

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MİKROALGLERDEN YAĞ ÜRETİMİ VE DİZEL
MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Erdal ÇILGIN

Doktora Tezi

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

MART-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROALGLERDEN YAĞ ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORLARDA
KULLANILABİLİRLİĞİ

DOKTORA TEZİ

Erdal ÇILGIN
(111119204)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Tezin Savunulduğu Tarih :

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü) *C. İlkilic*
Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü) *C. Öner*
Doç.Dr. Hasan BAYINDIR(D.Ü) *H. Bayindir*
Doç.Dr. Hüseyin AYDIN (BATÜ) *H. Aydın*
Yrd.Doç.Dr. İsmail TÜRKBAY(F.Ü) *I. Turkbay*

MART-2016

ÖNSÖZ

Geçtiğimiz çeyrek yüzyıl içinde, içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere çok sayıda yakıt alternatifi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu alternatif yakıtların petrol esaslı yakıtlara göre çeşitli üstünlükleri olmasına rağmen, araç motorlarında kullanılabilmesi için yüksek maliyetli değişiklikler ve yakıt dağıtımının yapılabilmesi için ayrı düzenlemeler gerektiğinden, pazarda önemli bir pay sahibi olamamışlardır. Farklı kaynaklardan farklı şekillerde üretilen bu alternatif yakıtlardan biride biyodizeldir. Biyodizel diğer alternatif yakıtlardan, motorlarda hiçbir değişikliğe gidilmeden ve petrol esaslı yakıtlarla karışım halinde kullanılabilme özelliği nedeniyle ayrılmaktadır. Ancak biyodizel, hammaddesinin genel olarak tarımsal ürünlerden karşılanması [Kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir)] zamanla tarımsal alanların büyük kısmının, ekonomik olarak daha fazla getiri sağlaması nedeniyle biyodizel kaynaklarına ayrılması, gıda ürünlerinde fiyat artışına, erozyona, biyolojik çeşitlilik kaybına ve fazla gübre ve ilaç kullanımından dolayı yer altı ve yer üstü sularının kirlenmesine sebep olacağı düşünülmektedir. Bu düşünceler doğrultusunda alternatif araştırmalar, gıda üretimi, gıda fiyatları ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkileri olmayan, daha verimli ve daha gelişime açık bir hammadde olan mikroalgler üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır. Mikroalgler, tükenmek bilmeyen bir karbondioksit iştahına sahip, hızlı büyüyen canlılardır. Tarımsal alan için atıl sayılabilecek ortamlarda rahatlıkla üretilen, genellikle kuru ağırlıklarının yarısından daha büyük miktarlarda yağ biriktirecek şekilde uyarılabilen canlılardır. Bu çalışmada mikroalglerden yağ elde edilmiş, transesterifikasyon metodu ile biyodizele dönüştürülmüş ve dizel yakıtı ve etanol ile çeşitli oranlarda karıştırılarak iki farklı dizel motorda test edilmiştir. Tez çalışmam süresince, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bana her konuda büyük bir özveriyle yardımcı olan, daima yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cumalı İLKILIÇ’a saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, Mardin Artuklu Üniversitesi Kimya Bölümünde görevli Sayın Doç. Dr. Ersin KILINÇ’a, Dicle Üniversitesinde görevli Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA’ya ve Batman Üniversitesinden Yrd. Doç. Dr. Selman AYDINA’a Teşekkürlerimi sunarım.

Erdal ÇILGIN
ELAZIĞ – 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatür Araştırması	2
2. BIYOKÜTLE ENERJİSİ.....	9
2.1. Biyodizel	9
2.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	10
2.2.1. Atık yağlar	10
2.2.2. Hayvansal yağlar.....	10
2.2.3. Bitkisel yağlar	11
2.2.4. Algler	12
2.3. Mikro alglerin üretim sistemleri	13
2.3.1. Açık üretim sistemleri.....	13
2.3.2. Kapalı sistemler (Fotobiyoreaktörler).....	14
2.4. Mikroalglerden Yağ Elde Edilmesi	15
2.5. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi.....	17
2.6. Mikroalglerin Yakıt Özellikleri	17
2.7. Alglerin Avantajları	18
3. METARYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Deney Donanımı	20
3.1.1. Sokselet ekstraksiyon cihazı	21
3.1.2. Selüloz Ekstraksiyon Kartuşu	22
3.1.3. Kullanılan çözücünün seçimi	22

3.1.4.	Deneylerde Kullanılan Motorlar	23
3.1.4.1	Tek silindirli deney motoru.....	23
3.1.5.	Gaz Analiz Cihazı	24
3.1.6.	Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni.....	25
3.1.7.	Dijital Ekranlı Dinamometre.....	26
3.1.8.	Jeneratör Dizel Motoru	27
3.1.9.	Yanma Analizi Sistemi	29
3.2.	Deneyin Yapılışı	30
3.2.1.	Yağ Tayini	30
3.3.	Mikroalg Yağından Biyo Yakıt Üretimi	32
3.4.	Hesaplanan Büyüklükler	35
3.4.1.	Motor Momenti	35
3.4.2.	Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	35
3.4.3.	Efektif Verim	36
3.4.4.	Silindir Gaz Basınçlarının Hesabı.....	36
3.4.5.	Yanma Sonu Tahmini	37
3.4.6.	Ortalama Gaz Sıcaklığı	37
3.4.7.	Özgül Isılar Oranı	37
3.4.8.	Isı Açığa Çıkış Hızı ve Miktarının Hesabı.....	38
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
4.1.	Tek silindirli Motor Deney Sonuçları	40
4.1.1.	Motor Momenti	40
4.1.2.	Efektif Motor Gücü	42
4.1.3.	Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	43
4.1.4.	Azot Oksit (NO _x) Emisyonu.....	45
4.1.5.	Karbondiyoksit (CO ₂) Emisyonu	46
4.1.6.	Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonu.....	47
4.1.7.	Karbon monoksit (CO) Emisyonu	49
4.1.8.	Egzoz Gaz Sıcaklığı	51
4.1.9.	Oksijen (O ₂) Emisyonu	52
4.1.10.	Hava Fazlalık Katsayısı (HFK, λ)	54
4.2.	Jeneratör Motoru ile Yapılan Deney Sonuçları.....	55
4.2.1.	Özgül yakıt tüketimi	56

4.2.2.	Efektif Verimin Değişimi	57
4.2.3.	CO Emisyonu Değişimi	59
4.2.4.	CO ₂ Emisyonu Değişimi	60
4.2.5.	NO _x Emisyonu Değişimi	61
4.2.6.	HC Emisyonu Değişimi	64
4.2.7.	O ₂ Emisyonu Değişimi	66
4.3.	Yakıtların Yanma Karakteristiklerinin Karşılaştırılması	67
4.3.1.	Silindir Gaz Basınçlarının Karşılaştırılması	67
4.4.	Açığa Çıkan Isı Miktarlarının Karşılaştırılması	74
4.5.	Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	81
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
	KAYNAKLAR	91
	ÖZGEÇMİŞ	99

ÖZET

Geleneksel yakıtların motor yakıtları olarak kullanımından kaynaklanan hava kirliliği ve sera gazı etkisinin çoğalması gibi nedenlerin yanında petrol fiyatlarının yükselmesi, enerji maliyetlerinin de önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden kaynaklı olarak yakıt alternatifleri üzerindeki çalışmalar yeni ve yenilenebilir yakıt olarak biyodizel üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak Biyodizel, hammaddesinin tarım arazilerinde gıda üretimi için ayrılan arazilerin bir kısmının daha çok kar elde edileceği düşünülerek yağ bitkisi tarımına ayrılması ile az gelişmiş ülkelerde gıda fiyatlarında artış ve gıda temininde zorluk yaşanmasına sebep olmuştur. Bundan kaynaklı olarak tarımsal amaçlı kullanılmayan alanlarda rahatlıkla yetişebilen üstelik hektar başına verimi diğer biyodizel kaynaklarına kıyasla çok yüksek olan mikroalgler yeni biyodizel kaynağı olarak görülmeye başlamıştır. Bu çalışmada da mikroalglerden yağ elde edilmiş tranesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş ve elde edilen mikroalg biyodizeli, dizel yakıtıyla ve etanol ile belirli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorda ve bir jeneratör dizel motorda denenmiştir.

Anahatar Kelimeler : Hava kirliliği, Biyodizel, Dizel motorlar, Mikroalgler.

SUMMARY

OIL PRODUCTION OF MICROALGAE AND THE USE OF THIS OIL IN DIESEL ENGINE

Air pollution caused by the use of conventional fuels, increasing effect of greenhouse gases, as well as the increase in oil prices result in significant boost in energy costs. As a result, studies on alternative fuels have concentrated on biodiesel as a new and renewable fuel. However, as the raw material of biodiesel is allocated to the cultivation of oil crop plants, considering that some of the lands assigned for food production would make more profit, it has caused an increase in food prices and troubles in food supply in less developed countries. Microalgae, which easily grow on fields that are not used for agricultural purposes and for which yield per hectare is very high compared to other biodiesel sources, are considered to be a new biodiesel source today. In the current study, Oil Production Of Microalgae and microalgae biodiesel derived from microalgae through the transesterification method was mixed with diesel fuel and ethanol in certain amounts and tested in a single-cylinder diesel and generator motor.

Keywords: Air pollution, Biodiesel, Diesel engine, Mikroalgler

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Mikroalglerin ortalama üretim şartları	15
Tablo 2.2. Çeşitli bitkisel yağların verimi	17
Tablo 2.3. Mikroorganizmalarının biyodizel üretiminde birinci derecede önemli olan yağ asit kompozisyonları.....	18
Tablo 2.4. Bazı mikroalglerin yağ içerikleri	19
Tablo 3.1. Ekstraksiyonda kullanılabilecek çözücülerin genel özellikleri	22
Tablo 3.2. Deney Motorunun teknik özellikleri.....	24
Tablo 3.3. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri	25
Tablo 3.4. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazının teknik özellikleri	26
Tablo 3.5. Capelec Cap 3200 gaz analiz cihazın teknik özellikleri.....	28
Tablo 3.6. Alternatör Teknik Özellikleri	28
Tablo 3.7. Dizel Motor Teknik Özellikleri.....	29
Tablo 3.8. Yakıt özellikleri	35
Tablo 4.1. D2 yakıtına göre karışım yakıtların moment (Nm) değişimleri (%)	42
Tablo 4.2. D2 yakıtına göre karışım yakıtların efektif motor gücü (kW) değişimleri (%).....	43
Tablo 4.3. D2 yakıtına göre karışım yakıtların ÖYT (g/kWh) değişimleri (%)	45
Tablo 4.4. D2 yakıtına göre karışım yakıtların NO _x (ppm) emisyonunun değişimi (%) ..	46
Tablo 4.5. D2 yakıtına göre karışım yakıtların CO ₂ (%) emisyonunun değişimi (%).....	47
Tablo 4.6. D2 yakıtına göre karışım yakıtların HC (ppm) emisyonunun değişimi (%)	49
Tablo 4.7. D2 yakıtına göre karışım yakıtların CO (ppm) değişimleri (%).....	51
Tablo 4.8. D2 yakıtına göre karışım yakıtların egzoz gazı sıcaklığı (°C) değişimleri (%)	52
Tablo 4.9. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının O ₂ emisyonu değişimleri (%)	54
Tablo 4.10. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının HFK değerinin değişimleri (%).....	55
Tablo 4.11. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının ÖYT (g/kWh) değişimler (%)	57
Tablo 4.12. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının Efektif verim % değişimleri	58
Tablo 4.13. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının CO emisyonundaki değişimler (%).....	60
Tablo 4.14. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının CO ₂ emisyonundaki değişimleri (%)...	61
Tablo 4.15. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının NO _x emisyonundaki değişimleri (%)	64
Tablo 4.16. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının HC emisyonundaki değişimleri (%)....	65

Tablo 4.17. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının O ₂ emisyonundaki değişimleri (%)	66
Tablo 4.19. D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının Maksimum Isı Açığa Çıkış Hızları ve Krank açıları	81



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel hammadde kaynakları	12
Şekil 2.2. Dış mekân üretim havuzları	13
Şekil 2.3. Geniş dairesel üretim havuzları.....	14
Şekil 2.4. Dış mekan fotobiyoreaktörler.	15
Şekil 2.5.Yağ çıkarılma işlemi	16
Şekil 2.6.Yağ çıkarılmaya hazır pul	16
Şekil 3.1.Döner buharlaştırıcı (Evaporatör) görünümü	20
Şekil 3.2. Sokselet ekstraksiyon cihazı şematik resmi	21
Şekil 3.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	23
Şekil 3.4. Gaz analiz cihazı	25
Şekil 3.5. Dijital Ekran	26
Şekil 3.6. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	27
Şekil 3.7. Yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü	30
Şekil 3.8. Mikroalg kütle tartımı	31
Şekil 3.9. Soxhlet Ekstraktörü	31
Şekil 3.10. Elde edilen yağın buharlaştırıcıdaki görünümü	32
Şekil 3.11. Yağın ısıtılması	33
Şekil 3.12. Dinlendirme kabı.....	34
Şekil 4.1. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı motor momenti değişimi.....	41
Şekil 4.2. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı efektif güç değişimi	43
Şekil 4.3. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimi	44
Şekil 4.4. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre NOx emisyon değişimi	46
Şekil 4.5. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO2 emisyonu değişimi	47
Şekil 4.6. Deney yakıtları için HC emisyonun motor devri ile değişimi	48
Şekil 4.7. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz kelebeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi	50

Şekil 4.8. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre egzoz sıcaklığı değişimi	52
Şekil 4.9. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre O ₂ emisyonu değişimi	53
Şekil 4.10. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre (λ) emisyonu değişimi	54
Şekil 4.11. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı Özgöl yakıt tüketim (ÖYT) değişimleri	56
Şekil 4.12. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak Efektif verim değişimleri	58
Şekil 4.13. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak CO emisyon değişimleri	59
Şekil 4.14. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak karbondioksit değişimleri	61
Şekil 4.15. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak NO _x emisyon değişimleri	63
Şekil 4.16. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak HC emisyon değişimleri	65
Şekil 4.17. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak O ₂ emisyon değişimleri	66
Şekil 4.18. 1500 d/d yüksüz olarak D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri	67
Şekil 4.19. 1500 d/d 1. kademe yükle D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Silindir Gaz Basınç değişimleri	68
Şekil 4.20. 1500 d/d 2. kademe yükle D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için Silindir Gaz Basınç değişimleri	69
Şekil 4.21. 1500 d/d 3.kademe yük ile D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için Silindir Gaz Basınç değişimleri	70
Şekil 4.22. D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da yüksüz silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi	71
Şekil 4.23. D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da 1.kademe yükle silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi	72
Şekil 4.24. 1500 d/d'da 2. kademe yükle D2 ve BE-12 yakıtları için Silindir Gaz Basıncı değişimleri	73
Şekil 4.25. 1500 d/d'da 2.kademe yükle D2 ve BE-12 yakıtları için Silindir Gaz Basınç değişimleri	74
Şekil 4.26. 1500 d/d'da yüksüz D2,MCP-B5,MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için açığa çıkan ısı miktarlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.27. 1500 d/d'da 1. kademe yük ile D2,MCP-B5,MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Miktarlarının Karşılaştırılması	76

Şekil 4.28. 1500 d/d 2.kademe yük ile D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Miktarlarının Karşılaştırılması	77
Şekil 4.29. 1500 d/d motor hızında 3. kademe yük ile D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.30. 1500 d/d motor hızında yüksüz D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması	78
Şekil 4.31. 1500 d/d motor hızında 1. kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Miktarlarının Karşılaştırılması	79
Şekil 4.32. 1500 d/d motor hızında 2.kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması	80
Şekil 4.33. 1500 d/d motor hızında 3. kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması	80
Şekil 4.34. 1500 d/d motor hızında yüksüz olarak D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	82
Şekil 4.35. 1500 d/d motor hızında 1.kademe yük ile D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	82
Şekil 4.36. 1500 d/d motor hızında 2.kademe yük ile D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	83
Şekil 4.37. 1500 d/d motor hızında 3.kademe yük ile D2,MCP-B5,MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	83
Şekil 4.38. 1500 d/d motor hızında yüksüz olarak D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	84
Şekil 4.39. 1500 d/d motor hızında 1.kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	85
Şekil 4.40. 1500 d/d motor hızında 2.kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	86
Şekil 4.41. 1500 d/d motor hızında 3.kademe yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması	86

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Semboller

be	: Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)
CNG	: Doğal gaz
CO₂	: Karbon dioksit
D2	: Dizel yakıtı
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Alt ısı değeri (kJ/kg)
Kg	: Kilogram
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
MCP-0	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides saf yağı
MCP-B100	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides Biyodizel %100
MCP-B25	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides Biyodizel %25 ile %75 D2
MCP-B5	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides Biyodizel % 5 ile % 95 D2
MCP-B50	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides Biyodizel % 50 ile %50 D2
BE-12	: Mikroalgae Chlorella Protothecoides Biyodizel % 88 ile % 12
	Etil Alkol
Md	: Motor momenti (Nm)
NO_x	: Azot oksitler
O₂	: Oksijen
Pe	: Efektif motor gücü
PM	: Partikül madde (Particulate Matter)
Pme	: Ortalama efektif basınç
POH	: Potasyum hidroksit
ppm	: Milyonda bir parçacık
SO₂	: Kükürt dioksit
VH	: Toplam strok hacmi (m ³)
µm	: Mikrometre

KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
E	: Avrupa Para Birimi
EN	: Avrupa Standartları (European Standards)
EPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	: Krank Mili Açısı (o)
Mtep	: Milyon ton petrol eşdeğeri
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
OEB	: Ortalama Efektif Basınç (kPa)
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
STD	: Standart
TG	: Tutuşma gecikmesi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
KMA	: Krank mili açısı

1. GİRİŞ

Petrol kökenli yakıtların tüketiminde en büyük payı ulaştırma sektörü almaktadır. Trafiğe çıkan araçların sayısı arttıkça enerji güvenliğinin sağlanması ve hava kirliliğine neden olan egzoz emisyon ürünleri salınımlarının minimum seviyede kalmasını sağlayacak hatta tamamen yok edebilecek derecede engelleyecek alternatif yakıtların geliştirilmesi yönündeki çalışmalar da artmıştır (Karadağ vd., 2009). Geçmiş yüz yılın sonunda, taşıt motorlarında petrol kökenli yakıtların yanı sıra yakıt olarak doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi çeşitli yakıtlar da kullanılmıştır (Gürbüz, 2009). Bu yakıtların petrol türevi yakıtlara göre çeşitli üstünlükleri olmasına rağmen, araçlarda maliyeti yüksek modifikasyonların yapılması ve yakıt dağıtımının yapılabilmesi için ayrı düzenlemeler gerektiğinden pazarda önemli bir pay sahibi olamamışlardır (Hamawand, 2014). Fosil kökenli olmayıp değişik kaynaklardan üretimi mümkün olan diğer alternatif yakıtlar olarak biyokütle kaynaklarından yararlanılmaktadır (Çağlayan ve diğ., 2009). Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları ve gübre, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik madde olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile biyokütle, güneş enerjisinin toplandığı ve depolandığı ortamlardır. Biyokütle kaynaklarından elde edilen yakıtlardan bazıları biyoyakıtlardır (Afacan, 2006). Dünyada, özellikle ulaştırma alanında biyoyakıtı petrol türevi yakıtlarla birlikte kullanılmış ve böylece petrol türevi yakıtların ulaştırma sektöründeki kullanımı kısmi olarak azaltmıştır. Biyoyakıtlar diğer alternatif yakıtlar ile karşılaştırıldıklarında ticarileştirilmeleri daha kolay olan yakıtlardır. Bu yakıtların sıvı ve mevcut yakıtlar ile karışım halinde kullanılabilir olmaları bunların üstün olmalarını sağlamıştır. Ancak biyoyakıt, hammaddesinin yaygın olarak tarımsal ürünlerden seçilmiş olması (kolza veya kanola, ayçiçek, pamuk, soya, aspir vb.) zaman içinde, aşırı miktarlarda tarımsal alanın kullanılması sonucu küresel gıda kaynaklarını ve uzun vadede tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Kıtlığa, gıda ürünlerinde fiyat artışına, erozyona, biyolojik çeşitlilik kaybına ve aşırı gübre ve ilaç kullanımından dolayı yer üstü ve yer altı sularının azalmasına ve kirlenmesine neden olacağı da tahmin edilmektedir (Ladanai ve Vinterback, 2009). Bu tahminler doğrultusunda araştırmacılar tarım alanları ve su kaynakları üzerinde daha az baskı oluşturan, daha verimli ve daha gelişime açık bir hammadde olan mikroalgler üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır (Demirbaş, 2009). Mikroalgler, küresel ısınmaya katkıda bulunan karbondioksit gazını oksijene dönüştürme

özelliğine sahip olup hızlı büyüyen canlılardır (Ozkurt, 2009). Mikroalgler diğer yağ bitkileri ile karşılaştırıldığı zaman biyodizel üretiminde yüksek potansiyele sahiptir. İlk olarak mikroalglerin yetiştirilmesi, karasal bitkilerle kıyaslandığında fazla yer işgal etmez. Mikroalglerden biyodizel üretimi, gıda ve bitkilerden üretilen diğer ürünlerin üretimini tehlikeye düşürmez. İkinci olarak, mikroalgler oldukça hızlı büyür ve çoğu alg türleri zengin yağ içeriğine sahiptirler (Huang, 2010).

1.1. Çalışmanın Amacı

Deneysel çalışmanın amacı farklı tipte dizel motorlarda (Tek silindirli dizel motor ve dizel jeneratör motoru) değişik oranlarda mikroalg biyodizel-dizel yakıt karışımlarının ve mikroalg biyodizel-etanol karışım yakıtlarının motor performans, egzoz emisyonları ve yanma analizi verileri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaçla aşağıda belirtilen sorulara cevap aranmıştır.

- 1- Biyodizel-etanol ve biyodizel - dizel yakıt karışımlarının emisyonlar (CO, CO₂, HC, NO_x) üzerindeki etkileri nelerdir?
- 2- Biyodizel-etanol ve biyodizel - dizel yakıt karışımlarının motor gücünü ve momentini nasıl etkilemektedir. Hangi devirlerde ve hangi yük koşullarında maksimum değerlere ulaşılmaktadır. Dizel yakıt değerleri ile aralarındaki farklılıklar nelerdir.
- 3- Mikroalg esaslı biyodizel-etanol ve biyodizel - dizel yakıt karışımlarının silindir gaz basınç değerlerinin dizel yakıtına kıyasla ÜÖN 'göre değişimleri nasıl gerçekleşmektedir?
- 4- Karışım yakıtlarının ısı açığa çıkış miktarları ve ısı açığa çıkış hızlarının dizel yakıtına oranla değişimleri nasıl olmaktadır?

Yukarıda belirtilen egzoz emisyon değişimleri, motor performansları ve yanma analiz verileri çalışılarak en uygun karışım yakıt oranı ve çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Fosil kökenli yakıtların kullanımından kaynaklanan hava kirliliği ve sera gazı etkisinin artması gibi nedenlerin yanında petrol fiyatlarının yükselmesi ve tükenmesi ihtimali enerji maliyetlerinin de önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Bu ve benzeri

sebeplerden kaynaklanan yakıt alternatifleri üzerindeki araştırmalar devam ederken çalışmaların büyük bir kısmı yeni ve yenilenebilir yakıt olarak bilinen biyodizel yakıtı üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak Biyodizel, hammaddesinin tarım alanlarında gıda üretimi için ayrılan arazilerin bir kısmının daha çok kar elde edileceği düşünülerek yağ bitkisi tarımına ayrılması ile az gelişmiş ülkelerde gıda fiyatlarında artış ve gıda temininde zorluk yaşanmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı atıl durumdaki alanlarda da rahatlıkla yetişebilen üstelik hektar başına verimi diğer biyodizel kaynaklarına göre çok yüksek olan mikroalgler yeni biyodizel kaynağı olarak görülmeye başlamıştır. Mikroalgler ile yapılan farklı çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür.

Bradley vd., (2013) mikrobiyel yağları (microalgae C. Gracilis & Maya & Bakteri) soya yağını ve dizel yakıtını dört zamanlı dört silindirli doğal emişli Z482-ES04 marka motorda test etmişlerdir. Motor deney sonuçlarına göre mikrobiyel yağların zgl yakıt tüketim değerlerinin dizel yakıtına oranla daha yüksek, soya yağına is benzer olduğunu ayrıca mikroalgler dışındaki bütün test yakıtlarının dizel yakıtı oranla daha fazla NOx üretirken mikroalg biyodizel yakıtının daha düşük NOx emisyonu ürettiğini belirtmişlerdir.

Demirbaş (2007), yaptığı bir çalışmada, mikroalglerin diğer yağ bitkilerine göre birim alandan alınan verimlerinin daha yüksek olduğunu ve ayrıca diatom alglerin veriminin 46.000 kg yağ /hektar /yıl olduğunu ifade etmiştir.

Tsaousis vd., (2015) yaptıkları çalışmada mikroalg yağını saf olarak kroton yağı ile tek silindirli dört zamanlı Yanmar marka dizel motorda denemişlerdir. Deneysel alışma sonucunda mikroalg yağının kroton yağından düşük ısıl değerden kaynaklı olarak daha düşük motor gücü ürettiğini, zgl yakıt tketimeinin ise mikroalg yağı kullanımıyla arttığını ifade etmişlerdir.

Tüccar (2011), dört zamanlı dört silindirli Mitsubishi Canter 4D34-2A marka motorla tam yükte farklı devirlerde (1200–2800 d/d) yaptığı deneysel çalışmada mikroalg biyodizel yakıtları (B5, B10, B20 ,B50 ve B100) dizel yakıtı ile kıyaslamıştır. Elde ettikleri motor performans sonuçlarına göre mikroalg biyodizel kullanımı ile motor gücünde ortalama % 6, motor torkunda ise %5.3 düşüşlerin olduğunu, emisyon sonuçlarında ise mikroalg kullanımı ile CO değerlerinde %9.4, CO₂ değerlerinde %4.8, NO_x ise 11.7 azalma olduğunu bildirmiştir.

Rahman vd., (2015) yaptıkları deneysel çalışmada mikroalg yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretmişlerdir. Daha sonra mikroalg biyodizeli

hacimsel olarak belirli oranlarda (%10, % 20 ve % 50) dizel yakıtı ile karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışım yakıtları dizel yakıtı ve atık kızartma yağı ile dört zamanlı dört silindirli Peugeot 308 2.0 HDİ marka motorda test etmişlerdir. Test sonuçlarından B50 kullanımındaki özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına oranla % 9.3 yüksek çıktığını bildirmişlerdir. Bu yüksek özgül yakıt tüketiminin sebebinin ise saf mikroalg yağı kalorifik değerinin dizel yakıt kalorifik değerinden %11 daha düşük olması ile açıklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Hariram vd., (2013) yaptığı çalışmada mikroalg metil esterini tek silindirli direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda denemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), duman koyuluğu ve partikül maddelerde (PM) dizel yakıtına kıyasla azalma, azotoksit (NO_x) emisyonlarında ise dizel yakıtına oranla artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Tsaousis vd., (2015) yaptıkları çalışmada mikroalg yağını saf olarak kroton yağı ile tek silindirli dört zamanlı yanmar marka dizel motorda mukayese etmişlerdir. Deneysel çalışmada yapılan emisyon ölçümlerinde mikroalg yağı kullanımı ile karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM) ve duman koyuluğu değerlerinde yükselme görülürken azot oksit(NO_x) emisyonlarında ise düşme görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Ahmed vd., (2010) yılında yaptıkları çalışmalarında makroalglerden transesterifikasyon metodu ile ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışım yakıtları ve standart dizel yakıtını dört zamanlı dört silindirli hava soğutmalı Isuzu 4FB1 Marka bir motorda belirli devirlerde (800 – 3600 d/d) test etmişlerdir. Özgül yakıt tüketim değerlerinin yakıttaki biyodizel oranının artmasıyla paralel arttığını ve sebebinin ise düşük ısı değeri olduğunu ifade etmişlerdir.

Demirbaş (2010), yaptığı çalışmada farklı mikroalg üretim sistemlerini, bu sistemlerin maliyet ve enerji dönüşümlerini incelemiştir. Biyoyakıtların dış alımları azaltabilecek önemli potansiyele sahip olduğunu ifade etmiştir. Mikroalglerin önümüzdeki yıllarda öneminin artacağını ve mikroalglerin biyohidrojen, biyoetanol, bio-oil, biyokimyasal ve termokimyasal yöntemlerle bimešana dönüştürülebileceğini bildirmiştir. Çalışmasının sonunda ise, mikroalglerin biyodizel için umut verici bir kaynak olduğunu belirlemiştir.

Rahman vd., (2015) yılında yaptıkları deneysel çalışmada mikroalg yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretmişlerdir. Daha sonra mikroalg biyodizeli hacimsel olarak belirli oranlarda (%10, % 20 ve % 50) dizel yakıtı ile karıştırmışlardır.

Elde ettikleri karışım yakıtları dizel yakıtı ve atık kızartma yağı ile 4 zamanlı dört silindirli Peugeot 308 2.0 HDİ marka motorda test etmişlerdir. Test sonuçlarından bütün karışım yakıtların kullanımı ile dizel yakıtına oranla yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarında önemli derecede düşüşler olurken NO ve NOx emisyonlarında ise yükselmelerin gözlemlendiğini ifade etmişlerdir.

Saddam vd., (2013) çalışmalarında John Deere 3203 Marka bir traktör motorunda mikroalg metil esterini MCP-B20 (% 20 Mikroalg *Chlorella Protothecoides* Biodizel ile %80 dizel yakıtı) ile dizel yakıtını gaz keleşinin tam ve yarım açıklığı konumunda test etmişlerdir. Deney sonuçlarından elde ettikleri verilere göre hem motor gücünde hem de motor torkunda mikroalg biyodizel kullanımı ile düşmelerin olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise artışların görüldüğünün ifade etmişlerdir.

Ahmad vd., (2011) yaptıkları çalışmada genel olarak kullanılan biyodizel kaynaklarının (atık yağlar-hayvansal yağlar-bitkisel yağlar) gelecekte yerini mikroalglerle bırakacağını ifade etmiştir. Sürdürülebilir bir gelecek için mikroalglerin en önemli biyoyakıt hammaddesi olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca mikroalg yağı ile diğer bir biyodizel hammaddesi olan palmye yağın kıyaslamışlar ve çalışmalarının sonunda mikroalglerin çevre ve gıda güvenliği bakımından daha etkili olduğunu palmye yağının ise verimsiz ve sürdürülemez bir enerji kaynağı olduğunu ifade etmişlerdir.

Miao vd., (2006) yılında yaptıkları çalışmada mikroalg kaynaklı biyoyakıt üretim yöntemlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında bir mikroalg türü olan *Chlorella protothecoides* yüksek yağ oranına sahip olmasından dolayı tercih ettiklerini bildirmişlerdir. Yağın elde edilmesi için çözücü olarak hegzanı tercih etmişlerdir. Biyodizele çevrim işleminde ise asidik transesterifikasyon metodunu kullanmışlardır. Çalışmalarının sonunda; biyomühendislikle işbirliği yapıldığı takdirde yeni bir süreç olan mikroalglerden biyodizel üretiminden yüksek kaliteli yakıt üretilebileceğini ifade etmişlerdir.

Chisti (2007), yaptığı bir çalışmada geleneksel yakıtların hızla tükendiğini ve sürdürülemez olduğunu vurgulamıştır. Biyodizel üretimi için, hayvansal yağ ve yemeklik atık yağın ihtiyaçlara cevap veremeyeceğini ifade etmiştir. Mikroalglerin güneş ışığını bünyelerinde yağa dönüştürdüğünü ve bünyelerindeki yağın, yağ bitkilerinden daha fazla olduğunu dolayısı ile uygun bir biyodizel hammaddesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Amin (2009), yaptığı bir çalışmada, mikroalgleri büyük potansiyele sahip enerji kaynağı olarak ifade etmiştir. Çalışmasında mikroagllerden biyokimyasal süreçleri

kullanarak biyodizel ve etanol üretilebileceğini, termokimyasal olarak petrol ve gaz üretiminin mümkün olduğunu bildirmiştir. Ayrıca mikroalg yağ içeriğinin bitkisel yağ içeriklerine benzer olması dolayısı ile geleneksel yakıtların yerine kullanılabilir olduğunu bildirmişlerdir.

Eliçin vd., (2012) yaptıkları çalışmada dünya üzerinde bir çok savaşların enerji kaynaklı sebeplerden çıktığını yeni savaşların da aynı sebeplerden çıkma ihtimalinin yüksek olduğunu, ayrıca savaşa sebep enerji fiyatlarındaki artışların alternatif enerji kaynak araştırmalarını zorunlu kıldığını ifade etmişlerdir. Biyodizel kaynakları olan bitkisel ve hayvansal yağların eski cazibesini yitirdiklerini bunlara rakip olarak mikroalglerin (kırmızı, yeşil,mavi) yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Basha vd., (2009) 1980-2008 yılları arasında 130 bilim adamının biyodizel ile ilgili yaptıkları yayınlarını incelemişlerdir. Fosil yakıtların çok hızlı bir şekilde tükendiğini ve alternatif enerji kaynak arayışının zorunluluk olduğunu ifade etmişlerdir. Yaklaşık olarak 350 yağ bitkisinin dizel motorlarda kullanılmasının umut veren bir gelişme olduğunu, bitkisel yakıtların motorlarda kısa süreli kullanımının sorunsuz olduğunu uzun süreli kullanımlarında ise karbon inşa ettikleri için dizel yakıtlarla belirli oranlarda karıştırılarak kullanımının daha uygun olacağını bildirmişlerdir.

Harun vd., (2011) yaptıkları çalışmada fosil kökenli yakıtların kullanımı ile oluşan çevre sorunları ve yakıt fiyatlarındaki sürekli artışın alternatif yakıtları önemli noktaya taşıdığını bildirmişlerdir. Bu noktada mikroalglerin diğer biyodizel kaynaklarına kıyasla daha verimli ve ekonomik olmasının mikroalgleri cazip kıldığını, geleneksel biyodizel üretim metodlarının mikroalgler içinde uygun olduğunu, ayrıca mikroalg yığınlarından metan gazı üretimi yapılarak biyogaz üretilabileceğini ve diğer biyogaz üretim hammaddelerine göre oldukça verimli bir materyal olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; biyodizel ve biyogaz üretimi için mikroalg yetiştiriciliğinde toplam maliyeti indirgemenin mevcut yakıtlarla daha rekabetçi olacağını bildirmişlerdir.

Huang vd., (2010) yaptıkları çalışmada biyodizelin son dönemlerde yoğun ilgi gördüğünü özellikle de palmye, ayçiçek ve soya fasulyesi gibi yağ bitkilerinin üzerine fazlaca makalenin ve raporun hazırlandığını ayrıca mikroalglerin biyodizel kaynağı olarak görülmesinin yeni bir alan olduğunu ve mikroalglerin büyük potansiyele sahip olduklarını belirtmişlerdir. Mikroalg türlerinin genetik mühendisliğince içerdikleri yağ oranlarının artırılmasına dair çalışmalarla gelecekte biyoyakıt üretiminde daha fazla rol oynayacaklarını ifade etmişlerdir.

Ahmed vd., (2010) dört zamanlı dört silindirli hava soğutmalı doğal emişli Isuzu marka bir motorda makroalglerden elde ettikleri B-20 yakıtını (%20 makroalg biyodizeli,%80 standart dizel) dizel yakıtı ile birlikte test etmişlerdir. B-20 yakıtı emisyon içeriğindeki duman koyuluğu değerinin dizel yakıt duman koyuluğu değerlerine oranla etkili bir şekilde azaldığını bu azalmanın sebebini ise biyodizelin içeriğindeki oksijenin yanmayı iyileştirdiği şeklinde ifade etmişlerdir.

Yine aynı araştırmacılar dört zamanlı dört silindirli hava soğutmalı doğal emişli Isuzu marka bir motorda makroalglerden elde ettikleri B-10 yakıtını (%10 makroalg biyodizeli, %90 standart dizel) dizel yakıtı ile birlikte test etmişlerdir. Her iki deney yakıtında 1200 d/d'da dizel yakıtı %0.049 değerinde, B10 yakıtının ise % 0.028 ile maksimum karbonmonoksit ürettiklerini ifade etmişlerdir. B-10 yakıt kullanımı ile elde edilen karbonmonoksit değerlerinin daha düşük olmasının sebebini biyodizelin oksijen içeriğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca NOx emisyonlarında B10 yakıt kullanımı ile %40.4 düştüğünü bildirmişlerdir.

Amin (2009), yaptığı bir çalışmada mikroalglerin yağ oranlarını incelemiş ve bazı mikroalg türlerinin kuru ağırlıklarının yaklaşık %80'nine kadar yağ biriktirebildiklerini çalışmanın sonucunda ifade etmiştir.

Demirbas (2010), yaptığı çalışmada mikroalgleri kimyasal olarak incelemiş, bunların toksin olmadığını ve sülfür içermediğini ayrıca yüksek geri dönüşüme sahip olduğunu belirtmiştir.

Pokoo-Aikins (2009), yaptığı bir çalışmada mikroalglerle doğru oranlarda su, karbondioksit ve besleyiciler sağlandığı takdirde üretecekleri yağın daha verimli olacağını ve günümüzde kullanılan biyodizel kaynaklarına kıyasla daha fazla olacağını ifade etmiştir.

Sheehan vd., (1998) yaptıkları çalışmalarla son dönemlerde alternatif yakıt arayışı araştırmalarında gıda üretimi üzerinde herhangi bir baskı yaratmayan mikroalglerin popüler hale geldiğini ve aynı zamanda CO₂ emisyonunu biyo kütleye dönüştürdüğünü ifade etmiştir.

Saddam vd., (2012) yaptıkları deneysel çalışmada mikroalg metil esterini MCP-B20 (%20 Mikroalg Chlorella Protothecoides Biodizel ile %80 dizel yakıtı) ile dizel yakıtını gaz keleşinin tam ve yarım açıklığı konumunda dört zamanlı üç silindirli 18.8:1 sıkıştırma oranlı bir Yanmar 3TNE88 marka motorda test etmişlerdir. Deney sonuçlarından elde ettikleri verilere göre CO ve CO₂ emisyonlarının motorun hem tam hem de yarım gaz

konumlarında mikroalg biyodizelinin kullanımı ile etkili bir şekilde düştüğünü fakat NO_x emisyonlarında ise yükselmelerin görüldüğünün ifade etmişlerdir.

Bradley vd., (2013) Kubota Z482-ES04 Marka motorda mikro alg yağını (microalgae *C. gracilis*) dizel yakıtı ve diğer alternatif yakıtlarla (soya, maya ve bakteri biyodizeli) kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda mikroalglerden elde edilen biyodizelin kullanımı ile motor güç ve tork değerlerinin dizel yakıtından düşük ama diğer alternatif yakıtlara benzer çıktığını ifade etmişlerdir.

DOE (2006), yaptığı bir çalışmada, saf bitkisel yağların motorlarda kullanımının gerek bakım maliyetlerini arttırdığı gerekse performans ve emisyon değerlerinde bozulmalara sebep olduğunu belirtmiş tercih edilmesi gereken biyodizel yakıtının ise %20 biyodizel %80 geleneksel dizel yakıtının olması gerektiğini savunmuştur.

Niraj vd., (2011) yaptıkları deneysel çalışmada mikroalg yağını transesterifikasyon metodu ile biyodizele çevirmişlerdir. Elde ettikleri mikroalg biyodizeli hem saf olarak hem de dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırarak (%20 mikroalg biyodizel & %80 dizel yakıtı, %50 mikroalg biyodizeli & %50 dizel yakıtı) 11833 SF Model Marka motorla test etmişlerdir. Elde edilen emisyon sonuçlarına göre biyodizelin saf kullanımı ile %18.12, B20 için % 6,4, B50 için % 8,6 ve son olarak dizel yakıtı için %5 oksijen emisyon değerleri tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Varghese vd., (2015) yaptıkları çalışmada mikroalg (*Chlorophyceae*) yağından transesterifikasyon metodu ile elde ettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırarak elde ettikleri (B20, B30 ve B40 yakıtı) karışım yakıtları ve dizel yakıtını Kirloskar AV-1 Motorda test etmişlerdir. Elde edilen emisyon sonuçlarına göre bütün karışım yakıtların hidrokarbonlar ve karbonmonoksit emisyon değerlerinin dizel yakıtına kıyasla daha düşük çıktığını ifade etmişlerdir.

Niraj vd., (2011) yaptıkları deneysel çalışmada mikroalg yağını transesterifikasyon metodu ile biyodizele dönüştürmüşlerdir. Elde ettikleri mikroalg biyodizeli hem saf olarak hemde dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırarak (%20 mikroalg biyodizel, %80 dizel yakıtı ve %50 mikroalg biyodizeli %50 dizel yakıtı) 11833 SF marka motorda test etmişlerdir. Test sonuçlarına göre biyodizelin saf kullanımı ile %1.2, B20 için %2, B50 için %5 ve son olarak da dizel yakıtı için %9 karbondioksit emisyon değerleri, ayrıca B100 : % 0, B20 için % 1, B50 için % ,1 ve dizel yakıtı için ise % ,1 karbonmonoksit değerler tespit ettiklerini ifade etmişlerdir.

2. BIYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır (Saraçoğlu, 2006). Biyokütle, alternatif enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olup, rüzgar ve güneş enerjisi gibi kesikli olmayan güneş ışığı var olduğu sürece fotosentez yolu ile sürekli karbon depolayabilen bir kaynaktır (Konukçu, 1998). Biyokütle kullanılarak farklı ihtiyaç alanlarına yönelik katı, sıvı ve gaz formlarında değişik enerji ürünleri elde edilebilmektedir (Berkes,1993). Biyokütle enerjisinin kolay depolanabilir olması da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre avantaj sağlamaktadır. (Saraçoğlu, 2010). Biyokütle kökenli en önemli dizel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel saf ve motorin biyodizel karışımları olarak kullanılmaktadır. Biyodizel alternatif dizel yakıtı dışında da jeneratör yakıtı, kalorifer yakıtı ve kükürt içermediğinden seralar içinde tercih edilebilir.

2.1. Biyodizel

Biyodizel, bitkisel veya hayvansal yağların uzun zincirli yağ asitlerinin metil esterlerinden oluşturulan ve “B100” şeklinde formüle edilen yakıt türüdür. Günümüzde biyodizel yakıt özellikleri Amerika’da ASTM D6751, Avrupa ülkelerinde ise EN 14214 standardına göre belirlenmektedir (Knothe, 2010). Biyodizel, petrol dizellerle karşılaştırıldığında biyolojik olarak parçalanabilir, zehirsiz özellikte ve daha düşük emisyon değerlerine sahiptir. Biyodizel kullanımı tarım, ekonomik gelişme ve çevre arasında dengenin kurulmasını sağlamaktadır (Meher vd., 2006). Günümüzde biyodizel petrol temelli dizel yakıtların yerini tamamen alması bile, üretimini destekleyen birçok neden vardır. Bu nedenlerin başında bitkisel ve hayvansal yağların üretimi için pazar oluşturması, ülkelerin petrol ithalatına olan bağımlılığını azaltması, yenilenebilir özelliği ve kapalı karbon döngüsü sayesinde küresel ısınmaya katkı sağlamaması, petrol temelli dizelle karşılaştırıldığında tüm CO₂ emisyonunu %78 oranında azaltması, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbon ve tanecikli emisyon çıkışının normal dizel yakıtından daha düşük olması gelmektedir (Huzayyin, 2004). Bu özellikleri sayesinde normal dizel yakıtta %1–2 oranında biyodizel eklendiğinde, zayıf yağlama özellikleri ile yakıtı modern ultra düşük sülfür dizel yakıtında olduğu gibi kabul edilebilir yakıt haline

dönüştürebilir(Contoni, 1993). Buna karşın biyodizelin bir çok emisyon testi nitrojen oksitlerin çok az miktarda da olsa arttığını göstermektedir (Gerpen, 2005).

2.2. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Bitkisel ve hayvansal yağlar başta olmak üzere atık yağlar, yağ teknolojileri yan ürünleri ve bazı mikroorganizmalar biyodizel üretiminde kullanılan temel hammaddelerdir.

2.2.1. Atık yağlar

Dizel motorları için biyokütleden üretilen yağlar ve atıklarından elde edilen yenilenebilir alternatif yakıtlar biyodizel olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel kaynaklarının büyük bir kısmını bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır ancak bu yağların maliyetlerinin yüksek olması biyodizel yakıtların yaygınlaşmasının önündeki en önemli problemi oluşturmaktadır. (Sabudak ve Yildiz., 2010). Bu sebeple atık hayvansal yağlar, kullanılmış kızartma yağları, soap-stock (bitkisel yağ rafinasyonu yağ ürünü) gibi ucuz ürünler biyodizel için hammadde olarak düşünülebilir (Felizardo vd., 2006). Sanayi ve evsel kullanımlardan kaynaklanan ve giderek artan atık kızartma yağları, tüm dünyada problem oluşturmaya başlamıştır. Atık kızartma yağlarının transesterifikasyon ile biyodizele katalitik dönüşümü hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan yarar sağlamaktadır (Sabudak ve Yildiz, 2010). Atık bitkisel yağların biyodizel üretiminde kullanımı üretim maliyetini azaltmak için etkili bir yoldur; çünkü atık bitkisel yağlar ham yağlara göre 2-3 kat daha ucuzdur (Morais vd., 2010). Atık yemeklik yağların biyodizel üretiminde kullanımı, atık yağın bertaraf edilmesi problemini de ortadan kaldıracaktır (Huynh vd., 2011) .

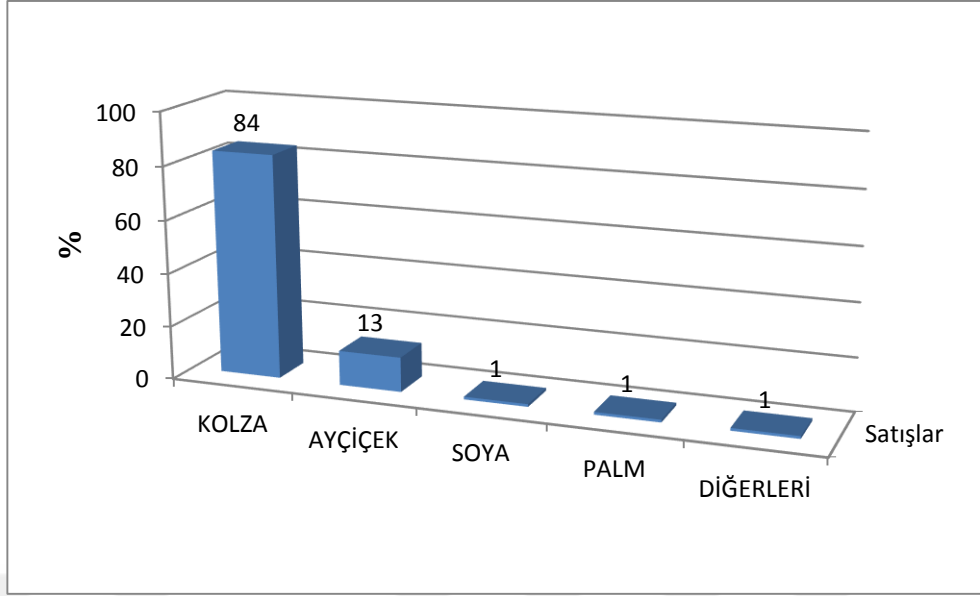
2.2.2. Hayvansal yağlar

Hayvansal yağlar ve bu yağların temizlenmesi için kurulan tesislerin yüksek asit değerleri çevre kirliliğini önemli derecede arttırmaktadır. Bu sebeple mezbahane tesislerinde bol miktarda mevcut olan bu düşük kalitedeki yağların ticari biyodizele dönüşümü çevresel zararların minimize edilmesi için iyi bir fırsattır (Cunha vd., 2013). Bitkisel kaynaklı biyodizelin aksine, hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel, yüksek ısı

değer ve setan sayısı bakımından daha avantajlıdır(Öztürk, 2004). Dezavantajları ise; hayvansal yağlarda doğal antioksidanların bulunmaması nedeniyle oksidasyon kararlılığının az olması ve doymuş yağ asidi içeriğinin fazla olması sebebiyle soğuk filtre tıkanma noktasının daha yüksek olmasıdır (Dias vd., 2012)

2.2.3. Bitkisel yağlar

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması çok eskiye dayanmaktadır. İlk olarak dizel motorunun mucidi Rudolph Diesel, 1898'de düzenlenen Paris'teki Dünya Sergisinde fıstık yağı ile çalıştırdığı dizel motorunu sergilemiştir(Georing vd., 1982). Bitkisel yağlar, 1920'lerin sonuna kadar kullanılmış, petrol endüstrisinin gelişmesiyle ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtın maliyetinin daha az olması ile birlikte, bitkisel yağlara olan ilgi azalmıştır (Alptekin vd., 2010). 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinin sonucunda alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan birçok çalışma, bitkisel yağların kısa süreli ve acil durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir(Öğüt, 2006). Çünkü bitkisel yağlar uzun kullanım süresinde enjektörlerde birikintiler, piston segmanlarının yapışması, motor yağında seyrelme gibi birçok motor problemine sebep olmuştur. Bu nedenle, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir (Demirbaş, 2009). Bitkisel ve hayvansal yağların, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilerek yakıt olarak kullanılabilmesi için mevcut birkaç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; direkt kullanım ile ham yağların karıştırılması yöntemi, mikro emülsiyon oluşturma yöntemi, termal parçalama yöntemi ve transesterifikasyon yöntemidir (Leung, 2010). Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağların değişik oranları Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel hammadde kaynakları (Yaşar, 2009).

2.2.4. Algler

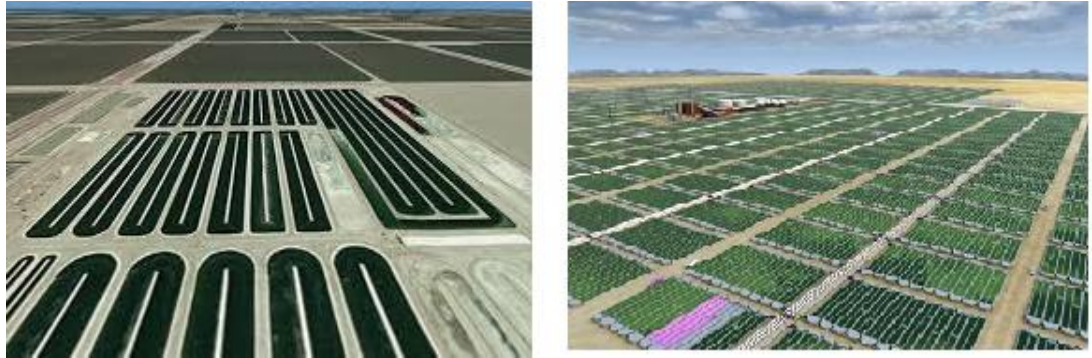
Besin zincirinin ilk halkasını oluşturan alglerin değerli bir besin kaynağı olduğu bilinmektedir. (Koray, 2002). Algler, farklı kimyasal ve biyolojik bileşikleri üretme özelliği nedeniyle ticari önemi olan organizmalardır. Mineraller, proteinler, vitaminler ve lipidler alglerden elde edilen başlıca ürünlerdir (Demirbaş, 2011). Alglerin sadece balık yetiştiriciliğinde değil aynı zamanda gıda, ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılması onların kültür çalışmalarını hızlandırmıştır. Algler fotosentez yoluyla ışığı soğurup, inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren, oldukça basit yapıda, canlı, sucul organizmalardır (Oilgae, 2010). Küçük tek hücreli türlerden, karmaşık çok hücreli yapılara kadar çeşitlilik gösterirler. Algler, dünyada biyolojik CO₂/O₂ dönüştürücü olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda, biyomasın en önemli birincil üreticileri olup, organizmalar içinde en değerli ekolojik gruplardan biridir (Converti, 2009). Özellikle, mikroalgler üzerinde yapılan son biyoteknolojik ve teknik incelemeler, gıda, ziraat, yem, çevre ve kozmetik gibi alanlarda kullanımlarını arttırmaya yöneliktir. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen alanlara yapacağı katkılarından dolayı alg üretiminin biyoteknolojik bir temele dayandırılması önemli bir konudur. Mikroalgler en eski yaşam formlarından biridir. Kök, gövde ve yaprakları yoktur. Mikroalg yapıları enerji korunumuna öncelik verir ve onların basit gelişimleri, hakim olan çevre koşullarına adaptasyonlarına ve uzun vade de gelişimlerine olanak sağlar (Thomsen, 2010)

2.3. Mikro alglerin üretim sistemleri

Mikroalgler iki çeşit üretim sistemi ile üretilmektedir. Bunlar; açık üretim ve kapalı üretim sistemleridir. (Konuralp vd., 2009)

2.3.1. Açık üretim sistemleri

Açık üretim sistemleri mikroalg yetiştiriciliğinin en temel yöntemidir. Bu yöntemle mikroalg üretilmesindeki temel amaç düşük maliyet ile yüksek verim elde edilmesidir. Açık sistemlerin avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Kuruluş maliyetlerinin düşük olması açık sistemlerinin en büyük avantajıdır. Açık havuz sistemleri kontrolü düşük sistemlerdir. Belirlenen hedeflere ulaşmakta bundan dolayı oldukça zordur. Sistemin kontrol edilemeyişi üretim miktarını düşürmekle beraber istenmeyen türlerinde sistemde çoğalmasına sebep olmaktadır. Açık havuz sisteminde tek kültür yetiştirmek, uç değerlere sahip kültür ortamının korunmasıyla mümkündür. Hücrelerin ışıktan faydalanmalarının düşük olması, buharlaşma kayıpları CO₂'nin atmosfere yayılması ve geniş arazi gereksinimleri açık havuz sistemlerinin temel olumsuzluklarını oluşturmaktadır (Ugwu, 2008). Şekil 2.2.'de dış mekân üretim havuzları görülmektedir.



Şekil 2.2. Dış mekân üretim havuzları

Mikroalglerin açık sistemlerde yetiştirilmesi esnasında yetersiz ışık, kontrol edilemeyen sıcaklık ve yetersiz karıştırma gibi faktörler biyokütle verimini düşürmektedir. Üç farklı açık sistem mikroalg yetiştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar açık havuz sistemleri karıştırılmayan, dairesel ve su kanallı havuzlardır. Her bir yöntemin kendine ait maliyet, verim sürdürülebilirlik gibi üstün ve zayıf yanları bulunmaktadır. Şekil 2.3.'de geniş dairesel üretim havuzları görülmektedir (Gezici, 2012).



Şekil 2.3. Geniş dairesel üretim havuzları.

2.3.2. Kapalı sistemler (Fotobiyoreaktörler)

Kapalı mikroalg üretim sistemleri fotobiyoreaktör olarak isimlendirilmektedir. Fotobiyoreaktörlerin açık sistemlere göre en belirgin üstünlükleri kontrol edilebilmeleri ve kirlenmelere karşı yetiştirme ortamının korunabilmesidir. Kirlenme, istenilen mikroalg türünün gelişimini olumsuz etkileyecek bileşenlerin sisteme girmesi ve yetiştirilmesi düşünülmeyen türlerin sistemde çoğalmasındır. Uzun süreli tek tür mikroalg kültürünün açık sistemlerde mümkün olmadığı, ancak bunun kapalı sistemlerde mümkün olduğu bilinmektedir. Açık havuz sistemleri ile mukayese edildiğinde, kapalı sistemlerin daha fazla fotosentetik verim, biyokütle üretkenliği ve biyokütle derişimi sağlamaktadır. Fotobiyoreaktör sistemlerinin daha iyi çevre kontrolü ve hasat veriminden dolayı yüksek verimlilik potansiyeline sahip olması bu sistemler için bir üstünlüktür(Chini vd., 2000). Fotosentez sonucu oluşan ürünlerden biri de oksijendir(Straka vd., 2000). Açık sistemlerde oluşan oksijen doğrudan atmosfere salınmakta iken fotobiyoreaktörlerde çözünmüş oksijen seviyesinin düzenlenmesi mikroalg gelişimi için önemli bir unsurdur. Aşırı miktardaki çözünmüş oksijen fotosentezi engellemektedir. Bundan dolayı çözünmüş oksijenin bertarafı, fotobiyoreaktörlerde aşılması gereken bir problemdir. Bu durum fotobiyoreaktörlerin büyük ölçekte inşası açısından sıkıntı yaratmaktadır. Şekil 2.4.'de dış mekân fotobiyoreaktör tipleri görülmektedir



Şekil 2.4. Dış mekan fotobiyoreaktörler.

Yüksek sıcaklık, aydınlatma sisteminde kullanılan malzemelerde oluşan hasar fotobiyoreaktör kullanımının olumsuzlukları arasında yer alır (Sukatar, 2002). Açık havuz sistemlerinde buharlaşma ile aşırı sıcaklık artışı engellenmekte iken, fotobiyoreaktörlerin kapalı yapısı buna imkan tanımamaktadır (Yılmaz, 2006). Yetiştirme ortamındaki yüksek sıcaklıklar mikroalg üretim verimini düşürme hatta mikroalg gelişimini tamamen durdurabilmektedir (Naz, 2004) Tablo 2.1’de Mikroalglerin ortalama üretim şartları görülmektedir. Mikroalg üretiminin devamını sağlamak için, sistemin aşırı ısınması durumunda soğutulması gerekmektedir.

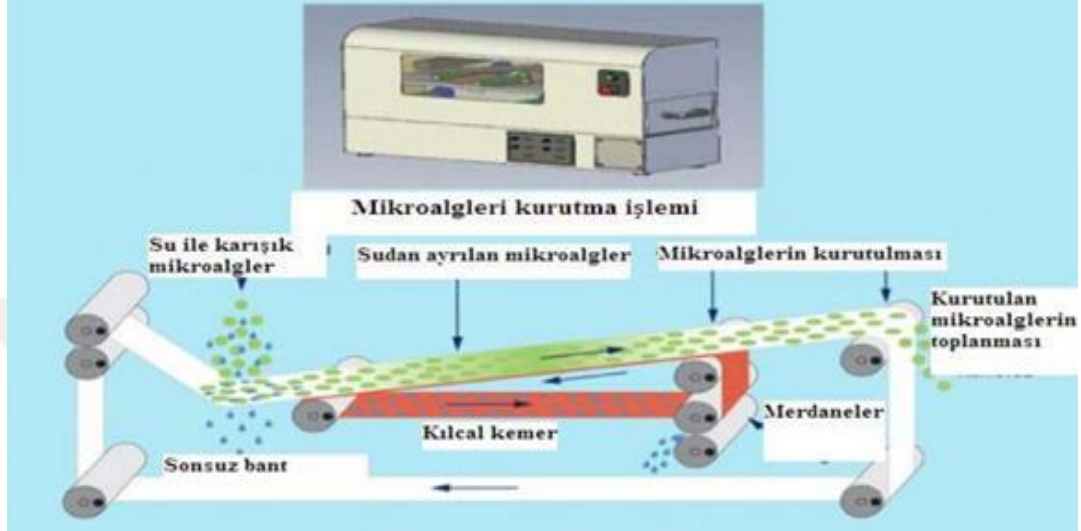
Tablo 2.1. Mikroalglerin ortalama üretim şartları (Eliçin vd., 2012)

Parametreler	Sınır değerleri	Optimum şartlar
Tuzluluk (g/l)	12-40	20-24
Sıcaklık(°C)	16-40	18-24
Işıklanma süresi (gündüz:gece h)	-	16:8 minimum 24:0 maksimum
Ph	7-9	8,2-8,7
Işık yoğunluğu(lux)	1000-10000	2500-5000

2.4. Mikroalglerden Yağ Elde Edilmesi

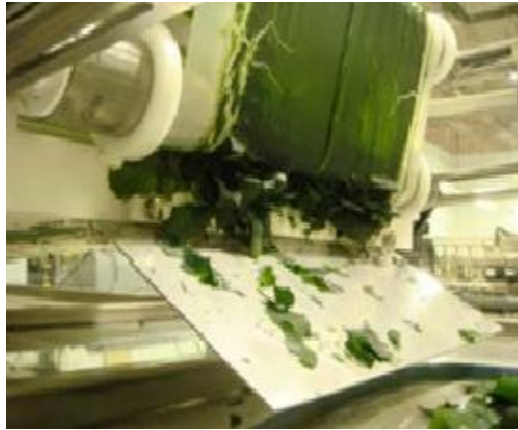
Mikroalg kültüründe yapılan hücre sayımı istendik seviyeye geldiğinde olgunlaşmış mikroalgler ayrı bir ortama alınarak streslendirmeye tabi tutulurlar. Streslendirme işlemine tabi tutulan mikroalglerle burada yoğun olarak katalizör verilir. Bu işlem mikroalglerde yağ

elde edilmesi öncesinde hızlı bir şekilde yağ biriktirmelerini sağlamaktadır. Streslendirme sonrasında yağ elde edilmesinin gerçekleşebilmesi için mikroalglerin hasat ünitesinde suyundan arındırılması gerekmektedir. Lab-50 mikroalg hasat ünitesi içerisinde dolaşan hava sayesinde ve sonsuz dönen bir bant yardımı ile mikroalgler susuz hale getirilir. Şekil 2.5'te Lab – 50 mikroalg hasat işlemi görülmektedir.



Şekil 2.5. Mikroalg hasat ünitesi

Hasat ünitesinden geçirilerek tamamen suyundan arındırılan mikroalglerle pul denilmektedir. Pullar içerdikleri yağlarından ayrılabilmeleri için baskı makinalarında işleme tabi tutulurlar. Şekil 2.6.'da mikroalg yağ çıkarma makinası, Şekil 2.7.'de yağ çıkarımına hazır pul görülmektedir.



Şekil 2.6. Yağ çıkarılma işlemi



Şekil 2.7. Yağ çıkarılmaya hazır pul

2.5. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi

Mikroalgler yapılarındaki yağı üretirken, yağ bitkilerine göre, güneş ışığını ve CO₂'i daha etkili kullanan organizmalar olup, bölünme potansiyelleri ve büyüme hızları da oldukça yüksektir(Say, 2010) Hızlı büyüme sırasında mikroalgin biyokütleyi ikiye katlama süresi 3,5 saattir (Tilman, 2006). Bu nedenlerle, mikroalgler, geniş tarımı yapılan yağ bitkilerine oranla, küçük alanlarda, daha büyük miktarlarda ve daha düşük maliyetlerle üretilme olanağı vardır. Mikroalg verimliliklerinin diğer biyodizel kaynakları ile mukayesesi Tablo 2.2.'de verilmiştir. Alglerden biyodizel üretimi en yüksek verimi ve enerjiyi sağlamaktadır(Bozbas, 2008). Endüstriyel ölçekte yüksek verim sağlamak için mikroalg üretimi ılıman iklime sahip bölgelere kurulan açık havuzlarda ya da seraların içine yerleştirilen havuz veya fotobiyoreaktörlerle yapılabilmektedir (Larsson vd., 2011).

Tablo 2.2. Çeşitli bitkisel yağların verimi (Kruse, 2008)

Ürün	Hektar başına litre yağ
Mısır	172
Kanola	1190
Palmiye	5950
Aspir	779
Soya	446
Ayçiçeği	952
Mikroalg(%70 yağ içerikli)	136900
Mikroalg (%30 yağ içerikli)	58700

2.6. Mikroalglerin Yakıt Özellikleri

Mikroalgler, bünyesinde yaklaşık % 80 den fazla oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asit (C16:1) gibi yağ asitleri sayesinde yüksek enerji içerirler. Tablo 2.3'de mikroorganizmaların biyodizel üretiminde birinci derece önemli olan yağ asit kompozisyonları görülmektedir. Bu sebeple mikroalgleri yakıtı çevirmek oldukça elverişlidir. Tablo 2.3.'de Mikroorganizmaların biyodizel üretiminde birinci derecede önemli olan yağ asit kompozisyonları görülmektedir (Feng vd., 2005).

Tablo 2.3. Mikroorganizmalarının biyodizel üretiminde birinci derecede önemli olan yağ asit kompozisyonları (Xu vd., 2006)

	16:0 Palmitik asit	16:1 Palmiteloik asit	18:0 Stearik asit	18:1 Oleik asit	18:2 Linoleik asit	18:3 Linolenik asit
Maya	11-37	1-6	1-10	28-66	3-24	1-3
Mantar	7-23	1-6	2-6	19-81	8-40	4-42
Bakteri	8-10	10-11	11-12	25-28	14-17	-
Mikroalg	18-21	55-57	1-2	58-60	4-20	14-30

2.7. Alglerin Avantajları

Alglerin diğer yağ bitkilerine göre yetiştirilmesinin bazı avantajları vardır. Bu avantajlar aşağıda sıralandığı gibidir.

Yoğun çevre kirliliği oluşturan baca gazlarında yetişebilmektedir

Atık ve artıkları başta kozmetik sektörü olmak üzere pek çok alanda kullanılabilir.

Birim alandan yağlı tohumlara göre daha fazla yağ elde edilebilmekte ve 45 günde bir hasat edilmesi sebebiyle tesislere sürekli hammadde temini mümkün olmaktadır.

Sularda yetiştiği için tarım alanlarını işgal etmemektedir

İnsan gıdası olarak kullanılmadığı için, gıda fiyatları üzerinde baskı oluşturmamaktadır.

Algler şehir atık sularının deşarj edildiği yerlerde yetiştirilebilmektedir.

Yeni istihdam alanları oluşturmaktadır

Bazı mikroalg türleri diğer biyodizel kaynaklarından daha fazla yağ içerirler. Tablo 2.4.'de bazı mikroalglerin yağ içerikleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Bazı mikroalglerin yağ içerikleri (Mata vd., 2010).

Mikroalg	Yağ içeriği (kuru üründe ağırlık %)
Schizochytrium sp	50-77
Dunaliella sp.	17-67
Chaetoceros muelleri	33
Chlamydomonas reinhardtii	21
Chlorella emersonii	25-63
Chlorella sorokiniana	10-48
Chlorella protothecoides	14-57
Neochloris oleoabundans	19-22
Chlorella sp.	29-65
Chlorella vulgaris	5-58
Cryptocodinium cohnii	20-51
Dunaliella salina	6-25
Dunaliella tertiolecta	16-71
Chlorella minutissima	57
Euglena gracilis	14-20
Ellipsoidion sp	27
Haematococcus pluvialis	25
Isochrysis sp.	7-33
Monallanthus salina	20-22
Nannochloris sp	20-56
Nannochloropsis oculata.	22-29
Nannochloropsis sp	12-53
Pyrrosia laevis	69,1
Pavlova salina	30
Prostanthera incisa	62
Prymnesium parvum	22-39
Pavlova lutheri	35
Phaeodactylum tricornutum	18-57
Scenedesmus obliquus	11-55
Skeletonema costatum	13-51
Scenedesmus dimorphus	16-40
Botryococcus braunii	25-75
Isochrysis galbana	7-40
Zitzschia sp.	45-47
Ankistrodesmus sp.	24-31

3. METARYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; doktora çalışmasının deneysel kısmını meydana getiren mikroalg biyokütleden ekstraksiyon metodu ile yağ elde edilmesi, mikroalg yağının transesterifikasyon metodu ile biyodizele dönüştürülmesi, elde edilen biyodizel ile karışım yakıtlarının (MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12) hazırlanması ve dizel yakıtı ile karışım yakıtların motor performans, egzoz emisyonları ve yanma analiz sonuçları üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan materyal ve metotlardan bahsedilmiştir.

3.1. Deney Donanımı

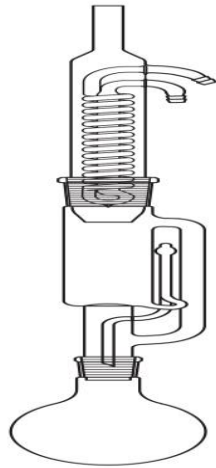
Mikroalg biyokütleden yağ elde edilmesi ve elde edilen yağın biyodizele dönüştürülmesi deneyleri, Diyarbakır Tarımsal Araştırmalar Labaratuarında gerçekleştirilmiştir. Biyo kütleden yağ elde edilmesi deneylerinde Gerhardt marka döner buharlaştırıcı ve soxhelet ekstraksiyon düzeneği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan döner buharlaştırıcının görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1.Döner buharlaştırıcı (Evaporatör) görünümü

3.1.1. Sokselet ekstraksiyon cihazı

Ham yağ miktarı yaygın olarak Soxhelet Ekstraksiyon yöntemi ve sistemiyle tespit edilmektedir. Bu sistem, genelde ısıtıcı ceket, balon, gövde ve geri soğutucu bölümlerinden oluşmaktadır (Perry, 1985). Soxhelet ekstraksiyonda tayinin esası, homojen hale getirilmiş kütlede, mevcut yağı çözebilen bir solvent ile yağın alınması ve sonrada solvent + yağ karışımından solventin uçurularak geride kalan yağın tartılarak tespit edilmesine dayanır(De Castro, 2010).Prensip olarak içerisinde çözücü konmuş olan balon sistemin ceket kısmına yerleştirilir. Daha sonra balon üzerine, iç kısmına numunenin yerleştirildiği kartuş bulunan gövde takılır. Gövde üzerine de geri soğutucu yerleştirilir ve geri soğutucuya bağlı musluk açılır. Ceket sıcaklığı, çözücünün kaynama noktası sıcaklığına veya daha yukarı bir sıcaklığa getirilir. Çözücünün kaynaması ve buharlaşması ile birlikte geri soğutucu bölmeye yükselmesi, burada suyun soğukluğuyla teması sonucu yoğunlaşarak gövde kısmına dolayısıyla numunenin bulunduğu kartuş üzerine damlaması neticesinde ekstraksiyon işlemi başlamaktadır. Çözgenin zamanla gövde içerisine dolmasıyla birlikte, gövdede bulunan sifon kısmına gelerek tekrar alt tarafta bulunan balon içerisine boşalması ve bunun 4-6 saat süreyle aynı şekilde tekrarlaması numune içerisinde yağın alınmasını sağlamaktadır(Geankoplis, 1983). Bu şekilde numuneden çözgenle yağ çözülerek balon içerisine alınmakta, böylece balon içerisine yağ+çözgen karışımı toplanmaktadır. Daha sonra balon içerisinden çözgen buharlaştırılmak suretiyle kalan yağ etüvde 105°C'de 15-20 dakika süreyle kurutularak tartılmakta ve numunenin % yağ miktarı tespit edilmektedir. Şekil 3.2. Sokselet ekstraksiyon cihazı şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.2. Sokselet ekstraksiyon cihazı şematik resmi

3.1.2. Selüloz Ekstraksiyon Kartuşu

Mikroalg kuru kütleden beklenen yağ içeriğine göre kaba süzgeç kağıdı üzerine 5-10 g kuru kütle tartılır ve süzgeç kağıdı da katlanarak kartuşa alınır, numunenin çözgen ile kartuş dışına taşınmaması için üzeri yağsız pamukla kapatılır ve kartuş ekstraktöre yerleştirilir.

3.1.3. Kullanılan çözücünün seçimi

Ekstraksiyon işlemi için seçilen çözücü istenilen maddeyi çözebilen yapıda olmalıdır. Çözücü ekstrakte edilen katıdan ve ekstre çözücünden (çözünen+çözücü) kolayca ayrılabilme özelliğine sahip olmalıdır(Mccabe, 2001). Ekstraksiyon işleminden sonra elde edilen üründen kolayca ayrılabilmesi için düşük kaynama noktasına sahip çözücülerin kullanılması tercih edilmelidir(Seader, 1998). Ekstraksiyon işleminde yüksek sıcaklıklarda çalışmak çözünen maddenin çözücüye geçişini hızlandırır. Ekstre edilecek katının yapısına bağlı olarak sıcaklıkla ekstraksiyon verimi artmasına rağmen, yüksek sıcaklıkta bazı bileşenlerin yapısında bozunmalar oluşabilir ve arzu edilmeyen bileşikler de çözünebilir(Treybal, 1980). Tablo 3.1.'te Ekstraksiyonda yaygın olarak kullanılan çözücüler ve özellikleri verilmiştir. Deneylerde çözücü olarak hekzan tercih edilmiştir.

Tablo 3.1. Ekstraksiyonda kullanılacak çözücülerin genel özellikleri (Mccabe vd., 2001)

Çözücü	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/mL)	Yanıcılık ^b	Toksiklik ^b	Uygunluk
Hekzan	68,7	0,65	+++	+	Kolay uzaklaştırılır
Benzen	80,1	0,87	+++	+++	Genel kullanımlar için aşırı toksiktir.
Eter	34,6	0,71	+++	+	Özellikle oksijen içeren bileşikler için iyi bir çözücüdür.
Kloroform	61,7	1,48	-	+++	Kolay uzaklaştırılır. Toksikdir.
Etil asetat	77,1	0,89	+++	+	
Diklorometan	39,7	1,31	-	++	Genel kullanım için iyi bir çözücüdür;
I-Butanol	117,7	0,81	++	+	

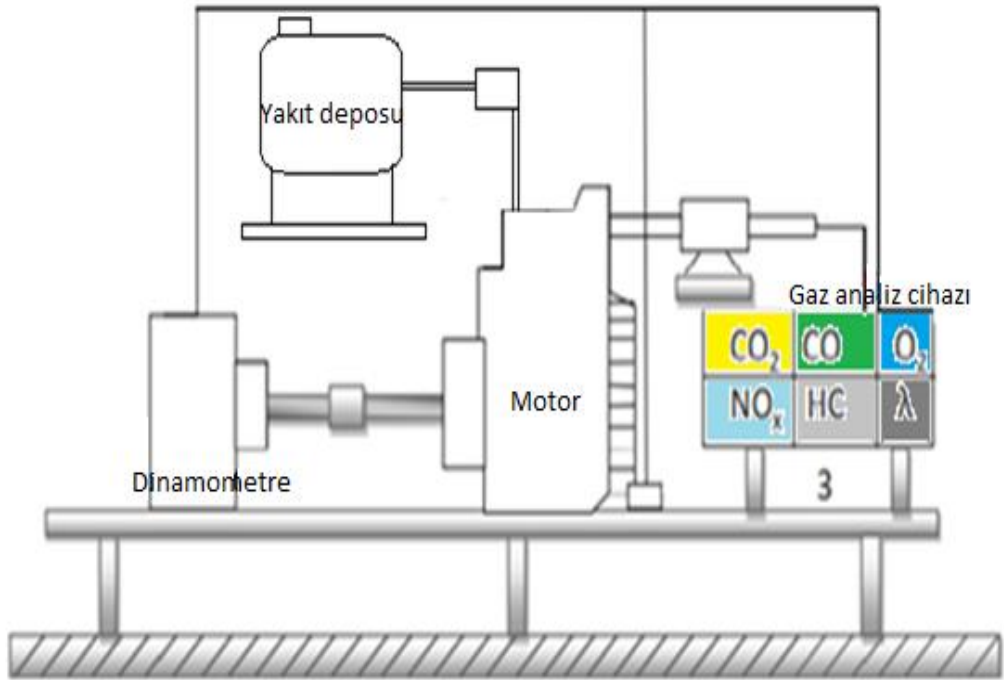
b + = en az yanıcı/toksik, +++= en fazla yanıcı/toksik

3.1.4. Deneylerde Kullanılan Motorlar

Elde edilen deney yakıtları farklı iki dizel motorda test edilmiştir bu motorların ilki tek silindirli dizel motoru diğeri ise bir jeneratör dizel motordur.

3.1.4.1 Tek silindirli deney motoru

Tek silindirli motor deneyi, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında, maksimum gücü 13 HP, silindir hacmi 640 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Antor marka bir dizel motorunda yapılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 3.2.'de Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Tablo 3.2. Deney Motorunun teknik özellikleri

Markası	Antor
Model	Diesel 4LD640
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	638cm ³
Sıkıştırma oranı	17/1
Motor devri	3000 d/dk
Maksimum güç	13 HP (3000 rpm)
Maksimum motor hızı	3000 rpm $\pm$ 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Maksimum tork	3.5 kg.m (@1800rpm)
Çalışma sistemi	Opsiyonel (ipli-marşlı-kollu)
Boş Ağırlık	98 kg
Karter Yağ Kapasitesi	2,6lt
Yağ Tüketimi	24 gr/saat
Özgül Yakıt Sarfıyatı	190 gr/BG.saat

3.1.5. Gaz Analiz Cihazı

Mikroalg yağından elde edilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak dizel yakıtı ile % 5 biyodizel + % 95 dizel yakıtı (MCP-B5 yakıtı), % 25 biyodizel + %75 dizel yakıtı (MCP-B25 yakıtı) ve % 50 biyodizel + % 50 dizel yakıtı (MCP-B50 yakıtı) şeklinde karıştırılarak yeni üç adet karışım elde edilmiş, bu karışımlar saf biyodizel (MCP-100) ve dizel yakıtının (D2 yakıtı) yanması sonucu oluşan emisyon gazlarının analizi için TESTO 350 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Gaz analiz cihazının görünüşü şekil 3.4.'de teknik özellikleri Tablo 3.3.'da görülmektedir. Bu gaz analiz cihazı ile egzoz emisyon ürünleri olan yanmamış hidrokarbonlar (HC) (ppm), Karbondioksit (CO₂) (%), Karbon monoksit (CO) (%), Oksijen (O₂) (%), Azot oksitleri (NO_x) (ppm) ve Lambda (-) değerleri ölçülmektedir.



Şekil 3.4. Gaz analiz cihazı

Tablo 3.3. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme aralığı	Hassasiyet
CO ₂	%...+50	%±0.3
CO	0.....+10000 ppm	%±5 ppm
O ₂	% 0.....+25	%±0.8
SO ₂	0.....+5000 ppm	%±5 ppm
NO	0 ... +4000 ppm	%±5
HC	0.....40000 ppm	%±5 ppm

3.1.6. Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni

Yakıt tüketimi değişimleri incelenirken, saatlik yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olan özgül yakıt tüketimi değerlerinden yararlanılır. Yakıtın hacminin ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. İki çizgi arasındaki hacim hesaplanarak bu hacmin ne kadar süre içerisinde tüketilmesine göre birim sürede tüketilen yakıt miktarı bulunur. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi litre/saat olarak bulunur. Bu değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak, kg/h olarak yakıt tüketimi belirlenir. Bu çalışmada

yakıt ölçüm düzeninde 50 ve 100 ml hacminde olan bölmelerdeki yakıtın harcanma zamanı kronometre ile saptanarak ilgili bağıntıdan özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

3.1.7. Dijital Ekranlı Dinamometre

Motor test standı (Bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri Tablo 3.4.'de verilmiştir. İzleme cihazının üzerinde motor devrini rpm (d/d) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kg.m olarak gösteren ekranlar mevcuttur. Ayrıca, motora uygulanan yük kademeli olarak %10'ar dilimler halinde değiştirilebilmektedir. Böylelikle motora uygulanan yük azaltılıp artırılabilir. Dinamometre kontrol sistemi Şekil 3.5.'de görülmektedir.



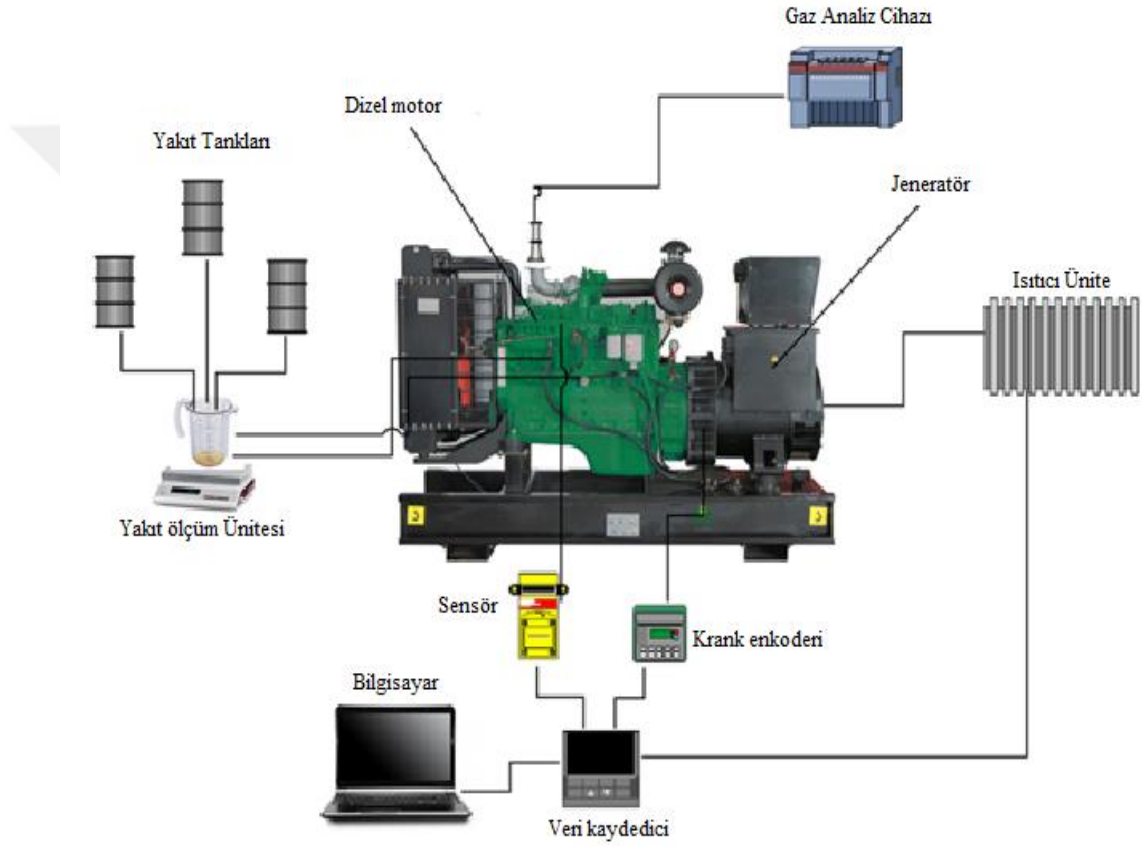
Şekil 3.5. Dijital Ekran

Tablo 3.4. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazının teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	%0,2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell)
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Ekran tipi	3x6 adet, 7- Bölgeli LED 2x16 karakter LCD
Güç sarfıyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50 °C
Çalışma gerilimi	220± %5 VAC

3.1.8. Jeneratör Dizel Motoru

Jeneratör dizel motoru deneyi Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında 4 zamanlı 4 silindirli su soğutmalı direk püskürtmeli NWK22 bir dizel motorlu jeneratörde yapılmıştır. Dizel motor ET2LBR model alternatöre bağlanmıştır. Alternatör çıkışı elektrik beslemesi kumanda panosuna girmektedir. Panoda voltaj ve akım değerleri kontrol edilerek dirençlerin bulunduğu ısıtıcı şalterler vasıtasıyla kumanda edilmektedir. Şekil 3.6.'da deney test düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.6. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Yakıt tüketim zamanını belirlemek için dijital süre ölçer kullanılmıştır. Motorun yakıt deposu yerine başka bir yakıt deposu terazi üzerine yerleştirilmiş ve borular yardımıyla yakıt hattına bağlanmıştır. Egzoz gaz emisyonları ölçümünde Capelec Cap 3200 model egzoz gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Tablo 3.5.'de gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5. Capelec Cap 3200 gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO ₂	%0-20	%0,1
CO	%0-15	%0,001
O ₂	%0-21,7	%0,01
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm

Deney sırasında alınan veriler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra kaydedilmiştir. Yeni bir deneye başlamadan önce motor soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca bir önceki deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor stop edene kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve daha sonra yakıt deposu yeni yakıt ile doldurularak deneylere başlanmıştır. Motorun yüklenmesi jeneratöre alıcı bağlayıp elektrik enerjisini (3 farklı kademede 16A, 32A ve 42A) çekmek suretiyle yapılmıştır. Tablo 3.6.'da Alternatör Teknik Özellikleri, Tablo 3.7.'de Dizel Motor Teknik Özellikleri verilmiştir. Motor gücü (P_e) jeneratörün gösterge panosundan okunan akım şiddeti (I) ve gerilim (V) değerlerinin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Motor gücünün ölçülmesinde aşağıdaki denklem (1) kullanılmıştır.

$$P_e = I.V \quad (1)$$

Tablo 3.6. Alternatör Teknik Özellikleri

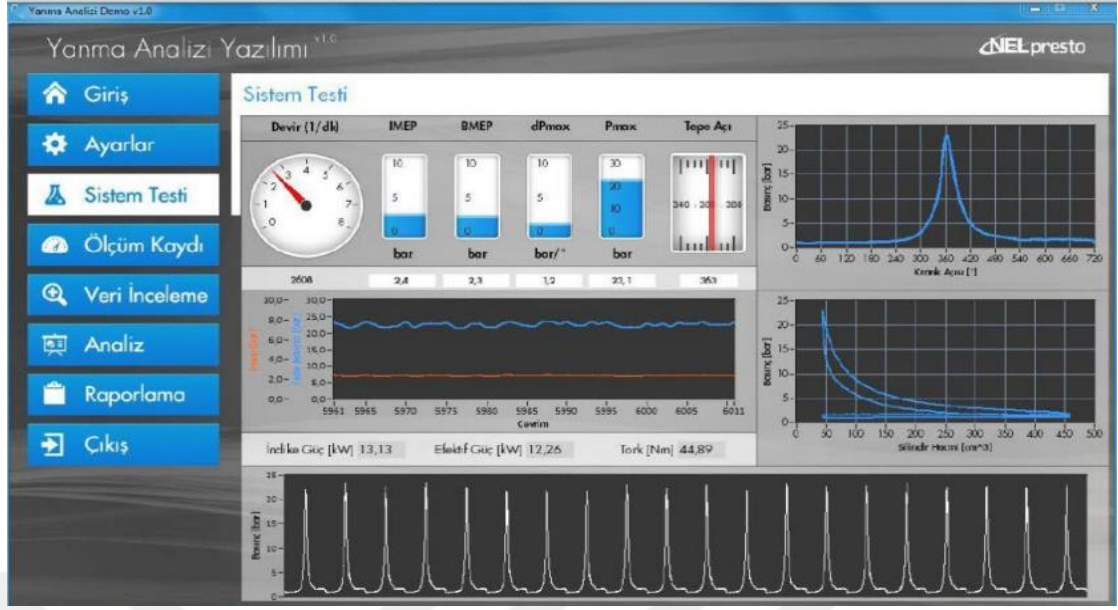
Model	ET2LBR
Tip	Synchron, Fırçasız
Standart Voltaj	23 /400 V - 50 HZ
Güç Faktörü cos Q	0,8
Devir	1500

Tablo 3.7. Dizel Motor Teknik Özellikleri

Üretici	NWK22
Motor gücü@1500d/d	18kW
Motor soğutma sistemi	Su soğutmalı
Emme sistemi	Doğal emişli
Motor modeli	4DW81-23D
Çap Strok (mm)	85x100
Silindir sayısı	4
Yanma sistemi	Direk enjeksiyon
Kompresyon oranı	17:1

3.1.9. Yanma Analizi Sistemi

Yanma analizi sistemi; fiber optik prensiple çalışan basınç sensörü, krank açısı enkoderi, veri toplama kartı, febris sensör ara yüzü, basınç sensörü sinyal koşullandırıcısı ve febris yanma analiz yazılımından oluşmaktadır. Şekil 3.7’de motor çalışırken yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü verilmiştir. Deneysel çalışmalarda; silindir gaz basıncı, açığa çıkan ısı miktarı ve ısının açığa çıkış hızına ait verilerin alınmasında LabVIEW tabanlı febris yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, içten yanmalı motorlara adapte edilen basınç sensörü ve krank açısı enkoderinden alınan sinyalleri kullanarak hesapladığı verileri gerçek zamanlı olarak gösteren ve kaydeden, ölçülen ve hesaplanan verilere bağlı olarak yapılan ileri yanma analiz sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve farklı formatlarda raporlanmasına olanak veren bir yazılımdır.



Şekil 3.7. Yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü

3.2. Deneyin Yapılışı

Bu çalışmanın temel amacı mikroalg kütlelen yağ üretmek, üretilen yağı kimyasal bir yöntemle biyodizele dönüştürmek, üretilen biyodizel yakıtını dizel yakıtı ve etanol ile belirli oranlarda karıştırarak elde edilen deney yakıtlarının dizel motorlarında kullanabilme imkânlarını araştırmaktır. Bu araştırmada, *Chlorella protothecoides* mikroalginden yağ elde edilmiş ve bu yağ biyodizele dönüştürülerek iki farklı dizel motorunda test edilmiştir.

3.2.1. Yağ Tayini

Mikroalglerdeki yağ tayini sokselet (soxhelet) ekstraksiyon cihazı kullanılarak uygun bir çözücü ile örnekteki yağın çıkarılması ilkesine dayanır. Kurutulup öğütülerek toz haline getirilmiş mikroalg kütlesi hassas tartıda 5 şer gramlar şeklinde damıtma kartuşlarına yerleştirilmek üzere tartılmıştır. Şekil 3.8’de kuru toz haldeki mikroalg kütle tartımı görülmektedir.



Şekil 3.8. Mikroalg kütle tartımı

Tartılan numune, çözücü ile ıslatılmış küçük parça pamuk tampon kullanılarak kartuşa konur. Kullanılan pamuk tampon ile kartuş kapatılır. İçi kuru toz biyokütle ile doldurulan ve ağzı pamuk ile kapatılan kartuş ekstraktöre yerleştirilir. Balona yeterli miktarda (yaklaşık 150 ml-200 ml) çözücü (hegzan) ilave edilir. Balon, ekstraktör ve soğutucu birbirine bağlanır. Su banyosu veya ısıtıcı tabla üzerine yerleştirilir. Çözücü kaynama noktasına kadar ısıtılır. Çözücü buharı yoğunlaştırıcıya ulaştığında damlalar halinde kartuşun üzerine dökülmeye başlar. Soxhlet ekstraktörü çözücü ile dolduğunda sifon yaparak tekrar balona boşalır. 4-6 saatlik ekstraksiyon sonunda ekstraksiyon durdurulur. Şekil 3.9. Soxhlet Ekstraktörü görülmektedir



Şekil 3.9. Soxhlet Ekstraktörü

Gereken sayıda sifon yapılması beklendikten sonra çözücü cam balondan alındı. Alınan bu çözücünün yağdan ayrıştırılabilmesi için döner buharlaştırıcıya konuldu. Şekil 3.10. Elde edilen yağın buharlaştırıcıdaki görünümü verilmektedir.



Şekil 3.10. Elde edilen yağın buharlaştırıcıdaki görünümü

Döner buharlaştırıcıda yeterli süre kaldıktan içindeki çözgenden ayrıştıktan sonra elde edilen *Chlorella protothecoides* mikroalg yağı standartlara uygunluğunun belirlenmesi için yakıt özellikleri tespit edilmiştir.

3.3. Mikroalg Yağından Biyo Yakıt Üretimi

Mikroalg yağının viskozitesi ve yoğunluğu dizel yakıtına göre yüksek olduğu için dizel motorunda kullanılması oldukça zordur. Püskürtme problemi başta olmak üzere zerrelere ayrılması ve dizel yakıtı ile karıştırılması gibi zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Mikroalg yağının yüksek viskozite ve yoğunluk probleminin çözülmesi için kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler seyreltme, çözülme, karıştırma ve esterleştirme yöntemleridir. Biyodizel üretimi için bir kimyasal dönüşüm yöntemi olan esterleştirme yani transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürmek için kullanılan en etkili metotlardan biridir. Metil ester elde etmenin esası, yağ ile metil veya etil alkolün reaksiyona girmesinde kullanılan katalizörün

uygun bir şekilde kullanılmalıdır. Biyodizel olarak adlandırılan yağ esterleştirme işlemi metil alkol veya etil alkol kullanılarak yapılmaktadır.

Esterleştirme reaksiyonunda katalizör olarak asit veya alkali metaller kullanılabilir. Ancak dönüşüm reaksiyonlarında alkali katalizörlerin kullanılması durumunda reaksiyon süresi kısalmaz ve bitkisel yağın biyodizele dönüşüm oranı artar. Tansesterifikasyon işleminde alkali katalizörlerin kullanıldığı reaksiyon, aynı miktar asit katalizör kullanıldığı diğer reaksiyonlara göre daha hızlı meydana gelmektedir. Optimum reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasına yakın olup yaklaşık 60°C'dir. Alkali reaksiyonlarda bitkisel yağ 90 dakika süre içerisinde yaklaşık %90–98 oranında metil estere dönüşmektedir.

Bu çalışmada kullanılan biyodizel yakıtı, Diyarbakır Tarımsal Araştırmalar Laboratuvarında transesterifikasyon metodu ile mikroalg yağından üretilmiş ve üretilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özellikleri Dicle Üniversitesi Laboratuvarında tespit edilmiştir. Mikroalg yağından biyodizel elde etmek için uygulanan işlem basamakları sırası ile aşağıdaki şekildedir.

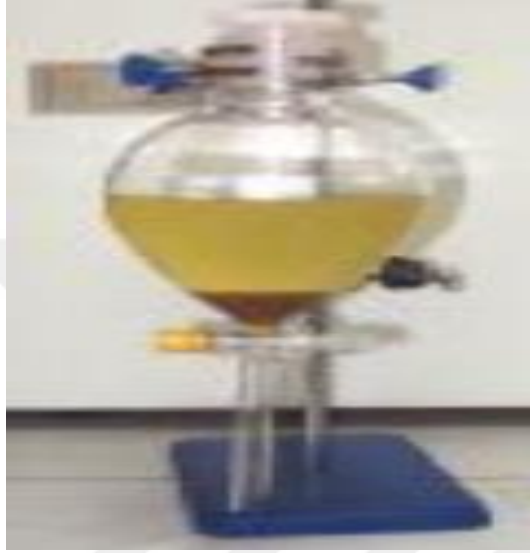
Mikroalg yağı 500 ml'lik bir behere yerleştirilerek ısıtıcı üzerine bırakılarak 60°C'de sabit tutulmuştur. Homojen bir denge sağlamak amacı ile yağın içerisine manyetik karıştırıcı bırakılarak karıştırıldı. Bu işlem Şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Yağın ısıtılması

Isıtılmış olan yağın, hacimsel olarak %20'si kadar metanol ve aynı miktar yağın %0.4 NaOH katalizör maddesi olarak bir kaba konulup manyetik karıştırıcı ile 35-40°C'de katalizör çözülene kadar karıştırıldı. Daha sonra metanol ve NaOH karışımı 60°C'de

bekletilen mikroalg yağının içine karıştırılarak yeni bir karışım elde edildi. Karıştırma kabında karışım 90 dakika süre ile dönen manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Bu sürede sıcaklık 60°C olarak sabitlendi. 90 dakika karıştırma işleminden sonra karışımı dinlendirmek amacıyla ayırma hunisine alındı. Cam ayırma hunisine alınan numune alta gliserin üste biyodizel olacak şekilde birbirlerinden ayrışması için bekletildi. Bu işlem şekil 3.12.'de grlmektedir.



şekil 3.12. Dinlendirme kabı

Dinlendirme kabına alınan karışım, 12 saat bekletilerek biyodizel ve gliserinin ayrışması sağlandı. Dinlendirme fazı oluştuktan sonra gliserin hunilerin altında bırakılarak biyodizele dönüşen mikroalg yağı dinlendirme kabından alındı.

Bitkisel yağdan elde edilen biyodizel içerisindeki fazla yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrışma esnasında yerinde kalma ihtimali olan gliserinin ester içinde uzaklaştırılması için yıkama işlemine tabi tutuldu. Yıkama işleminde saf suyla kabarcık yöntemi tercih edildi. Bu yöntemle biyodizel 1:1 oranında saf su katılarak bir manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı.

Yıkama işleminin sonrasından sonra biyodizel 4 saat bekletilerek su ile faz oluşturarak suyun dibe çökmesi sağlandı ve dibe ken su tahliye edildi.

Yıkama hunisinin içerisine alınan biyodizelde su kalma ihtimaline karşın suyun kaynama noktası olan 100°C üzerinde ısıtılarak biyodizel içerisindeki suyun buharlaşması sağlandı ve geriye kalan biyodizel başka kapalı bir kaba alındı. Elde edilen biyodizel, dizel motorlarında test edilmek üzere dizel yakıtı ile hacimsel olarak % 5 (MCP-B5), % 25 (MCP-B25) ve % 50 (MCP-B50) oranlarında karıştırıldı. Ayrıca MCP-B100 olarak

isimlendirilen saf mikroalg biyodizel yakıtına hacimsel olarak % 12 etil alkol ilavesi yapılarak elde edilen yakıt da (BE-12) şeklinde isimlendirildi. Elde edilen yağ ve yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri Diyarbakır Dicle Üniversitesi Laboratuvarlarında tespit edildi. Aşağıdaki Tablo 3.8.'de bu özellikler görülmektedir.

Tablo 3.8. Yakıt özellikleri

Özellik	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-100	BE-12	D2	Avrupa Biyodizel Standardı (EN 14214)
Yoğunluk(kg/L)	0,851	0,857	0,871	0,888	0,875	0,848	0.860–0.900
Kinematik Viskozite (40°C) mm ² /s	2,76	3,01	3,69	4,7	4,4	2,73	3,5 - 5
Parlama Noktası (°C)	69.8	79	79.5	146	130	67	> 101
Isıl değer (MJ/kg)	44.9	44.1	42.6	39.9	35,5	45.3	

3.4. Hesaplanan Büyüklükler

3.4.1. Motor Momenti

Denklem (3.1) kullanılarak motor moment değerleri hesaplanmıştır.

$$Md = \frac{9549.P_e}{n} \quad (3.1.)$$

Md = Motor momenti (Nm)

Pe = Efektif güç (kW)

n = Motorun devir sayısı (d/d)

3.4.2. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Birim zamanda tüketilen yakıt miktarının hesaplanan güce oranı olan özgül yakıt tüketimi denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{m_y}{P_e} \quad (3.2)$$

b_e = özgül yakıt tüketimi (g/KWh)

$\dot{m}_y$ = Kütlesel yakıt debisi (g/s),

P_e = Motorun gücü (kW)

3.4.3. Efektif Verim

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilen efektif verim, deney motorları için çalışmanın yapıldığı devirlerde gerçekleşen özgül yakıt tüketimleri ve kullanılan yakıtların alt ısı değerleri esas alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamada denklem (3.3) kullanılmıştır.

$$\eta_e = \frac{3,6 \times 10^6}{b_e \times H_u} \quad (3.3)$$

η_e : Efektif verim

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g kWh)

3.4.4. Silindir Gaz Basınçlarının Hesabı

Deneylerde febris yanma analiz yazılımı, fiber optik prensibi ile çalışan basınç sensörü ve krank enkoderi yardımıyla silindir gaz basınç verileri alınmıştır. Yazılıma kaydedilen minimum ve maksimum voltaj değerleri sensörün analog çıkış geriliminin (örn. 10VDC) en yüksek ve en düşük değerleridir. Yazılımın aynı menüsüne kaydedilen minimum ve maksimum ölçülen değerleri ise sensörün ölçebildiği en yüksek ve en düşük basınç değerleridir. Hassasiyet kutucuğuna sensör sertifikasında belirtilen değer girilmiştir. Fiber optik prensibi ile çalışan basınç sensöründen gelen 100 çevrimin ortalaması alınarak basınç değerleri alınmıştır. Bu alınan değerlerin her çevrimde aynı olması beklenir. Fakat test ortamında bunu sağlamak mümkün olmadığından, istatistiksel yöntemler yardımı ile hatalı çevrimler çıkarılarak kalan çevrimlerin ortalamaları alınmış ve analizler bu ortalama çevrim üzerinde yapılmıştır.

3.4.5. Yanma Sonu Tahmini

Isı açığa çıkış hızı ve miktarını hesaplayabilmek için gereken en önemli parametrelerden biri yanma sonu tahminidir. Bu değeri hesaplamak için literatürde sıklıkla kullanılan;

$$pV^{1,15} = \text{sabit} \quad (3.4)$$

değerinin en yüksek olduğu açı hesaplanmıştır. Ayrıca, teorik hesaplamalarla yanma sonunu kaçırmamak için, bulunan değere 10 derece eklenmiştir.

3.4.6. Ortalama Gaz Sıcaklığı

Isı açığa çıkış hızı ve miktarının hesaplamaları için silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığının hesaplanması gerekmektedir. Yazılım politropik proses kullanılarak bu değeri aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$T_i = p_i V_i \frac{T_{ref}}{p_{ref} V_{ref}} \quad (3.5)$$

Politropik proses sadece sıkıştırma ve genişleme zamanlarına uygulanabilir. Bu nedenle referans noktası olarak sıcaklığın bilindiği bir nokta yani emme supabının kapandığı zaman seçilmiştir.

3.4.7. Özgül Isılar Oranı

Özgül ısılar oranı (Brunt vd., 1999) tarafından yapılan deneysel çalışmalara dayanılarak ve ortalama gaz sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$\gamma = 1,338 - 60 \times 10^{-5} T + 10^{-8} T^2 \quad (3.6)$$

3.4.8. Isı Açığa Çıkış Hızı ve Miktarının Hesabı

Yanma sırasında, silindir içindeki gazlarla gerçekleşen ısı çıkış hızı ve miktarı; silindir içi basınç, hacim ve özgül ısılar oranı kullanılarak denklem (3.7.) ile hesaplanmıştır (Stone, 1999; Heywood, 1998). Kapalı sistemler için Termodinamiğin I. kanunu yazılırsa;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dU}{dt} \quad (3.7)$$

Q: silindir duvarlarına giden ısı enerjisini, W: Sistem sınırlarının yer değiştirmesi ile oluşan sınır işini ve U: Sistemdeki iç enerjiyi ifade eder. 3.7 denkleminde U ve W yerine denklem 3.8 ve 3.9 konursa, denklem 3.10 elde edilir.

$$\frac{dU}{dt} = mc_v \frac{dT}{dt} \quad (3.8.)$$

$$\dot{W} = P \frac{dV}{dt} \quad (3.9.)$$

$$\dot{Q} = mc_v \frac{dT}{dt} + P \frac{dV}{dt} \quad (3.10.)$$

İdeal gaz denklemindeki kütle sabit kabul edilip zamana göre türevi alınır, denklem (3.13) elde edilir

$$PV = mRT \Rightarrow T = \frac{PV}{mR} \quad (3.11)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'te elde edilen eşitlik 3.10'deki denkleminde yerine konulursa, denklem 3.13 elde edilir.

$$\dot{Q} = \left[\frac{c_v}{R} + 1 \right] P \frac{dV}{dt} + \frac{c_v}{R} V \frac{dP}{dt} \quad (3.13)$$

C_v/R , γ özgül ısılar oranı cinsinden ifade edilirse;

$$\frac{c_v}{R} = \frac{1}{\gamma - 1} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'teki eşitlik denklem 3.13'teki yerine yazılır ve zamana göre değişim (dt), KA cinsinden ($d\theta$) ifade edilirse;

$$\dot{Q} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (3.15)$$

şeklinde elde edilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney yakıtları (D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100) tek silindirli dört zamanlı Antor marka dizel motorda sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devirlerde (1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d) test edilmiş ve ölçümler, motorun ısınması kararlı bir çalışmaya gelmesi beklendikten sonra alınmıştır.

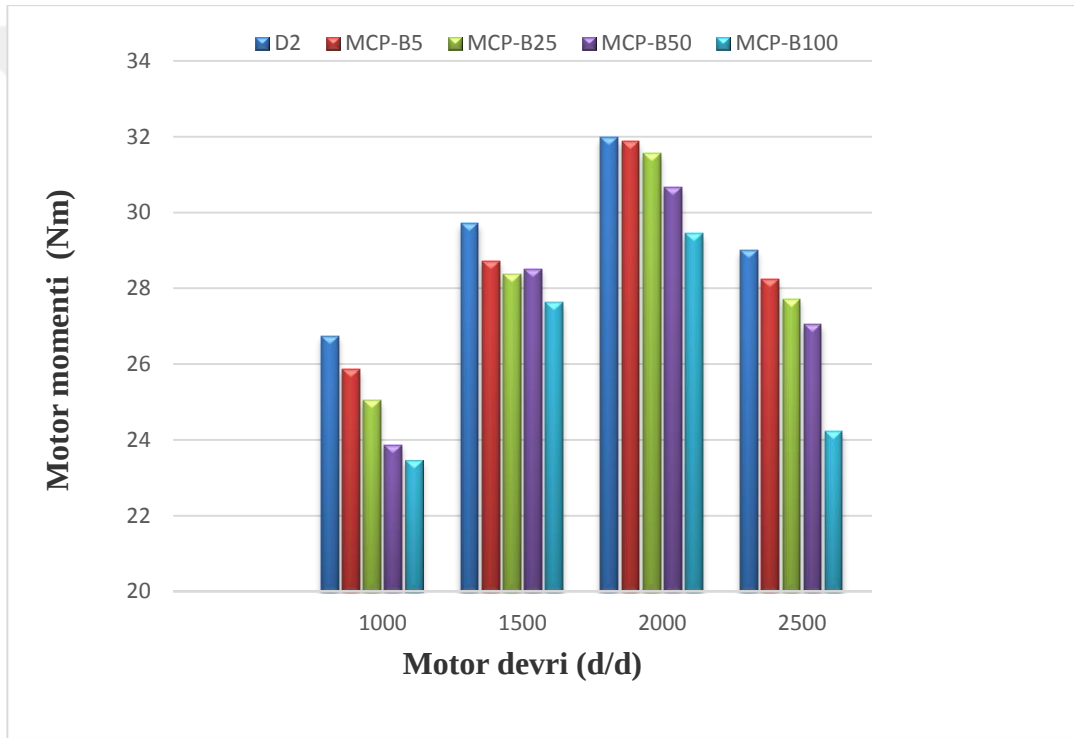
4.1. Tek silindirli Motor Deney Sonuçları

Ölçümü yapılan motor performans ve emisyon değerleri grafik haline getirilip gerekli değerlendirmeler yapılmış ve karışım yakıtların D2 yakıtına göre % değişimleri tablolar halinde verilmiştir. Performans değerlerinin ölçülmesine motor momenti ile başlanmıştır.

4.1.1. Motor Momenti

Motor momenti veya torku, motorun döndürme kuvvetini ifade eder. Motor torku, motordan tekerleğe iletilen dönme momenti kuvvetidir. Motor momenti, motorun devri yükseldikçe belli bir devire kadar artar ve bu devirden sonra, motor devri arttırılmaya devam edilse bile moment değerlerinde belirli bir devirden sonra düşmeler görülür. Motor momentinin yüksek olması için motorun yanma odasında kuvvetli bir yanma gerçekleşmesi gerekir. Bu nedenle aynı güce sahip bir benzinli motor ile dizel motor arasında iki kata yakın moment farkı vardır. Dizel motorlarında yanma odasında sıkıştırılan yüksek basınçlı havanın içerisine yine yüksek basınçlı enjektörlerden yakıt püskürtülerek çok kuvvetli bir yanma elde edilir. Bu nedenle dizel motorların torkları benzinli motorlara göre daha fazladır. Fakat dizel motorları benzin motorlarına göre fazla devir yapamadıklarından hızlanma değerlerinde benzinli motorlarla benzer değerler elde ederler, yani sahip oldukları moment avantajlarını devir düşüklükleri nedeniyle kısmen kaybederler. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel yakıt karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı motor moment değişimi değerleri grafik haline getirilerek Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Motorun düşük devirlerinde bütün yakıtlarda motor momenti düşük olup devir sayısının 2000 d/d'ya çıkması ile bütün yakıtlarda motor momentinde maksimum değerler elde edilmiştir. Bu devirden sonra

motorun yüksek devirlerinde bütün yakıtlarda motor momenti düşmeye başlamıştır. Yanma süresinin kısalması, hareketli motor parçalarının atalet kuvvetlerinin artması, hacimsel verimdeki düşmenin ve mekanik sürtünmenin artması gibi faktörlerin bu düşüşe sebep olduğu düşünülmüştür. D2 yakıtı moment değerleri mikroalg biyodizel yakıt karışımlarından genel anlamda yüksek çıkmıştır, bunun nedenin düşük vizkozite ve yüksek ısı değerinin D2 yakıtına sağladığı avantajlar olduğu düşünülmüştür. Maksimum değerlerin elde edildiği 2000 d/d’da D2 yakıtı ile 31,98 Nm, MCP-B5 yakıtı ile 31.87 Nm, MCP-B25 yakıtı ile 31.56 Nm ve MCP-B50 ile 30.66 Nm MCP-B100 ile 29.45 Nm’lik moment elde edilmiştir.



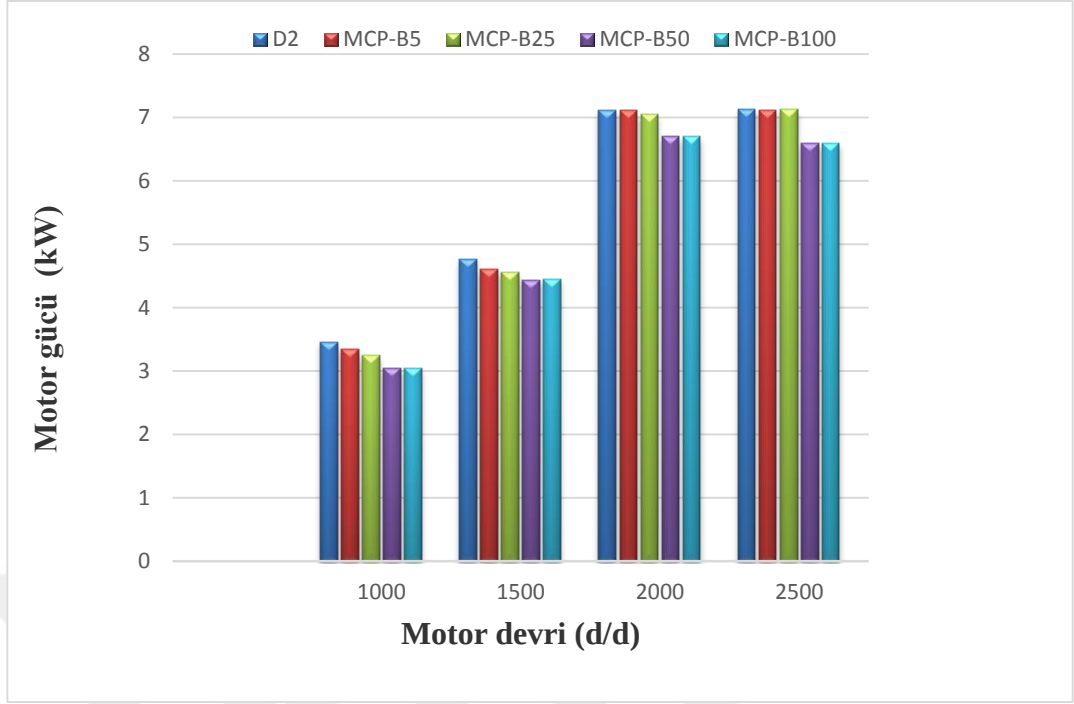
Şekil 4.1. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı motor momenti değişimi

Tablo 4.1. D2 yakıtına göre karışım yakıtların moment (Nm) değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 3.30	% 6.29	% 10.74	% 12.24
1500	% 3.37	% 4.55	% 4.08	% 3.05
2000	% 0.35	% 1.32	% 4.13	% 7.92
2500	% 2.63	% 4.42	% 6.76	% 16.52

4.1.2. Efektif Motor Gücü

Motorlarda faydalı güç olarak bilinen efektif güce fren gücü de denir. Efektif güç, motorun gerçek gücüdür. Silindirler içinde elde edilen iç güçten, motorun çalışması için harcanan gücün çıkarılmasından sonra, motorun volanından ölçülen güçtür. Şekil 4.2.'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı olarak efektif güç değişimi görölmektedir. Şekil 4.2. incelendiğinde bütün yakıtlar için motor gücü düşük devirlerde düşük, yüksek devirlerde yüksek çıkmıştır. Yakıtlar kendi aralarında değerlendirildiği vakit D2 yakıtı ile elde edilen güç değerleri mikroalg biyodizeli karışım yakıtlara oranla yüksek çıkmıştır. Devir sayısındaki artış ile beraber dizel yakıtı ve karışım yakıtlar için elde edilen güç değerlerinin de arttığı görölmektedir. Ancak bütün yakıtlar için elde edilen güç değerleri devir sayısına göre lineer bir artış göstermemiştir. 2000 d/d'ya kadar test yakıtları için elde edilen güç değerleri, hemen hemen doğrusal bir artış göstermiş olup, bu devirden sonra artış oranı biraz düşmüş ve eğri durumuna geçmiştir. Bunun nedeni yüksek devirlerde motordaki sürtünme kuvvetlerinin ve dolayısıyla mekanik kayıpların artması olarak gösterilebilir. Tüm test yakıtları arasında en yüksek güç değerleri D2 yakıtı kullanımında tespit edilmiştir, ancak 2500 d/d'da MCP-B5 ve MCP-B25 yakıtı da dizel yakıtına yakın güç değerleri vermiştir. Mikroalg biyodizel karışımlarının kullanımında, motor gücü eğrileri, karışımındaki biyodizel oranına bağlı olarak yani biyodizel oranı artıkça düşüş göstermiştir. Dolayısıyla en düşük güç değerleri MCP-B100 yakıtı için elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı efektif güç değişimi

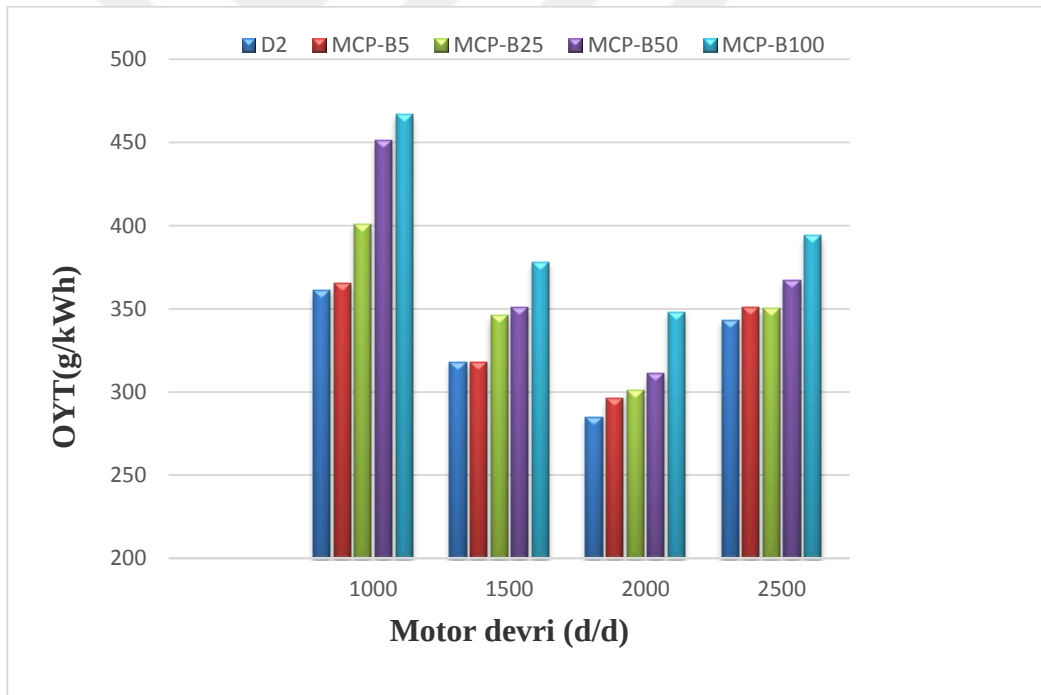
Tablo 4.2. D2 yakıtına göre karışım yakıtların efektif motor gücü (kW) değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 0.47	% 3	% 2.31	% 8.3
1500	% 1.48	% 3.54	% 2.95	%3.99
2000	% 2.35	% 3.34	% 3.46	% 3.34
2500	% 0.84	% 0.3	% 4.8	% 8.59

4.1.3. Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Dizel yakıtı, dizel yakıt-mikroalg biyodizel karışımı yakıtlarının sabit gaz keleşi konumunda, motorun 1000, 1500, 2000 ve 2500 d/d hızına bağlı özgöl yakıt tüketim değişimleri grafik haline getirilerek Şekil 4.3.'te verilmiştir. Özgöl yakıt sarfiyatı yüke ve dönme sayısına bağlıdır ve hesaplanmasında kullanılan denklem bölüm 3.2'de verilmiştir. Motor sabit gaz keleşi konumunda çalışırken şekilde görüldüğü gibi bütün yakıtlar için maksimum özgöl yakıt tüketimi motorun ölçüm yapılan en düşük devri olan 1000 d/d'lık hızında gerçekleşmiştir. Ayrıca dizel yakıtına göre karışım yakıtların özgöl yakıt tüketimi daha fazla çıkmıştır. Muhtemel sebebinin ise karışım yakıtların ısı değerlerinin dizel

yakıtından düşük olmalarıdır. Yakıtların ısıl değerlerinin düşük olmaları birim güç başına tüketilen yakıt miktarını artırmaktadır. Test yakıtları olan D2 yakıtı, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için motorun bütün devirlerinde elde edilen ortalama özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla, 326,75 gr/kWh, 332,5 gr/kWh, 349,5 gr/kWh, 370 gr/kWh ve 396,55 gr/kWh olarak gerçekleşmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri, bütün yakıtlar için motor momentinin de maksimum olduğu 2000 d/d hızında elde edilmiştir. Bu devirden sonra özgül yakıt tüketimi değerleri bütün test yakıtları için artmıştır. Bu artışın nedenlerinin, artan mekanik kayıplar ve yanma için ayrılan sürenin kısılması olarak düşünülmektedir (Altun, 2004). Bütün yakıt eğrileri kendi aralarında incelendiğinde en yüksek özgül yakıt tüketiminin MCP-B100 yakıtında görüldüğü ve karışımdaki biyodizel oranının düşmesiyle beraber özgül yakıt tüketiminin de düştüğü belirlenmiştir.



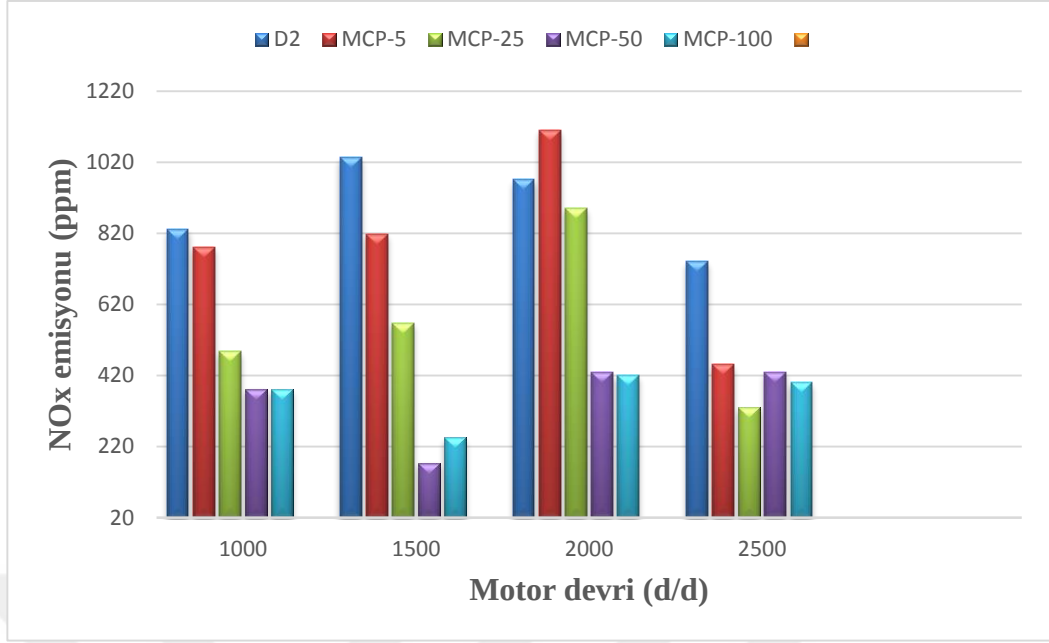
Şekil 4.3. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşeği konumunda ve değişik devir sayılarına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimi

Tablo 4.3. D2 yakıtına göre karışım yakıtların ÖYT (g/kWh) değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 1.10	% 11.08	% 24.9	% 29.36
1500	% 0	% 8.80	% 10.37	%18.86
2000	%3.85	% 5.61	% +9.12	% 22.10
2500	% 2.33	% 2.04	% 6.99	% 14.86

4.1.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

D2 yakıtı, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devirlerde kullanılması ile elde edilen NO_x emisyon değerlerinin devir sayısına göre değişimi grafik haline getirilerek Şekil 4.4.'te görölmektedir. Bütün test yakıtlarında düşük devirlerde NO_x emisyonları düşük iken motor hızının artışı ile beraber artarak maksimum değere 2000 d/d'da ulaşmıştır. Bütün yakıtlarda 2000 devirden sonra NO_x emisyonları düşmüştür. Karışım yakıtlarındaki biyodizel oranının artmasıyla birlikte NO_x emisyon salınımının azaldığı ve D2 yakıtının bütün karışım yakıtlardan daha fazla NO_x emisyonu ürettiği tespit edilmiştir. Motorun maksimum moment ürettiği devirde karışımlardaki yanmanın iyileştiği, buna bağlı olarak yanma sonu sıcaklığının yükseldiği, NO_x emisyonlarında yükselme göröldüğü ve bu devirden sonra da sıcaklık arttığı halde NO_x değerinin düştüğü görölmüştür. Bundan yüksek sıcaklık kadar, yüksek sıcaklıkta bekleme süresinin de NO_x oluşumunda etkili olduğu anlaşılmaktadır (Keven, 2008).



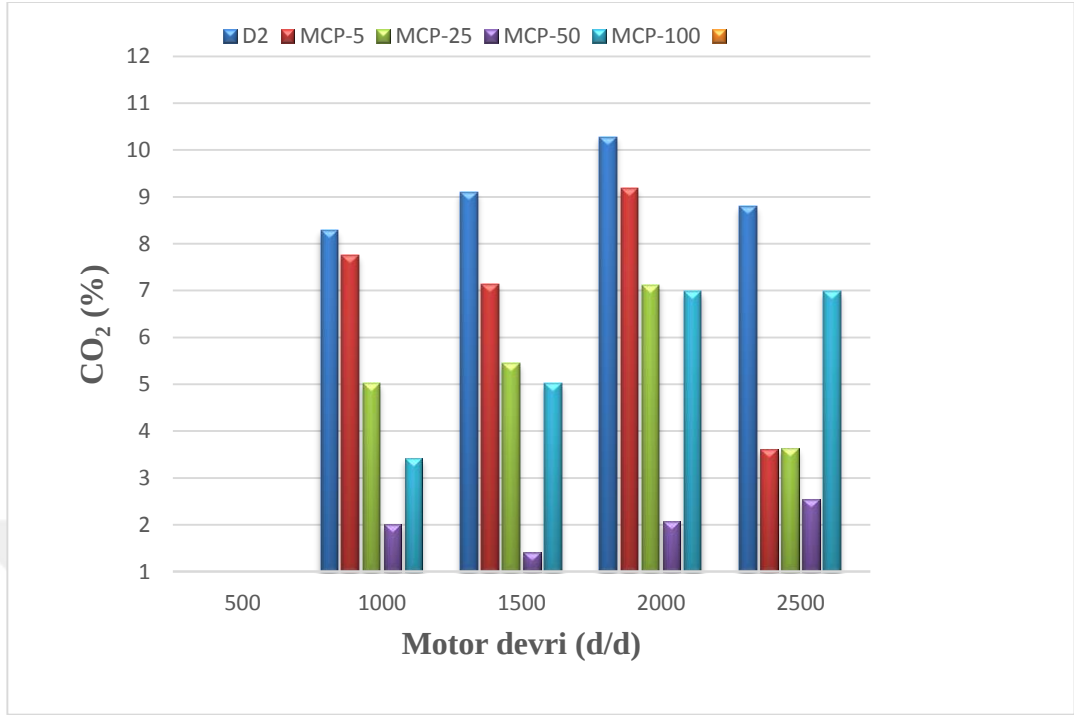
Şekil 4.4. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre NOx emisyon değişimi

Tablo 4.4. D2 yakıtına göre karışım yakıtların NOx (ppm) emisyonunun değişimi (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 6,02	% 42,38	% 54,04	% 54,38
1500	% 21,58	% 54,45	% 594	% 422
2000	%12,07	% 9,65	% 227,73	% 232,06
2500	% 164,52	% 224,84	% 172,55	% 185

4.1.5. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Egzoz ürünleri arasında bulunan karbondioksit emisyonu tam yanmayı ifade ettiği için yanma olayında önemli bir parametredir. Son zamanlarda dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmanın temel etkenlerinden biri olup, artan CO₂ emisyonu atmosferde sera etkisi göstermektedir (Peterson, 1988). Şekil 4.5.'te dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının, motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO₂ emisyonu değişimi görölmektedir. Motorun düşük devirlerinde bütün test yakıtları için CO₂ emisyon değerleri düşük motor devrinin yükselmesiyle CO₂ emisyon değerlerin arttığı, 2000 d/d'da ise maksimum CO₂ emisyonu ürettikleri görölmektedir. Ayrıca bütün devirlerde D2 yakıtının bütün karışım yakıtlardan daha fazla CO₂ emisyonu ürettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO₂ emisyonu değişimi

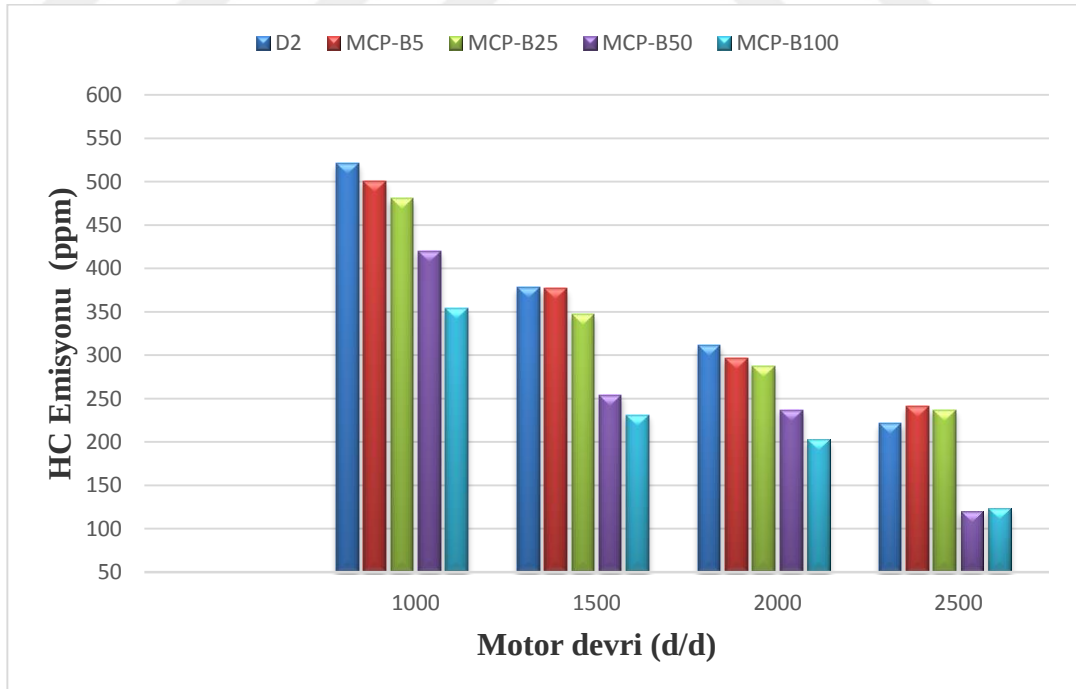
Tablo 4.5. D2 yakıtına göre karışım yakıtların CO₂ (%) emisyonunun değişimi (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 6.96	% 65.46	% 312.43	% 143.10
1500	% 27.31	% 67.09	% 540.14	% 81.43
2000	%11.98	% 44.38	% 396.61	% 47.27
2500	% 144.16	% 142.81	% 246.06	% 25.93

4.1.6. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Motorların çalışması sırasında meydana gelen hidrokarbon emisyonları, yakıtın ya eksik yanması yada yanmadan direkt dışarı atılması sonucunda oluşan emisyon ürünleridir. HC emisyonlarının yaklaşık olarak yarısını oksijenle hiç reaksiyona girmeyen çığ yakıt, diğer yarısını ise yakıtın oksijenle kısmi reaksiyonu sonucu oluşan bileşenler oluşturmaktadır. HC emisyonlarının içinde bulunan bileşenler etan, eten, propan, metan, formaldehid, benzen, izobutan, toluen ve 1.3 bütan gibi kimyasal ürünlerdir. Bunların birçoğu insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek zararlı bileşenlere sahiptir. Yanma

odası içerisindeki karışımın bir kısmı alevin normal yayılma süreci esnasında hidrokarbon oluşumuna yardımcı olan kaynaklar tarafından korunurlar, yani yanma olayına iştirak etmezler. Yanma odası ve silindir içerisinde bulunan çizikler, segman silindir cidarları arasında hava ile karışmadan bulunan yanmamış yakıtlar şeklinde de olabilirler. Bu yanmamış hidrokarbonların bir kısmı sonraki yanma işleminde silindir içinde oksitlenirler. Oksitlenmeyip silindir içinde kalan hidrokarbonların bir kısmı silindiri terk ederek dışarı atılırlar. Şekil 4.6.'da dizel yakıtı ile, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre HC emisyon değişimi verilmiştir. Motorun düşük devirlerinde HC emisyonları bütün deney yakıtları için yüksek motor devrinin 2500 d/d'ya ulaşmasıyla bütün deney yakıtları için minimum HC emisyon değerleri ölçülmüştür. Mekanik püskürtmeli sistemlerde yakıt pompası, düşük hızlarda daha az atomizasyon ile püskürtme yaptığından, yakıtta iyi bir parçalanma olmamaktadır. Bu durum motor devrinin düşük olduğu durumlarda daha yüksek HC emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır (Heywood, 1988). Motor devri artıkça dizel yakıtı, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için HC emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar olmuştur.



Şekil 4.6. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre HC emisyonu değişimi

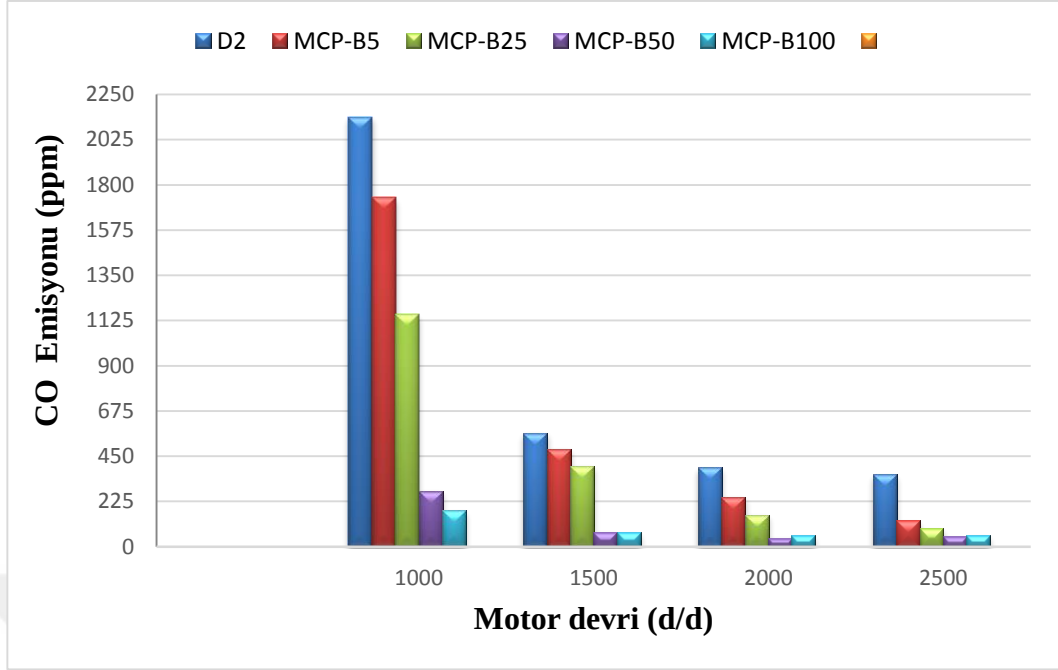
Deneylerde genel olarak dizel yakıtının ürettiği HC emisyon değerleri karışım yakıtlarından daha fazla çıkmıştır. Karışım yakıtlarındaki HC emisyonlarındaki azalmanın temel nedeni, biyodizel içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli oksitlenmeyi sağlaması şeklinde yorumlanabilir(Özsezen, 2008).

Tablo 4.6. D2 yakıtına göre karışım yakıtların HC (ppm) emisyonunun değişimi (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 3.99	% 8.31	% 24.04	% 47.17
1500	% 0.26	% 8.93	% 48.81	% 63.63
2000	%4.71	% 8.36	% 31.22	% 53.20
2500	% 8.30	% 6.66	% 84.16	% 78.22

4.1.7. Karbon monoksit (CO) Emisyonu

Yanma olayında yakıtların tam yanmamasından oluşan kirleticilerden CO emisyonları içten yanmalı motorlarda birçok parametreye bağlı olarak değişmekle beraber yanma odasına alınan karışımın yanma kalitesini gösteren bir egzoz emisyonu ürünüdür. Gaz sıcaklığının düşük olması, yanma için yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırmaktadır. Zengin karışımlarda, yani yakıt hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde meydana geldiğinden yakıtın içeriğindeki karbonunun tamamı CO₂'e dönüşmeden CO şeklinde kalarak dışarı atılmaktadır. Şekil 4.7.'de dizel yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi görülmektedir. MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları bütün devirlerde dizel yakıtından düşük CO emisyonu üretmişlerdir. Bu durum bütün biyodizel yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtından fazla olmasına rağmen gerçekleşmiştir (Özsezen, 2009). Karışım içerisindeki biyodizel yüzdesi ne kadar artarsa CO emisyonu o oranda düşmektedir. Bunun muhtemel sebebinin mikroalg biyodizel yakıtının oksijen içeriğinin yanma sırasında karbon türlerinin oksidasyonunu tamamlamak için yardımcı olabileceğidir (Murillo, 2007).



Şekil 4.7. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşbeği konumunda ve değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi

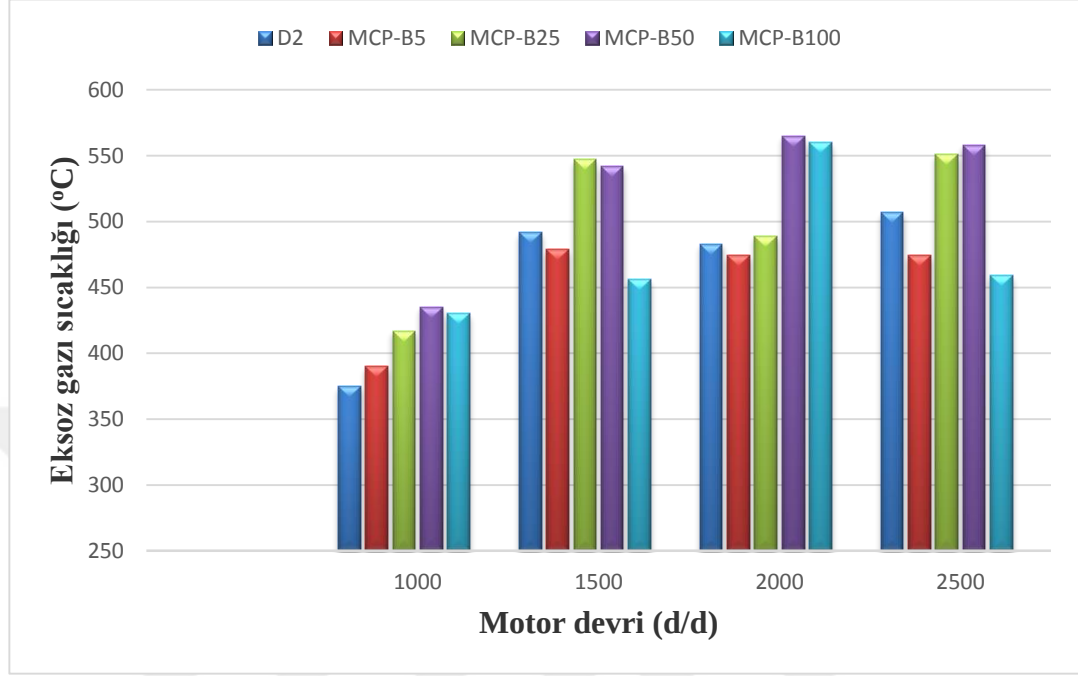
Tablo 4.7. D2 yakıtına göre karışım yakıtların CO (ppm) değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	-	-	-	-
1500	% 16,25	% 40,54	% 663,51	% 695,77
2000	% 58,87	% 149,36	% 816,27	% 591,22
2500	% 276,15	% 398,88	% 641,07	% 703,92

4.1.8. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Dizel yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının dizel motorunda test edilmesi sırasında motor devrine bağlı olarak egzoz gazı çıkış sıcaklığı değişimi Şekil 4.8.'de görülmektedir. Şekil 4.8. incelendiğinde egzoz gazı sıcaklığının motorun düşük devirlerinde düşük ve yüksek devirlerinde ise yüksek görülmektedir. Bütün motor hızlarında D2 yakıtına göre MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklığının genel anlamda daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Biyodizel karışımlarının D2 dizel yakıtına göre oksijen içeriğinin yüksek oluşu yanmayı iyileştirmekte ve yanma sıcaklığını da yükseltebileceği şeklinde düşünülebilir. Aynı zamanda oksijenin fazlalığı yanmanın sürünge olmasına, yani egzoz borusunda da devam edebileceği şeklinde açıklanabilir. Ayrıca karışımları yüksek setan sayılarından dolayı yanmanın erken başlaması yani tutuşma gecikmesi sahasının kısalması ile yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi şeklinde tanımlanabilir. Egzoz sıcaklık değerleri bütün yakıtlar için motor devrinin yükselmesiyle beraber bir yükseliş göstermektedir. En yüksek egzoz sıcaklık değerleri bütün yakıtlar için 2500 d/d motor hızında elde edilmiş olup en düşük değerleri ise 1000 d/d motor hızında elde edilmiştir. Motorun düşük devirlerinde yanma odası içerisinde yanmanın piston ÜÖN'ya daha yakın iken tamamlanmış olabileceğinden egzoz borusundan dışarı atılan gazların sıcaklıklarının daha düşük olmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda düşük devirlerde yanmanın yüksek devirlere göre daha kötü olması yanma sonu sıcaklığının da düşük olmasına yol açmaktadır. Motor hızının yükselmesiyle beraber hava hareketlerinden dolayı yanmanın iyileşmesi ile yanma sonu sıcaklığının da artması ve dolayısıyla egzoz gazı sıcaklığının da artmasına sebep olmaktadır. Bu durum motor devri-egzoz gazı sıcaklığı grafiği olan Şekil 4.8'de görülmektedir. Dizel yakıtı ve diğer yakıtlar için ortalama sıcaklık değerleri dizel yakıtı

için 439,25°C, MCP-B5 için 454.25°C, MCP-B25 için 501°C, MCP-B50 için 525°C ve MCP-B100 için de 476.25°C ölçülmüştür.



Şekil 4.8. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre egzoz gaz sıcaklığı değişimi

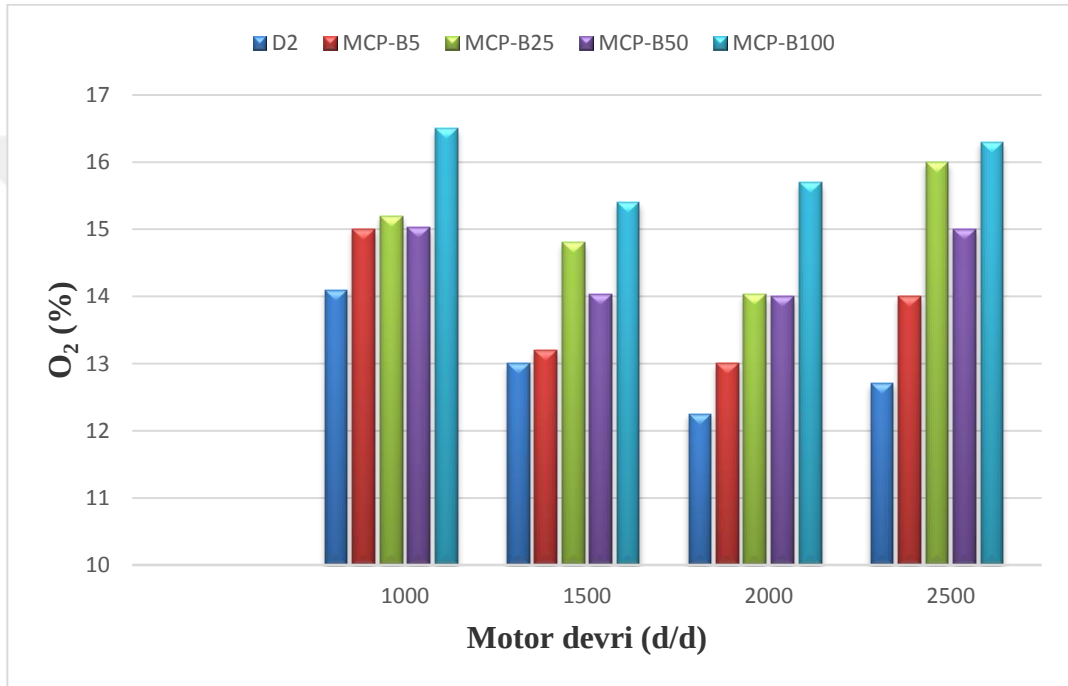
Tablo 4.8. D2 yakıtına göre karışım yakıtların egzoz gazı sıcaklığı (°C) değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 4	% 11.2	% 16	% 14.66
1500	% 6.35	% 11.17	% 10.16	% 8.32
2000	% 1.87	% 41.24	% 16.97	% 15.94
2500	% 6.51	% 8.67	% 10.05	% 9.47

4.1.9. Oksijen (O₂) Emisyonu

Egzoz emisyon ürünlerinden olan O₂, havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir. Dizel yakıtının kullanılması ile yapılan deneylerde oksijen emisyonları değerlerinin motor devir sayısına göre değişimi grafik halinde Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiği vakit, oksijen miktarının motor devir sayısına bağlı olarak önce düştüğü ve sonra tekrar yükseldiği görölmektedir. Bütün test yakıtlarının bir minimumdan geçmesi genellikle motor momentinin maksimum olduğu enjeksiyon basıncına denk

gelmektedir. Bu basınçta yanma yeterince iyi olduğu için alınan oksijenin çoğu yanma işlemine harcanmaktadır. Dizel yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının biyodizel oranı artıkça O₂ miktarında artışlar meydana gelmektedir. Biyodizel yakıtının içerisinde oksijen mevcut olduğundan bütün devirlerde normal dizel yakıtından daha fazla oksijen salınımı gerçekleşmiştir (Aydın vd., 2010). Bütün deney yakıtları için en yüksek oksijen emisyonu değerleri 2500 d/d'da dizel yakıtı için % 12.7, MCP-B5 % 14, MCP-25 %16, MCP-B50 %15 ve MCP-B100 %16.3 olarak ölçülmüştür.



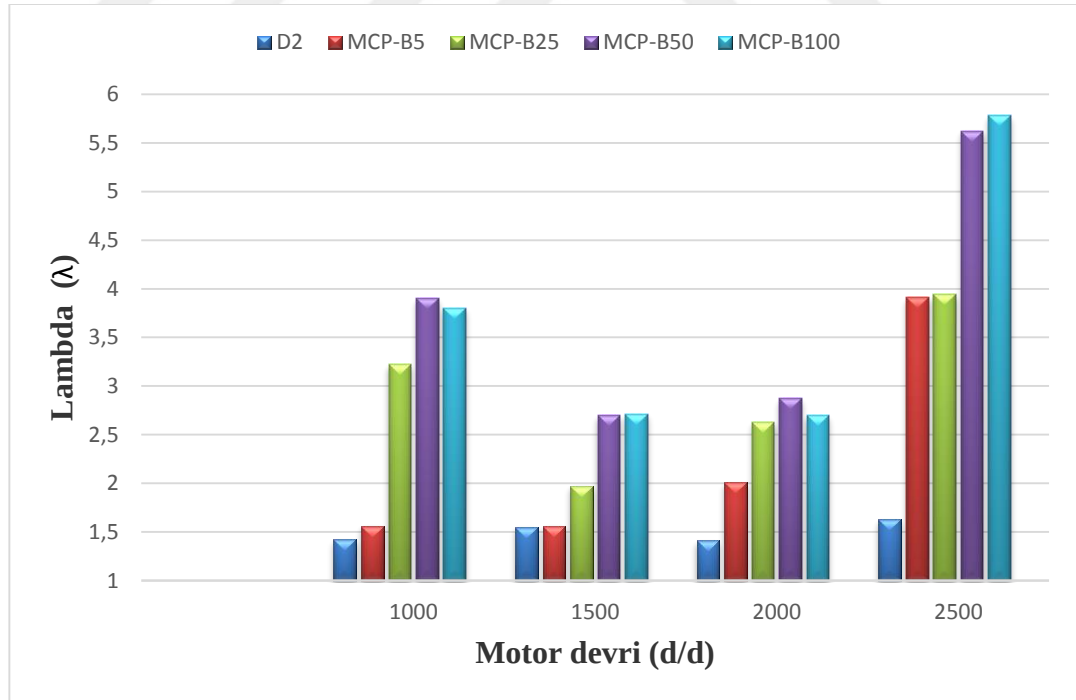
Şekil 4.9. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre O₂ emisyonu değişimi

Tablo 4.9. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının O₂ emisyonu değişimleri (%)

Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 6.38	% 7.80	% 8.51	% 17.02
1500	% 1.53	% 13.84	% 7.92	% 18.46
2000	% 6.12	% 14.53	% 14.28	% 27.10
2500	% 10.23	% 25.98	% 18.11	% 28.34

4.1.10. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK, λ)

İçten yanmalı motorlarda yanmaya katılan hava miktarının yakıta bağlı oranını belirten bir kat sayıdır. Diğer bir ifade ile HFK (λ) stokiyometrik hava-yakıt oranının gerçek hava-yakıt oranına bölünmesi ile elde edilen bir katsayıdır. Şekil 4.10.'da dizel yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre HFK değişimi görölmektedir. Test yakıtları içindeki biyodizel oranının artmasıyla HFK değerinin dizel yakıt HFK değerinden oldukça yüksek seyrettiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun sabit gaz keleşi konumunda ve değişik devir sayılarına göre (λ) değişimi

Şekil 4.10 incelendiği zaman motorun düşük ve yüksek devirlerinde oluşan hava fazlalık katsayısı değerleri oldukça yüksektir. Bu durum motorun düşük ve yüksek

devirlerinde yakıtın tam yanması için daha az havaya ihtiyaç duyulduğunu ve orta devirlerde ise daha fazla havaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Yüksek motor hızlarında bütün deney yakıtları için hava fazlalık katsayısı değerleri yüksek çıkmıştır. Artan hava hareketleri sayesinde daha iyi bir yanma meydana geldiğinden daha az miktarda havaya ihtiyaç duyulmuştur. Bunun yanı sıra artan hava hareketleri sayesinde yeterli oksijen ile yanan yakıttan daha fazla faydalanılır ve yanma iyileşir. Güç ve moment değerleri de buna göre yüksek çıkmaktadır. Deney yakıtları karşılaştırıldığında en yüksek HFK, MCP-B100 ve MCP-B50 yakıtında, daha sonra MCP-B25, MCP-B5 ve dizel yakıtında meydana geldiği görülmektedir. Bu yakıtlar O₂ içerdiği için yanması sırasında daha az havaya dolayısıyla oksijene ihtiyaç duyulduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 4.10. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının HFK değerinin değişimleri (%)

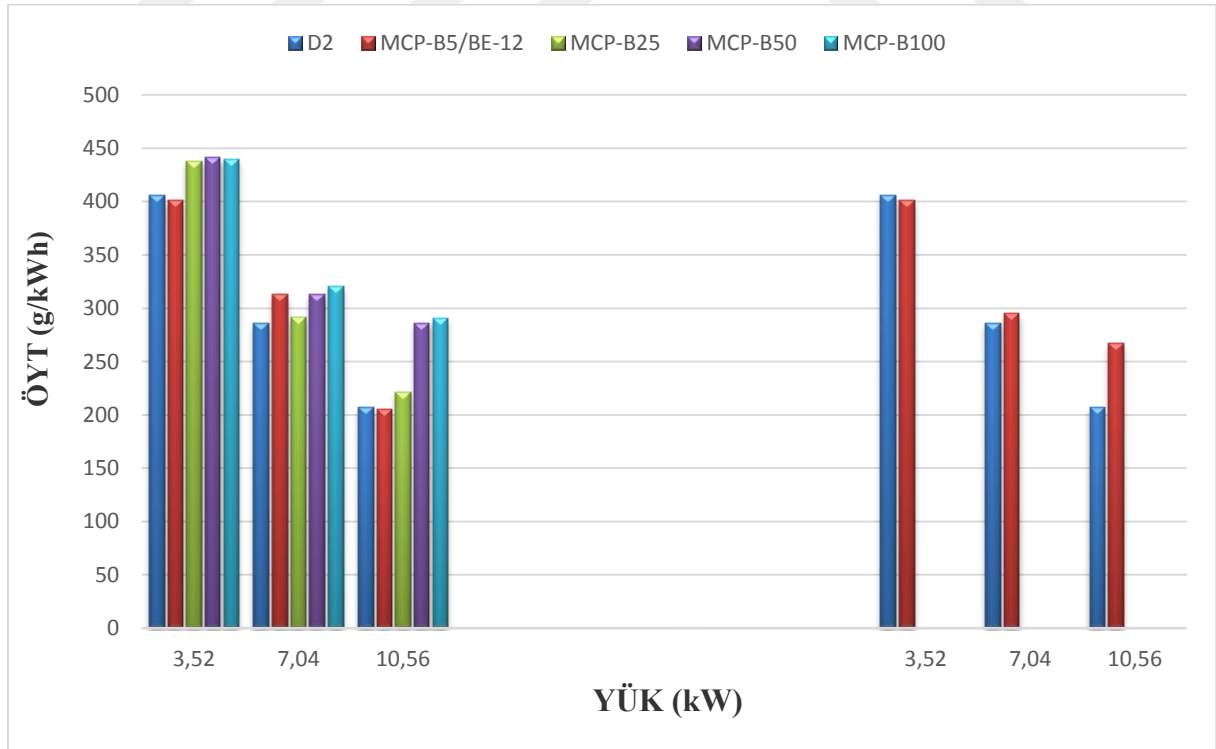
Motor Devri (d/d)	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
1000	% 9.85	% 126.76	% 174.64	% 167.60
1500	% 0.64	% 27.09	% 47.19	% 74.83
2000	% 42.55	% 86.52	% 103.54	% 91.48
2500	% 139.87	% 141.71	% 244.78	% 254.60

4.2. Jeneratör Motoru ile Yapılan Deney Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan ikinci deney setinde yapılan testlerde elde edilen deney verileri jeneratör motorunun 1500 d/d sabit devrinde ve dört farklı konumda çalıştırılması ile elde edilmiştir. Sonuçların alınmasına ilk olarak motorun yüksüz çalıştırılması ile başlanmış ve sonrasında sırası ile 3.52 kW, 7.04 kW ve 10.56 Kw yükleme yapılarak değerler ölçülmüştür.

4.2.1. Özgöl yakıt tüketimi

Özgöl yakıt tüketimi, motor performans karakteristiğinin karşılaştırılmasında kullanılan temel parametrelerdendir. Test yakıtlarının 1500 d/d'da sabit motor devrinde yüke bağlı özgöl yakıt tüketimi değerlerinin değişimi Şekil 4.11.'de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm yakıtların özgöl yakıt tüketim değerlerinin motor yük artışı ile azaldığı görülmektedir. Motora yapılan yükleme arttıkça motor gücü arttığından buna bağlı olarak özgöl yakıt tüketimi azalmıştır. Ayrıca; silindir içi türbülans, motor yüküne bağlı olarak iyileşeceğinden hava-yakıt karışım oluşumu daha iyi bir şekilde gerçekleşmiştir. Hava hareketlerindeki bu artış özgöl yakıt tüketiminin motora yapılan yükleme ile azalmasında etkili olabilir. Deney yakıtları karşılaştırıldıklarında biyodizel karışimli yakıtların genel anlamda dizel yakıtından daha fazla özgöl yakıt tüketimlerinin olduğu görülmektedir. Bu yüksek yakıt tüketimi, biyodizel karışimli yakıtların (MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100) ısı değerlerinin dizel yakıtının ısı değerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla aynı motor gücünün elde edilebilmesi için karışım yakıtlarından daha fazla tüketilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.11. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı Özgöl yakıt tüketim (ÖYT) değişimleri

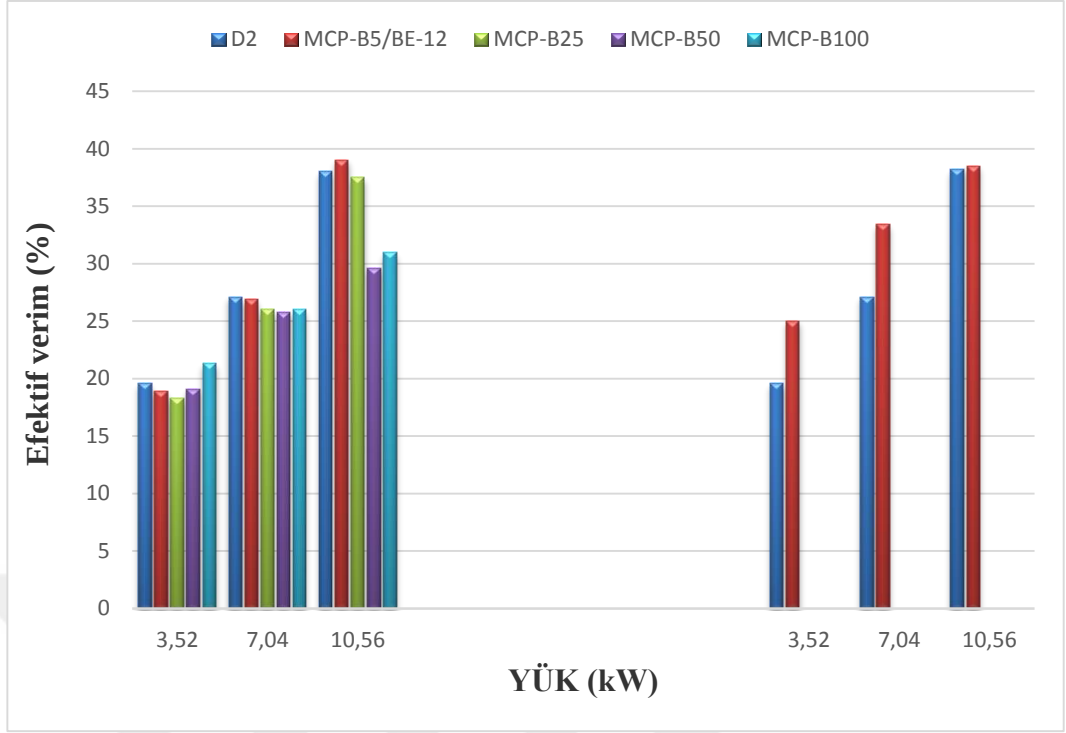
Şekil 4.11.'de Dizel yakıtı ile metanol ilaveli mikroalg biyodizeli (BE-12) yakıtlarının sabit motor devrinde yüke bağlı özgül yakıt tüketimleri verilmiştir. Şekil 4.11. incelendiğinde BE-12 yakıtının dizel yakıtından % 6.55 daha fazla özgül yakıt tüketimi gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimindeki bu artışın muhtemel sebebinin ısı değeri D2'ye göre düşük olan mikroalg biyodizeline (MCP-B100) yapılan % 12 etanol ilavesinin alt ısı değeri daha da düşürdüğü dolayısı ile aynı miktar enerji elde edilmesi için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmasıdır.

Tablo 4.11. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının ÖYT (g/kWh) değişimler (%)

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100	BE-12
Yüksüz	-	-	-	-	-
1.kademe	% 6,55	% 7,88	% 8,62	%8,37	% 1,24
2.kademe	% 9,44	% 2,09	% 9,44	12,37	% 3,06
3.kademe	% 0,97	% 6,76	% 28,16	40,57	% 22,1

4.2.2. Efektif Verimin Değişimi

Motordan alınan faydalı gücün motora sürülen enerji miktarına oranı olarak tanımlanan efektif verim, çeşitli yakıtların motor performansları üzerindeki etkilerini görmek noktasında kritik bir özelliktir. Şekil 4.12.'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının sabit motor devrinde yüke bağlı Efektif verim (η_e) değişimi görülmektedir. Şekil 4.12. incelendiğinde, motora yapılan yükleme ile efektif verimlerin arttığı görülmektedir. D2 yakıtı ile ortalama % 28.59, MCP-B5 yakıtı ile % 27.97, MCP-B25 yakıt ile % 27.83, MCP-B50 yakıtı ile % 25,23 ve son olarak MCP-B100 yakıtı ile %26,53 oranlarında verimler elde edilmiştir. Efektif verim ile ilgili literatür çalışmalar incelendiğinde, bu azalmanın nedeninin biyodizel yakıtlarının alt ısı değerlerinin dizel yakıtından daha düşük olmasından kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Scholl, 1993).



Şekil 4.12. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak Efektif verim değişimleri

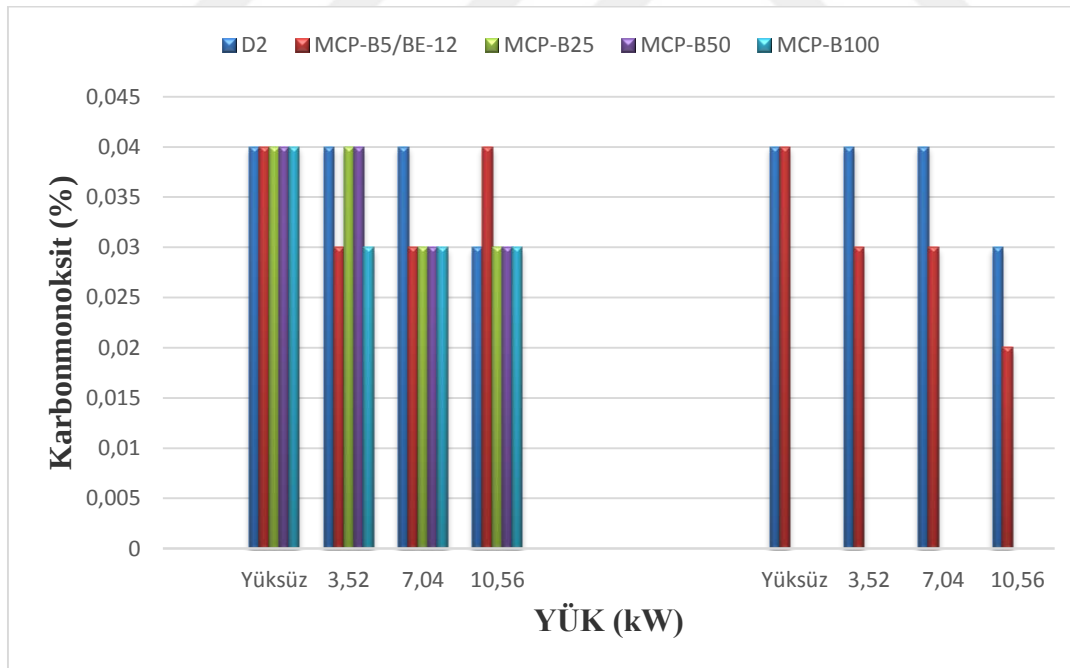
Şekil 4.12.'de D2 ve BE-12 yakıtlarının sabit motor devrinde yüke bağlı efektif verim (η_e) değişimi görülmektedir. Şekil 4.12. incelendiğinde etanol ilaveli biyodizel yakıtının dizel yakıtına oranla %12.12 daha yüksek verim ürettiği belirlenmiştir. Şekil 4.11. de görüldüğü üzere BE-12 yakıtının özgül yakıt tüketiminin D2 yakıtının özgül yakıt tüketiminden yaklaşık olarak % 6.55 g/kWh daha yüksek olmasına rağmen efektif verimlerinin daha yüksek olması bu yakıtın oksijen içeriğinin fazla olmasının yanmayı iyileştirdiği şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 4.12. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının Efektif verim % değişimleri

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100	BE-12
Yüksüz	-	-	-	-	-
1.kademe	% 0.61	% 5.16	% 2,94	4,75	% 22,39
2.kademe	% 7.81	% 0,72	% 2,29	1,15	% 23,91
3.kademe	% 1.85	% 5.48	% 24,21	23,87	% 1,52

4.2.3. CO Emisyonu Değişimi

Dizel motor emisyonlarından olan CO, oksijenin yetersiz oluşundan veya yanma odası içindeki bazı bölgelerin homojen olmayışından kaynaklanmaktadır. Yetersiz oksijen durumunda tam yanma gerçekleşmeyecek karbon, tam yanma ürünü olan CO₂'e dönüşmeyecek ve karbonmonoksit olarak kalacaktır (Okatan, 1998). Şekil 4.13.'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının sabit motor devrinde yüke bağlı CO emisyonu değişimi görülmektedir. Şekil 4.13. incelendiğinde, biyodizel karışimli yakıtların CO emisyon değerlerinin dizel yakıtına oranla ortalama % 10.5'lik azaldığı belirlenmiştir. Karbonmonoksit emisyonundaki bu azalmaların temel sebebinin mikroalg biyodizel karışimli yakıtların içeriğindeki oksijen fazlalığı ve setan sayılarının yüksek olmasının yanmayı iyileştirdiği şeklinde düşünülmüştür (Labeckas, 2006). Motor gücü arttıkça silindir içi sıcaklığın artışı ile CO emisyonu CO₂ emisyonuna dönüştüğünden tüm test yakıtlarında CO emisyonu düşük seyretmiştir. Nitekim Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi motor yüklendikçe CO₂ emisyonun tüm yakıtlarda artması bunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir.



Şekil 4.13. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak CO emisyon değişimleri

Şekil 4.13.'de dizel yakıtı ve etanol katkılı biyodizel yakıtının değişimleri incelendiğinde BE-12 yakıtının dizel yakıtına kıyasla karbonmonoksit oranında etkili bir azalma olduğu (% 20) görülmektedir. Bu azalmanın oksijen içeriği fazla olan biyodizele

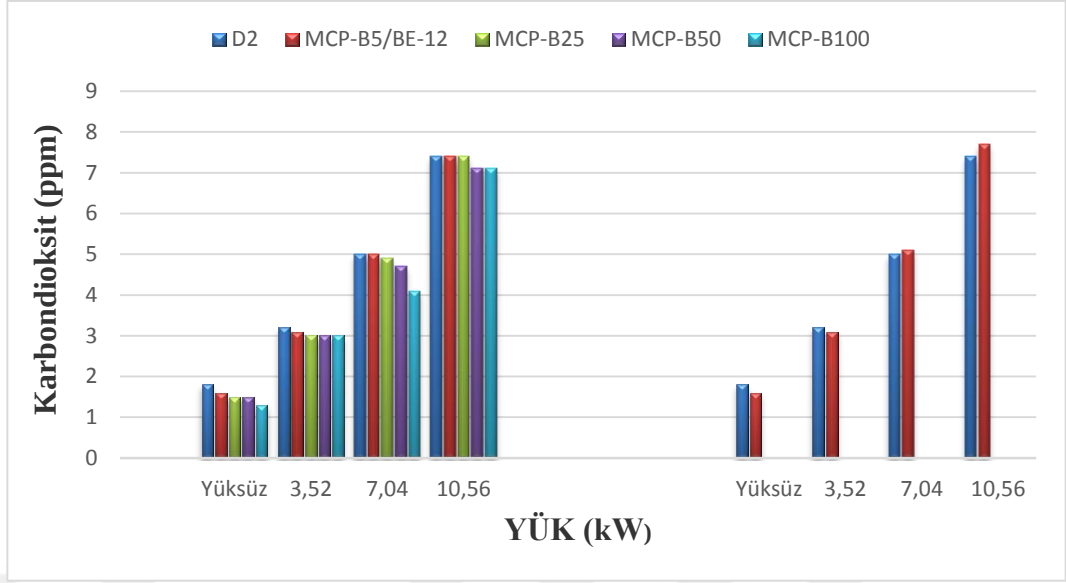
yapılan alkol ilavesi ile daha da arttığı dolayısı ile karbonmonoksit (CO) emisyon değerlerini düşürdüğü şeklinde yorumlanmıştır. Biyodizel karışım yakıtları ve Etanol biyodizel karışım yakıtının, dizel yakıtına (D2) göre CO emisyonlarındaki farklar Tablo 4.13.'te verilmektedir.

Tablo 4.13. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının CO emisyonundaki değişimler (%)

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100	BE-12
Yüksüz	% 0	% 0	% 0	%0	% 0
1.kademe	% 25	% 0	% 0	%-25	% 25
2.kademe	% 25	% 25	% 25	%-25	% 25
3.kademe	% 0	% 25	% 25	50	% 0

4.2.4. CO₂ Emisyonu Değişimi

Dizel yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının sabit motor devrinde yüke bağlı CO₂ emisyonu değişimi Şekil 4.14.'te görülmektedir. Bütün test yakıtlarının ürettiği CO₂ emisyonunun arttan yüke paralel olarak arttığı görülürken karışım yakıt içindeki biyodizel oranının artmasıyla da CO₂ emisyon değerlerinin düştüğü görülmektedir. Mikroalg biyodizeli karışımı yakıtlarının (MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100) dizel yakıtına oranla sırası ile % 1,73, % 3,45 % 6,33 ve %12,58 ortalama olarak ise % 6.02 daha düşük CO₂ emisyonu ürettiği tespit edilmiştir. Mikroalg biyodizel kullanımı ile CO₂ de görülen azalmanın sebebinin biyodizel yakıtların dizel yakıtına kıyasla daha düşük hidro karbon (H/C) oranına sahip olması şeklinde yorumlanmıştır (Tuccar, 2013).



Şekil 4.14. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak karbondioksit değişimleri

Şekil 4.14.'de D2 ile BE-12 yakıtlarının sabit motor devrinde (1500 d/d) yüke bağlı CO₂ emisyonu değişimi görülmektedir. Etanol ilavesi ile elde edilen (BE-12) yakıtının motorun yüksüz ve 3.52 kW yüklü konumlarında dizel yakıtından daha düşük ürettiği karbondioksit emisyonlarını 7.04kW ve 10.56 kW yüklü konumlarında dizel yakıtından daha fazla üretmiştir. Şeklin geneline bakıldığında ise BE-12 yakıtın dizel yakıtına oranla % 0.5747 daha fazla CO₂ emisyonu ürettiği tespit edilmiştir.

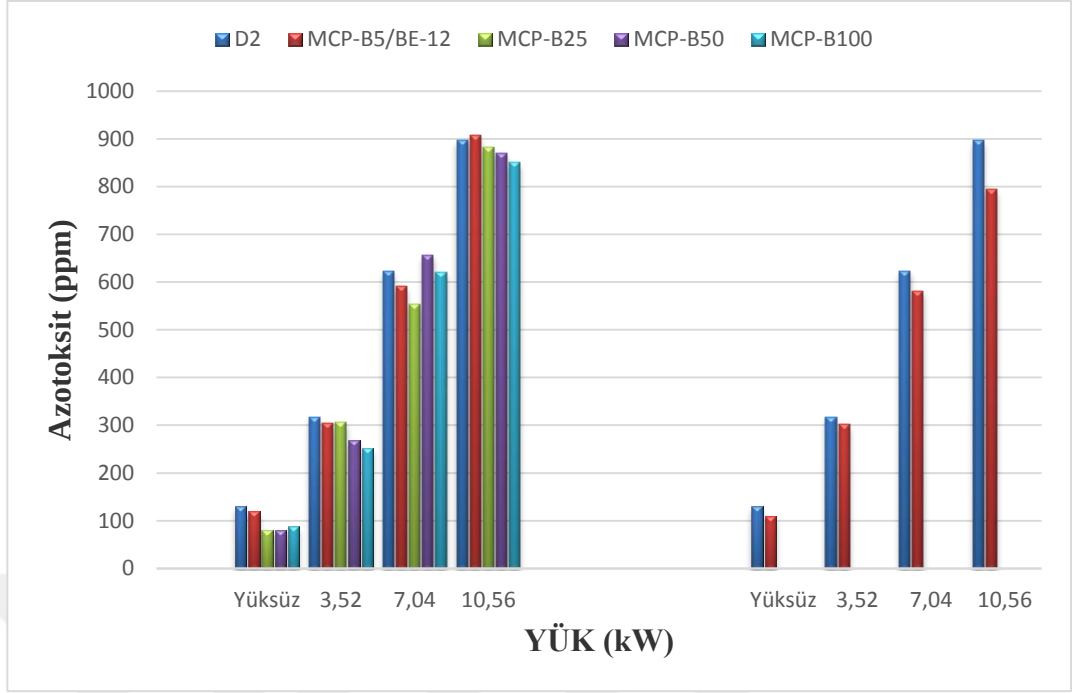
Tablo 4.14. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının CO₂ emisyonundaki değişimleri (%)

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-100	BE-12
Yüksüz	% 11.22	% 16.67	% 16.67	% 28	% 11.22
1.kademe	% 3.13	% 6.25	% 6.25	%6,25	% 3.13
2.kademe	% 0	% 2	% 6	%18	% 1.97
3.kademe	% 0	% 0	% 4.06	4,06	% 3.90

4.2.5. NO_x Emisyonu Değişimi

Egzoz emisyon ürünlerinden olan azot oksitlerin oluşum mekanizmaları Zeldovich tarafından açıklanmıştır. Bu açıklamaya göre, yanma sıcaklıkları 1800°K'ye ulaştığında karışım içerisindeki hava iyonize olmakta ve açığa çıkan azot tekrar oksijen ile birleşerek NO_x emisyonlarını oluşturmaktadır. Azotun farklı oksitler oluşturmasından kaynaklı

olarak bu emisyon türü NO_x şeklinde ifade edilmektedir. NO_x emisyonlarının çok büyük bir kısmını NO, küçük bir kısmını NO₂ ve ihmal edilebilecek kadar küçük bir kısmını ise N₂O, N₂O₃ ve N₂O₅ gibi bileşenler oluşturmaktadır. Yanma süreci içerisinde sıcaklıkların 1800°K'i aşması durumunda NO_x emisyonları önemli ölçüde artacaktır. Oksijen konsantrasyonu, sıcaklık ve zaman NO_x oluşumu üzerinde etkili olan üç önemli parametredir. Yanma iyileştikçe maksimum yanma basıncı ve sıcaklıkları yükseleceğinden NO_x emisyonu da artacaktır. NO_x emisyonları teorik H/Y oranlarında maksimum olurken teorik noktadan uzaklaşılması durumunda (zengin karışım ya da fakir karışım) NO_x emisyonları azalmaktadır. H/Y oranının fakirleşmesi durumunda NO_x emisyonlarının düşme sebebi yanmanın yavaş olması ve maksimum yanma sıcaklık ve basınçlarının azalması iken H/Y oranının zenginleşmesi durumunda NO_x emisyonlarının düşme sebebi oksijen yetersizliğidir. Deney yakıtlarının kullanımı ile ölçülen azot oksit değerlerinin sabit devirde yüke göre değişimi Şekil 4.15.'de verilmiştir. Bütün test yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin motorun yüklenmesi ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının ürettiği NO_x emisyonlarının dizel yakıtının ürettiği emisyon değerlerinden ortalama olarak % 4.17 ppm daha az olduğu belirlenmiştir. Yakıtlar arasındaki bu farka sebep olan etkenin dizel yakıt kullanımı ile tam yanmaya daha yakın olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Tüccar, 2013). Birçok araştırmacı mikroalg biyodizeli ile ilgili çalışmalarında benzer NO_x değerleri elde ettiklerini ifade etmişlerdir (Niraj vd., 2011). Dizel yakıtına (D2) göre diğer yakıtların NO_x emisyonlarındaki farklar tablo 4.15.'te verilmektedir.



Şekil 4.15. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak NOx emisyon değişimleri

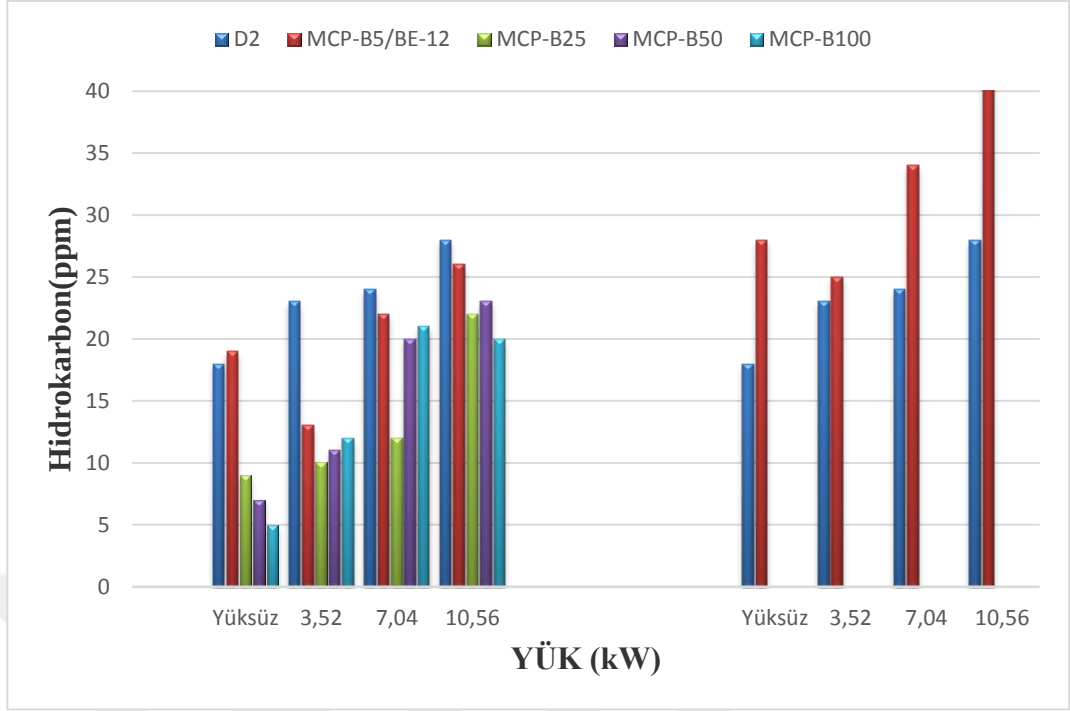
Şekil 4.15. D2 yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının yakıtların sabit motor devrinde yüke bağlı NOx emisyonlarının değişimi incelendiğinde etanol ilaveli biyodizel yakıtının kullanılması ile elde edilen toplam NOx değerinin dizel yakıtının kullanılması ile edilen NOx miktarından %9.11 daha az olduğu görülmektedir. Bu azalmanın biyodizele ilave edilen etanolün buharlaşma ısısının yüksek olmasının silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklıklarını azalttığı dolayısı ile yüksek sıcaklığa bağlı bir emisyon türü olan NOx emisyonlarında bundan dolayı azaldığı düşünülmüştür (Yücesu vd., 1999). Biyodizel karışım yakıtları ve etanol biyodizel karışım yakıtının, dizel yakıtına göre NOx emisyonlarındaki farklar tablo 4.15.'te verilmektedir.

Tablo 4.15. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının NOx emisyonundaki değişimleri (%)

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100	BE-12
Yüksüz	% 8,47	% 39.47	% 39.47	% 49,42	% 15.39
1.kademe	% 4.11	% 3.48	% 13.15	%26,29	% 3.05
2.kademe	% 3.14	% 11.08	% 5.45	%0,32	% 6.39
3.kademe	% 1.11	% 1.47	% 2.90	5,40	% 11.38

4.2.6. HC Emisyonu Değişimi

Hidrokarbon emisyonları, CO gibi eksik yanma ürünleridirler.Yakıtların yanmamasından ya da kısmi yanmasından kaynaklanmaktadırlar. Hidrokarbonların oluşumu üzerinde; motor konstrüksiyonu, yakıtın yapısı ve çalışma şartları etkili olmaktadır.Dizel motorların yanma odalarında, yanma süreci içerisinde oluşan zengin karışım noktaları reaksiyon hızlarını düşürmekte, bölgesel sıcaklıkları azaltmakta hatta bazı bölgelerde alev sönmektedir. Bunun yanında yanma süreci içerisindeki aşamalardan biri olan tutuşma gecikmesi (TG) süresi artınca da HC emisyonları artmaktadır. Şekil 4.16.'da sabit motor devrinde farklı yüklerde MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının dizel yakıtına göre HC emisyon değerleri görülmektedir. Motorun yük miktarı artıkça hidrokarbon emisyonu tüm yakıtlarda artmıştır. Motorun yük miktarı arttıkça silindire gönderilen yakıt miktarı artmaktadır. Buna karşılık motor devri sabit olduğunda emilen hava miktarı aynı kalmakta ve motorun hava/yakıt oranı zengin karışım tarafına kaymaktadır. Yani motor nispeten daha zengin karışım ile çalışmakta ve yakıt tutuşma sıcaklığına gelmediği için yeteri kadar yanamamaktadır (Heywood, 1988). Bu durum HC emisyonlarının yük miktarı ile doğru orantılı bir şekilde artmasına neden olmaktadır. MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının ürettiği HC emisyon değerleri dizel yakıt HC emisyon değerlerine oranla ortalama olarak % 28,39 daha düşük seyrettiği belirlenmiştir. Biyodizel içeriğindeki fazla oksijenin HC ürünlerini dizele kıyasla daha fazla okside etmesiyle biyodizel karışım yakıtlarındaki HC emisyonlarının etkili bir şekilde azalması bunun sonucu olarak izah edilebilir (Ahmed, 2010).



Şekil 4.16. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak HC emisyon değişimleri

Şekil 4.16.'da dizel yakıtı ile biyodizel-etanol karışımı yakıtın sabit motor devrinde yüke bağlı hidrokarbon (HC) emisyonu değişimi görülmektedir. Şekil 4.16. incelendiğinde, etanol ilaveli biyodizel yakıtının dizel yakıtına oranla % 35,87 daha fazla HC emisyonu ürettiği tespit edilmiştir. Muhtemel sebebinin etil alkolün yüksek buharlaşma gizli ısısının ortam sıcaklığını düşürmesi, düşen sıcaklığın da özellikle silindir cidarlarına yakın kısımlarda alev sönmelerine sebep olması, dolayısı ile HC emisyonlarında artışa sebep olmaktadır (Eyidoğan, 2011). Biyodizel karışım yakıtları ve etanol biyodizel karışım yakıtının, dizel yakıtına (D2) göre HC emisyonlarındaki farklar Tablo 4.16.'da verilmektedir

Tablo 4.16. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının HC emisyonundaki değişimleri (%)

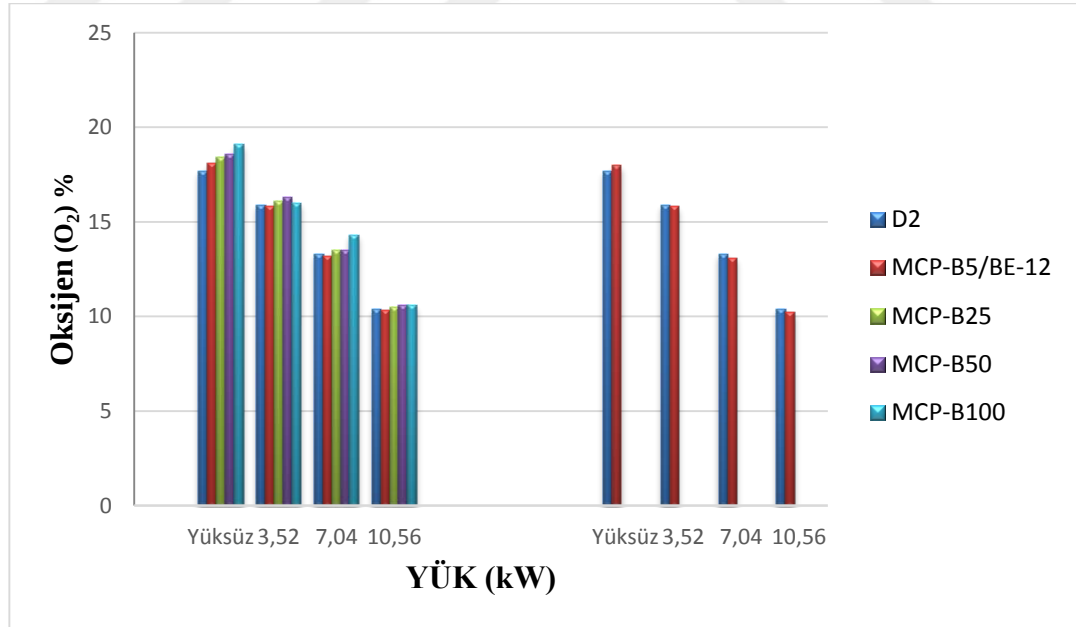
Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-100	BE-12
Yüksüz	% 5,55	% 50	% 67,12	% 27	% 55,55
1.kademe	% 46	% 56,13	% 52,18	% 48	% 8,69
2.kademe	% 8,44	% 50	% 16,37	% 13,5	% 41,66
3.kademe	% 11,15	% 11,43	% 11,86	% 40	% 39,65

4.2.7. O₂ Emisyonu Değişimi

Dizel yakıtı ve MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının sabit motor devrinde (1500 d/d) yüke bağlı O₂ emisyonlarının değişimi Şekil 4.17.'de görülmektedir. Düşük yüklerde oksijen emisyon değerlerinin yüksek çıktığı, yük arttıkça bütün test yakıtları için yanma iyileştiğinden O₂ emisyonunun etkili bir şekilde düştüğü yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça O₂ miktarında artışlar olduğu, bütün yüklerde biyodizel karışım yakıtlarının dizel yakıtından daha fazla oksijen salınımı gerçekleştirdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.17. D2 yakıtına göre karışım yakıtlarının O₂ emisyonundaki değişimleri (%)

Motor Yüğü	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100	BE-12
Yüksüz	% 2,25	% 3,95	% 5,08	% 7,90	% 1,69
1.kademe	% 0,63	% 1,25	% 2,51	% 0,62	% 0,63
2.kademe	% 0,64	% 1,50	% 1,50	% 7,51	% 1,52
3.kademe	% 0,97	% 0,96	% 1,92	% 1,92	% 1,96

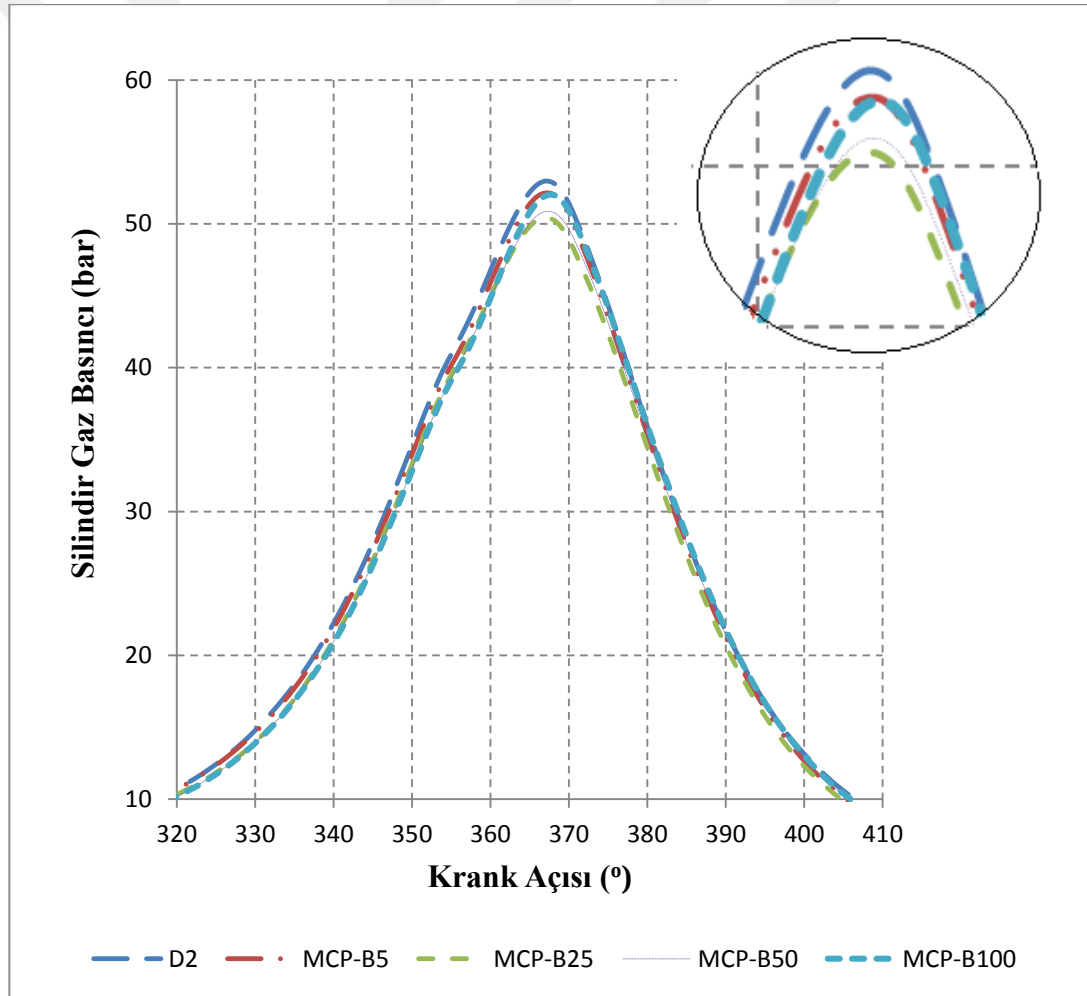


Şekil 4.17. Test yakıtlarının motor gücüne bağlı olarak O₂ emisyon değişimleri

4.3.Yakıtların Yanma Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

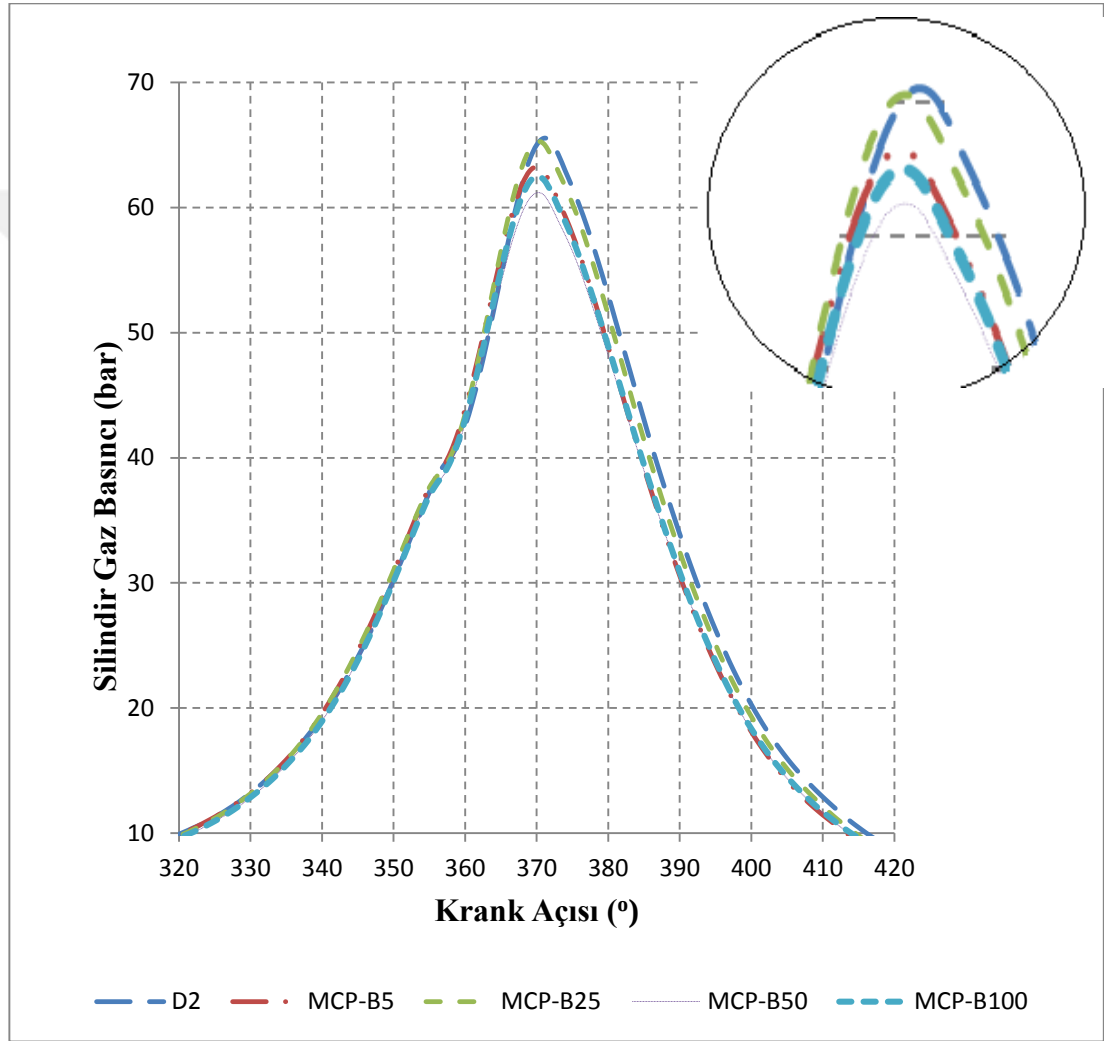
4.3.1. Silindir Gaz Basınçlarının Karşılaştırılması

Sabit devirde (1500 d/d) ve farklı yüklerde silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi Şekil 4.18.'de gösterilmiştir. Silindir gaz basınç değişim grafikleri incelendiğinde, motorun yüksüz olarak çalıştırıldığı durumda elde edilen grafikte, D2 yakıtı ile MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-100 yakıtlarına kıyasla daha yüksek silindir gaz basıncı değerlerine ulaşıldığı ve basınç artışının Ü.Ö.N.'ya daha yakın gerçekleştiği görülmektedir. D2 yakıtı ile elde edilen maksimum basınç ise Ü.Ö.N.'dan sonra 7° krank mili açısında (KMA) üst ölü noktadan sonra (ÜÖN S°KA 7°) 52,982292 bar olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.18. 1500 d/d yüksüz olarak D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri

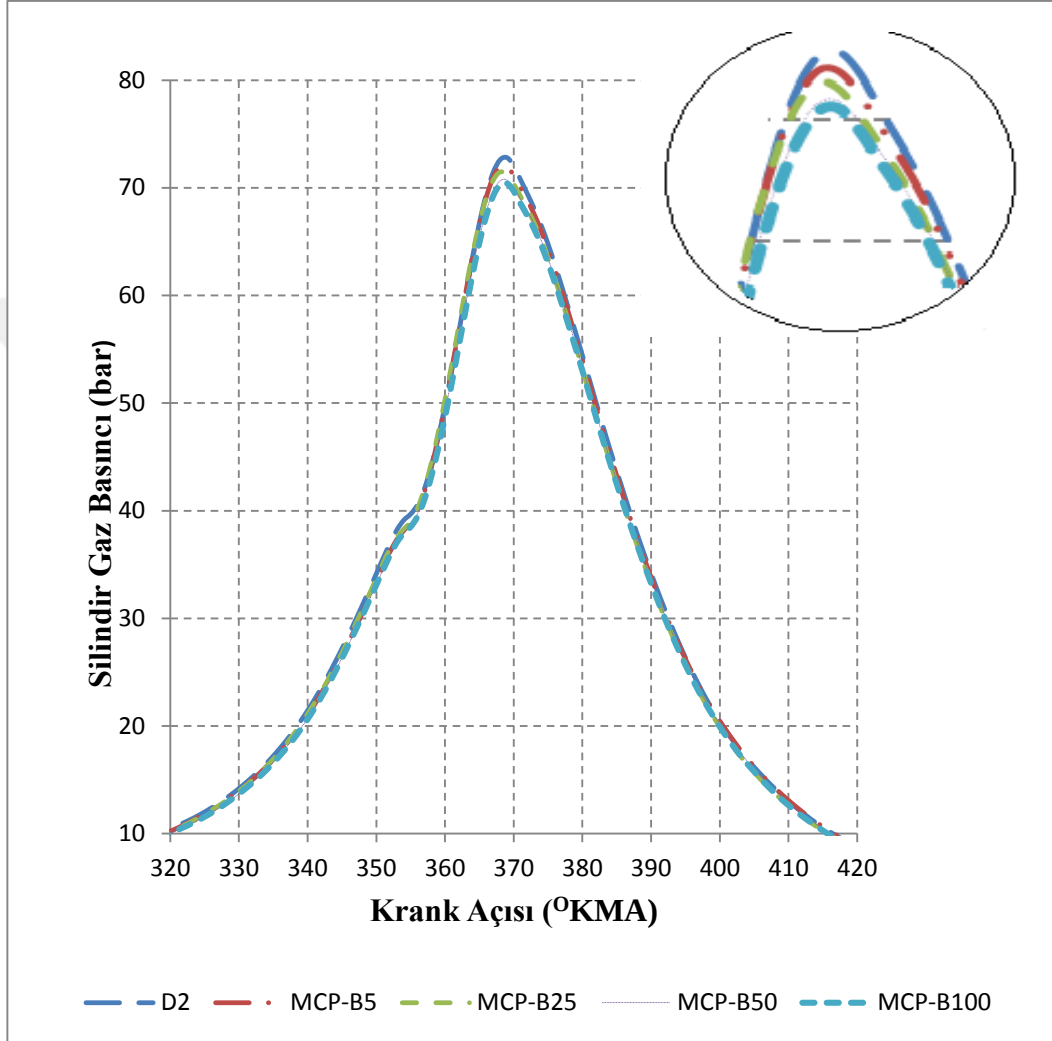
Şekil 4.19. incelendiğinde, dizel jeneratör motorunun 3.52 kw yüklenmesi ile elde edilen silindir gaz basınçlarının, motorun yüksüz konumunda iken ölçülen silindir gaz basınç değerlerine kıyasla belirgin olarak yükseldiği ve 3.52 kw yük ile ölçülen maksimum silindir gaz basınç değerleri arasında en yüksek basınç değerine ÜÖN dan sonra 9° krank mili açısında (ÜÖN S °KA 9°) D2 yakıtı ile 65,549437 bar olarak ulaşılmasına karşılık MCP-B25 yakıtının basınç artışının ÜÖN'ya daha yakın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.19. 1500 d/d 3.52 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri

Sabit devirde (1500d/d) 7.04 kw motor yüklemesi ile D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri Şekil 4.20.'de görülmektedir. Dizel jeneratör motorunun yüksüz çalışması esnasında ürettiği maksimum silindir gaz basıncı değerlerinin ÜÖN'ya daha yakın olduğu görülürken jeneratör motoruna

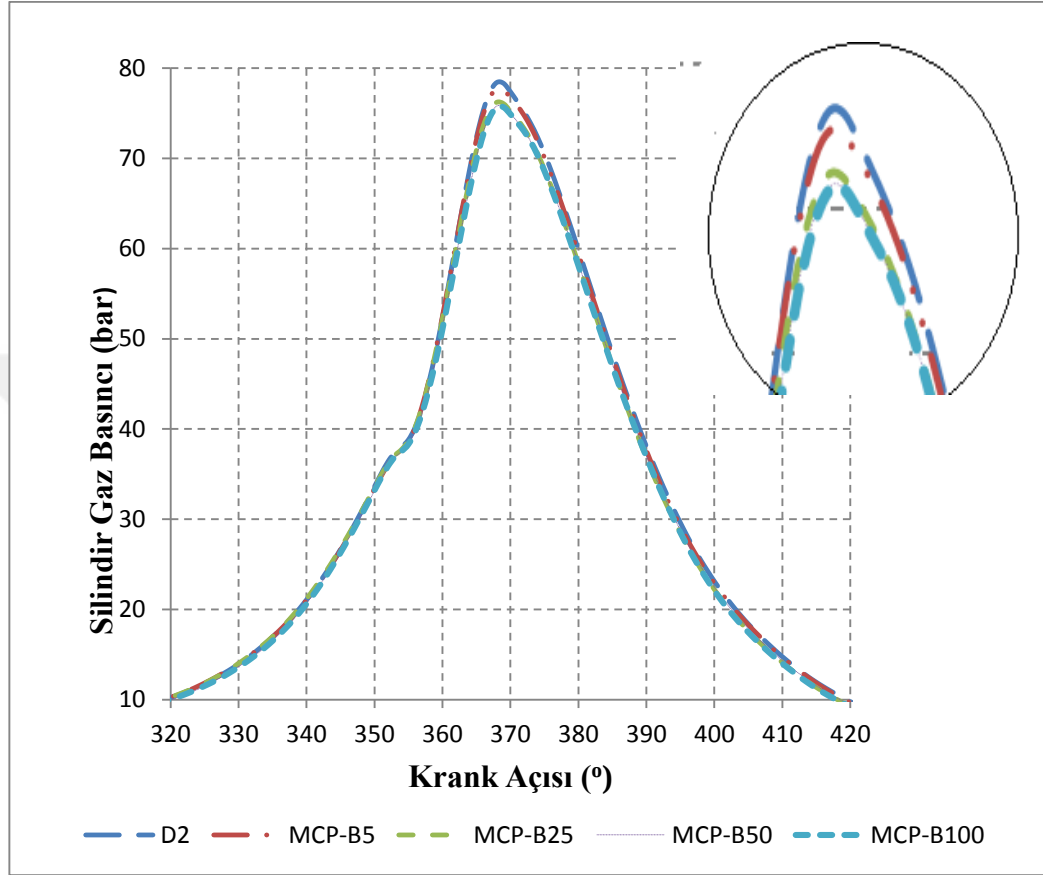
yapılan yüklemeler ile elde edilen maksimum silindir gaz basıncı değerlerinin bütün deney yakıtları için ÜÖN'dan uzaklaştığı belirlenmiştir. 7.04kw motor yüklemesi ile silindir gaz basınçlarının artmaya devam ettiği görülürken en yüksek silindir gaz basınç değerlerinin D2 yakıtıyla elde edildiği basınç artışının ÜÖN'ya yakınlığının ise bütün deney yakıtları için çok benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. 1500 d/d 7.04 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri

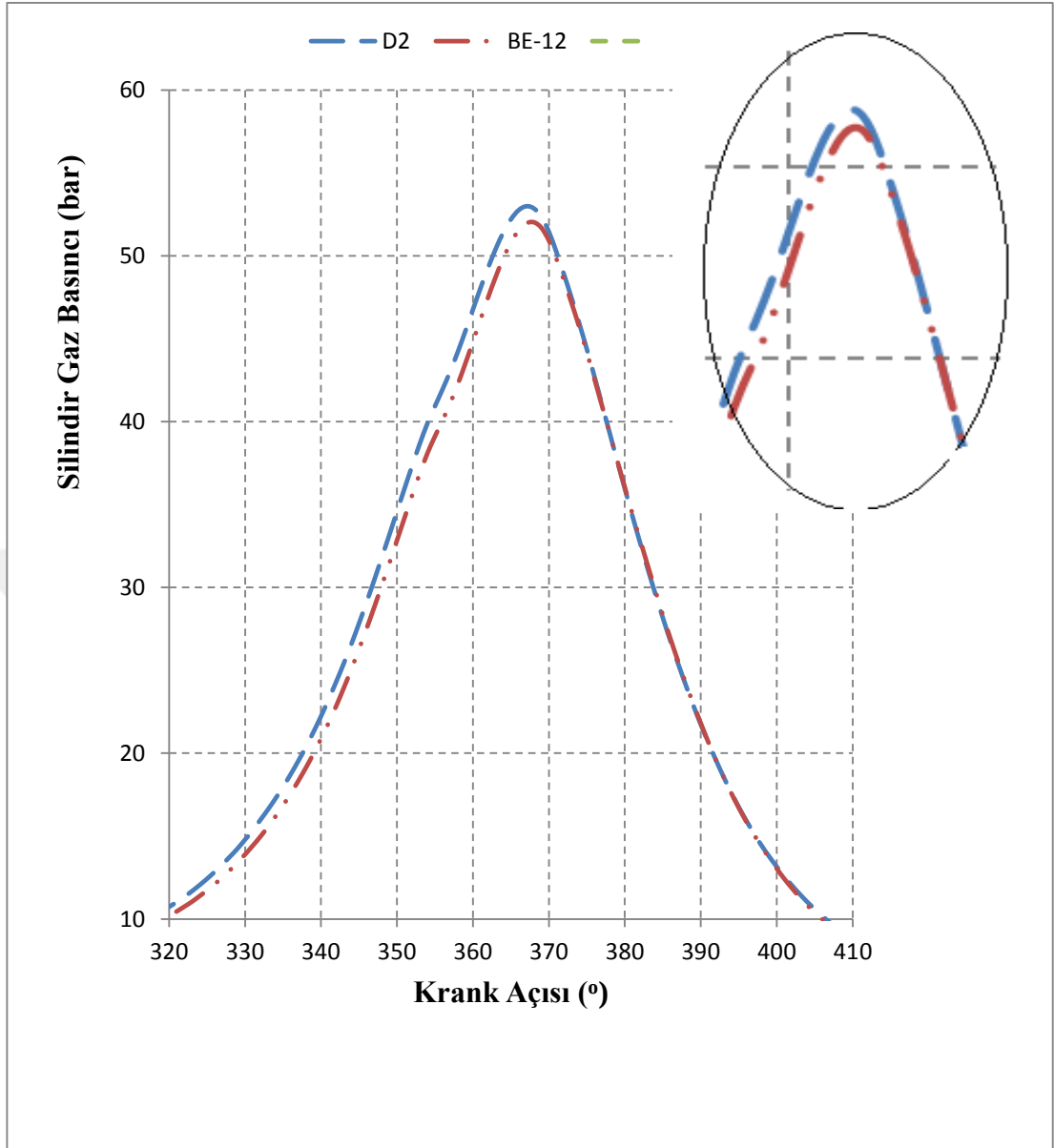
Şekil 4.21. incelendiğinde bütün deney yakıtlarının maksimum silindir basınç değerlerine 10.56 kw motor yüklemesi ile ulaştığı görülmektedir. Deney yakıtları için ölçülen silindir gaz basınç değerleri, D2 yakıtı için (ÜÖN S °KA 8°) 78,414839 bar, MCP-B5 yakıtı için (ÜÖN S °KA 8°) 77,716125 bar, MCP-B25 yakıtı için (ÜÖN S °KA 8°) 76,239431 bar, MCP-B50 yakıtı için (ÜÖN S °KA 8°) 75,816602 bar ve MCP-B100 yakıtı için (ÜÖN S °KA 8°) 75,695649 bar olarak ölçülmüştür. Motorun daha kararlı çalıştığı

3.52, 7.04 ve 10.56 kw yüklemelerin tamamında D2 yakıtında silindir gaz basıncı altında kalan alanın biyodizel katkılı karışım yakıtlara göre daha geniş olduğu, muhtemel sebebinin ise D2 yakıtının biyodizel karışım yakıtlara göre daha uzun bir yanma gerçekleştirdiği şeklinde yorumlanmıştır. (Eyidoğan, 2011).



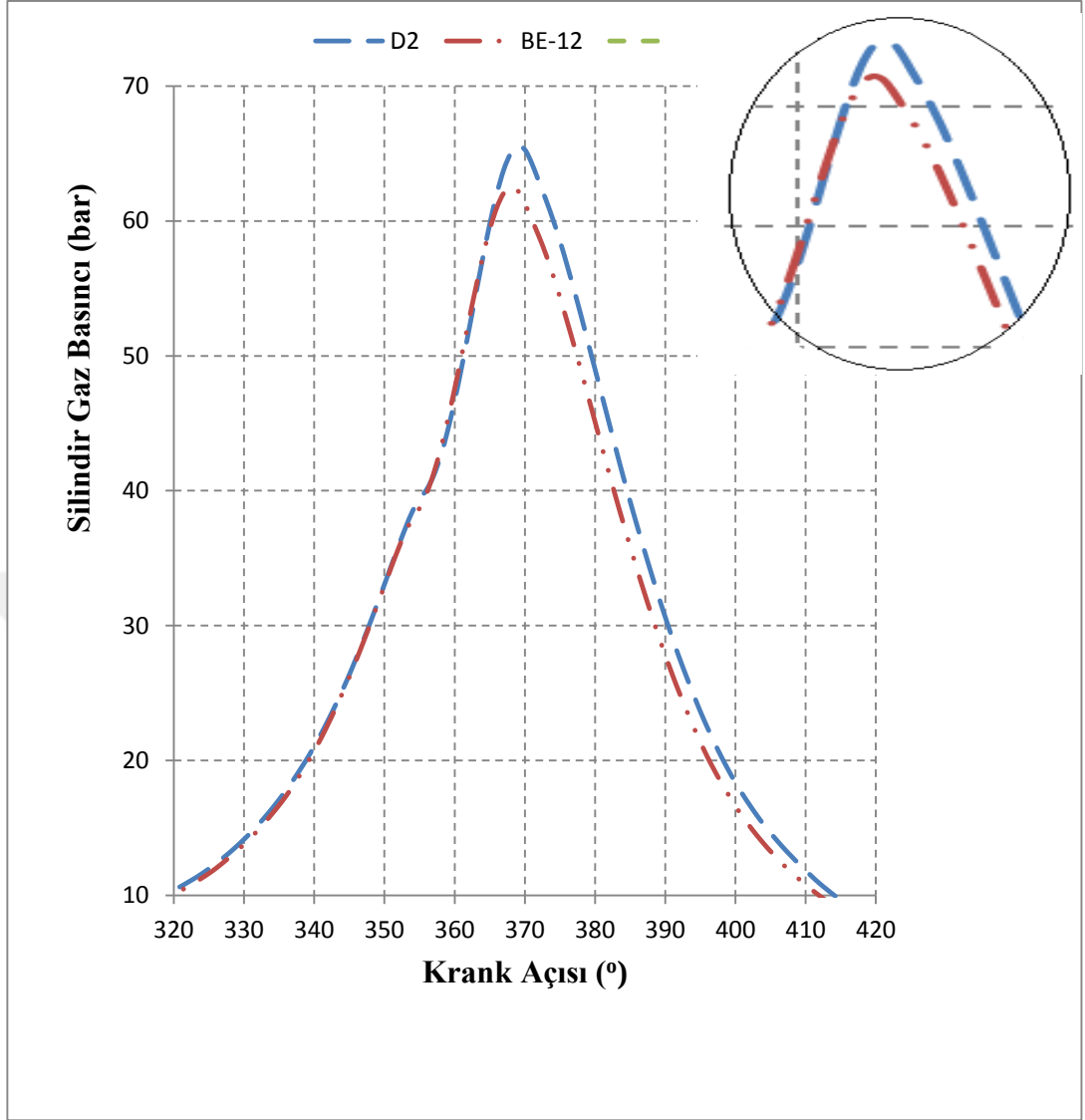
Şekil 4.21. 1500 d/d 10.56 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri

Şekil 4.22. D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da dizel jeneratör motorunun yüksüz konumda çalıştırılması ile alınan silindir gaz basınç değerleri incelendiğinde D2 yakıtının maksimum değere üst ölü noktadan sonra 7° krank mili açısında 52,982 bar basınç ile BE-12 yakıtının maksimum silindir gaz basınç değerlerine ise üst ölü noktadan sonra 7° krank mili açısında 51,9407 bar olarak ulaştıkları görülmektedir. Ayrıca D2 yakıtının silindir gaz basıncı oluşumunun BE-12 yakıtına kıyasla daha erken gerçekleştiği belirlenmiştir.



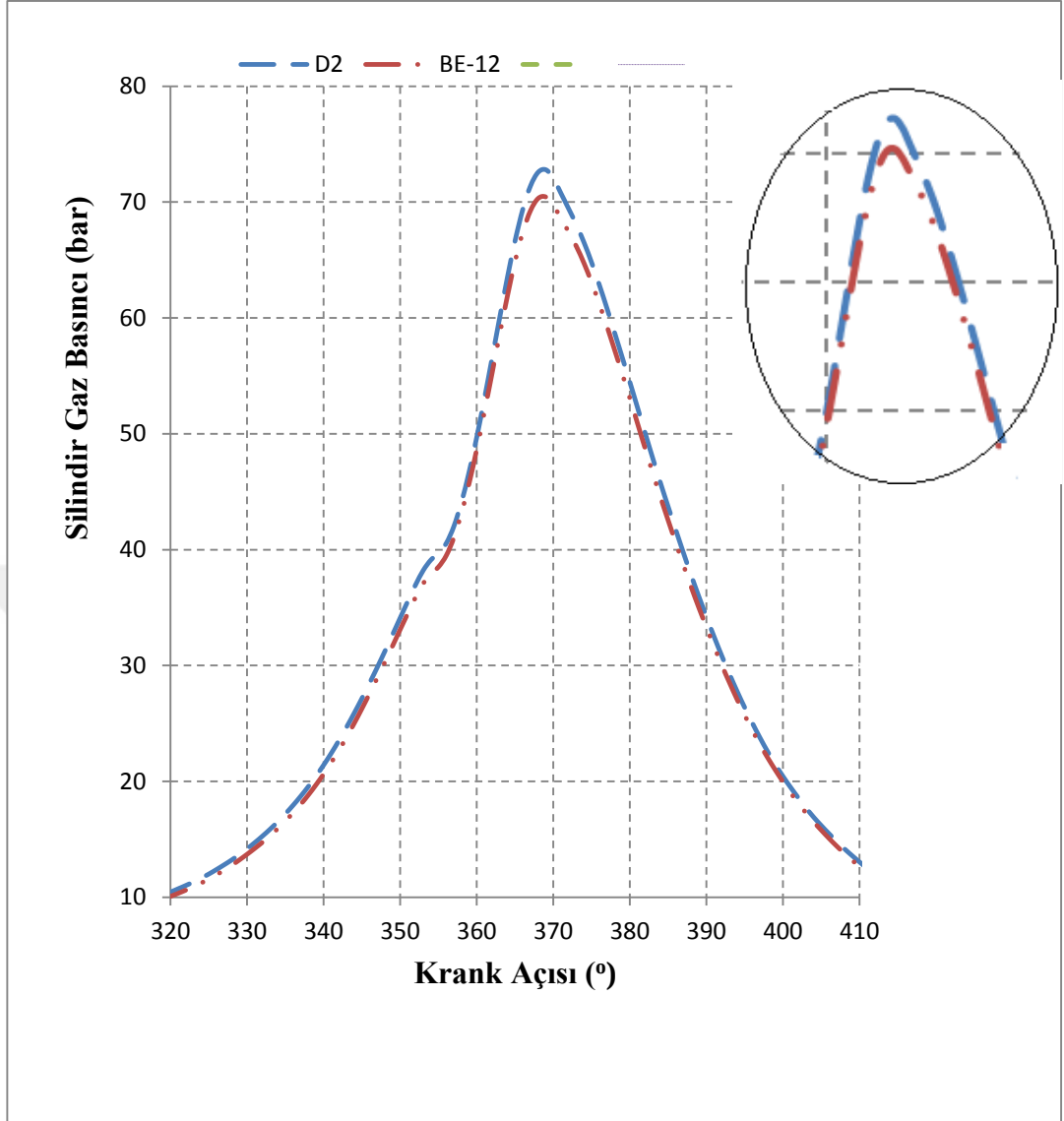
Şekil 4.22. D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d’da yüksüz silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi

Şekil 4.23.’ de D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d’da dizel jeneratör motorunun 3,52 kw yüklenmesi durumunda ölçülen silindir gaz basınç değerlerinin, dizel jeneratör motorunun yüksüz konumunda ölçülen silindir gaz basınç değerlerine kıyasla artış gösterdiği görülürken, D2 ve BE-12 yakıtlarının silindir gaz basınç oluşum önceliklerinin benzer olduğu görülmektedir. 3.52 kw yük koşullarında elde edilen maksimum değerler D2 yakıtı için 369° krank mili açısında 65,5499 bar, BE-12 yakıtı için ise 369° krank mili açısında 62,2333 bar olarak gerçekleşmiştir.



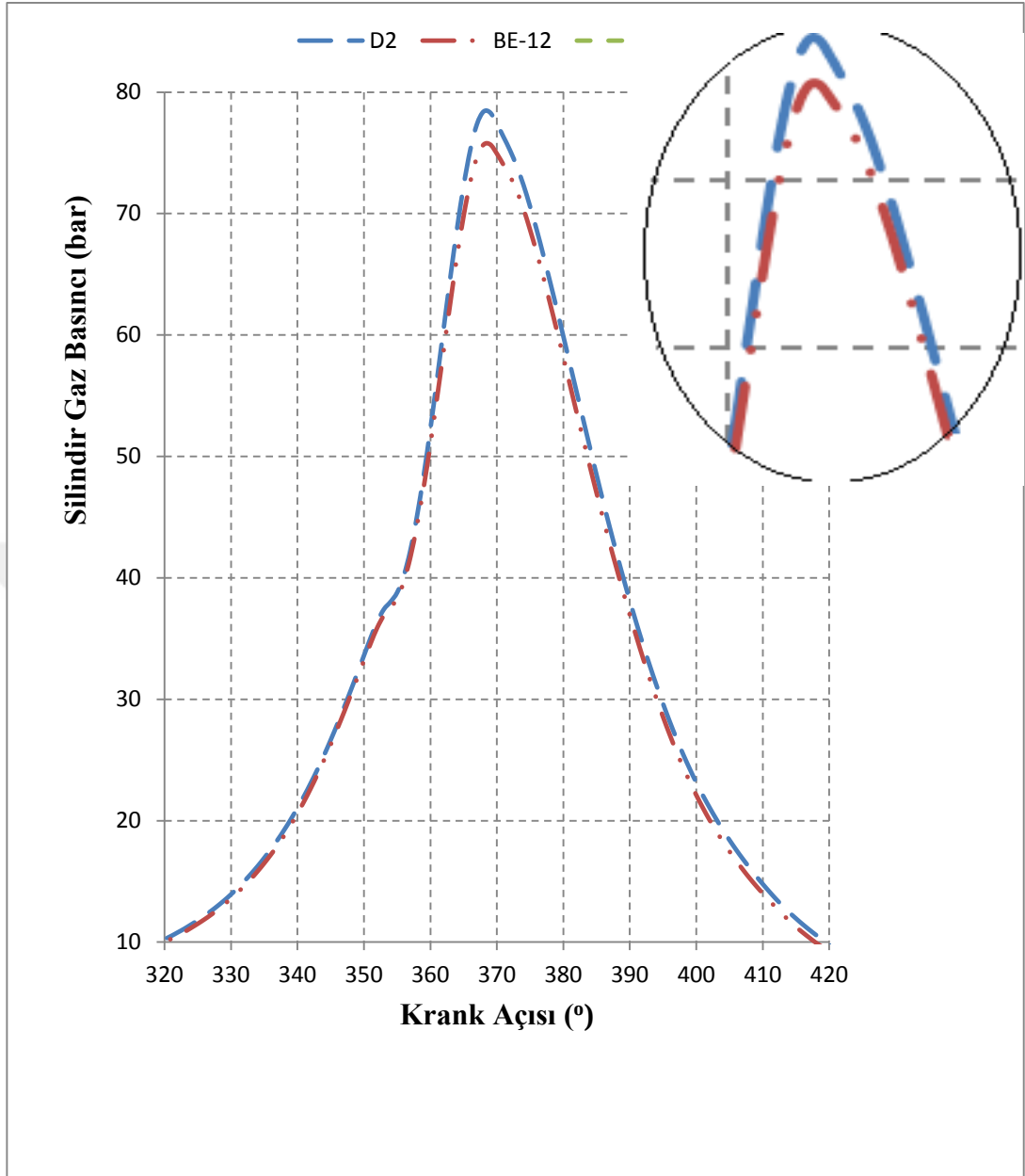
Şekil 4.23. D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da 3.52 kw yükte silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi

Şekil 4.24.' de D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da jeneratör motorunun 7,04 kw yüklenmesi ile ölçülen silindir gaz basınç değerlerinin, dizel jeneratör motorunun yüksüz ve 3.52 kw yük koşullarında ölçülen silindir gaz basınç değerlerine kıyasla daha yüksek maksimum değerler ürettikleri görülmektedir. Ayrıca D2 yakıtının silindir gaz basınç oluşumunun BE-12 yakıtına kıyasla daha yüksek ve daha erken gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.24. 1500 d/d'da 7.04 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için silindir gaz basıncı değişimleri

Şekil 4.25.'de D2 ve BE-12 yakıtlarının 1500 d/d'da jeneratör motorunun 10,56 kw yüklenmesi ile ölçülen silindir gaz basınç değerlerinin, dizel jeneratör motorunun yüksüz, 3.52 ve 7.04 kw yük koşullarında ölçülen silindir gaz basınç değerleri içinde en yüksek değerler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bütün yük koşullarında dizel yakıtının BE-12 yakıtına oranla daha uzun bir yanma gerçekleştirdiği ifade edilebilir. (Eyidoğan, 2011).

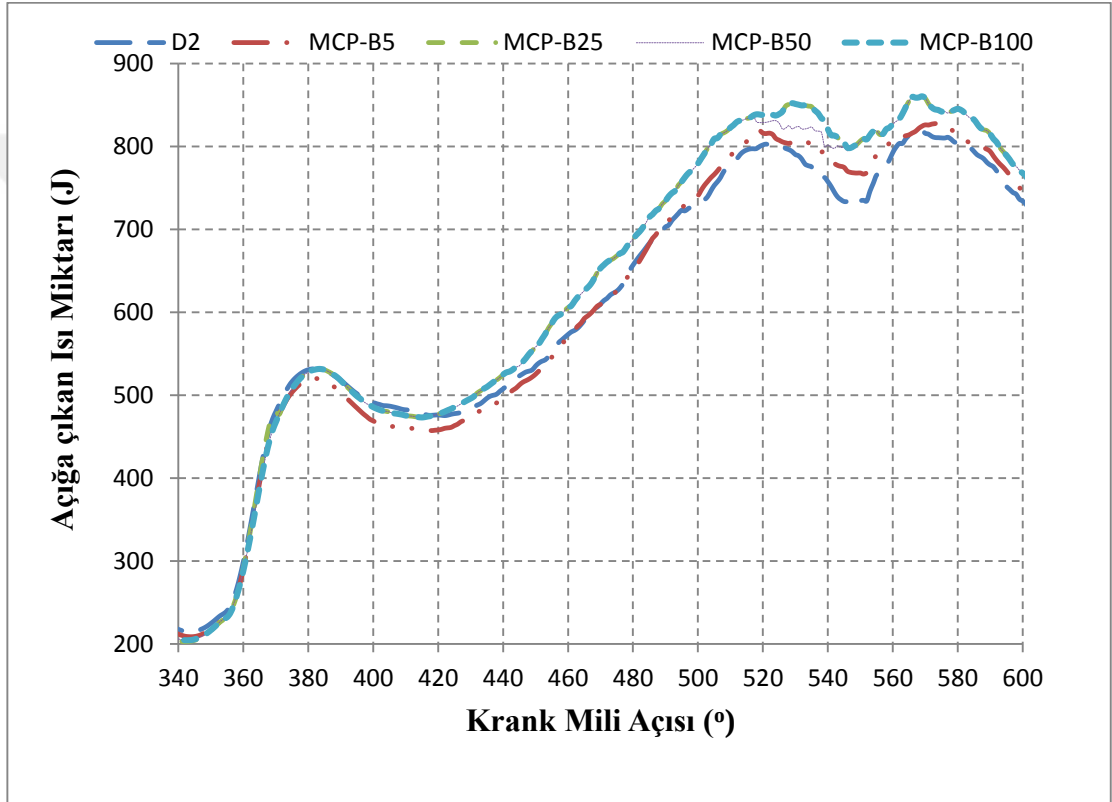


Şekil 4.25. 1500 d/d'da 10.56 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için silindir gaz basınç değişimleri

4.4. Açığa Çıkan Isı Miktarlarının Karşılaştırılması

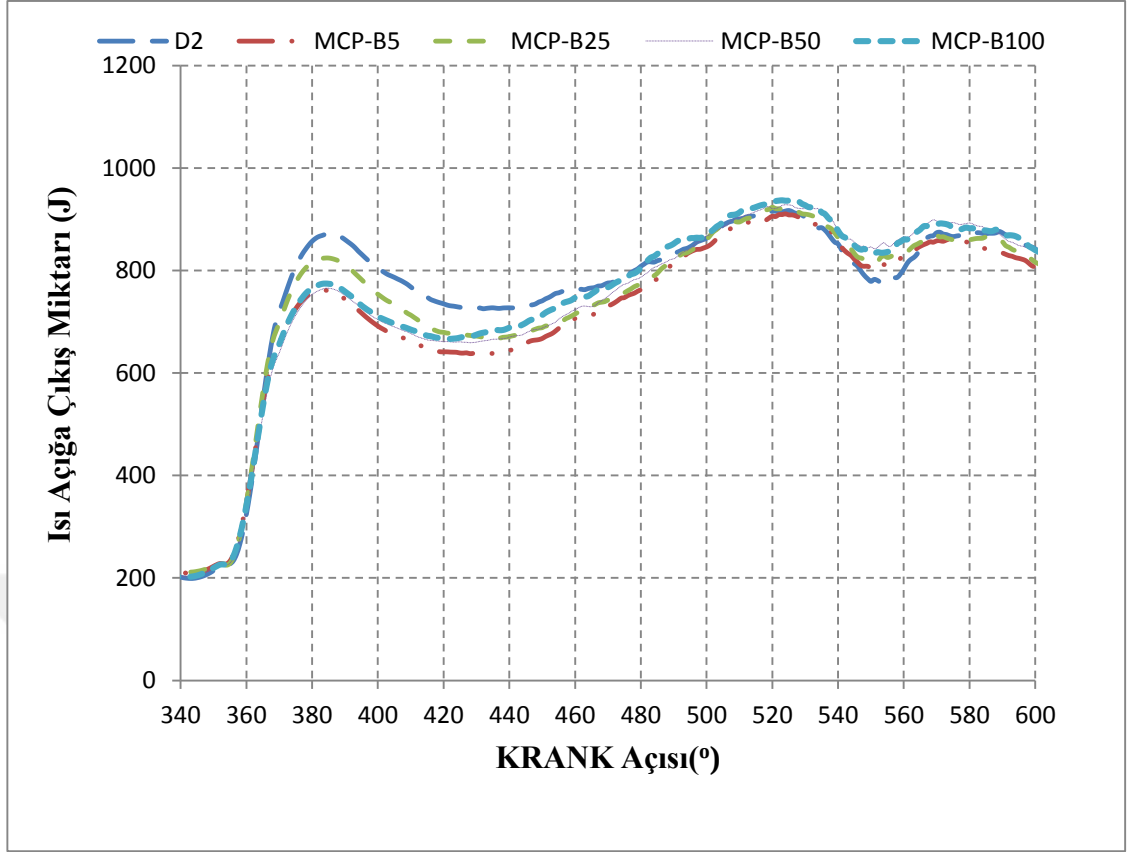
Bir motorun yanma odasından ölçülen ısı açığa çıkış miktarı-krank açısı verileri incelendiğinde çevrimler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Çevrimsel farklılıklar olarak adlandırılan bu parametrenin minimum miktarda tutulması gerekir. Çevrimsel farklılıkların oluşmasında birçok kimyasal ve fiziksel faktör vardır. Silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan atık gaz oranı, hava-yakıt oranı, yakıtın bileşimi ve yanma odası içerisinde yanmamış gazların hareketi bu faktörler arasında sayılabilir (Koncuk, 2008).

Çevrimsel farklılıklarından dolayı ısı açığa çıkış miktarı verileri 1° krank açısı çözünürlüğünde ve 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Farklı yük ve sabit motor devrinde D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının kullanılması ile elde edilen net ısı açığa çıkış miktarlarının krank açısına göre değişimleri Şekil 4.26.- 4.27.-4.28. ve 4.29.'de görülmektedir. Şekil.4.26. incelendiğinde jeneratör motorunun yüksüz konumda çalışması esnasında alınan ısı açığa çıkış miktarı değerleri bütün test yakıtları için çok yakın çıkmasına karşın maksimum ısı açığa çıkış miktarı değeri 566° krank mili açısında MCP-B100 yakıtı ile 859,868 J elde edilmiştir.



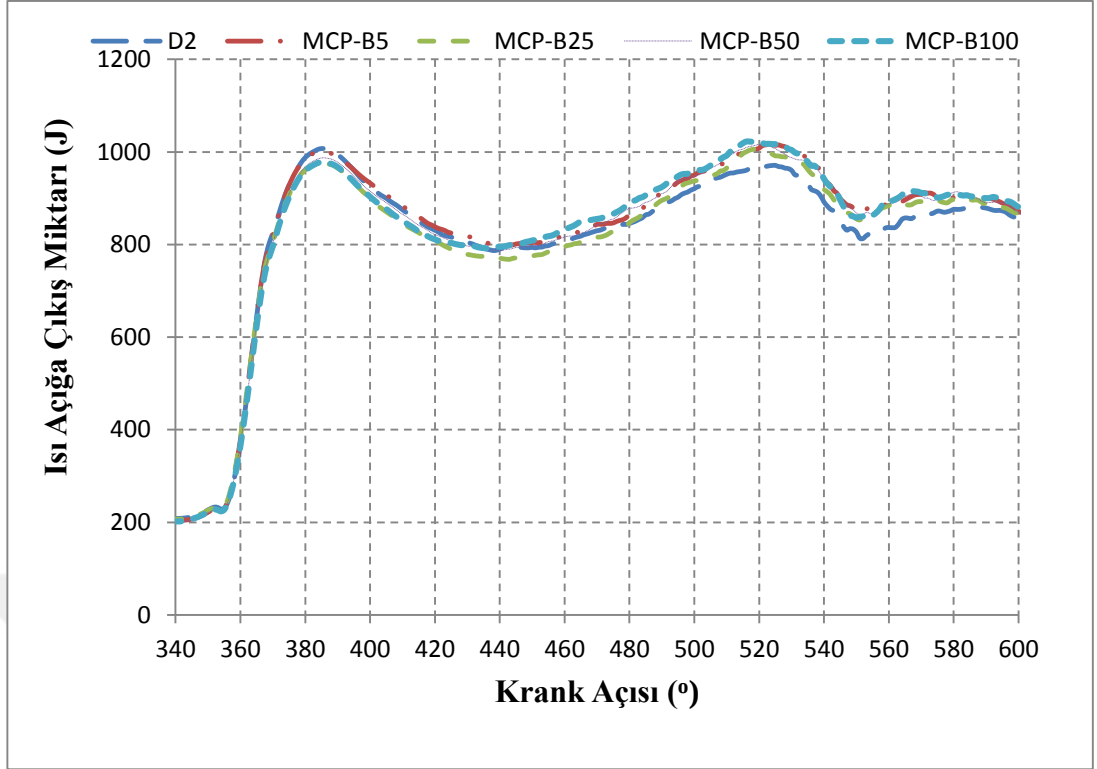
Şekil 4.26. 1500 d/d'da yüksüz D2,MCP-B5,MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için açığa çıkan ısı miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 4.27. incelendiğinde jeneratör motorunun 3,52 kw yüklenmesi ile ısı açığa çıkış miktarlarının bütün deney yakıtları için belirgin olarak arttığı tespit edilirken elde edilen en yüksek ısı açığa çıkış miktarı MCP-B100 yakıtı ile 527° KMA'da 937,42 J elde edilmiştir.



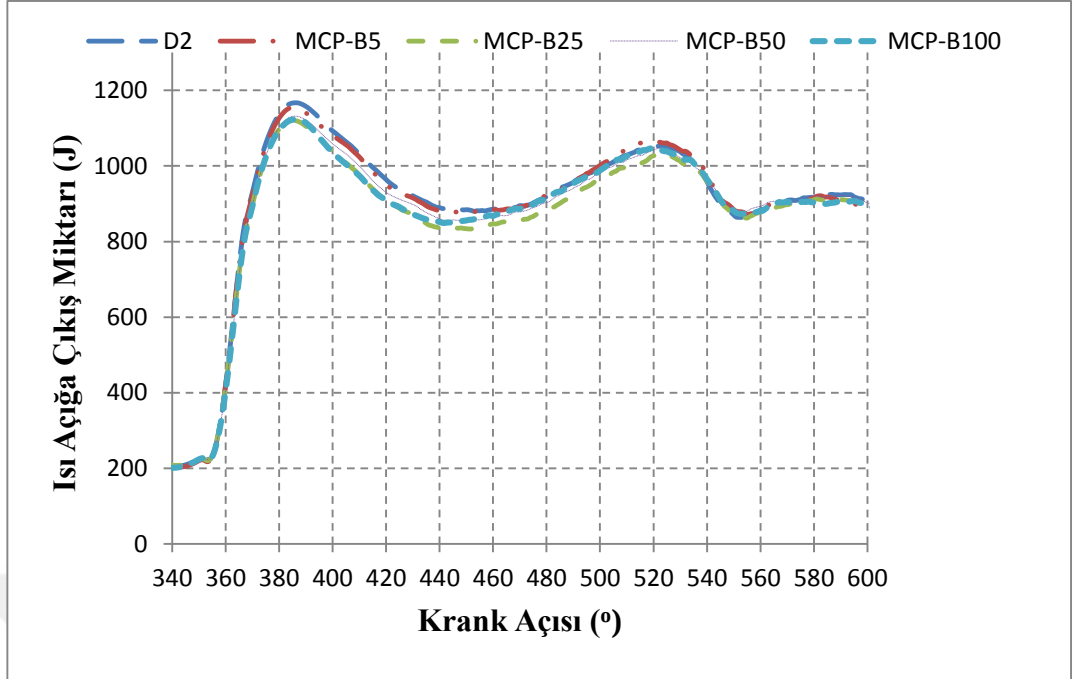
Şekil 4.27.1500 d/d'da 3.52 kw yükte D2,MCP-B5,MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması

1500 d/d sabit motor devrinde motorun 7.04 kw yükleme durumunda elde edilen ısı açığa çıkış miktarı değişimleri Şekil 4.28. görülmektedir. Şekil 4.28. incelendiğinde yüklemelerle bütün deney yakıtlarının değerlerindeki artışın sürdüğü belirlenirken maksimum değerler içerisinde en yüksek ısı açığa çıkış miktarı MCP-B100 yakıtı ile 516° KMA'da 1022,18 J ,en düşük değer ise D2 yakıtı ile 525 °KMA'da 971,169 J olarak ölçülmüştür.



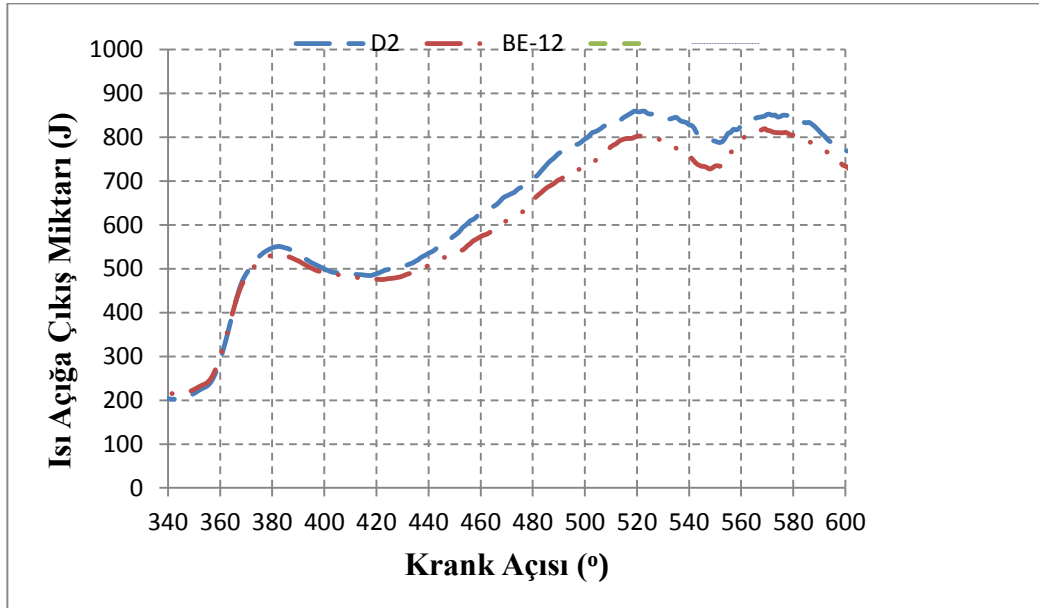
Şekil 4.28. 1500 d/d 7.04 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25 ve MCP-B50 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması

Şekil 4.29.'da ısı açığa çıkış miktarı krank mili açısı değişimi incelendiğinde bütün deney yakıtlarının yüklemeler ile artan değerlerinin 10.56 kw yükleme ile maksimuma ulaştıkları görülmektedir. Jeneratör motorunun yüksüz, 3.52 ve 7.04 kw yük koşullarında maksimum değerler içinde en yüksek ısı açığa çıkış miktarı değerleri MCP-B100 yakıtı ile elde edilirken 10.56 kw yüklemede maksimum ısı açığa çıkış miktarı değerleri D2 yakıtı için 387° KMA'da 1167,29 J ,MCP-B5 yakıtı için 385° KMA'da 1154,96 J MCP-25 yakıtı için 385° KMA'da 1120,91 J, MCP-B50 yakıtı için 385°KMA'da 1131,21 ve son olarak MCP-B100 yakıtı için ise 387°KMA'da 1123,68 J elde edilmiştir. Ayrıca yüksüz, 3.52 ve 7.04 kw yüklerde elde edilen maksimum ısı açığa çıkış miktarı değerleri üst ölü noktadan uzaklaşırken 10.56 kw yükleme ile elde edilen ısı açığa çıkış değerlerinin üst ölü noktaya daha yakın gerçekleştiği görülmektedir.



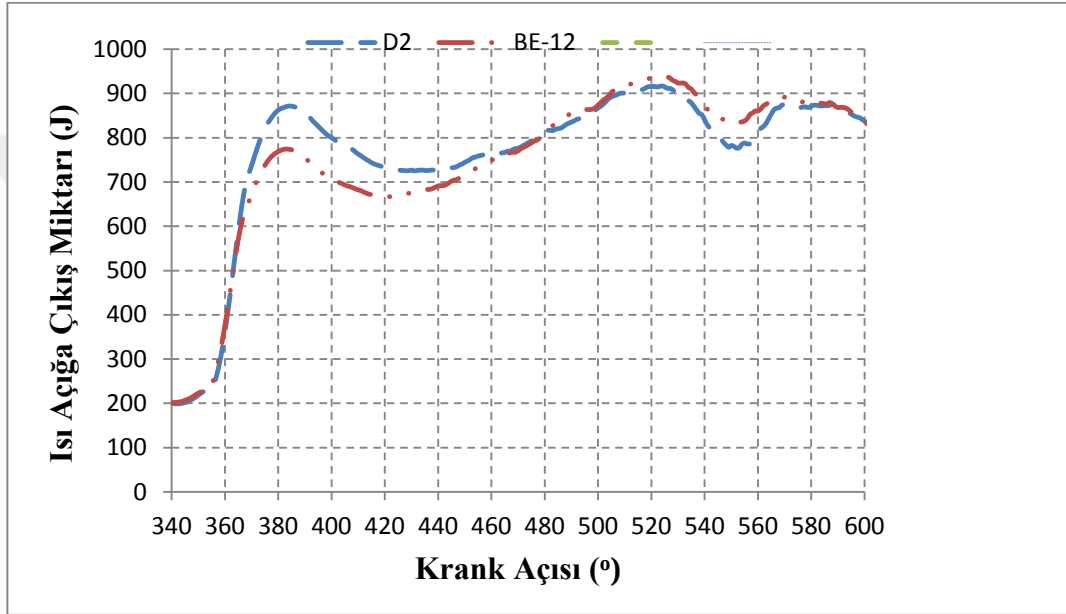
Şekil 4.29. 1500 d/d motor hızında 10.56 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması

D2 ve BE-12 yakıtlarının jeneratör motorunun yüksüz konumda ısı açığa çıkış miktarı KMA cinsinden değişimi şekil 4.30’ da gösterilmiştir. Şekil 4.30 incelendiğinde D2 yakıtının 519° KMA 859,571, BE-12 yakıtının ise 569° KMA 819,806J değer ürettiği görülmektedir.



Şekil 4.30. 1500 d/d motor hızında yüksüz D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması

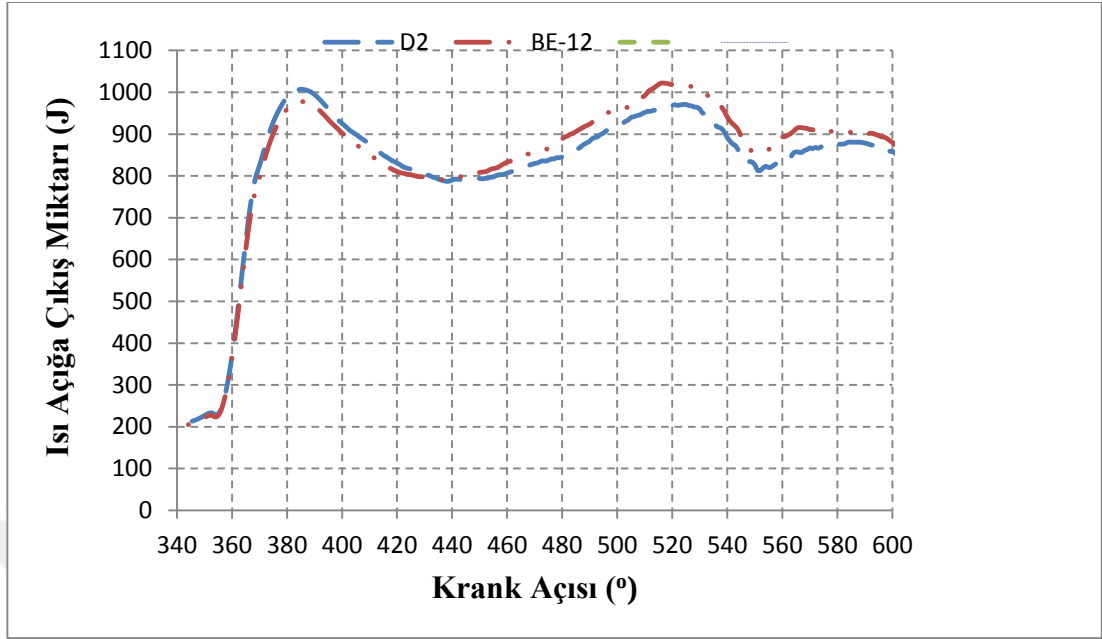
Şekil 4.31. 1500 d/d sabit motor devrinde 3.52 kw yük koşulları altında yapılan ısı açığa çıkış miktarı ölçümleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde motora yapılan yüklemeler ile ısı açığa çıkış miktarının yüksüz konumdaki motor değerlerine göre her iki deney yakıtı için artışı görülürken, BE-12 yakıtının D2 yakıtından daha fazla ısı açığa çıkış miktarı ürettiği belirlenmiştir. Elde edilen maksimum ısı açığa çıkış miktarları D2 yakıtı için 524° KMA 917,306 iken BE-12 yakıtı için ise 522° KMA 936,925J olarak gerçekleşmiştir.



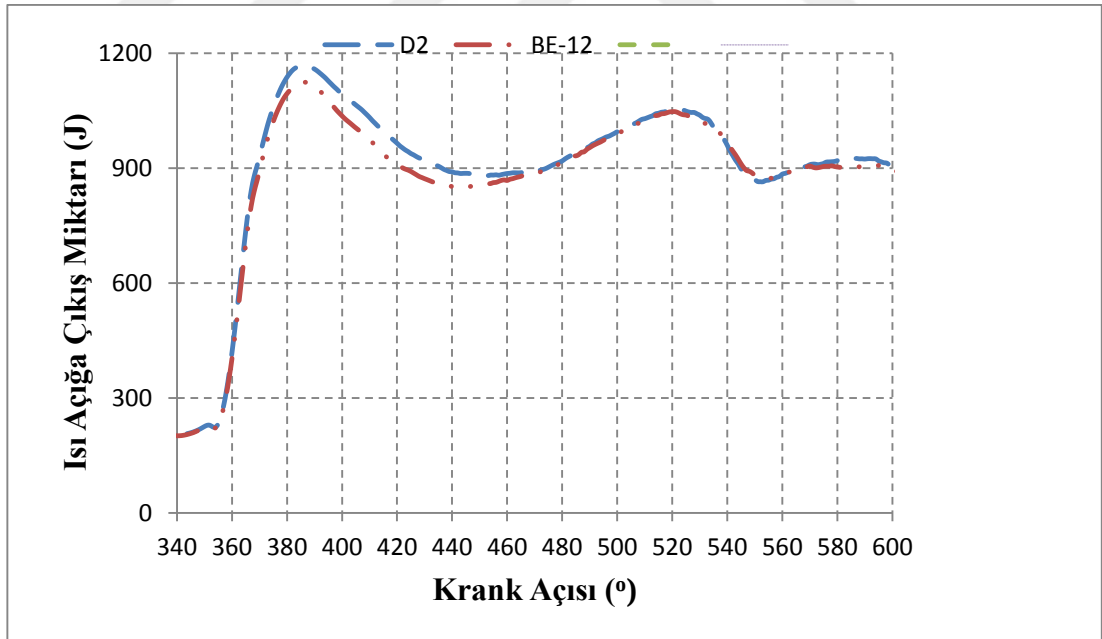
Şekil 4.31. 1500 d/d motor hızında 3.52 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Miktarlarının Karşılaştırılması

Şekil 4.32. 1500 d/d sabit motor devrinde 7.04 kw yük koşulları altında yapılan ısı açığa çıkış miktarı ölçümleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde motora yapılan yüklemeler ile ısı açığa çıkış miktar artışının devam ettiği görülürken ölçülen maksimum değerlerin D2 yakıtı için 385° KMA 1007.43J, BE-12 yakıtı için ise 516° KMA 1022,18J olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.33. 1500 d/d sabit motor devrinde 10.56 kw yük koşulları altında yapılan ısı açığa çıkış miktarı ölçümleri görülmektedir. Elde edilen değerler D2 için: 386° KMA 1167.51J, BE-12 için: 387° KMA 1123,68J olarak ölçülmüştür. Isı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırıldığı grafiklerin tamamında ÜÖN' ya yakın noktalarda D2 yakıtının değer üstünlüğünün ÜÖN dan uzaklaştıkça kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.32. 1500 d/d motor hızında 7.04 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması



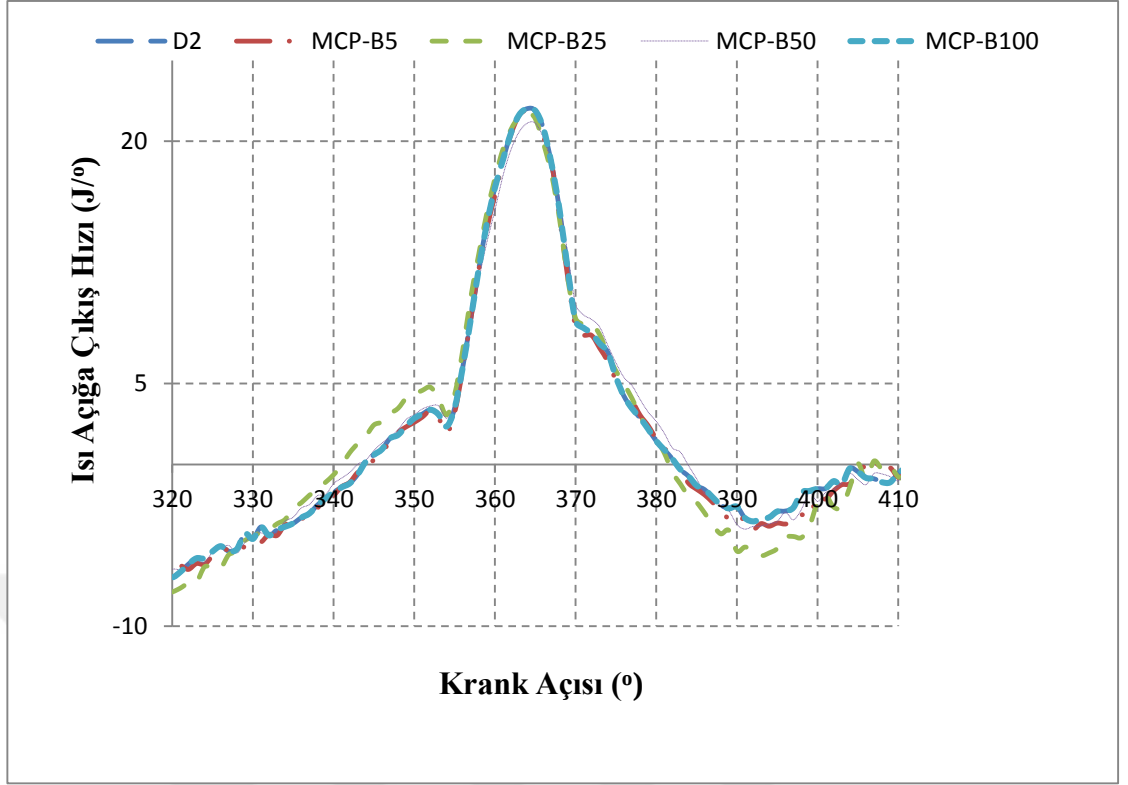
Şekil 4.33. 1500 d/d motor hızında 10.56 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış miktarlarının karşılaştırılması

4.5. Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması

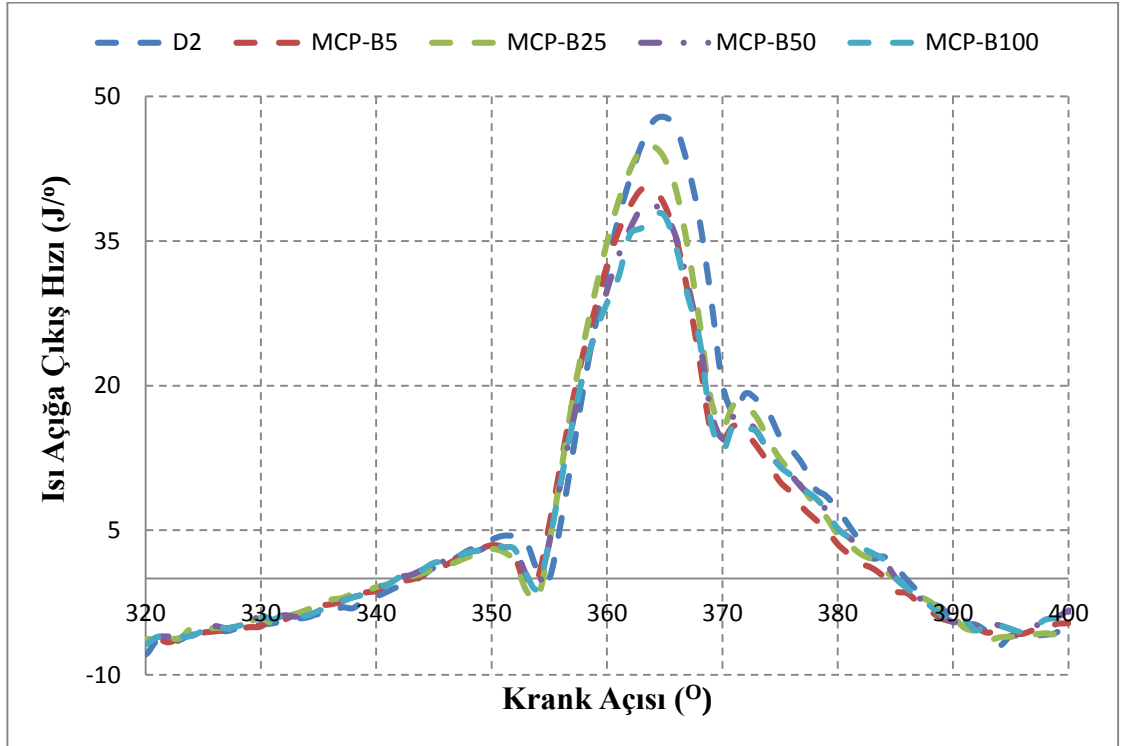
Sabit devir değişik yüklerde D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının kullanılması ile elde edilen ısı açığa çıkış hızlarının krank açısına göre değişimleri Şekil 4.34, 4.35, 4.36. ve 4.37’de görülmektedir. D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 test yakıtları kullanılarak elde edilen ısı açığa çıkış hızlarının krank açısına göre değişimleri termodinamiğin 1. yasasından faydalanılarak 100 çevrimin ortalaması alındıktan sonra hesaplanmıştır. Grafiklerde görüldüğü gibi ısı açığa çıkış hızlarının tutuşma gecikmesi (TG) noktasında negatif yönde olması; enjektörden püskürtülen ilk yakıt demetinin buharlaşması için ortamdan ısının çekilmesi ile sıcaklıkların düşmesinden kaynaklanmaktadır. Motorun bütün çalışma koşullarında elde edilen maksimum ısı açığa çıkış hızları Tablo 4.19’da ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo.4.19. incelendiğinde bütün test yakıtlarının ısı açığa çıkış hızlarının motora yapılan yüklemeler ile artış gösterdiği ayrıca bütün yakıtlar için en yüksek değerlerin 10.56 kw yükleme ile elde edildiği belirlenmiştir. Deney yakıtları kendi aralarında kıyaslandığında ise motorun yüksüz çalışması esnasında MCP-B25 yakıtı ile ısı açığa çıkış oranı diğer deney yakıtlarına göre daha erken oluşmaya başlamış ancak maksimum ısı açığa çıkış değerlerine pistonun ÜÖN’den sonra 365° KMA’nda 23,6644 J/° ile D2 yakıtı ile ulaşılmıştır.

Tablo 4.19. D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtlarının Maksimum Isı Açığa Çıkış Hızları ve Krank açıları

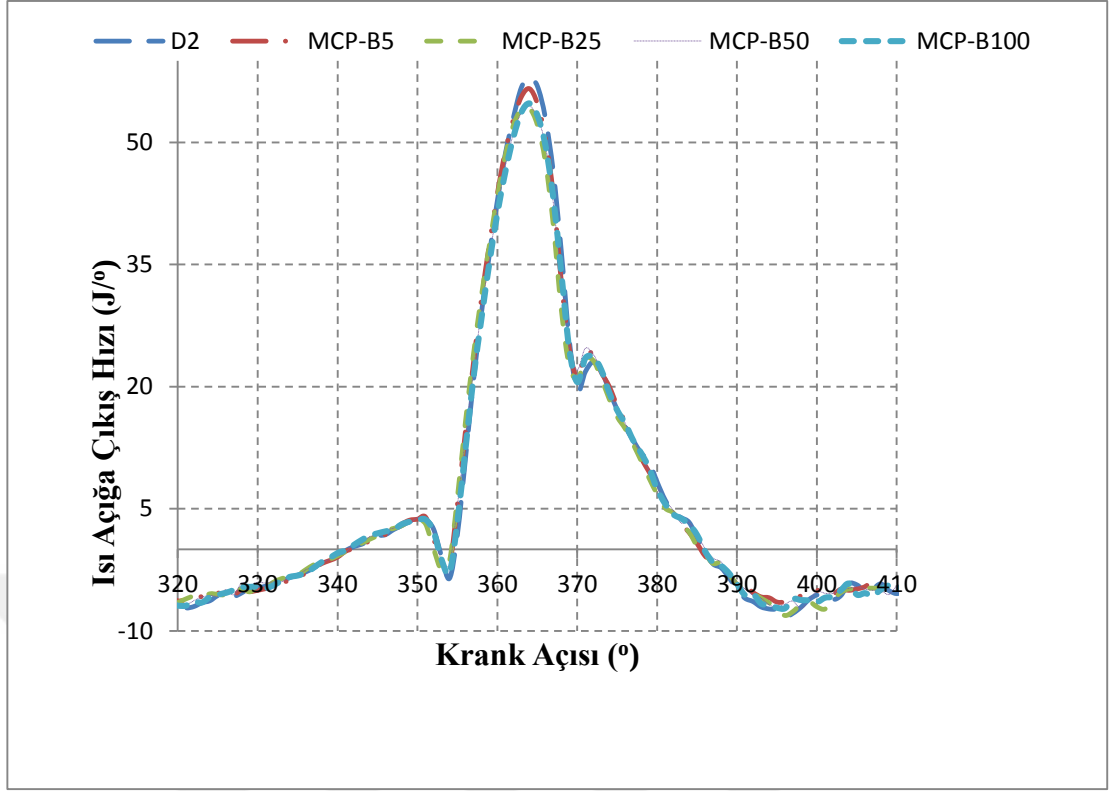
	D2	MCP-B5	MCP-B25	MCP-B50	MCP-B100
Yüksüz	23,66 (365°)	21,89 (364°)	21,81 (364°)	21,11 (365°)	22,00 (364°)
1.Kademe	47,86 (365°)	40,36 (364°)	44,84 (364°)	38,73 (364°)	40,19 (364°)
2.Kademe	57,99 (365°)	56,59 (364°)	54,21 (364°)	54,48 (364°)	54,76 (364°)
3.Kademe	66,04 (364°)	64,78 (363°)	61,95 (363°)	61,97 (363°)	62,06 (363°)



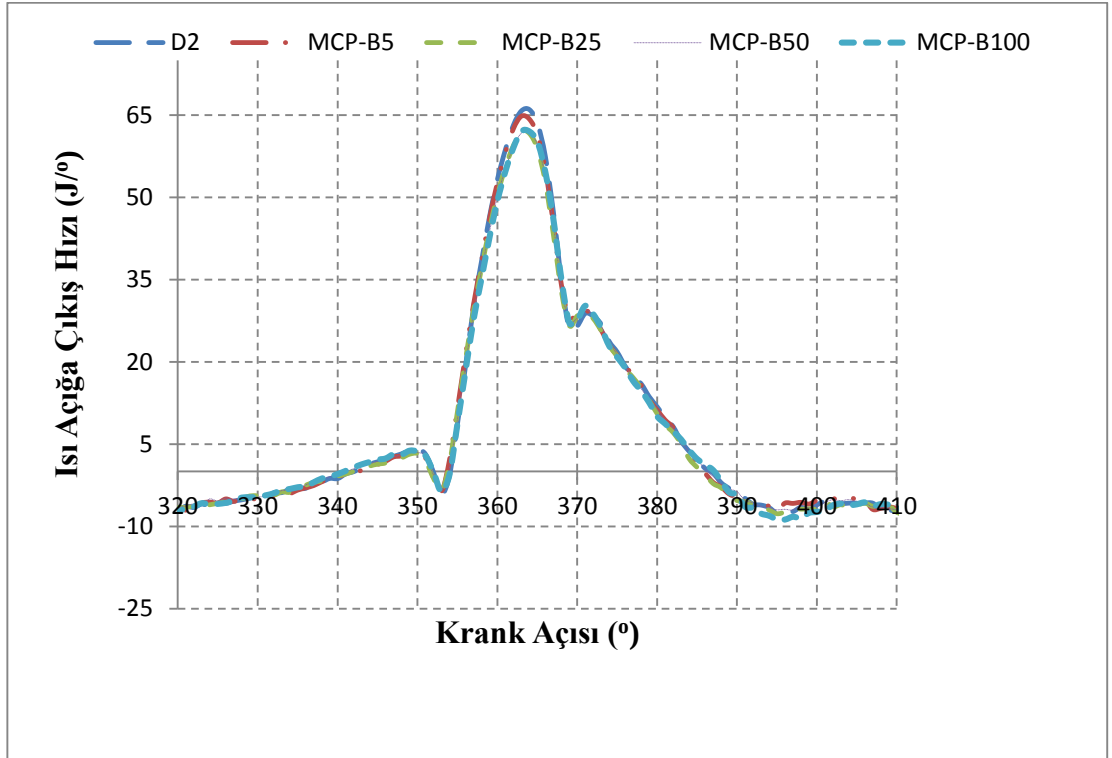
Şekil 4.34. 1500 d/d motor hızında yüksüz olarak D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için Isı Açığa Çıkış Hızlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.35. 1500 d/d motor hızında 3.52 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması

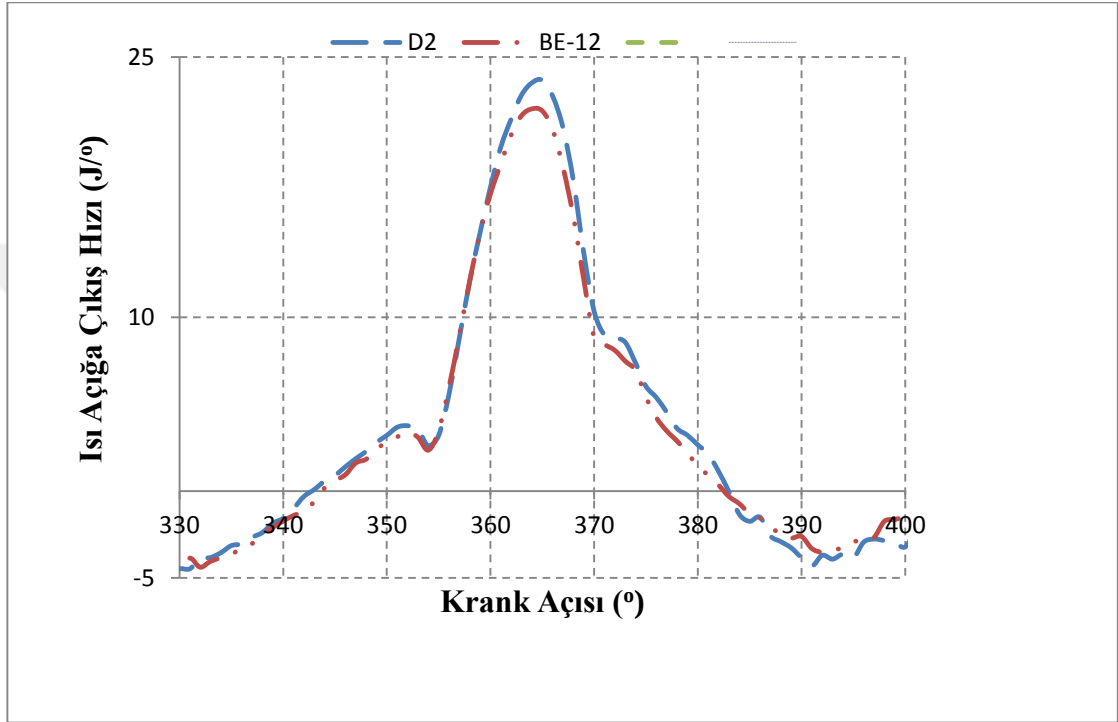


Şekil 4.36. 1500 d/d motor hızında 7.04 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması



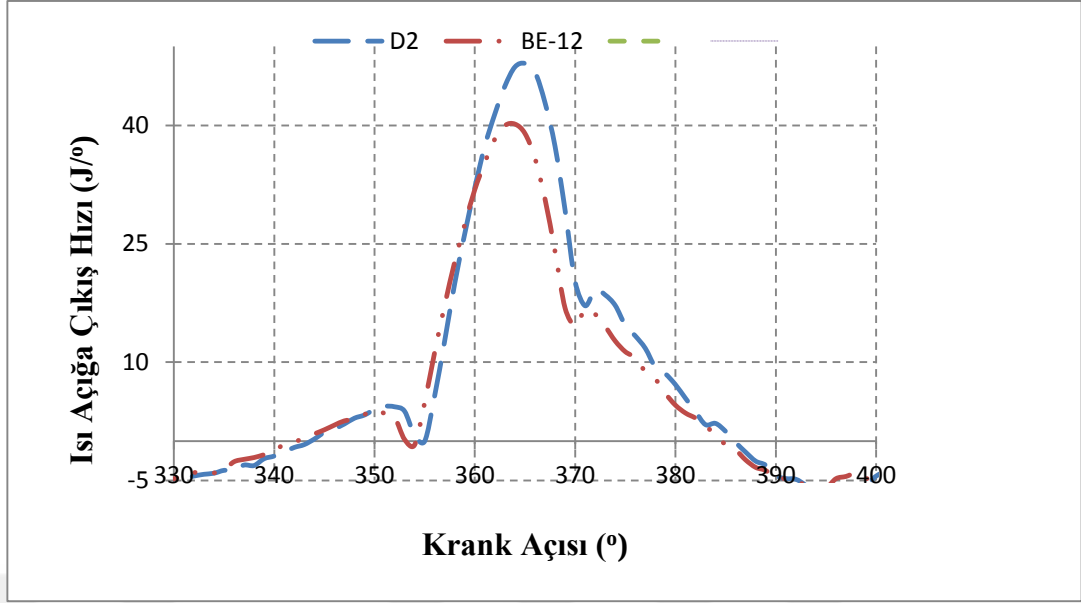
Şekil 4.37. 1500 d/d motor hızında 10.56 kw yükte D2, MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50 ve MCP-B100 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması

Motorun sabit devir ve değişik yüklerinde D2 ve BE-12 yakıtlarının kullanılması ile elde edilen ısı açığa çıkış hızlarının krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.38, 4.39, 4.40. ve 4.41’de görölmektedir. Şekil 4.38. Jeneratör motorunun yüksüz olarak çalıştırılması esnasında ölçölen ısı açığa çıkış hızlarının maksimum değerlerine D2 yakıtı için 365° KMA 23,664, BE-12 yakıtı için 365° KMA 21,8859 J/ $^{\circ}$ olarak ölçölmüştür.



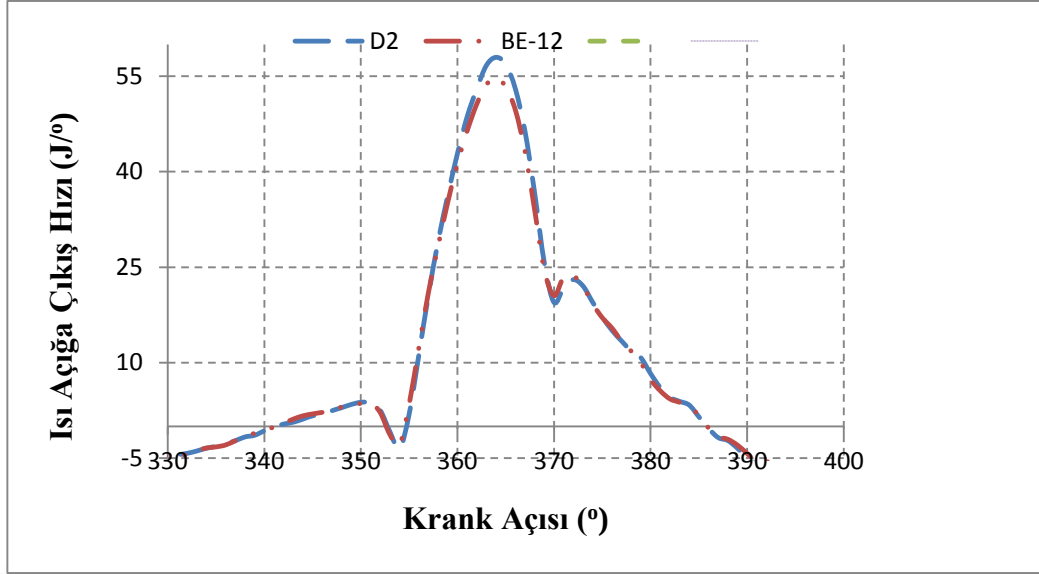
Şekil 4.38. 1500 d/d motor hızında yüksüz olarak D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması

Jeneratör motorunun 3.52 kw yük ile çalıştırılması esnasında ölçölen ısı açığa çıkış hızlarının maksimum değerleri Şekil 4.39. da görölmektedir. Şekil 4.39. incelendiğinde D2 yakıtının ısı açığa çıkış oranı BE-12 deney yakıtına göre daha erken oluşmaya başladığı ve daha yüksek değeri ürettiği görölmektedir. Ölçölen değerler ise D2 yakıtı için 365° KMA 47.8661, BE-12 yakıtı için 365° KMA 39,0073 J/ $^{\circ}$ olarak belirlenmiştir.

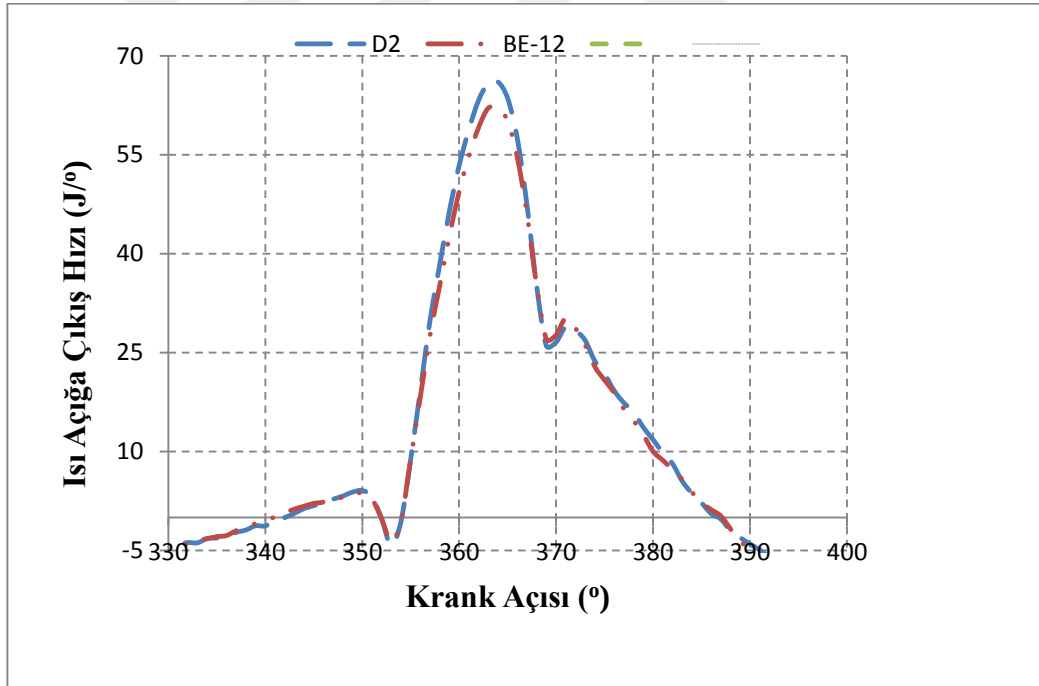


Şekil 4.39. 1500 d/d motor hızında 3.52 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması

1500 d/d motor hızında 7.04 kw yük ile D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış hızları Şekil 4.40 ' da 10.56 kw yük koşullarındaki ısı açığa çıkış ise Şekil 4.41 de görülmektedir .Grafik incelendiğinde ısı açığa çıkış hız değerlerinin belirgin olarak artış gösterdiği, ayrıca her iki yakıt türü için de en yüksek maksimum değerlerin motorun 10.56 kw yük ile çalıştırılması esnasında D2 yakıtı için 364° KMA 66,0427, BE-12 yakıtı için 364° KMA 62,0498 J/° olarak ölçülmüştür.Deney yakıtları karşılaştırıldığında motorun yüksüz ve bütün yük koşullarında D2 yakıtı ile BE-12 deney yakıtlarının ısı açığa çıkış hızlarının oluşum önceliklerinin benzer olduğu fakat D2 yakıtının bütün çalışma koşullarında BE-12 yakıtından daha yüksek değerler ürettiği belirlenmiştir



Şekil 4.40. 1500 d/d motor hızında 7.04 kw yükte D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması



Şekil 4.41. 1500 d/d motor hızında 10.56 kw yükte ile D2 ve BE-12 yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, dizel motorlarında kullanılmak amacıyla, transesterifikasyon yöntemi ile mikroalglerden biyodizel yakıtı üretilmiştir. Üretilen bu yakıtın önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir.

Mikroalglerden elde edilen yakıtın dizel motorlarında kullanılabilirliğinin ortaya çıkarılması amacıyla, tek silindirli dizel motoru ve dizel jeneratör motoru olmak üzere iki farklı motorda test edilmiştir. Bu testler kapsamında, mikroalglerden elde edilen biyo yakıt, saf (MCP-B100) ve standart dizel yakıtı ile oluşturulan karışımlar şeklinde ayrıca saf biyodizel yakıtına hacimsel olarak % 12 etanol ilavesi yapılarak (BE-12) dizel motorlarında kullanılmıştır. Bu testlerde yanma analiz sonuçları, motorun performans parametreleri ve neden olduğu egzoz emisyonu değerlerinin nasıl etkilendiği ortaya çıkarılmış ve elde edilen değerler standart dizel yakıtının değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Mikroalg denilen su yosunlarından ekstraksiyon metodu ile yağ üretilmiş ve bu yağ kimyasal bir yol olarak bilinen transesterifikasyon metodu ile biyodizele dönüştürülmüştür.

2. Elde edilen biyodizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir.

3. Fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda, mikroalglerden elde edilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak % 5, % 25, % 50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak ve biyodizel saf olarak (%100) kullanılmıştır. Bundan başka %100 biyodizel yakıtına % 12 etanol ilave edilerek (BE-12) elde edilen yakıt karışımlarının yoğunluk, viskozite, ısı değeri, parlama noktası gibi yakıt özellikleri tespit edilmiştir. MCP-B5, MCP-B25, MCP-B50, MCP-B100 ve BE-12 yakıtlarının tespit edilen bu özellikleri D2 yakıtları için belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

4. Test yakıtlarının tek silindirli dizel motorda kullanımı ile elde edilen en yüksek güç değerleri dizel yakıtı kullanımı ile en düşük güç değerleri ise MCP-B100 biyodizel ile elde edilmiştir. Karışım yakıtların kullanımında elde edilen güç miktarları karışımın içindeki biyodizel oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Biyodizel oranının yükselmesi ile güç düşüşü meydana gelmiştir. Dizel yakıtına göre MCP-B5 ile % 1.42, MCP-B25 ile % 2.36, MCP-B50 ile % 5.07 ve MCP-B100 ile % 5.91 düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı motor çalışma şartlarında elde edilen moment değerleri de güç değerlerine benzer şekilde değişim göstermiştir. Moment değerlerinin değişimi de dizel yakıtı içerisindeki

biyodizel oranına göre değişim göstermiştir. Biyodizel oranı artıkça moment değerleri de düşüş göstermiştir. En düşük moment değeri saf mikroalg biyodizeli ile elde edilmiştir.

5. Tek silindirli dizel motor özgül yakıt tüketim değerleri dizel yakıtı içerisindeki biyodizel yakıt oranına göre değişim göstermiştir. Biyodizel yakıtı oranı artıkça özgül yakıt tüketimleri de artmaktadır. Test yakıtlarının kullanımında motorun maksimum moment devrindeki ÖYT değerleri sırasıyla dizel yakıtı için: 285 g/kWh, MCP-B5 için: 296 g/kWh, MCP-B25 için: 301 g/kWh, MCP-B50 için: 311 g/kWh ve MCP-B100 için: 384 g/kWh olarak belirlenmiştir.

6. Jeneratör motoru deneylerinde tüm yakıtların özgül yakıt tüketim değerlerinin motor yük artışı ile azaldığı, biyodizel karışımli yakıtların genel anlamda dizel yakıtından daha fazla özgül yakıt tüketimlerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca BE-12 yakıtının dizel yakıtından % 6.55 daha fazla özgül yakıt tüketimi gerçekleştiği tespit edilmiştir.

7. Hem tek silindirli dizel motor deneylerinde hemde jeneratör motoru deneylerinde dizel yakıt kullanımı ile elde edilen NO_x emisyonlarının karışım yakıt kullanımı ile elde edilen NO_x emisyonlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Etanol ilaveli BE-12 yakıt NO_x emisyon değerlerinin de D2 yakıtından düşük olduğu görülmüştür.

8. Tek silindirli dizel motor deneylerinde elde edilen CO emisyon değerlerinin bütün yakıtlar için düşük motor devirlerinde yüksek, motor devrinin artışıyla bütün yakıtlar için azaldığı ayrıca dizel yakıtı CO emisyon değerlerinin bütün devirlerde karışım yakıtlarından daha yüksek değerler ürettiği belirlenmiştir. Jeneratör motor deneylerinde D2 yakıtının karışım yakıtlarından % 10.5 etanol ilaveli BE-12 yakıtından ise % 20 daha fazla CO emisyonu ürettiği belirlenmiştir.

9. Tek silindirli motor deneylerinde D2 ve karışım yakıtların kullanılması ile elde edilen HC emisyonlarında D2 yakıtına göre ortalama olarak % 1.015, MCP-B5 ile % 5.53 MCP-B25 ile % 27.96 MCP-B50 ile ve son olarak % 36.27 ise MCP-B100 ile düşüş olmuştur. Jeneratör motor deneylerinde D2 yakıtının kullanılması ile karışım yakıtlara oranla % 28,39 daha fazla HC emisyon değerleri üretirken BE-12 yakıtına kıyasla ise % 35,87 daha düşük HC emisyonu ürettiği görülmüştür.

10. Deney yakıtlarının hem tek silindirli dizel motorunda hem de dizel jeneratör motorunda kullanımı esnasında elde edilen CO₂ emisyon değerlerinin karışım yakıt kullanımı ile düştüğü görülürken, jeneratör motorunda kullanılan BE-12 yakıt kullanımı ile % 0.5747 oranında arttığı belirlenmiştir.

11. Hem tek silindirli dizel motor deneylerinde hem de jeneratör motoru deneylerinde dizel yakıt kullanımı ile elde edilen HFK değerlerinin karışım yakıt kullanımı ile elde edilen HFK değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Etanol ilaveli (BE-12) yakıt HFK değerlerinin de D2 yakıt HFK değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

12. Dizel jeneratör motorunda, deney yakıtlarının kullanılması ile elde edilen silindir gaz basınç değerlerinin motora yapılan yükleme ile paralel olarak arttığı görülürken en yüksek silindir gaz basınç değerlerinin D2 yakıtının kullanılması ile elde edilmiştir. Ayrıca bütün test yakıtları için oluşan maksimum gaz basınç değerlerinin üst ölü noktadan sonra gerçekleştiği belirlenmiştir.

13. Dizel jeneratör motorda bütün deney yakıtları için ısı açığa çıkış hızlarının üst ölü noktadan (ÜÖN) sonra meydana geldiği görülürken bütün test yakıtlarının ısı açığa çıkış hızlarının motora yapılan yüklemeler ile artış gösterdiği ayrıca bütün yakıtlar için en yüksek değerlerin 10.56 kw yükleme ile D2 yakıtı için 364° KMA 66.04, MCP-B5 yakıtı için 363° KMA 64.78, MCP-B25 yakıtı için 363°KMA 61.95, MCP-B50 363°KMA 61.98 ve MCP-B100 yakıtı için ise 363° KMA 62.06 J/O ile ulaşılmıştır.

14. Dizel jeneratör motorunun 1500 d/d sabit devrinde farklı yüklerde çalışması sırasında ölçülen ısı açığa çıkış miktarı değerleri bütün deney yakıtları için motora yapılan yüklemeler ile belirgin bir şekilde artış göstermiş ve maksimum değerlere motora yapılan 10.56 kw yükleme ile ulaşılmıştır. Ölçülen bu değerler, D2 yakıtı için 387°KMA'da 1167,29 J ,MCP-B5 yakıtı için 385° KMA'da 1154,96 J MCP-25 yakıtı için 385° KMA'da 1120,91 J, MCP-B50 yakıtı için 385°KMA'da 1131,21 ve son olarak MCP-B100 yakıtı için ise 387°KMA'da 1123,68 J olarak bulunmuştur.

15. Jeneratör dizel motorda BE-12 yakıtlarının ürettiği silindir gaz basınç değerlerinin ve ısı açığa çıkış hız değerlerinin D2 yakıtından daha düşük gerçekleştiği görülürken, ısı açığa çıkış miktarlarının yük koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

16. Yapılan deneylerden sonra incelenen motor parçaları üzerinde karışım ve saf biyodizelin olumsuz herhangi bir etkisinin bulunmadığı ve motor yağlama yağının özelliğini koruduğu görülmüştür.

Yukarıda yapılan mikroalglerden biyodizelin üretimi ve kullanım kolaylığı açıklamalarının ışığında ülkemiz için bir değerlendirme yapılacak olursa, ülkemizde geçtiğimiz yıllarda 50 adet lisanslı biyodizel tesisi ve yaklaşık 1.5 milyon ton kurulu kapasite olmasına karşılık, hammadde üretimindeki plansızlık nedeniyle bugün üretim

yapan sadece birkaç tesis bulunmaktadır. 2011 yılı dizel yakıtı tüketimimizin 16 milyon ton olduğu ve her yıl arttığı dikkate alındığında bu ihtiyacı destekleyecek olan yaklaşık 150-200 bin ton biyodizele ihtiyaç duyulacaktır. Alternatif enerji kaynaklarının hammadde sağlayıcısı olarak görülen mikroalglerin yetiştirilmesi için gerekli olan iklim şartları ve besin kaynağı olarak kullanılan başta CO₂ olmak üzere besin elemanları ülkemizde bol miktarda mevcuttur. Bu açıdan ülkemizin ekonomik mikroalg üretimine uygun olduğu görülmektedir. Sadece doğal gazla çalışan termik santraller göz önüne alındığında mikroalgin ana besin kaynağı olan CO₂ açısından oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye’de 2010 yılında 210.000 GWh elektrik üretilmiştir. Bunun yaklaşık % 50’si doğal gazdan üretilmiştir. Bu miktar ise yaklaşık 105.000 GWh’lik elektrik üretimine karşılık gelmektedir. 1 MWh doğal gazın yanması sonucunda atmosfere 0.6 ton CO₂ salınımı yapılmaktadır. Bu verilere göre doğal gazla çalışan termik santrallerimizden bir yılda salınan CO₂ miktarı yaklaşık 60000000 ton dolayındadır. Bu miktar Türkiye’nin CO₂ salınımının yaklaşık % 20’sini oluşturmaktadır.

Sonuç olarak ülkemizin enerji sorunu ve tarım şartları göz önüne alındığında mikroalg üretimi çok önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü mikroalglerin yetiştirilmesi tarım alanlarını olumsuz yönde etkilememektedir. Suda yetiştirilen ve çoğalması çok hızlı olan mikroalgler ülkemiz de biyodizel üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

- Afacan, T.**, 2006. Uluslararası Biyoyakıt Sempozyumu Açılış Konuşması, Ankara Ticaret Odası.
- Ahmed, A.S., Khan, S., Hamdan, S., Rahman,R., Kalam,A., Masjuki , H.H. and Mahlia, T.M.I.**, 2010. Biodiesel Production from Macro Algae as a Green Fuel for Diesel Engine, Journal of Energy & Environment ." 703-726.Web.
- Ahmed, A.S., Khan, S., Hamdan, S., Rahman,R., Kalam,A., Masjuki , H.H. and Mahlia, T.M.I.**, 2010. Biodiesel Production from Macro Algae as a Green Fuel for Diesel Engine. Journal homepage: www.uniten.edu.my/jee
- Ahmad, A.L., Mat Yasin,N.H., Derek, C.J.C. and Kim, J.K.**, 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 584-593.
- Alptekin, E. ve Canakci, M.**, 2010. Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat. Fuel, in press.
- Altun, Ş. ve Öner, C.**, 2004. Tek Silindirli Bir Dizel Motorunda Alternatif Yakıt Olarak Susam Yağı Kullanımının Deneysel İncelenmesi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları
- Amin, S.**, 2009. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. Energy Conversion and Management. 50: 1834–1840.
- Aydin, H. ve Bayindir,H.**, 2010. Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. Renewable Energy, 35(3): p. 588-592.
- Basha, S.A. and Jebaraj, K.**, 2009. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. Renew. Sustain. Energy Rev. 13: 1628-1634.
- Berkes, F. ve Kışlalıoğlu, M. B.**, 1993. Çevre ve Ekoloji, 4.Basım, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- Bradley, D., Wahlen. Michael, R., Morgan, 1., Alex, T., McCurdy,1., Robert, M.. Willis,1., Michael, D.,Morgan, Daniel, J., Byard, D. and Lance, C.,**2013. Biodiesel from Microalgae, Yeast, and Bacteria: Engine Performance and Exhaust Emissions EnergyFuels 27, 220–2
- Brunt, M. and Platts, K.**, 1999. Calculation of Heat Release in Direct Injection Diesel Engines. SAE Technical Paper, 1999-01-0187.

- Bozbas, K.**, 2008. Biodiesel as an alternative motor fuel: production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 12: 542–52.
- Chini Zitelli, G., Rodolfi, L. and Tredici, M.R.**, 2000. Mass cultivation of marine microalgae under natural , mixed and artificial illumination, Abstracts of the 4th European workshop on biotechnology of microalgae, BergholzRehbrücke, Germany.
- Chisti, Y.**, 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25, 294-306 say
- Contoni, U.**, 1993. Alternative Fuels Utilization in Fuel Cell for Transportation,TMC, Advanced Engineering Research Group,97 111,
- Converti,A., Casazza, A.A., Ortiz, E.Y., Perego,P. and Borghi, M.D.**, 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering Process* 48 , 1146–1151.
- Cunha, A., Feddern, V., De Prá, M. C., Higarashi, M. M., Abreu, P. G. And Coldebella, A.**, 2013. Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes. *Fuel*, 105, 228-234.
- Çağlayan, E. ve Ataç, Ö.**, 2009. Biyoenerji Her Yerde, *Bilim Teknik Dergisi-Mayıs* [e-dergi html.]
- De Castro, M.D.L. and Priego-Capote, F.**, 2010 Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383
- Demirbaş, A.**, 2007. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Convers. Manage.* 50: 14-34
- Demirbas, A.H.**, 2009. Inexpensive oil and fats feedstocks for production of biodiesel. *Energy Educ Sci Technol Part A* ; 23:1–13.
- Demirbas, A. ve DemirbaŞ, M.F.**, 2010. *Algae as a New Source of Biodiesel (Green Energy and Technology)*Springer
- Demirbas, A. ve Demirbas, M.F.**, 2011. Importance of algae oil as a source of biodiesel, *Energy Conversion and Management* 52, 163–170
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Almeida, M. F., Díaz, J. D. M., Polo, M. S. and Utrilla, J. R.**, 2012. Selection of heterogeneous catalysts for biodiesel production from animal fat. *Fuel*, 94, 418-425.
- DOE.**, 2006. Biodiesel: Handling and use guidelines. United States: U.S. department of energy.

- Erdoğan, S.**, 2003. Alternatif Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Enerji Potansiyeli, 3 E Dergisi, 110.
- Eliçin, K. ve Gürhan, R.**, 2012. Biyoyakıt amaçlı mikroalg üretimi için bazı yetiştirme parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2, 223-231.
- Eyidoğan, M., Çanakcı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E., Türkcan, A. ve Kılıçaslan, İ.**, 2011. Etanol-Benzin Ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. 26(3), 499-507.
- Fernando, S., C. Hall. and Jha, S.**, 2005. Nox Reduction from Biodiesel Fuels. *Energy & Fuels*, 20(1): p. 376-382.
- Felizardo, P., Correia, M. J. N. and Raposo, I.**, 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, 26, 487-494.
- Feng, F., Yang, W., Jiang, G., XU Y. and Kuang, Y.**, 2005. Enhancement of fatty acid production of *Chlorella* sp. (Chlorophyceae) by addition of glucose and sodium thiosulphate to culture medium. *Process Biochemistry* 40: 1315–1318.
- Georing, C.E., Schwab, B., Daughrt, M.J., Pryde, E.H. and Heakin, A.J.**, 1982. Fuel Properties Of Eleven Vegetable Oils, American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/82/2506-1472\$02.00, Transcons of ASAE
- Gerpen, J.V.**, 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*. 86,1097-1107.
- Gezici, M.**, 2012. Biyoyakıt Amaçlı Mikroalg üretimi için bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi Tarım Makinaları Bilim Dergisi (Journal of Machinery Science 8(2), 223-231.
- Gürbüz, A.**, 2009. Enerji Piyasası İçinde Yenilenebilir (Temiz) Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 1-7, 13-15 Mayıs, Karabük.
- Geankoplis, C.J.**, 1983. Transport Processes and Unit Operations, 2nd ed., Allyn and Bacon Inc., Boston.
- Harun, R., Davidson, M., Doyle, R., Gopiraj, M. And Danquah, G.**, 2011. Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility, *Biomass and Bioenergy* 35 , 741-747.

- Hariram, V. and Mohan, K.,** 2013. Combustion analysis of algal oil methyl ester in a direct injection compression ignition engine, *Journal of Engg. Science and Technology* 8, 77-92.
- Hamawand, I., Yusaf, T. and Hamawand, S.,** 2014. Growing algae using water from coal seam gas industry and harvesting using an innovative technique: A review and a potential. *Fuel*, 117 Part A, 422–430.
- Heywood, J.,** 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Macgraw-Hill Book Company, New York.
- Huzayyin, A.S., Bawady, A.H., Rady, M.A. and Dawood, A.,** 2004. Experimental Evalutaion of Diesel Engine Performance and Emission Using Blends of Jojoba Oil AND Diesel fuel. *Energy Conversion and Management* 45 (13-14):2093-2112.
- Huynh, L. H., Kasım, N. S. And Ju, Y. H.,** 2011. Biofels: Alternative Feedstock and Conversion Process, *Elsevier*, 375-396.
- Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X. and Chen, G.,** 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy* 87, 38–46
- Karadağ, Ç., Gülsaç, I.I., Ersöz, A. ve Çalışkan, M.,** 2009. Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *TUBİTAK Bilim ve Teknik*, (498), 24-27.
- Keven, A., Öner, C. ve Altun, Ş.,** 2008. Fındık Yağı Biyodizelinin Alternatif Yakıt Olarak Bir Dizel Motorunda Kullanılması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*
- Koncuk, F.,** 2008. Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorunda Motor-Yanma Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Erzurum Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Konukçu, M.,** 1998. *Statistical Profile of Turkish Forestry*, T.R Prime Ministry, State Planning Organization, June 1998, 44 p., Ankara.
- Konuralp, A. E., Kılıçkan, A. ve Avcioğlu, A. O.,** 2009. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, pp. 101-107, 1-3 Ekim, Isparta-TÜRKİYE.
- Knothe, G.,**2010. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*. 36, 364-373.

- Koray, T.,** 2002. Denizel Fitoplanktonlar. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları
No:32, 228 pp. İzmir.
- Kruse, O. and Hankamer, B.,** 2008. Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *BioEnergy Research* 1: 20–43.
- Labeckas, G. and Slavinskas, S.,** 2006. The Effect of Rapeseed Oil Methyl Ester on Direct Injection Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions, *Energy Convers Manage*, 47, 1954–1967.
- Ladanai, S. and Vinterback, J.,** 2009. Global Potential of Sustainable Biomass for Energy, Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. p32.
- Larsson, M. ve Lindblom, J.,** 2011. Algal Flue Gas Sequestration And Wastewater Treatment: An Industrial Experiment (yüksek lisans tezi). Industrial Ecology, Royal Institute of Technology, Stockholm, İsveç.
- Leung, D. Y. C., WU, X. And Leung, M. K. H.,** 2010. A review on biodiesel production using catalysed transesterification. *Applied Energy*, 87, 1083-1095.
- Mata, T.M., Martins, A.A. and Caetano, N. S.,** 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217-232.
- Meher, L.C., Sagar, V.D. ve Naik, S.N.,** 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248-268.
- Murillo, J., L. Míguez, J., Porteiro, E., Granada, J. ve C. Morán.,** 2007. Performance and Exhaust Emission in the Use of Biodiesel in Outboard Diesel Engine, *Fuel*, 86, 1765-1771.
- Miao, X. and Wu, Q.,** 2006. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Biosource Technology* 97 841-846.
- Mccabe, W.L., Smith, J.C. and Harriot, P.,** 2001. Unit Operations of Chemical Engineering (6th Edition), McGraw-Hill, Singapore.
- Morais, S., Mata, T. M., Martins, A. A., Pinto, G. A. and Costa, C. A. V.,** 2010. Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. *Journal of Cleaner Production*;18, 1251-9.

- Mccabe W.L., Smith J.C. and Harriot, P.,** 2001. Unit Operations of Chemical Engineering (6th Edition), McGraw-Hill, Singapore.
- Naz, M. ve Gökçek, K.,** 2004. Fotobiyoreaktörler: Fototropik Mikroorganizmalar için Alternatif Üretim Sistemleri. Ulusal Su Günleri, 6-8 Ekim, İzmir – TÜRKİYE.
- Niraj, S., Topare, V. and C, Renge.,** 2011. Biodiesel from Algae Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engine, 2(2-3), 116-120 May-December.
- Okatan, K.,** 1998. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Enjeksiyon Sisteminin Motor Performansına Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ağustos, Ankara,
- Oilgae,T.,** 2010. Oilgae Comprehensive Report Energy from Algae: Products, Market, Processes and Strategies, www.oilgae.com.
- Ozkurt, I.,** 2009. Qualifying of safflower and algae for energy. Energy Educ Sci Technol Part A 23,145–151.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H.,** 2006. Üçüncü Milenyum Yaktı; Biyodizel , Nobel Yayın Dağıtım, Ocak
- Özsezen, N. A.,** 2008. Alternatif yakıt olarak biyodizel yakıtlarının kullanıldığı bir dizel motorda yanma ve emisyonlar. 4.Otomotiv Teknolojileri Kongresi 01-04 Haziran Bursa.
- Özesen A. N. ve Çanakçı, M.,** 2009. Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 173-180.
- Öztürk, M.,** 2004. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar, Çevre ve orman bakanlığı, <http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/yaglar.pdf>
- Peterson, C.,** 1988. Explanatory style as a risk factor for illness. Cognitive Therapy and Research, 12, 117-130.
- Perry, R.H. and Green, D.,** 1985. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed., McGraw Hill., New York.
- Pokoo-Aikins, G., Nadim, A., El-Halwagi, M.M., and Mahalec, V.,** 2009. Design and analysis of biodiesel production from algae grown through carbon sequestration. Clean Techn Environ Policy. DOI:10.1007/s10098-009-0215-6.
- Rahman,M.M.,Stevanovic,S.,Islam,M.A.,Heimann,K.,Nabi,M.N., Thomas,G.,Feng,B.,Brown,R.J and Ristovski,Z.D.,** 2015. Particle emissions from microalgae biodiesel combustion and their relative oxidative potential.

Environ. Sci.: Processes Impacts, 2015,17, 1601-1610 DOI: 10.1039/C5EM00125K

- Saddam H. Al-lwayzy, and Talal, Y.**, 2013. Chlorella protothecoides microalgae as an alternative fuel for tractor diesel engines, *Energies* 6 766-783.
- Saddam H. Al-lwayzy., Talal, Y. and Troy, J.**, 2012. Evaluating tractor performance and exhaust gas emissions using biodiesel from cotton seed oil. *Materials Science and Engineering* 36 ,012042
- Sabudak, T. ve Yildiz, M.**, 2010. Biodiesel production from waste frying oils and its quality control. *Waste Management*, 30, 799–803.
- Saraçoğlu, N.**, 2006. Enerji Ormancılığının Kırsal Kalkınmaya Katkısı, *Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi*, s.8, 26-28 Mayıs 2006.
- Saraçoğlu, N.**, 2010. Küresel iklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı. Efil Yayınevi, 300 S.,Ankara.
- Say, A.N., Keriş, Ü.D., Şen, Ü. ve Gürol, M.D.**, 2010. “Mikroalglerden Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Türkiye”,8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 263-271.
- Straka, F., Doucha, j., Crha, J. and Livansky, K.**, 2000. Flue-gas CO₂ as a source of carbon in closed cycle with solar culture of microalgae, *Abstracts of the 4th European workshop on biotechnology of microalgae*, BergholzRehbrücke, Germany.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. and Roessler, P.**, 1998. A Look back at the U.S. Department of Energy’s aquatic species program: Biodiesel from algae. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory
- Scholl, K.W.**, 1993. Sorenson S.C, Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine, SAE Paper, No.930934
- Seader, J.D. and Henley, E.J.**, 1998. Separation Process Principles. John Wiley and Sons, USA
- Stone, R.**, 1999. Introduction to Internal Combustion Engines. Macmillan Press Limited.
- Sukatar, A.**, 2002. Alg Kültür Yöntemleri. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Serisi No: 184, 168 pp.,İzmir.
- Tsaousis, P., Wang ,Y., Roskilly, A.P. and Caldwell, G.S.**, 2015. Algae to energy: Engine performance using raw algal oil. 6th International Conference on

- Applied Energy, ICAE2014. 30 May–2 June 2014, Taipei City, Taiwan. In: *EnergyProcedia*, 61.
- Tilman,D., Hill, J. and Lehman, C.,** 2006. Policy forum: beneficial biofuels - the food, energy, and environment trilemma, 270
- Treybal, R.E.,** 1980. *Mass Transfer Operations*. McGraw Hill International Editions, Singapore.
- Thomsen, L.,** 2010. How “Green” are algae farms for biofuel production, *Biofuels* 1(4), 515-517
- Tuccar, G. ve Aydin, K.,** 2013. Evaluation of methyl ester of microalgae oil as fuel in a diesel engine, *Fuel* 112, 203-207.
- Tüccar, G.,** 2011. Biodiesel Production From Microalgae. Msc Thesis Çukurova University
Institute Of Natural And Applied Sciences, Adana
- Ugwu, C. U., Aoyagi, H. and Uchiyama, H.,** 2008. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology*, 99, 4021–4028.
- Varghese, T., Raj, J. and Raja, C.,** 2015. Thamotharan Performance and Emission Testing on Algae Bio Fuel using Additives *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 4(5), 2249 – 8958.
- Yaşar, B.,** 2009."Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi" Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
- Yücesu, H.S., Altın, R. ve Çetinkaya, S.,** 1999. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelen-mesi, *Turkish J. Engin Environ Sci.* 25, Tübitak, 39-49s.
- Yılmaz, K. H.,** 2006. Mikroalg Üretimi İçin Fotobiyoreaktör Tasarımları. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* 23 (1/2): 327-332.
- Xue, F., Zhang, X., Luo, H. And Tan, T.,** 2006. A new method for preparing raw material for biodiesel production. *Process Biochem.* 41, 1699-1702.
- Xu, H., Miao, X. and Wu. Q.,** 2006. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of Biotechnology*. 126, 499–507.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdal ÇILGIN
Doğum Yeri ve Tarihi : Tunceli /19.10.1974
Yabancı Dili : İngilizce
E-Posta : cilgin_erdal@gmail.com

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
LİSE	Sihhi Tesisat ısıtma	Namık Kemal EML.	1993
LİSANS	Makine A.B.D. /Otomotiv	Fırat Üniversitesi	1999
Y.LİSAN	Makine A.B.D. /Otomotiv	Fırat Üniversitesi	2011
DOKTORA	Makine A.B.D. /Otomotiv	Fırat Üniversitesi	2016

İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1999	MEB	Öğretmen

Bilimsel Eserler:

SCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

1. İlkılıç, C., Çılğın, E., Aydın, H., (2015) Cumali İlkılıç, Erdal Çılğın, Hüseyin Aydın (2015) Terebinth oil for biodiesel production and its diesel engine application Journal of the Energy Institute Volume 88, Issue 3, August 2015, Pages 292–303

Ulusal Hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. İlkılıç, C., Çılğın, E. (2013) Effect Of Terebinth Oil Biodiesel On Exhaust Emissions in a Ci Engine Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi Cilt 3, Sayı 2
2. İlkılıç, C., Çılğın, E. (2014) Menengiç yağı Metil Esterinin Bir Dizel Motorunda, Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. 4(4): 75-85
3. Çılğın, E. İlkılıç, C. (2015) Evaluation of the effect of microalgae methyl ester in on engine performance and exhaust emission of a diesel engine Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31(1):68-72

4. **Çılın, E. (2015)** “3. Nesil Biyoyakıt Teknolojisi Olan Alglerin Bir Dizel Motorunda Motor Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması” Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der Cilt: 5 - Sayı: 3

Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

1. **İlkılıç, C., Çılın, E. (2013)** Menengiç Yağından Üretilen Biyodizelinin Bir Dizel Motorda Alternatif Yakıt Olarak Kullanabilirliğinin Araştırılması. İkinci Anadolu Enerji Sempozyumu, 2-4 Mayıs, Diyarbakır.

