



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL, DİZEL VE ETANOLÜN MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

HALİL ALAKEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

ARALIK-2008

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL, DİZEL VE ETENOLÜN MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

HALİL ALAKEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Doç. Dr. Ali KOÇ danışmanlığında hazırlanan bu tez 15/12/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliğiyle kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Ali KOÇ

Yrd.Doç.Dr. Cuma KARAKUŞ

Yrd.Doç.Dr.Emin ÜNAL

Başkan

Üye

Üye

Bu tez enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve sanat eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
ÖZET.	IV
ABSTRACT.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.	1
1.1. Etanol.	8
1.1.1. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
1.1.2. Yanma Performansı.....	12
1.1.3. Egsoz Emisyonu.....	12
1.2. Metanol	12
1.2.1. Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.	14
1.2.2. Metanolün Karışım Oluşturması.....	15
1.2.3. Metanolün Yanma Performansı.....	16
1.2.4. Metanolün Egsoz Emisyonu..	16
1.3. Biyodizel.	17
1.3.1. Biodizelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.	17
1.3.2. Biyodizelin Karışım Oluşturması.....	19
1.3.3. Biyodizelin Yanma Performansı.	19
1.4. Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması.....	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.	26

3.1. Materyal.	26
3.1.1. Dijital Yoğunluk Ölçer.....	26
3.1.2. Saybolt Viskozimetre.....	27
3.1.3. Setan Sayısı Ölçüm Cihazı.....	28
3.1.4. Kalorimetre.	29
3.1.5. Akma Noktası Tayini.	30
3.1.6. Kükürt Oranı Tayini.....	31
3.1.7. Motor Deney Düzeneği.....	32
3.2. Yöntem.....	34
4. ARASTIRMA BULGULARI VE TARTISMA.....	40
4.1. Karışımların Yakıt Analiz Sonuçları	40
4.1.1. Yakıt Karışımlarının Yoğunluk Değişimleri.....	40
4.1.2. Yakıt Karışımlarının Viskozite Değişimleri	41
4.1.3. Yakıt Karışımlarının Akma Noktaları Değişimleri.....	42
4.1.4. Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimleri.....	44
4.1.5. Yakıt Karışımlarının Setan Sayısı Değişimleri	45
4.1.6. Yakıt Karışımlarının Setan İndeksi Değişimleri	46
4.2. Deneysel Hesaplamalar	47
4.2.1. Motor Torkunun ve Çıkış Günün Ölçülmesi.....	47
4.2.2. Bir İdeal Motorun Performansı	48
4.2.3. Gerçek Bir Motorda Performans Kriterleri	50
4.2.3.1. Volumetrik Verim	50
4.2.3.2. Termal Verimlilik ve İdeal Çevrim.....	51
4.2.3.3. Mekanik Fren Termal Verimliliği.....	53
4.2.3.4. Özgül Yakıt Tüketimi ve Fren Ana Efektif Basıncı	54
4.2.3.5. Motorda Meydana Gelen Kayıpların Özeti.....	55

4.2.3.6. Motor Test Düzenegi	56
4.2.3.7. Hızın Ölçülmesi	57
4.2.3.8. Egsoz Sıcaklığının Ölçülmesi	57
4.2.3.9. Motor	58
4.2.3.10. Dinamometre ile Torkun Ölçülmesi	58
4.2.3.11. Yakıt Sitemleri ve Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi	60
4.2.3.12. Hava Tüketim Ölçümü	61
4.3. Karışımların Motor Deney Sonuçları	63
4.3.1. Karışımların Motor Devrine Göre Efektif Tork değişimi	63
4.3.2. Karışımların Motor Devrine Göre Efektif Güç değişimi	68
4.3.3. Karışımların Motor Devrine Göre Yakıt Tüketim Değişimi	73
4.3.4. Karışımların Motor Devrine Göre Fren Termik Verim Değişimleri	78
4.3.5. Karışımların Motor Devrine Göre Egsoz Gazındaki Isı Kaybı Değişimleri ...	82
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	92
TEŞEKKÜR	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL, DİZEL VE ETENOLÜN MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Dünyanın giderek sanayileşmesi ve motorlu araçlarla donatılması petrol kökenli yakıtlara talebin çok fazla artmasına yol açmıştır. Petrol tabanlı yakıtlar kısıtlı rezervlerden elde edilmektedir. Bu kısıtlı kaynaklar dünyanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu yüzden, bu kaynaklara sahip olmayan ülkeler, temelde ham petrol ithalatından kaynaklanan enerji/döviz kriziyle karşılaşır. Bu nedenle, ülkede var olan alkol, bitkisel yağ kaynaklarından üretilebilen alternatif yakıt olarak biyodizeli de aramak gereklidir.

Bu tez, bitkisel soya yağı metil esterinden ele edilmiş biyodizel, dizel ve sırası ile % 5, %10, %15 ve %20 oranında etanolün hacimsel olarak karışımları oluşturulmuştur. Karışım hazırlama aşamasında % 99,5 ve % 99,8 olmak üzere iki farklı saflıkta etanol denenmiştir. % 99,5 saflıkta etanol içeren karışımlarda faz ayrışımı oluşması nedeniyle deneysel çalışmada % 99,8 saflıkta etanol ile çalışılmıştır. Hazırlanan karışımların yakıt analizleri yapılarak dizel motorunda performansına etkilerinin deneysel incelemesi üzerine yoğunlaşmıştır. Elde edilen verilere göre, her üç yakıtın değişik motor devirlerinde performans değişimleri elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu konuda dünyada yapılan araştırmalar incelenerek çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Sabit etanol oranlarında karışımların dizel miktarının azaltılarak biyodizelin artırılması ile birlikte viskozitesinin, yoğunluğunun, setan indeksinin arttığı, ısı değerinin ve akma noktasının düştüğü tespit edilmiştir. Setan sayısı % 15 etanol oranına kadar artarken % 20 etanol miktarından itibaren düşmeye başladığı tespit edilmiştir.

Yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif tork, % 5, % 10 ve % 15 etanol içeren karışımların tork değişimi motorinin tork değerine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir. Hatta bazı zaman kısmen de olsa bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.. Motor torkundaki artış % 1 ile % 2,5 arasında olmuştur. Etanol miktarı % 20 olan karışımların motor torkunda azalma bariz bir şekilde görülmeye başlanmıştır. Efektif güç, bütün karışımlarda motorinin güç değerine göre çok az düşse de yakın çıktığı tespit edilmiştir. Karışımlar içerisindeki dizele göre düşük alt ısı değere sahip olan soya biyodizeli ve etanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi ve toplam yakıt tüketim miktarının arttığı görülmüştür. Aynı motor devri ve sabit orandaki etanol miktarı dikkate alındığında karışımlarda ortalama % 5 ile % 10,5 arasında fren termik verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Biyodizel ve dizel yakıtında olduğu gibi karışımlarda da artan motor devriyle birlikte egsoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görülmektedir. Karışımların egsoz gazı ile atılan ısı miktarında etanol ve soya biyodizeli miktarının artması ile birlikte motorun yüksek devirlerinde dizele göre % 1 ile % 11 oranında azalma olduğu, maksimum torkun elde edildiği devirle düşük devir aralığında % 5,5 ile % 9 aralığında artış gerçekleşmiştir. Karışımlar içerisinde etanol miktarı % 15 seviyesine çıktığında motorda vuruntulu çalışmanın başladığı ve % 20 seviyesinde giderek arttığı tespit edilmiştir. Bütün veriler göz önüne alındığında hazırlanan

yakıtlar içerisinde en iyi sonuçlar % 75 dizel, % 15 biyodizel ve % 10 etanol içeren 6 nolu karışım olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu çalışmaların motor vurununun önlenmesi için karışımlara setan sayısı yükseltici kimyasallar katılarak iyileştirilebileceği ve oksijence zengin olan soya biyodizeli ve dizelin emisyon performansları tespiti için çalışma yapılabileceği önerilmiştir.

2008, 96 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Dizel, Etanol, Motor Performansı

ABSTRACT**STUDY OF EFFECTS OF BIODIESEL, DIESEL AND ETHANOL ON ENGINE PERFORMANCE IN A DIESEL ENGINE**

The gradually industrialization and motorization of the world resulted in immensely rise of demand of petroleum oriented fuels. Petroleum-based fuels are obtained from limited reserves. These limited reserves are intensify on particular places in the world. Thus, countries which have not these reserves, face energy/foreign exchange crisis primarily due to the import of crude petroleum. Hence, it is neccessary to look for biodiesel as an alternative fuel which can be produced from resources of alcohol, vegetable oils which are locally available in the country.

In this study, biodiesel which is produced from vegetative soya bean oil methyl ester, diesel and 5%, 10%, 15%, and 20% of ethanol respectively are volumetric blended. Two discrete levels of purity, 99.5% and 99.8%, were experimented in the stage of preparation of the blend. In the experimental study, ethanol with purity 99.8% was used because of the phase decomposition of blends which has ethanol with 99.5% purity. Fuel properties of prepared blends was analysed and focused on experimental study of effects of the fuel on diesel engine performance. According to the acquired information, performance change of each of three fuels in different engine cycle are obtained and compared. Additionally, studies on this subject in the world were analyzed and the study was revised.

In constant ethanol rates, increase of biodisel with the raise of diesel portion of blends, it is determined that viscosity, density, cetane index increased and thermal value and yield point decreased. It is observed that cetane number increased until 15% ethanol rate, after 20% ethanol rate it started to decrease.

It is determined that torque change of blends which have 5%, 10%, and 15% of ethanol is highly close by of diesel. In fact, sometimes a small amount of increase was observed. The increase in motor torque was between 1% and 2,5%. Reduction in engine torque of blends which have 20% of ethanol was obviously seen. Effective power, although is slighly lower than diesel's power, it determined to be close. The higher the rate of soya bean biodisel and ethanol which have lower sub thermal value compared to diesel is increased, the more specific fuel consumption and total fuel consumption is increased. Considering the same engine cycle and constant rate of ethanol, it is determined that average between 5% and 10.5% brake thermal efficiency increased. It is seen that exhaust gas temperature raised due to the increase of engine cycle with blends likely how it is with biodiesel and diesel fuel. In high rate of engine cycle rates, with the increase of soya bean and ethanol rate of blends, the amount of heat which is thrown with exhaust gas decreased between 1% and 11%, between low rate of engine cycle and the cycle which produces maximum torque it increased between 5.5% and 9%. It is determined that, when ethanol rate in blends increased to 15% level, engine detonation occurs and in 20% level it increases. Considering these data, No. 6 blend which includes 75% diesel, 15% biodiesel and 10% ethanol has the best results among others.

It is proposed that chemicals which increase the cetane number in order to prevent engine detonation can be added to blends, soyabean biodiesel and diesel which is rich of oxygen can be used to determine emission performance.

2008, 96 pages

Keywords: Biodiesel, diesel, ethanol, engine performance

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu
bmep	Fren ana efektif basıncı
BTX	Benzen, Tolüen, Xylene
C ₃ H ₆	Propilen
C ₂ H ₂	Asetilen
C ₂ H ₅ OH	Etanol
(C ₈ H ₁₈) ^a	Benzin
CH ₃ OH	Metanol
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
ÇÜYAL	Çukurova Üniversitesi Yakıt Analiz Laboratuvarı
EPA	Avrupa Çevre Koruma Örgütü
H ₂	Hidrojen
NIR	Yakın İnfrared Spektrometresi
NO _x	Azot oksit
PAH	Poli aromatik hidrokarbonlar
P _B	Frenleme Gücü
PKDY	Petrol Kökenli Dizel Yakıt
PM	Partikül Maddeleri
Q	Motora verilen ısı
R	Stokiyometrik değer
Sfc	Özgül yakıt tüketimi
SO ₄	Sülfat
SYME	Soya Yağı Metil Esteri
SSU	Saybolt Üniversal Saniye
TEL	Tetra Etil Kurşun

USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Örgütü
V_s	Süpürme hacmine
ρ_a	Havanın yoğunluğu
η_b	Frenleme termik verimliliği
η_v	Volumetrik verim
r	Sıkıştırma oranı
γ	Özgül ısının oranı
r_c	Kesme oranı

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1.1.Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
Çizelge 1.2.1 Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ,	14
Çizelge 1.4. Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması	20
Çizelge 3.1.7. Deney motoru teknik özellikleri.	33
Çizelge 3.2.1. Yakıt analizleri.....	34
Çizelge 3.2.2. Karışım oranları.	38
Çizelge 3.2.3. Karışımların yakıt analiz sonuçları.	39
Çizelge 4.3.1. Karışımların motor devrine göre tork değerleri	63
Çizelge 4.3.2. Karışımların motor devrine göre güç değerleri.....	68
Çizelge 4.3.3. Karışımların motor devrine göre yakıt tüketim değerleri	73
Çizelge 4.3.4. Karışımların motor devrine göre fren termik verim değerleri	78
Çizelge 4.3.5. Karışımların motor devrine göre ısı kaybı değerleri.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği.	10
Şekil3.1.1. Dijital Yoğunluk Ölçer	27
Şekil 3.1.2. Saybolt Viskozi metre	28
Şekil 3.1.3. Setan Sayısı Ölçüm Cihazı.....	29
Şekil 3.1.4. Kalorimetre Cihazı.....	30
Şekil 3.1.5. Akma Donma Noktası Tayini Cihazı.....	31
Şekil 3.1.6. Kükürt Oranı Belirleme Cihazı	32
Şekil 3.1.7. Deney Motoru ve Kontrol Ünitesi	33
Şekil 3.2.1. Biyodizel-dizel karışımında faz ayrışımı yok	35
Şekil 3.2.2. Biyodizel-dizel-etenol (%99,5 saflık) karışımında faz ayrışımı bulunmaktadır.	36
Şekil 3.2.3. Biyodizel-dizel-etenol (%99,8 saflık) karışımında faz ayrışımı bulunmamaktadır	37
Şekil 3.2.4. Deneysel çalışmada kullanılan karışımlar	37
Şekil 4.1.1. Karışımların yoğunluk değerlerinin değişimi	41
Şekil 4.1.2. Karışımların viskozite değerlerinin değişimi.....	42
Şekil 4.1.3. Karışımların akma noktasının değişimi	43
Şekil 4.1.4. Karışımların ısı değerlerinin değişimi	44
Şekil 4.1.5. Karışımların setan sayılarının değişimi	46
Şekil 4.1.6. Karışımların setan indekslerinin değişimi	47
Şekil 4.2.3.5. Motorda meydana gelen kayıpların grafik gösterimi.....	55
Şekil 4.2.3.6. Motor test düzeneği	57
Şekil 4.2.3.10. Hidrolik dinamometre ile tork ölçülmesinin şematik gösterimi	59

Şekil4.2.3.11. Motor test düzeneği üzerinde yakıt tüketim miktarının ölçülmesinin şematik gösterimi.	60
Şekil 4.2.3.12.1 Viskoz akış metrenin kalibrasyon eğrisi	62
Şekil 4.2.3.12.2.Motor test düzeneği üzerinde hava tüketim miktarının ölçülmesinin şematik gösterimi.	62
Şekil 4.3.1.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri.	65
Şekil 4.3.1.2. Soya BD, dizel ve etenol (%5) yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri.	66
Şekil 4.3.1.3. Soya BD, dizel ve etenol (% 10) yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri.	66
Şekil 4.3.1.4. Soya BD, dizel ve etenol (% 15) yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri.	67
Şekil 4.3.1.5. Soya BD, dizel ve etenol (% 20) yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri.	67
Şekil 4.3.2.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının yakıt karışımlarının motor devrine göre güç değişim eğrileri.	70
Şekil 4.3.2.2. Soya BD, dizel ve etenol (% 5) yakıt karışımlarının motor devrine göre güç değişim eğrileri.	71
Şekil 4.3.2.3. Soya BD, dizel ve etenol (% 10) yakıt karışımlarının motor devrine göre güç değişim eğrileri.	71
Şekil 4.3.2.4. Soya BD, dizel ve etenol (% 15) yakıt karışımlarının motor devrine göre güç değişim eğrileri.	72
Şekil 4.3.2.5. Soya BD, dizel ve etenol (% 20) yakıt karışımlarının motor devrine göre güç değişim eğrileri.	72

Şekil 4.3.3.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri.....	75
Şekil 4.3.3.2. Soya BD, dizel ve etanol (%5) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri.	75
Şekil 4.3.3.3. Soya BD, dizel ve etanol (% 10) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri.	76
Şekil 4.3.3.4. Soya BD, dizel ve etanol (% 15) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri.	76
Şekil 4.3.3.5. Soya BD, dizel ve etanol (% 20) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri.	77
Şekil 4.3.4.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri.....	79
Şekil 4.3.4.2. Soya BD, dizel ve etanol (% 5) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri.	80
Şekil 4.3.4.3. Soya BD, dizel ve etanol (% 10) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri.....	80
Şekil 4.3.4.4. Soya BD, dizel ve etanol (% 15) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri.....	81
Şekil 4.3.4.5. Soya BD, dizel ve etanol (% 20) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri.....	81
Şekil 4.3.5.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri.	84
Şekil 4.3.5.2. Soya BD, dizel ve etanol (% 5) yakıtlarının motor devrine göre ısı kayıbı eğrileri.	84
Şekil 4.3.5.3. Soya BD, dizel ve etanol (% 10) yakıtlarının motor devrine göre ısı kayıbı eğrileri.	85

- Şekil 4.3.5.4. Soya BD, dizel ve etanol (% 15) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri. 85
- Şekil 4.3.5.5. Soya BD, dizel ve etanol (% 20) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri. 86

1. GİRİŞ

Dünya bugünlerde fosil yakıt bakımından fakirleşme ve çevresel yozlaşma krizleriyle karşı karşıyadır. Nüfusunun muazzam büyümesi teknik gelişmeleri artırdı ve endüstriyel toplumlarda yaşama standardı enerji arz/talebinde bu karmaşık duruma yol açmıştır. Ham petrol fiyatları artmaya devam ediyor ve günlük olarak dalgalanıyor. Ham petrol fiyatları neredeyse rekor seviyelerde ve şimdi varil başına 145 USD civarını görmüştür. Bu durum biyo orijinli fosil yakıt alternatiflerinin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesini icap ettirmektedir. Bu, petrol tekeli dengelemek için yoğun çaba harcayan çeşitli gelişen ülkelerin geleneksel olmayan biyo enerji ve yakıtlara artan ilgi ve farkında olmasının arkasındaki esas sebep olabilir. Fosil yakıtların gelişi güzel çıkarılması ve savurganca tüketilmesi yeraltındaki karbon kaynaklarının azalmasına yol açmıştır. Bu bağlamda; verimlilik ve çevresel koruma, güçlendirilebilir karşılıklı uyumlu ilişkiler vaat eden alternatif yakıt araştırmaları, çokça dile getirilmiştir. Biyo-orijinli yakıtlar bu dünya çapındaki krize uygulanabilir bir çözüm sunabilir. Benzin ve dizel ile çalışan otomobiller sera gazı emisyonunun en büyük kaynağıdır. Bugünkü nüfusun gittikçe artan enerji ihtiyacını giderebilecek alternatif enerji kaynakları tüm dünyada bilim adamları tarafından araştırıldı. Biyokütle, biyogaz, primer alkol, bitkisel yağ, biyodizel gibi çeşitli bioyakıt kaynakları araştırıldı. Bu alternatif kaynaklar büyük ölçüde çevre-dostudur ancak avantajları, dezavantajları ve spesifik uygulamaları için durumdan duruma değerlendirilmelerine ihtiyaç vardır. Bu yakıtlardan bazıları direkt kullanılabilirken bazılarının geleneksel yakıtlara yakın özelliklere getirmek için formüle edilmeleri gerekir. Petrol yakıtlarının son zamanlarda yaygın kullanımından dolayı, bu çalışma da dizel motorlarda alternatif yakıtların ve etenolün kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine yoğunlaşıldı. Mevcut enerji senaryosu aktif araştırma ilgisini petrol olmayan, yenilenebilir ve kirlenme oluşturmeyen yakıtlara kaydırmıştır. Dünyanın birincil enerji ve hammadde kaynakları sınırlıdır. Olağan senaryolar içinde bir hesaplama göre, kömür 216 yıl, petrol 39 yıl, ve doğal gaz 61 yıl yetecektir (Agarwal, 2007).

Geçtiğimiz birkaç on yılda, tüm dünyada güç üretimi ve taşımacılıkta petrol yakıtlarına olan bağımlılığı düşürmek için çokça emek harcanmıştır. Önerilen alternatif

yakıtlardan, dizel motorlar için biyodizel ve dizekol (diesohol) son yıllarda çok dikkat çekmiştir ve bazı ülkelerin petrol ithalatını azaltmak için bir ilaç olmuştur. Biyodizel ve dizekolün yenilenebilir ve iç kaynaklarla üretilebilir olmasından dolayı sıradan dizele göre birçok avantajları vardır. Üstelik, bu yakıtlar çevre dostu olarak bilinir, çünkü önceki çalışmalar göstermiştir ki bu yakıtlar geleneksel dizel motorlarda kullanıldığında CO, yanmamış hidrokarbon, partiküler maddelerin emisyonunu tatmin edici derecede düşürmüştür (Srivastava ve ark., 2000; Li, Zhen, ve ark., 2005).

Esterleştirme işlemine tabi tutulmuş kullanılmış yemeklik yağ, hayvansal yağlar ve bitkisel yağlar gibi geniş bir yelpazeden üretilen alkil (metil, etil vb.) yağ asidi esterleridir. Üstelik, biyodizel sadece fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılmamış, aynı zamanda sıradan dizel ile etanolün karışımı olan dizekole ilave olarak da kullanılmıştır (Fernando ve ark., Cheenkachorn ve ark., 2004.).

Etanol alternatif yakıt, yakıt ilavesi, oksijenleştirici ve bir oktan arttırıcı olarak kullanılır. Etanolün mazot-karışım bileşeni olarak kullanılmasının petrol yakıtı ithalatı miktarını %10-15' e kadar düşürebileceği beklenir. Üstelik, etanol kullanımı çiftçilerin gelirini de arttırır, çünkü manyok kökü (cassava root), şeker pekmezi ve şeker kamışı gibi çok çeşitli tarımsal ürünlerden yurtiçinde üretilebilir. Etanol-mazot karışımının bu başarısı, oksijenleştirilmiş bileşenlerin emisyon düşürücü ilaveler olarak dizel yakıtlarda kullanılmasına olan ilgiye yol açmıştır. Üstelik, etanolün, özellikle biyokütleden elde edilen etanolün kullanılması karbondioksit emisyonlarında gözle görülür azalmalarla sonuçlanabilir. Bu yaklaşım iklim değişikliğiyle ilgili müstakbel riskleri azaltan "pişman olunmayacak" politikalar öne sürüyor, ve ekonomik gelişmeye ek yararları vardır. (Kwancharoen ve ark., 2006)

Genellikle, motorda herhangi bir değişiklik gerekmeden etanol dizelle karıştırılabilir (Ajav ve ark., 2002). Ancak, etanol dizel karışımlarında ana çekince, geniş bir sıcaklık aralığında ve su içeriğinde etanolün dizelle karışmamasıdır, bunun sebebi kimyasal yapılarındaki ve karakteristiklerindeki farklılıktır. Bu durum, faz ayrışımına bağlı olarak yakıt kararsızlığına (dayanıksızlık) yol açabilir. Bu ayrışımın önlenmesi iki yolla

başarılabilir: emülsiyonlaştırıcı (dövücü) ekleyerek ki emülsiyonlaştırıcı dizel yakıttaki küçük etanol damlacıklarını ortadan kaldırır; yardımcı çözücü(eritici) eklemek ki yardımcı çözücü homojen karışım üretmek için moleküler uyumluluk ve bağlılığı sağlar (Letcher ve ark., 1983). Emülsiyonlaştırıcı, hedef karışımı oluşturmak için genellikle ısıtma ve karıştırma adımlarına ihtiyaç duyar, oysa yardımcı çözücü yakıtların dökülerek karıştırılmasına olanak sağlar, böylece karıştırma işlemi basitleşir (Hansen ve ark., 2005). Buna ek olarak, karışımın setan sayısı düşüktür, sıkıştırma ateşleme teknolojisi kullanılan dizel motorlarda yanmayı zorlaştırır. Sonuç olarak, etanolün dizel içinde çözünmesini aynı zamanda karışımın setan sayısını arttıracak birkaç çalışma yapılmaktadır (Kwancharoen ve ark., 2006).

Dizekol üretimi ve kullanımıyla ilgili birkaç çalışma vardır. ABD'de yapılan son çalışmalar değişik üreticilerden katkı maddelerinin kullanımını ortaya çıkarmıştır. New York'taki PEC (Pure Energy Corporation - Saf Enerji Kurumu) %15 susuz etanol, ve orantılı olarak karışımın %10'undan az %2-5 dozaj kullanarak katkı maddesi paketi üreten ilk üreticiydi. Karışımın setan değerini düzeltmek için ticari olarak elde edilebilen az miktarda setan arttırıcılar(hacimce <%0.33) da eklenmiştir. İkinci katkı maddesi üreticisi ise Birleşik Krallık'tan AEE Teknolojileri idi. Bu firma ABD'de değişik aşamalarda %1 ve %1.25 AEE patentli katkı maddesi içeren %7.7 ve %10 etanol-dize karışımlarını test etmiştir (Marek ve ark., 2001). Üçüncü üretici GE Betz'di. Petrol ürünlerinde yenilenebilir kaynaklardan üretilen önceki ikisine kıyasla (Marek ve ark., Hansen ve ark.; 2001) saf olarak elde edilen patentli bir katkı maddesi ürettiler. Avustralya'da Apache Araştırma Ltd. yenilikçi emülsiyonlaştırıcısını kullanarak bir emülsiyonlaştırma yöntemini başarıyla geliştirdiğini duyurdu. Dizekolleri %84.5 oranında sıradan dizel yakıt, hidrat etanol (%5 su) içeriyordu, emülsiyonlaştırıcıları ise hacimce %0.5 idi. Dizekol için motor testleri sıradan dizel ile karşılaştırmak için bir kamyon ve bir otobüs kullanılarak gerçekleştirildi. Dizekoldeki yüksek alkol seviyesinin düzenlenmiş egzost emisyonlarının(HC, CO, NOx, PM) düşüşünü en yüksek düzeye çektiği, ve dizekol kullanımı ile elde edilen sera gazı emisyonlarında net bir düşüş olduğu ortaya çıkarılmıştır (Kwancharoen ve ark., 2006).

Petrol ürünleri ve kömür gibi çeşitli fosil yakıtların kullanımı, yer altı karbon enerjisi kaynaklarının azalması, dünyanın yüzey tabakasında ciddi değişiklikler, mineral ve yakıtların çıkarılmasıyla oluşan yer yüzeyindeki çöküntüler gibi çeşitli çevresel sorunlara yol açmıştır. Fosil yakıtların kullanımı endüstriyel öncesi çağda 280 ppm (milyonda bir) olan atmosferdeki CO₂ seviyesinin şimdi 350 ppm'e çıkmasına yol açmıştır. Bu CO₂ seviyeleri yakılan yakıtların bir fonksiyonu olarak halen tırmanarak sera etkisine, asit yağmurlarına, sis ve dünya çapında iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu çevresel etkiler gün be gün küresel ölçekte daha sert kış ve yaz, kış aylarında dünyanın bazı bölgelerinde uzun süren sis koşulları, hava durumunu ağırlaştırır şekilde hissedilmektedir. Fosil yakıtlarının yakılması insan sağlığı üzerinde şehirlerde hava kirliliği, asit yağmurları, karbon dioksit artışı, yeryüzünün ısı dengesinin değişmesi gibi yollarla olumsuz etkileri vardır. Aslında, 1990'dan 2020'ye kadar 30 yıl için tahminler, araç trafiği ve sonucunda fosil yakıt talebi neredeyse üçe katlayacağına ve sonuç emisyonlarının ciddi sorunlar ortaya koyacağına işaret etmektedir. Artan kirlilik seviyelerinin ana nedeni, dayatılan sıkı emisyon standartlarına rağmen, tüm sektörlerde artan enerji talebi ve en önemlisi artan otomobil kullanımınıdır. Bugün, dünyada yollardaki motorlu araçların sayısı, 1950'dekinden 10 kat daha fazla, yarım milyardır. (Agarwal, 2007).

Çeşitli fosil yakıtların yanması denetlenen ve denetlenmeyen kirletici şeklinde kategorize edilen birkaç kirleticinin emisyonuna yol açar. Denetlenen kirleticiler sınırları çevresel kanunlar (USEPA, EURO ve Bharat standartları gibi) tarafından belirtilmiş olanlardır, oysa kanunen sınırları belirtilmemiş kirleticiler de bulunmaktadır. Bunlar denetlenmeyen kirleticiler olarak sınıflandırılmıştır. Denetlenen kirleticiler NO_x, CO, HC, partikül maddeleri(PM) içerir, ve denetlenmeyen kirleticiler formaldehit, benzen, tolüen, ksilen (BTX), aldehitler, SO₂, CO₂, metan gibilerini kapsar (Guo ve ark., 2006).

Bu denetlenen ve denetlenmeyen kirleticiler insan sağlığı üzerinde kısa dönem ve uzun dönem sağlık etkileri olarak sınıflandırılan, bazı zararlı etkilere yol açmaktadır. Uzun dönem sağlık etkilerine esas olarak poli aromatik hidrokarbonlar (PAH), BTX, formaldehit (birincil denetlenmeyen kirleticiler) sebep olurken, kısa dönem sağlık

etkilerine CO, nitrojen oksit, PM, formaldehit (birincil denetlenen kirleticiler) gibi maddeler sebep olur. CO yüksek dozajı ölümcüldür, kalp hastalıklarını ağırlaştırır, merkezi sinir sistemini etkiler, karboksil hemogloblin oluşturarak kanın oksijen tasıma kapasitesini düşürür. Nitrojen oksit solunum yolunda tahrişe neden olur. HC uykusuzluk, gözde kaşıntı (tahriş) ve öksürüğe yol açar (Martonenve ark., 2003; Hosseinpoor ve ark., 2005).

Taşıma ve tarım sektörü fosil yakıtları en çok tüketen ve biyo orijinli yenilenebilir yakıtların mineral tabanlı yakıtların yerini almasıyla düşürülebilecek olan çevresel kirlenmeye en büyük katkıyı yapan sektörlerdir. Çok çeşitli biyoyakıt bulunmaktadır ancak tüm dünyada kabul gören temel biyoyakıtlar biyodizel ve biyo-etanoldür. Biyo-etanol şeker kamışı, mısır, buğday ve şekerpancarından üretilebilir. Son ikisi şuan da Avrupa'da ana etanol kaynağıdır (Edwards ve ark., 2001). Biyodizel, yenen ve yenmeyen, geri dönüştürülmüş bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan direkt üretilebilen yakıttır (Li ve ark., 2004; Kinney ve ark., 2005). Avrupa, ulaşım sektöründe benzin veya mazotun yerine biyoyakıt veya diğer yenilenebilir yakıtların kullanımını tanıtmayı vaat etmiştir Avrupa Birliği üye devletlerinin biyoyakıtın benzin ve dizele 2005 itibarıyla %2, 2010'da ise % 5.75 referans değeriyle nüfuzunu görülür bir hedef olarak belirlemelerini gerektirir. Alternatif yakıtların var olan teknolojilerde geniş ölçekte kullanılmalarının tavsiye edilmesinden önce dikkat edilmesi gereken birkaç husus bulunmaktadır. Bu hususlar aşağıda belirtilmiştir (European Parliament, 2003).

Günümüzde kullanımda olan enerji kaynaklarının tükenme sürecinin başlamasıyla gelişmiş ülkeler enerji çeşitliliğini artırmak, yaygınlaştırma ve belli enerji kaynağı türlerine büyük oranlarda bağımlı olmamaya çalışarak alternatif yakıt arayışlarına girmişlerdir.

Bu sebeplerden dolayı daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için alternatif enerji kaynakları bulunmasına yönelik çalışmalar giderek artış göstermektedir. Ormanların ve doğal kaynakların daha rasyonel kullanımı ve doğal ekolojik dengenin korunması için

fosil yakıtlarından yayılan karbon emisyonunun düşürülmesi önemli konuların başında gelmektedir.

Çalışmaları sürdürülen alternatif yakıtlardan en yeni ve en hızlı yaygın olanı biyoyakıtlardır. Biyoyakıtların hızla yaygınlaşma sebebi ekonomik olarak sürekli değer kazanması ve buna paralel çevreye olumsuz herhangi bir etkisinin olmamasıdır. Ayrıca biyoyakıtların gündeme gelmesinin diğer gerekçeleri şöyle sıralanabilir ;

- 1) Fosil kökenli yakıtların neden olduğu çevresel tahribatın azaltılması, CO₂ emisyonunun sağlık açısından en az riske sahip olması,
- 2) Tarımsal kalkınmayı geliştirebileceği,
- 3) Elde edilen enerjinin son derece güvenilir olması
- 4) Enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltacak olması,
- 5) Fosil yakıt kaynaklarının arz-talep dengesindeki düzensizlikler sonucu oluşan fiyatlarındaki belirsizliklere ve bu kaynakların tükenme olasılığının bulunması.

Tüm bu sebepler alternatif yeni enerji kaynakları üzerine çalışmaların artarak devam etmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, petrol dışında fakat petrol yerine kullanılabilir, çevre ile dost alternatif sıvı yakıt üretilmesi bilim adamlarının öncelikli çalışma konularının başında gelmektedir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak, yenilenebilir yakıtlar üzerine uzun zamandan beri çalışmalar devam etmektedir. Dizel motorlar için de hem yenilenebilir hem de emisyonları iyileştirici özelliklere sahip farklı alternatif yakıtlar araştırılmaktadır. Alternatif yakıtların motor konstrüksiyonunda ve motor ayarlarında fazla bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir olması, önemli bir avantaj olarak değerlendirilir. Ayrıca yakıtların yenilenebilir olması, petrol bağımlılığının azalmasına sebep olacaktır. Alternatif yakıtların motorda yalnız başına veya dizel yakıt ile karışım olarak kullanımı, kullanılan yakıtın yakıtsal özelliğine bağlıdır.

Dizel motorlarda, yakıt silindir içerisine püskürtüldüğü zaman sıcak hava ile karışıp parçalanarak daha küçük hidrokarbonlara ayrılarak hızla buharlaşırken difüzyon alev yapısı oluşmaya başlar. Parçalanmış yakıtın hava ile birleşmesi devam ederken ortama bıraktığı ısı ile reaksiyon bölgesinin sıcaklığı 1800 K civarına yükselmekte ve yakıt enjeksiyon huzmesinin diğer köşesine taşınırken radyasyon ve konveksiyon ısı transferi ile sıcaklığı artmaktadır. Ön karışım yanma ve difüzyon alevi çevresinde zengin bölge oluşmakta bu nedenle bu bölgelerde yakıtın tamamen yanabilmesi için yeterli derecede oksijen bulunmamaktadır (Curan ve ark., 2001; Kitamura ve ark., 2001a; Kitamura ve ark., 2001b; Bang Quan ve ark., 2003). Bu bölgede tam yanma olamadığından dolayı CO ve is oluşumuna sebep olan öncü doymamış ve kararsız yapıdaki hidrokarbonlar (C_2H_2 , C_2H_4 ve C_3H_3) oluşmaktadır. Bu yüzden çok halkalı aromatik hidrokarbon bileşikleri (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons- PAH) oluşturarak daha kararlı bir hal alma eğilimine girmekte ve böylece partikül madde çekirdek yapısının oluşumu başlamaktadır. İlk zincir yapısı propilen (C_3H_3) veya asetilen (C_2H_2) radikallerinin yüksek sıcaklığın etkisiyle dehidrojenasyona uğrayarak PAH'ı oluşturması ve daha sonra içerisine diğer is oluşumlarının eklenmesi ile büyümektedir.

KontROLSÜZ yanma safhası sonunda geriye kalan yakıtlar difüzyon alevinde oksitlenerek kimyasal enerjilerinin tamamını çıkarır, bu durum bölge sıcaklığını yaklaşık olarak 2700 K civarına yükseltir. Yüksek sıcaklıklarda aromatik yapı kritik büyüklüğe ulaşarak, partikül madde yapısı içerisinde gelişir ve gaz fazındaki hidrokarbonları absorbe ederek partiküllerin ağırlığında artışa neden olur. Oluşan ilk partiküller üst üste yığılarak daha büyük olan ikinci yapıyı oluşturur. Absorbe olmuş olan hidrokarbon molekülleri kimyasal oluşumla karbonsu is yapısını meydana getirir. Partikül madde oluşumunda en fazla etki yanma odası içerisindeki karbonsu ise aittir. Bu yapıya daha sonraları dizel yakıtının içerisindeki kükürtün yanma sırasında oksitlenmesi ile ortaya çıkan SO_4 ve ona bağlı su buharı ile yağlama yağı artıkları da katılmaktadır. PM emisyonları yakıtın içerdiği aromatik ve sülfür miktarlarına bağlı olarak etkilenmektedir.

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 Nox 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 (Choi ve Reitz, 1999; Bang-Quan ve ark., 2003).

1.1. Etanol

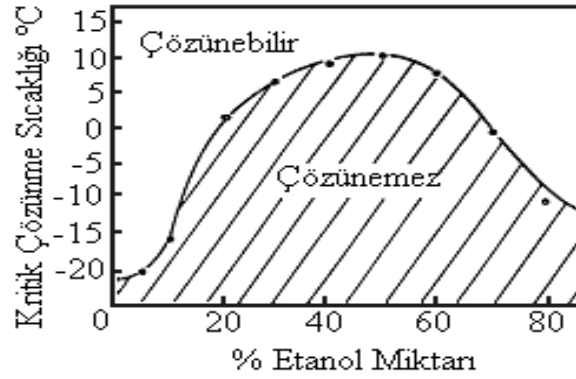
Etanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıtı göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması ve yapısında oksijen bulundurması, dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metaller içermemesinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etki yapmaktadır. (Usta ve ark., 2004.)

Usta ve arkadaşları tarafından bildirildiğine göre 1970'lerden beri alkollerin (metanol ve etanol) dizel motorlarda kullanımı üzerine çalışmalar devam etmektedir. İlk çalışmalar is ve partikül madde azalımı üzerine odaklanmıştır. Alkollerin dizel yakıtı eklenmesi ile dizel yakıtın özelliklerinde hem kimyasal hem de fiziksel bazı değişiklikler olmaktadır. Özellikle setan sayısı, viskozite ve ısı değeri düştüğü Henham ve ark. (1991) tarafından belirtilmiştir. Değişen özellikler nedeniyle alkollerin dizel motorlarda kullanımında bazı zorluklar oluşturduğu Abu- Qudais ve ark. (2000) tarafından belirtilmiştir. 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:

- Püskürtmeden önce alkol-dizel karışımı Ajav ve ark. (1999), Reddy ve ark. (1999), Xiao ve ark. (2000), Abu- Qudais ve ark. (2000), Bilgin ve ark. (2002) bildirmiştir.

- Fumigasyon (hava emme hattına alkol püskürtülmesi) Goering ve ark. (1992), Ajav ve ark. (1999), Abu-Qudais ve ark. (2000) belirtmiştir.
- Alkol-dizel emülsiyonu (ayrışmayı önlenmek için karışıma bir katkı maddesi ilave edilmekte) Asfar ve Hamed (1998), Xiao ve ark., (2000), Satge de Caro ve ark., (2001) belirtmiştir.
- Çift püskürtme sistemi (Yakıt için ayrı enjeksiyon sistemi) Noguchi ve ark. (1996), Rafiql Islam ve ark. (1997) belirtmiştir.

Yine Usta ve arkadaşları, karışım ve emülsiyon tekniklerinin en önemli avantajları kolay uygulanabilir olmaları ve motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmamasını belirtmiştir. Etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddettiğini Hansen ve ark. (2001), Bang-Quan ve ark. (2003) belirtmiştir. Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarda gerçekleşmektedir. Etanol-dizel yakıt karışımlarının kararlılığı genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlı olduğunu Eugene ve ark. (1984), Abu-Qudais ve ark. (2000), McCormick ve Parish (2001), Hansen ve ark. (2001), Satgé De Caro ve Moloungui, (2001), Bang-Quan ve ark. (2003) belirtmiştir. Şekil 1’de etanolün, dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği gösterilmektedir. Ortam sıcaklığı yüksek olduğunda 200 derece (rof) etanol dizel yakıtı içerisinde kolayca çözünebilmektedir, fakat 10 °C’nin altında iken faz farkı oluşturduğunu (Eugene ve ark. (1984), Hansen ve ark. (2001) belirtmiştir. Etanolün karışım şeklinde dizel motorlarda kullanımı az oranlarda (%5 civarı) etanol ile daha iyi sonuçlar verdiğini Bilgin ve ark. (2002) belirtmektedir. Ancak, karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (C9-C11, propanol, bütanol v.b.) eklenerek karışımın termodinamik olarak daha kararlı bir karışım olması sağlanabildiği Eugene ve ark. (1984), Asfar ve Hamed (1998), Satge de Caro ve Moloungui (2000) Bu da emülsiyon tekniği olarak adlandırılmaktadır. (Usta ve ark., 2004.)



Şekil 1.1. Etanolün dizel yakıtı içerisinde sıcaklığa göre çözünme yeteneği (Eugene ve ark., 1984)

1.1.1. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çizelge 1.1.1. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Denklemi	C ₂ H ₅ OH
C/H Oranı	0,333
Moleküler Kütle	46,07
Özgül Kütle Sıvı (kg/dm ³)	0,79
Isıl Değeri (MJ/kg)	26,9
Stokiyometrik karışım için hava/yakıt (kütleli)	8,96
hava/yakıt (hacimsel)	14,3
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	0,856
Tutuşma sınırları % hacim	3,5-19
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1924
Kaynama noktası (°C)	78,7
Donma noktası (°C)	-117,7
Oktan sayısı (ROS)	106
Oktan sayısı (MOS)	89

Etanolün, yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler yaratır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının arttırılmasına olanak sağladığından etanolün Otto motorlarında kullanımı daha avantajlıdır. Bu sebepten dolayı etanol, dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtla karıştırılması durumunda kullanılabilir.

Benzine etil alkol katılması yanmayı iyileştirmekte vurutuya dayanıklılığı arttırmaktadır. En iyi karışımın % 10 hacimsal oranlı etil alkol – benzin karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışımında düşük sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=7.5$ için) %7 ; yüksek sıkıştırma oranlarında ($\epsilon=9.5$ için) %15 verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca alkol kullanımı hava kirliliğini önemli düzeyde azaltmaktadır.

Alkollerin buhar basıncı düşük olduğundan alkol karışımları kullanıldığında özellikle soğuk havalarda ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekir. Ayrıca alkolün (ve içinde bulunabilecek suyun) emme ve yakıt sistemi ve diğer motor elemanları üzerindeki korozif ve aşındırıcı etkileri incelenmeli, bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

Güncel tekniklerde etil alkol üretimi pahalıdır ve genellikle gıda kaynaklarına dayanmaktadır. Ucuz alkol üretimi için yeni yöntemler geliştirilmelidir.

Etanolün motorlarda kullanımı düşüncesi daha çok geniş tarım alanlarına sahip ülkelerde yaygındır. ABD’de tarımla uğraşan eyaletlerde, %80 etanol %20 benzin karışımı olan E80 yakıtı, yıllardan beri otomobillerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Petrol rezervlerinin hemen hemen olmadığı fakat özellikle şeker kamışının bol bulunduğu Brezilya’da otomobiller 15 yıldan fazla bir süredir etanol ile çalışmaktadır (Yıldız ve ark., 2003).

1.1.2. Yanma Performansı

Etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu soğukta çalışmayı güçleştirmektedir. Kendi kendine ateşleme direncinden dolayı etanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir.

1.1.3. Egsoz Emisyonu

Etanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanma işleminin iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır.

1.2. Metanol

Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile, doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Ayrıca günümüzdeki metanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir.

Metanolün kaynama sıcaklığı 65.10 °C, donma sıcaklığı -97.60 °C 'dir ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda 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. (Yıldız ve ark., 2003).

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahiptir. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler vardır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından metanol Otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir.

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile katedilen bir mesafeyi katetmek 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. (Yıldız ve ark., 2003).

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'tan düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır.

Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için 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 taşınırsa 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 (Yıldız ve ark., 2003).

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.

1.2.1. Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Yapılan çalışmalar sonucu metil alkolün benzinli motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için bazı değişikliklere ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu değişiklikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Çizelge 1.2.1 Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Yıldız ve ark., 2003)

Kimyasal Denklemi	CH ₃ OH
C/H Oranı	0,25
Moleküler Kütle	32,04
Özgül Kütle Sıvı (kg/dm ³)	0,79
Isıl Değeri (MJ/kg)	20,1
Stokiyometrik karışım için hava/yakıt (kütlesel) hava/yakıt (hacimsel)	6,44 7,14
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	1,10
Tutuşma sınırları % hacim	6-37
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1878
Kaynama noktası (°C)	65,1
Donma noktası (°C)	-97,6
Oktan sayısı (ROS)	110
Oktan sayısı (MOS)	87

- i) Metil alkolün alt ısı değeri benzine nazaran çok daha düşüktür. Aynı gücü elde edebilmek için motora daha çok yakıt sevkedilmelidir. Metil alkol için gerekli hava-yakıt oranı 8.5 : 1 olduğundan istenilen performans değerlerini elde etmek için yakıt meme çapı büyütülmelidir.
- ii) Metil alkolün buharlaşması için benzine nazaran daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmakta ve buharı da daha düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geçmesi için sıcak havaya ihtiyaç duyulmakta ve buharın yoğunlaşması için de ısının yüksek tutulması gerekmektedir.
- iii) Metil alkolün saflık derecesinin yüksek olması tercih edilmektedir. Saflık derecesi arttıkça enerji kapasitesi artar. Saflığın derecesinin yeterli olmadığı durumda karbüratörde korozyona sebep olunur.
- iv) Sıkıştırma oranı 8.5 olan bir motor, metil alkol kullanılması durumunda sıkıştırma oranı 11'e yükseltilmelidir.
- v) Metil alkol kullanılması durumunda silindire alınan yakıt miktarının fazla olmasından dolayı volümetrik verimi arttırmak için emme subapı çaplarının büyütülmesi gereklidir.

Yukarıda belirtilen şartlar sağlandığı takdirde, metil alkol Otto motorlarda motor yakıtı olarak verimli ve temiz bir şekilde kullanılabilir.

1.2.2. Metanolün Karışım Oluşturması

Metanol yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılması durumunda hava yakıt karışımının hazırlanması için mevcut taşıtlarda kullanılan karbüratör ve yakıt püskürtme sistemleri kullanılabilir. Gerek karbüratör gerekse püskürtme sisteminin kullanılması durumunda metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak karbüratör ve püskürtme sistemlerinde gerekli değişiklikler yapılır. Metanol, oktan sayısı yüksek olduğundan, sıkıştırma fazının ilk dönemlerinde, yani sıkıştırma basıncının düşük olduğu zamanda bile püskürtülebilmektedir. Bu da basit ve ucuz bir yakıt sistemi ve aynı zamanda değişik yüklerde motorun verimli olarak çalıştırılabilmesi için, püskürtme zamanının ayarlanabilmesi demektir (Yıldız ve ark., 2003).

1.2.3. Metanolün Yanma Performansı

Metanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindirden kaçan ısının azalmasına dolayısıyla verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu, soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar. Seramik gibi termal bariyerlerin silindirlerde kullanılması gerçekleşirse, radyatör ve vantiltör kullanılmayabilir (Yıldız ve ark., 2003).

Kendi kendine ateşleme dirençlerinden dolayı metanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Bir çok otomobil üreticileri çalışmalarını %85 metanol %15 benzin karışımı olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde sürdürmektedirler (Yıldız ve ark., 2003).

Metanole benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek çalışmama durumu ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolun uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırır. İyi bir yanma için zengin yakıt hava karışımı temin eder (Yıldız ve ark., 2003).

1.2.4. Metanolün Egsoz Emisyonu

Metanol gazının yanması sonucu oluşan, bazı egsoz gazları emisyonları benzinle aynı olmaktadır. Metanolün yanması sonucu CO, CO₂ ve NO_x gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki azot oksitlerin NO_x ve CO'nin azalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen CO₂ emisyonlarında %7-15 azalma olmaktadır.

Doğal gazdan üretilen metanol yandığında, benzine göre %10 daha az CO₂ emisyonu verir. Kömürden üretildiğinde ise bu değer benzinin yaklaşık iki misli olur. Geniş kömür yataklarının varlığına rağmen kömürden metanol elde etmek fikri anlamsız gözükmemektedir. Zira proses sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonu egsoz gazlarından oluşan emisyonlardan çok daha fazla olacaktır. Metanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez.

Metanolün motorda yanması tam olarak gerçekleşmekte , parçacık oluşmamaktadır. NO_x motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır; dolayısıyla çok fazla miktarda NO_x meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir. Bu madde daha önceleri biyolojik maddeleri korumak, saklamak için kullanılıyordu; ancak kanserojen madde olduğu anlaşıldı.

Bazı araştırmacılar, formaldehit emisyonu olayının metanolün kullanılmasının yaygınlaşmasına engel olacağını söylerken, bazıları da bunların kontrol altına alınarak azaltılabileceğini iddia ediyorlar. Araştırmacılar formaldehit emisyonunun motorun çalışmaya başlaması ile ilk iki dakika içerisinde oluştuğunu ve katalitik konvertörle azaltılabileceğini belirtmektedirler. Fakat katalitik konvertörlerin ısıtılması gereklidir. Isıtma işlemi aküden alınacak elektrik enerjisi ile mümkün olabilir.

1.3. Biyodizel

1.3.1. Biodizelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bitkisel yağların, dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek, uçuculuk ve ısı değerleri ise düşüktür. Bundan dolayı, dizel motorlarda tamamen veya kısmen dizel yakıtının yerine kullanımına akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar sınırlama getirmektedir (Agarwal ve ark., 2001).

Bu sorunları gidermek için farklı teknikler geliştirilmektedir. Bunlar arasında ön ısıtma, diğer yakıtlar ile karıştırma ve çözme, esterleştirme ve ısıl parçalanma/proliz bulunmaktadır. Esterleştirme bu teknikler arasında en önemli ve en yaygın tercih edilenidir (Agarwal ve ark., 2001).

Esterleştirme işlemi için geliştirilen farklı metotlar bulunmaktadır Genel olarak işlem bir katalizörün bulunduğu ortamda metanol veya etanolün bitkisel yağ ile karıştırılmasıdır.

Katalizör olarak baz ve/veya asit kullanılmaktadır. Bu işlem kısaca bir trigliserit molekül veya kompleks yağ asitlerinin alınması, serbest yağ asitlerinin nötürleştirilmesi, gliserinin uzaklaştırılması ile alkol esterinin oluşturulmasıdır. Bitkisel yağların alkol esterleri dizel yakıtına yakın özellikler göstermekte ve biyodizel olarak adlandırılmaktadır. Esterleştirmeyi etkileyen ana faktörler; gliseritlerin alkole molar oranı, katalizör cinsi, reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, reaksiyon zamanı ve bitkisel yağ içerisindeki serbest yağ asitleri ve su miktarıdır. Yan ürün olarak ortaya çıkan gliserin, sabun sanayinde kullanılabilir. (Canakci, M. ve Van Gerpen, J., 2001.)

Biyodizel üretiminde soya, ayçiçeği, pamuk, kolza gibi farklı saf bitkisel yağlar kullanılabilir gibi atık bitkisel yağlarda hammadde olarak kullanılmaktadır (Karaosmanoğlu ve ark., 2000).

Gıda sektöründe kullanılabilen bitkisel yağların fiyatı dizel yakıttan fazla olmasından dolayı, atık bitkisel yağlar ve yenilmeyen ham yağlar biyodizel üretiminde ön plana çıkmaktadır. Gıda sektöründe ve evlerde büyük ölçüde kullanılmış bitkisel yağın ortaya çıkması ve bu artıkların büyük bir kısmının değerlendirilmeden atılması ülke ekonomisine ve çevreye büyük zararlar vermektedir. Atık bitkisel yağların biyodizel yakıtı dönüşürülerek değerlendirilmesi hem ekonomiye hem de çevreye yarar sağlayacaktır (Gonzalez ve ark., 2000).

Atık bitkisel yağların özellikleri saf bitkisel yağların özelliklerinden farklıdır. Atık bitkisel yağların kullanım esnasında ısıya maruz kalışı ve içerisinde su karışması, trigliseritlerin hidroliz hızını, serbest yağ asitleri oranını ve viskoziteyi önemli derecede arttırmaktadır. Atık bitkisel yağların esterleştirilme işlemi üzerine hala çalışmalar devam

etmekte ve optimum reaksiyon parametreleri araştırılmaktadır (Tomasevic ve ark., 2003).

Biyodizel üretimine yeni, ucuz diğer bir kaynak ise yemeklik bitkisel yağ üretimi sonunda oluşan sabun stoklarının (soap stock) kullanılmasıdır. Bunların, biyodizel yakıtı olarak kullanımı üzerine literatürde sadece Haas ve arkadaşlarının çalışmaları görülmektedir. Sabun stokları yüksek oranda (% 45-50) serbest yağ asitleri içerir. Yüksek serbest yağ asidi içeren yağlar sadece baz katalizörler ile biyodizele dönüştürülemezler, asit ve baz katalizörlerin sırayla kullanılması gerekmektedir (Haas ve ark., 2003).

1.3.2. Biyodizelin Karışım Oluşturması

Etanolün aksine biyodizeller dizel yakıt ile oldukça iyi bir şekilde homojen olarak karışabilmekte ve karışım kararlı halde kalabilmektedir. Bu yüzden biyodizeller motorda hiçbir değişiklik yapmadan dizel yakıt ile karışım halinde kolaylıkla kullanılabilir.

1.3.3. Biyodizelin Yanma Performansı

Etanolün ısı değeri % 35-40 mertebelerinde dizel yakıttan daha düşük olmasına rağmen, biyodizellerin ısı değerleri yaklaşık olarak % 10-12 oranında dizel yakıttan daha düşüktür. Düşük ısı değeri motor momenti ve gücünde düşmelere sebep olan önemli bir etkidir (Nwafor ve ark., 2000; Altın ve ark., 2001; Bari ve ark., 2002; Antolín ve ark., 2002). Bununla birlikte, belirli oranlarda biyodizelin dizel yakıt ile karışımları ile güçte beklenen olası düşüş daha iyi yanma, bir miktar yüksek yoğunluk ve viskozite ile kısmen karşılanabilmektedir. Biyodizellerde belirli bir değerden daha yüksek viskozite, atomizasyonda kötüleşmeye sebep olacağından arzu edilmeyen bir özelliktir. Diğer bir önemli özellik ise biyodizelin hem dizele hem de etanole göre yağlama özelliğinin daha iyi olmasıdır. Etanolün setan sayısı 5-15 arasında olmasına rağmen biyodizellerin setan sayısı dizele oldukça yakın, bazen yağın cinsine ve esterleştirme tekniğine bağlı olarak daha yüksek olabilmektedir. Yanma verimliliği için setan sayısı oldukça önemlidir.

1.4. Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması

Çizelge 1.4. Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Olarak Karşılaştırılması

	HİDROJEN	METAN	METANOL	ETANOL	BENZİN	DİZEL
Kimyasal Denklemi	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	(C ₈ H ₁₈) ^a	
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 ³) Gaz (kg/dm ³)	0.07	0.424	0.790	0.790	0.73 ^a	0.83
	0.84*10 ⁻⁴	0.78*10 ⁻³				
Isıl Değeri (Mj/kg) (Mj/litre)	119.93	50.8		26.9	43.4	43.1
	8.41	20.8	15.9	21.3	31.8	
Stokiyometrik karışım için Hava/yakıt(kütlese) Hava/yakıt(hacimse) (kj/litre)	34.32	17.2	6.44	8.96	14.7	14.5
	2.38	9.53	7.14	14.3	45.79	
	3.20	3.40	3.53	3.61	3.78	
Mol _{ürünler} /mol _{reaktantlar}	0.85	1.00	1.06	1.06	1.04	
Buharlaştırma ısısı (mj/kg)	0.447	0.509	1.102	0.856	0.272 ^a	0.3
Tutuşma Sınırları % Hacim γ	4.1 – 74	5-15.4	6-37	3.5-19	1.3- 7.6	
	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 (⁰ C)	2110	1954	1878	1924	1993 ^a	
Difüzyon katsayısı (m ² /s)	0.61	0.16			0.08	
Kaynama noktası (⁰ C)	-252.35	-161.3	65.1	78.7	32- 221	170- 350
Donma noktası (⁰ C)	-259		-97.6	-114.1	-56 ^a	
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (⁰ C)	574-591	632	470	392	257	
Oktan Sayısı ROS MOS	130	130	110	106	91- 100	
		105	87	89	82-94	

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Arslan, Ali, M., dizel yakıtına alternatif yakıt olarak soya ve kanola yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel yakıtları kullanmış. Bu alternatif yakıtların performans ve emisyon değişimleri dört silindirli bir dizel motorunda üç farklı enjektör basıncında (250, 300, 350 bar) tam yük ve değişken motor devirlerinde testlere tabi tutmuştur. Elde edilen verilere göre, her üç yakıtın değişik enjektör basınçlarında performans ve emisyon değişimleri elde edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırmıştır. 250 bar enjektör basıncında yapılan deneylerde yakıtların performans verimliliği bakımından sıralaması dizel, kanola ve soya yağı metil esteri olarak değiştiğini, emisyon değerleri bakımından ise soya, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı olarak sıralandığını tespit etmiştir. Basınç 300 bar'a yükseltildiğinde soya ve kanola yağı metil esterlerinin performans ve emisyon değerleri dizel yakıtına yakın sonuçlar vermiş, basıncın 350 bar'a yükseltilmesi ise alternatif yakıtları performans ve emisyon olarak olumsuz etkilediğini tespit etmiştir (Arslan ve Çelikten, 2007).

Hanbey ve arkadaşları; plazma spreynin yöntemi ile bir dizel motorun silindir kafası, egzoz ve emme supapları $MgO-ZrO_2$, piston yüzeyi ise ZrO_2 seramik malzeme ile kaplanmıştır. Böylece yapılan kaplama ile yanma odası elamanlarına termal bariyer özellik kazandırılmıştır. Aynı model kaplanmamış ve kaplanmış motorların performans ve emisyonları üzerine No. 2D, transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiş kanola metil esterinin etkileri incelemiştir. Testler önce kaplanmamış motorda yapılmış, daha sonra kaplanmış motorda tekrar edilerek sonuçlar karşılaştırmış. Yapılan deneyler sonucunda kaplanmamış motora göre kaplanmış motorda bütün test yakıtlarında motor gücünde artma, özgül yakıt tüketiminde azalma, egzoz gaz emisyonları ve is emisyonunda önemli miktarda azalma tespit etmiştir. (Hanbey, 2008)

Yamık ve İcingür, tek silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı, ayçiçek yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük değişik devir ve sabit devir değişik yük deneyleri yapmışlar, deneyler sonucunda her yakıt için performans haritaları çıkarılmış, tam yük değişik devir deneylerinde etil ester performansı dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde ölçmüşler. Emisyonlar bakımından etil ester emisyon değerleri metil

esterinkine yakın değerlerde tespit edilmiş, ayçiçek yağı metil esterinin ısıl değer ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmış, deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda metil esterinin performans bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği saptanmıştır. Etil esterinin motor gücü ve momentinin ise dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiş buna karşılık özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyetlerinin etil esterde diğer yakıtlara göre yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bitkisel yağ metil esterlerinin dizel yakıtına alternatif olabileceği görülmüştür (Yamık ve İcingür, 2002).

Can, ve Çelikten, No 2 D yakıtına (hacimsel oranda %10, %15, %20) etanol katkısının 4 zamanlı, dört silindirli turboşarjlı ön yanma odalı (IDI) bir dizel motorunda farklı yakıt enjeksiyon basınçlarında (100, 150, ve 250 bar) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelemiştir. No 2 D yakıtına etanol katkısının düşük eşdeğerlik oranındaki egzoz emisyonlarının değişimini değerlendirebilmek için farklı yüklerde de (%100, %75 ve %50) deneyler yapılmış, Yakıt karışımlarının homojenliğini ve stabilizesini sağlayabilmek için karışıma %1 oranında izopropanol eklenmiş, deneysel bulgulara göre; etanol-dizel yakıtı karışımları ile CO, is ve SO₂ emisyonları azalırken NO_x emisyonlarında artış olmakta ve motor gücünde ise (%10 etanol için) %12,5 ve (%15 etanol için) %20 azalma olduğunu tespit etmişler. Enjeksiyon basıncının artırılması ile özellikle 1500 - 2500 min⁻¹ motor hızları arasında dizel yakıtına göre CO ve is emisyonlarında azalma meydana gelirken motor performansı olumsuz etkilendiğini, tam yükteki etanol katkısının emisyonlar üzerine iyileştirici etkisi, kısmi motor yüklerinde düşük eşdeğerlik oranından dolayı daha az oranda gerçekteştiğini tespit etmişlerdir (Can ve Çelikten, 2003).

Ajav ve ekibi, değişik etanol-dizel (dizekol) karışımlarının motor gücü üzerindeki etkisini, frene özgül yakıt tüketimi, fren termal verimliliği, egzost gaz sıcaklığı, ve yağlama yağı sıcaklığını analiz ettiler. Sonuçlar, %5 anlamlılık seviyesinde etanol dizel karışımlarıyla (%20 ye kadar) çalışan motorda kayda değer güç düşmesi olmadığını

gösterir. Frene özgü yakıt tüketimi karışımlarda mineral dizele oranla %9'a kadar (etanolle %20 ye kadar) arttı. Dizele nazaran, etanol-dizel karışımlarının çalışmasında egsoz gaz sıcaklığı, yağlama yağı sıcaklığı ve egzost emisyonları (CO ve NOx) daha düşüktü. %20'ye kadar etanol-dizel karışımları günümüzdeki sabit hızlı CI motorlarda değişiklik yapılmadan pekala kullanılabilir. Etanolün yüksek karışımları kullanıldığında, frene özgü yakıt tüketimi çok az arttı, üretilen güçte ve termal verimlilikte kayda değer bir değişiklik yoktur. Etanol-dizel karışımları için egsoz gaz sıcaklığı mineral dizelden daha düşüktür. Motor hem sıcak hem de soğuk olarak normal bir şekilde başlatılabildi. Tek başına dizele nazaran etanol-dizel karışımları kullanıldığında CO emisyonunda %62'ye varan azalma mümkündür. NOx emisyonları da etanol-dizel kullanıldığında %24'e varan oranda azalır (Ajav ve ark., 1999).

Al-Farayedhi ve ekibi %20'ye varan gazokol karışımları kullanarak motor perormansını incelediler. Oksijenli karışımlar temel yakıtla, ve temel yakıtla tetra etil kurşun(TEL) eklenerek hazırlanmış kurşunlu yakıtla karşılaştırıldı. Motorun maksimum çıktısı ve termal verimliliği değişik çalışma koşullarında değerlendirildi (Al-Farayedhi ve ark., 2004).

Koçak ve İçingür, fındık yağı metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı deneysel olarak incelemiştir. Fındık yağı metil esteri, kurulan reaktör düzeneğinde üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, elde edilen fındık yağı metil esteri dört silindirli, direkt enjeksiyonlu, turboşarjlı bir dizel motorda test edilmişler, yapılan motor performans ve emisyon testleri, fındık yağı metil esteri ve dizel yakıtının moment ve güç değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir. Fındık yağı metil esterinin CO, CO₂, NOx ve duman koyuluğu emisyonlarının da dizel yakıtına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Fındık yağı metil esterinin motor ayarlarında değişiklik yapılmadan kullanılabileceği gibi, enjeksiyon avansının değiştirilmesi ile performans ve emisyon değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edilebileceği ortaya konmuştur (Koçak ve İçingür, 2005).

Keskin, Altıparmak ve Gürü, kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağının, biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretiminde kullanımı araştırmıştır. Ham tall yağı distile edilerek reçine ve yağ asitlerine ayrılmıştır. Tall yağı

yağ asitlerinden metil ester (Biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Tall yağı reçine asitleri NiO, MoO₃, MgO, MnO₂ ve Co₃O₄ bileşikleri ile reaksiyona sokularak metalik yakıt katkı maddeleri sentezmiştir. Tall yağı metil esterinin dizel yakıtı ile %60 oranındaki karışımına, metalik yakıt katkı maddeleri 4 µmol/l, 8 µmol/l ve 12 µmol/l oranlarında dozlanarak deney yakıtları elde etmiştir. Katkı maddeleri biyodizel yakıtların yakıt özelliklerinde iyileşmeler sağlamış, deney yakıtları tek silindirli modifiye edilmemiş bir dizel motorunda tam yük şartlarında denenerak performans ve emisyon değerleri belirlemiştir. Deney yakıtları tork ve güç değerlerinde dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri göstermiştir. Özgül yakıt tüketimim değerleri büyük oranda deney yakıtlarının ısı değerlerine bağlı olarak artışlar göstermiştir. Emisyon değerlerinde önemli ölçüde iyileşmeler tespit etmiştir. Deney yakıtları fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olması ile birlikte motor performans ve emisyon sonuçlarındaki iyileşmeler nedeni ile dizel yakıtına alternatif olabileceği sonucuna varmıştır (Keskin, Altıparmak ve Gürü, 2005).

Özsezen ve Çanakçı, palmye yağı kökenli atık kızartma yağından elde edilen metil ester, dört silindirli, doğal emişli, ön yanma odalı bir dizel motorda alternatif dizel yakıtı olarak kullanmış elde edilen motor test sonuçları, petrol kökenli dizel yakıt (PKDY) ile yapılan ölçümler referans alınarak karşılaştırmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon seviyelerini belirlemek amacıyla, motor tam yük-değişik devir testlerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda, metil ester kullanımı ile motorun döndürme momenti, efektif gücü petrol kökenli dizel yakıtına kıyasla azalma gösterirken, özgül yakıt tüketiminde ise hafif bir artış olmuştur. Deneylerde, her bir yakıt için karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) ve duman koyuluğu değerleri ölçülmüştür. Emisyon testleri, metil esterin HC, CO ve duman koyuluğu emisyonlarında petrol kökenli dizel yakıtına kıyasla önemli azalmalar sağladığını göstermiştir. Fakat, metil ester kullanımı ile NO_x emisyonu PKDY'a kıyasla arttığı tespit edilmiştir (Özsezen ve Çanakçı, 2008).

Karabektaş ve Ergen, rafine soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen ve biyodizel olarak adlandırılan soya yağı metil esterinin (SYME), bir dizel

motorunda kullanılması sonucu elde edilen motor performans karakteristikleri ve NOx emisyon değerlerindeki değişimler dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirmiştir. Biyodizel yakıtının testlerinde motorine oranla daha düşük ısı değer, yüksek viskozite ve yoğunluk saptanmıştır. Motor testlerinde ise motorine oranla efektif güçte ortalama %3.92 azalma ortaya çıkmaktadır. Özgül yakıt tüketiminde artış görülmektedir. NOx emisyonları SYME yakıtı ile belirgin artış göstermektedir. Yapılan testlerde yakıtın kullanımı ile ilgili önemli bir sorunla karşılaşılmamıştır (Karabektaş ve Ergen, 2007).

Usta ve arkadaşları, yaptıkları projede, biyodizel hammaddesi olarak ham kanola yağı, nötr pamuk yağı ve atık kızartma yağı kullanıp, biyodizel üretim yöntemi olarak alkali katalizörler ile transesterifikasyon (esterleşme) metodunu izlemişlerdir. Transesterifikasyon reaksiyonunda, alkol olarak metil alkol, katalizör olarak sodyum hidroksit kullanılmıştır. Üretilen biyodizeller, dizel yakıtı içerisine %20 hacimsel oranda karıştırılarak bu karışımlar, dört zamanlı, dört silindirli, ön yanma odalı turbo-dizel bir motorda tam yükte test edilmiştir. Biyodizel kullanımının dizel motor emisyonlarına, özellikle partikül ve is emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Partikül, is ve CO emisyonundaki azalma ile birlikte performans parametrelerinde dikkate değer bir değişme olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada Biyodizeller iki farklı ham maddeden üretilmektedir. Bir tanesi tütün tohumu yağının esterleştirilmesi ile elde edilen biyodizel, diğeri ise atık ayçiçeği yağı ile fındık yağı sabun stokunun yaklaşık eşit oranlarda karışımından elde edilen biyodizeldir. Farklı kaynaklardan farklı tekniklerle üretilen biyodizeller arasında sıcaklıkla viskozite değişimi çok farklı olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan iki biyodizelin ve dizel No. 2 yakıtın viskozitesinin sıcaklıkla değişimini karşılaştırılmıştır (Şekil 2.6). Tütün tohum yağından elde edilen biyodizel (T100) düşük sıcaklıklarda da dizel yakıtı oldukça yakın viskoziteye sahip olmakla birlikte, diğeri biyodizelin (S100) viskozitesi sıcaklık düştükçe hızla arttığını gözlemlemiştir. Bu yüzden biyodizellerin sadece 40 °C'de değil düşük sıcaklıklarda da viskozitelerinin ölçülerek soğuk havalarda kullanılacak karışım oranlarının tespit edilmesi gerektiğini ifade etmiştir (Usta ve ark., 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada öncelikle karışım için kullanılacak olan dizel ve soya biyodizelinin yakıt analizleri (viskozite, akma-donma, setan sayısı, yoğunluk, ısıl değer, setan indeksi, kükürt oranı) yapılmış olup bu analizlerin sonuçlarının tespitlerinde aşağıda teknik özellikleri belirtilen cihazlar kullanılmıştır.

Her bir karışım için yakıt özellikleri incelenmiş olup tüm testler Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı'na ait Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda (ÇÜYAL) gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tüm cihazlar ve standartları ayrıntılı olarak aşağıda belirtilmiştir.

3.1.1. Dijital Yoğunluk Ölçer

Resonant Frequency Metoduyla ölçüm yapan Kyoto Electronics (KEM) marka, DA-130 tipi tam otomatik olarak dijital yoğunluk ölçüm cihazı ile sıvıların ve sıvı yakıtların yoğunluk, özgül ağırlık, API gravitesi, %Brix, hacimsel ve kütleli olarak alkol konsantrasyonları, sülfirik asit konsantrasyonları gibi özellikleri test edilebilmektedir. Cihazın ölçüm aralığı 0 ile 2 g/cm³ olup hassasiyeti ± 0.001 g/cm³, kararlılığı 0.0001 g/cm³ ve ölçüm sıcaklık aralığı 0-40 °C'dir. Cihaz TS 6311, ASTM D 4052-96 standartlarında ölçüm yapmaktadır. Yoğunluk ölçümleri TS EN 14214 standardının belirttiği 15 °C'de gerçekleştirilmiştir. Her bir yakıt ve karışımların yoğunluk ölçümleri üçer defa yapılarak sonuçların ortalamaları alınarak tespit edilmiştir(Şekil 3.1.1.).



Şekil 3.1.1. Dijital Yoğunluk Ölçer

3.1.2. Saybolt Viskozimetre

Biyodizel ve karışımların viskozite değerleri ASTM D88 standardına uygun Ubbelohde tüpünden imal edilen Saybolt Üniversal Viskozite cihazı ile tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçları çevrim tablosu yardımı ile SSU (Saybolt Üniversal Saniye) cinsinde centistokes (cSt) birimine çevrilmiştir. Ölçümler TS EN 14214 standardının belirttiği 40 °C’de gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1.2.).

Saybolt viskozite aletinden yoğunluk ölçümü, sıcaklığı ayarlanabilen bir banyo içindeki, standart ölçülerde bir tüp ve onun altında, dışa açık fakat bir mantar ile tıkanabilen bir meme (Orifis)ten oluşur. Tüpün üst kısmında, sıvı seviyesinin belirli

olmasını sağlayan bir taşma kısmı vardır. Özel bir tutucu ile birlikte, termometre t¼pe daldırılır. memenin altına özel toplama kabı konur. Yakıt aralıklarla karıştırılır istenilen sıcaklığa gelince, alttaki mantar çekilir. aynı anda kronometreye basılır. Akan sıvı toplama kabına akmaya başlar. sıvı, kabın boğazındaki çizgiye gelince, kronometreye tekrar basılarak durdurulur. geçen süre, yani kronometrede okunan değer, sıvının o sıcaklıktaki viskozitesi olarak kaydedilir.



şekil 3.1.2. Saybolt Viskozimetre

3.1.3. Setan Sayısı Ölçüm Cihazı

Çalışmada elde edilen biyodizel ve karışımların Setan Sayıları, Yakın İnfrared Spektrometresi (NIR) prensibiyle çalışan Zeltex marka, ZX440 tipi cihazla ölç¼lm¼řtür (şekil 3.1.3.). Setan Sayısının belirlenmesi, cihazın ölçekli ve üzerinde 180 derece karşılıklı iki adet beyaz şeriti bulunan siyah bant ile çevrili kabın seviye çizgisine kadar yakıt koyulur. Cihaz ölçme yapmak için çalışır duruma ayarlanır. Ölçme kabı cihazda üzerinde yine karşılıklı 180 derece yöndeki iki adet çizgiden birine denk gelecek şekilde

yerleştirilerek üst kapak kapatılır. Cihazdan infrared spekiyometresinden bir defa geçirilir. Kapak açılarak cihaz üzerindeki ve kap üzerindeki beyaz işaretli kısımlar 180 derece zıt yönde çevrilerek kapak tekrar kapatılıP infrared ışın tekrar geçirilir. Bu işlemler sonucunda cihazdan yakıtın setan sayısı ve indeksi sonucu alınmış olur.



Şekil 3.1.3. Setan Sayısı Ölçüm Cihazı

3.1.4. Kalorimetre

IKA-Werke marka, C2000 tipi kalorimetre cihazı, sıvı yakıtların ısı değerlerini tam otomatik olarak ölçebilmektedir. Çalışma sıcaklık aralığı +15 °C ile +35 °C olan cihazda ateşleme tungsten tel yerine, pamuk ipliği ile yapılmaktadır. Isıl değer sonuçları kalori/gr cinsinden ölçülmüştür. Cihaz TS 1740, ASTM 240 D, ISO 1928, DIN 51900, BSI standartlarında ölçüm yapabilmektedir (Şekil 3.1.4.).



Şekil 3.1.4. Kalorimetre Cihazı

3.1.5. Akma Noktası Tayini

Biyodizelin en önemli sorunlarından birisi olan akma noktasını tayin etmek için ISL marka, CPP 97-2 tipi tam otomatik soğuk özellik belirleme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle çalışabilmektedir. Cihaz akma noktasını TS 1233, ASTM D 97, D 5950, D 5853, IP 15, ISO 3016, JIS K2269 standartlarında ölçebilmektedir (Şekil 3.1.5.).

Test edilecek yakıt, standart, yani ölçüleri belli bir tüpe konur ve içine bir termometre daldırılır. Soğutulmaya başlanır. Tüp ara sıra yana doğru biraz yatırılır. bulanmaya başladığı sıcaklık, bulanma noktası, akmadığı nokta, akma noktasıdır. Küçük çaptaki işlemlerde, soğutma için, alkol ve kuru buz (katı karbon di oksit) kullanılabilir. Genelde freonlu soğutma sistemleri kullanılır.



Şekil 3.1.5. Akma Donma Noktası Tayini Cihazı

3.1.6. Kükürt Oranı Tayini

Oluşturulan karışımlarının kükürt oranlarının tayininde OXFORD X-Ray Tube Instruments Analytical Halifaxroad Wycambe Bucks HP12 JSE TF 2501 model numaralı cihazdan yararlanılmıştır (Şekil 3.1.6.).

Kürt yüzdesi, genelde iki metot ile saptanır. Bomba metodu ve lamba metodu. Bomba metodunda, numune, basınca dayanıklı bir kap (bomba) içindeki özel bir kapsüle konur. Bunun içine demir bir elektrik teli daldırılır. bonbanın içine biraz su konarak kapatılır. Bombaya oksijen basılır. Su banyosu içine konur. tele akım vererek, yanması ve yakıtı ateşlemesi sağlanır. Soğuduktan sonra bomba açılır. Sudaki sülfirik asit Baryum klorür ile çöktürülerek sülfat belirlenir. Buradan kükürt yüzdesi hesaplanır. Lamba metodunda yakıt özel bir lambada yakılır. çıkan gazlar bir absorber da toplanır. Sülfat tayini yapılır. Buradan kükürt yüzdesi hesaplanır. Her iki metottaki işlemler için çok vakit

ve emek harcanır. X ışınları ile yapılan ölçümler çok emin olmasa da, yeterli doğrulukta ve anında, kolayca sonuç alındığından tercih edilir.



Şekil 3.1.6. Kükürt Oranı Belirleme Cihazı

3.1.7. Motor Deney Düzeneği

Deneyisel çalışmalarda dört zamanlı tek silindirli dizel motoru kullanılmıştır. Motor torku hidrolik dinamometre ve ölçme ünitesi yardımıyla belirlenmiştir. Su akışı bir kontrol valfi yardımıyla kontrol edilmektedir. Hidrolik dinamometre motorun arkasına kaplin vasıtasıyla montajı yapılmıştır. Dinamometre maksimum torku 2700 d/dak'da 8.2 Nm. ölçülmüştür. Test düzeneğinin üst kısmında 4,5 lt hacime sahip yakıt tankı bulunmaktadır. Yakıtın motora beslemesi yerçekimi kuvveti yardımıyla olmaktadır. Motora hava girişi manometre yardımıyla ölçülmektedir. Deneyde kullanılan motorun

teknik özellikleri Çizelge 3.1.7.'de, test düzeneğinin oluşturulması Şekil 3.1.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.7. Deney motoru teknik özellikleri

Motor Tipi	4 zamanlı tek silindirli dizel motor
Silindir Hacmi	219 cm ³
Silindir çapı	70 mm
Silindir boyu	57 mm
Kompresyon oranı	17:1
Maksimum tork	2700 d/dak' da 8.2 Nm
Maksimum frenleme gücü	3600 d/dak' da 2.6 kW
Maksimum devir	3600 d/dak



Şekil 3.1.7. Deney Motoru ve Kontrol Ünitesi

3.2. Yöntem

Bu çalışmada öncelikle karışım için kullanılacak olan dizel ve soya biyodizelinin yakıt analizleri (viskozite, akma-donma, setan sayısı, yoğunluk, ısıl değer, setan indeksi, kükürt oranı) materyaller kısmında teknik özellikleri verilmiş cihazlarda işlemlerin uygulama basamakları açıklanmış yöntemler ile yapılmış olup sonuçları tabloda belirtilmiştir (Çizelge 3.2.1).

Çizelge 3.2.1. Yakıt analizleri

Analizler	Motorin	Soya B.D
Yoğunluk (15 °C) g/cm ³	0,835	0,896
Setan Sayısı	55,219	47,787
Setan indeksi	45,633	45,861
Isıl Değer (MJ/kg)	44,28	38,56
Akma / Donma (°C)	-18	-3
Viskozite (40 °C) sn (Saybolt universal)	35,11	47,787
Kükürt (%)	0,3656	0,2095
Parlama Noktası (°C)	71,5	113,6

DeneySEL çalışmalarda soya yağından elde edilmiş biyodizel, motorin ve etanol yakıtları kullanılmıştır. Etanol yoğunluğunun faz kararlılığına etkisi, etanolün 2 farklı saflık oranında (% 99,5 ve % 99,8) oda sıcaklığında incelenmiştir.

İlk olarak % 99,5 saflıktaki etanol kullanılarak yakıtlar 16 farklı oranda hacimsel olarak Çizelge 3.2.2.'de belirtilen oranlarda karıştırılmıştır. Karışım oluşturmanın ilk

aşamasında 250 cc'lik ölçekli contalı şişeler kullanılarak karışımlarda faz ayrışımı olup olmadığı gözlemlenmiştir. Karışımlar hazırlanırken ilk önce şişeye biyodizel yakıtı ikinci olarak dizel ilave edilip şişenin ağzı kapatılarak çalkalanmıştır. Daha sonra şişe 5 dakika dinlenmeye bırakılarak faz ayrışımı olup olmadığı bakıldığında homojen bir karışım olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.2.1.).



Şekil 3.2.1. Biyodizel-dizel karışımında faz ayrışımı yok

Biyodizel ve dizel karışımının üzerine çizelge de belirtilen % 99,5 saflıkta etanol ilave edilerek çalkalanıp tekrar gözlemlemeye alındığında bütün karışımlarda faz ayrışımı olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.2.2.). Bu karışımlar 2 saat süre ile manyetik karıştırıcılarda karıştırılmıştır. Karışımlar manyetik karıştırıcı üzerinden indirildikten 30 dakika sonrasında belirgin bir şekilde faz ayrışımının tekrar başladığı görülmüştür. % 99,5 etanol saflık oranında dizel-biyodizel-etanol karışımı oluşmamıştır. Çünkü %99,5 oranındaki etanole sulu etanol denir. ve içeriğinde % 0,5 su zaten vardır. Su moleküllerindeki yüksek kutuplaşma birleşimi önler (Kwanchareon ve ark., 2007). Etanol-dizel-biyodizel yakıt karışımlarının kararlılığı genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlıdır (Eugene ve ark., 1984; Abu-Qudais ve ark., 2000)

Sonuç olarak kutuplaşmayan bir molekül olan dizel, %99,5 oranındaki etanol ile uyumlu değildir. Bu durumda 6 aylık süre sonucunda karışım hazırlamada uygulanan çalkalama, manyetik karıştırıcılarda karıştırma uygulanmasına rağmen karışımlar kutuplaşmış ve kutuplaşmamış (polar non-polar) olarak ayrılmıştır. Buna sebep %95 saflık oranına sahip olan etanolün karışımda daha etkin olması ve zayıf emilim davranışı olabilir (Kwanchareon ve ark., 2007). Artık anlaşıldığı üzere %99,5 saflık oranına sahip etanol, dizel ve biyodizel karışımları için uyumlu bir bileşen değildir.

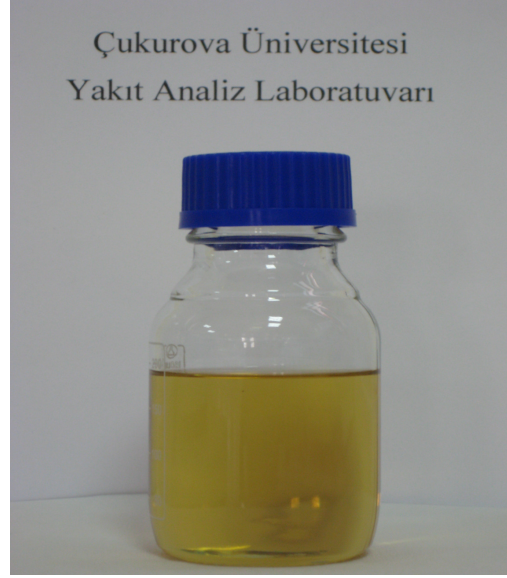


Şekil 3.2.2. Biyodizel-dizel-etenol (%99,5 saflık) karışımında faz ayrışımı bulunmaktadır.

Aynı karışım hazırlama yöntemimizi uygulayarak Çizelge 3.2.2.'de belirtilen karışımlarda % 99,8 saflıkta etanol kullanıldığında karışımlarda faz ayrışımı olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.2.3.). Faz ayrışımının oluşmama sebebi etanol içerisindeki su miktarının % 99,5 saflıktaki etenole göre az olmasıdır. Buradan da anlaşılmaktadır ki, etanolün saflığı karışımlardaki faz ayrışımında önemli bir etkidir.

Bu tespitler sonucunda motor test düzeneğinde kullanılmak üzere % 99,8 saflığa sahip etanol içeren dizel ve soya biyodizeli ile 3 lt'lik plastik kaplarda Çizelge 3.2.2.'de oranları verilen 16 adet karışımın (Şekil 3.2.4.), yakıt analizleri (viskozite, akma-donma,

setan sayısı, yoğunluk, ısıl değer, setan indeksi, kükürt oranı) yapılmış olup sonuçları tabloda belirtilmiştir (Çizelge 3.2.3.).



Şekil 3.2.3. Biyodizel-dizel-etenol (%99,8 saflık) karışımında faz ayrışımı bulunmamaktadır.



Şekil 3.2.4. Deneysel çalışmada kullanılan karışımlar

Çizelge 3.2.2. Karışım oranları

KARIŞIM ORANLARI			
Karışım No	Dizel (%)	Biyodizel (%)	Etanol (%)
1	90	5	5
2	85	10	5
3	80	15	5
4	75	20	5
5	80	10	10
6	75	15	10
7	70	20	10
8	65	25	10
9	70	15	15
10	65	20	15
11	60	25	15
12	55	30	15
13	60	20	20
14	55	25	20
15	50	30	20
16	45	35	20

Çizelge 3.2.3. Karışımların yakıt analiz sonuçları

SOYA BD + DİZEL + ETHANOL KARIŞIMLARININ YAKIT ANALİZLERİ							
Karışım No	Yoğunluk (g/cm ³) (15 °C)	Setan Sayısı	Setan İndeksi	Isıl Değer (MJ/kg)	Akma /Donma (°C)	Viskozite (40 °C)	Kükürt (%)
1	0.835	63.383	49.918	42,72	- 27.8	2,55	0.1144
2	0.838	64.404	49.995	42,90	- 27.0	3,00	0.1061
3	0.841	64.573	50.020	42,66	- 26,2	3,03	0.0965
4	0.844	59.385	51.462	42,49	- 21.0	3,43	0.0921
5	0.835	58.939	53.614	42,63	- 27.1	2,10	0.0989
6	0.838	59.015	53.676	42,09	- 26.7	2,50	0.0914
7	0.841	59.648	54.010	41,91	- 25.3	2,58	0.0845
8	0.844	60.061	54.247	40,71	- 24.2	2,61	0.0799
9	0.834	59.347	56.006	41,16	- 25.4	2,51	0.0872
10	0.838	58.481	55.636	40,60	- 24.8	2,60	0.0800
11	0.840	61.053	56.841	40,50	- 24.1	2,61	0.0741
12	0.842	59.726	56.624	39,66	- 23.6	2,64	0.0681
13	0.835	58.575	58.115	40,43	- 23.7	2,56	0.0734
14	0.838	58.519	58.166	40,04	- 23.3	2,59	0.0685
15	0.841	58.204	58.401	39,68	- 22.8	2,60	0.0642
16	0.844	57.778	58.718	39,40	- 22.2	2,62	0.0617

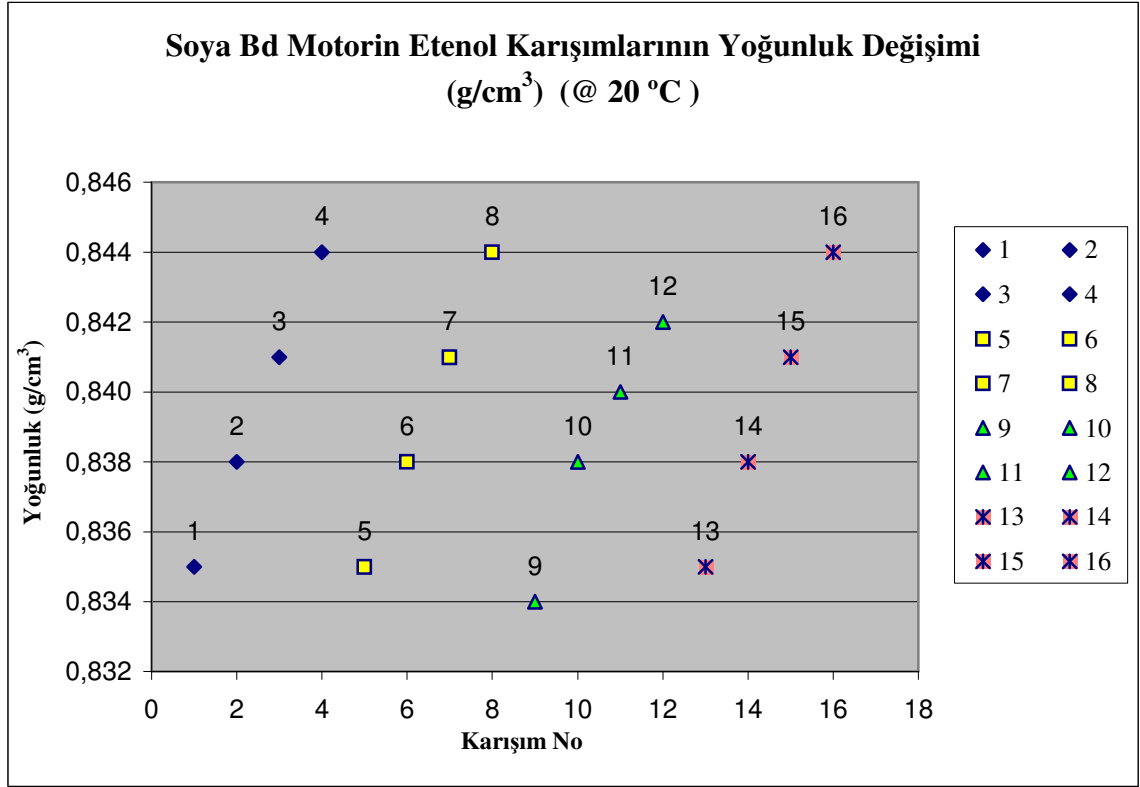
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Karışımların Yakıt Analiz Sonuçları

Bu tespitler sonucunda motor test düzeneğinde kullanılmak üzere 3 lt'lik plastik kaplarda Çizelge 3.2.2.'de oranları verilen 16 adet karışımın (Şekil 3.2.4.), yakıt analizleri (viskozite, akma-donma, setan sayısı, yoğunluk, ısıl değer, setan indeksi, kükürt oranı) yapılmış olup sonuçları Çizelge 3.2.3.'de belirtilmiştir. Ortaya çıkan bu sonuçlar karışım oranları bazında grafiklerde sırası ile gösterilmiştir. Karışımlar içerisindeki etanol miktarını dikkate alarak kendi içerisinde gruplandırma yapıp ortak olarak renklendirilmiştir. Örneğin; Karışım içerisindeki etanol miktarı % 5 olan ilk dört karışım kendi içerisinde gruplandırılmış ve grafik üzerinde ortak olarak renklendirilmiştir.

4.1.1. Yakıt Karışımlarının Yoğunluk Değişimleri

Karışım içerisindeki etanol oranı yükseldikçe karışımın yoğunluğunun düştüğü gözlemlenmiştir. Etenol yoğunluğunun karışımın diğer iki bileşeni olan dizel ve soya biyodizeline göre düşük olması karışımın yoğunluğunun düşmesine neden olmuştur. Buna karşılık karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça yoğunluğun arttığı görülmektedir. Buda bileşenler içerisinde yoğunluğu en yüksek olan biyodizelden kaynaklanmaktadır. Karışımlardan % 5 oranında etanol ve soya biyodizeli içerenlerin yoğunluğu dizelin yoğunluğu ile aynı iken etanol sabit kalıp dizel azaltılarak soya biyodizeli arttırıldığında karışımların yoğunluğu dizelin yoğunluğuna göre yüksek olup biyodizele göre düşük çıkmıştır. Yoğunluğun en yüksek olduğu karışımlar, 4 ve 12 nolu karışımlardır (Şekil 4.1.1.).

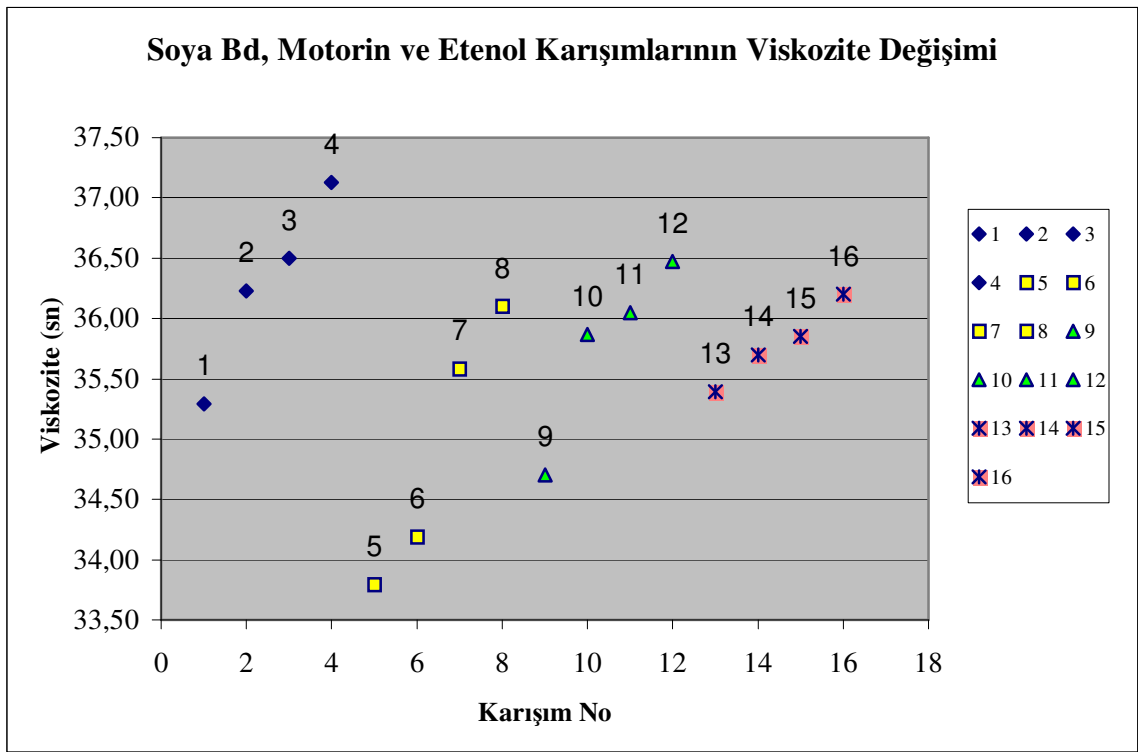


Şekil 4.1.1. Karışımların yoğunluk değerlerinin değişimi

4.1.2. Yakıt Karışımlarının Viskozite Değişimleri

Yakıtlarda önemli bir özellik olan viskozite genel olarak standartlarda 40 °C sıcaklıkla karşılaştırılmaktadır. Bununla birlikte farklı kaynaklardan farklı teknikler ile üretilen biyodizeller arasında sıcaklıkla viskozite değişimi çok farklı olabilmektedir. Yoğunluğun yüksek olması viskoziteyi artırır. Artan viskozite ile akış direnci yükselmektedir. Yakıtın depolanması ve kullanımında yüksek viskozite iyi sonuç vermemektedir. Yakıtların viskozitesi, motorlarda yakıt enjektöründen püskürtme özelliğine etki eden önemli bir faktördür. Yakıtın viskozitesinin yüksek olması özellikle soğuk iklimlerde düşük sıcaklıklarda önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu çalışmada karışımların viskoziteleri 40 °C sıcaklıkta ölçülmüştür. Karışımların viskozite değişimi

Şekil 4.1.2.'de gösterilmiştir. Hazırlanan karışımların viskoziteleri düşük yoğunluklu ve viskoziteli etenolden dolayı azalmıştır. Karışımların viskoziteleri, biyodizelinkinden düşük dizelin viskozitesinden yüksek çıkmıştır. Karışımlarda etanol miktarı sabit tutularak, biyodizelin artırılması ve dizelin azaltılması ile birlikte karışımların viskoziteleri artmıştır. Sonuç itibariyle viskozitenin en yüksek olduğu karışım, içerisinde en az etenol ve en fazla biyodizel içeren 4 nolu karışımdır.

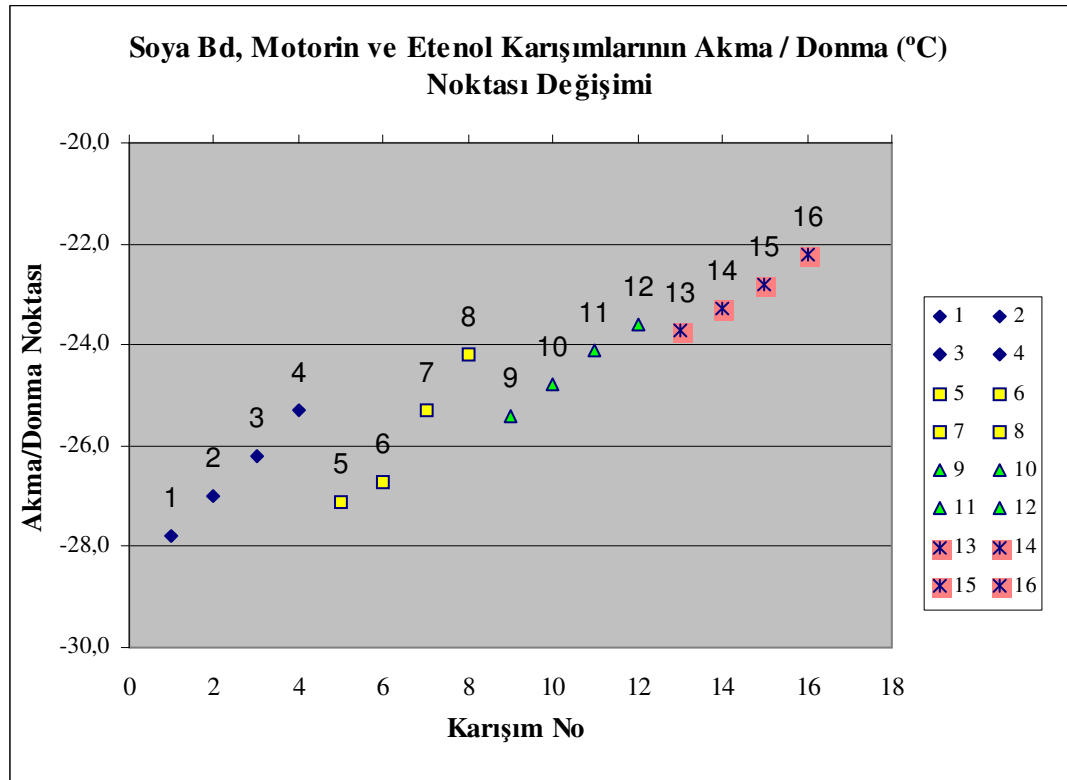


Şekil 4.1.2. Karışımların viskozite değerlerinin değişimi

4.1.3. Yakıt Karışımlarının Akma Noktaları Değişimleri

Akma noktaları yakıtın yoğunluğuna buna bağlı olarak viskozitesine bağlıdır. Etanolün önemli bir avantajı düşük sıcaklıklarda karışımın akma ve bulutlanma sıcaklıklarını biyodizelin tersine düşürmesidir. Akma noktası özellikle soğuk iklime sahip

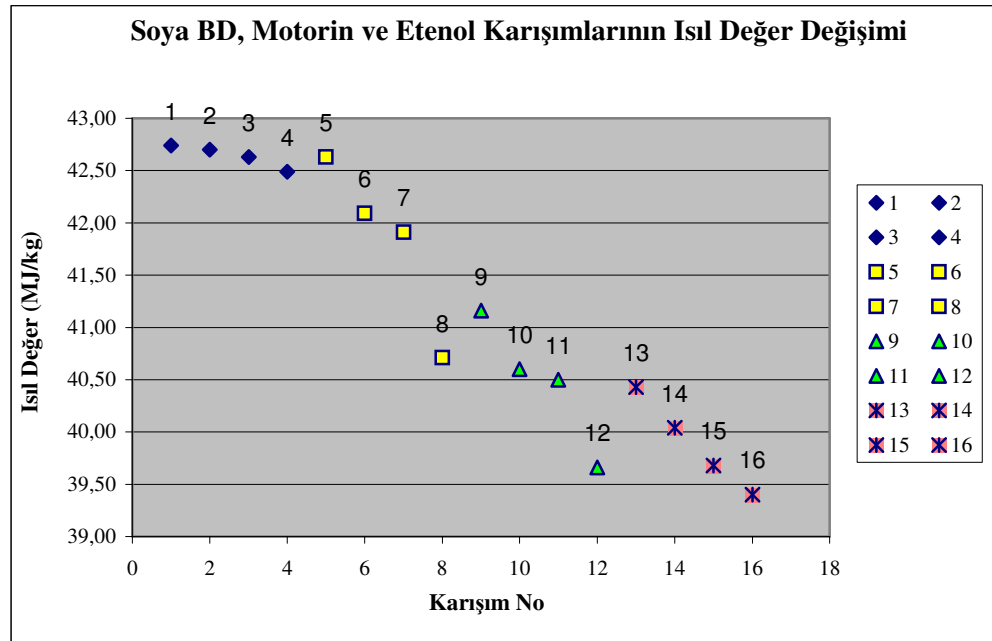
yerleşim yerlerinde kullanılan araçlar için önemlidir. % 5 etanol içeren karışımlarda donma noktası 10 derece kadar artarak -28°C 'leri görmüştür. Karışımlarda en yüksek yoğunluğa sahip olan soya biyodizeli miktarı artması ve dizelin azalması ile birlikte akma noktasının düştüğü görülmüştür. Karışımlardaki en düşük yoğunluğa sahip etanol miktarı % 20'ye kadar çıkarılmasına rağmen dizel miktarının azaltılması ve soya biyodizelinin artması ile birlikte akma noktasının düştüğü görülmüştür. Bu düşüş -18°C olan dizelin akma noktasının altına kadar inememiştir. En yüksek akma noktasına sahip karışım; $-27,8^{\circ}\text{C}$ ile % 90 dizel, % 5 soya biyodizeli ve % 5 etanol içeren 1 nolu karışımdır. En düşük akma noktasına sahip karışım; $-22,2^{\circ}\text{C}$ ile % 45 dizel, % 35 soya biyodizeli ve % 20 ile etanol içeren 16 nolu karışımdır. Bütün karışımların akma noktası Şekil 3.1.3.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.1.3. Karışımların akma noktasının değişimi

4.1.4. Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimleri

Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütlenin enerjisi ile verilir. Yakıtlarda ısı değeri motorların ısı ve termik verimliliği etkileyen en önemli faktördür. Karışımlar içerisinde en yüksek ısı değeri dizelin, en düşük değeri etanolüdür. Soya biyodizelin ısı değeri dizelin değerine göre % 13 düşük olduğu tespit edilmiştir. Etenolün ısı değeri biyodizel ve dizelden düşük olduğundan karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça karışımların ısı değeri de düşmektedir. Isıl değeri en yüksek olan karışım en az etanol ve en fazla dizel içeriğine sahip olan 1 nolu karışım, ısı değeri en düşük karışım ise en fazla etanol ve en az dizel içeriğine sahip olan 16 nolu karışımdır. 1 nolu karışımında % 10 oranında dizel azaltılarak % 5'er soya biyodizeli ve etanol ilavesi ile birlikte karışımın ısı değeri dizel göre % 3,5 azalmıştır. 16 nolu karışımında ise % 55 oranda dizel azaltılarak % 35 soya biyodizeli ve % 20 etanol ilave edildiğinde karışımın ısı değeri dizele göre % 11 azalmıştır. (Şekil 4.1.4).

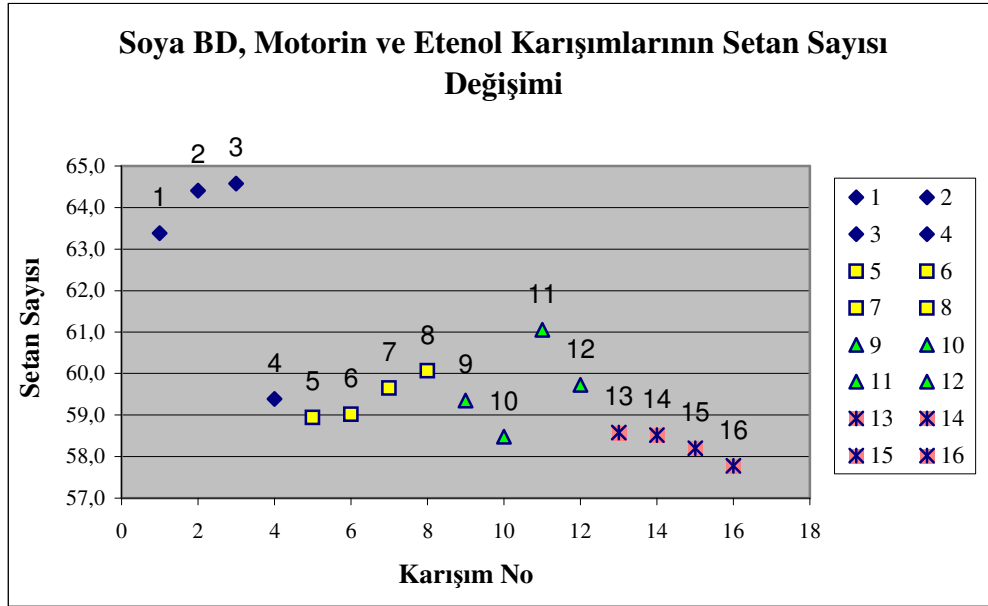


Şekil 4.1.4. Karışımların ısı değerlerinin değişimi

4.1.5. Yakıt Karışımlarının Setan Sayısı Değişimleri

Setan sayısı, dizel yakıtının tutuşma kolaylığını ve tutuşma kalitesini gösterir. Dizel yakıtın kendi kendine tutuşabilme kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayısı yüksek olan yakıt kolay tutuşabilir ve hızlı bir şekilde yanabilir. Dizel motorlarda yakıt silindir içerisinde yanma zamanında herhangi bir kıvılcım olmaksızın basıncın ve sıcaklığın etkisi ile kendiliğinden tutuşur. Setan sayısının önemi burada ortaya çıkar çünkü motorlarda yapılan hesaplamalar sonucu yakıtın yanmasının en verimli olduğu motor zamanı (pistonun üst ölü noktayı krank mili cinsinden 4-5 derece geçtiği an) belirlenmiştir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti (setan sayısı) yüksek olmalıdır ki yanma zamanında kendiliğinden kolayca tutuşabilmesi ve istenilen zaman içerisinde yanma olayı tamamlanması istenir. Eğer setan sayısı yeteri kadar yüksek değil ise yakıtın tamamı yanması gereken zaman aralığında yanamaz. Yanma zamanından sonra yanan yakıt fazla verimli olmaz. Yani piston aşağıya doğru uzaklaştığı için yanmasının oluşturduğu basınç pistonu fazla bir itme gücü sağlayamaz. Setan sayısının yüksek olması büyük dizel motorlarda istenmez hatta bu motorlarda uygun olan setan sayısı düşük olmalıdır. Fakat küçük silindireli, yüksek hızlı motorlarda yani dizel yakıt ile çalışan binek araçlarda setan sayısı önemlidir çünkü bu motorlarda yanma süresi 0,01 ile 0.001 saniye arasında değişir. Bu küçük zaman aralığında yakıtın yanabilmesi için setan sayısı yüksek olmalıdır

Dizel ve biyodizelin yüksek setan sayıları, karışım içerisindeki düşük setan sayılı etanolün bu yöndeki olumsuzluğu telafi etmektedir. Karışım içerisindeki etanol miktarı arttıkça setan sayısının düştüğü görülmüştür (Şekil 4.1.5.).

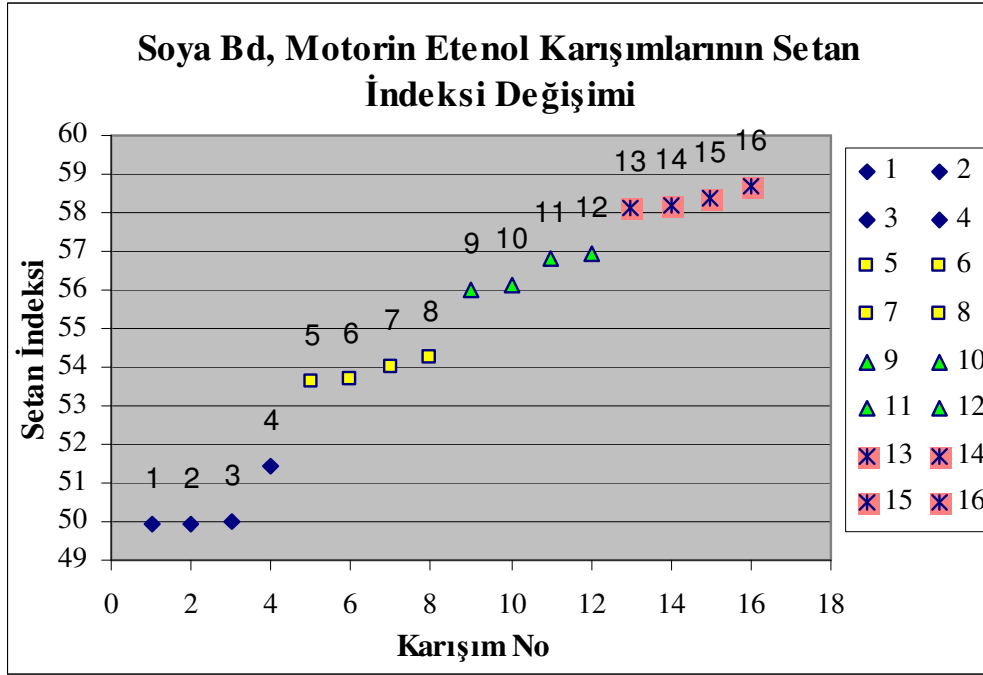


Şekil 4.1.5. Karışımların setan sayılarının değişimi

4.1.6. Yakıt Karışımlarının Setan İndeksi Değişimleri

Setan sayısını doğrudan, uygun olarak tayin etmek için deney motorunun bulunmadığı durumlarda, bir yakıtın setan sayısının tahmin edilmesinde veya setan sayısı için yeterli yakıtın olmadığı durumlarda, setan indeksi kullanılır. Bir yakıtın setan sayısının önceden tahmin edildiği durumlarda; setan indeksi, yakıt kaynağı ve üretim şekli değişmemek şartıyla, söz konusu yakıtın bir dizi numunesinin setan sayısının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Setan indeksi, setan sayısını ifade etmenin alternatif bir yolu değil, sınırlamalar sebebiyle kullanılması gereken yardımcı bir araçtır (egebiyoteknoloji, 2008).

Karışım içerisinde etanol ve soya biyodizel miktarı arttıkça setan indeksinde de artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.1.6.).



Şekil 4.1.6. Karışımların setan indekslerinin değişimi

Deneysel Hesaplamalar

4.2.1. Motor Torkunun ve Çıkış Günün Ölçülmesi

Motor çıkış miline adapte edilmiş manometer kullanılarak tork direct hesaplandı. Rad/s cinsindeki açısal hız ve torkun çarpımıyla çıkış gücü hesaplanır. Motor mili üzerindeki dinamometre fren gibi davrandığından çıkış milinden elde edilen güç frenleme gücü (P_B) olarak tanımlanır.

Frenleme Gücü (P_B) :

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \cdot T \quad (W) \quad (1)$$

4.2.2 Bir İdeal Motorun Performansı

İdeal bir motor birim yakıttan elde edilen enerjiyi kayıpsız mekanik işe çeviren motordur. İdeal bir motorun testi frenleme gücünün ve torkun motor hızının değişimiyle bulunur. Bu sonuçları gerçek bir motorda uygulamak içinb ideal bir motorda maksimum performansın oluşturulması gerekir. Motor silindir içersinde hava yakıt karışımının yanması ile açığa çıkan ısı enerjisinden faydalı iş üretilir.

Çıkış gücü hava yakıt karışımının karışım oranına ve motor içersinde yanabilme oranına bağlıdır. Tam bir yanma için yakıt ile hava doğru kimyasal oranda karışım sağlamalıdır. Her bir çevrimde ne kadar yakıtın yanabileceğini belirleyen silindir içersine giren havanın miktarıdır. Yakıtın kapladığı hacim dikkate alınmaz ise bir çevrimde silindir içersine giren havanın hacmi ideal olarak süpürme hacmine (V_s) eşittir. Atmosfer ortamından giren havanın yoğunluğuna ρ_a ise ;

$$\text{Bir çevrimdeki havanın kütlesi} = \rho_a \cdot V_s \quad (2)$$

Hava tüketim oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$m = \frac{N}{60 \cdot n} \cdot \rho_a \cdot V_s \quad (\text{kg/h}) \quad (3)$$

$n = 1$ iki zamanlı motorlarda

$n = 2$ dört zamanlı motorlarda

Yanan yakıtın oranı hava/yakıt oranına bağlıdır, (R)

$$m_f = \frac{m_a}{R} \quad (\text{kg/h}) \quad (4)$$

İdeal olarak "R" "Stokiyometrik" değer yaklaşık olarak 14,7'dir. Tam yanmayı gözönünde bulundurduğumuzda yakıtın her birim kütesinden açığa çıkan ısı yakıtın kalorifik değerine eşittir. Genellikle bu değer benzinde 42000 kJ/kg, dizel motorinde 39000 kJ/kg'dır.

Motora verilen Q ısısının oranı ;

$$Q = m_f \cdot H \quad (\text{KW}) \quad (5)$$

Motora verilen ısı enerjisinin tamamı mekanik güce çevrildiğinde çıkış gücü;

$$P_B = Q \quad (6)$$

4 ve 5 eşitliklerinde verilen diğer değişkenler ile yakıt tüketim oranını ifade ettiğimizde;

İdeal frenleme çıkış gücü;

$$P_B = \frac{H}{R} \cdot \frac{N}{60 \cdot n} \cdot \rho_a \cdot V_s \quad (\text{KW}) \quad (7)$$

Test esnasında H, ρ_a ve V_s değeri sabittir. Motorun hız oranı R'de sabittir. Böylece;

$$P_B = Sbt \cdot N \quad (8)$$

4.2.3 Gerçek Bir Motorda Performans Kriterleri

4.2.3.1. Volumetrik Verim

Emme zamanında; silindire giren karışım hacminin, silindir hacmi oranına denir. Motor gücüne ve torkuna etki eden nedenlerin başında gelir. Bu verim artarsa, motor gücü ve torku da artar. Hacimsel verim emme supabı düzenleniş şekline, havanın ve motorun sıcaklığına, atmosferik basınca, motor devrine ve gaz keleşi açıklık miktarına bağlıdır. Birinci varsayım, Her bir çevrimde motoru çevreleyen atmosferdeki havanın yoğunluğuyla süpürme hacminin çarpımına denk gelen hava kütlesi emer. Gerçekte emilen havanın kütlesi bundan azdır. Bunun nedeni, kısmen emme sisteminden kaynaklanan basınç kaybından ve aynı zamanda alınan havanın ısıya bağlı olarak yoğunluğundaki değişikliklere bağlıdır. Pratikte kaynaklanan bu nedenlerden dolayı motorlarda hava tüketim oranı genellikle kg/s yerine kg/h ile ifade edilir.

Ketim oranı m_a ise,

$$\text{Bir çevrimdeki etkin kütle} = \frac{m_a}{60} \cdot \frac{n}{N} \quad (\text{kg}) \quad (9)$$

Gerçek orandan ideale hava akışı motorun nefes alabilirliğinin göstergesidir.

$$\eta_v = \frac{m_a}{60 \cdot N} \cdot \frac{n}{\rho_a \cdot V_s} \quad (10)$$

Bu eşitlikler aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$\eta_v = \frac{V_1}{V_s} \quad (11)$$

4.2.3.2. Termal Verimlilik ve İdeal Çevrim

İkinci varsayım, yanma sonucu oluşan ısının tamamının faydalı mekanik işe çevrilebilmesidir. Bunun mümkün olmadığını açıklayan iki neden vardır.

- i) Üretilen ısının bir kısmı egsoz gazı ile birlikte atmosfere atılır. İdeal çevrim gözönüne alınarak bu ispat edilebilir.
- ii) Üretilen enerjinin bir kısmı ise silindirler içerisine havanın alınması ve atılması ile birlikte yardımcı ünitelerin çalıştırılmasında kullanılır.

Termal verimlilik çevrimde yapılan işin ısı girişine bölümü ile birlikte bulunur.

Çevrim analiz edilerek termal verimlilik aşağıdaki gibi ifade edilir.

Benzinli motorlar için;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (12)$$

Dizel motorlar için;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot 1 - \frac{r_c^{\gamma-1}}{\gamma \cdot (r-1)} \quad (13)$$

r: = Sıkıştırma oranı

γ = Özgül ısının oranı

r_c = Kesme oranı

Hava için $\gamma = 1,4$

Dört zamanlı benzinli motorlarda sıkıştırma oranı (r) 6,5 dir. Bu değer 12. eşitlikte yerine yazılırsa İdeal termal verim 0,53 olur. Bu enerjinin sadece % 53'nün faydalı enerjiye dönüştürüldüğünün göstergesidir. Geriye kalanı egsoz gazı ile atılır. Uygulamada gerçek basınç-hacimsel çevrim ideal otto çevrimindeki gibi takip etmez. (Şekil 2a)

Egsoz gazı ile kaybolan ısının hesabı, atmosfer ısısı ile atılan egsoz gazınınınısı farkıyla bulunur.

$$\text{Egsoz gazında kaybolan ısı} = (m_a + m_f) \cdot C_{\text{egsoz}} \cdot \Delta t \quad (14)$$

Motora verilen ısı ısı aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$Q = m_f \cdot H \quad (\text{KW}) \quad (15)$$

Egsoz gazı ile dışarıya atılan ısı ; yüzdellik olarak hesaplanması aşağıdaki eşitlikle yapılır.

$$\% \text{ Egsoz gazıyla atılan ısı} = \frac{(m_a + m_f) \cdot 1 \cdot \Delta t \cdot 100}{m_f \cdot H} \quad (16)$$

Dizel motorlar benzinli motorlara göre daha iyi bir termal verimliliğe sahiptir. Çünkü sıkıştırma oranları benzinli motorlara göre daha yüksektir.Sıkıştırma oranı 17:1' de ideal termal verimlilik % 68' dir.

4.2.3.3. Mekanik Fren Termal Verimliliği

Termal verimlilik, silindirde ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle ölçülür. Ölçülen bu değer çıkış milinden faydalı iş olarak tamamı gösterilemez. Bunu belirlemek için mekanik verimliliğin (η_m) bilinmesi gerekir.

$$\eta_m = \frac{\text{Faydalı çıkış işi}}{\text{Silindirden elde edilen iş}} \quad (17)$$

Pistondan elde edilen işin bir kısmı mekanik sürtünme ve zorlanmaları yenmede kullanıldığı için çıkış gücü her zaman silindirlere elde edilen işten azdır. Ekonomik nedenlerden dolayı giren yakıt miktarından maksimum işi elde etmek önemlidir. Buda enerji dönüşümünden maksimum toplam verimliliği elde etmek ile olur. Bu verimlilik frenleme termik verimliliği (η_b) olarak açıklanır.

$$\eta_b = \frac{\text{Gerçek çıkış gücü}}{\text{Isı Giriş Oranı}} \quad (18)$$

$$\eta_b = \frac{P_b}{m_f \cdot H} \cdot 3600 \quad (19)$$

Güç yapılan işin değeri olduğuna göre frenleme termik verimlilik (η_b) etkin termik ve mekanik verimliliğin sonucu olarak gösterilir.

$$\eta_b = \eta_t \cdot \eta_m \quad (20)$$

Böylece fren verimliliği motorda meydana gelen bütün kayıpların miktarıdır. Bu aynı veya farklı tip motorların performanslarının karşılaştırılmasında önemli bir kriterdir. Fren termik verimliliğinin tipik değeri % 30' dur. Ancak küçük motorlarda daha azdır.

4.2.3.4. Özgül Yakıt Tüketimi ve Fren Ana Efektif Basıncı (bmep)

Motorlarda performans kriterlerinden bir diğeri de özgül yakıt tüketimi ve fren ana efektif basıncıdır. Özgül yakıt tüketimi birim zamanda birim gücü elde etmek için harcanan yakıt miktarıdır. Bunun hesaplanması aşağıdaki formül ile yapılır.

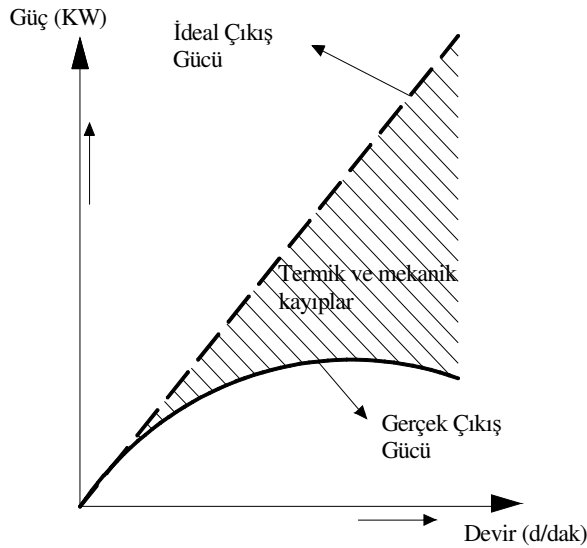
$$bmep = \frac{12,56 \cdot T \text{ (Nm)}}{V_s \text{ (dm}^3\text{)}} \quad (21)$$

$$Sfc = \frac{m_f}{P_b} \cdot 10^3 \quad (\text{g/kWh}) \quad (22)$$

Özgül yakıt tüketimi bir motorun ekonomikliğini direk olarak etkilediği için motor performans ölçüm kriterlerinde önemli bir değerdir. Belirli bir zaman diliminde ihtiyaç duyulan gücü elde etmek için ne kadar yakıtı ihtiyaç olduğu önemlidir. Böylece özgül yakıt tüketimi motorlar arasında performans değerlerinin belirlenmesinde önemlidir.

4.2.3.5. Motorda Meydana Gelen Kayıpların Özeti

Bir içten yanmalı motor yanma odasında hava yakıt karışımının yanmasıyla hidrokarbon yakıtlarından yakıtlarından enerji elde edilmesidir. Sıcaklıktaki artış silindir içerisindeki basıncı artırarak pistonu aşağı doğru iterek çıkış milini çevirir. Mekanik güç çıkış milinin farklı devirlerde çevrilmesiyle elde edilir. İdeal bir motorun çıkış gücü devir ile birlikte lineer olarak değişir. Ancak pratikte motorlardaki kayıplar kaçınılmaz olarak vardır. Yanma odasındaki ısı üretiminin miktarı yakıtın yanma oranına bağlıdır. Bu da motorun volumetrik verimliliğiyle sınırlandırılmış silindir içerisine giren havanın miktarına bağlıdır. Her bir motor maksimum çıkış gücünün beklendiği ideal bir çalışma çevrimine sahiptir. Bu İdeal Termik Verim olarak açıklanır. Maksimum çıkış gücünün elde edildiği mekanik olarak mükemmel bir motorda gerçek termik verimlilik olarak ifade edilir. Bununla birlikte uygulamada gerçek motorlar ideal çevrimlerden kayıplardan dolayı uzaklaşırlar. Pistondaki elde edilen gücün tamamı kayıplardan dolayı çıkış miline iletilemez. Bunun sonucunda çıkış milinden alınan güce ise Termik Mekanik Verimlilik denir.



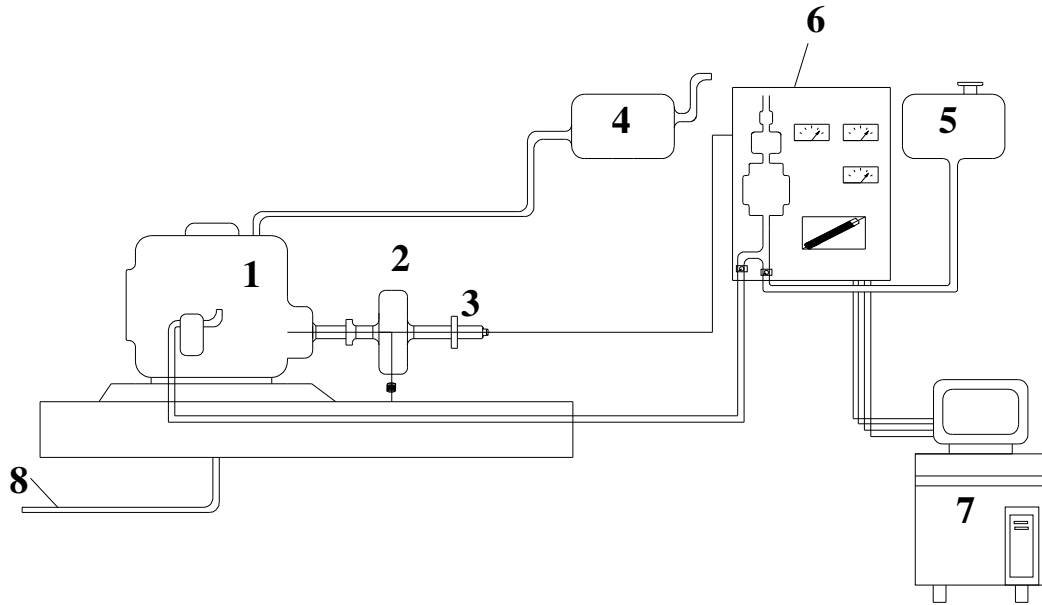
Şekil 4.2.3.5. Motorda meydana gelen kayıpların grafik gösterimi

$$\text{Gerçek çıkış gücü} = \text{İdeal çıkış gücü} \cdot \eta_v \cdot \eta_b$$

(22)

4.2.3.6. Motor Test Düzeneği

Motor test düzeneği; sıkıştırma ile ateşlemeli motor, hidrolik dinamometre ve enstrüman biriminden oluşmaktadır. Verilerin alınmasında bir kronometre, termometre ve barometre kullanılmıştır. Deney sisteminin şematik görünüşü Şekil 4.2.3.6'de görülmektedir. Deneylerde tek silindirli, dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 3.1.7.'de verilmiştir. Deney motoruna ilk hareket volan üzerinden kendir esaslı ip malzeme ile birlikte verilmektedir. Dinamometre yükü şebeke suyu ile kontrol elemanlarının manuel kontrolü vasıtasıyla yüklenerek ölçülmüştür. Yakıt tüketimi, motorun 8 ml'lik cam tüp içindeki yakıtı tüketme süresi belirlenerek ölçülmüştür. Yakıt tüketim süresinin belirlenmesinde 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Sony Ericsson kronometre kullanılmıştır. Deneyler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra tam gaz kelebek açıklığı ve değişik motor devirlerinde önce dizel ve soya biyodizeli yakıtları ile yapılmıştır. Daha sonra dizel, soya biyodizeli ve etanolden oluşan Çizelge 3.2.2.'de oranları verilen 16 adet karışımların sırası ile testleri yapılmıştır. Grafiklerde ve çizelgelerde "D100" farklı dizel yakıtlarının karışımından oluşan karıştırılmış dizel yakıtını, "S" soya yağı metil esterini "E" % 99,8 saflığa sahip etanolü ifade etmektedir. Ayrıca, kısaltmalarda harflendirmelerin yanındaki rakamlar karışım içerisinde kullanılan yakıtın % mikatardaki oranını belirtmektedir. Örneğin D90S5E5 ; % 80 dizel, %5 soya biyodizeli, % 5 etanolden (%99,8 saflıkta) oluşan bir karışım demektir. Her bir nokta için motor kararlı duruma ulaştıktan sonra ölçümler kaydedilmiştir. Deney düzeneği üzerinde bulunan 7 nolu bilgisayar ve buna bağlı verilerin her bir saniyede kayıt altına alındığı dijital kayıt ünitesi yardımıyla belirlenmiştir. Herhangi bir devierdeki kayıt altına alınan verilerin sayılarının ortalaması alınarak veriler tespit edilmiştir. Bu çalışma da kullanılan biyodizel soya yağının üretilen yağlar transesterifikasyon işlemine tabi tutularak biyodizele dönüştürülmüştür. Yakıtlar ve karışımların analizleri Çukurova Üniversitesi (ÇÜ) Yakıt Analiz Laboratuarında (ÇÜYAL)gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2.3.6. Motor test düzeneği (1-Motor, 2- Hidrolik dinamometre, 3-devirölçer, 4-Hava tankı, 5-Yakıt tankı, 6-Manuel kontrol ünitesi, 7-Bilgisayar, 8-Egsoz çıkışı).

4.2.3.7. Hızın Ölçülmesi

Motor hızı bir vuruş sayma sistemi yardımıyla elektronik olarak ölçülür. Dinamometre şasesi üzerine montajı yapılmış optik başlık, infrared alıcısı ve vericisinden oluşmaktadır. Motorun dönmesiyle birlikte diskteki optik kaynak sensörünün her bir karşılaşmasıyla devir sayısı belirlenir. Herbir darbe sayısının alınmasıyla birlikte motor devri okunur.

4.2.3.8. Egsoz Sıcaklığının Ölçülmesi

Egsoz gazının sıcaklığı bir krom-alumel termokupl yardımıyla ölçülür. Termokupl motor silindir bloğunun yakın bölgesinde egsoz borusu üzerine montajı yapılmıştır. Termokuplda mavi ve kahverengi ara kablo bağlantısı enstrüman birimindeki benzer

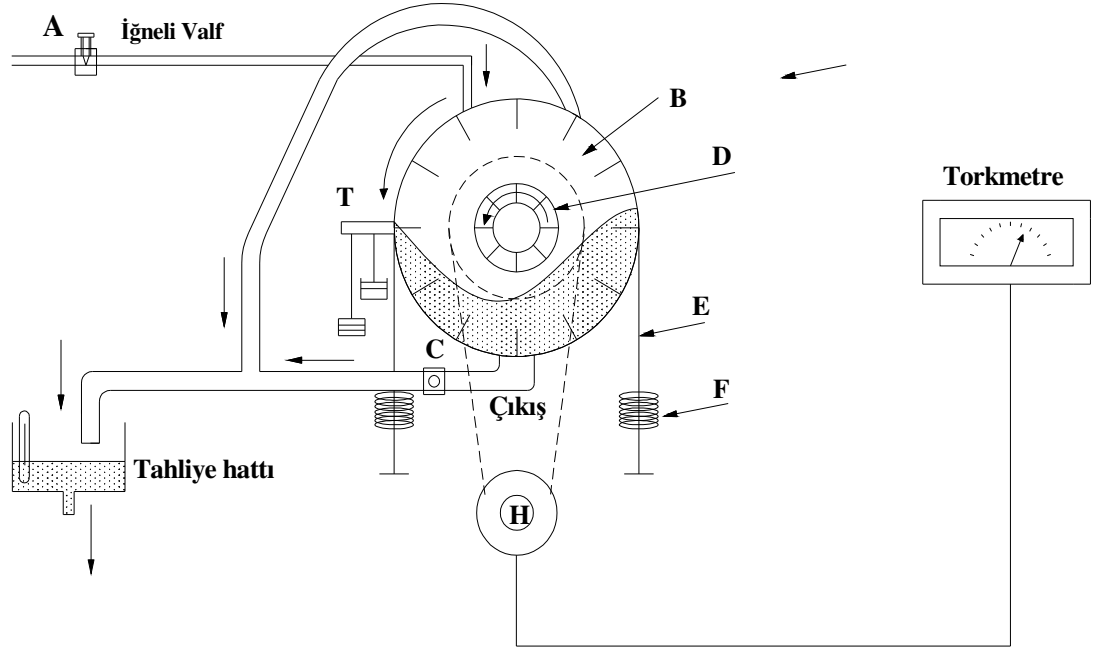
renkteki terminallerine bağlıdır. Sıcaklık skalası üzerinden 0 °C ile 1000 °C aralığında okunmaktadır.

4.2.3.9. Motor

Motor test düzeneğinde aşağıdaki Çizelge 3.1.7.' de karakteristik özellikleri verilen 4 zamanlı tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır. Silindir hacmi 219 cm³, silindir çapı 70 mm, silindir boyu 57 mm, kompresyon oranı 17:1, maksimum tork 2700 dev/dak'da 8,2, maksimum frenleme gücü 3600 dev/dak'da 2,6 kW, maksimum devri 3600 dev/dak'dır. Deney motoruna ilk hareket volan üzerinden kendir esaslı ip malzeme ile birlikte verilmektedir. Motor çıkış mili kaplin vasıtasıyla motor torkunun ölçülmesinde kullanılan hidrolik dinamometreye bağlıdır. Egsoz borusu çıkışı borular yardımıyla oda çıkışına kadar uzatılmıştır. Motorda kullanılan hava girişi fleksibl boru yardımıyla hava giriş basıncının ve tüketim miktarının ölçüldüğü hazneye bağlıdır.

4.2.3.10. Dinamometre ile Torkun Ölçülmesi

Motor torku, motor çıkış mili üzerine adapte edilmiş bir hidrolik dinamometre yardımıyla enstrüman ünitesi üzerindeki skalasından okunmuştur. Suyun akışı motor sehpası üzerine montajı yapılmış iğneli valf (A) ile kontrol edilmiştir. Su dinamometrenin üst kısmından (B) alt kısmına (C) musluktan boşalmaktadır. Dinamometre de bir hava ventili bulunmaktadır. Dinamometredeki havanın miktarı, iğneli valfe (A) ve musluğa musluğa (C) bağlıdır. Motor çıkış mili dinamometre içerisindeki kanatçıklar (D) yardımıyla dönmektedir. Kanatçıkların dönüşü suyun hareket etkisiyle birlikte dönmeye çalışmaktadır. Tork, dinamometreye uygulanan radyal kuvvetler bileşkesi yardımıyla elde edilir.



Şekil:4.2.3.10. Hidrolik dinamometre ile tork ölçülmesinin şematik gösterimi

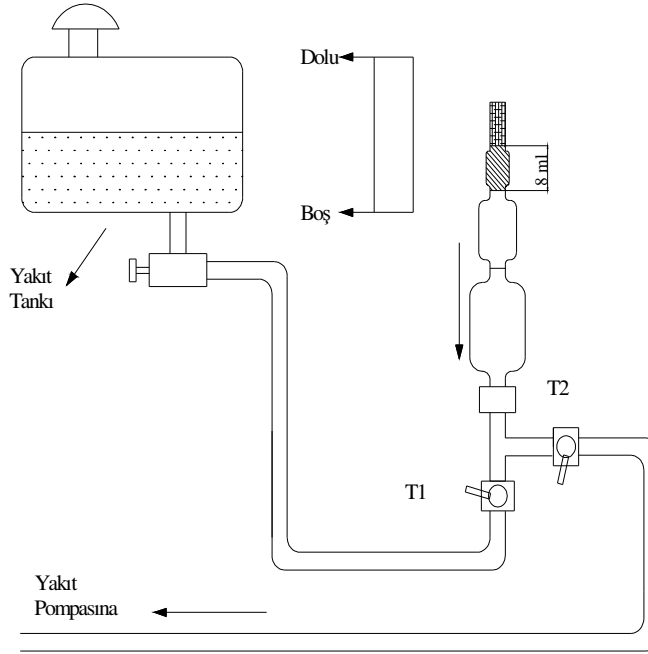
Torkmetrenin kalibrasyonu aşağıdaki işlem basamakları sırası ile uygulanarak yapılmaktadır.

Her motor testinden önce, torkmetre sıfırlanır ve kullanımdan önce kalibre edilir. Bu uygulama aşağıdaki sıralamalar gibi yapılır.

1. Set SPAN saat yönünde maksimuma ayarlanır.
2. Set ZERO sıfırlanır.
3. Hidrolik dinamometre üzerindeki kalibrasyon koluna 3.5 kg ağırlığındaki ağırlık asılır.
4. SPAN kontrolünü 8.6 Nm tork üretecek şekilde ayarlayın.
5. Kalibrasyon ağırlığını kaldırın ve SPAN ve ZERO doğrulukları tatmin edici değerler alana kadar 2'den 5'e kadar adımlar tekrarlanır.

4.2.3.11. Yakıt Sitemleri ve Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi

Yakıt Sitemi, Enstrüman ünitesinin üst kısmına montajı yapılmış 4,5 litre kapasiteli yakıt tankı ile beslenmektedir. Yerçekimi kuvveti yardımıyla tanktan motora yakıt akışı sağlanmaktadır. (Şekil 4.2.3.11) T_1 musluğu tanktaki yakıtı motordan ayırmaktadır. T_2 musluğu kapatılarak T_1 vanası yardımıyla 8, 16, 32 ml.lik hazneye sahip pipet yakıt ile beslenmektedir. T_1 vanası kapatılarak T_2 vanası açılarak motorun tükettiği yakıtın miktarı kronometre yardımıyla tüketim zamanı üzerinden hesaplanır.



Şekil 4.2.3.11. Motor test düzeneği üzerinde yakıt tüketim miktarının ölçülmesinin şematik gösterimi

Suyun özgül ağırlığı 1000 kg/cm^3

Benzinli motorda yakıtın özgül ağırlığı $\delta = 0,74$

Dizel motorda yakıtın özgül ağırlığı $\delta = 0,84$ alınır.

$$m_f = \frac{\delta \cdot 1000 \cdot V_p \cdot 10^{-6}}{t} \cdot 3600 \quad (\text{kg/s}) \quad (23)$$

Daha açık bir ifade ile yakıt tüketim miktarı;

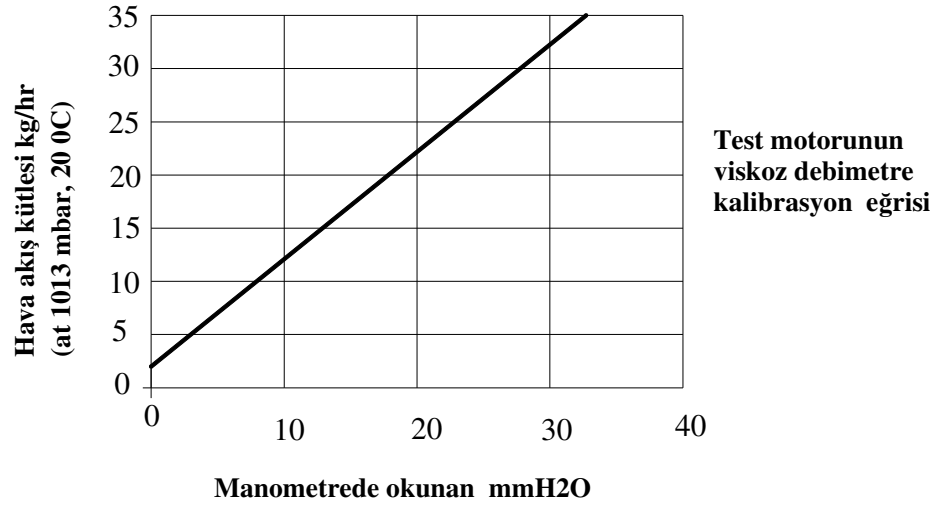
$$m_f = \frac{\delta \cdot 1000 \cdot V_p \cdot 10^{-6}}{t} \cdot 3600 \quad (\text{kg/h}) \quad (24)$$

4.2.3.12. Hava Tüketim Ölçümü

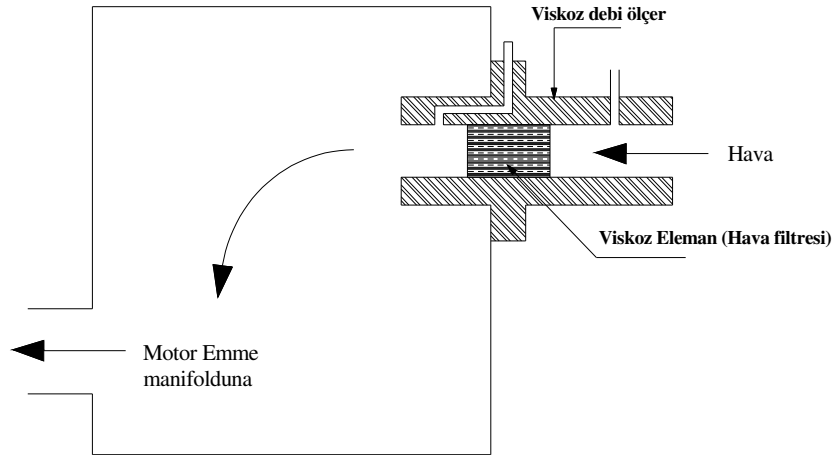
Dört veya iki zamanın sadece birinde havanın içeri çekilmesinden dolayı tek silindirli motorlar titreşimli bir hava akımına neden olma eğilimindedir. Motorla orifis arasında çok büyük bir „hacim düşüşü“ olmadığı sürece, orifis bu şartlar altında güvenilir değildir. Verilen hava yoğunluğu için, havanın kütle akış oranı ortalama hızla orantılıdır, bunun nedeni viskoz eleman boyunca düşen basınç akış oranıyla direkt orantılıdır, parabolikten farklı olarak, ilişki orifisle bağlantılıdır. Düşen basınç eğimli manometre tüpüyle ölçülür, milimetre su ile kalibre edilmiştir.

Şekil 4.3.12.1.'de 1013 mbar ve 20C hava için tipik bir kalibrasyon eğrisini göstermektedir. Şekil 4.3.12.2. akış metrenin bir taslağını gösterir. Inlet=ağız bore=delik Hava ağızdan alınır, düşen hacme girmeden önce binlerce küçük delikli tüpten oluşan elemandan geçer.

Viskoz akış metre fabrikada kalibre edilir ve motorla birlikte kalibrasyon eğrisi verilir.



Şekil 4.2.3.12.1 Viskoz akış metrenin kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.2.3.12.2. Motor test düzeneği üzerinde hava tüketim miktarının ölçülmesinin şematik gösterimi

4.3. Karışımların Motor Deney Sonuçları

4.3.1. Karışımların Motor Devrine Göre Efektif Tork Değişimi

Çizelge 4.3.1. Karışımların motor devrine göre efektif tork değerleri

Devir (d/dak)	D100	S100	D90 S5 E5	D85 S10 E5	D80 S15 E5	D75 S20 E5	D80 S10 E10	D75 S15 E10	D70 S20 E10	D65 S25 E10	D70 S15 E15	D65 S20 E15	D60 S25 E15	D55 S30 E15	D60 S20 E20	D55 S25 E20	D50 S30 E20
3200	0,6	0,3	1,3	3,0	1,6	2,5	2,3	2,5	1,8	1,9	2,3	3,0	1,7	2,6	2,8	1,9	2,8
3100	1,9	1,6	1,9	3,5	2,9	3,1	3,6	4,2	3,1	2,7	4,1	4,0	3,5	3,8	3,6	3,3	4,3
3000	3,4	2,9	3,2	4,7	4,4	4,3	4,4	5,4	4,7	3,6	5,1	5,1	4,9	5,3	4,7	5,1	5,3
2900	5,4	3,6	5	5,6	5,1	5,4	6,0	6,5	5,5	5,0	5,8	5,4	5,8	6,0	5,1	5,7	5,4
2800	6,3	4,4	5,6	5,7	5,9	6,0	6,7	7,2	6,1	5,7	6,0	5,7	6,2	6,5	5,7	5,9	5,9
2700	7	5	6,3	6,5	6,2	7,1	7,2	7,5	6,6	6,6	6,2	6,3	6,4	6,6	6,3	6,2	6,3
2600	7,2	5,3	6,8	6,9	6,8	7,4	7,3	7,7	6,8	6,8	6,5	6,9	6,5	7,1	6,6	6,7	6,8
2500	7,5	5,4	7,2	7,2	7,0	7,6	7,4	7,8	7,0	7,0	6,8	7,3	6,8	7,3	6,8	7,0	7,0
2400	7,6	5,5	7,3	7,5	7,2	7,7	7,5	7,9	7,2	7,1	7,1	7,6	7,0	7,6	6,9	7,2	7,2
2300	7,8	5,6	7,4	7,5	7,3	7,8	7,6	8,0	7,4	7,3	7,3	7,8	7,3	7,9	7,2	7,4	7,5
2200	7,9	5,7	7,5	7,7	7,5	7,8	7,7	8,0	7,6	7,3	7,5	8,0	7,5	7,9	7,3	7,6	7,7
2100	7,9	5,9	7,6	7,7	7,6	8,0	7,8	8,1	7,7	7,4	7,7	7,9	7,7	8,0	7,4	7,7	7,8
2000	7,9	6	7,8	7,7	7,5	7,8	7,9	8,3	7,8	7,5	7,8	7,8	7,7	8,2	7,5	7,8	7,6
1900	7,8	6,2	7,5	7,7	7,5	7,7	7,8	7,9	7,9	7,4	7,7	7,7	7,6	8,1	7,6	7,7	7,6
1800	8,1	6,3	7,4	7,6	7,3	7,6	7,7	7,8	7,6	7,3	7,6	7,6	7,6	8,1	7,6	7,7	7,6
1700	7,8	6,5	7,3	7,6	7,3	7,6	7,6	7,7	7,5	7,3	7,5	7,7	7,5	8,0	7,5	7,7	7,6
1600	7,8	6,4	7,2	7,6	7,2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,2	7,5	7,7	7,4	7,9	7,5	7,7	7,5
1500	7,5	6,2	7,1	7,4	7,1	7,3	7,3	7,4	7,3	7,1	7,2	7,4	7,1	7,7	7,1	7,4	7,2
1400	7,4	6	7	7,1	6,9	7,3	7,0	7,0	7,0	6,9	7,0	7,1	6,9	7,4	6,9	7,2	7,0
1300	7,1	5,8	6,6	6,8	6,5	6,8	6,7	6,6	6,7	6,6	6,9	6,7	6,4	7,1	6,8	7,0	6,8
1200	6,6	5,5	6,2	6,5	6,2	6,5	6,4	6,3	6,5	6,2	6,7	6,5	6,2	6,9	6,5	6,8	6,6

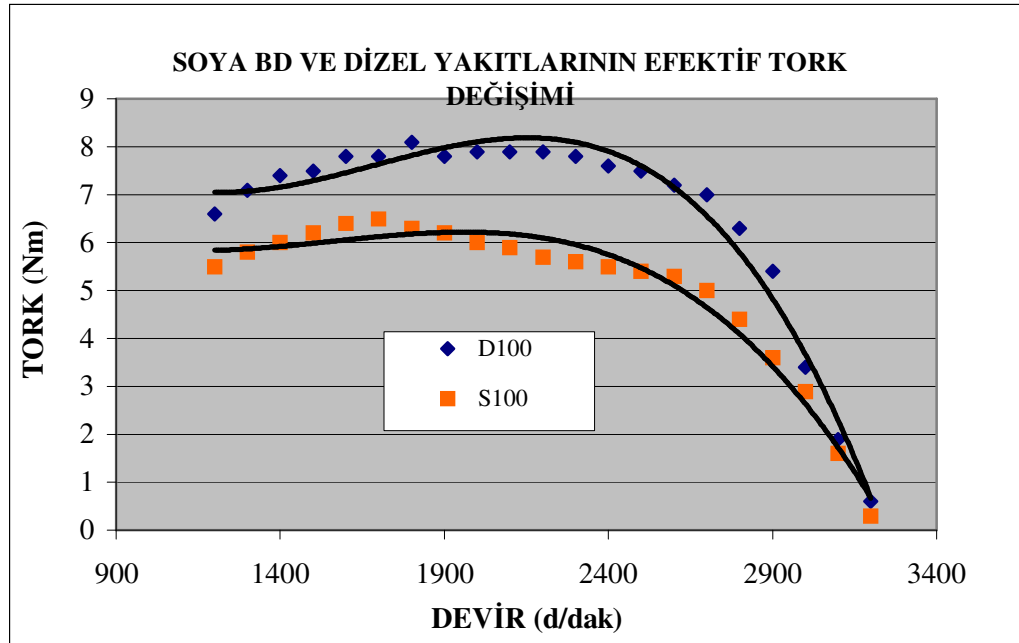
Motor devrine bağlı olarak dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile elde edilen efektif tork değişimleri Şekil 4.3.1.1'de görölmektedir. Göröldüğü gibi bütün motor devirlerinde soya biyodizeli ile dizele göre daha düşük tork değerleri saptanmıştır.

Dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile düşük ve yüksek motor devirlerinde daha düşük tork değerleri elde edilirken en yüksek tork değerlerinin 1800-2200 dev/dak aralığında elde edildiği görölmektedir. Maksimum tork dizel yakıtta 1800 dev/dak'da 8,1 Nm, soya biyodizeline 1700 dev/dak'da 6,5 Nm. olarak ölçölmüştür. Maksimum torkun elde edildiği motor devirlerinde dizele oranla soya biyodizeli ile oluşan tork farkı % 19,75 olarak belirlenmiştir. Maksimum motor devri olan 3200 dev/dak'da % 50 olan bu tork farkı minimum motor devri olan 1200 dev/dak'da %16,6 olarak tespit edilmiştir. Buradan göröldüğü gibi soya biyodizelinin sahip olduğu düşük alt ısıl değeri nedeniyle motor torkunda daha düşük değerler ortaya çıkmaktadır. Ancak bu farklar dizel ve soya biyodizeli yakıtı arasındaki alt ısıl değerin oranıyla paralel değil daha düşük değerlerdedir. Bu duruma karşılık biyodizel yakıtların sahip olduğu oksijen içeriğinin yanma karakteristiklerini iyileştirmesi ve motor performans karakteristiklerini makul seviyede tutması gösterilebilmektedir.

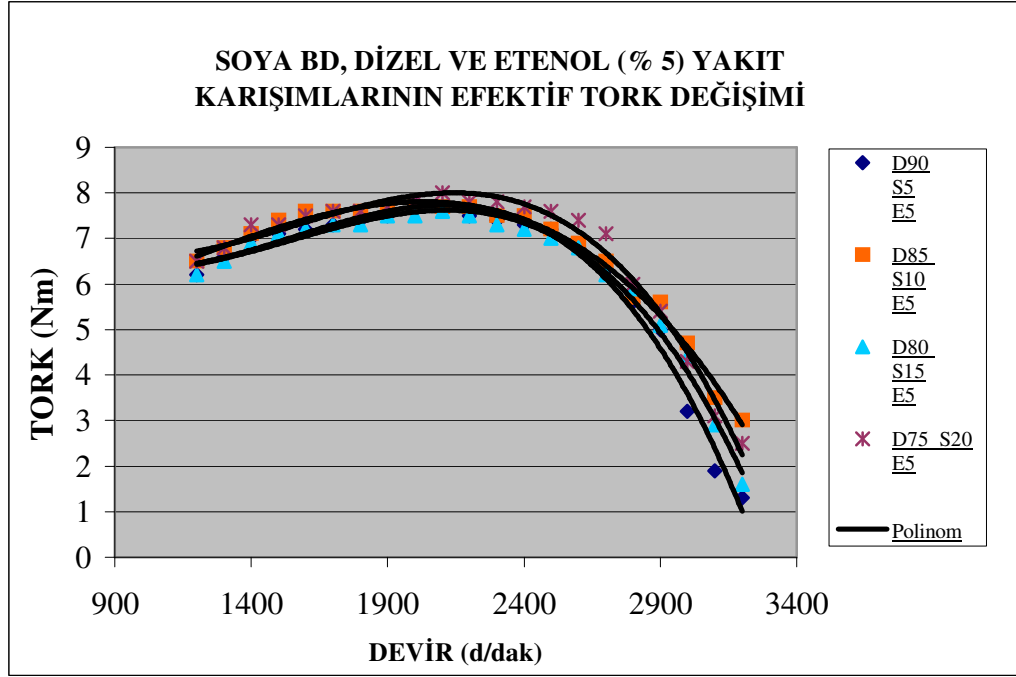
Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim grafikleri Şekil 4.3.1.2., Şekil 4.3.1.3., Şekil 4.3.1.4., Şekil 4.3.1.5.' de oluşturulmuştur. Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim sonuçları incelendiğinde, % 5, % 10 ve % 15 etanol içeren karışımların tork değişimi motorinin tork değerine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir. Hatta bazı zaman kısmen de olsa bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; 6 nolu karışımın 2100 dev/dak'sında 8,3 N.m, 12 nolu karışımın 200 dev/dak'sında 8,2 Nm. görölmüştür. Motor torkundaki artış % 1 ile % 2,5 arasında olmuştur. Etanol miktarı 20 olan karışımların motor torkunda azalma bariz bir şekilde görölmeye başlanmıştır.

Etanol miktarı sabit tutularak dizel miktarı azaltılıp biyodizel miktarı arttırıldığında etanolün ve soya biyodizelinin düşük ısıl değerlerine karşılık içermiş olduğu oksijen zenginliği ile birlikte iyi bir yanma sonucunda motor torkunda kayda değer bir değişiklik görölmemiştir. Karışımlardaki etanol miktarı % 15 seviyelerine çıktığı 9 nolu karışımdan

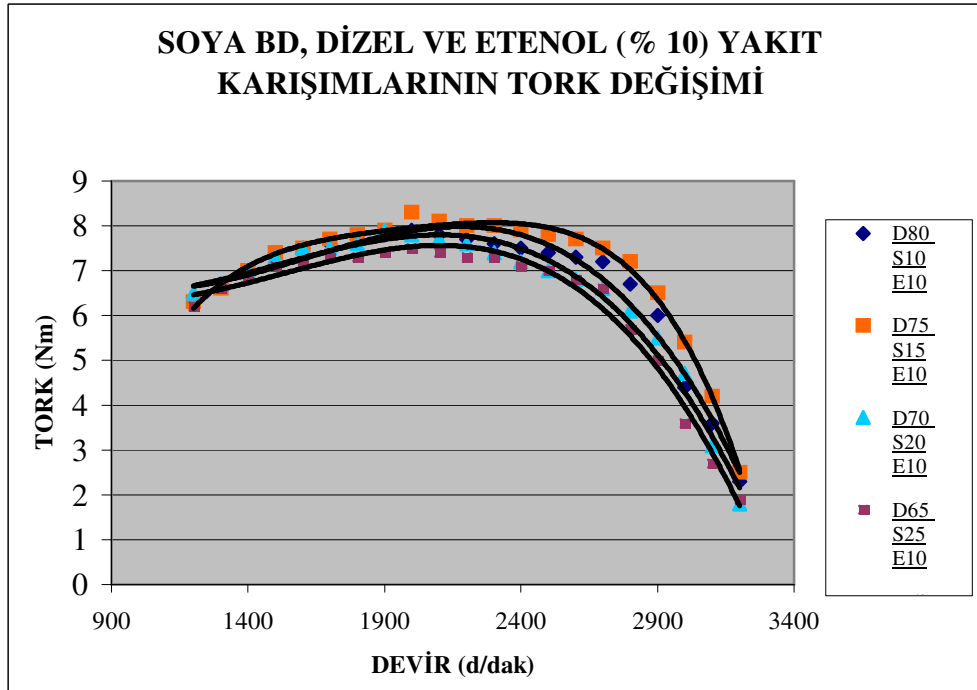
itibaren motorda erken yanmaların başlaması sonucunda vuruntulu çalışmaların başladığı tespit edilmiştir. Hatta etanol oranı % 20 olan karışımlarda vuruntunun artması sonucunda 16 nolu karışımın motor testi yapılamamıştır. Bu vuruntunun nedeni karışım içerisindeki biyodizel ve etanol miktarının artması ile birlikte ısıl değerin düşmesi ve oksijen miktarının artması ile oluşan zengin karışımdır. Yüksek devirlerdeki tork değişiminin fazlalığı hidrolik dinamometredeki şebeke suyunun basınç değişimleri sonucunda motor çıkış mili üzerindeki etkisinden olduğu tespit edilmiştir.



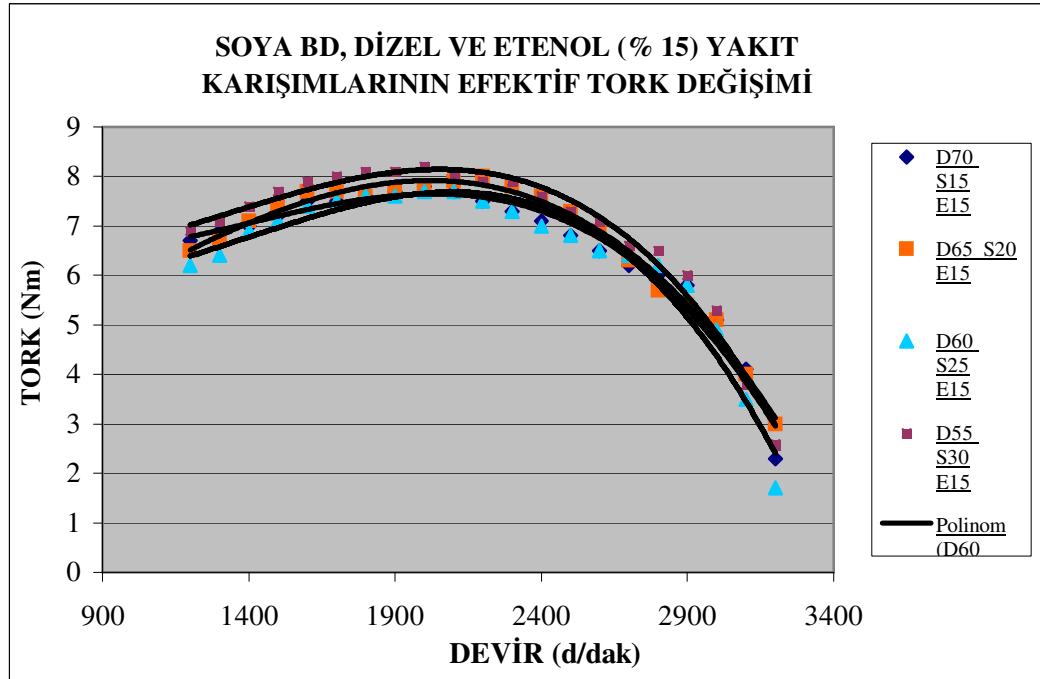
Şekil 4.3.1.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif tork değişim eğrileri



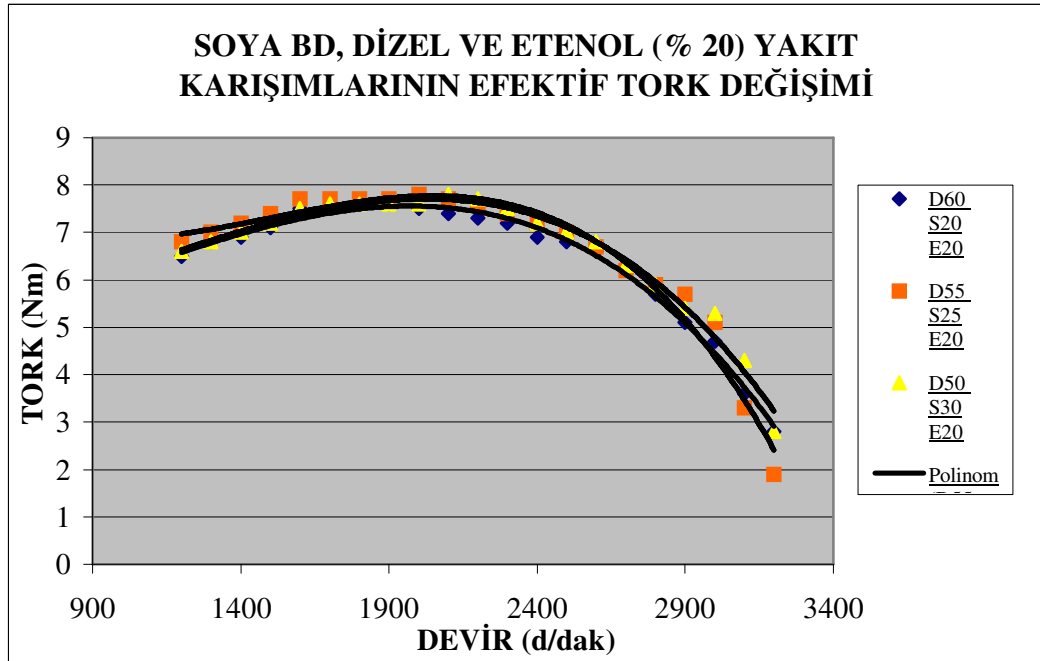
Şekil 4.3.1.2. Soya BD, dizel ve etanol (%5) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif tork değişim eğrileri



Şekil 4.3.1.3. Soya BD, dizel ve etanol (%10) yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim eğrileri



Şekil 4.3.1.4. Soya BD, dizel ve etanol (%15) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif tork değişim eğrileri



Şekil 4.3.1.5. Soya BD, dizel ve etanol (%20) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif tork değişim eğrileri

4.3.2. Karışımların Motor Devrine Göre Efektif Güç değişimi

Çizelge 4.3.2. Karışımların motor devrine göre efektif güç değerleri

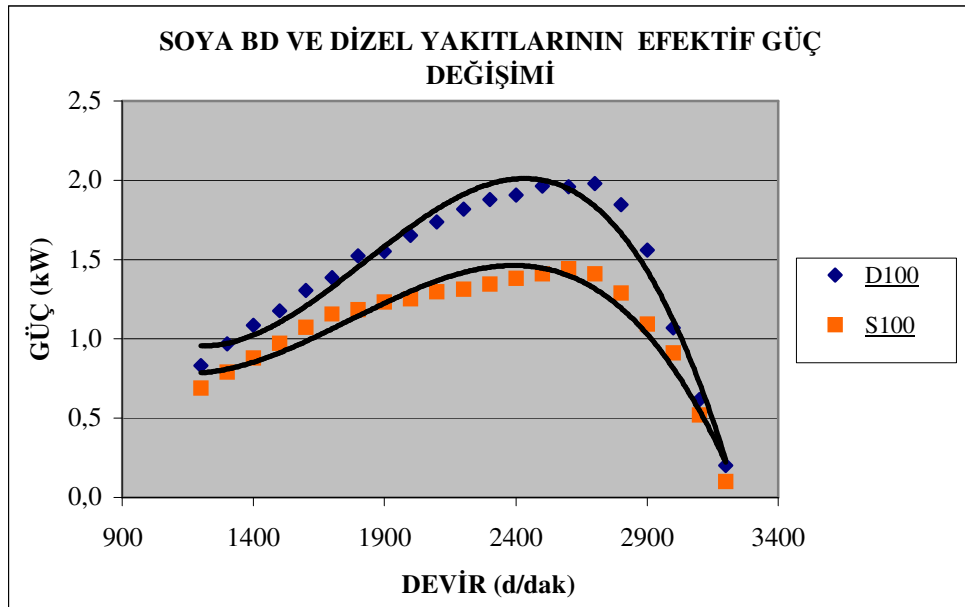
Devir (d/dak)	D100	S100	D90 S5 E5	D85 S10 E5	D80 S15 E5	D75 S20 E5	D80 S10 E10	D75 S15 E10	D70 S20 E10	D65 S25 E10	D70 S15 E15	D65 S20 E15	D60 S25 E15	D55 S30 E15	D60 S20 E20	D55 S25 E20	D50 S30 E20
3200	0,20	0,10	0,44	0,50	0,54	0,84	0,77	0,84	0,60	0,64	0,77	1,00	0,57	0,87	0,94	0,64	0,94
3100	0,62	0,52	0,62	0,81	0,94	1,01	1,17	1,36	1,01	0,88	1,33	1,30	1,14	1,23	1,17	1,07	1,40
3000	1,07	0,91	1,00	1,48	1,38	1,35	1,38	1,70	1,48	1,13	1,60	1,60	1,54	1,66	1,48	1,60	1,66
2900	1,56	1,09	1,52	1,70	1,55	1,64	1,82	1,97	1,67	1,52	1,76	1,64	1,76	1,82	1,55	1,73	1,64
2800	1,85	1,29	1,64	1,67	1,73	1,76	1,96	2,11	1,79	1,67	1,76	1,67	1,82	1,90	1,67	1,73	1,73
2700	1,98	1,41	1,78	1,84	1,75	2,01	2,03	2,12	1,87	1,87	1,75	1,78	1,81	1,87	1,78	1,75	1,78
2600	1,96	1,44	1,85	1,88	1,85	2,01	1,99	2,10	1,85	1,85	1,77	1,88	1,77	1,93	1,80	1,82	1,85
2500	1,96	1,41	1,88	1,88	1,83	1,99	1,94	2,04	1,83	1,83	1,78	1,91	1,78	1,91	1,78	1,83	1,83
2400	1,91	1,38	1,83	1,88	1,81	1,93	1,88	1,98	1,81	1,78	1,78	1,91	1,76	1,91	1,73	1,81	1,81
2300	1,88	1,35	1,78	1,81	1,76	1,88	1,83	1,93	1,78	1,76	1,76	1,88	1,76	1,90	1,73	1,78	1,81
2200	1,82	1,31	1,73	1,77	1,73	1,80	1,77	1,84	1,75	1,68	1,73	1,84	1,73	1,82	1,68	1,75	1,77
2100	1,74	1,30	1,67	1,69	1,67	1,76	1,71	1,78	1,69	1,63	1,69	1,74	1,69	1,76	1,63	1,69	1,71
2000	1,65	1,26	1,63	1,61	1,57	1,63	1,65	1,74	1,63	1,57	1,63	1,63	1,61	1,72	1,57	1,63	1,59
1900	1,55	1,23	1,49	1,53	1,49	1,53	1,55	1,57	1,57	1,47	1,53	1,53	1,51	1,61	1,51	1,53	1,51
1800	1,53	1,19	1,39	1,43	1,38	1,43	1,45	1,47	1,43	1,38	1,43	1,43	1,43	1,53	1,43	1,45	1,43
1700	1,39	1,16	1,30	1,35	1,30	1,35	1,35	1,37	1,33	1,30	1,33	1,37	1,33	1,42	1,33	1,37	1,35
1600	1,31	1,07	1,21	1,27	1,21	1,26	1,26	1,26	1,26	1,21	1,26	1,29	1,24	1,32	1,26	1,29	1,26
1500	1,18	0,97	1,11	1,16	1,11	1,15	1,15	1,16	1,15	1,11	1,13	1,16	1,11	1,21	1,11	1,16	1,13
1400	1,08	0,88	1,03	1,04	1,01	1,07	1,03	1,03	1,03	1,01	1,03	1,04	1,01	1,08	1,01	1,06	1,03
1300	0,97	0,79	0,90	0,93	0,88	0,93	0,91	0,90	0,91	0,90	0,94	0,91	0,87	0,97	0,93	0,95	0,93
1200	0,83	0,69	0,78	0,82	0,78	0,82	0,80	0,79	0,82	0,78	0,84	0,82	0,78	0,87	0,82	0,85	0,83

Dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile elde edilen motor efektif güç değişimleri Şekil 4.3.2.1'de görülmektedir. Efektif güç karakteristik olarak dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile motor devri artışına bağlı olarak yükselmektedir. Her iki yakıtta da en yüksek motor gücü 2600 dev/dak'da elde edilmiştir. Genel bir bakış açısı ile motorun bütün devirlerinde dizel yakıtı ile soya biyodizeline oranla daha yüksek efektif güç değerleri elde edilmektedir. Motor devrinin artışına bağlı olarak yüksek devirlerde soya biyodizeli ile dizel yakıtı arasında elde edilen güç farkı artmaktadır. Maksimum gücün elde edildiği 2600 dev/dak'da dizel yakıtına oranla soya biyodizeli ile % 26,5 oranlarında güç düşüşü saptanmıştır. Bu güç düşüşü minimum motor devri olan 1200 dev/dak'da % 16,9 olarak gerçekleşmiştir. Bütün motor devirleri göz önüne alındığında soya biyodizeli ile ortalama %23,5 oranında daha düşük efektif güç değeri belirlenmiştir. Buradan görüldüğü gibi daha önceki çalışmalardan da anlaşıldığı üzere soya biyodizelinin sahip olduğu düşük alt ısı değerleri nedeniyle motor efektif torkunda olduğu gibi gücünde de daha düşük değerler ortaya çıkmaktadır.

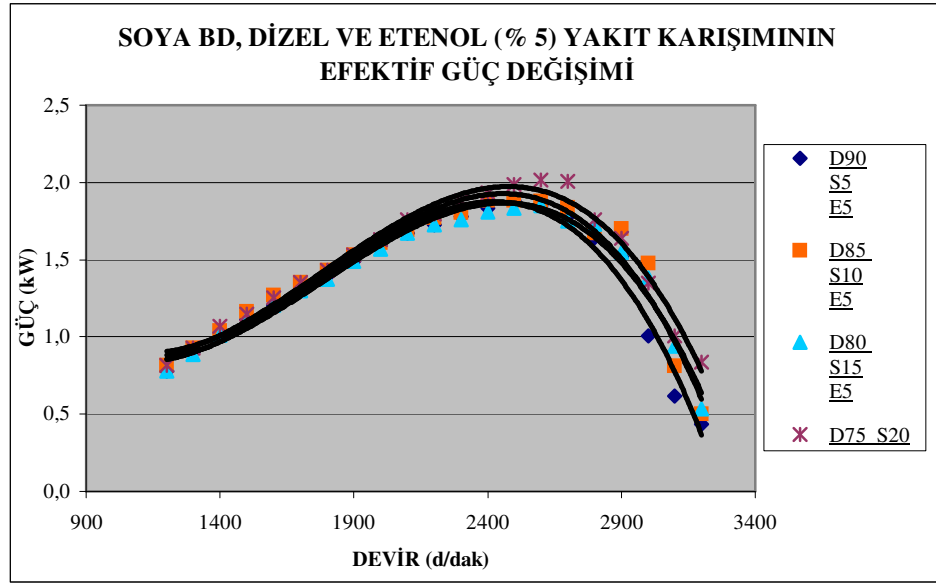
Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim grafikleri Şekil 4.3.2.2., Şekil 4.3.2.3., Şekil 4.3.2.4., Şekil 4.3.2.5.' de oluşturulmuştur. Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim sonuçları incelendiğinde, % 5, % 10, % 15 ve % 20 etanol içeren karışımların tork değişimi motorinin tork değerine göre çok az düşse de yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bazı karışımlarda da kısmen de olsa bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; 6 nolu karışımın 2700 dev/dak'sında 2,12 kW, motorinin ise 1,98 Kw olarak ölçülmüş olup güçteki artış % 6,6 olarak tespit edilmiştir. Etanol miktarı 20 olan karışımların motor gücünde azalma efektif tork ta olduğu gibi bariz bir şekilde görülmeye başlanmıştır. Etanol miktarı sabit tutularak dizel miktarı azaltılıp biyodizel miktarı arttırıldığında, etanolün ve soya biyodizelinin düşük ısı değerlerine karşılık içermiş olduğu oksijen zenginliği ile birlikte iyi bir yanma sonucunda motor gücünde kayda değer bir değişiklik görülmemiştir.

Efektif tork değişiminde de olduğu gibi karışımlardaki etanol miktarı % 15 seviyelerine çıktığı 9 nolu karışımdan itibaren motorda erken yanmaların başlaması

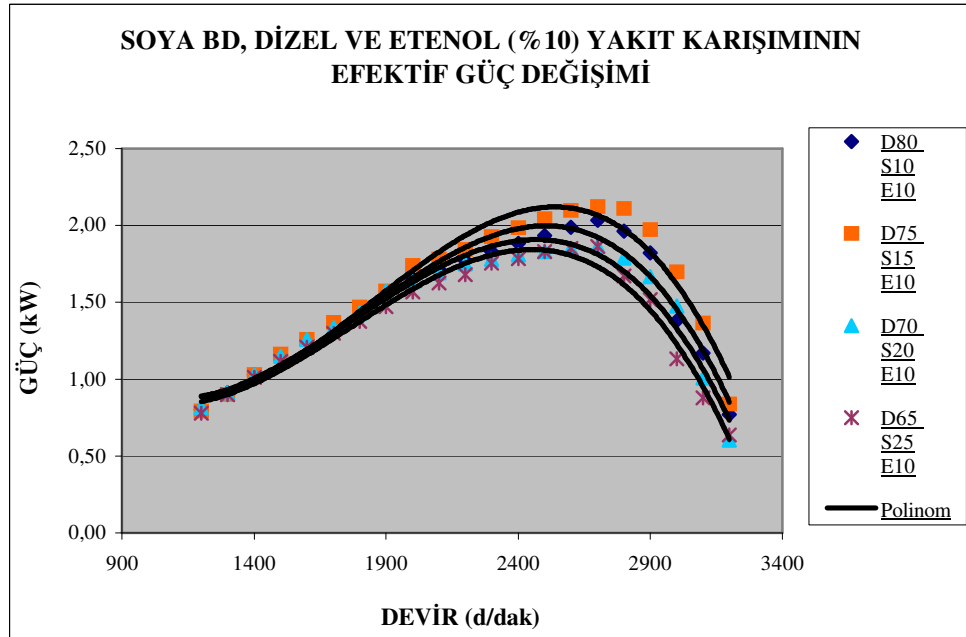
sonucunda vuruntulu çalışmaların başladığı tespit edilmiştir. Hatta etanol oranı % 20 olan karışımlarda vuruntunun artması sonucunda 16 nolu karışımın motor testi yapılamamıştır. Bu vuruntunun nedeni karışım içerisindeki biyodizel ve etanol miktarının artması ile birlikte ısı değerinin düşmesi ve oksijen miktarının artması ile oluşan zengin karışımdır. Yüksek devirlerdeki tork değişiminin fazlalığı hidrolik dinamometredeki şebeke suyunun basınç değişimleri sonucunda motor çıkış mili üzerindeki etkisinden olduğu tespit edilmiştir.



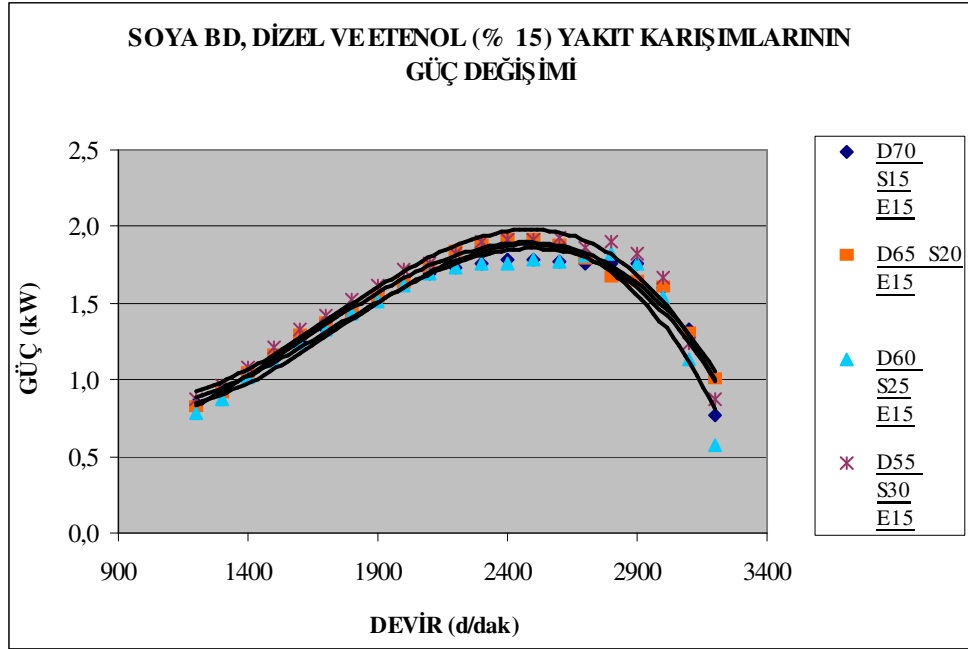
Şekil 4.3.2.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim eğrileri



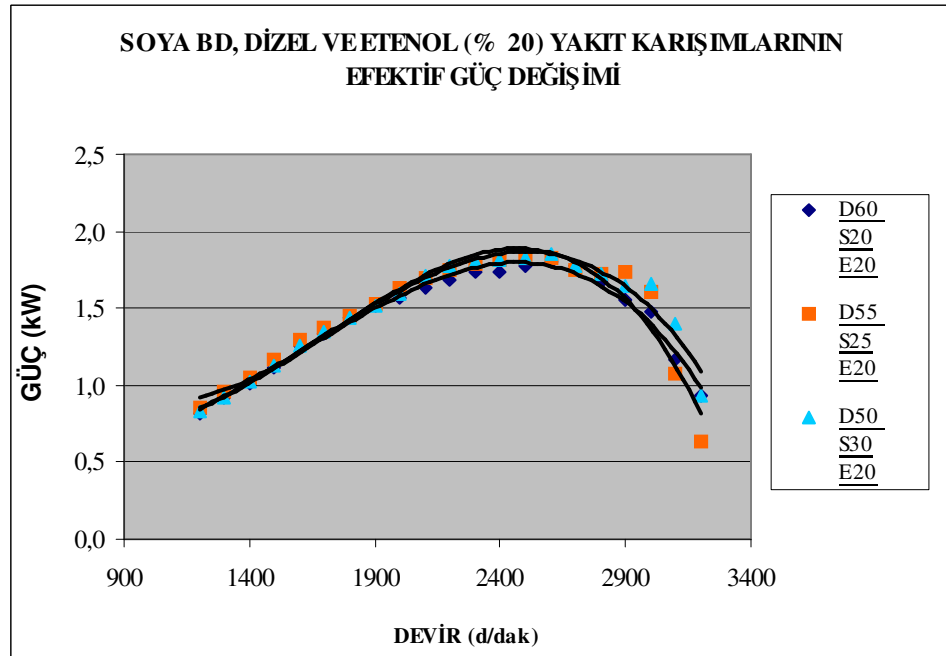
Şekil 4.3.2.2. Soya BD, dizel ve etenol (%5) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim eğrileri



Şekil 4.3.2.3. Soya BD, dizel ve etenol (%10) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim eğrileri



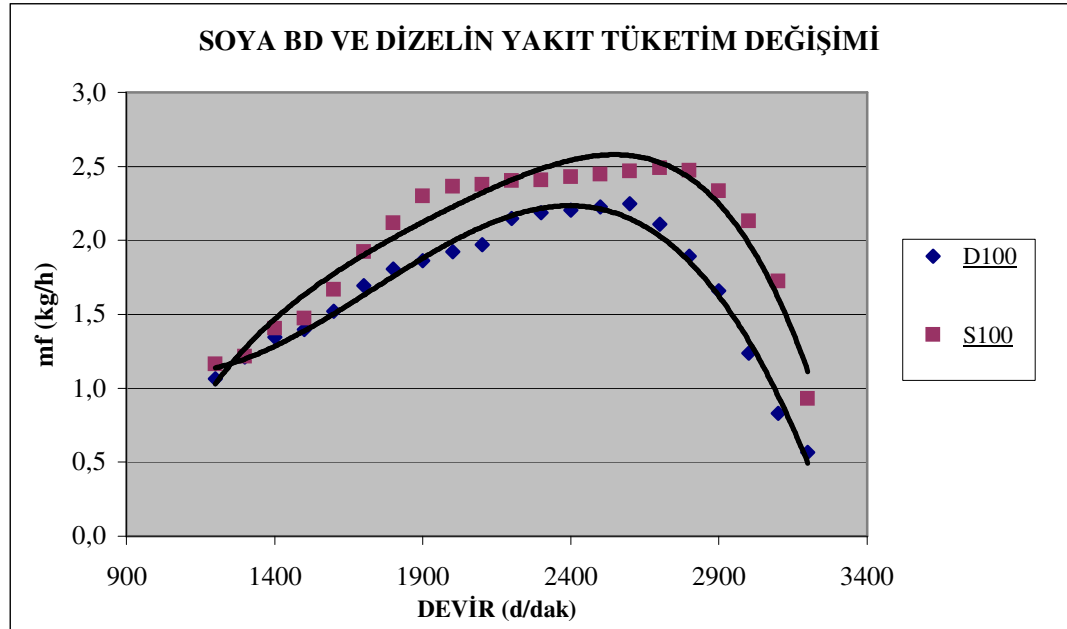
Şekil 4.3.2.4. Soya BD, dizel ve etanol (%15) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim eğrileri



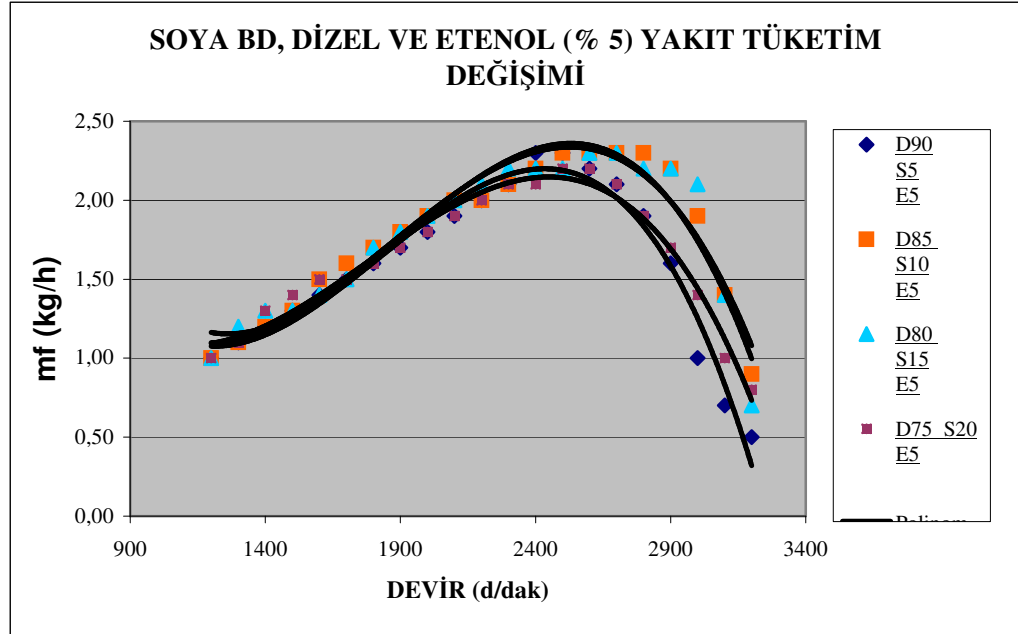
Şekil 4.3.2.5. Soya BD, dizel ve etanol (%20) yakıt karışımlarının motor devrine göre efektif güç değişim eğrileri

Özgül yakıt tüketimi değerleri genel bir karakteristik olarak motorlarda düşük ve yüksek devirlerde yüksek değerler göstermektedir. Orta motor devirlerinde ise daha düşük değerler belirlenmektedir. Yüksek tork ve güç elde etmek için harcanan yakıt miktarı buna paralel olarak da artacaktır. Motor devrine bağlı olarak dizel ve soya biyodizelinin yakıt tüketimindeki değişim grafiği Şekil 4.3.3.1' de oluşturulmuştur. Görüldüğü gibi en düşük özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlarda yaklaşık 2600 dev/dak'da saptanmıştır. ($Sfc = 1712,09$ g/kWh) Bu devirdeki maksimum yakıt tüketimi ise 2,25 kg/h olarak tespit edilmiştir. Bu devirde dizel yakıtına oranla soya biyodizeli ile % 8,9 daha yüksek yakıt tüketimi değerleri saptanmıştır. Ortalama motor devirleri göz önüne alındığında motorine oranla soya biyodizeli ile ortalama %16,9 oranlarında daha yüksek yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. soya biyodizelinin düşük alt ısıl değerinden dolayı dizel yakıtına yakın güç elde edebilmek amacıyla yakıt pompasından daha fazla yakıt gönderilmesi yakıt tüketiminde artışların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

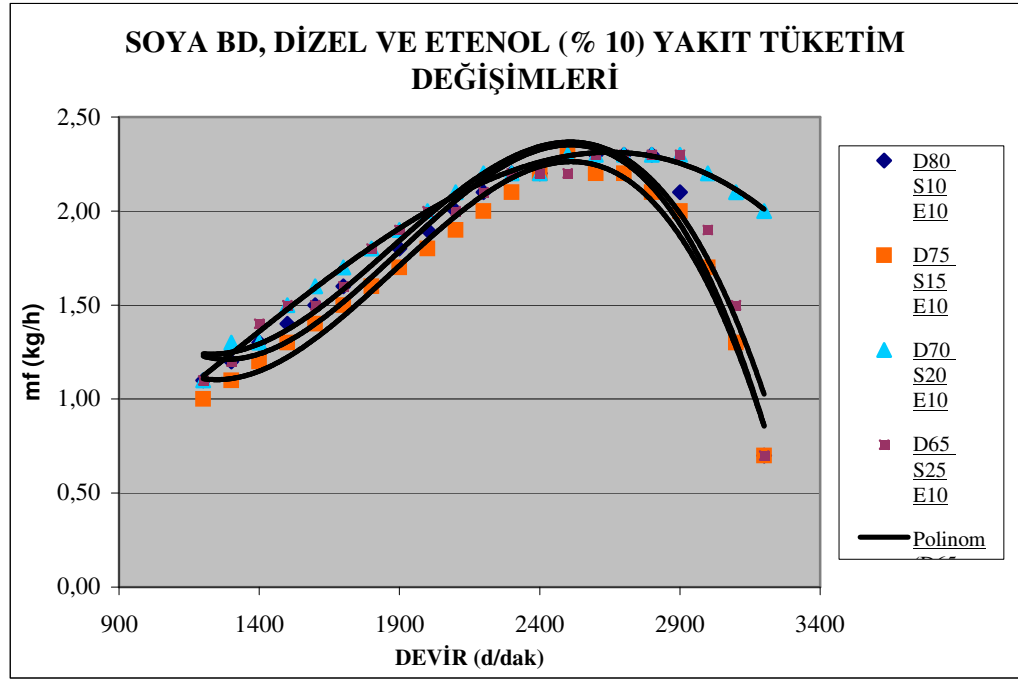
Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim grafikleri Şekil 4.3.3.2., Şekil 4.3.3.3., Şekil 4.3.3.4., Şekil 4.3.3.5.' de oluşturulmuştur. Karışımlar içerisindeki dizele göre düşük alt ısıl değere sahip olan soya biyodizeli ve etanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi ve toplam yakıt tüketim miktarının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni ihtiyaç duyulan gücü elde etmek için daha çok yakıtı ihtiyaç duyulmasıdır. Buna paralel olarak karışım içerisindeki en yüksek ısıl değere sahip olan dizel miktarının artması ile birlikte yakıt tüketim miktarı soya biyodizeline göre azaldığı ve dizelin yakıt tüketim miktarına yakın çıktığı görülmüştür. Maksimum yakıt tüketiminin olduğu 2600 dev/dak'da bütün karışımlarda ortalama yakıt tüketiminde % 2,2'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.



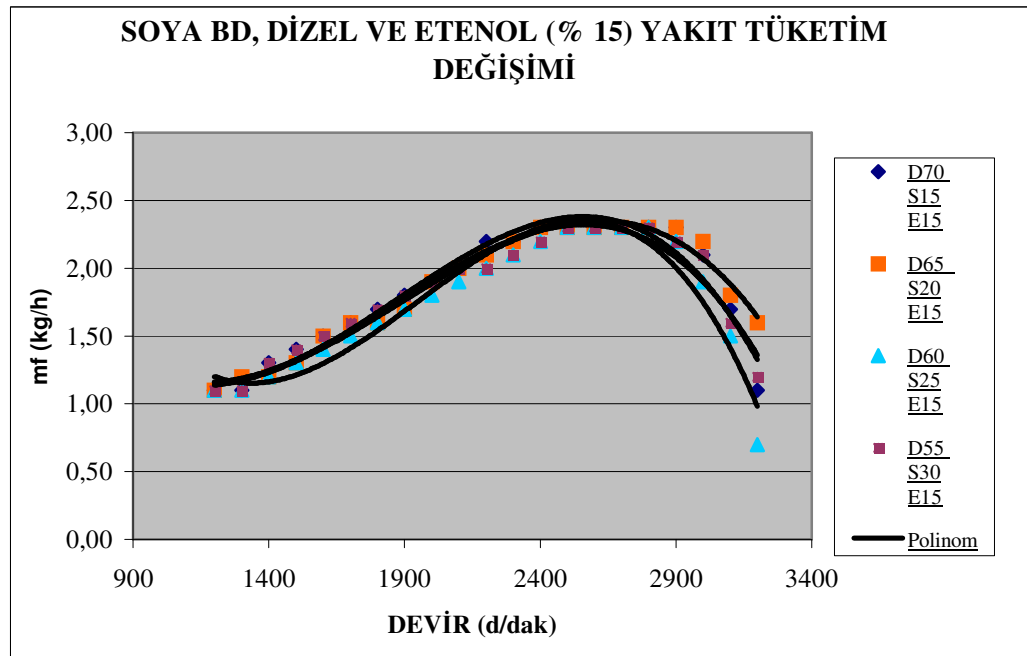
Şekil 4.3.3.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri



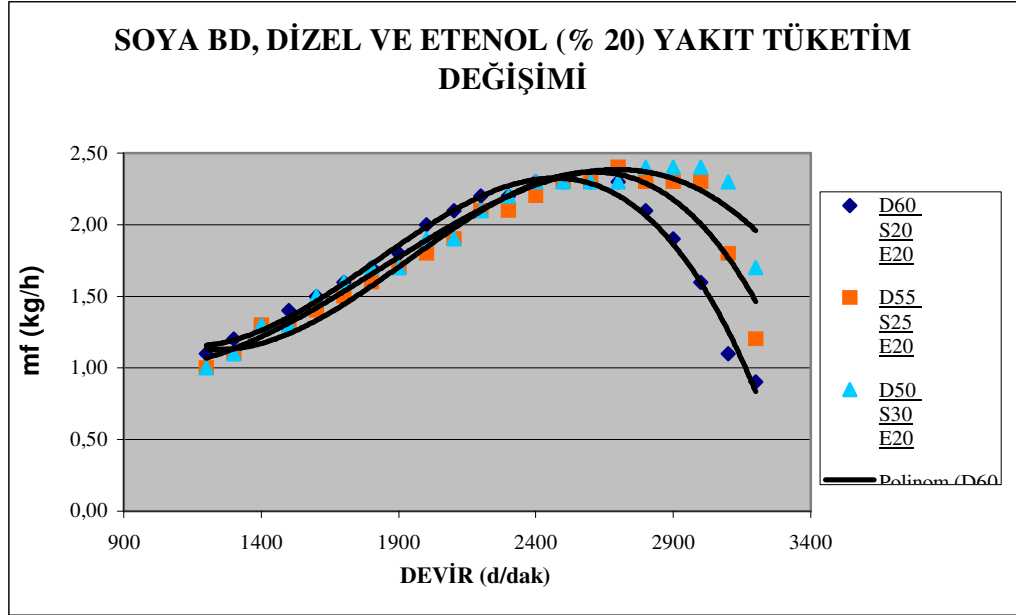
Şekil 4.3.3.2. Soya BD, dizel ve etanol (%5) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri



Şekil 4.3.3.3. Soya BD, dizel ve etanol (%10) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri



Şekil 4.3.3.4. Soya BD, dizel ve etanol (%15) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri



Şekil 4.3.3.5. Soya BD, dizel ve etenol (%20) yakıtlarının motor devrine göre yakıt tüketimi değişim eğrileri

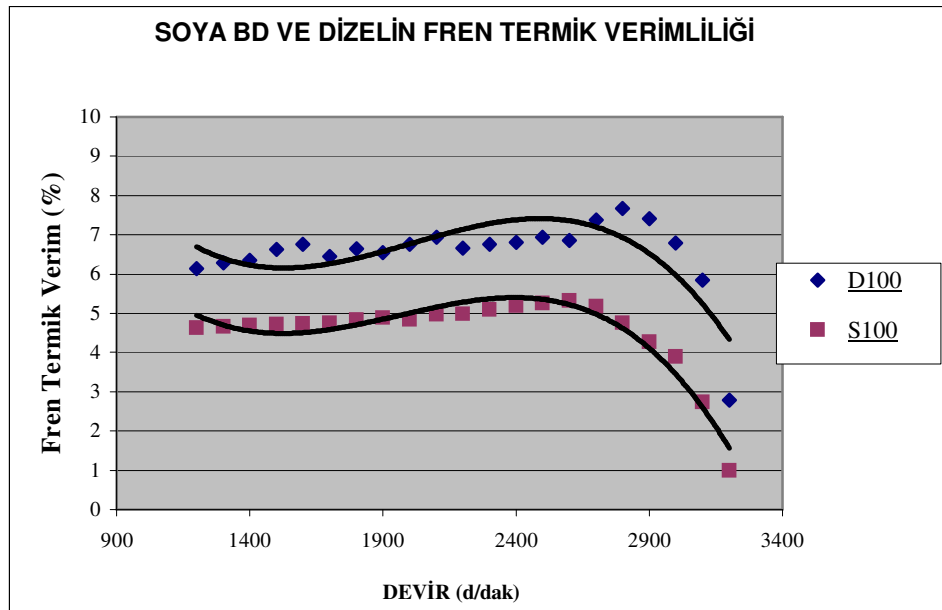
4.3.4. Karışımların Motor Devrine Göre Fren Termik Verim Değişimleri

Çizelge 4.3.4. Karışımların motor devrine göre fren termik verim değerleri

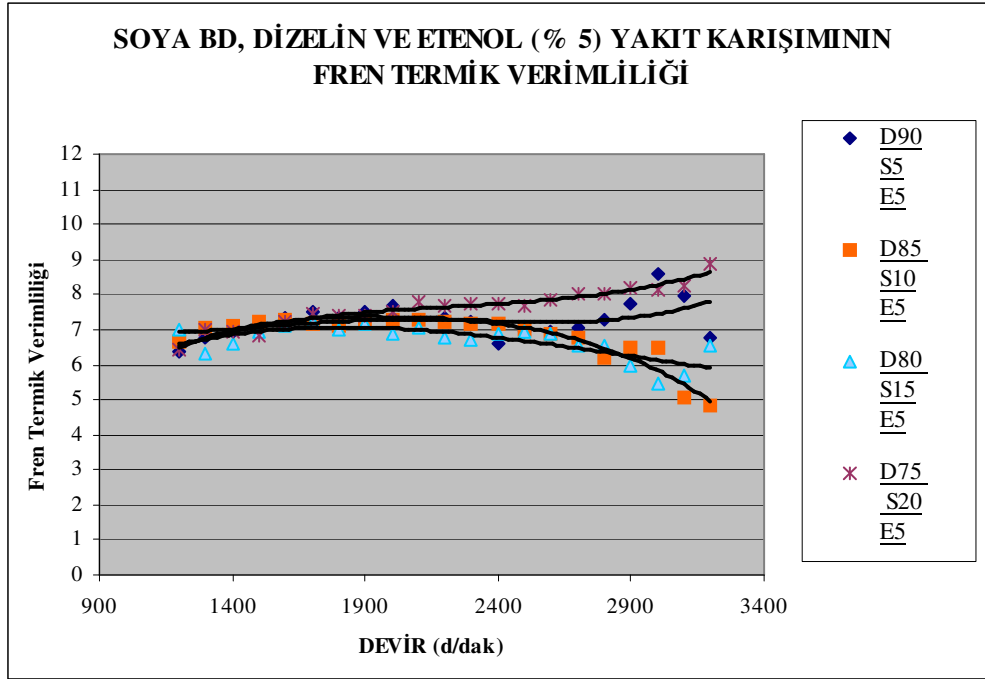
Devir (d/dak)	D100	S100	D90 S5 E5	D85 S10 E5	D80 S15 E5	D75 S20 E5	D80 S10 E10	D75 S15 E10	D70 S20 E1	D65 S25 E10	D70 S15 E15	D65 S20 E15	D60 S25 E15	D55 S30 E15	D60 S20 E20	D55 S25 E20	D50 S30 E20
3200	2,78	0,99	6,75	4,82	6,56	8,86	9,37	9,87	2,56	7,93	6,39	5,57	6,81	6,64	9,57	4,68	5,02
3100	5,84	2,74	7,98	5,05	5,66	8,23	7,17	8,92	4,13	5,22	6,97	6,29	6,83	7,05	9,24	5,30	5,53
3000	6,79	3,90	8,61	6,46	5,48	8,13	6,93	8,70	5,64	5,30	6,81	6,35	7,11	7,34	8,24	6,22	6,41
2900	7,40	4,27	7,75	6,48	5,98	8,21	7,15	8,38	6,27	5,95	6,79	6,37	7,24	7,42	7,38	6,65	6,31
2800	7,68	4,75	7,29	6,20	6,56	8,02	7,30	8,36	6,58	6,43	6,71	6,50	7,13	7,55	7,16	6,58	6,66
2700	7,38	5,18	7,04	6,75	6,52	8,03	7,42	8,10	6,87	7,05	6,63	6,86	7,04	7,39	6,91	6,61	6,93
2600	6,86	5,33	6,93	6,90	6,89	7,85	7,32	7,93	6,95	7,13	6,75	7,23	6,88	7,58	7,04	6,94	7,27
2500	6,94	5,26	6,92	6,99	6,95	7,68	7,13	7,66	6,88	7,25	6,79	7,29	6,99	7,57	6,91	7,18	7,19
2400	6,81	5,19	6,61	7,19	6,86	7,74	7,07	7,65	6,92	7,13	6,88	7,35	7,10	7,71	6,66	7,42	7,17
2300	6,76	5,10	7,23	7,14	6,73	7,71	6,99	7,56	6,94	7,09	6,90	7,51	7,29	8,10	6,92	7,44	7,50
2200	6,67	4,98	7,31	7,20	6,79	7,69	7,09	7,69	6,94	6,96	6,91	7,70	7,73	8,09	6,90	7,44	7,76
2100	6,93	4,97	7,31	7,28	7,03	7,77	7,15	7,88	6,83	7,15	7,39	7,71	8,07	8,08	7,04	8,01	8,14
2000	6,77	4,84	7,66	7,28	6,88	7,50	7,31	8,12	6,94	7,07	7,48	7,79	7,93	8,40	7,14	8,03	7,79
1900	6,55	4,89	7,52	7,23	7,16	7,41	7,29	7,84	6,95	7,00	7,35	8,15	7,71	8,25	7,32	8,10	7,86
1800	6,64	4,84	7,32	7,12	6,99	7,38	7,53	7,90	6,85	6,80	7,29	7,83	7,83	8,33	7,46	8,10	7,77
1700	6,45	4,76	7,50	7,15	7,23	7,44	7,35	7,90	6,85	7,03	7,23	7,74	7,79	8,09	7,35	8,00	7,69
1600	6,76	4,74	7,34	7,26	7,13	7,21	7,14	7,78	6,72	6,88	7,49	7,76	7,78	7,81	7,38	8,10	7,75
1500	6,63	4,72	7,14	7,24	6,94	6,82	7,15	7,81	6,66	6,76	7,24	7,76	7,77	7,82	7,25	7,82	7,78
1400	6,35	4,69	6,93	7,14	6,58	6,96	6,65	7,15	6,61	6,61	6,98	7,44	7,35	7,78	6,84	7,45	7,25
1300	6,29	4,66	6,79	7,06	6,34	7,02	6,55	6,42	6,17	6,49	7,20	7,02	6,81	7,69	6,91	7,43	7,65
1200	6,13	4,62	6,35	6,66	7,02	6,45	6,20	6,16	6,19	6,28	6,98	6,74	6,57	7,22	6,94	7,36	7,44

Motor devrine bağılı olarak soya biyodizeli ve dizel yakıtı kullanılması sonucu fren termik verimdeki değişim Şekil 4.3.5.1’de görölmektedir. Termik verim motorun genel bir karakteristiği olarak motorun düşük ve yüksek devirlerinde düşüş göstermekte orta devirlerde ise artmaktadır. Dizel de maksimum değeri 2800 dev/dak’da % 7,68, soya biyodizelin de maksimum değeri 2600 dev/dak’da % 5,33 olarak tespit edilmiştir. Soya biyodizeli yakıtına oranla dizel ile %30,6 oranında artış görölmektedir. Motorun tüm devir aralıkları göz önüne alındığında ortalama olarak soya biyodizel yakıtına oranla dizel de %30,5 oranlarında artışlar tespit edilmiştir.

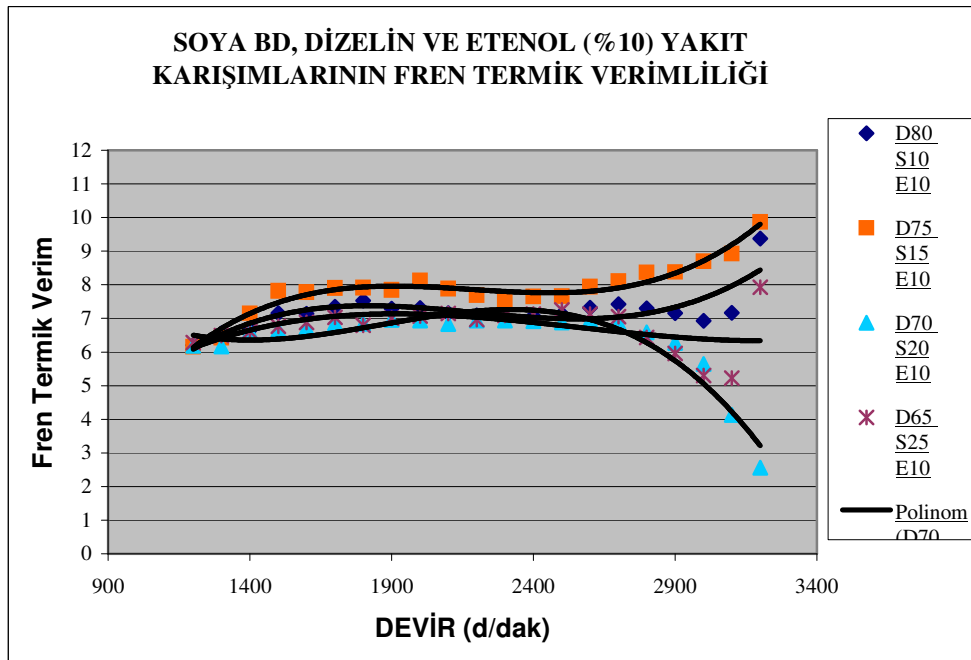
Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre fren termik verim değişim grafikleri Şekil 4.3.4.2., Şekil 4.3.4.3., Şekil 4.3.4.4., Şekil 4.3.4.5.’ de oluşturulmuştur. Karışımlardaki etanol miktarının artması sonucunda termik verimde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; % 10 etanol içeren 6 nolu karışımda, dizelin maksimum termik verimine göre % 14 artış tespit edilmiştir. Aynı motor devri dikkate alındığında karışımlarda ortalama % 5 ile % 10,5 arasında fren termik verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Soya biyodizelinin düşük alt ısıl değerine rağmen, karışımlar içerisindeki oksijen içeriği zengin olan etanol oranı arttıkça yanma yönünden olumlu etki yapmaktadır.



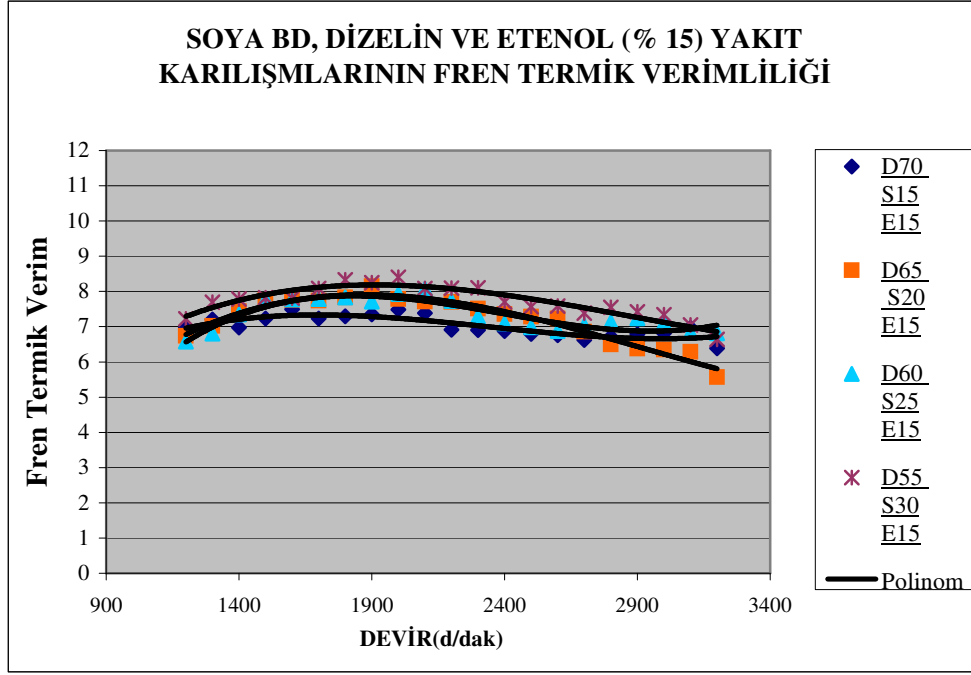
Şekil 4.3.4.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri



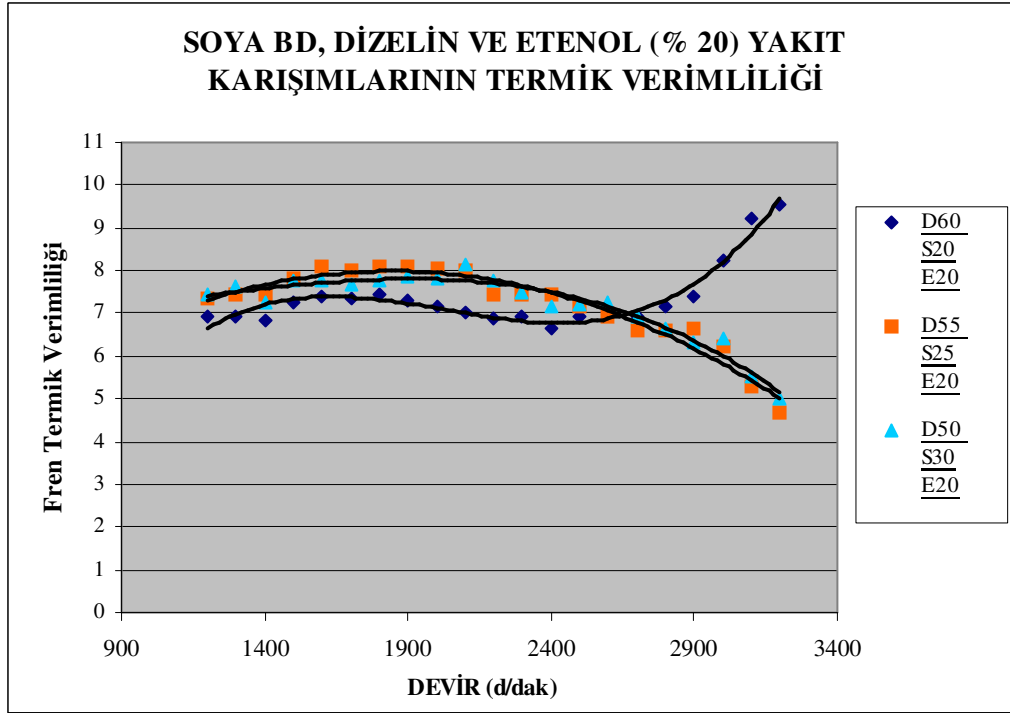
Şekil 4.3.4.2. Soya BD, dizel ve etanol (%5) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri



Şekil 4.3.4.3. Soya BD, dizel ve etanol (%10) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri



Şekil 4.3.4.4. Soya BD, dizel ve etanol (%15) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri



Şekil 4.3.4.5. Soya BD, dizel ve etanol (%15) yakıtlarının motor devrine göre fren termik verim eğrileri

4.3.5. Karışımların Motor Devrine Göre Egsoz Gazındaki Isı Kaybı Değişimleri

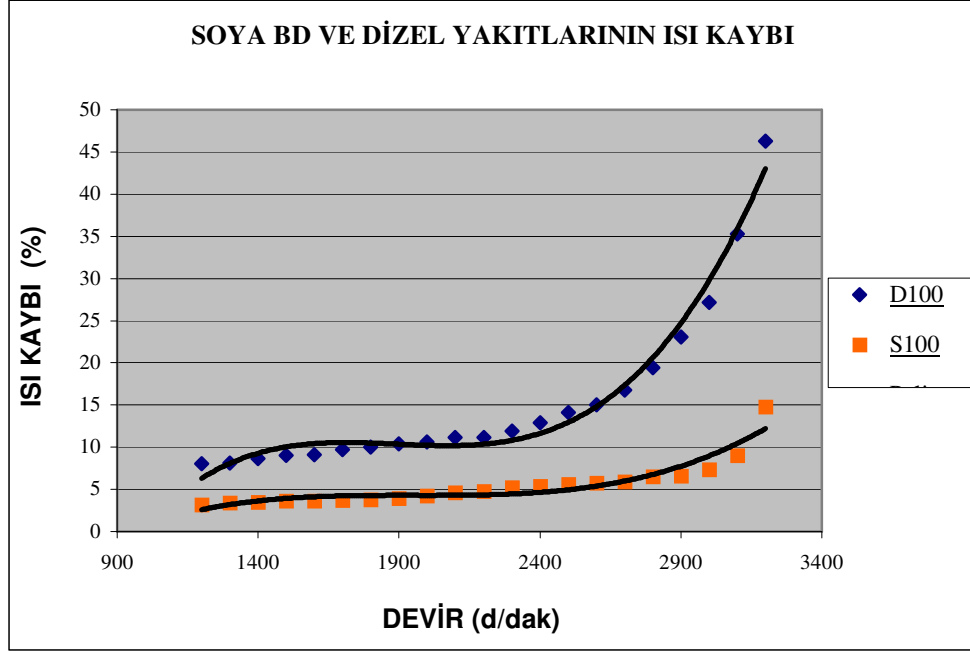
Çizelge 4.3.5. Karışımların motor devrine göre egsoz gazındaki ısı kaybı değerleri

Devir (d/dak)	D100	S100	D90 S5 E5	D85 S10 E5	D80 S15 E5	D75 S20 E5	D80 S10 E10	D75 S15 E10	D70 S20 E10	D65 S25 E10	D70 S15 E15	D65 S20 E15	D60 S25 E15	D55 S30 E15	D60 S20 E20	D55 S25 E20	D50 S30 E20
3200	46,3	14,8	64,7	40,3	52,5	58,1	55,6	52,1	25,7	59,5	44,0	33,1	44,2	38,7	55,4	40,2	31,2
3100	35,3	9,0	54,6	26,7	25,6	46,0	28,3	30,2	25,1	28,7	29,4	29,4	30,3	30,8	43,7	24,6	23,3
3000	27,2	7,3	36,5	19,1	17,2	32,7	22,7	23,4	22,3	21,3	24,8	22,6	25,7	24,1	29,3	20,3	21,4
2900	23,0	6,6	23,5	17,8	16,3	25,4	18,6	21,6	20,5	17,4	21,2	21,2	22,5	21,2	24,1	19,4	21,0
2800	19,4	6,5	21,0	17,7	15,6	21,6	17,5	19,9	19,1	17,0	20,1	19,9	20,2	19,3	20,1	18,7	20,1
2700	16,8	5,9	17,6	16,4	15,4	17,9	16,1	17,9	17,6	15,8	18,0	18,6	18,5	17,6	17,9	17,0	18,5
2600	15,0	5,7	15,0	14,7	14,3	15,7	15,8	16,2	16,7	16,5	17,2	18,0	16,6	16,1	17,1	16,6	17,5
2500	14,1	5,6	13,6	13,7	14,1	15,0	14,6	15,1	15,8	16,6	15,7	16,5	15,6	15,6	16,2	15,9	16,0
2400	12,9	5,4	12,4	13,1	13,3	14,2	13,4	13,3	14,6	15,1	14,8	14,8	14,7	14,1	14,6	14,5	14,6
2300	11,9	5,2	12,4	12,1	12,0	13,0	12,4	12,6	13,3	14,3	14,1	13,5	13,8	13,4	13,8	13,2	14,0
2200	11,2	4,8	11,6	11,1	10,9	12,2	11,6	12,4	12,5	13,3	12,9	12,7	13,7	13,0	12,9	12,6	13,3
2100	11,1	4,7	11,1	11,0	10,8	11,8	11,0	12,1	11,8	12,7	12,5	12,7	13,1	12,0	12,6	13,1	12,8
2000	10,6	4,3	10,6	10,3	10,0	10,9	10,6	11,7	11,3	12,1	12,2	12,3	12,0	11,9	11,8	11,9	11,7
1900	10,4	4,0	10,7	10,1	10,0	10,6	10,4	11,4	11,1	11,4	11,3	12,3	11,5	10,9	11,1	11,7	11,4
1800	10,0	3,8	10,3	9,8	9,8	10,4	10,6	10,4	10,6	10,4	10,5	11,2	10,7	10,6	11,0	10,8	10,9
1700	9,7	3,7	10,5	9,7	9,9	10,2	10,4	10,4	9,9	10,4	10,2	10,6	10,5	10,1	10,3	10,4	10,5
1600	9,1	3,7	9,4	8,9	9,6	9,8	9,8	9,7	9,5	9,5	9,7	10,4	9,8	9,9	10,1	10,4	9,9
1500	9,0	3,6	9,5	9,3	9,1	9,3	9,7	9,8	9,0	9,2	9,5	10,1	9,9	9,5	9,3	10,2	10,3
1400	8,6	3,5	9,2	9,4	8,7	9,2	9,1	9,3	9,2	8,9	9,3	10,1	9,4	9,7	8,8	9,9	9,1
1300	8,1	3,4	9,4	9,5	8,6	9,5	9,1	8,6	8,8	8,7	9,5	9,9	8,9	9,7	9,2	9,0	9,2
1200	8,0	3,2	9,1	9,1	9,7	8,7	8,7	8,2	8,9	8,0	8,6	9,6	8,4	8,4	8,6	8,9	8,8

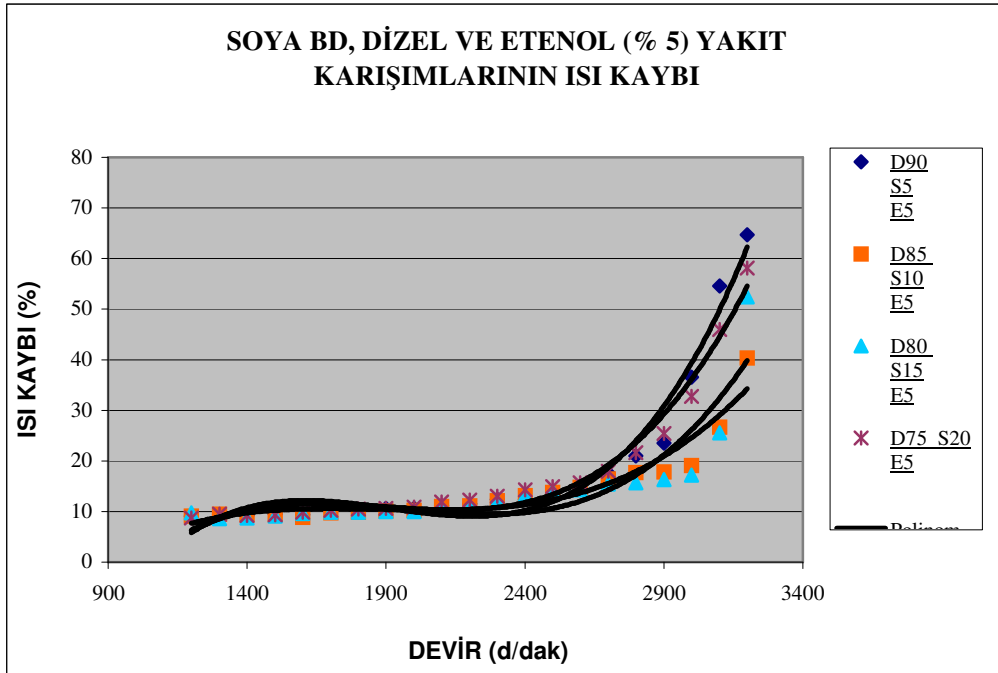
Motor devrine bağlı olarak soya biyodizeli ve dizel yakıtı kullanılması sonucu egsoz gazıyla kaybolan ısı miktarının değişimi Şekil 4.3.5.1’de görölmektedir. Her iki yakıtın motor testlerinde ortaya çıkan sonuçta, artan motor devriyle birlikte egsoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görölmektedir. Bu da artan motor devriyle birlikte birim zamanda motorda yakılan yakıt miktarının artması ve buna bağlı olarak üretilen ısı enerjisinin yükselmesiyle açıklanabilir. Motorun tüm devir aralıkları göz önüne alındığında ortalama olarak soya biyodizel yakıtına oranla dizel yakıtındaki egsoz gazıyla kaybolan ısı miktarında % 65 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. Bunu dizelin ısıl değeri ve fren termik verimliliğinin soya biyodizelinin ısıl değeri ve fren termik verimliliğinin yüksek olması ile birlikte açıklanabilir.

Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre egsoz gazıyla kaybolan ısı miktarı değişim grafikleri Şekil 4.3.6.2., Şekil 4.3.6.3., Şekil 4.3.6.4., Şekil 4.3.6.5.’ de oluşturulmuştur. Bütün yakıt karışımlarının motor testlerinde ortaya çıkan sonuçta, biyodizel ve dizel yakıtında olduğu gibi artan motor devriyle birlikte egsoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görölmektedir. Bu da artan motor devriyle birlikte birim zamanda motorda yakılan yakıt miktarının artması ve buna bağlı olarak üretilen ısı enerjisinin yükselmesiyle açıklanabilir. Karışımların motor test sonuçlarında en yüksek devir 3200 dev/dak’dan 2800 dev/dak’ya kadar olan devirlerde karışımlardaki etanol ve soya biyodizeli miktarının artması ile birlikte dizele göre bir miktar azalma olduğu görölmektedir. Bu azalma aynı devirlerdeki dizel yakıtı ile kaybolan ısı miktarına göre ortalama olarak % 1 ile % 11 aralığında gerçekleşmiştir. 2800 dev/dak’dan itibaren 1200 dev/dak’ya kadar olan motor devirlerinde egsoz gazındaki kaybolan ısı miktarında dizel yakıtı göre artışlar olduğu görölmüştür. Bu artış aynı devirlerdeki dizel yakıtı ile kaybolan ısı miktarına göre ortalama olarak % 5,5 ile % 9 aralığında gerçekleşmiştir. Bu sonuçla yüksek motor devirlerindeki düşük tork ve güç ile birlikte harcanan yakıt miktarındaki azalma ve buna bağlı olarak atılan ısı miktarındaki azalma, orta devirlere yakın devirlerden en düşük devire kadar olan devirlerde ise yüksek motor torku ve gücü için harcanan yakıt miktarının fazla olması buna bağlı olarak atılan ısı

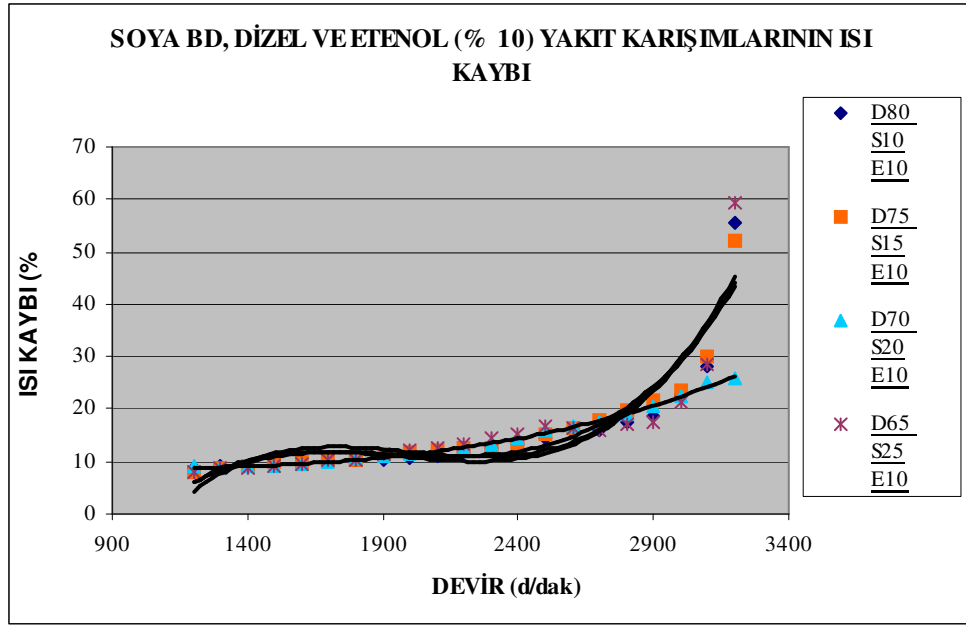
miktarının fazla olması anlaşılmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (French, C.C.J.; 1984; Usta, N.; 2005).



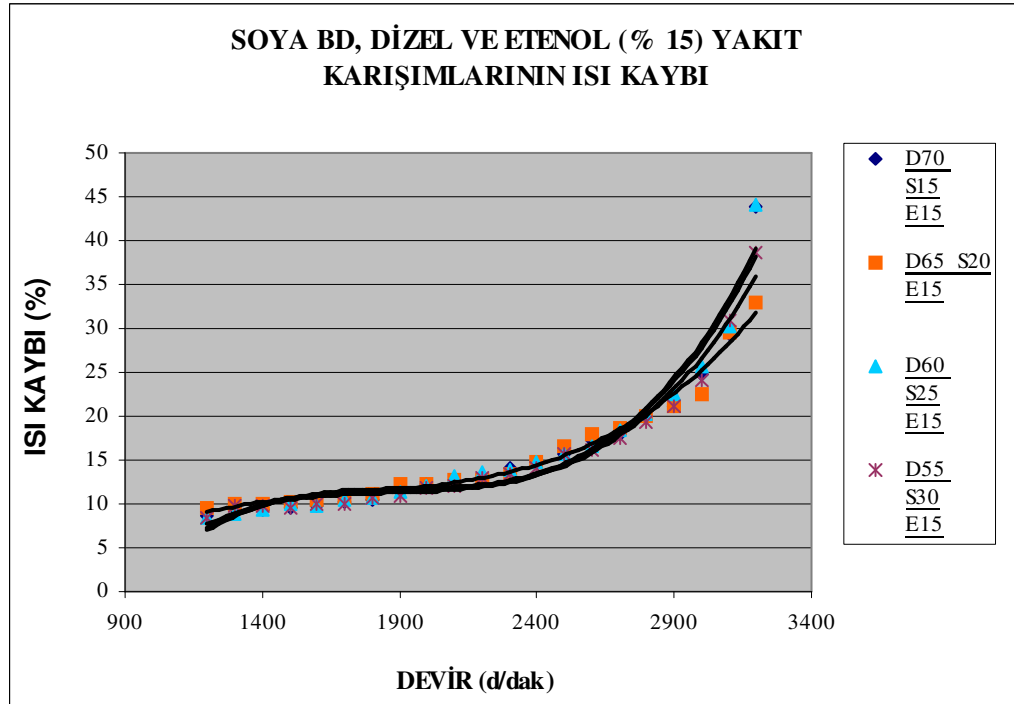
Şekil 4.3.5.1. Soya BD ve dizel yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri



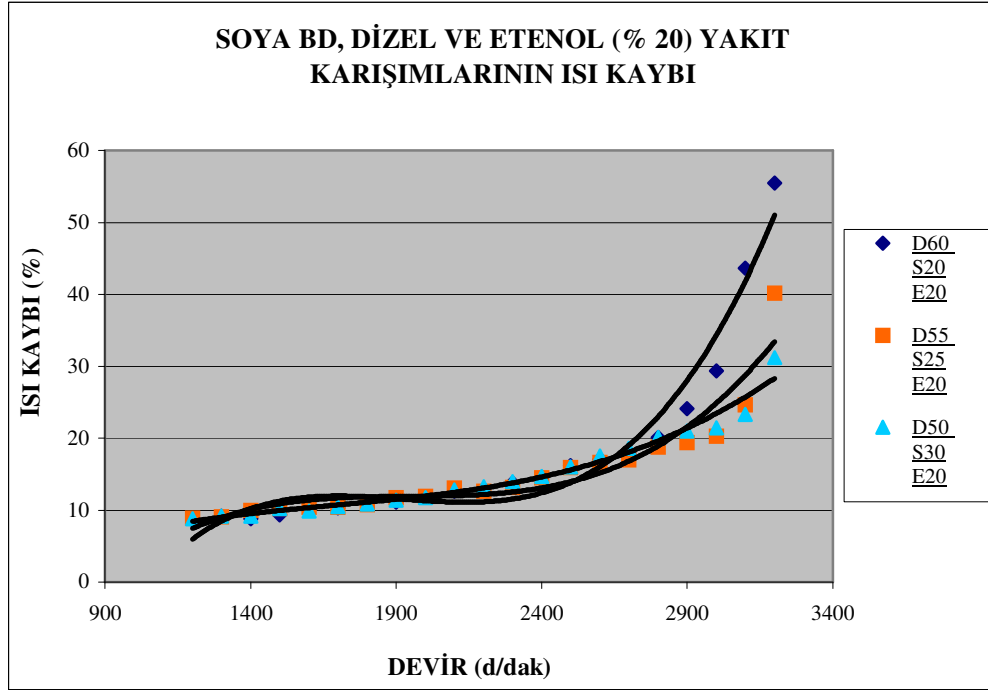
Şekil 4.3.5.2. Soya BD, dizel ve etanol (%5) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri



Şekil 4.3.5.3. Soya BD, dizel ve etenol (%10) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri



Şekil 4.3.5.4. Soya BD, dizel ve etenol (%15) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri



Şekil 4.3.5.5. Soya BD, dizel ve etenol (%20) yakıtlarının motor devrine göre ısı kaybı eğrileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyanın son on-onbeş yıl süresince yaşamış olduğu hemen hemen bütün krizlerin merkezinde petrol ve petrol ürünleri birinci sırada yer almıştır. Bu krizleri en derinden hissedenler ise ülkemiz gibi petrolde dışa bağımlı olan toplumlar olmuşlardır. Fosil yakıtlarının rezervlerinin kısıtlı olması ve hesaplanan yaklaşık bir süre içerisinde tükenecek olması beraberinde bir çok riskleri de içerisinde barındırmaktadır. Aynı zamanda bu kaynakların çevreye olumsuz etkilerinin uzun yıllar birikmesi ile birlikte ağır sonuçlarının ortaya çıkması, sürekli gelişen teknolojiye zaman zaman ihtiyaç vermemesi üzerine de toplumlarda alternatif arayışlara yönlendirmek zorunda kalmıştır. Oluşan enerji krizlerinin dünya da alternatif arayışlara yönlendirmesinin önemi de her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada, farklı özelliklerdeki karıştırılmış dizel yakıtı ile, soya yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel yakıt, dizel yakıtı ve iki farklı saflıktaki (% 99,5 ve % 99,8) etanol yakıtları % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranda hacimsel olarak belirlenen oranlarda karıştırılmış ve yapılan gözlemler sonucunda en uygun olan karışımlar seçilerek bunların yakıt analizleri yapılarak grafikleri oluşturulmuştur. Bu yakıtların performans karakteristikleri tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda tam yük ve farklı devirlerde testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere göre dizel biyodizel ve karışımların performans değişim eğrileri elde edilmiş ve bu eğriler birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmada yapılan çalışmalar ve sonuçları sırası ile aşağıda açıklanır ise;

Yakıt analizleri ve karışımların hazırlanması

İlk olarak karakteristik değerleri belli olan iki farklı saflıktaki (% 99,5 ve %99,8) etanolün yanında soya biyodizeli ve dizelin yakıt analizleri yapıldı. Soya biyodizelinin dizele göre yüksek yoğunluğa, viskoziteye, parlama noktasına, bunun yanında düşük setan sayısı, setan indeksi, kükürt oranına ve ısıl değere sahip olduğu tespit edildi.

Karışım hazırlama aşamasında oda sıcaklığında dizel ile biyodizel kendi içerisinde çözünerek homojen karışım oluştururken % 99,5 saflıktaki etanol ile birlikte faz ayrışımının olduğu görülmüştür. Çalkalamalar ve 2 saat süre ile manyetik karıştırıcıda karıştırılması ile birlikte % 1 oranında diisopropyl ether karıştırılmasına rağmen faz ayrışımının oluşumunun önüne geçilememiştir. Etanolün homojen olarak karışım oluşturmamasının nedeni faz kararlılığına engel olan içerisindeki su miktarının fazlalığıdır. % 99,8 saflıktaki etanol ile birlikte faz ayrışımı oluşmamıştır. Hazırlanan karışımlar herhangi bir katkı kullanılmaması ve 1 yıl süre ile oda sıcaklığı şartlarında bekletilmesine rağmen faz kararlılığını korumuştur. Faz kararlılığının uzun süre bu şekilde korumasına sebep olan % 99,8 saflıktaki etanolün su içeriğinin yok denecek kadar az olmasıdır. Bu sonuçlar doğrultusunda soya biyodizeli ve dizel ile birlikte % 99,8 saflıktaki etanol ile motorda test edilmek üzere karışım oluşturulmuştur.

Hazırlanan karışımların yakıt analizleri yapılmış olup sonuçları itibariyle, sabit etanol oranlarında karışımların dizel miktarının azaltılarak biyodizelin artırılması ile birlikte viskozitesinin, yoğunluğunun, setan indeksinin arttığı, ısıl değerinin ve akma noktasının düştüğü tespit edilmiştir. Setan sayısı % 15 etanol oranına kadar artarken % 20 etanol miktarından itibaren düşmeye başlamıştır.

Motor Performans Sonuçları

- **Efektif tork değişimi**

Dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile düşük ve yüksek motor devirlerinde daha düşük tork değerleri elde edilirken en yüksek tork değerlerinin 1800-2200 dev/dak aralığında elde edilmiştir. Maksimum tork dizel yakıtta 1800 dev/dak'da 8,1 Nm, soya biyodizelinde 1700 dev/dak'da 6,5 Nm. olarak ölçülmüştür. Maksimum torkun elde edildiği motor devirlerinde dizele oranla soya biyodizeli ile oluşan tork farkı % 19,75 olarak belirlenmiş iken maksimum motor devri olan 3200 dev/dak'da % 50 olan bu tork farkı minimum motor devri olan 1200 dev/dak'da %16,6 olarak tespit edilmiştir.

Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre tork değişim sonuçları incelendiğinde, % 5, % 10 ve % 15 etanol içeren karışımların tork değişimi motorinin tork değerine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir. Hatta bazı zaman kısmen de olsa bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir.. Motor torkundaki artış % 1 ile % 2,5 arasında olmuştur. Etanol miktarı % 20 olan karışımların motor torkunda azalma bariz bir şekilde görülmeye başlanmıştır.

- **Efektif güç değişimi**

Dizel yakıtı ve soya biyodizeli ile elde edilen motor efektif güç motor devri artışına bağlı olarak yükselmektedir. Her iki yakıtta da en yüksek motor gücü 2600 dev/dak'da elde edilmiştir. Maksimum gücün elde edildiği 2600 dev/dak'da dizel yakıtına oranla soya biyodizeli ile % 26,5 oranlarında güç düşüşü saptanmıştır. Bu güç düşüşü minimum motor devri olan 1200 dev/dak'da % 16,9 olarak gerçekleşmiştir. Bütün motor devirleri göz önüne alındığında soya biyodizelinde ortalama %23,5 oranında daha düşük efektif güç değeri belirlenmiştir.

Soya biyodizeli, dizel ve etanolden oluşturulan yakıt karışımlarının motor devrine göre güçteki değişim sonuçları incelendiğinde, % 5, % 10, % 15 ve % 20 etanol içeren karışımların güç değişimi motorinin güç değerine göre çok az düşse de yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bazı karışımlarda da kısmen de olsa bir miktar artış olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; 6 nolu karışımın 2700 dev/dak'sında 2,12 kW, motorinin ise 1,98 Kw olarak ölçülmüş olup güçteki artış % 6,6 olarak tespit edilmiştir. Etanol miktarı 20 olan karışımların motor gücünde azalma efektif tork ta olduğu gibi bariz bir şekilde görülmeye başlanmıştır. Efektif tork değişiminde de olduğu gibi karışımlardaki etanol miktarı % 15 seviyelerine çıktığı 9 nolu karışımdan itibaren motorda erken yanmaların başlaması sonucunda vuruntulu çalışmaların başladığı tespit edilmiştir. Hatta etanol oranı % 20 olan karışımlarda vuruntunun artması sonucunda 16 nolu karışımın motor testi yapılamamıştır.

- **Yakıt tüketim değışimi**

Özgöl yakıt tüketimi değeri genel bir karakteristik olarak motorlarda düşük ve yüksek devirlerde yüksek değeri göstermektedir. Orta motor devirlerinde ise daha düşük değeri belirlenmiştir. Motor devrine bağı olarak dizel ve soya biyodizelinin en düşük değeri belirlenmiştir. Motor devrine bağı olarak dizel ve soya biyodizelinin en düşük özgöl yakıt tüketimi tüm yakıtlarda yaklaşık 2600 dev/dak'da saptanmıştır. ($Sfc = 1712,09$ g/kWh) Bu devirdeki maksimum yakıt tüketimi ise 2,25 kg/h olarak tespit edilmiştir. Bu devirde dizel yakıtına oranla soya biyodizeli ile % 8,9 daha yüksek yakıt tüketimi değeri saptanmıştır. Ortalama motor devirleri göz önüne alındığında dizele oranla soya biyodizeli ile ortalama %16,9 oranlarında daha yüksek yakıt tüketimi değeri elde edilmiştir.

Karışımlar içerisindeki dizele göre düşük alt ısı değeri sahip olan soya biyodizeli ve etanol oranı arttıkça özgöl yakıt tüketimi ve toplam yakıt tüketim miktarının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni ihtiyaç duyulan gücü elde etmek için daha çok yakıtı ihtiyaç duyulmasıdır. Buna paralel olarak karışım içerisindeki en yüksek ısı değeri sahip olan dizel miktarının artması ile birlikte yakıt tüketim miktarı soya biyodizeline göre azaldığı ve dizelin yakıt tüketim miktarına yakın çıktığı görülmüştür. Maksimum yakıt tüketiminin olduğu 2600 dev/dak'da bütün karışımelerde ortalama yakıt tüketiminde % 2,2'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.

- **Fren termik verim değışimleri**

Dizel yakıtta fren termik verim maksimum değeri 2800 dev/dak'da % 7,68, soya biyodizelin de maksimum değeri 2600 dev/dak'da % 5,33 olarak tespit edilmiştir. dizel yakıtına oranla soya biyodizelinde %30,6 oranında düşüş görülmektedir. Motorun tüm devir aralıkları göz önüne alındığında ortalama olarak dizel yakıtına oranla soya biyodizel de %30,5 oranlarında düşüşler tespit edilmiştir.

Karışımlardaki etanol miktarının artması sonucunda termik verimde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Aynı motor devri ve sabit orandaki etanol miktarı dikkate alındığında karışımelerde ortalama % 5 ile % 10,5 arasında fren termik verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Orta devirlerdeki artış oranının maksimum seviyesi görülmektedir.

- **Egzoz gazındaki ısı kaybı**

Dizel ve biyodizel yakıtlarında artan motor devriyle birlikte egzoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görülmektedir. Motorun tüm devir aralıkları göz önüne alındığında ortalama olarak soya biyodizel yakıtına oranla dizel yakıtındaki egzoz gazıyla kaybolan ısı miktarında % 65 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. Bunu dizelin ısıl değeri ve fren termik verimliliğinin soya biyodizelinin ısıl değeri ve fren termik verimliliğinin yüksek olması ile birlikte açıklanabilir.

Biyodizel ve dizel yakıtında olduğu gibi karışımlarda da artan motor devriyle birlikte egzoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görülmektedir. Karışımların motor test sonuçlarında en yüksek devir 3200 dev/dak'dan 2800 dev/dak'ya kadar olan devirlerde karışımlardaki etanol ve soya biyodizeli miktarının artması ile birlikte dizele göre bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma aynı devirlerdeki dizel yakıtı ile kaybolan ısı miktarına göre ortalama olarak % 1 ile % 11 aralığında gerçekleşmiştir. 2800 dev/dak'dan itibaren 1200 dev/dak'ya kadar olan motor devirlerinde egzoz gazındaki kaybolan ısı miktarında dizel yakıtı göre artışlar olduğu görülmüştür. Bu artış aynı devirlerdeki dizel yakıtı ile kaybolan ısı miktarına göre ortalama olarak % 5,5 ile % 9 aralığında gerçekleşmiştir.

- **Öneriler**

Karışımların içerisindeki düşük setan sayısına sahip etanol miktarının % 15 seviyesine çıktığı 9 nolu karışımdan itibaren motorda vuruntulu çalışma başlamıştır. Bu vuruntunun önlenmesi için karışım içerisinde setan sayısı yükseltici kimyasallar katılabilir.

Hazırlanan bu karışımların içerisindeki oksijence zengin olan soya biyodizeli ve dizelin emisyon performansları tespiti için çalışma yapılabilir.

Alternatif yakıtın teşvik edilmesi için hammaddenin artırılması için yerli ürünlerle üretim sürecini destekleyen teşvikler verilmeli, vergi indirimleri uygulanmalı ve ucuz hammadde temini için tarım sektörü desteklenmelidir.

Üretim süreçlerinin ve ürünlerin standartlara uyumu izlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Agarwal, Avinash Kumar., 2007. **Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines.** Progress in Energy and Combustion Science 33, 233–271, USA.
- Agarwal, A., K., Das, L., M., 2001. **Biodiesel Development and Characterization For use as Fuel in Compression Ignition Engines,** Transactions of the ASME, 123, 440-447, U.S.A.
- Ajav, E. A., Singh, B., Bhattacharya, T. K., 1999. **Experimental Study of some performance parameters of a constantspeed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel,** Biomass Bioenergy 17(4) : 357-65
- Al-Farayedhi, A. A., Al-Dawood, A. M., Gandhidasan, P., 2004. Experimental investigation of SI engine performance using oxygenated fuel., J Eng Gas Turbine Power, 126: 1787-91
- Amoroso, A., Beine H. J., Sparapani, R., Nardino, M., Allegrini, 2006. **Observation of coinciding arctic boundary layer ozone depletion and snow surface emissions of nitrous acid.** Atmos Environ, 40:1949–56.
- Arslan, Ali, M., ve Çelikten İ., 2007. **Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Soya Ve Kanola Yağı Metil Esterlerinin Farklı Enjektör Basınçlarında Kullanılmasının Performans Ve Emisyon Üzerindeki Etkileri.** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Can, Ö., ve Çelikten, İ., 2003. **Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi,** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Canakci, M., Van Gerpen, J., 2001. **Biodiesel Production From oils and Fats With High Free Fatty Acids,** Transactions of the ASAE, 44, 6, 1429-1436.
- Edwards, R., Larive, J. F., Rouveirolles, P., January 2001. **Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power-trains in the European context. Well-to-Wheels report,** European Commission Joint Research Center, p. 1–60.
- French, C.C.J., 1984. **Ceramics in Reciprocating Internal Combustion Engines,** SAE Technical Paper, No. 841135.
- Gilbert, R, Perl, A, June 2005. **Energy and transport futures. A report prepared for national round table on the environment and the economy,** University of Calgary, p. 1–96. U.S.A.
- Ghose, M.K., 2002. **Control of motor vehicle emission for a sustainable city. TERI Information.** Dig Energy Environ, 1(2):273–82.

- Goldemberg, J, Johnsson T. B., Reddy A. K. N., Williams R.H.,2001. **Energy for the new millennium.** R Swedish Sci, 30(6): 330–7, Sweden.
- Gonzalez, Gomez, M. E., Howard-Hildige R., Leahy J. J., O'Reilly, T., Supple, B., Malone, M., 2000. **Emission and Performance Characteristics of a 2 Litre Toyota Diesel van Operating on Esterified Waste Cooking oil and Mineral Diesel Fuel.** Environ Monitor Assessment, 65: 13–20.
- Guo, H., Wang T., Blake D.R., Simpson I.J., Kwok Y.H., Li Y.S., 2006. **Regional and local contributions to ambient non-methane volatile organic compounds at a polluted rural/coastal site in Pearl River Delta China.** Atmos Environ, 40: 2345–59. China.
- Haas, M. J, Michalski, P. J., Runyon, S., Nunez, A., Scott, K.M. 2003. **Production of FAME From Acid oil, a by-product of Vegetable oil Refining,** JAOCS, 80 (1), 97-102.
- Hosseinpoor, A.R., Forouzanfar, M. H., Yunesian, M., Asghari, F., Naieni, K.H., Farhood, D., 2005. **Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Tehran.** Environ Res, 99:126–31.
- Karabektaş, M., Ergen, G., 2007. **Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri Ve Nox Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi,** SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 11. Cilt, 1. Sayı, s. 21-26,
- Karaosmanoğlu, F., Kurt G., Özaktaş, T., 2000. **Long Term CI Engine test of Sunflower oil,** RenewableEnergy, (19), 219-221.
- Keskin, A., Altıparmak, D., ve Gürü, M., 2005. **Tall Yağı Esasli Biyodizel Ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi Ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri,** Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kesse, D.G., 2000. **Global warming—facts, assessment, countermeasures.** J Pet Sci Eng, 6: 157–68.
- Kinney, A. J., Clemente, T. E., 2005. **Modifying soybean oil for enhanced performance in biodiesel blends.** Fuel Process Technol, 86:1137–47.
- Koçak S. M., ve İcingür, Y., 2005. **Findik Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması,** Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kwancharoen, P., Luengnaruemitchai, ., A., Jai-In, S., 2006. **Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine,** The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Thailand.

- Martonen, T.B., Schroeter, J. D., 2003. **Risk assessment dosimetry model for inhaled particulate matter: I. Human subjects.** Toxicol Lett, 138:119–32.
- Levander, T., 1990. **The relative contributions to the greenhouse effect from the use of different fuels.** Atmos Environ, 24:2707–14.
- Li, H.Y.Y., August 2004. **Framework for sustainable biomass use assessment. Master of science thesis,** School of Environmental Science, University of East Anglia, University Plain, p. 1–87. Norwich (UK).
- Official Journal of the European Union, Commission of the European Communities, 2003. **European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport,** vol. L123, 2003. p. 42–7. Luxembourg.
- Özsezen A. N., Çanakçı, M., 2008. **Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi,** Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 2, 395-404.
- Tomasevic, A. V., Siler-Marinkovic S. S. 2003. **Methanolysis of Used Frying Oil,** Fuel Processing Technology, 81 (1), 1-6.
- Usta, N., Can Ö., Öztürk E., 2004. **Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması,** Mühendislik Bilimleri Dergisi Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., 2005. **Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması,** Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 11(3): 325-334.
- Usta, N., 2005. **An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester,** Energy Conversation & Management, 46, 2373-2386, 2005.
- Yamık, H., ve İçingür, Y., 2002. **Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması,** Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Yıldız, R., Karataş, H., Aktaş, A., 2003. **Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar,** Zonguldak.

www.makinametal.com, 2008

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan sayın Doç. Dr. Ali KOÇ ve Yrd. Doç. Dr. Yıldız KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında değerli görüş, katkı ve bilgilerini esirgemeyen hocalarım sayın Prof. Dr. Kadir AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen ve Arş. Gör. Mustafa ÖZCANLI'ya , Makine Teknisyeni Cevdet YILDIRIM'a, Yüksek lisans Öğrencileri Fatih YILMAZ'A ve Ayşen DEMİRAY'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen hayatımın her aşamasında bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen hayatımın her aşamasında bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Adana' da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Osmaniye' de tamamladım. 1996 yılında Niğde Üniversitesi Niğde MYO'lu 1998 yılında okul birinciliği ile bitirerek 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık fakültesine girmeye hak kazandım. 2005 yılında mezun olarak aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladım. Aynı zamanda 2005 yılında işbaşı yaptığım İSDEMİR'de Mekanik Bakım Mühendisi olarak çalışmaktayım.