

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MODERN BİR NHDD MOTORUN ELEKTRONİK
KONTROL ÜNİTESİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Emre ÇELİK**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**MODERN BİR NHDD MOTORUN ELEKTRONİK
KONTROL ÜNİTESİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Emre ÇELİK
(503031006)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Ertuğrul ARSLAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Metin ERGENEMAN (İ.T.Ü.)
Prof. İrfan YAVAŞLIOL (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Motor teknolojisinde yaşanan elektronik yenilikler binek otomobillerden sonra ağır ticari vasıtalarda da kullanılmaya başlandı. Elektronik kontrol üniteleri ile araçların motor ve güç aktarım sistemlerini kontrol etmek, zorlaşan rekabet koşulları ve ağırlaşan emisyon regülasyonları için vazgeçilmez bir mühendislik optimizasyon aracı oldu. Bu elektronik kontrol ünitelerini doğru şekilde incelenmesi ve motor kalibrasyonlarının en iyi şekilde yapılması üretici firmalar için bir zorunluluk olmuştur.

Bu yüksek lisans tezinde NHDD motora ait elektronik kontrol ünitesi incelenmiştir. Motor parametreleri değiştirilerek bunların motor özellikleri üstündeki etkisi bulunmuş ve yol testleri ile araç özelliklerinin motor çalışma parametreleri üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Yüksek lisans tezim sırasında bana her zaman destek olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok sevgili anneme, katkılarından dolayı bu tezin ortaya çıkmasında öncülük eden ve gerçekleşmesini sağlayan Yüksek Lisans Tez Danışmanım Sn. Prof. Dr. H. Ertuğrul Arslan'a ve tüm Ford OTOSAN Ürün Geliştirme Departmanı' na teşekkür ederim.

Haziran 2007

Emre ÇELİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	iv
ÖZET	x
SUMMARY	xi

1. GİRİŞ	1
2. DİZEL MOTOR	2
2.1 Dizel Motorların Çalışma Prensipleri	2
2.1.1 Çalışma Metodu	2
2.1.2 Dört Temel Çevrim	3
2.1.3 Valf Zamanlaması	5
2.1.4 Sıkıştırma Oranı	5
2.1.5 Tork ve Güç üretimi	6
2.1.6 Motor Verimi	7
2.2 Motor Çalışma Durumları	9
2.2.1 Motorun Çalıştırılması	9
2.2.2 Sıfır Yük	10
2.2.3 Rölanti	11
2.2.4 Tam Yük	11
2.2.5 Kısmi Yükler	11
2.2.6 Aşırı Yükleme	11
2.2.7 Sabit ve Sabit Olmayan Durum	11
2.3 Motor Çalışma Koşulları	12
2.3.1 Emisyon Sınırları	13
2.3.2 Yanma Basınç Sınırları	13
2.3.3 Egzoz Sıcaklık Sınırı	13
2.3.4 Motor Hızı Sınırı	13
3. ELEKTRONİK DİZEL KONTROL	15
3.1 Sensörler	17
3.1.1 Krank Pozisyon Sensörü	17
3.1.2 Kam Algılayıcısı	19
3.1.3 Araç Hızının Algılanması	22
3.1.4 Gaz Pedalı Pozisyonun Algılanması	22
3.1.5 Açık Hava Basıncının ve Hava Sıcaklığının Algılanması	23
3.1.6 Diğer Verilerin Algılanması	24
3.2 Kontrol Ünitesi	25

3.2.1 Püskürtülecek Yakıt Miktarı	25
3.2.2 Yakıt Basıncı Kontrolü	26
3.2.3 Seyahat Kontrolü ve Araç Azami Hızı	27
3.2.4 Duman ve Tork limiti.....	28
3.2.5 Silindir Dengelenmesi.....	29
3.2.6 Püskürtme Zamanları	29
3.2.7 Egzoz Gazı Resirkülasyonu	29
3.2.8 Motor Hata Kodları ve Görüntülenmesi	30
4. MOTOR KALİBRASYONU ve ARAÇ TESTLERİ	31
4.1 Araç Tanımı ve Özellikleri.....	31
4.2 Dinamometre Testleri:	34
4.2.1 Yakıt Haritaların Çıkarılması.....	34
4.2.2 Yakıt Tüketimi ve Emisyon Gazları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi ve Haritaların Düzenlenmesi	35
4.2.3 Motor Kalibrasyonu ve Motor Parametrelerinin Motor Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	36
4.2.3.1 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Etkisi.....	37
4.2.3.2 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin NOx Emisyonlarına Etkisi	38
4.2.3.3 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Gaz Pedalı Açısına Etkisi	39
4.2.3.4 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi	40
4.2.3.5 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Farklı Motor Yüklerinde Etkisi	41
4.2.3.6 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin NOx Emisyonlarına Farklı Motor Yüklerinde Etkisi.....	42
4.2.3.7 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Özgül Yakıt Tüketimine Farklı Motor Yüklerinde Etkisi.....	43
4.2.3.8 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Farklı Motor Devirlerinde Etkisi	44
4.2.3.9 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin NOx Emisyonlarına Farklı Motor Devirlerinde Etkisi	45
4.2.3.10 Püskürme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Özgül Yakıt Tüketimine Farklı Motor Devirlerinde Etkisi.....	46
4.3 Yol Testleri	49
4.3.1 Elektronik Kontrol Sistemine Veri Toplama Cihazını Bağlanması.....	49
4.3.2 CAN Kanalların Ayrıştırılması	50
4.3.3 Parametre Kanallarının Veri Toplama Cihazına Tanıtılması.....	52
4.3.4 0-100 Hızlanma Testi Üzerinden Sinyallerin İncelenmesi	54
4.3.5 Sabit Vites Esneklik Testleri Üzerinden Parametrelerin İncelenmesi	58
4.3.6 Sabit Hız Testleri	64
4.3.7 Yoldan Sürüş Verisi Toplanması	69
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	78

KISALTMALAR

NHDD	: New Heavy Duty Diesel
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünites
BDC	: Alt Ölü Nokta
TDC	: Üst Ölü Nokta
EO	: Egzoz Açılma Zamanı
EC	: Egzoz Kapanma Zamanı
IO	: Emme Açılma Zamanı
IC	: Emme Kapanma Zamanı
IP	: Enjeksiyon Zamanı
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
PID	: Oransal Diferansiyel İntegral Kontrol
PI	: Oransal İntegral Kontrol
EGR	: Egzoz Gazı Resürkilasyonu
SCR	: Seçici Katalatik Dönüştürücü
Aa	: Avans Açısı
CAN	: Controlled Area Network

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1: Test Motoru.....	31
Tablo 4.2: EC Emisyon Regülasyonu Test Noktaları.....	36
Tablo 4.3: Motor Çalışma Noktası.....	37
Tablo 4.4: Farklı Yüklerde Motor Çalışma Noktaları	41
Tablo 4.5: Farklı Devirlerde Motor Çalışma Noktaları.....	44
Tablo 4.6: 1975 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları	47
Tablo 4.7: 1680 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları	48
Tablo 4.8: 1385 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları	48
Tablo 4.9: Araç Testleri Sırasında Toplanan Veriler.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Dizel Motor ve Bileşenleri	3
Şekil 2.2: Dizel Motorda Dört Temel Çevrim	4
Şekil 2.3: Valf Zamanlaması	5
Şekil 2.4: Teorik Dizel Çevrimi	7
Şekil 2.5: Deneysel Dizel Çevrimi	8
Şekil 2.6: Yakıt Isıtma Sistemi	10
Şekil 2.7: Pedal Pozisyonu ve Devire Göre Değişen Motor Güç Eğrileri.....	12
Şekil 3.1: Dizel Elektronik Kontrol Sistemi	16
Şekil 3.2: Krank Pozisyon Sensörü	17
Şekil 3.3 Krank Sensörü Dış Sayma Şematiği.....	18
Şekil 3.4: Krank Sensörü Akım Değişimi	18
Şekil 3.5: Kam Sensörü	19
Şekil 3.6 Kam Sensörü Dış Sayma Şematiği	20
Şekil 3.7: Kam Sensörü Akım Değişimi	20
Şekil 3.8: Kam Sensörü Pozisyon Algılama Şematiği.....	21
Şekil 3.9: Kam Sensörü Açısız Çalışma Aralığı.....	22
Şekil 3.10:Gaz Pedalı ve Pozisyon Sensörü	23
Şekil 4.1: Ecotorq Motor ve Elektronik Kontrol Ünitesi Gerçek	
Şekil 4.2: Ford Cargo 3230 S Test Kamyonu.....	33
Şekil 4.3: Pedal Pozisyonu ile Özgül Yakıt Tüketiminin Çeşitli Devirlerde Değişimi	35
Şekil 4.4: Motor Kalibrasyon Akış Şeması	37
Şekil 4.5: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarını Değişimi .	38
Şekil 4.6: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emisyonu Miktarının Değişimi ...	39
Şekil 4.7: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Pedal Pozisyonunun Değişimi	40
Şekil 4.8: Püskürtme Avansı ve Püskürtme Basıncı ile Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi	41
Şekil 4.9: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarı Değişimi	42
Şekil 4.10: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emisyonu Değişimi	43
Şekil 4.11: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile	
Şekil 4.12: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarı Değişimi	45
Şekil 4.13: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emisyonlarının Değişimi	46

Şekil 4.14: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Özgül Yakıt Tüketiminin Değişimi	47
Şekil 4.15: Can-Bus Bağlantı Hatları	49
Şekil 4.16: Veri Toplama Cihazı Can-Bus Bağlantısı	50
Şekil 4.17: Can Sinyalleri Karışık Bir Şekilde Analizörde	51
Şekil 4.18: Can Sinyallerinin Gaz Pedalına Basıldığı Andaki Değişimi.....	51
Şekil 4.18: Veri Toplama Cihazında Gerekli Veri Adreslemelerinin Yapılması	52
Şekil 4.19: Gerekli Sinyal Hızının Ayarlanması	53
Şekil 4.20: 0-100 Testi Sırasında Değişen Hız ve Motor Devri	54
Şekil 4.21: 0-100 Testi Boyunca Farlı Motor Çalışma Noktalarına Göre Püskürtme Açısının Değişimi	55
Şekil 4.22: 0-100 Testi Boyunca Farlı Motor Çalışma Noktalarına Göre Püskürtme Süresinin Değişimi	56
Şekil 4.23: 0-100 Ana Püskürtme Süresi, Ana Püskürtme Miktarı ve Püskürteme Basıncının Birbirleriyle İlişkisi.....	57
Şekil 4.24: Püskürtme Miktarı İle Ortak Yakıt Yolu basıncı Arası İlişkisi.....	58
Şekil 4.25: Sabit Hız Esneklik Testleri.....	59
Şekil 4.26: Motor Devri ve Araç Hızı Arasındaki İlişki.....	59
Şekil 4.27: Motor Devri ve Yakıt Basıncı Arasındaki İlişki	60
Şekil 4.28: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Yakıt Basıncı Arasındaki İlişki	60
Şekil 4.29: 8. Viteste Yakıt Basıncı ve Ana Püskürtme Miktarının Devir ile Değişimi	61
Şekil 4.30: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Püskürtme Zamanları Arasındaki İlişki	62
Şekil 4.31: Püskürtme Avansı ile Motor Devri Arasındaki İlişki.....	63
Şekil 4.32: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Emilen Hava Basıncı Arasındaki İlişki	63
Şekil 4.33: Sabit Hız Testleri.....	64
Şekil 4.34: Farklı Hızlarda Yapılan Testlerde Motor Hızları	65
Şekil 4.35: Farklı Hızlarda Yapılan Testlerde Püskürtme Avansları	66
Şekil 4.36: Motor Devri ve Püskürtme Avansı Arasındaki İlişki.....	67
Şekil 4.37: Motor Devri ve Ön Püskürtme Avansı Arasındaki İlişki.....	68
Şekil 4.38: Püskürtme Miktarının Araç Hızlarına Ve Viteslerine Göre Değişimi	69
Şekil 4.39: Veri Toplama Sırasında Takip Edilen Rota	70
Şekil 4.40: Şehir içi Araç Hız Dağılımı.....	70
Şekil 4.41: Şehir içi Motor Devri Dağılımı	71
Şekil 4.42: Şehir içi Gaz Pedalı Pozisyonu Dağılımı	71
Şekil 4.43: Otoban Araç Hız Dağılımı	71
Şekil 4.44: Otoban Motor Devri Dağılımı.....	72
Şekil 4.45: Otoban Gaz Pedalı Pozisyonu Dağılımı.....	72
Şekil 4.46: Şehir dışı Araç Hız Dağılımı	72
Şekil 4.47: Şehir Dışı Motor Devri Dağılımı.....	73

SEMBOL LİSTESİ

V_h	: Motor Hacmi
V_c	: Sıkıştırma Hacmi
α	: Krank Mili Açısı
M	: Moment
P_e	: Ortalama Basınç
n	: Motor Devir Sayısı
Q_a	: Dışarı Atılan Isı Miktarı
q_{Bp}	: Yanma Isısı Sabit Basınçta
q_{Bv}	: Yanma Isısı Sabit Hacimde
P_u	: Ortam Basıncı
PL	: Emme Basıncı
P_z	: Azami Silindir Basıncı
V_m	: Faydalı İş
VG	: Toplam İş
We	: Volandaki Enerji
WB	: Yakıttaki Kimyasal Enerji
η	: Verim
t	: Zaman
Φ	: Manyetik Akı
W	: Açısal Hız
dt	: Periyot

MODERN BİR NHDD MOTORUN ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİNİ İNCELENMESİ

ÖZET

Elektronik ve bilgisayar dünyasında yaşanan yenilikler kısa zamanda her sektörü sarmıştır. Otomobil sektörü de bu gelişmelerden en geniş paylardan birini almıştır. 1970'lerin başında sadece araçların radyo teyplerinde rastlanan elektronik, kısa sürede araç motor ve güç aktarım sistemlerinin kontrolünde kullanılmaya başlamıştır. Yakıt ekonomisi, egzoz gazları emisyonu, gürültü, titreşim, sürüş konforu gibi bir çok parametre araçlarda yer alan bu elektronik kontrol sistemleri sayesinde olumlu yönde iyileştirilebilmektedir. Elektronik kontrol üniteleri sayelerinde araçlar farklı çalışma şartları için farklı motor özellikleri gösterebilmekte, bu özelliklerini hepsini tek bir potada eritmektedir.

Yukarı da belirtilen sistemler kısa zamanda ağır ticari vasıtalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada incelen NHDD (New Heavy Duty Diesel) motora ait elektronik kontrol ünitesi ve onun uzuvların çalışma prensipleri incelenmiştir. Motor kalibrasyonu ile motorun avans açısı ve basınç parametreleri değiştirilerek bunların NOx emisyonlarına, püskürtülen yakıt miktarına ve özgül yakıt tüketimine etkisi dinamometre testleri yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Yapılan araç testleri ile kritik performans noktaları ve motor çalışma noktaları bulunmuştur. Bu iki deneysel ölçüm sonucu müşteri memnuniyeti için yüksek devir ve yüksek yüklerde düşük yakıt ekonomisini hedef alan, düşük devir ve düşük yüklerde ise düşük NOx emisyonlarını hedef alan bir kalibrasyon stratejisinin benimsenmesi gerektiği öne sürülmüştür. Gerek Elektronik kontrol ünitesinin tanıtımı gerekse bu kontrol ünitesi üzerinden motor parametrelerin değiştirilmesi ve bunların motor çalışmasına etkisi anlatılmıştır.

EXAMINATION OF A MODERN NHDD ENGINE'S ELECTRONIC CONTROL UNIT

SUMMARY

The development in electronics and computer sciences has very important affect on every industry. Automotive industry has had one of the major changes as result of that development. The electronics is used for controlling engine and powertrain systems today, which used to be only for radio and type in the vehicles in the beginning of 1970s. Fuel economy, exhaust emissions, noise, vibration, drivability, vs can be developed a lot as result of the electronic control systems. With the help of electronic control unit an engine can perform very different for very different working conditions and can met all targets in one corner.

The control system has begun to be used also for heavy duty vehicles. In this study a NHDD (New Heavy Duty Diesel) engine's electronic control unit and its systems have been investigated. The affect of injection timing, rail pressure on NOx emissions, injection fuel value and specific fuel consumption have been investigated by the dynamometer tests. The critical engine working points are supplied with the vehicle tests. With the help of these two experiments, the less fuel consumption strategy for high engine RPM and high engine loads and the less NOx strategy should be applied for low engine RPM and low partial engine loads to give maximum satisfaction to the costumer. The structure of the electronic control unit and also affect of changing parameters on engine properties have been studied.

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından başlamak üzere elektronik ve bilgisayar mühendisliği her geçen gün daha da hızlanan bir gelişme gösterdi. Bilgisayar kontrollü elektronik sistemler günlük yaşamımızda her yeri sarmaya başladı. Otomotiv sektörün de bundan etkilenmemesi mümkün değildi ve elektronik kontrol üniteleri ve bilgisayarlar günümüz araçlarında yerini aldılar. 1970'lerin başında sadece bazı özel araçlarda ve araç başına çok sınırlı sayıda olan elektronik sistemler ve kontrol üniteleri bugün yeni geliştiren hemen her araçta bulunmaktadır. Ayrıca bunların araç üzerinde kontrol ettiği sistemlerin sayısı yüksek rakamlara ulaşmıştır. Elektronik kontrol sistemlerinin araçlarda kullanılması hibrit gibi yeni teknolojilerin adaptasyonunu da rahatlatmaktadır.

Bu yüksek lisans tezinde, bir NHDD (New Heavy Duty Diesel) motorun elektronik kontrol ünitesi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda incelenilen kamyonun, elektronik kontrol ünitesi ve kontrol ettiği sistemlerin çalışma prensipleri dışında, kontrol ünitesinden okunan sinyaller sayesinde motorun çeşitli özel yol ve dinamometre testleri sırasında çalışma özellikleri de çıkarılmıştır. Türkiye yollarını temsil eden özel bir rotada yapılan çalışma ile de belirtilen bu özelliklerin nerelerde ne şekilde optimize edileceği konusunda temel oluşturmuştur.

2. DİZEL MOTOR

Günümüz teknoloji dünyasında dizel motor hiçbir başka içten yanmalı motorun sahip olmadığı kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir[1].

Başlıca kullanım alanlarını sıralayacak olursak

- 1 Hareketli bir araç üstünde olmayan enerji ve güç üretmek için kullanılan sanayi uygulamaları,
- 2 Otomobil ve hafif ticari taşıtlar,
- 3 Ağır ticari taşıtlar
- 4 İnşaat ve tarım makineleri
- 5 Tren lokomotifleri
- 6 Gemiler
- 7 Askeri amaçlı araçlar tank, zırhlı taşıyıcı vs.

NHDD yani “yeni ağır ticari taşıt dizel motoru” elektronik kontrol ünitesinin incelenmesi ve bu motorun dizel kontrolü ileriki bölümlerde anlatılacaktır fakat bundan önce dizel motorun çalışma mantığını anlamak çok büyük bir önem taşımaktadır.

2.1 Dizel Motorların Çalışma Prensipleri

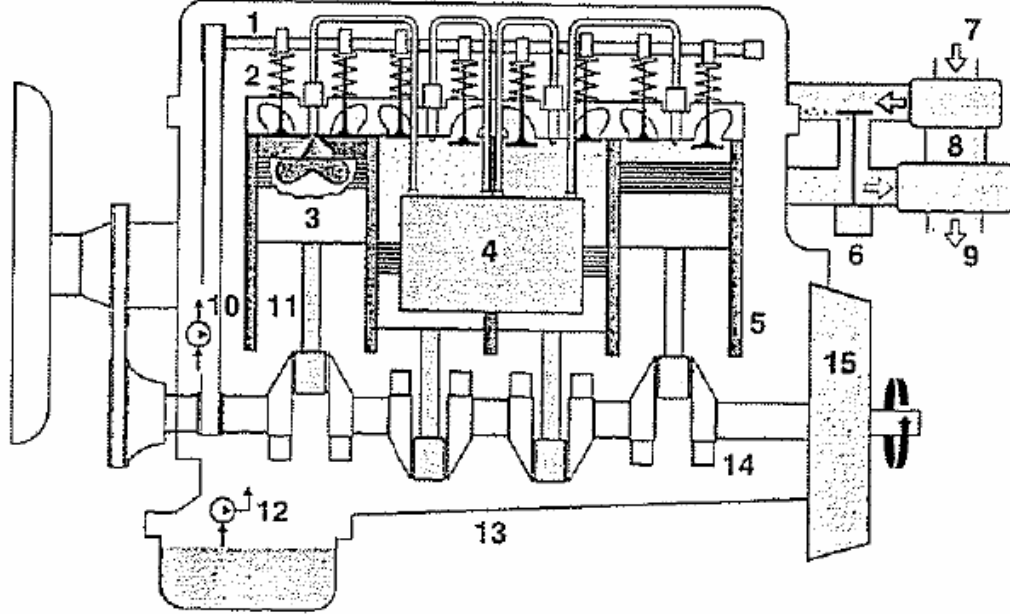
Dizel motorlar sıkışmalı-tutuşmalı motorlardır.

Buradaki temel prensip hava ile yakıt karışımının yüksek basınçlara kadar sıkıştırılması, bu basınç altında kendi kendine ateşlenerek ısı enerjisinin ortaya çıkışı ve bu enerjinin genişleme yardımı ile mekanik enerjiye çevrilmesidir.

2.1.1 Çalışma Metodu

Tipik bir dizel motor Şekil 2.1 de görüldüğü gibi hava yakıt karışımını aşağı yukarı itmesiyle çalışan bir veya daha çok pistondan oluşur. Bağlantı rodu pistonlardaki

doğrusal hareketi, krank milli üzerinde dairesel harekete dönüştürür. Bir veya daha fazla sayıdaki volan, krank mili üzerindeki dengesizlikleri alır. Krank milinin hızı içten yanmalı motorun hızı diye anılır [1].



1	Kam Mili	9	Egzoz Borusu
2	Valfler	10	Soğutma Sistemi
3	Piston	11	Rod Kolu
4	Yakıt Püskürtme Sistemi	12	Karter
5	Silindir	13	Silindir Bloğu
6	Egzoz Gaz Resirkulasyonu	14	Krank Mili
7	Emme Manifoldu	15	Volan
8	Aşırı Besleme (turbo)		

Şekil 2.1: Dizel Motor ve Bileşenleri

2.1.2 Dört Temel Çevrim

Emme Zamanı: Üst ölü noktadan başlayan pistonun aşağı doğru hareket etmesi ile silindir içi hacim genişler. Bu süre zarfında emme supabından silindir içine hava alınır. Bu genişleme alt ölü noktaya kadar devam eder bu süre sonunda silindir içindeki hacim azami değerine ulaşmış ve V_h+V_c kadar olmuştur. Şekil 2.2' de dizel motora ait dört temel çevrim verilmiştir.

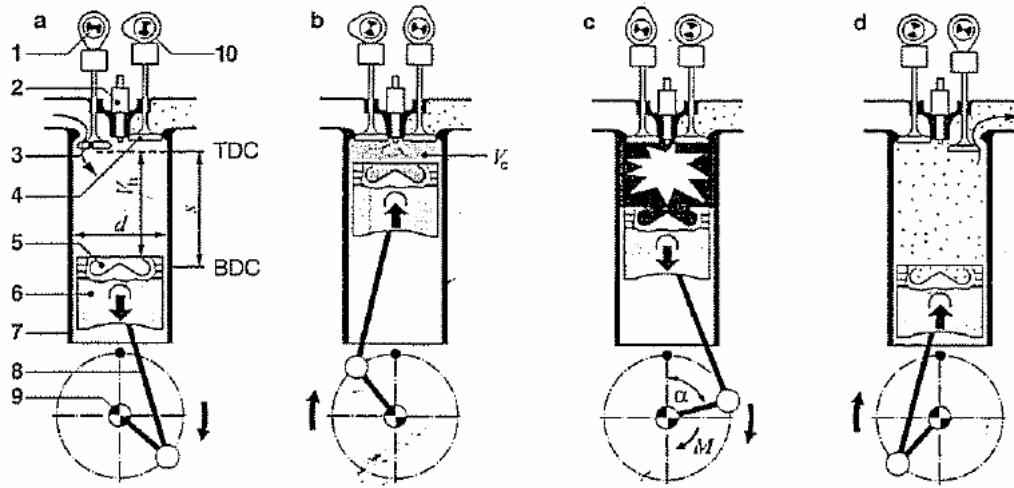
Sıkıştırma Zamanı: Çevrimin bu aşamasına emme ve egzoz supapları kapanmıştır ve piston yukarı doğru çıkmaya başlar. Piston motorun karakterinin belirleyen

sıkıştırma oranı ile havayı sıkıştırır. Bu süre içinde sıcaklık 900°C ye kadar yükselmektedir. Tam sıkışma işleminin sonu gelirken (günümüz motorlarında 2000 bara varan) yüksek basınç ile silindir içine yakıt püskürtülür. Bu süre içinde silindir üst ölü noktaya ulaşmış ve en küçük hacim olan V_c ye düşmüştür[1].

Ateşleme Zamanı: Birkaç derecelik krank mili gecikme zamanından sonra iyice atomize olmuş yakıt ve hava karışımı kendi kendine ateş alır. Sonuç olarak silindir içindeki sıcaklık ve basınç artar. Bu pistonu aşağı doğru iter. Yani kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüşmüştür. Krank mili mekanizması pistonu doğrusal enerjisini dönme kuvveti yani torka çevirir.

Egzoz Zamanı: Piston alt ölü noktaya gelmeden önce egzoz supabı açılır ve egzoz gazları pistonu yukarı hareketi ile silindiri terk eder ve emme zamanı başlar.

Bütün bu dört çevrim zamanı boyunca krank mili iki tam tur yapar.



1	Emme Valfi Kamı	α	Krank Mili Açısı	a	Emme Zamanı
2	Enjektör	M	Moment	b	Sıkıştırma Zamanı
3	Emme Valfi	S	Piston Stroku	c	Ateşleme Zamanı
4	Egzoz Valfi	V_d	Sıkıştırma Hacmi	d	Egzoz Zamanı
5	Yanma Odası	V_h	Motor Hacmi		
6	Piston	TDC	Üst Ölü Nokta		
7	Silindir Duvarı	BDC	Alt Ölü Nokta		
8	Rod Kolu				
9	Krank Mili				
10	Egzoz Valfi Kamı				

Şekil 2.2: Dizel Motorda Dört Temel Çevrim

belirlenir.

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (2.1)$$

Sıkıştırma oranının aşağıda belirtilen motor karakterine doğrudan etkisi vardır [8].

- 1 Motor soğuk çalıştırılma karakteri
- 2 Üretilen tork miktarı
- 3 Yakıt harcaması
- 4 Motor gürültü ve titreşimi
- 5 Emisyon değerleri

2.1.5 Tork ve Güç Üretimi

Pistonların doğrusal hareketlerini uygulandığı nokta tam olarak krank milinin merkezinde olmaması tork ve dönme hareketini oluşturur.

Buradaki Tork değeri, M , bundan dolayı piston çalışma ortalama basıncına p_e , motorun hacmine V_H bağlıdır.

$$\text{Motor Momenti : } M = \frac{P_e \times V_H}{4\pi} \quad (2.2)$$

Araç motorunun çıkabileceği azami tork değeri en önemli tasarım kriterlerinden biridir. Motor hacmi, doldurma yöntemi, supap zamanlaması ve benzeri bir çok parametre tarafından belirlenir. İçten yanmalı dizel motorlarda tork değeri motor devri ile artış göstermekte bir noktadan sonra aşağı düşmektedir. Bu tork değerinin 2000 d/d civarında azami değerine ulaşması aracın yakıt ekonomisi ve aracın çekme olarak adlandırılan özelliklerinin daha iyi olmasını sağlar.

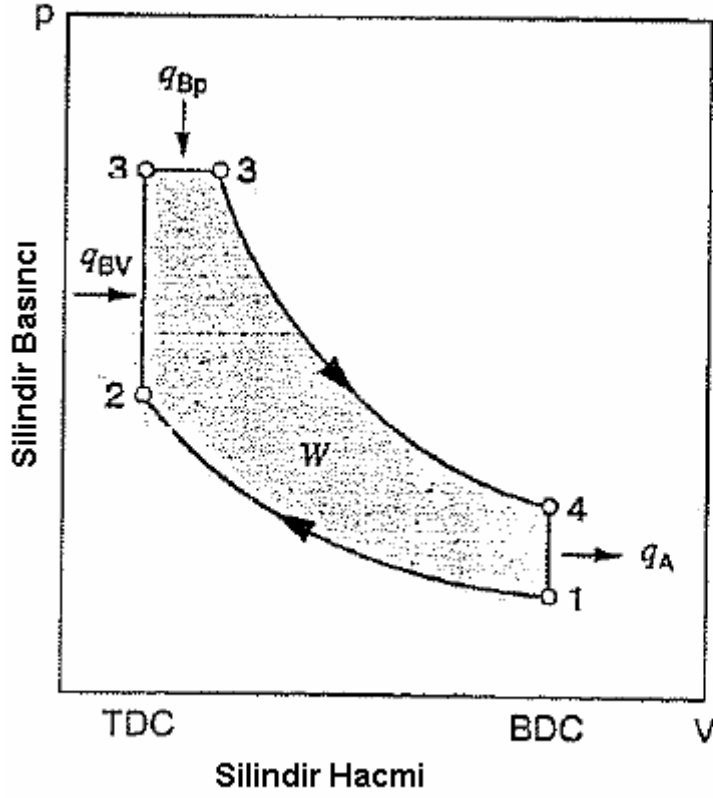
Motor gücü, başka bir deyişle birim zaman diliminde yapılan iş tork ve motor devrinin artması ile artar. Bundan dolayı:

$$\text{Motor Gücü : } P = 2.\pi.n.M \quad (2.3)$$

Dizel içten yanmalı motorlardan elde edilen güç ve tork değerlerinin çeşitli sürüş koşullarında kullanılabilmesi için vites kutusu kullanılır.

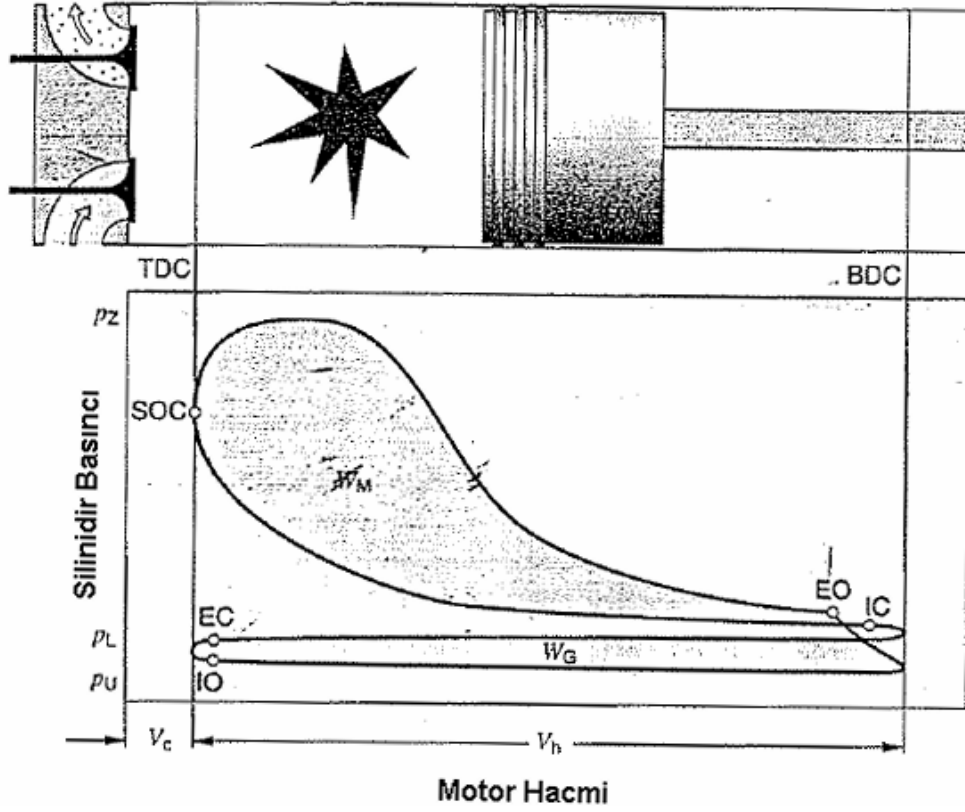
2.1.6 Motor Verimi

Silindir içinde gerçekleşen, basınç-hacim diyagramları dizel çevrimi için Şekil 2.4 teki gibi olduğu düşünülse de gerçekte durum biraz daha farklıdır ve diyagramın gerçek hali Şekil 2.5 de görülmektedir [1].



TDC	Üst Ölü Nokta		
BDC	Alt Ölü Nokta		
q_A	Dışarı Aatılan Isı Miktarı	1-2	İzentropik Sıkıştırma
q_{Bp}	Yanma Isısı Sabit Basıncıta	2-3	Sabit Hacimde Isı Girişi
q_{Bv}	Yanma Isısı Sabit Hacimde	3-3'	Sabit Basıncıta Isı Girişi
		3-4	İzentropik Genişleme
		4-1	Sabit Hacimde Isı Çıkış

Şekil 2.4: Teorik Dizel Çevirimi



P_U	Ortam Basıncı	EO	Egzoz Açılır
P_L	Emme Basıncı	EC	Egzoz Kapanır
P_z	Azami Silindir Basıncı	SOC	Yanma Başlaması
V_c	Sıkıştırma Hacmi	IO	Emme Açılır
V_h	Motor Hacmi	IC	Emme Kapanır
V_M	Faydalı İş	IP	Enjeksiyon
V_G	Gaz Değişimi Sırasındaki Toplam İş (Turbo)	TDC	Üst Ölü Nokta
		BDC	Alt Ölü Nokta

Şekil 2.5: Deneysel Dizel Çevrimi

Bir içten yanmalı motorda toplam verim:

$$\text{Toplam verim : } \eta_e = \frac{W_e}{W_B} \quad (2.4)$$

Burada W_e volandaki enerji W_B ise yakıttaki kimyasal enerjidir.

Toplam verim, teorik verim, gaz verimi ve mekanik verim olmak üzere üç verimden oluşur.

$$\text{Toplam verim : } \eta_e = \eta_{\text{teori}} \cdot \eta_{\text{gaz}} \cdot \eta_{\text{mekanik}} \quad (2.5)$$

Teorik verim ideal gaz özeliği ve ısının yayılma hızından meydana gelmektedir.

Yüksek basınçtaki gaz verimi ise gerçek gaz kalitesi, ısı kayıpları, hava–yakıt karışımı kalitesi gibi özelliklerden etkilenmektedir.

Kayıpların diğer kısmını da, mekanik kayıplar oluşturmaktadır. Bunlarda;

Piston sürtünmeleri, rulman kayıpları, yağ pompası kayıpları, soğutma pompası kayıpları, yakıt pompası kayıpları ve eğer varsa aşırı belseme pompası kayıplarıdır.

2.2 Motor Çalışma Durumları

Dizel motorlar çeşitli çalışma koşullarına maruz kalmaktadır. Motorun dizaynı ve çalışma şekli bu koşulları en iyi şekilde atatabilecek gerekli yerlerde asgari yakıt harcamasını yapacak, gerekli tork ve gücü verecek ve emisyonları sağlayacak şekilde olmalıdır.

2.2.1 Motorun Çalıştırılması

Dizel bir motorun çalıştırılması için önce krankın döndürmeye başlatılması, yakıtın ateşlenmesi ve motorun kendi kendini döndürecek kadar tork üretmesi gerekmektedir. Bu aşamada ateşlemenin olması için en az 250°C'lik bir sıcaklığa ulaşmak gerekmektedir. Bu sıcaklığa düşük motor hızlarında ve soğuk hava koşullarında ulaşabilmek önemli bir motor parametresidir[8].

Motor soğuk iken uygun çalışma koşullarını engelleyen bir dizi faktör vardır.

1 Motor ilk çalıştığı anda silindir içinde yakıt film tabakası oluşmadığı için bir miktar yakıt dışarı kaçmakta bunla beraber ısı kaybı ve termodinamik kayıp olmaktadır.

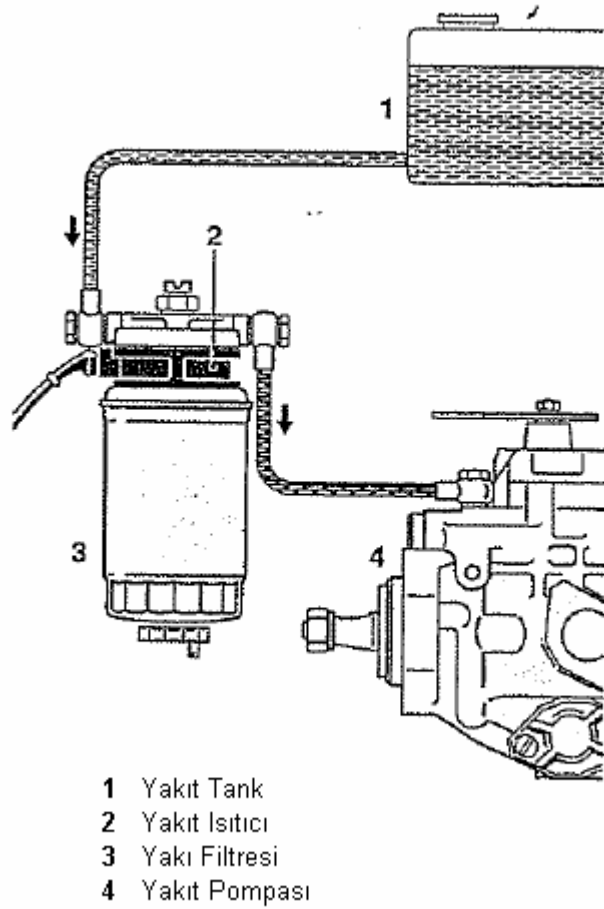
2 Düşük sıcaklıklarda motor yağının daha viskoz olmasından dolayı sürtünmeler daha fazladır.

3 Marş motoru daha yavaş çalışır çünkü düşük sıcaklıklarda akü voltajı daha düşüktür.

Bu koşullar ile başa çıkmak için bazı yöntemler vardır:

Yakıtın enjektöre gitmeden önce ısıtılması bu koşullarla başa çıkmak için iyi yöntemdir ve yaygın olarak uygulanmaktadır ve Şekil 2.6'da ayrıntıları verilmiştir.

Günümüzde yakıt üreticisi firmalar koydukları katkı maddeleri ile de dizel yakıtların soğuk hava performansını artırabilmektedir.



Şekil 2.6: Yakıt Isıtma Sistemi

Başka bir yöntem ise özellikle ticari taşıtlarda kullanılan silindir içine alınacak havanın ısıtılma yöntemidir.

Motorun ilk çalışma anında püskürtülen yakıt oranının artırılması ve tork değerini artırılması uygulanan ve günümüz elektronik püskürtme kontrollü motorlarında çok düşük maliyetli bir yöntemdir.

2.2.2 Sıfır Yük

Motora etkileyen hiçbir dış kuvvet yoktur. Motorun yenmesi gereken tek kuvvet kendi iç dirençleridir. Gaz pozisyonu herhangi bir pozisyonda olabilir. Motor bütün devirlerde olabilir.

2.2.3 Rölanti

Motorun sıfır yükte en düşük motor devrinde olduğu andır. Gaz pedalına basılmamış durumdadır. Motor dışarı hiçbir tork üretmemekte sadece kendi iç kuvvetlerini yenmektedir.

2.2.4 Tam Yük

Tam yük durumda gaz pedalı tam basılıdır. Mümkün olan azami yakıt enjektörden püskürtülmekte ve motor sabit koşullar altında üretebileceği en yüksek tork değerini üretmektedir. Sabit olmayan koşullarda motor, hava miktarının el verdiği azami tam tork değerini üretir. Bütün motor devirlerinde tam yük çalışma durumu görülebilir.

2.2.5 Kısmi Yükler

Kısmi yük durumu, sıfır yük ile tam yük arasındaki bütün koşulları kapsamaktadır. Motor sıfır tork veya azami tork üretebilir.

Rölanti devrinde motorun dışarı tork üretme durumu bir kısmı yük çalışma koşuludur.

Kısmi yüklerde dizel motorlar benzinli motorlara göre daha iyi yakıt ekonomisi sağlamakla birlikte dizel vuruntusu olarak adlandırılan sorun ön püskürtme sayesinde yok edilmiştir.

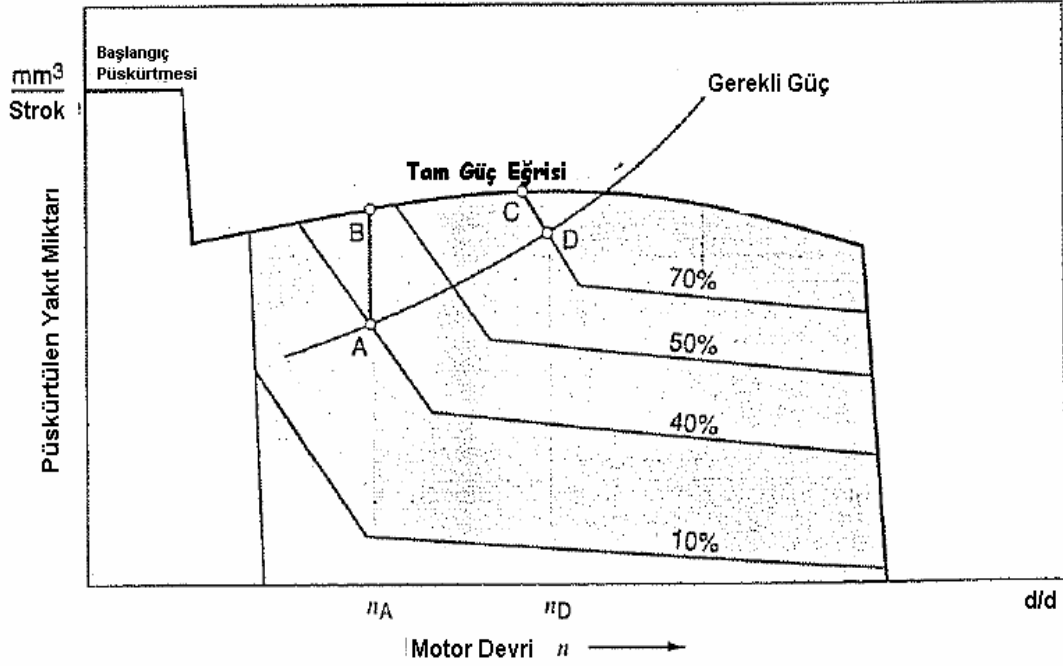
2.2.6 Aşırı Yükleme

Motorun dışardan bir kuvvet tarafından kapasitesinden daha fazla yüklenme durumudur.

2.2.7 Sabit ve Sabit Olmayan Durum

Sabit durumda ihtiyaç duyulan tork ve motor hızı sabittir. Sabit olmayan durumda hem motor hızı sabit değil ve üretilen tork ihtiyaca eşit değildir.

Sekil 2.7 de motor devrinin pedal pozisyonuna basılma oranına göre değişimini ve kısmi yüklerde çalışma durumu gözükmektedir.



Şekil 2.7: Pedal Pozisyonu ve Devire Göre Değişen Motor Güç Eğrileri

2.3 Motor Çalışma Koşulları

Dizel motorlarda yakıt aşırı sıkıştırılmış sıcak havanın içine doğru püskürtülür ve kendi kendine ateşleme sağlanır. Karışım homojen olmadığı için, benzin motorlarının aksine karışımın belli bir tutuşma sınırları içinde olması gerekmemektedir. Örneğin λ hava yakıt oranı gibi. Bunun yerine silindir içindeki sabit hava karışımına karşılık sadece püskürtülen yakıt miktarı ayarlanır. Bundan dolayı dizel motorlarda yakıt püskürtme sistemi motorun çalışması ve karakterinde kilit rol oynar. Yakıt Püskürtme sistemi bu sebepten dolayı aşağıdaki parametreleri en iyi şekilde karşılayabilmelidir[1].

- 1 Doğru yakıt miktarı
- 2 Doğru püskürtme süresi
- 3 Doğru püskürtme basıncı
- 4 Doğru zamanlama
- 5 Silindir içinde doğru noktaya püskürtme yapılması.

Bunlar doğru olmasına rağmen birde bu parametreleri kısıtlayan dış etkiler vardır:

- 1 Emisyon sınırları

- 2 Sıkıştırma basınç sınırları
- 3 Egzoz sıcaklık sınırı
- 4 Motor hızı ve tork sınırı
- 5 Araç veya motor yük sınırları

2.3.1 Emisyon Sınırları

Araçtan çıkan egzoz ve artık gaz miktarları, her ülkeye ve her araç çeşidine göre sınırlandırılmıştır. Bu miktarlar ancak bazı özel testlerle ölçülmekte ve araçlar bundan sonra trafiğe çıkış izni alabilmektedirler. Motor kalibrasyonu yani dizel motor yönetimi bu değerler üzerinde çok önemli rol oynamaktadır. Euro 3 standartlarındaki bir motor sadece kalibrasyonun değiştirilmesi ile Euro 4 seviyesine çıkarılabilir. Tezin konusu olan ağır ticari taşıtlarda egzoz gazları emisyon sınırları araç testleri ile değil onun yerine motor dinamometre testleri ile sertifikalandırılır ve motorun kullanıldığı araçtan bağımsız olarak test edilirler.

2.3.2 Yanma Basınç Sınırları

Ateşleme sırasında kısmen buharlaşmış yakıt, sıcak hava üzerine ani bir şekilde püskürtülür. Buda ani bir ısı artışına ve buna bağlı olarak basınç artışına sebep olur. Bu basınç sonucunda hem motor hem de aracın güç iletim ekipmanları üzerinde büyük kuvvetler ve gerilmeler oluşur. Araçtaki malzemelerin bu gerilmeleri karşılayacak sağlamlıkta olmaları gerekmektedir bundan dolayı burada oluşacak azami basınç sınırlandırılmalıdır.

2.3.3 Egzoz Sıcaklık Sınırı

Silindir içinden çıkan gazların aşırı sıcak olması gerek motor egzoz elemanları (egzoz supabı gibi) gerekse araç egzoz elemanları üzerinde gerilim yaratır. Bundan dolayı azami egzoz gazı sıcaklığı da kısıtlayıcı bir etkendir.

2.3.4 Motor Hızı Sınırı

Dizel motorlarda püskürtülen yakıt miktarının motorun gücünü belirlediğinden daha önceki bölümlerde anlatılmıştı. Bundan dolayı basitçe motor hızı ile püskürtülen yakıt miktarının doğru orantılı olduğunu söyleyebilir. Bundan dolayı eğer dizel motorlarda püskürtülen yakıt miktarı belli bir sınırlayıcı cihaz veya programlarla sınırlanmaz ise motor kendi kendine zarar verebilecek suratlara çıkabilir. Bundan dolayı dizel motorlarda yakıt miktarını belli bir motor devrini geçirmeyecek cihazlarla sınırlanması veya ECU programlaması mecburidir.

Ayrıca dizel motorlarda sürücü ayağını gazdan çekse bile motor hızının rölanti devri altına düşmesini engelleyici bir sistem olmalıdır.

3. ELEKTRONİK DİZEL KONTROL

Bölüm 2 de incelenen özellikler ve kriterlere göre dizel motorların yönetilmeleri gerekmektedir. Günümüz ve incelenecek yeni nesil dizel motorlar elektronik bir kontrol ünitesi tarafından yönetilmektedir. Temel olarak bir bilgisayar olarak gözüken Elektronik kontrol ünitesi uzuvları sayesinde motoru kontrol edebilmektedir. Bu durumda elektronik dizel kontrolü temel olarak üç ana bölümde inceleyebiliriz. Şekil 3.1’ de dizel motor kontrol sistemine ait bütün sistemler yer almaktadır[1].

- 1 Sensörler
- 2 Kontrol Ünitesi
- 3 Eyleyiciler

Sensörler

- 1 Gaz Pedalı Sensörü
 - 2 Debriyaj Sensörü
 - 3 Fren Sensörü
 - 4 Motor Freni Sensörü
 - 5 Park Fren Sensörü
 - 6 Kontrol Sensörü (hız kontrol-Tork Kesme)
 - 7 Kontak Anahtarı Sensörü
 - 8 Hava emiş Sensörü
 - 9 Krank Mili Hız Sensörü
 - 10 Kam Mili Hız Sensörü
 - 11 Yakıt Sıcaklık Sensörü
 - 12 Motor Sıcaklık Sensörü
 - 13 Emilen Hava Sıcaklık Sensörü
 - 14 Emilen Hava Basınç Sensörü
 - 15 Fan Hızı Sensörü
 - 16 Hava Filtresi Basınç Sensörü
- #### Arayüzler
- 17 Klima Kompresör Kontrolü
 - 18 Alternatör
 - 19 Diagnostic Kontrol
 - 20 SCR Kontrol
 - 21 Hava Kompresör
- #### Motor-Motor Kontrol-Yüksek Basınç Komponentleri
- 22 Pompa
 - 23 Enjektör
 - 24 Kam Mili
 - 25 Külbütör Kolu
 - 26 Motor Kontrol Ünitesi
 - 27 Elektrik Düzenleyicisi
 - 28 Aksesuarlar (retarder, fan, motor freni, egzoz freni)
 - 29 Dizel Motor
 - 30 Parlatıcı

Yakıt Sistemi(düşük basınç sistemi)

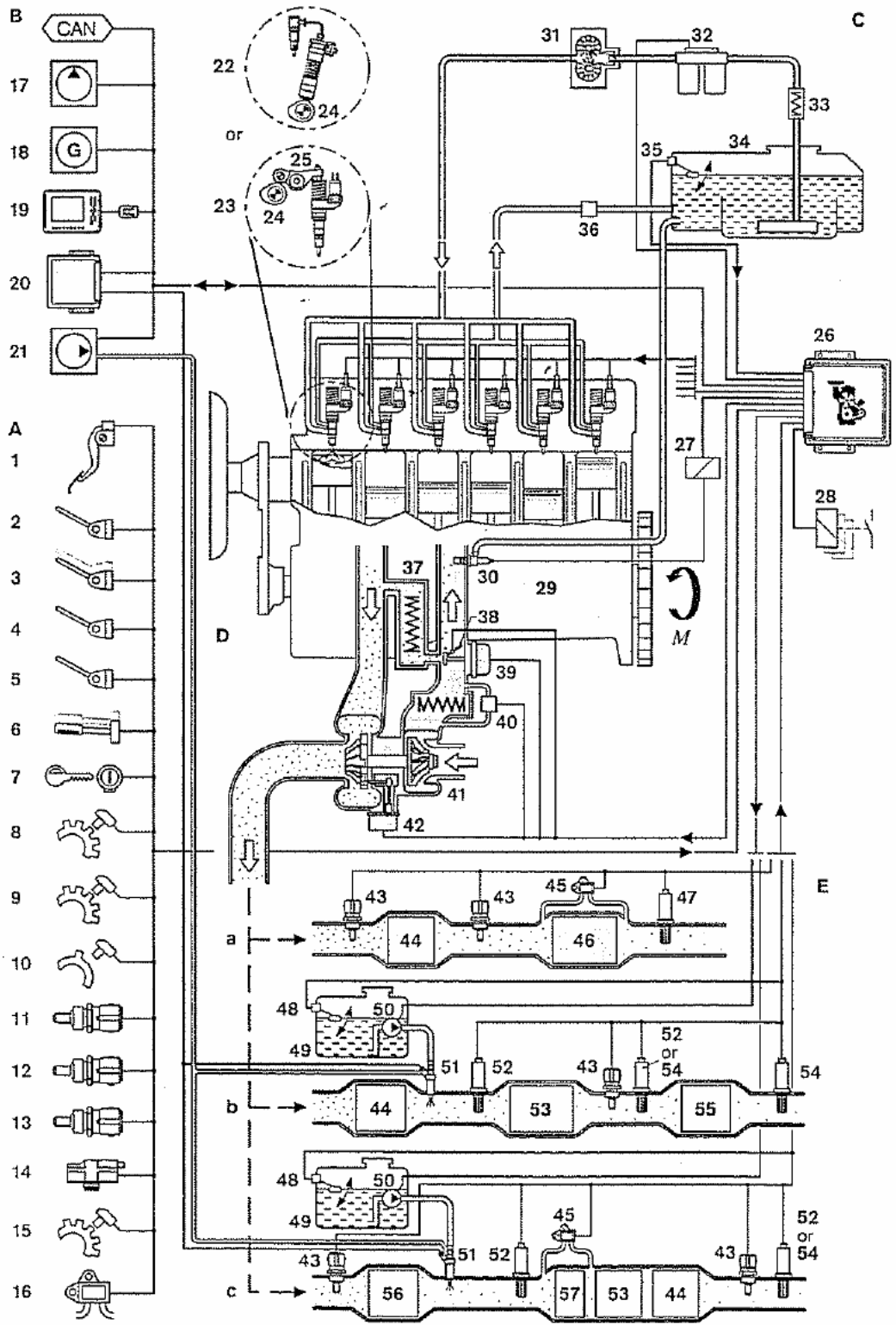
- 31 Yakıt Pompası
- 32 Yakıt Filtresi (su ve basınç sensörlü)
- 33 Kontrol Ünitesi Soğutucusu
- 34 Yakıt Tankı (filtreli)
- 35 Yakıt Seviyesi Sensörü
- 36 Basınç Sınırlayıcı Valf

Hava Emme Sistemi

- 37 EGR Soğutucu
- 38 Kontrol Kapaklığı
- 39 EGR Eyleyici ve Pozisyon Sensörü
- 40 Intercooler Bypassla Birlikte Soğuk başlangıç için
- 41 Turbo (VTG ise pozisyon sensörü de dahil)
- 42 Emme Eyleyicisi

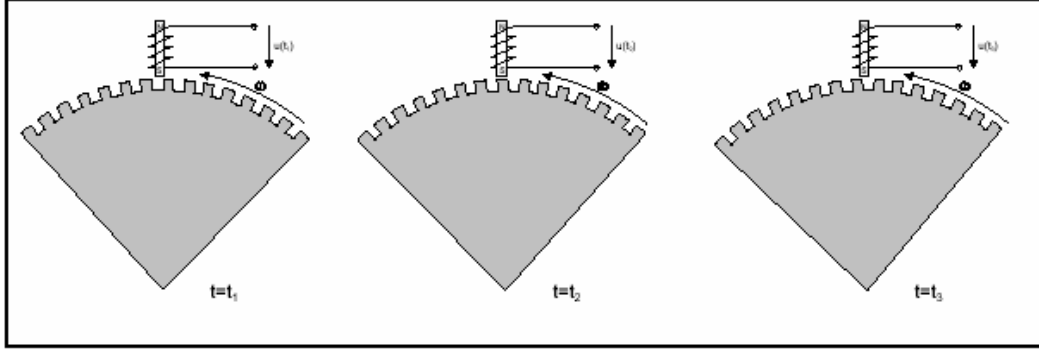
Emisyon Kontrol Sistemi

- 43 Egzoz Gaz Sıcaklık Sensörü
- 44 Katalitik Konvertör
- 45 Basınç Sensörü
- 46 Pertiküler Filtre
- 47 İS Sensörü
- 48 Sıvı Miktarı Sensörü
- 49 Tank (üre)
- 50 Pompa (üre)
- 51 Enjektör (üre)
- 52 NOX Sensör
- 53 SCR Konvertör
- 54 NH3 Sensörü
- 55 Konvertör
- 56 İS Filtresi
- 57 Hidroliz Katalatik Konvertör



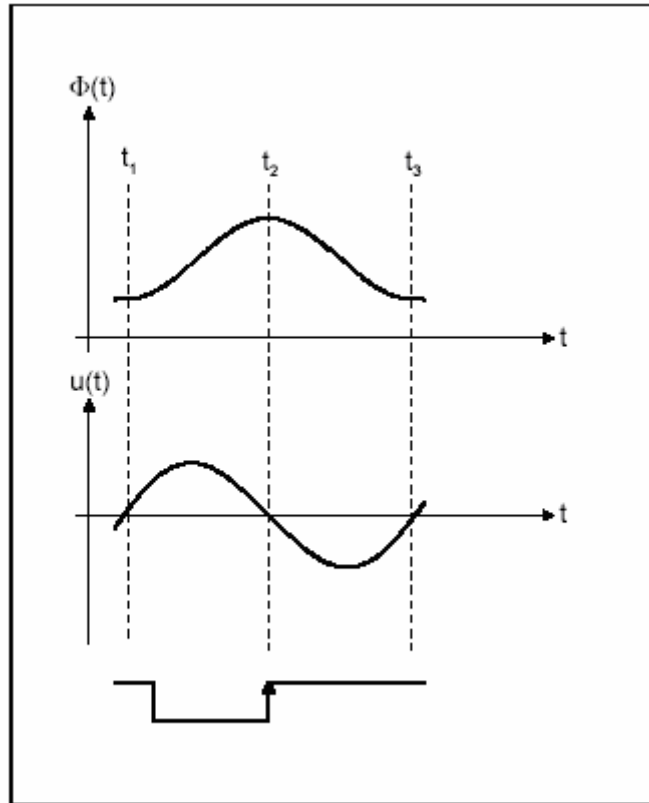
Şekil 3.1: Dizel Elektronik Kontrol Sistemi

İncelediğimiz dizel motorda, Elektronik kontrol ünitesi motor hızını hem kam sensöründen okumakta hem de krank sensöründen okumaktadır. Herhangi bir uyumsuzluk durumunda kam sensöründen gelen bilgiyi esas almaktadır[2].



Şekil 3.3 Krank Sensörü Diş Sayma Şematığı

Şekil 3.3 Görüldüğü gibi krank miline, dişli çarkın hemen yanına yerleştirilen bir manyetik algılayıcı, krank mili döndükçe oluşan akımı özel bir algılayıcı ile analog sinyal olarak algılanır[2].



Şekil 3.4: Krank Sensörü Akım Değişimi

Şekil 3.4'te t₁-t₂ zaman aralında dişlerden biri algılayıcıya yaklaşıyor ve manyetik

akı artıyor. t_3 anında diş ve algılayıcı birbirlerine en yakın konumda ve manyetik akı azami değerinde ve t_2-t_3 aralığında diş uzaklaşıyor ve manyetik akı yine düşüyor. Bu yöntem ile krank milinin pozisyonu olunabilir.

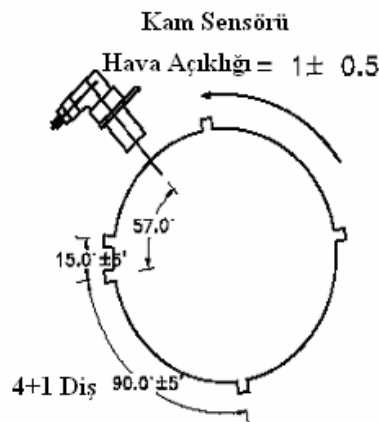
Eğer bu sinyal bu haliyle direk olarak elektronik kontrol ünitesine gönderilse 3000 d/d da 3Khz lik veri olacağından ki bu kullanılan elektronik kontrol ünitesi için çok yüksek bir değerdir, onun yerine sinyal tepe sayım sinyaline (tako sinyali olarak da adlandırılır) çevrilerek elektronik kontrol ünitesine yollanır. Elektronik kontrol ünitesi içindeki hesaplama ile krank milini pozisyonu bulunur.

3.1.2 Kam Algılayıcısı

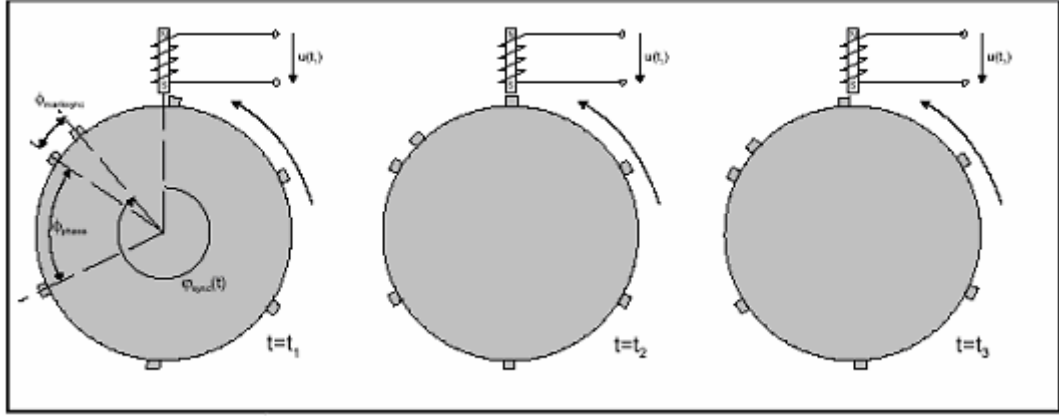
Kam milinin üzerine yerleştirilmiş bir algılayıcı ile kam milini yani motorun pozisyon bilgisini 720 derecelik krank açısı cinsinde belirlemeye yarayan sensördür. Şekil 3.5'de Ecotorq motoruna ait kam sensörünün şematik resmi verilmiştir[2].

Kam milinin üzerinde faz çemberi denilen ve üstünde p (motorumuz için 5) sayıda faz dişi ve birde başlangıç dişi bulunur. Hemen yanı başında manyetik akı algılayıcısı bulunur. Bu algılayıcı üzerinde işaret dişleri geçerken AC akım üretirler.

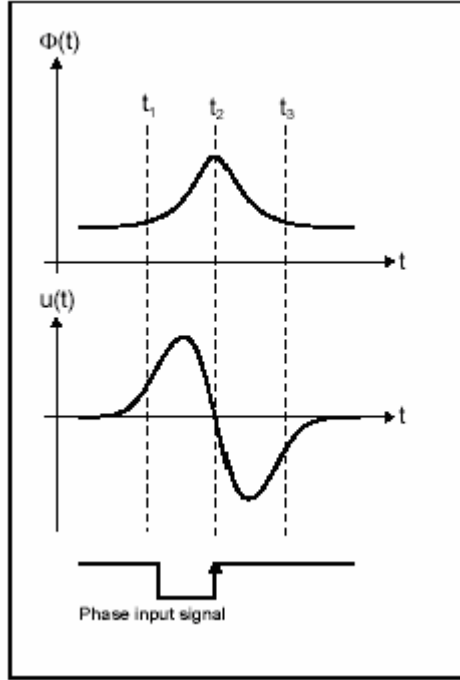
Bu sistem iki adet sinyal algılama sistemine sahiptir. Acı tabanlı faz açısı algılama sistemi voltaj değeri ile faz acısı bulma yöntemini kullanır. İkinci ise zaman tabanlı faz acısı algılama sistemi bu diş işaretçilerinin kayma zamanlarını kullanarak faz acısını hesaplar. Acı tabanlı yöntem hızlı senkronize olduğu için motor çalıştırma anında kullanılırlar. Zaman tabanlı sistem ise düşük dijital bellek kullandığı için özellikle yüksek hızlarda idealdir[2].



Şekil 3.5: Kam Sensörü



Şekil 3.6 Kam Sensörü Diş Sayma Şematığı



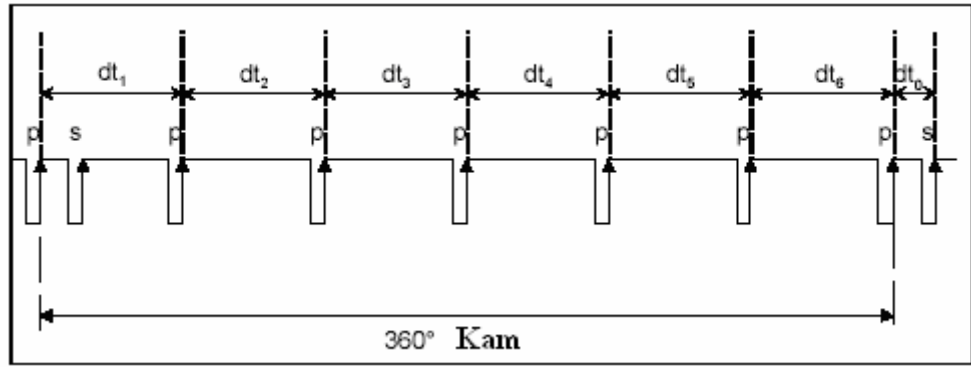
Şekil 3.7: Kam Sensörü Akım Değişimi

Kam pozisyon algılayıcısı çalışma prensibi krank algılayıcısına benzer ve Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 de t_1 - t_2 zaman aralığında dişlerden biri algılayıcıya yaklaşıyor ve manyetik akı artıyor. t_3 anında diş ve algılayıcı birbirlerine en yakın konumda ve manyetik akı azami değerinde ve t_2 - t_3 aralığında diş uzaklaşıyor ve manyetik akı yine düşüyor. Ayrıldıkları nokta kam algılayıcısında daha az diş bulunmasıdır. Bundan dolayı daha doğru faz açısı için daha önce anlatılan iki yöntem kullanılmaktadır.

Acı tabanlı faz açısı algılama yöntemi, doğrudan analog yöntemle manyetik akıya göre voltajı ölçtüğünden değer kesindir ve hiçbir şüphe götürmez. Ayrıca bu yöntem

ivmelenmelerden de hiçbir şekilde etkilenmez ve her zaman doğru sonuç verir. Bu yöntemin her zaman kullanılamamasının tek nedeni dijital işlemciye verdiği aşırı yüküdür bundan dolayı sadece zaman tabanlı yöntemin kullanılmadığı yerlerde kullanılır. İki yöntem birbiri ile iç içe çalışır böylece istenilen motor pozisyon bilgisine her zaman ulaşılabilir[2].

Zaman tabanlı faz (motor) acısı algılama sistemi, dijital anlamda sisteme fazla yük getirmediği için özellikle toplanan verinin büyüdüğü yüksek hızlar için idealdir. Bu sistem motor ilk çalıştığında kullanılamaz çünkü bir defa başlangıç sensörü üstünden kaymadan motorun hangi acıda olduğunu anlayamaz. Şekil 3.8' de algılama sistematüğini ayrıntıları verilmiştir[2].



Şekil 3.8: Kam Sensörü Pozisyon Algılama Şematüğü

Bu yöntemde cihaz dişlerinin her biri arasında geçen zaman olarak tanımlanan p süresini hafızasında tutar ve gerekli oranlamaları yaparak motor hızını ve pozisyonunu hesaplar. Yüksek ivmeler yokken ve özellikle motor sabit hızdayken bu yöntem iyi bir doğruluk ile çalışır.

Bu durumda her diş periyotları arasında oran

$$W_{faz}(n) = dt_{n-1} / dt_n \quad (3.1)$$

Ve Başlangıç dişi arası oran:

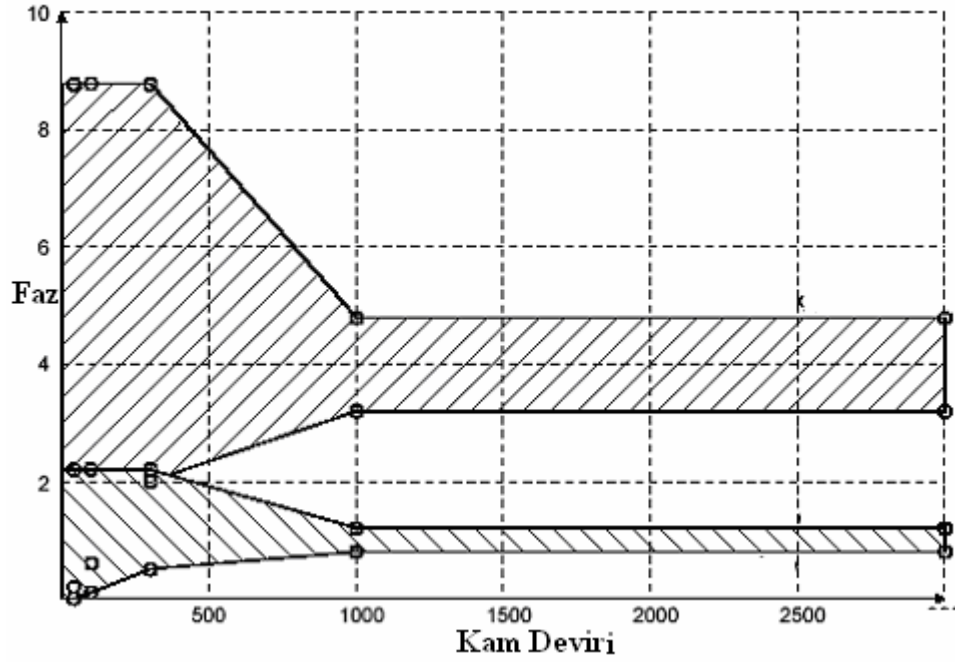
$$W_{baş} = dt_6 / dt_0 \text{ dır.} \quad (3.2)$$

Eğer araç aşırı ivmelenmiyor ise :

$$W_{faz}=1 \quad (3.3)$$

$W_{baş} \gg 1$ olduğu için doğru şekilde ölçüm yapabilir.

Fakat motor negatif veya pozitif ivmelenirken W_{faz} 1 den çok büyük olabileceği için zamanların birbirine karışma şansı vardır. Bundan dolayı EKV bu yöntemi ancak aşağıda Şekil 3.9'da belirtilen motorun kalibrasyonu sırasında belirlenmiş değerler arasında çıktığında kullanır aksi takdirde dijital yüke rağmen açı bazlı yöntemden veriyi alır.



Şekil 3.9: Kam Sensörü Açısal Çalışma Aralığı

3.1.3 Araç Hızının Algılanması

Araç hızının motorun elektronik kontrol ünitesine ulaşması dolaylı bir yol izler. Aracın hızı ABS veya alternatif bir algılayıcı ile ölçüldükten sonra takometreye bağlanır. Aracın elektronik kontrol ünitesi bu takometreden çıkan 5V'luk sinyal sayesinde okur. Bu sinyaller belli bir aralıkta geldiği için bu bilgide kullanılarak araç ivmesi de belli bir hassasiyette elektronik kontrol ünitesi tarafından hesaplanır.

3.1.4 Gaz Pedalı Pozisyonunun Algılanması

Bu pozisyonun algılanmasında iki temel algılayıcı esas olarak çalışır: Pozisyon aç kapa düğmesi ve gaz pedalı pozisyon potansiyometresi. Bu iki veri kullanılarak üretilecek tork miktarına uygun bir çıkış sinyali yaratılır[7].

Potansiyometre tarafında üretilen AC sinyal bir analog-dijital çevirici tarafından dijital sinyale çevrilere elektronik kontrol ünitesine iletilir. Ayrıca pozisyon aç kapa

düğmesi de aracın tam yükte mi yoksa hiç yükte mi olduğunu söyler. Bu sırada debriyajdan gelen sinyalde önemlidir çünkü gaz pedalına debriyaja basılıyken aşırı bir şekilde basılması motorun aşırı yüklenmesine sebep olabilir.

Potansiyometre ve aç-kapa düğmesinden gelen sinyaller işlenip gerekli tork çıktı sinyali üretilmeden önce aşağıdaki sinyaller elektronik kontrol ünitesi tarafında incelenir.

- 1 Gaz pedal pozisyonu
- 2 Aç-kapa düğmesinin konumu
- 3 Servis fren freninin konumu
- 4 Debriyajın konumu

Bütün bu veriler elektronik kontrol ünitesi tarafından değerlendirilerek gerekli koşullar altında daha önce motor dinamometrelerinde oluşturulan haritalara uygun tork değerini verecek, püskürtme sinyali enjektörlere yollanır.



Şekil 3.10: Gaz Pedalı ve Pozisyon Sensörü

3.1.5 Açık Hava Basıncının ve Hava Sıcaklığının Algılanması

Basınç algılayıcısından gelen sinyal analog dijital çeviricide dijital sinyale çevrildikten sonra elektronik kontrol ünitesi içindeki oranlama ile basınç bilgisine ulaşılır bu bilgi elektronik kontrol ünitesi tarafından üretilen sinyallerde kullanılır.

Aynı şekilde sıcaklık algılayıcısından gelen sinyallerde elektronik kontrol ünitesi içinde daha önce hazırlanmış kalibrasyon haritalarına kullanılır ve bu sayede enjektörlere gerekli sinyal gönderilir.

3.1.6 Diğer Verilerin Algılanması

Bilindiği gibi incelenen motorda ve kamyonunda daha bir çok veri algılanmakta ve kontrol ünitesine ulaştırılmaktadır[2]:

Hava Giriş Basınç Algılayıcı:Hava giriş üzerinde ki basıncı algılar ve elektronik kontrol ünitesine yollar.

Hava Giriş sıcaklık algılayıcısı: Hava Giriş üzerinde ki sıcaklığı algılar.

Yakıt Filtresi Basınç Algılayıcısı: Bu algılayıcı bir aç-kapa düğmesi gibi çalışır. Basınç belli bir değerin altına düştüğünde elektronik kontrol ünitesine bir hata sinyali yollar ve böylece filtre problemi anlaşılır.

Yakıt sıcaklığı algılayıcısı: Dizel motorların yakıtının performansı sıcaklık ile değiştiği için bu bilginin de motorun kontrolü için bilinmesi gerekmektedir. Bundan dolayı yakıtın sıcaklığı bir algılayıcı ile ölçülüp elektronik kontrol ünitesine bildirilir.

Yakıt basınç algılayıcısı: Ortak yakıt yolu üzerindeki yakıtın basıncı ölçülerek elektronik kontrol ünitesine iletilir.

Motor yağı sıcaklık ve basınç algılayıcısı: Motor yağına ait basınç ve sıcaklıkta ölçülerek elektronik kontrol ünitesine aktarılır. Bu hem motorun doğru bir şekilde çalışması hem de motorun yağsız kalması durumunda sürücüyü uarması bakımından önemlidir.

Hava Miktarı Algılayıcısı: Motor içine alınan hava miktarının ölçülmesi için kullanılır.

Akü Şarj Algılayıcısı: Aküdeki şarj miktarın ölçülmesinde kullanılır.

Servis Freni Algılayıcısı: Servis frenine basılı olup olmadığına elektronik kontrol ünitesine bildirir. Servis frenine basılı iken araç normal koşullar altında kendinden beklenen tepkiyi vermeyeceği için oluşacak hataları engellemekte kullanılır.

Debriyaj Algılayıcısı. Debriyaja basılı iken oluşabilecek hata durumlarını engellemek için kullanılır. Örneğin debriyaj basılı konumda gaz pedalına basılırsa motor aşırı dönmeye çalışacaktır.

Anahtar Algılama: Kontak anahtarının döndürülmesi ile gelen sinyal elektronik kontrol ünitesini uyarır ve elektronik kontrol ünitesi motoru başlatan sinyali yollar.

Park freni algılayıcısı: Park frenin açık olup olmadığını bildirir.

Retarder algılayıcısı: Retarder in devreye girdiğini elektronik kontrol ünitesine bildirir.

3.2 Kontrol Ünitesi

İncelenen kamyonunda Bosch marka ortak yakıt yollu hafif ve ağır ticari taşıtlar için yapılmış elektronik kontrol ünitesi kullanılmaktadır. Kullanılan elektronik kontrol ünitesi EDC7C1 olarak adlandırılmakta ve direkt olarak motorun üzerine bağlanabilmektedir. İncelenen araç motorunda sıcaklıklar yüksek mertebelere çıktığı için motor ile elektronik kontrol ünitesi arasında birde soğutucu plaka yerleştirilmiştir. elektronik kontrol ünitesi üzerinde çalışan yazılım Bosch marka CP3 yüksek basınç enjektörlerini kumanda etmek için özel geliştirilmiştir. elektronik kontrol ünitesine ister 12 V istenir ise de 24 V ile beslenebilir. Kullanılan bağlantı protokolü on ISOLine is KWP2000dir ki bu da uluslar arası ISO'nun kabul ettiği bağlantı protokolüdür. elektronik kontrol ünitesi silindir başına 5 enjektör yazılım ise silindir başına 4 enjektör için geliştirilmiştir. Kontrol edilebilecek azami silindir sayısı 6 dır[2].

Elektronik kontrol ünitesinin kontrol ettiği temel algoritmalar:

Püskürtülecek yakıt miktarı

Yakıt Basıncı

Seyahat kontrolü/ araç azami hızı

Duman ve Tork limiti

Silindir dengelenmesi

Püskürtme zamanları

Egzoz gazı resirkülasyonu

Motor hata kodları ve görüntülenmesi.

3.2.1 Püskürtülecek Yakıt Miktarı

Motorun çalışması için gerekli asgari yakıt miktarını hesaplayan elektronik kontrol ünitesi gerekli yakıtı püskürtecek sinyali enjektörlere yollar. Bu yakıt miktarı farklı koşullara göre farklı değerler alabilmektedir.

Giriş verileri:

İçeri giren hava sıcaklığı

Soğutma sıcaklığı

Motor devri

Yakıt sıcaklığıdır.

Kontak anahtarı pozisyonu, aracın ve motorun hangi ortamda olduğunu belirleyen parametrelerdir. Elektronik kontrol ünitesine daha önceki testleri ve haritaları kullanarak ateşleme işleminin ne kadar süreceği, ateşleme sırası yakıt miktarı bilgisini yaratır ve enjektörlere gönderir.

Araç motoru çalıştıktan sonra gaz pedalında gelen yani sürücünün istediği tork ve güç miktarına göre püskürtülecek olan yakıt miktarı hesaplanır. Tabi ki burada da yine bir önceki bölümde belirtilen ortam koşullarının püskürtülecek olan yakıt miktarında önemi vardır ama esas belirleyici faktör gaz pedalını pozisyonudur.

Bütün bu veriler işlenirken üst tarafta çalışan başka bir algoritma aracın daha önceden belirlemiş üst azami hız limitini ve motorun azami devir limitini aşmasını engeller. Buda püskürtülecek yakıt miktarını belirleyen çok önemli bir faktördür.

3.2.2 Yakıt Basıncı Kontrolü

Yakıt basıncı kontrolü iki ana kısımdan oluşur:

Yakıt basıncı kontrolü ve yakıt basıncı ölçülmesi,

Yüksek basınç yakıt pompası içindeki selenoid valf elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir bu sayede ortak yakıt yolundaki basınç ayarlanabilir. Yakıt yolu içindeki basınç daha önce hazırlanmış veri haritaları tarafından PID kontrolü ile kontrol edilir. Ayrıca anlık yakıt basıncı ölçülerek başka bir PI kontrolü sayesinde harita dışına çıkan veriler kompanse edilir[2].

Normal koşullar altındaki kontrol durumları:

Tam basınç-sıfır durumu, ateşleme olmadığı anda geçerlidir ayrıca ölçülen yakıt basıncı bir hata durumun gösterecek durumda ise sistem kendini bu pozisyona alır.

Hasar durumu,yakıt basınç algılayıcısı hasar aldığı durumdur.

Yavaş durum yakıt yolu içindeki basınç yeterli değil ise devreye girer.

Başlangıç durumu motor çalıştırılma anında bu pozisyon kullanılarak motor çalışır.

3.2.3 Seyahat Kontrolü ve Araç Azami Hızı

Araç motoru aracın güvenli şekilde yolculuk edebileceği hızın üzerine çıkmasına sebep olabilir. Örnek olarak yokuş tırmanma ve aracın esnekliğini artıran ve motorun karakteristik özelliğini oluşturan güç ve tork eğrileri düz ve yokuş aşağı yolda aracın lastiğinin izin verdiği hız limitinin çok üstüne çıkabilir, tabi ki buda sürüş güvenliğini tehlikeye atar. Bunun yanında ağır vasıta taşıtlarında aracı hızlandırmak kadar, yavaşlatmak ve durdurmakta bir problem olduğu için aşırı hızlar tercih edilmemektedir, zaten bu konuda yasal zorunluluklarda vardır. İşte bütün bu sebeplerden dolayı araç daha önceden ayarlanmış ve aracın teknik özelliklerine göre güvenli bir azami hızda sınırlanır. Araç bu hızı geldiğinde elektronik kontrol ünitesindeki algoritma devreye girerek püskürtülen yakıt miktarını azaltarak veya durdurarak aracın kendisine müsaade edilen azami hızda seyahat etmesini sağlar[7].

Araç elektronik olarak kontrol edildiği için, sürücü kabinine yapılacak ve sabit araç hızını belirleme ve seçme özelliklerinin konulacağı 3 tuşla araca sürüş kontrol özelliği konulabilir. Bu tuşlardan ikisi aracı yavaşlatmak ve hızlandırmak için gaz pedalı gibi çalışırken diğeri ise araç hızının sabitleneceği noktayı belirlemek için kullanılır.

Belirtilen verileri okuyan elektronik kontrol ünitesine buna göre ayarlamaları yaparak aracı istenilen hızda sürüşünü devam ettirecek veya istenilen hıza ulaştıracak püskürtmeyi sağlar.

- 1 Seyahat kontrolcünden gelen yakıt miktarı
- 2 Seyahat kontrolcünün açık olup olmadığı
- 3 Anlık püskürtme miktarı
- 4 Seyahat kontrolcüde arıza olup olmadığı
- 5 Debriyaja basılıp basılmadığı
- 6 Motor frenine basılıp basılmadığı
- 7 Motor devri
- 8 Retarderin devrede olup olmadığı
- 9 Servis frenine basılıp basılmadığı

10 Araç ivmesi

11 Araç vitesi

12 Araç hızı

Aşağıdaki durumlar gerçekleştiğinde ise sürüş/seyahat kontrolcü kendi kendine devre dışı kalır:

- 1 Seyahat kontrol arızalandığında,
- 2 Servis freni arızalandığında,
- 3 Servis frenine basıldığında,
- 4 Debriyaja basıldığında,
- 5 Motor freni devreye alındığında,
- 6 Retarder devreye alındığında,
- 7 Motor hızı çok yüksek ise,
- 8 Araç hızı çok düşük ise,
- 9 Araç vitesi çok düşük ise,
- 10 Negatif yönlü ivmelenme çok yüksek ise.

3.2.4 Duman ve Tork limiti

Duman ve tork miktarını belli sınırların altında tutmak için elektronik kontrol ünitesi üzerindeki yazılım yardımıyla püskürtülen yakıt miktarı sınırlanır.

Çevreye kirletmeyen motorlarda yakıt hava karışımının yanması için gerekli ideal hava miktarı yer değiştirme ile tespit edilir ve birinci derecen bir sabittir. Aşırı beslemeli içten yanmalı motorlarda silindir içi dolum genel olarak aşırı miktarda değişmektedir. Örnek olarak aşırı besleme sisteminin verimi veya aşırı besleme sisteminin devrede kalma zamanı anlatılan parametreyi etkiler. Bu değişiklik sonucu yanmamış yakıttan kaynaklanacak dumanı engellemek için püskürtülecek yakıt miktarı ile içeri alınacak hava arası dengeyi sağlamak gerekir. Püskürtülmesi gereken azami yakıt miktarı duman haritası denilen bir tablo ile hesaplanır. Bu harita motor devri ve içeri alınan hava miktarına göre püskürtülmesi gereken yakıt miktarı bulunmaktadır. Sensörlerden alınan motor devri ve hava miktarı sıcaklık ile de düzeltildikten sonra gerekli yakıt miktarı hesaplanır ve silindir içine püskürtülür. Bu

sayede duman oluşumu asgariye düşürülür.

Mekanik olarak motorun zarar görmesini engellemek için daha önce belirlenmiş tork eğrisine göre, motorun azami tork değerleri yakıt püskürtme miktarı ayarlanarak kontrol edilir ve sınırlanır.

3.2.5 Silindir Dengelenmesi

Her silindir de oluşabilecek enjektör kaçağı ve her enjektörün kendine has karakterinden dolayı daha önce yapılmış ölçümlere dayalı haritalar ile püskürtme düzelmesi yapılır ve motorun daha düzgün bir şekilde çalışması sağlanır.

3.2.6 Püskürtme Zamanları

Püskürtme zamanları motor kontrolünde çok önemli bir parametredir. Püskürtme zamanı enjektör elektrik gelmesi ile enjektörden elektrik kesilmesi arasında geçen ve mikro saniye mertebesinde ölçülen bir zamandır.

Püskürtme basıncının ne olduğu, püskürtme zamanın belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Püskürtme basıncı daha yüksek ise, Püskürtme zamanı daha kısadır. Püskürtme zamanı bazı haritalar ve veriler sayesinde – püskürtme miktarı ve yakıt basıncı sayesinde bulunur.

1. pilot püskürtme yakıt yolundaki ve enjektördeki basınçta varyasyonlara sebep olur. Bu oluşum ana Püskürtmedeki püskürtme miktarını etkiler. Bunda dolayı doğru püskürtmeyi sağlayacak veri haritalardan düzeltilerek yollanır.

2. pilot püskürtme zamanı, 2. pilot püskürtmede püskürtülecek yakıt miktarı ve püskürtme basıncı verilerine göre değişkenlik gösterir. Bu püskürtme sırasında DINJ_DT_P2_map olarak tanımlanan veri haritası kullanılır. 1. pilot püskürtme zamanı da aynı şekilde hesaplanır fakat kullanılan veri haritası DINJ_DT_P1_map dir[2].

Yine iki kısımdan oluşan ana püskürtmede DINJ_DT_MI/2_map haritalarının kullanarak ve Püskürtme miktarı-püskürtme basıncı verileri ile ana püskürtme zamanı hesaplanır.

3.2.7 Egzoz Gazı Resirkülasyonu

Kullanılan kontrol sistemi üzerinde hava sensörünün bağlanabileceği alt yapı ve buradan algıladığı değer ile egzoz gazı resirkülasyonu yapabileme yeteneği vardır.

Ecotorq motorda EGR Sistemi yer almamaktadır.

3.2.8 Motor Hata Kodları ve Görüntülenmesi

Elektronik kontrol sistemi motorun çalışması anında oluşan hatalara göre gerekli konumlarda sürücüyü uyarmakta ve motoru hemen kapatmasını istemektedir. Bazı durumlarda ise oluşan hata kodu motorun durmasını gerektirecek bir durum değildir. Her iki durumda da oluşan hata kodu elektronik kontrol ünitesinin hafızasına kaydedilir ve araç servise götürüldüğünde oluşan hatalar gözlenebilir ve arızanın sebebi daha rahat teşhis edilir[3].

4. MOTOR KALİBRASYONU ve ARAÇ TESTLERİ

Bu bölümde incelenen motorda, motor parametrelerini değişimi ile motor özelliklerinin değişimi ve yol testleri sırasında araç özelliklerinin motor çalışma noktaları üzerindeki etkisi yapılan deneysel çalışmalar yer almaktadır.

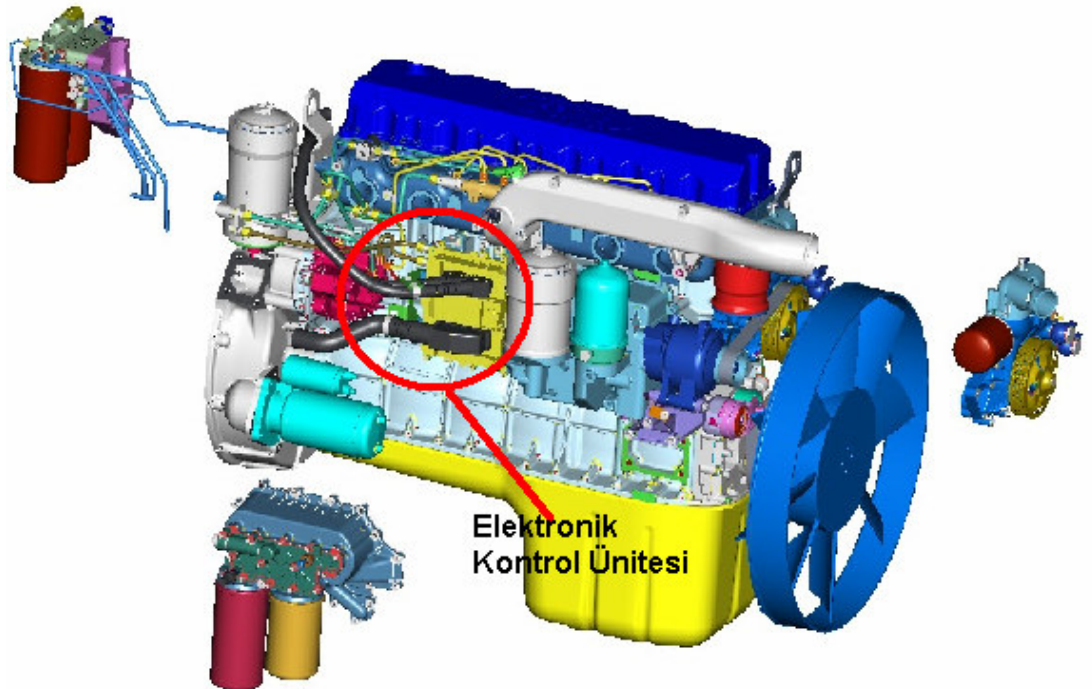
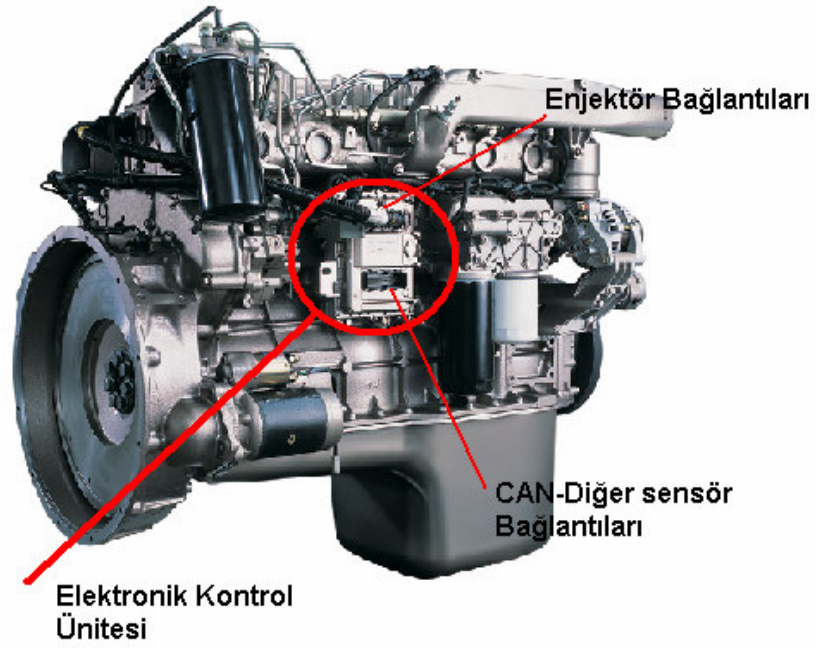
4.1 Araç Tanımı ve Özellikleri

Test aracı olarak son nesil bir NHDD yani modern ağır vasıta dizel motoruna sahip Şekil 4.2’de gösterilen Ford Cargo 3230 S araç test aracı olarak seçilmiştir.

Seçilen araçta Ford Otosan’ın geliştirdiği ve Bosch marka bir Elektronik kontrol tarafından yönetilen ortak yakıt yolu püskürtme sistemine sahip 9.0 L hacminde bir dizel motor bulunmaktadır. Motorla ilgili diğer temel bilgiler Tablo 4.1’de yer almaktadır. Motor ve elektronik kontrol ünitesinin gerçek ve bilgisayar tabanındaki resimleri Şekil 4.1 de görülmektedir.

Tablo 4.1: Test Motoru

Motor :	Ford Ecotorq
Geometri:	6 silindir Sıralı 24 supap
Motor Hacmi:	9 Lt
Azami Güç:	350 Ps (2400 d/d)
Azami Tork:	1400 Nm (1400-1800 d/d)



Şekil 4.1: Ecotorq Motor ve Elektronik Kontrol Ünitesi Gerçek ve Bilgisayar Görüntüsü

Araç testlerinin yapıldığı model ise 8x2, kendinden dümenli, yüksek kabinli, 32 ton kapasiteli uzun yol kamyonudur. 16 hızlı ZF 16s109 aracın sahip olduğu şanzıman sistemidir.



Şekil 4.2: Ford Cargo 3230 S Test Kamyonu

Motor üzerinde yapılan testler ve bu sırada elektronik kontrol ünitesinden toplanan veriler iki ana sınıfta incelenmiştir:

Dinamometre testleri

Araç testleri

Dinamometre testleri Ecotorq motorun araçtan bağımsız olarak uygun bağlantıların da kullanılmasıyla, araçtaki motor çalışma koşullarının taklit edilmesiyle yapılan testlerdir.

Araç testlerinde ise, araç çeşitli kullanma koşullarında gerçek yollarda kullanılmakta ve bu sırada elektronik kontrol ünitesindeki veriler toplanmakta, motorun çalışma sistematığı incelenebilmektedir.

4.2 Dinamometre Testleri:

Motorun araçtan bağımsız olarak bir dinamometreye bağlanması amacıyla yapılan testlerdir. Motorun ilk geliştirildiği aşamalarda motor özelliklerini ve elektronik

kontrol sistemi tarafından kullanılacak haritaların çıkarılmasında bu testler kullanılmaktadır. Bu testler sırasında aracın elektronik kontrol ünitesi kullanarak CAN-analizörü sayesinde aracın ve motorun kendine ait sensörlerinden sinyal toplanması yanı sıra, yüksek teknolojiye sahip dinamometrelerde kendi sensörleri ile birçok veri toplayabilmektedir.

Motorun hangi çalışma koşullarında ne kadar yakıt yaktığı ve bu çalışma koşullarında çıkardığı egzoz emisyonlarını ölçülmesi bu testlerin ve motor kalibrasyonu denen sistemin en önemli bölümüdür. Özellikle incelen ağır taşıt motorlarında egzoz regülasyonu motor dinamometre testleri ile yapıldığı için bu ölçüm ve analizlerin doğruluğu daha da önem kazanmaktadır.

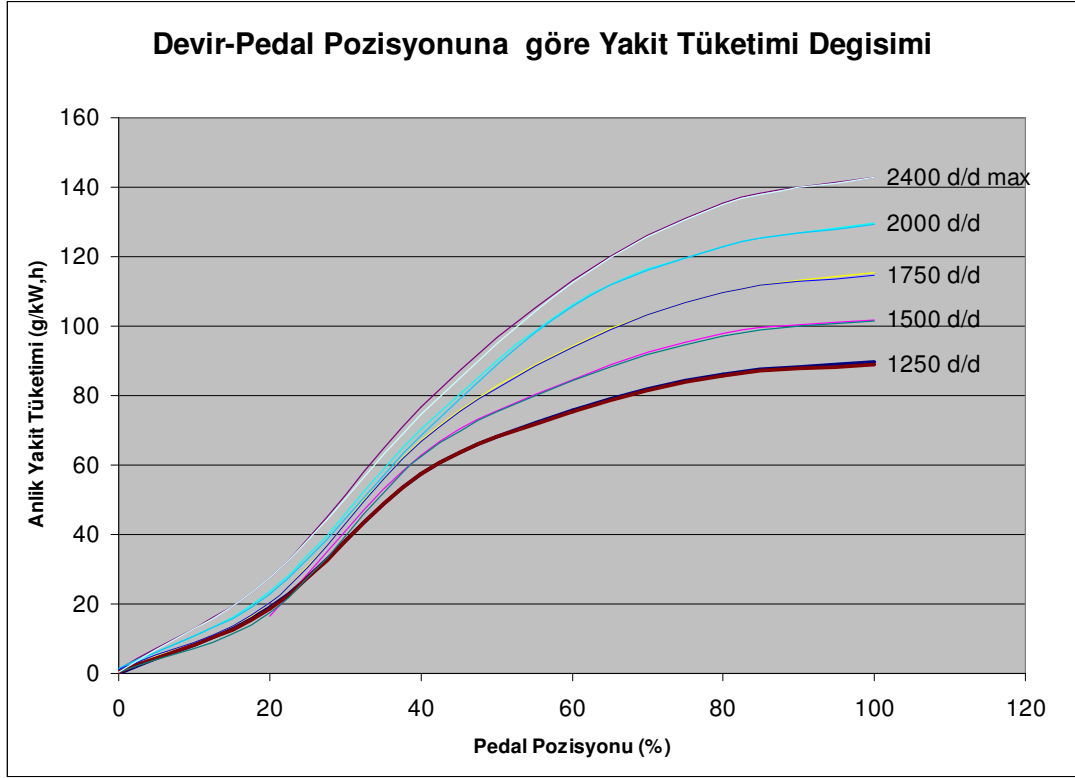
4.2.1 Yakıt Haritaların Çıkarılması

Motorun belli yük durumlarında belli devirlerde üretmesi gereken tork miktarına göre yakıt sistemin püskürtmesi gereken yakıt miktarı başka bir deyişle motorun harcayacağı yakıtın belirlenmesi gerekmektedir. Bu miktar önce dinamometre testleri ile ölçülür ve daha sonra yakıt haritaları haline getirilir. Araç oluşturulduktan sonra ise bu haritalar kullanılarak, püskürtülmesi gereken yakıt miktarı hesaplanır.

7.3 L – 300 Ps motorun dinamometreye bağlanması sonucu çıkartılan yakıt haritasını incelendiğinde:

Yakıt haritası çıkartılırken 2 temel parametre değiştirilir ve yakıt sarfiyatının nasıl değiştiği incelenir.

Şekil 4.3'te motorun elektronik kontrol ünitesinden toplanan motor devri (d/d) ve pedal pozisyonu (% yüzde olarak) belli oranlar ile arttırılmış buna göre harcanan yakıt miktarı ise dinamometre sistemine bağlı yakıt ölçüm cihazı tarafından ölçülmüştür.



Şekil 4.3: Pedal Pozisyonu ile Özgül Yakıt Tüketiminin Çeşitli Devirlerde Değişimi

Görüldüğü gibi bu testler pedal pozisyonun başka bir deyişle motor yükünün artırılması püskürtülen yakıt miktarını arttırmış bu da harcanan yakıt miktarını arttırmıştır.

Pedal Pozisyonu sabit tutularak araç devrini yükselmesi de bu devirlerdeki tork miktarının artmasından dolayı anlık tüketimini yükselmektedir.

4.2.2 Yakıt Tüketimi ve Emisyon Gazları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi ve Haritaların Düzenlenmesi

Motor kalibrasyonu yapılmasında günümüz motorlarında iki adet temel kısıtlayıcı vardır ve bunlar birbirleriyle tam ters çalışır. Bunlardan birincisi yakıt tüketimi iken diğeri ise egzoz gazları emisyonlarıdır. Yakıt tüketimin aşırı şekilde düşürülmesi NOx gazları emisyonunun yükselmesine sebep olacaktır. Bundan dolayı bu iki parametreyi en optimum şekilde sağlayacak kalibrasyon motora uygulanmalıdır. Bazı durumlarda motor sonrası araç sistemlerine EGR, SCR, Katalitik-Konvertör gibi sistemler takılması sonucu yakıt tüketimi düşülerek ve emisyon gazı filtre edilerek, mühendislik optimizasyon sınırları değiştirilmekte, her iki parametreyi de daha iyi sağlayabilen daha mükemmel araçlar yapılabilmektedir[6].

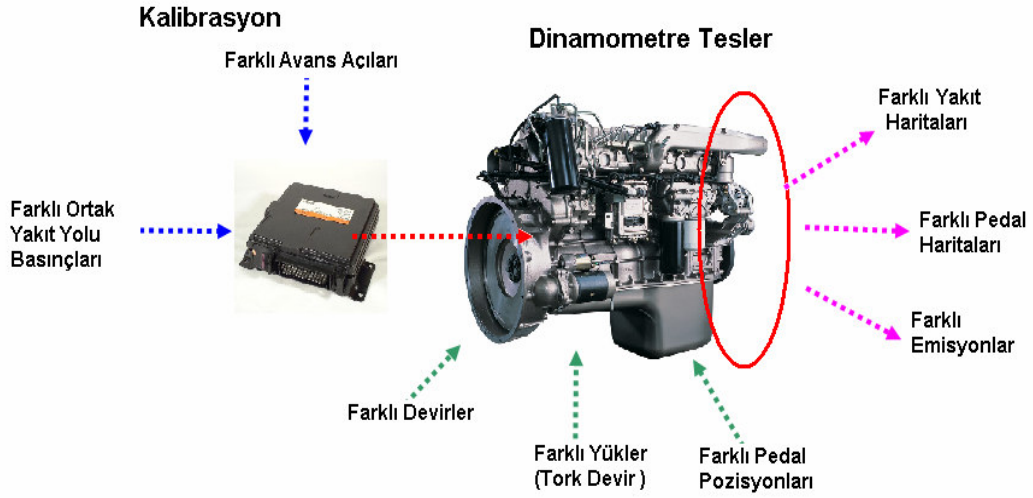
Günümüz ticari ağır taşıtları ve üzerinde çalışılan test aracı 3230 S kamyon, araç boş ağırlığı 2815 kg üstünde olan araçlardır ve ağır taşıt emisyon sınıfına girmektedir. Emisyon homologasyonu araç için değil motor için yapılmaktadır. Bu testte motor daha önce belirlenmiş belli devir ve belli yüklerdeki 13 noktada çalıştırılır ve emisyon gazları ölçülür. Tablo 4.2’ de 1999/96/EC regülasyonuna göre test noktaları bulunmaktadır [5].

Tablo 4.2: EC Emisyon Regülasyonu Test Noktaları

ECE R49			
MOD	Motor Hızı	Motor Yüğü	Ağırlık oranı %
1	rölanti	0	0.25/3
2		100	0.08
3		50	0.08
4		75	0.08
5		50	0.08
6		75	0.25
7		rölanti	25
8		100	0.1
9		25	0.02
10		100	0.02
11		25	0.02
12		75	0.02
13		rölanti	50

4.2.3 Motor Kalibrasyonu ve Motor Parametrelerinin Motor Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Elektronik kontrol sistemine sahip olan motorumuz, bu sistem üzerinden motor parametrelerin değiştirilmesiyle, üreteceği tork, güç, emisyonlar, harcadığı yakıt açısından kalibre edilebilir. Motor dinamometresine bağlanan 350 Ps gücünde Ecotorq motor avans zamanlamaları ve ortak yakıt yolu sistemindeki basınçlar değiştirilerek bunların emisyon, tork, güç ve püskürtülmesi gereken yakıt miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.4’de bu işlemi anlatan kalibrasyon şeması görülmektedir.



Şekil 4.4: Motor Kalibrasyon Akış Şeması

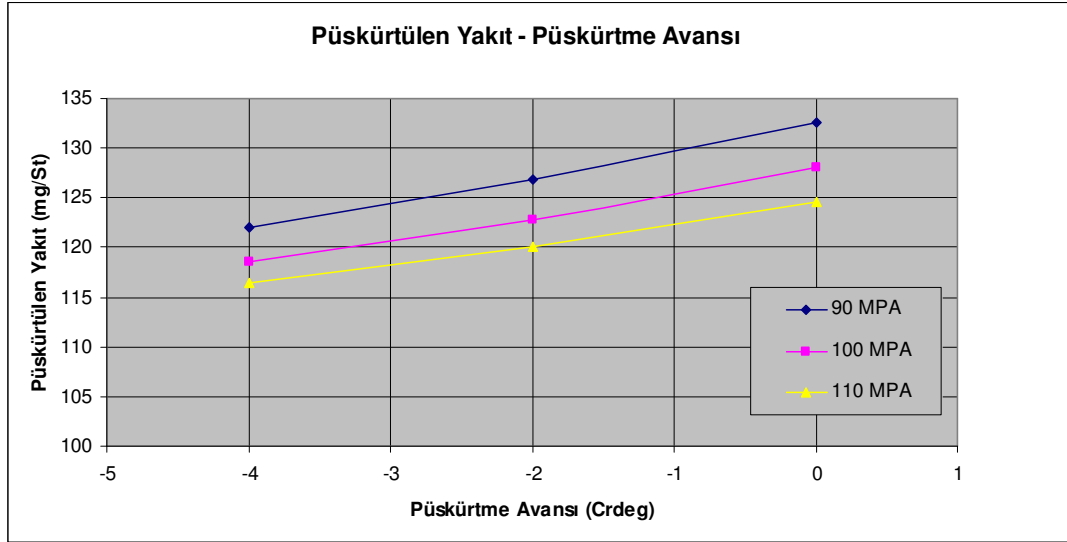
4.2.3.1 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basınc Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Etkisi

Motor dinamometresinde Tablo 4.3’de ki çalışma noktasına getirilen motor, sabit tork ve güç üretmesi sağlanacak şekilde, gaz pedal pozisyonu ayarlanmaktadır.

Tablo 4.3: Motor Çalışma Noktası

Motor Hızı	1975	d/d
Tork	932	Nm
Güç	192	kW
Yük	75	%

Başka bir deyişle bu pedal pozisyonuna göre enjektörden püskürtülen yakıt miktarı değişmektedir. Püskürtme avansı değiştirilerek yanma odasındaki, yanma karakteristiği değişmekte buna bağlı olarak ta Tablo 4.3’ deki tork ve güce ulaşmak için püskürtülen yakıt miktarı değişmektedir. Yine aynı şekilde ortak yakıt yolundaki basıncın değişimi yanma karakteristiğini değiştirmekte ve gerekli tork ve gücü üretmek için püskürtülen yakıt miktarını değiştirmektedir.



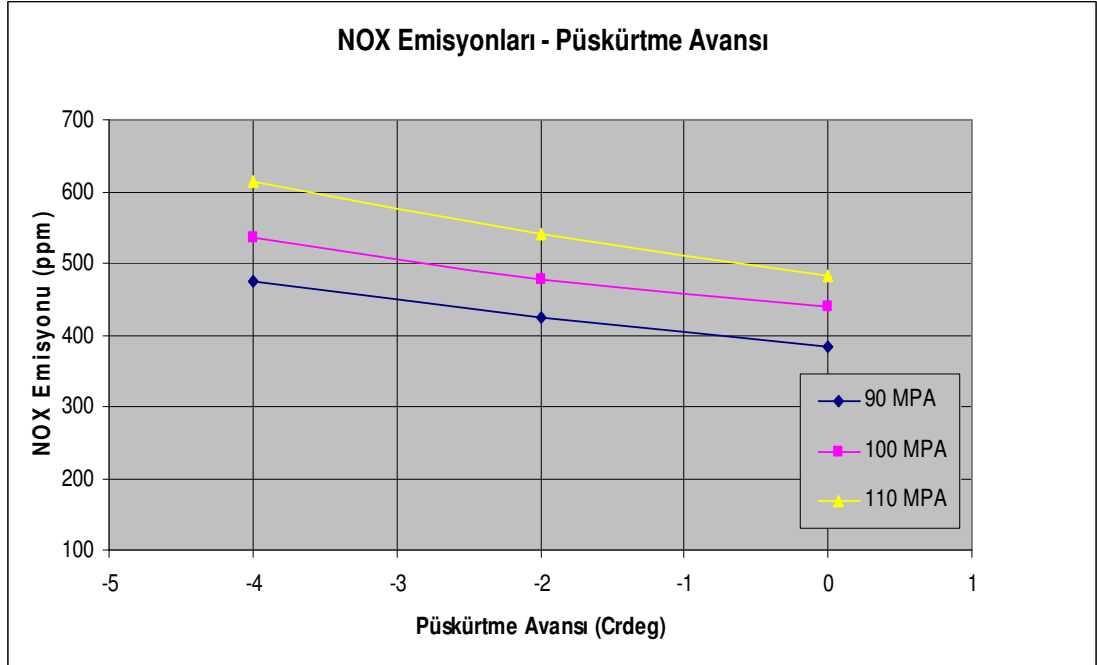
Şekil 4.5: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarını Değişimi

Şekil 4.4' de 3 farklı püskürtme avansı ve 3 farklı ortak yakıt yolu basıncında, 1975 d/d motor devrinde yani toplam 9 farklı motor kalibrasyonu için, bu devirdeki gücün %75 i olan 192 kW'lık motor gücünü elde etmek için püskürtülmesi gereken yakıt miktarı verilmiştir. Her üç farklı basınç değeri içinde -4,-2,0 derece krank mili açıları için avans zamanı arttıkça başka bir deyişle püskürtme zamanı geciktikçe strok başına püskürtülmesi gereken yakıt miktarı artmaktadır. Yine ortak yakıt yolunun basıncı arttıkça yakıt daha küçük spreyler halinde oluştuğu için, yanma kalitesi artmakta ve gerekli gücü üretmek için gereken strok başı yakıt püskürtme miktarı düşmektedir. Bu durumda yakıt tüketimi açısından en iyi kalibrasyon basıncın en yüksek olduğu 110 Mpa basınç ve püskürtme avansı olarak ta, püskürtmenin en erken başladığı -4 derece krank mili açıdır.

4.2.3.2 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin NOx Emisyonlarına Etkisi

Tablo 4.3' de verilen çalışma noktasında yine aynı 9 farklı kalibrasyon değeri için NOx emisyonlarının değişimi Şekil 4.6' da verilmiştir. Her üç ortak yakıt yolu basınç değeri için de farklı avans zamanlarında NOx emisyonları aynı eğilimi göstermiştir. Avans zamanı erkene kaydıkça NOx üretimi artmaktadır. Yine farklı basınç yolu basınçlarındaki NOx oluşumu incelendiğinde daha iyi yanmadan dolayı NOx oluşumu basınç arttıkça artmaktadır. Püskürtülen yakıt miktarına ters olarak NOx emisyonları avans zamanı erkene kaydıkça kötüleşmekte ve yine ortak yakıt yolu

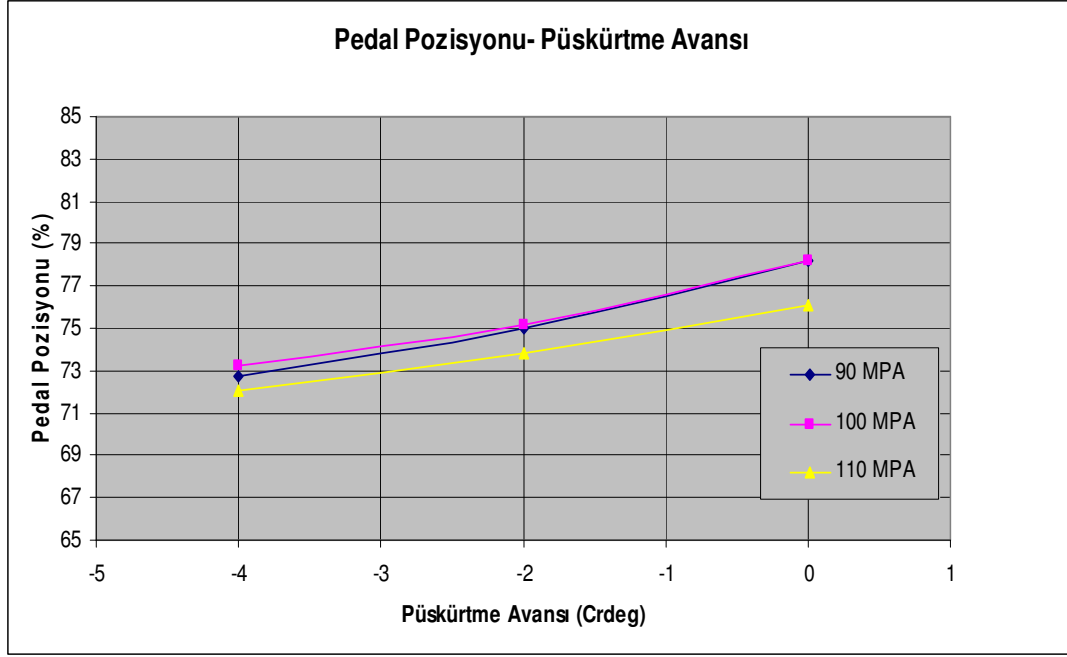
basıncı arttıkça artmaktadır. NOx emisyonları açısından en iyi kalibrasyon Yakıt yolu basıncının en düşük olduğu 90 Mpa ve püskürtme avansı bakımından püskürtmenin en geç olduğu 0 derece krank mili açısıdır.



Şekil 4.6: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emisyonu Miktarının Değişimi

4.2.3.3 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Gaz Pedalı Açısına Etkisi

Değişik motor kalibrasyonlar ile avansın ve ortak yakıt yolu basıncının değiştirilmesi sonucu püskürtülmesi gereken yakıt miktarı değişmekte bu da pedal kalibrasyonunun değiştirmektedir. Şekil 4.7'de değişen avans açıları ve yakıt yolu basınçlarına göre 1975 d/d motor devrinde 192 Kw güç elde etmek için gerekli gaz pedalı pozisyonları verilmiştir.

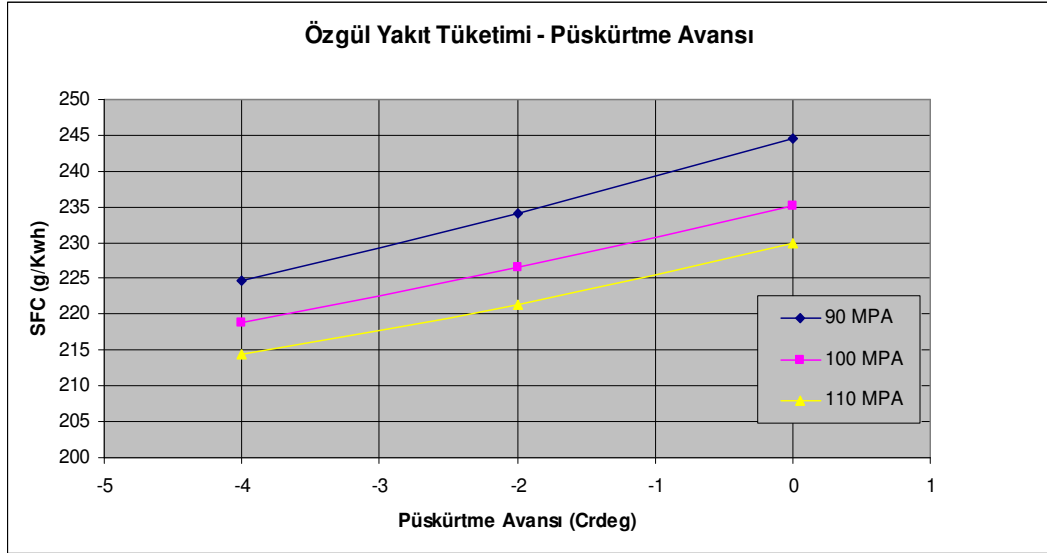


Şekil 4.7: Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Pedal Pozisyonunun Değişimi

Şekil 4.7' den de anlaşılacağı gibi aynı gücü üretmek için pedal pozisyonu açısı, birbirinden en farklı iki nokta için 6 derece kadar değişmektedir. Bu değer pedal kalibrasyonu açısından çok da büyük olmamasına rağmen %75'lik güç için 75 derecelik pedal pozisyonunu sağlayacak pedal kalibrasyonunun yeniden yapılması sürüş kalitesi açısından olumlu olacaktır fakat özellikle ağır ticari vasıtalar için varyasyon normaldir ve bu şekilde bırakılabilir.

4.2.3.4 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Yine aynı 9 kalibrasyon değeri için yapılan ölçümler sonucu özgül yakıt tüketimi eğilimin püskürtülen yakıt miktarı eğilimi ile aynı olduğunu Şekil 4.8' de görürüz çünkü yapılan ölçümlerin hepsi 192 Kw motor gücünü sağlayacak şekilde yapılmıştır farkı motor yüklerinde yapılacak ölçümlerde farklı kalibrasyon noktaları için özgül yakıt tüketimi, yakıt tüketiminden farklı karakter gösterebilmektedir.



Şekil 4.8: Püskürtme Avansı ve Püskürtme Basıncı ile Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi

4.2.3.5 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Farklı Motor Yüklerinde Etkisi

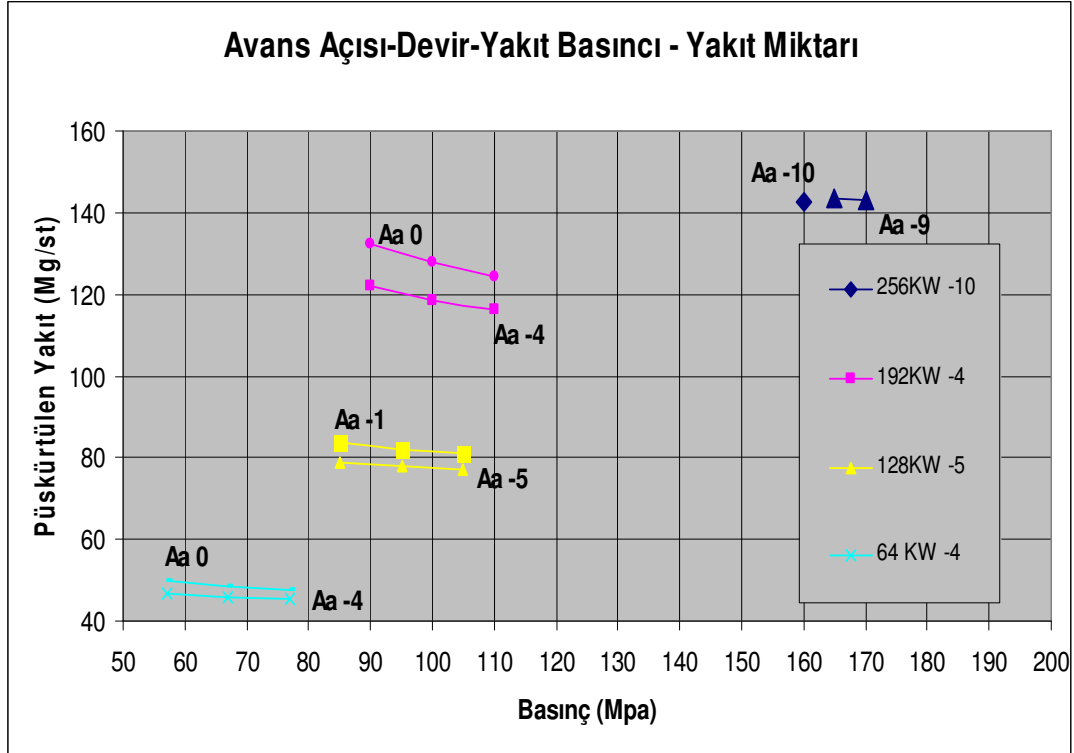
Bölüm 4.2.3.1 de incelen %75'lik motor çalışma noktasına karşılık Tablo 4.4 de verildiği gibi 1975 d/d motor hızında farklı motor yüklerin de avans zamanının ve ortak yakıt yolu basıncının değişiminin püskürtülen yakıt miktarı üzerindeki etkisi Şekil 4.9' da gösterilmiştir. Avans zamanının püskürtme miktarı üzerindeki etkisi 1975 d/d motor devrinde farklı motor yükleri için aynı eğilimi göstermekte, püskürtme gecikdikçe püskürtülen yakıtın artmasına sebep olmakta fakat etkileri birbirinden farklılık göstermektedir[4].

Tablo 4.4: Farklı Yüklerde Motor Çalışma Noktaları

Motor Hızı	1975	d/d
Yük	100	%
Yük	75	%
Yük	50	%
Yük	25	%

En büyük azalış farkı %75'lik motor gücünün verildiği ölçüm aralığında görülmektedir. Püskürtülen yakıt miktarı, yine ortak yakıt yolu basıncının değişiminin de bütün çalışma noktaları için %75'lik çalışma noktasında davrandığı gibi davranmakta yani basınç artımıyla düşmektedir. Burada da fazla motor yükleri için

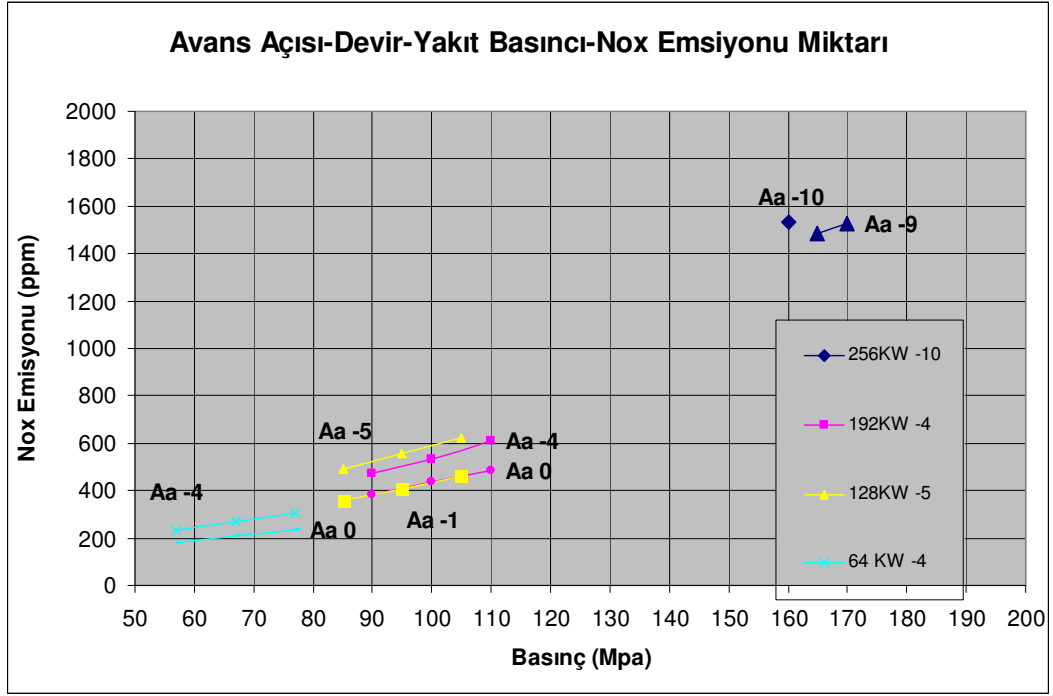
ortak yakıt yolunu püskürtme avansına etkisinin farklı oranlarda etkilediği gözükmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta farklı kalibrasyon noktaları için basınç değişimi farklı tutulmasına rağmen, motorun temel çalışma prensibinden dolayı aynı basınç ve avans noktalarında ölçüm alınamamasıdır.



Şekil 4.9: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarı Değişimi

4.2.3.6 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basınç Değişiminin NOx Emisyonlarına Farklı Motor Yüklerinde Etkisi

Tablo 4.4 de belirtilen motor çalışma noktalarında, farklı motor yüklerine göre NOx emisyon dağılımı Şekil 4.10'da verilmiştir. Bütün çalışma noktalarında avans zamanlarının erkene çekilmesi ile NOx emisyonları artmakta, ortak yakıt yolu basınç düşürüldükçe NOx emisyonları düşmektedir. Farklı motor yükleri ve farklı motor kalibrasyonlar için üretilen NOx emisyonları birbirine çok yakın değerler çıkabilmektedir.

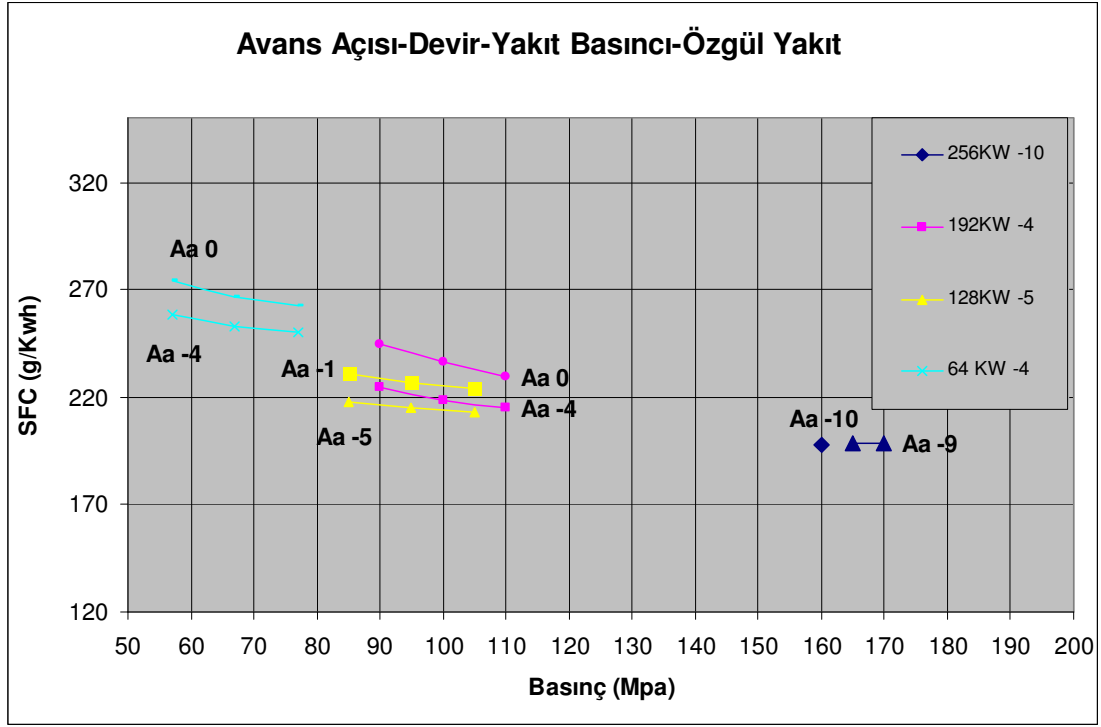


Şekil 4.10: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emsiyonu Değişimi

4.2.3.7 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Özgül Yakıt Tüketimine Farklı Motor Yüklerinde Etkisi

Sabit devir ve çeşitli motor yüklerinde özgül yakıt tüketimini Şekil 4.11’de gözüktüğü üzere, farklı kalibrasyonlar için incelediğinde avans açısını değişimine karşılık özgül yakıt tüketiminin, püskürtme zamanı geciktikçe, bütün yükler için özgül yakıt tüketiminin arttığı gözükmemektedir. Motor yükünün artması ile yanma verimi arttığı için özgül tüketim azalmakta. Ortak yakıt yolu basıncı arttıkça sprej boyu küçüldüğü için yine verim artmakta ve özgül yakıt tüketimi basınçla düşmektedir.

Bu açılar incelendiğinde kalibrasyonlar açısından en verimli nokta 170 Mpa ve avans açısı olarak -9 derece krank mili açısının uygulandığı %100 motor yüküne karşılık gelendir.



Şekil 4.11: Farklı Motor Yüklerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Özgül Yakıt Tüketiminin Değişimi

4.2.3.8 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin Püskürtülen Yakıt Miktarına Farklı Motor Devirlerinde Etkisi

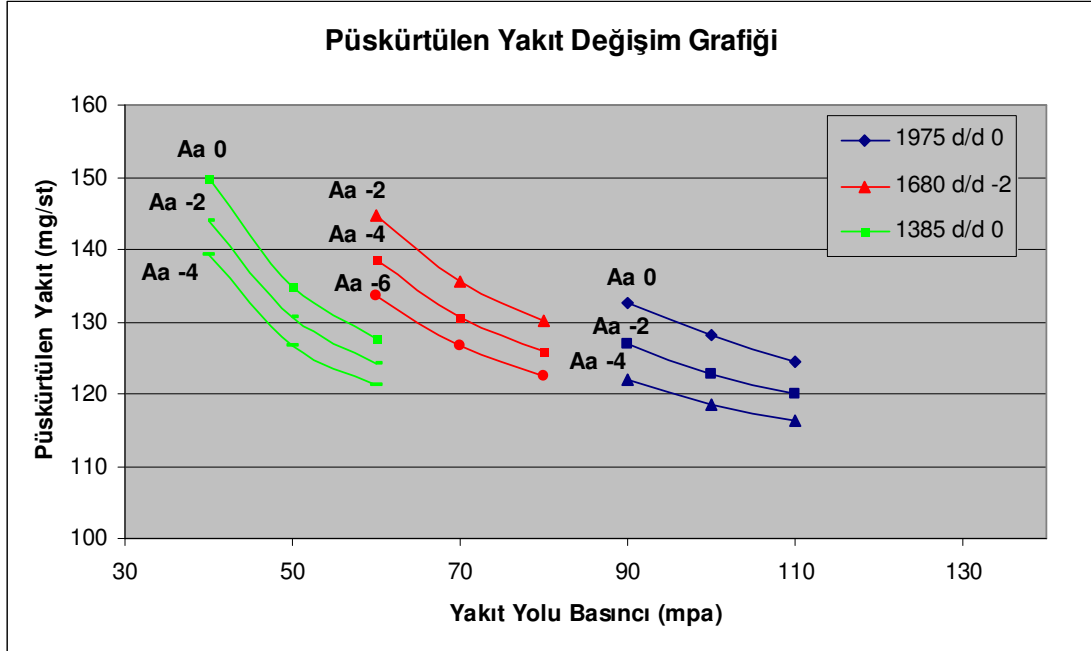
Farklı devirlerde motorun üretebileceği güç ve tork farklı olduğu için, farklı motor devirlerinde avans açılarını ve ortak yakıt yolu basınçlarını değiştirerek bunların etkisini incelemek motor kalibrasyonu açısından önemlidir. Yapılan ölçümlerde 3 farklı devirde, o devirdeki gücün %75 ini verecek şekilde, her bir devirde 3 farklı avans açısı ve 3 farklı ortak yakıt yolu basıncı ile toplam 27 noktadaki kalibrasyon incelemiştir. Motor çalışma noktalarını ayrıntısı Tablo 4.5'tedir.

Tablo 4.5: Farklı Devirlerde Motor Çalışma Noktaları

Motor Devri	Güç	Yük
1975 d/d	192 (Kw)	75%
1680 d/d	184(Kw)	75%
1385 d/d	152 (Kw)	75%

Şekil 4.12'de görüleceği gibi yakıt basıncını devir artışıyla birlikte artırılmasıyla hem elde edilen güç artırılabilen hem de yakıt tüketimi daha düşük değerlere

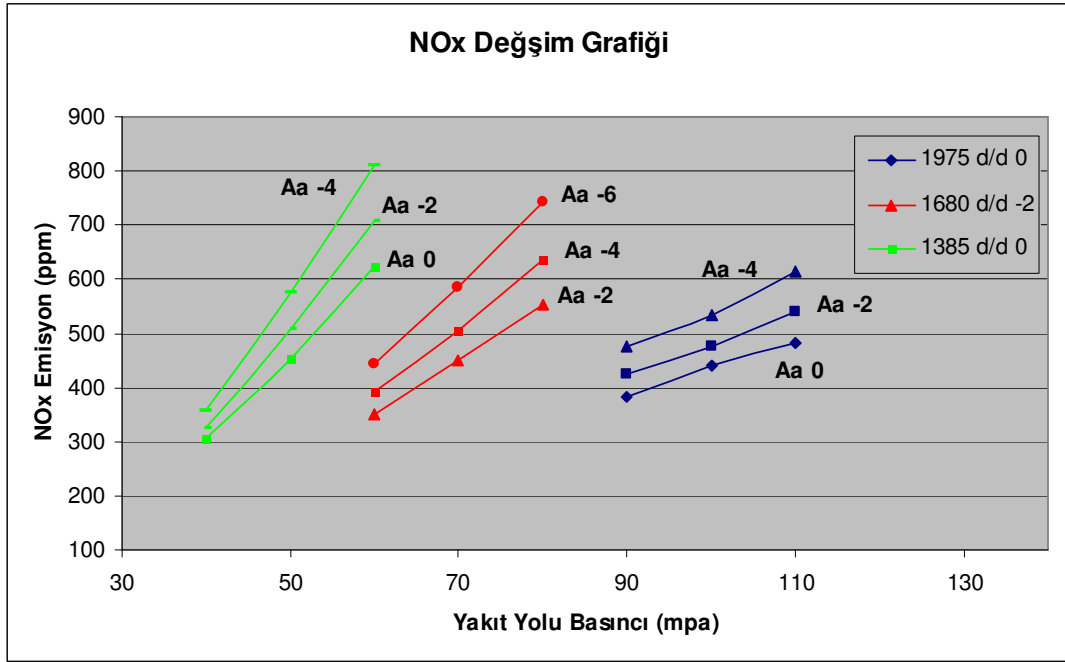
gelebilmektedir. Avans açısının püskürtülen yakıt üzerindeki etkisi bu grafiklerde çok daha rahat anlaşılacaktır. 1975 d/d motor devrinde avansın 0 dereceden -4 dereceye getirilmesi ile püskürtülen yakıt miktarı azaltılmış, artırılan basınçla da azamiye çekilmiştir.



Şekil 4.12: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Püskürtülen Yakıt Miktarı Değişimi

4.2.3.9 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Değişiminin NOx Emisyonlarına Farklı Motor Devirlerinde Etkisi

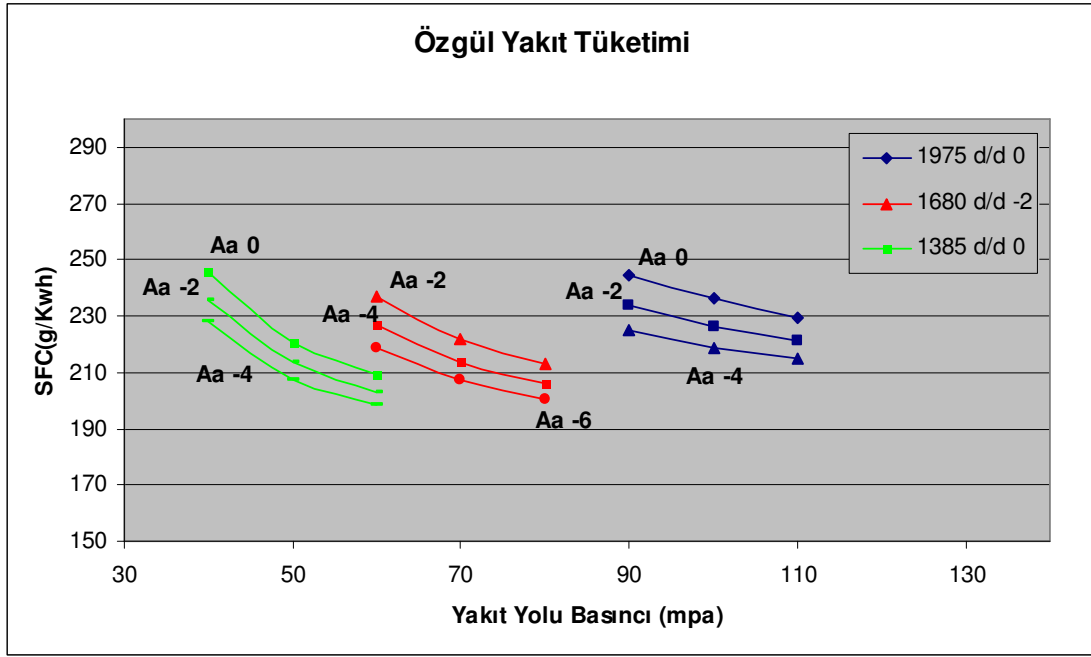
Şekil 4.13'de görüleceği gibi avans açısının küçültülmesi ve basıncın artırılması NOx emisyonlarını her devirde arttırmaktadır. Motor devri açısından incelendiğinde en yüksek emisyonları 1385 d/d motor devrinde vermekte olan motorun 1385 d/d da 0 derece avans açısı ve 40 Mpa ortak yakıt yolu basıncına göre kalibre edilmesi ve 1975 d/d motor devrinde ise emisyonların göreceli olarak küçük kalmasından faydalanılarak, - 4 avans açısı ve 110 Mpa değerlerine göre kalibrasyon edilmesi sayesinde hem yakıt tasarrufu yapılabilmekte hem de emisyon regülasyonları sağlanabilmektedir.



Şekil 4.13: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile NOx Emisyonlarının Değişimi

4.2.3.10 Püskürtme Avansı ve Yakıt Yolu Basıncı Özgül Yakıt Tüketimine Farklı Motor Devirlerinde Etkisi

Yüksek devirlerde artan güç miktarına rağmen, devirin ondan daha büyük oranda artması en yüksek özgül yakıt tüketimini 1975 d/d motor noktasına getirmektedir. Buna rağmen bölüm 4.2.3.1 deki kalibrasyon stratejisi kullanılarak yani ortak yakıt yolu basıncı yüksek tutularak ve avans öne çekilerek özgül yakıt tüketimi düşük tutulabilir. Bu sayede yüksek devirlerde yüksek tork gereksimi duyulan bölgelerde yakıt ekonomisi sağlanmış olur. 1385 d/d motor devrinde %75 yük fazla kullanılmayacağından bu devirde emisyon regülasyonun sağlanması bakımından kullanılabilir. 1680 d/d motor devirde ise hem emisyona yardımcı olması açısından hem de %75lik yükte kullanılan bir devir olmasından dolayı iki parametrenin de sağlanması gerekir ve çalışma noktası seçimi avans zamanı için - 4 derece krank mili açısı ve 80 Mpa olmalıdır. Şekil 4.14'te değişim ve etkilere ait ayrıntılı grafik verilmiştir.



Şekil 4.14: Farklı Motor Devirlerinde Püskürtme Avansı ve Basıncı ile Özgül Yakıt Tüketiminin Değişimi

Tablo 4.6: 1975 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları

SPEED	AIRFLOW	ALPHA	Timing	Rail_Pressure	FB_RATE	IFQ	NOX	P	SFC	Nox_Son
rpm	kg/h	%	deg CA	Mpa	kg/h	mg/str	ppm	kW	g/kW.h	g/kWh
1975	1393	100	-9	165	50.99	143.41	1485	256.9	198.4	12.04391828
1975	1391.2	100	-9	170	50.84	143.01	1528.5	256.49	198.2	12.35838737
1975	1391.7	100	-10	160	50.73	142.71	1533.1	256.85	197.5	12.42092983
1975	1422.5	78.2	0	90	47.14	132.56	382.92	192.89	244.3	4.180668845
1975	1402.8	75	-2	90	45.07	126.87	423.76	192.78	234	4.558129011
1975	1383	72.7	-4	90	43.37	121.99	475.47	192.8	224.9	5.024746992
1975	1401.6	78.2	0	100	45.51	128.04	439.63	192.77	236.1	4.705491775
1975	1397.4	75.2	-2	100	43.63	122.71	476.48	192.95	226.1	5.104212449
1975	1384.8	73.2	-4	100	42.16	118.49	534.38	192.8	218.5	5.662527183
1975	1401.2	76.1	0	110	44.28	124.52	483.17	192.99	229.4	5.188275154
1975	1385.7	73.8	-2	110	42.66	120.08	540.3	192.71	221.5	5.749794561
1975	1369.3	72.1	-4	110	41.39	116.4	613.49	192.63	214.8	6.42645484
1975	1210.9	48.7	-1	85	29.73	83.61	361.4	128.61	231.1	4.960353318
1975	1180.3	47.4	-3	85	28.8	80.97	413.6	128.68	223.7	5.528242092
1975	1146.9	46.2	-5	85	28	78.8	489.4	128.57	217.9	6.361663649
1975	1193.6	49	-1	95	29.19	82.14	410.09	128.71	226.9	5.542624456
1975	1161.5	47.8	-3	95	28.34	79.77	475.14	128.69	220.4	6.24919259
1975	1129.5	46.8	-5	95	27.67	77.84	558.32	128.8	214.8	7.136373031
1975	1175.7	49.3	-1	105	28.83	81.17	459.71	128.72	224.2	6.120295386
1975	1147	48.1	-3	105	28.05	78.9	530.4	128.64	218.1	6.919733269
1975	1117.9	47.1	-5	105	27.46	77.24	621.6	128.81	213.2	7.863854362
1975	942.8	29.9	0	57	17.68	49.76	180.53	64.47	274.4	3.794770558
1975	916.6	29.3	-2	57	17.1	48.23	202.48	64.28	266.7	4.149367917
1975	892.5	28.8	-4	57	16.62	46.75	231.78	64.34	258.3	4.643527536
1975	918.9	29.5	0	67	17.18	48.38	209.13	64.41	267	4.309799712
1975	895.2	29	-2	67	16.7	46.98	234.57	64.38	259.4	4.687400627
1975	874	28.5	-4	67	16.27	45.7	271.16	64.32	252.6	5.321333414
1975	905	29.1	0	77	16.89	47.52	232.24	64.36	262.5	4.718820855
1975	883.3	28.6	-2	77	16.44	46.3	262.14	64.44	255.4	5.18899136
1975	862.6	28.2	-4	77	16.05	45.19	306.14	64.15	250.4	5.945092849

Tablo 4.7: 1680 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları

SPEED	AIRFLOW	ALPHA	Timing	Rail_Pressure	FB_RATE	IFQ	NOX	P	SFC	Nox_Son
rpm	kg/h	%	deg CA	Mpa	kg/h	mg/str	ppm	kW	g/kW.h	g/kWh
1680	1279	78.8	-2	60	43.74	144.71	352.13	184.83	236.7	3.83637456
1680	1254.9	76.1	-4	60	41.93	138.56	393.37	184.73	226.8	3.980202492
1680	1236.3	74	-6	60	40.41	133.67	442.53	184.66	218.9	4.405034705
1680	1243	72.5	-2	70	41	135.54	449.61	184.75	221.9	4.50065917
1680	1224.3	69.9	-4	70	39.48	130.58	504.47	184.87	213.6	4.961952456
1680	1199.2	68.1	-6	70	38.26	126.58	585.39	184.7	207.2	5.625613264
1680	1217.5	69.4	-2	80	39.33	130.12	552.21	184.63	213.1	5.395620695
1680	1190.6	67.4	-4	80	38.05	125.84	638.08	184.71	206	6.104450273
1680	1160.7	66	-6	80	37.1	122.58	743.2	184.77	200.6	6.928942606
1680	1083.5	47.2	-0.5	50	28.75	95.08	268.89	123.23	233.3	3.475476338
1680	1043.5	46	-2.5	50	27.7	91.62	308.28	123.21	224.9	3.824563883
1680	1000.7	45	-4.5	50	26.75	88.39	365.25	123.13	217.1	4.365580586
1680	1021.9	46.5	-0.5	60	27.26	90.24	362.5	123.24	221.4	4.41995807
1680	983.5	45.4	-2.5	60	26.44	87.44	419.59	123.18	214.7	4.911124441
1680	950.7	44.5	-4.5	60	25.7	84.99	493.18	123.08	208.8	5.606053217
1680	979.9	44.4	-0.5	70	26.43	87.36	455.53	123.13	214.6	5.334449876
1680	949.4	43.5	-2.5	70	25.72	85.01	525.68	123.04	208.9	5.970163993
1680	922.9	42.7	-4.5	70	25.14	83.19	617.14	123.3	204	6.801444091
1680	782	28.5	0	33	16.25	53.81	163.6	61.59	264.2	3.014313223
1680	756	28	-2	33	15.65	51.81	182.95	61.6	254.3	3.257738782
1680	732.4	27.4	-4	33	15.17	50.16	207.05	61.49	246.7	3.578270428
1680	736	27.9	0	43	15.24	50.44	221.72	61.81	246.7	3.830799826
1680	717.7	27.3	-2	43	14.83	49.05	246.09	61.67	240.5	4.174549728
1680	700.6	26.8	-4	43	14.46	47.82	281.32	61.58	234.8	4.665055757
1680	715	27	0	53	14.77	48.82	268.86	61.73	239.1	4.517772929
1680	700.6	26.6	-2	53	14.43	47.62	301.25	61.57	233.9	4.972786749
1680	685.3	26.2	-4	53	14.1	46.58	346.35	61.6	228.7	5.615038496
1680	699.9	26.6	-2	53	14.42	47.67	299.93	61.68	233.7	4.960472482
1680	715.5	27	0	53	14.8	48.97	267.28	61.67	240.2	4.519937505

Tablo 4.8: 1385 d/d Motor Kalibrasyon Sonuçları

SPEED	AIRFLOW	ALPHA	Timing	Rail_Pressure	FB_RATE	IFQ	NOX	P	SFC	Nox_Son
rpm	kg/h	%	deg CA	Mpa	kg/h	mg/str	ppm	kW	g/kW.h	g/kWh
1385	1094.1	100	0	60	45.8	183.73	535.01	198.82	230.4	4.473390673
1385	1085.8	100	-2	60	45.35	181.87	572.93	202.63	223.8	4.663152174
1385	1068.4	100	-4	60	43.78	175.59	625	202.67	216	4.994067102
1385	1068.7	100	0	70	44.34	177.98	690.55	203.46	218.1	5.505827794
1385	1050	100	-2	70	42.54	170.84	755.98	202.72	209.8	5.92238856
1385	1037.6	100	-4	70	41.28	165.58	838.1	203.11	203.2	6.462325732
1385	1043.9	100	0	80	42.48	170.34	857.48	203.47	208.7	6.683655314
1385	1030.6	100	-2	80	41.08	164.79	942.79	203.41	202	7.219439759
1385	1010.6	100	-4	80	39.86	159.96	1062.7	202.87	196.6	7.982815871
1385	1051.9	85.2	0	40	37.38	149.94	306.18	152.22	245.6	3.143754911
1385	1035.9	82.9	-2	40	35.88	143.96	324	152.28	235.7	3.265638585
1385	1005.5	81.4	-4	40	34.72	139.25	357.04	152.23	228	3.492782878
1385	970.6	76	0	50	33.63	134.91	463.81	152.27	220.9	4.285845476
1385	934.8	74	-2	50	32.54	130.51	508.62	152.39	213.5	4.625074424
1385	905.8	72.6	-4	50	31.59	126.7	574.98	152.15	207.6	5.075198438
1385	911.6	73.4	0	60	31.83	127.74	623.83	152.37	209	5.534663593
1385	881.8	71.6	-2	60	30.94	124.08	706.99	152.22	203.2	6.088735337
1385	855.8	70.5	-4	60	30.23	121.25	808.9	152.15	198.7	6.788676829
1385	923.1	60.3	0	25	27.51	110.42	176.54	101.51	271.2	2.349288551
1385	889.3	59.2	-2	25	26.44	105.88	187.55	101.33	260.5	2.401090602
1385	856.2	58.4	-4	25	25.55	102.56	203.33	101.6	251.6	2.500461956
1385	774.2	52.4	0	35	23.21	93.23	315.28	101.52	229	3.520368275
1385	745.8	51.5	-2	35	22.47	90.08	353.73	101.4	221.5	3.811110538
1385	718.1	50.9	-4	35	21.85	87.61	403.07	101.5	215.2	4.180906115
1385	710.4	50.3	0	45	21.7	87.15	468.77	101.46	214.1	4.813522404
1385	688.2	49.4	-2	45	21.15	84.72	535.58	101.52	208.1	5.327419557
1385	669.6	48.8	-4	45	20.64	83.05	618.26	101.41	204.2	6.008655611
1385	547.2	31.5	1	25	12.88	50.92	207.35	50.79	249.9	3.218645085
1385	534.4	31.1	-1	25	12.29	49.22	225.65	50.8	241.6	3.418380602
1385	522	30.8	-3	25	11.96	47.93	250.82	50.77	235.3	3.728466974
1385	529.5	30.4	1	30	12.18	48.88	255.22	50.71	240.3	3.853706177
1385	518.7	29.9	-1	30	11.83	47.48	279.82	50.81	232.9	4.129190732
1385	509	29.4	-3	30	11.55	46.37	313.27	50.73	227.9	4.542145329
1385	519.8	29.9	1	35	11.86	47.69	297.27	50.82	234	4.394907873
1385	510.8	29.3	-1	35	11.58	46.53	325.5	50.75	228.6	4.734302734
1385	503.2	28.9	-3	35	11.33	45.45	364.88	50.85	222.8	5.215239128

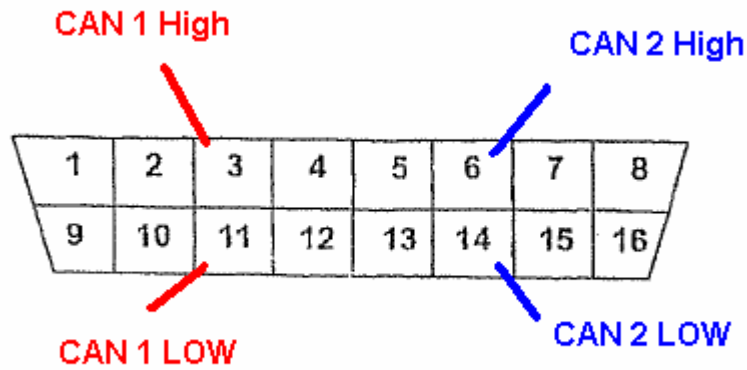
1975 d/d motor hızı kalibrasyon noktaları ve sonuçları Tablo 4.6’da; 1680 d/d motor hızı kalibrasyon noktaları ve sonuçları Tablo 4.7’de ve 1975 d/d motor hızı kalibrasyon noktaları ve sonuçları Tablo 4.8’de verilmiştir.

4.3 Yol Testleri

Gerçek yol koşullarında aracın elektronik kontrol ünitesinden CAN bağlantısı ile veri toplamak, motor çalışma koşulları ile ilgili bir çok parametreyi incelememizi ve araç çalışmasıyla ilgili bir çok olumsuzluğun kolayca fark edilip düzeltilmesini sağlayacaktır.

4.3.1 Elektronik Kontrol Sistemine Veri Toplama Cihazının Bağlanması

Ecotorq motorda elektronik kontrol ünitesi ve kullanılan yazılım, CAN (Controlled Area Network) protokolü üzerinden veri transferinde bulunabilmektedir. Elektronik Kontrol ünitesi üzerinden çıkan CAN1 ve CAN2 bağlantıları üniversal bir bağlantı aparatı ile aracın kontrol paneli altından dışarıya çıkış vermiştir.

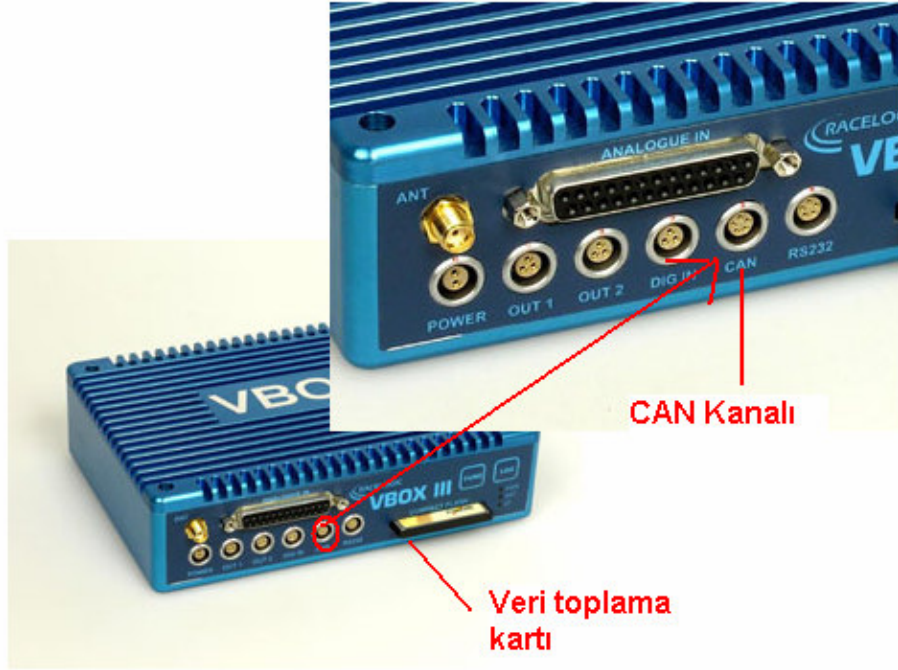


Şekil 4.15: Can-Bus Bağlantı Hatları

Şekil 4.15’te CAN bağlantılarının hangi pimler üzerinde yapıldığı görülmektedir.

Bir kısım veri CAN1 bir kısım veri CAN 2 hattında taşınmasına rağmen CAN analiz cihazının bütün verileri analiz edebilmesi için bu iki bağlantının birbirine 1-1 ve 2-2 şeklinde köpülenmesi gerekmektedir ki, veriler tek bir CAN hattı üzerinden veri toplama cihazına ulaşabilsinler. Bunun dışında CAN low denilen kanal daha düşük tekrarlanma hızlarındaki basit sinyalleri taşıma (fren ışığı, el freni uyarıcı gibi), Can

high denilen kanal ise daha yüksek frekansa sahip verileri taşıma işlemini gerçekleştirir. CAN protokolü sayesinde 1 Mbit/s hızında sinyal akışı sağlanmaktadır. Aracın CAN adaptöründen çıkan bağlantı 2 iç kablodan oluşan ve kalkanlı bir ana kablo sayesinde cihaza Şekil 4.16'daki kanaldan bağlanabilmekte ve bu sayede test sırasında veri toplanabilmektedir.



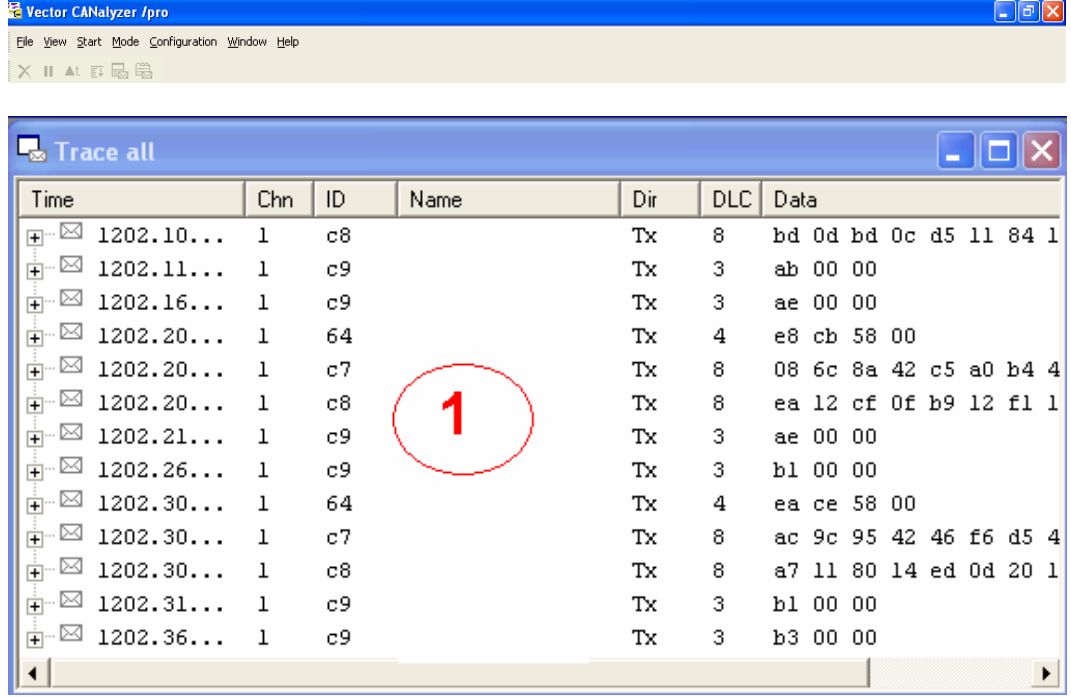
Şekil 4.16: Veri Toplama Cihazı Can-Bus Bağlantısı

4.3.2 CAN Kanallarının Ayrıştırılması

CAN kanalı üzerinden taşınan sinyaller analog ve TTF sinyallerin aksine tek tek değil bir paket halinde taşınmaktadır. Bunu evde ki televizyonumuzda giren iki kablo üzerinden onlarca kanal olmasına benzetebiliriz. Fakat evdeki televizyonumuzun aksine, verilerin taşındığı kanallara bize hazır olarak verilmemekte, her birinin farklı bir uzunluğu ve ismi bulunmaktadır. CAN veri tabanı bulunmayan elektronik sistemler için, kontrol edilen her parametrenin adresini bulmak ve bundan bir veri tabanı oluşturmak oldukça zor bir işlemdir. Fakat motor devri, araç hızı ve benzeri değişimi kolay fark edilebilecek parametreler CAN analizörleri kullanılarak rahatça tespit edilebilmekte ve bunların adreslemesi

yapılabilmektedir.

Can Analyzer Vector diye anılan program, CAN sinyal paketi içinden geçen bütün sinyalleri ve bunların adreslemesini göstermektedir. Aynı programın başka bir ekranında ise bu paketlerde taşınan her parametrenin anlık değişimi gözükmektedir. Bu sayede araç üzerindeki giriş sinyalleri değiştirilerek hangi parametrenin, hangi adrese bağlı olduğu çözümlenebilmektedir.



Time	Chn	ID	Name	Dir	DLC	Data
1202.10...	1	c8		Tx	8	bd 0d bd 0c d5 11 84 1
1202.11...	1	c9		Tx	3	ab 00 00
1202.16...	1	c9		Tx	3	ae 00 00
1202.20...	1	64		Tx	4	e8 cb 58 00
1202.20...	1	c7		Tx	8	08 6c 8a 42 c5 a0 b4 4
1202.20...	1	c8		Tx	8	ea 12 cf 0f b9 12 f1 1
1202.21...	1	c9		Tx	3	ae 00 00
1202.26...	1	c9		Tx	3	b1 00 00
1202.30...	1	64		Tx	4	ea ce 58 00
1202.30...	1	c7		Tx	8	ac 9c 95 42 46 f6 d5 4
1202.30...	1	c8		Tx	8	a7 11 80 14 ed 0d 20 1
1202.31...	1	c9		Tx	3	b1 00 00
1202.36...	1	c9		Tx	3	b3 00 00

Şekil 4.17: Can Sinyalleri Karışık Bir Şekilde Anölizörde

Şekil 1.17 de motor çalışırken elektronik kontrol ünitesi tarafından üretilen ve CAN protokolü ile taşınan sinyallerin bir bölümü gözükmektedir. Bu adreslerin her biri Şekil 4.18'deki o anda sinyalin aktardığı değerleri gösteren başka bir grafikte eşleşmiştir.



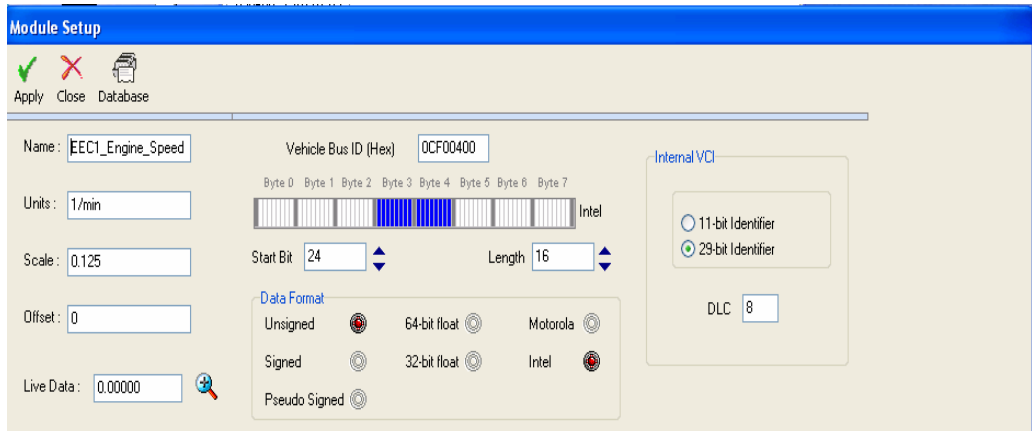
Name	Value	Unit	Raw Value	Bar
MOTB C8	24.00		24.00	
MOTB C9	1.00		Idle	
MOTB C7	0.00		Not_Critical	
MOTB 64	1524.00		1524.00	

Şekil 4.18: Can Sinyallerinin Gaz Pedalına Basıldığı Andaki Değişimi

Örnek olarak araç dururken gaza basıldığında motor devri yükseldiğinden ve 1000-3000 arası bir mertebede olduğundan, bu aksiyon sonucunda değişen parametrenin 64 numaralı parametre olduğu rahatça görülebilmekte, bunun motorun devri olduğu anlaşılmaktadır. Bu adreste gerekli veritabanına kayıt edilerek, veri toplama sırasında devir verisinin elektronik kontrol ünitesinden toplanmasını sağlar. Motor devri için bu adresin tespiti çok rahat olurken, aynı rahatlık krank açısı-püskürtme zamanı gibi diğer parametreler için bu kadar kolay olmamaktadır. Bu yüzden testler sırasında Bosch firmasının Elektronik kontrol ünitelerinde standart olarak kullandığı veri tabanını kullanmak çok daha rahat olacaktır.

4.3.3 Parametre Kanallarının Veri Toplama Cihazına Tanıtılması

Testler sırasında elektronik kontrol ünitesinden CAN yoluyla veri toplama cihazı olarak Racelogic firmasının V-BOX 3 adlı cihazı kullanılmıştır. Cihaz manuel olarak kanalların elle adreslemesine müsaade ettiği gibi “.dbc” uzantılı veri tabanlarını da açabilmektedir.



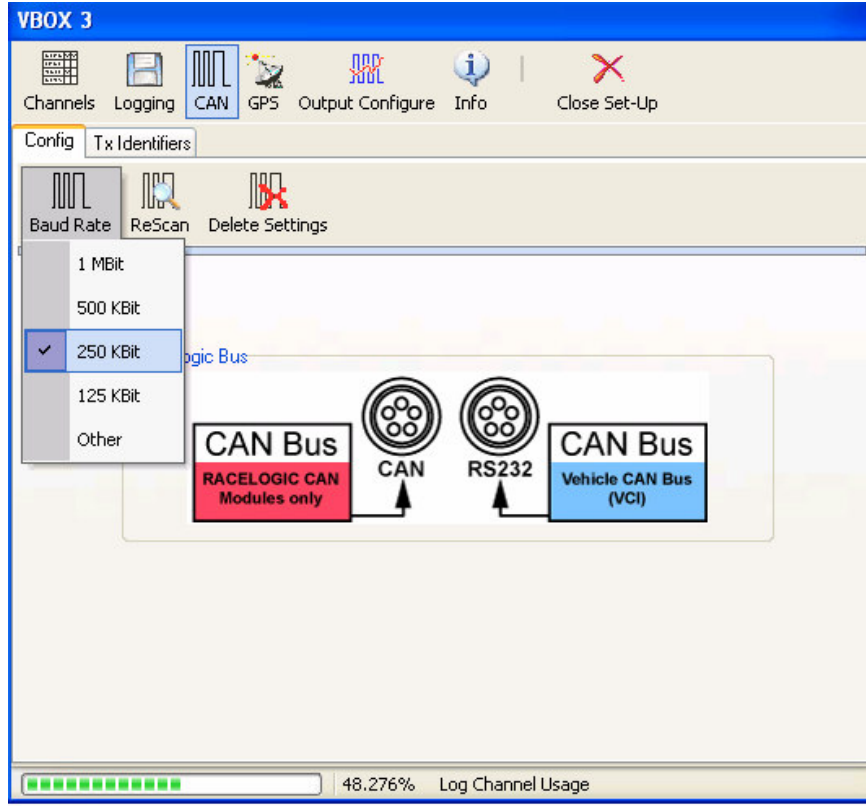
Şekil 4.18: Veri Toplama Cihazında Gerekli Veri Adreslemelerinin Yapılması

Şekil 4.18’ de Ecotorq motora ait elektronik kontrol sisteminden CAN üzerinde gelen devir sinyalinin adreslemesi yapılmıştır. Bu sayede veri toplama cihazı devir sinyalini toplayabilecektir. Diğer bütün verileri de bu şekilde adresleyerek, testler sırasında veri toplamakta mümkündür.

Bu ayarlar dışında CAN protokolünün haberleşme hızını doğru seçmek, CAN sinyallerini okumak için olmazsa olmaz bir şarttır. Ecotorq motor elektronik kontrol

ünitesi için bu rakam 250 Kbit/s dir, ve Şekil 4.19’da ayrıntıları görülebilir.

Testler sırasında toplanan sinyaller ve bunların kısaltmaları Tablo 4.9’da verilmiştir.



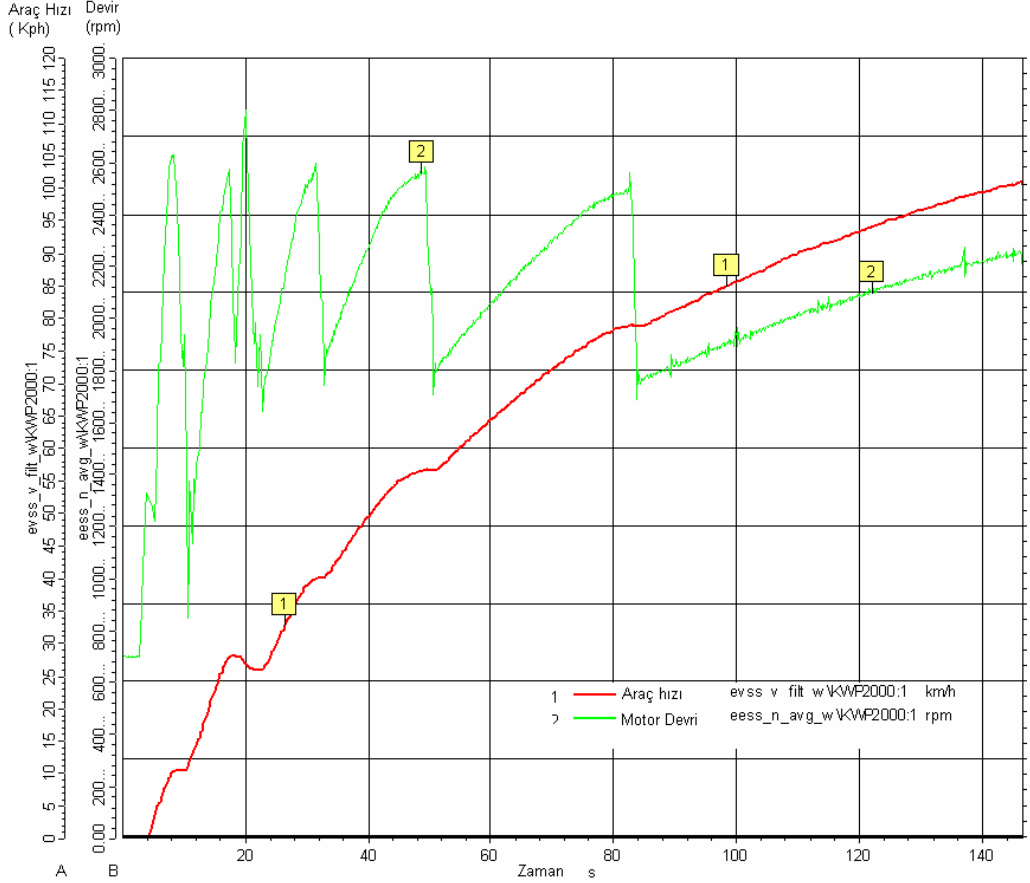
Şekil 4.19: Gerekli Sinyal Hızının Ayarlanması

Tablo 4.9: Araç Testleri Sırasında Toplanan Veriler

EKÜ Sinyal Kısaltması	Tanımı
time	Zaman
bimj_phi_w\KWP2000	Ana enjeksiyon açısı
bip1_phi_w\KWP2000	Ön enjeksiyon açısı
dinj_dt_mi_w\KWP2000	Ana enjeksiyon Püskürtme süresi
dinj_dt_p1_w\KWP2000	Ön enjeksiyon yakıt Püskürtme süresi
dinj_q_mi_w\KWP2000	Ana enjeksiyon miktarı
dinj_q_p1_w\KWP2000	Ön enjeksiyon miktarı
driv_q_w\KWP2000	Püskürtülmesi gereken yakıt (ekü hesaplar)
eapp_pv_filt_w\KWP200	Gaz pedal
ebps_p_w\KWP2000	Emilen hava basıncı
ebts_t_w\KWP2000	Emilen hava sıcaklığı
eess_n_avg_w\KWP2000	Motor devri
efps_p_filt_w\KWP2000	Yakıt basıncı
efts_t_w\KWP2000	Yakıt sıcaklığı
esbr_s_b\KWP2000	Ayak freni
esbr_s_rbr_b\KWP2000	Ayakfreni
evss_v_filt_w\KWP2000	Araç hızı
fcor_q_w\KWP2000	Enjektörden püsküren yakıt

4.3.4 0-100 Hızlanma Testi Üzerinden Sinyallerin İncelenmesi

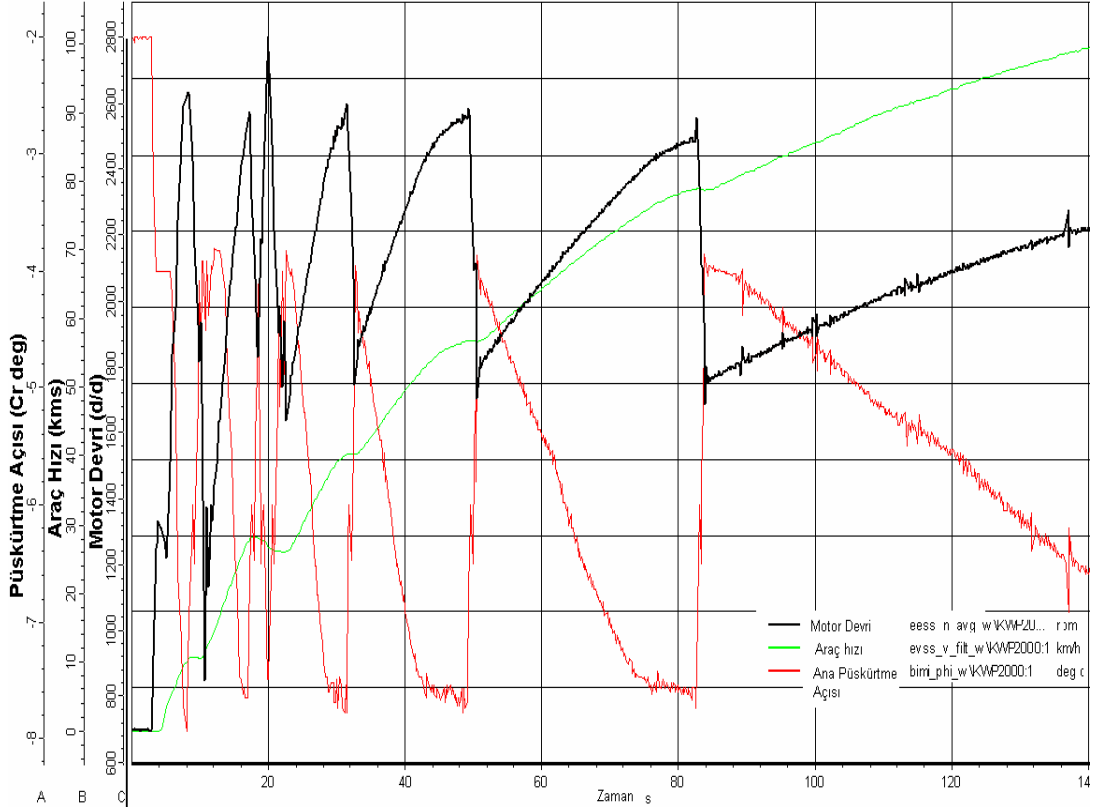
0-100 hızlanma testi en önemli araç performans kriterlerinden biridir. Bu test sırasında aracın elektronik kontrol sisteminden toplanacak veriler araç ve motor çalışma sistemi bakımından önemlidir.



Şekil 4.20: 0-100 Testi Sırasında Değişen Hız ve Motor Devri

Şekil 4.20'de 300 PS güçündeki 8x2 yol kamyonun 32 ton araç dolu ağırlığı ile yaptığı tipik bir performansı testi gözükmektedir. Kırmızı ile gösterilen veri aracı elektronik kontrol sisteminde CAN yoluyla okunan hız sinyalidir. Yeşil ise aynı yöntemle okunan motor devri sinyalidir.

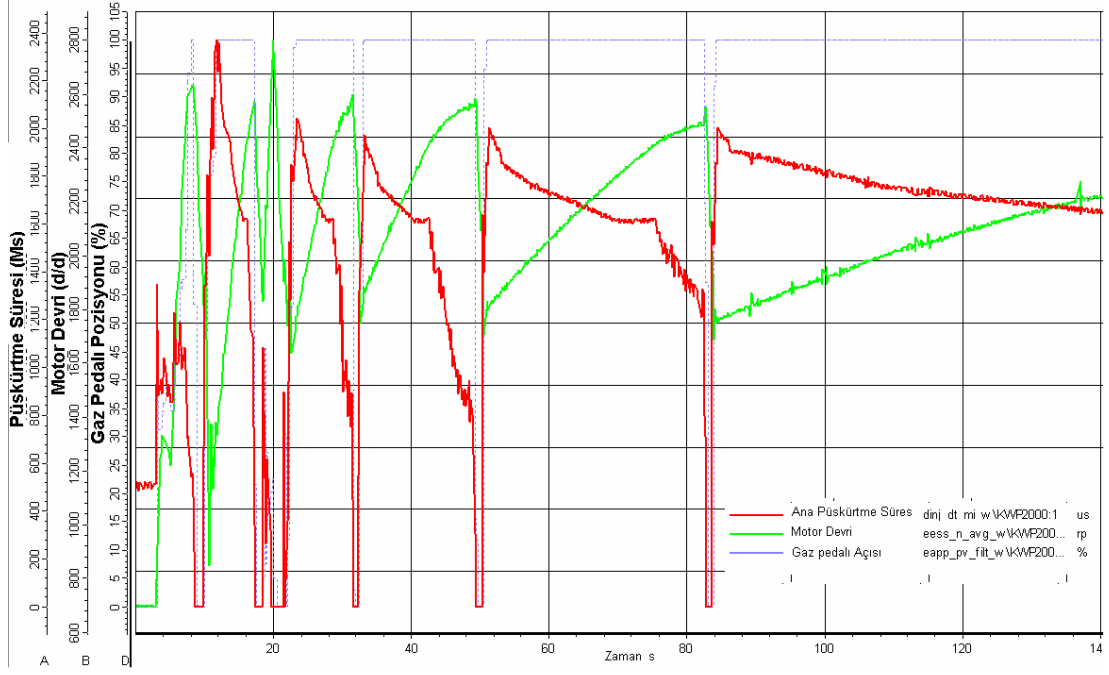
Bu test sonucunda aracın 0-100 km 142 s de çıktığını görülür. Ayrıca 2600 d/d da viteslerin değiştirildiği, buda araç azami torkunun bundan sonra düşmeye başladığını gösterir. İlk 4 vites oranının son 4 vites oranlarına göre çok kısa olduğu devir sinyalinde gözükmektedir. Buda ilk 4 vitesin daha çok aracı hızlandırmak son 4 vitesin için araç seyri için dizayn edildiğini gösterir.



Şekil 4.21: 0-100 Testi Boyunca Farklı Motor Çalışma Noktalarına Göre Püskürtme Açısının Değişimi

Şekil 4.21 de 0-100 testi boyunca araç hızı, motor devri ve ana Püskürtme açısı değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde motor devri artışı ile püskürtme acısını daha da öne kaydığını görüyoruz. Rölanti devirleri için -2 derece krank açısında başlayan püskürtme motor 1800 devire çıktığına 2 krank mili öne çekilerek -4 derede başlamakta, devir 2500 d/d çıktığında ise -7.5 derecelere kadar öne çekilmektedir. Buda erken püskürtme sayesinde silindir içinde yanma daha erken başlamakta buda devri ve tork arttırmaktadır.

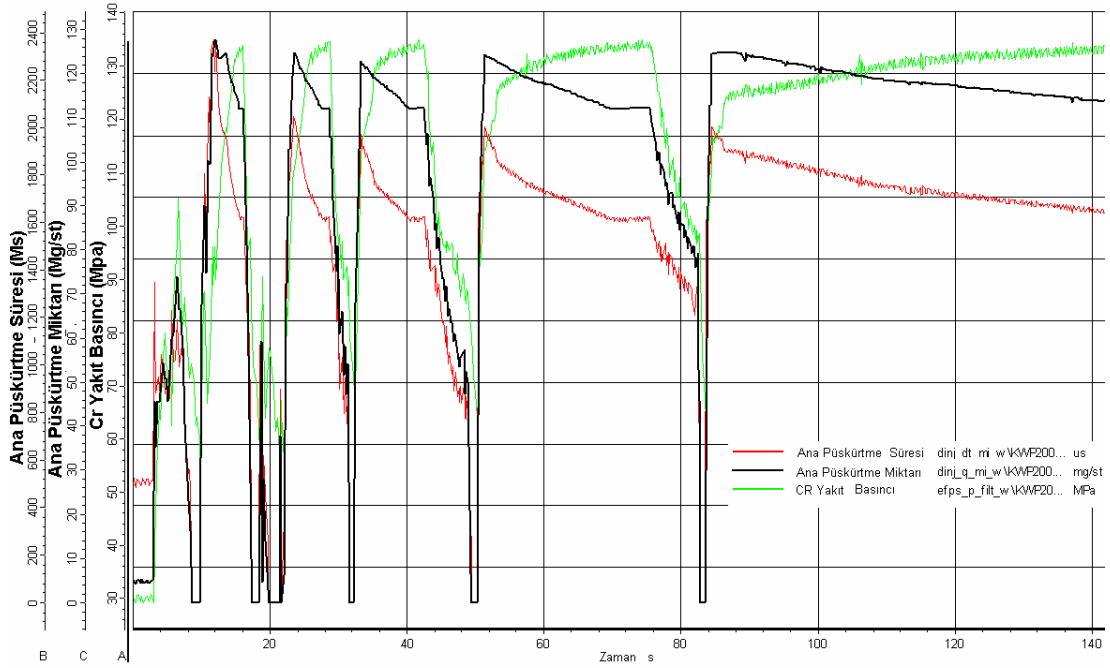
Grafikte hızın düzgün artışına rağmen ön püskürtme zamanı ondan bağımsız davranmakta olduğu rahatça gözükmektedir. Yani motor kalibrasyonun da araç hızı ile püskürtme zamanının hiç bir alakası yoktur.



Şekil 4.22: 0-100 Testi Boyunca Farlı Motor Çalışma Noktalarına Göre Püskürtme Süresinin Değişimi

Motor devri, ana püskürtme süresi ve gaz pedalı pozisyonu arasındaki ilişkiyi de Şekil 4.22 üzerinden inceleyecek olursak. Gaz pedalının konumu püskürtme süresi ile arasında direk bir ilişki olduğunu gözlenebilir. Gaz pedalına basılmaması durumunda (%0) durumu püskürtme süresinin sıfıra düştüğünü başka bir deyişle püskürtmenin durduğunu, gaz pedalına tam basılması ile (%100) konumu püskürtme süresinin azami değere çıktığını görmekteyiz.

Püskürtme süresine etki eden başka önemli bir faktörün yine motor devri olduğu grafikten görülmektedir. Kırmızı ile gösterilen püskürtme süresi 1500 d/d 2000-2500 Milisaniye ile en uzun değerine ulaşırken, grafikte yeşille gösterilen motor devri arttıkça önce 1800 Milisaniyelik değerlere devir 2500d/d yaklaştıkça ise 1000 Milisaniyelere kadar düşmektedir. Bunun sebebi belli bir motor devirden sonra yanmanın düzgünlüğün ve verimin düşmesi sonuçta silindir içine püskürtülen yüksek miktardaki yakıtın yakılamamasıdır. Belli devirden sonra tork değerlerindeki düşüşün önemli sebeplerinden biri budur. Bu sebepten dolayı motoru kalibrasyonu sırasında yüksek devirlerde motorun yakmayacağı yüksek miktarda yakıt motora gönderilemez ve yakıt tasarrufu sağlanmış olur.



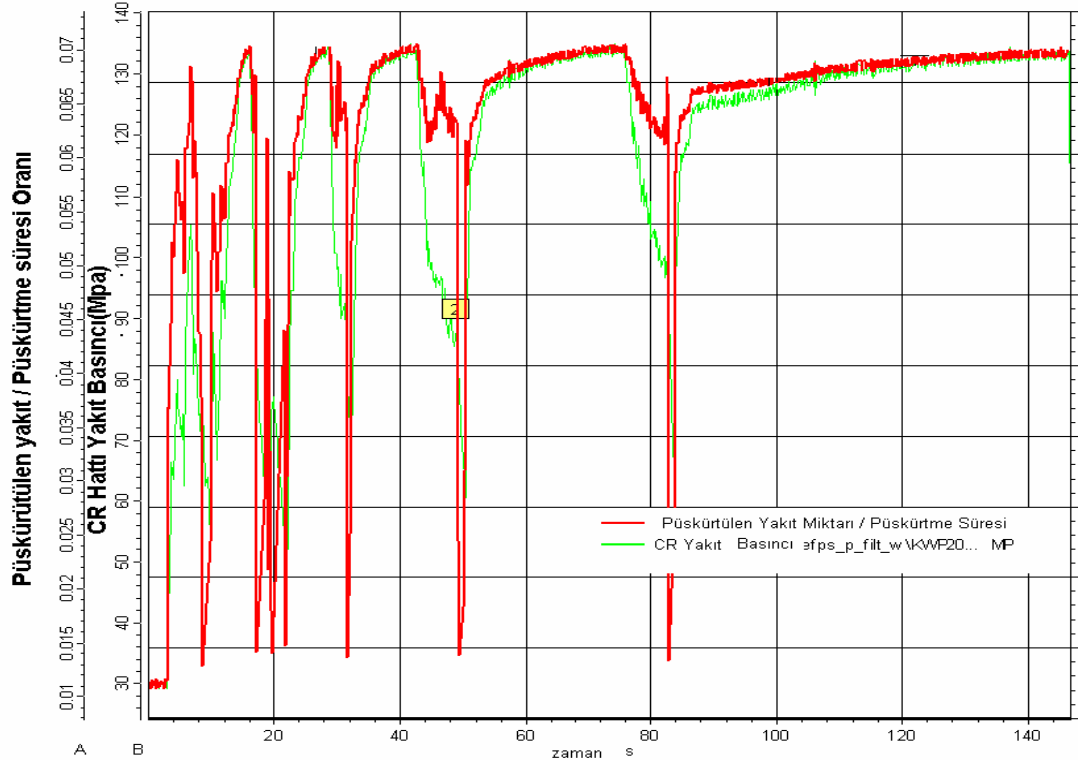
Şekil 4.23: 0-100 Ana Püskürtme Süresi, Ana Püskürtme Miktarı ve Püskürtme Basıncının Birbirleriyle İlişkisi

Şekil 4.23'te ana yakıt püskürtme miktarı ile püskürtme süresi arasındaki ilişki gözükmemektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen ana püskürtme süresi ile siyah ile gösterilen ana püskürtme miktarı arasında $f=(x)$ fonksiyonuna bağlı bir doğru orantı olduğu grafikten rahatça anlaşılmaktadır. Motor devrine ve gaz pedalının konumuna göre artan yakıt püskürtme süresi sonucu, püskürtülen yakıtta artmakta, yüksek devirlerde yanma veriminden dolayı kısılan yakıt püskürtme zamanı sonucu püskürtülen yakıtın Mg/st cinsinden değeri de düşmektedir. Yakıt püskürtme zamanı ile miktarı arasındaki ilişkiyi oluşturan ise grafikte yeşille belirtilmiş olan ana yakıt hattı üzerindeki basınçtır. Bu ilişki daha iyi anlatmak için:

$$F(t) = [(Ana Püskürtme yakıt miktarı + 0.1) / Ana Püskürtme Süresi]$$

(Not: Püskürtme miktarına 0.1 eklenmesinin sebebi püskürtmenin sıfır olduğu noktalarda denklemin tanımsızlığını engellemektir, 0.1 sayısı püskürtülen yakıt yanında çok küçük kaldığından fonksiyonun sonucunu değiştirmemektedir.)

Şeklinde bir fonksiyon oluşturulsa ve Şekil 4.24'te yakıt hattında basınçla birlikte bu fonksiyonun değişimini gösterirsek. Bu iki parametre arasındaki ilişki daha rahat çözülebilir. Daha da önce belirtildiği gibi yakıt basıncı ile püskürtme miktarı arasında doğrusal bir ilişki vardır.



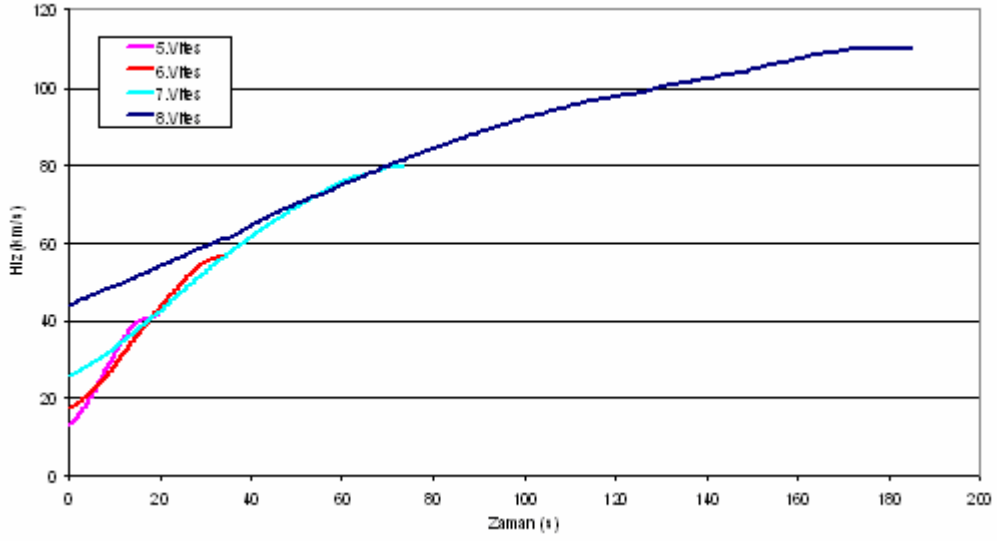
Şekil 4.24: Püskürtme Miktarı İle Ortak Yakıt Yolu basıncı Arası İlişkisi

4.3.5 Sabit Vites Esneklik Testleri Üzerinden Parametrelerin İncelenmesi

0-100 testi olduğu gibi sabit vites esneklik hızlanma testleri de çok önemli performans kriterlerinden biridir. Bu testler sırasında da elektronik kontrol ünitesinde CAN yoluyla toplanacak sinyaller araç ve motor çalışması hakkında önemli bilgiler verecektir.

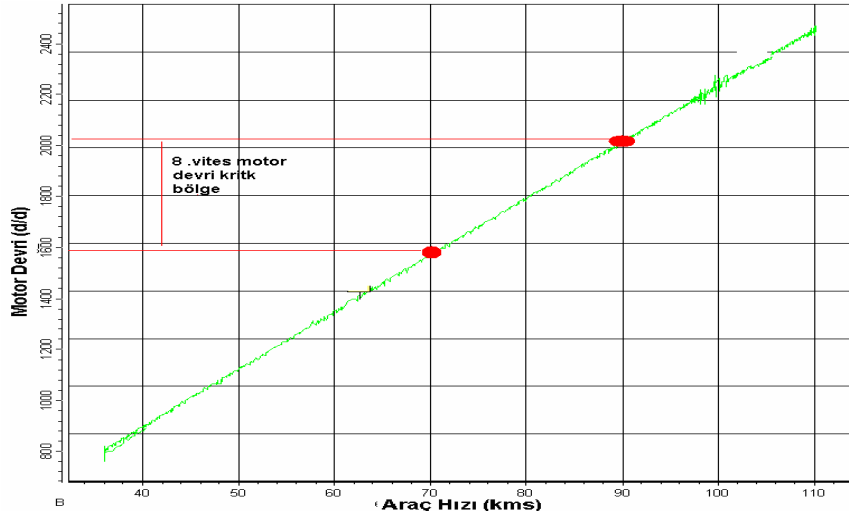
Düz bir yolda test edilen kamyon, motor devri 800-1000 d/d düşene kadar gaza basılmadan bırakılmakta daha sonra testin yapılacağı vitese getirilerek bu viteste motor devri bitene kadar gaza tamamı ile basılmaktadır. Bu test sonucunda kamyonu belli vites, belli hızlar ve belli motor devirlerinde kendini toparlaması ve hızlanmasına bakılmaktadır. Şekil 4.25'te bu test sırasıyla 5-6-7-8 vitesler için yapılmış kamyonun bu viteslerdeki hızlanması incelenmiştir. Bu sonuçlardan bir vites için bütün hızlanma aralığı görülebileceği gibi, belli bir hız penceresinde ve belirli bir vitesteki hızlanma karakteristiği de okunabilir örneğin test edilen kamyon için 8. vites 70 km/s ten 90 km/s hızlanma süresi 44 saniyedir. 70 km/s den 90 km/s en yüksek viteste çıkış zamanı ağır ticari taşıt kullanıcıları bakımından önemli olup bu parametrenin iyileştirilmesi kamyonun daha atak olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle motorun bu bölgedeki parametreleri ayarlanarak rakiplerinden daha

performanslı olması sağlanabilir.



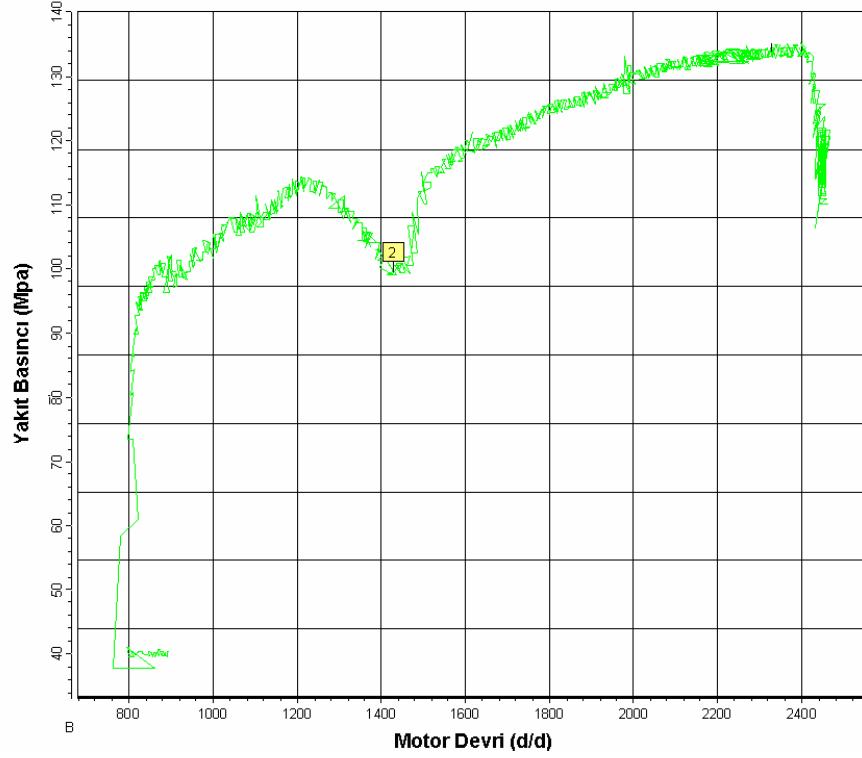
Şekil 4.25: Sabit Hız Esneklik Testleri

8. vites için 70-90 km/s hızlanma parametreleri inceleyecek olursak motor devri, motor özelliklerini belirleyen en önemli parametre olduğu için bu hızlarda devirlerin bulunması önemlidir. Şekil 4.26'da araç CAN inden okunan 8. vites için hız-motor devri grafiği görülmektedir.



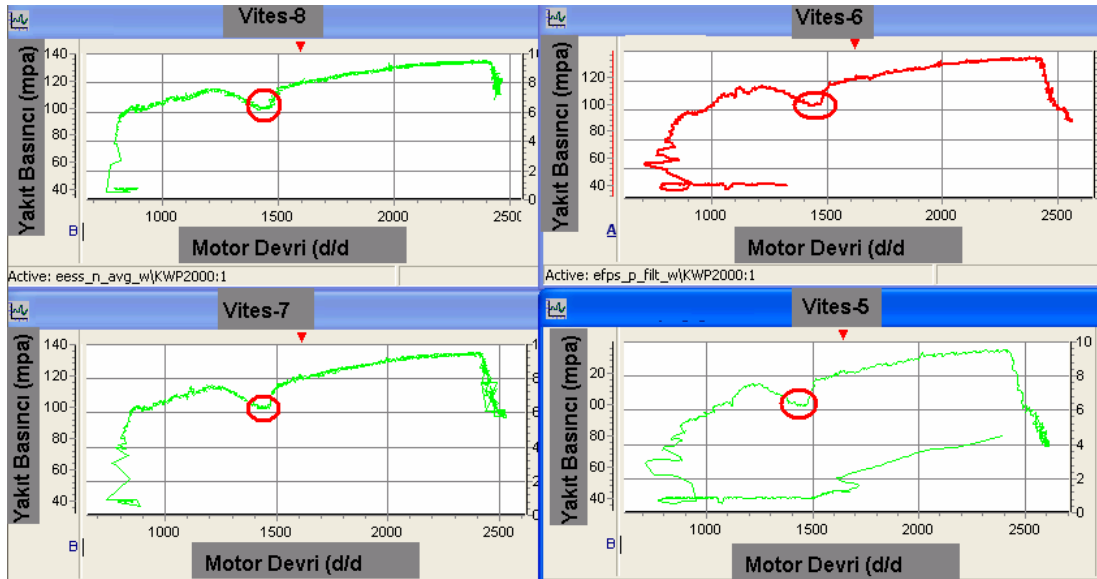
Şekil 4.26: Motor Devri ve Araç Hızı Arasındaki İlişki

İki parametre arasındaki ilişki görüldüğü gibi sabittir. Bu yüzden diğer parametrelerin incelenmesinde araç hızı yerine, bu parametrelerin araç devrine göre değişimlerini incelemek daha mantıklı olacaktır bu ayrıca diğer viteslerdeki parametrelerin aynı devirler için karşılaştırılmasına olanak sağlar.



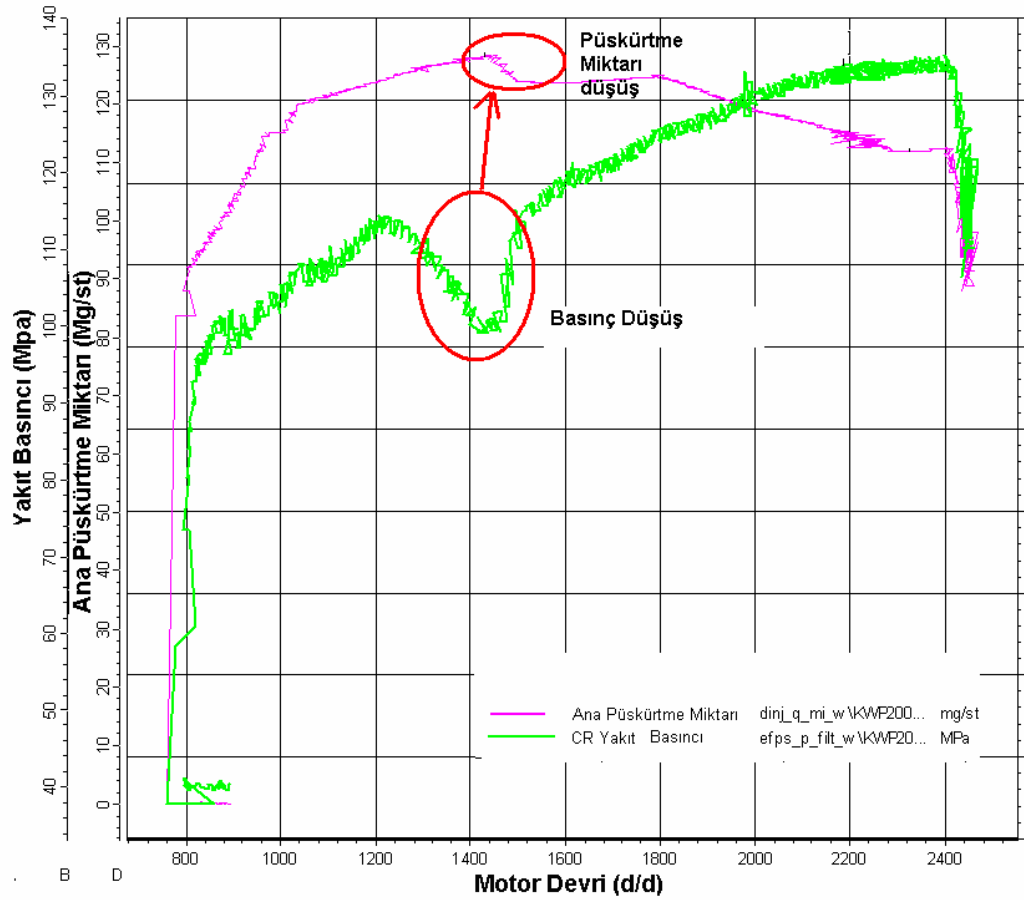
Şekil 4.27: Motor Devri ve Yakıt Basıncı Arasındaki İlişki

Motor devri ile yakıt basıncı arasındaki ilişki 8. vites için incelenecek olursa, Şekil 4.27'den rahatça gözüktüğü gibi 1450 d/d yakıt basıncı aniden düşmektedir. Bu düşüşün sadece bu hıza ve bu vitesine özel bir durum olup olmadığını anlamak için diğer viteslerdeki motor devri, yakıt basıncı ilişkisi incelenecek olursa Şekil 4.28'te, her viteste aynı noktada düşüş olduğu gözlenir.



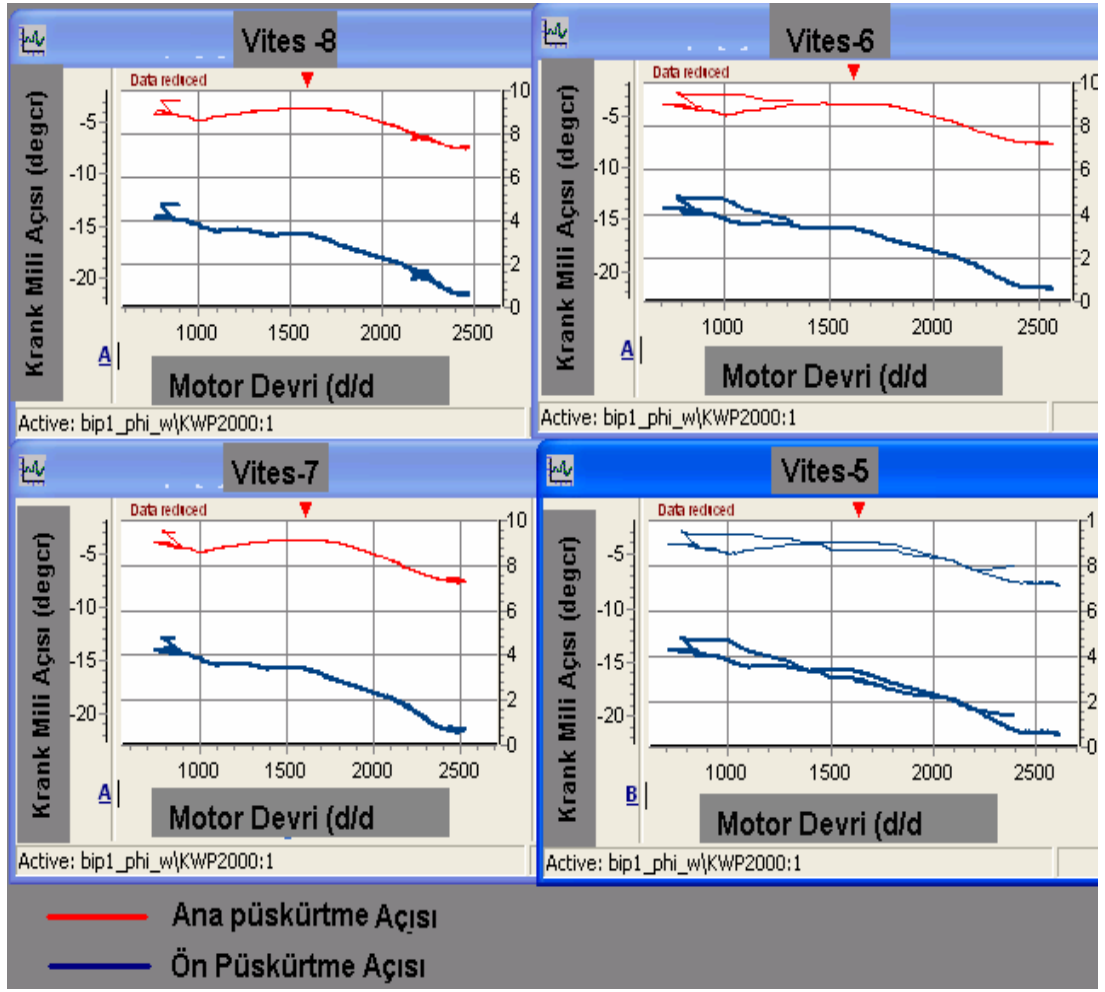
Şekil 4.28: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Yakıt Basıncı Arasındaki İlişki

Bu düşüşün sebebi 1450 d/d Ecotorq motor için emisyon homologasyon kontrol noktalarından birisi olmasıdır. Bu noktada emisyonların azaltılması ve gerekli değerleri sağlanabilmesi için yakıt basıncı düşürülmüş buna bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarı düşmüştür (Şekil 4.29). Tabii ki de bu düşüş aracın bu devirdeki gücünden ve torktan ödün vermek anlamına gelmektedir. Bu yüzden araç sürüş sırasında bu hız veya devir bölgesinden geçerken çekmemektedir. Bu gaza daha çok basılmasına sebep olmakta ve sürüş motor devrini arttırmaktadır.



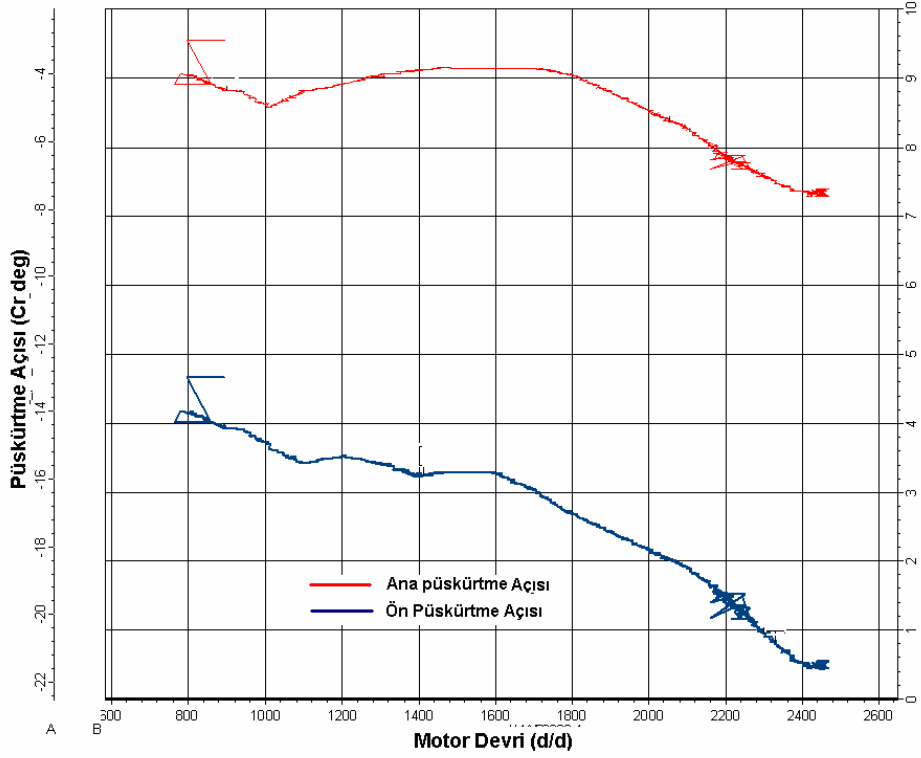
Şekil 4.29: 8. Viteste Yakıt Basıncı ve Ana Püskürtme Miktarının Devir ile Değişimi

Bu testler sırasında motorun püskürtme zamanlarının da farklı vitesler ve hızlar için değişip değişmediğini görmek mümkündür. Şekil 4.30 da farklı vitesler için ön püskürtme ve ana püskürtme zamanları gösterilmiştir. Gaz pedalı tam basılı durumu gösteren bu dört farklı vites hızlanmaları için püskürtme zamanları aynı devirler için aynıdır. Buradan hareketle anlaşılır ki püskürtme zamanının, araç hızından ve vites konumundan bağımsız olarak değişmektedir.



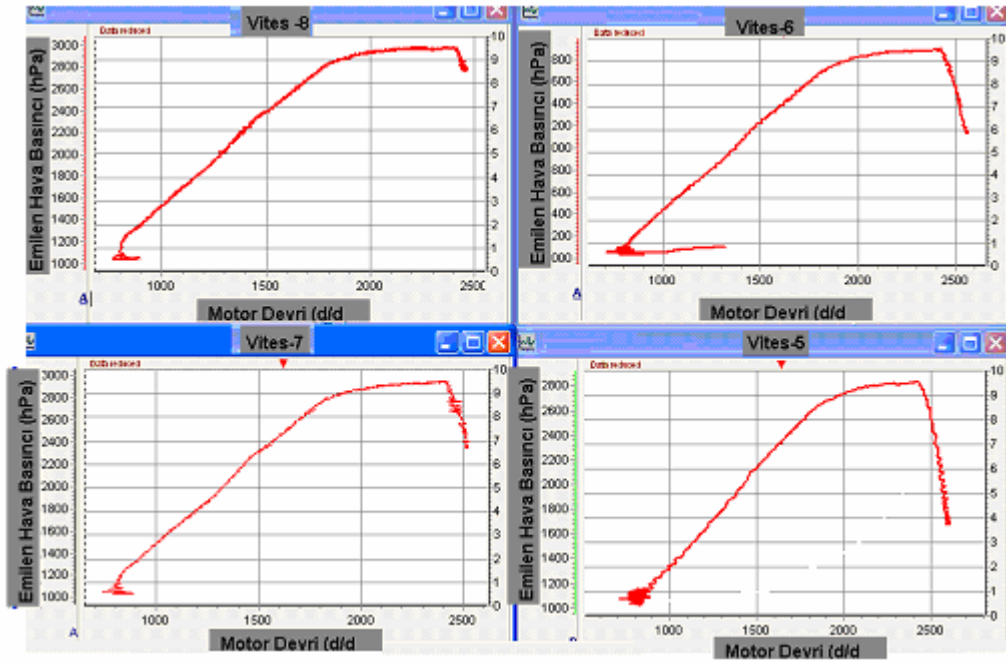
Şekil 4.30: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Püskürtme Zamanları Arasındaki İlişki

Testin ilk kısmında ise pedala basılmadığından farklı pedal açıları ve bu farklı açılardan kaynaklanan farklı püskürtme açıları Şekil 4.31 de görülmektedir. Ana Püskürtme açısı gaz pedalına tam basılı durumda motor devrine göre - 4 derece ile -7.5 arasında değişirken; gaz pedalını diğer konumları için birkaç derece daha geç başlayabilmektedir. Yine aynı şekilde ön püskürtme için -14,5 ile -22 derece arası değişen değerler - 12.5 e kadar yükselmektedir.



Şekil 4.31: Püskürtme Avansı ile Motor Devri Arasındaki İlişki

Motor içine emilen yakıt basıncını Şekil 4.32 deki gibi incelersek araç hızından bağımsız, motor devri ile orantılı olarak arttığını görürüz. Bu parametrenin kaydı sırasında gaz pedalı hep tam basılı konumdadır.



Şekil 4.32: Farklı Viteslerde, Motor Devri ve Emilen Hava Basıncı Arasındaki İlişki

4.3.6 Sabit Hız Testleri

Ağır ticari vasıtalar ömürlerinin çok önemli bir kısmını uzun yollar da geçirdikleri için sabit hızdaki motor karakterleri ve motor parametrelerinin bu koşullar altında ne olduğu çok önemlidir. Özellikle Avrupa da kullanılan ticari taşıtlar otobanda ve sabit 88 km/s hızla çok fazla yol almaktadır. Türkiye ise henüz yol evrimini tamamlayamadığı için daha geniş spektrumlu bir seyir hızına sahiptir.

Test kamyonu ile Şekil 4.33' de gösterilen sabit hız testleri:

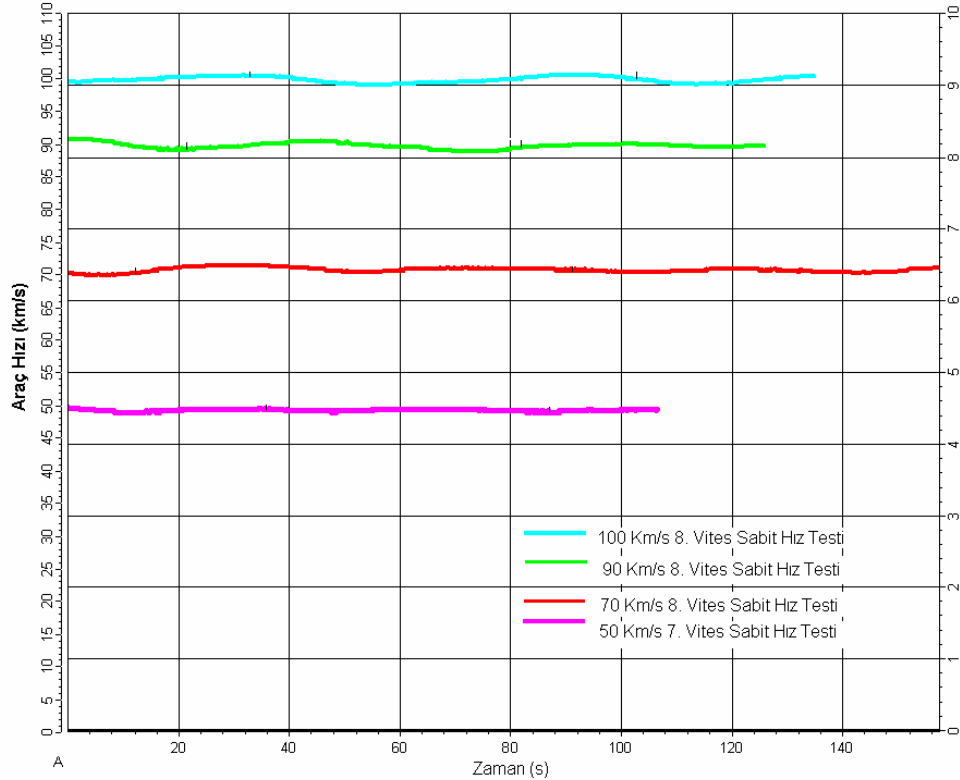
50 Km/s 7.Vites

70 Km/s 8. Vites

90 Km/s 8. Vites

100 Km/s 8.Vites için yapılmıştır.

Testler sırasında hızı sabit tutmak için gaz pedalı yerine aracın elektronik kontrol sisteminde motora bağlanmış ve bilgisayar yardımıyla hız sabitlenmiştir.



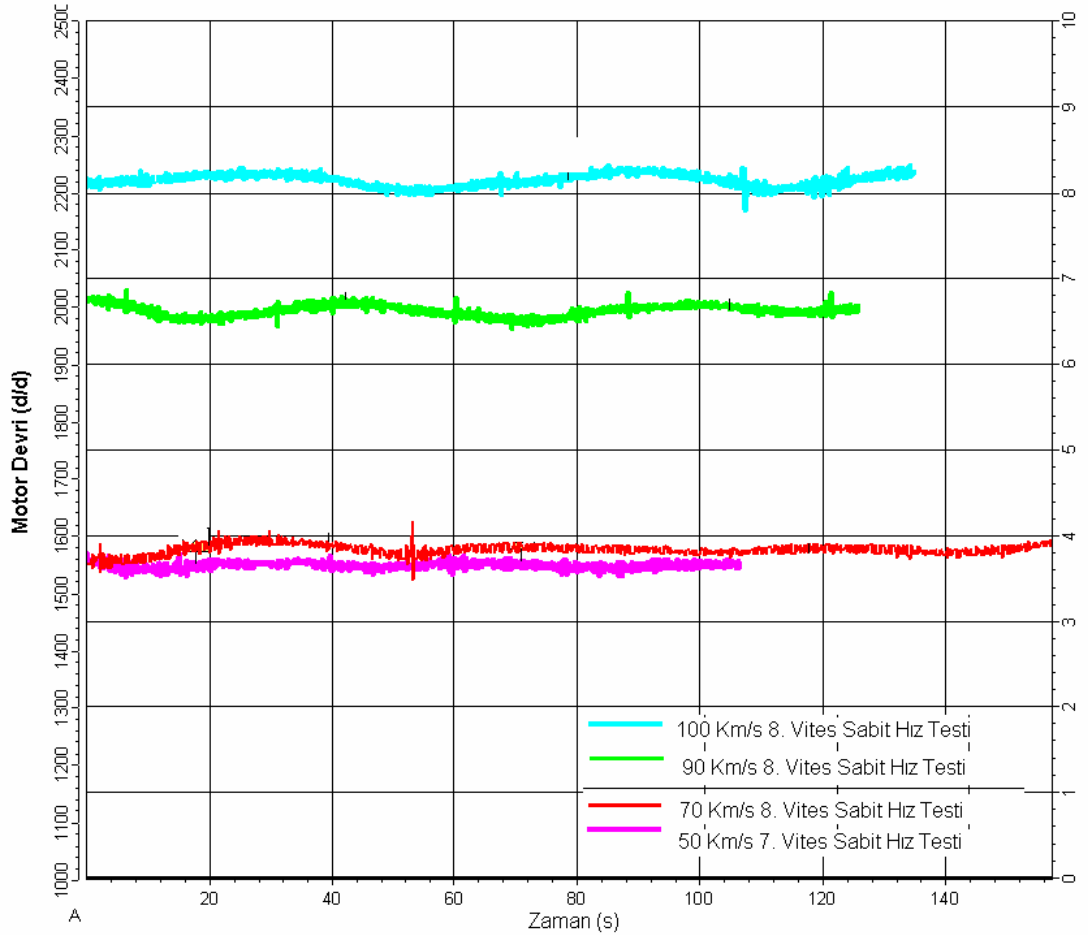
Şekil 4.33: Sabit Hız Testleri

Test sırasında değişen rüzgar dirençlerinden dolayı hız tam olarak sabit kalamamakta hafif dalgalanmalar oluşmaktadır. Bu küçük rüzgar direnci

değişimlerinin bile motor parametrelerine etkisi oldukça önemlidir.

Zaman karşı hız grafikleri gösterilen testlerin Şekil 4.34'te de, motor devri zaman değişimi verilmiştir. Rüzgar dirençlerinin etkisiyle hızda oluşan dalgalanma motor devrinde de rahatça görülebilmektedir.

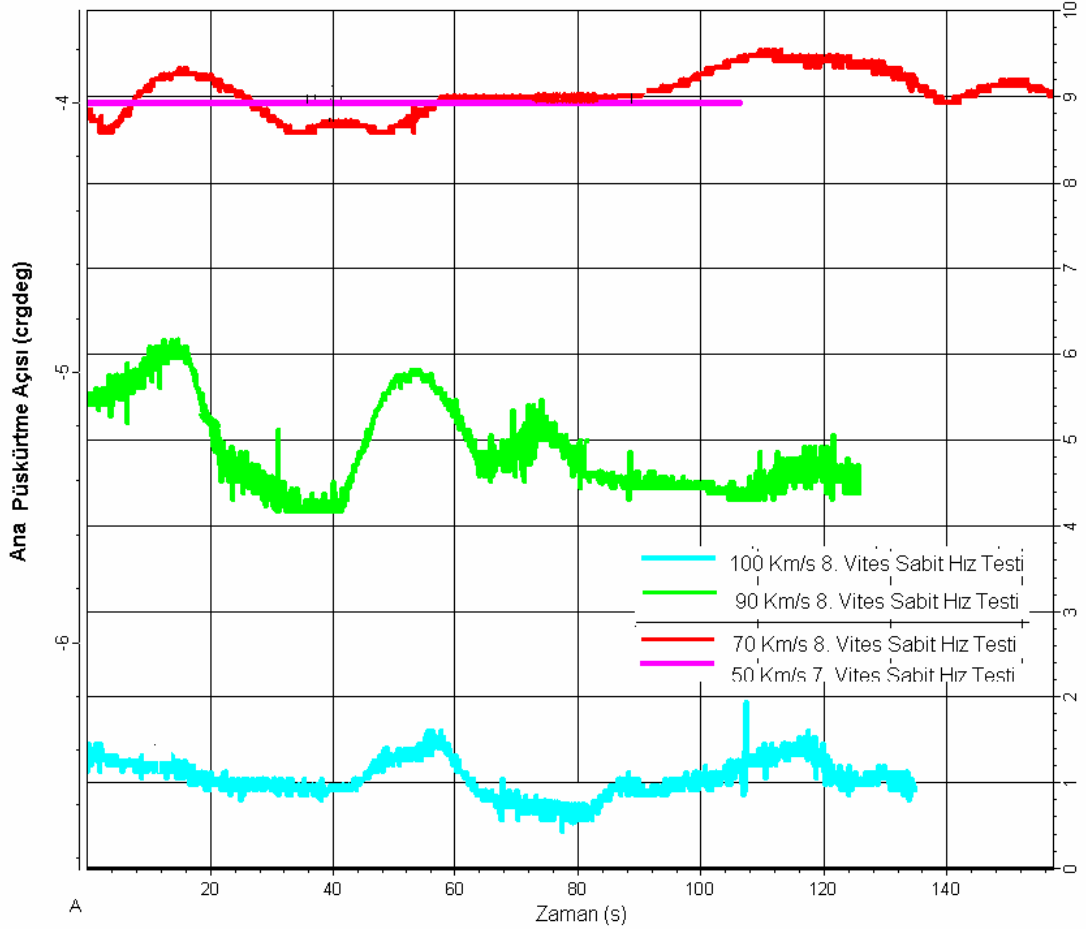
70km/s ve 50 km/s yapılan testlerin 8. ve 7. viteste yapılmalarından dolayı hemen hemen motorun aynı devirde çalıştığı gözlenmektedir. Bundan dolayı 50 ve 70 km/s testlerinde motor parametrelerin benzer olacağı beklenebilir. 50 ve 70 km/s hızla seyahatte motor aynı devir, güç ve tork noktasında çalışmasına rağmen, tekerlekliklere iletilen tork vites düştükçe artmakta, bunun sonucunda yokuş çıkabilme yeteneğini olumlu etkilemektedir. Bu yüzden kamyon sürücüleri eğimli yollarda vites düşürmek ve daha yavaş seyretmek zorunda kalırlar.



Şekil 4.34: Farklı Hızlarda Yapılan Testlerde Motor Hızları

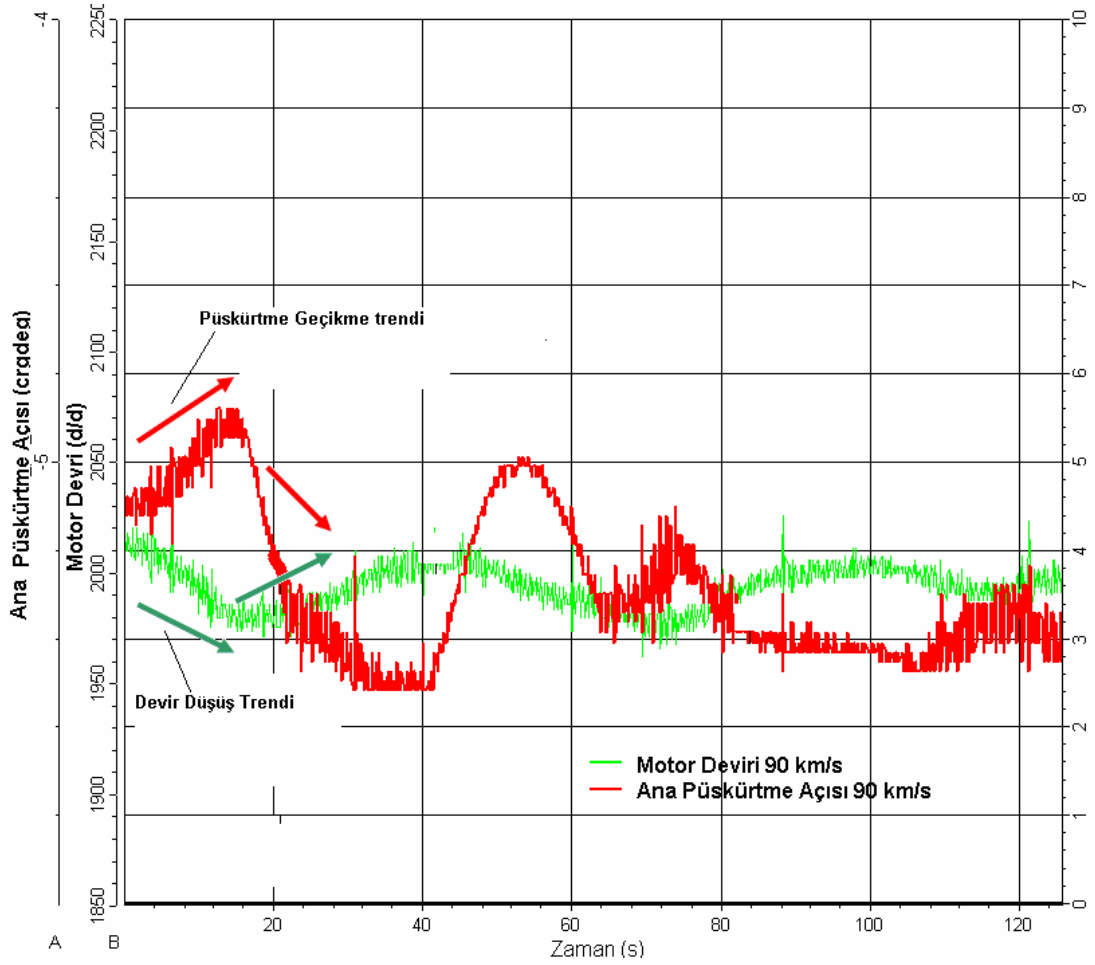
Şekil 4.35'te yapılan sabit hızlanma testlerinde ana püskürtme zamanının değişimi verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi motor devrinin artması ile ana püskürtme daha erken başlamaktadır. 2200 d/d için -6.5 olan açı, 2000 için -5 dereceye 1600 d/d için

ise -4 dereceye kadar gecikmektedir. 50 ve 70 km/s yapılan testlerde hızlar ve vitesler farklı olmasına karşın motor devri aynı olduğu için püskürtme başlangıç zamanı da aynıdır. 50 km/s hızda yapılan testte rüzgar dirençlerinin etkisi düşük hızdan dolayı daha az olduğu için ana püskürtme avansı da gayet düzgün bir şekilde -4 derece krank mili açısında başlamıştır



Şekil 4.35: Farklı Hızlarda Yapılan Testlerde Püskürtme Avansları

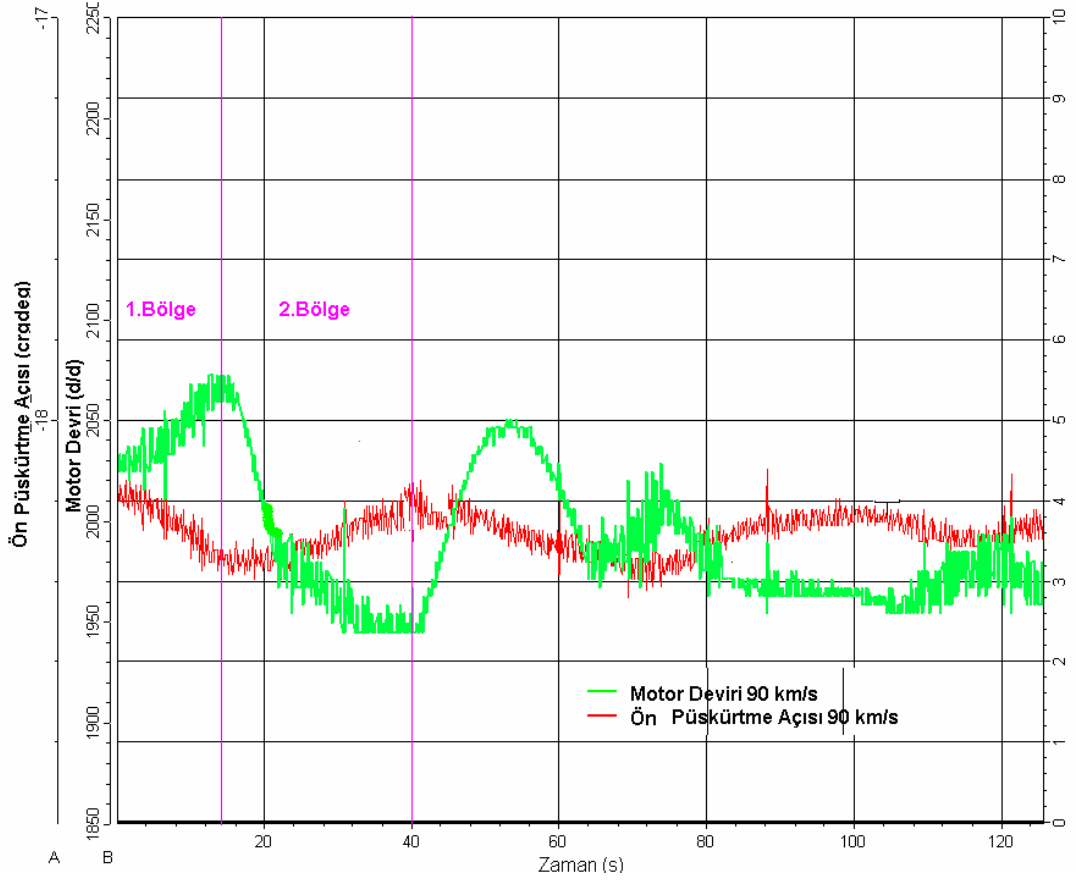
Şekil 4.36' da 90 km/s sabit hız testinde yapılan ana püskürtme zamanı ve devir arasındaki anlatılan ilişki daha ayrıntılı bir şekilde gözükmektedir. Motor devri yükseliş eğilimine girdiği anda, ana püskürtme açısı küçülmekte yani Püskürtme daha erken başlamaktadır. Aynı ilişkiyi motor devrini düşüşü ve püskürtmenin gecikmesi arasında da, görmek mümkündür.



Şekil 4.36: : Motor Devri ve Püskürtme Avansı Arasındaki İlişki

Aynı eğilim Şekil 4.37 incelendiğinde ön püskürtme açısı içinde görülmektedir. Sabit hızda değişen yol dirençlerine bağlı olarak motor devride değişmekte ve buda ön püskürtme zamanını değiştirmektedir. Devirde ki düşüş ön püskürtme zamanını 0 krank mili açısına daha da yaklaştırmaktadır, buda ön püskürtmenin daha geç başladığı anlamına gelmektedir. (1. bölge). Daha sonra ise 2. bölge incelendiğinde devirin yükselmesiyle birlikte erkene kayan bir ön püskürtme zamanı gözükmektedir. Testin geri kalan ve dalgalanan devir değerlerine göre ön püskürtme zamanı değişimi aynı anlayışta devam etmektedir.

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 incelenerek aynı zaman da aynı test için ana Püskürtme ve ön püskürtme arası ilişkide anlaşılmaktadır. Ön Püskürtme ana püskürtmeden yaklaşık 10 derece krank açısı kadar önce başlayıp, yanma odasındaki yanmayı verimlileştirmektedir..



Şekil 4.37: : Motor Devri ve Ön Püskürtme Avansı Arasındaki İlişki

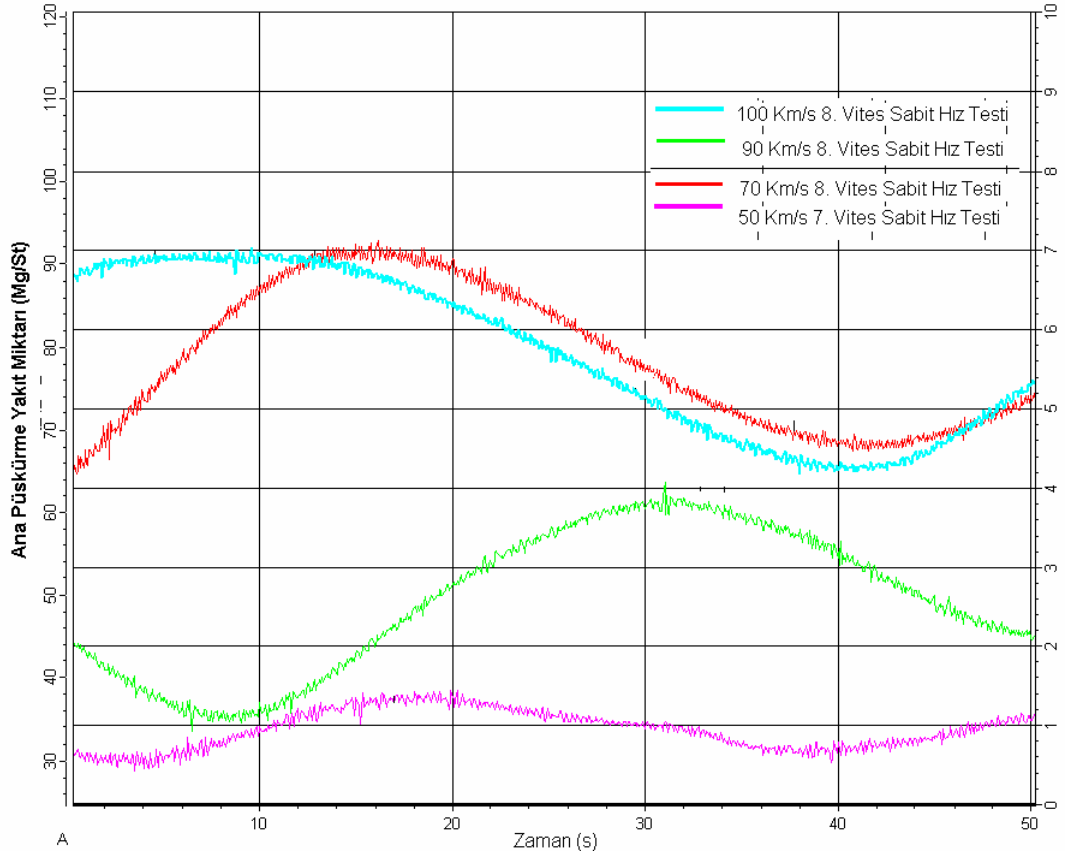
Şekil 4.38'de 100 km/s, 90 km/s, 70 km/s 8. viteste, 50 km/s 7. viteste yapılan sabit hız testlerine ait ana püskürtme yakıt miktarları gözükmemektedir. 50 km/s hızla yapılan testte rüzgar dirençleri düşük olduğundan dolayı motorun araç hızını sabit tutmak için harcadığı torkta küçüktür. Düşük tork ve güç ihtiyacı düşük yakıt tüketimi demektir bu yüzden strok başına daha düşük yakıt püskürtülmektedir.

90 km/s yapılan testte rüzgar dirençleri ve buna bağlı olarak tork yüksek olmasına rağmen motor daha verimli bir bölgede çalıştığı için püskürtülen yakıt miktarı ikinci sırada bulunmaktadır. 90 km/s ve 8. viteste yapılan seyir, ağır yük taşıtlarının en çok kullandığı seyirlerden birini oluşturduğu için bu seyirde kullanılan motor verimli bölgesi son çevrim oranı ve vites oranlarıyla özel olarak ayarlanır.

70 km/s yapılan testte motorun yine verimsiz bir bölgesinin kullanılması yakıt tüketimini arttırmış. 100 km/s hızla yapılan testteki değerlere yakın noktalara getirmiştir.

Püskürtülen yakıt miktarındaki dalgalanmaların sebebi değişen rüzgar dirençleri ve testlerin test pisti yerinde otobanda yapılması ve yoldaki eğimin her ne kadar sıfır

olduğu gözlene de gerçekte sıfır olmamasıdır.



Şekil 4.38: : Püskürtme Miktarının Araç Hızlarına Ve Viteslerine Göre Değişimi

4.3.7 Yoldan Sürüş Verisi Toplanması

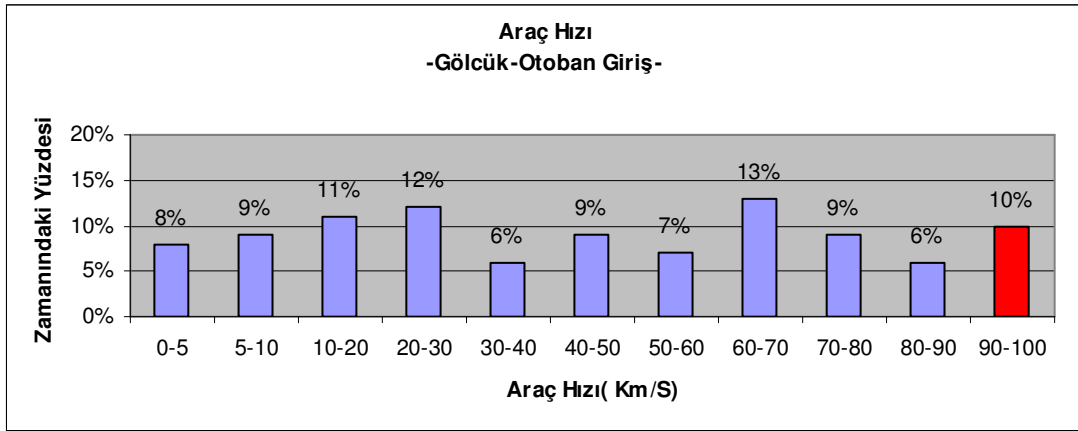
Serbest bırakılmış bir sürücünün, aracı motorun hangi bölgelerinde en çok kullandığının tespiti ve kritik motor çalışma noktalarının tespiti ve motor parametrelerinin bunlara göre kalibrasyon edilmesi önemlidir. Bu sayede hem gerekli emisyon değerleri sağlanabilirken hem de yakıt ekonomisi ve performans kriterleri sağlanmış olur.

Ömürlerinin bir çoğunu şehirler arası yollar ve otoyollarda geçiren ağır ticari taşıtlar için şekil 4.39 da belirtilen temsili rota seçilmiştir. Rotada seyahat eden aracın elektronik kontrol ünitesinden, araç hızı, motor devri ve pedal pozisyonu verisi toplanmıştır.

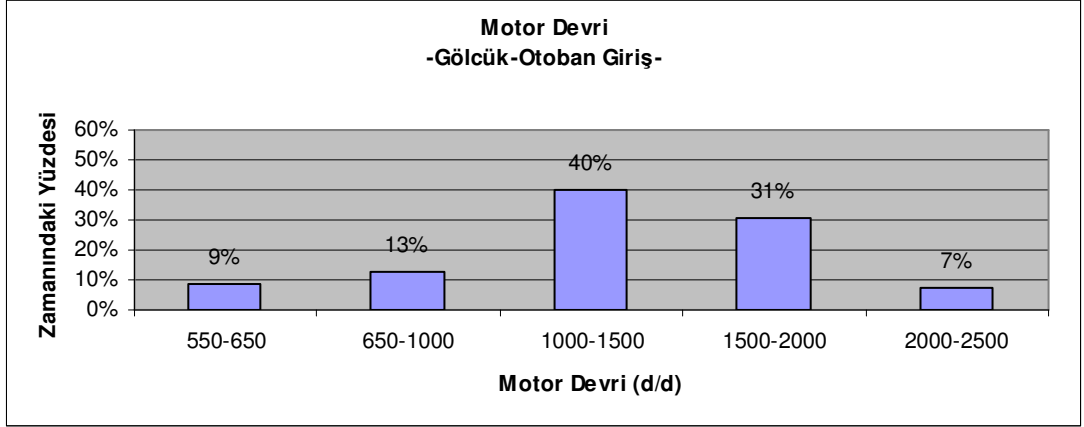


Şekil 4.39: Veri Toplama Sırasında Takip Edilen Rota

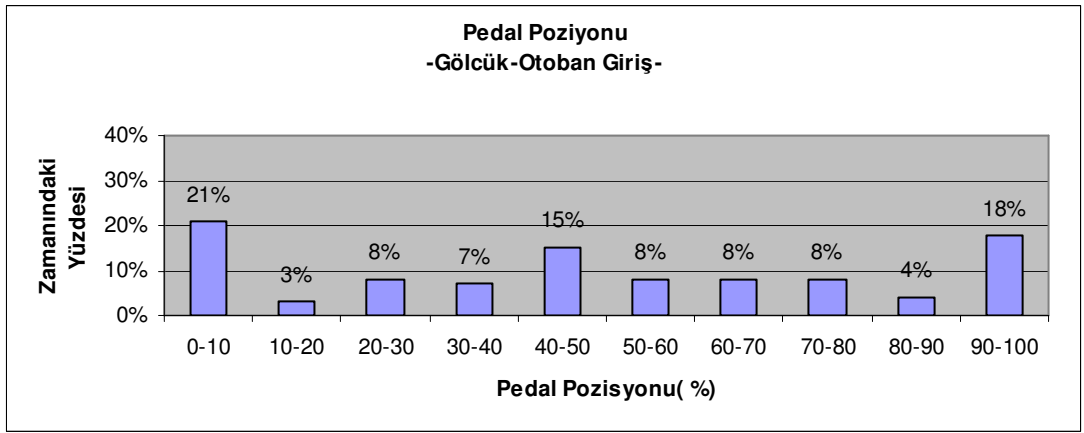
Şekil 4.40 , Şekil 4.41 ve Şekil 4.41 de toplam çevrimin ağır ticari vasıtalar için şehir içi kısmını oluşturan Gölcük ve Anadolu Otopanı İzmit Doğu girişi arasında toplanan verilerin zaman bazında yüzde olarak hangi hız, motor devri ve gaz pedalı konumu aralığına düştüğünü gösteren grafikler yer almaktadır. Çevrimin bu kısmı toplam 1500 saniyedir.



Şekil 4.40: Şehir içi Araç Hız Dağılımı

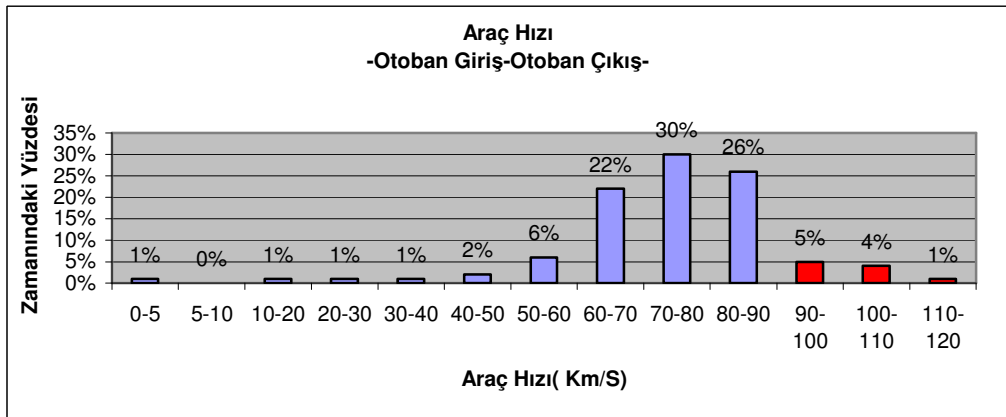


Şekil 4.41: Şehir içi Motor Devri Dağılımı

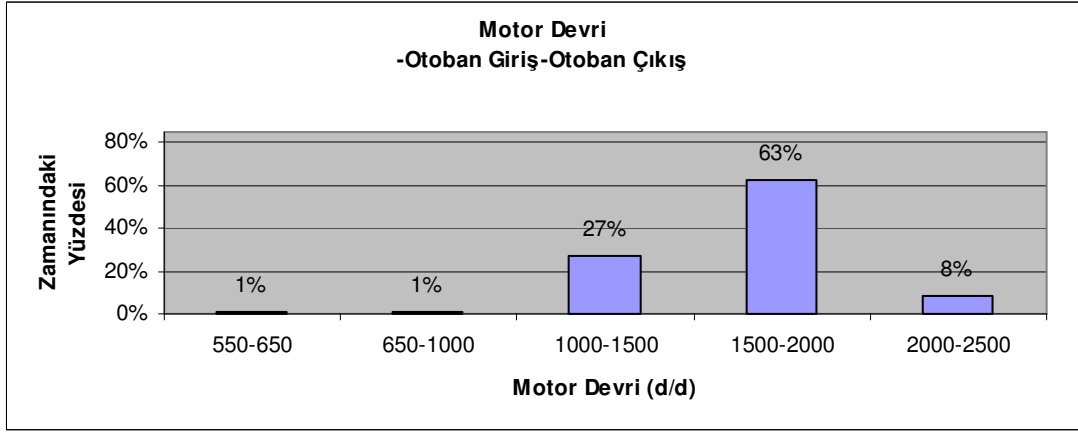


Şekil 4.42: Şehir içi Gaz Pedalı Pozisyonu Dağılımı

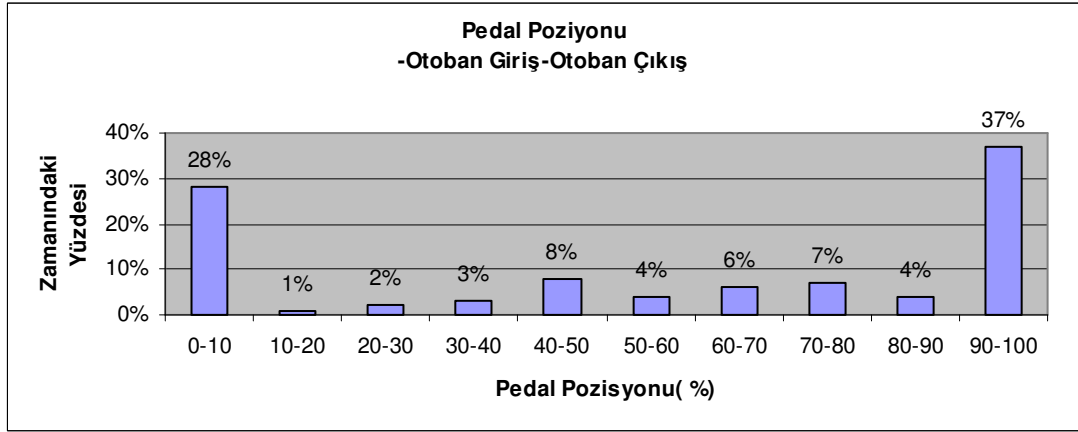
Anadolu Otobanı İzmit Doğu girişi ve Adapazarı çıkış arasında toplanan veriler ise çevrimin otoban kısmını oluşturmaktadır Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45 de ticari vasıtalar için otoban çevrimi verilerin zaman bazında yüzde olarak dağılımları yer almaktadır. Otoban çevrimi 3000 saniye kadar sürmüştür.



Şekil 4.43: Otoban Araç Hız Dağılımı

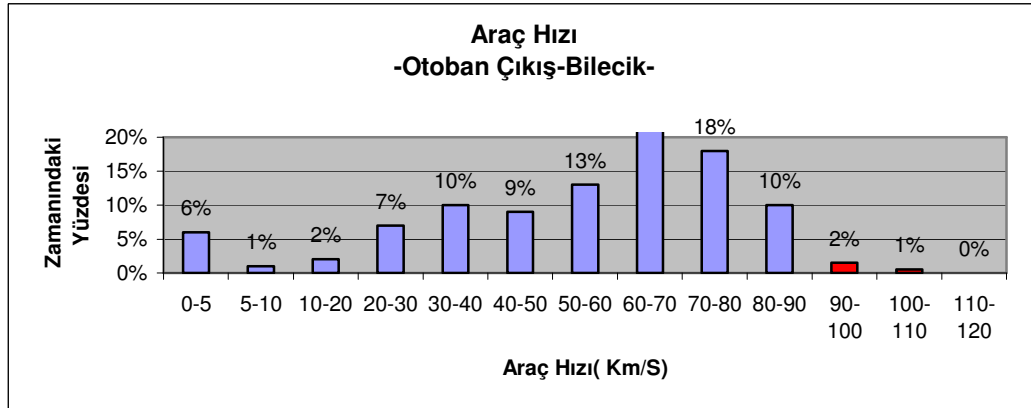


Şekil 4.44 Otoban Motor Devri Dağılımı

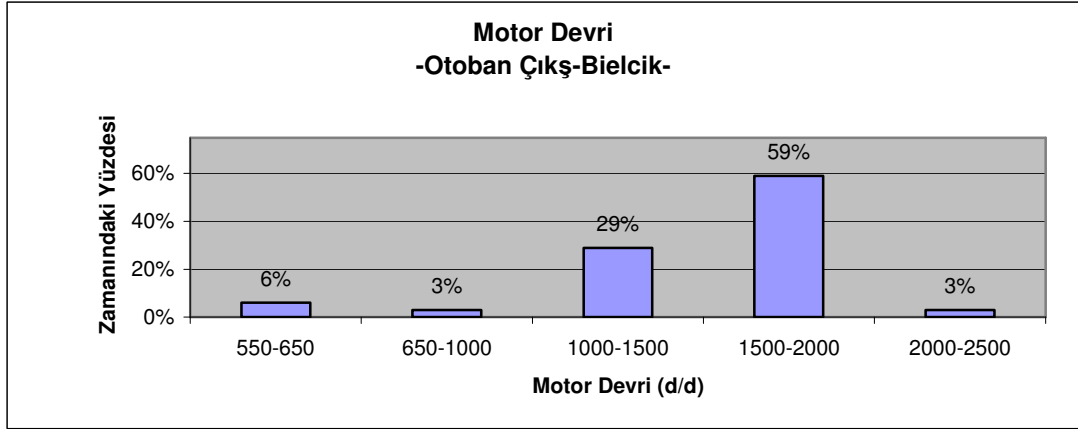


Şekil 4.45: Otoban Gaz Pedalı Pozisyonu Dağılımı

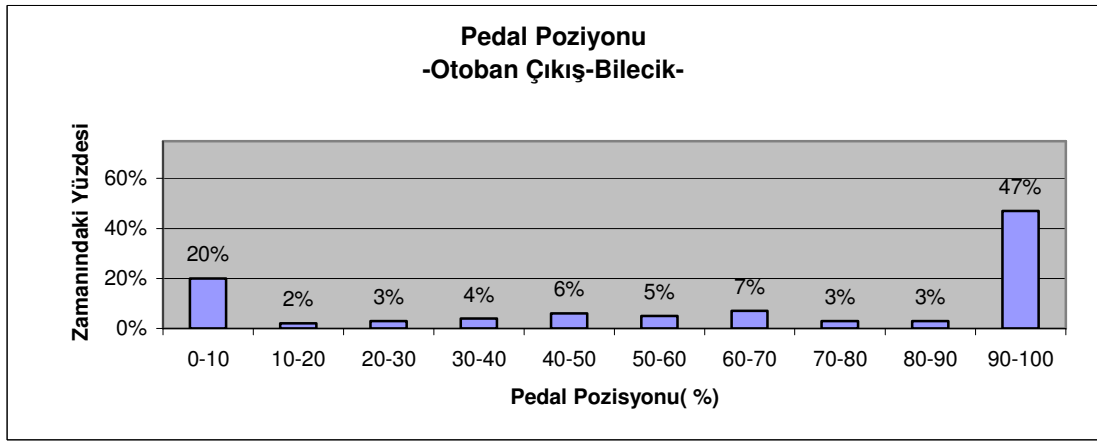
Adapazarı Otoban çıkış ve Bilecik arasındaki yol ise hem şehir dışı çevrimi oluşturmaktadır, hem de tırmanışları ile yüksek irtifa koşullarını kısmen de olsa temsil etmektedir. Verilerle ilgili detaylar Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48 de verilmiştir. Bu çevrimin toplam uzunluğu 7000 saniyedir.



Şekil 4.46: Şehir dışı Araç Hız Dağılımı



Şekil 4.47: Şehir Dışı Motor Devri Dağılımı



Şekil 4.48: Şehir Dışı Gaz Pedalı Pozisyonu Dağılımı

Bütün bu çevrimler incelendiğinde Ecotorq motora sahip kamyonun büyük bir farkla 1500-2000 d/d motor aralığında kullanıldığını görüyoruz. Gaz pedalı pozisyonun ise %100 ve %0 değerlerinde yüksek ve önemli oranlara vardığını görüyoruz. Bu iki parametre bile motorumuzun 1500 d/d üstü motor devirleri ve tam motor yükü için kalibrasyonda yakıt ekonomisi üzerine kurulan bir stratejicinin benimsenmesi gerektiğini göstermektedir. Hız dağılımında ise yine yüksek hız bandının yoğun çıkması bu hızlarda özellikle kamyonun geniş yüzey alanından doğan yol yüklerini karşılamak için güce ve tork'a olan ihtiyacı göstermektedir. Her ne kadar yüksek devirlerdeki yakıt tüketimi kalibrasyon ile belli bir miktar düşürülse de göreceli olarak düşük devirlere göre yüksek kalacaktır. Daha yüksek hacimde motorlar kullanmak azami tork ve azami güç eğrisini geniş bir devir bandına yayacağından dolayı, müşteri kullanım şekli ve araç çalışma noktalarını komple değiştirecektir.

Bunun sayesinde yüksek devirler yerine düşük devirlerdeki motor parametreleri ayarlanarak çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlanabilecek aynı zamanda NOx emisyonları da gerekli değerler altında kalacaktır.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bölüm 2 de dizel motorların temel çalışma prensipleri anlatılmıştır. Bölüm 3'te ise incelediğimiz Ecotorq motora ait elektronik kontrol ünitesinin ve kontrol sisteminin çalışma prensibi anlatılmış, sensör ve eyleyiciler tanıtılmıştır. Elektronik kontrol sistemi sayesinde binlerce farklı çalışma şartı için, motora farklı özellikler vermek mümkündür. Konvansiyonel motorların her devir ve yük şartı için sadece tek bir karakteri olmasına karşılık, NHDD motorda, motor değişik koşullar altında daha önceden planlanmış stratejiler uygulamakta ve bu sayede müşteri memnuniyetini daha fazla sağlamaktadır. Bu yöntemler ayrıca aracın arıza tespitini kolaylaştırmaktadır. Günümüzde ağırlaşan emisyon regülasyonlarını sağlamak için de elektronik kontrollü motorlar kullanmak vazgeçilmez bir yöntemdir.

Bölüm 4'de ise incelenen motorda yapılan parametre değişiklikleri bunların etkileri incelenmiştir. Basıncın arttırması ve avans zamanının erkene çekilmesi her motor çalışma noktasında daha verimli bir yanma sağladığı için yakıt tüketimini düşürmektedir. Yanmanın verimliliğinin artması silindir içindeki sıcaklığın yükselmesine sebep olmakta ve bu da NOx emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Farklı devir ve farklı motor yüklerinde farklı avans zamanları ve ortak yakıt yolu basıncında yapılan ölçümlerin, bölüm 4.3.7 deki verilerle birlikte değerlendirilmesi sonucu, düşük motor devirleri ve yüksek motor yüklerinin aynı anda kullanımının göreceli olarak yüksek devir ve yüksek motor yükleri kullanımına göre daha az olduğunu ve bu noktalarda motor kalibrasyonunun NOx emisyonlarını sağlamaya yönelik, geç avans zamanı ve düşük yakıt yolu basıncı şeklinde kalibrasyonu uygun olacaktır. Yüksek devir ve yüksek motor yükleri için ise daha verimli bir yakıt harcama ve daha iyi özgül tüketimler veren yüksek basınç ve erken avans zamanlaması kullanılmalıdır. Kritik emisyon test noktalarında dışındaki bütün noktalarda, strateji yakıt tüketimini düşürmek üzere azami basınç ve en erken püskürtme olmalıdır.

Bölüm 4 de araç üzerinde yapılan testler sırasına elektronik kontrol ünitesinden

toplanan veriler sayesinde, motor parametreleri ve araç parametreleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Ayrıca motor parametrelerinin araç seyir özelliklerine göre değişimi yine bu bölümde gösterilmiş, motor kalibrasyonu sırasında farklı stratejilerin kullanıldığı farklı motor çalışma noktaları gözlenmiştir. Aracın sahip olması istediği özellik bu çalışma noktaları üzerindeki kalibrasyonlar değiştirilerek geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bosch**, 2003. Diesel Engine Management , Bosch Engineering GmbH, Stuttgart.
- [2] **Bosch**, 2004. Bosch EDC7C1 ECU Manuel , Bosch Engineering GmbH, Stuttgart
- [3] **Zhao,H.**, 2001. Engine Combustion Instrumentation and Diagnostics, Warrendale.
- [4] **Brooks T., Lumsden G., Blaxill H.**, 2005. Improving Base Engine Calibrations for Diesel Vehicles through the Use of DoE and Optimization Techniques, SAE Technical Paper, 2005-01-3833.
- [5] **EEC Directive**, 1988 88/77, EEC Journal Officiel L36.
- [6] **Miller W., Klein J.**, 2000. The Development of Urea-SCR Technology for US Heavy Duty Trucks, SAE Technical Paper, 2000-01-0190.
- [7] **Challen M., Stobart R.**, 1998. Some More Diesel Engine Sensors, SAE Technical Paper, 980167.
- [8] **Heisler H.**,1995. Advanced Engine Technology, Warrendale.

ÖZGEÇMİŞ

Emre Çelik 1980 yılında İzmit'te doğdu. İlköğrenimini Değirmendere Donanma İlkokulu'nda tamamladı (1987-1991). Orta ve lise eğitimini Gölcük Anadolu Lisesi'nde (1991-1998) tamamladıktan sonra, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında, dört senelik lisans eğitimini başarı ile tamamlayıp Makine Mühendisi olarak İ.T.Ü' den mezun oldu. Çelik 2003 yılından bu yana İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Otomotiv Programı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.Çelik ayrıca Ford Otosan Ürün Geliştirme departmanında 2004'ten beri ürün geliştirme ve dizayn mühendisi olarak çalışmaktadır.