

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL MOTORUNDA ETİL ALKOL FUMİGASYONUNUN
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BALIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOLİP

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİZEL MOTORUNDA ETİL ALKOL FUMİGASYONUNUN
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BALIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOLİP

Bu tez 18 / 05 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Ahmet KOLİP

Prof.Dr.İsmet ÇEVİK

**Yrd.Doç.Dr.İmdat
TAYMAZ**

Jüri Başkanı

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

İçten yanmalı taşıt motorlarının yakıt tüketimleri yaklaşık olarak dünya petrol tüketiminin üçte birine denk gelmektedir. Petrol rezervlerinin giderek tükenmesi ve petrol kökenli yakıtların kullanılması sonucunda yayılan kirletici emisyonların çevre ve insan sağlığına çok zararlı olması, araştırmacıları petrole dayalı olmayan yeni alternatif yakıtlar bulmaya yöneltmiştir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların ucuz ve bol miktarda üretilebilmesi, ısıl değerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeyde egzoz emisyonu oluşturması istenir. Bu özellikleri sağlayan alternatif yakıtların başında alkoller gelmektedir. Alkoller ya motor yakıtı olarak, ya da çeşitli amaçlarla motor yakıtlarına katılarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bir dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmalarım süresince bana her konuda destek olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOLİP' e teşekkür ederim. Ayrıca deney düzeneğinin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı ISILSAN MAK. SAN.'e, deneylerin yapılmasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Murat KAPSIZ' a, arkadaşlarım Yılmaz KARAOĞLU ve Ömür SALTİK ile teknisyen Hasan GÜREL'e ve benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

ALTERNATİF YAKITLAR.....	3
2.1. Hidrojen.....	3
2.2. Doğalgaz.....	6
2.3. LPG.....	7
2.4. Alkoller.....	9
2.4.1. Alkollerin avantajları.....	10
2.4.2. Alkollerin dezavantajları.....	11
2.5. Bitkisel Yağlar.....	12

BÖLÜM 3.

ETANOLÜN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI.....	15
3.1. Etanol Üretimi.....	15
3.2. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	16
3.3. Etanolün Yanma Eşitliği ve Aldehit Oluşumu.....	18
3.4. Etanolün Benzin Motorlarında Kullanılması.....	19
3.5. Etanolün Dizel Motorlarında Kullanılması.....	20

3.5.1. Etanolün emme manifolduna verilmesi.....	20
3.5.2. Çift enjeksiyon sistemi.....	21
3.5.3. Etanolün buji yardımıyla ateşlenmesi.....	23
3.5.4. Setan sayılarını geliştirici katkılarla etanolün kullanılması.....	23
3.5.5. Yüzey ateşleme.....	24
3.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	25
3.7. Etanolün Depolanması.....	26
3.8. Etanolün Motor Malzemesi ile Uyumu ve Motor Aşıntısı.....	27
3.9. Etanol Kullanımında Güvenlik.....	27
3.10. Günümüz Taşıtlarında Etanol Uygulamaları.....	27

BÖLÜM 4.

ETANOL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ TEKNİK

ÖZELLİKLERİ.....	29
4.1. Etanolün Dizel Yakıtı İçersindeki Çözünürlüğü ve Karışımın Kararlılığı.....	29
4.2. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği.....	31
4.3. Yoğunluk ve Isıl Değer.....	32
4.4. Viskozite ve Yağlama Özelliği.....	33
4.5. Soğuktaki Akış Özellikleri (Akma ve Bulut Noktası).....	35
4.6. Parlama Noktası, Buhar Basıncı ve Alevlenme Noktası.....	36
4.7. Korozyon ve Malzeme Uyumluluğu.....	37

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
5.1. Deney Düzeneği.....	39
5.1.1. Deney motoru.....	39
5.1.2. Dinamometre.....	41
5.1.3. Hava debisinin ölçülmesi.....	42
5.1.4. Yakıt debisinin ölçülmesi.....	42
5.1.5. Takometre.....	43
5.2. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller.....	44
5.2.1. Döndürme momenti.....	44

5.2.2. Efektif güç.....	44
5.2.3. Özgül yakıt tüketimi.....	44
5.2.4. Ortalama efektif basınç.....	45
5.2.5. Efektif verim.....	45
5.2.6. Volümetrik verim,motor test değerleri.....	46
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- LH₂** : Sıvılaştırılmış hidrojen
ROS : Araştırma oktan sayısı
MOS : Motor oktan sayısı
LPG : Sıvılaştırılmış petrol gazı
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
OPEC : Petrol ihraç eden ülkeler topluluğu
HC : Hidrokarbon
CO : Karbonmonoksit
CO₂ : Karbondioksit
NO_x : Azotoksit
DI : Direkt enjeksiyonlu dizel motoru
IDI : Ön yanma odalı dizel motoru
ASTM: Amerikan Test ve Materyal Topluluğu
HFk : Hava fazlalık katsayısı
H / Y : Hava yakıt oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. DI motorda çift enjeksiyon sisteminde yanma odasının görünüşü.....	22
Şekil 3.2. IDI motorda pilot enjektör ve etanol enjektörünün yerleşimi.....	22
Şekil 4.1. Etanolün dizel yakıtı içersinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği.....	30
Şekil 4.2. Etanol-Dizel yakıtı karışımlarının setan sayısı değişimi.....	31
Şekil 4.3. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının 37,8 °C' deki viskozite değişimi.....	34
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	39
Şekil 5.2. Deney motoru, pilot enjektörler ve emme havası manometresi.....	40
Şekil 5.3. Etanol deposu.....	41
Şekil 5.4. Su dinamometresi.....	41
Şekil 5.5. Yük hücresi (loadcell).....	42
Şekil 5.6. Eğik manometre.....	42
Şekil 5.7. Yakıt debisi ölçeri.....	43
Şekil 5.8. Takometre.....	43
Şekil 6.1. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların moment değişimi.....	46
Şekil 6.2. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların efektif güç değişimi.....	47
Şekil 6.3. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların özgül yakıt tüketimi değişimi.....	48
Şekil 6.4. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların ortalama efektif basınç değişimi.....	49
Şekil 6.5. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların efektif verim değişimi.....	50
Şekil 6.6. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların volümetrik verim değişimi.....	51

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri	5
Tablo 2.2. Doğal gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri	7
Tablo 2.3. Propan ve Bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	8
Tablo 2.4. Benzin ve alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	12
Tablo 2.5. Dizel yakıtı ve bitkisel yağların çeşitli özellikleri.....	14
Tablo 3.1. Alkol yakıtla ilgilenen ülkeler.....	15
Tablo 3.2. Etanolün kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması.....	17
Tablo 3.3. Benzine göre etanolün özelliklerinin değerlendirilmesi.....	19
Tablo 4.1. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının bulut noktası ve akma noktası	36
Tablo 4.2. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama noktası değişimi	37
Tablo 5.1. Deney motorunun özellikleri.....	40

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Alternatif yakıtlar, etanol, metanol, doğal gaz, hidrojen, LPG, Biodizel, motor performansı.

Dünya üzerinde insan nüfusunun artması dolayısıyla enerjiye olan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Bununla birlikte günümüz dünyasının en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve aynı zamanda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, araştırmacılar uzun yıllardır yenilenebilir alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaktadırlar.

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif enerji kaynakları; etanol ve metanol gibi alkoller, doğal gaz, LPG, hidrojen ve son zamanlarda adı sıkça duyulmaya başlanan biodizel olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada, hazırlanan bir deney düzeneğinde bir dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiş ve deney sonuçlarından yola çıkılarak grafikler elde edilmiştir.

THE INVESTIGATION OF ETHIL ALCHOL FUMIGATE'S TO EFFECT ON ENGINE PERFORMANCE IN A DIESEL ENGINE

SUMMARY

Keywords: Alternative fuels, ethanol, methanol, naturel gas, hydrogen, LPG, biodiesel, engine performance.

Because of increase of the people in the world, the requirement of energy is fastly increase, too. With this fossil fuels which has most important energy sources is fastly finishing and at the same time it causes of environment pollution in our world. By this reason, alternative energy sources which can renewable are being working by the researchers since long years.

Alternative energy sources which can be used in internal combustion engines can classification like alchol as ethanol and methanol, naturel gas, hydrogen, LPG, biodiesel which is known usually in nowadays.

In this study, investigated of ethil alchol fumigate's effect to engine performance in a diesel engine on a test device.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Uluslararası Enerji Ajansı, ispatlanmış petrol rezervlerinin mevcut tüketim seviyesinde kırk senelik petrol arzını sağlayabileceğini öngörmektedir. Bu ajans ayrıca, daha verimli teknoloji kullanımı ve yükselen fiyatlar ortamında düşecek petrol tüketimi nedeniyle, bu rezervlerin yetmiş senelik bir kullanımı bile karşılayabileceğini belirtmektedir. Yüzde doksan ihtimalle kârlı olarak çıkarılması henüz ispatlanmamış petrol rezervleri ile beraber, petrol arzında 'bitiş süreci' gecikebilir, ancak petrolün enerji kaynağı olarak kullanımında doğal bir sınırının olduğunu kabul etmek gerekir.

Yaşanan petrol krizleri, petrol kaynaklarının azalmaya başlaması, petrol fiyatlarında görülen dalgalanmalar ve bu tür yakıtların yarattığı çevre kirliliği, alternatif yakıtları sürekli olarak gündeme getirmiştir. Alkoller (etanol ve metanol), doğalgaz, propan, hidrojen, biyodizel, elektrik ve yakıt pilleri gibi ürünler alternatif yakıtlar grubuna girmektedir. Alternatif yakıtlar, zararlı kirleticileri ve egzoz emisyonlarını azaltmaları nedeniyle çevreyi korumada önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, 'yenilenebilir' olmaları da alternatif yakıtların diğer önemli bir avantajı olarak görülmektedir. Halen ticari kullanımı mümkün olan alternatif yakıtlar arasında, dalga, akıntı ve med-cezir gibi suyun yer değiştirme gücüne dayalı su kaynaklı, güneş ısı ve ışığına dayalı güneş kaynaklı, rüzgâr gücüne dayalı rüzgâr kaynaklı ve biyolojik kütleye dayalı bitkisel kaynaklı enerji kaynakları bulunmaktadır.

Alternatif yakıtlar içinde, metanol ve etanol gibi alkoller motor yakıtı olarak ya da katkı maddesi olarak uzun bir dönemden beri kullanılmaktadır. Etanol, ağaç ve otlardan (biyolojik kütle) üretildiği için yenilenebilir bir yakıt çeşidi olmakla beraber özellikle 1990'lı yıllardan bu yana Amerika'da karbonmonoksit seviyesini düşürmek için katkı olarak kullanılmaktadır.

Günümüz benzin motorlarında etanol, benzinin oktan sayısını arttırmak ve emisyon özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Dizel motorlarında ise etanol, motorda çok az değişiklik yapmak suretiyle yakıtın % 50' si motorin ve % 50' si etanol olmak üzere iki ayrı yakıt tankı kullanılarak veya etanol ve dizel yakıt enjektörlerinin ayrı ayrı püskürtmesiyle de kullanılabilir.

BÖLÜM 2. ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Hidrojen

Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz halindeki hidrojen aynı hacimdeki havadan yaklaşık 15 kez daha hafiftir. Motorlarda kullanılmakta olan diğer alternatif yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı hidrojenin, sıvı hidrokarbonlara oranla yaklaşık 10 kere daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan gazından 10 kere daha hafif olduğu görülmektedir. Hidrojen karbon veya oksijen içermeyen tek alternatif yakıttır ve 2,02 molekül ağırlığı ile en hafif yakıttır. Sıvılaştırılmış hidrojen (LH₂) çok düşük sıcaklıklardadır. Kaynama noktası -253 °C dir. Bu sebeple LH₂ bulunan depoların çok iyi yalıtılması gerekmektedir. Soğuk LH₂ için gerekli depolar paslanmaz çelikten yapılmaktadır. Sıvılaştırılmış hidrojenin kaynamayı önleyici yüksek yalıtım teknolojisine sahip, ayrıca paslanmaz çelikten yapılmış yakıt tankları, benzin, dizel, metanol, etanol tankları ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır [1].

Hidrojenin özgül ısısı benzin ve dizel yakıtlardan daha fazladır. Hidrojenin buharlaşma gizli ısısı benzinden % 28 ve dizelden %92 daha yüksektir. Hidrojen sıvı halde depo edilmesine karşın hidrojen araçlarının yakıt sistemleri muhtemelen gaz hidrojene bağlı olurlar. Sıvı olarak hidrojen litre başına benzin enerjisinin %27' sine ve dizel enerjisinin yaklaşık olarak %23' üne sahiptir. 3000 pascal basınçtaki sıkıştırılmış gaz halindeki hidrojen ise litre başına benzin enerjisinin % 5'ine sahiptir. Bundan dolayı enerji eşitliği göz önüne alındığı zaman, hidrojen sıvı halde depo edilecek ise 4 kat daha fazla, gaz halinde depo edilecek ise 20 kat daha fazla depolama hacmine ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojen, hava içerisinde hacimsel olarak %4 den %75 oranlarına kadar tutuşabildiği için, tüm yakıtlar içinde en geniş tutuşabilme aralığına sahiptir. Bunun hidrojene verdiği önemli bir avantajı ise; hidrojenin fakir karışımlarda çok rahat yanabilmesidir. Hidrojen motorları, benzin

motorlarına göre fakir karışımlarda çok daha verimli çalışır. Bunun yanında bu geniş yanabilme aralığı hidrojenin emniyeti bakımından önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Çünkü hidrojen doğal gazdan bile daha iyi yayılma özelliğine sahiptir. Bu yüzden; hidrojen hızlı bir şekilde havaya yayılır ve uzun süre yanabilecek şekilde ortamda kalır [1].

Bir yakıt için önemli bir özellik ise kendi kendine tutuşabilme sıcaklığıdır. Bu sıcaklık her hangi bir dış kaynaktan ısı verilmeden, karışımın yanabileceği sıcaklıktır. Bu da bir yakıtın sıkıştırılabilirliğini belirler. Hidrojenin yüksek kendi kendine tutuşabilme sıcaklığı sayesinde, hidrojen motorlarında sıkıştırma oranı yüksek alınabilir. Yüksek sıkıştırma oranları motorların ısı verimleri açısından önemlidir. Buna ilaveten yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığı sebebiyle hidrojen dizel motorları için uygun bir yakıt değildir.

Hidrojenin havadaki yayılım kabiliyeti benzininkinden daha fazladır. Bu da hidrojene iki önemli avantaj sağlamaktadır. Birincisi, hidrojenin bu özelliği sayesinde düzenli bir yakıt hava karışımı elde edilir. İkincisi ise, sızıntı probleminin önüne geçilirse, hidrojen daha hızlı ve emniyetli bir şekilde dağılır.

Hidrojen içinde bulunduğu ortamın duvar malzemesine etki ederek onu deforme eder. Bazı elementlerle reaksiyona girerek malzemeyi bozar, karbonla metan, oksitlerle buhar meydana getirir. Hidrojen önce malzeme yüzeyine yapışıp sonra alarım içine sızarak hidrojen gevrekliği denilen kırılmalılığa neden olur. Basınç ve sıcaklık arttıka hidrojen gevrekliği de artar. Bu nedenle hidrojen depolama tankları, nakil boruları ve pompaları hidrojenden etkilenmeyen malzemedendir yapılmalıdır. Hidrojene duyarlı malzemeler şöyle sınıflandırılmıştır;

- Hidrojenden çok etkilenen malzemeler: Çok sert elik
- Hidrojenden etkilenen malzemeler: Nikel ve alaşımları, Titanyum ve alaşımları
- Hidrojenden az etkilenen malzemeler: Paslanmaz elik
- Hidrojenden etkilenmeyen malzemeler: Alüminyum, Bakır ve alaşımları

Hidrojen oldukça düşük bir yoğunluğa sahiptir. Bundan dolayı bir araca yeterli bir seyahat mesafesi verebilmesi için, hidrojenin depolanmasında büyük hacimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 2.1' de hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir [1].

Tablo 2.1. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri [1]

YAKITLAR		Hidrojen
Kimyasal Sembolü		H ₂
C / H Oranı		0
Moleküler Kütle		2,02
Isıl Değer (Mj/kg)		119,93
Stokiyometrik Karışım	Kütlesel	34,32
	Hacimsel	2,38
Mol ürünler / Mol reaktantlar		0,85
Buharlaştırma Isısı (Mj/kg)		0,447
Tutuşma Sınırı % Hacim		4,1-74
Laminer Alev Hızı (m/s)		2,91
Adyabatik Alev Sıcaklığı (°C)		2110
Difüzyon Katsayısı (m ² /sn)		0,61
Kaynama Noktası (°C)		-252,35
Donma Noktası (°C)		-259
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)		574-591
Oktan Sayısı		
Araştırma Oktan Sayısı (ROS)		130
Motor Oktan Sayısı (MOS)		-

2.2. Doğal Gaz

Doğalgaz renksiz kokusuz bir gazdır, yanarken duman çıkarmaz. Normal şartlar altında gaz halinde olan doğal gazın kaynama sıcaklığının -162°C olması nedeni ile daha düşük sıcaklıklarda sıkıştırılması basınç altında mümkündür. Doğalgaz kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonları elenir, hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ve su buharı gibi bileşenleri giderilir. Elde edilen gaz hemen hemen saf metan gazıdır. Yoğunluğu havaya göre daha düşük olduğundan ağırlığı havanın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle sızan gaz atmosferde hızla yükselerek, hızlı bir şekilde seyrelir [2].

Doğalgaz çeşitli gazların bir karışımıdır, en önemli oranı da, gazın geldiği bölgeye bağlı olarak, toplam hacimse %80'den %98'e varan karışımlarla, metan gazı teşkil eder. Diğer bölümü ise sırası ile etan, propan, butan, azot, pentan, karbondioksit den oluşmaktadır. Metan yüksek bir yanma sıcaklığına sahip olup, 650°C 'de yanar ve böylece sızmış ve sıcak bileşiklerdeki gaz sistemleri ile birleşerek kendi kendine yanabilme avantajına sahiptir.

Doğalgazın oktan sayısı çok yüksektir. Bu da, enerji tüketimine pozitif bir etki yaratan, nispeten yüksek bir sıkıştırma oranına (12:1) müsaade eder. Oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, vuruntunun önlenmesi ve termik verimin artması sağlanır. Doğal gaz, difüzyon katsayısının yüksek olması sebebiyle, hava ile daha kolay ve hızlı karışım oluşturur. Sıvı yakıtların aksine doğalgazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğuk ilk hareketinde zengin karışıma gerek kalmadan kolayca tutuşur. Doğal gazın 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 doğal gaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşabilmektedir [3].

Doğal gazın ısı değeri benzine oranla daha yüksektir ve daha yüksek hava fazlalık katsayısında tutuşabilir. Bu nedenle motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazı emisyonları açısından avantaj sağlaması mümkündür.

Doğal gazın alev hızının benzin / hava karışımına göre düşük olması nedeniyle yanma süresi uzundur. Bu zaman kaybı güç ve verimde düşüğe neden olmaktadır.

Genellikle doğal gaz içerisinde nem bulunmamaktadır. Bunun sonucunda doğal gazın korozyon etkisi yoktur. Ancak bazı bölgelerde çıkarılan doğal gazlarda bir miktar neme rastlanmakta ve bu da motor için korozyon tehlikesi oluşturmaktadır. Tablo 2.2' de doğal gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir [4].

Tablo 2.2. Doğal gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri [3]

Yoğunluk	(kg / m ³)	0.717
Molekül Ağırlığı	(kg / kmol)	16.04
Molar Hacim	(m ³ / mol)	22.38
Üst Isıl Değeri	(kJ / kg)	37800
Alt Isıl Değer	(kJ / kg)	34000
Hava İhtiyacı	(kg hava / kg yakıt)	17.2
Tutuşma Limiti	(% hacim)	0.59 – 1.99
Oktan Sayısı		130
Kaynama Sıcaklığı	(°C)	- 162
Tutuşma Sıcaklığı	(°C)	650
Laminer Alev Hızı	(m / s)	0.37
Adyabatik Alev sıcaklığı	(°C)	1954
Difüzyon Katsayısı	(m ² / s)	0.16

2.3. Sıvılaştırılmış petrol Gazı (LPG)

LPG, kimyasal yapı ve özellikleri bakımından parafinler ve olefinler grubu içinde yer alır. LPG'yi oluşturan propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Gaz	Propan	Bütan
Kimyasal Formülü	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Moleküler Ağırlığı	44	58
Özgül Ağırlığı (kg /litre)	0.51	0.58
Kaynama Noktası (°C)	-43	-0.5
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	11070	10920
Tutuşma Noktası (°C)	510	490
Tutuşma Sınırlanırı (% hacim)	2.1 - 9.5	1.5 - 8.5
Yanma Hızı (cm/s)	32	32

LPG'nin en önemli özelliklerinden biri buhar basıncıdır. Bu basınç değerine bağlı olarak yakıt tankında bulunan yakıtın sıvı ve buhar gazları arasındaki denge durumu sağlanmaktadır. Örneğin bütan basıncı 0 °C sıcaklıkta 0,005 bar iken, propan için aynı sıcaklıkta 4 bar'a çıkar. 15 °C sıcaklıkta ise 0,8 bar, propan için ise 6,5 bar olur. Görüldüğü gibi karışımın bütan/ propan oranına bağlı olarak LPG'nin buhar basıncı değişmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte sıvı fazındaki propan ve bütanın hacmi hızla değişmekte ve basınç değerlerinde artış görülmektedir. Bu husus yakıt tanklarında emniyet açısından önem taşımaktadır [5].

Propan ve bütan arasındaki diğer bir farklılıkta kaynama noktasıdır. Kaynama noktası atmosfer basıncı altında, gaz fazından buhar fazına geçiş sıcaklığını vermektedir. Propan -43 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunurken, bütan 0 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle soğuk iklim ortamlarında LPG bünyesindeki propan daha fazla tutularak sıvı fazından gaz fazına geçiş kolaylaştırılmaktadır.

Propan ve bütanın bir diğer özelliği de yağ, boya gibi maddeleri eritmesidir. Ayrıca kauçuk hortumların da deforme olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle LPG hortumları sentetik malzemedir yapılmaktadır. Yakıt tankı ile regülatör arasında yer alan basınç altındaki LPG hatları için ise özel bakır veya çelik boru kullanılmaktadır. Diğer özellikler;

- Havadan ağırdır. Bu sebepten dolayı zemine çökerek yayılma ve havasızlıktan boğulmaya sebep olur.
- Renksiz ve kokusuz bir gazdır.
- Parlayıcı ve patlayıcı bir gazdır.
- Buhar basıncı yüksektir.(Benzine göre)
- Bakiye bırakmadan %100 temiz yanar.
- Sıvı haldeki LPG, deri temasında soğuk yanmaya sebep olur.
- Korozyon değildir.
- Bileşiminde asgari miktarda kükürt ihtiva eder. (20-100 mg/m³)
- İçten yanmalı motorlarda silindir içinde daha homojen bir yakıt /hava karışımı sağlar.
- Atmosferik basınçta propan -43 °C sıcaklıkta sıvı fazında bulunur.
- Sıvılaştırılmış petrol gazının kısa sürede ve düşük konsantrasyonda solunması durumunda insanlar da zehirlenme belirtisi göstermez.(Havada %10 nispetinde LPG bulunan ortamdaki hava 2 dakika solunursa baş dönmesi meydana gelebilir) [6].

2.4. Alkoller

Çeşitli alkoller saf veya benzine karıştırılmış olarak, içten yanmalı motorların tarihi boyunca, değişik zamanlarda yakıt olarak kullanılmıştır. İlk uygulama 1980 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde bir çok ülke alkolü alternatif yakıt olarak değerlendirmektedir. Alkol kullanımının temel gerekçesi; genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, alkolün yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilirliği ve temiz bir yakıt olması şeklinde özetlenebilir [7].

Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen temel faktörler ise; dünya petrol üretiminin henüz talebi karşılayamayacak düzeye inmemiş olmasının yanı sıra alkollerin birim kütlelerinin ısı değerinin düşük, dolayısıyla birim kütle başına enerji maliyetinin benzine göre yüksek olmasıdır [8].

2.4.1. Alkollerin avantajları

- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler. Bu durumda ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler.
- Alkol üretimi (özellikle etil alkol), zirai imkânları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir.
- Alkoller oktan sayısı 91–100 olan benzin ile karıştırıldığında, 110 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir ki, bu durumda motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak, motor performansı artırılabilir. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan daha büyük güçler alınabilir.
- Alkollerin buharlaşma gizli ısıları çok yüksektir. Bu durum motorlarda yüksek sıkıştırma enerjisini gerektirir. Hava yakıt karışımının sıcaklığının azalması silindirlere daha yoğun karışımın girmesini sağlar. Bu durumda volümetrik verim artar.
- Yakıt olarak saf metanol kullanılan bir motorun performansında aynı motorun benzinle çalıştırılmasına göre %10 daha fazla güç artışı görülmüştür. Metanol için ideal H/Y karışımının değeri 6.4:1, benzin için ise 14.5:1 dir. Bu durum alkollerin sıkıştırılmasının daha çok enerji gerektirdiğini gösterir.
- Alkoller benzine göre daha fakir karışımlarla çalışabilirler.
- Alkoller benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını arttırıcı etki gösterirler. %10 metanol, %90 benzin karışımının oktan sayısı 95 tir.
- Motor yakıtları olarak kullanılan benzin, etanol ve metanolün yanmaları için önce buharlaşmaları gerekmektedir. Yakıtlar, buharlaşmaları için kaynama noktasının üzerinde ısıtılmalıdırlar. Benzin değişik hidrokarbonlardan oluştuğu için kaynama sıcaklığı sabit değildir. Buna karşılık alkollerin tek bir kaynama noktası vardır. Bu nedenle alkoller, benzine göre çok daha rahat ve bir anda buharlaşırlar ve daha temiz yanarlar. Bu durum hava kirliliğine olumlu yönde etkir.

2.4.2. Alkollerin dezavantajları

- Alkoller özelliklerinden dolayı, Benzinden alkole dönüştürülmüş olan yakıt sisteminin filtrelerinde tıkanmaya sebebiyet verebilirler.
- Eğer alkol-benzin karışımları içerisinde az miktarda olsa su karışmış ise, bu durumda, özellikle soğuk havalarda faz ayrışması oluşur. Faz ayrışması daha çok metanollü karışımlarda ortaya çıkar.
- Bazı benzin yakıt sistemi parçaları alkole uyumlu değildir. Özellikle kalay kurşun alaşımı ile kaplı tanklarda bu durum öne çıkar. Küçük miktarlardaki etanol-benzin karışımları için önemli olmamakla beraber saf metanol yakıt sistemlerinde önemli hasarlara neden olur.
- Alkoller benzinle karıştırıldığında düşük sıcaklıklarda çok daha zor buharlaştıklarından dolayı, ilk harekette büyük problem çıkartırlar. Özellikle soğuk iklimlerde bu daha büyük sıkıntılar oluşturur. Saf metanol soğukta ilk hareket esnasında 10 °C civarında sıcaklık düşmesine sebebiyet verebilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için;
- Alkoller uçucu maddelerle karıştırılırlar.
- Yardımcı çalıştırma yakıtlarına ihtiyaç duyar. (eter, benzin, hidrojen vs..)
- Elektrikli yakıt buharlaştırıcılar kullanılır.
- Karbüratörden daha etkin olarak yakıtı buharlaştıracak püskürtme sistemleri kullanılır.
- Alkollerin yüksek buharlaşma gizli ısılarından dolayı aracın trafikteki seyri esnasında oluşacak güç düşmesi problemlerini önlemek için emme manifoldu ısını devamlı yüksek tutmak gerekmektedir.
- Alkoller atmosferden nem kapma özelliğine sahiptirler. Bu nedenle alkol yakıt tanklarındaki yakıt filtreleri rejenere edilmelidir. Yakıt tankı ve karbüratörün atmosfere açık olmasının oluşturacağı alkolün nemlenmesi probleminin önüne geçilmelidir.
- Eğer alkoller benzinin yerini alacak olursa, yeni alkol üretim ve dağıtım istasyonları çok büyük mali sıkıntılara sebebiyet verecektir.
- Alkollerin nem tutma özellikleri dolayısıyla taşımaları ve dağıtılmaları esnasında büyük bir dikkat gerekmektedir.

Tablo 2.4. Benzin ve Alkollerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

	Benzin	Metanol	Etanol
Kimyasal Formül	C ₈ H ₁₈	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
Molekül Kütlesi (kg / kmol)	114,2	32,04	46,07
C/H Kütle Oranı	5,3	3,0	4,0
% H Kütlesi	15,9	12,6	13,1
% C Kütlesi	84,1	37,5	52,1
% O Kütlesi	0,0	49,9	34,8
Donma Noktası (°C, 0.1 MPa)	-56,5	-97	-17,8
Kaynama Noktası (°C 0.1 MPa)	125	65	78,5
Yoğunluk (kg/m ³)	702	796	794
Gizil Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	302,4	1167	921,1
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	44,2	20,0	27,0
Hava - Yakıt Oranı	15	6,44	8,96
Tutuşma Sınırları (hacimsel %)	1-6	7-36	4,3-18
Buhar Basıncı (38 °C, kPa)	80	32	21
Araştırma Oktan Sayısı	100	110	108
Motor Oktan Sayısı	100	94	94

2.5. Bitkisel Yağlar

Kaynakların yenilenebilir ve çok çeşitli oluşu sınırlı petrol rezervleri karşısında alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanılmasını daha da cazip hale getirmiştir. Nitekim 1970 yılında başlayan petrol krizi, 2003 yılında ABD' nin Irak' ı işgal ederek petrol üzerinde büyük oranda etkili hale gelmesi ve petrolün varil fiyatının büyük bir hızla 80 - 100 \$ gibi fiyatlara yükselmesi enerji kullanımında yeni bir dönem başlayacağını göstermiştir ve özellikle çok kısıtlı petrol rezervlerine sahip olan ülkeler başta olmak üzere, bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabilirliği üzerine çok sayıda araştırma başlatılmıştır. 1973 yılındaki OPEC petrol ambargosunun yeni petrol krizleri dönemin başlangıcını belirlemesi üzerine çeşitli

ülkelerde ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama ve gelecekteki enerji krizlerine hazırlıklı olma fikirleri önem kazanmaya başlamıştır.

Ülkelerin ekonomik yapılarının temelini, dizel yakıtı kullanan sektörler oluşturmaktadır. Özellikle tarım ve taşımacılık krizlerinden en çok etkilenen ve insan yaşamıyla doğrudan ilişkisi olan hassas sektörlerdir. Bu nedenle dizel motorunun ilk yakıtı olan bitkisel yağlar araştırmaların yeniden odak noktası haline gelmiştir. Özellikle petrol kaynakları kıt olan Güney Afrika Cumhuriyeti, Avusturya başta olmak üzere Amerika, Almanya, Belçika, Danimarka, Fransa, Hollanda, İngiltere, İspanya, İtalya, Portekiz gibi ülkeler bu konuda yoğun çalışmalar yapmaktadır.

Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alınır, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkânı her an mevcuttur. Burada yetiştirilecek bitki çeşitlerinin yağ bitkileri olması ileride oluşacak ihtiyacı fazlasıyla karşılayacak düzeydedir.

Günümüzde bitkisel yağlar dizel yakıtı olan motorinden daha pahalı olmasına rağmen, kullanımın yaygınlaşması halinde fiyatı daha da düşecektir. Ayrıca herkesin özen göstermesi gereken çevrenin korunması konusunda bitkisel yağlar, organik kökenli olması nedeniyle çevreyi kirletmeden toprağa kazandırılabilir [9].

Motor yakıtı olarak kullanılan çeşitli yağların ve dizel yakıtının bazı özellikleri Tablo 2.5' de verilmiştir. Tablo 2.5'nin incelenmesinden görüldüğü gibi bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ve ısıl değer yönünden fazla bir fark bulunmamaktadır. Ancak bitkisel yağların kinematik viskoziteleri, dizel yakıtının kinematik viskozitesinden oldukça fazladır. Yağın cinsine göre, bitkisel yağların viskoziteleri dizel yakıtının viskozitesinden 11-18 kat daha yüksektir. Viskozitesinin yüksekliği, dizel yakıtına göre tasarlanmış motorların yakıt sistemlerinde tıkanmalara ve arızalanmalara neden olmaktadır. Viskozite, yağların alkollerle olan kimyasal işlemleri sonucu elde edilen yağ esterleri ile çok büyük oranlarda

düşürülebilmektedir. Bu yol ile dizel yakıtının viskozitesinin 1,4 ile 1,6 katı değerine kadar indirilebilmektedir.

Tablo 2.5. Dizel Yakıtı ve Bitkisel Yağların Çeşitli Özellikleri

Bitkisel Yağın Adı	Özgül Ağırlığı (g/ml)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Isıl Değer (kcal / kg)
Ayçiçekyağı	0.92	34.9	39644
Hurmayağı	0.90	63.6	36553
Linoleik Aspir	0.93	32.3	39226
Oleik Aspir	0.92	42.1	39306
Yerfıstığı	0.91	37.2	37160
D.Eroikasitli Kolza	0.92	39	39913
Y.Eroikasitli Kolza	0.91	51	40167
Soyayağı Metilesteri	0.88	4.1	39796
Ayçiçekyağı Metilesteri	0.88	4.8	37690
Soyayağı	0.92	36.4	39390
Pamuk tohumu	0.91	37.4	37420
Dizel yakıtı	0.86	2.9	45390

BÖLÜM 3. ETANOLÜN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

3.1. Etanol Üretimi

Kimyasal formülü C_2H_5OH olan etanol; içerisinde HC bulunan mısır, buğday, arpa, patates, şeker pancarı, şeker kamışı gibi zirai ürünlerden elde edilmektedir. Bu nedenle ekonomisi tarıma dayalı ülkeler için alternatif yakıt olarak etanolü üretmek daha caziptir. Bunun yanında; linyit, kömür ve doğalgaza sahip ülkelerle, evsel ve zirai artıklardan yakıt üretecek kapasiteye sahip ülkeler için metanol üretimi daha caziptir. Tablo 3.5'te mevcut şartlar ile ekonomik ve teknik imkanlarını seferber ederek motor yakıtı olarak alkol üretmeyi planlayan ülkeler ve hangi yakıt türüne yöneldikleri görülmektedir. Tablo 3.5'ten de kolayca görüleceği gibi, ekonomisi zayıf olan ve daha çok tarıma dayanan veya geniş ve elverişli tarım alanlarına sahip olan ülkeler daha çok etanol yakıtı üretmeyi tercih etmektedirler [10].

Tablo 3.1. Alkol Yakıtla İlgilenen Ülkeler [9]

	Metanol	Etanol		Metanol	Etanol
A.B.D			Kanada		
Avustralya			Kenya		
Brezilya			Küba		
Almanya			Polonya		
Filipinler			Rusya		
G. Afrika			Sudan		
İsveç			Tayland		
İtalya			Y.Zelanda		

- Taralı alanlar ülkelerin hangi yakıt cinsiyle ilgilendiğini göstermektedir

Etanolün ham maddesi yüksek oranda şeker içeren bitkilerdir. Fermantasyon ve damıtma yolu ile elde edilir. Yakıtın ham maddesi mısır, arpa, nişasta, şeker pancarı, şeker kamışı ve buğdaydır. Etanol ayrıca selülozik bio-atıklardan da üretilebilir. Nişastaya göre şeker elde edilmesi zor da olsa, ağaç ve otlardan üretilmesi sonucunda bio-etanol adını alır.

Etanol üretimi için öncelikle ham madde öğütülür. Daha sonra içerisindeki şekeri yiyecek olarak kullanan bakteriler tarafından tüketilir ve açığa etanol ve karbondioksit çıkar. Son işlem olarak da etanolün saflığı ayarlanır.

Etanol ithal kaynaklara bağımlı değildir. Yurt içinde üretilen ham maddelerden üretilir. Çevreye, petrol ürünlerine oranla daha az zarar veren bir alternatif yakıttır. Etanol ile çalışan araçlar, geleneksel araçlara oranla daha az CO ve CO₂ emisyonu üretirler [11].

3.2. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Etanol temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır. Etanolün ısı değeri benzinden daha düşüktür. Etanol su ile her oranda karışabilme özelliğine sahiptir. Motor yakıtı açısından metanolün sahip olduğu avantaj ve dezavantajların birçoğu etanol için de geçerlidir. Buharlaşma gizli ısı metanolden 1.3 kat daha azdır. Bunun manası; buharlaşma esnasında emme manifoldundan daha az ısı çekmesi demek olduğundan, soğukta ilk hareket metanole göre biraz daha kolay olmaktadır. Enerji yoğunluğunun metanole göre daha yüksek olması motorlu araçlarda daha küçük boyutlarda ve dolayısı ile daha hafif yakıt deposunun kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Bir yakıtın taşıta depolanma miktarı ve yakıtın enerji yoğunluğu taşıtın gidebileceği en uzun mesafeyi belirleyen en önemli etkenler olduklarından dolayı bu özellikler taşıtlarda kullanılacak alternatif yakıtın tipini belirlemede önemli parametrelerdir [12].

Etanol, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım sorunlar yaratabilmektedir. Kendi kendine tutuşma direnci, Otto

motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanma kalitesini düzeltmek için araştırmalar devam etmektedir.

Tablo 3.2’ de etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması görülmektedir.

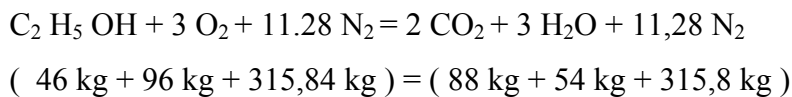
Tablo 3.2 Etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması [1]

YAKITLAR		Etanol	Hidrojen	Metan	Metanol	Benzin	Dizel
Kimyasal Denklemi		C_2H_5OH	H_2	CH_4	CH_3OH	C_8H_{18}	-
C / H Oranı		0,333	0	0,25	0,25	0,556	0,520
Moleküler Kütle (g / mol)		46,07	2,02	16,04	32,04	91,4	0,520
Isıl Değer	(Mj / kg)	26,9	119,93	50,8	20,1	43,4	43,1
	(Mj/litre)	21,3	8,41	20,8	15,9	31,8	-
Stokiyometrik Karışım	Kütlesel:	8,96	34,32	7,2	6,44	14,7	14,5
	Hacimsel:	14,3	2,38	9,53	7,14	45,79	-
Mol ürünler / Mol reaktantlar		1,06	0,85	1	1,06	1,04	-
Buharlaşma Isısı (Mj/kg)		0,856	0,447	0,509	1,102	0,272	0,3
Tutuşma Sınırı % Hacim		3,5-19	4,1-74	5-15	6-37	1,3-7,6	-
Laminer Alev Hızı (m/s)		-	2,91	0,37	0,52	0,37	-
Adyabatik Alev Sıcaklığı		1924	2110	1954	1878	1993	-
Difüzyon Katsayısı (m^2/s)		-	0,61	0,16	-	0,08	-
Kaynama Noktası ($^{\circ}C$)		78,7	-252,35	161,3	65,1	32-221	175
Donma Noktası ($^{\circ}C$)		-114,1	-259	-	-97,6	-56	-
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)		392	574-591	632	470	257	-
Oktan Sayısı	ROS	106	130	130	110	91-100	-
	MOS	87	-	105	87	82-94	-

Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımında ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve çok çabuk nemlenmesi etanol 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 [13].

3.3. Etanolün Yanma Eşitliği ve Aldehit Oluşumu

Etanolün tam yanması için stokiyometrik denge şudur;



Etanolde toplam moleküler ağırlığın %34,8'i oksijendir.

Etanolün bileşiminde yandığı zaman hiçbir kalori değeri olmayan %34 oranında oksijen vardır. Bu nedenle alkolün kalorisi düşüktür (6960 kcal/kg). Alkol 78,3 °C'de kaynar. Bir kilogram alkolün tamamen yanabilmesi için 7 m³ havaya ihtiyaç duyulmaktadır. İçerisinde hiç su bulunmayan saf alkolün (%99,5) yoğunluğu 15 °C'de 794,2 kg/m³'tür. Su miktarı arttıkça yoğunlukta artmaktadır. Etanol yandığında, hava miktarına göre, sirke asidi meydana getirebilir. Eğer alkol yanarken yeterli miktarda hava bulunmaz ise aldehit ve su, daha az hava bulunması halinde ise sirke asidi meydana getirebilir. Bu durum alkolün yanmasında önem kazanmaktadır. Aldehit, havanın oksijeni ile birleşerek sirke asidi meydana gelebilir. Bu sebepten motorda alkol yakıldığında havanın iyi ayar edilmesi gerekmektedir. Ancak havayı iyi ayar etmekle yanma sonucunda sirke asidi veya aldehit meydana gelmesi önlenmektedir. Alkol, benzinle beraber yandığında fazla oksijen, benzin tarafından kullanıldığından, aldehit veya sirke asidi meydana gelmesi kendiliğinden giderilmiş olmaktadır [14].

3.4. Etanolün Benzin Motorlarında Kullanılması

Etanol çoğunlukla benzinin oktan sayısını arttırmak ve emisyon özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Örneğin Amerika’ da bir birim etanol ile dokuz birim benzin karıştırılarak elde edilen ve gasohol adı verilen yakıt 1973 yılından bu yana kullanılmaktadır. Karışımın içersinde % 10 etanol bulunduğuundan E 10 adıyla bilinmektedir. Benzinin ürettiği karbonmonoksit (CO) emisyonlarını azaltmak için, kimyasal yapısı üzerinde değişiklik yapılarak daha oksijenli bir yapıya kavuşturulması amacıyla uygulanan proseslerde de % 7,3 - % 10 oranlarında etanol kullanılmaktadır.

Benzin motorları için bir diğer uygulama ise, isteğe bağlı olarak % 100 benzin veya % 85 etanole kadar istenilen oranlarda etanol-benzin karışımı yakabilen motora sahip araçların geliştirilmiş olmasıdır. Amerika’ da bu araçların sayısı üç milyondan fazladır. Bu araçlar özellikle petrol rezervlerinin olmadığı fakat şeker kamışının bol olduğu Brezilya’ da yoğun ilgi görmektedir. Benzin-etanol karışımları kullanılırken, özellikle düşük oranlarda etanol kullanıldığında (% 10 gibi), etanolün suya karşı çok hassas olmasından dolayı, faz ayrışması meydana gelebilmekte ve bu da motorda korozyona sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı karışımın içersinde su bulunup bulunmadığına çok dikkat edilmelidir [11]. Tablo 3.3’ de benzine göre etanolün özelliklerinin değerlendirilmesi görülmektedir.

Tablo 3.3 Benzine göre etanolün özelliklerinin değerlendirilmesi [8]

Isıl Verim	Mükemmel
Soğukta ilk hareket	Ziyadesiyle kötü
Vuruntuya Mukavemet	Mükemmel
Erken Ateşleme	Eşit
Malzeme Mukavemeti	Kötü
Kirletici Emisyon	İyi
Özgül Motor Gücü	Mükemmel
Otomobil Sürülebilmesi	Eşit

% 0 - % 30 aralığında değişken etanol oranına bağlı olarak yapılan motor testleri sonucunda, karışımlar kullanıldığında, tork değerinde yükselme görölürken, motor daha fakir karışımla çalışabileceğinden CO ve HC emisyonlarında da düşüş görölmüştür [11]. Etanol miktarının kademeli olarak arttırılmasıyla CO ve HC emisyonlarındaki azalma % 25' ten % 30 civarına yükselmiştir. Aynı zamanda motor devri 1500 d / d' dan 3500 d / d' ya çıkarıldığında, % 0 etanol oranında CO emisyonu % 63 iken, etanol oranı % 20' ye çıkarıldığında CO emisyonunun % 54' e düştüğü gözlenmiştir [15].

Etanolün alt ısıl değerinin benzinin alt ısıl değerine oranla daha düşük olması nedeniyle, etanol - benzin karışımlarının yanma sonu sıcaklıklarının da düşük olması beklenir. Düşük yanma sıcaklıklarında HC emisyonlarının artması beklenir. Ancak, etanolün alev hızının benzinin alev hızına nazaran daha yüksek olması ile yanmanın iyileştirilmesi kaçınılmaz olur. Etanol – benzin karışımlarının yanmayı iyileştirmeleri sonucu, karışımdaki etanol miktarının artışına bağlı olarak HC emisyonu da düşüş göstermiştir [15].

3.5. Etanolün Dizel Motorlarında Kullanılması

Etanolün yüksek oktan sayısına karşın, çok düşük bir setan sayısına sahip oluşu ve kendi kendine tutuşma direnci nedeniyle dizel motorlarında kullanımında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Dizel motorunda, etanolün, sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindir içersindeki sıkıştırılmış havanın üzerine püskürtülmesi ile başlayacak yanmada, yakıtın tutuşmasını geciktireceği gibi, vuruntuya da sebep olmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen metotlar aşağıda sıralanmıştır [11, 13].

3.5.1. Etanolün Emme Manifolduna Verilmesi

Bu teknikle, dizel motorlarında etanol bir karbüratör-enjektör yada buharlaştırıcı sistem yardımı ile emme manifolduna verilerek motorun emme havasıyla karıştırılmakta ve kullanım oranında %50'lere kadar çıkılabilmektedir. Fakat bu

teknikğin uygulanabilmesi için; karbüratör veya buharlaştırıcı mikserin motor üzerinde adaptasyonu, etanol enjeksiyonunun ölçme işlemi için farklı bir kontrol mekanizması, etanol ve dizel yakıtı sistemlerine ayrı yakıt tankı ve hattı için motorda çeşitli değişikliklere gereksinim duyulmaktadır [16,17]

Standart dizel motorlarında bulunan emme manifoldları çift fazlı akış için tasarlanmadığından bu teknik uygulandığında etanolün manifold içerisinde akışı uygun bir şekilde gerçekleşmemektedir. Buna karşılık emme manifoldu üzerine yerleştirilen alternatif formdaki sprej enjeksiyonlar ile sistem daha verimli hale getirilebilmektedir [18]. Diğer bir dezavantaj olarak alkol yakıt ölçme işlemi için motor üzerinde yeni bir teknikğin geliştirilmesi, ikinci bir yakıt hattı ve yakıt tankı gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Etanol emme manifolduna karbüratör yada enjektör ile verildiğinde manifold içerisinde buharlaşarak içeriye alınan havayı soğutmaktadır. Böylece emme dolgu havasının yoğunluğu artarak doğal bir ara soğutucu görevi görmektedir. Etanolün düşük ısısal değerine rağmen bu farklı özellik ile motor gücünde ve termik verimde artış sağlanarak diğer tekniklere göre avantajlı hale gelmektedir [19].

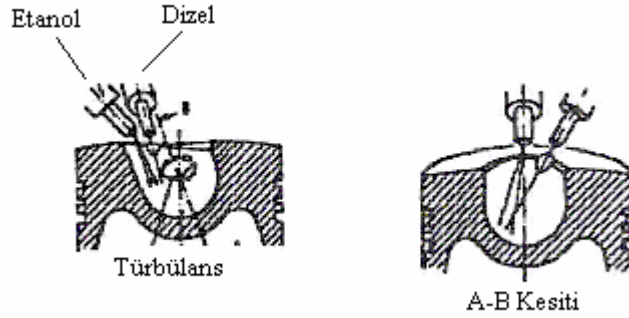
3.5.2. Çift Enjeksiyon Sistemi

Pilot Enjeksiyon sistemi olarak da adlandırılan çift enjeksiyon sisteminde kullanılan etanolün hacimsel olarak oranı %90'lara çıkartılabilmektedir. Bu teknikte etanol ayrı bir enjektörle yanma odasına püskürtülmekte ve etanol yakıtı enjeksiyonundan önce yanma işleminin başlatılıp etanolün tutuşturulmasını sağlamak için yalnızca dizel enjektöründen pilot enjeksiyon yapılmaktadır [20].

Bu teknikğin bazı olumsuz yanları; ikinci bir enjeksiyon sistemi ve yakıt tankı gerekliliği ve bu nedenle motorda karmaşıklığa sebep olmasıyla birlikte uygulamasının zor ve pahalıya mal olması, ayrıca saf alkolle çalışabilen yakıt enjeksiyon pompaları ve enjektörlerinin tam anlamıyla geliştirilememiş olmasıdır.

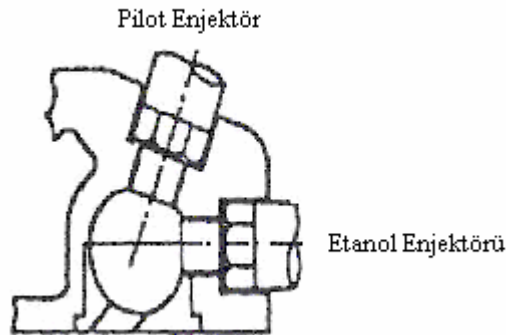
Çift enjeksiyon sistemi uygulanmak istenildiğinde, motor üzerindeki gerekli değişikliklerin başında yanma odasına ikinci bir enjektörün yerleşimi için gerekli

alana ihtiyaç duyulması gelmektedir. Pilot enjeksiyon sisteminden iyi performans elde edebilmek için, her iki enjektörün yanma odasındaki yerleşimi uygun şekilde gerçekleştirilmelidir. Şekil 3.1'de örnek olarak KHD marka DI dizel motoru enjektörlerinin yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.1. DI motorda çift enjeksiyon sisteminde yanma odasının görünüşü [18]

Bu teknik, tasarım olarak türbülans odalı ve ön yanma odalı dizel motorlarında daha başarılı olarak uygulanabilmektedir. Çünkü ön yanma odalı ve türbülans odalı sistemlerde yanma, türbülans kontrollü olduğundan dolayı pilot enjektörlerin yanma odasına yerleşimi için geometrik olarak kısıtlamalar oldukça azalmakta ve yanmanın kontrolü için pilot enjektörün yerleşimi çok kritik bir öneme sahip olmamaktadır[18]. Şekil 3.2'de ön yanma odalı sistemde pilot enjektör ve alkol enjektörlerinin başarılı bir biçimde yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.2. IDI motorda pilot enjektör ve etanol enjektörünün yerleşimi[18]

3.5.3. Etanolün Buji Yardımıyla Ateşlenmesi

Dizel motorlarında silindir içersine alınan etanolün buji yardımıyla ateşlenmesi tekniği ile birlikte motorun talep ettiği dizel yakıtının %100'ü yani tamamı alkol yakıtı ile değiştirilebilmektedir [21]. Genelde bu teknikte motorun standart enjeksiyon sistemi karbürasyon yada port-tipi enjeksiyon modeli ile değiştirilerek yanma odasında bir bujinin yerleşimini gerektirmekte ve ateşleme sistemi elemanları motora sonradan entegre edilerek uygulanabilmektedir. Motor tasarımı göz önünde bulundurulduğunda, bir dizel motorunu buji ile ateşlemeli sisteme dönüştürürken ortaya çıkan problemler çift enjeksiyon sisteminde gerekli olan değişikliklere oldukça benzer olmaktadır. Bujinin yanma odasına yerleşimi için silindir kapağında yer problemi olmamalı ve bujinin soğuyabilmesi için yeri uygun olmalıdır. Bu teknikte buji elektrotunun yanma odasındaki yerleşimi, motorun tüm çalışması boyunca yanma işleminin düzenli olmasını sağlayarak motorun düzenli çalışabilmesi için büyük öneme sahiptir. Çift enjeksiyonlu sisteme göre buji ile ateşlemeli sistem ile aynı yakıt tankı ve yakıt besleme sistemi kullanılabilir[18].

Alkoller yüksek buharlaşma ısısı ve yüksek oktan sayısına sahip olduklarından, bu yaklaşım ile daha avantajlı sonuçlar alınabilmektedir. Dizel motorlarında yüksek kompresyon oranı ve ateşleme sistemi yardımıyla sağlanan düzgün bir yanma ile motorun %100 etanol ile termik veriminde artış kaydedilebilmektedir. Aslında bu yaklaşım ile birlikte motor %100 alkol yakıtı ile çalışan ve benzin ile dizel motor arasında ortak özellikler gösteren verimli bir motor haline dönüşebilmektedir.

3.5.4. Setan Sayılarını Geliştirici Katkılarla Etanolün Kullanılması

Alkollere %10-20 oranında katılan tutuşmayı geliştirici katkılarla, setan sayılarının geliştirilerek tutuşmanın sıkıştırma ile gerçekleşmesi temin edilmektedir. Böylece dizel motorlarında alkoller tutuşturmayı geliştirici katkılar ile birlikte %100 oranında yani tamamen kullanımını sağlayan alternatif yöntemlerden birisi olmaktadır[18]. Bu katkı maddelerinin çoğu

nitrojen bazlı bileşiklerdir ve NO_x emisyonları üzerine negatif bir etkiye sahiptir. Bu katkılardan başlıcaları; İzoamil Nitrat (Isoamyl Nitrate), Trietilen Glikol Dinitrat (TEGDN-Triethylene Glycol Dinitrate) ve Siklohekzil Nitrat (Cyclohexzyl Nitrate)'dır [22]. Son zamanlardaki çalışmalarda kaydedilen gelişmelerle katkı maddesi oranı Etilen Glikol Nitrat (Ethylen glylicol nitrates) ile %5 dolaylarına çekilebilmiş ve bazı araştırma uygulamalarında kullanılmıştır.

Bu şekilde motor üzerinde masraflı, karmaşık ve pahalı sistem uygulamalarına gidilmeden alkollerin dizel motorlarında kullanımı sağlanabilmekte fakat en az %10 yada %20 oranında setan geliştirici katkı maddesine ihtiyaç olmaktadır. Kullanılan bu katkıların maliyetlerinin yüksek oluşu ve kullanımında bazı sakıncalar oluşturması (yüksek NO_x emisyonları) sebebiyle güncel uygulamalar için sınırlı kalmıştır.

Dizel motorlarında geliştirilmiş setan sayısına sahip alkollerin direkt olarak kullanımı için yinede bazı küçük değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Enjeksiyon zamanlanmasında ve enjeksiyon miktarında optimum motor performansını elde etmek için yakıt enjeksiyon pompasında bazı ayarlar gerekli olabilmektedir [17,18]. Motor üzerinde uygulanmış olan güncel dizel enjeksiyon sistemlerinde tutuşmayı geliştirici katkılarla birlikte alkollerin kullanımında, etanolun yağlama özelliği dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan dolayı genellikle yağlayıcı katkılara ihtiyaç duyulmaktadır. Yağlayıcı katkı maddesi olarak Hint yağı en çok kullanılanlardan birisidir[18].

3.5.5. Yüzey Ateşleme

Etanol gibi setan sayısı düşük yakıtların dizel motorlarında kullanımında, yanma odasında sıcak yüzey yardımcı tutuşturma tasarı halinde alternatif bir metot olarak kullanılmaktadır. Piston üst ölü noktada iken, bir önceki çevrimin yanma işleminden elde edilen enerjinin bir kısmını tutacak yüzeyler ile yada harici bir ısı kaynağı elemanı ile (ısıtma bujisi) yanma odasındaki sıcak yüzey için gerekli

enerjinin sağlanarak lokal tutuşma koşulları ortaya çıkarılmaktadır. Hava yakıt karışımının içerisinde tutuşma alevinin yayılması gerçekleşerek kararlı bir difüzyon alevinin oluşması sağlanabilmektedir.

Minimum yüzey sıcaklığı, kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliğine, yanma odasındaki koşullara bağlı olarak değişmektedir. Uygulamalar sonucu ısıtma bujisinin yüzey sıcaklığı tutuşmanın gerçekleşebilmesi için yaklaşık 850 °C olması istenmektedir. Sıcak yüzey uygulaması genellikle ön yanmalı IDI motorlarda ısıtma bujilerinin kullanımı ile soğukta ilk hareket problemlerinin üstesinden gelebilmek için kullanılmaktadır. Etanolun tutuşma karakteristikleri yakıt miktarına, enjeksiyon zamanlamasına, ısıtma bujisinin uzunluğuna, sıcaklığına ve yanma odasındaki konumuna bağlı olmaktadır [23].

3.6. Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Avantaj ve Dezavantajları

Etanol-dizel yakıtı karışımları, karışımının kararlılığını sağlayacak ve yağlayıcı özelliğini geliştirecek katkı maddeleri ile herhangi bir 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, 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, yüzey ateşleme motor üzerinde detaylı ve köklü değişimler gerektirmekte ve uygulama maliyetleri artmaktadır.

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 [18,24]. Buna karşılık alkolün emme manifolduna verilmesi ve çift enjeksiyon sisteminde alkol-dizel oranı %50 ile

%90 olmaktadır. Yalnızca alkollerin buji ile ateşleme ve setan sayısını geliştirici katkı maddesi ile kullanımında tamamen %100 alkol oranına geçilebilmektedir [18].

Alkolün emme manifolduna verilmesi yönteminde, emme manifoldunda değişikliğe gidilerek karbüratör yada bir buharlaştırıcı sistem ve oldukça karmaşık yakıt ölçme sistemi entegresi 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 edilme durumu vardır. Emisyonlardaki büyük gelişmelere rağmen dizel motorlarının tasarımları bu sistemlere uygun olmadığından her motorda uygulanması zor ve pahalı olmaktadır [25].

Tutuşturmaya geliştirici katkı maddelerinde kullanılan nitrat bazlı bileşikler ile, etanolün setan sayısı dizel yakıtı setan sayısı seviyesine getirilerek motorda değişiklik yapılmadan doğrudan ve tamamen kullanılabilmesi sağlanabilmektedir. Nitrat bazlı setan sayısı geliştirici katkı maddelerinin pahalı olması ve NO_x emisyonlarını artırması sebebiyle kullanımı kısıtlı olduğu için pek tercih edilmemektedir [18].

Etanol üretimi ve fiyatı düşünülerek yukarıda açıklanan durumlar göz önüne 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.

3.7. Etanolün Depolanması

Etanolün depolanmasını ve depo hacmini belirleyen iki temel faktör bulunmaktadır. Bunlardan ilki etanolün ısı değerinin düşük olmasından dolayı, eşdeğer enerjiyi sağlayabilmek için daha fazla etanol harcanması gerekmektedir. Bu da etanolü

depolayacağımız yakıt depolarının daha büyük olmasını gerektirerek aracın yükünün artması gibi istenmeyen bir sonuca neden olmaktadır. İkinci temel faktör ise etanolün sahip olduğu korozif etkiden dolayı, depo malzemesinin bu etkiden etkilenmeyecek malzemedan seçilmesinin gerekmesidir [26].

3.8. Etanolün Motor Malzemesi ile Uyumu ve Motor Aşıntısı

Etanol, motor yakıt sistemlerinde kullanılan kurşun kaplama, alüminyum, bakır, magnezyum, çinko ve pres döküm gibi malzemelerde aşındırıcı etkiye sahiptir. Ayrıca etanole temas halinde bulunan kauçuk ve plastik malzemelerde de bozulmalar olabilmektedir. Karbüratör yakıt şamandıraları genellikle plastik malzemedan yapıldığından şişerler. Fiber conta yumuşar, hortumlar ve yakıt pompası diyaframları sertleşir ve kırılır. Etanolün kullanımında, alkol yakıtlardan etkilenmeyen uygun malzemelerin kullanılması önem taşımaktadır.

Yakıt olarak etanol kullanılması sonucunda motorda segman ve silindir aşınıları meydana gelmektedir. Bu aşıntının sebebi silindirlerdeki yağ filminin soğukta çalışma esnasında silindir üzerine yapışan alkol tarafından yıkanması ve bunun sonucunda piston-segman ve silindir arasında metal teması olmasıdır [27].

3.9. Etanol Kullanımında Güvenlik

Etanolün, metanol gibi deriyi tahriş edici ve zehirleyici etkisi yoktur. Bu nedenle alkolsel özellikleri haricinde pek zararlı etkileri bulunmamaktadır. Yanma esnasındaki parlaklığı belirgin değildir ve gün ışığında bu olay çok az fark edilebilmektedir. Döküldüğü zaman ya da kapalı bir tankta bekletildiği zaman ateş vb. maddelerle yaklaşılmamalıdır çünkü parlayıcı ve patlayıcı bir etkiye sahiptir. Üretim aşamasında olduğu gibi dağıtım aşamasında da güvenliğe dikkat edilmelidir.

3.10. Günümüz Taşıtlarında Etanol Uygulamaları

Etanolün taşıtlardaki uygulamaları pek fazla modifikasyon gerektirmemektedir. Etanole uyabilecek küçük çaplı değişiklikler, etanol uygulamaları için yeterli

olmaktadır. Etanol, benzinli veya dizel motorlara bu küçük modifiye işlemleri ile uygulanabildiği gibi sadece etanol yakıtı için geliştirilen taşıtlar da bulunmaktadır.

- Volkswagen: Brezilya' da etanolün taşıtlarda kullanılmaya başlanmasından sonra % 85 etanol ve % 15 benzin karışımından oluşan E 85 yakıtının kullanıldığı taşıtlar geliştirilmiştir.

- General Motors: Amerika' da Wisconsin ve Illinois şehirlerinde kullanılmak üzere etanol yakıtlı 50 adet prototip araç geliştirilmiştir. Bunlarda da Volkswagen modellerinde olduğu gibi E 85 yakıtı kullanılmıştır [26].

BÖLÜM 4. ETANOL - DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Fosil yakıtlara belirli oranlarda etanol karıştırılmasıyla yakıtın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri değişim göstermektedir. Etanol termodinamik karakteristikleri bakımından dizel motorları için kısmen uygun yakıt özelliği göstermesine karşılık egzoz emisyonlarından özellikle sülfür bileşikleri, is ve partikül miktarını azalttığı için tercih edilebilir durumdadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynağı olmasının da etkisi büyüktür. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımı için ne kadar uyumlu olabileceğini iyi bir şekilde görebilmek için dizel yakıtı temel olarak göz önünde bulundurularak etanol-dizel yakıtı karışımlarının özelliklerinin karşılaştırılması faydalı olacaktır.

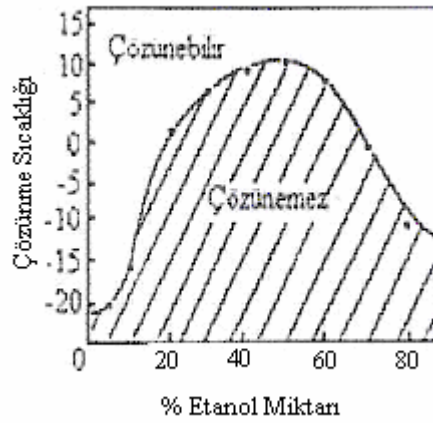
4.1. Etanolun Dizel Yakıtı İçerisindeki Çözünürlüğü ve Karışımın Kararlılığı

Alkollerin dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarla gerçekleşmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışımlarının stabilitesi genel olarak yakıtın hidrokarbon kompozisyonuna, içerdiği mum miktarına, özellikle karışım sıcaklığına ve etanolun su konsantrasyonuna bağlı olmaktadır [28].

Alkol-dizel yakıtı karışımları, dizel yakıtı hidrokarbon yapısı göz önünde bulundurulduğunda, alkol-benzin karışımları kadar kolay bir şekilde hazırlanamamaktadır. Çünkü etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir. Metanoller ise etanole göre daha fazla polar yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile karışımları etanole göre daha zor gerçekleşmektedir [16].

İki temel faktör olarak etanol-dizel yakıtı karışımının sıcaklığı ve karışım içerisindeki su miktarı, etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğünü etkilemektedir [29]. Ortam sıcaklığı biraz yüksek olduğunda (200 °C) etanol dizel yakıtı içerisinde kolayca

çözünmektedir, fakat 10°C 'nin altında iken faz farkı oluşturmaktadır. Karışımdaki etanol miktarı arttırıldıkça çözünme sıcaklığında bir artış meydana gelmektedir. Şekil 4.1' de etanol-dizel yakıtı karışımlarının sıcaklık değişimlerinden görüldüğü üzere, etanolün dizel yakıtı içerisinde çözünme yeteneği ortam sıcaklığı en uygun iken ortalama olarak % 18-20 etanol miktarlarında faz farkı olmadan gerçekleşebilecek durumdadır.



Şekil 4.1. Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği [18]

Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü, dizel yakıtının aromatik içeriğine de bağlı olmaktadır. Dizel yakıtı içerisindeki aromatik konsantrasyonun diğer hidrokarbonlarla uyumlu bir şekilde kaldığı zaman etanolün doğal polarizesi nedeniyle dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapı ile bir etkileşim meydana getirerek etanolün dizel yakıtına bulaşmasını sağlayabilmektedir. Bu özelliği ile dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapının etanol-dizel yakıtı karışımlarında çözünürlüğü artıran köprü molekül veya yardımcı solvent ile aynı etkiyi gösterdiği söylenebilir. Dizel yakıtı içeriğindeki aromatik bileşikler etanol-dizel yakıtı karışımlarının stabilizesini olumlu yönde etkilemesine karşılık genelde aromatik bileşiklerin dizel yakıtı içerisinde az oluşu nedeniyle yeterli olamamaktadır [24].

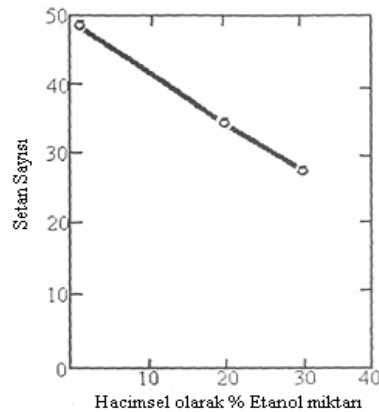
Etanol-dizel yakıtı karışımlarının faz farkı oluşturmaya engel olmak için karışıma emülsiyon veya yardımcı solvent katkı maddesi eklenmektedir. Emülsiyon katkı maddesi eklenildiğinde; etanolün çok küçük damlalar halinde

dizel yakıtı içerisinde dağılması sağlanmaktadır. Yardımcı solvent katkı maddesi eklenerek, etanol-dizel yakıtı moleküllerinin yüzey ara madde ile uyumlu bir şekilde birbirlerine yapışması sağlanarak homojen bir karışım oluşturulabilmektedir [17].

4.2. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisine püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısı yüksek olduğunda tutuşma gecikmesini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel 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 değerin altına düşmektedir. Şekil 4.2'de setan sayısının etanol miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yaklaşık % 12 – 12,5 olan etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı 40 olmaktadır ve %10 etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı üzerinde az bir etkiye sahip olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımında setan sayısının sınırlamaları sebebiyle yakıt karışımında veya kullanılacak motorda değişikliğe gidilmediği sürece en uygun etanol karışım oranları % 10 – 15' dir [18,25].



Şekil 4.2. Etanol-

Dizel yakıtı karışımlarının setan

sayısı değişimi [18]

Bu belirtilenlerin yanında setan sayısı yüksek veya istenilen sınırlar içersinde olduğunda, motorun soğukta ilk hareketi kolaylaşmakta, motor sesi azalmakta, motor ömrü artmakta, performans iyileşmekte ve NO_x emisyonları azalmaktadır[30]. Setan sayısı düşük olduğunda motorda düzensiz çalışma, g düşüklüğü ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkiler gözlenmektedir.

Setan geliştirici katkı maddeleri etanol-dizel yakıtı karışımlarında kullanılarak motorun performansında iyileşme sağlanabilmektedir. Genellikle tutuşmayı geciktirici katkı maddeleri olarak biyokütle temelli nitrat bazlı bileşikler yaygın olarak tercih edilmektedir fakat bu nitrat bazlı bileşikler genellikle NO_x emisyonlarını arttırmaktadır. Bu nitrat bazlı bileşiklerden en çok kullanılanı trietilen glikol dinitrat (TEGDN)' dir [30].

4.3. Yoğunluk ve Isıl Değer

Yoğunluk belirtilen sıcaklıkta kütle ile hacim arasındaki mutlak ilişkidir. Yakıtların yoğunlukları farklı sıcaklıklarda llmekteyse de daha çok karışılaştırmalarda 40 ⁰C' deki yoğunluk değişimi kullanılmaktadır. Dizel yakıtına göre etanolün yoğunluğu daha az olduğundan karışım içersindeki etanol miktarı arttıķa karışımın yoğunluğu azalmaktadır [18,24].

Etanolün hacimsel ısıl değeri dizel yakıtına göre ortalama % 35-45 kadar daha düşüktür ve etanol-dizel yakıtı karışımının ısıl değeri her % 5 etanol eklendiğinde ortalama olarak % 2-4 azalmaktadır.

Etanol-dizel yakıtı karışımları motorda her hangi bir değişiklik yapılmadan kullanıldığında, etanolün düşük enerji miktarına göre aracın kilometre başına yakıt tüketiminde artma ve motorun maksimum gücünde azalma yaşanacaktır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının düşük yoğunluk ve ısıl değerinden kaynaklanan bu dezavantajını telafi edebilmek için yakıt enjeksiyon sisteminden daha fazla yakıt enjeksiyonu sağlayabilmek üzere yakıt pompası maksimum yakıt ayarında değişiklik gerekmektedir [20,29].

4.4. Viskozite ve Yağlama Özelliği

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olup en önemli özelliklerinden birisidir. Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile doğrudan ilişkilidir. Yakıtın viskozitesi ve yağlayıcı özelliği yakıt enjeksiyon sistemi için çok önemli bir rol oynamaktadır. Dizel enjeksiyon sistemlerinin temel elemanlarının yağlanması yakıt tarafından gerçekleştirildiğinden dolayı viskozitenin belirli bir değerden düşük olması istenmemektedir. Özellikle distribütör tipi yakıt enjeksiyon pompalarının hidrolik başlık ve rotorunda, common-rail akümülatör tipi yakıt enjeksiyon sistemlerinde ise yakıtın yüksek basınç transfer pompasından yakıt hattına dağıtılırken yakıtın yağlama özelliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıra tipi yakıt enjeksiyon pompaları ise kullanılan yakıtın yağlama özelliğine daha az duyarlı olmaktadır fakat yine de az miktarda pompanın elemanı ve eleman gömleği arasında yağlamaya gerek duyulmaktadır. Enjektörlerde ise yakıtın yağlayıcılığı özellikle enjektör iğnesi ve gövdesi arasında gerekli olmaktadır [24].

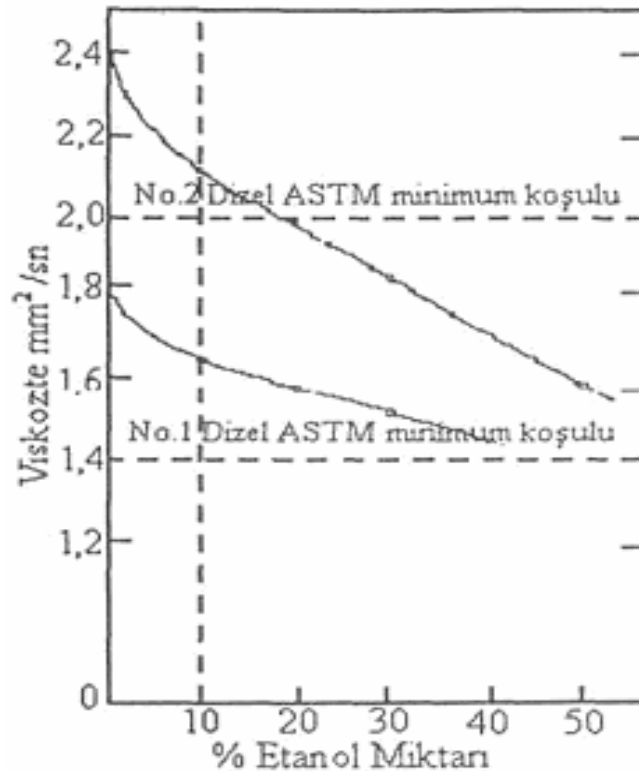
Yakıt enjeksiyon pompası elemanı arasına giren yakıtın viskozitesinin çok düşük olması durumunda, yakıt pompası ve enjektör kaçaklarına sebep olmaktadır. Dolayısıyla viskozitesi çok düşük yakıtların pompalama kayıplarında da artış görülmektedir. Motor gücünün azalmasında etanolün düşük ısı değerinden başka, viskoziteden doğan pompalama kayıpları ile bir azalma meydana gelmekte ve düşük viskozite nedeniyle yakıt pompasının elemanlarının aşınması da hızlanmaktadır [31].

İçten yanmalı motorların emisyonları yalnızca yakıtın kimyasal yapısı ile ilgili olmayıp yakıtın fiziksel özelliklerine de bağlıdır. Yakıtın fiziksel özelliklerden viskozitenin değişimi ile birlikte, püskürtülen yakıt zerreciklerinin büyüklükleri, yakıtın silindir içerisindeki atomizasyonu, silindir içerisine nüfuz edişi gibi yakıt enjeksiyonu püskürme karakteristikleri değişmektedir. Dolayısı ile silindir içerisinde ilk yakıt enjeksiyonundan ilk alev cephesinin görülmesine kadar

geçen süre içerisinde tutuşma gecikmesinin fiziksel süreci viskozite ile de etkilenmektedir[18].

Yakıtın viskozitesinin istenen değerden daha büyük olması ise yakıt enjeksiyonu sırasında büyük bir direncin oluşmasına sebep olacaktır. Böylece artan yoğunlukla beraber yakıtın atomizasyonu kötüleşmekte ve iri yakıt tanecikleri soğuk silindir duvarlarına çarparak is emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Şekil 4,3'de viskozitesi $1 \text{ mm}^2/\text{s}$ olan etanol ve $2,46 \text{ mm}^2/\text{s}$ olan dizel yakıtı ile hazırlanan karışımların viskozite değişimleri görülmektedir. Karışıma eklenen etanol miktarı artırıldıkça etanolün viskozitesinin dizel yakıtına göre düşük olması nedeniyle karışımın viskozitesinde azalma görülmektedir. %18,5 etanol - %81,5 dizel yakıtı karışımının $37,8^\circ\text{C}$ ' deki viskozitesi dizel yakıtı için ASTM minimum viskozite değerine ($2,00 \text{ mm}^2/\text{s}$) yakın olmaktadır [18].



Şekil 4.3. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının $37,8^\circ\text{C}$ ' deki viskozite değişimleri [24]

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının etanolün düşük yağlama kalitesi sebebiyle yağlayıcı katkı maddesi yada yüksek oranda yağlayıcı bileşikler katılarak yağlama özelliği geliştirilebilir. Genellikle biyolojik bazlı yağlardan özellikle Hint yağı karışıma katılarak yağlayıcı özelliği geliştirici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

4.5. Soğuktaki Akış Özellikleri (Akma ve Bulut Noktası)

Yakıtların düşük sıcaklıklardaki akış özellikleri, bulut noktasına ve akma noktasına göre belirlenmektedir. Bulut noktası (bulanma noktası) yakıt içerisinde bulunan ağır bileşiklerin katılaşmaya başlamasıyla birlikte ilk bulut görünümlü mum kristallerinin yakıt içerisinde görünmeye başladığı nokta olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın sıcaklığı daha da düşürülmeye devam edildiğinde mum kristallerinin boyutunda ve sayısındaki artış ile birlikte bu oluşum hızlanmakta ve giderek katılaşmaktadır. Akma noktası ise yakıt içerisinde mum kristalleri oluşmaksızın yakıtın akabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Dizel motorları için akma noktası soğukta motorun ilk hareketinin kolay olması için önem kazanmaktadır [32].

Etanol-dizel yakıtı karışımları için ise bulut noktası (bulanma noktası) karışımın kristalleşmeye başladığı veya düşük sıcaklık nedeniyle faz farkının oluşmaya başladığı sıcaklık olarak belirtilebilmektedir. Çünkü dizel yakıt içeriği birçok bileşimden oluştuğu için donma noktası tam olarak belirlenmemektedir [28]. Dizel yakıtına etanol katıldığında faz farkı olmadığı sürece etanol-dizel yakıtı karışımının bulanma noktası yaklaşık olarak etanol-dizel yakıtı bulanma noktasına eşit olmaktadır [32].

Standart dizel yakıtında, yakıtın ilk mum kristallerinin oluşarak jelleşmesi sebebiyle bulanma noktası ve soğukta yakıt filtresi tıkanması gibi problemleri etanol-dizel yakıtı karışımları ile aşılabılır görünmektedir. Tablo 4.1’de etanol-dizel yakıtı karışımlarının akma noktalarında farklılıklar görülmektedir. Bununla birlikte etanol-dizel yakıtı karışımlarının düşük sıcaklık nedeniyle faz farkının görülmeye başlamasıyla bulanma noktasında bir artış yaratmaktadır. Bulanma noktasındaki bu artışın nedeni ise etanol-dizel yakıtı karışımlarında azalan sıcaklıkla birlikte karışım içerisindeki mikro-emülsiyon şeklinde dağılmış

olan etanolun mikron boyutlarındaki büyümesi faz farkına neden olmasındır. Dizel yakıtına etanol eklenmesi ile etanol-dizel yakıtı karışımlarının akma noktası daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Tablo 4.1’ de görüldüğü gibi % 5-10-15-20’ lik etanol-dizel yakıtı karışımlarının akma noktası, dizel yakıtına göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir[32].

Tablo 4.1. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının bulut noktası ve akma noktası değişimi [32]

Hacimsel		Bulut Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)
Etanol	Dizel		
0	100	5	5
5	95	5	-7
10	90	5	-10
15	85	5	-13
20	80	5	-36
25	75	5	–
30	70	4	–

4.6. Parlama Noktası, Buhar Basıncı ve Alevlenme Noktası

Alternatif yakıtların standart olarak kullanımı ve depolanması düşünüldüğünde yanıcılığı ve patlayıcılığı en önemli hususlardan birisidir. Yakıtların yanıcılık limitleri hava içerisinde oluşturduğu yanıcı yakıt buharının maksimum ve minimum konsantrasyonu sonucunda oluşabilecek sıcaklıklar ile belirlenmektedir [24]. Karışımın buhar basıncı, yakıt tankının içerisindeki yakıtın kritik sıcaklıkta iken oluşan buharla birlikte meydana gelen basınç şeklinde tanımlanabilir. Bu koşullarda yanıcı buharın kendiliğinden parlayabildiği en düşük sıcaklığa da parlama noktası adı verilir ve parlama noktasında oluşan alevin sönmeden devam ettiği sıcaklığa da alevlenme noktası denilmektedir [28,32].

Parlama noktası ve alevlenme noktası motorun performansı ile doğrudan ilişkili değildir, fakat yakıtın depolanması ile yangın tehlikesi bakımından oldukça önemlidir [25].

Buhar basıncı, parlama ve alevlenme noktalarının; kısmen dolu olan yakıt deposunun yakıtla doldurulması sırasında oluşmuş olan yanıcı yakıt buharının depodan dışarı çıkması sırasında, tankın veya yakıt sistemi elemanlarının hasar görerek kaçak oluşması durumunda yangın tehlikesi nedeni ve bu tür güvenlik problemleri dışında da HC emisyonları açısından da önemi büyüktür [28].

Dizel yakıtı parlama sıcaklığı 74 °C civarlarında olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama noktası, etanolün düşük parlama noktası sebebiyle dizel yakıtına göre yaklaşık olarak %65 daha düşük sıcaklıkta olmakta ve etanolün parlama noktasına yakın olmaktadır. Tablo 4.2’ de görüldüğü gibi etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama sıcaklıkları oda sıcaklığına (27,5 °C) çok yakındır. Etanol-dizel yakıtı karışımları, düşük parlama noktası sebebiyle kullanımında standart dizel yakıtına göre daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.2. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının parlama noktası değişimi

% Hacimsel		Parlama noktası (°C)
Etanol	Dizel	
0	100	74
5	95	24
10	90	25
15	85	27
20	80	25
25	75	25
30	70	26

3.7. Korozyon ve Malzeme Uyumluluğu

Etanolün benzin motorlarında ilk olarak 1980’ lerde yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte malzeme uyumluluğu üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır. Bu yapılmış olan çalışmaların sonuçlarından yola çıkılarak etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorları üzerindeki etkisi tahmin edilebilir.

Dizel yakıtı içerisindeki etanol miktarına bağlı olarak yakıt sistemi elemanlarında korozyon oluşumu etkilenmektedir. Etanolun içten yanmalı motorlarda kullanılması ile ortaya çıkan korozyon üç çeşide ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla; genel korozyon, kuru korozyon ve ıslak korozyondur. Genel korozyon temel olarak klorid iyonları ve asetik asit iyonlarıyla yakıt konsantrasyonunun bozulmasıyla başlamaktadır. Kuru korozyon, genellikle etanol moleküllerinin polaritesi ile ilişkilendirilmektedir. Islak korozyon, azetropik suyun oluşumu ile gerçekleşmektedir [24]. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının ph dengesi nötr olan susuz etanol ile yeniden hazırlandığında diğer durumlara göre daha az korozif etki göstermesi beklenilmektedir. Etanol-dizel yakıtı karışımı yakıt tankında uzun süre bekletildiğinde etanol havada bulunan nemi üzerine çekerek ıslak korozif özelliği kazanarak yakıt enjeksiyon sistemi için çok önemli duruma ulaşmakta ve yakıt karışımı enjeksiyon pompası içerisinde uzun süreli beklenildiğinde ise pompa içerisinde parçaların korozyon oluşumuna sebep olabilecektir. Bazı özel katkı maddesi üreten firmalar etanol-dizel yakıtı karışımlarına korozyon inhibitörlerini (kimyasal olayı yavaşlatan negatif katalizör) katkı maddesi paketlerine ilave etmektedirler.

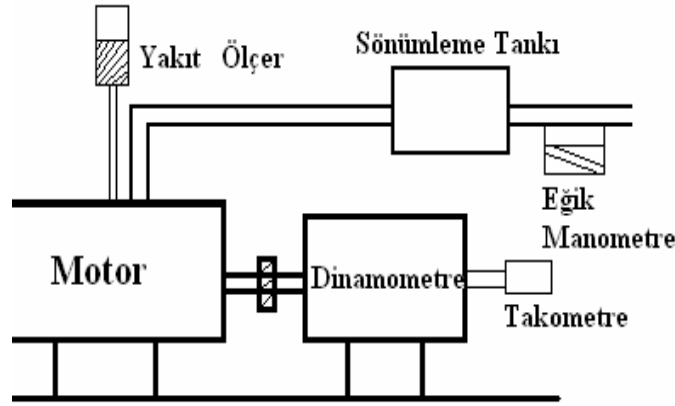
Uzun süre etanol-dizel yakıtı karışımları kullanıldığında metalik olmayan elastomer parçalar ile özellikle yakıt enjeksiyon sisteminde bulunan elemanların conta ve o-ring gibi sızdırmazlık elemanlarında etanolden etkilenerek şişme ve sertleşmeler olabilmektedir. Etanol kullanılacak olan yakıt enjeksiyon pompalarında flüörür lastikten yapılmış contalar sızdırmazlığı sağlayabilmektedir [20,24].

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 [20,24].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bir dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneyler Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Laboratuvarında yapılmıştır.

5. 1. Deney Düzeneği



Şekil 5. 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Motorların performans karakteristiklerinin tespiti için motorun yüklenerek çıkış milinden iş alınması gerekmektedir. Yükleme sistemleri “fren” adını almakta olup motorun çıkış miline uygulanan kuvvete yük adı verilir. Motorun yüklenmesi sırasında, motorun çıkış miline iletilen güce eşdeğerde bir karşı yük uygulanarak motor frenlemeye çalışılır. Bu frenleme sırasında motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş veya güç bulunabilir. Şekil 5.1’ de deney düzeneği şematik olarak görülmektedir.

5. 1. 1. Deney motoru

Deneyler dört zamanlı, çift silindirli, su soğutmalı Super Star marka bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Fumigasyon şartlarının sağlanabilmesi için deney motorunda bir takım değişiklikler yapılmıştır. Etanolün emme manifolduna

püskürtülmesi işlemi bir etanol deposu ve bir yakıt pompası kullanılarak, emme manifolduna yerleştirilen iki adet enjektör ile gerçekleştirilmiştir. Sisteme püskürtülecek etanol basıncını istenilen değerlerde ayarlayabilmek için, biri emme havası girişine diğeri de etanol girişine olmak üzere iki adet barometre kullanılmış ve etanol çıkışına da bir geri dönüş vanası bağlanarak püskürtülen etanolün basıncı istenilen değerlerde sabitlenmiştir. Tablo 5.1’ de deneylerde kullanılan dizel motorunun özellikleri ve Şekil 5.2 ve 5.3’ de deney motoru ve üzerinde yapılan değişiklikler görülmektedir.

Tablo 5. 1. Deney motorunun özellikleri

Super Star, 7728	
Çalışma Prensibi	4 Zamanlı, Direkt Enjeksiyonlu
Silindir Sayısı	2
Sıkıştırma Oranı	1/17
Silindir Çapı	98 mm
Strok	100 mm
Silindir Hacmi	1,54 litre
Püskürtme Basıncı	175 kg/cm ²
Maksimum Motor Gücü	10 hp (1800 d/d)



Şekil 5. 2. Deney motoru, pilot enjektörler ve emme havası manometresi



Şekil 5. 3. Etanol deposu

5. 1. 2. Dinamometre

Deneyle sırasında motorun gücünü ölçebilmek için bir su dinamometresi kullanılmıştır. Motor çıkış miline bağlı olan bir kaplin vasıtasıyla dönen dinamometrenin su ile yüklenmesiyle motorun ürettiği kuvvet bir yük hücresi (loadcell) vasıtasıyla ölçülmüştür. Şekil 5.4' de deneylede kullanılan su dinamometresi ve Şekil 5.5' de loadcell görülmektedir.



Şekil 5.4. Su dinamometresi



Şekil 5. 5. Yük hücresi (loadcell)



5. 1. 3. Hava debisinin ölçülmesi

Deneylerde hava debisi ölçümü için sönümleme tankı ve eğik manometre kullanılmıştır. Şekil 5.6' da eğik manometre görülmektedir.



Şekil 5.6. Eğik manometre

5. 1. 4. Yakıt debisinin ölçülmesi

Deney motorunun tükettiği yakıt miktarının bulunması için 25 ve 50 cm³'lük ölçüm yapabilen yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü kronometre yardımıyla hacimsel olarak ölçülmüştür. Şekil 5.7' de yakıt debi ölçeri görülmektedir.



Şekil 5.7. Yakıt debisi ölçeri

5. 1. 5. Takometre

Motorun devrini ölçmek için kullanılan Elimko marka takometre Şekil 5.8’ de görülmektedir. Takometre su dinamometresinin çıkış miline yardımcı bir bağlama parçası kullanılarak sabitlenmiştir. Deneyler esnasında motorun devri takometrenin ekranından okunmuştur.



Şekil 5.8. Elimko Takometre

5. 2. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Motor deneylerinde ölçülen büyüklükler genellikle döndürme momenti, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi ve ortam sıcaklığıdır. Bu değerler yardımıyla hesaplanan en önemli performans karakteristikleri ise efektif güç, döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt sarfiyatıdır.

5. 2. 1. Döndürme momenti

$$M_d = F.L$$

L : 0,38 m (dinamometre ile loadcell arasındaki moment kolu mesafesi)

F : Kuvvet

5. 2. 2. Efektif Güç

$$P_e = M_d \cdot \frac{2\pi n(d / d)}{60}$$

n : Devir sayısı

5.2. 3. Özgül yakıt tüketimi

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına özgül yakıt sarfiyatı denir.

$$b_e = \frac{V_y \cdot d \cdot 3600}{t \cdot P_e}$$

t : Zaman (s)

V_y : Tüketilen yakıt hacmi (cm³)

d : Yakıtın yoğunluğu (g/cm³)

5. 2. 4. Ortalama efektif basınç

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistona etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir.

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{n_c \cdot V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i}$$

W_e : Bir çevrimdeki iş (Nm/çevrim)

n_c : Çevrim sayısı, $n_c = n \cdot i$ (çevrim/s)

i : Bir devirdeki çevrim sayısı (çevrim/dev.)

4 zamanlı motor için $i = 1/2$, 2 zamanlı motor için $i = 1$ dir.

5. 2. 5. Efektif verim

Efektif verim, motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir.

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e / t}{Q_T / t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u}$$

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi (g/s)

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

5. 2. 6. Volümetrik verim

Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının pistonun yer değiştirdiği hacme (teorik hava miktarı) oranıdır.

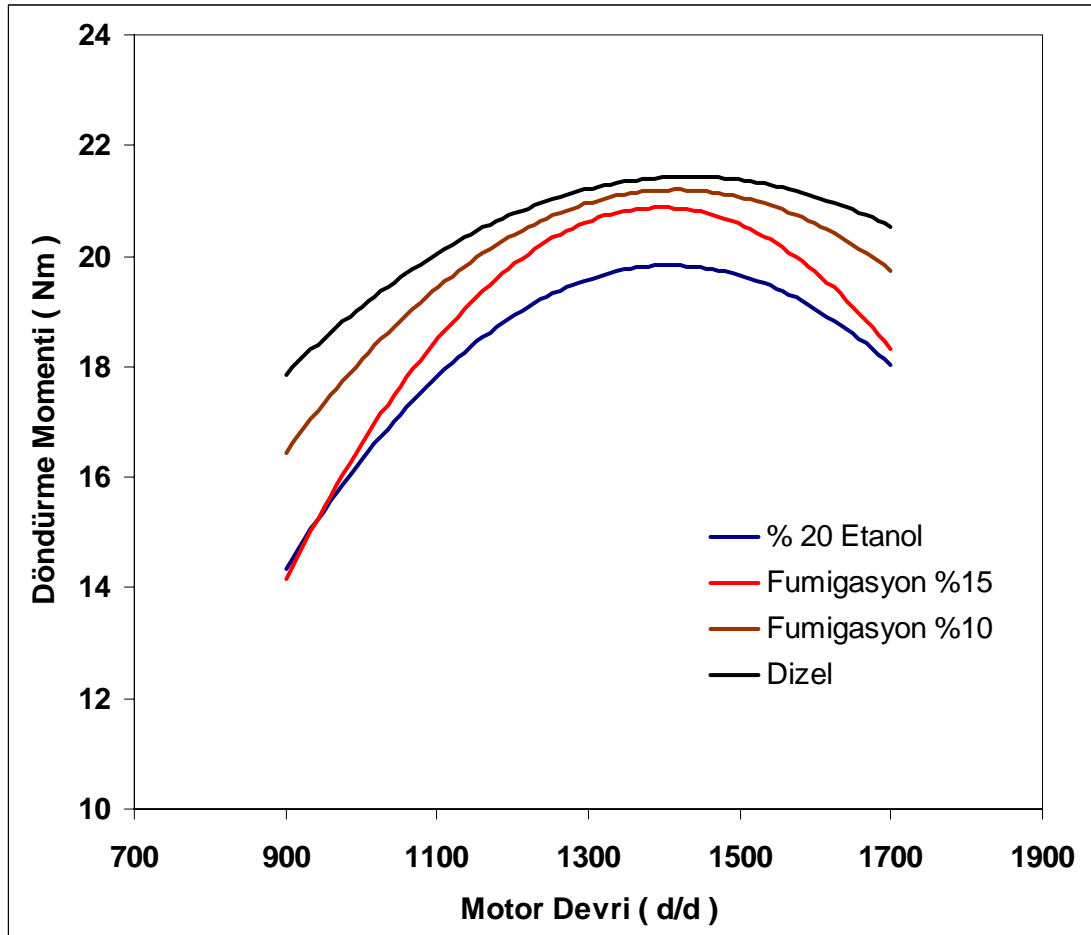
$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{H,g}}{\dot{m}_{H,t}} = \frac{2\dot{m}_{H,g}}{z \cdot \rho_{H,g} \cdot V_H \cdot n} = \frac{2\dot{V}_{H,g}}{z \cdot V_H \cdot n}$$

V_H : Strok hacmi (m^3)

z : Silindir sayısı

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

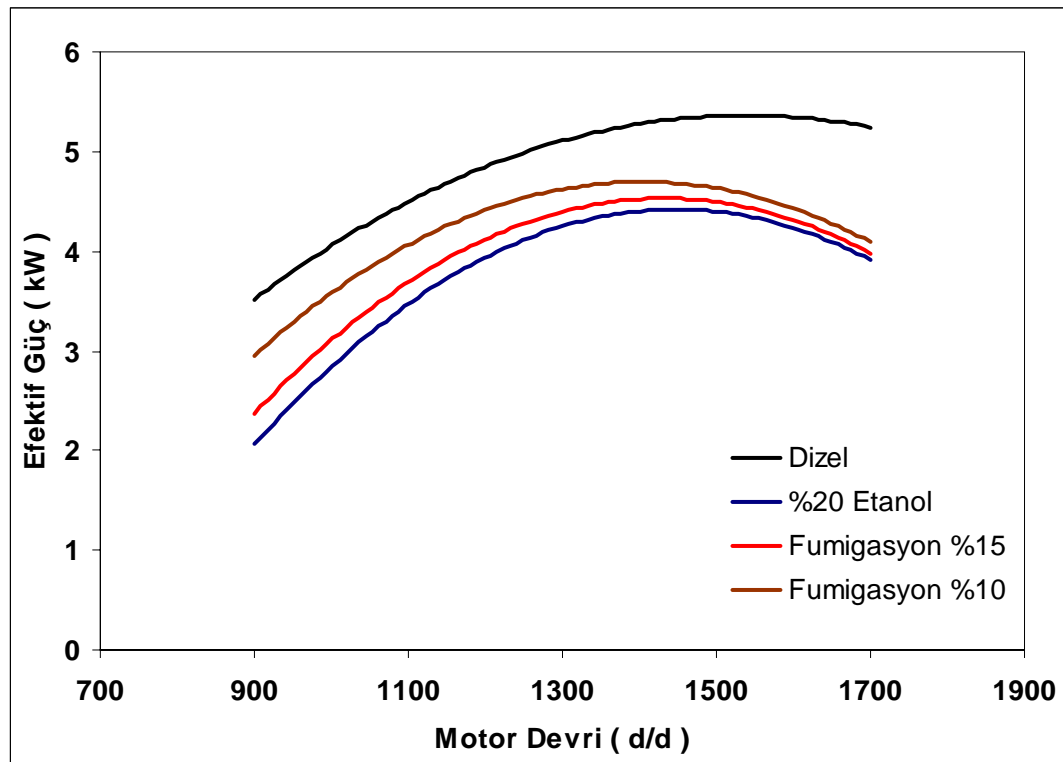
Bu çalışmada bir dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen motor testleri neticesinde; dizel yakıtının, içersine % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtının ve %15 ile %20 oranlarda gerçekleştirilen etanol fumigasyonunun efektif güç, döndürme momenti, ortalama efektif basınç, volümetrik verim, efektif verim ve özgül yakıt sarfiyatı değerlerinin motor devrine bağlı olarak değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların moment değişimi

Şekil 6.1' de dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı ve %15 ile %20 oranında gerçekleştirilen fumigasyonların motor devrine bağlı olarak moment değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum momentin 1500 d/d' de

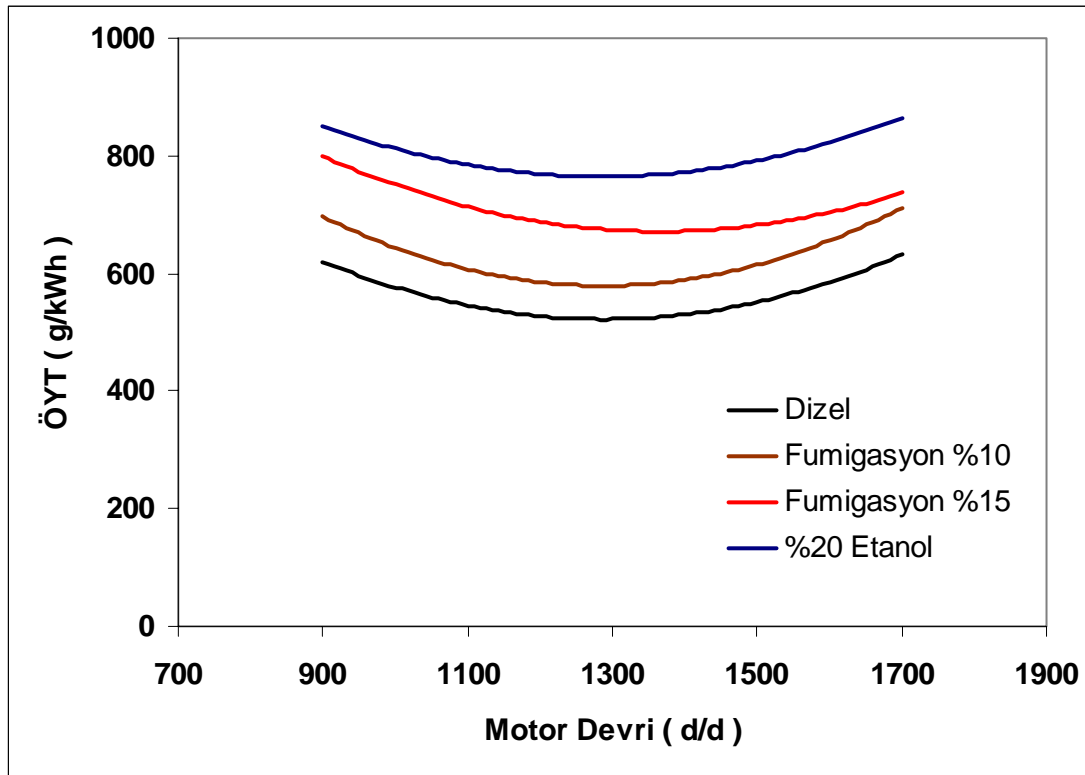
dizel yakıtı için 20,02 Nm, % 20 etanol karışımı için 18,12 Nm, %15 karışımdaki fumigasyon için 19,21 Nm ve %10 karışımdaki fumigasyon için 20,06 Nm olduğu görülmektedir. Şekil 6.1' den anlaşılacağı gibi yüksek devirlerde dizel yakıtından elde edilen döndürme momenti etanol karışımı ve fumigasyon değerlerinden daha yüksektir. Buna karşın düşük devirlerde fumigasyonların daha yüksek döndürme momenti sağladığı görülmektedir. 1100 d/d' de dizel yakıtı 16,72 Nm döndürme momenti sağlarken, %15 karışımla gerçekleştirilen fumigasyonda, dizel yakıtına göre % 25 daha fazla ve %10 karışımla gerçekleştirilen fumigasyonda ise dizel yakıtına göre % 11 daha fazla moment elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların efektif güç değişimi

Şekil 6.2' de dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı ve %10 ile %15 oranlarındaki fumigasyonların motor devrine bağlı olarak efektif güç değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum efektif güç dizel yakıtı için 1500 d/d' de 5,461 kW olurken, % 20 etanol karışımı için aynı devirde 4,235 kW, %15 oranındaki fumigasyon için 4,262 kW ve %10 karışımdaki fumigasyon için 3,324 kW olduğu gözlenmiştir. Motor devrinin 1100 devirin üzerine çıkmasıyla birlikte dizel yakıtından sağlanan efektif güç yükselmeye devam ederken, fumigasyonlardan

sağlanan efektif gücün azalmaya başladığı gözlenmiştir. Etanolün alt ısıl değerinin düşük olması, yüksek devirlerde efektif gücün azalmasının başlıca sebebi olarak gösterilebilir. Buna karşılık etanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olmasından dolayı volümetrik verimi artırması, düşük devirlerde efektif gücün yükselmesini sağlamaktadır. Şekil 6.2 incelendiğinde 1100 d/d’ de %15 oranındaki fumigasyon dizel yakıtına oranla % 26 daha fazla ve %10 oranındaki fumigasyon ise dizel yakıtına oranla % 6 daha fazla efektif güç üretmiştir.

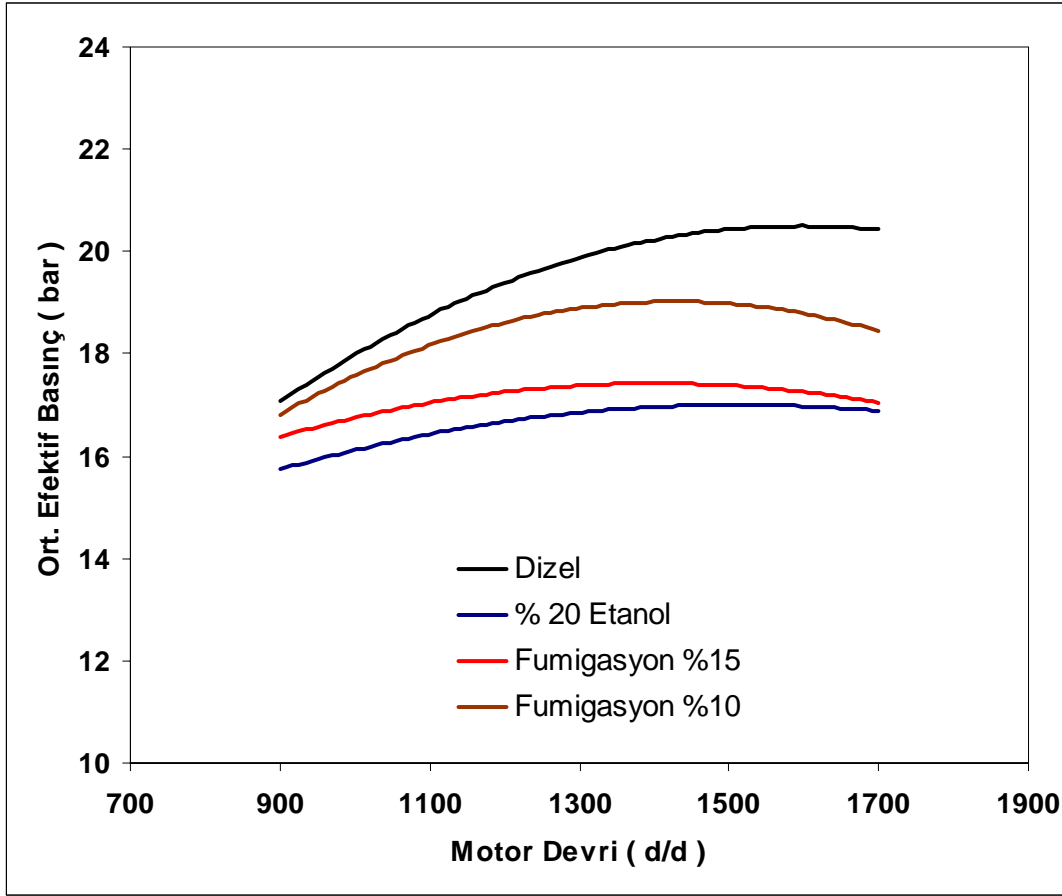


Şekil 6.3. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların özgül yakıt tüketimi değişimi

Şekil 6.3’ de dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı ve %10 ile %15 oranlarında gerçekleştirilen fumigasyonların motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda minimum özgül yakıt tüketimi dizel yakıtı için 1500 d/d’ da 525,776 g/kWh olurken, aynı devirde % 20 etanol için 612,233 g/kWh, %15 oranındaki fumigasyon için 700,477 g/kWh ve %10 oranındaki fumigasyon için 805,682 g/kWh olduğu görülmektedir.

Şekil 6.3 incelendiğinde dizel yakıtının içersine % 20 etanol karıştırılmasıyla yada etanol fumigasyonu ile, motor devrinin artmasıyla beraber özgül yakıt tüketiminde gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. 1300 devirin altındaki devirlerde ise % 20

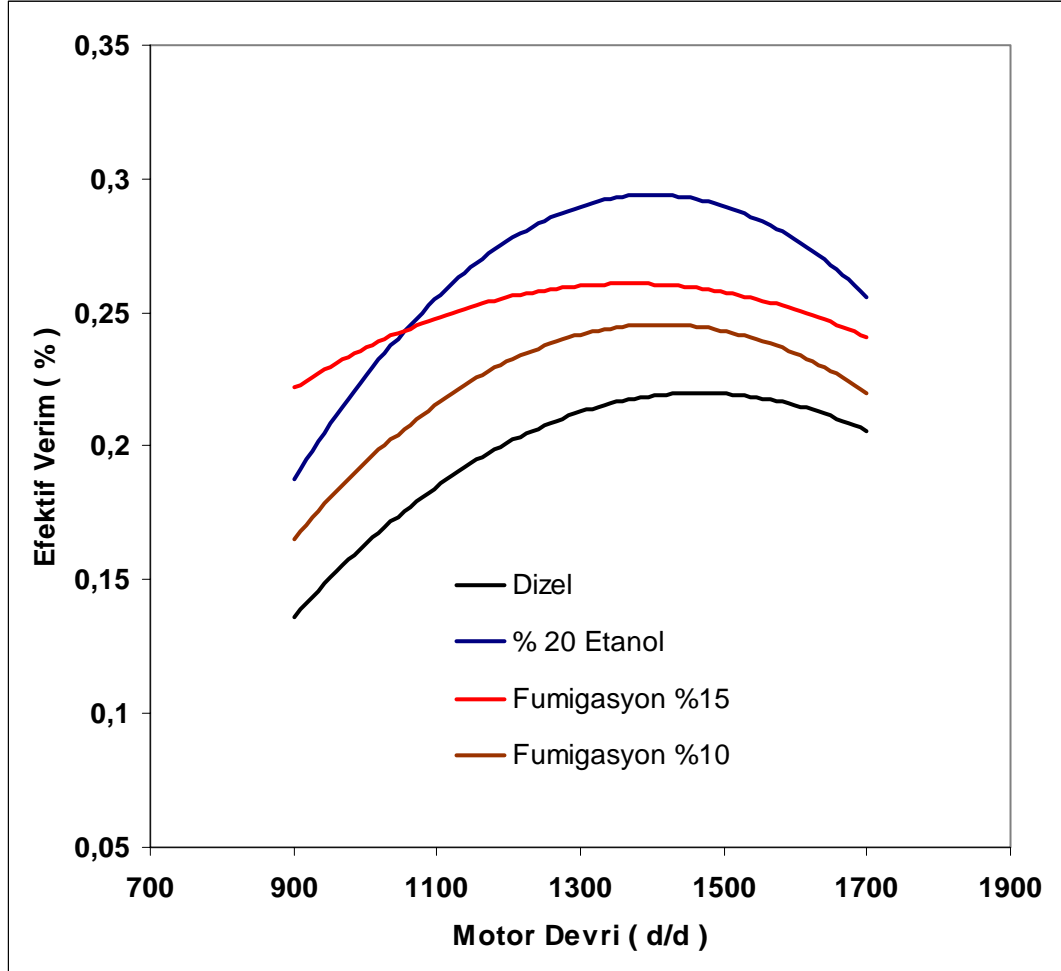
etanol karıştırılmış olan dizel yakıtının ve fumigasyonların, motorine oranla özgül yakıt tüketimi değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların ortalama efektif basınç değişimi

Şekil 6.4’ de dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı ve %10 ile %15 oranlarında gerçekleştirilen fumigasyonların motor devrine bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum ortalama efektif basınç dizel yakıtı için 1500 d/d’ da 20,592 bar olurken, aynı devirde etanol karışımı için 17,022 bar, %15 oranındaki fumigasyon için 17,364 bar ve %10 oranında gerçekleştirilen fumigasyon için 19,356 bar olduğu gözlenmiştir. Motor devrinin 1100 devrin üzerine çıkmasıyla beraber dizel yakıtında ortalama efektif basınç yükselmeye devam ederken, % 20 etanol karışımı ve fumigasyonlarda ortalama efektif basınç değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Grafik incelendiğinde düşük devirlerde % 20 etanol karışımı ve fumigasyonlar için ortalama efektif basınç değerlerinin dizel yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir. 1100

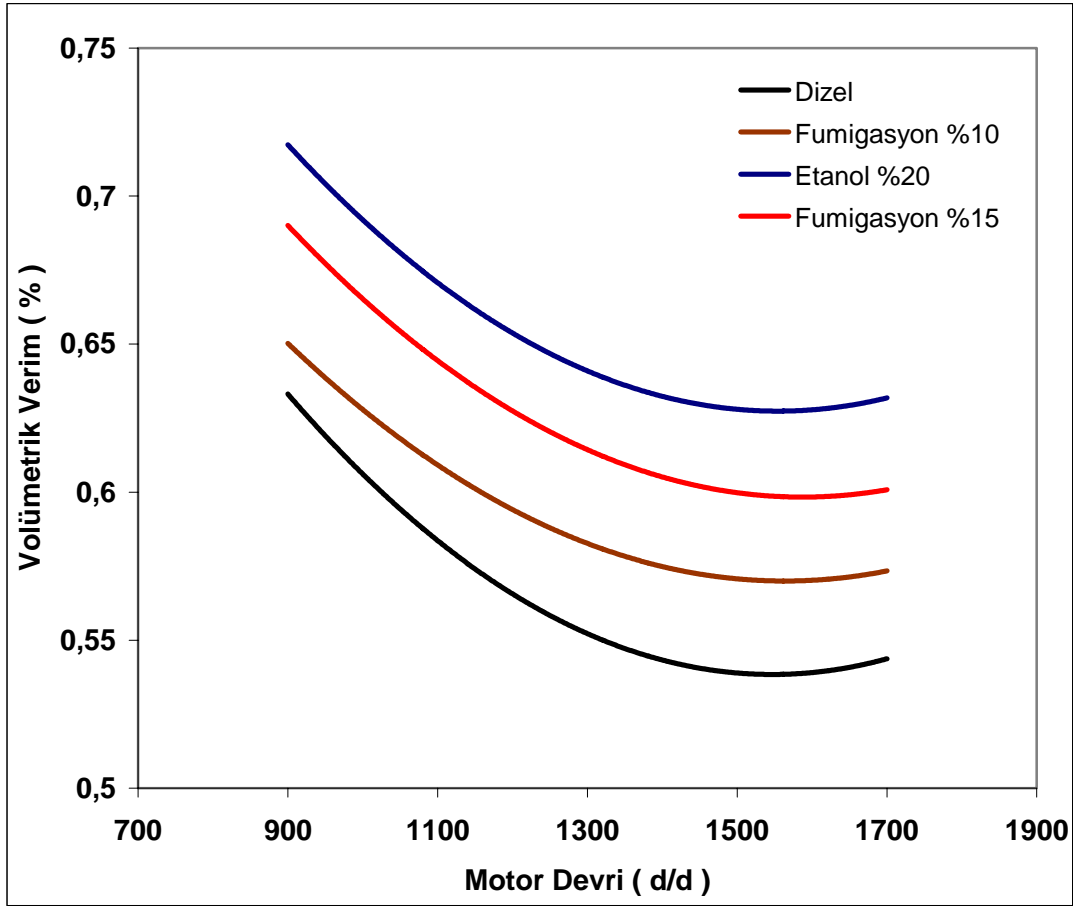
d/d' de % 15 oranındaki fumigasyonun ortalama efektif basınç değeri dizel yakıtından % 6 daha yüksek, %10 oranındaki fumigasyonun ortalama efektif basınç değeri dizel yakıtından % 3 daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.5. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların efektif verim değişimi

Şekil 6.5' de dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı %10 ile %15 oranlarındaki fumigasyonların motor devrine bağlı olarak efektif verim değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum efektif verim dizel yakıtı için 1500 d/d' de % 20,3 olurken, aynı devirde %20 etanol karışımı için % 25,6, %15 oranındaki fumigasyon için % 23,6 ve %10 oranında gerçekleştirilen fumigasyon için % 21,9 olduğu gözlenmiştir. Etanol karışımı ve fumigasyonların düşük devirlerinde efektif verim, motorine oranla daha yüksekken, motor devrinin yükselmesiyle birlikte efektif verim değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Buna karşın motor devrinin

yükselmesiyle dizel yakıtından sağlanan efektif verimde de bir artış söz konusu olmuştur.



Şekil 6. 6. Dizel, % 20 Etanol ve fumigasyonların volümetrik verim değişimi

Şekil 6.6' da dizel yakıtı, % 20 etanol karıştırılan dizel yakıtı ve %10 ile %15 oranlarındaki fumigasyonların motor devrine bağlı olarak volümetrik verim değişimleri görülmektedir. Tam yük konumunda maksimum volümetrik verim dizel yakıtı için 900 d/d' de % 63,2 olurken, aynı devirde etanol karışımı için % 65,0, %15 oranındaki fumigasyon için % 71,8 ve %10 oranındaki fumigasyon için % 68,9 olduğu gözlenmiştir.

Motor devrinin artmasıyla birlikte silindirler içersine alınan hava miktarında düşüş meydana gelmesi, volümetrik verimin de düşmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte etanolün buharlaşma gizli ısısının dizel yakıtından yüksek olması, fumigasyonlarda elde edilen volümetrik verim değerlerinin dizel yakıtından elde edilen volümetrik verim değerlerinden daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen momentte %5-8, efektif güçte %8-9, özgül yakıt tüketiminde %5, efektif verimde %6, volümetrik verimde ise %10 artış ortalama efektif basınçta ise % 4 değerinde azalmalar görülüp, motor karakteristik eğrileri bir bütün olarak incelendiğinde, tüm fumigasyon değerlerinin motorun düşük devirlerinde (900 d/d - 1200 d/d) dizel yakıtından elde edilen değerlere oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Fakat motor devrinin 1200 d/d' yi aşmasıyla birlikte fumigasyonda elde edilen veriler bu üstünlüğünü dizel yakıtına kaptırmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] KARAOĞLU, Y., “Hidrojen Yakıtı ve İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması”, Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi, Lisans Bitirme Tezi, Haziran, 2003.
- [2] ALİBAŞ, K., ÇOLAK, S., “Doğal Gazın Tek Silindirli İçten Yanmalı Bir Motorda Kullanılabilme Olanğı”, Mühendis ve Makine Dergisi, c: 33, s: 391, 1992.
- [3] ÖZAKTAŞ, T., ARSLAN, E. ERGENEMAN, M., GÖKTAN, A., SORUŞBAY, C., Doğalgaz Motorları ve Otobüslerde Doğalgaz Kullanımı, Termodinamik Dergisi, Sayfa: 54-57, Haziran, 1994.
- [4] ERGENEMAN, M., SORUŞBAY, C., “Doğal Gazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı”, Doğal Gaz Dergisi, Şubat, 1990
- [5] ÇEVİKÖZ, B., M., “Alternatif Motor Yakıtları ve LPG’nin Motor yakıtı Benzinle Deneysel olarak Karıştırılması”, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, 1996.
- [6] HOLT, D. J., “Propene Fueled Vehicles”, Automotive Engineering, Vol.,91., Num.12,pp 31-33
- [7] BAYINDIR, H., YÜCESU, S.H., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Etanol-Benzin Karışımlarının Çevre Kirliliğine Etkileri”, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi, Yıl 3, Sayı 2-3, 2000.
- [8] KARAOĞLU, F., “Alkollü Benzinlerin Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi”, Sayfa 9-10, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990.
- [9] OĞUZ, H., “Dizel Yakıtı - Ayçiçek Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Tarım Mak. Ana Bil. Dalı, Konya, 1998.
- [10] GÜLDER, Ö. L., BAYKA, A.D., “Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Otomobil Yakıtı Olarak Teknik Yönleri”, Tübitak Mühendis Araştırma Grubu, Proje No:526, 1981
- [11] ŞENGİL, M., “ Karışım Bitkisel Yağ Etil ve Metil Esterinin Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Mart, 2005.

- [12] KORKMAZ, İ., “Benzin ve Metanol Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi”, İ.T.Ü, F.B.E. Doktora Tezi, İstanbul, 1996.
- [13] ACAROĞLU, M., “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayın Dağıtım İstanbul, Temmuz, 2003.
- [14] UŞAKLI, T., “Performance of a Multicylinder Passenger Car Engine Fueled With Ethanol and Gasoline”, Master Thesis, Ankara, Nisan, 1980.
- [15] BAYINDIR, H., “Etanol-Benzin Karışımlarının Benzinli Motorlarda Motor Karakteristikleri ve Hava Kirliliğine Etkileri”, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1998.
- [16] SMITH, J. L., and WORKMAN, J. P., “Alcohol for Engine Fuels”, Colorado State University Cooperative Extension, No.5.010, 1998.
- [17] LIKOS, B., CALLAHAN, T. L., “Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct Injected and Pre-Chamber Diesel Engines”, SAE, Paper No, 810249, 1981.
- [18] EUGENE, E. E., BECHTOLD, R. L., TIMBARO, T. J., MCCALLUM, P. W., “State of Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines”, SAE, Paper No, 840118, 1984.
- [19] AJAV, E. A., SINGH, B., BHATTACHARYA, T. K., “Performance of A Stationary Diesel Engine Using Vaporized Ethanol as Supplementary Fuel”, Biomass and Bioenergy, 15(6): 493-502, 1998.
- [20] BERTILSSON, B. I., and GUSTAVSSON, L., “Experience of Heavy-Duty Alcohol Diesel-Ignition Engines”, SAE, Paper No, 871672, 1987.
- [21] HARDENBERG, H. O., EHNERT, E. R., “Ignition Quality Determination Problems with Alternative Fuels for Compression Ignition Engines”, SAE, Paper No, 811212, 1981.
- [22] BOLLENTIN, J. W., WILK, R. D., “Autoignition Characteristics of Ethanol”, SAE, Paper No, 961175, 1996.
- [23] NAGARIAN, G., RAO, A. N., JAGADESSAN, T. R., RENGANARAYANAN, S., “Review of Ethanol in Compression Ignition Engine, Institute for Energy Studies”, Anna University, Chennai, 2003.
- [24] HANSEN, A.C., LYNE, W.L., ZHANG, Q., “Ethanol-Diesel Blends: A Step Towards A Bio-Based in CI Engines”, SAE, Paper No, 01-6048, 2001.
- [25] STAGE, P., MOLOUNGUI, Z., “Interest of Combining and Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines”, Fuel, 565-574, 2001.

- [26] ERGEN, G., “Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Alkoller ve Taşıtlarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Ders Notu, Sakarya, 2003.
- [27] KARABEKTAŞ, M., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya, Şubat, 2002.
- [28] ROBERT, L., “Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel”, National Renewable Energy Laboratory, 540-32674, 2001.
- [29] BİLGİN, A., DURGUN, O., ŞAHİN, Z., “The Effects of Diesel-Ethanol Blends on Diesel Engine Performance”, Energy Sources, 431-440, 2002.
- [30] SCHAFFER, A. J., and HARDENBERG, H. O., “Ignition Improvers for Ethanol Fuels”, SAE, Paper No, 810249, 1981.
- [31] BANG-QUAN, H., SHI-JIN, S., JIAN-XIN, W., HONG, H., “The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from A Diesel Engine”, Atmospheric Environment, 4965-4971, 2003.
- [32] AJAV, E. A., AKINGBEHIN, O., A., “A study of some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel”, 25-36, 2002.
- [33] AVİNAS KUMAR AGARVAL, “Biofuels (alcohols and biodisel) applications fuels for internal combustion engines” Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007) 233–271

ÖZGEÇMİŞ

Fatih BALIÇ, 01.07.1978 tarihinde Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladıktan sonra 1995 yılında Sakarya Fatih Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü'nden mezun oldu. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünü kazandı ve 2001 yılında bu bölümden mezun oldu. 2002 yılında askerlik görevini tamamladı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen bu bölümde öğrenimine devam etmektedir.