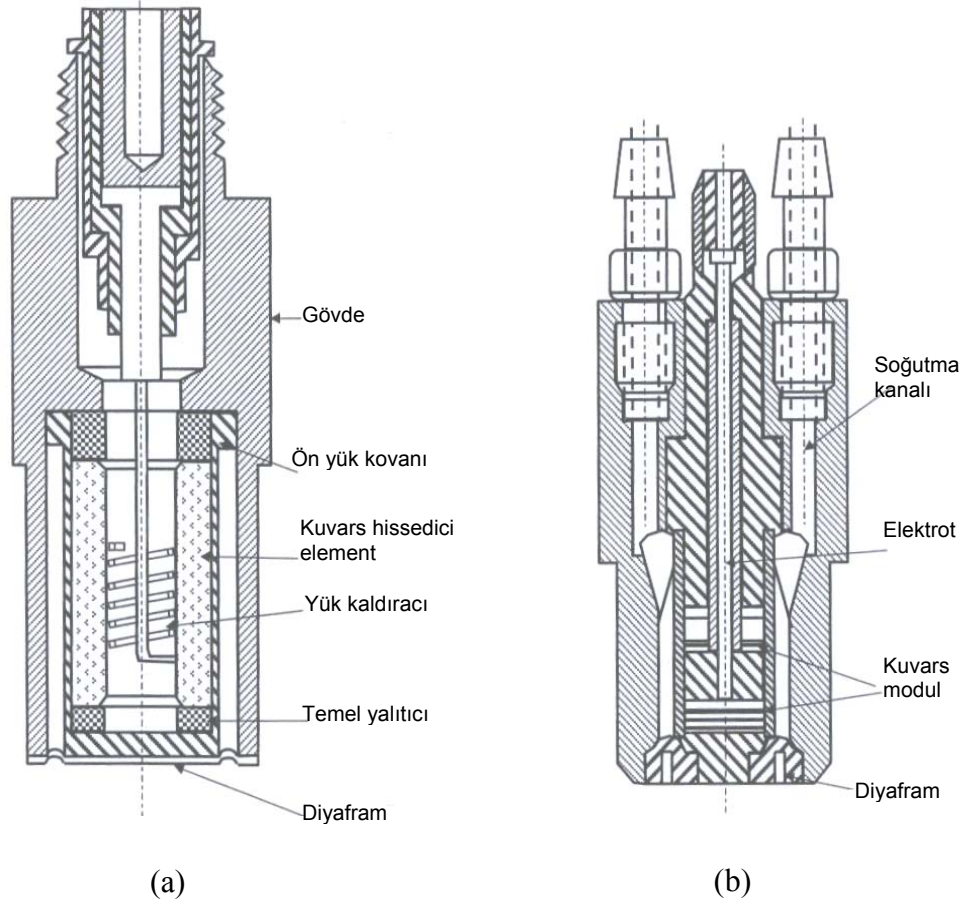
3.4.1. Piezo-elektrik basınç sensörü prensibi

Şekil 3.5(a) da Kistler Instrument Ltd. tarafından üretilen kuvars piezo-elektrik basınç sensörü 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 düzleminden gerilim elde edilir. Boyuna etkide ise kristalin x düzlemine kuvvet uygulanmakta yine x düzlemi üzerinden gerilim elde edilmektedir. Şekil 3.5(b)'de görüldüğü gibi AVL Ltd. Şti. tarafından üretilen piezo-elektrik basınç sensöründe boyuna etki kullanılmaktadır.



Şekil 3.4: Silindir basınç ölçüm düzeneği

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 olarak adlandırılır.



Şekil 3.5: Piezo-elektrik basınç sensörleri (Ferguson, 1986)

Silindir içerisinde 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 beraber genişlemektedir. Piezo-elektrik sensörler dış soğutma kanalı ve sıcaklık dengeleyici ile birlikte üretilmektedirler. Piezo-elektrik sensörlerde alev çarpmasından veya vuruntudan 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).

3.4.2. Basınç sensörünün hazırlanması

Farklı hassasiyette ve farklı boyutlarda piezo-elektrik basınç sensörleri bulunmaktadır. Basınç sensörünün seçimi kullanılacağı çalışma şartlarına göre belirlenir. İçten yanmalı motorlarda termal etkiden dolayı (minimum sıcaklık etkisi ve 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 vuruntulu yanmanın belirlenmesi için önemlidir. Vuruntulu yanmanın tespit edilebilmesi için sensörün doğal frekansının vuruntu frekansından yüksek olması gerekmektedir.

Basınç sensörü genellikle silindir kapağına monte edilir. Bu sayede basınç sinyalindeki gecikme en aza indirgenir. Doğru ölçüm sonuçlarının alınabilmesi için sensörün montajının üretici firmanın talimatları doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Silindir basınç bilgisi içten yanmalı motorlar için önemli bir parametredir ve yanma analizinin yapılmasını sağlar. Sensörün silindir kapağına monte edilme yöntemi çok önemlidir. Sensör monte edildiği konumda doğrudan silindir gaz basıncını alabilmelidir. Buji ile ateşlemeli motorlarda basınç sensörü buji yuvasına monte edilebilir. Fakat dizel motorlarda buji olmadığı için ayrı bir noktaya montajının yapılması 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 oluşturulan elektrik yükünü orantısal bir gerilim sinyaline çevirir.

Kalibrasyon, basınç çıkışı ve voltaj çıkışı arasındaki ilişkinin bilinmesi için önemlidir. Bu ilişki doğrusal olmak zorundadır. Kalibrasyon, dead weight tester denilen bir cihaz ile yapılmaktadır ve bu cihaz sinyal yükselticisi çıkışını kaydetmek için bir osiloskop ve kalibrasyonlu basınçları sağlayan bir donanımdan oluşmaktadır.

Sensör maksimum basınca kadar yüklenir ve sinyal yükselticisinin ölçüm aralığı ve hassasiyeti ayarlanır. Sensör tarafından üretilen yük 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 kalibrasyon süresince osiloskopta izlenir ve kablo bağlantıları kontrol edilir.

3.4.3. 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 (+/- 10 V olmak üzere) alınabilir. Bu voltaj değerinin mutlak basınca çevrilmesi için, emme zamanında piston AÖN'da iken silindir basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu kabul edilir. Mutlak basınç, herhangi bir krank açısında (θ) çıkış voltajından yararlanılarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$P_{\theta} = C \times (E_{\theta} - E_{AÖN}) + P_{AÖN} \quad (3.3)$$

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

4. MOTOR TEST SİSTEMİ

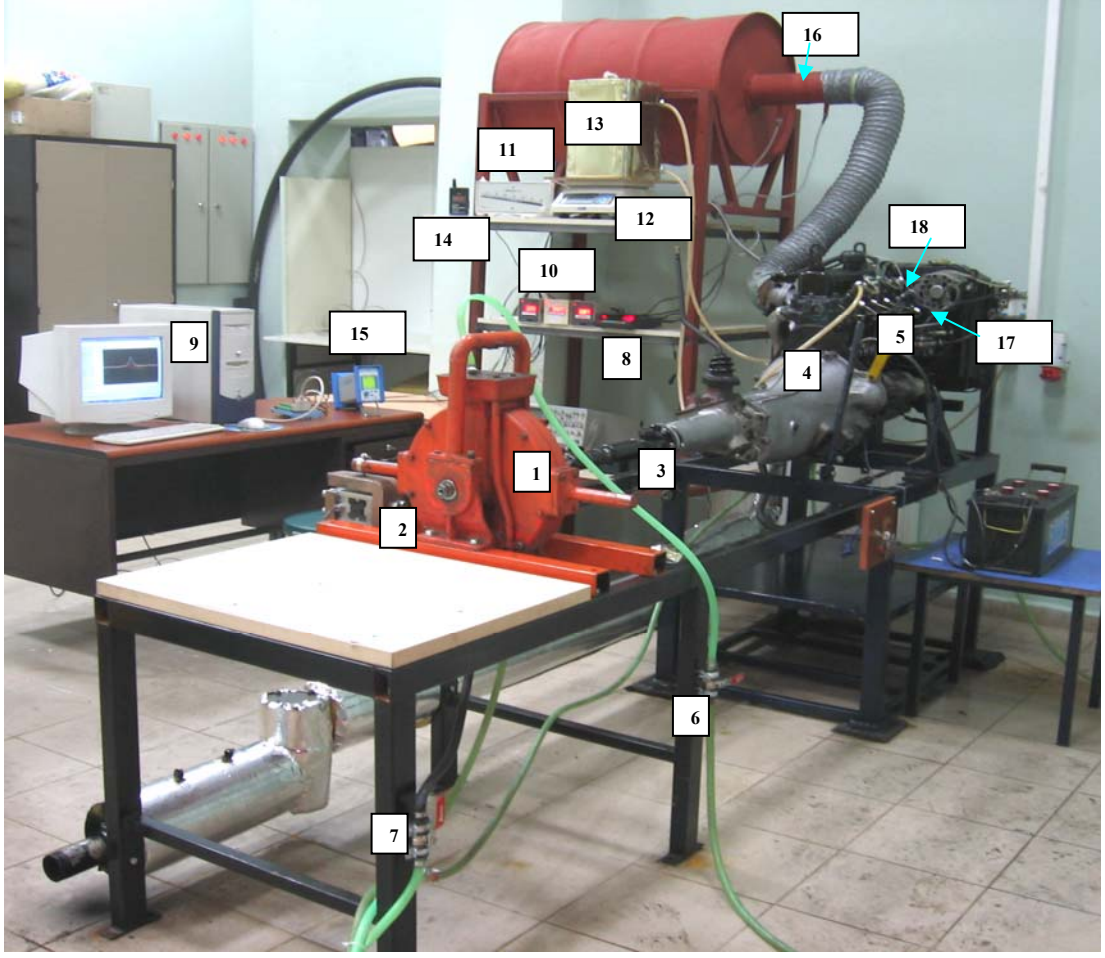
Bu bölümde motor test sistemi ve deneylerin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Test motorunun özellikleri, moment ölçüm donanımı ve elemanları, yakıt debisi ölçüm donanımı, hava debisi ölçüm donanımı, üst ölü nokta bilgisinin alınması, silindir ve enjeksiyon basınçları ölçüm donanımı, veri toplama sistemi, ısı dağılımı hesabı ve verilerin analizi anlatılacaktır. Aynı zamanda kullanılan ölçüm elemanlarının kalibrasyonu ve özellikleri detaylarıyla açıklanacaktır. Son kısımda ise testlerin nasıl yapıldığı, sonuçların nasıl derlendiği açıklanmıştır.

4.1. Test Motorunun Özellikleri ve Teste Hazırlanması

Bu çalışmada BMC TM30 model, 4 zamanlı, 4 silindirli, ön yanma odalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Kullanılan test motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir. Motor testlerine başlamadan önce yakıt pompası, silindirler, pistonlar, supaplar, silindir kapak contası, enjektörler, yakıt sistemi bağlantı hortumları, yakıt filtresi, kızdırma bujileri, soğutma sistemi elemanları ve bağlantıları kontrol edilerek arızalı elemanlar değiştirilmiştir. Ayrıca avans, supap ve yakıt pompası ayarları motorun katalog değerlerine göre düzenlenmiştir. Şekil 4.1’de kurulan motor test sistemi düzeneği tüm elemanlarıyla birlikte görülmektedir.

Tablo 4.1: Dizel test motorunun özellikleri (BMC Katalog, 1998)

Markası Model	1,8 VD Dizel BMC
Tipi	4 zamanlı, su soğutmalı, doğal emişli
Silindir sayısı	4
Silindir çapı (mm)	80,26
Toplam silindir hacmi (cm ³)	1798
Sıkıştırma oranı	21,47/1
Azami güç (4250 d/d)	38,8 kW
Azami moment (2400 d/d)	105,5 Nm



1. Dinamometre, 2. Yük Hücresi (Load Cell), 3. Kardan Kaplini, 4. Test Motoru, 5. Devir Ayar Mekanizması, 6. Dinamometre su giriş vanası, 7. Dinamometre çıkış vanası, 8. Yük Hücresi Sinyal Koşullandırıcısı, 9. Bilgisayar, 10. Termokupl Gösterge Üniteleri, 11. Eğik Manometre, 12. Hassas Kantar, 13. Yakıt Tankı, 14. Termometre, 15. Sinyal Şartlandırıcı, 16. Orifis Plakası, 17. Enjeksiyon Basınç Sensörü, 18. Silindir Basınç Sensörü.

Şekil 4.1: Motor test sisteminin genel görünümü

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi motor test sistemi; veri toplama, moment, hava debisi, yakıt tüketimi ve sıcaklık ölçüm sistemleri ile birlikte, üst ölü nokta bilgisi, silindir ve enjeksiyon basıncı ölçüm donanımlarından oluşmaktadır.

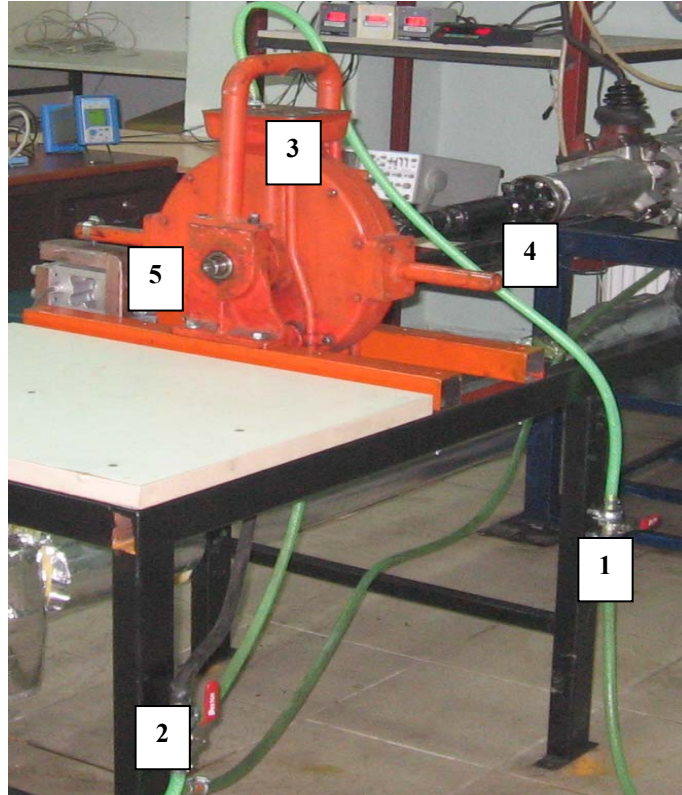
4.2. Moment Ölçüm Düzeneği

Moment ölçüm sistemi elemanları; dinamometre, yük hücresi (load cell) ve optik takometreden oluşmaktadır (Şekil 4.1). Dinamometre test motorunun vites kutusu

çıkışına kardan mili ile bağlanmıştır. Yük hücresi dinamometrenin denge kolunun uyguladığı kuvvet noktasına yerleştirilmiş ve noktasal kuvvetin doğrudan yük hücresi üzerine gelmesi sağlanmıştır. Optik takometre ise devir bilgisini motorun krank mili kasnağından almaktadır.

4.2.1. Dinamometre

Motor test sisteminde Motosan marka hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometrelerde dönen kısımdaki mekanik enerji çark etrafında dolaşan suyun miktarı ve debisi kontrol edilerek motor yükleme işlemi gerçekleştirilir. Sürekli olarak devir daim ettirilen su soğutularak dinamometreye alınmaktadır. Su kontrolünü sağlamak için dinamometrenin giriş ve çıkışına Şekil 4.2’de görüldüğü gibi küresel vanalar bağlanmıştır. Küresel vanalar ile dinamometre içerisinde dolaşan suyun debisi ayarlanmış ve motor testleri sabit yükte yapılmıştır.



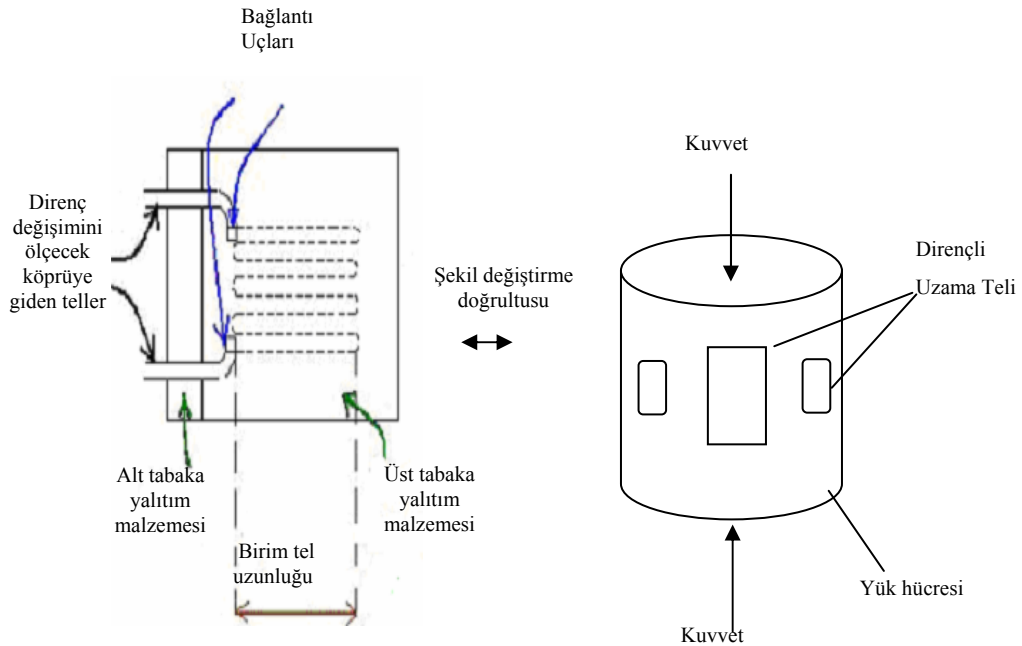
1. Su giriş vanası, 2. Su çıkış vanası, 3. Dinamometre, 4. Denge kolu, 5. Yük Hücresi.

Şekil 4.2: Su dinamometresinin test sistemindeki konumu

4.2.2. Yük hücresi (Load cell) ve kalibrasyon

Yük hücresi dinamometre gövdesine bağlı koldan aldığı kuvveti kg cinsinden gösteren bir sensördür. Yük hücresi, rezistans telli ve şekil değiştirmeyi ölçebilecek bir yapıya sahiptir. Çalışma prensipleri ise, yük altındaki elamanların elektriksel dirençlerinin yükle orantılı olarak değişeceği kuramı üzerinedir. Şekil 4.3’de dirençli uzama teli ölçerin (strain gauge) yapısı ve yük hücresinin prensip şeması görülmektedir. Deneylerde kullanılan yük ölçüm donanımı, Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yük hücresi ve sinyal koşullandırıcısı ile birlikte verilerin bilgisayarda toplandığı bir yazılımdan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında Esit marka S tipi yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin çalışma aralığı 0-200 kg olup 1 g hassasiyettedir.

Yük hücresinin kalibrasyon ve gösterge ayarları sinyal koşullandırıcısı üzerinden üretici firmanın talimatları doğrultusunda yapılmıştır. Bu ayarlar parametre ayarları (filtre, kapasite, noktanın yeri, yürüme adımı) ve ağırlık kalibrasyonu ayarlarıdır. Bu ayarlar tamamlandıktan sonra yük hücresi üzerinden alınan veriler, sinyal şartlandırıcısında işlenmiştir. Daha sonra ise gerek göstergede gerekse RS-232 haberleşme bağlantısı aracılığı ile bilgisayarda kullanılan bir yazılım ile veriler toplanmıştır.



Şekil 4.3: Dirençli uzama telinin yapısı ve yük hücresinin prensip şeması

Diğer bir işlem ise, kalibrasyon sırasında korelasyon katsayısının (R^2) hesaplanmasıdır. Korelasyon katsayısı değişkenlerin yönleri ve etkileşimlerini nasıl olduğu hakkında bilgi verir. Bu işlem için tescilli ağırlıklar kullanılmış ve gösterge değerleri - gerçek değerler grafiği oluşturularak R^2 değeri denklem 4.1'le hesaplanmıştır.

$$R^2 = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (4.1)$$

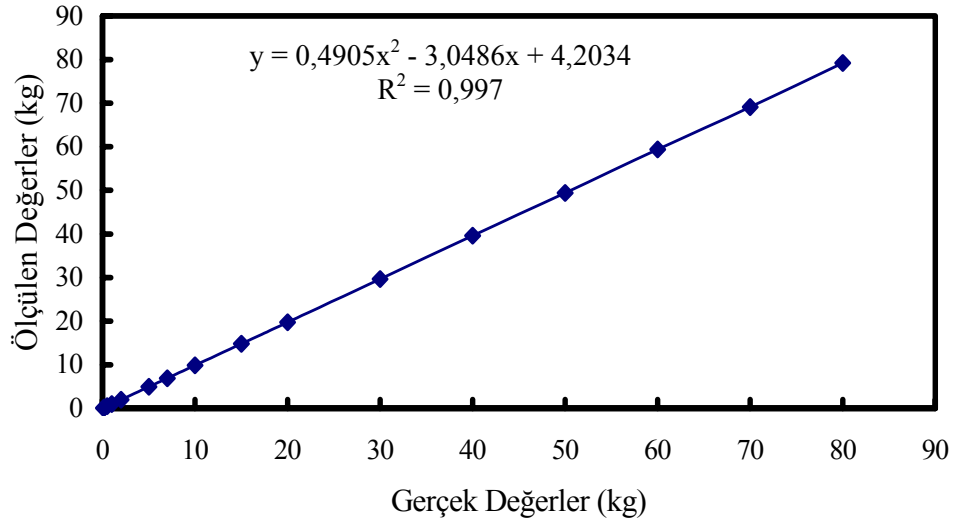
Tablo 4.2'de gerçek değerler ve gösterge değerleri verilmiş, Şekil 4.5'de ise grafik elde edilerek korelasyon katsayısı $R^2 = 0,997$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçtan yararlanılarak deneyde kullanılan yük hücresinin hassasiyet değeri $= 1 - R^2 = 1 - 0,997 = 0,003$ +/- % 0,3 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4: Yük hücresi elemanları

Tablo 4.2: Gerçek değerler ve indikatörde okunan değerler

Ölçüm No	Gerçek Değerler (kg)	Ölçülen Değerler (kg)	Ölçüm No	Gerçek Değerler (kg)	Ölçülen Değerler (kg)
1	0,100	0,098	9	15	14,825
2	0,200	0,195	10	20	19,761
3	0,500	0,485	11	30	29,640
4	1	0,980	12	40	39,624
5	2	1,976	13	50	49,408
6	5	4,930	14	60	59,399
7	7	6,924	15	70	69,111
8	10	9,882	16	80	79,234



Şekil 4.5: Yük hücresinin kalibrasyon eğrisi

4.2.3. Optik takometre ile devir ölçülmesi

Motor test ünitesinde Prova marka 10-100000 d/d ölçüm aralığına 1 d/d tamlığa sahip optik takometre kullanılmıştır. Optik takometre ile volan kasağı Şekil 4.6'da görülmektedir. Sistemin çalışma prensibi “eğer bir cisim periyodik bir hareket yapıyorsa kuvvetli olarak aydınlatıldığı zaman dönen cisim duruyormuş gibi görünür” olarak ifade edilebilir. Optik takometreden çıkan ışık kaynağının frekansı devir sayısına uygun frekansa getirildiğinde sanki dönen mil duruyormuş gibi görünür. Bu frekans motorun devir sayısına uygun bir frekans olduğundan dakikadaki dönme sayısı olarak okunur.



Şekil 4.6: Optik takometre ve volan kasağı

4.2.4. Moment ölçümünün hesaplanması

Moment ölçüm sistemi ve prensip şeması Şekil 4.7’de görülmektedir. Frenleme momenti doğrudan ölçülemediği için bu momente karşılık gelen kuvvet (F) ölçülerek moment kolu uzunluğu (b) ile çarpılır. Yük hücresi donanımında ölçülen F (N) değeri ve b (m) moment kolu uzunluğuna bağlı olarak motorun ürettiği moment (T):

$$T = F \cdot b \text{ (Nm)'} \text{ dir.} \quad (4.2)$$

Optik takometreden okunan motor devri n (d/d) ise, motorun efektif gücü (P_e):

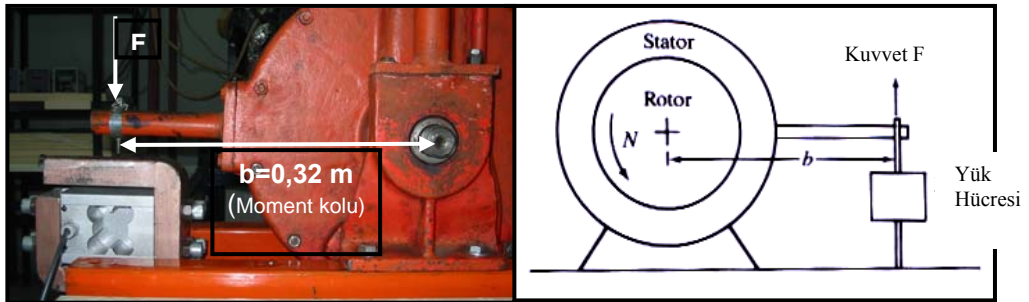
$$P_e = T \cdot \omega \quad (4.3)$$

Burada ω , açısal hızdır ve birimi rad/s dir.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \quad (4.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerden

$$P_e = n \cdot T / 9549 \text{ (kW) elde edilir.} \quad (4.5)$$



Şekil 4.7: Moment ölçüm sistemi ve prensip şeması

4.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü

Kütlesel yakıt tüketimini ölçmek için Şekil 4.8’de görülen Cas marka, 1g hassasiyetli bir elektronik terazi kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı; hacimsel olarak yakıt tüketiminden ziyade direkt olarak yakıt kütlesini ölçmektir. Bir kronometre kullanılarak belirli bir zaman aralığında hassas terazi göstergesinde meydana gelen değer farkı kaydedilmiş ve birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır.

Örneğin; 1000 d/d ve 30 Nm deney şartlarında 120 s içerisinde 40 g yakıt tüketildiği kabul edilirse, özgül yakıt tüketimi b_e (g/kWh);

$$b_e = \dot{m}_y \times 3600 / P_e \text{ dir.} \quad (4.6)$$

Bu verilere göre 1000 d/d için hesaplanan P_e denklem 4.5 den;

$$P_e = 1000 \times 30 / 9549 = 3,14 \text{ kW olarak hesaplanmıştır.}$$

Denklem 4.6'dan özgül yakıt tüketimi;

$$b_e = (40/120) * 3600/3,14 = 382 \text{ g/kWh olarak bulunur.}$$

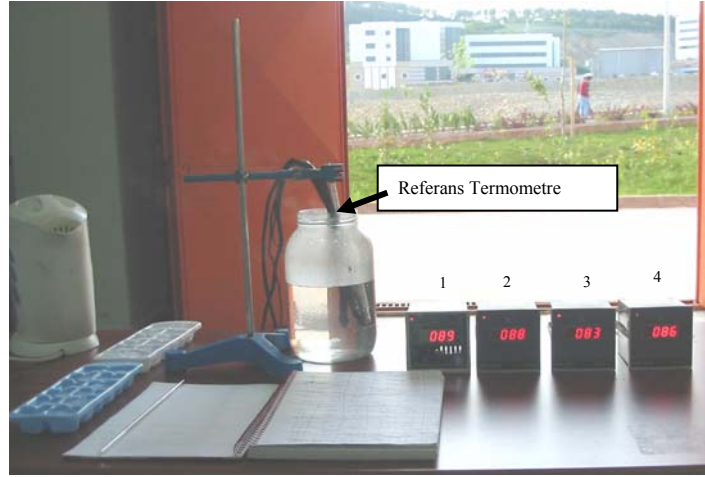


Şekil 4.8: Yakıt tüketimi ölçüm donanımı

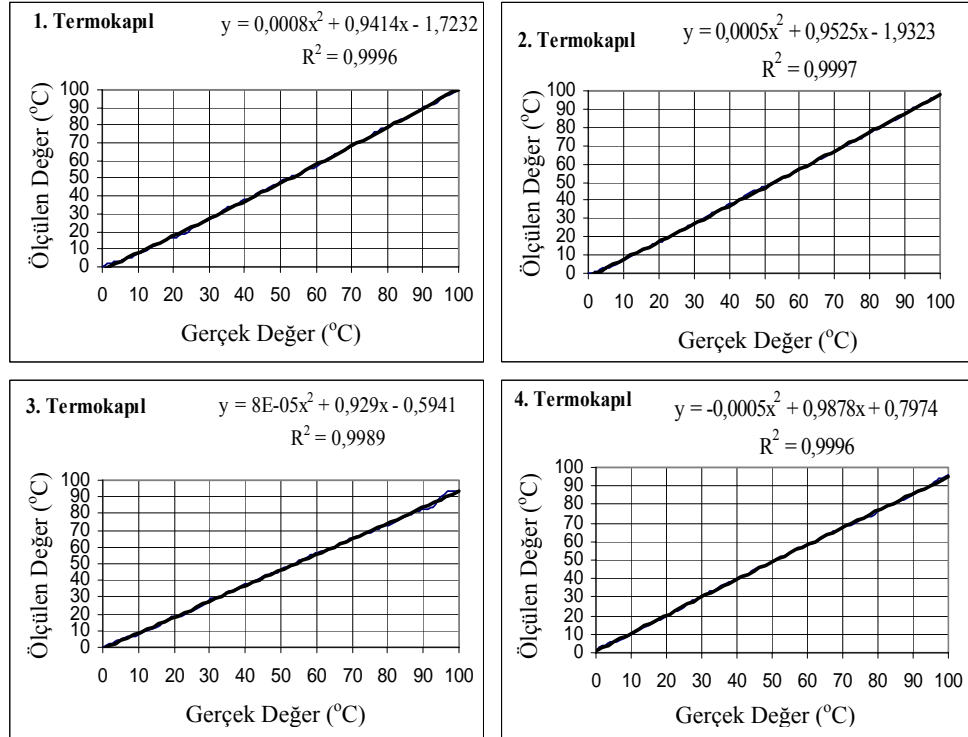
4.4. Sıcaklık Ölçümü

Motor testleri sırasında 4 adet Ni-Cr-Ni termokupl kullanılmış olup, motor soğutma suyu giriş, çıkış, yağ ve egzoz gazı sıcaklıkları belirlenmiştir. Motor soğutma suyu giriş – çıkış ve yağ sıcaklıklarının tespiti özellikle motor testleri yapılırken motorun sabit rejimde (kararlı halde) çalışıp çalışmadığını tespit etmek için önemlidir. Motor testlerine, motor kararlı bir hale geldikten sonra başlanabilir ve ancak o zaman sağlıklı veriler elde edilebilir. Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları verilerinin alınmasının bir diğer önemi ise, motorun soğutma suyuna harcadığı ısı transferinin bulunmasında kullanılmasıdır.

Öncelikle termokuplların kalibrasyonları için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 4.9'da gösterilen düzende bütün termokupllar, ASTM standartlarındaki bir termometre ile birlikte kaynama noktasındaki su içerisinde bırakılmıştır. Soğuma boyunca gerçek termometre sıcaklığı ve termokupllarda görülen sıcaklıklar not edilmiştir (Tablo 4.3). Daha sonra her bir termokupl için korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmış ve hassasiyetleri bulunmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.9: Termokuplların kalibrasyonları için kurulan düzenek



Şekil 4.10: Termokuplların kalibrasyon eğrileri

Tablo 4.3: Gerçek değerler ve göstergede okunan değerler

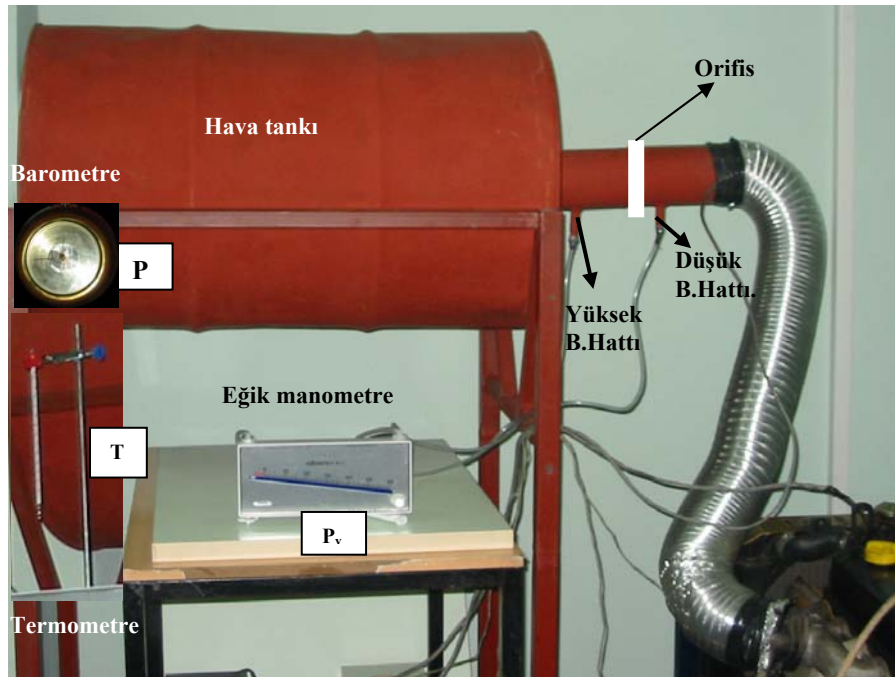
Ref. Ter.	1. Termokupl	2. Termokupl	3. Termokupl	4. Termokupl	Ref. Ter.	1. Termokupl	2. Termokupl	3. Termokupl	4. Termokupl	Ref. Ter.	1. Termokupl	2. Termokupl	3. Termokupl	4. Termokupl	Ref. Ter.	1. Termokupl	2. Termokupl	3. Termokupl	4. Termokupl
100	100	98	93	96	77	76	74	71	74	53	51	50	49	52	29	26	26	26	29
99	99	97	94	95	76	75	73	70	73	52	49	49	48	51	28	25	25	25	28
98	98	96	93	94	75	73	72	69	72	51	49	48	48	50	27	24	24	24	27
97	97	95	94	93	74	72	71	68	71	50	48	47	47	49	26	23	23	23	26
96	96	94	91	92	73	71	70	67	70	49	46	46	45	48	25	22	22	22	25
95	95	93	90	90	72	70	69	66	69	48	46	45	45	47	24	20	21	21	24
94	93	92	88	89	71	69	68	66	69	47	45	45	44	46	23	19	19	20	23
93	92	91	85	88	70	68	67	65	68	46	43	44	43	46	22	19	19	19	22
92	92	90	84	87	69	67	66	64	67	45	43	43	42	45	21	17	17	18	21
91	91	89	83	86	68	66	65	63	66	44	42	41	41	44	20	17	17	18	20
90	90	88	83	85	67	65	64	62	65	43	41	40	40	42	19	16	16	17	19
89	89	86	82	84	66	64	63	61	64	42	39	39	39	41	18	15	15	16	18
86	85	83	79	81	65	63	62	60	63	41	38	38	38	41	17	14	14	15	17
85	84	82	78	81	64	62	61	59	62	40	38	38	38	40	16	13	13	13	16
84	83	81	77	80	63	61	60	58	61	39	37	36	37	39	11	8	8	9	11
83	82	80	76	79	60	57	57	56	58	38	35	35	35	38	9	6	6	7	9
82	81	79	75	78	59	56	56	55	58	37	35	34	35	37	8	5	5	7	8
81	80	78	74	77	58	56	55	54	57	34	32	31	31	34	6	4	3	5	6
80	79	77	73	76	57	55	54	53	56	33	30	30	30	33	5	3	3	4	6
79	78	76	73	75	56	53	53	52	55	32	29	29	29	32	2	2	1	2	4
78	77	75	72	74	55	52	52	52	54	31	28	28	29	31	1	1	0	1	3
77	76	74	71	74	54	52	51	50	53	30	27	27	28	30	0	0	0	0	1

4.5. Hava Debisi Ölçümü

Hava debisinin ölçülmesi gerek motorun performansının gerekse emisyon karakteristiklerinin hesaplanmasında oldukça önemlidir. Hava/yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı, hacimsel verim ve yanma analizinin yapılması için hava debisi ölçülür (Sayın, 2004). Deney sonuçlarının gerçekçi olması için hava miktarının hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir.

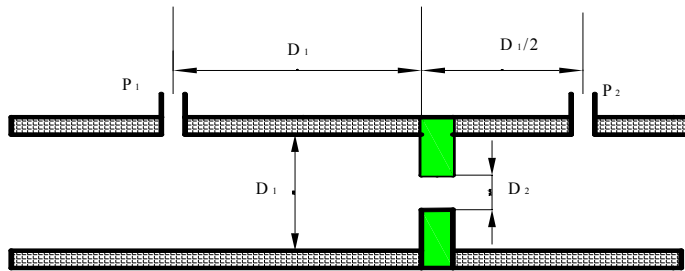
Motora giren hava debisini ölçmek için Şekil 4.11 de görülen düzenek hazırlanmıştır. Düzenekte kararlı havayı sağlayabilmek için toplam silindir hacminin yaklaşık 50

katı büyüklüğündeki bir tank gereklidir (Zhao ve Ladammatos, 2001). Sistemde boru çapına uygun olarak üretilmiş bir orifis, Dwyer marka eğik manometre, Bargo marka ve 1 mmHg hassasiyetinde barometre ve ASTM standartlarına uygun bir termometre bulunmaktadır. Burada orifis plaka ile borudan geçen havanın hızı artırılarak basıncı düşürülmektedir. Orifisin her iki tarafındaki basınç farkı eğik manometre ile ölçülmüştür. Atmosfer basıncını ölçmek için ise barometre kullanılmıştır. Çevre havası sıcaklığını belirlemek için ASTM standartlarına uygun bir termometre kullanılmıştır.



Şekil 4.11: Hava debisi ölçüm donanımı

Boru sistemine orifis plakası yerleştirilerek havanın debisi hesaplanabilmektedir. Orifis plakasındaki basınç düşümü, debinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.



Şekil 4.12: Orifis plakanın ölçüm hattındaki konumu

Kütlesel akış debisi aşağıdaki formül ile bulunmaktadır (Figliola ve Beasley, 1991).

$$\dot{m} = \frac{C_E \times C_d \times \pi \times (D_2)^2 / 4}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2}} \sqrt{2\rho_{\text{hava}} \times \Delta P} \quad (4.7)$$

Burada;

C_E = Genleşme katsayısı,

C_d = Orifis (deşarj) katsayısı,

D_1 = Orifis dış çapı (m),

D_2 = Orifis iç çapı (m),

ΔP = Eğik manometrede okunan basınç farkı (N/m²),

ρ_{hava} (kg/m³) = $\Delta P/RT$ 'den $k=1,4$ için hesaplanmıştır.

Deney tesisatında eğik manometrede okunan basınç farkı mm H₂O sütunu cinsinden okunmuş ve N/m² (Pa) çevirmek için yerçekimi ivmesiyle (9,8066) ile çarpılmıştır. Motor test sisteminde kullanılan orifis için $C_d=0,61$, $D_2 = 45$ mm, $D_1=105$ mm için çap oranı β tanımlanırsa,

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \frac{45}{105} = 0,423 \quad (4.8)$$

$$\dot{m} = \frac{C_E \times C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}} A_2 \sqrt{2\rho_{\text{hava}} \times \Delta P} \quad (4.9)$$

$$C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}} = \frac{0,61}{0,984} = 0,62 \quad (4.10)$$

Kullanılan orifisin çap oranına bağlı olarak $k=1,4$ için genleşme katsayısı $C_E=0,83$ olarak alınmıştır (Figliola ve Beasley, 1991). Sonuç olarak kütleli hava debisi

$$\dot{m} = 0,83 \times 0,62 \times \frac{\pi \times D_2^2}{4} \sqrt{2 \times \rho_{\text{hava}} \times \Delta P} \quad \text{olarak elde edilir.} \quad (4.11)$$

4.6. Üst Ölü Nokta Bilgisinin Alınması

Manyetik bir alan içerisinde manyetik çizgileri keserek hareket eden bir iletkende gerilim (voltaj) oluşur. Bu gerilime endüksiyon gerilimi denir. Endüksiyon gerilimi manyetik alan çizgileri kesildiği müddetçe oluşur (Staudt, 2000).

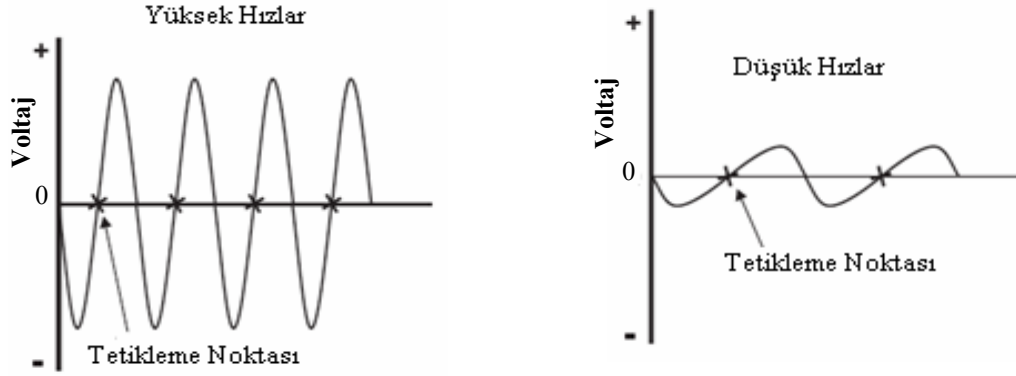
Günümüz araçlarında devir sayısını ölçmek için kullanılan manyetik sensörlerde kullanılan manyetik tip sensörler, motorun her devrinde (referans noktadan geçerken) bir manyetik alan değişimi oluşturmaktadır. Bu değişim ile birlikte manyetik sensör, bir pozitif bir de negatif sinyal üretir. Pozitif sinyallerin sayısı devir sayısını ölçmek için referans olarak kullanılır. Motor test sisteminde bu özelliğe sahip bir manyetik sensör kullanılarak üst ölü nokta bilgisi alınmıştır.

Bu manyetik özelliği sahip sensörler 50 mV ile 100V arasında gerilim üretirler. Bu üretilen gerilim motor hızına ve sensör ile boşluk arasındaki mesafeye bağlıdır. Sensörün ürettiği gerilimin değeri, motorun sıkıştırma zamanında biraz düşebilir bir sonraki noktada biraz artabilir (Picotech, 2006). Üretilen gerilim bir sinüs sinyali olup bir sinyal şartlandırıcı kullanılarak sinyaller filtrelenir. Ayrıca sensörün frekansı, motor hızına eşit bir frekansa sahiptir (Wikerson Instrument, 2006).

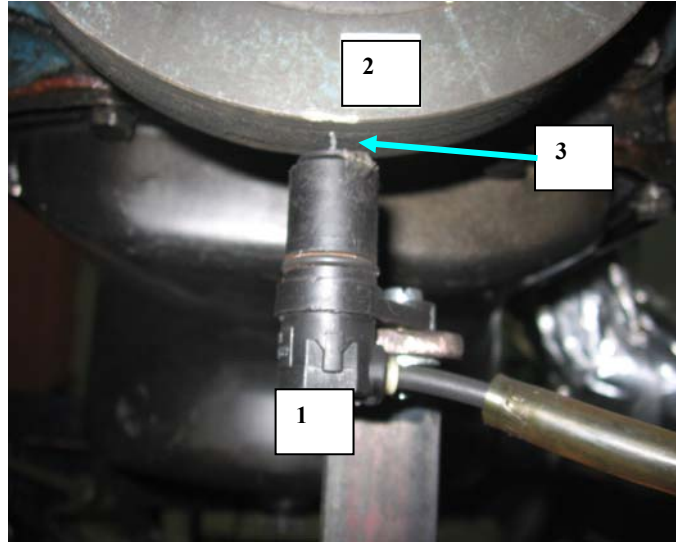
Manyetik özelliğe sahip bu sensör pozitif ve negatif bir sinyal üretir. Sensörün karşısındaki üst ölü nokta, referans deliği gördüğü müddetçe pozitif bir sinyal üretirken delikten uzaklaştığında ise negatif bir sinyal üretmektedir. Elde edilen sinyal Şekil 4.13'de görüldüğü gibi bir karakteristiğe sahiptir. Şekilde görülen tetikleme noktası son derece önemlidir (MSD Ignition, 2006).

Motor test sisteminde, üst ölü nokta bilgisi Şekil 4.14'de gösterilen bir donanım ile alınmıştır. Sensör krank kasnağının hemen alt kısmına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kasnak ile sensör arasındaki hava boşluğu 1,5 mm olarak ayarlanmıştır. Silindir üst ölü noktaya getirilerek krank mili kasnağının, sensörün karşısına gelen noktası işaretlenerek, işaretli noktaya 1 mm çapında bir delik açılmıştır. Sensör ile açılan delik karşılaştığı anda sensör bir sinüs sinyali üretir. Sensörün çıkış voltajı motor devrine bağlı olarak değişmektedir. Devir arttıkça

sensörün çıkış voltajı arttığı için sensör çıkışına bir gerilim düşürme devresi yapılarak sensörün ürettiği maksimum gerilim ± 4 V ile sınırlandırılmıştır. Gerilim düşürme devresinin çıkışı ise veri toplama kartına bağlanmıştır.



Şekil 4.13. Krank mili konum sensörünün sinyal karakteristiği



1. Üst ölü nokta sensörü (manyetik sensör), 2. Krank mili kasağı, 3. Referans Boşluğu

Şekil 4.14: Üst ölü nokta sensörünün yerleşimi

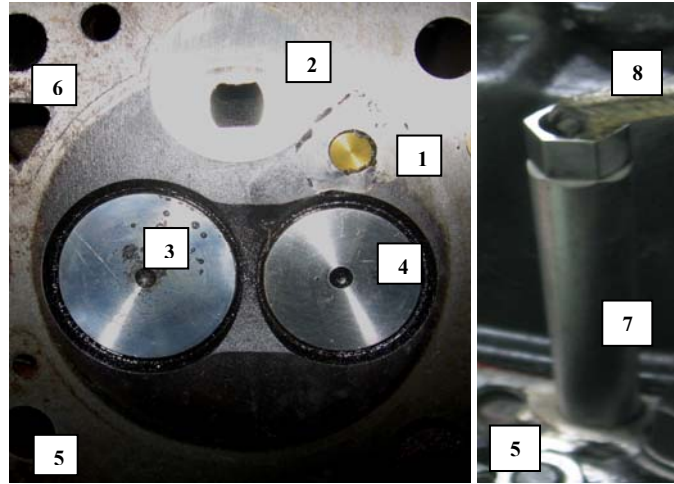
4.7. Silindir Basıncı Ölçüm Sistemi

Silindir basıncı ölçümü için Kistler 6061B piezo-elektrik, su soğutmalı sensör ve 5015A1000 sinyal şartlandırıcısı kullanılmıştır. Sensörün ve sinyal şartlandırıcının temel özellikleri, Tablo 4.4'de verilmiştir. Sensör test motorunun silindir kapağına

üretici firmanın önerdiği şekilde montaj edilmiştir. Şekil 4.15’de görüldüğü gibi sensör birinci silindirin yanma odasına bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Sensörün soğutma sistemi üreticisinin önerdiği su basıncında ve debisinde şebeke suyu ile soğutulmaktadır.

Tablo 4.4: Basınç sensörü ve sinyal şartlandırıcının özellikleri (Kistler, 2004)

6061-B Su soğutmalı piezo-elektrik basınç sensörü	
Ölçüm Aralığı	0-250 Bar
Hassasiyet ve Doğrusallık	0...250 Bar (50 °C) -26,09 pC/Bar ve +/- % 0,3
Kararlı Çalışma Aralığı (°C)	0 - 350
Doğal Frekansı	90 KHz
Aşırı Yükleme	300 Bar
5015A 1000 Sinyal şartlandırıcının özellikleri	
Çıkış Gerilimi	+/- 10 V
Maksimum Filtreleme	30 kHz
Sapma (pC/s;mV/s)	-0,02
Ölçüm Adımı	0,5 mV



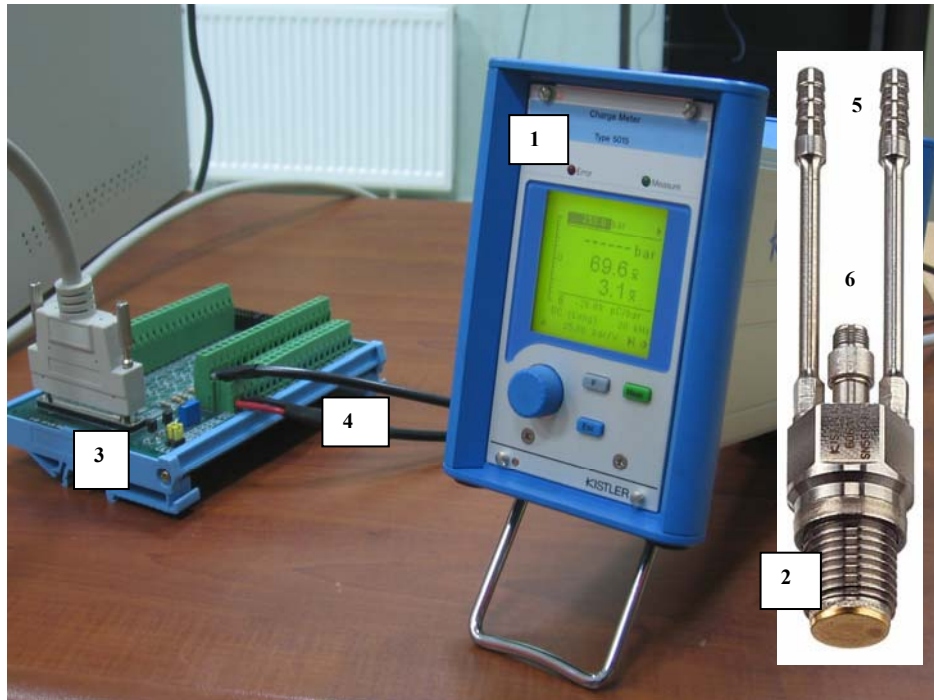
1. Silindir basınç sensörü, 2. Ön yanma odası, 3. Emme supabı, 4. Egzoz supabı,
5. Silindir kapağı, 6. Soğutma suyu kanalları, 7. Sensör montaj aksesuarı,
8. Su soğutma hortumları ve bağlantı kablosu.

Şekil 4.15: Silindir basınç sensörünün montaj resmi

Sensörden alınan veriler önce Şekil 4.16’de görülen Kistler 5015A 1000 model sinyal şartlandırıcıda işlenir. Sinyal şartlandırıcının voltaj çıkışından, veri toplama kartına giriş yapılarak basınç değerleri (voltaj olarak) veri toplama sistemine

aktarılır. Sinyal şartlandırıcıdan verilerin sağlıklı ve istenilen aralıkta alınabilmesi için bazı ayarların yapılması gerekmektedir. Bu ayarlar; maksimum silindir basınç değeri ve buna bağlı olarak sinyal şartlandırıcıdan istenen çıkış voltajı aralığı, basınç değerinin birimi, sinyal şartlandırıcının ekranında görülmesi istenilen basınç değerleri, sensörün hassasiyeti ve sensörün frekansdır. Bu ayarlamalar test motorunun özelliklerine ve çalışma şartlarına bağlı olarak düzenlenir. Sinyal şartlandırıcıda yukarıda bahsedilen ayarlar, farklı sensörler için yapılarak hafızaya kaydedilmiştir.

Hafızada ölçüm için on farklı ayarı kaydetmek mümkündür. Sinyal şartlandırıcı sadece piezo-elektrik özelliğe sahip sensörler için kullanılır. Sensörden gelen yük değerini çıkışta gerilime çevirir. Ayrıca RS-232C ara bağlantısı ve LabVIEW 6.0 da yazılmış bir kullanıcı ara yüzü ile veriler bilgisayar ortamına aktarılabilir. Silindir basınç sensörünün kalibrasyonu üretici firma tarafından yapılmış ve sertifikalandırılmıştır.



1. Sinyal şartlandırıcı, 2. Silindir basınç sensörü, 3. Veri toplama kartı bağlantı bloğu,
4. Ara bağlantı kabloları, 5. Su soğutma kanalı boruları, 6. Sensör bağlantı noktası.

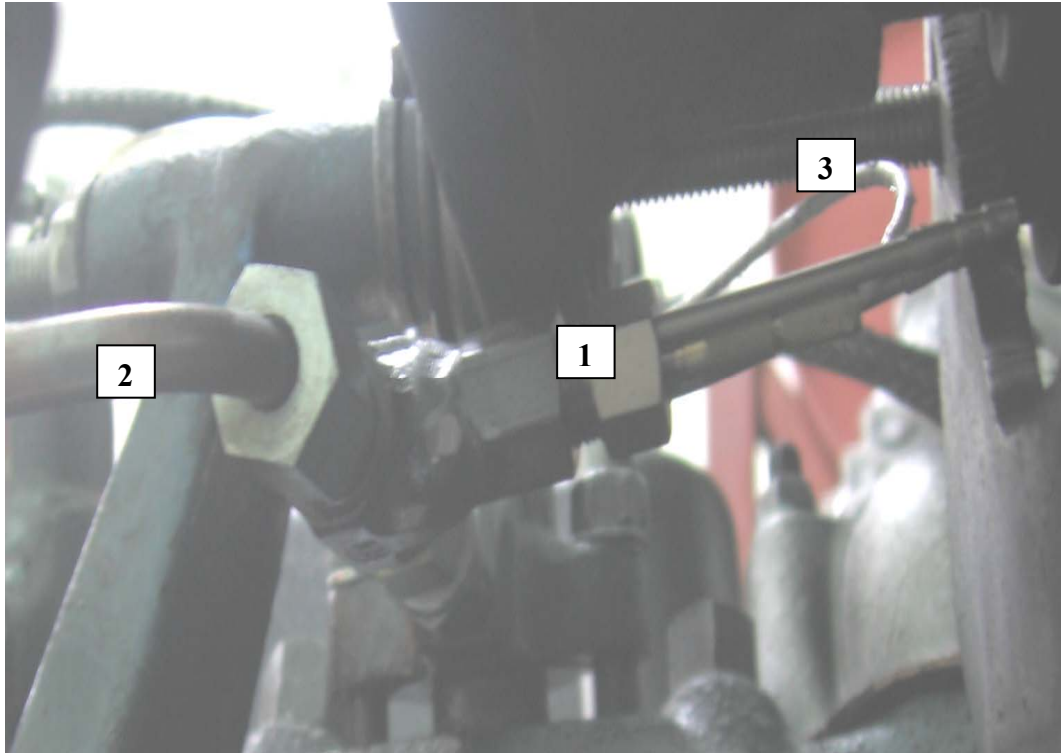
Şekil 4.16: Sinyal şartlandırıcı ve bağlantıları

4.8. Enjeksiyon Hattı Basınç Ölçüm Sistemi

Enjeksiyon hattı sıvı basıncının ölçülebilmesi için AVL 8QP500c piezo-elektrik su soğutmalı sensör kullanılmıştır. Sensörün özellikleri Tablo 4.5’de görülmektedir. Sensör Şekil 4.17’de görüldüğü gibi birinci silindirin enjektörü ile yakıt pompası arasındaki bağlantı borusuna monte edilmiştir. Sensörün çalışma sıcaklığı 50 °C olduğundan dolayı soğutulmasına gerek duyulmamıştır. Sensör için yine sinyal şartlandırıcı olarak Kistler 5015A 1000 kullanılmıştır.

Tablo 4.5:Enjeksiyon hattı basınç sensörünün özellikleri (Cussons, 1993)

Ölçüm Aralığı	0-150 Bar
Hassasiyet ve Doğrusallık	0...150 Bar (50 °C) -11,11 pC/Bar ve +/- % 0,6
Kararlı Çalışma Aralığı	0 °C +350 °C
Doğal Frekansı	100 KHz
Aşırı Yükleme	250 Bar



1. Enjeksiyon hattı sensörü, 2. Basınç sensörü, 3. Bağlantı Kablosu

Şekil 4.17: Enjeksiyon hattı basınç sensörünün montaj resmi

4.9. Veri Toplama Sistemi

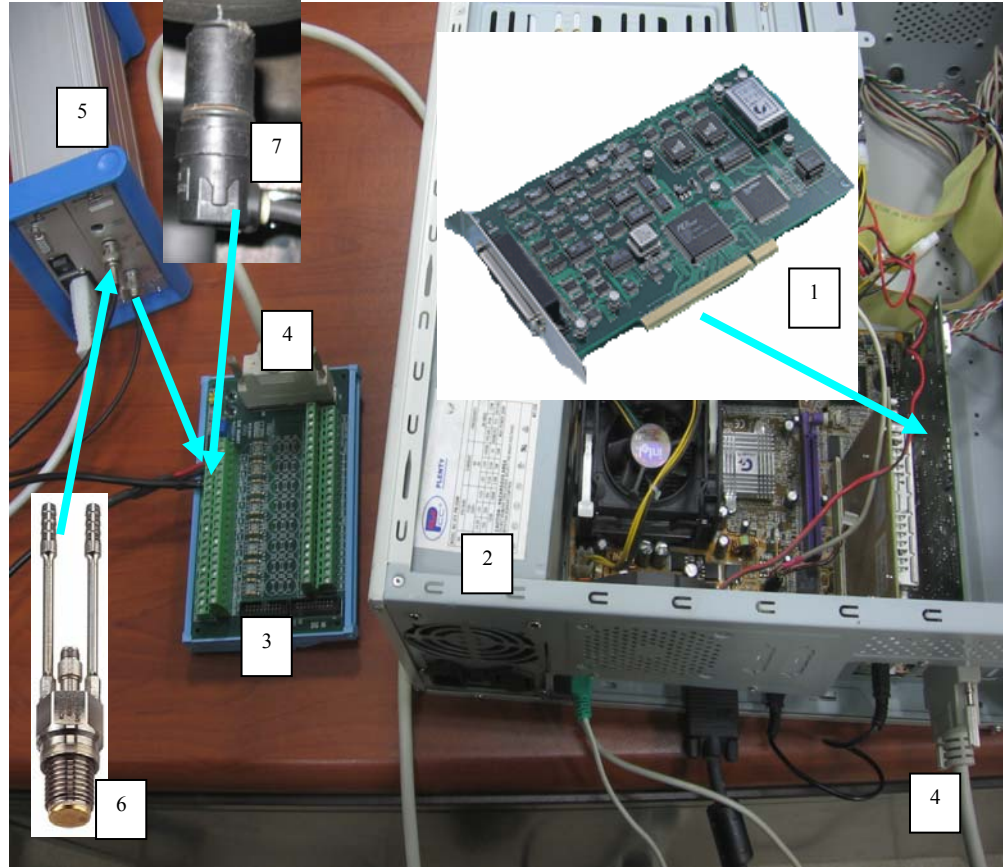
Veri toplama sistemi için PCI 1716 Advantech veri toplama kartı kullanılmıştır. Veri toplama kartının özellikleri Tablo 4.6’da, veri toplama sistemi donanımı ise Şekil 4.17’ de verilmiştir. Veri toplama sistemi için kullanıcı ara yüzü programı LabVIEW 7.1’de Advantech araç kutusu kullanılarak yapılmıştır. Veriler (lvm) uzantılı bir dosyaya kaydedilmiştir.

Veri toplama sistemi bağlantısı Şekil 4.18’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. İki analog giriş kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi silindir basıncı sensörü, diğeri ise üst ölü nokta sensörünün bağlantısıdır. Veri toplama kartının örnekleme oranı 250 kS/s dir. Analog giriş sayısı arttıkça veri toplama kartının örnekleme oranı da giriş sayısına orantılı bir şekilde azalacaktır. Örneğin 5 farklı analog giriş için her kanal başına maksimum örnekleme oranı $250 / 5 = 50$ kS/s olur.

Tablo 4.6: Advantech PCI 1716 veri toplama kartının özellikleri (Advantech, 2006)

Çözünürlük	16 Bit yüksek çözünürlük
Örnekleme Oranı	250 kS/s
Analog Giriş Sayısı ve Hafıza	16 analog giriş ve 1 K FIFO
Dijital Giriş Sayısı	16 dijital giriş
Dijital Çıkış Sayısı	16 dijital çıkış
Analog Çıkış Sayısı	2 analog çıkış
Sayıcı ve çözünürlüğü	10 MHz ve 16 Bit çözünürlük
Kart bağlantısı	PCI kartı
Giriş Gerilimi	+/- 10 V
Giriş Akımı	0 -20 mA

Veri toplama sistemi donanım ayarları için, veri toplama kartı PCI yuvasına takıldıktan sonra yazılımı bilgisayara yüklenmiştir. Yazılım yüklendikten sonra kullanılan LabVIEW programının sürümüne uygun olarak kullanıcı kütüphanesi yüklenmiştir. Bu işlemler yapılırken yazılım programlarının birbirine uyuşması önemlidir. Aksi takdirde her iki yazılımın kullanılması mümkün değildir. Veri toplama kartının yazılımı yüklendikten sonra program çalıştırılmış, veri toplama kartının testi ve ayarları yapılmıştır.



1. Veri toplama kartı, 2. Bilgisayar, 3. Bağlantı Bloğu, 4. Bağlantı Kablosu,
5. Sinyal şarlandırıcı, 6. Silindir basınç sensörü, 7. Üst ölü nokta sensörü.

Şekil 4.18. Veri toplama sistemi donanımı

Veri toplama kartının modeli aygıt yöneticisi menüsünden seçilmiş ve analog giriş aralığı belirlendikten sonra her kanala $\pm 1,5$ V uygulanarak kartın testi yapılmıştır. Veri toplama kartının DHK özelliği olmasından dolayı bu özelliğinin kullanılabilmesi için bilgisayarın BIOS ayarlarından DHK aktif hale getirilmiştir.

Veri toplama sisteminin kullanıcı ara yüzü programı iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda programın blok diyagramı, ikinci kısımda ise kullanıcı ara yüzü ön paneli tasarlanır. Blok diyagramının devre elemanları LabVIEW içerisine yüklenen Advantech'in kullanıcı kütüphanesinden elde edilir. Veri toplama programı, kullanıcı kütüphanesi menüsünden, örnek programların bağlantı elemanlarından ve LabVIEW araç kutularından seçilerek yapılmıştır. Programın blok diyagramının oluşturulmasında her bir elemanın görevi, veri toplama kartının özelliklerine göre programın nasıl tasarlanacağı, blok diyagramındaki elemanların dizilişleri ve bağlantı

sıraları LabVIEW içerisine yüklenen kullanıcı rehberinden belirlenmiştir. Veri toplama sisteminin birinci kısmı olan blok diyagramı; aygıtın seçim elemanı, çok kanal DHK özelliğe sahip eleman, toplanan sinyallerin ekranda gösterilmesini sağlayan eleman, sinyallerin kaydedilmesini sağlayan eleman ve programın sonlandırılmasını yapan elemanlardan oluşmaktadır.

Veri toplama programının ikinci kısmı kullanıcı panelidir. Bu panelin temel elemanları yine blok diyagramında yer alan elemanların ön paneldeki görüntüleridir. Kullanılan veri toplama kartının ve giriş sinyallerinin özelliklerine göre ön panelden ayarlama yapılarak istenilen verileri gerçek zamanlı olarak görür ve kaydedebilir. Kullanıcı panelinden kanal sayısı, sürekli veya bir saniyelik veri alma seçeneği, örnekleme oranı, kullanılan veri toplama kartına göre kazanç değerinin ayarı, verilerin gösterildiği ekranın ayarları ve veri toplama kartının ayarları yapılır.

4.10. Verilerin Analizi

Veri toplama sisteminden elde edilen ham verilerin işlenebilmesi için Matlab 7.0'da iki analiz programı yazılmıştır. Birinci program ile ham verilerin istenilen aralıkta basınç ve üst ölü nokta grafikleri çizilmiş ve yine bu aralıkta üst ölü nokta sinyalinin tepe değerleri buldurularak her bir çevrim arasındaki veri sayıları hesaplanmıştır. Bu program ile aynı veri sayısına sahip 50 çevrimin başlangıç noktaları tespit edilmiştir (Ek-B). Tespit edilen başlangıç noktalarına göre yazılan ikinci analiz programı ile 50 çevrimin ortalaması alınmıştır (Ek-C).

Program akışı doğrultusunda gerilim olarak toplanan veriler, Bölüm 3'de açıklanan metotla mutlak basınca çevrilmiştir. Basınç ve üst ölü nokta verileri filtrelenmiştir. Program akışı içerisinde test motorunun referans değerleri, krank açısına göre silindir hacmi ve ısı dağılımı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler ile birlikte basınç – krank açısı (P-KA), basınç – hacim (P-V), logaritmik basınç-hacim (LogP - LogV), ısı dağılımı – krank açısı (Q-Ka) grafikleri oluşturulmuştur.

4.11. Silindir Basıncı Verilerinin Denetimi

Motor basınç verilerinin tamamı motorun yanma ve performans analizlerinde kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda veri alınmadan önce test düzeneği ve kayıt işlemlerinin tamlığını ve güvenilirliğini kontrol etmek için verinin en az bir kez dikkatlice analiz edilmesi gerekir. Test motoruna dışarıdan bir motor ile hareket verildiğinde pistonun yönü ile silindir maksimum basıncının konumu ve genliğinin doğrulanması gerekmektedir. Bununla birlikte silindir maksimum basıncı politropik ilişkiden;

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \quad (4.12)$$

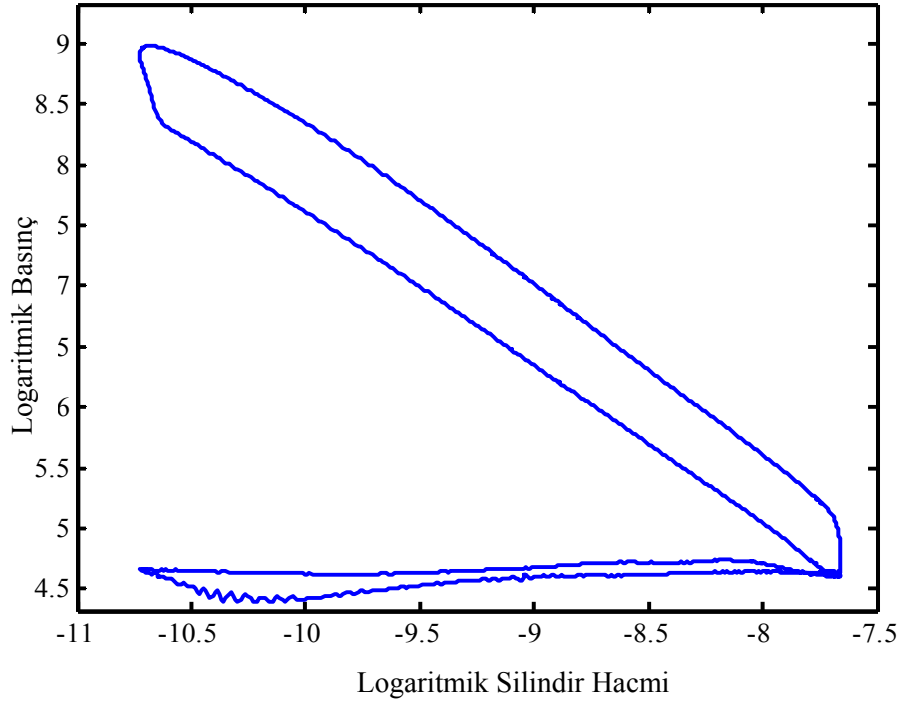
$$P_{\text{mak}} = P_{\text{AÖN}} \times (r_c)^k \quad \text{elde edilir.} \quad (4.13)$$

Yukarıdaki eşitlikte r_c sıkıştırma oranını ifade etmektedir. k ise adyabatik durum değişimindeki c_p/c_v oranıdır.

Basınç verilerinin denetimi, Şekil 4.19'da verilen logaritmik P-V diyagramı ile de kontrol edilebilir. Sıkıştırma süreci, emme supabının kapanmasıyla pistonun ÜÖN'ya ulaşması arasında tanımlanır ve politropiktir. Logaritmik P-V diyagramında grafiğin bu aralıkta eğiminin düz olması gerekir. Eğer eğrilik sıkıştırma hattının ilk bölümü süresince gözükürse bu eğrilik bir yanlışlığı gösterir ki bu da kullanılan referans basınç noktasının yanlış yerde olması demektir.

4.12. Isı Dağılımının Analizi

Isı dağılımı, silindir gaz basıncı verileri kullanılarak elde edilir. Isı dağılımının karakteristiği, motor performansının, çalışma şartlarının motor performansı üzerindeki etkilerinin ve aynı şartlarda farklı motorların performanslarının belirlenmesinde bir referanstır (Ghojel ve Honnary, 2005).



Şekil 4.19: Logaritmik P-V diyagramı (1000 d/d, 40 Nm)

Bu tez çalışmasında kullanılan test motoru, ön yanma odalı bir dizel motorudur. Ana ve ön yanma odası olmak üzere iki yanma odası bulunmaktadır. Ön yanma odası küçük bir kanal ile ana yanma odasına bağlanmıştır. Ön yanma odasının ısı dağılımı üzerinde etkisi, her iki odadaki basınç farkının artmasıyla artacaktır. Fakat yapılan bir çalışmada net ısı dağılımları her iki oda için farklı motor çalışma yüklerinde karşılaştırılmış ve ön yanma odası için ısı dağılımı küçük bir değere sahip olduğu belirlenmiştir (Rakopoulos ve diğ., 2006). Bu nedenle test motorunda ısı dağılımı hesaplanırken ön yanma odasının ısı dağılımı ihmal edilmiştir.

Isı dağılımının hesabı yapılırken önce Termodinamiğin I. Kanununa göre;

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \text{ eşitliği yazılır.} \quad (4.13)$$

Bu eşitlikte U sistemdeki iç enerjiyi ifade eder. \dot{Q} , net ısı dağılım oranıdır ve yanma enerjisi dağılım oranı ile silindir duvarları arasındaki ısı transferi arasındaki farktır.

$$\dot{Q} = m \times c_v \frac{dT}{dt} \text{ denklemiyle elde edilir.} \quad (4.14)$$

\dot{W} , ise pistonun yer değiştirmesine karşılık yapılan işi ifade eder.

$$\dot{W} = P \frac{dV}{dt} \text{ eşitliği ile elde edilir.} \quad (4.15)$$

Denklem 4.14 ve 4.15 denklem 4.13'de yerine yazılırsa,

$$m c_v \frac{dT}{dt} = \dot{Q} - P \frac{dV}{dt} \text{ elde edilir.} \quad (4.16)$$

İdeal gaz denklemi $PV = mRT$ kullanılarak sıcaklık (T) eşitliği elde edilir ve zamana göre türevi alınırsa

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \text{ olur.} \quad (4.17)$$

Denklem 4.17 denklem 4.13' de yerine konularak özgül ısıların oranı $k = c_p / c_v$ ve θ yerine krank açısı (θ) denkleme uygulandığında \dot{Q} ısı dağılımı;

$$\dot{Q} = \left[\frac{k}{k-1} \right] P \frac{dV}{d\theta} + \left[\frac{1}{k-1} \right] V \frac{dP}{d\theta} \text{ olarak elde edilir.} \quad (4.18)$$

Isı dağılım eğrisinin oluşturulabilmesi için basınç ve hacmin krank açısına göre türevinin alınması gerekmektedir. Burada dikkat edilecek nokta silindir basıncının bir derecelik ölçüm hatasının ısı dağılımında %50'lere varan bir hataya neden olabileceğidir. Bu hatayı giderebilmek için denklem 4.19 kullanılarak tespit edilecek merkez noktadaki basınç değeri, merkez noktadan iki ileri ve iki geri olmak üzere dört noktanın değerleri kullanılarak hesaplanabilir (Canakci, 2001).

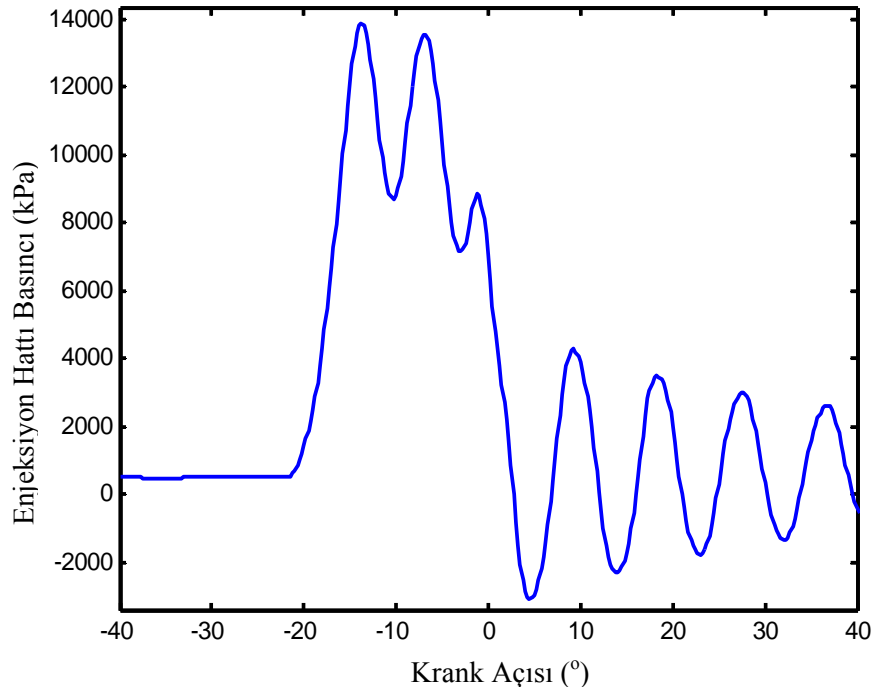
$$\left(\frac{du}{dx} \right)_1 = (-u_{i+2} + 8u_{i+1} - 8u_{i-1} + u_{i-2}) / (12 \times \Delta\theta) \quad (4.19)$$

Basınç verilerine denklem 4.19 uygulandıktan sonra ısı dağılımı eğrisi elde edilmiştir. Basınç eğrisinde istenmeyen sinyalleri azaltmak ve basınç eğrisini düzgentleştirmek için dijital filtreleme uygulanmıştır.

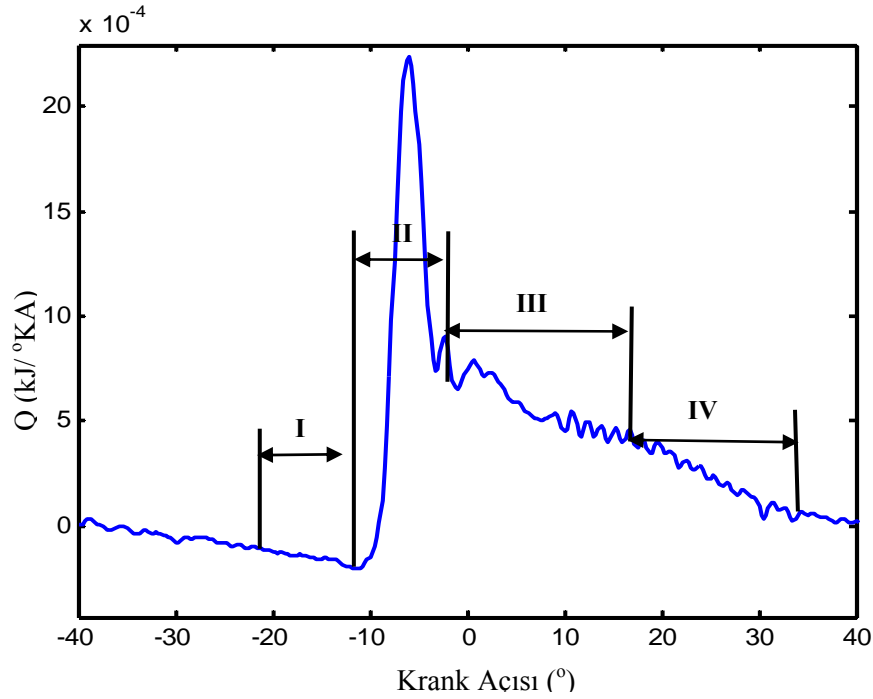
4.13. Tutuşma Gecikmesinin Analizi

Tutuşma gecikmesi, enjeksiyon başlangıcı ile yanma başlangıcı arasında geçen zamana denir. Motor tasarımına ve yakıt tipine bağılı olarak bu süre değişir (Ferguson, 1986). Enjeksiyon başlangıcı doğrudan belirlenemediği için, genel olarak enjeksiyon başlama zamanı enjeksiyon hattı basıncının enjektör açılma basıncına ulaştığı an olarak belirlenmektedir. Şekil 4.19'da örnek bir çalışmanın enjeksiyon basıncının krank açısına göre değişimi görülmekte olup enjektörlerin açılma basıncına (130 Bar) ulaşması ÜÖN'dan 14,75° önce gerçekleşmiştir. Yine aynı çalışma şartlarında ısı dağılımının krank açısına bağılı olarak değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir.

Isı dağılımı profili Şekil 4.20'de görüldüğü gibi dört safhadan oluşmaktadır. Bu safhalar tutuşma gecikmesi (I), ani yanma (II), kontrollü yanma (III) ve art yanmadır (IV). Yanma başlangıcını tespit etmek zordur bunun için tutuşma zamanında oluşan ısı dağılımının eğimindeki değişim noktası, yanma başlangıcı olarak belirlenir.



Şekil 4.19: Enjeksiyon basıncı – KA grafiği (1000 d/d, 40 Nm)



Şekil 4.20: Isı dağılımı - KA grafiği (1000 d/d, 40 Nm)

Tutuşma gecikmesi periyodunda, ısı dağılımı negatif değere düşer. Bu düşmenin sebebi, yakıt buharlaşmasından ve yakıtın silindire püskürtülmesi ile yakıtın ortamdaki ısı çekmesinden dolayı meydana gelir.

Tutuşma gecikmesi, basıncın, sıcaklığın, motor hızının ve sıkıştırma oranının artmasıyla azalacaktır. Enjeksiyonun çok erken olması durumunda ise basınç ve sıcaklık azalacak buna bağlı olarak tutuşma gecikmesi artacaktır. Enjeksiyonun çok geç olması durumunda ise piston ÜÖN'ü geçtikten sonra basınç ve sıcaklık azalacak sonuçta tutuşma gecikmesi artacaktır (Pulkrabek, 1997).

Diğer faz ise ani yanmadır. Bu faz, tutuşma gecikmesi süresinde havayla karışan yakıtın yanma zamanıdır. Yakıt büyük bir hızla yanar ve ani bir basınç artışı gerçekleşir ve maksimum basınç çevrimin bu safhasında gerçekleşir. Basınç artışı ve artış hızı motorun yüküne, devrine, tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına ve yakıtın atomizasyonuna bağlı olarak değişir.

Kontrollü yanma fazında ise yakıtın büyük bir kısmı yanar. Bu süreçte püskürtülen yakıt, ani yanma süreci sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle hemen

yanar. Bu fazdaki basınç değişimi püskürtülen yakıtın karakteristiğine ve bu fazdaki oksijen miktarına göre değişir. Düşük enjeksiyon basınçlarında ve ilk hareket esnasında bu alan oldukça küçüktür (Borman ve Ragland, 1998).

Son faz ise art yanmadır. Maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar ve yanmamış yakıt, düşük basınçta yanmaya devam eder. Bu faz genişleme sonuna kadar devam eder.

4.14. Deneilerin Yapılışı

Deneiler sırasında veri kaydına geçilmeden önce motorun su, yağ ve yakıt devrelerindeki sızdırmazlıklar kontrol edilmiş daha sonra test motoru kararlı hale gelene kadar yaklaşık 20 dakika çalıştırılmıştır.

Testler beş sabit yük (10, 20, 30, 40 Nm ile Tam yük) ve her sabit yük için beş farklı (1000, 1500, 2000, 2500, 3000 d/d) devir aralığında gerçekteştirilmiştir. Motor kararlı hale geldikten sonra istenilen devir ve yükleme değeri ayarlanmıştır. Bu konumda 5 dakika bekletildikten sonra ölçümlere başlanmıştır. Motorun enjeksiyon basıncı verileri motor devrine uygun ve 0,25 °KA'na karşılık gelen örnekleme oranında toplanmıştır. Deney şartları oluşturulduktan sonra belirli çalışma süresinde tüketilen yakıt miktarı dijital teraziden okunmuştur. Yakıt tüketimi belirlenirken bu süreçte silindir basıncı verileri kaydedilmiştir. Sırasıyla eğik manometredeki değer, atmosfer basıncı, bağıl nem, çevre, motor soğutma suyu giriş çıkış, egzoz manifoldu çıkışındaki egzoz gazı, motor yağ, motor yakıtı ve egzoz hattındaki sıcaklık değerleri okunarak test kağıdına işlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

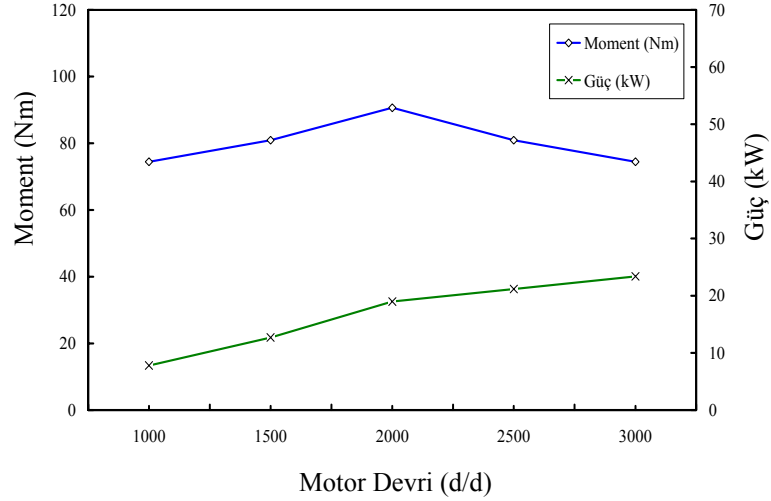
5.1. Sonuçlar

Bu bölümde motor testleri sonucunda elde edilen verilerin grafikleri çizilmiş ve yorumlanmıştır. Öncelikle test motorunun moment ve güç eğrileri tespit edilmiştir. Daha sonra özgül yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Termik verim hesaplanarak motor devri ve yüküne bağlı değişimi incelenmiştir. Motor katalog değerleri baz alınarak silindir hacminin KA'ya göre değişimi hesaplanmış ve seçilen farklı yükleme miktarları için P-V diyagramındaki değişimler incelenerek değerlendirilmiştir. Motor devir ve yüklerine bağlı olarak enjeksiyon hattı basıncı, silindir gaz basıncı ve ısı dağılımı grafikleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Ayrıca tutuşma gecikmesinin analiz sonuçları tablo halinde derlenerek yorumu yapılmıştır.

5.1.1. Test sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneyleerde test motoru üç farklı sabit yük (20, 30, 40 Nm) ve tam yükte, her farklı yük durumu için 5 farklı devir sayısında (1000, 1500, 2000, 2500, 3000 d/d) testlere tabi tutulmuştur. Testlere ilk olarak tam yük çalışma şartlarında başlanmıştır. Tam yük çalışma şartlarında elde edilen moment ve güç değerleri Şekil 5.1 görülmektedir. Motor devrine bağlı olarak saatteki yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.2 ve 5.3). Şekil 5.1' de görüldüğü gibi maksimum moment değeri, 2000 d/d'da elde edilmiştir. Moment maksimum noktaya ulaştıktan sonra devrin artmasıyla Şekil 5.1'de görüldüğü gibi moment azalmaktadır. Bunun sebebi motor hızının artmasıyla sürtünme gücünün artması ve emme supabının açık kalma süresinin azalması nedeniyle volümetrik verimin düşmesidir (Pulkrabek, 1997). Şekil 5.1'de görülen güç eğrisi, motor çıkış milinden alınan efektif gücü göstermektedir. Efectif güç motor devri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Motor devri arttıkça silindir içerisine alınan yakıt miktarının artması, efektif gücün artmasını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Ek-A.4'den tam yük

şartlarında yakıt tüketiminin devre göre değişimi; 1000 d/d için 2,66 (kg/h), 2000 d/d için 4,23 (kg/h), 3000 d/d için ise 7,82 (kg/h) ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre motor devrinin artmasıyla yakıt tüketiminin arttığı tespit edilmiştir.

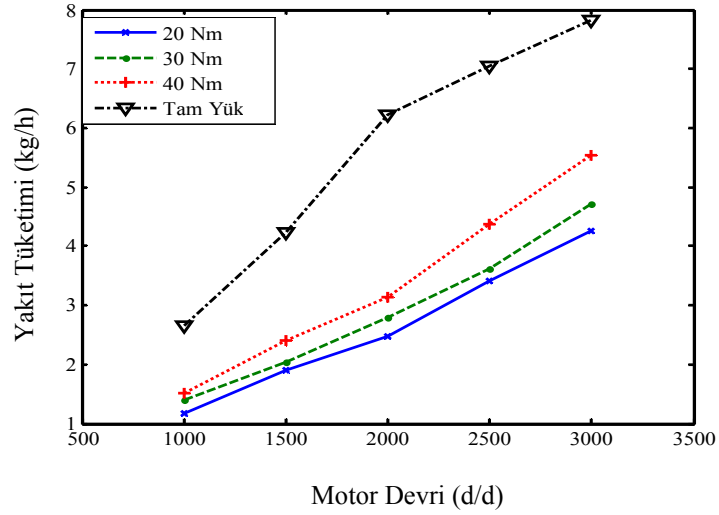


Şekil 5.1: Tam yük çalışma şartlarında güç ve moment değişimi

Yakıt tüketimi, motorun saatte tükettiği yakıt miktarı ile ifade edilir. Birçok çalışmada yakıt tüketimi oranının motor devrine ve yüke bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.2'deki grafik sonuçları saatteki yakıt tüketiminin motor yük ve devrine bağlı olarak arttığını göstermektedir. Bunun sebebi motor devri ve yükleme miktarı arttıkça enjektör açılma basıncına daha erken ulaşmakta ve silindir içerisine daha fazla yakıt püskürtmektedir. Bu saatteki yakıt tüketiminin motor devrinin artışıyla artmasına neden olmaktadır. Ek-A.1, A.2, A.3 ve A.4'de motor yükleme miktarına göre elde edilen saatteki yakıt tüketimi miktarları verilmiştir. 1000 d/d, 20 ve 40 Nm sabit yük şartlarındaki yakıt tüketimi sonuçları karşılaştırıldığında 20 Nm için, yakıt tüketimi 1,18 (kg/h) ve 40 Nm için ise 1,51 (kg/h) ölçüldüğü görülmektedir. Bu sonuçlar yükün artışıyla yakıt tüketiminin arttığını açıklamaktadır.

Özgül yakıt tüketimi dinamometrede ölçülen birim çıkış gücü başına tüketilen yakıt miktarıdır. Fren özgül yakıt tüketimi motorun belirli bir devrine kadar azalmakta daha sonraki hızlarda ise artmaktadır. Yakıt yoğunluğunun ve ısıl değerinin düşük olması da yüksek fren özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Ajav ve diğ., 1999). Sayın (2005b) çalışmasında özgül yakıt tüketiminin, hacimsel verimin artmasıyla azaldığını belirlemiştir. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi tam yük test

şartlarında özgül yakıt tüketimi devir sayısı ile azalmakta, motorun maksimum moment ürettiği (2000 d/d) devirde ise en düşük değerine ulaşmaktadır. Bunun sebebi özgül yakıt tüketiminin momentle ters orantılı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5.1’de tam yükte ölçülen moment eğrisi incelendiğinde maksimum momentin elde edildiği 2000 d/d’da en düşük özgül yakıt tüketimi (Ek-A.4’de görüldüğü gibi) 328,18 (g/kWh) hesaplanmıştır. Özgül yakıt tüketimi değerleri 1000 d/d’ da 341,42 g/kWh, 3000 d/d için ise 334,72 g/kWh ölçülmüş ve 2000 d/d’ya kadar özgül yakıt tüketiminin düştüğü ve 2000 d/d’dan sonra arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca özgül yakıt tüketimi Şekil 5.3’de görüldüğü gibi motor yükünün azalmasıyla artmaktadır. Bunun sebebi ise, efektif gücün azalmasıdır.

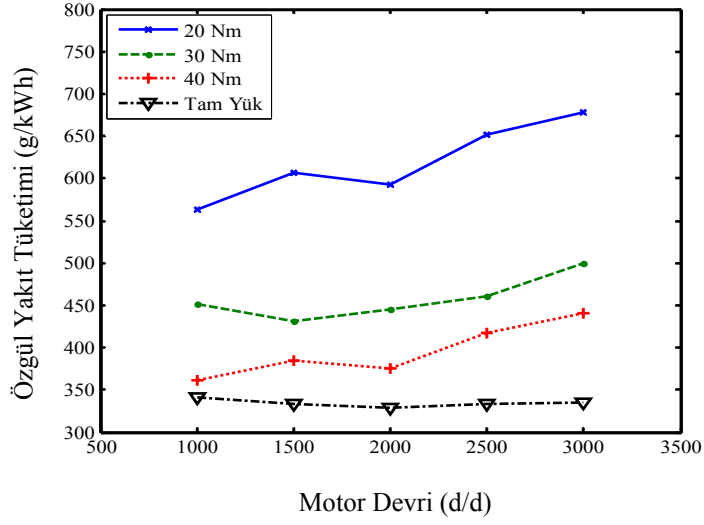


Şekil 5.2: Test motorunun yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi motor yükünün azalmasıyla artmaktadır. Bunun sebebi ise efektif gücün azalmasıdır. Deneysel sonuçlarından hesaplanan efektif güç 1000 d/d’da 20 Nm için 2,09 kW, 30 Nm için 3,14 kW, 40 Nm için 4,18 kW ve tam yükte ise 7,79 kW olarak hesaplanmıştır.

Motor milinden elde edilen net işin motora sürülen enerji miktarına oranına termik verim denir. Yanma sonu elde edilen gücün tamamı kullanılamamaktadır. Bunun nedeni yanma sonu elde edilen gücün bir bölümü egzoz gazlarına, soğutma sistemine ve ısı transferine harcanmasındandır. Bu nedenle ancak geriye kalan güç motorda kullanılabilir. Termik verim, özellikle alternatif yakıtlar için yapılan

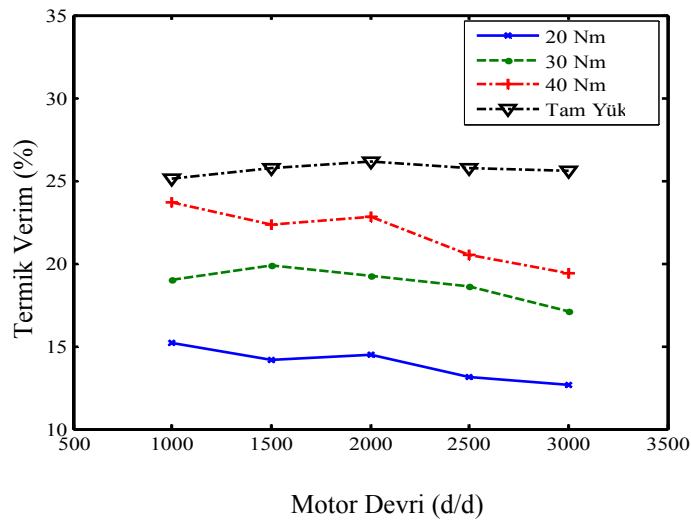
çalışmalarda motor performansının değerlendirilmesi açısından son derece önem taşımaktadır.



Şekil 5.3: Test motorunun özgül yakıt tüketimi

Termik verimin hesaplanmasında Denklem 5.1 kullanılmıştır. Özgül yakıt tüketiminin artması termik verimin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi maksimum momentin olduğu 2000 d/d'da tam yük test şartında maksimum termik verim elde edilmiştir. Bunun sebebi özgül yakıt tüketiminin, Şekil 5.3'de görüldüğü gibi tam yük şartlarında 2000 d/d'da en düşük değerde olmasındandır.

$$\eta_t = \frac{3,6 \times 10^6}{b_c(\text{g/kWh}) \times h_y(\text{kJ/kg})} \quad (5.1)$$



Şekil 5.4: Termik verimin motor devri ve yüke bağlı değişimi

5.1.2. Silindir gaz basıncı verilerinin analizi

Silindir gaz basıncı verileri 0,25 °KA'da toplanmış ve 50 çevrimin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Analiz sonuçlarından silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi, P-V diyagramları, ısı dağılımı eğrileri elde edilmiştir. Seçilen motor devirlerinde yüklere bağlı olarak silindir gaz basıncının KA'ya bağlı grafikleri oluşturulmuştur. Silindir gaz basıncı verilerinden ısı dağılımı hesaplanmış ve KA'ya göre değişim grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra seçilen yükleme değerlerinde oluşan silindir gaz basınç grafikleri, ısı dağılım eğrileri ve enjeksiyon hattı basınç değişimi KA'ya bağlı olarak yorumlanmıştır.

5.1.2.1. P-V diyagramının oluşturulması

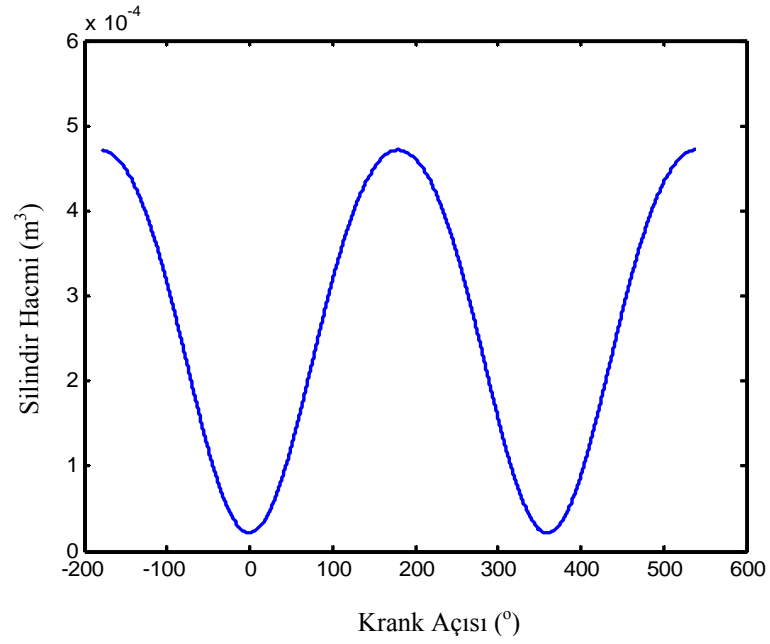
P-V diyagramının oluşturulabilmesi için öncelikle silindir hacminin KA'ya bağlı olarak değişimi Denklem 5.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 5.5'de verilen motor katalog değerlerine bağlı olarak bir silindir hacminin KA'ya bağlı değişimi Şekil 5.4'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$V_{\theta} = [(V_s / (r_c - 1))] + [(V_s / 2) \times (1 + R + \cos \theta - (R^2 - \sin^2 \theta)^{1/2})] \quad (5.2)$$

Burada V_{θ} , herhangi bir KA'daki silindir hacmini vermektedir. V_s bir silindirin strok hacmidir. R biyel kolu uzunluğunun krank yarıçapına olan oranıdır.

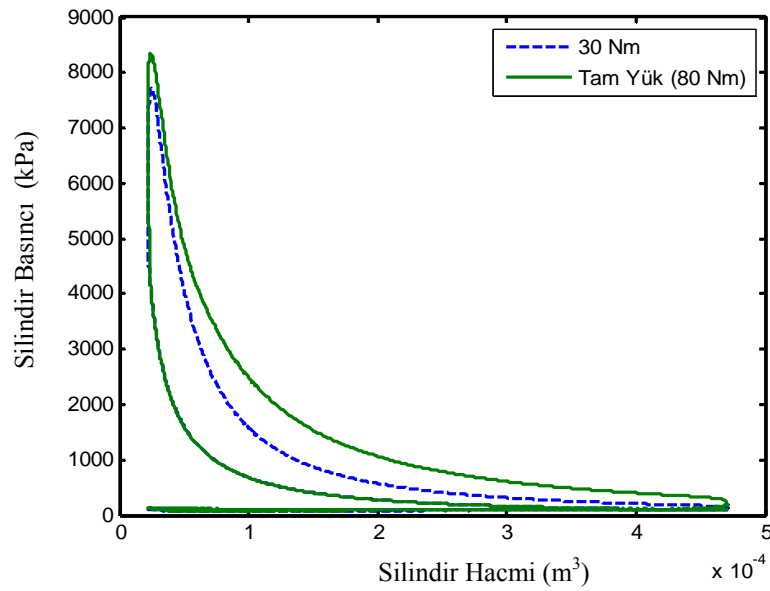
Tablo 5.1: Test motorunun katalog verileri

Strok boyu, S (cm)	8,890
Silindir çapı, B (cm)	8,026
Biyel kolu uzunluğu, r (cm)	15,80
Silindir sayısı, nc	4
Strok hacmi, V_s (cm ³)	449,756
Sıkıştırma oranı, r_c	21,47
Yanma odası hacmi, V_c (cm ³)	21,97
Krank yarıçapı, a (cm)	4,445
Katsayı, R (r/a)	3,55
Toplam silindir hacmi, V_{Top} (cm ³)	1799,025



Şekil 5.5: Motor hacminin KA'ya göre değişimi

P-V diyagramları net işin hesaplanmasında kullanılmaktadır. P-V diyagramının oluşturduğu alan net işi vermektedir. Şekil 5.5'de 1500 d/d ve tam yük (80 Nm) ve 30 Nm için için P-V diyagramları karşılaştırılmıştır.

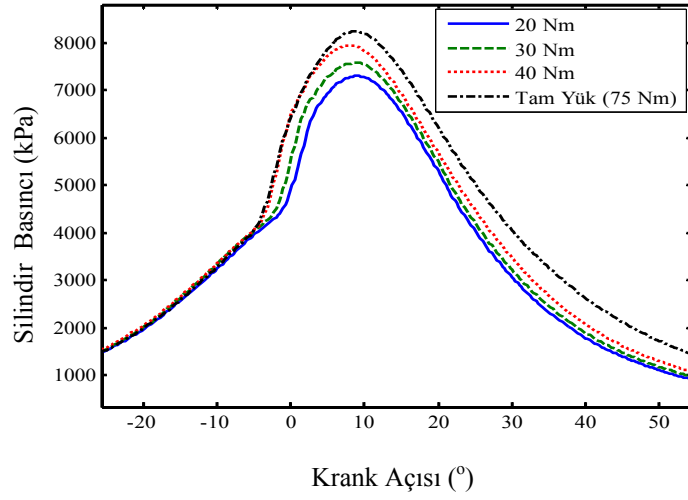


Şekil 5.6: 80 Nm ve 30 Nm için P-V diyagramı (1500 d/d)

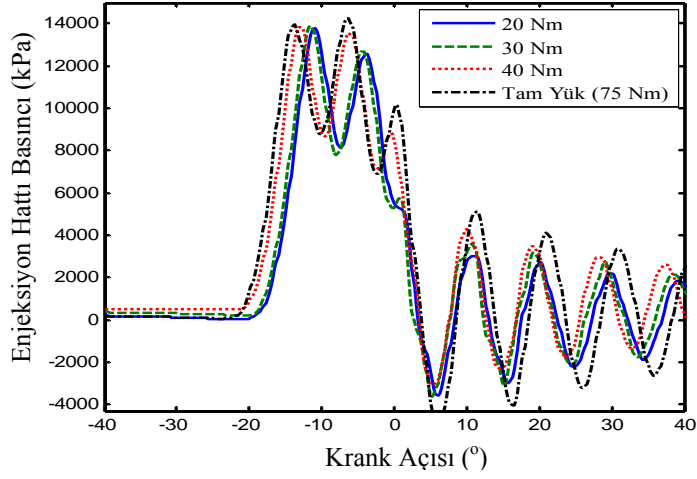
Şekil 5.6'daki sonuçlar, 80 Nm için P-V diyagramının altında kalan alanın 30 Nm'ye göre büyük olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi Ek-A.2'den 1500 d/d ve 30 Nm'de yakıt tüketim miktarı 2,03 kg/h; 80 Nm'de ise Ek-A.4'den 4,23 kg/h değerine yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Yakıt tüketimindeki bu artış P-V diyagramı altında kalan net işin (W_{net}) artmasına sebep olmaktadır. Her iki yükleme durumu için silindir basınçları incelendiğinde yük arttıkça silindir basıncının arttığı görülmektedir. Motor yükünün artması ile enjektör püskürtme başlangıcı daha erken olmakta ve silindir içerisindeki yakıt miktarı artmaktadır. Bu da maksimum silindir gaz basıncının artmasına neden olmaktadır.

5.1.2.2. 1000 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi

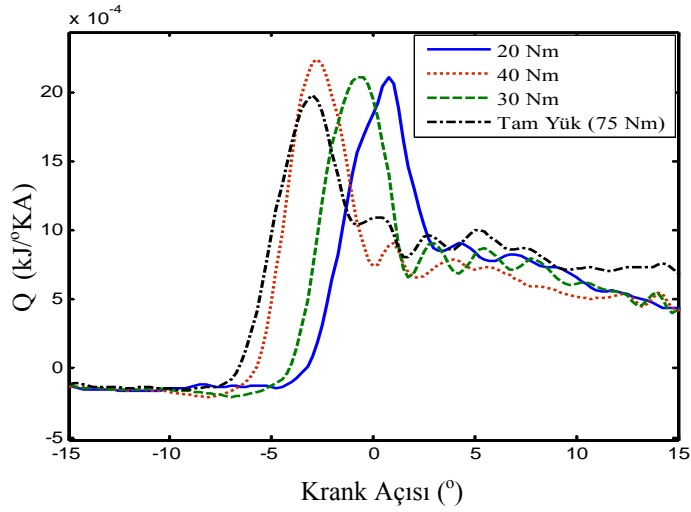
1000 d/d test şartlarında KA'ya bağlı olarak elde edilen silindir gaz basıncı değişimi Şekil 5.7'de, enjeksiyon hattı basınç değişimi Şekil 5.8'de, ısı dağılımı ise 5.9'da gösterilmiştir. Şekil 5.7'da silindir gaz basıncının yük ile doğru orantılı olarak arttığı ve maksimum basıncın motor yükünün artmasıyla üst ölü noktaya doğru yaklaştığı görülmektedir. Şekil 5.8'de verilen enjeksiyon hattı basınç grafiği incelendiğinde, motor yükünün artmasıyla enjeksiyon hattındaki ani basınç artışı daha önce gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak enjektör açılma basıncı (EAB) 130 Bar'a daha erken ulaşmaktadır. Aynı test şartları için Şekil 5.2'de verilen yakıt tüketimi grafiğine bakıldığında, yükün artmasıyla yakıt tüketiminin de arttığı görülmektedir. Ek-A.1, A.2, A.3. ve A.4 incelendiğinde yükün artmasıyla elde edilen yakıt tüketimleri 20 Nm için 1,18 kg/h, 30 Nm için 1,41 kg/h, 40 Nm için 1,51 kg/h ve tam yük (74,6 Nm) için ise 2,66 kg/h ölçülmüştür. Bu sonuçlar motor yükleme miktarının artmasıyla enjeksiyon başlangıcının daha erken olduğunu, silindir içerisinde daha zengin bir karışımın bulunmasıyla da silindir gaz basıncının arttığını kanıtlamaktadır. Bununla birlikte yanmanın daha erken başlaması sonucunda da maksimum basınç ÜÖN'ya yaklaşmaktadır. Şekil 5.7'da motor yükünün artmasıyla silindir basıncının genişleme fazının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise yük arttıkça silindir içerisine alınan yakıt miktarının artmasıdır. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi enjeksiyon hattı basıncının yüke göre değişim yönü ile Şekil 5.9'de ısı dağılımı eğrisinin yüke göre değişim yönü aynıdır. Bu durum, püskürtme başlangıcının ısı dağılımı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 5.7: Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (1000 d/d)



Şekil 5.8: Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (1000 d/d)



Şekil 5.9: Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (1000 d/d)

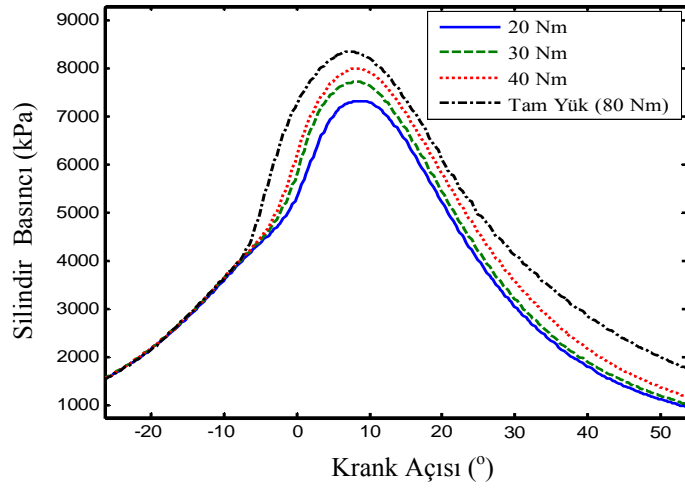
Şekil 5.9’de ısı dağılımı eğrisi incelendiğinde, motor yükleme miktarının artmasıyla sola doğru kaydığı görülmektedir. Bunun sebebi yükün artmasıyla Şekil 5.8’de görüldüğü gibi enjeksiyon başlangıcının da sola doğru kayarak erken püskürtmenin başlamasıdır.

Isı dağılımı grafiğindeki negatif değere düşme miktarı yük arttıkça artmaktadır. Silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının artması buharlaşma için çevreden alınan ısının artmasına ve sıcaklık değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum ısı dağılımının eğrisinin bu fazında negatif değere düşme miktarını arttırmaktadır. Bununla birlikte ısı dağılımı eğrilerinin maksimum noktaları yük arttıkça ÜÖN’den uzaklaşmaktadır. Düşük yüklerde yanma ÜÖN’ya doğru başlamakta ve maksimum ısı dağılımı ÜÖN’ya yakın yerlerde oluşmaktadır.

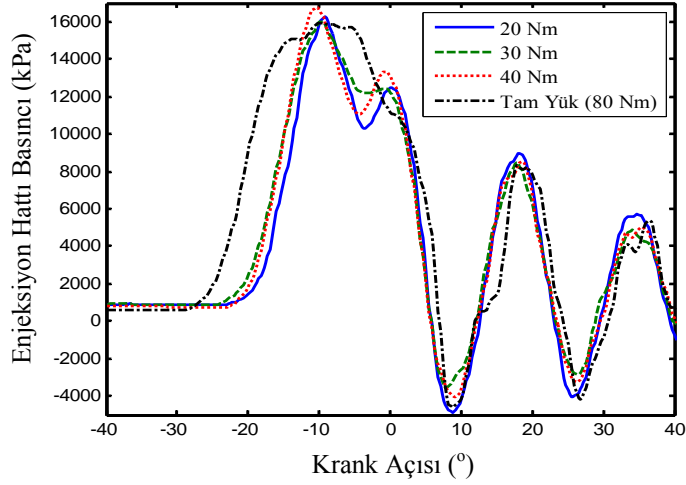
5.1.2.3. 1500 d/d’da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi

Farklı yükler için motor devri 1500 d/d olarak seçildiğinde elde edilen değerler Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de sunulmuştur. Şekil 5.10’da silindir gaz basıncının 1500 d/d’da motor yüküne bağlı olarak arttığı görülmektedir. Şekil 5.2’de gösterildiği gibi yakıt tüketim grafikleri karşılaştırıldığında, motor yükünün artışıyla yakıt tüketiminin artması bu sonucu doğrulamaktadır. Ek-A.1, A.2, A.3 ve A.4 incelendiğinde yakıt tüketimleri 20 Nm için 1,90 kg/h, 30 Nm için 2,03 kg/h, 40 Nm için 2,41 kg/h, tam yük (80,94 Nm) için ise 4,23 kg/h’dir. Yakıt tüketimi sonuçlarından yükün artmasıyla yakıt tüketiminin arttığı ve silindir içerisinde zengin bir karışımın oluştuğu anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak maksimum silindir gaz basıncı yükün artmasıyla artmaktadır. Maksimum silindir gaz basıncının yeri ise motor yükünün artmasıyla ÜÖN’ya doğru yaklaşmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi bu yaklaşıma yükün artmasıyla birlikte EAB’na daha erken ulaşma neden olmaktadır.

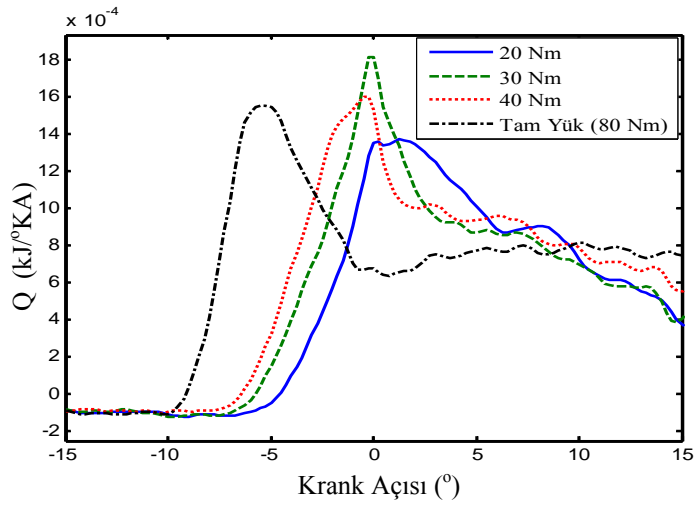
1000 ve 1500 d/d’da basınç grafikleri incelendiğinde devrin artmasıyla silindir basıncının ve enjeksiyon basıncının arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, motor devrinin artışıyla püskürtme başlangıcı daha erken gerçekleşmiş ve yanma daha erken başlayarak, Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, 1000 d/d’ya göre daha erken sona ermiştir.



Şekil 5.10: Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (1500 d/d)



Şekil 5.11: Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (1500 d/d)



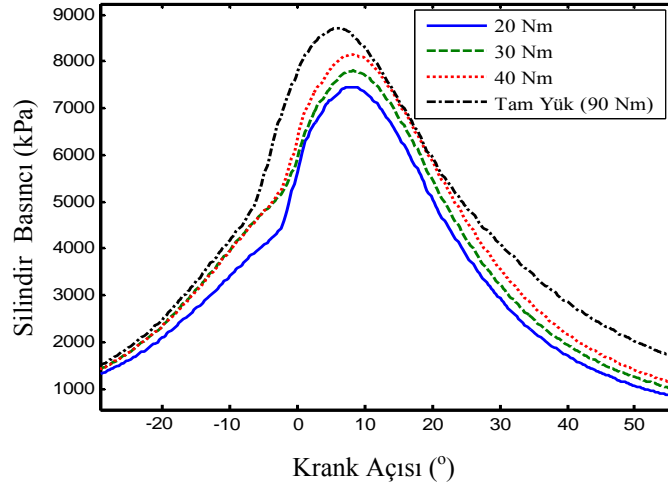
Şekil 5.12: Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (1500 d/d)

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi ısı dağılımı başlangıcı, motor yükünün artmasıyla ÜÖN’den uzaklaşmaktadır. Yükün artmasıyla daha erken enjeksiyon başlangıcının gerçekleşmesi bu sonuca neden olmaktadır. Isı dağılımının maksimum değere çıkma noktaları incelendiğinde yükün azalmasıyla ÜÖN’ya yaklaştığı Şekil 5.12’de görülmektedir. Bunun nedeni yükün azalmasıyla püskürtme başlangıcı ÜÖN’ya yakın başlamakta ve yanma ÜÖN’ya doğru meydana gelmektedir. Yanmanın ÜÖN’ya yakın başlaması maksimum ısı dağılımının ÜÖN’ya yakın yerlerde elde edilmesini sağlayacaktır. Isı dağılımı eğrilerinin altında kalan alan motor yükünün artmasıyla büyümektedir. Bunun sebebi, yakıt tüketiminin yük artışına bağlı olarak artmasından kaynaklanmaktadır.

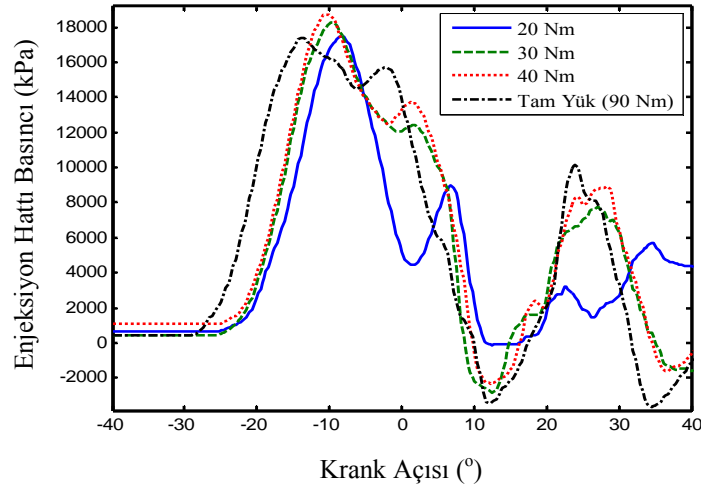
5.1.2.4. 2000 d/d’da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi

Motor devri 2000 d/d olarak seçilerek farklı yük şartlarında elde edilen değerler Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15’de görülmektedir. Şekil 5.13’de görüldüğü gibi maksimum silindir gaz basıncı motor yüküne bağlı olarak değişmektedir. Aynı test şartlarında elde edilen yakıt tüketimi ölçüm sonuçları [Ek-A.1, A.2, A.3, A.4’den 20 Nm için 2,48 kg/h, 30 Nm için 2,79 kg/h, 40 Nm için 3,14 kg/h ve tam yük (90,64 Nm) için 6,22 kg/h] incelendiğinde yükün artışıyla yakıt tüketiminin artması maksimum silindir basıncının artmasına neden olmaktadır. Şekil 5.14’de görüldüğü gibi motor yükünün artmasıyla EAB’na daha erken ulaşılmaktadır. Yükün artmasıyla yanma erken başlamakta ve maksimum silindir basıncının oluşma noktası ÜÖN’ya doğru yaklaşmaktadır. 2000 d/d ve 1500 d/d’da elde edilen veriler karşılaştırıldığında yanmanın, devir arttıkça daha erken başladığı ve daha erken bittiği, bunun sonucunda genişleme fazındaki silindir gaz basıncı eğrilerinin birbirine daha çok yaklaştığı gözlemlenmektedir.

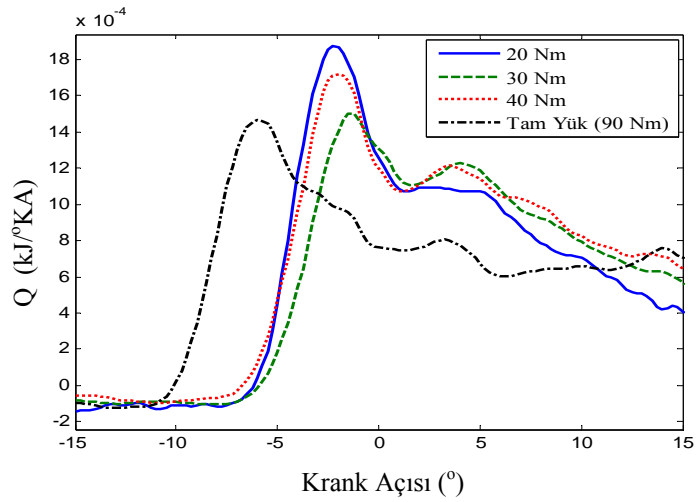
Şekil 5.15’de ısı dağılımı eğrilerinin yüke göre değişimi verilmiştir. Isı dağılımının başlangıç noktası yük arttıkça yine ÜÖN’den uzaklaşmaktadır. Bunun sebebi Şekil 5.14’de görüldüğü üzere EAB’ya yükün artışıyla daha erken ulaşılmasıdır. Isı dağılımının maksimum değere ulaşma noktası incelendiğinde, yükün artmasıyla ÜÖN’den uzaklaştığı görülmektedir. Püskürtme başlangıcının erken olması ve yanmanın erken başlaması buna neden olmaktadır.



Şekil 5.13: Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (2000 d/d)



Şekil 5.14: Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (2000 d/d)



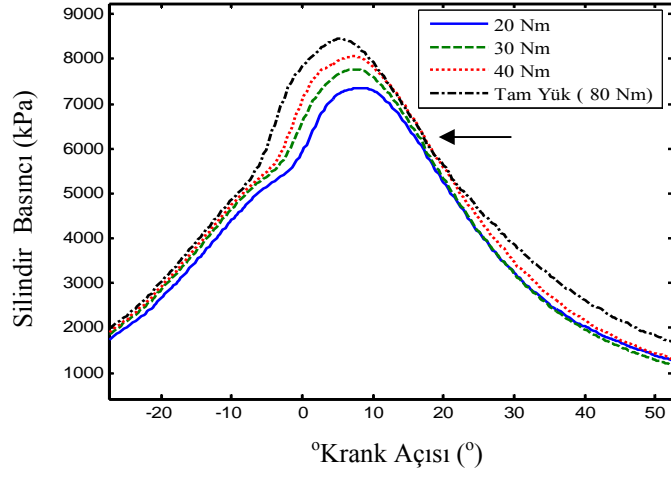
Şekil 5.15: Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (2000 d/d)

Ayrıca 1000 ve 1500 d/d ile yapılan çalışmalardan farklı olarak 2000 d/d'da ısı dağılımı düşük yüklerde ÜÖN'ya doğru keskin bir yükselme göstermektedir. Yük azaldıkça yanma ÜÖN'ya doğru başlamakta ve bunun sonucunda maksimum ısı dağılımı değeri ÜÖN'ya daha yakın elde edilmektedir.

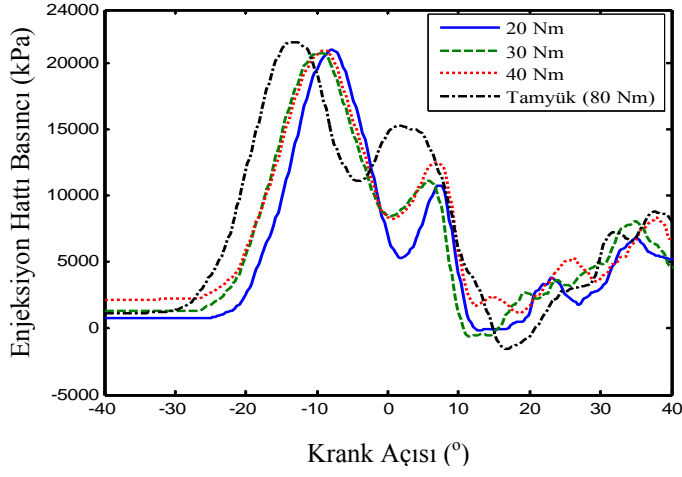
5.1.2.5. 2500 d/d'da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi

Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18 2500 d/d'da farklı yükler için yapılan testlerin sonucunda elde edilen değerleri göstermektedir. Silindir gaz basıncının değerleri incelendiğinde, motorun yükü ve devri ile bağlı olarak silindir gaz basıncının değiştiği ve buna bağlı olarak enjektörün yakıt püskürtme zamanının da farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Yüksek hızlarda karışımın buharlaşması, yanma hızının artmasından dolayı silindir gaz basıncı artmaktadır. Maksimum basınç ve maksimum basınç artış oranı motor yüküne bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte maksimum silindir basıncının oluştuğu nokta, ÜÖN'ya doğru yaklaşma eğilimi göstermektedir. Şekil 5.16'de elde edilen grafikler incelendiğinde daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi (Selim ve diğ., 2003), motor devir ve yükleme miktarının artmasıyla silindir gaz basıncının artmakta olduğu maksimum basınç noktasının da ÜÖN'ya yaklaştığı görülmektedir. Yakıt tüketimi ölçüm sonuçlarından (Ek-A.1, A.2, A.3 ve A.4) 20 Nm için 3,41 kg/h, 30 Nm için 3,61 kg/h, 40 Nm için 4,37 kg/h ve tam yük (80,94 Nm) için 7,04 kg/h değerleri elde edilmiştir. Bu değerler yükün artmasıyla yakıt tüketiminin arttığını ve silindir içerisinde daha zengin bir karışımın olduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak maksimum silindir gaz basıncı yükün artışıyla artmaktadır. Şekil 5.17 incelendiğinde bu çalışma şartlarında yükün artmasıyla EAB'ya daha erken ulaşıldığı görülmektedir. Bu nedenle yanma daha erken başlamakta ve maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın oluşmaktadır.

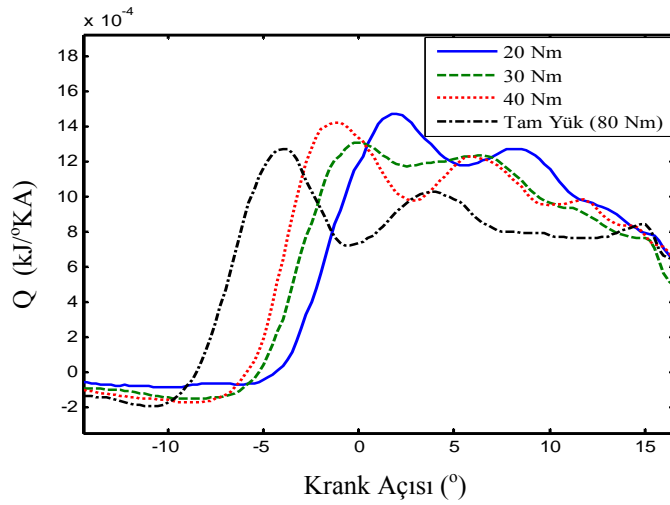
Silindir gaz basıncı grafiklerinden motor hızının artmasıyla yanma süresi kısaltılmakta ve genişleme fazındaki basınç eğrilerinin Şekil 5.16'de görüldüğü gibi ok yönüne doğru yaklaştığı görülmektedir. Bu yaklaşım, motor devrinin artmasıyla artmaktadır.



Şekil 5.16: Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (2500 d/d)



Şekil 5.17: Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (2500 d/d)

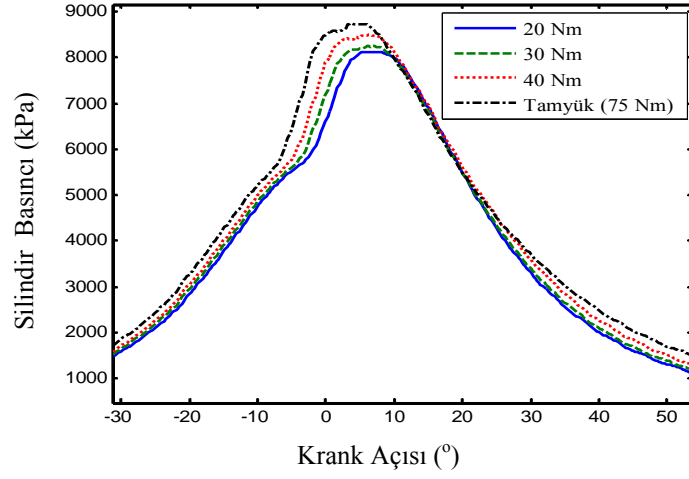


Şekil 5.18: Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (2500 d/d)

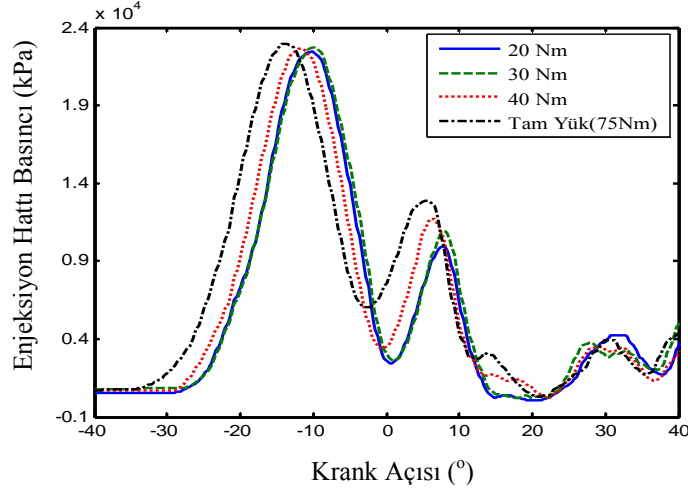
Şekil 5.18’de, ısı dağılımı eğrileri görülmektedir. Isı dağılımının başlangıç noktası motor yükünün artmasıyla daha erken olmaktadır. Bunun sebebi enjeksiyon başlangıcının yükün artışıyla daha erken gerçekleşmesi ve yanmanın daha erken başlamasıdır. Bununla birlikte, yükün artmasıyla sisteme sürülen yakıt miktarı artmakta ve karışım zenginleşmektedir. Isı dağılımının maksimum oluşma noktalarının yükün azalmasıyla ÜÖN’ya doğru yaklaştıkları görülmektedir. Isı dağılımının negatif değerlere düşmesi, Şekil 5.18’de görüldüğü gibi bu deney şartlarında daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Yükün artışıyla negatif değere düşme artmıştır. Bu fazda silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının motor yüküyle birlikte artması, buharlaşan yakıt miktarını ve ortamdaki ısı miktarının da arttığını gösterir.

5.1.2.6. 3000 d/d’da farklı yükler için silindir gaz basıncının analizi

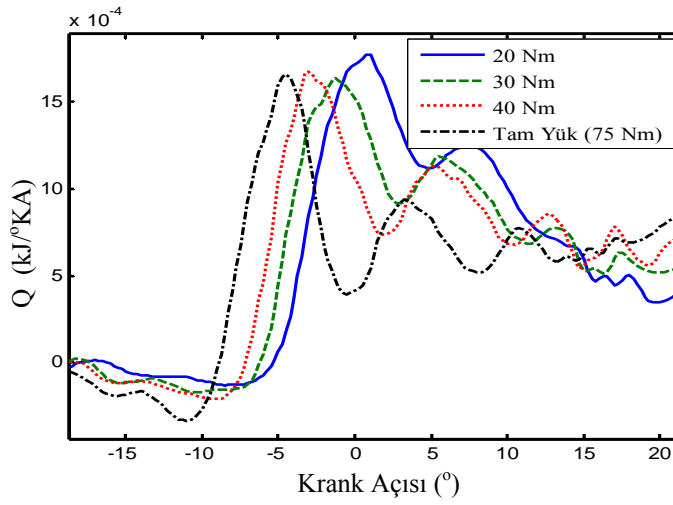
Motor devri 3000 d/d iken elde edilen silindir gaz basınçlarının yüklerle göre değişimi Şekil 5.19’de görülmektedir. 3000 d/d deney şartlarındaki maksimum hız değeridir. Ek-A.1, A.2, A.3 ve A.4’de yakıt tüketimi değerleri 20 Nm için 4,26 kg/h, 30 Nm için 4,71 kg/h, 40 Nm için 5,53 kg/h ve tam yük (74,46 Nm) için ise 7,82 kg/h olarak verilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına bağlı olarak Şekil 5.19’de görüldüğü gibi maksimum silindir basıncının yükün artışıyla arttığı görülmektedir. Şekil 5.20’de enjeksiyon hattı basınç grafiğinde görüldüğü gibi, motor yükünün artması ile EAB’ya daha erken ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle yanma daha erken başlamakta, motor devrenin artmasıyla silindir içerisindeki türbülans artmakta ve yanma süresi kısalmaktadır. Bunlara bağlı olarak maksimum silindir gaz basıncının yeri ÜÖN’ya doğru yaklaşmakta ve genişleme fazında silindir gaz basınçları çakışmaktadır. Şekil 5.21, 3000 d/d test şartları için ısı dağılımı eğrilerini göstermektedir. Tam yükte ısı dağılımının negatif değerlere düşme miktarı diğer yüklerle nazaran daha fazladır. Bunun sebebi püskürtülen yakıt miktarının tam yükte artış göstermesidir. Püskürtme başlangıcının daha erken gerçekleşmesiyle ısı dağılımının başlangıç noktası yükün artmasıyla üst ölü noktadan uzaklaşmaktadır. Düşük yüklerde yanmanın ÜÖN’ya yakın başlaması, maksimum ısı dağılımının ÜÖN’ya yakın elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 5.19: Silindir gaz basıncının KA'ya göre değişimi (3000 d/d)



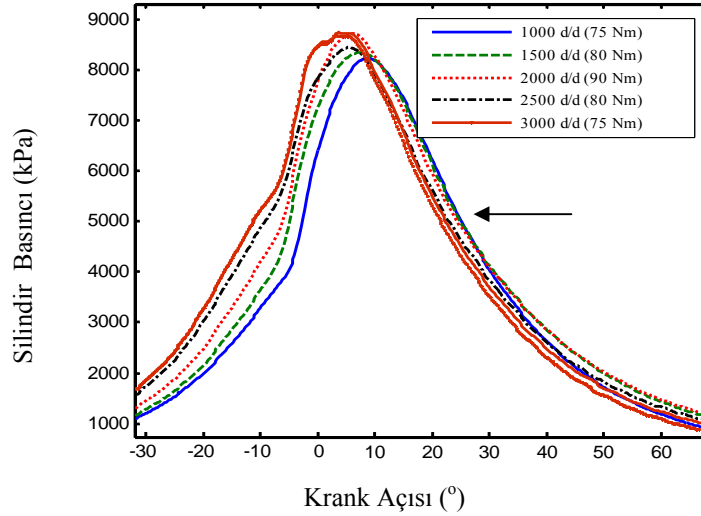
Şekil 5.20: Enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (3000 d/d)



Şekil 5.21: Isı dağılımının KA'ya göre değişimi (3000 d/d)

5.1.2.7. Silindir basıncının motor devriyle değişimi

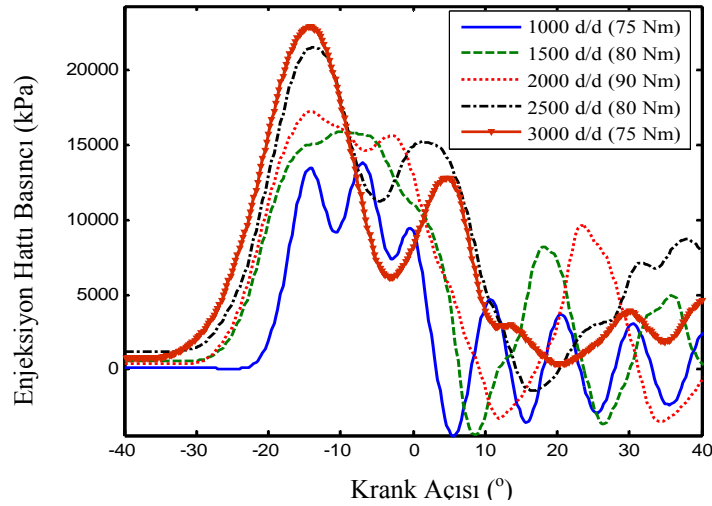
Silindir basıncına etki eden faktörlerden birisi de motor devridir. Şekil 5.22’de motor devrinin değişmesiyle silindir gaz basıncı değişimi görölmektedir. Yakıt tüketim miktarının motor devrine bağlı olarak artışı, silindir gaz basıncının artmasını sağlamaktadır. Ek-A.4’de 1000 d/d için yakıt tüketimi 2,66 kg/h, 1500 d/d için 4,23 kg/h, 2000 d/d için 6,22 kg/h, 2500 d/d için 7,04 kg/h ve 3000 d/d için ise 7,82 kg/h olarak verilmektedir. Buna bağlı olarak, maksimum basınç motor devrinin artmasıyla artmıştır. Fakat 2000 d/d elde edilen basınç değeri 2500 d/d’den büyük elde edilmiştir. Sebebi ise 2000 d/d’da motor 90 Nm ile yüklenirken 2500 d/d’da 80 Nm ile yüklenmiş ve bu yük artışı maksimum basıncın artmasına neden olmuştur. Motor devrinin artmasıyla EAB’ya daha erken ulaşılması ve yanmanın daha erken başlaması sonucu maksimum silindir gaz basıncının yeri ÜÖN’ya doğru yaklaşmıştır.



Şekil 5.22: Silindir basıncının tam yüklerde motor devrine göre değişimi

Motor devrinin artmasıyla püskürtme basıncı artmakta ve bunlara bağlı olarak silindir içerisindeki türbülans artmaktadır. Bununla birlikte püskürtme basıncının artması yakıtın atomizasyonunu arttıracak ve buna bağlı olarak yanma süresi kısalmaktadır. Şekil 5.22’de göröldüğü gibi, ok işareti yönünde motor devrinin artmasıyla silindir gaz basıncı eğrisi genişleme fazında ÜÖN’ya doğru yaklaşma göstermektedir.

Şekil 5.23’de tam yüklerde enjeksiyon hattı basıncının motor devrine göre değişimi görülmektedir. Motor devrinin artmasıyla enjeksiyon hattındaki basınç artışı daha erken gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak EAB’ya daha erken ulaşmaktadır. Motor devrinin artmasıyla enjeksiyon hattı basıncının artış oranı artmaktadır.

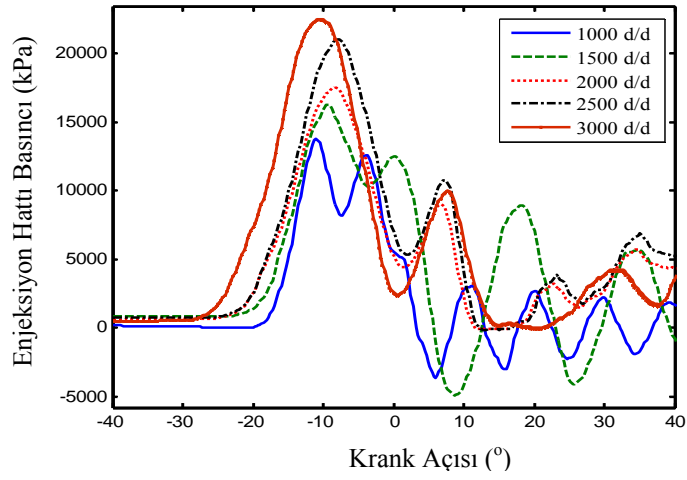


Şekil 5.23: Enjeksiyon hattı basıncının tam yüklerde motor devrine göre değişimi

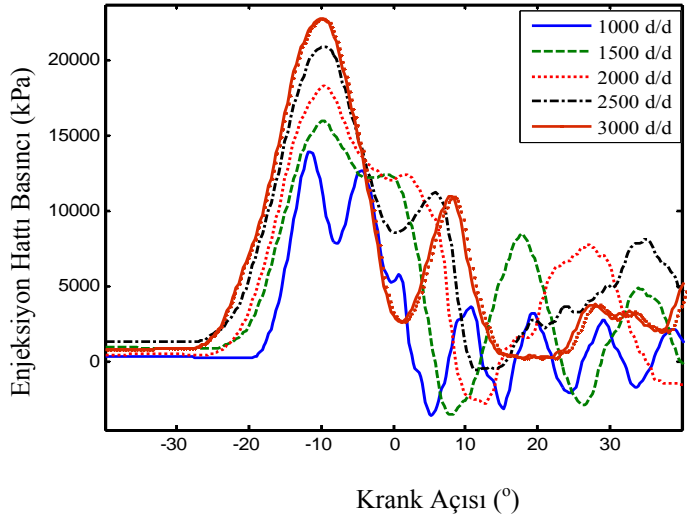
5.1.3 Tutuşma gecikmesinin analizi

Tutuşma gecikmesinin hesaplanmasında enjektörlerin açılma başlangıcı ile ısı dağılımının başlangıç noktası arasında geçen süre (krank açısı cinsinden) dikkate alınmıştır. Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da 20, 30 ve 40 Nm için enjeksiyon hattı basınçlarının KA’ya göre değişimi görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin analizi yapılırken, yakıt hattı basıncının EAB’ya ulaştığı noktalar referans olarak belirlenmiştir.

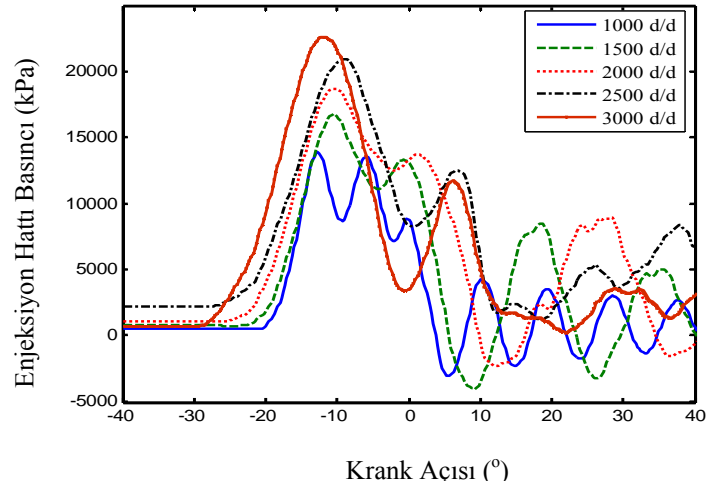
Tutuşma gecikmesinin analizi için gerekli diğer parametre ise, ısı dağılımı eğrilerinin başlangıç noktalarıdır. Her bir test için ısı dağılımı başlangıç noktaları ve enjektör açılma basıncına (130 Bar) ulaşma noktaları belirlenmiş tutuşma gecikmesini gösteren Tablo 5.2 düzenlenmiştir.



Şekil 5.24: Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (20 Nm)



Şekil 5.25: Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (30 Nm)



Şekil 5.26: Farklı devirlerde enjeksiyon hattı basıncının KA'ya göre değişimi (40 Nm)

Tablo 5.2: Tutuşma gecikmesinin devir ve yüke göre değişimi

Devirler	20 Nm				30 Nm			
	E.B.	I.D.B.	T.G.	T.G.S.(x10 ⁻³)	E.B.	I.D.B.	T.G.	T.G.S.(x10 ⁻³)
1000	11,75	5,25	6,50	1,083	12,50	6,25	6,25	1,042
1500	12,25	5,25	7,00	0,778	13,25	6,5	6,75	0,750
2000	13,00	5,00	8,00	0,667	14,50	7,00	7,50	0,625
2500	13,50	5,00	8,50	0,567	15,25	6,75	8,50	0,567
3000	16,50	6,50	10,00	0,556	16,50	7,00	9,50	0,528
Devirler	40 Nm				Tam Yükleler			
	E.B.	I.D.B.	T.G.	T.G.S.(x10 ⁻³)	E.B.	I.D.B.	T.G.	T.G.S.(x10 ⁻³)
1000	13,50	7,25	6,25	1,042	15,50	7,00	8,50	1,417
1500	13,75	7,25	6,50	0,722	17,50	9,25	8,25	1,375
2000	15,00	7,75	7,25	0,604	18,00	10,25	7,75	1,292
2500	16,00	7,75	8,25	0,055	19,50	10,50	9,00	1,500
3000	18,00	8,75	9,25	0,514	20,75	10,75	10,00	1,667

E.B.: Enjektörlerin açılma basıncına ulaşma noktası (ÜÖN'dan önce),
I.D.B.: Isı dağılımının başlangıç noktası (ÜÖN'dan önce),
T.G.: Tutuşma Gecikmesi (°KA),
T.G.S.: Tutuşma Gecikmesi süresi (s).

Silindir içerisindeki gazın basınç ve sıcaklığının artması tutuşma gecikmesini azaltmaktadır (Huang ve diğ., 2004). Sabit yüklerde (20, 30, 40 Nm) ve farklı devirlerde yapılan test şartlarında tutuşma gecikmesinin analizi yapılmış motor devrinin artmasıyla tutuşma gecikmesinin süre olarak kısaldığı, krank açısı cinsinden ise arttığı tespit edilmiştir. 20 Nm test şartı için 1000 d/d tutuşma gecikmesi KA cinsinden 6,50 °KA iken, 2000 d/d'da 8 °KA ve 3000 d/d'da 10 °KA olarak artmıştır. Buna karşın süre olarak ise 1000 d/d'da 1,08 ms iken, 2000 d/d'da 0,66 ms ve 3000 d/d ise 0,55 ms olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.2'de görüldüğü gibi 30 Nm ve 40 Nm sabit yükler için tutuşma gecikmesi motor devrinin artmasıyla zaman (sn) olarak azaldığı KA cinsinden arttığı görülmektedir.

Motor yükünün artmasıyla tutuşma gecikmesi zaman (sn) ve KA cinsinden azalır (Safgönül ve diğ., 1999). 20, 30 ve 40 Nm sabit yüklerde tutuşma gecikmesi analiz edildiğinde; motor yükünün artmasıyla içeriye giren yakıt miktarının artması (Ek-A.1, A.2, A.3 ve A.4'den) ve sıcaklığın artmasından dolayı tutuşma gecikmesi azalmıştır. Bununla birlikte motor yükünün artışıyla silindir gaz basıncının artışı bu sonucun oluşmasına katkıda bulunmaktadır.

Tam yük test şartlarında tutuşma gecikmesi incelendiğinde Tablo 5.2’de görüldüğü gibi 1000 d/d’den 2000 d/d’ya doğru giderek azaldığı ve 2500, 3000 d/d’da arttığı belirlenmiştir. Motor devrinin ve yükünün 1000-2000 d/d arasındaki artışında silindir içerisindeki basınç ve sıcaklığında artması ile tutuşma gecikmesi süresi kısalmıştır. Püskürtme başlangıcının çok erken gerçekleşmesi tutuşma gecikme süresini arttırmaktadır (Pulkrabek, 1997). Bu durum, yakıtın buharlaşması periyodunda ortamdaki daha çok ısı çekmesi dolayısıyla silindir içi gaz sıcaklığını düşürmesi olarak açıklanmaktadır. Bununla birlikte tutuşma gecikmesini fiziksel olarak silindir içerisine püskürtülen yakıtın buharlaşması ve yanabilmesi için yeterli havanın bulunması gibi faktörlerde etkilemektedir (Ferguson, 1986). Tablo 5.2’i incelendiğinde 2500 d/d ve 3000 d/d’da tam yük test şartlarında EAB’ya diğer test devirlerine göre daha erken ulaşılmakta dolayısıyla daha erken püskürtme yapılmaktadır. Tam yüklerde 2500 ve 3000 d/d’da tutuşma gecikme süresi, Tablo 5.2’de görüldüğü gibi düşük devirlere nazaran artmaktadır. Bu durum, devir sayısının artmasıyla volümetrik verimin düşmesi (Ek- A.4’de 2500 ve 3000 d/d) ve silindire alınan yakıt miktarının artması ile silindir gaz sıcaklığının düşmesi olarak açıklanabilmektedir.

Tam yüklerde tutuşma gecikmesinin analizi yapıldığında tutuşma gecikme süresinin sabit yüklerle göre arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç; motor devrinin artmasıyla (Ek- A.4’den) yakıt tüketiminin artması ve volümetrik veriminde düşmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Aynı test şartlarında püskürtme başlangıcının devrin artışıyla çok daha erken oluşması, silindir içerisindeki yakıt miktarını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak tam yük test şartlarında silindir içerisinde zengin bir karışım oluşmakta ve yakıtın buharlaşma fazında ortamdaki çok ısı çekerek silindir gaz sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte tam yük şartlarında elde edilen ısı dağılımı grafikleri incelendiğinde, tutuşma gecikmesi fazında negatif değere düşme miktarı devrin artışıyla daha çok artması, dolayısıyla silindir gaz sıcaklığının tutuşma gecikmesi fazında daha çok düştüğünü açıkça göstermektedir. Bu sonuçlar tam yüklerde 2500 d/d ve 3000 d/d’da daha düşük devirlere göre tutuşma gecikmesindeki artışın nedenini açıklamaktadır.

5.2. Tartışma ve Öneriler

Bu çalışmada motor performansını belirleyen moment, güç, yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi parametreleri belirlenmiştir. Test şartları olarak 1000-3000 d/d ve 20, 30, 40 Nm ile tam yük şartları seçilmiştir. Motor momenti belli bir devire kadar artmakta, daha sonra tekrar düşmektedir. Motor gücü ise devir ve yakıt tüketiminin artışıyla belirli bir değere kadar doğru orantılı olarak artmaktadır. Saatteki yakıt tüketimi motor devrine ve yüküne bağlı olarak değişmektedir. Özgül yakıt tüketimi maksimum torkun elde edildiği değere kadar azalmakta, daha sonra tekrar artmaktadır. Testler sonucunda elde edilen sonuçlar kullanılarak motorun termik verimi hesaplanmıştır. Maksimum motor momentinin elde edildiği 2000 d/d'da termik verim maksimum değerini almıştır. 2000 d/d'da özgül yakıt tüketimi en düşük değerdedir. Bununla birlikte bu test şartlarında yanma sonu basınç ve sıcaklık değerlerinin maksimum seviyeye ulaşması termik verimin maksimum değerinde elde edilmesini sağlamıştır.

Yanma analizleri yapılarak farklı motor yüklerinde P-V diyagramları karşılaştırılmış ve motor yükünün artmasıyla net işin arttığı tespit edilmiştir. Maksimum silindir basıncının motor devrine ve yüküne bağlı olarak arttığı, motor devri ve momenti arttıkça maksimum silindir basıncının yerinin ÜÖN'ya doğru yaklaştığı belirlenmiştir. Enjektör açılma basıncına motor devrinin ve yükünün artmasıyla daha erken ulaşıldığı ve yanmanın daha erken başladığı belirlenmiştir. Isı dağılımı eğrilerinin başlangıç noktaları, motor yükünün artmasıyla daha erken gerçekleşmekte ve maksimum ısı dağılımı düşük yüklere gidildikçe ÜÖN'ya doğru yaklaşmaktadır.

Tutuşma gecikmesi sabit yüklerde motor devrinin artmasıyla KA cinsinden artmakta ve süre (sn) cinsinden azalmakta olduğu belirlenmiştir. Bu silindir içi basınç ve sıcaklığın artması, bununla beraber yakıtın yüksek devirlerde atomizasyonunun artması ve daha çok ısı iletimi olarak açıklanabilmektedir.

Sabit yüklerde motor yükünün artmasıyla tutuşma gecikmesi zaman ve KA cinsinden azaldığı tespit edilmiştir. Motor yükünün artmasıyla içeriye alınan enerji miktarı

artmaktadır. Aynı zamanda silindir içindeki artan basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısmen azaltmıştır.

Tam yük testlerinde motor devrinin 1000 d/d'dan 2000 d/d'ya artarken tutuşma gecikmesi süre ve KA cinsinden azalmıştır. Bu sonuca motor yükü ve devrinin artması neden olmaktadır. 2500 ve 3000 d/d'da tam yük şartlarında ise tutuşma gecikmesi düşük devirlere göre artmaktadır. 2500 ve 3000 d/d'da püskürtme başlangıcı daha erken gerçekleşmekte ve silindir içerisine alınan yakıt miktarı artmaktadır. Silindire alınan yakıt miktarının artması ve volümetrik verimin düşmesi ortamdaki daha fazla ısı çekilmesine ve silindir gaz sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak tam yük şartlarında 2500 ve 3000 d/d'da ısı dağılımı eğrilerindeki negatif değere düşme miktarı artmıştır. Bu düşüş ise tutuşma gecikmesinin artışına neden olmuştur. Tam yük test şartlarındaki tutuşma gecikmesinin, sabit yüklere göre artmakta olmasının sebebi ise yine yakıt tüketimindeki artış ve volümetrik verimdeki düşüştür.

Silindir gaz basıncının ölçülmesiyle motorda kullanılan yakıtların motor performansına etkileri ve yanma karakteristikleri belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, silindir gaz basıncı verileri kullanılarak bir kontrol sistemiyle yanmanın kontrolü yapılarak, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve motor gürültüsü azaltılabilecektir. Fakat silindir gaz basıncının araç hareket halindeyken ölçülmesi, gerek motoru gerekse sensörün tasarımından dolayı uygun değildir. Fakat silindir basınçlarının araç üzerinde oluşturduğu titreşim bir titreşim sensörü ile ölçülebilir. Buradan yola çıkarak gelecek çalışmalarda, test motoru üzerinde silindir gaz basıncı verileri ve bir titreşim sensörüyle aracın titreşim verileri aynı anda toplanarak karşılaştırılabilir. Karşılaştırma sonucunda veriler arasında bir model oluşturularak titreşim sensörü sinyallerinden motorun silindir gaz basıncı değerleri elde edilebilir. Daha sonra oluşturulan bu model hareket halindeki bir araca uygulanarak yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve gürültü üzerindeki etkileri incelenebilir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde üniversitelerdeki motor test sistemlerinin genel olarak eğitim amaçlı kurulduğu gözlemlenmiştir. Kocaeli Üniversitesi, Makina Eğitimi Bölümü'nde eğitim amaçlı olarak kurulan bu motor test sistemi, uygulamalı

dersler için bir eğitim seti olmuş ve derslerin içeriğini zenginleştirmiştir. Bununla birlikte kurulan motor test sistemi, hem lisans hem de lisansüstü çalışmaların yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Bu nedenle ileride yapılacak motor testlerinde alternatif yakıt, farklı performans parametrelerinin incelenmesi gibi çalışmalar için bu sistem kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Advantech, 250 KS/s, 16-bit, 16-ch High-Resolution Multifunction Card, Advantech Trusted ePlatform S., <http://www.advantech.com.tw/products/ModelDetail.asp?modeid=1-UC7DQ>, (**Ziyaret tarihi:4 Mart 2006**).

Ajav, E.A., Singh, B., Bhattacharya, T.K., “Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol – diesel blends as fuel” *Biomass and Bioenergy*, 17, 357-365, (1999).

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

Arslan, H.E., “Taşıt Motorlarında Araştırma ve Deney Teknikleri”, *İTÜ*, İstanbul, 15-65, (1994).

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

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

Bergeron, B., Dynamometer [online], Land and Sea, <http://www.land-and-sea.com/dyno-dynamometer-article.htm> (**Ziyaret tarihi:18 Kasım 2005**).

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

BMC Motor Katalogu, *BMC*, İzmir, (1998).

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

Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten yanmalı motorlar”, Cilt I, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2*, 85-105, (1994).

Borman, G.L., Ragland, K.W., “Combustion Engineering” *McGraw-Hill,Inc.*, New York, 388-399, (1998).

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

Canakci, M., “Production of Biodiesel from Feedstocks with High Free Fatty Acids and its Effect on Diesel Engine Performance and Emissions”, *Ph.D. Dissertation, Iowa State University*, 63-73, (2001).

Celikten, I., “An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines” *Applied Thermal Engineering*, 23, 2051-2060, (2003).

Chan, W.W., Rong, H.C., Jen, Y.P., Ta, H. L., “The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels”, *Atmospheric Environment*, 38, 7093–7100, (2004).

Cussons, “Instruction Manual” , *Cussons Technology*, 22-23, (1993).

Çelik, M.B., Bayır, R., “Bilgisayar destekli motor test standı için kullanıcı ara yüzü yazılım tasarımı”, *4th International Advanced Technologies Symposium*, Konya, 28-30, Eylül (2005).

Encyclopedia Britannica, Prony Brake [online], About Inventors, <http://inventors.about.com/library/inventors/blprony.htm> (**Ziyaret tarihi:25 Kasım 2005**).

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

Figliola, R.S., Beasley, D.E., “Theory and Design For Mechanical Measurement” *John Wiley & Sons* , Newyork, 160-185, (1991).

Gazi Obitet, Algılayıcılar (Sensörler –Transducers), Gazi Üniversitesi TEF Obitet, <http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/sensorler/algilayici.htm>, (**Ziyaret tarihi:18 Aralık 2005**).

Ghojel, J., Honnery, D., “Heat release model for the combustion of diesel oil emulsions in DI diesel engines”, *Applied Thermal Engineering*, 25, 2072-2085, (2005).

Heywood, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals” *McGraw-Hill,Inc.*, New York, 128-136, (1988).

Holman, J.P., “Experimental methods for engineers” *McGraw-Hill,Inc.*, New York, 330-345, (1994).

Horiba, Hydraulic Dynamometer [online], Horiba Automotive Test System, http://www.schenck-dts.com/Hydraulic_Dynamomete.300.0.html (**Ziyaret tarihi: 14 Ekim 2005**).

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).

Huang, Z., Lu, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B., Zhang, J., Wang, X., “Combustion behaviors of a compression-ignition engine fuelled with diesel/

methanol blends under various fuel delivery advance angles”, *Bioresource Technology* 95, 331–341, (2004).

Huzayyin, A.S., Bawady, A.H., Rady, M.A., Dawood A., “Experimental valuation of Diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and Diesel fuel”, *Energy Conversion and Management* , 45, 2093–2112,(2004).

Icingur, Y., Altiparmak, D., “Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI Diesel engine performance and emissions”, *Energy Conversion and Management*, 44, 389–397, (2002).

İçingür, Y., Haşimoğlu, C., “Dizel motorlarında NOx kontrol yöntemleri”, *Konya Selçuk Üniversitesi İnternet Online Dergisi*, Sayı 2, Ekim 2000-Ocak (2001).

İlbas, M., Yılmaz, İ. “Farklı ısıl güçlerdeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18, 18-27, (2002).

Johnson R., “Cylinder pressure reconstruction based on complex radial basis function Networks from vibration and speed signals”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Baskıda, (2005)

Keck, J. “Turbulent flame structure and speed in SI engines” *Nineteenth Symposium on Combustion/The Combustion Institute.*, 1451-1466, Pitsburg, (1982)

Kionik, MEMS Sensor Terminology, <http://www.kionix.com/Adobe-Documents/MEMS%20Sensor%20Terminology.pdf>, (Ziyaret tarihi:10 Şubat 2006).

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

Kistler, ThermoCOMP® Quartz Pressure Sensor, Data Sheet 6061B, <http://www.kistler.com/mediaaccess/ml/000-020m-9.95.pdf?sid=c0a86c272329f5858a35918b45d19dcd32fcfc7a18e&location=do.searchResult.us.en-us?Content=searchresult¶m=6061B>, (Ziyaret tarihi:20 Mart 2006).

Korte, R., The basics of encoders [online], MMS Online Article, <http://www.mmsonline.com/articles/049703.html> (Ziyaret tarihi:18 Aralık 2005).

Krlab, Motion on prescribed trajectory [online], Knowledge Representation Laboratory, [http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/b5.htm#Lever%20balance%20as%20dynamometer%20\(Prony's%20Brake\)](http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/b5.htm#Lever%20balance%20as%20dynamometer%20(Prony's%20Brake)) (Ziyaret tarihi:18 Aralık 2005).

Kumar, M.S., Kerihuel, A., Belletre, 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).

Magtrol, Eddy Current Dynamometers [online], Magtrol Inc. http://www.magtrol.com/motortesting/wb_dynamometers.htm (Ziyaret tarihi:1 Aralık 2005).

Mattias, N., Thomas, S., “Model based diagnosis of the air path of an automotive diesel engine”, *Control Engineering Practice*,12, 513-525, (2004).

MSD Ignition,“Trigger Pickups: Magnetic vs Optical”, *MSD Tech Bulletin*, 1-2, (2006).

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

Picotech, Trigger Signals [online], Pico Technology Automotive Tutorial, <http://www.picotech.com/auto/tutorials/trigger-signals.html> (Ziyaret tarihi:13 Ocak 2006).

Plint, M., Martyr, A., “Engine Testing: Theory and Practice”, *Buttrworth-Heinemann Oxford*, 85-105, (1995).

Pulkrabek, W.W., “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine” *Prentice Hall*, New Jersey, 251-260, (1997).

Rakopoulos, C.D., Antapoulos, K.A., Rakopoulos, D.C., Giakoumis, E.G., “Study of combustion in a divided chamber turbocharged diesel engine by experimental heat release analysis in its chambers”, *Applied Thermal Engineering*, Baskıda, (2006).

Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Giakoumis, E.G., Kyritsis, D.C., “Validation and sensitivity analysis of a two zone diesel engine model for combustion and emissions prediction”, *Energy Conversion and Management*, 45, 1471-1495, (2004).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 124-138, (1999).

Sayın, C., “Oktan sayısı ve LPG karışımının buji ateşlemeli bir motorun performans ve emisyonuna etkisinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 20-40, (2004).

Sayın C., Kilicaslan, I., “An Experimental of Octane Rating Effect on Engine Performance”, *Gazi University 7th Internal Combustion Symposium*, July 17-18, (2002).

Sayın, C., Kilicaslan, I., Canakci, M., Ozsezen, N., “An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions”, *Applied Thermal Engineering*, 25, 1315-1324, (2005a).

Sayin, C., Kilicaslan, I., Canakci, M, Kilicaslan, I., Binark, A.K., “Buji ile ateşlemeli motorlarda çift yakıtlı (Benzin+Spg) Çalışma”, **1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi**, Baskıda, İstanbul/Türkiye, 5-7 Eylül (2005b).

Selim, M.Y.E., “Effect of engine parameters and gaseous fuel type on the cyclic variability of dual fuel engines”, **Fuel**, 84, 961-971, (2005).

Stone, R., “Introduction to Internal Combustion Engine”, 2nd Edition, **MacMillan**, London, 115-145, (1992).

Staudt, W., “Motorlu Taşıt Tekniği”, **Milli Eğitim Basımevi**, İstanbul, 380-382, (2000).

Superflow, What is the difference between a water brake and eddy current absorber?, Superflow Technologies Group, [http://www.superflow.com /support /support-engdyno-ec-wb.htm](http://www.superflow.com/support/support-engdyno-ec-wb.htm) (**Ziyaret tarihi:5 Kasım 2005**).

Ulusoy, Y., Alibas, K., “Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 16, 37-50, (2002).

University of Wisconsin, Department of Mechanical Engineering, Introduction to Sensor terminology, [http://mechatron.me.wisc.edu/Courses/me601/terms/ sensor term.html](http://mechatron.me.wisc.edu/Courses/me601/terms/sensor term.html), (**Ziyaret tarihi: 2 Mart 2006**).

Wikerson Instrument, Frequency Input, Wikerson Instrument Co., Ink., <http://wici.com/oem/interest/freqinput.htm> (**Ziyaret tarihi:21 Ocak 2006**).

Yilmaz, E. “Engine and dynamometer system service and fuel consumption measurement”, **Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition**, (2004).

Zhao, H., Ladammatos, N., “Engine combustion instrumentation and diagnostics” **SAE Publication**, 2-109, (2001).

EKLER

EK-A

EK –A.1 20 Nm test sonuçları

Yükleme Miktarı (Nm)	20				
Yakıt	Normal Motorin				
Motor Devri (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000
Eğik manometrede ölçülen değer (mm H ₂ O)	10	18	36	51	63
Çevre sıcaklığı (°C)	18	17,7	18,6	18,8	20
Atmosfer basıncı (mmHg)	738	738	738	738	738
Yakıt tüketim zamanı (s)	183	189	232	190	228
Yakıt tüketim miktarı (g)	60	100	160	180	270
Efektif Güç (kW)	2,0933	3,14	4,1867	5,2333	6,28
Yakıt tüketimi (g/s)	0,3279	0,5291	0,6897	0,9474	1,1842
Yakıt tüketimi (kg/saat)	1,1803	1,9048	2,4828	3,4105	4,2632
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	563,81	606,61	593,02	651,59	678,85
Fren ortalama efektif basıncı (kPa)	139,7	139,7	139,7	139,7	139,7
Atmosfer basıncı (kPa)	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4
Havanın mutlak sıcaklığı (K)	291,15	290,85	291,75	291,95	293,15
Havanın yoğunluğu (kg/m ³)	1,1776	1,1788	1,1752	1,1744	1,1696
Eğik Man. dif. basınç farkı (Pa)	100	180	360	510	630
Bağıl Nem (%)	45,2	46,1	45,7	45,2	41,2
Pratik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0151	0,0203	0,0287	0,0341	0,0379
Teorik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0177	0,0265	0,0352	0,044	0,0526
Volumetrik verim (%)	0,86	0,77	0,81	0,78	0,72
Termik verim (%)	15,2	14,13	14,45	13,15	12,63
Yakıt sıcaklığı (°C)	18,5	21,7	22,5	24,3	21,2
Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	55	58	63	68	76
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	61	63	68	74	83
Motor yağ sıcaklığı (°C)	90	85	91	96	113

EK –A.2 30 Nm test sonuçları

Yükleme Miktarı (Nm)	30				
Yakıt	Normal Motorin				
Motor Devri (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000
Eğik manometrede ölçülen değer (mm H ₂ O)	10	18	35	50	61
Çevre sıcaklığı (°C)	17,2	17,7	17,7	18,6	19,7
Atmosfer basıncı (mmHg)	738	738	738	738	738
Yakıt tüketim zamanı (s)	203	195	193	189	191
Yakıt tüketim miktarı (g)	80	110	150	190	250
Efektif Güç (kW)	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42
Yakıt tüketimi (g/s)	0,3941	0,5641	0,7772	1,0053	1,3089
Yakıt tüketimi (kg/saat)	1,4187	2,0308	2,7979	3,619	4,712
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	451,82	431,16	445,53	461,03	500,22
Fren ortalama efektif basıncı (kPa)	209,55	209,55	209,55	209,55	209,55
Atmosfer basıncı (kPa)	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4
Havanın mutlak sıcaklığı (K)	290,35	290,85	290,85	291,75	292,85
Havanın yoğunluğu (kg/m ³)	1,1808	1,1788	1,1788	1,1752	1,1708
Bağıl Nem (%)	47	46,5	45,8	41,3	43,3
Eğik Man. dif. basınç farkı (Pa)	100	180	350	500	610
Pratik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0152	0,0203	0,0283	0,0338	0,0373
Teorik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0177	0,0265	0,0353	0,044	0,0527
Volümetrik verim (%)	0,86	0,77	0,8	0,77	0,71
Termik verim (%)	18,97	19,88	19,24	18,59	17,14
Yakıt sıcaklığı (°C)	21,3	22,5	24,1	24,7	24,1
Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	56	58	61	69	82
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	62	63	69	74	89
Motor yağ sıcaklığı (°C)	69	82	91	102	108

EK –A.3 40 Nm test sonuçları

Yükleme Miktarı (Nm)	40				
Yakıt	Normal Motorin				
Motor Devri (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000
Eğik manometrede ölçülen değer (mm H ₂ O)	9	17	34	51	61
Çevre sıcaklığı (°C)	15,5	17,4	18,3	19,1	21,1
Atmosfer basıncı (mmHg)	739	740	740	740	740
Yakıt tüketim zamanı (s)	190	209	263	280	195
Yakıt tüketim miktarı (g)	80	140	230	340	300
Efektif Güç (kW)	4,1867	6,28	8,3733	10,4667	12,56
Yakıt tüketimi (g/s)	0,4211	0,6699	0,8745	1,2143	1,5385
Yakıt tüketimi (kg/saat)	1,5158	2,4115	3,1483	4,3714	5,5385
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	362,05	383,99	375,99	417,65	440,96
Fren ortalama efektif basıncı (kPa)	279,4	279,4	279,4	279,4	279,4
Atmosfer basıncı (kPa)	98,53	98,67	98,67	98,67	98,67
Havanın mutlak sıcaklığı (K)	288,65	290,55	291,45	292,25	294,25
Havanın yoğunluğu (kg/m ³)	1,1894	1,1832	1,1796	1,1763	1,1683
Bağıl Nem (%)	46,2	44,5	43,3	40,6	38,3
Eğik Man.dif. basınç farkı (Pa)	90	170	340	510	610
Pratik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0144	0,0198	0,0279	0,0342	0,0372
Teorik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0178	0,0266	0,0354	0,0441	0,0525
Volümetrik verim (%)	0,81	0,74	0,79	0,77	0,71
Termik verim (%)	23,67	22,32	26,12	25,76	25,61
Yakıt sıcaklığı (°C)	22	22,5	24,5	27,2	28,1
Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	56	61	66	75	89
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	62	65	71	81	97
Motor yağ sıcaklığı (°C)	70	83	92	102	117

EK –A.4 Tam yük test sonuçları

Yükleme Miktarı (Nm)	74,46	80,94	90,64	80,94	74,46
Yakıt	Normal Motorin				
Motor Devri (d/d)	1000	1500	2000	2500	3000
Eğik manometrede ölçülen değer (mm H ₂ O)	10,5	16	38	52	58
Çevre sıcaklığı (°C)	17,7	16,6	20,5	19,1	19,4
Atmosfer basıncı (mmHg)	740	739	738	738	738
Yakıt tüketim zamanı (s)	230	251	185	235	207
Yakıt tüketim miktarı (g)	170	295	320	460	450
Efektif Güç (kW)	7,7935	12,7076	18,974	21,1793	23,3804
Yakıt tüketimi (g/s)	0,7391	1,1753	1,7297	1,9574	2,1739
Yakıt tüketimi (kg/saat)	2,6609	4,2311	6,227	7,0468	7,8261
Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)	341,42	332,95	328,18	332,72	334,72
Fren ortalama efektif basıncı (kPa)	520,1	565,36	633,11	565,36	520,1
Atmosfer basıncı (kPa)	98,67	98,53	98,4	98,4	98,4
Havanın mutlak sıcaklığı (K)	290,85	289,75	293,65	292,25	292,55
Havanın yoğunluğu (kg/m ³)	1,182	1,1849	1,1676	1,1732	1,172
Bağıl Nem (%)	37,7	30,9	25,2	28,3	31,3
Eğik Man.dif. basınç farkı (Pa)	105	160	380	520	580
Pratik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0155	0,0192	0,0294	0,0344	0,0364
Teroik kütleli hava akışı (kg/s)	0,0177	0,0266	0,035	0,044	0,0527
Volumetrik verim (%)	0,88	0,72	0,84	0,78	0,69
Termik Verim (%)	25,11	25,74	26,12	25,76	25,61
Yakıt sıcaklığı (°C)	29,2	31,4	30,6	31,2	29
Soğutma suyu giriş sıcaklığı (°C)	70	82	94	94	94
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C)	76	90	104	104	104
Motor yağ sıcaklığı (°C)	88	88	105	112	115

EK-B

1. Veri Analiz Programı

% 1. Veri Analiz Programı

```
clc;  
clear all;  
close all;
```

% Veri Dosyasının Yüklenmesi

```
load bs;  
t=bs(:,1);  
p=bs(:,2);  
u=bs(:,4);
```

```
basl=t(1);  
bitis=basl+size(t,1);  
tt=[basl:1:bitis-1]';
```

% Grafiğin Çizdirilmek İstenilen Aralığın Girilmesi

```
b=input('Grafiği çizdirmek istediğiniz noktanın başlangicini girin:');  
s=input('Grafiği çizdirmek istediğiniz noktanın sonunu girin:');
```

% Grafiğin Çizdirilmesi

```
figure(2)  
plot(tt,p,'r',tt,u,'b')  
legend('kanal1','kanal2')  
axis([b s -10 10])  
legend('kanal1','kanal2')  
grid
```

% Üst Ölü Noktanın Ortalama Değerinin Girilmesi ve % Tepe Noktalarının Bulunması

```
v=input('Grafiği inceleyerek üst ölü noktanın ortalama değerini girin:');  
uu=zeros(length(u),1);  
xx=find(u>v);  
uu(xx)=u(xx);
```

```
deger=[];
```

```
for i=b:(s)
```

```
    if (uu(i)-uu(i-1))>0 && (uu(i+1)-uu(i))<0  
        deger=[deger i];  
    end  
end
```

```
deger';  
  
for i=1:length(deger)-2  
    fark(i)=deger(i+2)-deger(i);  
end  
  
fark';  
  
fark=[0 fark 0];  
a=deger'-1;  
son=[a,fark']
```

EK-C

1. Veri Analiz Programı

% 2. Veri Analiz Programı

**% Silindir Gaz Basıncı, Ust Ölü Nokta ve Krank Açısı Değerlerinin Ortalaması
% P-KA, P-V, LogP-LogV, Q-KA grafiklerinin Çıkarılması**

```
clc;  
clear all;  
close all;
```

% Silindir Gas Basıncı ve Ust Ölü Nokta ve Krank Açısı Değerlerinin Ortalaması Ve Grafiği

```
load bs;  
p=bs(:,2);  
u=bs(:,4);
```

% Referans Değerlerin Girilmesi

```
vs=input('Veri Sayısını Girin: ');  
sayi=input('Cevrim Sayısını Girin:');  
for i=1:sayi  
    i  
    b(i)=input('Başlangıç değerini giriniz: ');  
    v(i)=input('i. veri adedini giriniz:');  
end
```

```
m=[];  
n=[];
```

```
for i=1:sayi  
    k_m=[p(b(i):b(i)+v(i))];  
    k_n=[u(b(i):b(i)+v(i))];  
    sil=round(linspace(1, v(i), v(i)-vs+1));  
    k_m(sil,:)=[];  
    k_n(sil,:)=[];  
    m=[m k_m];  
    n=[n k_n];  
end
```

```
m=m';  
n=n';
```

```
eb=mean(m);
```

```
eu=mean(n);
```

% Fazla Verilerin Silinmesi

```
sil=round(linspace(1, vs, vs-2880));  
eb(:,sil)=[];  
eu(:,sil)=[];
```

% Basınç ve Üst Ölü nokta Verilerinin -180 ila 540 Derece Arasında % Düzenlenmesi İşlemi

```
bbas=eb(1:720);  
ppp=[eb bbas];  
ppp(1:720)=[];
```

```
usts=eu(1:720);  
uuu=[eu usts];  
uuu(1:720)=[];
```

% Silindir Basıncının Mutlak Basınca Dönüştürülmesi

```
bss=((ppp-ppp(1))*25)+1;
```

% Bar birimindeki basıncın kPa çevrilmesi

```
pp=bss.*100;
```

% Üst Ölü nokta Veri Değerinin Yükseltilmesi

```
uu=uuu*100;
```

% Basıncın ve Üst Ölü Noktanın Dijital Filtrelenmesi

```
jj=2:2879;  
p=(pp(jj+1)+pp(jj)+pp(jj-1))/3;  
u=(uu(jj+1)+uu(jj)+uu(jj-1))/3;
```

% Kran Açısının 0,25 Derece Aralıkla Düzenlenmesi

```
ka=-179.75:0.25:539.50;
```

% Test Motoru Verilerinin Girilmesi

```
% Strok (st)  
st=0.0889;
```

```
% Biyel Kolu Uzunluğu (by)  
by=0.158;
```

```
% Sıkıştırma Oranı(so)  
so=21.4700;
```

```
% Piston Çapı (pc)
```

```

pc=0.08026;
% Piston Alanı (pa)
pa=(pi*pc^2)/4;

% Strok Hacmi (vs)
vs=pa*st;

% Yanma Odası Hacmi (vc)
vc=(vd/(so-1));

% R Katsayısının Hesaplanması
R=by/(st/2);

% Hacim Hesabının Yapılması için Alt Hesaplamalar

y=vs/(so-1);
z=vs/2;
o=1+R-cos(ka*pi/180);
nn=sin(ka*pi/180);
w=sqrt(R^2-nn.^2);

% Hacmin Bulunması
h=y+(z*(o-w));

% Isı Dağılımının Hesaplanması

ii=3:2876;
dpp=-p(ii+2)+8*p(ii+1)-8*p(ii-1)+p(ii-2);
dp=dpp/12*0.25;
dhh=-h(ii+2)+8*h(ii+1)-8*h(ii-1)+h(ii-2);
dh=dhh/12*0.25;

% dp ve dh in Filtrelenmesi

jj=2:2873;
dps=(dp(jj+1)+dp(jj)+dp(jj-1))/3;
dhs=(dh(jj+1)+dh(jj)+dh(jj-1))/3;

% Filtrelemeler sonu kalan verilerin aynı vektör boyutuna getirilmesi

sil=round(linspace(1, 2878, 6));
p(:,sil)=[];
h(:,sil)=[];
ka(:,sil)=[];
u(:,sil)=[];

% Isı Dağılımının Bulunması

isi=(3.86*(p.*dhs))+(2.86*(h.*dps))

% Isı Dağılımının Filtrelenmesi

o=2:2871;
isif=(isi(o+1)+isi(o)+isi(o-1))/3;

```


%Logaritmik Hacim ve Basıncın Bulunması

```
lh=log(h);  
lp=log(p);
```

% Grafiklerin Çizdirilmesi

% Basıncı Krank Açısı Grafiği

```
figure(1)  
plot(ka,p,'b','ka,u,r');  
legend('basinc','ust olu nokta')  
grid  
title('Basinc - KA Grafiği')
```

% P-V'nin Oluşturulması

```
figure(2)  
plot(h,p);  
legend('hacim','basinc')  
grid  
title('P-V Grafiği')
```

% Logaritmik P-V'nin Oluşturulması

```
figure(3)  
plot(lh,lp);  
legend('loghac','logbas')  
grid  
title('LOG p-V Grafiği')
```

% Isı Krank Açısı Dağılımı Grafiğinin Oluşturulması

% Krank Açısının Filtrelenmeden Sonraki Boyutuna Göre KA'nın Düzenlenmesi

```
sil=round(linspace(1, 2872, 2));  
ka(:,sil)=[];
```

% Isı Dağılımı Grafiğinin Çizdirilmesi

```
figure(4)  
plot(ka,isif);  
legend('isi','ka')  
grid  
title('Isı Dağılımı(q-ka) Grafiği')
```

ÖZGEÇMİŞ

Ali TÜRKCAN, 1977 yılında Muğla'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Ula'da tamamladı. Muğla Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdikten sonra, 1996 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden 2001 yılında Teknik Öğretmen unvanı alarak mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2002 yılında askerlik hizmetini tamamladı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yapmış olduğu çalışmalar sonucunda 1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresinde “İçten Yanmalı Motor Testleri İçin Eğitim Amaçlı Bir Deney Sisteminin Kurulması” ve “Otomotiv Güvenlik Sistemi İçin Mekatronik Bir Uygulama” başlıklı bildirileri bulunmaktadır. Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.