

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTERNATİF YAKITLARIN DİZEL MOTORLARDA  
KULLANIMI TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ**

Mak.Müh. Bahadır TÜTER

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makineleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK**

**İSTANBUL, 2007**

## İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 GİRİŞ.....	1
2 DİZEL MOTOR TEKNOLOJİSİ.....	4
3 DİZEL MOTORLAR İÇİN KULLANILABİLECEK ALTERNATİF YAKITLAR.....	6
3.1 Etanolün dizel motorlarda kullanımı.....	8
3.1.1 Örnek çalışmalar.....	10
3.1.2 Etanolün dizel motorlarında kullanım teknikleri.....	12
3.1.3 Etanolün diğer alternatif yakıtlara göre avantajları ve dezavantajları.....	15
3.1.4 Emisyonlar.....	16
3.1.5 Etanol için motor üzerinde değişimler.....	17
3.1.6 Örnek deney.....	17
3.1.7 Sonuçlar.....	19
3.2 Metanolün dizel motorlarda kullanımı.....	20
3.3 Doğalgazın dizel motorlarda kullanımı.....	23
3.3.1 Çift yakıtlı doğalgaz + dizel motoru.....	26
3.3.2 % 100 doğalgazlı dizel motoru.....	28
3.3.3 Emisyonlar.....	30
3.3.4 Ekonomik analiz - İ.E.T.T. örneği.....	31
3.3.5 Sonuçlar.....	34
3.4 Hidrojenin dizel motorlarda kullanımı.....	35
3.4.1 Depolama.....	35
3.4.2 Kullanım yöntemleri.....	36
3.4.3 Örnek çalışmalar.....	37
3.4.4 Hidrojenle ilgili deneysel çalışmalar.....	39

3.4.5	Emisyonlar .....	42
3.4.6	Sonuçlar .....	44
3.5	Biyodizelin dizel motorlarda kullanımı .....	45
3.5.1	Avrupa'da ve Dünya'da biyodizel .....	45
3.5.2	Türkiye'de biyodizel .....	46
3.5.3	Biyodizel örnek çalışmaları.....	48
3.5.4	Biyodizelin dizel yakıtına göre avantajları dezavantajları .....	49
3.5.5	Biyodizel kullanım yöntemleri .....	50
3.5.6	Örnek deney ve çalışma .....	52
4	DENEY ÇALIŞMASI, MATERYALLER VE METOT .....	54
4.1	Materyal.....	56
4.1.1	Motor.....	57
4.1.2	Sıcaklık algılayıcıları .....	58
4.1.3	Basınç algılayıcıları.....	58
4.1.4	Bağıl nem algılayıcısı.....	59
4.1.5	Dinamometre.....	59
4.1.6	Gazölçer .....	61
4.1.7	Debi ölçer .....	62
4.1.8	Duman ölçer .....	63
4.1.9	Emisyon cihazı .....	63
4.1.10	Tezgâh panosu.....	64
4.2	Metot .....	64
5	DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	66
5.1	Moment.....	68
5.2	Motor gücü .....	68
5.3	Özgül yakıt tüketimi .....	70
5.4	Karbonmonoksit (CO) emisyonu.....	73
5.5	Hidrokarbon (HC) emisyonu .....	77
5.6	Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonu .....	81
5.7	Azotoksit (NO <sub>x</sub> ) emisyonu .....	84
5.8	Duman yoğunluğu .....	88
5.9	Ekonomik analiz – İ.E.T.T. örneği .....	89
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	91
	KAYNAKLAR .....	95

EK – 1.....98

ÖZGEÇMİŞ .....99

**SİMGE LİSTESİ**

CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
d/d	devir / dakika
HC	Hidrokarbon
H <sub>2</sub> O	Su/su buharı
ID	Direk enjeksiyonlu motor
IDI	Ön yanma odalı motor
N <sub>2</sub>	Moleküler nitrojen
NO	Azot oksit
NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
O <sub>2</sub>	Moleküler oksijen
PM	Partikül madde
ppm	milyon partikül içindeki parça miktarı
ROS	Oktan sayısı
RPM	devir / dakika
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
SO <sub>4</sub>	Sülfat

**KISALTMA LİSTESİ**

ASTM	Dizel yakıtı standart özelliği
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz
EN	Avrupa Normları
EPA	Environment Protection Agency / evre Koruma Ajansı
İ.E.T.T.	İstanbul Elektrik Tünel Tramvay İşletmeleri
LPG	Likid Petrol Gazı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Enjeksiyon basıncının is oluşumuna etkisi .....	12
Şekil 3.2 Enjeksiyon basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi .....	12
Şekil 3.3 Etanol-dizel yakıt karışımlarının setan sayısı değişimi .....	15
Şekil 3.4 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor gücü diyagramı .....	26
Şekil 3.5 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor momenti diyagramı .....	27
Şekil 3.6 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor yakıt sarfiyatı diyagramı .....	27
Şekil 3.7 Doğalgaza dönüştürülmüş MAN D28 motorunun kesiti .....	28
Şekil 3.8 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimi .....	30
Şekil 3.9 EURO standartlarıyla karşılaştırmalı egzoz gazı emisyonları .....	31
Şekil 3.10 EURO standartlarıyla karşılaştırmalı partikül emisyonları (is emisyonu) .....	31
Şekil 3.11 Doğalgaz motorları ve dizel motorlarının verimlerinin karşılaştırılması .....	34
Şekil 3.12 Test edilen dizel motorun P-V diyagramı ( 1500 d/d ) .....	38
Şekil 3.13 Deney seti şeması .....	40
Şekil 3.14 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki motor güç değişimleri .....	40
Şekil 3.15 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki motor momenti değişimleri .....	41
Şekil 3.16 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki volumetrik verim değişimleri .....	41
Şekil 3.17 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki özgül yakıt değişimleri.....	42
Şekil 3.18 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki O <sub>2</sub> değişimleri.....	42
Şekil 3.19 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki CO değişimleri.....	43
Şekil 3.20 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki CO <sub>2</sub> değişimleri .....	43
Şekil 3.21 1800 d/d 'daki farklı H <sub>2</sub> oranlarındaki NO <sub>x</sub> değişimleri .....	44
Şekil 3.22 Dizel ve biyodizelle çalışmada saatlik ve özgül yakıt tüketim değerleri.....	53
Şekil 3.23 Dizel ve biyodizelle çalışmada moment-devir- güç grafiği .....	53
Şekil 4.1 Deney tezgahı şematik resmi.....	56
Şekil 4.2 Deney düzeneği şeması.....	56

Şekil 4.3 Motor test düzeneği resmi .....	57
Şekil 4.4 Dinamometre .....	59
Şekil 4.5 Dinamometre .....	60
Şekil 4.6 Dinamometre şematik resmi.....	61
Şekil 4.7 AVL 442 Gaz ölçer.....	62
Şekil 4.8 AVL 733 S debi ölçer .....	62
Şekil 4.9 AVL 415 duman ölçer .....	63
Şekil 5.1 Test motorunun devir – moment grafiği .....	68
Şekil 5.2 Test motorunun B0 ve B100 için güç-moment-devir grafiği.....	69
Şekil 5.3 Test motorunun güç - devir grafiği .....	70
Şekil 5.4 Farklı devirlerde değişik oranlardaki biyodizel yakıtlarının ÖYT’deki B0’a göre % değişim.....	71
Şekil 5.5 Test motorunun özgül yakıt tüketimi - devir grafiği .....	72
Şekil 5.6 Test motorunun değişik yakıtlarda moment - özgül yakıt tüketimi - devir grafikleri	73
Şekil 5.7 800 d/d’daki CO emisyonu .....	74
Şekil 5.8 1200 d/d’daki CO emisyonu .....	74
Şekil 5.9 1600 d/d’daki CO emisyonu .....	75
Şekil 5.10 1800 d/d’daki CO emisyonu.....	75
Şekil 5.11 2100 d/d’daki CO emisyonu.....	75
Şekil 5.12 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki CO emisyonları .....	77
Şekil 5.13 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki HC emisyonları .....	78
Şekil 5.14 800 d/d’daki HC emisyonları .....	79
Şekil 5.15 1200 d/d’daki HC emisyonları .....	79
Şekil 5.16 1600 d/d’daki HC emisyonları .....	79
Şekil 5.17 1800 d/d’daki HC emisyonları .....	80
Şekil 5.18 2100 d/d’daki HC emisyonları .....	80
Şekil 5.19 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	82
Şekil 5.20 800 d/d’daki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	83



Şekil 5.21 1200 d/d'daki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	83
Şekil 5.22 1600 d/d'daki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	83
Şekil 5.23 1800 d/d'daki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	84
Şekil 5.24 2100 d/d'daki CO <sub>2</sub> emisyonları .....	84
Şekil 5.25 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki NO <sub>x</sub> emisyonları.....	85
Şekil 5.26 800 d/d daki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	86
Şekil 5.27 1200 d/d daki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	86
Şekil 5.28 1600 d/d daki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	86
Şekil 5.29 1800 d/d daki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	87
Şekil 5.30 2100 d/d daki NO <sub>x</sub> emisyonları .....	87
Şekil 5.31 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki k (duman yoğunluğu) değerleri.....	88

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Hava kirliliği ve güvenlik etkileri bakımından alternatif yakıtların karşılaştırılması .....	6
Çizelge 3.2 Çeşitli alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırılması .....	7
Çizelge 3.3 Etanolün dizel motorlarında kullanılması için geliştirilen metodlar .....	19
Çizelge 3.4 Etanol dizel yakıt karışımlarının ısı değer değişimi .....	19
Çizelge 3.5 Metanolün dizel motorlarında kullanımı için geliştirilen metodlar .....	23
Çizelge 3.6 Ikarus marka otobüsün doğalgaza dönüşüm maliyetleri .....	33
Çizelge 3.7 Mevcut hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırılması .....	35
Çizelge 3.8 Dizel motorunun çift yakıtlı kullanımına ilişkin yakıt oranları .....	37
Çizelge 3.9 Önemli biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	52
Çizelge 4.1 Kullanılan dizel yakıtının (motorin 7000) analizi .....	54
Çizelge 4.2 Kullanılan biyodizel yakıtının analizi .....	55
Çizelge 4.3 Deney motoru özellikleri .....	57
Çizelge 4.4 AVL DiCom 4000 teknik özellikleri .....	63
Çizelge 5.1 Euro değerleri karşılaştırması .....	67
Çizelge 5.2 B22 ile motorinin (B0) ekonomik analizi .....	89
Çizelge 5.3 B100 ile motorinin (B0) ekonomik analizi .....	89

## ÖNSÖZ

Varolan enerji kaynaklarının, özelde fosil yakıtların ve fosil yakıt kullanan makinelerin kullanabilecekleri alternatif enerji kaynaklarının, mevcut sistem içerisinde verimli kullanımlarına ihtiyaç duyulmasıyla, konuyla ilgili pek çok araştırma yapılmış olup bu çalışmamda da alternatif olabilecek bu yakıtların Diesel motorlarında kullanımlarının performanslar ile emisyonlara etkileri araştırılmış ve deneysel analizlerin üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmamın başından itibaren bana yol gösteren ve destek olan başta Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK olmak üzere tüm hocalarıma; çalışmalarım için destek veren İ.E.T.T. Etüd Plan Proje D. Bşk. Ali KOCABAŞ'a, test düzeneğinin kurulmasında ve deney sırasında bana büyük yardımlarda bulunan Güneş ACARBULUT'a, Arş.Grv. Orkun ÖZENER'e ve Arş.Grv. Levent YÜKSEK'e ve hep yanımda olan eşim Arzu'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmamın benzer konularda araştırma yapan arkadaşlarıma yardımcı olmasını ümit ederim.

## ÖZET

Enerji ihtiyacı, dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle günden güne artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak tüm dünyada enerji açığı oluşmaktadır. Bu nedenle sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile yeni enerji kaynaklarına yönelmektedirler.

Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağını göstermektedir.

Etanol, metanol, doğalgaz, hidrojen ve biyodizel gibi alternatif enerji kaynaklarının mevcut motorlarda kullanılabilirlikleri çoğu araştırmacının üzerinde durduğu konulardandır. Bu alternatif yakıtların dizel motorlarında kullanımlarının araştırıldığı bu çalışmada etanol, metanol, doğalgaz, hidrojen ve biyodizelin dizel motorlarında kullanılabilme potansiyelleri ve örnek deneyler-çalışmalar incelenmiştir.

Etanol ve metanol kullanıldığında performanslarda kısmi düşüşler görülmüş, emisyonlarda artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca motor üzerinde modifikasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğalgaz ve hidrojen kullanıldığında performanslarda düşüşler görülmüş ancak ekonomik yönden kullanılabilirliği yönünde olumlu görüşler oluşmuştur.

Biyodizel ile ilgili olarak yapılan deneyde 4 zamanlı 6 silindirli bir şehir içi otobüs motoru kullanılmıştır. Deneylerde biyodizelin performanslarda çok az düşüşler gösterdiği ancak emisyon testlerinde oldukça olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu avantajlarının yanında biyodizel yüksek viskozite, düşük ısıl değer ve bazı malzemeler üzerinde aşındırıcı/çözücü etkiye sahip olmak gibi bazı olumsuz özelliklere de sahiptir.

**Anahtar kelimeler:** alternatif yakıtlar ve kaynaklar, biyodizel, etanol, metanol, hidrojen, doğalgaz, dizel motorlar

**ABSTRACT**

The requirement of energy is increasing due to industrialization and growing population day by day in the world. As a result of this, a lack of energy occurs in the entire world. So industrialized and newly industrialized countries appeal to the new energy sources for the purpose of providing the energy necessity.

At the present time the main energy source of the motor vehicle industry is petroleum products. The negativities in the petroleum sources show that using of alternative sources will become widespread.

The utility of alternative energy sources as ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and biodiesel at present engines is the one of the subjects that the most of the researchers dwell upon about. In this study these alternative sources' utilities on diesel engines were investigated. The utility potentials of ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and biodiesel on diesel engines and model tests and studies were investigated.

When ethanol and methanol were used, partial decreases were seen on performance datas, some increases were fixed on emissions datas. Also it needs modifications on engine block and parts.

When natural gas and hydrogen were used, decreases were seen on performances but occurred positive opinions about utility for economic situations.

In the experimental study about biodiesel, used an engine of a city bus which is 4 cycled and 6 cylindered. On the tests a few decreases were seen on performances about biodiesel but a very positive results were fixed on emission tests. Furthermore of these advantages, biodiesel has some negative features as high viscosity, low thermal rate and abrasive - corrosive effects on some materials.

**Key words :** alternative fuels and sources, biodiesel, ethanol, methanol, hydrogen, natural gas, diesel motors

# 1 GİRİŞ

Enerji, özellikle de birkaç yüzyıldır insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli ve temel varlıktır ve ekonomik kalkınmanın esas unsurudur. Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli girdilerinden olan enerji, meşhur petrol krizlerinin yaşandığı 1970'li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinin gündeminde önemli yer tutmaktadır. Neredeyse bütün toplumların enerji sorunu ile karşı karşıya kalması göz önüne alındığında, enerji konusunun üzerinde önemle durulması gerektiği ortadadır. Dünya enerji ihtiyacının halen büyük bir kısmının kömür, doğalgaz ile petrol ve türevleri olan kaynaklardan karşılandığını bilmekteyiz. Petrol kaynaklarının azalması, varolan kaynakların ise sınırlı olması yanısıra ekonomik ve politik değişimler ve farklılıklar ile dış ülkelere bağımlılık ve hava kirliliği tüm ülkeler için halen geçerli problemlerdendir. Dünyada enerji gereksiniminin %80'i kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan araştırma belgelerinde yer alan dünya enerji dairesi raporlarına göre petrolün tahmini dünya rezervi 2.330 milyar varildir. Bu rakamın yaklaşık üçte birinden fazlası tüketilmiş durumdadır. Dünya üretimi bu şekilde devam edecek olursa yıllık 22 milyar varillik üretim ile yaklaşık 60 ile 70 yıl sonra dünya petrolü bitme noktasına gelecektir.

Fosil yakıtların dünyada bilinen rezerv dağılımları, petrol eşdeğeri olarak, %68 kömür, %18 petrol ve %14 doğalgaz olarak bilinmektedir (Vogel,1999).

Bir başka kaynakta ise yapılan araştırma sonuçlarına göre; petrolün 41, doğalgazın 62, kömürün ise önümüzdeki 218 yıl içinde tükeneceği belirtilmiştir (Enerji ve Çevre Komisyonu Özet Raporu, 1998). Bununla birlikte, fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği göz ardı edilemez durumdadır. Bu yakıtların yanma sonucu çevreye yaydıkları emisyonlar, çevre kirliliğinin yanı sıra birçok olumsuzluk meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalara göre, enerji kaynaklarının kullanımında değişiklik yapılmazsa, küresel çapta enerji açığı ve kirliliğin 2030 yılına kadar %50 artacağı uyarısında bulunulmuştur (Alptekin ve Çamakçı, 2006).

İdeal yanma prosesinde fosil kökenli yakıtların yakılması durumunda yanma ürünleri olarak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub> oluşmaktadır. Yanma sıcaklığına bağlı olarak da NO<sub>x</sub> oluşur. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, duman gibi kirletici emisyonlar ve sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine neden olan CO<sub>2</sub> emisyonları çevreyi olumsuz yönde

etkilemektedir. Ancak yanma tam olarak gerçekleşmediğinden yanma ürünleri olarak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O yanında CO ve HC gibi ürünler ortaya çıkmaktadır. Bu maddeler motorda depoda, besleme hattında ve doldurma süresinde oluşan buharlaşmada kirliliğe neden olmaktadır.

CO<sub>2</sub> en önemli sera gazı olup araç egzozlarından ve ısınma amaçlı kullanılan yakıtlardan atmosfere salınmaktadır. Egzoz gazlarından oluşan emisyonlardan temelde karbonmonoksitler (CO) ozon tabakası için önemlidir. Ayrıca, hidrokarbon (HC) ve CO solunumda güçlük oluştururken azotoksitler (NO<sub>x</sub>) ise kanserojen özelliğine sahiptirler. Egzozdan çıkan partikül emisyonları (ppm) da çevre kirliliğine neden olurlar. Aromatik haricinde HC'lar zehir özelliği içerirler.

Yanmayı ideal şartlara yaklaştırma ve zararlı egzoz emisyonlarını en az seviyeye düşürme gayretleri, bilim adamları ve imalatçıların en önemli faaliyetlerini oluşturmaktadır. Bu açıdan dizel motorları için üretilen veya yurt içinde değişik adlar altında piyasaya sunulan dizel yakıtlarının kullanımı neticesinde meydana gelen performans ve emisyon değerlerinin teknolojik ve ekonomik olarak incelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan son yıllarda çevre ve halk sağlığının daha fazla önem kazanması ve çevreye olan duyarlılığın artması, çevre politikalarının belirlenmesini gündeme getirmiş ve ulusal anlamda çevre politikaları konuşulur olmuştur. Ayrıca bu gibi politikalara uygun olarak gerekli yasal dayanak sağlamak üzere 'çevre mevzuatı' oluşturulmuştur.

Dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak amacıyla, Avrupa'da yeni teknoloji ürünü araçları kullanmaya teşvik edici tedbirler alınmaktadır. Bununla birlikte emisyon değerlerinin sınırlarını daha da azaltan kanuni düzenlemeler de düşünülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da dizel motorlu taşıtlar, daha üretim aşamasında denetime tabi tutulmaktadır. Ayrıca motorlarda kullanılan alternatif yakıtların ekonomikliği de büyük önem taşımaktadır. Özellikle günümüzde artan ekonomik kriz neticesinde yakıtlardan en yüksek verimi almak ve bunun sonucunda da yakıtların ekonomik olması istenmektedir. Günümüzde dizelle çalışan yakıtlara olan ilgi de yakıtın ekonomik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple en ekonomik yakıt için çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde dizel yakıtına alternatif yakıtlar olarak hidrojen, doğalgaz, etanol, metanol ve biyodizel sayılabilir. Tarım ülkesi olan ülkemizde, biyodizel öncelikli bir seçenektir. Kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesi ve iş imkânlarının yanı sıra sanayinin de gelişmesine katkıda bulunacaktır. Biyodizelin stratejik konumu da göz ardı edilemez bir durumdur. Ancak biyodizelin bitkisel yağlardan üretiliyor olması dizel yakıtına nazaran

bölgesel olarak daha pahalı olmasına neden olabilmektedir.

Biyodizelin atık yağlardan da üretilmesi maliyeti düşüren etkenlerdendir. Türkiye’de her yıl 300 bin ton atık yağ oluşmaktadır. Bu atık yağlar biyodizel üretiminde kullanıldığında yılda 480 milyon YTL kazanç sağlanacaktır. Ayrıca, oluşan bu atık yağlar biyodizel üretiminde kullanıldığında, motorine göre atmosfere atılan sera gazı CO miktarı 900 bin ton azalacaktır (<http://www.cevreorman.com.tr>, 01.05.2006).

Bu çalışmada; dizel motorlar için mevcut fosil kökenli ve onlara alternatif olabilecek yakıtların, daha temiz, daha verimli ve daha ekonomik kullanılabilirlikleri üzerinde durulmuş olup, güncel ve pratik bir örnek üzerinde deneylerle ekonomik verimlilikleri gösterilmiştir. Günümüzde dizel motorlar için kullanımı en çok düşünülen ve hâlihazırda kullanılan dizel alternatifi yakıtlar üzerinde durulmuş, LPG vb. diğer alternatif yakıtlar dikkate alınmamıştır.



## 2 DİZEL MOTOR TEKNOLOJİSİ

Dizel motoru, içten yanmalı bir motor tipidir. Daha özel bir tanımla, dizel motor oksijen içeren bir gazın (genellikle bu atmosferik havadır) sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan bir motordur. Bu yüzden benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ve yakıt-oksijen karışımını oluşturmak için karbüratöre ihtiyaç yoktur. 1892'de Alman Mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve daha sonra 23 Şubat 1893'te patenti alınmış bu süreç dizel çevrimi olarak bilinir. Diesel, motoru kömür tozu dâhil çeşitli yakıtların kullanımına yönelik olarak tasarlamıştır. Motorun sunumunu 1900'deki Dünya Fuarı'nda, yakıt olarak yer fıstığı yağı (biyodizel) kullanarak yapmıştır. Türkiye'nin ilk %100 Yerli Dizel Motoru 1967 senesinde Yüksek Mühendis Abdülkadir Özgür seri olarak üretmiştir. İlk olarak 1 silindirli olarak üretilen bu motorlar, motopomp, jeneratör, deniz motoru uygulamalarında kullanılmıştır ([http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel\\_motor](http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor), 25.04.2006).

Gaz sıkıştırıldığında sıcaklığı yükselir, dizel motoru bu özelliği kullanarak yakıtı ateşler. Hava, dizel motorunun silindiri içine çekilir ve bir piston tarafından, kıvılcım ateşlemeli motorlardakinden çok daha yüksek (25 katı bulabilir) bir oranda sıkıştırılır. Hava sıcaklığı 700-900 °C'ye ulaşır. Piston hareketinin en tepe noktasında, dizel yakıt yüksek basınçla atomizer memeden geçerek yanma odasının içine püskürtülür, burada sıcak ve yüksek basınçlı hava ile karışır. Bu karışım hızla tutuşur ve yanar. Hızlı sıcaklık artışı ile yanma odası içindeki gaz genişler, artan basınç, pistonu aşağı doğru hareket ettirir. Biyel (piston) kolu, krank mili çıkışına dönme gücü olarak iletilir. Motorun süpürmesinde, egzoz gazını silindirin dışına atma ve taze hava çekme işlemi, kapakçıklar (valf) veya giriş ve çıkış kanalları aracılığıyla yapılır. Dizel motorun kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesi için içeriye alınan havayı sıkıştırabilecek turboşarjer kullanılması gerekir; turboşarjer ile havanın sıkıştırılmasından sonra bir ara soğutucu ile içeri alınan havanın soğutulması ayrıca verimi artırır.

Yıllardır, tüketicilerin farklı isteklerinin çeşitliliği, dizel yakıt enjeksiyon sisteminde de çeşitliliğin artmasına yol açmıştır. Dizel motor teknolojisindeki birçok önemli gelişme, güçte artış, yakıt tüketimi, motor gürültüsü ve egzoz emisyonlarında azalış sağlamıştır. Geleceğin dizel püskürtme sistemi olarak tanımlanan 'Common Rail' yakıt enjeksiyon sistemi, özellikle Avrupa'da gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Yakın gelecekte Türkiye'de de çok sayıda dizel

aracın, bu sistemle donatılacağı düşünülmektedir.

Günümüz enjeksiyon teknolojisi, yanma gürültüsü ve egzoz emisyonlarını azaltmak, bunun yanında motor performansını artırmak için kademeli enjeksiyon sistemlerini geliştirmiştir. Dizel motorlarındaki yüksek basınç, silindirler içerisinde sıcaklığın hızlı bir şekilde artmasına ve buna bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına neden olur. Bu durumu ortadan kaldırmak için pilot enjeksiyon yöntemi geliştirilmiştir. Dizel motor endüstrisinin genelinde common rail enjeksiyon sisteminin avantajları kabul görmüştür. Birim enjektörün yüksek basınç üretimi ve tork karakteristikleri geliştirilmiş olmasına rağmen, sadece birkaç araç üreticisi dışında Volkswagen Grup birim enjektör sistemini kullanmaktadır. Bosch Firması Volkswagen Lupo TDI ve Audi A2 TDI araçları için birim enjeksiyon sistemi üretmektedir. Her iki araçta PM emisyonlarındaki sınırlama ile dikkati çeken Euro 4 emisyon standartlarının yarısını yakalamıştır. İlk olarak 1997 yılında, bazı binek tipi dizel araçları için firma common rail üretmeye başlamıştır. Bu firmanın ilk common rail sistemi 135 MPa basınca sahip iken ikinci kuşak üretiminde sistem basıncını 160 MPa' a çıkarmıştır. Şu an 180 MPa basınca doğru gitmektedir. Bu firmanın birim enjeksiyon sistemi, yakıtı 200 MPa'nın üzerinde bir basınçla yanma odasına püskürtmektedir. Sistemin selonoid valfi, motorun çalışma şartlarına göre gerekli yakıt oranını ayarlamaktadır. Bu firma 2000 yılında toplam 3,6 milyon common rail ve birim enjeksiyon sistemi üretirken, 2001 yılında bu rakam toplam 5,3 milyon olmuştur (Mühendis ve Makine dergisi, nisan 2004).

### 3 DİZEL MOTORLAR İÇİN KULLANILABİLECEK ALTERNATİF YAKITLAR

Dizel motorları için günümüzde çalışmaları devam eden pek çok araştırma ve deneyler yapılmaktadır. Aşağıda çeşitli alternatif yakıtların hava kirliliği ve güvenlik etkileri ile bilinen fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 Hava kirliliği ve güvenlik etkileri bakımından alternatif yakıtların karşılaştırılması

Yakıt	Hava kirliliğine etkilerdeki değişim	Çevresel ve güvenlik etkileri
<i>Doğalgaz</i>	<i>Toplamda önemli düzelme fakat NO<sub>x</sub> de az etki</i>	<i>Doğalgaz için yüksek sıkıştırma gerekli ve doğal kaynakların korunumu</i>
<i>LPG</i>	<i>Toplamda önemli düzelme fakat NO<sub>x</sub> de az etki</i>	<i>Güvenlikli, ve en düşük sıcaklıkta depolama imkanı</i>
<i>Hidrojen</i>	<i>Çok az miktarda NO<sub>x</sub> verir.</i>	<i>Eğer sudan elde edilirse doğal kaynak korunumu vardır. Ancak sıkıştırma veya soğutma gerekli</i>
<i>Metanol</i>	<i>Orta miktarda azalma</i>	<i>Suda çözünümlü zehirleyici olabilir.</i>
<i>Etanol</i>	<i>Orta miktarda azalma</i>	<i>Doğal kaynak korunumu vardır.</i>
<i>Bitkisel yağ</i>	<i>CO çıkışı fazladır</i>	<i>Doğal kaynak korunumu vardır.</i>

**Çizelge 3.2** Çeşitli alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırılması  
(Sürmen, Karamangil, Arslan)

	HİDROJEN	METAN	METANOL	ETANOL	BENZİN	DİZEL
Kimyasal Denklemi	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OH	(C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> ) <sup>a</sup>	
C/H Oranı	0	0.25	0.25	0.333	0.556	0.520
Moleküler Ağırlığı	2.02	16.04	32.04	46.07	91.4	170
Özgül Ağırlığı sıvı (kg/dm <sup>3</sup> )	0.07	0.424	0.790	0.790	0.73 <sup>a</sup>	0.83
Gaz (kg/dm <sup>3</sup> )	0.84*10 <sup>-4</sup>	0.78*10 <sup>-3</sup>	1,43*10 <sup>-3</sup>	1,96*10 <sup>-3</sup>		
Isıl Değeri (Mj/kg)	119.93	50.8	20.1	26.9	43.4	43.1
(Mj/litre)	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8	
Stokiyometrik karışım için						
Hava/yakıt(kütlese)	34.32	17.2	6.44	8.96	14.7	14.5
Hava/yakıt(hacimsel)	2.38	9.53	7.14	14.3	45.79	
Isıl değer (kj/litre)	3.20	3.40	3.53	3.61	3.78	
Molürünler/molreaktantlar	0.85	1.00	1.06	1.06	1.04	
Buharlaştırma ısı(Mj/kg)	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272 <sup>a</sup>	0.3
Tutuşma sınırları						
% hacim	4.1 – 74	5-15.4	6-37	3.5-19	1.3-7.6	
λ	0.15-4.35	0.59–2.0	0.24–2.22	0.29– 1.92	0.29– 1.67	0.48-1.35
Laminar alev hızı (m/s)	2.91	0.37	0.52		0.37	
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2110	1954	1878	1924	1993 <sup>a</sup>	
Difüzyon katsayısı (m <sup>2</sup> /s)	0.61	0.16			0.08	
Kaynama noktası (°C)	-252.35	-161.3	65.1	78.7	32-221	170-350
Donma noktası (°C)	-259		-97.6	-114.1	-56 <sup>a</sup>	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	574-591	632	470	392	257	
Oktan Sayısı						
ROS	130	130	110	106	91-100	
MOS		105	87	89	82-94	

Dizel motorlar için günümüzde dizel yakıtının (motorin) alternatifi olabilecek yakıtlar üzerinde çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Yanma özellikleri iyi, kirletici özellikleri az olan alternatif dizel motor yakıtı, çalışmalarda temel kıstas olarak göze çarpmaktadır. Alternatif motor yakıtlarının kullanımı konusunda ülkeden ülkeye değişen yaklaşımlar

görülmektedir. Bir yerde daha çok etanol-dizel kullanılırken başka bir yerde doğalgaz ya da biyodizel kullanılmaktadır.

Alternatif yakıt kullanımında belirleyici olan faktörlerden biri, yakıtın üretimi, dağıtımı ve son tüketiciye ulaştırılması konusudur. Diğer bir faktör de yakıtın fiyatıdır. Tüketici tarafından yakıtın geniş kullanım değerlerine ulaşması için fiyatının mevcut yakıtlara göre makul olması gerekmektedir. Avrupa'da trafiğe yeni kaydedilen araçların % 51'i dizel motorlulardan oluşmaktadır. Türkiye'de ise dizel araçların oranı % 30' dur (www.aksiyon.com.tr, 01.05.2006).

Artık lüks modellere kadar tüm araç kategorilerinde dizelin tercih edilmesi dikkat çekicidir. Türkiye'de dizel otomobillere olan talep her geçen gün artmaktadır. Dizellerin toplam otomobil satışları içindeki payı 2004'te yüzde 23 iken 2005'te yüzde 38, 2006'da ise yüzde 45'e ulaşmıştır. Yakıt tüketimindeki tasarruf sürücülerin dizel motorları tercih etmesinin başlıca nedeni olarak görülmektedir. Aynı hacimdeki mazotun benzine göre daha ucuz olması da dizeli ekonomik kılmaktadır. Öte yandan eski teknolojinin aksine, benzinli motorlar kadar seri ve yüksek motor performansı sayesinde yeni nesil dizel motorlar sürücülerin ilk tercihi olmuştur. Dizel motorlu araçlar 1970'lere kadar gürültülü, yavaş ve hantal olarak görülmekteydi. Dizel araçlar, kendilerinden umulmayan bir sürüş dinamiği gösterirken, zararlı egzoz gaz emisyonlarında da oldukça azalma sağladı. Dizel motorlu araçlara olan bu rağbetin temelinde motorinin benzine oranla daha ucuz olması şüphesiz en önemli etkidir. Dolayısıyla dizel motorlar için düşünülecek alternatif yakıtlarda, bu parametrenin gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

### **3.1 Etanolün dizel motorlarda kullanımı**

Dizel yakıtı içerisinde oksijenli bileşiklerin (alkoller) karıştırılması, kirlenici emisyon problemlerine karşı alternatif olarak en iyi yollardan birisi olarak görünmektedir. Dizel motorlarda biyolojik bazlı yakıtların kullanımı ile yanma sonrası is, CO ve partikül madde emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Alkol ve alkol katkılı yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımına dair ilk olarak 1907'de bir rapor yayımlanmış daha sonra kapsamlı incelemeler 1970 yıllarında Güney Afrika'da yapılmış, 1980 yıllarında Almanya, Amerika, Brezilya ve diğer ülkelerde uygulamalar devam etmiştir. Tam olarak dizel motorlarda kullanımı 1980'de kabul görmüştür. Bu çalışmaların

çoğu egzoz emisyonlarında is ve partikülleri azaltmak üzere uygulanmıştır. Alkoller oktan sayılarının yüksek olması nedeniyle yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatiflerden birisi olmakla birlikte yapısında oksijen bulundurduğu, temiz ve kurumsuz yanmayı sağladığı için dizel yakıtı ile birlikte de kullanılırlar.

Etanol ilk zamanlarda Brezilya'da ülkenin hemen hemen her yerinde benzine %20 oranında katılarak kullanılmış, 1979'da binek taşıtlarda kısmen ve 1982'den sonra ise üretiminin yeterli miktara ulaşmasıyla birlikte de tamamen benzinin yerine geçebilmiştir. Brezilya'da etanolün benzin motorlarında yüksek oranda kullanımı orta vadede araştırmacıları dizel motorlarında da etanolün kullanım yollarını aramaya itmiştir. ABD'de 1980 yılında 175 milyon litre, 2000 yılında da 1,63 milyar litre etanol üretimi sağlanmış ve Amerikan Enerji Bakanlığı biyoyakıt programında yapılan çalışmalarla 2005 yılı için 30 milyar litre, 2050 yılı için ise 190 milyar litre etanol üretimi hedeflemiştir (Can, 2003).

Etanolü mısırdan elde eden ABD, % 37 ile dünyanın bir numaralı etanol üreticisidir. Brezilya ise yüzde 35 ile dünyanın iki numaralı üretici ve bir numaralı ihracatçısıdır. Biyoyakıtı şeker kamışından elde eden Brezilya'nın yönteminin daha verimli ve daha çevreci olduğu iddia edilmektedir. Ayrıca Brezilya, biyoyakıtta en iyi motor uydurmuş ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Çünkü araçların % 80'inin motoru sadece etanol ya da benzin-etanol karışımıyla çalışacak şekilde üretilmiş durumdadır. Bu yıl şeker kamışından 20 milyar litre etanol üretmesi beklenen Brezilya'nın kendi pazarı doymuş durumda olup, bu nedenle kendisine yeni pazarlar bulması gerekmektedir.

Ünlü finans spekülâtörü George Soros da bu durumun farkında olmalı ki tam 900 milyon dolarlık bir yatırımı Brezilya pazarında etanol için yaptığını Sao Paulo'daki 'Etanol Zirvesi' nde açıklamıştır. Soros, 'Etanol Zirvesi' nde fosil yakıtta alternatif olarak biyolojik yakıtta talep artarken Amerikalı ve Avrupalı liderlerin gümrük duvarlarını indirerek etanolü daha güvenilir bir yatırım alanı yapacaklarını umduklarını söylemiştir. Brezilya'nın önündeki en önemli engellerden biri ABD'nin kendi mısır üreticisine yönelik sübvansiyonu ve ithal etanole neredeyse maliyetine yakın vergi koymasındadır. AB de ABD gibi Brezilya etanolüne yüksek vergi uygulamakta, bu da biyoyakıtın rekabet gücünü azaltmaktadır. Brezilya'da uygulanan yeni teknolojiler sayesinde bir hektar alanda üretilen 2 bin şeker kamışından 6 bin litre etanol üretilmektedir (www.hurriyet.com.tr/dunya, 07.06.2007).

### 3.1.1 Örnek çalışmalar

Etanolun dizel motorlarında karışım olarak uygulanmasına yönelik literatürde geçen araştırmalardan önemli olanların bazılarında aşağıda kısaca bahsedilmiştir:

Satge' de Caro ve arkadaşları, iki organik madde seçerek etanol-dizel yakıtı karışımlarının değişik fiziksel-kimyasal parametreleri ile motor gücü ve emisyonlarına etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Motor performansını ve emisyonlarını etkileyen parametrelerden olan; viskozite, setan sayısı, ısı değer, uçuculuk dışında yakıtın kalitesini belirleyen; homojenlik, soğukta akış ve anti korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Motorun ard arda 50 çevrim boyunca her 0,75 KMA'da 1000 noktada yanma odasındaki basıncı ve enjektör iğnesinin hareketi kayıt edilmiştir. Çalışmalarında bir data logger ile alınan verileri bilgisayarda kullanarak yanma odasının ortalama basıncı hesaplanıp enjektör iğnesinin hareketine göre eğrileri çıkartılmıştır. Çalışmalarında etanol-dizel yakıtı karışımlarını iyonik yapıda olmayan % 2 katkı maddesi ile % 10 ve % 20 oranında etanol ile hazırlayarak iki farklı motor tipi olan direk enjeksiyonlu (DI) ile ön yanma odalı (IDI) motorlarda denemişlerdir. Ayrıca karışımının tutuşma özelliğini (setan sayısını) geliştirecek katkı maddesinin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerini de gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, ardı ardına 50 farklı motor çevrimindeki ortalama efektif basınçlardaki dağılıma bakılarak yakıtta setan sayısının değişimine DI motorların IDI motorlara göre daha fazla bağımlı olduğu görülmüş ve bundan başka etanol katkısının motor gücünü, egzoz gazı emisyonlarındaki is seviyesini azalttığı belirlenmiştir.

Weidmann ve Menrad, %30 oranında metanol, etanol ve dizel yakıtı karışımlarına ağır alkoller ekleyerek karışımın stabilizesini sağlamışlardır. Deneysel çalışmalarında ilk olarak 4 silindirli IDI Volkswagen motorunu dinamometrede ve daha sonra Almanya Posta Servisi filosunda bulunan taşıtlar üzerinde deneyerek etanol-dizel yakıtı karışımlarının güvenilirliğini kontrol etmişlerdir. Taşıt filosunda denemelerini yapmadan önce şasi dinamometresinde yapılan deneyler sonucunda etanolun düşük ısı değerinden dolayı motor gücünde azalma yaşanmaması için enjeksiyon pompasının maksimum yakıt miktarı artırılarak yeniden ayarlanmıştır. Dinamometre deneylerinde yapılan maksimum yakıt ayarıyla alkol-dizel karışımlarının standart dizel yakıtına göre aynı gücü verirken egzoz emisyonlarında daha az is olduğu belirtilmiştir. Etanolun soğuktaki akış özellikleri dizel yakıtına göre iyi olmasına rağmen düşük setan sayısı ve yüksek gizli ısı değeri nedeniyle soğukta

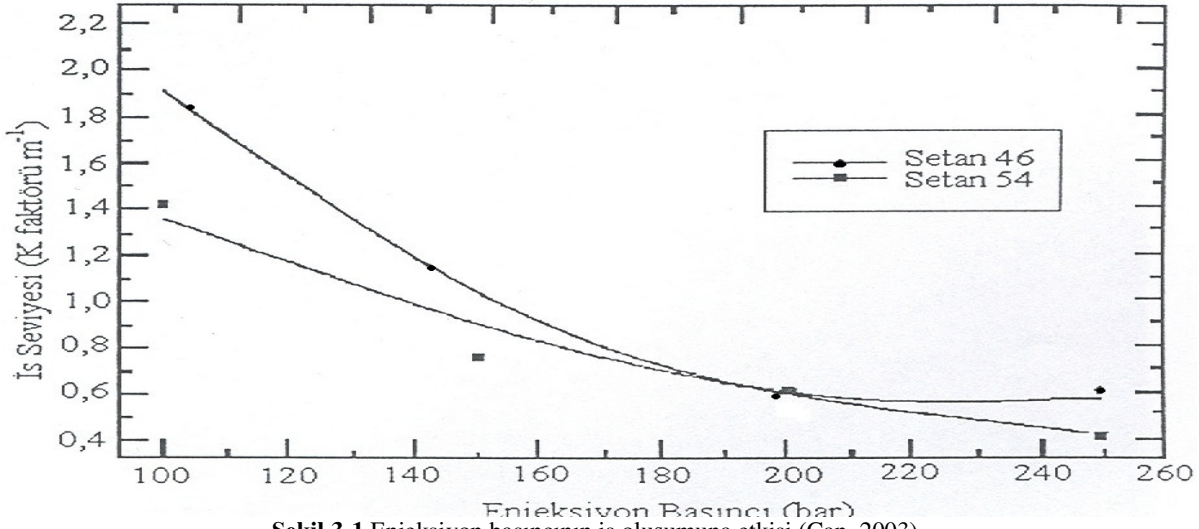
ilk çalışmasını iyileştirmek için motor üzerinde bazı değişikliklere gitmişlerdir. Bu değişiklikler; daha büyük ısıtma bujileri ile motorun ısınma periyodunda motor sıcaklığındaki değişime bağlı olarak post ısıtma devresi motora adapte edilmiştir. Dinamometre deneylerinde egzoz emisyonlarında partikül madde miktarı azalırken  $NO_x$  emisyonları artışı beraberinde getirmiştir. Yapılan uygulamalarla motorun problemsiz olarak şasi dinamometresinde çalışmasını sağladıktan sonra filo taşıtlarında denemeler yapılmıştır. Motorun performansında ve ilk çalıştırılmasında herhangi bir problemin yaşanmadığı belirtilmiştir.

Başka bir çalışmada ise Bilgin ve arkadaşları, etanol-dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında deneyerek optimum performansı sağlamayı amaçlamışlardır. Deneylerinde % 2, 4, 6 oranında etanolü dizel yakıtı ile karıştırarak 19:1, 21:1, 23:1 sıkıştırma oranlarında denemişler ve motor performansındaki olumsuz etkinin minimum düzeyde kalmasını sağlayabilecek optimum sıkıştırma oranını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının % 4 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

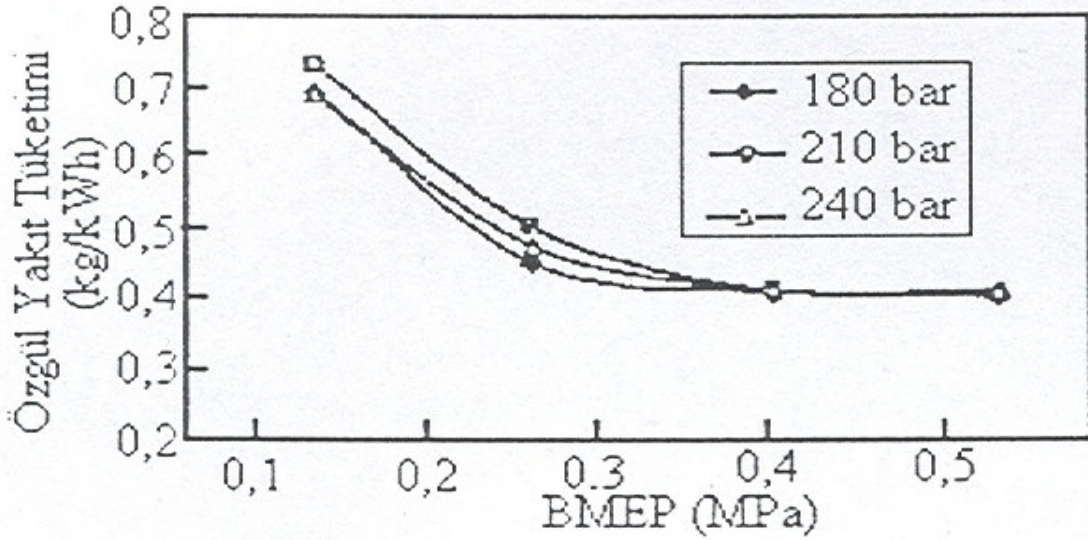
Etanolün dizel motorlarında kullanımına dair çeşitli teknikler bulunmaktadır. Choi ve Reitz, deneysel çalışmalarında oksijenli yakıtlar ile dizel yakıtın karışımlarını tek ve kademeli enjeksiyon ile birlikte enjeksiyon basınçlarını değiştirerek farklı motor yüklerinde egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Yüksek motor yüklerinde is oluşumunda önemli derecede azalma gözlemlenirken  $NO_x$  emisyonlarında değişim olmadığını ve kademeli enjeksiyonun normal enjeksiyona göre is oluşumunu azaltıcı yönde etkisinin olduğunu açıklamışlardır. Oksijenli bileşik olarak ester ve eter kullanılarak partikül emisyonlarında azaltıcı etkileri üzerine aralarında çok az fark olduğunu ve yakıtın içerisinde bulunan oksijen miktarının birincil derecede is ve CO emisyonlarını azaltıcı etkiyi gösterdiğini tespit etmişlerdir. Motorun düşük yüklerindeki ön karışım yanma aşamasında, aşırı oksijen fazlalığı nedeniyle partikül emisyonlarında azaltıcı etkinin daha az gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Bir başka çalışmada da İçingür ve Altıparmak, enjeksiyon basıncını artırarak is emisyonlarında azalmayla birlikte motor performansında da azalmanın gerçekleştiğini ve  $NO_x$  emisyonlarında artış olduğunu belirtmişlerdir.





Şekil 3-1 Enjeksiyon basıncının ıs oluşumuna etkisi (Can, 2003)



Şekil 3-2 Enjeksiyon basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi (Can, 2003)

### 3.1.2 Etanolün dizel motorlarında kullanım teknikleri

Etanol, fosil bazlı yakıtlara karıştırılması ile dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (setan sayısı, ısıl değeri, viskozitesi v.b) üzerinde değişimler meydana getirmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi etanolün tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolün düşük setan sayısı dizel yakıtının tutuşma kalitesini sınırlandırmaktadır. En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan problemlerin başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen standart dizel yakıtına göre aşırı azalması ile karışımın stabilizesinin yüksek etanol

oranlarında (en fazla % 20) tam olarak sağlanamamasından dolayı motorun çalışma düzeninde sıkıntılar meydana getirmesidir. Bu tür nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolun ya da alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarında kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Kullanılan tekniklere göre etanol dizel yakıtı yerine tamamen veya kısmen kullanılabilmekte ve motor gücü, momenti, termik verim ve egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir.

Alkol-dizel yakıtı karışım tekniğinden (Solüsyon-Emülsiyon) ayrı olarak diğer tekniklerin temel yapıları ve farklılıklarından aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Bu teknikler sırasıyla;

- Alkolün emme manifolduna verilmesi
- Çift enjeksiyon sistemi
- Alkollerin buji yardımıyla ateşlenmesi
- Setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması
- Yüzey ateşleme

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar gözönüne alındığında tutuşmayı geliştirici katkılar ile etanol, dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilir.

Yukarıdaki tekniklerin güvenilirliği ve motor açısından dayanıklılığının incelenmesi için halen araştırmalar gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalarla birlikte bu teknikler güncel olarak trafikteki araçlarda uygulanarak gelişimini sürdürecektir ve dizel motorları için en optimum şekli belirlenecektir.

Etanol-dizel yakıt karışımları, karışımının kararlılığını sağlayacak ve yağlayıcı özelliğini geliştirecek katkı maddeleri ile herhangi köklü değişikliğe gidilmeden dizel motorlarda kullanımı için uygulanabilen en pratik yöntemdir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarında temel parametrelerden sadece maksimum yakıt enjeksiyon miktarında ve zamanlamasında, enjeksiyon basıncında yapılacak ayarlamalarla motorun çalışması standart dizel yakıtı ile çalışma durumundakine yakın bir hale getirilebilmektedir. Diğer tekniklerden alkolün emme manifolduna verilmesi, çift enjeksiyon sistemi, alkollerin buji yardımıyla ateşlenmesi, setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması ve yüzey ateşleme; motor üzerinde detaylı köklü değişimler gerektirmekte ve uygulama maliyetlerini arttırmaktadır.

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının en büyük dezavantajları; karışımda etanol oranının en fazla % 20'lerde sorunsuz uygulanabilmesi ve sonrasında karışımın stabilizesinin sağlanmasının güç olması ve karışımın setan sayısı göz önünde bulundurulduğunda, motorda doğrudan kullanımında en fazla % 12-15 kadar etanol miktarına olanak vermesidir. Buna karşılık alkolün emme manifolduna verilmesi ve çift enjeksiyon sisteminde alkol-dizel oranı % 50-90 olmaktadır. Yalnızca alkollerin buji ile ateşleme ve setan sayısını geliştirici katkı maddesi ile kullanımında tamamen % 100 alkol oranına geçilebilmektedir.

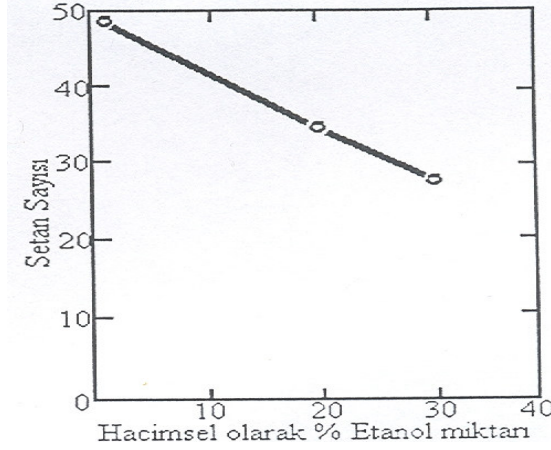
Alkolün emme manifolduna verilmesi yönteminde, emme manifoldunda değişikliğe gidilerek karbüratör ya da bir buharlaştırıcı sistem ve oldukça karmaşık yakıt ölçme sistemi entegrasi ile ayrı yakıt tankına gerek duyulmaktadır.

Çift enjeksiyon sistemi ve buji ile ateşleme sistemlerinde sıkıntılar oldukça benzer olmaktadır. Bu tekniklerde silindir kapağında köklü değişikliklere gerek duyulmaktadır. Çift enjeksiyon sisteminde ikinci enjeksiyon sisteminin; buji ile ateşleme sisteminde de ayrı bir ateşleme sisteminin motora ilave durumu vardır. Emisyonlardaki büyük gelişmelere rağmen dizel motorlarının tasarımları bu sistemlere uygun olmadığından her motorda uygulanması zor ve pahalı olmaktadır.

Tutuşmayı geliştirici katkı maddelerinde kullanılan nitrat bazlı bileşikler etanolün setan sayısını dizel yakıtı setan sayısı seviyesine getirerek motorda değişiklik yapılmadan doğrudan ve tamamen kullanılabilmesi sağlanabilmektedir. Setan sayısı geliştirici katkı maddelerinin, pahalı olmaları ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırmaları sebebiyle kullanımları kısıtlıdır.

Etanol üretimi ve fiyatı düşünülerek yukarıda açıklanan durumlar gözönüne alındığında, etanol-dizel yakıtı karışımları ile % 20'ye kadar etanol ile motorun yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden diğer tekniklere göre kullanımı en avantajlı ve ekonomik yöntemlerden birisi olmaktadır.

ASTM D975'e göre dizel yakıtı setan sayısının minimum 40 olması istenmektedir. Etanolün setan sayısı 5-15, standart dizel yakıtının ise 45-50 arasında olduğundan dizel yakıtına karıştırılan etanolün miktarı arttıkça karışımın setan sayısı istenilen değer altına düşmektedir.



Şekil 3-3 Etanol-dizel yakıt karışımlarının setan sayısı değişimi

Bu belirtilerin yanında setan sayısı yüksek veya istenilen sınırlar içinde olduğunda; motorun soğukta ilk hareketi kolaylaşmakta, motor sesi azalmakta, motor ömrü artmakta, performansı iyileşmekte ve  $\text{NO}_x$  emisyonları azalmaktadır. Setan sayısı düşük olduğunda motorda düzensiz çalışma yani vuruntu, güç düşüklüğü ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkiler gözlenmektedir. Setan geliştirici katkı maddeleri etanol-dizel yakıtı karışımında kullanılarak motorun performansında iyileşme sağlanabilmektedir. Bu tür katkı maddeleri genellikle nitrat bazlıdır ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarını artırır.

### 3.1.3 Etanolün diğer alternatif yakıtlara göre avantajları ve dezavantajları

Etanol-dizel yakıtı karışımları uzun süreli olarak motorda kullanıldığında bazı sıkıntılar meydana gelebilmektedir. Etanolün etkisi sebebiyle, eski motorlarda kullanıldığında motorda depozit birikintilerin çözülmesiyle motorun stop etmesine veya bozulmasına yol açabilmektedir. Diğer bir endişe ise uzun süreli kullanımlarda enjeksiyon pompasında veya enjektörlerde kavitasyonu ve aşınmayı artırmakta, böylece sıcakta motorun stop etmesine ve tekrar çalıştırılmasında sıkıntıya yol açmaktadır.

Motor tasarımı açısından metanol veya etanolün dizel yakıtı ile kullanımında fazla bir fark yoktur fakat diğer yakıtlara göre kullanım oranı daha düşük kalmaktadır. Metanolün ısı enerjisi etanole göre daha düşük olmakla birlikte stokiometrik hava/yakıt oranı etanole göre daha düşüktür ve diğer yakıtlara bakıldığında özellikle hidrojen ve CNG'nin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca metanol etanole göre daha fazla polar yapıda oluşu sebebiyle dizel yakıtı ile daha zor

karışabilmektedir. Bu nedenle metanol-dizel yakıtı karışımları için kullanılacak katkı maddelerine daha fazla oranda ihtiyaç vardır. Ayrıca metanolün üretiminde kullanılan kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları değildir. Egzoz emisyonları açısından yakıt içerisinde bulunan oksijen ile kurumsuz yanma özelliği ile etanol ve metanol diğer yakıtlara göre farklı bir konumda bulunmaktadır. Gizli buharlaşma sıcaklıklarına bakıldığında metanol ve etanolun diğer yakıtlara göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Kendi kendine tutuşma sıcaklıklarına bakıldığında etanolun düşük parlama sıcaklığı ve uçuculuğu nedeniyle dizel yakıtına göre depolanmasında ve kullanımında daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Fakat CNG, LPG ve hidrojene göre kullanımı çok daha kolaydır ve yüksek teknoloji gerektirmemektedir.

### **3.1.4 Emisyonlar**

Etanol ve biyodizel gibi içerisinde oksijen bulunan yakıtların, dizel yakıtına ilavesi ile dizel motorlarda partikül ve is emisyonlarının azalmasını sebepleri üç ana başlıkta toplanabilir:

1. Yanmanın ön karışım aşamasında yakıtın zengin olduğu bölgelerde yakıt içerisindeki ekstra oksijen ile bölgesel yakıt/hava oranının düşmesi,
2. Oksijenli bileşiklerin yapısındaki C-O arasındaki bağlar sayesinde karbonların is oluşturmasına engel olunması,
3. Radikal ortam geliştirilerek is oluşum reaksiyonları engellenmekte ve oluşan OH radikalleri ile is oluşumuna sebep olabilecek moleküllerin oksidasyonunun sağlanması, (Can, 2003).

Yanmanın karışım kontrollü safhasında oluşan difüzyon alevi  $NO_x$  emisyonlarının meydana gelmesi için ideal koşulları içermektedir. Emme havası içerisindeki azotun yüksek yanma sıcaklığında oksijen ile birlikte ısı reaksiyonları gerçekleştiğinde  $NO_x$  emisyonlarında artış olmaktadır. Yüksek yanma sıcaklıkları  $NO_x$  emisyonlarını artırırken, is oksidasyonunu geliştirerek is konsantrasyonunu azaltabilmektedir. Böylece, düşük yanma sıcaklıkları düşük  $NO_x$  emisyonlarını sağlarken genellikle buna zıt bir şekilde is emisyonları artış göstermektedir.

### 3.1.5 Etanol için motor üzerinde değişimler

1970'lerden beri alkollerin (metanol ve etanol) dizel motorlarda kullanımını üzerine çalışmalar devam etmektedir. İlk çalışmalar is ve partikül madde azaltımı üzerine odaklanmıştır. Alkollerin dizel yakıtta eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve ısıl değer düşmektedir. Değişen özellikler nedeniyle alkollerin dizel motorlarda kullanımında bazı zorluklar oluşmaktadır. Bu zorlukları yenmek için farklı teknikler geliştirilerek alkol içeren dizel yakıtların dizel motor teknolojisine uyumları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu teknikler genel olarak dört ana başlıkta toplanabilir:

1. Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı (Bilgin, 2002),
2. Fumigasyon (hava emme hattına alkol püskürtülmesi) (Ajav, 1999),
3. Alkol-dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmekte) (Satge de Caro, 2001)
4. Çift püskürtme sistemi (herbir yakıt için ayrı enjeksiyon sistemi), (Can, 2003).

Etanolün karışım şeklinde dizel motorlarda kullanımını, az oranlarda (% 5 civarı etanol) dizel ile daha iyi sonuçlar vermektedir.

### 3.1.6 Örnek deney

Usta ve arkadaşlarının deneysel çalışmasında kullanılan motor test düzeneğinde dört silindirli ön yanma odalı turbo dizel motor ve bir dinamometre bulunmaktadır. Yapılan emisyon ölçümlerinde kimyasal hücre tipi egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır.

Deneylerde motor tam yükte, dönme sayısı 3000 d/d'ya çıkartılmıştır ve sırasıyla 2500, 2000, 1500 d/d'lara düşürülerek deney ölçümleri alınmıştır. Deney sonunda dönme sayısı 1500 d/d'dan tekrar 3000 d/d'ya çıkartılarak alınan ölçümler kontrol edilmiştir.

E15 (% 15 etanol ilaveli dizel yakıt) ile motor gücünde yaklaşık % 15-20 oranlarında azalma olmaktadır. Bu oranda güç düşümünün sebepleri arasında etanolün ısıl değerinin düşük olması yanında, etanolün viskozitesinin, yoğunluğunun ve setan sayısının düşük olması bulunmaktadır. Düşük viskozite kaçaklara ve düşük yoğunluk ise kütleli olarak daha az yakıtın silindire püskürtülmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden etanol-dizel uygulamalarında

sadece karışımın kararlılığını sağlayan % 1 oranında izopropanol ilavesi yanında, bilhassa setan sayısını yükseltici katkı maddelerinin de kullanılması gerekli görülmektedir (Satgé De Caro ve Moloungui, 2001). Normalde biyodizelin ısı değeri yaklaşık % 10 daha düşük olmasına rağmen güçteki az oranda (% 1-5) bir artış, biyodizelin yoğunluğunun ve viskozitesinin fazla olması ve bunlara bağlı olarak motora daha fazla yakıt gönderilmesi, biyodizel içerisindeki oksijenin tam yanmanın gerçekleşmesine yardım etmesi ile açıklanabilir. Motor momentindeki değişim güçteki değişim ile aynı oranlardadır.

Bir dizel motorun özgül yakıt tüketimi hacimsel yakıt enjeksiyon sistemine, yakıtın yoğunluğuna, viskozitesine ve ısı değerine bağlıdır. Genel olarak ısı değeri düşük alternatif yakıtlar özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. E15 dikkate değer ölçüde özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır.

Bütün motor dönme sayılarında etanol ilavesi CO emisyonunu düşürmektedir. Devir arttıkça biyodizelin CO emisyonları dizelin altına düşmektedir. CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel sebebi, alternatif yakıtların dizel yakıtına göre daha az karbon ihtiva etmesi ve yapısında oksijen bulundurmasıdır. Yakıt yapısındaki oksijen tam yük durumunda yakıtın zengin olduğu bölgelerde, oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın iyileşmesini sağlamaktadır. Böylece CO emisyonunu azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır.

Etanol içerisinde kükürt olmaması, biyodizel içerisinde de oldukça az oranda kükürt olması nedeniyle SO<sub>2</sub> emisyonunda dikkate değer bir azalma olmaktadır. Bununla birlikte SO<sub>2</sub>'deki azalma oranı karışımdaki alternatif yakıt oranından daha fazla oranda gerçekleşmiştir. SO<sub>2</sub>'deki bu büyük azalma dizel yakıtı içerisindeki alternatif yakıtın yapısında bulunan oksijen ile motorun tam yükte partikül madde içerisindeki sülfat (SO<sub>4</sub>) oluşumunu hızlandırdığı öngörülerek SO<sub>2</sub> emisyonlarında daha fazla azalmaya sebep olduğu tahmin edilmektedir. Etanol içerisinde hiç kükürt bulunmadığından dolayı etanol ilavesi ile SO<sub>2</sub> emisyonunda daha fazla oranda azalma olmuştur.

Genel olarak alternatif yakıtlar NO<sub>x</sub> emisyonunu artırmaktadır. En fazla artış etanol ilavesi ile gerçekleşmiştir (% 25-40). Biyodizel ilavesi ile NO<sub>x</sub>'deki artış % 10'un altında sağlanmaktadır. NO<sub>x</sub>'deki artış yakıt içerisindeki oksijenin bulunması ve yüksek sıcaklıkla açıklanabilir. IDI motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonları daha çok ön yanma odasında oluşmakta ve daha sonra ana yanma odasına taşınırken NO<sub>x</sub> oluşum reaksiyonları azalmaktadır. Etanol-dizel emülsiyonunun biyodizel-dizel karışımlarına göre daha fazla NO<sub>x</sub> oluşturmasının bir

sebebi düşük setan sayısıdır. Bununla birlikte yapılan incelemelerde NOx emisyonları etanol miktarına, motorun çalışma koşullarına (yük), motor tipine ve dizel motorunun teknolojisine göre değişim göstermektedir. Etanol-dizel emülsiyonu için is ölçümleri de yapılmış olup etanolün bilhassa 3000 d/dak altında dikkate değer oranda is emisyonunda azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.3** Etanolün dizel motorlarında kullanılması için geliştirilen metodlar

METOD	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Kimyasal Katkı Maddesi	Motorda Değişikliğe Gerek Yok	Katkı Maddelerinin Pahalı Olması ve Gerekli Miktarının Çokluğu
Emilsyon	Motorda Çok Az Değişiklik Gerektirir	Yakıtın % 50'sinin Dizel Olması Nedeni İle İki Ayrı Yakıt Tankı Gerektiriyor
Etanolün ve Dizel Enjektörlerinin Ayrı Kullanımı	Pilot Enjeksiyon İçin Az Miktarda Dizel Yakıtı Gereksinimi	Karmaşık Kontrol Sistemi ve İki Ayrı Enjeksiyon Sistemi Gereksinimi
Yüzey Ateşlemesi	Tek Bir Yakıt Gerektirmesi	Sıcak Yüzey Eldesi İçin Gerekli Enerjinin Büyük Olması
Buji Ateşlemesi	Tek Bir Yakıt Gerektirmesi	Ateşleme Sisteminin Fiyatı

**Çizelge 3.4** Etanol dizel yakıt karışımlarının ısı değer değişimi

% Hacimsel		Kalorifik değer kJ/kg	Dizel yakıtından % farkı
Etanol	Dizel		
0	100	444514,6	---
5	95	43631,8	1,983
10	90	43192,5	2,970
15	85	42744,8	3,976
20	80	41874,5	5,931
25	75	41004,2	7,886
30	70	40577,4	8,845

### 3.1.7 Sonuçlar

Dizel motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlarda aranılan en önemli özelliklerden birisi fiyatlarının dizel yakıttan daha ucuz olması ile birlikte, motorda değişiklik yapılmadan doğrudan tek başına veya karışım halinde kullanılabilmesidir. Örnek deney çalışmasında



etanol-dizel ve biyodizel-dizel yakıtları karışımlarının dizel bir motorda hiçbir değişiklik yapılmaksızın, tam yükte motor gücü ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Genel olarak kullanılacak yakıtın özelliklerinin katkı maddeleri ile dizel yakıtı yakın değerlere getirilerek motorda hiçbir değişiklik yapılmadan rahatlıkla kullanılabilmesinin önemli olduğu bilinmektedir. Yani motoru yakıtı göre ayarlamak yerine katkı maddeleri ile yakıtı motora göre ayarlamak daha pratik ve uygulanabilir. Çalışmada kullanılan etanol-dizel ve biyodizel-dizel karışımları herhangi bir katkı maddesi ilave edilmeden motorda test edilmiştir. Dizel yakıtına oksijenli bileşikler olan etanolün ve biyodizelin eklenmesi CO, is ve SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltırken, NO<sub>x</sub> emisyonlarını bir miktar artırmıştır.

Etanol ilavesi ile güçte azalma ve özgül yakıt tüketiminde artış görülürken, biyodizel karışımları ile dizel yakıtı oldukça yakın güç ve özgül yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Etanol karışımlarına % 1 oranında izopropanol ilave edilerek karışımın stabilizesi sağlanmış olmasına rağmen güçteki dikkate değer düşüş ve özgül yakıt tüketimindeki artışın iyileştirilmesi için etanol-dizel karışımlarına setan sayısı iyileştirici katkı maddelerinin ilavesinin gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Hâlihazırda Türkiye’de yaygın olarak biyodizel üretimi ve tüketimi olmadığından belli bir standartlaşmaya gidilememiştir. Çok farklı kaynaklardan farklı teknikler ile üretilen biyodizellerin özellikleri de farklı olabileceğinden biyodizel kullanımının sağlıklı olabilmesi için üretilen biyodizellerin ASTM 6751 veya EN 14214 standartlarına uygun olması önemli bir husustur.

Etanol-dizel ve biyodizel-dizel karışımlarına gerekli katkı maddeleri ilavesinden sonra, güç, özgül yakıt tüketimi ve emisyonlardaki değişimler birlikte incelendiğinde daha sağlıklı karşılaştırmalar yapılabilecektir. Ayrıca, motorun kısa süreli çalışmalar yanında, alternatif yakıtlar ile uzun süreli çalışmaların yapılması motor dayanımı, aşınma, enjektör tıkanması, yağlama yağına etkisi gibi hususlarda bilgi edinilmesi için gereklidir. Bu konularda yazarların çalışmaları devam etmektedir (Usta ve arkadaşları, 2005).

### **3.2 Metanolün dizel motorlarda kullanımı**

Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile dogalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H<sub>2</sub>’nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Fakat doğal kaynakların

yenilenebilir olamamasından dolayı metanolün alternatif bir yakıt olarak kullanılması geçici bir süre için söz konusu olacaktır. Ayrıca günümüzdeki metanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani metanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır.

Metanolün kaynama sıcaklığı 65,1 °C, donma sıcaklığı -97,6 °C'dir ve su ile her oranda karışabilir. Metanol tasıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlandı. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre %5-10 oranında daha fazla verime ve olağanüstü ivmeye sahip olduğu görüldü.

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahiptir. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında bir takım problemler vardır. Metanol yakıtı düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında sıkıştırma strokunun sonuna doğru, silindir içerisinde sıkıştırılmış hava içerisine püskürtülmesi ile başlayacak yanmada, bir takım problemler yaratır. Yakıtın tutuşmasını geciktirir ve dizel motorunda vuruntuya sebep olur. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından metanol Otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bu sebepten dolayı metanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için bir takım çalışmalar yapılmaktadır.

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen bir mesafeyi kat etmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1,7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına neden olunacak, hemde taşıtta benzine göre daha fazla bir yükün taşınmasına neden olunacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dizel yakıtın verdiği enerjiye eşdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir.

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün

buharlaşmasına yardım etmek amacı ile su ile ısıtılan emme manifoldu, 10 °C'den düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır.

Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldırıcı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Metanolün korozif özellikleri benzinden farklı olduğu için, benzinden farklı olarak alüminyum ve çinko karbüratör kullanılır. Yakıt tankı çinko alaşımı ile kaplanmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelik kullanılan depolarda iyi sonuç vermektedir. Metanolün benzine göre daha fazla nem tutma özelliği vardır. Diğer yakıtların bir yerden bir yere nakledilmesi gibi taşınır ise bu durum nedeni ile kolaylıkla nemlenebilir. Nem de korozyonu hızlandırır. Bu sebeple gelecekteki metanol taşıyıcı ekipmanlar su geçirmez olacaklardır. Ayrıca metanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi, metanol benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır.

Metanolün diğer olumsuz yönleri zehirli ve gözü tahriş eder bir nitelikte olmasıdır. Ama çevre koruma örgütü EPA zararlı seviyeye ulaşacak birikmenin ancak çok nadir şartlarda olabileceğini bunun da kolayca dağıtılacağını bildirmektedir.

Metanolün dizel motorlarında doğrudan kullanılmasını engelleyen en önemli unsur setan sayısının düşük olmasıdır. Bilindiği gibi metanolün setan sayısı CFR testine göre 3' tür. Normal benzin için bu değer 14, motorin için ise 40-60 arasında olduğu gözönüne alınırsa saf metanolün dizel motoru yakıtı olarak kullanılamayacağı açıktır. Metanolün ateşleme sıcaklığının yüksek olması ve kendi kendine tutuşabilme problemi enjektörlerden yanma odasına püskürtülmesi esnasında tutuşma gecikmesine sebebiyet vereceğinden, dizel motorlarında vuruntu meydana getirecektir. Bununla birlikte dizel motorlarında metanol kullanımı mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle motorine metanol karıştırmak yönündedir. Aynı zamanda dizel motorlarına ateşleme bujisi ilave etmek suretiyle tutuşma gecikmesini ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır. Gerek ön yanma odalı ve gerekse direk püskürtmeli dizel motorlarında metanol-motorin karışımları üzerinde yapılan çalışmalarda ısı verim ve motor gücünde düşüşler gözlenmiştir. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların

dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için bir takım çalışmalar yapılmaktadır (Henhama, 1991).

Özellikle yakıt tüketimi, egzoz emisyonları, soğuk çalışma koşulları ve motorun uzun dönem davranışları karşılaştırıldığında, % 30-% 70 karışımı kullanılması durumunda aynı verimde daha düşük HC, aromatik ve partikül sayısı değerleri elde edilirken NO<sub>x</sub> değerlerinde önemli bir düşüş görülmemiştir. %30' dan fazla metanol kullanılması halinde ise her ne kadar motor yağı viskozitesi düşse de daha temiz bir motor etkisi görülmüştür (Henhama, 1991).

**Çizelge 3.5** Metanolün dizel motorlarında kullanımı için geliştirilen metodlar

METOD	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLARI
Kimyasal Katkı Maddeleri	Motorda değişikliğe gerek yok	Katkı maddelerinin pahalı olması ve gerekli miktarının çokluğu
Emilsyon	Motorda çok az değişiklik gerektirir	Yakıtın % 50'sinin dizel olması nedeni ile iki ayrı yakıt tankı gerektiriyor
Metanol ve Dizel Enjektörünün Kullanımı	Pilot enjeksiyon için az miktarda dizel gereksinimi	Karmaşık kontrol sistemi ve iki ayrı enjeksiyon sistemi gereksinimi
Metanolün Dizel Yakıtla Beraber Kullanımı	İki ayrı enjektör kullanımından daha ucuz	Yakıtın % 50'sinin dizel olması nedeni ile iki ayrı yakıt gerektiriyor.
Yüzey Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Sıcak yüzey eldesi için gerekli enerji büyük olması
Buji Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Ateşleme sisteminin fiyatı

### 3.3 Doğalgazın dizel motorlarda kullanımı

Doğalgaz doğal durumunda ve depolandığında gaz halinde olması ve yüksek ısı değer içermesi nedeniyle çok verimli yakıttır. Yanıcı ve yakıcı moleküllerin gaz halinde birleşimi daha kolay olduğundan, doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla 2 kat fazla olması hava ile daha kolay ve hızlı karışmasını sağlamaktadır. Bu nedenle doğalgaz diğer yakıt türlerine kıyasla hava ile çok daha iyi bir karışım oluşturur, daha az hava kullanarak daha kolay ve yüksek verimle yanar. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp yakıt ekonomisi ve egzoz gazları emisyonu açısından yarar sağlaması da mümkün olmaktadır.

Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine

göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Doğalgazın korozif özellikleri yoktur. Fakat bazen dünyada değişik bölgelerde elde edilen doğalgaz içerisinde nem olabilmekte; bu da motoru aşındırıcı etki göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir.

Doğalgazın dağıtımını borularla kullanım yerine kadar yapılabilir. Çok temiz ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Doğalgazın depolanması, buharlaştırılması ve karbürasyonu farklı bir şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır.

Doğalgazın ısı değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması yanında araç motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak diğer bir önemli özelliği de oktan değerinin yüksek oluşudur. Yüksek oktan değeri benzinli motorlar için bir avantaj olarak addedilebilir.

Gaz yakıtlarının dizel motorlarında kullanımı, dizel çevriminin özelliği nedeniyle, beraberinde çözümü gerektiren bazı problemleri getirmektedir. Bunların başında gaz yakıtlarının tutuşma meyillerinin az oluşu, sıkıştırma zamanı sonunda silindire sokulmalarının güçlüğü ve yüksek sıkıştırma oranlarındaki vuruntu (benzin motorlarındaki) tehlikesi gelmektedir. Gaz yakıtın emme zamanı sırasında, emme havası ile birlikte silindire alınması kolayca sağlanabilmektedir. Bu durumda yakıtın tutuşmaya hazırlık süresi uzadığından vuruntu tehlikesi de artmaktadır. Ancak doğalgazın oktan sayısının yüksek oluşu, uygun bir tutuşma ortamı sağlandığını, dizel çalışması sırasında vuruntudan kaçınılabileceğini de sağlamaktadır.

Doğalgazın dizel motorlarında kullanılması iki türlü gerçekleştirilmektedir.

- Dizel motoru Otto motoruna dönüştürülür ve yakıt olarak motorda sadece doğalgaz kullanılır.
- Motor dizel ilkesi ile çalışmaya devam eder, fakat yakıt olarak hem doğalgaz hem de dizel yakıtı aynı anda kullanılır. Buna 'çift yakıtlı sistem' de denir.

Birinci yöntemde dizel motorunun tüm yakıt sistemi çıkarılır, yanma odasında değişiklikler yapılır, ateşleme sistemi ve gaz karbüratörlü yeni bir yakıt sistemi takılır. Bu yöntemin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- İS emisyonu ortadan kalkar,
- Emisyon sorununa kesin çözüm olma şansı vardır,
- Daha iyi güç ve moment elde edilebilir,
- Yakıt sistemi basittir,
- Gürültü emisyonu çok azalır,

Dezavantajlar ise şu şekilde sıralanabilir.

- Dizel motoruna geri dönüş çok zordur,
- Dönüşüm için birçok değişiklikler yapılır,
- Çift yakıtlı sisteme göre daha pahalıdır,
- Verimi ancak tam yükte bir dizel motoru verimine yaklaşabilir.

Dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüşümü çeşitli ülkelerde kolay ve güvenli bir şekilde yapılmaktadır. Motorda genel olarak bütün elemanların gözden geçirilip, gerektiği takdirde doğal gaz motoruna uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılacağı için dizel yakıt sistemi (ateşleme sistemi, yakıt kontrol sistemi) olduğu gibi değiştirilmelidir. Genel olarak motorda yapılacak değişiklikler şu şekilde sıralanabilir:

- Yakıt besleme sisteminin yerleştirilmesi,
- Doğal gaz için yanma odasının şeklinin düzenlenmesi,
- Egzoz supapının ve oturma yüzeylerinin malzemesi daha yüksek sıcaklıklara dayanır olmalıdır. Malzeme olarak ostenitik çelik kullanılabilir.
- Ateşleme için bujilerin yerleştirilmesi ve manyeto ve bobinlerle bağlantısı,
- Aşağıda bahsedilecek sistemler için kullanılacak kumanda elemanlarının yerleştirilmesi, (Pancar, 1994).

Motorlu taşıtlarda dönüşüm sonrasında yakıt olarak doğalgazın kullanılmasıyla egzoz emisyonlarında kirlilik azalmakta, özellikle karbonmonoksit miktarında önemli azalmalar olmaktadır.

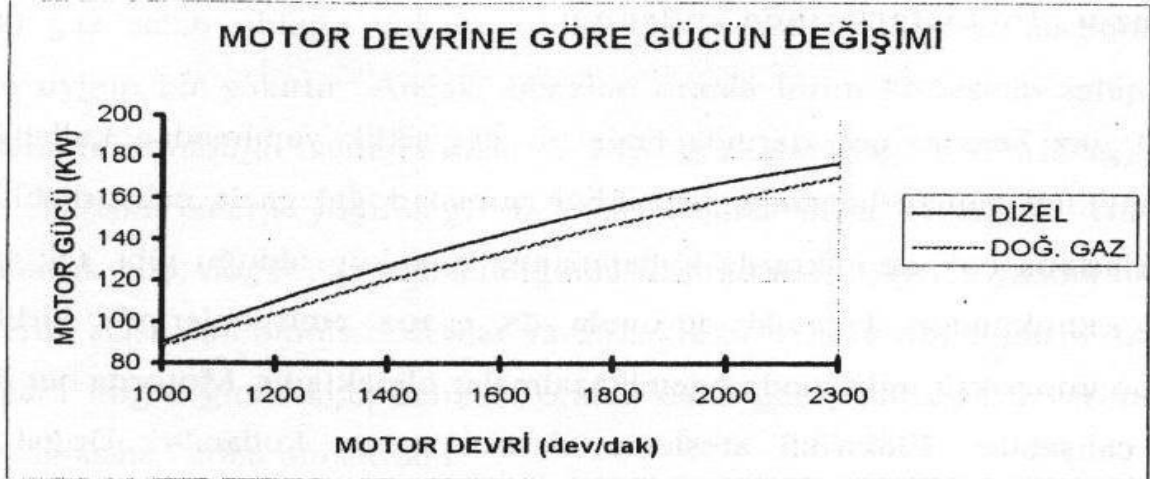
### 3.3.1 Çift yakıtlı doğalgaz + dizel motoru

Çift yakıtlı motorlarda silindir içindeki doğalgaz-hava karışımının tutuşmasını sağlamak amacıyla, motorun kendi püskürtme sistemi ve püskürtme pompası kullanılarak pilot dizel yakıtı püskürtülür. Bu amaçla, silindire sokulan toplan enerjinin % 5-10 kadarına karşı gelen miktarda dizel yakıtı, sıkıştırma zamanı sonunda silindire püskürtülür. Püskürtme anında tutuşan pilot yakıt yardımı ile karışım tutuşur. Motor yükünün değişmesi halinde dizel yakıtı miktarının sabit kalmasına karşılık doğalgaz miktarı değişmemektedir. Böylece kısmi yüklerde doğalgaz oranı düşmekte, rölantide çalışmada ise hiç doğalgaz kullanılmamaktadır. Bunlar karbüratörlü ve enjektörlü sistemlerdir.

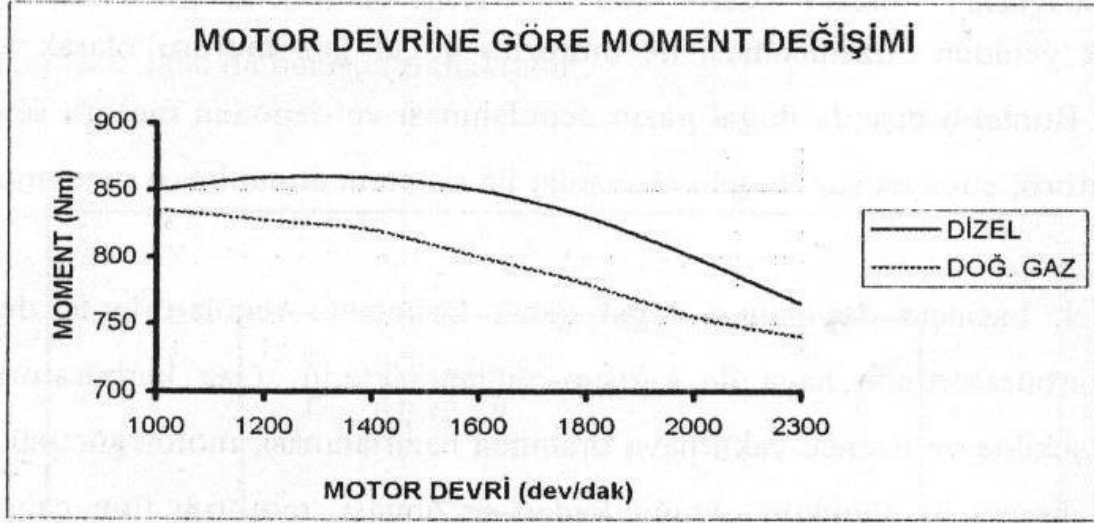
#### 3.3.1.1 Gaz karbüratörlü sistemler

Bir dizel motoruna gaz/hava karbüratörü ilave edilerek silindir içine doğalgaz emilmekte, sıkıştırılan bu karışıma dizel yakıtı püskürtülerek tutuşma sağlanmaktadır. Dolgu miktarı kısımla ile ayarlandığından motorun verimi dizel motorun veriminden daha azdır. Bu tip bir uygulamanın avantajı, herhangi bir değişiklik olmadan motorun tekrar eski haline dönüştürülerek sadece dizel yakıtı ile çalışma imkânının olmasıdır (Özaslan, 2003).

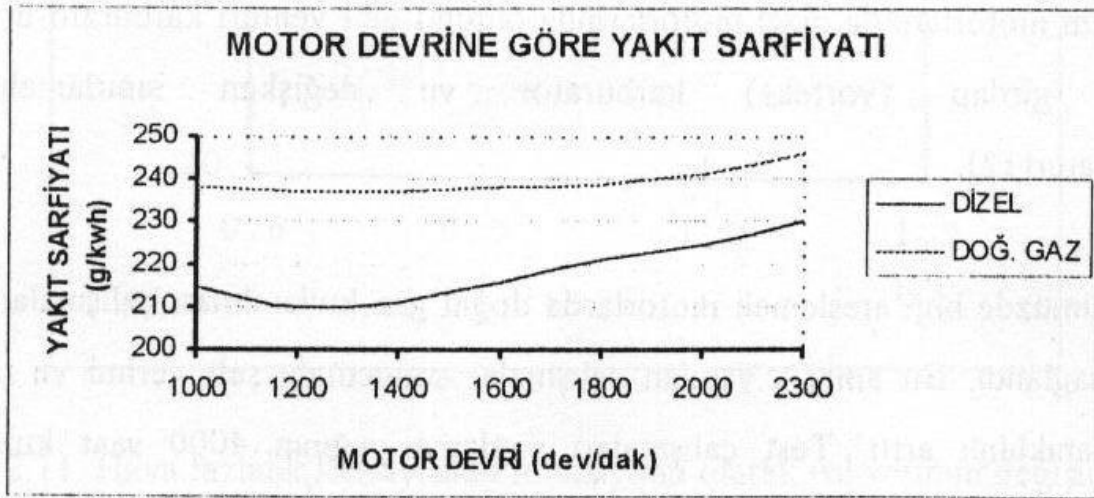
İstanbul için toplu taşıma hizmeti gerçekleştiren İ.E.T.T. Genel Müdürlüğü bünyesinde halen bu şekilde çift yakıtlı olarak çalışan 99 adet Ikarus marka doğalgazlı araç bulunmaktadır.



Şekil 3-4 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor gücü diyagramı (Gümüş, 1998)



Şekil 3-5 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor momenti diyagramı (Gümüş, 1998)



Şekil 3-6 Aynı motorda dizel yakıt ile doğalgazın karşılaştırmalı motor yakıt sarfiyatı diyagramı (Gümüş, 1998)

Doğalgaz kullanımında, tam yükteki egzoz gaz sıcaklıkları % 100 olarak kullanılan dizel yakıtındakinden daha düşüktür. Püskürtme zamanını geciktirerek egzoz gazlarındaki NO<sub>x</sub> seviyesi azaltılabilir. Doğalgaz pilot enjeksiyon sistemiyle tam yükte dizel yakıtın % 75-80'i doğalgazla karşılanmaktadır. Rölantide motor %100 dizel yakıtla (mazot) çalışır. Ortalama yakıtın genel olarak % 50-60'ı doğalgazla karşılanır.

### 3.3.1.2 Gaz enjektörlü motorlar

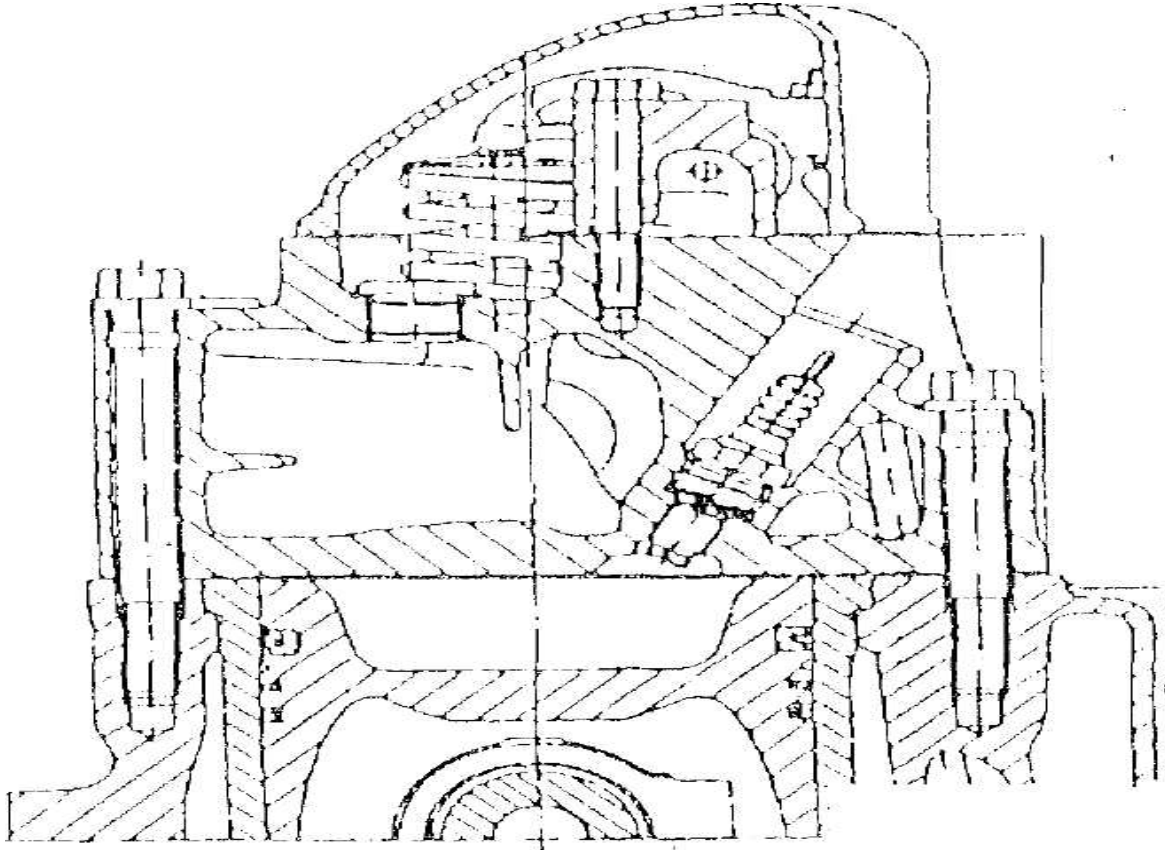
Bu tip motorlarda karışım, gaz/hava karbüratörü yerine doğalgazın her bir silindir içine



enjektör ile püskürtülmesi şeklinde hazırlanmaktadır. Bu durumda gerek doğalgaz miktarına gerekse de pilot yakıt miktarına elektronik olarak kumanda edileceğinden hava fazlalık katsayısının istenen değerde tutulabilmesi mümkün olacaktır. Yakıtın püskürtülmesi bir veya iki enjektör ile yapılan merkezi püskürtme şeklinde veya her bir silindir girişine yerleştirilen yakıt enjektörü şeklindedir.

### 3.3.2 % 100 doğalgazlı dizel motoru

Dizel motorları, doğalgaz motorlarına fakir karışimli doğalgaz motoru veya stokiyometrik karışimli doğalgaz motoru olarak dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm gaz karbüratörlü motorlar veya gaz enjektörlü motorlar olarak yapılabilmektedir. MAN firması böyle bir dönüşümü MAN D28 motorları üzerinde yapmıştır. MAN D28 dizel motorları stokiyometrik karışimli ve gaz karbüratörlü olarak dönüştürülmüştür. Bu dönüşümde motor parçalarını hiç değiştirmeden aynen kullanarak düşük maliyet ve kalıcı bir çözüm için gerekli dönüşümler yapılmıştır.



Şekil 3-7 Doğalgaza dönüştürülmüş MAN D28 motorunun kesiti (Özaslan, 2003)

Yanması Otto motorları prensibinde hazırlanmıştır. Burada enjektör yerine buji ve enjeksiyon pompası yerine yüksek gerilim distribütörü takılmıştır. Karışımı mevcut karbüratörlere benzeyen bir karıştırıcıda hazırlanmaktadır. Egzoz gazının temizlenmesi için egzoz sistemine üç yollu katalizör monte edilmiştir. Her türlü koşulda işletme ve emisyon tutumunda bir düzeni sağlamak amacı ile gaz motorlarında ek önlemlerin alınması gerekmektedir.

Dizel motoru mukayese edildiğinde % 5'lik bir güç kaybı söz konusudur. Bu kayba gaz miktarı kadar azaltılan hava emiş hacmi, gaz sürgüsü ve venturi sebep olmaktadır.

Pilot püskürtme demetinin enerjisi, bujide sağlanan enerjinin  $10^2-10^4$  katı kadardır. Böylece hava fazlalık katsayısının 1,4-2'lik değerlerinde de ilk tutuşma garanti edilmektedir. Bundan daha önemlisi, pilot püskürtme ile oda şekline uygun püskürtme demeti oluşturularak, ayrıca silindir içinde yaratılan hava hareketinin de yardımıyla, yanmanın odanın her noktasında aşağı yukarı aynı anda başlaması sağlanmaktadır. Bu şekilde 16-17'lik sıkıştırma oranlarında vuruntusuz yanma elde edilebilmektedir. Pilot püskürtme dizel motorunun orijinal enjektörü ile yapılırsa, bu enjektörün deliği pilot püskürtme debileri için göreceli olarak büyük kaldığından, demetin kalitesi kötü olacaktır (demet derinliği az, damlacık çapları büyük). Yanma odası içine oldukça homojen dağılmış olan gaz-hava karışımı, bazı noktalarda tam olarak yanamaz. Bu durumda zararlı egzoz gazı emisyonlarında ve yakıt tüketiminde artış görülmektedir. Ancak orijinal püskürtme enjektörü kullanmanın en büyük avantajı motorun çalışması sırasında doğalgaza veya dizel yakıtına geçişe olanak vermesidir.

Delik çapı pilot püskürtmenin yakıt debisine uydurulmuş, daha küçük delikli enjektör kullanılırsa, yanma verimi ve emisyon açısından bir sorun olmayacaktır. Bu durumda yakıt tüketimi ve emisyon değerleri yaklaşık normal dizel yakıtı ile elde edilen seviyeye, bazen de daha aşağıya inmektedir.

Doğalgazın silindir içerisine enjekte edilmesi istendiğinde motor konstrüksiyonunda değişiklik yapılması gerekmektedir. Motor silindir kafasında değişiklik yapılarak ve yakıt olarak gelen doğalgazın basıncı yükseltilerek işlem yapmamız gerekecektir. Sıkıştırma prosesi sonuna doğru gaz yakıt, ayrı bir enjektör vasıtasıyla silindir içerisine enjekte edilir. Burada sıkıştırma sonunda silindir içerisine enjekte edilen pilot yakıtın püskürtme avansı önemlidir. Bu avansın azaltılması gerekir, azaltılmadığı takdirde bu sebeple güç düşmesi olur. Pilot yakıt

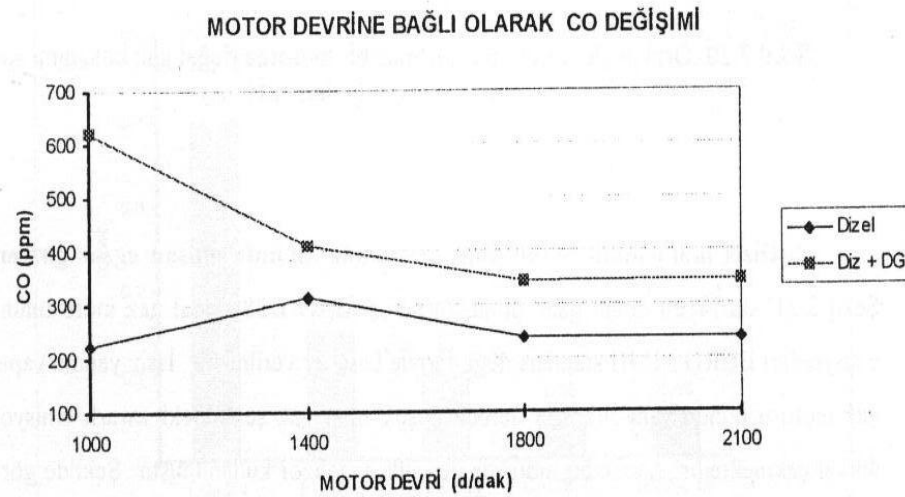
yardımıyla sıkıştırma sonunda silindir içerisinde tutuşma temin edilir. Bu sistemde, silindir kafası içinde, bir gaz diğeri pilot yakıt olmak üzere iki enjeksiyon valfine ihtiyaç duyulmaktadır. Motorun normalde olduğu gibi aynı güçte çalışabilmesi için ya yüksek basınçlı gaz enjeksiyonu ya da gaz yakıtla beraber dizel yakıtının birlikte kullanılması gerekmektedir.

### 3.3.3 Emisyonlar

#### 3.3.3.1 Çift yakıtlı kullanılması durumunda oluşan emisyonlar

Doğalgazla çalışmada is ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarının normal dizel yakıtı ile çalışmadaki seviyelerin yarısının da altına inmesi, doğalgazın özellikle toplu taşımacılıkta kullanılan taşıtların motorları için çekici hale getirmiştir. Bu amaçla doğalgaz orta güçlü (silindir çapı: 125 – 150 mm , 150 – 250 kW) dizel motorlarında giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

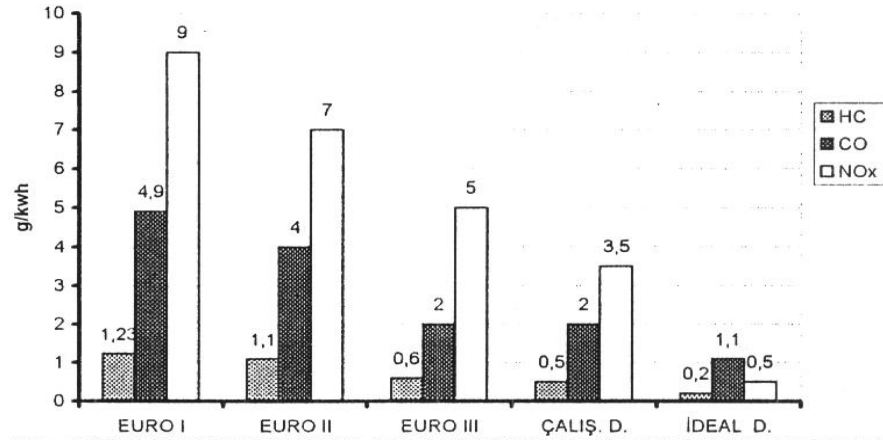
Dizel yakıtı yerine doğalgaz kullanıldığında orta güçlü dizel motorlarının CO ve özellikle HC emisyonları artar. Bunun nedeni yanma odasına yayılan doğalgazın yerel olarak yanmasını tamamlayamamasıdır. Doğalgazla püskürtme enjektörü kullanıldığında yakıt tüketimine paralel olarak % 100 dizel yakıtının CO emisyonu seviyesine inmek mümkün olmaktadır. Ancak bu durumda pilot püskürtme miktarı % 10-15'i geçmemelidir. Aksi durumda püskürtme süresi çok uzadığında CO ve HC emisyonlarında yeniden artma başlamaktadır.



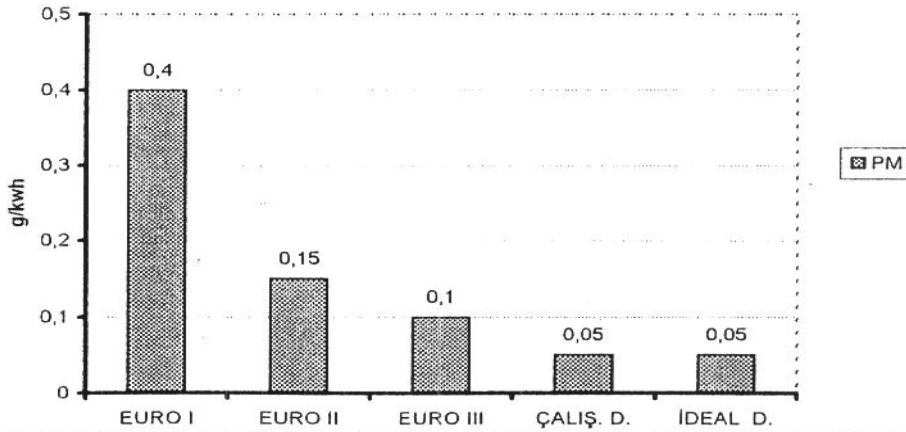
Şekil 3-8 Motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değişimi (Gümüş, 1998)

### 3.3.3.2 %100 doğalgaz kullanılması durumunda oluşan egzoz gazları emisyonu

Aşağıdaki şekillerde doğalgaza dönüştürülmüş MAN D28 motorunun egzoz gaz emisyonları EURO standart değerleriyle birlikte verilmiştir. % 100 doğalgazlı bir motor için egzoz gazları emisyonlarında görülen bariz düşüşler, motor üzerinde performanslara yaptığı olumlu etkileri de düşünürsek, doğalgazın dizel motorlarda verimli şekilde kullanılabilirliğinin çok açık göstergesidir.



Şekil 3-9 EURO standartlarıyla karşılaştırmalı egzoz gazı emisyonları (Gümüş, 1998)



Şekil 3-10 EURO standartlarıyla karşılaştırmalı partikül emisyonları (is emisyonu) (Gümüş, 1998)

### 3.3.4 Ekonomik analiz - İ.E.T.T. örneği

Dizel motorlarında doğalgaz dönüşümü benzinli motorlara kıyasla daha zor bir operasyondur.

Benzinli motorların aksine dönüşümü yapılacak dizel motorları için standart bir dönüşüm kiti yoktur. Her değişik motor ayrı bir ürün şeklinde ele alınıp bu motor üzerinde detaylı bir teknik çalışma yapılarak en iyi performansı sağlayacak dönüşüm için gerekli kit ve gerekli modifikasyon aşamaları tespit edilmelidir. Benzinli motor kullanan araçların dönüşümleri sadece yakıt tankı, dönüşüm kiti ve elektronik kontrol ünitesi eklenerek yapılırken, dizel motor kullanan araçların dönüşümlerinde ise motor üzerinde gerekli modifikasyonların yapılması için motorlar araç şasesinden ayrılmalıdır. Araç üzerine birden fazla yakıt tankı montajı yapılmalı ve tankların birbirleri ile irtibatı başarıyla sağlanmalıdır. Dünyada dizel motorların doğalgaz dönüşümlerini başarı ile yapabilecek çok sınırlı sayıda firma bulunmaktadır.

Dizel motorların doğalgaz dönüştürme işlemleri için öncelikle motor üzerindeki yanma hücrelerine bujili ateşleme sistemi entegre edilir ve motorun bazı mekanik parçaları üzerinde gerekli olan modifikasyonlar ve yapısal değişiklikler yapılır. Örneğin dizel motorların sıkıştırma oranları 18:1 gibi oldukça büyük değerlerde olduğu için bu değerın doğalgaz kullanımına uygun olan 12:1 mertebesine çekilmesi gerekir. Bu oranı sağlamak için ya daha küçük pistonlar kullanılır ya da pistonlar üzerinde uygun yanma odası şekli tasarlanarak yapılacak talaş kaldırma işlemi ile istenilen 12:1 mertebesinde sıkıştırma oranlarına ulaşılır. Silindir kafaları ve emiş sübap yatakları modifiye edilmesi gereken diğer ekipmanlardandır.

Dönüşüm yapılmasının bir diğer avantajı doğalgaz dönüşümü yapılan dizel motorların modifikasyon sırasında motorun sökülerek tüm parçaların elden geçirilmesidir.

Araçlarda doğalgaz kullanımı için eklenen en önemli ekipmanlardan biri de doğalgaz yakıt tanklarıdır. Çünkü doğalgaz taşıtlarda 220 atmosfer gibi yüksek bir basınç altında özel tüplerde depolanmaktadır. Doğalgazı depolamak için araçlarda kullanılan yüksek basınca dayanıklı dikişsiz kompozit çelik silindir tüplerin üretimleri için Uluslararası Standart Organizasyonu ISO standartı getirilmiştir. Bu standarta göre tanklar 10 yılda bir yeniden test edilecekler, tüm tanklar - 400 °C ile +650 °C arasında bir problem yaratmayacak ve 250 atmosfer basınca 10.000 kere doldurulma süresince bile emniyetlerinden bir şey kaybetmeyen şekilde üretilenlerdir. Ayrıca darbelere ve yangınlara dayanıklı olacaktır.

Kent içerisinde hizmet veren ve dizel yakıt kullanan Toplu Taşıma Araçlarının doğalgaz kullanımına dönüşmeye başlaması ile zaman içerisinde toplu taşıma araçları için ödenen yakıt giderleri azalmaya başlayacak, dönüşümler tamamlandıkça yakıt giderleri neredeyse % 70

oranlarında azalacaktır.

Dönüşüm sırasında eklenmesi gereken dönüşüm ekipmanlarından bazı örnekler şunlardır.

- Dikişsiz çelik yakıt tankları, yüksek basınçlı çelik bağlantı boruları ve bağlantı elemanları,
- Yakıt dolum vanası,
- 12/24 volt ile çalışan basınç düşürücü,
- Bujiler ve buji yuvaları,
- Elektronik ateşleme sistemi düzenleyicisi,
- Ateşleme zamanlama dişlisi ve zamanlama sensörleri,
- Hava gaz karıştırıcısı,
- Doğalgaz enjektörleri,
- Doğalgaza uygun sübap ve sübap yatakları,

Dönüşüm sırasında modifiye edilmesi gereken ekipmanlardan bazıları şunlardır.

- Pistonlar,
- Silindir kafaları,
- Emiş sübap yatakları,

Aşağıda İ.E.T.T. bünyesindeki IKARUS marka 1993 model bir otobüsteki RABA-MAN D 2156 HM6UT model motor için doğalgaza dönüşüm maliyetleri incelenmiştir.

**Çizelge 3.6** Ikarus marka otobüsün doğalgaza dönüşüm maliyetleri

Bir otobüsün günlük yaptığı km ortalaması	275 km	
Bir otobüsün 1 litre dizel yakıt ile gideceği mesafe	2 km	
Bir otobüsün günlük dizel yakıt tüketimi	137,5 litre / 275 km	
Bir otobüsün günlük doğalgaz yakıt tüketimi	165 m <sup>3</sup> / 275 km	
Dizel yakıt ücreti	€ 1,26	2,29 YTL / litre
Doğalgaz yakıt ücreti	€ 0,73	1,33 YTL / m <sup>3</sup>
Otobüs başına günlük ortalama dizel yakıt harcaması	€ 172,83	314,88YTL
Otobüs başına aylık ortalama dizel yakıt harcaması	€ 5.184,90	9.446,40YTL
Otobüs başına günlük ortalama doğalgaz yakıt harcaması	€ 120,45	219,45YTL
Otobüs başına aylık ortalama doğalgaz yakıt harcaması	€ 3.613,48	6.583,50YTL
Otobüs başına günlük tasarruf	€ 52,38	95,43YTL
Otobüs başına aylık tasarruf	€ 1.571,36	2.862,90YTL
Otobüs başına dönüşüm ücreti	€ 16.711	30.414,02YTL

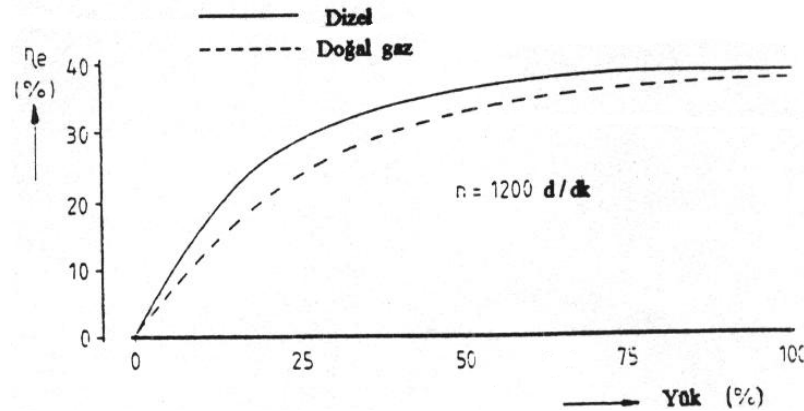
Bu tablo içeriğindeki dizel yakıt için litre başına 2,29 YTL; doğalgaz için ise metre küp başına 1,33 YTL olan 2007 Mayıs ayı satış ücretleri esas alınmıştır.

Hesaplamalar yapılırken 1 litre dizel yakıt ile bir otobüsün 2 km yol kat ettiği ve bir otobüsün günde 275 km yol yaptığı varsayılmıştır. Ayrıca bir otobüsün 1 litre dizel yakıt yerine 1,2 m<sup>3</sup> doğalgaz kullanabildiği hesaplara dâhil edilmiştir.

Mayıs 2007 için ortalama 1 Euro ( € ) yaklaşık 1,82 YTL olarak hesaplanırsa 1 otobüs için doğalgaz kullanımından elde edilecek tasarruf günde 95,43 YTL, 30 günde ise 2.862,9 YTL olacaktır. Otobüs başına dönüşüm maliyeti 30.414,02 YTL olarak hesaplandığından, Ikarus marka bir otobüsün doğalgazlı çalışır hale getirilmesi işleminin kendi kendini amorti etmesi yaklaşık 11 ay olacaktır. Bundan sonraki zamanlarda ise işletmeci için araç başına günlük 95,43 YTL 'lik bir tasarruf ile İ.E.T.T.'nin ortalama 2500 adetlik araç filosu düşünüldüğünde, tüm araçlarda toplamda günlük 238.575 YTL 'lik bir tasarruf söz konusu olacaktır.

### 3.3.5 Sonuçlar

Doğalgazın depolanması problem teşkil etmektedir. Yapılan hesaplar göstermektedir ki aynı enerji miktarını sağlayacak doğalgaz miktarının yaklaşık olarak dizel yakıttan 4 misli fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle doğalgazın depolanmasında gazın sıkıştırılması veya çok düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar altında sıvılaştırılıp dolayısıyla hacminin azaltılması ile depolanması yöntemi uygulanmalıdır. Doğalgaz taşıt üzerinde silindirik tüpler içinde depolanmaktadır çünkü silindirik tüplerin mukavemetleri diğer tiplere nazaran daha iyidir (Pancar, 1994).



Şekil 3-11 Doğalgaz motorları ve dizel motorlarının verimlerinin karşılaştırılması (Pancar, 1994)

### 3.4 Hidrojenin dizel motorlarda kullanımı

Hidrojen havayla % 4-75 hacimsel oranlarında yanar. Hava fazlalık katsayısı 0,15 ile 4,35 arasındadır. Çok geniş yakıt karışım oranını ifade eden bu değer hidrojenin motorlarda kullanımı için avantaj teşkil edecek en önemli özelliklerdendir. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması (1 atm basınçta 574 – 591 °C) ve oktan sayısının yüksek olması, hidrojenin dizel motorlarından çok Otto ilkesi ile çalışan motorlarda daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir. Dizel motorlarında hidrojenin tek başına veya çift yakıtlı olarak kullanımının gerçekleştirildiği örnekler de bulunmaktadır.

#### 3.4.1 Depolama

Hidrojenin kimyasal ve fiziksel özelliğinden kaynaklanan problemlerden dolayı depolama sorunları ortaya çıkmaktadır. Hidrojenin depolanmasında üç ana yöntem vardır. Bunlar; yüksek basınçlı gaz şeklinde depolama, kroyojenik (aşırı soğutulmuş) sıvı halde depolama -ki bu durumda hidrojen genellikle alçak basınçlıdır- ve metal hidrid şeklinde depolanmadır.

Çizelge 3.7 Mevcut hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırılması

	Hacimsel Depolama Kapasitesi	Kütlesel Özgül Depolama Kapasitesi	Hacimsel Enerji Yoğunluğu	Kütlesel Özgül Enerji Yoğunluğu
	$\text{gH}_2 / \text{l}$	$\text{gH}_2 / \text{kg}$	$\text{kWh} / \text{l}$	$\text{kWh} / \text{kg}$
<b>Basınçlı gaz</b>	17,5	64	0,6	2,15
<b>Sıvı hidrojen</b>	35	105	1,2	3,5
<b>Metal hidrid</b>	80	10	2,7	0,35

Taşıtlarda kullanım için en iyi depolama yöntemini seçmek biraz zordur, zira demonstrasyon projelerinde bulunan şirketler incelendiğinde hepsinin farklı bir depolama yöntemini kullandığı görülmektedir. Örneğin BMW yaklaşık 20 yıldır hidrojenin sıvı halde depolanması üzerinde çalışırken Mazda ve Daimler-Chrysler metal hidrid şeklinde depolamanın avantajlı olduğu düşüncesindedirler. Depolama yöntemleri ayrıntılarına burada girilmeyecek olup sadece içten yanmalı motorlarda ve özelde de dizel motorlarda kullanım yöntemleri ile emisyon oranları üzerinde durulacaktır.



### **3.4.2 Kullanım yöntemleri**

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımında iki temel yöntem vardır.

- Hidrojenin tek yakıt olarak kullanımı,
- Motorlarda ilave yakıt olarak kullanılması,

#### **3.4.2.1 Tek yakıt olarak hidrojen kullanımı**

Hidrojenin motorlarda tek yakıt olarak kullanılmasında bazı problemlerle karşılaşmaktayız. Bu problemlerin başında sıkıştırma oranına ve sıcak noktalara bağlı olarak erken ateşleme ve geri yanma gelmektedir. Yanma odasına gönderilen yakıt hava karışımının silindire girmeden önce tutuşması sonucunda motorun emme manifoldu içerisinde alevin geriye doğru ilerlemesi geri yanma olarak tanımlanmaktadır. Bu olay emme sistemi elemanlarını tahrip etmektedir. Yanma odası içerisine gönderilen karışımın sıcak odaklar tarafından tutuşturulması sonucu yanmanın istenilenden önce başlaması da erken ateşleme olarak tanımlanmaktadır. Bu problem de motorda güç ve verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Ayrıca vuru ve mevcut depolama yöntemlerinde depo ağırlıklarının fazla buna karşılık yakıt (hidrojen) miktarının düşük olması, mevcut içten yanmalı motorlar üzerinde yapılması gereken düzenlemeler ve ilavelerin maliyetinin yüksek olması da diğer problemler olarak ortaya çıkmaktadır (Murcak, 2003).

#### **3.4.2.2 Hidrojenin dizel yakıtla karıştırılarak kullanılması**

Kısa vadede hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımı ile ilgili olarak bu yöntem daha uygun görülmektedir. Hidrojenin ve dizel yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanımı dizel yakıtının kullanımına çok benzer şekilde uygulanabilir. Erken tutuşmaya sebep olmayacak bir orana sahip hidrojen hava karışımı silindir içerisine alındıktan sonra piston ÜÖN' ya yaklaştığında normal püskürtme işlemi yapılarak karışım ateşlenir. Bu metot klasik yakıt ekipmanlarının kullanımını da mümkün kılar. Dizel motorunun problemsiz (vuru olmadan) çalışabilmesi yakıtın ateşleme aralığı, dizel yakıt besleme çevriminin asgari % 20 'si seviyesinde olmalıdır. Ayrıca motorda vuru olmaması için motora gerekli olan ısının % 30-35'i geçmemesi halinde hidrojen silindire gönderilebilmektedir. Bu durum silindire gönderilecek hidrojenin miktarına bağlı olduğu kadar püskürtme şekline de bağlıdır (Murcak, 2003).

Bir dizel motorunda köklü değişikliklere gidilmeden hidrojenin verimli kullanımı ilave edilebilecek hidrojen miktarı ile sınırlıdır. Hidrojen ilavesi ile ısı değer düşer, vurutuya bağlı olarak güç artar, ancak dizel yakıt tüketimi, duman yoğunluğu, NO<sub>x</sub>, CO, HC emisyonları azalır (Kolbanev, 1993). Dizel motorlarda hidrojenin kullanılmasında karşılaşılan problemler dizel-hidrojen ve dizel seçeneklerinin uyumlu olarak ayarlanabilmesi, hidrojen besleme sistemi düzenlemesi ve vurutudur. Dizel motorlarında karşılaşılan bu problemlerin en önemlisi vurutudur.

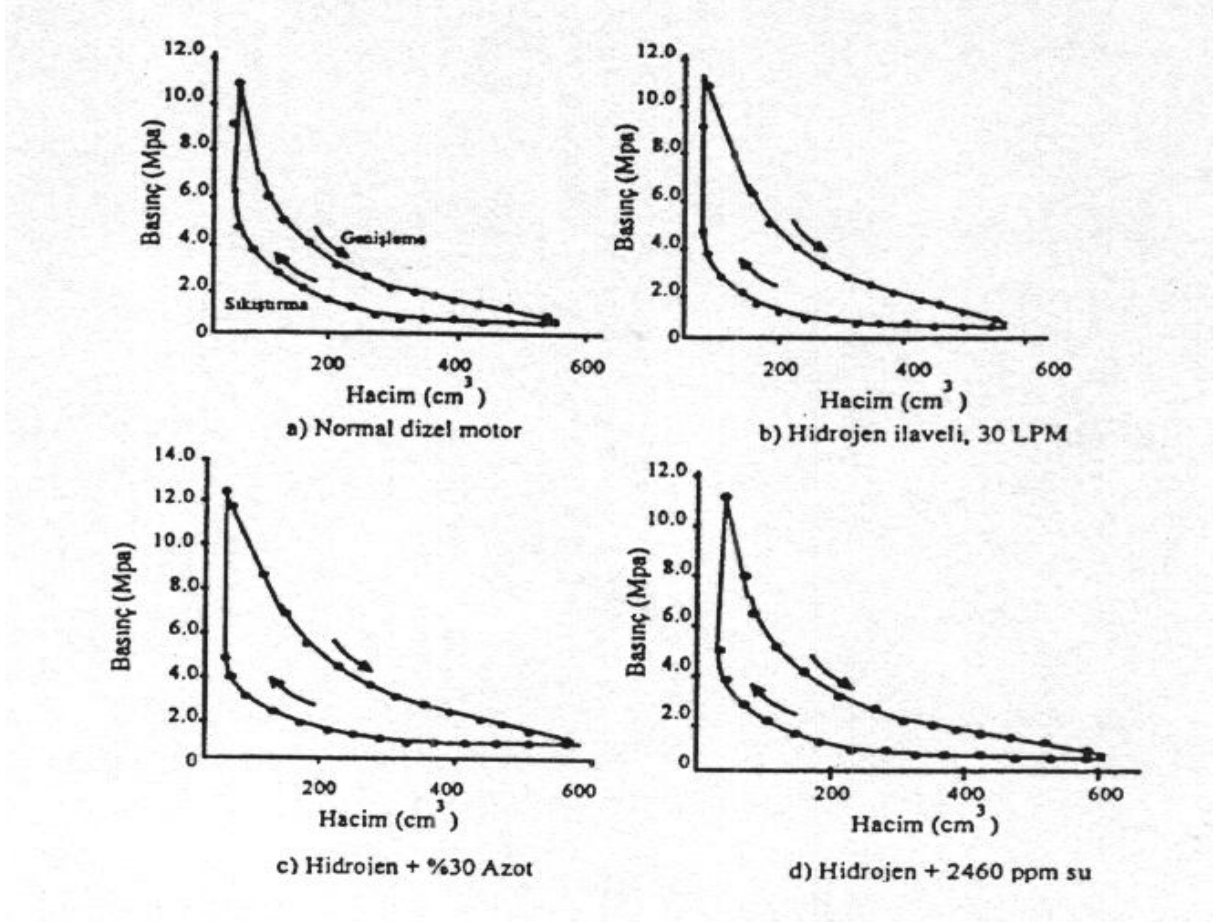
### 3.4.3 Örnek çalışmalar

Patro, yapmış olduğu çalışmada dizel motorunun çift yakıtlı kullanımına ilişkin yakıt oranlarını aşağıdaki tablodaki gibi bulmuştur.

**Çizelge 3.8** Dizel motorunun çift yakıtlı kullanımına ilişkin yakıt oranları

Test no	Yakıt açıklaması	Püskürtülen dizel (kg/dak.)	H <sub>2</sub> miktarı (l / dak.)	% H <sub>2</sub> enerji	Termal verimlilik	Çıkış gücü (%)
1	Dizel yakıt	0,0227	-	-	24,21	100
2	H <sub>2</sub> ilaveli	0,0124	30	38	24,21	97
3	% 30 N <sub>2</sub> ile	0,0164	60	48	24,21	98
4	2460 ppm H <sub>2</sub> O ile	0,0098	75	66	23,14	95

Buna göre sıkıştırma oranına bağlı olarak vurutu oluşumu, silindir içerisine alınan hidrojen-hava karışımındaki hidrojen oranını sınırlamaktadır. Bu oranı artırmak için hidrojen-hava karışımı içerisine uygun oranda azot ve su ilavesi yapılarak motordaki vurutu azaltılmakta ve yanma verimi artmaktadır (Patro, 1993). Azot tutuşma gecikmesinin azaltılmasında ve alev boyunun kısaltılmasında oldukça etkilidir.



Şekil 3-12 Test edilen dizel motorun P-V diyagramı ( 1500 d/d ) (Murcak, 2003)

Farklı çalışmalar da olmuştur. Hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda hidrojenin ana yakıt olarak kullanılması ile 2100 d/d'da sıkıştırma oranı 17,9 iken maksimum silindir sıcaklığı yaklaşık 900 °K olmuştur. Bu çalışma şartlarında denenen bütün yağlar yanmıştır. Motorun devri 1450 d/d'ya ve sıkıştırma oranı 17,1'e düşürüldüğünde maksimum sıkıştırma sıcaklığı 800 °K olmuştur. Bu şartlarda denenen yağlarda yanma problemi olmamıştır.

Bir çalışmada (Furuhama, 1989), hidrojen - 30 °C ve 1 mPa basınçta sıvı olarak sıkıştırma zamanında silindire verilmiştir. Daha sonra karışım buji kıvılcımı ile tutuşturulmuştur. Bu çalışma şartlarında, motor gücü %10-20 artmış ve kısmi yüklerde fakir karışimli yanmadan dolayı ısı verim artmıştır.

Başka bir çalışmada, hidrojen-dizel yakıtının kullanıldığı motorlarda hidrojen oranı artışının vuruntu ihtimalini artırdığı görülmüştür. Tam yük şartlarında pilot dizel yakıt miktarı %30 iken içeri sürülen toplam enerjinin % 60'ı geçmesi durumunda vuruntu gözlenmiştir.

Vuruntunun önüne geçebilmek için yanma karışım sıcaklığı gizli buharlaşma ısısı yüksek olan suyun ilavesi ile düşürülmüştür.

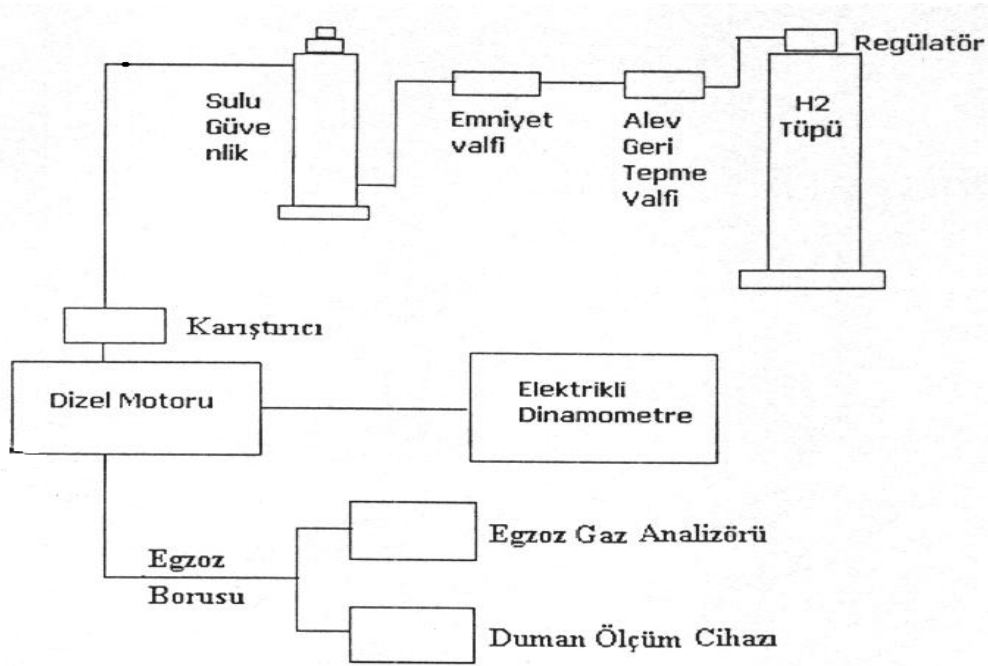
Başka bir çalışmada ise, tek silindirli, dört zamanlı standart bir dizel motoru çift yakıtla çalışabilecek şekilde modifiye etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, hidrojenin içeriye sürülen enerjinin % 50'si kadar kullanılabilceğini, bunun üstünde ise vuru mu meydana geldiğini görmüşlerdir.

#### **3.4.4 Hidrojenle ilgili deneysel çalışmalar**

Murcak, tam gaz değişik devirlerde motorin (dizel yakıtı) ve çift yakıtlı (motorin + hidrojen) kullanımının motor performansı ve emisyon üzerine etkilerini incelemiştir.

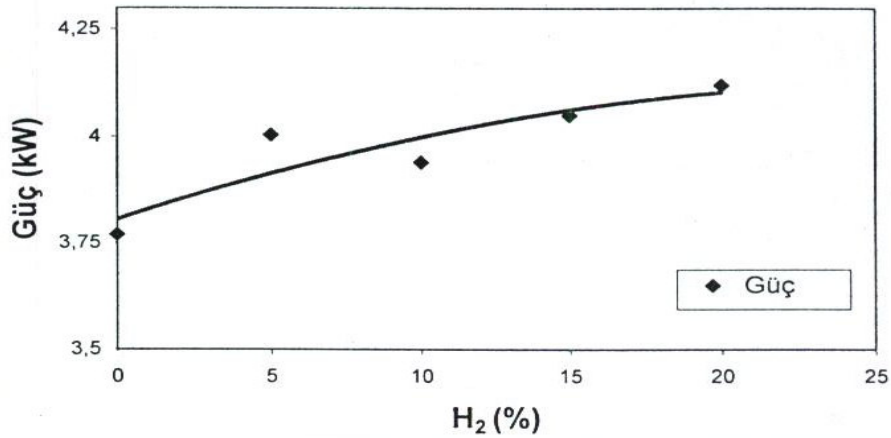
Murcak; dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, 395 cm<sup>3</sup> silindir hacimli ve 18:1 sıkıştırma oranlı bir dizel deney motorunda yaptığı çalışmada; bir dinamometre, egzoz gaz analiz cihazı, duman analiz cihazı ve ölçümler için kronometre kullanmış, deneyleri motorun tam gaz değişik devirlerinde yapmıştır. Ölçümlere 1800 d/d'dan başlayarak 200'er devir arttırmış ve 2600 d/d'ya kadar ölçümleri 5 aralıkta gerçekleştirmiştir. Ölçümlere 1800 d/d'dan başlamasının nedenini; motor bu devrin altına yüklendiğinde deney motoru ile dinamometreyi birbirine bağlayan milde burulma meydana gelmesi olarak açıklamıştır.

Murcak, öncelikle motorun öz değerlerinin tespiti için ilk denemelerini dizel yakıtı ile yapmış ve daha sonra çift yakıtlı (motorin + hidrojen) denemelerine geçmiştir. Hidrojen % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında hava ile karıştırılarak motorun emme manifolduna verilmiştir.



Şekil 3-13 Deney seti şeması

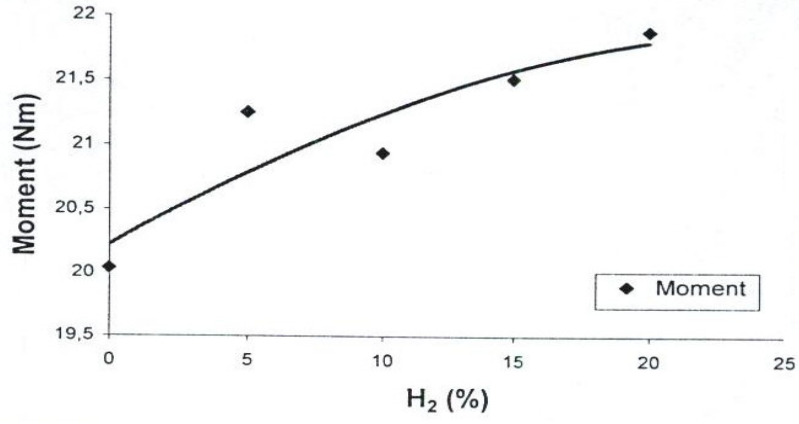
Murcak, gerçekleştirdiği motor deneyleri sonucunda, tam yük şartı altında hidrojen oranına bağlı olarak, güç, moment, özgül yakıt tüketimi ve emisyonlardaki değişimleri tespit etmiştir.



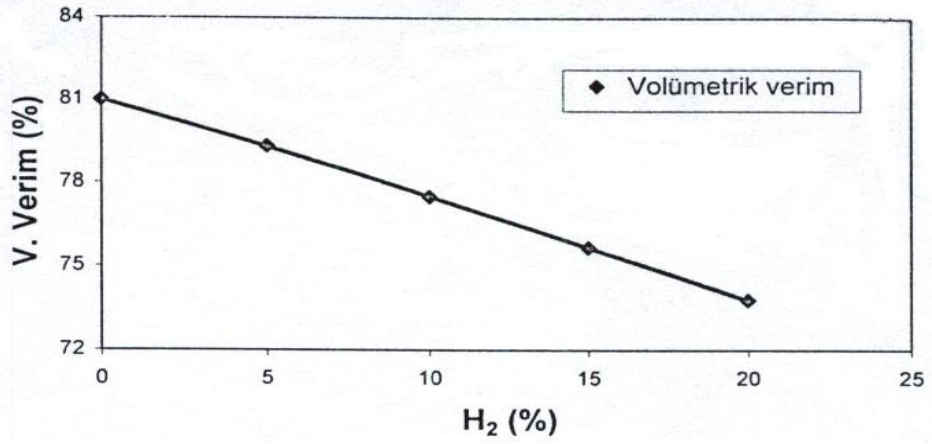
Şekil 3-14 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki motor güç değişimleri

Murcak, 1800 d/d'daki ölçümlerinde hidrojen oranının artışına bağlı olarak gücün arttığını görmüş buna ilaveten motor momentini değerlerinin de yükseldiğini tespit etmiştir. Aslında hidrojen oranına bağlı olarak volumetrik verim azalmaktadır, bu durum ilk başta motor momentinde hidrojen oranının artışına bağlı olarak bir azalma olmasını gerektirse de motor devrinin düşük olmasından dolayı, içeriye giren hidrojen yanma için yeterli süreyi

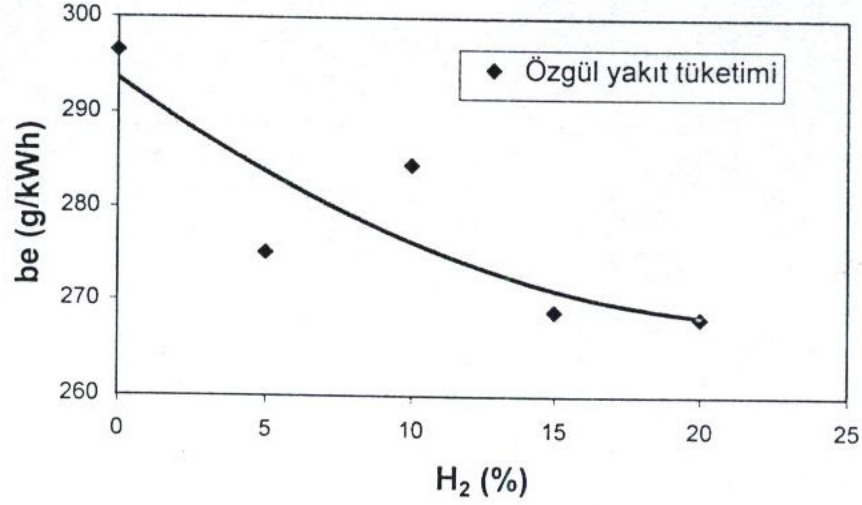
bulacağından momentte bir artış görülmüştür. Bunda hidrojenin ısı veriminin yüksek olmasının da etkisi vardır.



Şekil 3-15 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki motor momenti değişimleri



Şekil 3-16 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki volumetrik verim değişimleri

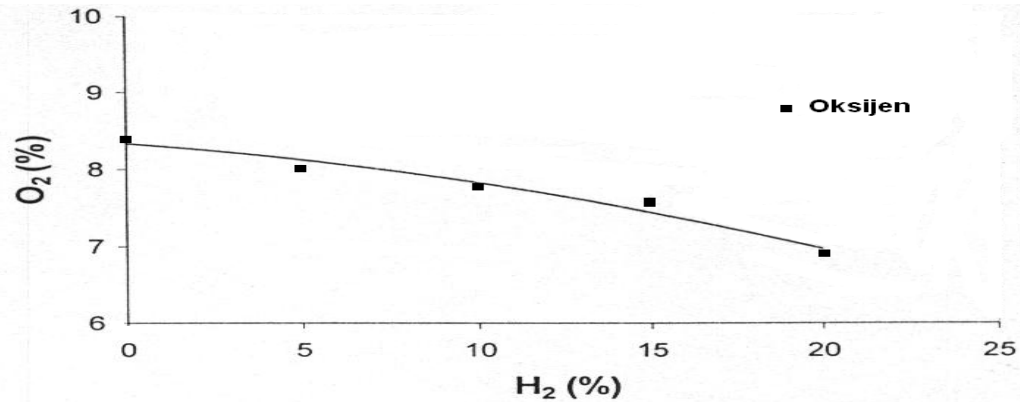


Şekil 3-17 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki özgül yakıt değişimleri

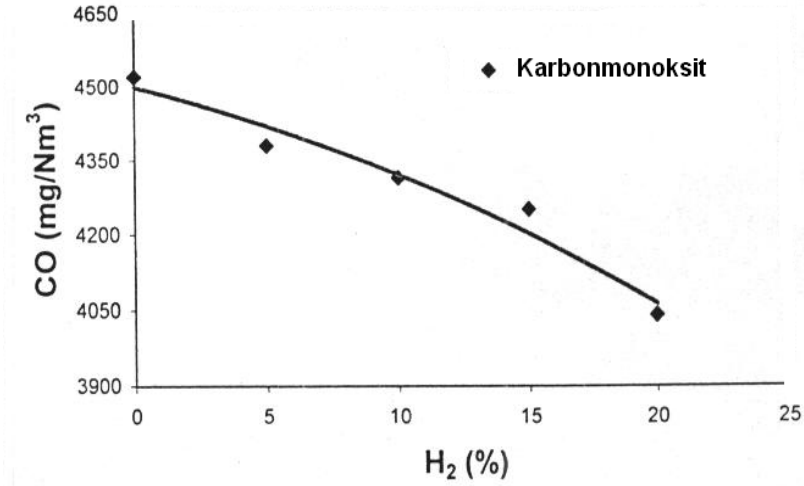
Volumetrik verim; yakıt cinsi, motor tasarımı ve motorun çalışma koşullarına göre değişiklik gösterir. Yakıt tipi, hava/yakıt oranı, emme manifoldu sisteminde yakıt buharlaşma durumu ve yakıtın buharlaşma basıncı, ısı transferi sonucu değişim gösteren karışı sıcaklığı, ard gazların basıncı, motorun sıkıştırma oranı, motor hızı, egzoz tasarımı ve supapların açılma zamanları ile açıklık pozisyonları gibi faktörlerden etkilenmektedir.

### 3.4.5 Emisyonlar

Murcak'ın çalışmasındaki hidrojen oranına bağlı olarak egzoz emisyon parametrelerinin değişimi aşağıdaki şekillerdeki gibidir.

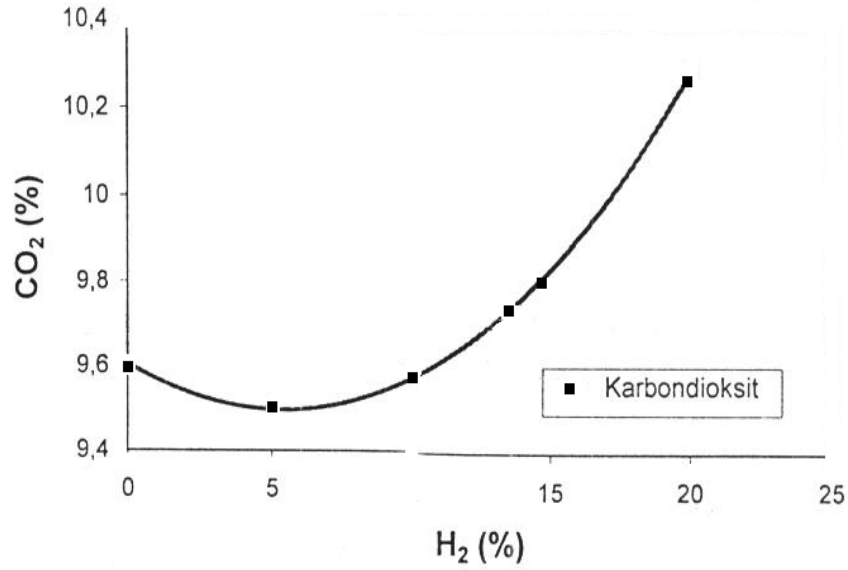


Şekil 3-18 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki O<sub>2</sub> değişimleri



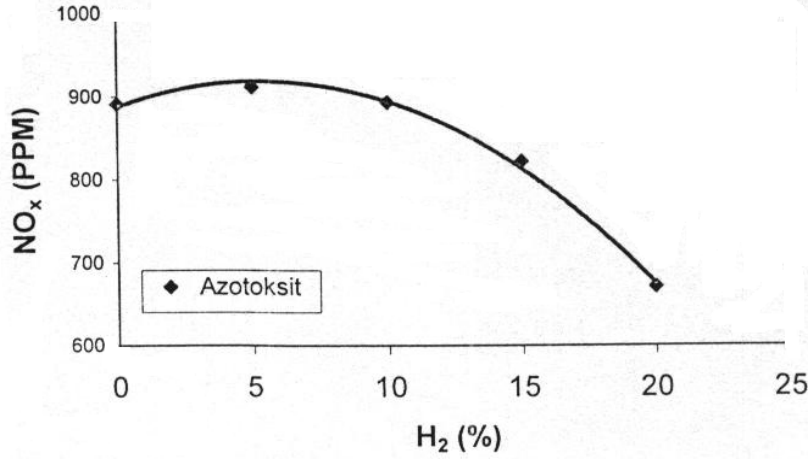
Şekil 3-19 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki CO değişimleri

Murcak'ın çalışmasına göre; yeteri kadar hava olmayınca CO miktarı artmış ve yeterli hava miktarına ulaşıncaya CO, CO<sub>2</sub> 'ye dönüşmüştür. Bütün hidrojen ilaveli yakıtlarda CO miktarı, standart yakıtın vermiş olduğu CO miktarından düşük çıkmaktadır. Hidrojen ilavesi ile yanma iyileştiğinden bu sefer CO<sub>2</sub> miktarı artmıştır.



Şekil 3-20 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki CO<sub>2</sub> değişimleri





Şekil 3-21 1800 d/d 'daki farklı H<sub>2</sub> oranlarındaki NO<sub>x</sub> değişimleri

Murcak'ın çalışmasında, hidrojen oranına bağlı olarak NO<sub>x</sub> değişim grafiklerine bakıldığında % 5 ve % 10 hidrojen oranlarındaki NO<sub>x</sub>, standart yakıtla elde edilen NO<sub>x</sub> miktarından fazladır. Bunun sebebi yanmanın iyileşmesi ve buna bağlı olarak maksimum silindir sıcaklığının artması olarak gösterilebilir.

### 3.4.6 Sonuçlar

Deney motorunda yüksek devir sayılarına çıkıldığında, 'güçte artma' standart olarak tüm hidrojen oranlarında karşılanmıştır. Torkta kısmi olarak düşüşler ve yükselmeler göze çarpmış, özgül yakıt tüketimlerinde ve emisyonlarda ise hidrojen oranlarına bağlı olarak her devirde farklı değerlere ulaşılmıştır. Örneğin tüm hidrojen oranlarında en az CO emisyonu 2400 d/d'da karşılanmıştır. Diğer devirlerde CO emisyonu yüksektir.

Murcak, motor moment değerlerini incelediğinde motorin ve % 10 hidrojen ilaveli olarak yapılan çalışmada maksimum moment değerini 2200 d/d'da elde ederken, % 5, % 15 ve % 20 hidrojen ilaveli yakıtlarla ise maksimum momenti 1800 d/d'da ölçmüştür. Hidrojen oranı arttıkça volumetrik verimin kötüleştiğini ve devir arttıkça moment değerinin düştüğünü tespit etmiştir. Düşük motor devirlerinde güç artmış, devir yükseldikçe düşmüştür. Düşük motor devirlerinde hidrojen ilaveli yakıtlarla elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri standart yakıtla elde edilen değerlerden daha iyi elde edilmiştir. Devir yükseldikçe özgül yakıt tüketimi kötüleşmiştir.

Sonuç olarak söylenebilir ki; hidrojen ilavesi, düşük devirlerde motor momentinde ve gücünde artış gösterirken yüksek devirlerde olumsuz etkilerde bulunmuştur. Düşük ve orta

motor devirlerinde özgül yakıt tüketimini ve volumetrik verimi iyileştirici yönde etkisi görülmüştür.

### **3.5 Biyodizelin dizel motorlarda kullanımı**

Biyodizelin ülkemizde kullanımının önemi yeni anlaşılmaktadır. Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle 1970’li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da fiyatının artmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağını göstermektedir. Bu tür bir yaygınlaşma ise, gerek yasal düzenlemeler gerekse teknolojik altyapının önceden planlanarak gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu alanda gerekli politikaların önceden geliştirilmesi, tarım ve otomotiv sektörüne ciddi kazançlar sağlayacaktır. Biyodizel’in kullanımı; ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Konunun; ülke tarımı, yakıt tüketimi, çevre kirliliği gibi çok yönlü değerlendirilmesi gerekmektedir (Ulusoy, Alibaş, 2002).

#### **3.5.1 Avrupa’da ve Dünya’da biyodizel**

Biyodizel oluşumunun standartı taşıt ve dizel motoru üretimlerinin dikkatini almada, yakıtın endüstriyel gelişiminin başlangıcındaki oluşumu çok önemlidir. İlk biyodizel yakıt standartı kolza tohumu yağı metil esteri için 1991’de Avusturya’da ON C 1190 kodu altında yapılmıştır. Bu kaynak tüm traktör şirketleri tarafından birçok dizel motoru için geçerlidir. Aynı yıl içinde Almanya DIN E 51606 standardının düzenlenmesi için bir çalışma yapmış ve Fransa, İtalya, İsveç ulusal standart normları belirlenmiştir. Avrupa standartına paralel olarak ABD biyodizel standartını American Society for Testing and Materials kuruluşu ASTM D 6751–02 kodu altında tamamlamıştır. Avrupa biyodizel üretiminin 2000’de 250 milyon litrenin üzerinde olmuştur. Günümüzde Avrupa’da dizel için benzer bir fiyatta pazarlanabilmesi için biyodizele büyük önem verilmektedir. Avrupa’da biyodizel üretimi için kullanılan kaynak kanola tohumudur. Fransa’da 1991’den beri biyodizel üretilmektedir.

Fransa'da Peugeot, Citroen ve Renault gibi dev otomotiv firmalarının Elf ve Total gibi petrol firmalarının işbirliği ile biyodizel üretim, kullanım ve yaygınlaştırma çalışmaları sürmektedir. Şehirlerarası otobüslerde biyodizel vergi indirim desteğiyle kullanılmaktadır. ABD biyodizel çoğunlukla kolza, soya, ayçiçeği yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından üretilmektedir. Vergi indirimi uygulamasının olmadığı ABD'de biyodizel şehir içi otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri taşıtlarda kullanılmaktadır. 1997 yılından sonra Almanya, İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyeti'nde biyodizelle ilgili vergi indirimi yasa ve yönetmeliklerini günlük hayata geçirmişlerdir.

### **3.5.2 Türkiye'de biyodizel**

Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk yıllarında tarla makinelerinde bitkisel yağların uygulanmasındaki bilimsel çalışmalar çiftçilerce yönetilmiştir. Türkiye'de ulusal ve uluslar arası yanlış politikalar 1945'lere kadar uzanmaktadır. Bu yüzden enerji ve tarım sektörünün her ikisi de tamamıyla dış kaynaklara bağımlı kalmıştır. Bununla birlikte Türkiye'de biyogaz, biyodizel ve biyoyakıtlar 1970'lerdeki petrol krizi esnasında fosil yakıtlarına alternatif olarak göz önüne alınmış fakat devamı gelmemiştir, 1980'lerin başından günümüze kadar sorumlu hükümetler ise alternatif yakıtları tasarı ve programlarına almamışlardır.

1998'deki 1.Enerji Şurasından sonra biyodizelle ilgili bireysel ve kurumsal çalışmalar başlatılmıştır. Türkiye'de biyodizel üretimini kullanma gücü özel sektörle akademik işbirliği ikilindedir. Özellikle 2000 yılından bu yana yüksek sayıda girişimci biyodizel üretimi ile ilgilenmişlerdir. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları göz önünde tutulduğu zaman biyodizel girişimlerinin miktarı Rüzgâr enerjisi piyasasından sonra ikinci sıradadır. Türkiye'deki ilk biyodizel üretimi 2001'de Bursa'da Alternatif Yakıt Teknolojileri Topluluğu tarafından kurulan tesistir. Şirket üretime ayda 300 ton ile başlamıştır. TÜBİTAK ve TTGV tarafından bir proje ile desteklenmiştir. Şirket ürünleri Trakya Bölgesi, Adapazarı ve Batman'da pazarlanmaktadır. B50 yakıtı Trakya Bölgesinde 2002 yılında dizel yakıtından % 20 daha az fiyat ile satılmaya başlanmış, yine 2002'de İstanbul, İzmir ve Ankara'da 10'dan fazla şirket biyodizel üretimine geçmiştir. Üretilen yakıtlar otomobiller ve elektrik jeneratörlerinde kullanılmaktadır.

2003'te PROKEM Gebze İstanbul'da ilk üretim yerine getirmiş ve soya fasulyesi yağından biyodizel üretilmiştir. Yakıt özelliklerinin uygunluğu EN 14214 kodu için onaylanmıştır. PROKEM 2003 Nisan'ının sonunda B20'nin yöresel üretimi için Petrol İşleri ve Genel

Müdürlüğü ve bakanlıkların ilişkisini uygulamıştır. Bu Türkiye'nin biyodizel pazarının geleceği için çok önemli bir adımdır.

Konya'da Duysak A.Ş. bir grup çiftçi ile 1997 yılında yörede kolza tarımını başlatmıştır. Pilot çiftlikte biyodizel üretimi mevcuttur ve üretilen yakıt karayolu ve tarla taşıtlarında kullanılmıştır. Konya Şeker Fabrikaları A.Ş. Çumra'da bununla ilgili gösterim amaçlı uygulama yapmıştır.

2002'de bazı büyük çiftçiler Anadolu'da kolza tohumundan üretimin artırılması için Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı ile temaslarda bulunmuşlardır. Uygulamalar hükümet ve banka teşvikleri ile devam etmektedir. Urfa'da Emin Oruç EME Alternatif Enerji Teknolojileri Şirketi adlı bir şirket kurmuş, biyoyakıt üreten ilk özel şirket olmuştur. Biochar (kömürleştirme), biyodizel ve pelet üretim uygulamaları teşvikle gerçekleştirilmiştir. Bu ilk çalışma GAP Güneydoğu Anadolu Projesi için önemlidir ve yöre için büyük bir öneme sahip olacaktır.

Bursa'daki BURÇEV 2003'ün sonunda kullanılmış yağdan biyodizel üretmiş ve üretim amaçlı ilk ruhsatnameyi almıştır. İstanbul, İzmir, Denizli, Manisa ve Tokat'taki özel sektörlerden 2004'te 7 yeni şirket ruhsat almak için girişimlerde bulunmuştur. Anadolu'daki çok geniş bir coğrafyadan gelen biyodizel üretim talebi görülebilmektedir. Avusturyalı, Alman ve İtalyan firmaları Türkiye'deki biyodizel piyasasına girmek ve inşa etmek için geleceğe yönelik planları vardır. Türk piyasası biyodizel üretimi için etkisiz bir potansiyele sahiptir.

Günümüzde ülkemizin durumu göz önüne alındığında teknoloji transferine gerek yoktur, çünkü Türkiye biyodizel üretimi için yeterli teknolojik geçmişe sahiptir. Biyodizel üretiminde Türkiye komşu ülkeler Suriye, Irak, İran, Balkanlar ve Türk Cumhuriyetlerine bir lider ve bir model olabilir.

Avrupa Birliğinin 2003/30/EC Direktifi 2005 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtlarına % 2 oranında biyoyakıt konulması zorunluluğunu getirmiştir. Her yıl bu oranın; 2007 yılında % 3,50, 2008 yılında % 4,25, 2009 yılında % 5,00, 2010 yılında % 5,75 olması hedeflenmektedir. Bu yüzden, 2005 yılı verilerine göre yılda 12 milyon ton motorin kullanan Türkiye'nin 2005 yılı verilerine göre 240 bin ton, 2006 yılı verilerine göre ise 330 bin ton biyodizeli ulaşımda kullanması gerekmektedir. 2010 yılına kadar ulaşımda kullanılan motorin miktarı değişmez ise 2010 yılında kullanılması gerekli biyodizel miktarı 690 bin ton olacaktır.

Türkiye'de 2005 yılı sonunda 450 ile 878 bin ton arasında değişen miktarlarda biyodizel üretim kapasitesine ulaşılmıştır ve gelecek yıllarda bu üretimin artması istenmektedir.

Kasım 2005 itibarıyla Türkiye'de yıllık biyodizel üretimi, Gebze, Adana, İzmir, Bursa, Polatlı, Şanlıurfa, Tarsus, Kırıkkale, Ankara bölgelerinde 50.000 tonu aşmış ve üretici sayısı 87'ye ulaşmıştır. Yeni tesislerle birlikte ve Enerji Verimliliği Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile yıllık üretim miktarının 200 bin tonun üzerine çıkabileceği tahmin edilmektedir. Dünyada, biyodizel üretimi 2004 yılında 2,2 milyar litre olarak tespit edilmiştir. 2000 yılından bu yana biyodizel üretimi tüm dünyada yaklaşık % 30'luk bir artış göstermiştir. Avrupa birliği ülkelerinde, başta Almanya, Fransa, İtalya, Çek Cumhuriyeti olmak üzere 2005 yılı sonundaki üretim miktarı 2004 yılına göre % 65 artarak 3.184 bin ton olarak gerçekleşmiştir (Alptekin ve Çamakçı, 2006).

### **3.5.3 Biyodizel örnek çalışmaları**

Schrotmaier (1993), biyodizelin Avusturya tarımında yeni bir ürün olarak ele alınması gerekliliği üzerinde durmuştur. Çalışmasında yağlı tohumların ekiminin teşvikinden dolayı, biyodizel üretimin başlatılabilmesinin öncelikle politik bir karar olduğunu belirtmiştir. Özellikle, kanoladan biyodizel üretimi ile Avrupa'da, finanse edilemeyecek derecede fazla olan tahıl üretimini azaltabileceği ve Avrupa tarımında tarlaların boş bırakılmasına karşı bir alternatif olabileceği üzerinde durmuştur. Bunun politik bir karar olarak, teknik ve işletme açısından gerekli bütün şartları da sağlayabileceğini belirtmiştir.

Alibaş ve Ulusoy (1995), bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarını ve yöntemlerini araştırmışlar, sonuç olarak, motorda değişiklik yapmadan % 25 bitkisel yağ + % 75 dizel yakıt karışımının doğrudan kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır. Türkiye'nin petrol kaynaklarının sınırlı olması ve Güney Doğu Anadolu (GAP) projesiyle toplam 1.7 milyon hektar alanın sulu tarıma açılması durumunda, yağlı tohum üretiminde % 73'lük bir artış olabileceğini belirlemişlerdir.

Sonuç olarak, araştırmacılar biyodizel kullanımı konusunda elde ettikleri ortak sonuçları aşağıdaki gibi sıralamışlardır.

- Maksimum % 5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebildiğini,
- Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığını,

- ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biyodizelin kullanılabilceğini,
- Biyodizelin kış aylarında da kullanılabilceğini, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığını,
  - Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranının azaltılmasının mümkün olacağını,
  - Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgeendiğini, ayrıca dolun sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
  - Biyodizel'in iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşturmadiğini,
  - Biyodizel'in yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; % 15 daha az CO, % 27 daha az HC, sadece % 5 daha fazla NO<sub>x</sub>, % 22 daha az partikül, % 50 daha az is ve % 10 daha düşük ısıl değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden % 3 fazla olduğunu,
  - Bitkisel yağların asıl avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu, özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekildeki hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varılmıştır.

#### **3.5.4 Biyodizelin dizel yakıtına göre avantajları dezavantajları**

Biyodizel gelecekte dizel yakıtının yerini alabilecek, yenilenebilir, toksin etkisi olmayan, doğada kolay bozunabilir bir yakıttır. Bunun yanı sıra biyodizelin, yakıt özellikleri bakımından dizel yakıtına göre birçok avantajı vardır. Biyodizel, dizel yakıtına göre emisyonlar, setan sayısı, parlama noktası ve yağlayıcı özelliği bakımından daha üstündür.

Setan sayısı, dizel yakıtının enjektörden püskürtülmesi ile birlikte kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir göstergesidir. Biyodizel, aromatik içermeyen ve yapısında % 10 -12 oksijen içeren alternatif bir dizel yakıttır. Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, dizel yakıtına belirli oranda eklenerek kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül miktarında azalma tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir. Biyodizelin avantajlarından biri de yağlayıcı özelliğidir. Özellikle düşük sülfürlü dizel yakıtlarında azalan yağlayıcılığı biyodizel kullanarak arttırmak mümkündür. Biyodizelin yapısında sülfür bulunmaz. Yakıtların içinde bulunan sülfür yanma sonucu havadaki nem ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olur. Biyodizelin içinde sülfür bulunmaması çevreci bir yakıt olduğunu göstermektedir. Ayrıca kozmetik ve ilaç sanayi gibi birçok alanda kullanılan gliserin, biyodizel üretilirken yan ürün olarak elde edilir. Biyodizel doğada % 99,6 oranında biyolojik olarak parçalanabilir. Biyodizel suya bırakıldığında 28 günde % 95'i bozulurken, dizel yakıtının sadece % 40'ı bozulabilmektedir. Bu özelliği ile

birlikte biyodizelin bozunabilme özelliği şekere benzemektedir. Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür ve soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilir. Bununda ötesinde, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir (Alptekin ve Çamakçı, 2006). Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel, özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar. Bununla birlikte biyodizelin parlama noktası daha yüksektir. Bu yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir.

Bitkisel yağlar ve biyodizel kükürt içermediklerinden dolayı, motorlarda yanmaları sonucu, kükürt dioksit emisyonu üretilmez. Asit yağmurlarının sebebi olarak görülen kükürt dioksit emisyonunun biyodizelle çalışan motorlarda üretilmemesi asit yağmuru probleminin azalması yönünde önemli aşama sağlar.

Biyodizel kullanımında motor yağında bir miktar viskozite düşüklüğü görülmektedir. Ancak, bu viskozite düşüklüğü, kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Bu viskozite düşüklüğü, biyodizelin motor yağında ortaya koyduğu seyrelme etkisinden kaynaklanmaktadır.

### **3.5.5 Biyodizel kullanım yöntemleri**

Biyodizelin yakıt olarak kullanımında üç tür uygulama yapılmaktadır.

- % 100 biyodizel (B100),
- Sınırlı oranda biyodizel-motorin karışımı (B20 – B30),
- Karışım içindeki çok az biyodizel oranı (maksimum % 5),

Yapılan araştırmalarda biyodizelin yakıt olarak kullanımı sonucu ortaya çıkan bazı sorunlar aşağıdaki gibidir:

- Yakıt kalitesi,
- Yakıt filtresi tıkanıklığı,
- Enjektör arızası,
- Kauçuk esaslı malzemelerle uyumu,
- Yakıt ekonomisi,

Biyodizel, dizel motorlarda saf olarak kullanılabildiği gibi dizel yakıtıyla seyreltme yöntemi kullanılarak karışım halinde de kullanılmaktadır. Ayrıca bitkisel yağlar doğrudan, biyodizele

dönüştürmeden de motor yakıtı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın kullanım şekli ise saf biyodizel kullanımıdır. Çünkü biyodizel:

- Özellikleri açısından (dizel yakıtla kıyaslandığında) dengelidir,
- Motor performansı açısından güvenlidir,
- Dizel yakıtla (motorinle) herhangi bir oranda karıştırılabilir,
- Kolay üretilebilir,
- Kullanımı emniyetlidir,
- Motorda değişiklik gerektirmez.
- Dizelin depolandığı yerlerde depolanabilir ve doğrudan aracın yakıt tankına konabilir.

Dizel motorlar için en büyük sorunlardan biri soğuk havalardaki ilk çalıştırma güçlüğüdür. Çünkü dizel motor yakıtı  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bulutlanmaya başlar. Bunun sebebi yakıtın içerisindeki mumdur.

ASTM, biyodizel için bulutlanma noktasını minimum  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak önermektedir. Yakıtta böyle bir bulutlanma meydana geldiğinde filtre tıkanır. Sıcaklık daha da düşerse yakıt akma noktasına ulaşır ve yakıt akışı kesilir. Sıcaklığın daha da düşmesi durumunda yakıt jel haline gelir yani yarı katı bir hal alır.

Dizelin uygulamada iki tipi vardır. Bunlar 1 numaralı dizel ve 2 numaralı dizeldir. 2 numaralı dizel daha yaygındır. Dizel araçlarda soğuk hava şartlarındaki çalıştırma güçlüğüne önüne geçmek için anti-jel formüller geliştirilmiştir.

Bugün uygulamada biyodizelin dizelle optimum karışım oranı ve bu karışımın ya da saf olarak kullanımının motor performansındaki etkisi ve emisyon değerleri sıklıkla araştırılmakta ve ekonomisi üzerine ağırlıklı olarak durulmaktadır.

Biyodizelin motorlarda yakıt olarak kullanımından kaynaklanan durumu aslında 3 açıdan değerlendirmek gerekir. Bunlar:

- Biyodizelin motor performansı ve yakıt tüketimine etkisi
- Biyodizelin motor parçalarının yağlanması katkısı
- Emisyon değerleri

Biyodizelin motor performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan karşılaştırmalı birçok araştırma, dizele göre önemli bir değişimin olmadığını göstermektedir. Bu durum moment (tork), güç ve yakıt tüketimi açısından genellenebilir. Avrupa Birliği'nde ve



ülkemizde yapılan araştırmalar, biyodizelin kullanımının dizelin kullanıldığı Şartlara göre motor karakteristiklerinde önemli bir değişime yol açmadığını göstermektedir. Aşağıda bazı önemli biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri görölmektedir (Taşyürek, 2004).

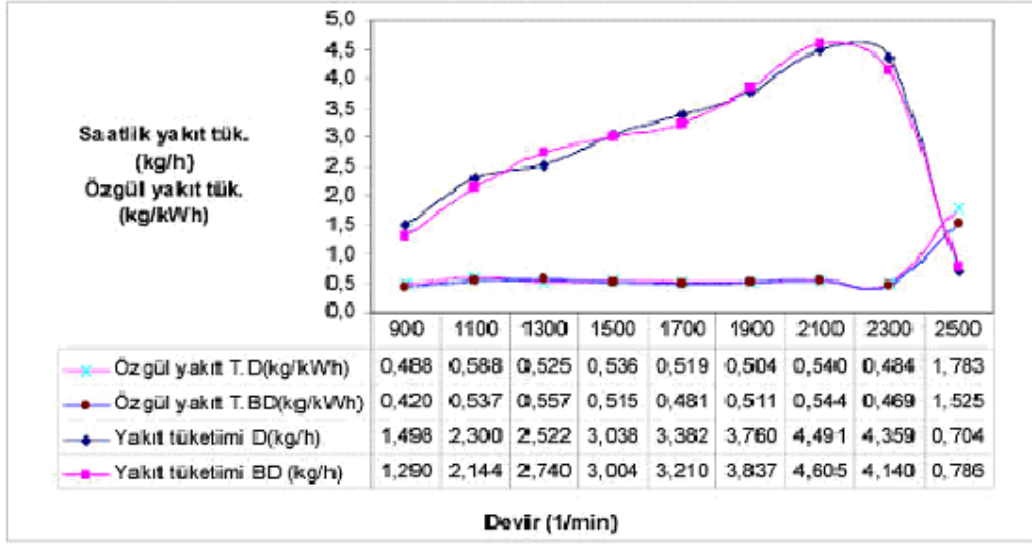
**Çizelge 3.9** Önemli biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Taşyürek, 2004)

	Kalori değeri (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)		Setan sayısı	Parlama Noktası (°C)	Kimyasal Formül
			27 °C	75 °C			
Motorin	43.35	0.815	4.3	1.5	47	58	C <sub>16</sub> H <sub>43</sub>
Ayçiçeğ yağı (AY)	39.53	0.918	58	15	37.1	220	C <sub>57</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin (AY)	40.56	0.878	10	7.5	45–52	85	C <sub>55</sub> H <sub>105</sub> O <sub>6</sub>
Pamuk yağı (PY)	39.65	0.912	50	16	48.1	210	C <sub>55</sub> H <sub>102</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin (PY)	40.58	0.874	11	7.2	45–52	70	C <sub>54</sub> H <sub>101</sub> O <sub>6</sub>
Soya yağı (SY)	39.62	0.914	65	9	37.9	230	C <sub>56</sub> H <sub>102</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin (SY)	39.76	0.872	11	4.3	37	69	C <sub>53</sub> H <sub>101</sub> O <sub>6</sub>
Mısır yağı	37.83	0.915	46	10.5	37.6	270–295	C <sub>55</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Haşhaş yağı	38.92	0.921	56	13	-	-	C <sub>57</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Kolza-00 yağı	37.62	0.914	39.5	10.5	37.6	275–290	C <sub>57</sub> H <sub>105</sub> O <sub>6</sub>

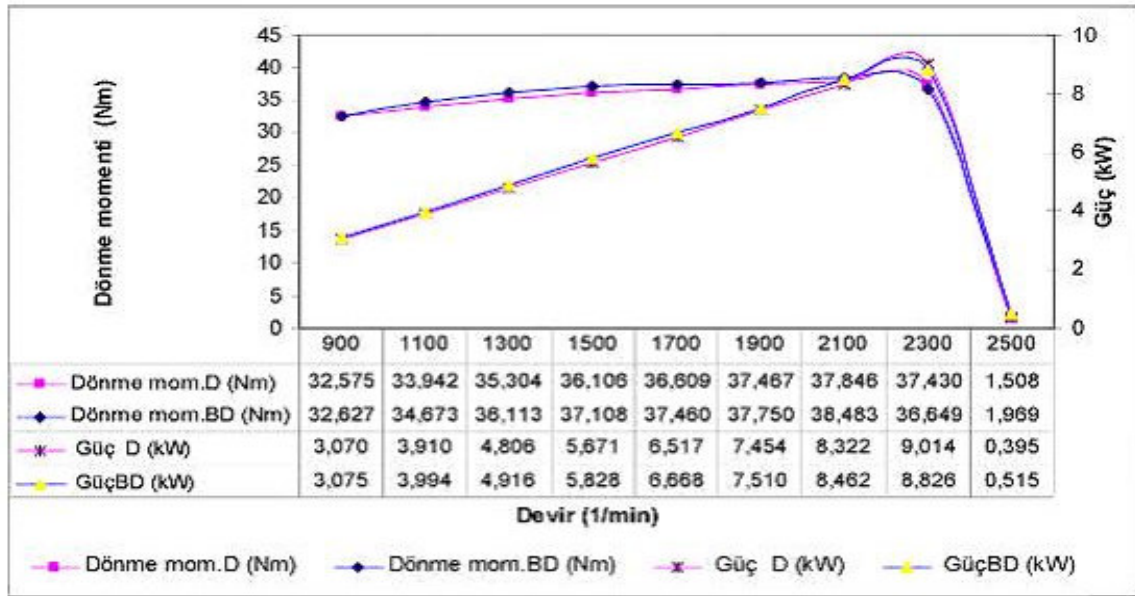
### 3.5.6 Örnek deney ve çalışma

Ulusoy ve Alibaş; ayçiçeği yağından üretimi yapılan biyodizel yakıtı ile dizel yakıtını, tek silindirli bir motorda deneyerek, her iki yakıtla da motorun özgül yakıt tüketimi, efektif gücü ve dönme momenti gibi karakteristik değerlerini belirlemişlerdir.

Deneyler; 90 mm silindir çaplı ve 105 mm stroklu, 21:1 sıkıştırma oranlı ve 110 bar püskürtme basınçlı bir pancar motorunda yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde motor dönme momenti, efektif gücü, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerleri açasından biyodizel ve dizel yakıt arasında bariz bir farklılığın olmadığı görölmektedir. Araştırma sonuçları biyodizelin, dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapmadan dizel yakıtın yerine doğrudan kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 3-22 Dizel ve biyodizelle çalışmada saatlik ve özgül yakıt tüketim değerleri



Şekil 3-23 Dizel ve biyodizelle çalışmada moment-devir- güç grafiği

#### 4 DENEY ÇALIŞMASI, MATERYALLER VE METOT

Deneyle İ.E.T.T. Genel Müdürlüğü'ne bağı, İkitelli'deki Motor Yenileme Fabrikası bünyesindeki motor test düzeneklerinde yapılmıştır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü'nde, deneylerde kullanılacak olan yakıtın özellikleri tespit edilmiştir.

Deneyle sırasında klasik dizel yakıtı (EN 590'a uygun) ve %100 biyodizel (B100) kullanılmıştır. Dizel yakıtı olarak piyasada satışı yapılan bir ticari dizel yakıtı seçilmiştir. Biyodizel üretiminde hammadde olarak soya yağı kullanılmıştır. Kullanılan yakıtların analiz sonuçları çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Dizel yakıt (motorin 7000)' ın ısı değeri 43740 kJ/kg, biyodizel yakıtın ısı değeri ise 40023 kJ/kg 'dır.

Çizelge 4.1 Kullanılan dizel yakıtının (motorin 7000) analizi

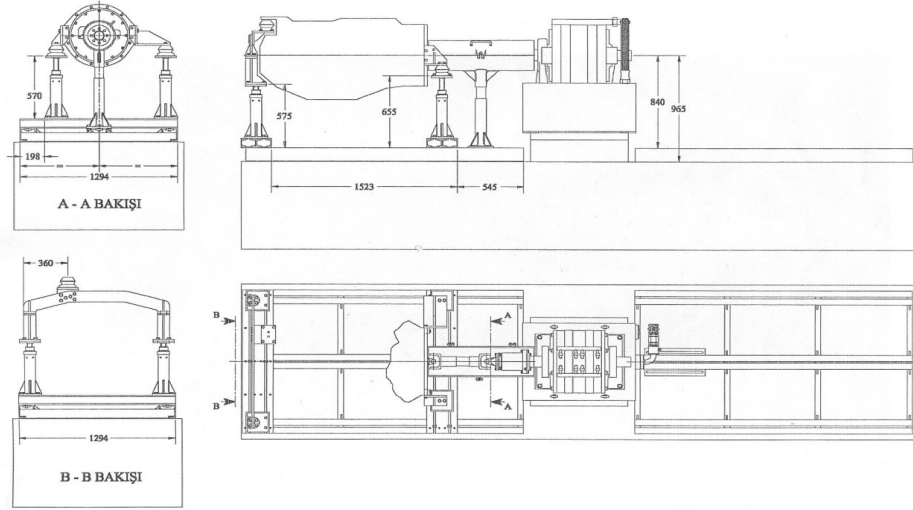
Testler	Birim	Test Metodu	Limit	Sonuçlar
Yoğunluk, 15°C	kg/m <sup>3</sup>	TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185	820-860	838
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar	% ağırlık	TS EN 12916	≤11	7
Alevlenme Noktası	°C	TS 1273 EN 22719	≥55	64
Su Miktarı	mg/kg	TS 6147EN ISO 12937	≤200	83
Kükürt Miktarı	mg/kg	TS 6838 EN ISO 8754	≤7000	2117
Setan İndisi	Hesaplanan	TS 2883 EN ISO 4264	≥46	53,8
Viskozite, 40°C	cst	TS 1451 EN ISO 3104	2,0-4,5	2,317
SFTN	°C	TS EN 116	≥-15 (kış)	-22
Karbon Kalıntısı (%10 Damıtmada)	% ağırlık	TS 6148EN ISO 10370	≤0,30	0,12
Kül	% ağırlık	TS 1327 EN ISO 6245	≤0,01	0,0063
Toplam Kirlilik	mg/kg	TS EN 12662	≤24	8
Oksidasyon Kararlılığı	g/m <sup>3</sup>	TS EN ISO 12205	≤25	14
Korozyon Bakır Şerit	50°C, 3 saat	TS 2741 EN ISO 2160	En çok No:1	1A

Çizelge 4.2 Kullanılan biyodizel yakıtının analizi

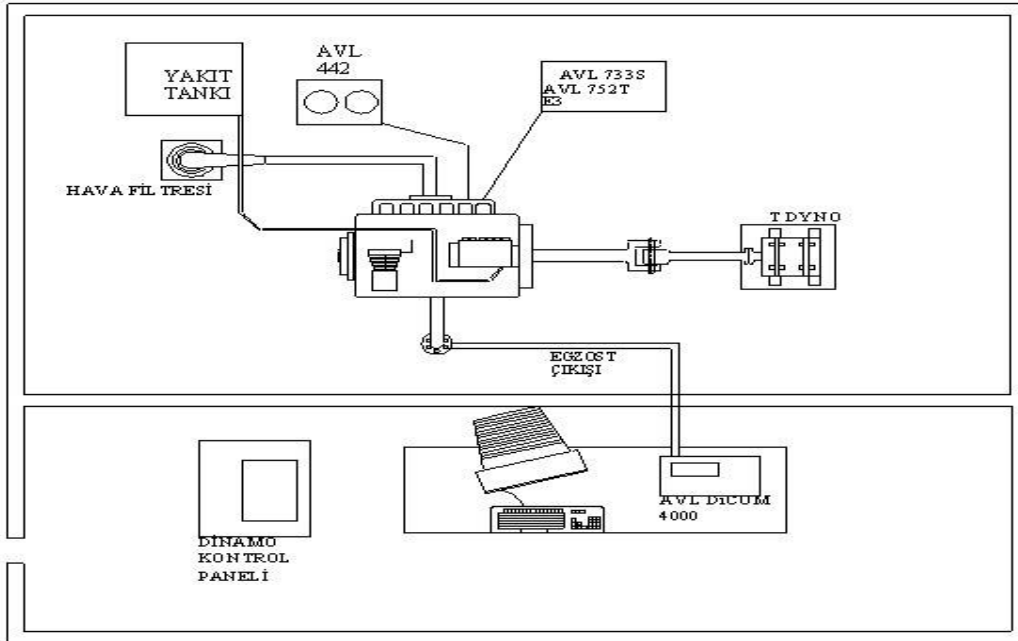
Testler	Birim	Test Metodu	Limit	Sonuçlar
<b>Korozyon Bakır Şerit</b>	50°C, 3 saat	EN ISO 2160	En çok No:1	1A
<b>Yoğunluk, 15°C</b>	gr/cm <sup>3</sup>	ISO 12185	0,860-0,900	0,8878
<b>Viskozite, 40°C</b>	cSt	EN ISO 3104	3,5-5,0	4,6838
<b>Parlama Noktası</b>	°C	EN ISO 3679	≥120	46,5
<b>Kükürt</b>	mg/kg	ISO 20846	≤10,0	2,68
<b>Karbon Kalıntısı</b>	% (ağırlıkça)	EN ISO 10370	≤0,30	0,083
<b>Setan Sayısı</b>	Hesaplanan	EN ISO 5165	≥51	52,1
<b>Sülfatlanmış Kül</b>	% (ağırlıkça)	ISO 3987	≤0,02	0,0203
<b>Su</b>	mg/kg	EN ISO 12937	≤500	415,18
<b>Partikül Madde</b>	mg/kg	EN 12662	≤24	4,30
<b>Asit Sayısı</b>	mgKOH/g	EN14104	≤0,50	0,10
<b>İyot Sayısı</b>	g/100g	EN 14111	≤120	130
<b>Ester Muhtevası</b>	% (m/m)	EN 14103	≥96,5	86,6
<b>Linolenik Asit Metilesteri</b>	% (m/m)	EN 14103	≤12	7,01
<b>Çoklu Doymamış Metil Esterleri</b>	% (m/m)	EN 14103	≤1	0,0
<b>Metanol Muhtevası</b>	% (ağırlıkça)	EN 14110	≤0,2	0,5
<b>1.Grup Metaller</b>				
<b>Na</b>	mg/kg	EN 14108	≤5,0	12,37
<b>K</b>	mg/kg	EN 14109		
<b>2.Grup Metaller</b>				
<b>Ca</b>	mg/kg	EN 14538	≤5,0	23,09
<b>Mg</b>	mg/kg	EN 14538		
<b>Fosfor</b>	mg/kg	EN 14107	≤10	13,43
<b>Oksidasyon Kararlılığı (100°C)</b>	Saat	EN14112	≥6,0	4,0

## 4.1 Materyal

Motor performans deneylerinde kullanılan deney tezgâhı ve düzeneği aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4-1 Deney tezgâhı şematik resmi



Şekil 4-2 Deney düzeneği şeması



Şekil 4-3 Motor test düzeneği resmi

#### 4.1.1 Motor

Deney motorunun özellikleri aşağıda gösterilmiştir. RABA-MAN D 2156 HM6UT Ikarus Otobüs motorunun atölye el kitabında verilmiş olan özellikleri çizelge 3.3'e dâhil edilmiştir.

Çizelge 4.3 Deney motoru özellikleri

<b>Motor Üreticisi – Tipi</b>	RABA-MAN D 2156 HM6UT
<b>Çalışma Prensibi</b>	4 zamanlı dizel motor, yanma odası piston üzerine açılmış, direk püskürtmeli, aşırı doldurmalı.
<b>Silindir Hacmi</b>	10.350 cm <sup>3</sup>
<b>Silindirlerin Sayısı -Düzeni</b>	6 adet , düz ve yatık
<b>Kompresyon Oranı</b>	17:1
<b>Çıkış Gücü ( DIN 70020 )</b>	162 kW 2100 d/d' da
<b>Tork</b>	819 Nm 1600 d/d' da
<b>Püskürtme Sırası</b>	1-5-3-6-2-4
<b>Silindir Çapı / Strok Çapı</b>	121/150 mm
<b>Yağlama</b>	Basınç altında
<b>Soğutma</b>	Su soğutmalı
<b>Püskürtme Basıncı</b>	190 bar
<b>Motor Kuru Ağırlığı</b>	900 kg
<b>Enjektör Pompası</b>	BOSCH / PES 6A 95D 420 LS 2804

#### 4.1.2 Sıcaklık algılayıcıları

- Egzoz sıcaklığı : Termocouple tipi sıcaklık algılayıcısıdır. Egzoz borusu üzerinde konuşlandırılmıştır. Ölçüm aralığı 0-1000 °C'dir.
- Motor su çıkış sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor su çıkışı ve eşanjör hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Motor su giriş sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Eşanjör su çıkışı ile motor dönüş hattına bağlıdır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Motor yağ çıkış sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor yağ çıkışı ile eşanjör hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Motor yağ giriş sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Yağ eşanjörü yağ çıkışı ile motor dönüş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Motor yakıt çıkış sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor ile yakıt eşanjör giriş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Motor yakıt giriş sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Yakıt eşanjörü ile yakıt motora dönüş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Emme hava sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Hava filtresi üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Turbo hava çıkış sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Emme manifoldu üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Dinamometre su çıkış sıcaklığı: Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Su tankı sıcak hattı üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Dinamometre su giriş sıcaklığı : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Su tankı soğuk hat üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.
- Atmosfer sıcaklığı : Test odası ortam sıcaklığı ölçümü için kullanılmıştır.

#### 4.1.3 Basınç algılayıcıları

Hemen hepsi strain gauge (strengaç) tipi basınç algılayıcısıdır.

- Yağ basıncı : Ölçüm noktası motor ana galerisi olup 0-10 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dir.
- Turbo basıncı : Ölçüm noktası emme manifoldu olup 0-2 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dir.
- Yakıt basıncı : Ölçüm noktası yakıt emme hattı olup 0-500 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dir.
- Atmosfer basıncı: Tesis içinde konuşlandırılmıştır, 0,8-1,2 bar ölçüm aralığına sahiptir.

#### 4.1.4 Bağıl nem algılayıcısı

Test odası nem oranını ölçmek için kullanılmıştır. % 40-95 RH ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA'dir.

#### 4.1.5 Dinamometre

Dinamometre markası AVL olup, alpha 350 serisidir. Eddy Current tabir edilen burgaçlı akıntı prensibine göre çalışan bir dinamometredir. Direk olarak bobinlere akıntı, gövde içerisinde manyetik alan oluşturur. Girdap akıntılarının manyetik alan çizgileri direk olarak harici alanın karşısındadır ve rotorda fren etkisi oluşturur. Tork, gerilme ayarı yük hücresi kullanılarak ölçülür. Dijital hız göstergesi ise açısal hız ölçümü yapmak için kullanılır. Bu değerlerden test motorunun gücü hesaplanabilir.



Şekil 4-4 Dinamometre

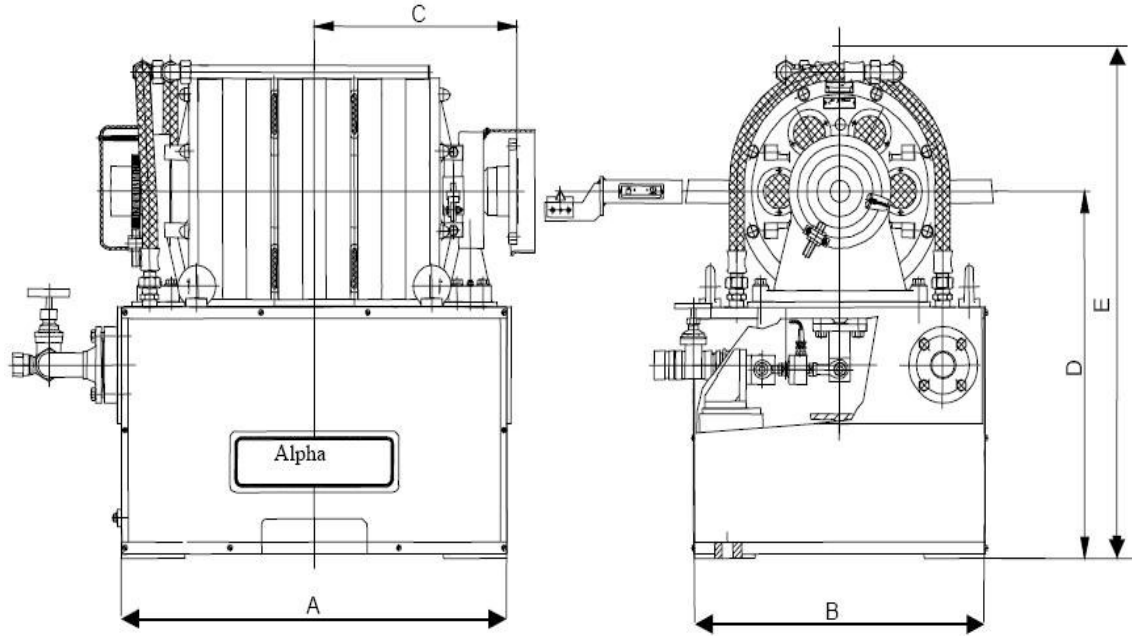




Şekil 4-5 Dinamometre

Dinamometre ile ilgili olarak aşağıda bazı teknik özellikler listelenmiştir.

- Yüksek tork ölçüm sistemi, tolerans (  $\% \pm 0,2$  ),
- Dijital hız ölçümü, tolerans :  $\pm 1$  rpm /  $\pm 1$  dijital,
- Hızlı yükleme için tam kontrol edilebilir güç ünitesi,
- Düşük hızlarda yüksek tork,
- İzin verilebilir yüksek yük birleşimleri,
- Soğutma suyu akışını ve sıcaklığını izleyebilme,



Şekil 4-6 Dinamometre şematik resmi

<b>Tip</b>	: alpha 350
<b>Mak. Güç (kW)</b>	: 350 kW
<b>Mak. Tork (Nm)</b>	: 1500 Nm
<b>Mak. Hız (rpm)</b>	: 8000 – 10000 rpm
<b>Atalet (J/kgm<sup>2</sup>)</b>	: 2,47 J/kgm <sup>2</sup>
<b>Ağırlık (kg)</b>	: 1100 kg
<b>Uzunluk (A) (mm)</b>	: 930 mm
<b>Genişlik (mm)</b>	: 700 mm
<b>C (mm)</b>	: 423 mm
<b>Şaft Yüksekliği (mm)</b>	: 700 mm
<b>Toplam Yükseklik (mm)</b>	: 1000 mm

#### 4.1.6 Gazölçer

AVL 442 marka modeldir.



Şekil 4-7 AVL 442 Gaz ölçer

#### 4.1.7 Debi ölçer

Motor test dayanımları ve gövde dinamometreleriyle ilgili araştırmalarda benzin ve dizel motorlarının yakıt tüketimlerinin gravimetrik ölçümünü almaktadır. Yakıt tüketimi, bükülmüş bir şey vasıtasıyla kapasitif deplasman alıcısı ile bağlanmış uygun bir yatakla ayrılmıştır. Yakıt tüketimi bu yolla tam olarak % 0,12'ye kadar belirlenebilir. Yakıt enjeksiyon sisteminin zıt basınç titreşimleri duyarsızlığından dolayı kısa ölçüm periyotlarına sahiptir. AVL 733 S marka modeldir.



Şekil 4-8 AVL 733 S debi ölçer

#### 4.1.8 Duman ölçer

AVL 415 marka modeldir.



Şekil 4-9 AVL 415 duman ölçer

#### 4.1.9 Emisyon cihazı

Emisyon analizleri için AVL DiCOM 4000 tipi bir emisyon cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO, CO<sub>2</sub>, HC emisyonlarını kızıl ötesi ölçümlerle; O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını ise elektrokimyasal ölçümlerle hassas olarak belirleyebilmektedir. Cihazın kalibrasyonu referans gaz ile yapılmıştır.

Çizelge 4.4 AVL DiCom 4000 teknik özellikleri

Ölçüm parametreleri	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Opasite	0-100 %	0,1 %
Absorpsiyon (k-değeri)	0-99,99 1/h	0,01 1/h
Motor hızı	250-8000 d/d	10 d/d
Yağ sıcaklığı	0-120 °C	1 °C
CO	0-10 % (hacimsel)	0,01 % (hacimsel)
CO <sub>2</sub>	0-20 % (hacimsel)	0,1 % (hacimsel)
HC	0-20000 ppm (hacimsel)	1 ppm (hacimsel)
O <sub>2</sub>	0-22 % (hacimsel)	0,1 % (hacimsel)
NO <sub>x</sub>	0-4000 ppm (hacimsel)	1 ppm (hacimsel)

#### 4.1.10 Tezgâh panosu

AVL 752 T marka/model test tezgâhı panosudur.

#### 4.2 Metot

Bu çalışmada her bir yakıt için dinamometre yolu ile motorun sabit devirlerinde gaz kolu pozisyonlarının değiştirilmesi ile yük arttırılarak referans devirlerde ölçümler yapılmıştır. Her iki yakıt için de motor rejim sıcaklığına (~65°C) ulaştıktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Sabit devirlerde gaz koluyla tam yükleme yapılarak sırasıyla güçler alınmıştır. Önce 800 devire, sonra 1200, 1600, 1800 ve 2100 devirlere sabitlenen test düzeneğinden güç ve tork değerleri elde edilmiştir. Deneyler tam gaz pozisyonunda yürütülürken motorun püskürtme avansı ve basıncında yakıt farklılıklarına göre herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu sayede modifikasyonsuz bir motorda biyodizel kullanılması durumunda oluşabilecek sonuçlara yaklaşılması amaçlanmıştır.

Deneylerde çevre sıcaklığı ortalama 20 °C ve atmosferik basınç 750 mm Hg olarak ölçülmüştür. Deneye başlamadan önce motor yağı değiştirilmiştir. Motorun öz değerlerinin tespiti için ilk denemeler dizel yakıtla yapılmıştır. Motorun yükü kontrol paneli üzerinden ayarlanmıştır. Değerlerin alınmasında evvel motorun belirlenen motor hızlarında kararlı olarak kalabilmesine dikkat edilmiştir. Ölçümler yapılırken kontrol panelinden alınan değerler bilgisayar tarafından toplanmış ve kaydedilmiştir. Standart dizel yakıtla yapılan ilk denemelerden sonra biyodizel + dizel karışımli testlere geçilmiştir. Yakıt tankı bağlantısı biyodizel tankı ile değiştirilmiş ve benzer işlemler tekrarlanmıştır. B22, B50, B70, B100 kodlarıyla tanımlanan, sırasıyla % 22 biyodizel katkıli dizel yakıt, % 50 biyodizel katkıli dizel yakıt, % 70 biyodizel katkıli dizel yakıt ve % 100 biyodizel yakıt harmanları ile deneyler tek tek yapılmıştır.

Yapılan testlerde, soya yağından üretilmiş olan ve değişik oranlarda biyodizel (B100, B70, B50 ve B22) yakıtı RABA-MAN D 2156 HM6UT Ikarus Otobüs motorunda kullanılmıştır. Aynı motor öncelikle % 100 dizel yakıtıyla 800 ile 2100 devir arasında çalıştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen; güç, moment, özgül yakıt sarfiyatı/tüketimi ve emisyon değerleri tespit edilmiştir. Sonra aynı motor değişik oranlarda biyodizel (B100, B70, B50 ve B22) yakıtı ile aynı devir aralıklarında çalıştırılmış ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Testlerden elde edilen değerler EK 1'de gösterilmiştir.

Testlerin amacı sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda biyodizelin değişik oranlardaki katkısının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmak ve farklılıkları ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla motor performansını belirlemek için tam yük değişik devir ve emisyon karakteristiklerini belirlemek için sabit devir değişik yük deneyleri yapılmıştır.

## 5 DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deney motorunda tam gazda, sabit motor devirleri kullanılarak; soya yağı kökenli B22, B50, B70, B100 biyodizel yakıtları ve standart dizel yakıtı (B0) ile ilgili yapılan testler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Emisyon değerleri açısından şekil 5.1'deki Euro emisyon değerleri ile baş edebilir bir görüntü veren deney motorumuzun emisyonlar yönünden başarılı olduğu kabul edilebilir. Yapılan testlerde; yakıt içerisinde biyodizel miktarının artmasıyla duman koyuluğunda motorun her devrinde azalma, CO emisyonunda ise düşük devirlerde artma ve motor devri yükseldikçe genel olarak azalma görülmüştür. Yakıt içerisindeki biyodizel miktarının artırılmasıyla, HC emisyonunda, motorun düşük devirlerinde kısmi azalma ve artışlar görülmüşse de yüksek devirlerde genel olarak azalmalar tespit edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise motorun her devrinde farklı değerler tespit edilmiştir. Yakıt içerisindeki biyodizel miktarının artırılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında yüksele ve yakıtın karışma özelliğiyle orantılı olmayan kısmi düşüşler ve kısmi artışlar görülmüştür.

Deney motorunda yüksek devir sayılarına çıkıldığında, 'güçte artma' standart olarak tüm biyodizel oranlarında karşılanmıştır. Motor gücünde yakıt içerisinde biyodizel miktarının artırılmasıyla maksimum 10 kW'lık bir düşüş görülmüştür. Momentte kısmi olarak düşüşler ve yükselmeler göze çarpmıştır. Yakıt içerisindeki düşük biyodizel oranlarında; moment, standart dizel yakıtına göre çok az düşüşler göstermiş ancak biyodizel miktarı artırılınca momentte ciddi azalmalar göze çarpmıştır.

Motor devri sabitlenip özgül yakıt tüketimleri incelendiğinde biyodizel miktarına bağlı olarak özgül yakıt sarfiyatının arttığı ancak bu artışın çok fazla olmadığı görülmüştür. Tek tip bir yakıt için devir sayıları değiştirilerek elde edilen verilere göre en yüksek özgül yakıt sarfiyatı devamlı 2100 d/d 'da, en düşük ise genelde 1800 d/d 'da tespit edilmiştir.

Sonuçlardan da görüleceği gibi biyodizel yakıtı dizel yakıtına oranla motor gücünde ve momentinde bir miktar düşüşe neden olmuştur. Bunun sebebi biyodizelin alt ısı değerinin dizel yakıtına oranla yaklaşık % 10 düşük oluşu olarak gösterilebilir.

Çizelge 5.1 Euro değerleri karşılaştırması

EURO değerleri karşılaştırması						
Norm	Başlangıç *Yeni / Seri	CO g/kWh	HC g/kWh	No <sub>x</sub> g/kWh	PM g/kWh	Duman m <sup>-1</sup>
Euro 0	1988	12,3	2,6	15,8	-	-
Euro 1	1992/93	4,5/4,6	1,1/1,23	8,0/9,0	0,36/0,4	-
Euro 2	1996/97	4,0	1,1	7,0	0,15	-
Euro 3	2000/01	2,1	0,7	5,0	0,10	0,8
Euro 4	2005/06	1,5	0,5	3,5	0,02	0,5
Euro 5	2008/09	1,5	0,5	2,0	0,2	0,5
EEV	2000	1,5	0,3	2,0	0,2	0,15

\* Yeni = Yeni geliştirilen araçlar için uygulama yılı, Seri = Üretimde olan mevcut seri araçlar için uygulama yılı

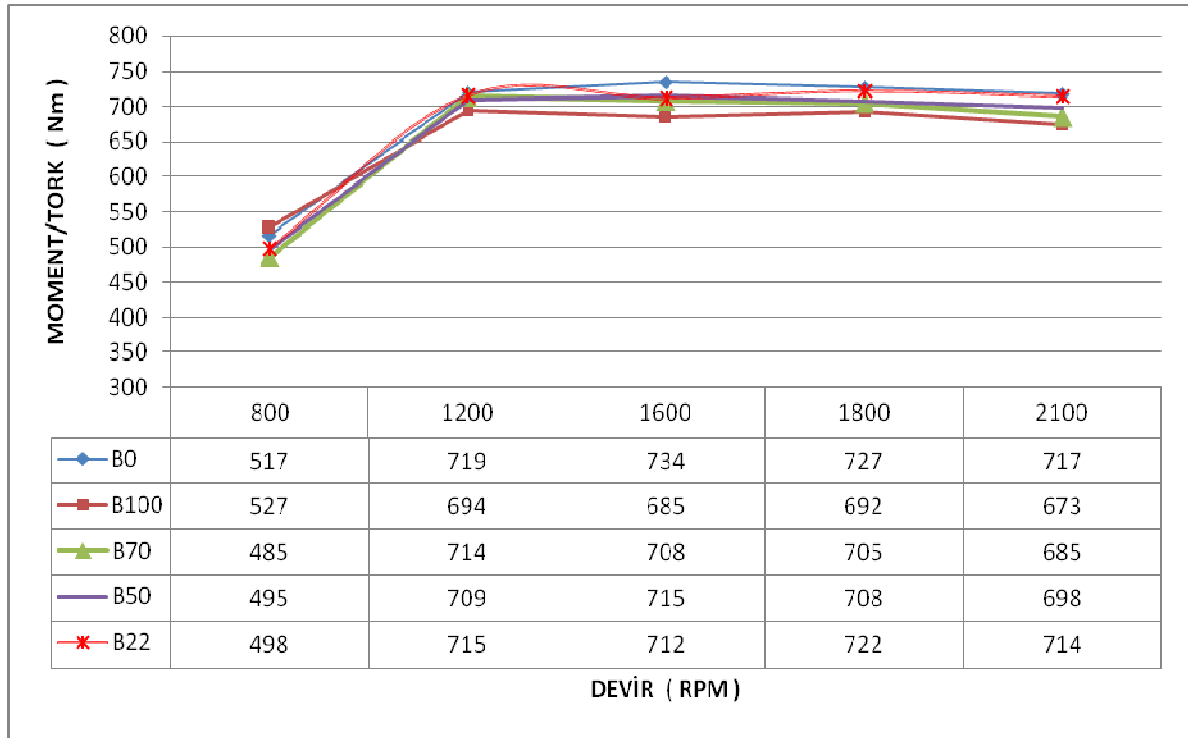
Murcak (2003) da yaptığı çalışmasında benzer sonuçlarla karşılaşmıştır. Motor moment değerlerini incelediğinde motorin ve % 10 biyodizel ilaveli olarak yapılan çalışmada maksimum moment değerini 2200 d/d'da elde ederken, % 5, % 15 ve % 20 biyodizel ilaveli yakıtlarla ise maksimum momenti 1800 d/d'da ölçmüştür. Biyodizel oranı arttıkça volumetrik verimin kötüleştiğini ve devir arttıkça moment değerinin düştüğünü tespit etmiştir. Düşük motor devirlerinde gücün arttığını, devir yükseldikçe düştüğünü görmüştür. Düşük motor devirlerinde biyodizel ilaveli yakıtlarla elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri standart yakıtla elde edilen değerlerden daha iyi elde edilmiştir. Devir yükseldikçe özgül yakıt tüketiminin kötüleştiğini tespit etmiştir.

Aydın ve Keskin (2000), pamuk yağı metil esterinin motorin ile belirli oranlardaki (% 30, % 50, % 70) karışımlarını tek silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yüksek motor hızlarında pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile motorda benzer moment değerleri gösterdiği, yüksek ve düşük motor devirlerinde güç değerlerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olduğu ve özgül yakıt tüketiminin de dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak rahatlıkla kullanılabileceğini ve bu karışımları alternatif yakıt olarak kullanan araçların egzoz emisyon testinden başarılı bir şekilde geçeceğini belirtmişlerdir.



## 5.1 Moment

Bütün yakıtlarla yapılan deneylerde maksimum motor momentini 1600 d/d'da elde edilmiştir. Bu devir aynı zamanda motorun kataloğunda verilen maksimum momentin elde edildiği devirdir. Deneylerdeki en yüksek motor momentini standart dizel yakıtı ile 734 Nm olarak 1600 d/d'da belirlenmiştir. Değişik oranlardaki biyodizel yakıtı ile elde edilen motor momentleri için; hem düşük hem de yüksek devirlerde standart dizel yakıtına nazaran daha düşük değerler tespit edilmiştir. Biyodizel miktarının artmasıyla düşük devirlerde kısmi artışlar olmuşsa da genel olarak yakıt içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça elde edilen moment değerlerinde düşüşler tespit edilmiştir. Biyodizelli yakıt karışımları içerisinde en yüksek moment değerine 1800 d/d'da B22 yakıtıyla 724 Nm ile erişilmiştir.

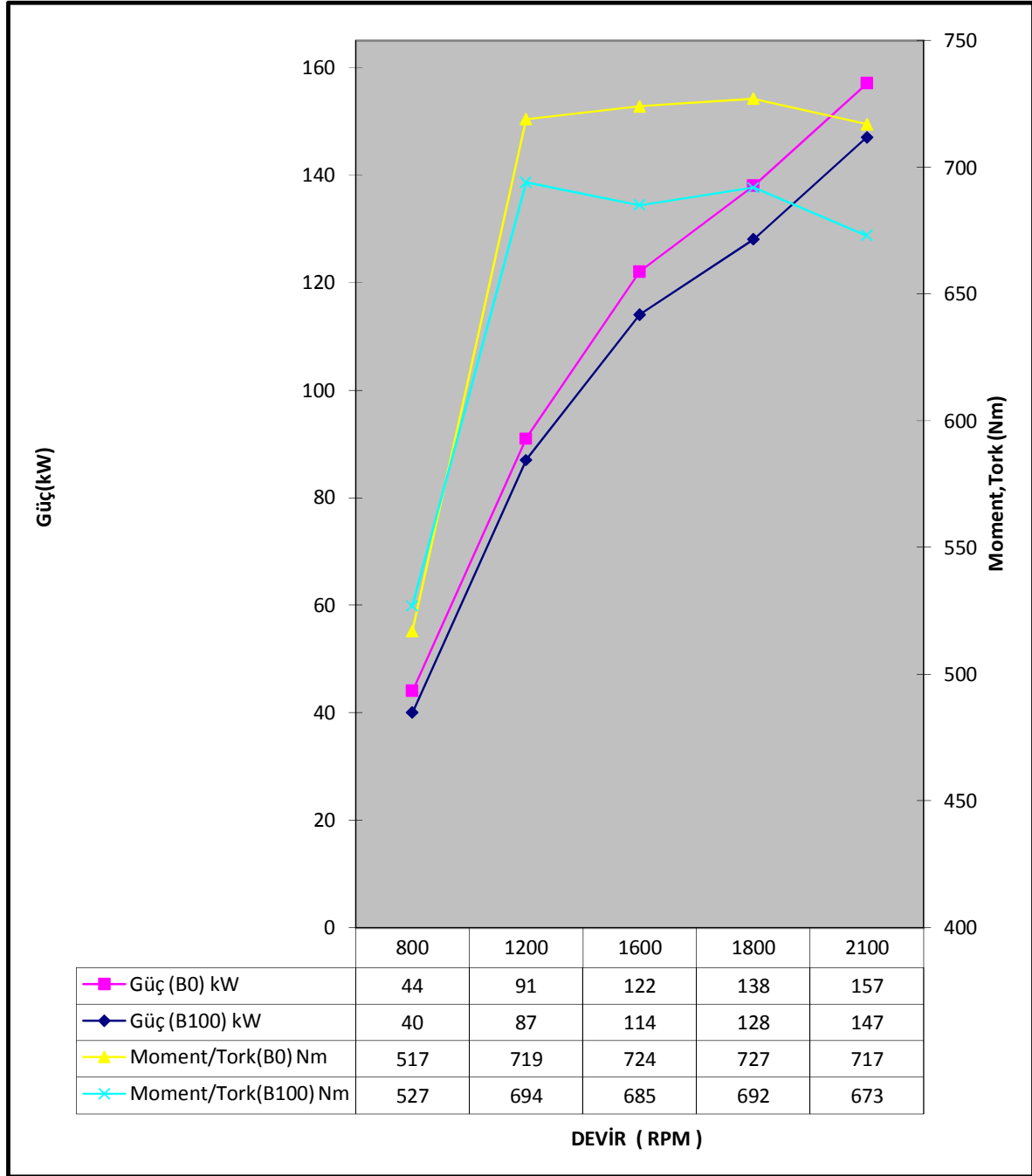


Şekil 5-1 Test motorunun devir – moment grafiği

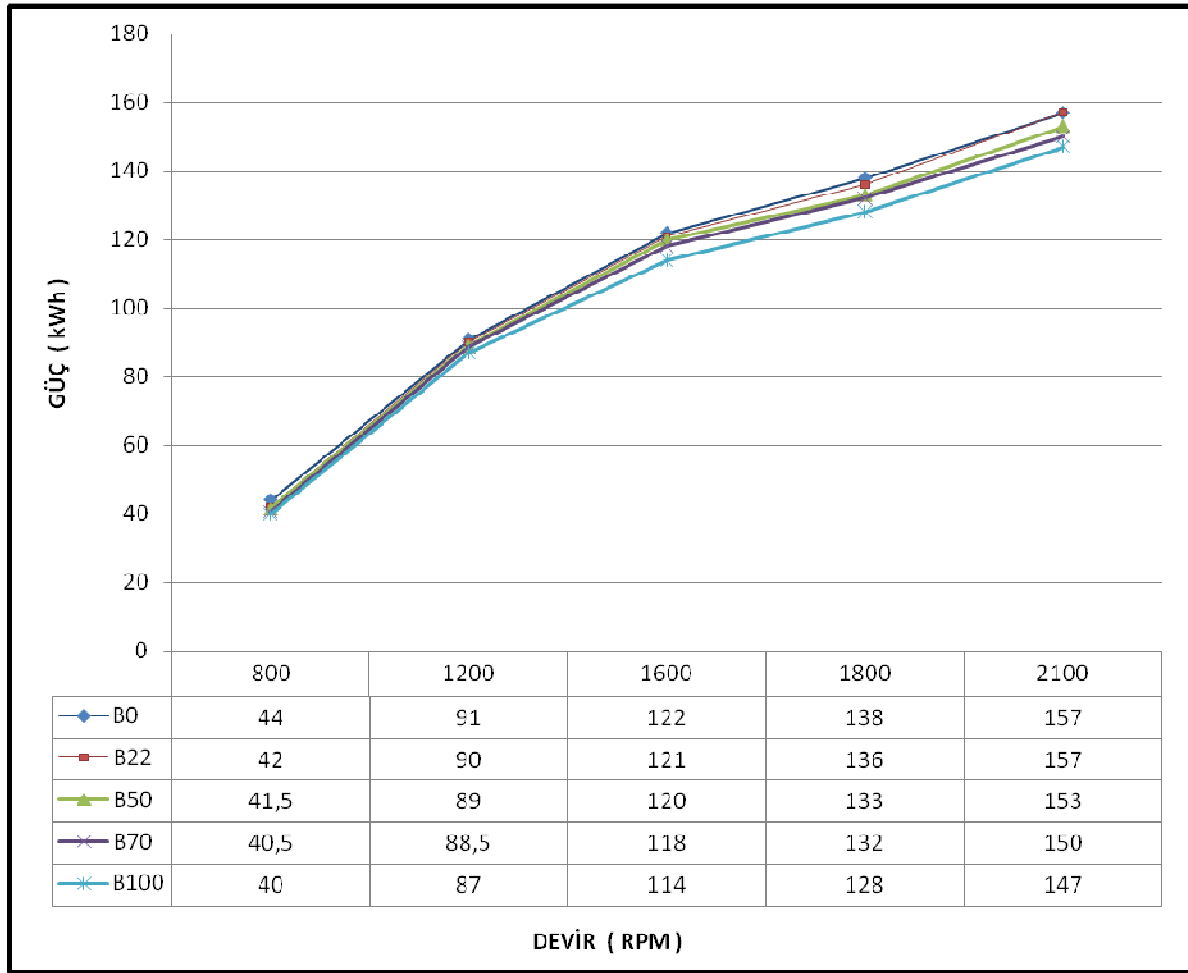
## 5.2 Motor gücü

Yapılan testlerde maksimum motor gücü 2100 d/d'da elde edilmiştir. Standart dizel yakıtı (B0) ve B22 yakıtı ile 2100 d/d'da aynı güç değerine (157 kW) erişilmiştir. Motorun her

devrinde, yakıt içerisindeki biyodizel miktarının artırılması ile motordan alınan güç değerleri düşmüştür.



Şekil 5-2 Test motorunun B0 ve B100 için güç-moment-devir grafiği

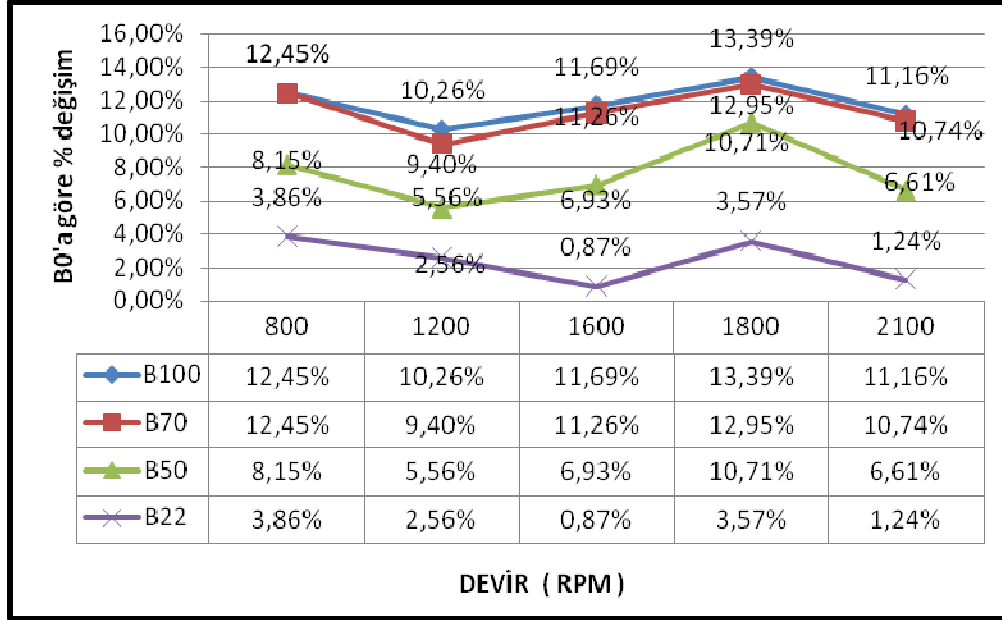


Şekil 5-3 Test motorunun güç - devir grafiği

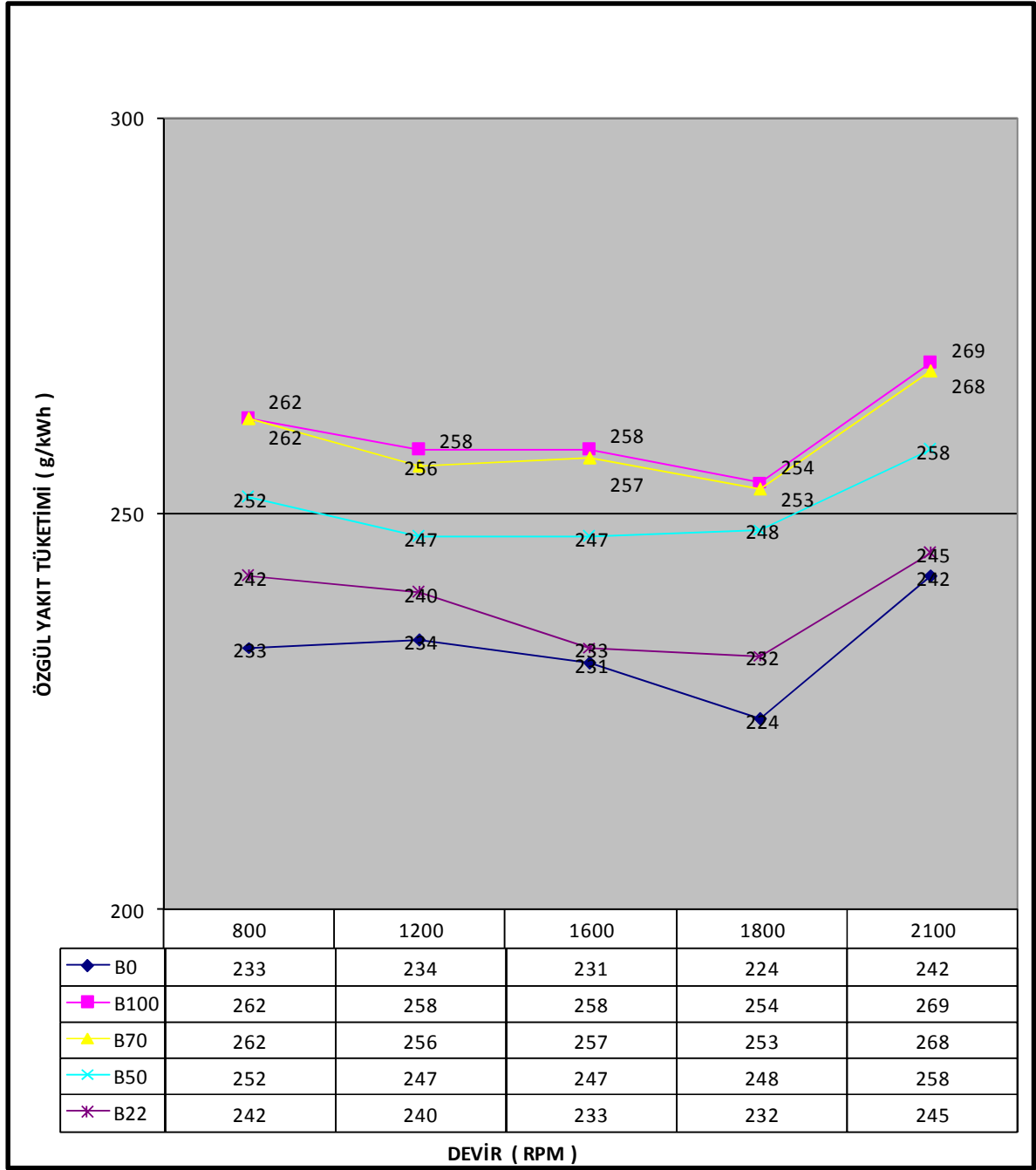
### 5.3 Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi değerleri, motorun her devrinde yakıt içerisindeki biyodizel miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Biyodizel yakıtının deney dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olması özgül yakıt sarfiyatının yüksek olmasının nedenlerinden biridir. Motor devir sayısı arttıkça özgül yakıt tüketiminde yakıtın her tipi için azalma görülmüş olmasına rağmen, sadece 2100 d/d için bütün yakıt türlerinde, özgül yakıt tüketiminin maksimum değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni; efektif yanmanın erken safhalarda olmaması, bundan dolayı egzoz gazları ile oluşan enerji kaybının artması ve termik verimin düşmesi olabilir.

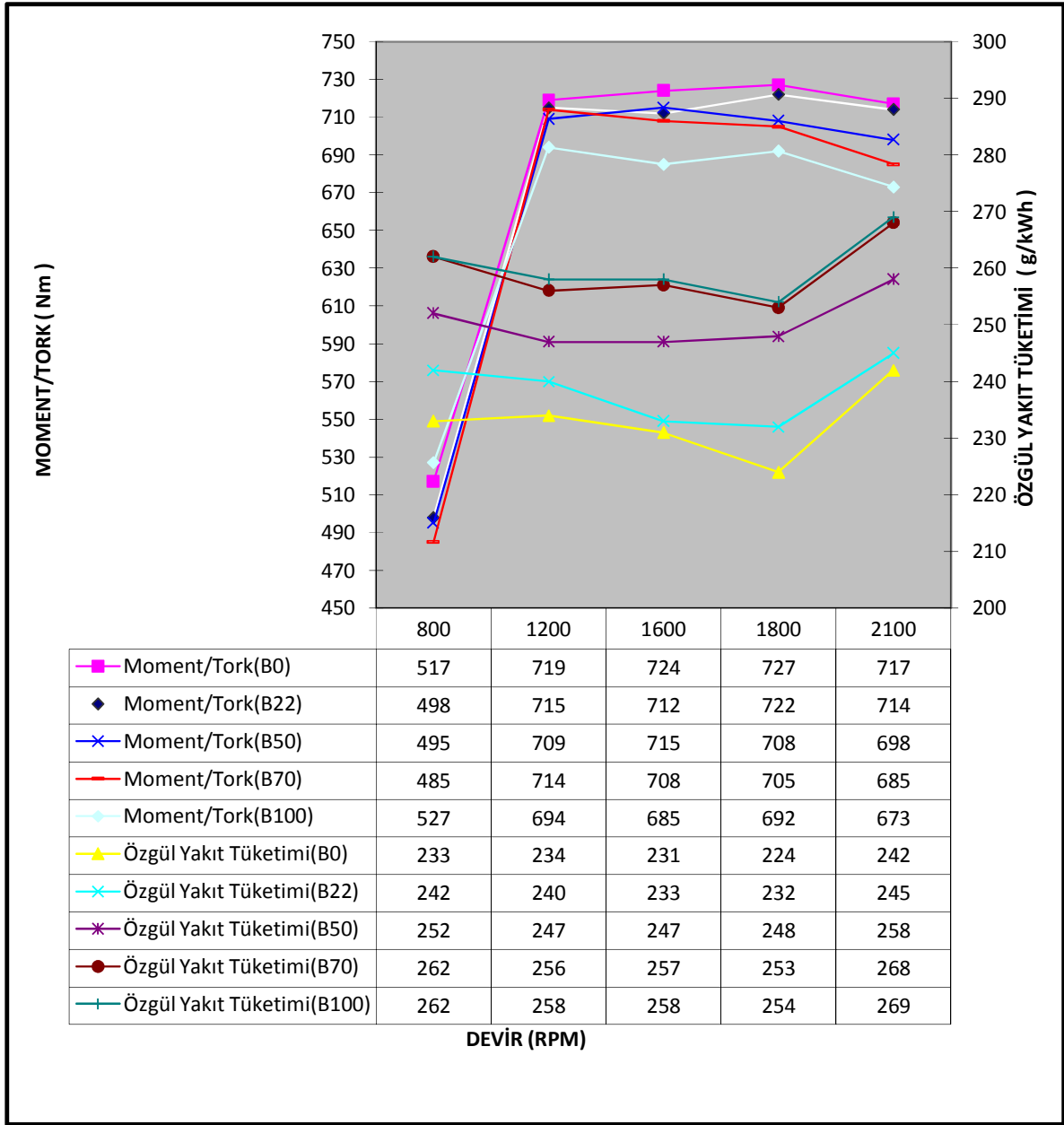
Şekil 5.5'te farklı oranlardaki biyodizel karışımlarının standart dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimindeki yüzdelerdeki değişimler gösterilmiştir. Buna göre; her devirde özgül yakıt tüketimlerinde B0'a göre en iyi sonucu B100 vermiştir. Ortalama olarak % 12'lik bir iyileşme tespit edilmiştir. Standart dizel yakıtına en yakın sonuçları B22 vermiştir. Özgül yakıt sarfiyatında B22 ile maksimum yaklaşık olarak % 4 iyileşme görülmüştür.



Şekil 5-4 Farklı devirlerde değişik oranlardaki biyodizel yakıtlarının ÖYT'deki B0'a göre % değişim



Şekil 5-5 Test motorunun özgül yakıt tüketimi - devir grafiği

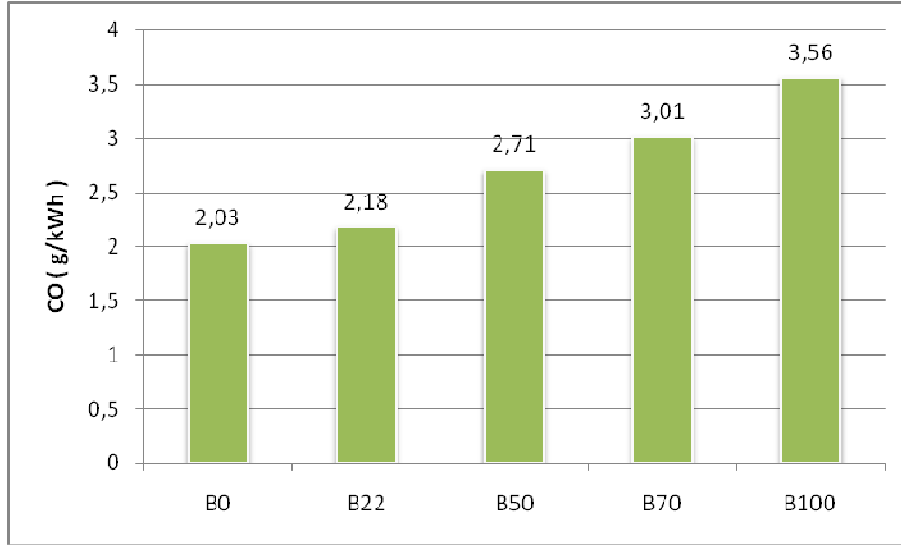


Şekil 5-6 Test motorunun değişik yakıtlarda moment - özgül yakıt tüketimi - devir grafikleri

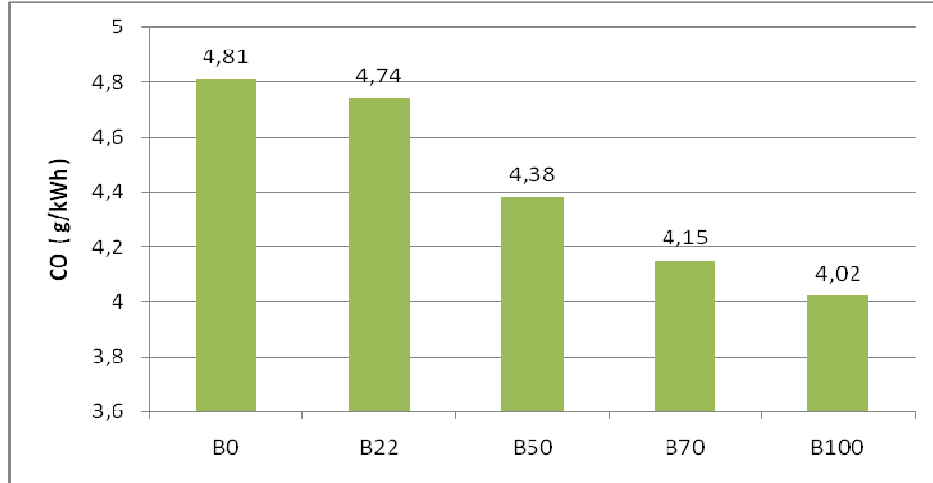
#### 5.4 Karbonmonoksit (CO) emisyonu

Motor devir sayısı sabitlenerek farklı oranlardaki biyodizel yakıtının ve standart dizel yakıtının CO emisyon değerleri tespit edilmiştir. Genel olarak biyodizel miktarının artırılması ile CO emisyonlarında artış görüldüğü söylenebilir. Buna karşılık motor devir sayısı arttırıldıkça, biyodizel ve standart dizel yakıtları için CO emisyonlarında düşüşler tespit

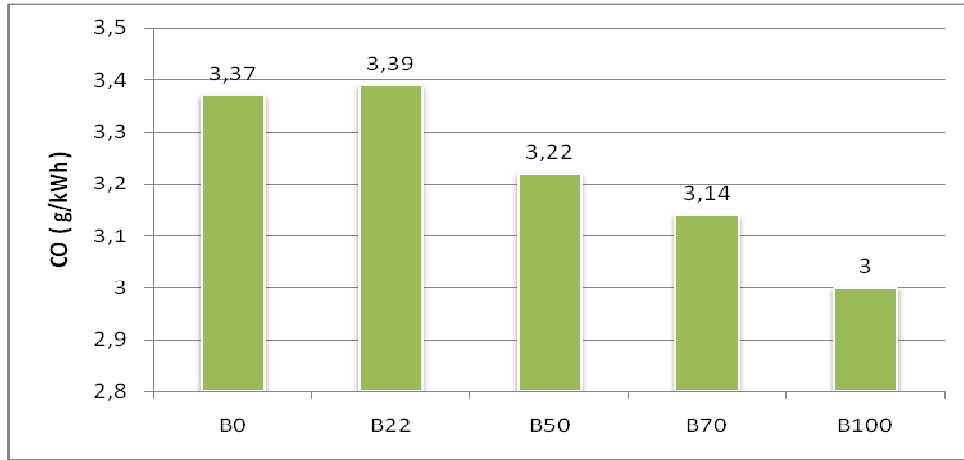
edilmiştir. Motordan ilk olarak verileri alınan 800 d/d'daki CO emisyon değerleri buna dahil değildir. Düşük devirde CO emiyonunda kısmi artışlar görülmüştür.



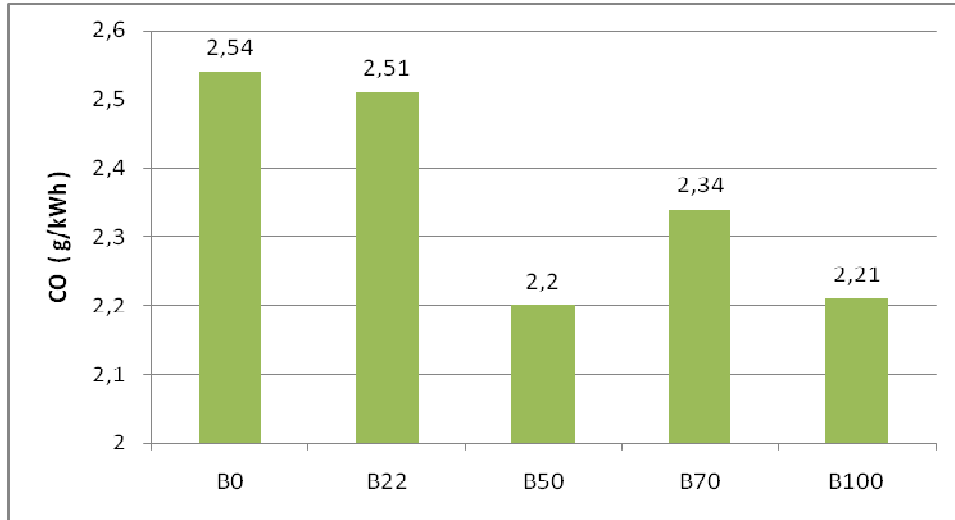
Şekil 5-7 800 d/d'daki CO emisyonu



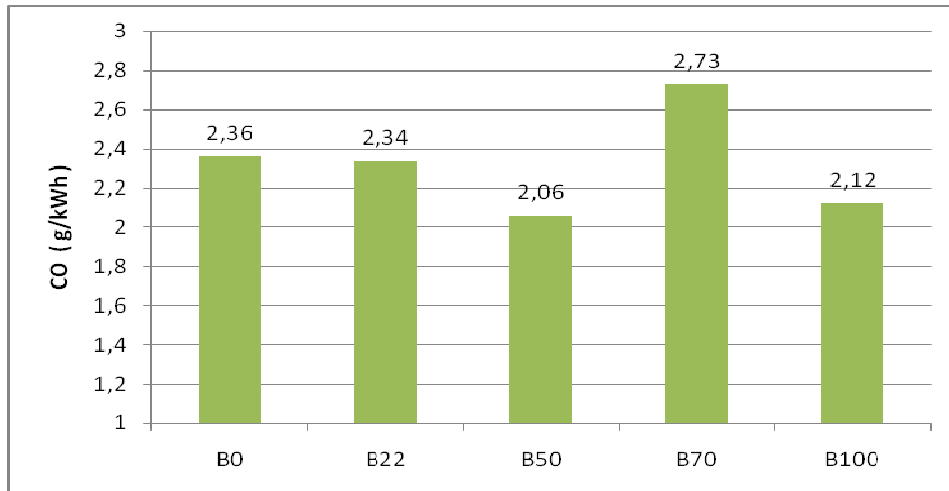
Şekil 5-8 1200 d/d'daki CO emisyonu



Şekil 5-9 1600 d/d'daki CO emisyonu



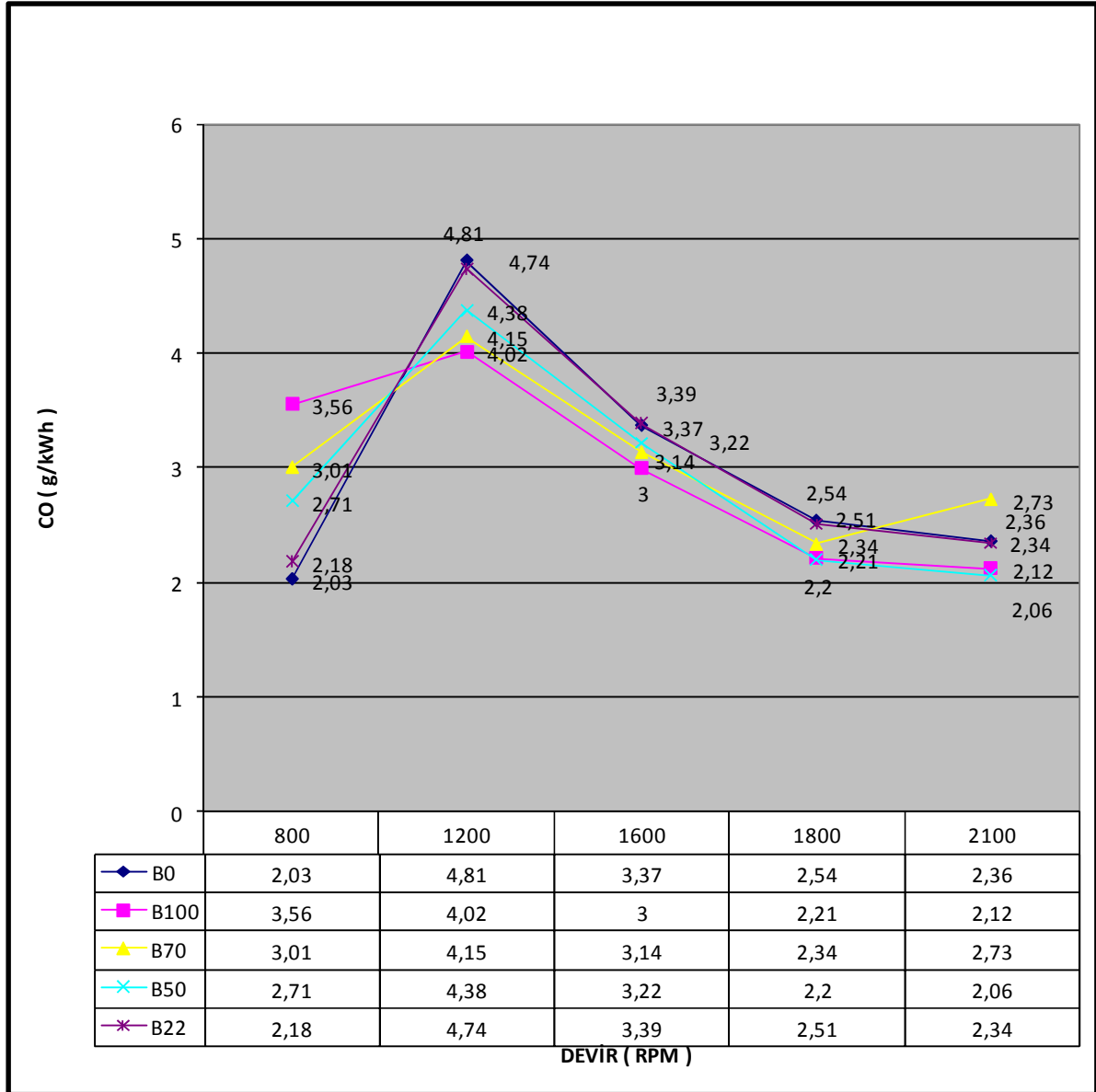
Şekil 5-10 1800 d/d'daki CO emisyonu



Şekil 5-11 2100 d/d'daki CO emisyonu



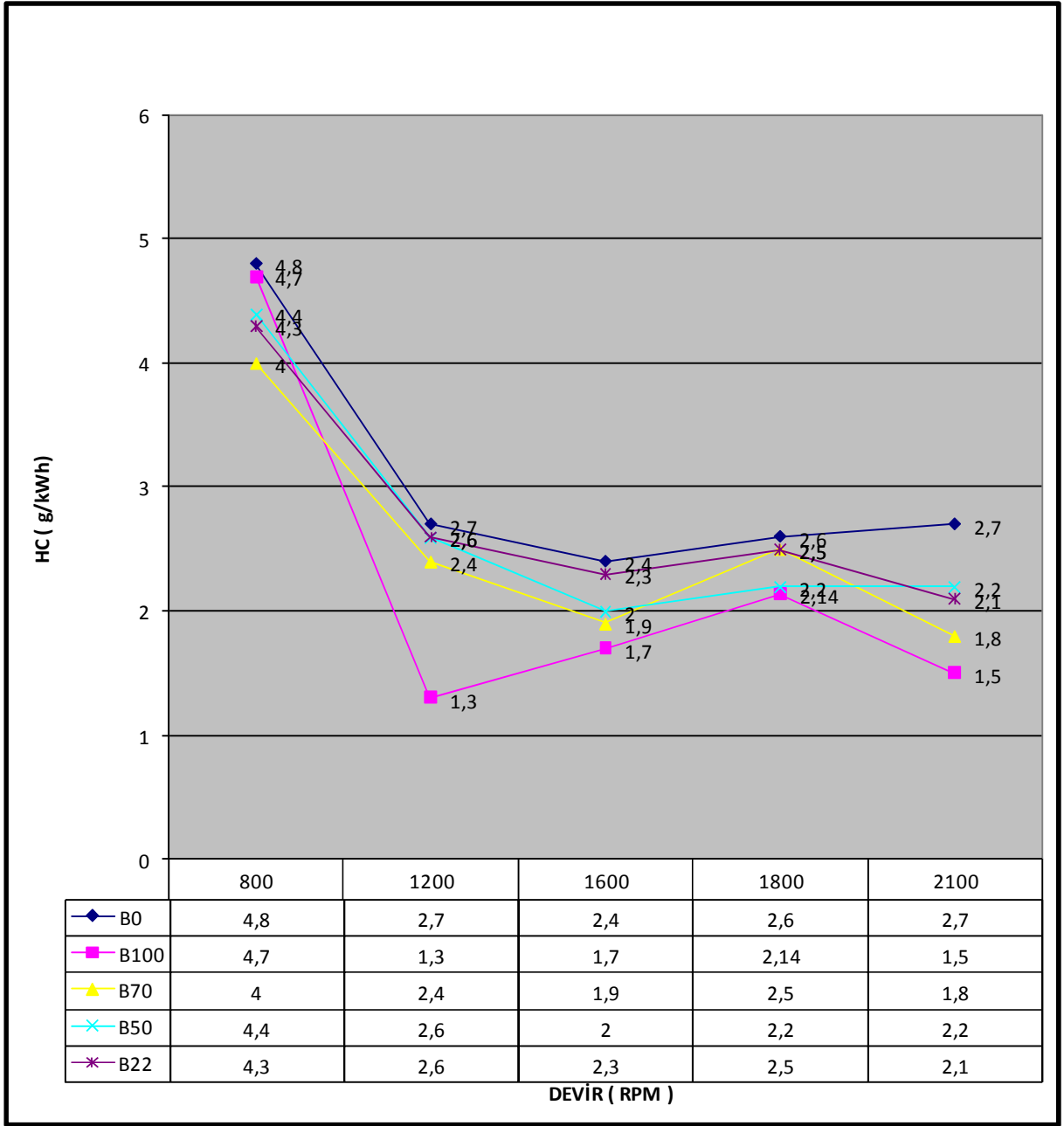
800 d/d gibi düşük devirlerde biyodizel miktarının arttırılmasıyla, biyodizel yakıt özelliğinden kaynaklanan fazla viskozite ve türbülansın azlığından dolayı, yakıtın atomizasyonu ve buharlaşması zor olmakta, bu da zengin yanma ve yanmanın kötüleşmesiyle birlikte yüksek CO emisyonu anlamına gelmektedir. Devir arttıkça biyodizelin CO emisyonları, standart dizel yakıtının emisyon değerlerinin altına düşmektedir. CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel sebebi; biyodizelin, dizel yakıtına nazaran daha az karbon ihtiva etmesi ve yapısında oksijen bulundurmasıdır. Yakıt yapısındaki oksijen tam yük durumunda yakıtın zengin olduğu bölgelerde, oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın iyileşmesini sağlamaktadır. Böylece CO emisyonunu azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır. Ajav 1999, Choi ve Reitz 1999, yaptıkları deneylerde CO emisyonları için aynı sonuçları elde etmişlerdir. Şekil 5.12 de deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki CO emisyonları görülmektedir.



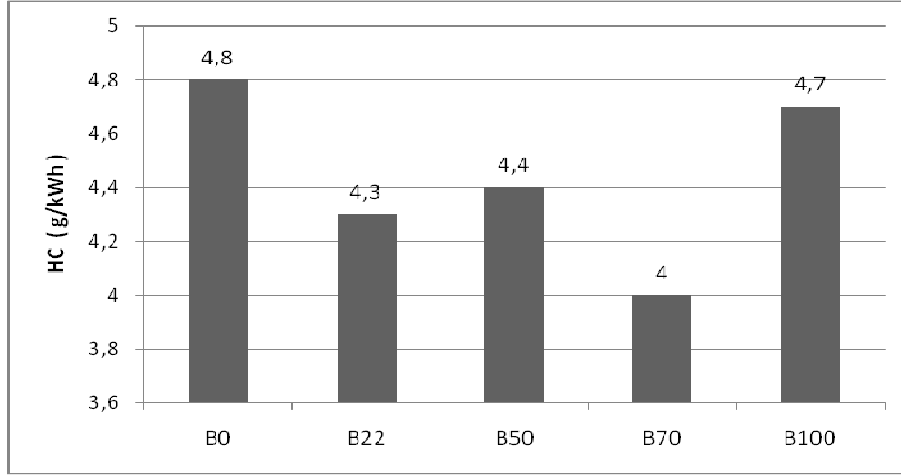
Şekil 5-12 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki CO emisyonları

## 5.5 Hidrokarbon (HC) emisyonu

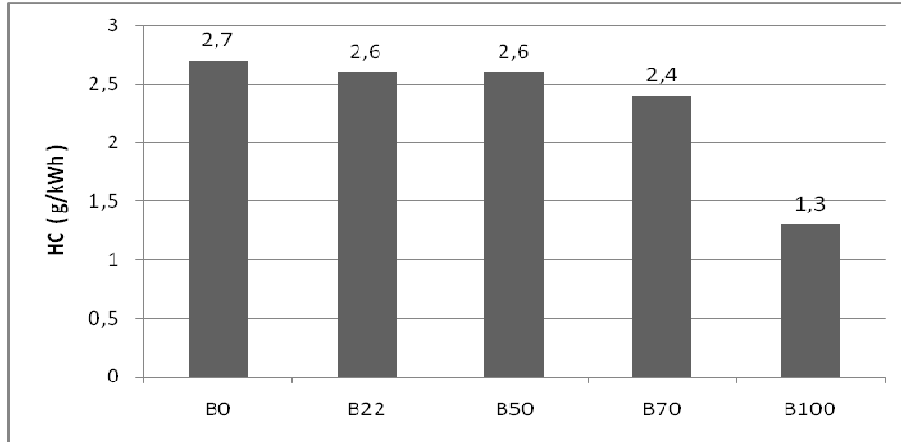
Yapılan testlerde yakıtta biyodizel ilavesiyle HC emisyonlarında genel olarak iyileşmeler görülmüştür. Düşük devirlerde kısmi artışlar tespit edilmişse de devir sayıları artırıldığında biyodizel miktarının artırılmasına bağlı olarak HC emisyonlarında düşüşler tespit edilmiştir.



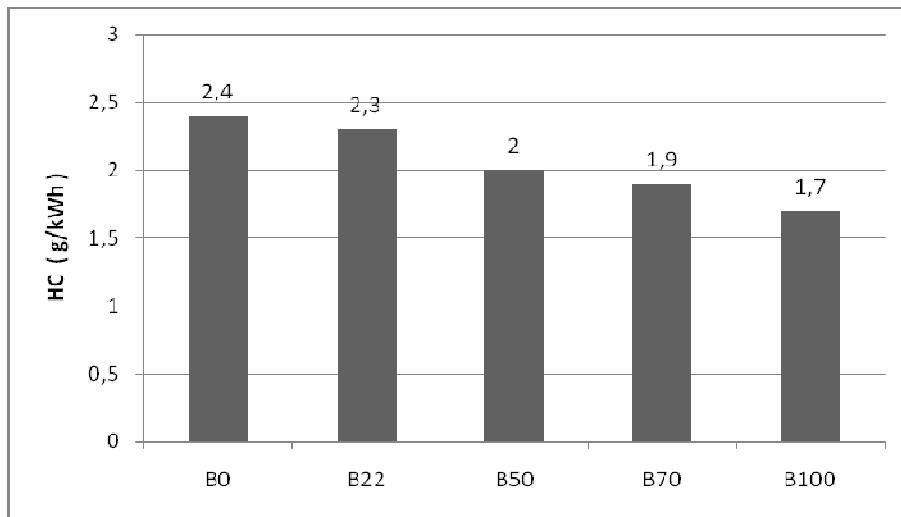
Şekil 5-13 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki HC emisyonları



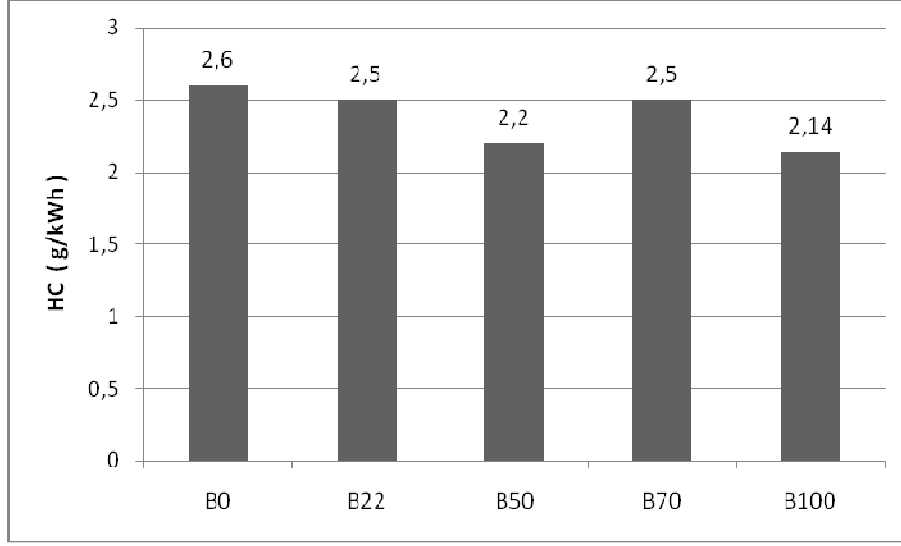
Şekil 5-14 800 d/d'daki HC emisyonları



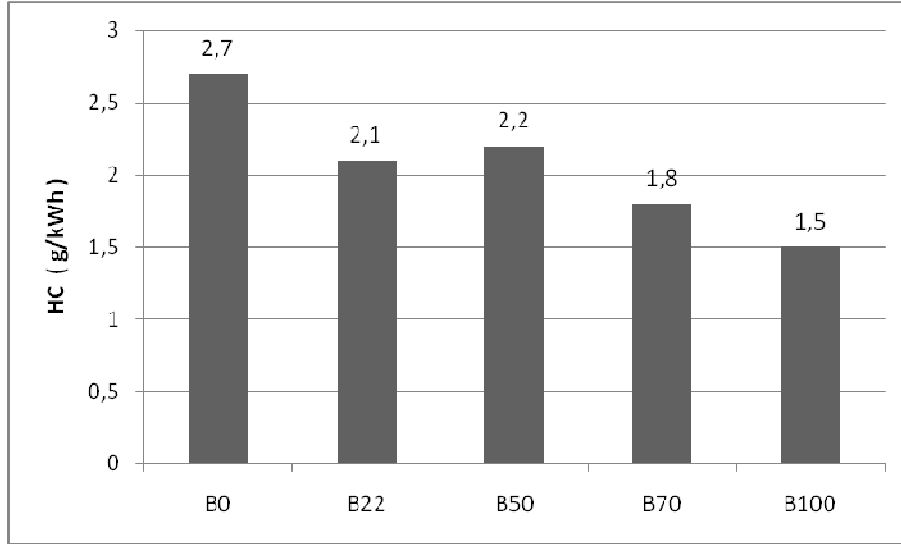
Şekil 5-15 1200 d/d'daki HC emisyonları



Şekil 5-16 1600 d/d'daki HC emisyonları



Şekil 5-17 1800 d/d'daki HC emisyonları



Şekil 5-18 2100 d/d'daki HC emisyonları

Dizel motorlarda yanma odası içersindeki karışım homojen olmadığından yanma için yeterli oksijenin bulunmadığı aşırı zengin ve düzgün bir yanmanın gerçekleşmeyeceği aşırı fakir bölgeler oluşabilmektedir. Bu bölgelerdeki yakıtın bir kısmı sonradan okside olabilsede bir kısmı da yanmadan kalabilmektedir. Aşırı fakir bölgeler özellikle düşük yüklerde çalışırken oluşan HC emisyonlarının başlıca nedenlerindedir (şekil 5.13).

Aşırı fakir bölgelerden kaynaklanan HC emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen karışım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinin uzaması ile oluşan HC

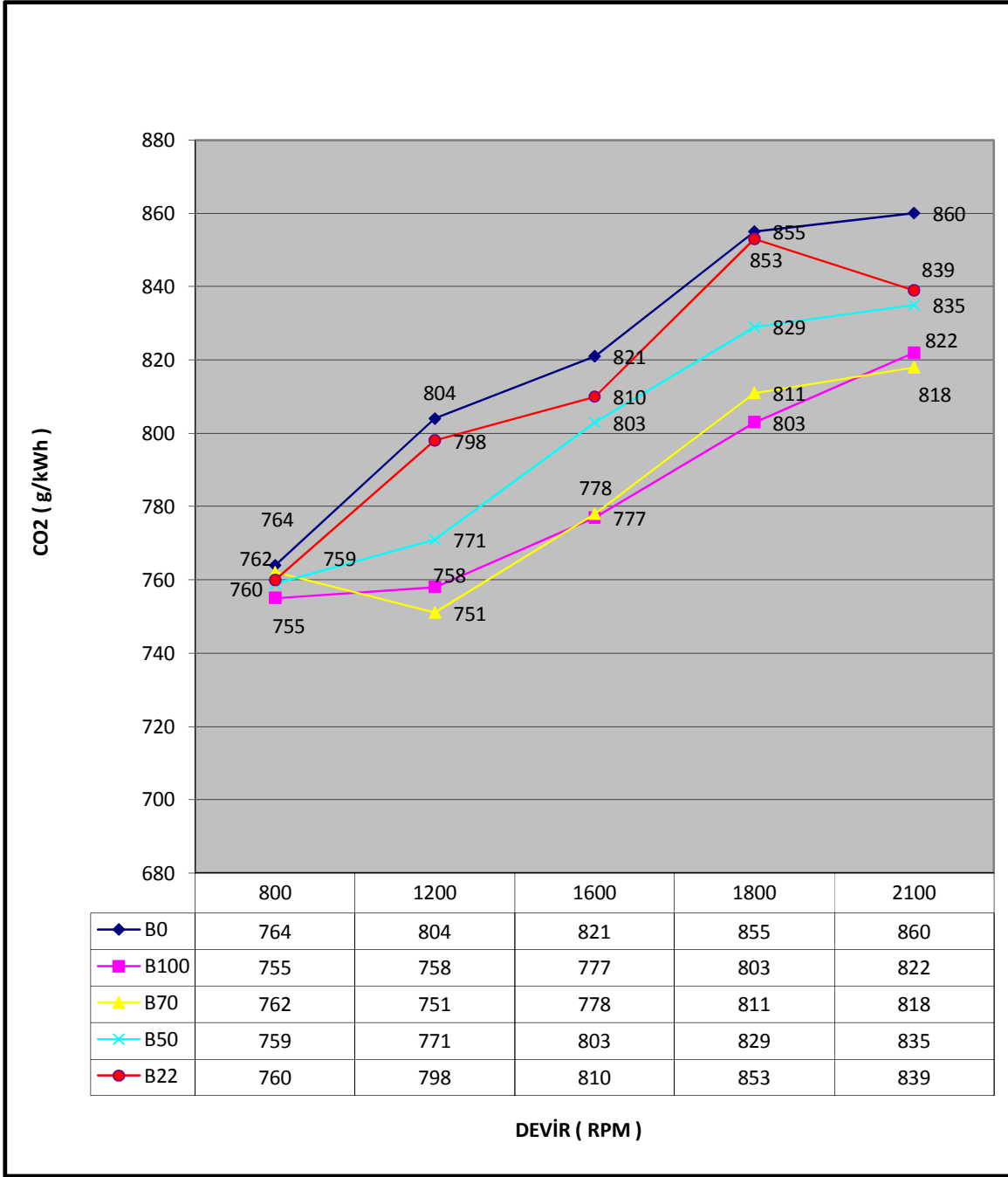
emisyollarının giderek arttığı söylenebilir. Yakıt enjeksiyonu sırasında enjektör iğnesinden kaynaklanan yakıt buharı, silindir içerinde yanmaya hiç katılamadan atılmakta ve bu durum da HC emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Diğler neden ise silindir içine fazla yakıt alınmasından ve/veya karışımın heterojen olmasından kaynaklanan tam olarak yanamayan aşırı zengin bölgelerdir. Bunların dışında enjektörlerin dizaynı da dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yakıtın püskürtülmesi tamamlandığında enjektörden herhangi bir kontrolsüz püskürtme veya damlama gerçekleşmemelidir. Aksi bir durum HC emisyonlarının artışa neden olabilmektedir.

## **5.6 Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu**

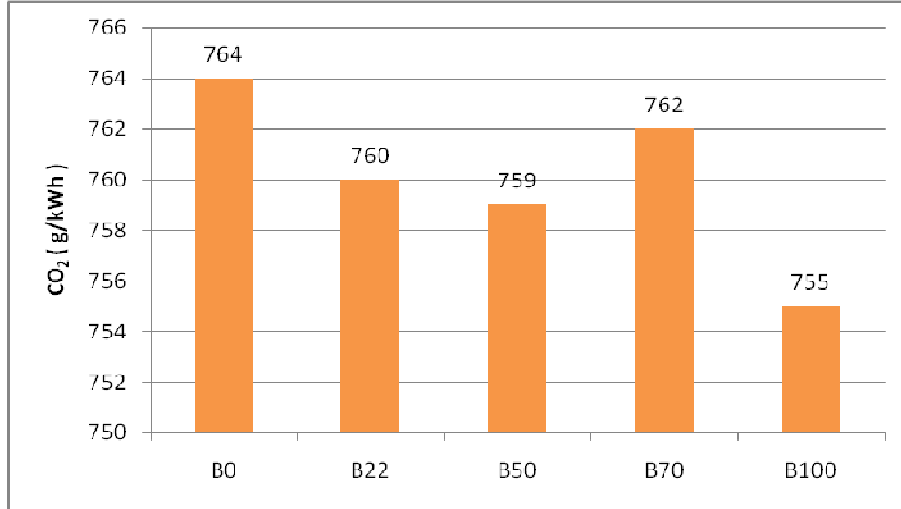
Test motorundan elde edilen veriler ışığında motorun hemen hemen her devrinde yakıt içerisindeki biyodizel miktarının artırılmasına bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarında düşüş tespit edilmiştir. Düşük motor devirlerinde, 800 d/d' da B70 ile yapılan deneyde CO<sub>2</sub> emisyonunda B50'ye nazaran bir artış gözlenmiş olup bu artışın, yanma esnasında havanın, hava-yakıt karışımına fazla katılmasıyla mümkün olabileceği ya da anlık yakıt tüketiminin 800 d/d'da B70 ile yapılan deneyde daha fazla olması sonucu oluşabileceği sonucuna varılmıştır.

Moment arttırıldıkça hemen hemen her yakıt için CO<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar tespit edilmiştir. Bunun nedeni artan tork ile beraber silindir içerisinde yanmaya katılan havanın da artmasıdır.

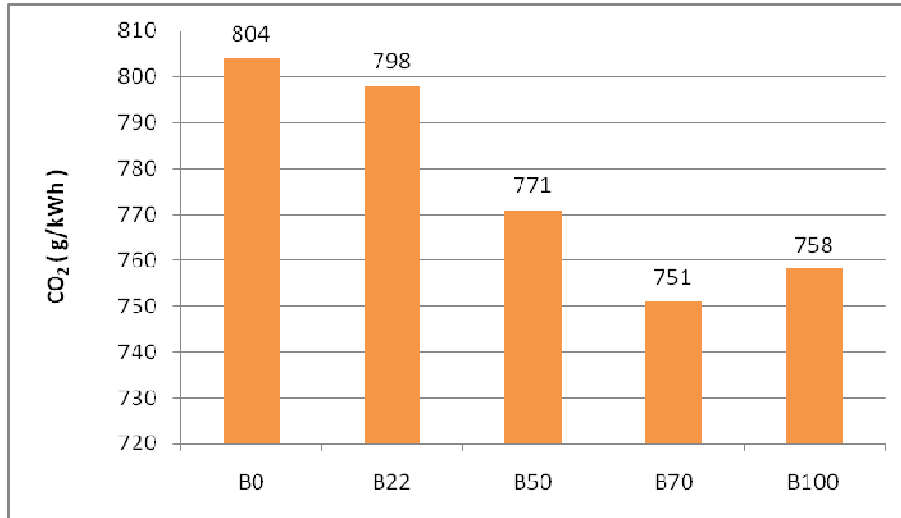
Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının miktarı yakılan yakıt miktarına bağlıdır. Tüketilen yakıt ile birlikte üretilen CO<sub>2</sub> gazları da artacaktır. Biyodizel yakıtları tam yük durumunda daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonları üretmiştir. Bunun nedeni; silindir içerisinde hava-yakıt karışımının iyi olmaması ve türbülanssız yanma olabilir. Bu durum literatürdeki çalışmalarda elde edilen genel sonuçlardan farklıdır. Normalde hacimsel olarak aynı miktarda püskürtülen dizel yakıtı ve biyodizel yakıtı arasında kütlelesel olarak biyodizel yakıtının daha ağır olması sebebiyle CO<sub>2</sub> emisyonları bakımından bir artış olması öngörülmektedir. Ancak yapılan testlerde CO<sub>2</sub> emisyonlarında düşüşler görülmüştür.



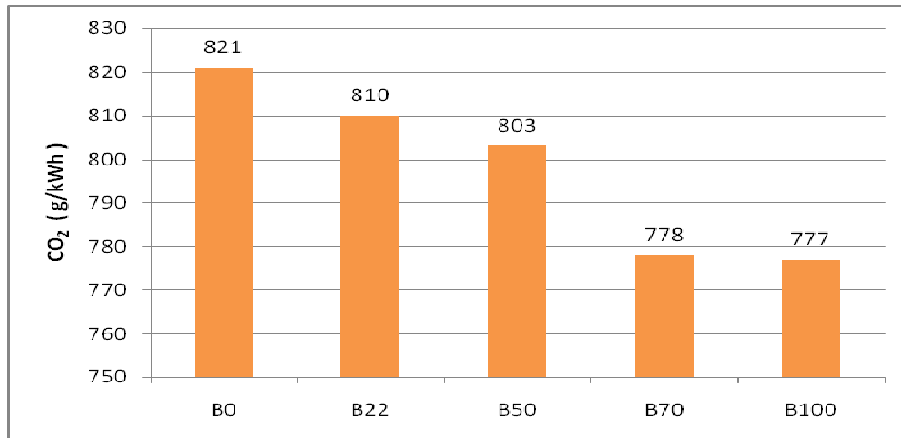
Şekil 5-19 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki CO<sub>2</sub> emisyonları



Şekil 5-20 800 d/d'daki CO<sub>2</sub> emisyonları

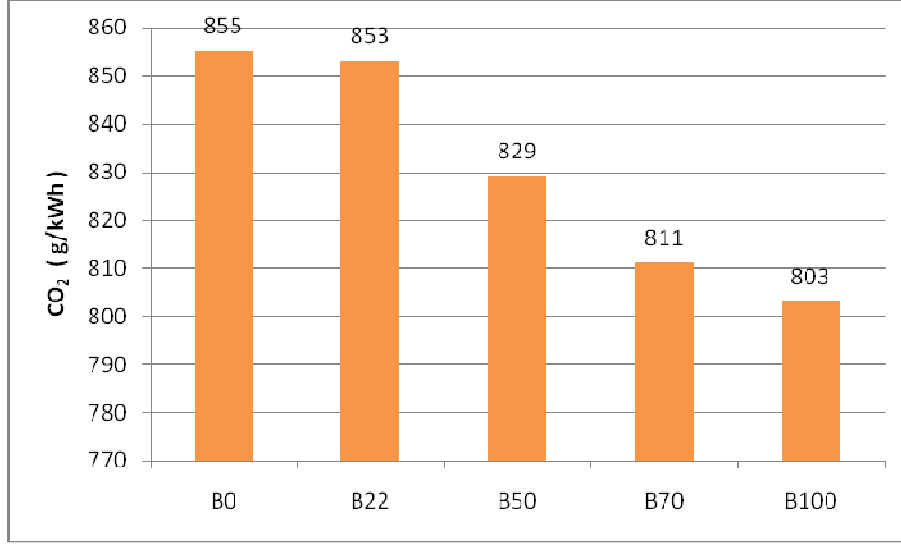


Şekil 5-21 1200 d/d'daki CO<sub>2</sub> emisyonları

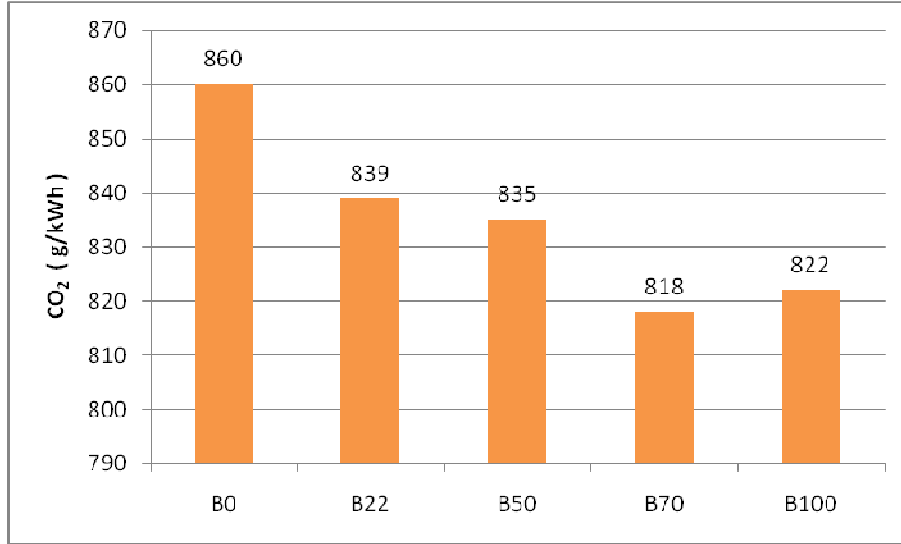


Şekil 5-22 1600 d/d'daki CO<sub>2</sub> emisyonları





Şekil 5-23 1800 d/d'daki CO<sub>2</sub> emisyonları



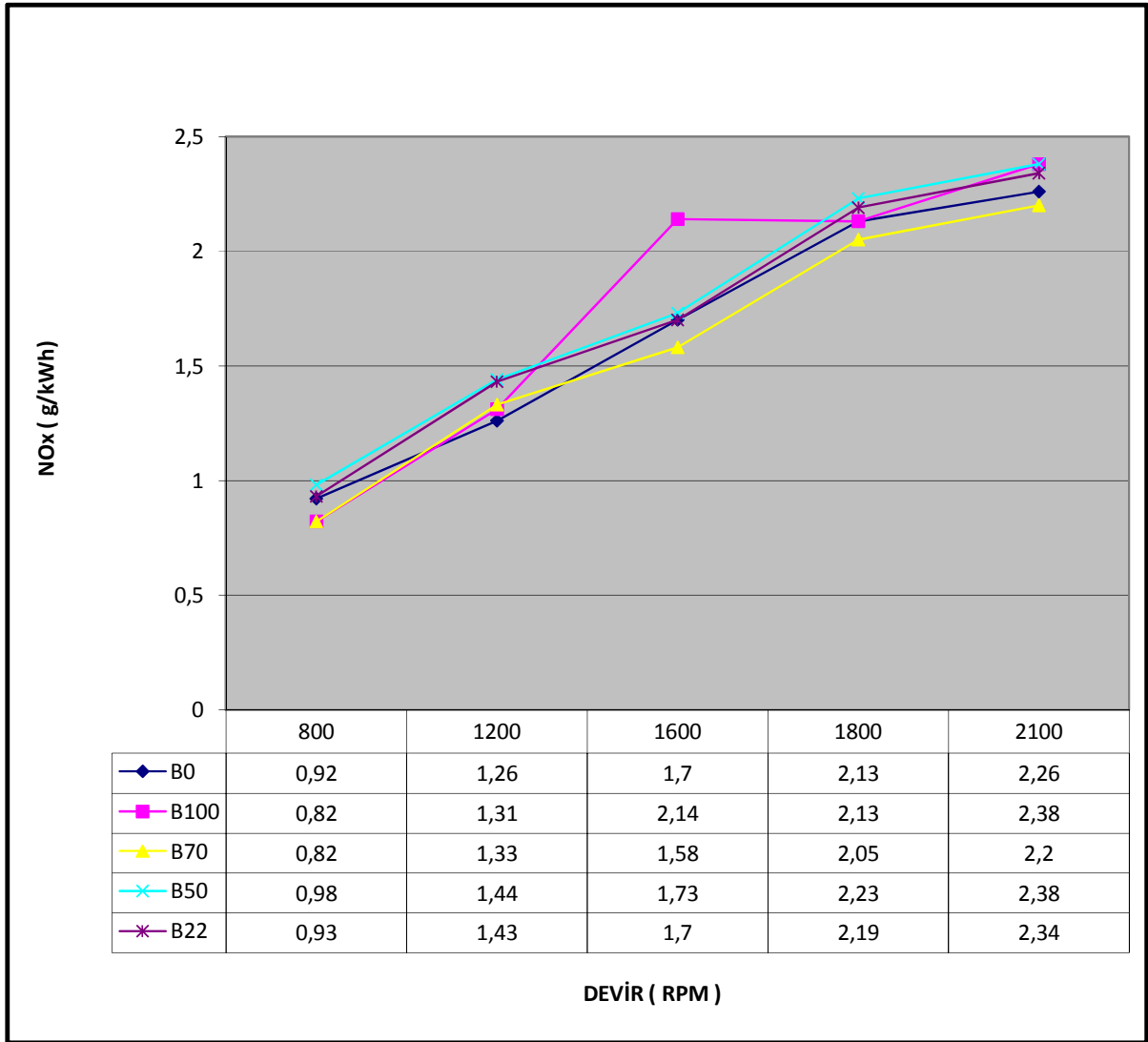
Şekil 5-24 2100 d/d'daki CO<sub>2</sub> emisyonları

### 5.7 Azotoksit (NO<sub>x</sub>) emisyonu

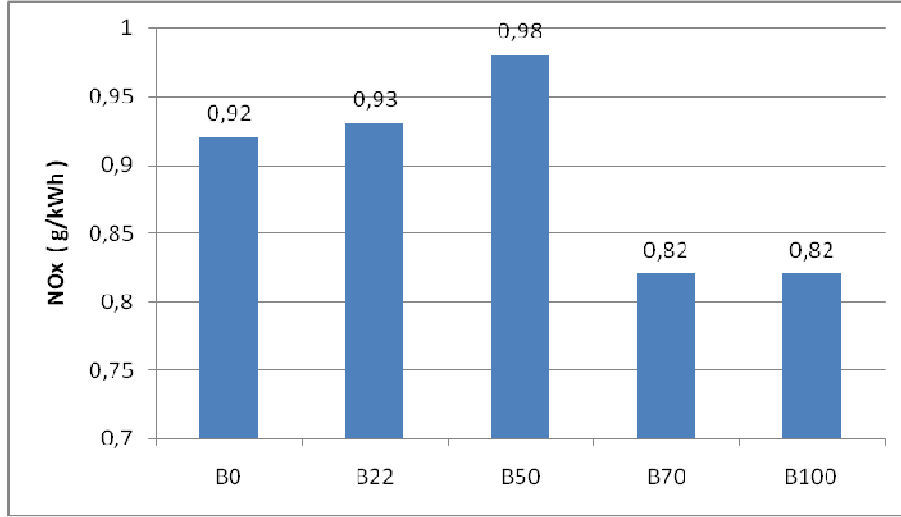
Azotoksitler genel olarak motorlarda yakıtın yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu oluşurlar. Dizel motorlarında homojen olmayan hava yakıt dağılımı, NO<sub>x</sub> emisyonlarını etkileyen faktörlerin artmasına sebep olmaktadır.

Testlerde en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları B100 ve B50 biyodizel yakıtları ile 2100 d/d 'da 2,38 g/kWh olarak belirlenmiştir. Test motoru devir sayısı arttırıldıkça NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış

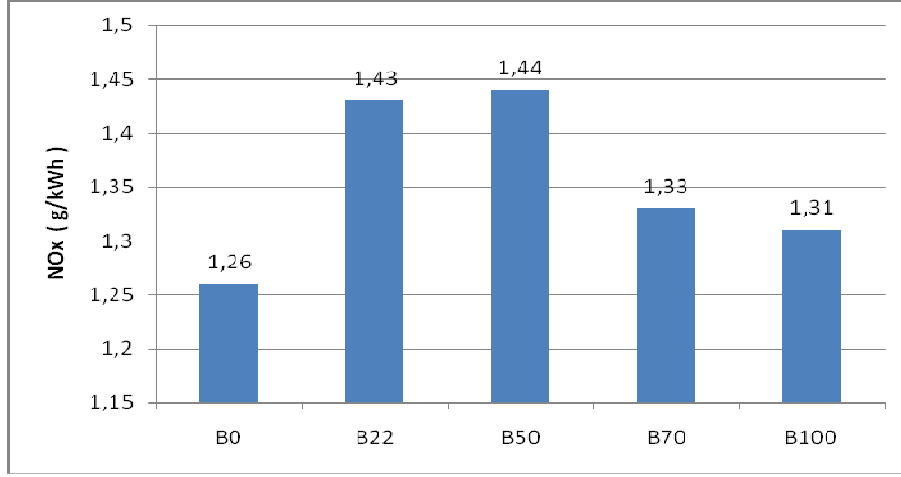
görülmüştür. Her yakıt için sabit devirlerdeki NO<sub>x</sub> emisyonlarının karşılaştırmasında, bazı devirlerde hem artışlar hem de düşüşler tespit edilmiş olup, yakıt içerisine biyodizel ilavesinin NO<sub>x</sub> emisyonlarında genel olarak olumsuz sonuç verdiği görülmüştür. En düşük NO<sub>x</sub> emisyonları motorun 1800 ve 2100 d/d gibi yüksek devir sayıları hariç hep standart dizel yakıtından elde edilmiştir. Bu yüksek devir sayılarında B70 biyodizel yakıtı ile en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerine ulaşılmıştır.



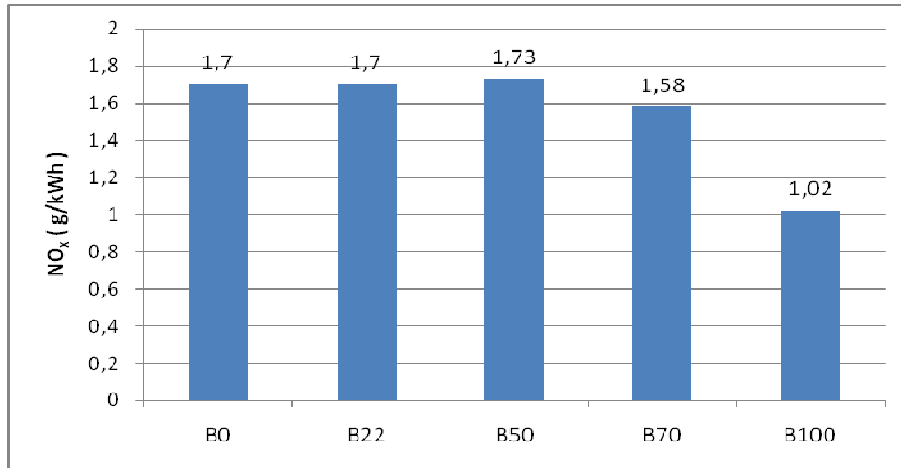
Şekil 5-25 Deneysel yakıtların motorun farklı devirlerindeki NO<sub>x</sub> emisyonları



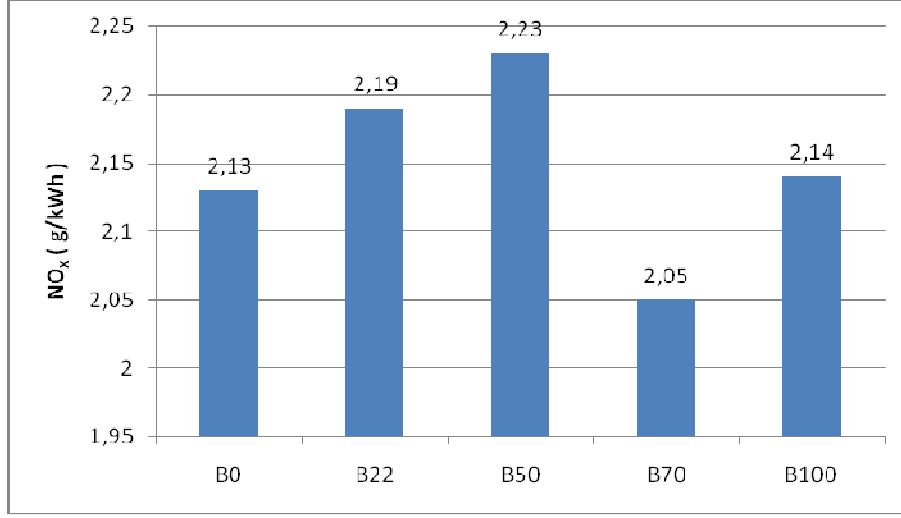
Şekil 5-26 800 d/d daki NO<sub>x</sub> emisyonları



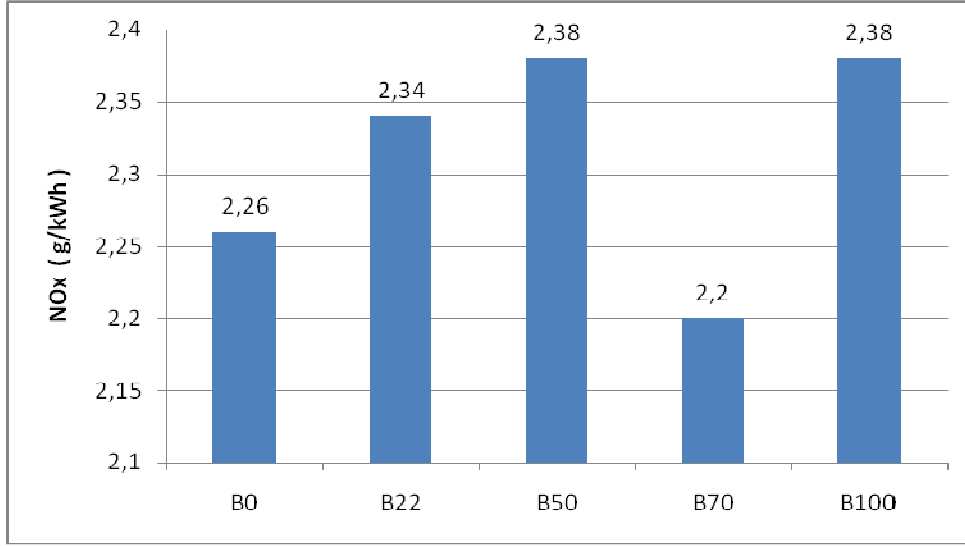
Şekil 5-27 1200 d/d daki NO<sub>x</sub> emisyonları



Şekil 5-28 1600 d/d daki NO<sub>x</sub> emisyonları



Şekil 5-29 1800 d/d daki NO<sub>x</sub> emisyonları

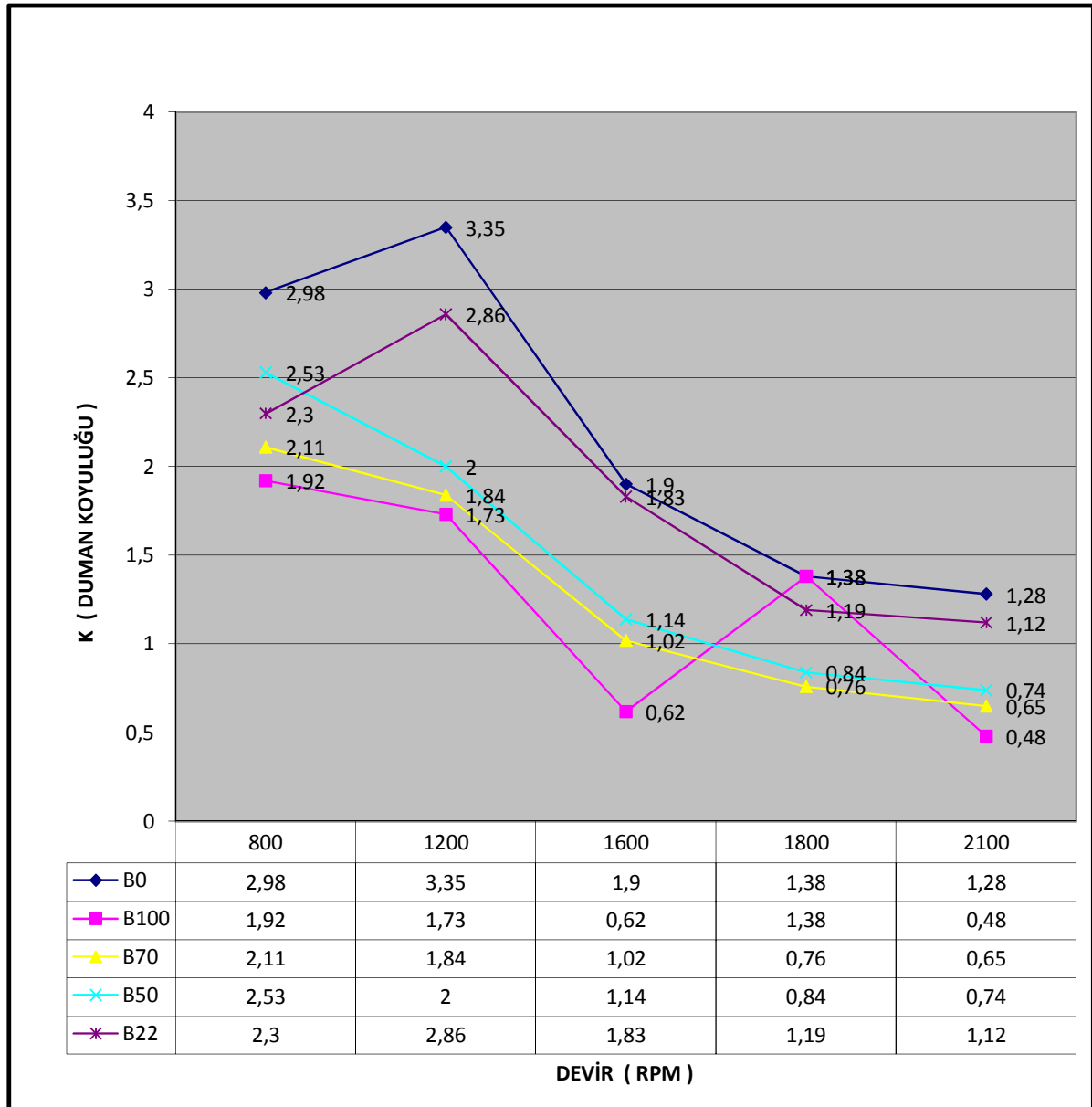


Şekil 5-30 2100 d/d daki NO<sub>x</sub> emisyonları

Genel olarak silindir ve egzoz tertibatı sıcaklıklarıyla ilgili olarak; ortam sıcaklığının ani bir şekilde düşmesinin NO<sub>x</sub> miktarının azalmasına yol açtığı söylenebilir. Düşük sıcaklıklarda durağan olan diğer gazlar da (O<sub>2</sub> ve su buharı gibi) artan sıcaklık ile birlikte aktif hale gelerek NO<sub>x</sub> oluşumuna katılırlar. Motor soğukken (ilk hareket durumu) NO<sub>x</sub> oluşumunun daha az olduğu söylenebilir. Bu da 800 d/d'daki emisyon değerlerini açıklamaktadır (şekil 5.26). NO<sub>x</sub> oluşumu sıcaklığın yanı sıra basınca, hava fazlalık katsayısına ve yanma süresine de bağlıdır.

## 5.8 Duman yoğunluğu

Sabit devirlerde yapılan ölçümlerde yakıt içerisinde biyodizel miktarının artırılmasıyla duman yoğunluğu miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Devir sayıları artırılarak her bir yakıt için ayrı ayrı yapılan testlerde ise genel olarak duman yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. B100 ile standart dizel yakıtı (B0) arasındaki duman yoğunluğu miktarlarına bakıldığında, B100 ile elde edilen değerlerin B0'a göre yaklaşık olarak % 35 ile % 70 arasında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5-31 Deney yakıtlarının motorun farklı devirlerindeki k (duman yoğunluğu) değerleri

## 5.9 Ekonomik analiz – İ.E.T.T. örneği

Deneilerin yapıldığı soya kaynaklı biyodizel yakıtının litre fiyatı 1,65 YTL'dir (www.epdk.gov.tr). Yapılan testler ve deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında motorinin motor performansına en yakın sonuçlar veren yakıtın B22 biyodizel karışımı olduğu, egzoz emisyonları yönünden en olumlu sonuçları veren yakıtın ise B100 biyodizel karışımı olduğu sonucuna varılmıştır. Üzerinde testlerini yaptığımız RABA-MAN D 2156 HM6UT Ikarus otobüs motorunun İ.E.T.T. otobüs filosu içindeki sayısı 1300'dür. Bu 1300 adet motor için B22 ve B100 kullanıldığında ortaya çıkacak maliyet analizi aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 5.2** B22 ile motorinin (B0) ekonomik analizi

Bir otobüsün günlük yaptığı km ortalaması	275 km
Bir otobüsün 1 litre dizel yakıt ile gideceği mesafe	2 km
Bir otobüsün günlük dizel yakıt tüketimi	137,5 litre / 275 km
Dizel yakıt ücreti	2,29 YTL / litre
Biyodizel yakıt ücreti ( % 100 biyodizel )	1,65 YTL / litre
B 22 ( % 22 biyodizel + % 78 dizel ) ücreti	<b>2,15 YTL / litre</b>
Otobüs başına günlük ortalama dizel yakıt harcaması	314,88 YTL
Otobüs başına aylık ortalama dizel yakıt harcaması	9.446,40 YTL
Otobüs başına günlük ortalama biyodizel yakıt harcaması (B22 için)	295,62 YTL
Otobüs başına aylık ortalama biyodizel yakıt harcaması (B22 için)	8.868,75 YTL
Otobüs başına günlük tasarruf	19,26 YTL
Otobüs başına aylık tasarruf	577,65 YTL

**Çizelge 5.3** B100 ile motorinin (B0) ekonomik analizi

Bir otobüsün günlük yaptığı km ortalaması	275 km
Bir otobüsün 1 litre dizel yakıt ile gideceği mesafe	2 km
Bir otobüsün günlük dizel yakıt tüketimi	137,5 litre / 275 km
Dizel yakıt ücreti	2,29 YTL / litre
Biyodizel yakıt ücreti ( % 100 biyodizel )	<b>1,65 YTL / litre</b>
Otobüs başına günlük ortalama dizel yakıt harcaması	314,88YTL
Otobüs başına aylık ortalama dizel yakıt harcaması	9.446,40YTL
Otobüs başına günlük ortalama biyodizel yakıt harcaması (B100 için)	226,87 YTL
Otobüs başına aylık ortalama biyodizel yakıt harcaması (B100 için)	6.806,25 YTL
Otobüs başına günlük tasarruf ( 314,88 – 226,87 ) YTL	88,01 YL
Otobüs başına aylık tasarruf ( 9.446,40 - 6.806,25 ) YTL	2.640,15 YTL

Yukarıdaki çizelelerde de görüleceği üzere B22 ve B100 kullanımlarında İ.E.T.T. filosundaki yaklaşık 1300 adet otobüsten elde edilecek ekonomik fayda oldukça önemli olmaktadır.

B22 ile araç başına aylık 577,65 YTL tasarruf söz konusudur. 1300 araç için bu miktar 750.945 YTL / ay olmaktadır. 1 yılda ise 9.011.340 YTL / yıl gibi bir yakıt tasarrufu mümkündür.

B100 ile araç başına aylık 2.640,15 YTL tasarruf söz konusudur. Bu rakam 1300 otobüs için ayda 3.432.195 YTL / ay tasarruf demektir. 1 yılda ise 41.186.340 YTL / yıl gibi tasarruf rakamlarına ulaşılabilir.

Gerek motor performanlarında ve gerekse de egzoz emisyonlarındaki olumlu etkilerinin yanında ekonomik olarak da yakıt masraflarında tasarrufu sağlayan biyodizel yakıtının dizel motorlarda verimli şekilde kullanılabilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

## 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dizel motorlarda ortaya çıkan zararlı bileşiklerin oluşum nedenleri yalnızca üretim teknolojilerine bağlı olmayıp aynı zamanda işletme uygunluğuna da bağlıdır. Son yıllarda kaydedilen çalışmalarda genel olarak petrol ve türevleri olan yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımları ile ilgili problemlerin giderilmesine yönelinmesi bir tesadüf değildir. Tüm toplumların beklentileri içerisinde; ‘daha temiz bir çevre’ ve darboğaz konumundaki ‘mevcut enerji kaynaklarının genişletilmesi’ gibi fikirler varken bu yöndeki çalışmalarda da beklentiler karşılanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar için, ekonomik ve politik yönden bakıldığında ülke çıkarlarının da belirleyici etkisi olduğu göz ardı edilemez. Bu yüzden adına ‘alternatif’ dediğimiz yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımları ile ilgili her türlü çalışma önem arz etmektedir.

Temelinde enerji ihtiyaçlarını yönlendirmek olan bu çalışmalarda farklı motor tipleri üzerinde deneyler yapılmış, gerek motor konstrüksiyonları ve gerekse de yakıt tipleri ve özellikleri ile ilgili olarak çeşitli sonuçlara varılmıştır.

Özelde bu alternatif yakıtların dizel motorlarında kullanımlarının araştırıldığı bu çalışmada etanol, metanol, doğalgaz, hidrojen ve biyodizelin dizel motorlarında kullanılabilme potansiyelleri ve örnek deneyler-çalışmalar incelenmiştir.

Örnek çalışmalar temel alınarak, dizel motorlarda alternatif yakıtların kullanımıyla ilgili varılan sonuçlar şöyledir:

- Dizel yakıtına etanol katkısının motor gücünü ve egzoz gazı emisyonlarındaki is seviyesini azalttığı belirlenmiştir. Motorine katılan etanolün miktarına bağlı olarak motor gücünün azalması, etanolün ısı değeri düşük olmasındandır. Enjeksiyon pompasında maksimum yakıt miktarı ayarı yapılırsa standart güç değerine ulaşılabilir.
- Etanolün soğuktaki akış özellikleri dizel yakıtına göre iyidir. Setan sayısı düşük ve gizli ısı değeri yüksek olduğundan soğukta ilk çalışmada zorluklar görülebilir. Bunları aşmak için motor üzerinde bazı değişiklikler yapılabilir. Daha büyük ısıtma bujileri kullanılabilir.
- Etanolün egzoz emisyonlarında, düşük motor yüklerinde CO ve HC



emisyollarında artış, yüksek motor yüklerinde azalma olurken, NO<sub>x</sub> emisyollarında ise artış gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar neticesinde motor vuruntusu nedeniyle kullanılacak alkolün maksimum oranının sınırlandırıldığını, % 25 konsantrasyonunda motorun düzgün bir şekilde çalışmadığı ve %10 oranında alkol miktarının motor performansı açısından en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

- Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısı yüksek. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır.
- Metanol aşırı derecede korozyona neden olmaktadır. Bunu aşmak için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldıracı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir.
- Metanol için yakıt tüketimi, egzoz emisyolları, soğuk çalışma koşulları ve motorun uzun dönem davranışları karşılaştırıldığında, % 30 - % 70 karışımı kullanılması durumunda aynı verimde daha düşük HC, aromatik ve partikül sayısı değerleri elde edilmektedir, NO<sub>x</sub> değerlerinde önemli bir düşüş olmamaktadır.
- Doğalgazın koroziv özellikleri yoktur. Yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO<sub>x</sub> emisyollarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir.
- Doğalgazın depolanması problem teşkil etmektedir. Aynı enerji miktarını sağlayacak doğalgaz miktarı yaklaşık olarak dizel yakıttan 4 misli fazladır. Bu nedenle doğalgazın depolanmasında gazın sıkıştırılması veya çok düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar altında sıvılaştırılıp dolayısıyla hacminin azaltılması ile depolanması yöntemi uygulanmalıdır.
- Doğalgazın kullanılması durumunda motor veriminde biraz düşme görülebilir, ancak bu verim düşüşü, tam yükte en aza inmektedir.
- Hidrojen, dizel motorlar üzerinde yapılacak bazı değişimlerle rahatlıkla

kullanılabilir, ortalama motor gücünde % 10 - % 20 artma görülmektedir ve ısı verim artmaktadır.

- Hidrojenin tam yük şartlarında kullanımında; ısı verim artmış, egzoz sıcaklığı düşmüş ve maksimum basınç artmıştır.
- Hidrojenin karışım halinde kullanımında, hidrojen miktarının artırılmasıyla volumetrik verimde düşmeler olmaktadır. Hidrojen ısı veriminin çok yüksek olmasından dolayı güçte ve maksimum momentte artışlar tespit edilmiştir.
- Hidrojen kullanımında düşük motor devirlerinde güç artmış, devir yükseldikçe güç düşmüştür. Düşük motor devirlerinde hidrojen ilaveli yakıtlarla elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri standart yakıtla elde edilen değerlerden daha iyi elde edilmiştir. Devir yükseldikçe özgül yakıt tüketimi kötüleşmiştir.
- Hidrojen ilavesi, düşük devirlerde motor momentinde ve gücünde artış gösterirken yüksek devirlerde olumsuz etkilerde bulunmuştur. Düşük ve orta motor devirlerinde özgül yakıt tüketimini ve volumetrik verimi iyileştirici yönde etkisi görülmüştür.
- Biyodizel özellikleri açısından (dizel yakıtla kıyaslandığında) dengelidir, motor performansı açısından güvenlidir, dizelle herhangi bir oranda karıştırılabilir, kolay üretilebilir ve kullanımı emniyetlidir, motorda değişiklik gerektirmez, dizelin depolandığı yerlerde depolanabilir ve doğrudan aracın yakıt tankına konabilir.
- Biyodizelle ilgili olarak genel çalışmalarda yakıt kalitesi, yakıt filtresi tıkanıklığı, enjektör arızası, kauçuk esaslı malzemelerle uyumu ve yakıt ekonomisi yönünden olumsuz özellikler tespit edilmiştir.
- Biyodizel kullanımı, standart dizel yakıtına nazaran motor gücünde ve momentinde azalmalara neden olmaktadır, bunda yakıtların viskoziteleri ve setan sayıları önemli rol oynamaktadır.
- Emisyonlar yönünden incelendiğinde biyodizel kullanımının standart dizel yakıtına nazaran CO ve HC emisyonlarında düşüşler sağladığı tespit edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde ise artışlar görülmüştür. CO<sub>2</sub> yönünden motor devir sayısı arttıkça artışlar görülmüş, sabit devirlerde B0 ile diğer biyodizel karışımlarının karşılaştırılmasında kısmi düşüşler tespit edilmiştir. Bunda yakıtın özellikleri, içerdiği C miktarı, motorun yanma sırasındaki termodinamik reaksiyonları, hava fazlalık katsayısı ve oksijen miktarı gibi parametreler belirleyici rol

oyunmaktadır.

- Motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan direk olarak dizel teknolojili motorlar üzerinde kullanılabilirliği biyodizeli cazip kılmaktadır.

## KAYNAKLAR

Alibaş, A., Ulusoy, Y., 1995. Bitkisel Yağların Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları. T. Mek. 16. Ulusal Kongresi 5-7 Eylül 1995, Bursa s.147-157.

Alptekin, E., Çamakçı, M., Mühendis ve Makine dergisi, ekim 2006, 57-64

Ajav, E. A., Singh, B., Bhattacharya, T. K. 1999. Experimental Study of Some Performance Parameters of Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel, Biomass and Bioenergy, 17: 357-365.

Bilgin, A., Durgun, O., Şahin, Z. 2002. The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance, Energy Sources, 24: 431-440.

Can, Ö., “Etanol Dizel Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, 2003, Y.L.Tezi

Can, Ö., Usta, N., Öztürk, E., “Alternatif Dizel Yakıt Olarak Etanol ve Biyodizelin Karşılaştırılması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı:3, 325-334

Choi, C. Y., Reitz, R. D. 1999. An Experimental Study on The Effects of Oxygenated Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on DI Diesel Engine Emissions, Fuel, 78: 1303-1317.

“Enerji ve Çevre Komisyonu Özet Raporu”, Türkiye 1. Enerji Şurası, 9. Alt Komisyon, İstanbul (1998).

Furuhama, S., “Hydrogen Engine Systems for Land Vehicles”, Int. J. of Hydrogen Energy, 14(12): 907-913, 1989.

Gümüş, M., “İçten Yanmalı Motorlarda Doğalgazın Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, Marmara Üniversitesi, 1998, Y.L.Tezi

Henhama, W.E., John, R.A., “Development of Fuel Tolerant Diesel for Alternative Fuels”, Int. J. Of Vehicle Design, Vol.12, No:3, 1991

Kolbanev, I. L., “Hydrogen Fuel in Automobiles and Tractor”, Int. J of Hydrogen Energy, 1993, 409-420

Murcak, A., “Dizel Motorlarında Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, Gazi Üniversitesi, 2003, Y.L.Tezi

Mühendis ve Makine dergisi, nisan 2004, sayı 531

Özaslan, M., “LNG'nin Otomotiv Sektöründe Kullanımı”, Marmara Üniversitesi, 2003, Y.L.Tezi

Pancar, F., “Dizel Motorların Doğalgazlı Motorlara Dönüştürülmesi”, İTÜ, 1994, Y.L.Tezi

Patro, T.N., “Burning Rate Assesment of Hydrogen Enriched Fuel Combistion in Diesel Engines”, Int. J. Of Hydrogen Energy, 1993, 275-284

Satgé De Caro, P., Moloungui, Z. 2001. Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, Fuel, 80: 565-574.

Schrottmair, J., 1993, Biodiesel-Ein neues Produkt der Österreichischen Landwirtschaft. Raps, 11.Jg. (3).

Sürmen, A., Karamangil, İ., Arslan, R., Motor Termodinamiği, Aktüel Yayınları

Taşyürek, M., “İçten Yanmalı Motorlarda Biyomotorin Yakıtlarının Geleneksel Yakıtlarla Emisyon Değişiminin Karşılaştırılması”, S.Ü. Fen Bilimleri Enst., 2004

Ulusoy,Y., Alibaş,K., “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yöneden İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37-50 (2002)

Vogel, C., “Coals Role in Electrical Power Generation: Will It Remain Competitive”, Proceedings of the Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Coal and Slurry Technology Association, 13-24 (1999).

Weidmann, K., Menrad, H., Application of Biofuel Substitues for Gasoline, Paperback European Community

## **İNTERNET KAYNAKLARI**

[www.hurriyet.com.tr/dunya](http://www.hurriyet.com.tr/dunya), (07.06.2007)

[http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel\\_motor](http://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_motor) , (25.04.2006)

[www.aksiyon.com.tr](http://www.aksiyon.com.tr), (01.05.2006)

<http://www.cevreorman.com.tr>, (01.05.2006)

[www.epdk.gov.tr](http://www.epdk.gov.tr) , (temmuz,2007)

EK - 1	Birim	Devir [1/min, RPM]																								
		800					1200					1600					1800					2100				
		B0	B100	B70	B50	B22	B0	B100	B70	B50	B22	B0	B100	B70	B50	B22	B0	B100	B70	B50	B22	B0	B100	B70	B50	B22
Güç	kW	44	40	40,5	41,5	42	91	87	88,5	89	90	122	114	118	120	121	138	128	132	133	136	157	147	150	153	157
Moment/Tork	Nm	517	527	484	495	498	719	694	714	709	715	724	680	708	715	712	727	685	705	708	722	717	673	685	698	714
Özgül Yakıt Sarfiyatı	g/kWh	233	262	262	252	246	234	258	256	247	240	231	258	257	247	233	204	258	253	248	232	242	269	268	258	245
Strok yakıt tükt.	lt	8,1	9,4	8,7	8,4	8,2	11,3	11,9	11,8	11,6	11,5	11,2	12	11,8	11,7	11,1	10	11,9	11,8	11,5	1,3	11,4	12	11,9	11,8	11,5
k- değeri		2,98	1,92	2,11	2,53	2,3	3,35	1,73	1,84	2	2,86	1,9	0,84	1,02	1,14	1,83	1,38	0,62	0,76	0,84	1,19	1,28	0,48	0,65	0,74	1,12
CO	g/kWh	2,03	3,56	3,01	2,71	2,18	4,81	4,02	4,15	4,38	4,74	3,37	3	3,14	3,22	3,39	2,54	2,21	2,34	2,2	2,51	2,36	2,12	2,73	2,06	2,34
HC	g/kWh	4,8	4,7	4	4,4	4,3	2,7	1,3	2,4	2,6	2,6	2,4	1,7	1,9	2	2,3	2,6	2,14	2,5	2,2	2,5	2,7	1,5	1,8	2,2	2,1
CO2	g/kWh	764	755	762	759	760	804	758	751	771	798	821	777	778	803	810	855	803	811	829	853	860	822	818	835	839
O2	% hacimsel	7,69	9,42	9,61	8,9	9,11	7,72	6,12	6,47	5,91	5,88	9,07	7,56	7,65	6,98	7,07	9,53	7,74	7,9	7,43	7,19	9,77	7,86	8,13	7,57	7,01
NOX	g/kWh	0,92	0,82	0,82	0,98	0,93	1,26	1,31	1,33	1,44	1,43	1,7	1,02	1,58	1,73	1,7	2,13	2,14	2,05	2,23	2,19	2,26	2,38	2,2	2,38	2,34
<b>Açıklamalar:</b>																										
B0: % 100 Motorin, B22: % 22 Soya+ % 78 Motorin, B50: % 50 Soya + % 50 Motorin, B70: % 70 Soya + % 30 Motorin, B100: % 100 Soya																										

KARIŞIM ORANI		B0					B100					B70					B50					B22				
Devir [1/min, RPM]		800	1200	1600	1800	2100	800	1200	1600	1800	2100	800	1200	1600	1800	2100	800	1200	1600	1800	2100	800	1200	1600	1800	2100
Güç	kW	44	91	122	138	157	40	87	114	128	147	40,5	88,5	118	132	150	41,5	89	120	133	153	42	90	121	136	157
Moment/Tork	Nm	517	719	724	727	717	527	694	685	692	673	485	714	708	705	685	495	709	715	708	698	498	715	712	722	714
Özgül Yakıt Sarfiyatı	g/kWh	233	234	231	224	242	262	258	258	254	269	262	256	257	253	268	252	247	247	248	258	242	240	233	232	245
Yakıt Sarfiyatı(B0'a göre %değişim)							12,45%	10,26%	11,69%	13,39%	11,16%	12,45%	9,40%	11,26%	12,95%	10,74%	8,15%	5,56%	6,93%	10,71%	6,61%	3,86%	2,56%	0,87%	3,57%	1,24%
Strok yakıt tükt.	lt	8,1	11,3	11,2	10	11,4	9,4	11,9	12	11,9	12	8,7	11,8	11,8	11,8	11,9	8,4	11,6	11,7	11,5	11,8	8,2	11,5	11,19	10,03	11,5
k- değeri		2,98	3,35	1,9	1,38	1,28	1,92	1,73	0,62	1,38	0,48	2,11	1,84	1,02	0,76	0,65	2,53	2	1,14	0,84	0,74	2,3	2,86	1,83	1,19	1,12
CO	g/kWh	2,03	4,81	3,37	2,54	2,36	3,56	4,02	3	2,21	2,12	3,01	4,15	3,14	2,34	2,73	2,71	4,38	3,22	2,2	2,06	2,18	4,74	3,39	2,51	2,34
HC	g/kWh	4,8	2,7	2,4	2,6	2,7	4,7	1,3	1,7	2,14	1,5	4	2,4	1,9	2,5	1,8	4,4	2,6	2	2,2	2,2	4,3	2,6	2,3	2,5	2,1
CO2	g/kWh	764	804	821	855	860	755	758	777	803	822	762	751	778	811	818	759	771	803	829	835	760	798	810	853	839
O2	% hacimsel	7,69	7,72	9,07	9,53	9,77	9,42	6,12	7,74	9,53	7,86	9,61	6,47	7,65	7,9	8,13	8,9	5,91	6,98	7,43	7,57	9,11	5,88	7,07	7,19	7,01
NOX	g/kWh	0,92	1,26	1,7	2,13	2,26	0,82	1,31	2,14	2,13	2,38	0,82	1,33	1,58	2,05	2,2	0,98	1,44	1,73	2,23	2,38	0,93	1,43	1,7	2,19	2,34
<b>Açıklamalar:</b>																										
B0: % 100 Motorin, B22: % 22 Soya+ % 78 Motorin, B50: % 50 Soya + % 50 Motorin, B70: % 70 Soya + % 30 Motorin, B100: % 100 Soya																										

## **ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 1980

Doğum yeri Kadıköy

Lise Ümraniye Lisesi 1994-1998

Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi 1998-2003

Yüksek Lisans Yıldız Tenik Üniversitesi 2005-devam ediyor

### **Çalıştığı kurumlar**

İ.E.T.T. Genel Müdürlüğü 2003- devam ediyor.