

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Doktora Tezi**

**BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA FARKLI  
ALKOL İLAVELERİNİN DİZEL MOTORLARDA  
PERFORMANS, YANMA VE EMİSYON  
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Murat Kadir YEŞİLYURT**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ**

**Yozgat 2017**



**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Doktora Tezi**

**BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA FARKLI  
ALKOL İLAVELERİNİN DİZEL MOTORLARDA  
PERFORMANS, YANMA VE EMİSYON  
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Murat Kadir YEŞİLYURT**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ**

**2. Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından 2015FBE/T158 kodu ile desteklenmiştir.**

**Yozgat 2017**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Programı 70111013001 numaralı öğrencisi Murat Kadir YEŞİLYURT'un hazırladığı “**Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarına Farklı Alkol İlavelerinin Dizel Motorlarda Performans, Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 03/02/2017 Cuma günü saat 14:00'da yapılmış, tezin onayına **oy birliği** ile karar verilmiştir.

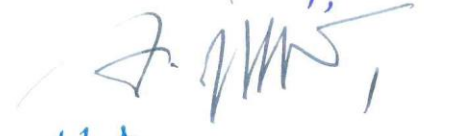
**Başkan** : Prof. Dr. Hikmet Şelli AYBAR



**Jüri Üyesi (Danışman)** : Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ



**Jüri Üyesi** : Prof. Dr. İbrahim UZUN



**Jüri Üyesi** : Prof. Dr. Hidayet OĞUZ



**Jüri Üyesi** : Yrd. Doç. Dr. İlker ÖRS



**Jüri Üyesi (2.Danışman)** : Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...17/03/2017 tarih ve ..08. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

17/03/2017  
  
Doç. Dr. Fuat KÖKSAL  
Müdür

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Bitkisel yağ kaynakları .....	11
1.1.1. Ham yağ üretim teknikleri .....	16
1.1.2. Yağların iyot sayılarına göre sınıflandırılması .....	17
1.2. Hayvansal yağ kaynakları .....	17
1.3. Bazı bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	18
1.4. Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri .....	19
1.4.1. Seyreltme (İnceltme) .....	21
1.4.2. Mikroemülsiyon oluşturma .....	21
1.4.3. Piroliz (Isıl parçalanma) .....	22
1.4.4. Transesterifikasyon (Yeniden esterleştirme) .....	22
1.4.4.1. Transesterifikasyon reaksiyonuna etki eden parametreler .....	23
1.4.4.1.1. Serbest yağ asidi ve su miktarının etkisi .....	23
1.4.4.1.2. Katalizör türü ve miktarının etkisi .....	25
1.4.4.1.3. Alkol türü ve alkol-yag molar oranının etkisi .....	27
1.4.4.1.4. Reaksiyon sıcaklığının etkisi .....	28
1.4.4.1.5. Reaksiyon süresinin etkisi .....	29
1.4.4.1.6. Karıştırma hızının etkisi .....	29
1.5. Biyodizelin tarihsel gelişimi .....	29
1.6. Biyodizelin yakıt özellikleri .....	37
1.6.1. Ester içeriği .....	37
1.6.2. Yoğunluk .....	38
1.6.3. Kinematik viskozite .....	39
1.6.4. Parlama noktası .....	40

1.6.5. Kükürt içeriği .....	40
1.6.6. Karbon kalıntısı .....	41
1.6.7. Setan sayısı ve indisi .....	41
1.6.8. Sülfatlanmış kül içeriği .....	42
1.6.9. Su içeriği .....	42
1.6.10. Toplam kirlilik .....	43
1.6.11. Bakır şerit korozyon .....	43
1.6.12. Oksidasyon kararlılığı .....	44
1.6.13. Asit sayısı .....	44
1.6.14. İyot sayısı .....	44
1.6.15. Linolenik asit metil esteri .....	46
1.6.16. Çoklu doymamış ( $\geq 4$ çift bağ) metil esterleri .....	46
1.6.17. Metanol içeriği .....	46
1.6.18. Mono-, Di- ve Tri-gliserit içerikleri .....	46
1.6.19. Serbest gliserol .....	47
1.6.20. Toplam gliserol .....	47
1.6.21. Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller .....	47
1.6.22. Fosfor içeriği .....	48
1.6.23. Isıl değer .....	48
1.6.24. Soğuk akış özellikleri .....	48
1.7. Biyodizelin toksik etkileri .....	50
1.8. Biyodizelin biyobozunabilirliği .....	50
1.9. Dizel ve biyodizel standartları .....	51
1.10. Biyodizelde karışım oranları .....	52
1.10.1. Biyodizelde karışım oranlarının yakıt özelliklerine etkisi .....	53
1.10.2. Biyodizelde karışım oranlarının egzoz emisyonlarına etkisi .....	54
1.10.3. Biyodizelde karışım oranlarının motor performansına etkisi.....	55
1.10.4. Biyodizelde karışım oranlarının yağlamaya, motor aşınmasına ve malzemelere etkisi.....	55
1.11. Sarı hardal ( <i>Sinapis alba</i> L.) (Cruciferae) .....	58
1.12. Dizel motorlarda yanma .....	59
1.12.1. Dizel motorlarda yanma periyotları .....	60

1.12.1.1. Tutuşma gecikmesi .....	60
1.12.1.2. Kontrolsüz yanma (Ani yanma safhası).....	60
1.12.1.3. Kontrollü yanma .....	61
1.12.1.4. Art yanma .....	61
1.12.2. Dizel motorlarda yanmaya etki eden parametreler .....	61
1.12.2.1. Püskürtme avansı .....	62
1.12.2.2. Motor devri .....	62
1.12.2.3. Yakıt/hava oranı .....	62
1.12.2.4. Sıkıştırma oranı .....	63
1.12.2.5. Giriş basıncı .....	63
1.12.2.6. Soğutucu akışkan ve emme havası sıcaklıkları .....	63
1.12.2.7. Püskürtülen yakıt miktarı .....	63
1.12.2.8. Yakıt özellikleri .....	64
1.12.2.9. Motor büyüklüğü .....	64
1.12.2.10. Aşırı doldurma .....	64
1.12.2.11. Püskürtme karakteristikleri .....	64
1.12.2.12. Girdap hareketleri .....	65
1.12.2.13. Egzoz gazı %'si .....	65
1.13. Dizel motorlarda kullanılan alkoller .....	65
1.13.1. Metanol (Metil alkol) .....	66
1.13.2. Etanol (Etil alkol).....	66
1.13.3. İzopropanol (İzopropil alkol) .....	67
1.13.4. Bütanol (Bütil alkol) .....	67
1.13.5. Pentanol (Amil alkol).....	67
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>68</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>108</b>
3.1. Materyal .....	108
3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar .....	108
3.1.1.1. Vidalı yağ çıkarma presi .....	108
3.1.1.2. Nem ölçer .....	109
3.1.1.3. Soxhlet yağ tayin cihazı .....	110
3.1.1.4. Döner buharlaştırıcı .....	110

3.1.1.5. Yoğunluk ölçüm cihazı .....	111
3.1.1.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı .....	111
3.1.1.7. Parlama noktası tayin cihazı .....	112
3.1.1.8. Su içeriği tayin (Karl-Fischer titrasyon) cihazı .....	112
3.1.1.9. Kalorimetre cihazı .....	112
3.1.1.10. Bakır şerit korozyon test cihazı .....	113
3.1.1.11. Yarı otomatik bulutlanma noktası, akma noktası ve SFTN tayin cihazı .....	113
3.1.1.12. Otomatik renk ölçüm cihazı .....	114
3.1.1.13. pH metre .....	114
3.1.1.14. Distilasyon test cihazı .....	114
3.1.1.15. Kükürt tayin cihazı .....	115
3.1.1.16. Dizel yakıtı analiz cihazı .....	115
3.1.1.17. Isıtıcıli manyetik karıştırıcı .....	116
3.1.1.18. Mekanik karıştırıcı .....	116
3.1.1.19. Homojenizatör .....	117
3.1.1.20. Kül fırını .....	117
3.1.1.21. Hassas teraziler .....	118
3.1.1.22. Etüv .....	118
3.1.1.23. Kronometre .....	118
3.1.1.24. Termometreler .....	118
3.1.1.25. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) .....	119
3.1.1.26. Gaz kromatografisi-Kütle spektrometresi (GC-MS) .....	119
3.1.1.27. Dijital fotoğraf makinesi .....	120
3.1.1.28. Dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu .....	120
3.1.1.29. Çok amaçlı X-ışını difraktometresi (MP-XRD) .....	120
3.1.1.30. Alan emisyonlu-Çevresel taramalı elektron mikroskobu-Enerji dağılım spektrometresi (FE-ESEM-EDS) .....	121
3.1.1.31. Titrasyon düzeneği .....	121
3.1.1.32. Ultra saf su cihazı .....	121
3.1.1.33. Kumpas .....	121
3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasallar .....	122
3.1.2.1. Metanol .....	122



3.1.2.2. Etanol .....	122
3.1.2.3. İzopropanol .....	122
3.1.2.4. Bütanol .....	122
3.1.2.5. Pentanol .....	122
3.1.2.6. Sodyum hidroksit .....	122
3.1.3. Araştırmada kullanılan metaller .....	123
3.1.4. Pilot biyodizel üretim tesisi .....	123
3.1.5. Motor test düzeneği ve ölçüm ekipmanları .....	125
3.1.5.1. Test motoru .....	125
3.1.5.2. Egzoz emisyon cihazları .....	125
3.1.5.3. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi .....	126
3.1.5.4. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği .....	128
3.1.5.5. Hava tüketimi ölçüm düzeneği .....	128
3.1.5.6. Motor sıcaklıkları ölçümünde kullanılan sıcaklık ölçerler .....	129
3.1.5.7. Debimetre .....	129
3.1.5.8. Ses seviyesi ölçüm cihazı .....	129
3.1.5.9. Silindir basıncı ölçüm sistemi .....	129
3.2. Metot .....	132
3.2.1. Sarı hardal tohumundan ham yağ elde edilmesi .....	132
3.2.2. Sarı hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu .....	135
3.2.3. Sarı hardal yağı biyodizelinin pilot tesiste üretilmesi .....	139
3.2.4. Yakıt karışımlarının hazırlanması .....	140
3.2.5. Test yakıtlarının fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi .....	142
3.2.6. Korozyon testleri .....	142
3.2.7. Motor karakteristik deneyleri .....	144
3.2.7.1. Motor test düzeneğinin hazırlanması .....	144
3.2.7.2. Motor performans ve egzoz emisyon deneylerinin yapılması .....	145
3.2.7.3. Deneylerde ölçülen parametreler .....	145
3.2.7.3.1. Efektif motor torku .....	145
3.2.7.3.2. Yakıt tüketimi .....	146
3.2.7.3.3. Motor ve egzoz gazı sıcaklıkları .....	146
3.2.7.3.4. Silindir basıncı .....	147

3.2.7.3.5. Egzoz emisyonu ölçümü .....	147
3.2.7.3.6. Gürültü değerleri ölçümü .....	147
3.2.7.4. Deneylerde hesaplanan parametreler .....	147
3.2.7.4.1. Efektif motor gücü .....	147
3.2.7.4.2. Efektif özgül yakıt tüketimi .....	148
3.2.7.4.3. Hava fazlalık katsayısı .....	148
3.2.7.4.4. Efektif termik verim .....	148
3.2.7.4.5. Volümetrik verim .....	149
3.2.7.4.6. Net ısı salımı .....	149
3.2.7.4.7. Ortalama efektif basınç .....	149
3.2.7.4.8. Enerji analizi .....	150
3.2.7.4.9. Ekserji analizi .....	151
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>155</b>
4.1. Sarı hardal yağı biyodizeli üretiminin optimizasyonu .....	155
4.2. Sarı hardal yağı biyodizelinin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri .....	160
4.3. Test yakıtlarının fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri .....	161
4.3.1. Yoğunluk .....	161
4.3.2. Kinematik viskozite .....	162
4.3.3. Parlama noktası .....	164
4.3.4. Isıl değer .....	164
4.3.5. Su içeriği .....	165
4.3.6. pH .....	166
4.3.7. Renk .....	167
4.3.8. Soğuk akış özellikleri .....	167
4.3.9. Bakır şerit korozyon .....	167
4.3.10. Asit sayısı .....	167
4.3.11. Distilasyon eğrisi .....	168
4.3.12. Setan indisi .....	169
4.3.13. Setan sayısı .....	169
4.3.14. Sülfatlanmış kül miktarı .....	170
4.3.15. Element miktarı .....	170
4.3.16. Kükürt miktarı .....	170

4.4. Korozyon testi sonuçları .....	171
4.4.1. Korozyon hızlarının karşılaştırılması .....	171
4.4.2. Yüzey karakteristikleri .....	173
4.4.3. EDS analizi sonuçları .....	203
4.4.4. XRD analizi sonuçları .....	206
4.5. Motor karakteristik sonuçları .....	218
4.5.1. Efektif motor torku .....	218
4.5.2. Efektif motor gücü .....	221
4.5.3. Efektif özgül yakıt tüketimi .....	224
4.5.4. Ortalama efektif basınç .....	228
4.6. Yanma analizi .....	229
4.6.1. Silindir basıncı analizi .....	229
4.6.2. Net ısı salımı hızı (NISH) .....	235
4.6.3. Tutuşma gecikmesi .....	243
4.7. Motor verimleri .....	244
4.7.1. Efektif termik verim .....	244
4.7.2. Volümetrik verim .....	247
4.8. Egzoz emisyonları .....	250
4.8.1. Egzoz gazı sıcaklığı (EGS) .....	250
4.8.2. Hava fazlalık katsayısı (HFK).....	252
4.8.3. CO emisyonu .....	254
4.8.4. CO <sub>2</sub> emisyonu .....	257
4.8.5. O <sub>2</sub> emisyonu .....	259
4.8.6. NO <sub>x</sub> emisyonu .....	261
4.8.7. Duman koyuluğu .....	264
4.9. Motor gürültü sonuçları .....	267
4.10. Enerji analizi sonuçları .....	269
4.11. Ekserji analizi sonuçları .....	270
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>272</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>276</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>309</b>

# BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA FARKLI ALKOL İLAVELERİNİN DİZEL MOTORLARDA PERFORMANS, YANMA VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Murat Kadir YEŞİLYURT**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doktora Tezi  
2017; Sayfa: 309**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ  
2. Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

**Jüri**

**Prof. Dr. Hikmet Şelli AYBAR  
Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ  
Prof. Dr. İbrahim UZUN  
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ  
Yrd. Doç. Dr. İlker ÖRS  
Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN**

**ÖZET**

Bu çalışmada, sarı hardal (*Sinapis alba* L.) tohumu ham yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimine etki eden alkol-yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi parametreleri yanıt yüzey metodu ile optimize edilmiştir. En yüksek biyodizel veriminin elde edildiği reaksiyon koşullarında üretilen biyodizel, dizel ve farklı alkoller (metanol, etanol, izopropanol, bütanol, pentanol) ile harmanlanmıştır. Ancak, metanol ilaveli yakıtlarda homojenlik sağlanamadığı için deneyler gerçekleştirilememiştir. Diğer yakıtların ise fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda yakıtların içerisine statik daldırma yöntemi ile farklı metaller (alüminyum, bakır, çinko, pirinç) yerleştirilerek korozyon karakteristikleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu yakıtlar bir dizel motorda test edilerek motor performansı, yanma analizi, egzoz emisyonları, enerji ve ekserji analizleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, optimum biyodizel verimi 7.407:1 metanol/yağ molar oranı, %0.627 katalizör, 61.837°C reaksiyon sıcaklığı ve 62.122 dakika reaksiyon süresinde %96.695 olarak belirlenmiştir. Korozyon denemelerinde daldırma zamanının artışına bağlı olarak metallerin korozyon hızlarının azaldığı, en çok korozyona uğrayan metalin bakır olduğu, bakırı sırasıyla pirinç, çinko ve alüminyumun izlediği belirlenmiştir. Motor denemelerinde ise test yakıtlarından elde edilen efektif motor torku ve efektif motor gücü değerleri dizel yakıtına göre ortalama %12.31 oranına kadar daha düşük, efektif özgül yakıt tüketimi değerleri %9.91 oranına kadar daha yüksek çıkmıştır. Test yakıtlarının yanma karakteristikleri dizel yakıtınıninki ile benzerlik göstermiştir. Ayrıca, alkol ilavesinin egzoz gazı sıcaklığını, duman koyuluğunu, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığı ve O<sub>2</sub> emisyonlarını ise artırdığı belirlenmiştir. Test yakıtlarının enerji ve ekserji analizleri maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d'de ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d'de gerçekleştirilmiştir. 1400 d/d'de enerji verimi %29.82-32.12 ve ekserji verimi %27.94-29.94 aralığında; 2600 d/d'de ise enerji verimi %30.51-32.85 ve ekserji verimi %28.60-30.62 aralığında hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sarı hardal yağı biyodizeli, optimizasyon, alkol, korozyon, motor performansı, yanma analizi, egzoz emisyonları, enerji, ekserji

**INVESTIGATING THE EFFECTS OF DIFFERENT ALCOHOL ADDITIVES  
IN BIODIESEL-DIESEL FUEL BLENDS ON PERFORMANCE,  
COMBUSTION AND EMISSION CHARACTERISTICS OF THE DIESEL  
ENGINES**

**Murat Kadir YESILYURT**

**Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
PhD Thesis  
2017; Page: 309**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ  
2. Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mevlut ARSLAN**

**Jury**

**Prof. Dr. Hikmet Selli AYBAR  
Assist. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ  
Prof. Dr. Ibrahim UZUN  
Prof. Dr. Hidayet OGUZ  
Assist. Prof. Dr. Ilker ORS  
Assist. Prof. Dr. Mevlut ARSLAN**

**ABSTRACT**

In this study, the parameters which are alcohol/oil molar ratio, catalyst concentration, reaction temperature and reaction time affecting biodiesel production from yellow mustard (*Sinapis alba* L.) seed crude oil by transesterification process have been optimized using response surface methodology. The biodiesel which was produced from the maximum biodiesel yield obtained reaction conditions was blended with diesel and different alcohols (methanol, ethanol, isopropanol, butanol, pentanol). However, the experiments could not be realized because homogeneity of methanol addition in test fuel has not been ensured. The physical, chemical and fuel properties of other fuels were measured. Furthermore, the corrosion characteristics of different metals (aluminum, copper, zinc, brass) which were put in the fuels have been determined by static immersion test. Also, the experimental results obtained concerning engine performances, combustion analysis, exhaust emissions, energy and exergy balances of a diesel engine fueled with these fuels compared with diesel fuel in laboratory tests. As a result, the optimum biodiesel yield was obtained to be 96.695% at 7.407:1 methanol/oil molar ratio, 0.627% catalyst concentration, 61.837°C reaction temperature and 62.122 min reaction time. In corrosion experiments depending on the increase of immersion time corrosion rate of metals decreased, copper is the most corrosion suffered, and brass, zinc and aluminum followed by copper, respectively. In the result of engine tests, values of the effective engine torque and the effective engine power from fuel blends were lower than diesel fuel as average 12.31%, and values of the effective specific fuel consumption from fuel blends were higher than diesel fuel as average 9.91%. The results of combustion analysis of fuel blends were similarly the results of diesel fuel. Besides, exhaust gas temperature, smoke opacity, CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions were decreased and O<sub>2</sub> emissions were increased with addition of alcohol. The energy and exergy analysis of test fuels have been realized at 1400 1/min which was obtained the maximum effective engine torque and at 2600 1/min which was obtained the maximum effective engine power. The energy efficiency was calculated as 29.82-32.12% and the exergy efficiency was calculated as 27.94-29.94% at 1400 1/min, the energy efficiency was calculated as 30.51-32.85% and the exergy efficiency was calculated as 28.60-30.62% at 2600 1/min.

**Keywords:** Yellow mustard oil, optimization, alcohol, corrosion, engine performance, combustion analysis, exhaust emissions, energy, exergy

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanması ve hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araőtırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, danışman hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN'a, tüm destek ve yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. İlker ÖRS, Sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY ve Sayın Uzm. Sadiye Ayőe ÇELİK hocalarıma, deneyler sürecinde imkanlarını sunan Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi yönetimine, bu araőtırmayı (Proje No: 2015FBE/T158) destekleyen Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, büyük fedakarlıklarla bana destek olan değerli eőim Sebanur YEŞİLYURT'a ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, doktora tezimi hazırlamam esnasında da maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teőekkürü bir borç bilirim.

2017, YOZGAT

Murat Kadir YEŞİLYURT

## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 1.1:</b> Bölgelere göre petrol rezerv miktarları ve ömürleri .....	3
<b>Tablo 1.2:</b> 2009-2015 yılları arasında Türkiye’de satılan sıvı yakıt miktarları .	5
<b>Tablo 1.3:</b> Ülkelerin dizel yakıtı fiyatları .....	5
<b>Tablo 1.4:</b> 2002-2016 yılları arasında trafiğe kayıtlı taşıt sayıları .....	6
<b>Tablo 1.5:</b> Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı .....	7
<b>Tablo 1.6:</b> Egzoz emisyonlarının çevre ve sağlık açısından etkileri .....	8
<b>Tablo 1.7:</b> Egzoz emisyonlarının tehlike sınırları .....	8
<b>Tablo 1.8:</b> AB motorlu binek araçlar için emisyon standartları .....	9
<b>Tablo 1.9:</b> Yağ bitkileri, hektara yağ verimleri ve yağ oranları .....	12
<b>Tablo 1.10:</b> 2014 yılı dünya yağlı tohum üretimi ve toplam üretimdeki payları .	12
<b>Tablo 1.11:</b> Yağlı tohumlu bitkilerin Türkiye’deki ekiliş, hasat, üretim ve verim değerleri .....	14
<b>Tablo 1.12:</b> İyot sayısına göre yağların sınıflandırılması .....	17
<b>Tablo 1.13:</b> Çeşitli bitkisel yağların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	19
<b>Tablo 1.14:</b> Bazı bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları .....	19
<b>Tablo 1.15:</b> Kimyasal yöntemle biyodizel üretim yöntemlerinin karşılaştırılması	23
<b>Tablo 1.16:</b> Yağlardaki su içeriğinin biyodizel verimi üzerine etkisi .....	24
<b>Tablo 1.17:</b> Tek kademeli homojen baz katalizörlü transesterifikasyon yöntemi için önerilen serbest yağ asidi seviyeleri .....	24
<b>Tablo 1.18:</b> Serbest yağ asidi miktarı yüksek yağlar ile yapılan optimizasyon çalışmaları .....	25
<b>Tablo 1.19:</b> Ön iyileştirme uygulandıktan sonra yapılan optimizasyon çalışmaları .....	25
<b>Tablo 1.20:</b> Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan farklı katalizör türlerinin avantaj ve dezavantajları .....	26
<b>Tablo 1.21:</b> Farklı baz katalizörler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları .....	27
<b>Tablo 1.22:</b> Farklı alkoller kullanılarak jatrofa yağından üretilen esterlerin yakıt özellikleri .....	28
<b>Tablo 1.23:</b> Bazı ülkelerde biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler .....	32
<b>Tablo 1.24:</b> AB’de üretilen biyodizel miktarları (bin ton) .....	33
<b>Tablo 1.25:</b> İklimle bağlı özellikler ve deney yöntemleri .....	50
<b>Tablo 1.26:</b> ASTM D6751 standardında yer alan testler ve yöntemleri .....	51

<b>Tablo 1.27:</b>	TS EN 14214 standardında yer alan testler ve yöntemleri .....	51
<b>Tablo 1.28:</b>	TS EN 590 standardında yer alan testler ve yöntemleri .....	52
<b>Tablo 1.29:</b>	Çeşitli firmaların biyodizel kullanımı için verdiği garanti bilgileri ..	53
<b>Tablo 1.30:</b>	Aspir yağı biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının yakıt özellikleri .....	53
<b>Tablo 1.31:</b>	Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarının dizel yakıtının egzoz emisyonları ile karşılaştırılması .....	54
<b>Tablo 1.32:</b>	Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor performanslarının dizel yakıtının motor performansları ile karşılaştırılması .....	55
<b>Tablo 1.33:</b>	Biyodizel-dizel karışım yakıtlarının yağlayıcılık değerleri .....	56
<b>Tablo 1.34:</b>	Motor yağlama yağı içindeki aşınma elementlerinin değerleri .....	56
<b>Tablo 1.35:</b>	Biyodizelin çeşitli malzemelerle uyusabilirliği .....	57
<b>Tablo 1.36:</b>	Alkollerin bazı özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması .....	67
<b>Tablo 3.1:</b>	Vidalı yağ çıkarma presinin teknik özellikleri .....	109
<b>Tablo 3.2:</b>	Biyodizel üretim tesisinde bulunan tanklar ve kapasiteleri .....	123
<b>Tablo 3.3:</b>	Test motorunun teknik özellikleri .....	125
<b>Tablo 3.4:</b>	Egzoz emisyon cihazlarının teknik özellikleri .....	126
<b>Tablo 3.5:</b>	Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarının teknik özellikleri .....	130
<b>Tablo 3.6:</b>	Sarı hardal yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	134
<b>Tablo 3.7:</b>	Sarı hardal yağının yağ asidi kompozisyonu .....	134
<b>Tablo 3.8:</b>	Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri .....	135
<b>Tablo 3.9:</b>	Denemelerde kullanılan yakıtların hacimsel olarak karışım oranları	141
<b>Tablo 3.10:</b>	Yakıtların h/c, o/c ve a/c oranları .....	152
<b>Tablo 3.11:</b>	Çevrenin tanımı .....	154
<b>Tablo 4.1:</b>	Geliştirilen model için deney tasarımı ve deneysel sonuçlar .....	155
<b>Tablo 4.2:</b>	Biyodizel verimi için ANOVA tablosu .....	156
<b>Tablo 4.3:</b>	YYM ile belirlenen optimum üretim parametreleri .....	160
<b>Tablo 4.4:</b>	SHYB'nin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri .....	160
<b>Tablo 4.5:</b>	SHYB'nin yağ asidi kompozisyonu .....	161
<b>Tablo 4.6:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının element içerikleri .....	170
<b>Tablo 4.7:</b>	Test yakıtlarının püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı, yanma sonu, tutuşma gecikmesi ve yanma periyodu değerleri .....	244
<b>Tablo 4.8:</b>	1400 ve 2600 d/d'de test yakıtlarının enerji analizi sonuçları .....	269
<b>Tablo 4.9:</b>	1400 ve 2600 d/d'de test yakıtlarının ekserji analizi sonuçları .....	271



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:	Enerji kaynaklarının sınıflandırılması ..... 2
Şekil 1.2:	1990-2035 yılları arası dünya enerji tüketimi ..... 3
Şekil 1.3:	Türkiye'nin petrol tüketimi ..... 4
Şekil 1.4:	Kullanılan yakıt türüne bağlı olarak motorlu kara taşıtları sayısı ..... 6
Şekil 1.5:	2014 yılı ülkeler bazında yağlı tohum üretim oranları ..... 13
Şekil 1.6:	Önemli bitkisel yağların dünyadaki üretim miktarları ..... 15
Şekil 1.7:	Türkiye'nin 2003-2014 yılları arasındaki bitkisel ham yağ üretimi . 15
Şekil 1.8:	Türkiye'nin 2003-2014 yılları arasında gerçekleştirdiği yağlı tohum ve türevleri ithalatı ..... 16
Şekil 1.9:	Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri ..... 21
Şekil 1.10:	Bazı bitkisel yağ-dizel yakıt karışımlarının kinematik viskoziteleri.. 21
Şekil 1.11:	Transesterifikasyon reaksiyonunun kimyasal mekanizması ..... 23
Şekil 1.12:	Sabun oluşum reaksiyonu ..... 24
Şekil 1.13:	Dünyada 1991-2012 yılları arasında üretilen biyodizel miktarları ... 33
Şekil 1.14:	Bitkisel yağların tarım traktörlerinde kullanımı ..... 34
Şekil 1.15:	2006 yılı Türkiye'de bulunan biyodizel firmalarının dağılımı ..... 35
Şekil 1.16:	Dizel motorlarda NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması ..... 54
Şekil 1.17:	Sarı hardal bitkisi ..... 59
Şekil 1.18:	Dizel motorlarda yanma diyagramı ..... 60
Şekil 3.1:	Sarı hardal ( <i>Sinapis alba</i> L.) tohumları ..... 108
Şekil 3.2:	Çift kafalı vidalı yağ çıkarma presini ..... 109
Şekil 3.3:	Nem ölçer ..... 109
Şekil 3.4:	Soxhlet yağ tayin cihazı ..... 110
Şekil 3.5:	Döner evaporatör ..... 110
Şekil 3.6:	Yoğunluk ölçüm cihazı ..... 111
Şekil 3.7:	Kinematik viskozite ölçüm cihazı ..... 111
Şekil 3.8:	Parlama noktası tayin cihazı ..... 112
Şekil 3.9:	Su içeriği tayin cihazı ..... 112
Şekil 3.10:	Kalorimetre cihazı ..... 113
Şekil 3.11:	Bakır şerit korozyonu test cihazı ..... 113
Şekil 3.12:	Yarı otomatik bulutlanma noktası, akma noktası ve SFTN tayin

	cihazı .....	114
<b>Şekil 3.13:</b>	Otomatik renk ölçüm cihazı .....	114
<b>Şekil 3.14:</b>	Distilasyon test cihazı .....	115
<b>Şekil 3.15:</b>	Kükürt tayin cihazı .....	115
<b>Şekil 3.16:</b>	Dizel yakıtı analiz cihazı .....	116
<b>Şekil 3.17:</b>	Isıticılı manyetik karıştırıcı .....	116
<b>Şekil 3.18:</b>	Mekanik karıştırıcı .....	117
<b>Şekil 3.19:</b>	Homojenizatör .....	117
<b>Şekil 3.20:</b>	Kül fırını .....	118
<b>Şekil 3.21:</b>	ICP-MS cihazı .....	119
<b>Şekil 3.22:</b>	GC-MS cihazları .....	119
<b>Şekil 3.23:</b>	Dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu .....	120
<b>Şekil 3.24:</b>	MP-XRD cihazı .....	120
<b>Şekil 3.25:</b>	FE-ESEM-EDS cihazı .....	121
<b>Şekil 3.26:</b>	(a) Alüminyum, (b) bakır, (c) çinko, (d) pirinç .....	123
<b>Şekil 3.27:</b>	PLC destekli pilot biyodizel üretim tesisi .....	124
<b>Şekil 3.28:</b>	PLC destekli pilot biyodizel üretim tesisi şeması .....	124
<b>Şekil 3.29:</b>	Denemelerde kullanılan dizel motor .....	125
<b>Şekil 3.30:</b>	Egzoz emisyon cihazları .....	126
<b>Şekil 3.31:</b>	Hidrolik dinamometre .....	127
<b>Şekil 3.32:</b>	S tipi yük hücresi .....	127
<b>Şekil 3.33:</b>	Dinamometre kontrol yazılımı arayüzü .....	127
<b>Şekil 3.34:</b>	Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği .....	128
<b>Şekil 3.35:</b>	Hava tüketimi ölçüm düzeneği .....	128
<b>Şekil 3.36:</b>	Ses seviyesi ölçüm cihazı .....	129
<b>Şekil 3.37:</b>	Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanları .....	130
<b>Şekil 3.38:</b>	FebriS yanma analizi programı arayüzü .....	131
<b>Şekil 3.39:</b>	Motor denemelerinin yapıldığı test düzeneği .....	131
<b>Şekil 3.40:</b>	Ham yağın elde edilme aşamaları .....	133
<b>Şekil 3.41:</b>	(a) Sarı hardal tohumunun preslenmesi, (b) küspe, (c) ham yağ, (d) ham yağ ve çöken küspe parçacıkları .....	134
<b>Şekil 3.42:</b>	Biyodizel üretiminde optimizasyon aşamaları .....	138
<b>Şekil 3.43:</b>	Sarı hardal yağı, SHYB, ED ve hazırlanan karışım yakıtlar .....	140
<b>Şekil 3.44:</b>	(a) Karışım oluşturulduktan hemen sonraki ve (b), (c) belirli bir	

	süre sonraki metanol katkılı yakıtların faz ayrışması .....	141
<b>Şekil 3.45:</b>	Statik daldırma testi için hazırlanan örnekler .....	143
<b>Şekil 3.46:</b>	Motor test düzeneğinin şematik görünümü .....	145
<b>Şekil 3.47:</b>	Hidrolik dinamometre ve yük hücresinin şematik görünümü .....	146
<b>Şekil 4.1:</b>	Biyodizel verimi için deneysel sonuçlar ile matematiksel modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	156
<b>Şekil 4.2:</b>	Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri .....	158
<b>Şekil 4.3:</b>	SHY, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının yoğunluk değerleri .....	161
<b>Şekil 4.4:</b>	Farklı alkol ilave edilen yakıtların yoğunluk değerleri .....	162
<b>Şekil 4.5:</b>	SHY, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri .....	163
<b>Şekil 4.6:</b>	Farklı alkol ilave edilen yakıtlarının kinematik viskozite değerleri .	164
<b>Şekil 4.7:</b>	Test yakıtlarının ısı değerleri .....	165
<b>Şekil 4.8:</b>	Test yakıtlarının su içeriği değerleri .....	166
<b>Şekil 4.9:</b>	Test yakıtlarının pH değerleri .....	166
<b>Şekil 4.10:</b>	Test yakıtlarının BN, SFTN, AN ve DN değerleri .....	167
<b>Şekil 4.11:</b>	Test yakıtlarının asit sayıları .....	168
<b>Şekil 4.12:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının distilasyon eğrileri .....	169
<b>Şekil 4.13:</b>	Test yakıtlarının setan sayıları .....	169
<b>Şekil 4.14:</b>	Test yakıtlarının kükürt miktarları .....	171
<b>Şekil 4.15:</b>	B100 ve ED yakıtlarının farklı daldırma sürelerindeki korozyon hızları .....	171
<b>Şekil 4.16:</b>	Test yakıtlarının 4320 saat sonundaki korozyon hızları .....	173
<b>Şekil 4.17:</b>	ED ve B100 yakıtlarına daldırılan malzemelerin yüzeylerinde (a) 1080, (b) 2160, (c) 3240 ve (d) 4320 saat sonunda meydana gelen değişimler .....	174
<b>Şekil 4.18:</b>	Yakıtlara daldırılan metallerin (a) 1080, (b) 2160, (c) 3240, (d) 4320 saat sonundaki mikroskop görüntüleri (x40) .....	175
<b>Şekil 4.19:</b>	Test yakıtlarına daldırılan malzemelerin yüzeylerinde 4320 saat sonunda meydana gelen değişimler .....	177
<b>Şekil 4.20:</b>	Test yakıtlarına daldırılan (a) alüminyum, (b) bakır, (c) çinko ve (d) pirinç malzemelerinin yüzeylerinin 4320 saat sonundaki mikroskop görüntüleri (x40) .....	178
<b>Şekil 4.21:</b>	(a) Alüminyum, (b) bakır, (c) çinko, (d) pirinç malzemelerinin daldırma öncesi ve yakıtlara daldırıldıktan 4320 saat sonundaki TEM görüntüleri .....	182
<b>Şekil 4.22:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarına daldırılan alüminyum, bakır,	

	ınko ve pirinç malzemelerinin 4320 saat sonundaki EDS analizi sonuçları .....	203
<b>Şekil 4.23:</b>	Alüminyum, bakır, ınko ve pirinç malzemelerinin daldırma öncesi ve test yakıtlarına daldırıldıktan 4320 saat sonraki XRD analizi sonuçları .....	207
<b>Şekil 4.24:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif motor torku değerleri .....	219
<b>Şekil 4.25:</b>	Farklı alkol ilavesinin efektif motor torku üzerine etkisi .....	221
<b>Şekil 4.26:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif güç değerleri .....	222
<b>Şekil 4.27:</b>	Farklı alkol ilavesinin efektif motor gücü üzerine etkisi .....	224
<b>Şekil 4.28:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ...	225
<b>Şekil 4.29:</b>	Farklı alkol ilavesinin efektif özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi ....	227
<b>Şekil 4.30:</b>	Test yakıtlarının ortalama efektif basınçları .....	229
<b>Şekil 4.31:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1400 d/d'deki silindir basınçları	230
<b>Şekil 4.32:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 2600 d/d'deki silindir basınçları	231
<b>Şekil 4.33:</b>	Farklı alkol ilavesinin 1400 d/d'deki silindir basıncına etkisi .....	234
<b>Şekil 4.34:</b>	Farklı alkol ilavesinin 2600 d/d'deki silindir basıncına etkisi .....	234
<b>Şekil 4.35:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1400 d/d'deki NISH'leri .....	236
<b>Şekil 4.36:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 2600 d/d'deki NISH'leri .....	237
<b>Şekil 4.37:</b>	Farklı alkol kullanımının 1400 d/d'deki NISH'leri .....	240
<b>Şekil 4.38:</b>	Farklı alkol kullanımının 2600 d/d'deki NISH'leri .....	242
<b>Şekil 4.39:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif termik verimleri .....	246
<b>Şekil 4.40:</b>	Farklı alkol ilavesinin efektif termik verim üzerine etkisi .....	247
<b>Şekil 4.41:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının volümetrik verimleri .....	248
<b>Şekil 4.42:</b>	Farklı alkol ilavesinin volümetrik verim üzerine etkisi .....	249
<b>Şekil 4.43:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının EGS'leri .....	251
<b>Şekil 4.44:</b>	Farklı alkol ilavesinin EGS üzerine etkisi .....	252
<b>Şekil 4.45:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının HFK'leri .....	253
<b>Şekil 4.46:</b>	Farklı alkol ilavesinin HFK üzerine etkisi .....	253
<b>Şekil 4.47:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO emisyonları .....	255
<b>Şekil 4.48:</b>	Farklı alkol ilavesinin CO emisyonu üzerine etkisi .....	256
<b>Şekil 4.49:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO <sub>2</sub> emisyonları .....	257
<b>Şekil 4.50:</b>	Farklı alkol ilavesinin CO <sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisi .....	259
<b>Şekil 4.51:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının O <sub>2</sub> emisyonları .....	260
<b>Şekil 4.52:</b>	Farklı alkol ilavesinin O <sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisi .....	261

<b>Şekil 4.53:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının NO <sub>x</sub> emisyonları .....	262
<b>Şekil 4.54:</b>	Farklı alkol ilavesinin NO <sub>x</sub> emisyonu üzerine etkisi .....	264
<b>Şekil 4.55:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının duman koyulukları .....	265
<b>Şekil 4.56:</b>	Farklı alkol ilavesinin duman koyuluğu üzerine etkisi .....	267
<b>Şekil 4.57:</b>	ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının motor gürültü değerleri .....	268
<b>Şekil 4.58:</b>	Farklı alkol ilavesinin motor gürültü değerleri üzerine etkisi .....	268
<b>Şekil 4.59:</b>	Test yakıtlarının 1400 ve 2600 d/d'deki enerji dağılımları .....	270
<b>Şekil 4.60:</b>	Test yakıtlarının 1400 ve 2600 d/d'deki ekserji dağılımları .....	271



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AN</b>	: Akma noktası
<b>ANOVA</b>	: Varyans analizi
<b>ASTM</b>	: American society for testing material
<b>B</b>	: Bütanol
<b>BD</b>	: Biyodizel
<b>BE</b>	: Biyoetanol
<b>BN</b>	: Bulutlanma noktası
<b>CEN</b>	: Avrupa standardizasyon komitesi
<b>C.V.</b>	: Varyasyon katsayısı
<b>DI</b>	: Direkt enjeksiyonlu
<b>DN</b>	: Donma noktası
<b>DTK</b>	: Doğrudan tehlike konsantrasyonu
<b>DY</b>	: Dizel yakıtı
<b>E</b>	: Etanol
<b>ED</b>	: Euro dizel
<b>EGS</b>	: Egzoz gazı sıcaklığı
<b>EİE</b>	: Elektrik işleri etüd idaresi
<b>EMA</b>	: Engine manufacturers association (Motor üreticileri birliği)
<b>EPA</b>	: Çevre koruma ajansı
<b>EPDK</b>	: Enerji piyasası düzenleme kurumu
<b>FE-ESEM-</b>	: Alan emisyonlu-Çevresel taramalı elektron mikroskopu-Enerji dağılım
<b>EDS</b>	spektrometresi
<b>GC-MS</b>	: Gaz kromatografisi-Kütle Spektrometresi
<b>HFK</b>	: Hava fazlalık katsayısı
<b>HFRR</b>	: High frequency reciprocating rig
<b>H/Y</b>	: Gerçek hava/yakıt oranı
<b>H/Y<sub>stk</sub></b>	: Stokiyometrik hava/yakıt oranı
<b>I</b>	: İzopropanol
<b>ICP</b>	: İndüktif eşleşmiş plazma
<b>IDI</b>	: Endirekt enjeksiyonlu
<b>KH</b>	: Korozyon hızı
<b>KMA</b>	: Krank mili açısı
<b>LPG</b>	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
<b>M</b>	: Metanol
<b>MAK</b>	: Maksimum atmosfer konsantrasyonu
<b>MİK</b>	: Maksimum işyeri konsantrasyonu
<b>MKT</b>	: Merkezi kompozit tasarım
<b>NISH</b>	: Net ısı salımı hızı
<b>ÖTV</b>	: Özel tüketim vergisi
<b>P</b>	: Pentanol
<b>PAH</b>	: Polisiklik aromatik hidrokarbon
<b>PB</b>	: Püskürtme başlangıcı
<b>PLC</b>	: Programlanabilir kontrol cihazı
<b>PM</b>	: Partikül madde
<b>PN</b>	: Partikül sayısı
<b>Pr</b>	: Propanol

<b>PRESS</b>	: Tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamı
<b>SFTN</b>	: Soğuk filtre tıkanma noktası
<b>SHYB</b>	: Sarı hardal yağı biyodizeli
<b>Sİ</b>	: Setan indisi
<b>TG</b>	: Tutuşma gecikmesi
<b>YAME</b>	: Yağ asidi metil esteri
<b>YB</b>	: Yanma başlangıcı
<b>YS</b>	: Yanma sonu
<b>YP</b>	: Yanma periyodu (süresi)
<b>YYM</b>	: Yanıt yüzey metodu
<b>A</b>	: Alan
<b>A<sub>i</sub></b>	: Yağ asidi kompozisyonundaki her bir bileşenin oranı
<b>b</b>	: Model katsayısı
<b>b<sub>e</sub></b>	: Efektif özgül yakıt tüketimi
<b>B<sub>e</sub></b>	: Saatlik yakıt tüketimi
<b>c</b>	: Karbonun kütleli oranı
<b>c<sub>g</sub></b>	: Egzoz gazlarının ortalama özgül ısısı
<b>c<sub>s</sub></b>	: Suyun ortalama özgül ısısı
<b>D</b>	: Yağ asidi zincirindeki çift bağ sayısı
<b>D<sub>m</sub></b>	: Metalin yoğunluğu
<b>e</b>	: Hata
<b>E<sub>c</sub></b>	: Sistemden çıkan enerji
<b>E<sub>g</sub></b>	: Sisteme giren enerji
<b>E<sub>t</sub></b>	: Toplam Enerji
<b>Ė<sub>x<sub>eg</sub></sub></b>	: Egzoz ekserjisi
<b>Ė<sub>x<sub>it</sub></sub></b>	: Isı transferine eşlik eden ekserji
<b>Ė<sub>x<sub>ss</sub></sub></b>	: Soğutma suyu ekserjisi
<b>Ė<sub>x<sub>w</sub></sub></b>	: Efektif güç ekserjisi
<b>Ė<sub>x<sub>y</sub></sub></b>	: Yakıtın kimyasal ekserjisi
<b>Ė<sub>x<sub>ye</sub></sub></b>	: Ekserji yıkımı
<b>f</b>	: Çevrim katsayısı
<b>F</b>	: Kuvvet
<b>h</b>	: Hidrojenin kütleli oranı
<b>h</b>	: Egzoz gazı sıcaklığındaki entalpi
<b>H<sub>u</sub></b>	: Alt ısı değeri
<b>h<sub>0</sub></b>	: Ortam sıcaklığındaki entalpi
<b>HC</b>	: Hidrokarbon
<b>L</b>	: Mesafe
<b>L</b>	: Hava miktarı
<b>m<sub>eg</sub></b>	: Egzoz gazının kütleli debisi
<b>M<sub>e</sub></b>	: Efektif motor torku
<b>m<sub>i</sub></b>	: Yanma ürünlerinin gerçek kütleli debileri
<b>M<sub>i</sub></b>	: Yanma ürünlerinin mol kütlesi
<b>m<sub>s</sub></b>	: Soğutma suyunun kütleli debisini
<b>M<sub>top</sub></b>	: Toplam mol kütlesi
<b>MW<sub>i</sub></b>	: Yağ asidi kompozisyonundaki her bir bileşenin molar kütlesi
<b>n</b>	: Motor devir sayısı
<b>η<sub>t</sub></b>	: Termik verim

$\eta_v$	: Volümetrik verim
$o$	: Oksijenin kütleli oranı
$P$	: Silindir içi basıncı
$P_e$	: Efektif motor gücü
$P_{mep}$	: Ortalama efektif basınç
$\dot{Q}_{eg}$	: Birim zamanda egzoz gazlarından kaybedilen ısı enerjisi
$\dot{Q}_k$	: Birim zamanda diğer yollar ile kaybedilen ısı enerjisi
$Q_{net}$	: Yanma sonunda silindir duvarı ve yanma odası duvarına geçen enerji
$\dot{Q}_s$	: Birim zamanda soğutma suyuna geçen ısı enerjisini
$\dot{Q}_y$	: Birim zamanda harcanan yakıt enerjisi
$\bar{R}$	: İdeal gaz sabiti
$R^2$	: Regrasyon katsayısı
$R^2_{adj}$	: Düzeltilmiş regrasyon katsayısı
$s$	: Egzoz gazı sıcaklığındaki entropi
$s_0$	: Ortam sıcaklığındaki entropi
$t$	: Zaman
$T_\phi$	: Suyun çıkış sıcaklığı
$T_{eg}$	: Egzoz gazı sıcaklığı
$T_g$	: Suyun giriş sıcaklığı
$T_m$	: Motor yüzey sıcaklığı
$T_{ort}$	: Ortalama sıcaklık
$T_0$	: Ortam sıcaklığı
$V_h$	: Silindir hacmi
$w$	: Ağırlık kaybı
$X$	: Bağımsız değişken
$Y$	: Biyodizel verimi
$y_g^e$	: Referans çevrenin mol kesri
$y_i$	: Yanma ürünlerinin toplam kütle içerisindeki mol kesirleri
$Z$	: Silindir sayısı
$\epsilon_{km}$	: Kimyasal ekserji
$\epsilon_{tm}$	: Termomekanik ekserji
$\epsilon_{top}$	: Toplam ekserji
$\epsilon_y$	: Özgül yakıt ekserjisi
$\alpha$	: Kükürtün kütleli oranı
$\eta$	: Enerji verimi
$\lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
$\sigma$	: Motorda üretilen toplam entropi
$\psi$	: Ekserji verimi
$\phi$	: Kimyasal ekserji katsayısı
$\theta$	: Krank açısı
$\rho_h$	: Havanın yoğunluğu
$\omega$	: Açısal hız
$\gamma$	: Özgül ısılar oranı

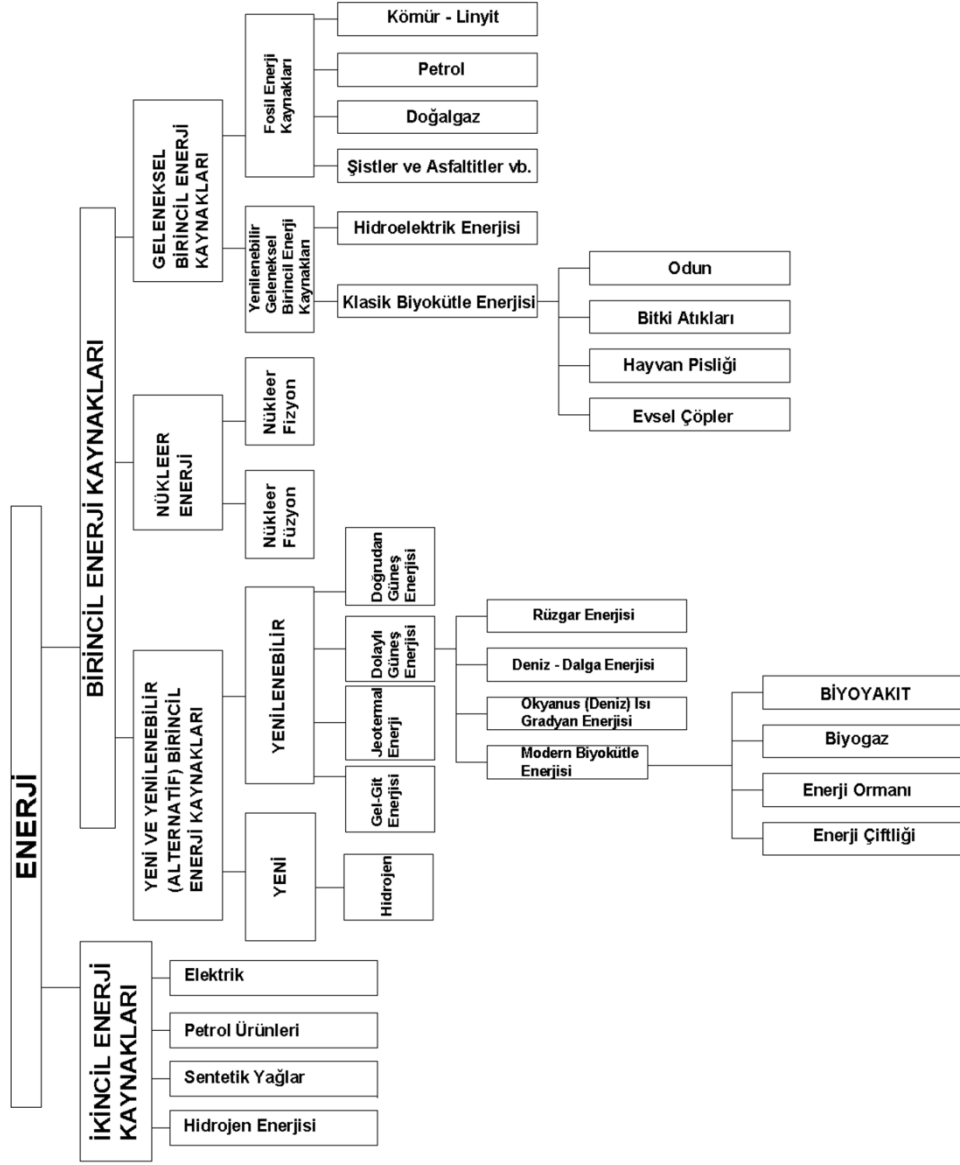


## 1. GİRİŞ

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden biri olan enerji, üretimde zorunlu bir faktördür. Sosyal kalkınma ile enerji tüketimi arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Ekonomik gelişme ve refah düzeyinin artışıyla enerji tüketim miktarının da arttığı görülmektedir [1]. Dünyada sanayileşmenin hızla gelişimi, nüfusun büyük bir artış göstermesi, yeni teknolojilerin kullanıma sunduğu makina ve araç çeşitliliğinin artması gibi etkenler her geçen gün enerjiye duyulan ihtiyacı artırmaktadır [2]. Enerji ihtiyacı ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre değişiklik göstermektedir. Enerji üretiminde mümkün olduğunca yerel kaynakların kullanılması, çevrenin korunması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması önem arz etmektedir [3].

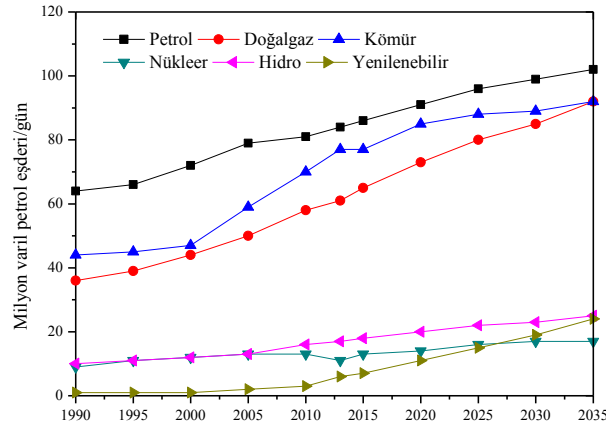
Yunanca kökenli bir sözcük olan enerji ‘en’ (iç) ve ‘ergon’ (iş) kelimelerinden oluşmuştur. Sözcük daha sonraları sosyal bir nitelik kazanarak iş üretme becerisi, dinamizm, kuvvet, kudret ve etkinlik ile eş anlamda kullanılmaya başlanmıştır [4]. Bir başka ifadeye göre de enerji, bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Kaynaklarına göre enerji dağılımı Şekil 1.1.’de gösterilmiştir.

Günümüzde tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken; bu kaynaklar içerisinde petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli kaynaklar %87’ye yakın bir kısmını oluşturmaktadır. Özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağı olarak kullanılan petrol, dünya birincil enerji tüketimi içerisinde en büyük paya sahip enerji kaynağıdır. Birincil enerji kaynakları arasında stratejik konuma sahip olan petrol, 2013 yılı sonu itibari ile dünya enerji talebinin %33’ünü, doğalgaz ise %24’ünü karşılamıştır. Enerji kaynakları bazında talep artış oranlarının ise 2012 yılından 2040’a kadar olan dönemde; petrolde %13.5, kömürde %14.6, doğalgazda %55, nükleerde %88.5, yenilenebilir kaynaklarda ise (su dahil) %317 olacağı tahmin edilmektedir [5].



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [6]

Çeşitli uluslararası kurum ve kuruluşlar (Uluslararası Enerji Ajansı, ABD Enerji İdaresi, British Petroleum, ExxonMobil vb.) tarafından yapılan projeksiyon çalışmalarında petrolün birincil enerji tüketimi içerisindeki payını uzun dönemde de koruyacağı belirtilmektedir [5]. 1990-2035 yılları arası dünya enerji tüketimi Şekil 1.2.'de verilmiştir.



**Şekil 1.2.** 1990-2035 yılları arası dünya enerji tüketimi [5]

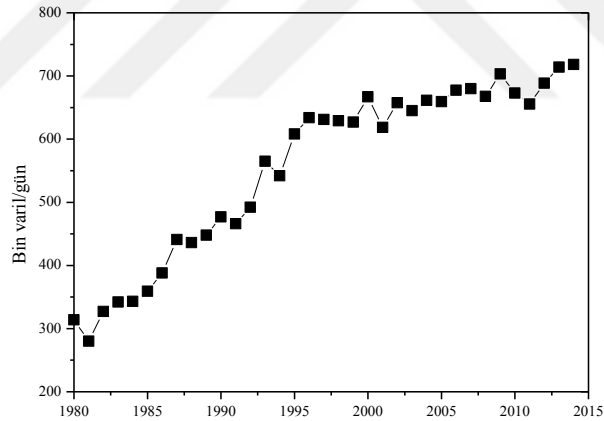
Dünya petrol üretimi 2013 yılında yaklaşık 90.08 milyon varil/gün olarak gerçekleşirken, 2014 yılında %2.3 artarak 92.15 milyon varil/gün'e yükselmiştir. 2014 yılının en büyük petrol üreticisi 12.43 milyon varil/gün ile ABD'dir. Üretilen bu petrolün büyük bir kısmı uluslararası piyasalarda alınıp satılmaktadır. 2012 yılında 54.7 milyon varil/gün olarak gerçekleşen dünya ham petrol ticareti 2013 yılında %1.7 artarak 55.7 milyon varil/gün'e yükselmiştir. 2013 yılında net petrol ithalatı gerçekleştiren ülkeler içerisinde birinci sırada 9.793 milyon varil/gün ile ABD bulunmaktadır. ABD'yi ise sırasıyla Çin, Japonya, Hindistan ve Singapur izlemektedir [5].

Petrol rezerv ömrü, mevcut teknolojilerle ekonomik olarak üretilebilen ispatlanmış rezervlerin, mevcut üretime bölünmesiyle elde edilen bir değerdir. Dünya petrol rezerv miktarında 2011 yılına oranla %0.9'luk bir artış gerçekleşmiştir. Bununla birlikte artan petrol üretiminin de etkisi ile 2011 yılında 53.8 yıl olan dünya petrol rezerv ömrü 2012 yılında 52.9 yıla düşmesine karşın [5, 7], 2013 yılında yeni rezervlerin keşfiyle beraber dünya petrol rezerv ömrü 53.3 yıla çıkmıştır [5]. Söz konusu rezervlerin bölgelere göre dağılımı Tablo 1.1.'de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Bölgelere göre petrol rezerv miktarları ve ömürleri [5]

Bölgeler	Rezerv miktarı (milyar varil)	Rezerv ömrü (yıl)
Kuzey Amerika	230	37
Orta ve Güney Amerika	330	124
Avrupa ve Avrasya	148	23
Orta Doğu	808	78
Afrika	130	40
Asya Pasifik	42	14

Türkiye birincil enerji üretimi 2013 yılında 31.94 milyon ton eşdeğer petrol olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl toplam enerji tüketimi ise 120.29 milyon ton eşdeğer petrol olup, enerji tüketimimizin büyük bir kısmını dışa bağımlı olduğumuz petrol ve doğalgaz oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payları ise sırasıyla %31 ile doğalgaz, %29 ile kömür, %28 ile petrol ve %4 ile hidrolik olarak gerçekleşmiştir [8]. 1980-2014 yılları arasında Türkiye'nin petrol tüketimi Şekil 1.3.'te verilmiştir. 2014 yılında 49 bin varil/gün petrol üretimi yapan Türkiye, buna karşılık 718 bin varil/gün petrol tüketimi gerçekleştirmiştir. Petrol tüketiminin büyük bir kısmını ithalat yoluyla karşılayan Türkiye, 2014 yılında 359 bin varil/gün ham petrol ve 310 bin varil/gün işlenmiş ürün ithalatı gerçekleştirmiştir. Türkiye petrol ithalatında dışa bağımlılık oranı %93 olan bir ülke konumundadır. Türkiye'nin ithal ettiği ham petrolün ülkelere göre dağılımı incelendiğinde ise ilk sırayı %31 ile Irak almaktadır. Irak'ı %30 ile İran, %11 ile Suudi Arabistan, %10 ile Nijerya ve %9 ile Kazakistan izlemektedir [5].



Şekil 1.3. Türkiye'nin petrol tüketimi [5, 9]

Ham petrolün kullanım alanı sınırlı olduğu için işlenmesi gerekmektedir. Ham petrolün işlenmesi sonucunda; benzin, fuel oil, motorin (dizel yakıtı), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve jet yakıtı gibi ürünler elde edilmektedir. Elde edilen bu ürünler ulaşım endüstrisinde, ısınmada ve sanayi endüstrisi gibi yaşamın birçok alanında kullanılmakla beraber özellikle taşımacılık sektöründe önemli bir yere sahiptir [10, 11]. 2009-2015 yılları arasında Türkiye'de satılan yakıt miktarları Tablo 1.2.'de verilmiştir. Dizel yakıtı, akaryakıt sektöründe benzine göre daha fazla kullanılmakta ve her geçen gün dizel yakıt ihtiyacı artmaktadır [12].

**Tablo 1.2.** 2009-2015 yılları arasında Türkiye’de satılan sıvı yakıt miktarları [13]

Yakıt Tipi	Satış miktarı (m <sup>3</sup> )						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Benzin	2942081	2771356	2622367	2476995	2481581	2565150	2806042
Dizel	15927579	16504148	17437943	18784629	20060513	20924718	24059270
Toplam	18869660	19275504	20060310	21261624	22542094	23489868	26865312

Ülkeler bazında dizel yakıtı fiyatları Tablo 1.3.’te verilmiştir. En ucuz dizel yakıtı fiyatı 0.01 dolar/L ile Venezuela’da iken en pahalı dizel yakıtı kullanan ülke ise 1.60 dolar/L ile Norveç’tir. Türkiye ise 1.29 dolar/L ile pahalı dizel yakıtı kullanan ülkelerden bir tanesidir.

**Tablo 1.3.** Ülkelerin dizel yakıtı fiyatları [14]

Ülkeler	dolar/L	Ülkeler	dolar/L	Ülkeler	dolar/L	Ülkeler	dolar/L
Venezuela	0.01	Şili	0.63	Laos	0.81	Gambiya	1.14
İran	0.10	Bhutan	0.63	Çin	0.81	İspanya	1.15
Cezayir	0.17	Kosta Rika	0.64	Ermenistan	0.82	Slovakya	1.16
Suudi Arabistan	0.20	Sri Lanka	0.65	Fas	0.82	Avusturya	1.16
Mısır	0.20	Lesoto	0.65	Bahamalar	0.83	Gine	1.16
Türkmenistan	0.26	Etiyopya	0.65	Avusturalya	0.83	Romanya	1.18
Ekvador	0.27	Maldivler	0.65	Angola	0.84	Burundi	1.19
Kazakistan	0.28	Botsvana	0.65	Brezilya	0.85	Macaristan	1.19
Trinidad ve Tobago	0.30	Moldova	0.66	Makedonya	0.86	Yunanistan	1.20
Bahreyn	0.32	Peru	0.67	Japonya	0.86	Lihtenştayn	1.20
Kuveyt	0.36	Pakistan	0.69	Surinam	0.87	Küba	1.20
Malezya	0.38	Tayland	0.69	Togo	0.87	Uruguay	1.21
Azerbaycan	0.40	Aruba	0.70	Gana	0.88	Hırvatistan	1.21
Lübnan	0.41	Kamboçya	0.70	Nijer	0.89	Slovenya	1.21
Katar	0.41	Kenya	0.70	Grenada	0.92	Sırbistan	1.22
Umman	0.43	Nepal	0.70	Jamaika	0.92	İrlanda	1.23
Birleşik Arap Emirlikleri	0.44	Liberya	0.70	Çad	0.94	Almanya	1.24
Kırgızistan	0.44	Yemen	0.70	Barbados	0.94	Portekiz	1.25
Burma	0.44	Guyana	0.70	Andorra	0.95	Hollanda	1.26
Rusya	0.51	Svaziland	0.72	Fil Dişi Sahilleri	0.96	Belçika	1.26
Vietnam	0.51	Uganda	0.72	St. Kitts ve Nevis	0.96	Fransa	1.29
Ürdün	0.51	Tanzanya	0.72	Bosna Hersek	0.96	Arnavutluk	1.29
Afganistan	0.52	Mozambik	0.72	Madagaskar	0.98	<b>Türkiye</b>	<b>1.29</b>
Sudan	0.52	Kanada	0.72	Belize	0.98	Malta	1.30
Panama	0.53	Ukrayna	0.73	Kamerun	0.98	Finlandiya	1.33
Bolivya	0.53	Gabon	0.73	Mali	0.98	San Marino	1.34
Porto Rico	0.55	Nikaragua	0.73	Güney Kore	0.99	Danimarka	1.37
Guatemala	0.56	Tacikistan	0.74	Senegal	1.00	Hong Kong	1.37
Tunus	0.56	Honduras	0.74	Letonya	1.01	İsviçre	1.41
Filipinler	0.56	Kongo Cumhuriyeti	0.74	Karadağ	1.03	İtalya	1.43
Suriye	0.59	Paraguay	0.75	Polonya	1.03	İsrail	1.43
Fiji	0.59	Nijerya	0.75	Bulgaristan	1.04	İzlanda	1.47
El Salvador	0.59	Meksika	0.75	Litvanya	1.04	Monako	1.48
ABD	0.60	G. Afrika Cumhuriyeti	0.77	Lüksemburg	1.05	İsveç	1.52
Belarus	0.61	Özbekistan	0.77	Zimbabve	1.09	Birleşik Krallık	1.59
Tayvan	0.61	Dominik Cumhuriyeti	0.77	Burkina Faso	1.10	Norveç	1.60
Endonezya	0.61	Singapur	0.79	Çek Cumhuriyeti	1.11		
Kolombiya	0.62	Yeni Zelanda	0.79	Estonya	1.12		
Haiti	0.62	Zambiya	0.80	Moritanya	1.12		
Gürcistan	0.62	Hindistan	0.80	Arjantin	1.12		
Namibya	0.62	Bangladeş	0.81	Ruanda	1.14		

dolar=2.9925 TL (23.05.2016)

Türkiye’de 2002-2016 yılları arasında trafiğe kayıtlı taşıt sayıları Tablo 1.4.’te verilmiştir. 2002 yılında trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı 8655170 iken 2016 yılı

Şubat ayı sonu itibariyle bu sayı 20,159,183 olmuştur. Bu araçların %53.1'ini otomobil, %16.3'ünü kamyonet, %14.6'sını motosiklet, %8.5'ini traktör, %4'ünü kamyon, %2.2'sini minibüs, %1.1'ini otobüs ve %0.2'sini özel amaçlı taşıtlar oluşturmuştur. 2002-2016 yılları arasında trafiğe kayıtlı taşıt sayısındaki artışlar taşıt cinslerine göre değerlendirildiğinde, en fazla artışın sırasıyla %276 ile kamyonet, %181 ile motosiklet ve %132 ile otomobilde gerçekleştiği görülmektedir.

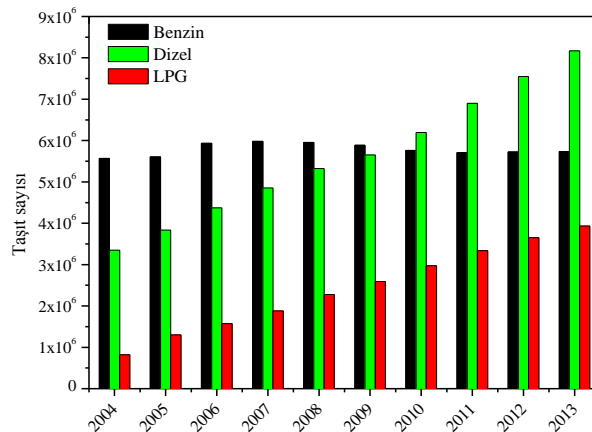
**Tablo 1.4.** 2002-2016 yılları arasında trafiğe kayıtlı taşıt sayıları [15]

Yıl	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon <sup>1</sup>	Motosiklet	Özel amaçlı	Traktör
2002	4600140	241700	120097	875381	567152	1046907	23666	1180127
2003	4700343	245394	123500	973457	579010	1073415	24468	1184256
2004	5400440	318954	152712	1259867	647420	1218677	28004	1210283
2005	5772745	338539	163390	1475057	676929	1441066	30333	1247767
2006	6140992	357523	175949	1695624	709535	1822831	34260	1290679
2007	6472156	372601	189128	1890459	729202	2003492	38573	1327334
2008	6796629	383548	199934	2066007	744217	2181383	35100	1358577
2009	7093964	384053	201033	2204951	727302	2303261	34104	1368032
2010	7544871	386973	208510	2399038	726359	2389488	35492	1404872
2011	8113111	389435	219906	2611104	728458	2527190	34116	1466208
2012	8648875	396119	235949	2794606	751650	2657722	33071	1515421
2013	9283923	421848	219885	2933050	755950	2722826	36148	1565817
2014	9857915	427264	211200	3062479	773728	2828466	40731	1626938
2015	10589337	449213	217056	3255299	804319	2938364	45732	1695152
2016 <sup>2</sup>	10694597	452887	218322	3290522	810352	2942174	46636	1703693

<sup>1</sup>Ağır tonajlı yük taşıtlarını da kapsar (çekici, damperli kamyon, tanker, çöp kamyonu vb.)

<sup>2</sup>Şubat ayı sonuna kadar

2004-2013 yılları arasında motorlu kara taşıtları sayısının yakıt cinsine göre değişimi Şekil 1.4.'te verilmiştir. 2013 yılı sonunda trafiğe kayıtlı kara taşıtlarının 3934753 tanesi LPG'li, 5733725 tanesi benzinli ve 8169410 tanesi ise dizel yakıtlıdır. 101,559 adet aracın ise yakıt cinsi bilinmemektedir [16].



**Şekil 1.4.** Kullanılan yakıt türüne bağlı olarak motorlu kara taşıtları sayısı [16]

Motorlu kara taşıtları içerisinde en büyük paya sahip olan otomobillerin 2004-2016 yılları arasındaki yakıt cinsine göre değişimi ise Tablo 1.5.'te verilmiştir. 2004

yılından 2016 yılı Şubat ayı sonuna kadar benzinli otomobillerin payı %75.2'den %27.5'e düşerken, LPG'li otomobillerin payı %14.7'den %40.2'ye, dizel yakıtlı otomobillerin payı ise %4.7'den %32'ye yükselmiştir.

**Tablo 1.5.** Trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı [15]

Yıl	Benzin	%	Dizel	%	LPG	%	Bilinmeyen <sup>1</sup>	%
2004	4062486	75.2	252629	4.7	793081	14.7	292244	5.4
2005	3883101	67.3	394617	6.8	1259327	21.8	235700	4.1
2006	3838598	62.5	583794	9.5	1522790	24.8	195810	3.2
2007	3714973	57.4	763946	11.8	1826126	28.2	167111	2.6
2008	3531763	52.0	947727	13.9	2214661	32.6	102478	1.5
2009	3373875	47.6	1111822	15.7	2525449	35.6	82818	1.2
2010	3191964	42.3	1381631	18.3	2900034	38.4	71242	0.9
2011	3036129	37.4	1756034	21.6	3259288	40.2	61660	0.8
2012	2929216	33.9	2101206	24.3	3569143	41.3	49310	0.6
2013	2888610	31.1	2497209	26.9	3852336	41.5	45768	0.5
2014	2855078	29.0	2882885	29.2	4076730	41.4	43222	0.4
2015	2927720	27.6	3345951	31.6	4272044	40.3	43622	0.4
2016 <sup>2</sup>	2938301	27.5	3417414	32.0	4295408	40.2	43474	0.4

<sup>1</sup>Yakıt türü bilinmeyenler, ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan otomobiller ile elektrikli otomobilleri kapsamaktadır.

<sup>2</sup>Şubat ayı sonuna kadar

Dizel motorların sahip olduğu yüksek verim, kullanım maliyetlerinin düşük olması, yüksek dayanıklılık ve güvenilirlikleri bu motorları araç pazarında lider duruma getirmiştir [17]. Dizel motorlu taşıtlar özellikle kara, deniz ve demir yolu taşımacılığında, ziraat endüstrisinde, imalat endüstrisinde, askeriyede, madencilikte ve elektrik üretim sektöründe tercih edilmektedir [10].

Motorlu taşıtlar çevreyi; egzoz emisyonları, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma, korozyon sonucu oluşan gazlar, sıvı ve katı atıklar ile kirletmektedir [18]. İçten yanmalı motorlarda yanma sonucunda başlıca karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>), partikül madde (PM), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs) ve formaldehit (HC HO) emisyonları oluşmaktadır. Bunlardan PM ve NO<sub>x</sub> emisyonları ise daha çok dizel motorlardan kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [10, 18-24]. Fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu meydana gelen emisyonların çevre ve sağlık açısından etkileri Tablo 1.6.'da verilmiştir.

**Tablo 1.6.** Egzoz emisyonlarının çevre ve sağlık açısından etkileri [25-30]

Egzoz emisyonları	Etkileri
CO <sub>2</sub>	Küresel ısınma ve iklim değişikliğine katkıda bulunur.
CO	Eksik yanma sonucu oluşur. Çok kuvvetli bir zehirdir. Bitki yapraklarına, insan ve hayvanların akciğerlerine zarar veren yüksek reaktiviteye sahip bir moleküldür. Oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana getirir. Hamile kadınların fetal büyümesini ve küçük çocukların doku gelişimini etkiler. Diğer kirleticiler ile birlikte sinerjetik bir etkiye sahiptir ve insanların solunum ve dolaşım yolları hastalıklarının oranını yükseltir. Az miktarda bulunduğu bile baş dönmesi, görmede bulanıklık ve bulantıya neden olur.
Benzen	Aren veya aromatik hidrokarbonlar olarak adlandırılan organik bileşiklerin en basit üyesidir. Kan hücrelerini öldürme etkisine sahip kanserojen bir maddedir.
NO <sub>x</sub>	Atmosferde bulunan su ile reaksiyona girerek asit yağmurlarına neden olur. Bu yağmurlara maruz kalan insanlarda akciğer fonksiyonlarında olumsuz etkilere neden olur. Akciğerleri tahriş eder ve ödem, bronşit ve zatürreye neden olur. Toz ve polene karşı duyarlılığı artırır ve astıma neden olabilir. Göz ve kulak rahatsızlıkları meydana getirir. Sinir sistemini olumsuz yönde etkiler.
SO <sub>2</sub> ve SO <sub>3</sub>	Hava kirliliğine ve asit yağmurlarına neden olur. Solunan yüksek orandaki SO <sub>2</sub> 'in %95'i solunum yollarında absorbe olur. Sonuç olarak bronşit, anfizem ve diğer akciğer hastalık semptomları meydana gelir. Akciğerlerin savunma mekanizmasında değişikliklere ve mevcut kalp hastalıklarının kötüleşmesine neden olur.
Pb	Hava, su ve toprak yoluyla, solunumla ve besinler ile karışarak biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici bir metaldir. Ülkelerin çoğunda benzinden aşamalı olarak kaldırılmıştır. Fakat, yine de oktan artırıcı olarak kullanılmaktadır. İnsan kanındaki kurşun miktarının artması geri dönüşü mümkün olmayan beyin hasarlarına neden olur.
PM	Kükürt ve azot oksitler ile hidrokarbonlardan oluşur. Ozon oluşumuna ve küresel ısınmaya katkıda bulunur. Akciğer kanserine ve kardiyopulmoner ölümlere neden olabilir.
HC	Göz tahrişine, öksürük ve hapsirmeye neden olur. Yüksek miktarda bulunduğu uyusukluğa ve sarhoşluğa neden olur. Akciğer hastalıklarına katkıda bulunabilir. Azot oksit ve güneş ışığı etkisi ile ozon oluşumuna neden olur. Buda birçok sağlık probleminde, madde bozulmalarına ve bitki örtüsünde zararlara sebebiyet verir.
PAHs	Göz ve burun tahrişine, öksürüğe, mide bulantısı ve nefes darlığına neden olur.
Formaldehit	Göz ve burun tahrişine, öksürüğe, mide bulantısı ve nefes darlığına neden olur.

Emisyonlar insan sağlığını olumsuz yönde etkilemelerinden dolayı solunum süreleri ve alınış miktarlarına göre değişim göstermektedir. Bu bakımdan maksimum atmosfer konsantrasyonu (MAK) sürekli bulunduğu zarar vermeyecek miktar, maksimum işyeri konsantrasyonu (MİK) sekiz saat süre ile bulunduğu zarar vermeyecek miktar ve doğrudan tehlike konsantrasyonu (DTK) çok kısa süre içerisinde tehlike doğuracak miktar olarak üç farklı konsantrasyon tanımlanmış ve tehlike sınırları belirtilmiştir [31]. Bu konsantrasyonlar ve tehlike sınırları Tablo 1.7.'de görülmektedir.

**Tablo 1.7.** Egzoz emisyonlarının tehlike sınırları [31]

Egzoz emisyonları	Birim	MAK	MİK	DTK
CO	ppm	9	50	5000
HC	ppm	20	300	30,000
HC HO	ppm	0.02	1	650
NO	ppm	0.15	-	-
NO <sub>2</sub>	ppm	0.05	5	200
SO <sub>2</sub>	ppm	0.1	5	400
Pb	mg/m <sup>3</sup>	0.003	-	-
Pb(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>	ppm	-	0.01	-

Bu etkilerden dolayı ülkeler taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarına kısıtlamalar getirmişlerdir. İlk emisyon kısıtlamaları 1959 yılında ABD'de başlamıştır. Sonuçta HC ve CO emisyonlarında %40'a varan azalmalar meydana



gelmiştir. 1975 yılında bu kısıtlamalar daha da gelişmiş ve oran %70'e kadar ulaşmıştır [32]. Bunun sonucunda, Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Parlamentosu hafif ve ağır hizmet tipi araçlarda 2007 yılından itibaren emisyon düzenlemelerini sıkılaştırmışlardır. Motorlu taşıt üreticileri bu sıkı düzenlemeleri karşılayabilmek için daha gelişmiş emisyon kontrol teknolojilerini kullanmak zorundadırlar [24, 33]. Egzoz emisyonları için Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından getirilen Euro Normları ülkeler tarafından kabul edilmiştir. Motorlu binek araçlar için AB egzoz emisyon değerleri Tablo 1.8.'de verilmiştir.

**Tablo 1.8.** AB motorlu binek araçlar için emisyon standartları [34]

Motor tipi	Normlar	Tarih	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	PN <sup>1</sup>
			g/km					#/km
Dizel	Euro 1	07.1992	2.72	-	0.97	-	0.14	-
	Euro 2, IDI	01.1996	1.0	-	0.70	-	0.08	-
	Euro 2, DI	01.1996 <sup>a</sup>	1.0	-	0.90	-	0.10	-
	Euro 3	01.2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
	Euro 4	01.2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
	Euro 5a	09.2009 <sup>b</sup>	0.50	-	0.23	0.18	0.005 <sup>f</sup>	-
	Euro 5b	09.2011 <sup>c</sup>	0.50	-	0.23	0.18	0.005 <sup>f</sup>	6.0x10 <sup>11</sup>
	Euro 6	09.2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005 <sup>f</sup>	6.0x10 <sup>11</sup>
Benzinli	Euro 1	07.1992	2.72	-	0.97	-	-	-
	Euro 2	01.1996	2.2	-	0.50	-	-	-
	Euro 3	01.2000	2.3	0.20	-	0.15	-	-
	Euro 4	01.2005	1.0	0.10	-	0.08	-	-
	Euro 5	09.2009 <sup>b</sup>	1.0	0.10 <sup>d</sup>	-	0.06	0.005 <sup>e,f</sup>	-
	Euro 6	09.2014	1.0	0.10 <sup>d</sup>	-	0.06	0.005 <sup>e,f</sup>	6.0x10 <sup>11e,g</sup>

<sup>a</sup>30.09.1999'a kadar (bu tarihten sonra direkt enjeksiyonlu (DI) motorlar indirekt enjeksiyonlu (IDI) motorların limitini sağlamalıdır.)  
<sup>b</sup>01.2011 (tüm modeller için)  
<sup>c</sup>01.2013 (tüm modeller için)  
<sup>d</sup>ve metan olmayan hidrokarbonlar 0.068 g/km  
<sup>e</sup>sadece DI motorlu araçlar için uygulanabilir.  
<sup>f</sup>Parçacık Ölçüm Programı prosedürü kullanılarak 0.0045 g/km  
<sup>g</sup>Euro 6'nın etkin olduğu ilk üç yıl içerisinde 6.0x10<sup>12</sup> 1/km  
<sup>1</sup>partikül sayısı (PN)

Fosil enerji kaynaklarının sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması, yaşanan kriz ve fiyat artışları, taşıtlardan kaynaklı hava kirliliğinin artması bir yandan bu kaynakların ekonomik kullanılmasını, diğer yandan da yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini gerektirmektedir [35]. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük teknik potansiyele sahip enerji kaynağı biyokütle enerjisidir. Enerji sektöründe yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş enerjisini bünyelerine kimyasal enerji olarak bağlayan bitkiler düşünülmektedir. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Odun, yağlı tohumlu bitkiler, karbo-hidrat bitkileri, elyaf bitkileri, protein bitkileri, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji

kaynakları kapsamında değerlendirilmektedir [36, 37]. Doğada her yıl 150 milyar ton biyokütle üretilmekte ancak bunun sadece %10'u ticari olarak kullanılmaktadır. Dünya, artık bu büyük potansiyeli harekete geçirmenin yollarını aramakta ve biyokütle teknolojisi önemli boyutlar kazanmaktadır [38]. Biyokütle, doğrudan yakıt (ağaç, pelet vb.) olarak kullanılabilmesi gibi biyokimyasal veya termokimyasal işlemlerden geçirilerek sıvı (biyodizel, biyoetanol vb.) ve gaz (biyogaz, hidrojen vb.) ürünlere dönüştürülebilmektedir. Başka bir ifadeyle, biyokütle tabanlı hammaddelerden elektrik, ısı ve ulaştırma yakıtı üretmek mümkündür. Bu özelliği nedeniyle biyokütle, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklıdır. Ayrıca biyokütle enerjisi kırsal kesimin ekonomisini geliştiren tek kaynaktır. Bu nedenle, ABD ve AB ülkelerinde kırsal kalkınma politikalarıyla birlikte değerlendirilmektedir [39]. Biyokütle kökenli en önemli alternatif yakıt ise dizel motorlar için üretilen ve biyodizel, biyomotorin, diesel-bi, yeşil dizel olarak isimlendirilen alternatif yakıttır [40].

Biyodizel ASTM (American Society for Testing Material) tarafından bitkisel veya hayvansal yağlardan türetilen yağ asidi zincirinin mono alkil esteri olarak tanımlanmaktadır. Baştaki 'biyo' kelimesi geleneksel petrol türevli dizel yakıtlarına göre yenilenebilir ve biyolojik kaynaklı olduğunu, 'dizel' kelimesi ise dizel motorlarda kullanımını ifade etmektedir [41, 42].

Biyodizeli gündeme getiren gerekçeler;

- Alternatif bir enerji kaynağı olması,
- Fosil kökenli yakıtların neden olduğu çevresel tahribatın azaltılması,
- Dizel motorlarda kullanımı sonucunda oluşan emisyonlarda CO, PM, HC miktarlarının dizel yakıtına göre daha az olması, aromatik bileşikler ve kükürtün hemen hemen hiç olmaması,
- Enerji güvenliğinin sağlanması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması,
- Dünyada son yıllarda yaşanan petrol fiyatlarındaki aşırı dalgalanmalar ve oluşan ekonomik krizlere çözüm bulabilecek kapasiteye sahip olması,
- Küresel ısınmayı ve etkisini azaltması,
- Ozon tabakasında meydana gelen zararın genişlemesini önlemesi,
- Savaş ve zorunlu hallerde stratejik bir yakıt olması,

- Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasını çarpan etkisiyle hızlandırması,
- Setan sayısının dizel yakıtına göre yüksek olması,
- Yağlayıcılık özelliği nedeniyle yanma ve kullanım açısından dizel motorlara faydalar sağlaması,
- Dizel motorlarda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaması,
- Parlama noktasının dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve bundan dolayı da dünya standartlarında taşıma ve depolanması sırasında ‘Tehlikeli Madde’ kapsamında yer almaması,
- Biyolojik olarak ayrışabilmesi ve zehirli olmaması sayılabilir [6, 38, 43-47].

Bu çalışmanın amacı; sarı hardal tohumlarından sarı hardal ham yağı elde etmek, elde edilen bu yağdan transesterifikasyon yöntemi ile sarı hardal yağı biyodizeli (SHYB) üretimine etki eden parametreleri (metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi) optimize ederek en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği koşullarda pilot tesiste SHYB üretmek; üretilen biyodizeli, Euro Dizel (ED) yakıtı ve metanol (M), etanol (E), izopropanol (I), bütanol (B), pentanol (P) gibi karbon atomları 1-5 arasında değişen farklı alkoller ile belirli oranlarda harmanlayarak elde edilen yakıtların fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerini incelemek; yakıtların içerisine daldırılan alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemeleri üzerine olan korozif etkilerini belirlemek; tüm test yakıtlarını bir dizel motorda deneyerek motor performanslarını, egzoz emisyonlarını, silindir içi yanma karakteristiklerini, enerji ve ekserji analizlerini ortaya koymaktır.

### **1.1. Bitkisel yağ kaynakları**

Dünyada yaklaşık 250000 bitki türü olduğu belirtilmektedir. Bunlardan 4500 adedinin yağları incelenmesine rağmen sadece 100 kadarının ticari açıdan önemli olduğu ve sağlıklı beslenmede kullanılabileceği tespit edilmiştir. Dünyada ticari olarak geniş bir alanda üretimi yapılan 22 tane yağ bitkisi bulunmaktadır. Bugün, dünyada üretilen yağın %95’i 12 bitki türünden elde edilmektedir. Ülkemizde ise tropik yağlık bitkiler olan hindistan cevizi (kompra), palm çekirdeği ve Brezilya palmi (Babassa) dışındaki bütün yağlık bitkiler yetişmektedir. Bitkisel yağ kaynakları, yağlı tohumlardan (ayçiçeği, çiğit, susam, kolza, aspir, soya fasulyesi)

elde edilen yağlar ve yağlı meyvelerden (zeytin, badem, fındık, palm meyvesi, hindistan cevizi, ceviz, avokado) elde edilen yağlar olmak üzere ikiye ayrılırlar [48]. Hem dünyada hem de ülkemizde yağlı tohumlu bitkiler stratejik ürün olarak kabul edilmektedir [49]. Dünyada üretimi yapılan yağ bitkileri, hektara yağ verimleri ve yağ oranları Tablo 1.9.'da verilmiştir.

**Tablo 1.9.** Yağ bitkileri, hektara yağ verimleri ve yağ oranları [40]

Yağ bitkisinin adı	Bilimsel adı	Hektara yağ verimi (kg yağ/ha)	Ortalama yağ oranı (%)
Mısır	<i>Zea mays</i>	145	5-6
Mahun cevizi	<i>Anacardium occidentale</i>	148	38-46
Palm	<i>Erythea salvadorensis</i>	189	50
Acı bakla, Termiye	<i>Lupinus albus</i>	195	6-9
Pamuk	<i>Gossypium spp.</i>	273	20
Kenevir	<i>Cannabis sativa</i>	205	30-35
Soya	<i>Glycine max</i>	275	17-26
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	402	38
Fındık	<i>Corylus avellana</i>	405	65-75
Bezir yağı	<i>Perilla frutescens</i>	442	49-51
Bal kabağı	<i>Cucurbita pepo</i>	449	24-30
Hardal	<i>Sinapis alba</i>	481	27-35
Susam	<i>Sesamum indicum</i>	585	50
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	655	25-37
Ayçiçeği	<i>Helianthus annuus</i>	800	35-40
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	863	50
Yer fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	890	36-50
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i>	978	40-50
Kolza	<i>Brassica napus</i>	1000	33-40
Zeytin	<i>Olea europaea</i>	1019	35-70
Zencibar	<i>Telfairia pedata</i>	1119	35-38
Badem	<i>Prunus dulcis</i>	1125	25-50
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	1528	48-52
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	1590	50
Ceviz	<i>Junglans nigra</i>	4500	60

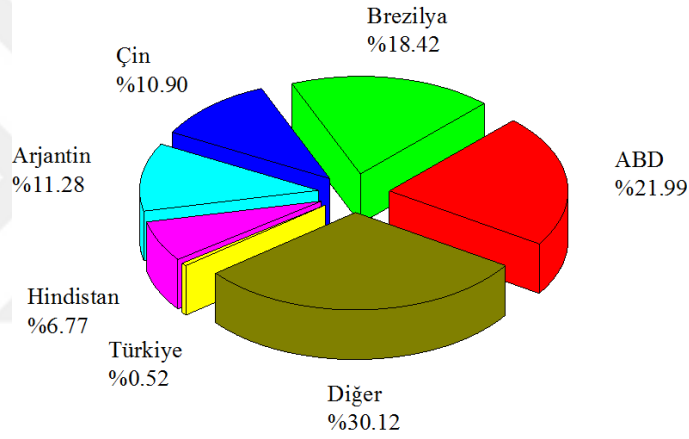
Dünyada birçok çeşit yağlı tohumun üretimi yapılmasına rağmen en fazla üretimi yapılan yağ bitkileri soya, yerfıstığı, ayçiçeği, kolza, mısır, zeytin, susam, palmiye tohumu, keten tohumu, aspir ve hindistan cevizi olarak sıralanabilir [50]. 2014 yılında dünyada en fazla üretilen bazı yağlı tohumlu bitkilerin üretim miktarları ve toplam üretimdeki payları Tablo 1.10.'da verilmiştir.

**Tablo 1.10.** 2014 yılı dünya yağlı tohum üretimi ve toplam üretimdeki payları [51]

Yağ bitkisinin adı	Üretim (milyon ton)	Toplam üretimdeki payı (%)
Soya	315	59.21
Ayçiçek	40	7.52
Kolza	71	13.35
Pamuk	45	8.46
Diğer	61	11.46

Gerek iç sektörlerde kullanımı gerekse ihraç edilmesi yönüyle ekonomik olarak önemli bir değere sahip olan yağlı tohumlu bitkilerin dünyadaki toplam üretim miktarı 2009 yılında 447 milyon ton iken 2014 yılında 532 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu değer yarısından fazlasını (315 milyon ton) ise soya

oluşturmuştur. 2014 yılı ülkeler bazında yağlı tohum üretim payları Şekil 1.5.'te verilmiştir. Yağlı tohum üreten ülkeler içerisinde ilk sırada 117 milyon ton ile ABD bulunmaktadır. ABD'yi sırasıyla Brezilya, Arjantin ve Çin izlemektedir. Türkiye bu sıralamada %0.52'lik bir pay ile son sıralarda yer almaktadır. Aynı zamanda ülkelerin yağlı tohum olarak en fazla ürettikleri ürünler AB hariç diğer ülkelerde soya olmasına karşın AB ülkelerinde %70 oranında kolza tohumu üretilmektedir. Dünyadaki geleneksel yağlı tohumlu bitkiler olan ayçiçeği, pamuk, kolza ve soya gibi bitkilerin ekiliş alanları zamanla artış göstermesine karşın bu bitkilere alternatif olabilecek aspir, hardal, haşhaş gibi bitkilerin ekiliş alanları zaman içerisinde azalış göstermiştir [50].



**Şekil 1.5.** 2014 yılı ülkeler bazında yağlı tohum üretim oranları [51]

Türkiye iklim ve toprak özellikleri bakımından önemli bir yağlı tohumlu bitki üretim potansiyeline sahiptir. Fakat yağlı tohumlu bitki üretimi yeterince yaygınlaşmadığı için dışa bağımlılık devam etmektedir. Türkiye 2014 yılında 3.097 milyon ton yağlı tohum, 1.583 milyon ton ham yağ ve hayvan beslenmesinde protein değeri bakımından yüksek olan küspeden ise 1.560 milyon ton ithal ederek toplamda bu maddelere 4.286 milyar dolar ödemiştir. Burada toplam ödenen paranın Türkiye yağlı tohumlu bitkiler üretimine harcanacak olduğu düşünülürse hem ekilmeyen alanlar ekonomiye kazandırılmış olur hem de çiftçiye verilecek destek ile tarımsal gelişme sağlanmış olur [49].

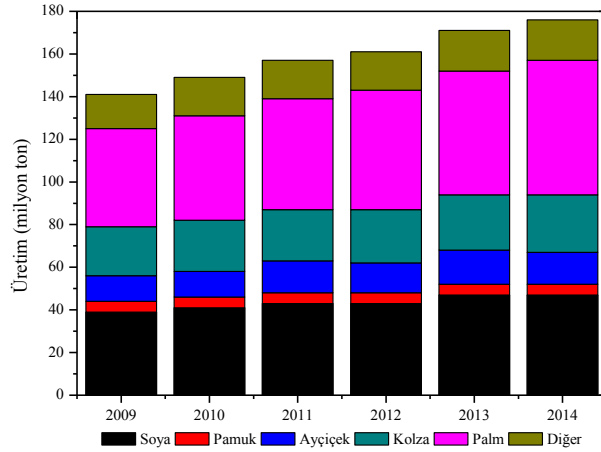
Yağlı tohumlu bitkilerin Türkiye'deki ekiliş, hasat, üretim ve verim değerleri Tablo 1.11.'de verilmiştir. 2011 yılında toplam 2.97 milyon ton olan yağlı tohum üretimi

2015 yılında toplam 3.35 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 3.35 milyon tonluk yağlı tohum üretim miktarı Türkiye için çok yetersizdir ve bu nedenden dolayı 3 milyon tondan fazla yağlı tohum ithal etmek zorunda kalmıştır.

**Tablo 1.11.** Yağlı tohumlu bitkilerin Türkiye’deki ekiliş, hasat, üretim ve verim değerleri [52]

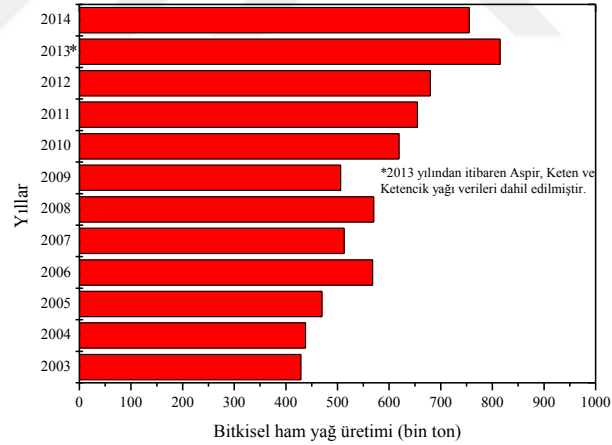
Yağlı Tohumlu Bitkiler		2011	2012	2013	2014	2015
Soya	Ekilen alan (da)	264209	315990	432600	343178	367323
	Hasat edilen alan (da)	264209	315990	432600	343168	365923
	Üretim (ton)	12260	122114	180000	150000	161000
	Verim (kg/da)	387	386	416	437	440
Yerfıstığı	Ekilen alan (da)	254711	373881	399428	333289	377729
	Hasat edilen alan (da)	254711	371949	399426	333274	377729
	Üretim (ton)	90416	122780	141263	123600	147537
	Verim (kg/da)	355	330	354	371	391
Ayçiçeği	Ekilen alan (da)	5560000	5046160	5202600	5524651	5689950
	Hasat edilen alan (da)	5559221	5046160	5201381	5496827	5689013
	Üretim (ton)	1170000	1200000	1380000	1480000	1500000
	Verim (kg/da)	210	238	265	269	264
Susam	Ekilen alan (da)	266455	292063	248070	263496	280887
	Hasat edilen alan (da)	266455	289491	247849	263146	280882
	Üretim (ton)	18000	16221	15457	17716	18530
	Verim (kg/da)	68	56	62	67	66
Aspir	Ekilen alan (da)	131668	155918	292920	443050	431071
	Hasat edilen alan (da)	131644	155898	292599	439350	427931
	Üretim (ton)	18228	19945	45000	62000	70000
	Verim (kg/da)	138	128	154	141	164
Kanola	Ekilen alan (da)	268298	295421	311272	321330	350817
	Hasat edilen alan (da)	268298	295421	311091	321330	348687
	Üretim (ton)	91239	110000	102000	110000	120000
	Verim (kg/da)	340	372	328	342	344
Pamuk tohumu	Ekilen alan (da)	5420000	4884963	4508900	4681429	4340134
	Hasat edilen alan (da)	5419523	4884963	4508900	4668388	4340004
	Üretim (ton)	1527360	1373440	1287000	1391200	1213600
	Verim (kg/da)	282	281	285	298	280
Kenevir	Ekilen alan (da)	140	64	7	10	10
	Hasat edilen alan (da)	140	64	7	10	10
	Üretim (ton)	8	4	1	1	1
	Verim (kg/da)	57	63	143	100	100
Haşhaş	Ekilen alan (da)	549110	135106	322773	266212	615919
	Hasat edilen alan (da)	549110	135106	322773	266212	615919
	Üretim (ton)	45077	3844	19244	16223	30730
	Verim (kg/da)	82	28	60	61	50

2009-2014 yılları arasında dünyada üretimi gerçekleştirilen yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen toplam yağ miktarları Şekil 1.6.’da verilmiştir. 2009 yılında toplam bitkisel yağ üretimi 141 milyon ton iken yıllar içinde bu değer sürekli artış göstererek 2014 yılında 176 milyon tona ulaşmıştır. Yağlı tohumlu bitkiler içerisinde dünyada yağ üretiminde ilk sırayı 63 milyon ton ile palm alarak bunu sırasıyla 47 milyon ton ile soya yağı, 27 milyon ton ile kolza yağı, 15 milyon ton ile ayçiçek yağı ve 5 milyon ton ile pamuk yağı izlemiştir.



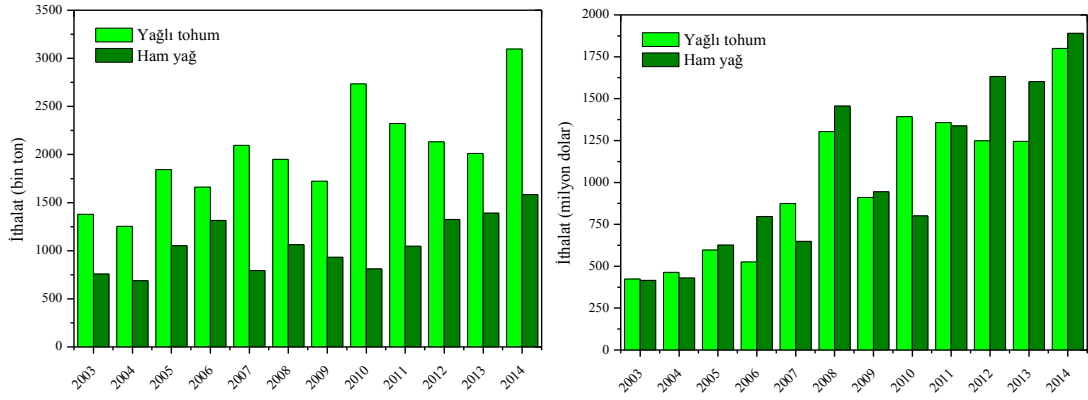
**Şekil 1.6.** Önemli bitkisel yağların dünyadaki üretim miktarları [51]

Türkiye'nin bitkisel ham yağ üretim değerleri ise Şekil 1.7.'de verilmiştir. Türkiye kendi kaynaklarını kullanarak 2014 yılında sadece 755 bin ton yağ üretmiş ve 1.583 milyon ton yağ ithal etmiştir [51]. Yağlı tohumlu bitki üretimi için uygun koşullara ve olanaklara sahip olan ülkemiz, ne yazık ki kendi ihtiyacı olan yağ miktarını üretmekte arzu edilen düzeye ulaşamamıştır.



**Şekil 1.7.** Türkiye'nin 2003-2014 yılları arasındaki bitkisel ham yağ üretimi [51]

2003-2014 yılları arasında Türkiye'nin gerçekleştirdiği yağlı tohum ve türevleri ithalatı Şekil 1.8.'de verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak Türkiye'nin net bir ithalatçı ülke konumunda olduğu çok açıkça söylenebilir.



**Şekil 1.8.** Türkiye'nin 2003-2014 yılları arasında gerçekleştirdiği yağlı tohum ve türevleri ithalatı [51]

### 1.1.1. Ham yağ üretim teknikleri

Bitkisel yağ üretiminde kullanılan yağlı tohumlarda bulunan mevcut yağ miktarı; iklim şartlarına, tarımsal tekniklere ve özellikle kullanılan tohumların sahip oldukları niteliklere göre değişiklikler gösterebilmektedir [53]. Hammaddelerin sahip olduğu yağlar birçok yöntem ile alınabilmektedir. Günümüzde geçerli olan başlıca teknikler; presleme, ekstraksiyon ve bunların kombine edildiği prepresyon-ekstraksiyondur [54]. Bu tekniklerden hangisinin kullanılacağı bitkideki yağ oranına bağlıdır. Yağlı tohum ve meyvede yağ oranı %30 ve üzerinde ise presleme yöntemi tercih edilmektedir. Ancak hammadde de yağ oranı %20 ve altında ve günlük hammadde miktarı 300 tondan fazla ise ekstraksiyon yöntemini kullanmak daha avantajlıdır. Presleme yöntemi ile elde edilen yağların yemeklik kaliteleri yüksek olmakla birlikte küspede %2.5-6 oranında yağ kalır. Bu değeri ekstraksiyon yöntemi ile %0.5'e düşürmek mümkündür [48].

*Presleme tekniği*, genel olarak katı-sıvı faz ayırım yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Presleme işleminde kesikli çalışan hidrolik presler ile sürekli çalışan vidalı presler ve döner presler kullanılmaktadır [55]. Bu tekniğin temelini hammaddedeki yağın basınç altında tohum dışına sızdırılması oluşturmaktadır. Presleme sırasında viskozite, sıvı faz çıkışını ve işlem verimliliğini olumsuz yönde etkilemesi sebebiyle önem taşımaktadır [3].

*Ekstraksiyon tekniği*, yağın içinde çözündüğü bir organik çözücü ile yağlı tohumu muamele edip yağın çözücüye geçmesi sağlanır. Sonra çözücü süzülerek ayrılır,



uçurulur ve geriye ham yağ kalır. Yağlı tohumlardan yağın ekstraksiyonu; ekstraksiyon, süzme, ayırma, yoğunlaştırma, buharlaştırma, distilasyon gibi farklı işlemleri içeren bir süreçten oluşur [48].

Modern yağ endüstrisinde solvent ekstraksiyonundan önce düşük basınçlı sürekli preslerde sıkma yapılarak yağın önemli bir kısmı alınır. Bu amaçla düşük basınçlı özel sürekli presler kullanıldığı gibi, normal sürekli preslerde daha az basınçlı sıkma yapmak suretiyle de uygulanabilir [48]. *Prepresyon-ekstraksiyon tekniğinde*, yağ oranı ilk kademede %14-20 değerine düşürülmekte kalan yağ ikinci kademede solvent ekstraksiyonu ile alınmaktadır [55].

### 1.1.2. Yağların iyot sayılarına göre sınıflandırılması

Yağın toplam doymamışlığının bir ölçüsü olan iyot sayısı, yağın özelliğine ve çift bağ sayısına göre değişim göstermektedir [56]. Yağlar, iyot sayısına göre kurumayan (<100), yarı kuruyan (100-130), kuruyan yağlar (>130) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Fakat bu gruplandırma ile yağlar arasındaki farklılıklar ortaya konamamaktadır. Yağlarda kuruma; yağ asidi zincirindeki doymamış bağlara oksijen atomunun yerleşmesiyle meydana gelir. İyot sayısı da yağ asitleri zincirinde doymamış yağlara bağlanan iyot miktarının mg olarak ifadesidir. İyot sayısı arttıkça yağlarda doymamışlık miktarı ve kuruma oranı artar [6, 48]. Tablo 1.12.'de iyot sayısına göre yağların sınıflandırılması verilmiştir.

**Tablo 1.12.** İyot sayısına göre yağların sınıflandırılması [6, 48]

Sınıf	Yağ	İyot sayısı	Sınıf	Yağ	İyot sayısı	Sınıf	Yağ	İyot sayısı
Kurumayan yağlar	Palm meyve	48-60	Yarı kuruyan yağlar	Pamuk	90-103	Kuruyan yağlar	Soya	103-152
	Palm çekirdek	16-23		Kolza	98-106		Haşhaş	132-140
	Zeytin	78-89		Susam	103-115		Tütün tohumu	135-147
	Çay tohumu	80-87		Mısırözü	116-130		Aspir	140-150
	Fındık	84-90		Ayçiçek	120-137		Kenevir	150-166
	Yerfistiği	85-98				Keten tohumu	176-204	

### 1.2. Hayvansal yağ kaynakları

Hayvansal yağların üretim miktarı genellikle et üretimine bağlı olduğundan çoğu kez kullanılmayan, bazı durumlarda ise atık durumundadır [57]. Hayvansal yağ kaynakları çok fazla olmamakla birlikte bugüne kadar 1500 kara ve deniz hayvanının yağı incelenmiştir. Hayvansal yağ kaynakları kendi içerisinde kara hayvanlarının iç

yağları (çöz yağları) ve kuyruk yağları (özellikle koyun, sığır ve domuz gibi hayvanlardan elde edilen yağlar), deniz hayvanlarından elde edilen yağlar (çeşitli balıklardan elde edilen yağlar ve balina iç yağları ile karaciğerlerinden elde edilen yağlar) ve kara hayvanlarının sütünden elde edilen yağlar (koyun, inek gibi hayvanların sütünden elde edilen tereyağlar) olarak sınıflandırılmaktadır [48].

### **1.3. Bazı bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri**

Bitkisel kaynaklı yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi, teknolojik işlemler açısından önem taşımaktadır [55]. Gerek beslenme değerleri açısından gerekse yağın fiziksel özelliklerinin oluşumunda ve yağların sınıflandırılmasında yağ asitleri kompozisyonu önemlidir. Yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonlarının sürekli sabit kalmayıp; türlere özgü karakteristik gösterdiği gibi, birçok faktöre bağlı olarak sürekli değişmektedir. Yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonlarında hangi koşullarda nasıl bir değişim meydana geleceğinin bilinmesinin yağ kalitesi açısından önemli olduğu, yağ asitleri kompozisyonunun bilinmesinin ise yağların kullanım amaçlarına göre üretim yapılması, istenilen tiplerin uygun bölgelerde yetiştirilmesi ve amaca uygun yağlar üretilmesi mümkün olabilmektedir [58]. Bazı bitkisel yağlara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1.13.'te verilmiştir. Ayrıca bazı yağların yağ asitleri kompozisyonu Tablo 1.14.'te verilmiştir.

Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak uzunluğu farklı zincirler oluştururlar. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve linolenik asit gösterilebilir. Bunlardan palmitik asit çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve risinoleik bir çift bağa, diğerleri iki çift bağa sahiptir [59]. Araştırma ve uygulamalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel yakıtı alternatifini olduğu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkarmaktadır [60].

**Tablo 1.13.** Çeşitli bitkisel yağların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [61]

Yağ	Kinematik viskozite* (mm <sup>2</sup> /s)	Karbon kalıntısı (%m/m)	Setan sayısı	Isıl değer (MJ/kg)	Kül içeriği (%m/m)	Kükürt içeriği (%m/m)	Sabunlaşma değeri
Pamuk	33.7	0.25	33.7	39.4	0.02	0.01	207.71
Haşhaş	42.4	0.25	36.7	39.6	0.02	0.01	196.82
Kanola	37.3	0.31	37.5	39.7	0.006	0.01	197.07
Aspir	31.6	0.26	42.0	39.5	0.007	0.01	190.23
Ayçiçek	34.4	0.28	36.7	39.6	0.01	0.01	191.70
Susam	36.0	0.25	40.4	39.4	0.002	0.01	210.34
Keten	28.0	0.24	27.6	39.3	0.01	0.01	188.71
Buğday	32.6	0.23	35.2	39.3	0.02	0.02	205.68
Mısır	35.1	0.22	37.5	39.6	0.01	0.01	194.14
Hint	29.7	0.21	42.3	37.4	0.01	0.01	202.71
Soya	33.1	0.24	38.1	39.6	0.006	0.01	220.78
Defne	23.2	0.20	33.6	37.4	0.03	0.02	202.62
Yerfıstığı	40.0	0.22	34.6	39.6	0.02	0.01	199.80
Fındık	24.0	0.21	52.9	39.3	0.01	0.02	197.63
Ceviz	36.8	0.24	33.6	39.5	0.02	0.02	190.82
Badem	34.2	0.22	34.5	39.8	0.01	0.01	197.56
Zeytin	29.4	0.23	49.3	39.7	0.008	0.02	196.83

\*40°C'de

**Tablo 1.14.** Bazı bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları

Yağ asitleri	Yapı	Aspir yağı [62]	Ayçiçek yağı [63]	Soya yağı [63]	Palm yağı [63]	Kanola yağı [64]	Pamuk yağı [64]	Susam yağı [65]
Laurik	12:0	-	0.5	-	-	-	-	-
Miristik	14:0	0.05	0.2	0.1	-	-	-	-
Palmitik	16:0	5.28	4.8	11.0	40.3	3.49	28.33	8.5
Palmitoleik	16:1	0.05	0.8	0.1	-	-	-	-
Stearik	18:0	1.79	5.7	4.0	3.1	0.85	0.89	5.4
Oleik	18:1	29.88	20.6	23.4	43.4	64.4	13.27	38.8
Linoleik	18:2	62.29	66.2	53.2	13.2	22.3	57.51	46.3
Linolenik	18:3	0.08	0.8	7.8	-	8.23	-	-
Araşidik	20:0	0.40	0.4	0.3	-	-	-	1.0
Gondoik	20:1	0.14	-	0	-	-	-	-
Behenik	22:0	-	-	0.1	-	-	-	-

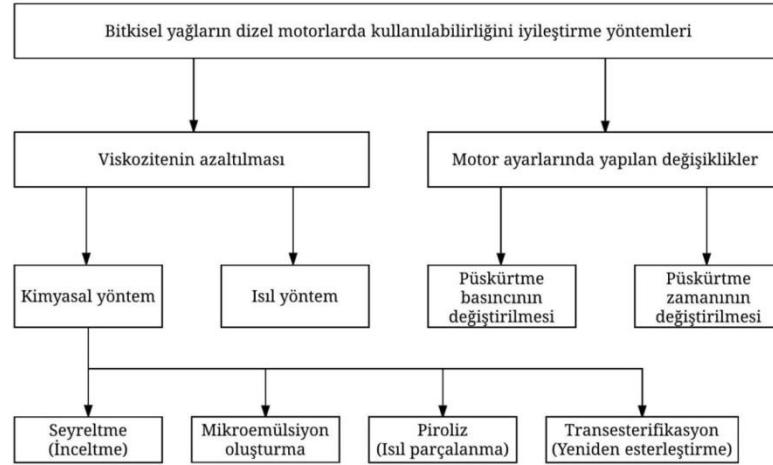
Yağ asitleri	Yapı	Mısırözü yağı [66]	Yerfıstığı yağı [67]	Fındık yağı [68]	Karanja yağı [69]	Keten tohumu yağı [70]	Jatropha yağı [71]
Laurik	12:0	-	-	-	-	-	0.1
Miristik	14:0	-	-	-	-	-	0.1
Palmitik	16:0	11.8	8.0	5.207	11.6	5.1	13.0
Palmitoleik	16:1	-	-	0.190	-	0.3	0.7
Margarik	17:1	2.0	-	0.071	-	-	-
Stearik	18:0	24.8	2.9	-	7.5	2.5	5.8
Oleik	18:1	61.3	44.9	81.039	51.6	18.9	44.5
Linoleik	18:2	-	32.8	13.219	16.6	18.1	35.4
Linolenik	18:3	-	5.6	0.077	-	55.1	0.3
Araşidik	20:0	-	-	0.094	-	-	0.2
Gondoik	20:1	-	-	0.102	-	-	-
Behenik	22:0	-	3.8	-	-	-	-
Erusik	22:1	-	1.0	-	-	-	-
Nervonik	24:0	-	1.0	-	-	-	-

#### 1.4. Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri

Petrol kökenli yakıtlardan farklı bir kimyasal yapıya sahip olan bitkisel yağların, dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılması çeşitli sorunlara yol açabilmektedir [72-77]. Bitkisel yağın bileşiminde bulunan fosfatid, mum ve yüksek derecede ergiyen gliseritlerle birlikte depolama ve yanma odasında meydana gelen oksidasyon ve polimerizasyonlar, viskozite artışı ve kristallenmeye bağlı olarak

piston ve enjektör tıkanıklığı, motorda karbon kalıntısının fazla olması ve atomizasyonun zayıflığı gibi problemlere neden olmaktadır [78]. Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımı üzerine yapılan kısa süreli denemelerde yağlama yağlarında katı partiküllerin oluştuğu ve yağlama yağının bozulduğu görülmüştür. Ancak bitkisel yağların ısıtılarak kullanılması ile püskürtme özelliklerinin iyileştiği ve setan sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Kısa süreli denemelere karşın uzun süreli testlerde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Bu sorunlar enjektörlerde karbon birikintisi, delik çapında küçülme, püskürtme karakteristiğinde bozulma, atomizasyon sorunu, enjeksiyon başlangıç ve bitiş sürelerinin belirsizliği, yağın yapışkanlaşması; yağlama yağının seyrelmesi, asit sayısının ve viskozitesinin artması, yanma artıkları ve yanmamış yakıt karışması ile kirlenmesi, katı madde içeriğinin artması ve temas yüzeylerinde birikinti oluşturması; motorda aşınma, yanma odası, subap, piston, segman bölgesinde ve manifoldda karbon birikmesi nedeniyle hareketliliğin azalması, segmanlarda yapışkanlaşma, vuruntu, ilk hareketin zorlukları ve yağ filtresinin tıkanması; motor karakteristik değerlerinde ve egzoz emisyonlarında olumsuz değişiklikler şeklinde sıralanabilir [79]. Bu nedenlerden dolayı bitkisel yağların doğrudan dizel motorlarda kullanımının yerine viskozitesinin azaltılarak kullanılması gerekmektedir.

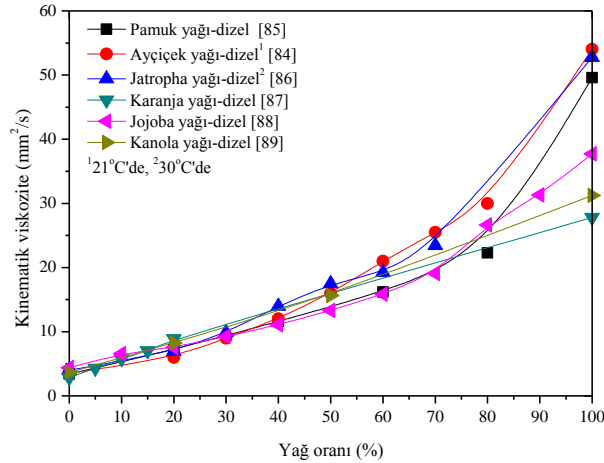
Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan birincisi, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri ise motor ayarlarının değiştirilmesidir [80]. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilirliğini iyileştirme yöntemleri Şekil 1.9.'da gösterilmiştir. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar, öncelikle yağların viskozitelerini azaltmaya yöneliktir. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal yöntem olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır [41]. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak yağın sıcaklığı ön ısıtma ile artırılarak viskozitesinin düşmesi sağlanmaktadır. Kimyasal yöntemler ise seyreltme (inceltme), piroliz (ısıl parçalanma), mikroemülsiyon oluşturma ve transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) olarak sınıflandırılmaktadır [81].



Şekil 1.9. Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri [38, 41, 80-83]

#### 1.4.1. Seyreltme (İnceltme)

Seyreltme yönteminde bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtı ile harmanlanarak seyreltilmekte, böylece viskozite değeri düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen yağlar ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kanola yağı, pamuk yağı, yer fıstığı yağı ve atık kızartma yağlarıdır [83, 84]. Literatürde bulunan seyreltme yöntemi ile ilgili çalışmalar Şekil 1.10.'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Bazı bitkisel yağ-dizel yakıt karışımlarının kinematik viskoziteleri

#### 1.4.2. Mikroemülsiyon oluşturma

Mikroemülsiyon, 1-150 nm boyutlarında, karışmayan iki sıvı ile iyonik ve iyonik olmayan organik karışımların, kendiliğinden oluşturdukları dengeli kolloidal dağılımı olarak tanımlanmaktadır [90]. Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol, etanol veya 1-bütanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon

oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir [91]. Mikroemülsiyonlar, alkol içeriklerinden dolayı, dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahiptirler. Fakat alkollerin gizli buharlaşma ısıları yüksek olduğundan yanma odasını soğuturlar ve enjektör tıkanıklığını azaltırlar [92].

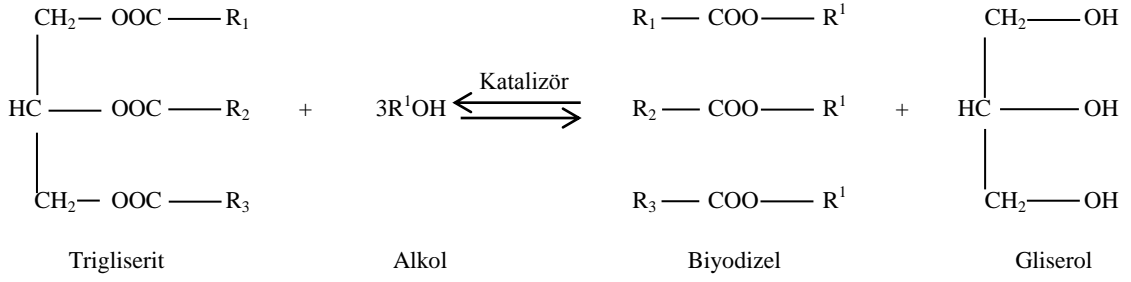
%50 dizel, %25 rafine soya yağı, %5 etanol ve %20 1-bütanol ile hazırlanan mikroemülsiyon yakıtının kinematik viskozitesi (38°C'de) 4.03 mm<sup>2</sup>/s, ısı değeri 41263 kJ/kg, parlama noktası 28.3°C, setan sayısı 34.7 olarak bulunmuş ve bu yakıtın Motor Üreticileri Birliği'nin (EMA) 200 saatlik motor testini geçtiği, fakat enjektör uçlarında, emme subaplarında ve silindir duvarlarının üst kısımlarında karbon birikintisine neden olduğu tespit edilmiştir [93].

#### **1.4.3. Piroliz (Isıl parçalanma)**

Piroliz (Isıl parçalanma), bitkisel yağların oksijen varlığında ısı etkisiyle alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilik asitler, aromatik bileşikler ve az miktarda gaz bileşik vermek suretiyle termal olarak bozunması işlemidir. Başka bir ifadeyle piroliz gaz, sıvı ve gaz ürün elde etmek amacıyla havasız ortamda inorganik maddelerin ısı bozunmasıdır [79].

#### **1.4.4. Transesterifikasyon (Yeniden esterleştirme)**

Transesterifikasyon reaksiyonu ilk olarak 1853 yılında Dufy ve Patrick tarafından geliştirilmiştir [94]. Transesterifikasyon, bitkisel yağların bir katalizör ve alkol ile reaksiyona girerek yağ asidi alkil esterleri oluşturmasıdır. Ester başka bir molekül ile bağ yapabilen hidrokarbon zinciridir [95]. Oluşan bu estere biyodizel adı verilmektedir [79]. Transesterifikasyon reaksiyonunun kimyasal mekanizması Şekil 1.11.'de verilmiştir. Trigliseritler normal yağların %95 kadarını oluşturmaktadır. Geri kalan kısımda ise mono- ve di-gliseritler, serbest yağ asitleri, steroller, fosfatidler, yağda çözünen vitaminler ve yağ alkolleri bulunmaktadır [90]. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 1.15.'te verilmiştir. Biyodizel üretiminde en çok tercih edilen kimyasal yöntem transesterifikasyondur [96-99].



**Şekil 1.11.** Transesterifikasyon reaksiyonunun kimyasal mekanizması [100]

**Tablo 1.15.** Kimyasal yöntemle biyodizel üretim yöntemlerinin karşılaştırılması [90]

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj
Seyreltme	Yenilenebilir, kullanıma hazır, portatif, doğal sıvı	Yüksek vizkozite, düşük uçuculuk, doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikroemülsiyon	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük vizkozite	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Petrol türevi yakıtlar, benzin ve dizele kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Yenilenebilir, yüksek setan sayısı, düşük emisyon, yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

#### 1.4.4.1. Transesterifikasyon reaksiyonuna etki eden parametreler

Transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen en önemli parametreler serbest yağ asitleri ve su miktarı, katalizör türü ve miktarı, alkol türü ve alkol yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve karıştırma hızıdır.

##### 1.4.4.1.1. Serbest yağ asidi ve su miktarının etkisi

Yağların sahip olduğu serbest yağ asidi ve su miktarı transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen temel parametrelerdendir [79]. Transesterifikasyon reaksiyonunda suyun varlığı serbest yağ asitlerine göre daha fazla olumsuz etkide bulunmaktadır [101]. Bitkisel yağlar genel olarak su içermemelerine karşın [6, 40] biyodizel üretiminde kullanılan düşük kaliteli yağlar (atık kızartma yağları, hayvansal yağlar ve gıda niteliği olmayan yağlar vb.) yüksek miktarda su içerirler [102]. Su miktarının yüksek olması reaksiyonunun tam olarak tamamlanamamasına, sabun oluşumuna ve ester veriminin düşmesine neden olmaktadır. Oluşan sabun, biyodizel verimini azaltmakta ve gliserolün ayrıştırılmasını güçleştirmektedir [3].

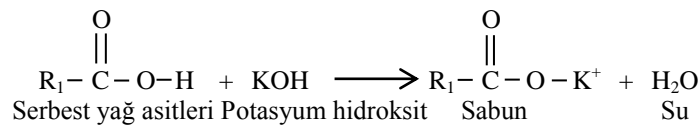
Ma ve Hanna [103] ayçiçek yağı ile yaptıkları denemelerde %0.06 su içeriğine kadar yüksek biyodizel verimi elde ettiklerini; Atadashi ve ark. [104] biyodizel üretimi yapılacak yağdaki su varlığının %0.06'yı aşmaması gerektiğini; Çanakçı ve Van Gerpen [105] biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağda su oranının %0.1'i geçmemesi gerektiğini, Çanakçı [106] yağda ki su içeriği %0.05'i aştığında biyodizel

veriminin %92'nin altına düştüğünü, %5'e ulaştığında ise biyodizel veriminin %5.6'ya kadar gerilediğini, Boz ve ark. [107], Zullaikah ve ark. [108] ve Helwani ve ark. [109] reaksiyonda kullanılacak olan yağın su içeriğinin %0.06'yı geçmemesi gerektiğini bildirmişlerdir. Tomasevic ve Siler-Marinkovic [110] suyun varlığının trigliseritlerin hidrolizini hızlandırdığını ve serbest yağ asitlerinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, birçok araştırmacı da yağlardaki su içeriğinin biyodizel verimi üzerine etkisini araştırmışlardır (Tablo 1.16.).

**Tablo 1.16.** Yağlardaki su içeriğinin biyodizel verimi üzerine etkisi

Yağ	Su içeriği (%ağırlıkça)	Biyodizel verimi (%)	Referans
Palm	2.1	94.4	[110]
Atık kızartma	0.2	94.1	[110]
Atık palm	>61.0	-	[110]
Atık kızartma	5.0	79.5	[111]
Atık kızartma	<0.3	98	[112]
<i>Capparis decidua</i>	2.0	65	[113]
Atık kızartma	5.3	78.5	[114]
Soya	2.8	95	[115]

Yüksek oranda serbest yağ asitleri içeren hammadde, fazla miktarda katalizör harcayarak sabun oluşturmaktadır. Yan ürün olarak ise su oluşur ve uzaklaştırılması gerekir (Şekil 1.12.) [6]. Tek kademeli homojen baz katalizörlü transesterifikasyon yöntemi için önerilen serbest yağ asidi seviyeleri Tablo 1.17.'de verilmiştir. Serbest yağ asitleri fazla olan yağlar doğrudan transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılmak yerine ön iyileştirme işlemi yapılarak kullanılması önerilmektedir.



**Şekil 1.12.** Sabun oluşum reaksiyonu [104]

**Tablo 1.17.** Tek kademeli homojen baz katalizörlü transesterifikasyon yöntemi için önerilen serbest yağ asidi seviyeleri

Önerilen serbest yağ asidi içeriği (%ağırlıkça)	Referans
<0.5	[102, 116-118]
<1	[103, 119-132]
<2	[133-135]
<3	[97, 104, 136]

Serbest yağ asidi miktarı yüksek yağlar ile yapılan optimizasyon çalışmaları Tablo 1.18.'de verilmiştir. Serbest yağ asidi miktarı yüksek bitkisel yağların transesterifikasyonu sonucunda biyodizel veriminin düşük olduğu görülmektedir.



**Tablo 1.18.** Serbest yağ asidi miktarı yüksek yağlar ile yapılan optimizasyon çalışmaları

Yağ	Optimum reaksiyon koşulları						Referans
	Alkol yağ molar oranı (mol/mol)	Katalizör miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Devir (d/d)	Verim (%)	
Jatropa	7.28:1	2.06	61	90	-	81.93	[137]
Jatropa	7.5:1	2.09	60	90	400	80.5	[138]

Ön iyileştirme uygulandıktan sonra yapılan optimizasyon çalışmaları ise Tablo 1.19.'da verilmiştir. Serbest yağ asidi miktarı yüksek yağlara ön iyileştirme uygulandıktan sonra gerçekleştirilen biyodizel üretiminde verimin yüksek olduğu görülmektedir. Ön iyileştirme sonucunda yapılan optimizasyon çalışmalarında biyodizel veriminin %84.5-99.65 arasında gerçekleştiği görülmektedir.

**Tablo 1.19.** Ön iyileştirme uygulandıktan sonra yapılan optimizasyon çalışmaları

Yağ	Optimum reaksiyon koşulları						Referans
	Alkol yağ molar oranı (mol/mol)	Katalizör miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Devir (d/d)	Verim (%)	
<i>Schleichera triguga</i>	8:1	0.7	50	60	1200	95	[116]
<i>Schleichera triguga</i>	9:1	0.9	58.9	58.5	-	97.37	[121]
Jatropa	11:1	1	55	110	-	98.3	[122]
<i>Yucca aloifolia</i>	5:1	0.8	55	100	600	97	[123]
Atık kızartma	6:1	1	50	90	-	89.8	[124]
<i>Quercus frainetto</i>	8:1	0.7	50	40	600	90	[126]
<i>Azadirachta indica</i>	0.164*	1.01	59.91	45.6	-	99.1	[129]
<i>Vitellaria paradoxa</i>	3.5:1	0.6**	90	30	-	99.65	[130]
<i>Simarouba glauca</i>	6:1	0.6	65	120	600	95	[135]
Karanja	9:1	0.5	60	30	1000	85	[139]
Jatropa	9:1	2	60	120	1000	95	[139]
<i>Guizotia abyssinica</i>	8:1	0.6	65	150	500	98.7	[140]
<i>Calophyllum inophyllum</i>	8:1	1.25	60	120	700	89	[141]
Atık kızartma	9.1:1	1	55	60	400	90.56	[142]
<i>Azadirachta indica</i>	3:1	0.7	50	60	-	85.13	[143]
<i>Sapindus mukorossi</i>	10:1	1	65	120	600	92.5	[144]
<i>Ceiba pentandra</i>	6:1	1	65	45	600	99.5	[145]
<i>Mahua indica</i>	6:1	1	60	120	600	84.5	[146]
<i>Schleichera oleosa</i>	8:1	1	55	90	1000	96	[147]
Kenevir	6.4:1	1.2	43.4	30	600	98.5	[148]

\*% v/v  
\*\*% m/v

#### 1.4.4.1.2. Katalizör türü ve miktarının etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen önemli parametrelerden biri de katalizör türü ve miktarıdır. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağı parçalayıp trigliseritleri ayrıştırmak için reaksiyon hızını artıran bir katalizör madde kullanılır. Böylece trigliseritler esterlerden ayrıştırılarak açığa çıkan esterler ile alkol moleküllerinin bağ yapması sağlanır [95].

Transesterifikasyon reaksiyonunda daha çok bazik, asidik ve enzimatik katalizörler kullanılmaktadır [149]. Bazik ve asidik katalizörlerde kendi içerisinde homojen ve heterojen olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Homojen bazik katalizörlere örnek olarak

sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH); heterojen bazik katalizörlere örnek olarak kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum oksit (MgO); homojen asit katalizörlere örnek olarak sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve hidroklorik asit (HCl) ve heterojen asit katalizörlere örnek olarak zirkonyum dioksit (ZrO<sub>2</sub>), kalay dioksit (SnO<sub>2</sub>) ve titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) verilebilir. Mucor miehei (Lipozym IM 60), Pseudomonas cepacia (PS 30), C. antarctica (Novozym 435), Bacillus subtilis, Rhizopus oryzae ve Penicillium expansum ise enzimatik katalizörlerden bazılarıdır. Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan farklı tür katalizörlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.20.'de verilmiştir.

**Tablo 1.20.** Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan farklı katalizör türlerinin avantaj ve dezavantajları [150]

Katalizör türü	Avantaj	Dezavantaj
Homojen baz katalizör	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çok hızlı reaksiyona girer. (asit katalizörlü transesterifikasyondan 4000 kat daha hızlıdır.)</li> <li>• Reaksiyon mutedil reaksiyon koşullarında gerçekleşebilir ve enerji gereksinimi daha azdır.</li> <li>• NaOH ve KOH gibi katalizörler nispeten daha ucuzdur ve kolayca temin edilebilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi içeriğinden olumsuz etkilenir.</li> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi içeriği kütlece %2'den fazlaysa sabun oluşumu gözlenir.</li> <li>• Çok fazla sabun oluşumu biyodizel verimini düşürür ve biyodizelin saflaştırılması aşamasında, özellikle aşırı miktarda atık su üretimi nedeniyle soruna neden olur.</li> </ul>
Heterojen baz katalizör	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asit katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonundan nispeten daha hızlı reaksiyona girer.</li> <li>• Reaksiyon mutedil reaksiyon koşullarında gerçekleşebilir ve enerji gereksinimi daha azdır.</li> <li>• Katalizör üründen (biyodizel) kolayca ayrılabilir.</li> <li>• Katalizörün yeniden kullanılabilme ve rejener edilebilme imkanı yüksektir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortamdaki havaya maruz bırakıldığında katalizör işlevini yitirebilir.</li> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi içeriği kütlece %2'den fazlaysa sabun oluşumu gözlenir.</li> <li>• Katalizörün aktif bölgelerinin sıvı içerisine sızması nedeniyle ürün kirlenebilir.</li> </ul>
Homojen asit katalizör	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi ve su içeriğinden etkilenmez.</li> <li>• Düşük kaliteli yağ kullanıldığında tercih edilir.</li> <li>• Esterifikasyon ve transesterifikasyon aynı anda gerçekleşir.</li> <li>• Reaksiyon mutedil reaksiyon koşullarında gerçekleşebilir ve enerji gereksinimi daha azdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaksiyon hızı düşüktür.</li> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi korozyona neden olan katalizörler kullanıldığından reaktörde ve sistem borularında korozyona neden olabilir.</li> <li>• Katalizörün üründen ayrılması güçtür.</li> </ul>
Heterojen asit katalizör	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi ve su içeriğinden etkilenmez.</li> <li>• Düşük kaliteli yağ kullanıldığında tercih edilir.</li> <li>• Esterifikasyon ve transesterifikasyon aynı anda gerçekleşir.</li> <li>• Katalizör üründen (biyodizel) kolayca ayrılabilir.</li> <li>• Katalizörün yeniden kullanılabilme ve rejener edilebilme imkanı yüksektir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karmaşık katalizör sentezi prosedürleri maliyeti artırmaktadır.</li> <li>• Genelde yüksek reaksiyon sıcaklığı, yüksek alkol yağ molar oranı ve uzun reaksiyon süreleri gereklidir.</li> <li>• Enerji gereksinimi yüksektir.</li> <li>• Katalizörün aktif bölgelerinin sıvı içerisine sızması nedeniyle ürün kirlenebilir.</li> </ul>
Enzim	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yağdaki serbest yağ asidi ve su içeriğinden etkilenmez.</li> <li>• Düşük kaliteli yağ kullanıldığında tercih edilir.</li> <li>• Transesterifikasyon, homojen baz katalizörünkünden bile daha düşük reaksiyon sıcaklıklarında gerçekleştirilebilir.</li> <li>• Sadece basit bir saflaştırma basamağına ihtiyaç vardır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çok yavaş, hatta asit katalizörlü transesterifikasyondan bile daha yavaş reaksiyona girer.</li> <li>• Maliyetleri yüksektir.</li> <li>• Enzimin deaktivasyonuna sebebiyet verdiği için alkole, özellikle metanole, karşı hassastır.</li> </ul>

Farklı baz katalizörler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları Tablo 1.21.'de verilmiştir. Kullanılan diğer katalizörlere göre, en yüksek biyodizel veriminin NaOH katalizörü ile elde edildiği görülmektedir.

**Tablo 1.21.** Farklı baz katalizörler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları

Yağ	Katalizör türü	Optimum reaksiyon koşulları						Referans
		Alkol yağ molar oranı (mol/mol)	Katalizör miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Devir (d/d)	Verim (%)	
Ayçiçek	KOH, NaOH, KOCH <sub>3</sub> , NaOCH <sub>3</sub>	6:1	NaOH/1.0	60	120	600	97.1	[151]
Mısır	NaOH, KOH, NaOCH <sub>3</sub> , KOCH <sub>3</sub>	6:1	NaOH/1.5	60	240	-	98.5	[152]
Soya	NaOH, KOH, NaOCH <sub>3</sub> , KOCH <sub>3</sub>	6:1	NaOH/1.5	60	240	-	92.3	[152]
Atık kızartma	NaOH, KOH	6:1	NaOH/1.5	60	240	-	94.6	[152]
%50 Fındık+	NaOH, KOH	6:1	NaOH/1.5	60	240	-	94.9	[152]
%50 Ayçiçek	NaOH, KOH	6:1	NaOH/1.5	60	240	-	94.9	[152]
Atık kızartma	NaOH, KOH	9:1	NaOH/0.72	65	45	-	93.56	[153]

#### 1.4.4.1.3. Alkol türü ve alkol yağ molar oranının etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu stokiometrik olarak 3 mol yağ asidi alkil esterleri ve 1 mol gliserin oluşturmak için 3 mol alkol ve 1 mol trigliserite ihtiyaç duymaktadır [79, 154]. Fakat, birçok araştırmacı [155-158] bu miktarın yetersiz olduğunu ve reaksiyonun tamamlanması için daha fazla alkolün kullanılması gerektiğini bildirmektedir. Genel olarak araştırmalar sonucunda optimum alkol yağ molar oranı 6:1 olarak tespit edilmiştir [119, 159-170]. Alkol yağ molar oranının 6:1'in üzerine çıkması durumunda biyodizel veriminin arttığı, buna karşın biyodizel ile gliserolün ayrışmasında zorluklar ortaya çıktığı belirtilmektedir [3, 138, 171]. Alkol olarak genellikle metanol, etanol, propanol, bütanol ve pentanol kullanılmaktadır [57, 90, 100, 172]. Şanlı [92] ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde farklı molar oranlarda metanol (3:1, 6:1), etanol (6:1, 9:1, 12:1, 15:1, 20:1), 2-propanol (6:1, 9:1, 12:1, 15:1, 30:1, 45:1, 60:1, 70:1) ve 1-bütanol (6:1, 9:1) kullanarak gerçekleştirdiği çalışmasında etanol ile saflığı yeterli düzeyde olmadığı için biyodizel üretilmediğini, 2-propanol ve 1-bütanol ile metanole göre daha zor alkoller olduğundan sıcaklığın yeterli olmadığını ve su tutma eğilimleri fazla olduğundan ekstra bir işlem olarak suyun uzaklaştırılması gerektiğini, bunun ise zaman ve maliyetin artmasına neden olduğunu, transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi için en uygun alkolün metanol olduğunu belirtmiştir. Sánchez ve ark. [172] jatropa yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde farklı alkollerin (metanol, etanol, 2-propanol, n-bütanol) biyodizel verimi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında en yüksek biyodizel verimini metanol ile elde etmişlerdir. Metanolü ise sırasıyla etanol, n-bütanol ve 2-propanol izlemiştir. Meneghetti ve ark. [173] hint yağı ile gerçekleştirdiği biyodizel üretiminde metanol

ve etanol alkollerini denemiş ve sonuç olarak etanol kullandıklarında biyodizel verimini %80, metanol kullandıklarında ise biyodizel verimini %90 olarak tespit etmişlerdir. Rashid ve ark. [174] ise alkol olarak metanol ve etanol kullanarak mısır yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişler ve en yüksek verimin metanol ile gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Metanolün polar olması, en kısa zincirli alkol olması, üretiminin kolay ve ucuz olması, trigliseritler ile daha kolay reaksiyona girmesi nedeniyle transesterifikasyon reaksiyonlarında metanol kullanımının daha yaygın olduğu söylenebilir [90, 92]. Farklı alkoller kullanılarak jatrofa yağından üretilen esterlerin yakıt özellikleri Tablo 1.22.'de verilmiştir.

**Tablo 1.22.** Farklı alkoller kullanılarak jatrofa yağından üretilen esterlerin yakıt özellikleri [172]

Özellik	Birim	Yağ asidi metil esterleri	Yağ asidi etil esterleri	Yağ asidi bütil esterleri	Yağ asidi izopropil esterleri
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	0.8637	0.8598	0.8578	0.8559
Kinematik viskozite	mm <sup>2</sup> /s	4.703	4.842	5.460	5.028
Parlama noktası	°C	175	180	175	135
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-3	-5	-1	11
Su içeriği	%	0.02	0.03	0.02	0.02
Oksidasyon kararlılığı	saat	2.91	2.18	1.82	0.88
Setan sayısı	-	47.1	55.9	92	106.2
Asitlik	%ağırlıkça	0.04	0.11	0.02	0.08
Ester içeriği	%	98.5	98	98.5	97.1
İyot sayısı	g iyot/100g	104	100.9	94.5	97.9

#### 1.4.4.1.4. Reaksiyon sıcaklığının etkisi

Reaksiyon sıcaklığı, transesterifikasyon reaksiyonunun hızını ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Transesterifikasyon reaksiyonu oda sıcaklığında gerçekleşebileceği gibi kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak farklı sıcaklıklarda da gerçekleşebilir. Genel olarak reaksiyon sıcaklığı transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılacak alkolün kaynama sıcaklığına yakın bir sıcaklık seçilir [175]. Reaksiyon sıcaklığının artması reaksiyona giren maddelerin aktivasyon ve kinetik enerjilerini artırmaktadır. Reaksiyon sıcaklığının 10°C artması reaksiyon hızını 2-3 kat artırdığı deneysel olarak tespit edilmiştir [149]. Freedman ve ark. [119] 6:1 alkol-yağ molar oranında, %1 NaOH katalizörü kullanarak 65, 45 ve 32°C reaksiyon sıcaklıklarında soya yağı ile yaptıkları denemelerde 6 dakika içinde esterleşme verimlerini sırasıyla %94, 87 ve 64 olarak tespit etmişlerdir. Reaksiyon sıcaklığı, kullanılan alkolün kaynama noktasının üzerine çıktığı zaman alkolde buharlaşma eğilimi olmakta ve ortamdaki alkol miktarı azalmaktadır. Bundan dolayı da biyodizel veriminde düşme gözlenmektedir [176].

#### **1.4.4.1.5. Reaksiyon süresinin etkisi**

Transesterifikasyon reaksiyonunun ilk birkaç dakikasında alkolün yağa geçişi yavaştır. Ancak, 5 dakikadan sonra reaksiyonun çok hızlandığı belirtilmektedir [103]. Reaksiyonun ilk yarım saat içerisinde dönüşümünün %80 oranında gerçekleştiği, 1 saatten sonra ise kayda değer bir artışın olmadığı tespit edilmiştir [94].

#### **1.4.4.1.6. Karıştırma hızının etkisi**

Transesterifikasyon reaksiyonunda başlangıçta reaksiyona giren yağ ve alkol birbirine karışmayan iki sıvı fazı şeklinde durmaktadır. Bu faz karıştırıldıktan ve reaksiyon başladıktan sonra daha fazla karıştırma işlemine gerek kalmamaktadır [79]. Transesterifikasyon reaksiyonunda karıştırma hızının bilinmesi proses tasarımında ve ölçek büyütmede oldukça önemlidir [177]. Ünsal [177] metanol yağ mol oranı 6:1, reaksiyon süresi 90 dakika, reaksiyon sıcaklığı 55°C ve %1 sodyum metoksit ( $\text{NaOCH}_3$ ) katalizörü kullanarak gerçekleştirdiği transesterifikasyon reaksiyonunda farklı karıştırma hızlarının kanola yağı biyodizelinin verimine etkisini incelediği çalışmasında karıştırma hızının artması ile verimin arttığını, 600 d/d'den sonra ise verimde azalmanın meydana geldiğini tespit etmiştir. Meher ve ark. [178] karanja yağından 6:1 alkol yağ molar oranında, %1 KOH katalizörü kullanarak 65°C'de transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirmiş ve 3 saat sonunda 180 d/d'de reaksiyonun tamamlanamadığını, 360 ve 600 d/d'de ise %97 verim elde edildiğini; Valle ve ark. [179] turp tohumu (*Raphanus sativus*) yağından alkol olarak etanol ve katalizör olarak sodyum etilat ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ ) kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimine etki eden parametrelerin optimizasyonunda en yüksek verimi %97.9 ile 6:1 alkol-yağ molar oranı, %1.3 katalizör miktarı, 30°C reaksiyon sıcaklığı, 70 dakika reaksiyon süresi ve 500 d/d karıştırma hızında elde etmişlerdir. Ayrıca, yüksek karıştırma hızlarına çıkıldığı zaman biyodizel veriminin düştüğünü belirtmişlerdir.

### **1.5. Biyodizelin tarihsel gelişimi**

Dizel motorun mucidi Alman mühendis Rudolpf Diesel (1858-1913), 10 Ağustos 1893'te bitkisel yağlara göre tasarladığı motorunun denemesini Augsburg, Almanya'da başarıyla gerçekleştirmiştir. Bu olayın anısına 10 Ağustos Ululararası Biyodizel Günü olarak kutlanmaktadır [180]. 1898 yılında Paris'te düzenlenen

Dünya fuarında Rudolpf Diesel, %100 fıstık yağı ile çalıştırdığı motorunu sergilemiş ve en büyük ödülün sahibi olmuştur [41, 180, 181]. Ayrıca, Rudolpf Diesel 1911'de 'Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının tarımın gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını' ifade etmiş ve 1912'de 'Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak' demiştir. Petrol endüstrisinin gelişmesi ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtların maliyetinin daha düşük olması bitkisel yağlara olan ilgiyi azaltmıştır. Bundan dolayı, bitkisel yağlar dizel motorlarda 1920'lerin sonuna kadar [41], 1930-1940 yılları arasında ise sadece acil durumlarda kullanılmıştır [182].

Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımındaki zorluklara, petrol ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması da eklenince bu konu önemini kaybetmiştir. Ancak, bitkisel yağların bünyesindeki gliserolün uzaklaştırılması yönündeki akademik çalışmalar devam etmiştir [181]. Bugün biyodizel olarak isimlendirilen yakıt için ilk patent Brüksel Üniversitesi'nden Belçikalı bilim adamı G. Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 yılında alınmıştır [183]. İkinci dünya savaşı ve 1970'lerdeki petrol krizi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır [19, 184]. 1977 yılında Brezilyalı bilim adamı Expedito Parente, etanol ve transesterifikasyon yöntemini kullanarak biyodizel üretmiş ve biyodizel üretiminin endüstriyel sürecinin ilk patentini almıştır [183]. 1979 yılında Güney Afrika'da ayçiçek yağının transesterifikasyonu ve rafinasyonu ile dizel yakıt standartlarını sağlamaya ilgili araştırmalar başlatılmıştır [180, 181]. 1981-1982 yıllarından itibaren ABD'de bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabilirliği üzerine yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor üreten büyük firmalar tarafından yürütülmektedir. 1982 yılında Avusturya'da Tarım ve Orman Bakanlığı'nın destekleri ile yapılan çalışmalarda kolza yağı metil esterinin dizel yakıtına alternatif olabileceği sonucuna varılınca kolza ve ayçiçeği ekimi teşvik edilmiştir [40]. 1983 yılına gelindiğinde biyodizelin yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve motor testleri ile ilgili araştırmalar yapılarak uluslararası makaleler yayınlanmıştır. Avusturya'da bulunan Gaskoks şirketi 1987 yılının Kasım ayında ilk biyodizel pilot tesisini, 1989 yılının Nisan ayında ise yılda 30,000 ton kanola işleme kapasiteli ilk endüstriyel ölçekteki tesisi kurmuştur. 1990'lı

yıllarda ortaya çıkan çevre bilinci ve yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını hızlandırmış ve biyodizel tekrar gündeme taşınmıştır [180, 181]. 1990'lı yıllarda Çek Cumhuriyeti, Almanya ve İsveç'in de aralarında olduğu birçok Avrupa ülkesinde biyodizel tesisleri açılmıştır. Aynı yıllarda Fransa ise kanola yağından biyodizel (diester olarak adlandırılmıştır) bölgesel tesisleri kurmuş ve dizel yakıtına %5 oranında, toplu taşıma araçlarında kullanılan dizel yakıtına ise %30 oranında harmanlanmasını sağlamıştır. Renault, Peugeot ve diğer üreticiler biyodizel harmanlanan yakıtlar için kamyon motorlarına sertifika vermişlerdir [180]. 19 Ağustos 1991 tarihinden itibaren İsviçre'nin Zürih şehrindeki belediye otobüslerinde diesel-bi adı ile üretilen biyodizel kullanılmış ve bu yakıtta çevre kirliliği testlerinde uygulanmıştır [40].

İlk biyodizel standardı 1991 yılında Avusturya'da basılmıştır [180, 183]. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir [19]. Daha sonra, diğer ülkelerde kendi standartlarını oluşturmaya başlamışlardır. 1997 yılında Alman standardı DIN 51606 kabul edilmiştir [183]. Özellikle 2000 yılında ham petrol ve ham kanola fiyatlarının kesişmesi dünyada biyodizeli ön plana çıkarmış ve yatırımlar büyük bir hız kazanmıştır [181]. 2002 yılında Amerikan standardı ASTM D6751 ve 2003 yılının Ekim ayında Avrupa genelinde DIN EN 14214 kabul edilmiştir [183]. 2003 yılına kadar Çek Cumhuriyeti'nde 176 adet biyodizel dolun istasyonu açılmıştır [40]. 2005 yılının Eylül ayında ABD'nin Minnesota eyaletinde satılan tüm dizel yakıtlarına en az %2 oranında biyodizel harmanlanması zorunluluğu getirilmiştir. 2008 yılının Ekim ayında ASTM biyodizel karışım özellikleri standardını yayınlamıştır. Aynı yılın Kasım ayında ise Avrupa standardı EN 14214:2003 yerine EN 14214 standardı kabul edilmiştir [183].

Son yıllarda ise biyodizelin üretimi ve kullanımı tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır [6]. Bazı ülkelerde biyodizel üretiminde kullanılan yağ kaynakları Tablo 1.23.'te verilmiştir. Biyodizel üretiminde kullanılan yağ kaynakları incelendiğinde ülkelerin genel olarak bitkisel kökenli yağ kaynaklarını tercih ettiği ve genel olarak ülkelerinde yetişen bitkilerin yağlarını kullandıkları görülmektedir.

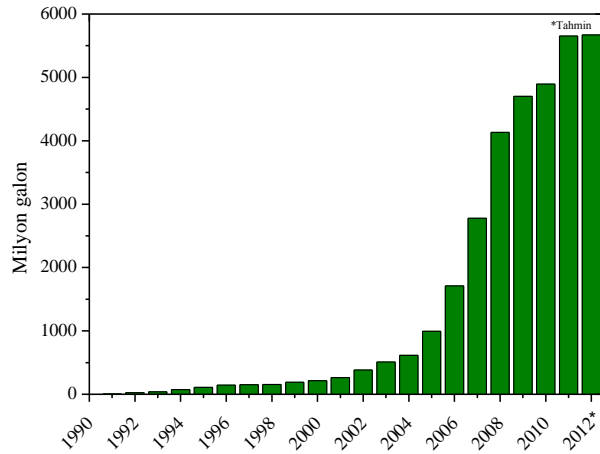
**Tablo 1.23.** Bazı ülkelerde biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler [183-187]

Ülke	Hammadde	Ülke	Hammadde
ABD	Soya/atık yağ/fistik	Hindistan	Jatropha/karanja/soya/kanola/ayçiçek/fistik
Kanada	Kanola/hayvansal yağ/soya/sarı gres ve iç yağ/hardal/keten	Malezya	Palm yağı
Meksika	Hayvansal yağ/atık yağ	Endonezya	Palm yağı/jatropha/hindistan cevizi
Almanya	Kanola	Singapur	Palm yağı
İtalya	Kanola/ayçiçek	Filipinler	Hindistan cevizi/jatropha
Fransa	Kanola/ayçiçek	Tayland	Palm/jatropha/ hindistan cevizi
İspanya	Keten/ayçiçek/zeytin yağı	Çin	Jatropha/ atık kızartma yağı /kanola
Yunanistan	Pamuk	Brezilya	Soya/palm yağı/hint yağı/pamuk
Birleşik krallık	Kanola/atık kızartma yağı	Kore	Atık yağ
Rusya	Kanola/soya/ayçiçek	Arjantin	Soya
Finlandiya	Kanola/hayvansal yağ	Japonya	Atık kızartma yağı
İsveç	Kanola	Avustralya	Atık yağ/hayvansal yağ/kanola
İrlanda	Kızartma yağı/hayvansal yağ	Yeni Zelanda	Atık kızartma yağı/iç yağ

Dizel motorlarda biyodizelin sorunsuzca kullanılabilmesi amacı ile üretimi ve çalışma parametrelerinin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır [10]. Birçok ülke enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma çabasıdadır. Bu nedenle teşvik ve destek programları yasalarla belirlenmiştir. ABD değişik programlar ile biyodizel üretimi ve tüketimini desteklemekte, teşvikler ile üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, taşıtların alternatif yakıtlar ile çalışması için düzenlemeler de yapılmıştır. Almanya’da yasal olarak %100 biyodizel kullanımı mümkün ve tüketim vergilerinden muafır. Fransa biyodizel için 0.35 Euro/L vergi teşviği uygulamakta ve petrol rafinerilerinde %5 oranına kadar karışımlarına izin vermektedir. İtalya yılda 420,000 ton üretim gerçekleştiren tesislere belirli süreler için vergi muafiyetleri uygulamaktadır. Belçika %100 biyodizel kullanımına izin veren ülkelerden bir tanesidir. Aynı zamanda deneysel projeler için de vergi teşviği sağlamaktadır. İspanya deneysel projelerde kullanılan biyodizele vergi indirimi yapmaktadır. İngiltere’de ise bazı bölgeler hariç biyodizeli vergiden muaf tutmaktadır. Bu ülkeler dışında Avusturya, İrlanda, Norveç, Yunanistan, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyeti’nde biyodizel yasal olarak vergiden muafır [188].

Dünyada 2010 yılında en fazla biyodizel üretimi %53 ile AB ülkelerinde gerçekleşmiştir. En fazla biyodizel üreten ülkeler Almanya, Fransa, İspanya, İtalya, Birleşik Krallık, Brezilya, Arjantin, Endonezya ve Malezya’dır [189]. Dünyada 1991-2012 yılları arasında üretilen biyodizel miktarı Şekil 1.13.’te verilmiştir. 2008-2014 yılları arasında AB’de üretilen biyodizel miktarı ise Tablo 1.24.’te verilmiştir.





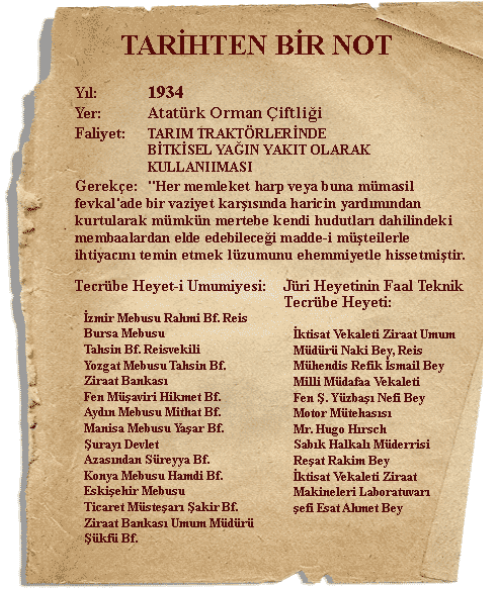
Şekil 1.13. Dünyada 1991-2012 yılları arasında üretilen biyodizel miktarları [190]

Tablo 1.24. AB’de üretilen biyodizel miktarları (bin ton) [191]

Ülke	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Almanya	1088	1903	2681	4361	2819	2539	2861	2800	4968	2516	4655
Fransa	502	532	775	780	1815	1959	1910	1559	2456	1885	2445
İtalya	419	827	857	1366	595	737	706	479	2310	387	1837
Belçika	-	55	85	335	277	416	435	472	770	565	741
Polonya	-	100	150	250	275	332	370	363	884	648	1269
Portekiz	-	6	146	246	268	250	289	287	483	314	590
Danimarka	44	81	81	90	140	140	250	250	250	250	250
İsveç	8	12	52	212	212	212	277	277	182	224	282
Avusturya	100	125	134	326	213	310	289	226	535	239	495
İspanya	70	100	224	508	207	859	925	604	4391	618	4194
Birleşik Krallık	15	129	445	657	192	137	145	218	574	277	505
Slovakya	-	89	89	99	146	101	88	103	156	105	158
Yunanistan	-	35	75	440	107	77	33	78	812	220	702
Macaristan	-	0	12	21	105	133	149	150	158	150	158
Çek Cumhuriyeti	-	188	203	203	104	164	181	154	437	210	502
Hollanda	-	0	0	115	101	323	368	370	2517	1248*	2505
Finlandiya	-	0	0	0	85*	220*	288*	225*	340*	320*	400*
Litvanya	-	10	10	42	66	98	85	79	130	118	147
Romanya	-	-	-	81	65	29	70	101	277	137	407
Letonya	-	5	8	20	30	44	43	56	156	61	156
İrlanda	-	0	0	6*	24*	17*	28*	26*	76*	24*	74*
Bulgaristan	-	-	-	65	11	25	30	26	408	13	378
Kıbrıs	-	2	2	6	9	9	6	6	20	1	20
Slovenya	-	17	17	17	9	9	22	0	113	2	108
Malta	-	2	3	8	1	1	0	0	5	1	5
Lüksemburg	-	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20
Estonya	-	10	20	35	0	24	3	0	110	0	35

\*Hydro-dizel verileri dahil edilmiştir.

Türkiye’de ise biyodizel ilk defa 1931 yılında gerçekleştirilen Tarım Kongresi’nde dile getirilmiştir. 1934 yılına gelindiğinde Atatürk Orman Çiftliği’nde ‘Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı’ isimli çalışma (Şekil 1.14.) başlamıştır ve 1936 yılında Atatürk tarafından 2. Beş yıllık kalkınma planı hazırlanmıştır [189].



Şekil 1.14. Bitkisel yağların tarım traktörlerinde kullanımı [192]

Türkiye’de Atatürk’ün ölümünden sonra ve 2. Dünya savaşının da başlaması ile biyodizel çalışmaları askıya alınmıştır. 1942 yılında ise belirli miktarda biyodizel Türk ordusunun araçlarında kullanılmıştır [189]. 2000 yılında Türkiye’de biyodizel ile ilgili akademik çalışmalar hızla artmış ve 2001 yılında Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nda biyodizel çalışma grubu oluşturulmuştur. Türkiye’de ilk kez biyodizel ismi 04.12.2003 tarihinde 5015 sayılı petrol piyasası kanunu’nda harmanlanan ürünler arasında yer almıştır. ‘Bu Kanunun amacı; yurt içi ve yurt dışı kaynaklardan temin olunan petrolün doğrudan veya işlenerek güvenli ve ekonomik olarak rekabet ortamı içerisinde kullanıcılara sunumuna ilişkin piyasa faaliyetlerinin şeffaf, eşitlikçi ve istikrarlı biçimde sürdürülmesi için yönlendirme, gözetim ve denetim faaliyetlerinin düzenlenmesini sağlamaktır.’ diyen bir kanun içinde ve ‘Ürün: Fiziksel veya kimyasal işlem, rafinaj veya diğer yöntemlerle ham petrol ve/veya ürünlerinden elde edilen ürün veya ara ürün herhangi bir hidrokarbonu, ifade eder.’ şeklinde tanımlanan ürün içinde değerlendirilmiştir. Kanunda biyodizelin özel tüketim vergisi (ÖTV) dışında tutulması nedeniyle yatırımlar hızla artmıştır. 10.09.2004 tarihli ve 25579 sayılı Resmi Gazete’de Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik ve 17.06.2004 tarihli Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği ile biyodizel akaryakıt olarak kabul edilmiş ve ithalatı, dağıtımı, taşınması ve son kullanıcıya satışı lisans kapsamına alınmıştır [192]. Aynı zamanda, Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) bünyesinde biyoenerji proje grubu oluşturulmuştur.

Bu grup ‘Türkiye-Biyodizel Kullanımı’ konusunda fizibilite çalışmaları yaparak pilot ölçekte (200 L/h) biyodizel üretim tesisi ve laboratuvarını 2003 yılının Ekim ayında kurarak aspir-kanola enerji tarımı deneme üretimine başlamıştır [184]. EİE Genel Müdürlüğü tarafından 2003 yılında teklif edilen Biyodizel Standartları (TS EN 14214 ve TS EN 14213) 2005 Eylül ve Ekim ayında TSE tarafından AB standartları ile aynı TSE standardı olarak yayınlanmıştır [192].

Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), 29.12.2005 tarih ve 623/1 nolu Kurul Kararı ile 3824.90.99.90.54 GTİP’li madde Otobiodizeli; 3824.90.99.90.58 GTİP’li madde Yakıtbiodizeli isimleriyle piyasaya sunulabileceğini belirtmiştir. EPDK, 05.01.2006 tarihli tebliği ile Motorin Türlerinin Üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği kapsamında biyodizelin %5’e (v/v) kadar dizel yakıtı ile harmanlama yapılmasına imkan tanımış, otobiodizelinin üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği ile otobiodizelinde TS EN 14214 standardı aynen kabul edilmiştir. Yakıt biyodizelinin üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği ile de TS EN 14213’ü çokça tartışılan iyot sayısı maksimum 120’den 140’a çıkarılarak kabul edilmiştir. Bu tebliğ ile yakıt biyodizelinin kırmızıyla işaretlenerek piyasaya sunulması kararlaştırılmıştır. 05.01.2006 tarih ve 630/26 sayılı Kurul Kararı ile biyodizel üreticileri biyodizel işleme lisansı kapsamına alınmıştır [192]. 2006 yılında Türkiye’de bulunan biyodizel firmalarının sayısı 286 ve kurulu kapasiteleri 2320000 ton/yıl’dır [6]. Bu tesislerin illere göre dağılımı Şekil 1.15.’te verilmiştir.



Şekil 1.15. 2006 yılı Türkiye’de bulunan biyodizel firmalarının dağılımı [6]

Petrol piyasasında haksız rekabet oluşturduğu iddialarının sonucunda 30.03.2006 tarihinde 5479 Sayılı Gelir Vergisi Kanunu'nda yapılan değişiklik ile 3824.90.99.90.54 GTİP numaralı otobiyodizele litrede 0.6498 YTL ÖTV getirilmiştir. 08.12.2006 tarihinde 26370 Sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan 05.06.2007 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile 4760 sayılı ÖTV Kanununa Ekli 1 Sayılı listede yer alan mallarda uygulanan ÖTV ile yerli tarım ürünlerinden elde edilen otobiyodizelin dizel yakıtına %2 oranında harmanlanması ÖTV'den muaf tutulmuştur. Bu konuda Maliye Bakanlığı 26.12.2006 tarih ve 26388 Sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan ÖTV Genel Tebliği Seri No:13 tebliği ile Gelir İdaresi Başkanlığı'ndan 'Biyodizel Üretim İzin Belgesi' alınması gerekliliğini, harmanlama uygulamasının nasıl olacağını ve kamuya ayrıcalıklar tanıyan tebliğini yayınlamıştır [192]. Türkiye'de Resmi Gazete'de yayınlanan 25.02.2011 tarih ve 27857 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile otobiyodizel ve yakıt biyodizeline 0.9100 TL/L ÖTV uygulaması getirilmiştir. Biyodizel üretiminde maliyetin büyük bölümünü hammadde oluşturduğundan üreticiler tarafından ÖTV uygulamasının getirilmesi ile biyodizel üretiminin maliyeti kurtarmadığı belirtilmiştir [193].

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak Türkiye'de EPDK tarafından 27.09.2011 tarih ve 28067 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan bir düzenleme ile benzin ve dizel yakıtı türlerine yerli hammaddeden elde edilmiş olmak şartıyla biyoyakıt harmanlama zorunluluğu getirilmiştir. Düzenlemeye göre, piyasaya akaryakıt olarak arz edilen dizel yakıtı türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin 01.01.2014 tarihi itibariyle en az %1 (v/v), 01.01.2015 tarihi itibariyle en az %2 (v/v) ve 01.01.2016 tarihi itibariyle en az %3 (v/v) olma zorunluluğu getirilmiştir. 2011 yılında yapılan bu düzenlemenin 2014 yılında hayata geçirilmesi öngörülmüş, ancak hammadde ile ilgili sorunlar nedeniyle EPDK yeniden bir düzenleme yapmak zorunda kalmıştır. 25.06.2013 tarih ve 28688 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren son düzenleme ile EPDK tarafından dizel yakıtına biyodizel harmanlama zorunluluğu kaldırılmıştır [194].

Türkiye'de resmi olarak 2005 ve 2006 yılı itibariyle belirlenen biyodizel üretimleri sırasıyla 90000 ve 10000 ton olarak gerçekleşmiştir [194]. ÖTV uygulamasının getirilmesi ile biyodizel üretim maliyetlerinin arttığı, çoğu üreticinin lisanslarını iptal

ettirdiği, lisansı olanlarında üretim yapamaz duruma geldiği belirtilmektedir. Ülkemizde sadece bir firma tarafından 20000 tonluk bir üretim yapıldığı bilinmektedir. Ülkemizde 2012 yılı itibari ile 34 adet biyodizel üretimi için İşleme Lisansı almış tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam biyodizel üretim kapasitelerinin 561217 ton olduğu EPDK tarafından bildirilmiştir [193].

## **1.6. Biyodizelin yakıt özellikleri**

Biyodizelin yakıt özellikleri hammaddenin kalitesi ve yağ asidi kompozisyonu, üretim yöntemi, rafinasyon prosesi ve son üretim parametreleri gibi faktörlerden etkilenmektedir. Biyodizelin yakıt özellikleri birçok ölçüte göre sınıflandırılabilir. Bunlardan en önemlileri; motorda gerçekleşen olaylara etkisi (ateşleme kalitesi, kolay çalıştırma, hava-yakıt karışımının oluşumu ve yanması, egzoz gazı oluşumu ve kalitesi, ısıl değer vb.), soğuk akış özellikleri (bulutlanma noktası, akma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası vb.), taşıma ve depolama özellikleri (oksidasyon ve hidrolitik kararlılığı, parlama noktası, indüksiyon periyodu, mikrobiyal kirlilik, filtrelemede sıcaklık sınırı vb.), motor parçalarında aşınma (yağlayıcılık, temizleme etkisi, viskozite, yakıt sistemi üretiminde kullanılan malzemeler ile uyumluluk vb.)'dır [195]. Biyodizelin ticari bir yakıt olarak kullanılabilmesi için yakıt özelliklerinin standart değerler içerisinde bulunması gerekmektedir. Biyodizel için yaygın olarak kullanılan standartlar EN 14214 ve ASTM D6751'dir. Ülkemizde ise biyodizel için TS EN 14214 standardı kullanılmaktadır. TS EN 14214 standardında yer alan yakıt özelliklerinin detaylı açıklamaları aşağıda verilmiştir.

### **1.6.1. Ester içeriği**

Biyodizelde saflığı belirleyen özellik ester içeriğidir [196] ve biyodizelin üretildiği kaynağa göre değişim göstermektedir [6]. Biyodizelin ester içeriği gaz kromatografisi cihazı ile metil heptadekonat çözeltilisi standart alınarak ölçülür [196]. Biyodizelde ester içeriğinin düşük olması, uygun olmayan reaksiyon koşullarından ya da yakıtın üretildiği yağın içerisinde bulunan çeşitli küçük bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Steroller, artık alkoller, gliserit parçaları, ayrıştırılmayan gliserol ve sabunlaşmayan madde miktarının yüksek oranda olması ester içeriğini

sınır değerin altına indirmektedir. Fakat bunlardan birçoğu distilasyon ile giderilebilmektedir. Distile edilmiş yakıtın ester içeriği distile edilmemiş yakıtı göre yüksektir [197-199]. Biyodizelin ester içeriği TS EN 14214 standardına göre en az %96.5 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN 14103'e göre yapılmaktadır.

### **1.6.2. Yoğunluk**

Yoğunluk, bir maddenin kütlesinin birim hacmine oranıdır. Yakıtların temel özelliklerinden birisi olan yoğunluk, setan sayısı ve ısıl değer gibi yakıt özellikleri ile doğrudan ilişkilidir [200]. Aynı zamanda yanma olayının modellenmesi, süreçlerinin kontrolü, operasyonu ve tasarımı da yaygın olarak kullanılmaktadır [201]. Setan indislerinin hesaplanmasında da yoğunluk bilinmesi gereken bir yakıt özelliğidir [159]. Biyodizellerin yoğunlukları genel olarak fosil kökenli dizel yakıtından yüksektir. Biyodizelin yoğunluk değeri yakıtın yağ asidi kompozisyonuna ve saflığına bağlıdır. Yakıtın yoğunluğu yağ asidi kompozisyonundaki zincir uzunluğunun azalması ve çift bağ sayısının artması ile artış gösterirken, yakıtta metanol gibi düşük yoğunluklu artıkların bulunması yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır [197]. Yoğunluk genel olarak yakıtın enerji içeriği ile ilgili bir özelliktir. Hacimsel bazda yüksek yoğunluk, yüksek potansiyel enerji anlamına gelmektedir. Biyodizelin enerji içeriği dizel yakıtına göre düşük olmasına karşın hacimsel olarak düşünülürse biyodizelin yoğunluğu dizel yakıtına göre yüksektir ve bundan dolayı da enerji içeriği farkı azdır [202]. Yoğunluğun yüksek çıkması transesterifikasyon reaksiyonunda gliserolün yeterince uzaklaştırılmadığının bir göstergesidir [203]. Yüksek yoğunluk, yakıtın fazla miktarda silindirlere püskürtülmesini sağlayarak zengin karışım oluşturur. Zengin karışım yanma odası cidar sıcaklığının artmasına ve tutuşma gecikmesi süresinin azalmasına neden olur. Dizel motorlarda güç artışı silindirlere gönderilen yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Güç gereksinimi arttığında silindirlere gönderilen yakıt miktarı artmasına karşın silindir içerisinde oluşan hava-yakıt karışımının homojenliği azalır ve yanma sonu karbon birikintileri artar [10, 204]. Cheikh ve ark. [205] yüksek yoğunluk değerlerine sahip biyodizel ve karışımlarını (0.860, 0.849 ve 0.846 g/cm<sup>3</sup>) dizel yakıtı (0.840 g/cm<sup>3</sup>) ile karışılaştırdıklarında, enjeksiyon pompasından gönderilen yakıtın kütle debisinin arttığını bildirmişlerdir. rs [10] setan sayısı, viskozite, ısıl değer ile birlikte

yoğunluğun da motor performansı ve egzoz emisyonlarına direkt etki eden özelliklerden birisi olduğunu, dizel yakıtına %3 oranında biyodizel katılmasıyla viskozite ve yoğunluğun bir miktar artarak pompalama kaçaklarını düşürdüğünü, Attia ve Hassaneen [206] ise düşük yakıt yoğunluğunun motor gücünü ve tüm emisyonları azalttığını belirtmişlerdir. Biyodizelin TS EN 14214 standardına göre yoğunluğu 15°C’de 0.860-0.900 g/cm<sup>3</sup> arasında olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 3675 ve EN ISO 12185’e göre yapılmaktadır.

### **1.6.3. Kinematik viskozite**

Biyodizel için en önemli yakıt özelliklerinden birisi de kinematik viskozitedir. Kinematik viskozite, bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği dirençtir ve belirli bir boyuttaki orifis boyunca akan akışın akma süresine bağlı olarak hesaplanmaktadır [207, 208]. Birçok araştırmacı [6, 38, 40, 41, 209] bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi için motor ayarlarında değişiklikler yapılmasını ya da yağların viskozitelerinin azaltılmasını önermektedir. Bu araştırmaların ağırlıklı bir kısmını ise yağların viskozitesinin kimyasal yöntemler ile azaltılması oluşturmaktadır. Bu yöntemlerden en çok tercih edileni transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon yöntemi ile yabani hardal [6], aspir [210], ayçiçek [211] ve keten [38] yağlarının viskoziteleri sırasıyla 7.76, 4.02, 6.95 ve 6.30 kat düşürülmüştür. Transesterifikasyon reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda biyodizel içerisinde gliserol kalmakta, bu da kinematik viskozitenin yüksek çıkmasına neden olmaktadır [203]. Biyodizelin kinematik viskozitesi yaklaşık olarak dizel yakıtından 1.6 kat daha fazladır. Bu oran düşük sıcaklıklarda daha da artmaktadır [212]. Kinematik viskozitenin etkileri atomizasyon kalitesinde, yanma olayında ve motor aşınmalarında görülebilmektedir. Yakıtların yüksek viskozite değerleri, yakıt pompasındaki güç tüketiminin artmasına, atomizasyon kalitesinin düşmesine, yakıt tüketiminin artmasına, yetersiz püskürtmeye, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine, emme zamanında yanma odasına giren yakıt akışının fakirleşmesine ve hava ile karışım için daha uzun süre geçmesine neden olmaktadır. Düşük kinematik viskozite ise yakıt sisteminde sızıntılara yol açmaktadır [10, 202, 212-219]. Bazı araştırmacılar [196, 220-222] motorlarda biyodizel kullanımı ile tork ve güçte bir miktar yükselmenin biyodizelin

dizel yakıtına göre yüksek viskozitesinin bir sonucu olduğunu, yüksek viskoziteninde yakıt püskürtme penetrasyonunu artırdığını ve böylece hava-yakıt karışım oranının iyileştiğini belirtmişlerdir. Ancak, kötü yakıt enjeksiyonundan dolayı yanma veriminin düştüğü ve bundan dolayı da gücün bir miktar azaldığını yakıtın yüksek viskozite değerine bağlayan araştırmacılarda bulunmaktadır [223, 224]. Biyodizelin kinematik viskozitesi TS EN 14214 standardında 40°C’de 3.50-5.00 mm<sup>2</sup>/s olarak belirlenmiştir. Viskozite değerinin üst sınırı soğuk hava koşullarında motorun çalıştırılması sırasında yakıtın düzgün bir şekilde akabilmesini, alt sınır ise motordaki olası güç kayıplarının önlenmesini sağlamaktadır. Deney yöntemi EN ISO 3104’e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.4. Parlama noktası**

Parlama noktası, sıvı buharının parladığı en düşük sıcaklık olarak ifade edilir. Yakıtların parlama noktası taşıma, depolama ve kullanım güvenliğini etkileyen bir özelliktir [88]. Biyodizelin üretimi sırasında yakıt içerisinde alkol tam olarak uzaklaştırılmaz ise parlama noktası düşük çıkmaktadır [6]. Bundan dolayı parlama noktası biyodizel içerisindeki metanol varlığının tespitinde bir gösterge olarak kullanılabilir [197]. Biyodizelin parlama noktası TS EN 14214 standardına göre en az 101°C olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 2719 ve EN ISO 3679’a göre yapılmaktadır.

#### **1.6.5. Kükürt içeriği**

Yüksek kükürt içeriğine sahip yakıtlar insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olduklarından ulusal sınırlandırmalara tabi tutulmaktadır. Yakıttaki kükürt oranının yüksek olması egzozdan SO<sub>2</sub> ve PM emisyonlarının artmasına neden olur. Ayrıca, kükürtçe zengin yakıtların motorda kullanılmasıyla motor parçalarında aşınma ve tortu meydana gelmekte, katalitik sistemlerin kullanım sürelerini ve verimlerini düşürmektedir. Biyodizel yakıtlarının kükürt içerikleri yok denecek kadar azdır [197]. TS EN 14214 standardında biyodizelin kükürt içeriği en fazla 10 mg/kg olarak verilmiştir. Deney yöntemi EN ISO 20846, EN ISO 20884 ve EN ISO 13032’ye göre yapılmaktadır.



### **1.6.6. Karbon kalıntısı**

Karbon kalıntısı, belirli koşullar altında yakıtın buharlaşma ve termal bozunma sonrası arta kalan madde miktarı olarak tanımlanır. Bu test, atmosfer basıncında damıtma işleminde kısmen bozunmaya uğrayan ve uçucu bileşikleri fazla olmayan sıvı yakıtlarda uygulanır. Bu kalıntı sadece karbonun bileşimleri olmamasına rağmen karbon kalıntısı terimi yaygın olarak kullanılan tüm standartlarda bulunmaktadır. Yakıtın motorda kullanımı sonucunda yanma odası içerisinde ve enjektör uçlarında karbon birikmesi ve tıkanmasına neden olmaktadır. Biyodizelde karbon kalıntısı gliserit miktarı, serbest yağ asitleri, sabun, katalizör ve kirlilik gibi diğer birçok özellik ile yakından ilişkilidir. Aynı zamanda, karbon kalıntısı çoklu doymamış yağ asidi metil esteri ve polimerlerden etkilenmektedir [6, 197, 225, 226]. TS EN 14214 standardında biyodizelin karbon kalıntısı çıkarılmıştır. ASTM D6751 standardında ise biyodizelin karbon kalıntısı en fazla %0.05 (m/m) olarak sınırlandırılmıştır. Deney yöntemi ASTM D4530'a göre yapılmaktadır.

### **1.6.7. Setan sayısı ve indisi**

Setan sayısı, dizel yakıtının tutuşma kalitesinin bir ölçüsü olup setan motoru ile tayin edilir [227]. Biyodizelin setan sayısının dizel yakıtından yüksek olmasından dolayı bir dizel motorda kullanılmasıyla dizel yakıtına göre daha iyi tutuşma kabiliyeti göstermektedir. Biyodizelin yağ asidi zincirleri ve ester grupları ne kadar çok ise setan sayısı da o kadar yüksek çıkmaktadır. Aynı zamanda çift bağlı zincir sayısı setan sayısını olumsuz yönde etkilemektedir [199]. Yüksek setan sayısına sahip yakıtların emisyon değerlerini iyileştirdiği, gürültüyü azalttığı, beyaz duman oluşumunu engellediği ve soğuk hava koşullarında çalışma performansını artırdığı belirtilmektedir [197, 199, 227]. Düşük setan sayısı ise HC ve PM oranlarının artmasına neden olmaktadır. Biyodizelin setan sayısı TS EN 14214 standardına göre 51'den yüksek olmak zorundadır. Deney yöntemi EN ISO 5165'e göre yapılmaktadır.

Setan sayısı ölçümünün pahalı olması nedeniyle setan indisi kavramı ortaya çıkmıştır. Setan indisi, tutuşma kalitesinin bir başka ifadesidir ve yakıtın fiziksel özelliklerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Bu amaçla birçok eşitlik geliştirilmesine

rağmen günümüzde en çok kullanılanı ASTM D4737 (Eşitlik 1.1) nolu standart ile belirtilen setan indisi hesaplama eşitliğidir.

$$SI = 45.2 + 0.0892T_{10N} + (0.131 + 0.901B)T_{50N} + (0.523 - 0.420B)T_{90N} + 0.00049(T_{10N}^2 - T_{90N}^2) + 107B + 60B^2 \quad (1.1)$$

Burada Sİ setan indisini,  $T_{10N} = T_{10} - 215$ ,  $T_{50N} = T_{50} - 260$ ,  $T_{90N} = T_{90} - 310$ ,  $T_{10}$  yakıtın hacimsel olarak %10'unun buharlaştığı andaki sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{50}$  yakıtın hacimsel olarak %50'sinin buharlaştığı andaki sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{90}$  yakıtın hacimsel olarak %90'ının buharlaştığı andaki sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $B = [e^{-3.5(D-0.85)}] - 1$  ve D yakıtın  $15^{\circ}\text{C}$ 'de ki yoğunluğunu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ifade etmektedir [228].

### 1.6.8. Sülfatlanmış kül içeriği

Kül içeriği, yakıt içerisinde bulunan aşındırıcı tozlar ve katalizör artıkları gibi inorganik kirletici ve çözünabilir metal parçaların miktarı olarak tanımlanır. Bu bileşimler yanma sürecinde oksitlenir ve kül formunu alır. Bu kül enjektör, yakıt pompası, piston ve segmanlarda aşınma meydana getirirken aynı zamanda motorda tortu oluşumuna da sebep olur. Motorda yanan yakıtın bıraktığı kül zamanla motor yağına da karışır ve yağ filtresini tıkar. Bundan dolayı daha sık motor yağı ve yağ filtresi değiştirmek gerekebilir [6, 196, 197, 225]. TS EN 14214 standardına göre biyodizelin sülfatlanmış kül içeriği en fazla %0.02 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi ISO 3987'ye göre yapılmaktadır.

### 1.6.9. Su içeriği

Biyodizelin üretim yönteminde kullanılan yıkama ve kurutma işlemleri, biyodizel içerisindeki su oranını belirlemede çok önemlidir [6]. Kurutma işleminin tam olarak gerçekleştirilememesi sonucunda yakıt içerisindeki su miktarı yüksek çıkmaktadır. Biyodizel içerisinde bulunan su, yakıt tanklarında bakteri oluşumuna [196, 229-233], ısı değerinin düşmesine ve böylece daha az güç elde edilmesine, motorun zor çalıştırılmasına [230], yakıt tanklarında ve yakıt pompasında korozyona [230, 234-238], soğuk akış özelliklerinin kötüleşmesine [196], motorun kullanım ömrünün azalmasına [234], yakıtın kimyasal yapısının bozulmasına [233], özgül yakıt tüketiminin artmasına [239] ve biyodizel kalitesinin kötüleşmesine [240] neden

olmaktadır. Yakıtta su bulunması her zaman dezavantajlı değildir. Crookes [241] yakıtta bir miktar su bulunmasının egzoz emisyonlarını düşürdüğünü, Oğuz [40] su-yakıt oranının uygun olması durumunda NO<sub>x</sub> emisyonlarını ve yanma sıcaklığını azaltabileceğini, Kumar ve ark. [242] hayvansal yağ-su emülsiyon yakıtını bir dizel motorunda deneyerek duman koyuluğu, NO<sub>x</sub>, HC ve CO emisyonlarında dizel yakıtına göre azalmalar meydana geldiğini, Weibiao ve ark. [243], Arnas ve ark. [244], Fahd ve ark. [245], Abu-Zaid [246] ve Saravanan ve ark. [247] dizel-su karışımlarında duman koyuluğu, NO<sub>x</sub>, HC ve PM emisyonlarında azalma, yanma veriminde iyileşme olduğunu, Alahmer ve ark. [248] yakıttaki su oranının artışına bağlı olarak yüksek motor hızlarında özgül yakıt tüketiminin arttığını, termik verimin, egzoz gazı sıcaklığının ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Ogunkoya ve ark. [249] atık kızartma yağı biyodizeli (%70)-su (%30) emülsiyon yakıtını bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını atık kızartma yağı biyodizeli ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, atık kızartma yağı biyodizeline göre özgül yakıt tüketiminin ve termik verimin arttığını, tutuşma gecikmesinin uzadığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığını, buna karşın CO emisyonunun arttığını tespit etmişlerdir. Biyodizelin su içeriği TS EN 14214 standardına göre en fazla 500 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 12937'ye göre yapılmaktadır.

#### **1.6.10. Toplam kirlilik**

Biyodizel numunesinde askıda bulunan çözünmeyen bileşiklerin selüloz nitrattan üretilen membran süzgeçten süzülmesi esasına dayanan bu testte, süzgeç heptan ile yıkanır ve kurutulduktan sonra tartılarak kütle farkı hesabına dayanarak toplam kirlilik miktarı tespit edilir. Biyodizelde istenmeyen özelliklerden bir tanesi olan toplam kirlilik, yakıtta yüksek miktarda bulunması halinde enjeksiyon pompasının arızalanmasına ve yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilmektedir [196-199]. Biyodizelin toplam kirlilik miktarı TS EN 14214 standardına göre en fazla 24 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi EN 12662'ye göre yapılmaktadır.

#### **1.6.11. Bakır şerit korozyon**

Depolama tankı ve motor parçalarındaki metaller üzerine olan korozyon karakteristiklerinin tespit edildiği bu testte, %99.9 saflıkta bakır şerit biyodizel

numunesine daldırılır, 50°C’de 3 saat bekletildikten sonra standartta belirtilen referans korozyon şeritleri ile karşılaştırılarak biyodizelin korozyon derecesi tespit edilir. Biyodizel içeriğinde ki kükürt, su, asit ve metal iyonları korozyona neden olmaktadır [196, 250, 251]. Transesterifikasyon reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmemesi ya da yıkamanın yetersiz olması durumunda biyodizel içerisinde gliserol, serbest yağ asidi, alkol ve katalizör gibi artıklar kalabilir. Buda motor parçalarında korozyona ve tortu oluşumuna neden olur [252]. Biyodizelin bakır şerit korozyon derecesi TS EN 14214 standardına göre en fazla sınıf 1 olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 2160’a göre yapılmaktadır.

#### **1.6.12. Oksidasyon kararlılığı**

Oksidasyona karşı kararlılık, biyodizelin uzun süre depolanması sırasında meydana gelen kimyasal değişimlere karşı gösterdiği dirençtir. Biyodizelin oksidasyona uğraması hava ile temas etmesi sonucunda kimyasal değişimler ile olur. Doymamış yağ asidi metil esterlerinin çift bağları oksidasyona yatkındır [6]. Biyodizelin oksidasyon kararlılığı yetersiz ise antioksidantlar kullanılarak standart değerlere ulaşılabilir [197, 198]. Biyodizelin oksidasyon kararlılığı TS EN 14214 standardına göre en az 8 saat olmalıdır. Deney yöntemi EN 14112 ve prEN 15751’e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.13. Asit sayısı**

Asit sayısı (nötralizasyon sayısı, asit değeri) 1 g numune içerisindeki asidik bileşenleri nötralize etmek için gerekli olan KOH miktarıdır [195]. Biyodizelde asidik bileşikler üretim aşamasından arta kalan mineral asitler, esterlerin hidroliz ya da son hidroliz aşamalarından kaynaklanan serbest yağ asitleri, diğer organik asitler ve oksidasyon yan ürünleri şeklinde bulunabilmektedir [253]. Biyodizelin asit sayısının yüksek olması yakıt sisteminde tortu oluşumunun ve korozyonun artacağını göstermektedir [6]. Biyodizelde asit sayısı TS EN 14214’e göre en fazla 0.50 mg KOH/g olmalıdır. Deney yöntemi EN 14104’e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.14. İyot sayısı**

İyot sayısı yakıtın toplam doymamışlığının bir ölçüsü olup biyodizel üretiminde kullanılan yağa göre değişiklik göstermektedir [196]. İyot sayısı alkil çift bağın

reaktivitesine dayanan bir kimyasal parametredir [254]. Yüksek doymamışlık, biyodizelde setan sayısının ve oksidasyon kararlılığının azalmasına neden olmaktadır. Zamanla, yakıttaki iyot sayısının azalması oksidatif parçalanmada artış meydana getirmektedir [255]. İyot sayısının belirlenmesi motorda oluşabilecek problemlerin (enjektörlerde, piston segmanları ve oluklarında polimerizasyon, kalıntı oluşumları) önlenmesi için faydalıdır. İyot sayısının yüksek olması motorun çalışmasını olumsuz yönde etkileyen (karbon kalıntılarının artması, enjektör deliklerinin tıkanması veya yanma odasında hasar meydana gelmesi gibi) ve yağlama kalitesinin azalmasına neden olan çeşitli parçalanma ürünleri ile ilgilidir [254, 256, 257]. Öğüt ve ark. [258] farklı iyot sayılarına sahip soya yağı (126.91 g iyot/100g), ayçiçek yağı (113.22 g iyot/100g) ve pamuk yağı (105.00 g iyot/100g) biyodizellerinin 100 saatlik motor denemeleri sonucunda, enjektörlerde herhangi bir tıkanmanın olmadığını, fakat dizel yakıtı, soya yağı, ayçiçek yağı ve pamuk yağı biyodizellerinin kullanımı sonucunda enjektörlerde kalıntı miktarını sırasıyla 1.59, 2.03, 1.75 ve 4.70 g olarak belirtmişlerdir. Prankl ve Wörgetter [259] keten yağı biyodizeli (182 g iyot/100g), yüksek oleik asitli ayçiçek yağı biyodizeli (100 g iyot/100g) ve bunların karışımlarını bir dizel motorda test ederek değişik iyot sayılarının motor performansı ve motor yağı üzerine etkilerini incelemişlerdir. 250 saatlik deneme sonucunda silindirde, yanma odasında, valflerde ve enjektörlerde gözle görülür bir kalıntı oluşmadığını, iyot sayısının artması ile piston segmanlarında kalıntıların arttığını tespit etmişlerdir. Rao ve ark. [260] farklı iyot sayılarına sahip hindistan cevizi yağı (10 g iyot/100g), palm yağı (52 g iyot/100g), mahua yağı (74 g iyot/100g), karanja yağı (81 g iyot/100g), jatropha yağı (93 g iyot/100g), pirinç kabuğu yağı (100 g iyot/100g) ve susam yağı (110 g iyot/100g) biyodizellerini bir dizel motorda denemeleri sonucunda iyot sayısının artması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, hindistan cevizi yağı ve palm yağı biyodizellerinin ise dizel yakıtından daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonları oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. İyot sayısının 50 g iyot/100g'den büyük olması motor ömrünü azaltabilmektedir. Ancak, soğuk hava koşullarında iyi viskozite karakteristiği gösterdiği belirtilmektedir [260, 261]. Bu nedenle iyot sayısı az olan yağlar biyodizel üretiminde tercih edilmelidir [40, 196]. Biyodizelin iyot sayısı TS EN 14214 standardına göre en fazla 120 g iyot/100g olması gerekmektedir. Deney yöntemi EN 14111 ve EN 16300'e göre yapılmaktadır.

### **1.6.15. Linolenik asit metil esteri**

Gaz kromatografisi cihazı ile belirlenen özelliklerden birisi olan linolenik asit metil esteri, metil heptadekanoat çözeltisi standart alınarak tespit edilir. Ester içerisinde yüksek oranda linolenik asit bulunması motor yağında polimerizasyon riskini artırır [6, 199, 262]. Bu durum da tortu oluşumuna ya da yağlama özelliğinin bozulmasına neden olur [199]. Biyodizelin linolenik asit metil esteri TS EN 14214 standardına göre en fazla %12 (m/m) olması gerekmektedir. Deney yöntemi olarak EN 14103'e göre yapılmaktadır.

### **1.6.16. Çoklu doymamış ( $\geq 4$ çift bağ) metil esterleri**

Çoklu doymamış ( $\geq 4$  çift bağ) metil esterlerinin biyodizelde yüksek oranda bulunması motor yağlarında polimerizasyon riskini artırır [6, 262, 263]. Biyodizelin çoklu doymamış ( $\geq 4$  çift bağ) metil esterleri TS EN 14214 standardına göre en fazla %1 (m/m) olması gerekmektedir. Deney yöntemi EN 15779'a göre yapılmaktadır.

### **1.6.17. Metanol içeriği**

Biyodizeldeki metanol içeriği gaz kromatografisi cihazı ile belirlenir. Biyodizelin ihtiva ettiği yüksek oranda metanol setan sayısının ve parlama noktasının düşmesine, yakıt sisteminde korozyona ve düşük yağlamaya neden olmaktadır [196-199]. Ayrıca metanol, yakıt dağıtım ve araç yakıt sistemindeki bazı parçalara da zarar vermektedir [197, 199]. Biyodizelin metanol içeriği TS EN 14214 standardına göre en fazla %0.20 (m/m) olması gerekmektedir. Deney yöntemi EN 14110'a göre yapılmaktadır.

### **1.6.18. Mono-, Di- ve Tri-gliserit içerikleri**

Yağların genel formülü üç kollu molekül yapısı şeklindedir. Reaksiyon başladığında üç kollu molekül bir kolunu bırakarak digliserit, sonra diğer kolunu bırakarak monogliserit, en sonunda da son kolu bırakarak gliserol haline gelir. Bu aşamalarda kollardan her biri reaksiyonda kullanılan alkol ile birleşerek biyodizel oluşturur [196]. Ancak reaktördeki bütün moleküllerin bu reaksiyonu tamamlaması mümkün değildir ve az da olsa içerisinde mono-, di- ve tri-gliserit molekülleri kalır. Bu değerlerin standardın üzerinde olması durumunda ester içeriği yüzdesinin standardı

yakalaması da çok zordur. Bu yüzden bu değerler raksiyon performansının göstergesi olarak önemlidir. Mono-, di- ve tri-gliserit içerikleri gaz kromatografisi cihazı ile ölçülür. Biyodizelin yüksek oranda gliserit içermesi enjektörlerde, pistonlarda ve valflerde tortu oluşumuna neden olmaktadır [196-198]. Biyodizelin monogliserit, digliserit ve trigliserit içerikleri TS EN 14214 standardına göre sırasıyla en fazla %0.70, 0.20 ve 0.20 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN 14105'e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.19. Serbest gliserol**

Biyodizel içerisindeki serbest gliserol miktarı yakıtın üretim sürecine bağlıdır. Yüksek oranda bulunması gliserolün yeterince ayrıştırılmadığını ya da yıkamanın yetersiz yapıldığını göstermektedir. Serbest gliserol yakıt deposunun ve depolama tanklarının alt kısımlarına çöker. Yüksek oranda serbest gliserol içeren biyodizelin motorda kullanılmasıyla enjektörlerde tıkanma meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı serbest gliserol içeriği standartlar ile sınırlandırılmıştır [197, 198]. Biyodizelin serbest gliserol içeriği TS EN 14214 standardına göre en fazla %0.02 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN 14105 ve EN 14106'ya göre yapılmaktadır.

#### **1.6.20. Toplam gliserol**

Toplam gliserol, serbest gliserol ile mono-, di- ve tri-gliseritlere bağlı gliserollerin toplamıdır ve biyodizelin üretim sürecine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Biyodizelde yüksek oranda bulunması enjektörlerde, pistonlarda, valflerde kalıntı oluşumuna ve enjektörlerin tıkanmasına neden olmaktadır [197, 198]. Biyodizelin serbest gliserol içeriği TS EN 14214 standardına göre en fazla %0.25 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN 14105'e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.21. Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller**

Biyodizelin üretimi sırasında kullanılan katalizör ile yıkamada kullanılan sudan gelebilecek olan iyonların tespit edilmesi için yapılan bir testtir. Na ve K motorda sülfatlanmış kül miktarını artırmakta, Ca ise enjeksiyon pompasının çalışmamasına neden olmaktadır. Bu metaller İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP) ve atomik absorpsiyon spektrometresi ile ölçülebilmektedir [6, 196-199]. TS EN 14214 standardına göre biyodizelde Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller en fazla 5

mg/kg olmalıdır. Deney yöntemleri ise Grup I metaller (Na+K) için EN 14108, EN 14109 ve EN 14538'e göre, Grup II metaller (Ca+Mg) için EN 14538'e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.22. Fosfor içeriği**

Bitkisel ve hayvansal yağlardaki fosfolipitler ile atık kızartma yağlarındaki inorganik tuzlardan gelen fosfor ICP cihazı ile belirlenmektedir. Yakıttaki fosfor egzoz emisyonlarını azaltıcı katalitik konvertörlerin uzun süreli çalışmasına olumsuz etkide bulunmaktadır [6, 196-199]. Bundan dolayı yakıttaki fosfor miktarı TS EN 14214 standardında en fazla 4 mg/kg olarak belirlenmiştir. Deney yöntemi EN 14107 ve EN 16294'e göre yapılmaktadır.

#### **1.6.23. Isıl değer**

Yakıtın ısıl değeri (kalori değeri, net yanma ısısı), birim hacminin veya kütesinin verdiği enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak motor performansı denemelerinde yakıtın alt ısıl değeri önemlidir. Çünkü motordaki yanma sonu egzoz gazı sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için yakıtın alt ısıl değeri dikkate alınmaktadır. Isıl değer motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt kalitesi için bir kriterdir. Yakıtın enerji miktarının bir ölçüsü olduğundan ısıl değerinin yüksek olması istenir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artmaktadır [6, 40, 79].

#### **1.6.24. Soğuk akış özellikleri**

Biyodizellerin kullanılmasını kısıtlayan en önemli faktörlerden olan soğuk akış özellikleri yakıtın düşük sıcaklıklardaki gösterdikleri davranışlardır [79]. Biyodizelin kristalleşme sıcaklığı genellikle dizel yakıtından daha yüksektir ve bu yüzden yüksek sıcaklıklarda kristal oluşumu soğuk hava koşullarında, yakıtın pompalanmasında ve motor performansında problemlere neden olmaktadır [264]. Yakıtların kış şartları için en önemli akış özellikleri bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkanma noktalarıdır [79]. Bu özellikler, doğal olarak biyodizelin kullanımında zorluklara neden olduğundan üzerinde çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır [6]. Biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için çeşitli katkı maddeleri ile harmanlama [265-267], vinterizasyon [268, 269], farklı alkollerin kullanımı [270] ve yakıt bileşiminin



modifikasyonu [271] gibi farklı yöntemler uygulanmaktadır. Biyodizel üretiminde tercih edilen düşük maliyetli yağlardan olan hayvansal ve atık kızartma yağları yüksek oranda doymuş yağ asitleri içerdiği için yüksek sıcaklıklarda kristalize olabilmektedir [79]. Palmitik (16:0), stearik (18:0), araşidik (20:0), behenik (22:0), oleik (18:1), linoleik (18:2) ve linolenik (18:3) asitlerin erime noktaları sırasıyla 28, 38, 46, 53, -20, -43 ve -52°C'dir [272]. Biyodizel ve dizel karışım yakıtları hazırlanırken 4°C'nin üzerinde harmanlanması önerilmektedir. Soğuk havalarda harmanlama yapılırken biyodizel dizel yakıtının üzerine eklenmesi, sıcak havalarda harmanlama yapılırken ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir [47].

*Bulutlanma noktası (BN)*; sıvı durumdaki biyodizelde wax (parafinik hidrokarbon) kristallerinin ilk görüldüğü andaki sıcaklık olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle de soğuk iklim şartlarında kalan yakıtta, küçük katı parçacıklarının görüldüğü anı temsil eder. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıt sorunsuz kullanılabilir, eğer sıcaklık bu değerin altına düşerse zamanla filtre tıkanır [6].

*Akma noktası (AN)*; yakıtın belirlenmiş standart şartlar altında soğutulurken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır [79]. Bu özellik kullanıcılardan daha çok pompalanabilmesini ifade eden akaryakıt istasyonları ve dağıtıcılar için anlam taşır [267].

*Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)*; belirli bir sıcaklıkta 20 mL'lik yakıtın 45 µm nominal açıklığı bulunan bir filtreden 60 saniye sürede geçmesidir. Bu şart sağlanamayınca kadar yakıtın her 1°C sıcaklık düşmesinde test tekrarlanır. Yakıtın bu koşullarda filtreden geçtiği en düşük sıcaklık SFTN'dir.

İklime bağlı özellikler için, ülkelerin düzenleme yapabilmelerine imkân vermek amacı ile iklime göre tip seçenekleri verilmiştir. Seçenekler, ılıman iklimler için 6 SFTN tipi ve kutup iklimleri için 5 SFTN tipi olarak belirlenmiştir. İklime bağlı özellikler Tablo 1.25.'te verilmiştir ve biri ılıman iklimlere göre (a) ve diğeri kutup iklimlerine göre (b) olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Biyodizel, alternatif dizel yakıtı olarak Tablo 1.25.'te verilen deney yöntemlerine göre deneye tabi tutulduğunda bu çizelgelerde verilen sınırları sağlamalıdır. Ülkemizde yaz mevsimi

için (1 Nisan-30 Eylül±15 gün) Tip A, kış mevsimi için de (Yaz dönemi dışında kalan dönem) Tip E kabul edilmiştir [273].

**Tablo 1.25.** İklima bağlı özellikler ve deney yöntemleri [273]

(a) Ilıman iklimler								
Özellik	Birim	Sınırlar						Deney yöntemi
		Tip A	Tip B	Tip C	Tip D	Tip E	Tip F	
SFTN	°C, en çok	+5	0	-5	-10	-15	-20	EN 116 EN 16329
(b) Kutup iklimleri								
Özellik	Birim	Sınırlar					Deney yöntemi	
		Tip 0	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4		
SFTN	°C, en çok	-20	-26	-32	-38	-44	EN 116 EN 16329	

### 1.7. Biyodizelin toksik etkileri

Biyodizelin toksik bir etkisi bulunmamaktadır [79]. Biyodizel için öldürücü doz 17.4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı iken sofrata tuzu için bu oran sadece 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olarak belirtilmektedir. Yani sofrata tuzu biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir [47]. İnsanlar üzerinde yapılan testlerde elle temas halinde ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Biyodizelin toksik herhangi bir etkisi olmamasına karşın biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımında dizel yakıtı için zorunlu olan standart koşulların (havalandırma sistemi, göz koruyucular vb.) sağlanması gerekmektedir [79]. Ayrıca biyodizelin suda yaşayan canlılara karşı da herhangi bir toksik etkisi yoktur. Buna karşın 1 L ham petrol 1 milyon L suya toksik etkide bulunur [274].

### 1.8. Biyodizelin biyobozunabilirliği

Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolay ve hızlı bir şekilde parçalanarak bozunur ve 10,000 mg/L'ye kadar herhangi bir mikrobiyolojik etki göstermezler [47]. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliğinin şekere benzediği belirlenmiştir [79]. Özellikle Avrupa ülkelerinde hassas tarım arazilerinde, deniz kenarlarında ve orman arazilerinde biyodizelin kullanımı mecbur hale getirildiği için biyodizelin biyobozunabilir özelliği önem taşımaktadır [40, 79]. Demirbaş [275] 30 gün sonunda biyolojik olarak %91.2 ile en fazla ayçiçek yağı biyodizelinin ayrıştığını, bunu sırasıyla %87.9 ile kanola yağı biyodizeli, %84.7 ile soya yağı biyodizeli, %80.4 ile fındık yağı biyodizeli ve %24.5 ile dizel yakıtının izlediğini belirtmiştir.

## 1.9. Dizel ve biyodizel standartları

Biyodizel kullanımının yaygınlaşması ilgili standartları da beraberinde getirmiştir. Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği ve ASTM D6751 (Tablo 1.26.) Amerikan standartları yürürlükte. Ülkemizde biyodizel ile ilgili Avrupa Birliği standardı temel alınarak TS EN 14214 (Tablo 1.27.) standardı hazırlanmıştır. Dizel yakıtı için ise TS EN 590 (Tablo 1.28.) standardı kullanılmaktadır.

**Tablo 1.26.** ASTM D6751 standardında yer alan testler ve yöntemleri [276]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi	
		En az	En çok		
Kükürt	S15	mg/kg	-	15	D5453
	S500	mg/kg	-	500	D5453
Soğuk halde filtrelenebilme		saniye	-	200	D7501
Monogliserit		%(m/m)	-	0.40	D6584
Grup II (Ca+Mg) metaller		mg/kg	-	5	EN 14538
Parlama noktası		°C	93	-	D93
Alkol Kontrolü	Metanol içeriği	%(m/m)	-	0.2	EN 14110
(Bir tanesi karşılanmalıdır)	Parlama noktası	°C	130	-	D93
Su ve tortu		% v/v	-	0.05	D2709
Kinematik viskozite, 40°C'ta		mm <sup>2</sup> /s	1.9	6.0	D445
Sülfatlanmış kül içeriği		%(m/m)	-	0.02	D874
Bakır şerit korozyon		Derece	No.3	-	D130
Setan sayısı			47	-	D613
Bulutlanma noktası		°C	Bölgesel		D2500
Karbon kalıntısı		%(m/m)	-	0.05	D4530
Asit sayısı		mg KOH/g	-	0.50	D664
Serbest gliserol		%(m/m)	-	0.020	D6584
Toplam gliserol		%(m/m)	-	0.240	D6584
Fosfor içeriği		%(m/m)	-	0.001	D4951
Distilasyon sıcaklığı (%90 Geri Kazanım)		°C	-	360	D1160
Grup I (Na+K) metaller		mg/kg	-	5	EN 14538
Oksidasyon kararlılığı		saat	3	-	EN 15751

**Tablo 1.27.** TS EN 14214 standardında yer alan testler ve yöntemleri [273]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Viskozite, 40°C'de	mm <sup>2</sup> /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 2719, EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846, EN ISO 20884, EN ISO 13032
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı, 110°C'de	saat	8.0	-	prEN 15751, EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111, EN 16300
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12.0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	%(m/m)	-	1.0	EN 15779
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14110
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0.70	EN 14105
Diğliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	EN 14105, EN 14106
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0.25	EN 14105
Grup I (Na+K) metaller	mg/kg	-	5.0	EN 14108, EN 14109, EN 14538
Grup II (Ca+Mg) metaller	mg/kg	-	5.0	EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4.0	EN 14107, EN 16294

**Tablo 1.28.** TS EN 590 standardında yer alan testler ve yöntemleri [277]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165, EN 15195, EN 16144
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m <sup>3</sup>	820	845	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	%(m/m)	-	8	EN 12916
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	EN ISO 20846, EN ISO 20884, EN ISO 13032
Mangan içeriği	31.12.2013'e kadar 01.01.2014'ten sonra		6.0 2.0	prEN 16576
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 2719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Kül içeriği	%(m/m)	-	0.01	EN ISO 6245
Su içeriği	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m <sup>3</sup> saat	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı (wsd 1.4), 60°C'de	µm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite, 40°C'de	mm <sup>2</sup> /s	2	4.5	EN ISO 3104
Damıtma				
250°C'de elde edilen, %(v/v)	%(v/v)	-	<65	EN ISO 3405
350°C'de elde edilen, %(v/v)	%(v/v)	85	-	EN ISO 3924
%95'in (v/v) elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	
Yağ asidi metil esteri (YAME) içeriği	%(v/v)	-	7	EN 14078
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-15 (Kış)	+5 (Yaz)	EN 116 EN 16329

### 1.10. Biyodizelde karışım oranları

Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik gösteren biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla her oranda harmanlanarakta kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Saf biyodizel B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir [38, 193, 278]. Ancak, iki karışım oranı önem arz etmektedir. Bunlar B20 ve B2 karışım yakıtlarıdır [279]. Biyodizel-dizel karışım yakıtlarından B20'nin tercih edilmesinin nedenleri arasında; B100 kullanımını karşılayabilecek yeterli hammadde kaynağı olmaması, müşteri açısından maliyetlerin en aza indirilmesi, egzoz emisyonlarını azaltması, biyodizel üretiminde yakıt kalitesini bozan artıkları (gliserol, su, alkol vb.) engelleyebilmesi, biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı ve yine çeşitli malzemeler ile uyumluluk konusunda %20 karışım oranının sınır değer olması, yağlama özelliğini iyileştirmesi ve bazı bitkisel yağlardan (palm, pamuk vb.) üretilen biyodizellerin soğuk akış özelliklerinin kötü olmasından dolayı dizel yakıtı ile %20 oranında karıştırılarak bulutlanma, soğuk filtre tıkanma ve akma noktalarının düşürmesi sayılabilir [6]. B2 karışım yakıtı ise

yağlama özelliğini iyileştirmesinden dolayı önemlidir [279]. Gerek tarım makineleri üreticileri, gerekse otomobil üretici firmaları biyodizeli yakıt olarak araçlarında kullanma garantisi vermektedirler. Çeşitli firmaların biyodizel için verdikleri garanti bilgileri Tablo 1.29.'da verilmiştir.

**Tablo 1.29.** Çeşitli firmaların biyodizel kullanımı için verdiği garanti bilgileri [280]

Firma	Taşıt	Tarih
Audi	Otomobil	1996'dan beri tüm TDI modeller
Case-IH	Traktör	1971'den beri tüm modeller
BMW	Otomobil	525 TDS 1997'den beri, 3 Serisi ve 5 Serisi 2001'den beri
Class	Biçerdöver, traktör	Garanti bulunmaktadır.
Faryman Diesel	Motor	Garanti bulunmaktadır.
Fiatagri	Traktör	Yeni modeller
Ford AG	Traktör	Yeni modeller
Holder	Traktör	Garanti bulunmaktadır.
Iseki	Traktör	3000 ve 5000 Serileri
John Deere	Traktör	1987'den beri
John Deere	Biçerdöver	1987'den beri
KHD	Traktör	Garanti bulunmaktadır.
Kubota	Traktör	OC serisi, Super Mini, O5, O3
Lamborghini	Traktör	1000 Serisi
Mercedes-Benz	Otomobil	C Serisi, E220, C200, 220 CDI
Mercedes-Benz	Kamyon, otobüs	BR 300, 400 Serileri, Unimog 1988'den beri
Nissan	Otomobil	Primera 2001'den beri
Same	Traktör	1990'dan beri
Seat	Otomobil	1996'dan beri
Skoda	Otomobil	1996'dan beri tüm TDI modeller
Steyr	Traktör	1988'den beri
Steyr	Bot	M 16 TCAM ve M 14 TCAM Serileri
Valmet	Traktör	1991'den beri
Volkswagen	Otomobil	1996'dan beri tüm TDI Serileri
Volkswagen	Otomobil	Tüm yeni SDI Serileri (Euro 3)
Volvo	Otomobil	S80-D, S-70-TDI ve V70-TDI

### 1.10.1. Biyodizelde karışım oranlarının yakıt özelliklerine etkisi

Farklı oranlarda harmanlanan aspir yağı biyodizeli-dizel yakıtı karışımlarının yakıt özellikleri Tablo 1.30.'da verilmiştir. Karışım yakıttaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak yoğunluk, kinematik viskozite, BN, SFTN, AN, donma noktası (DN), parlama noktası, su içeriği ve renk değerlerinin arttığı, buna karşın ısı değer ve pH'ın ise azaldığı görülmektedir.

**Tablo 1.30.** Aspir yağı biyodizeli-dizel yakıt karışımlarının yakıt özellikleri [62]

Yakıt	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematik viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Isıl değer (MJ/kg)	BN (°C)	SFTN (°C)	AN (°C)	DN (°C)	Parlama noktası (°C)	Su içeriği (mg/kg)	Renk	pH
Dizel	836.49	2.751	46.862	-10	-17	-32	-38	60	38.594	0.6	6.377
B10	841.71	3.045	46.335	-10	-16	-30	-35	62	59.453	0.7	6.321
B20	848.73	3.180	45.842	-9	-15	-28	-32	64	82.979	0.8	6.294
B30	854.27	3.442	45.368	-9	-14	-26	-30	66	104.90	0.9	6.261
B40	859.72	3.764	44.998	-8	-13	-24	-28	68	129.77	1.1	6.221
B50	865.46	4.004	44.365	-8	-12	-22	-26	70	152.91	1.3	6.199
B60	869.30	4.206	43.804	-7	-12	-20	-23	76	183.14	1.4	6.152
B70	874.76	4.514	43.255	-7	-11	-19	-21	82	206.84	1.5	6.112
B80	879.20	4.790	42.925	-6	-10	-17	-19	97	228.67	1.5	6.099
B90	884.86	5.187	42.508	-6	-10	-15	-18	134	236.93	1.6	6.074
B100	890.73	5.549	41.811	-5	-9	-14	-16	171	242.99	1.6	6.051

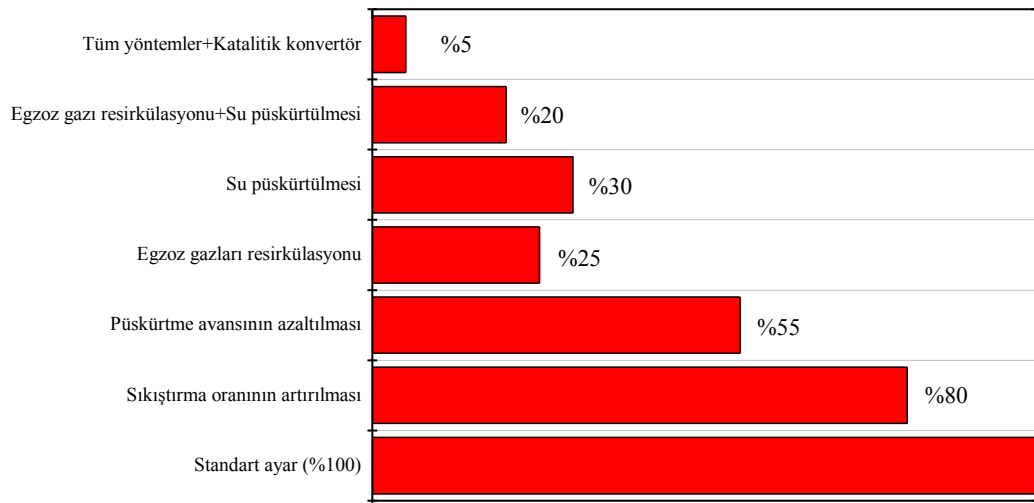
### 1.10.2. Biyodizelde karışım oranlarının egzoz emisyonlarına etkisi

Karışım oranlarına bağlı olarak egzoz emisyonlarının dizel yakıtına göre yüzdesel değişimi Tablo 1.31.'de verilmiştir. Saf biyodizel ve biyodizel-dizel karışım yakıtlarının bir dizel motorda kullanılmasıyla genel olarak PM, HC, CO, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığı, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığı görülmektedir.

**Tablo 1.31.** Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarının dizel yakıtının egzoz emisyonları ile karşılaştırılması [281, 282]

Yakıt	Egzoz emisyonları (%)					
	PM	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
B100	-47.19	-67.36	-48.11	10.29	-100	-76.40
B90	-43.70	-63.49	-44.59	9.21	-90	-68.76
B80	-39.99	-59.16	-40.84	8.15	-80	-61.12
B70	-36.04	-54.33	-36.83	7.10	-70	-53.48
B60	-31.82	-48.92	-32.54	6.05	-60	-45.84
B50	-27.33	-42.86	-27.97	5.02	-50	-38.20
B40	-22.54	-36.10	-23.08	4.00	-40	-30.56
B30	-17.43	-28.53	-17.87	2.98	-30	-22.92
B20	-11.99	-20.06	-12.30	-	-20	-15.28
B10	-6.18	-10.59	-6.35	-	-10	-7.64
B5	-3.14	-5.44	-3.23	-	-5	-3.82
B2	-1.27	-2.21	-1.30	-	-2	-1.53
B1	-0.64	-1.11	-0.65	-	-1	-0.76

Biyodizel kullanımı ile artış gösteren NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasında kullanılan değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlar yakıtta (alternatif yakıt, düşük azotlu yakıt, yakıt katkıları), motorda (yanma, süpürme havası, su püskürtülmesi, egzoz gazı resirkülasyonu) ve egzoz gazlarında (katalitik konvertör) alınacak önlemler olarak sıralanabilir [18]. Dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri Şekil 1.16.'da verilmiştir.



**Şekil 1.16.** Dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması [18]

### 1.10.3. Biyodizelde karışım oranlarının motor performansına etkisi

Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor performanlarının dizel yakıtına göre değişimi Tablo 1.32.'de verilmiştir. Genel olarak biyodizel oranının artışına bağlı olarak dizel yakıtına göre motor gücü değerlerinin azaldığı, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise arttığı görülmektedir.

**Tablo 1.32.** Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor performanlarının dizel yakıtının motor performansları ile karşılaştırılması [283]

Yakıt	Motor performansı (%)	
	Güç	Özgül yakıt tüketimi
B5	-1.3	2.0
B10	-1.3	3.1
B20	-3.0	4.7
B50	-5.8	8.9
B100	-8.1	15.1

### 1.10.4. Biyodizelde karışım oranlarının yağlamaya, motor aşınmasına ve malzemelere etkisi

Motorun daha rahat çalışmasını sağlayan özelliklerden bir tanesinde yakıtın yağlayıcılık özelliğidir. Motorda hareket eden parçaların yağlanması yakıt ile sağlanmaktadır. Yakıtın yağlayıcılık özelliğinin yetersiz olması düşük basınca, aşınmalara, enjektörlerde yağlama problemlerine ve motor performansının azalmasına neden olmaktadır [6, 284-286]. 1993 yılından önce 5000 ppm düzeyinde olan dizel yakıtındaki kükürt oranı, çevreci gerekçeler nedeniyle 500 ppm'in altına düşürülmesi EPA tarafından mecburi hale getirilmiştir. Petrol rafinerilerinin kullandığı ileri teknoloji ile bu değer dahada azaltılarak 1 Haziran 2006'dan itibaren 15 ppm düzeyine indirilmiş ve 2010 yılında AB'de kükürt oranının 10 ppm'in altına düşürülmesi ile ilgili düzenlemeler yapılmıştır [287, 288]. Dizel yakıtlarından kükürt oranının düşürülmesi egzoz emisyonlarını iyileştirirken yakıt tarafından yağlanan enjeksiyon pompasının hareketli parçaları ile enjektörlerde yağlama problemleri ve motor performansının düşmesi gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [287, 289, 290]. Yağlayıcılık testleri 15 ppm kükürt içeriğine sahip yakıtların 500 ppm kükürt içeriğine sahip yakıtlara oranla yağlayıcılık özelliğinde önemli oranda azalmaların olduğunu ortaya koymuştur [291-293]. Dizel yakıtına kükürt içermeyen biyodizelin belirli miktarlarda harmanlanması ile yağlayıcılık sorunun giderileceği ve motor performansında bir miktar artışın meydana gelebileceği bildirilmiştir [289]. Motorlarda yağ film oluşturma kabiliyetleri incelendiğinde dizel yakıtının yağ film oluşturma kabiliyeti %32 iken, dizel yakıtına %1 oranında biyodizel harmanlanması

ile bu oran %65'e ve %20 oranında biyodizel harmanlaması ile de bu oran %93'lere ulaşmaktadır [6]. Dizel, biyodizel ve biyodizel-dizel karışım yakıtlarının High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) test metoduyla ölçülen yağlayıcılık değerleri Tablo 1.33.'te verilmiştir.

**Tablo 1.33.** Biyodizel-dizel karışım yakıtlarının yağlayıcılık değerleri [294]

Yakıt	Birim	Karışım oranları (%)					
		0	0.4	1	2	20	100
No.1 dizel	µm	671	649	500	355	318	314
No. 2 dizel		536	481	321	322	314	314

Malzemelerin ömrü açısından önemli parametrelerden biriside aşınmadır. Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin, mekanik etkenler etkisiyle ve istenilmediği halde kopup ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Aşınan yüzeyler ilk şekillerini kaybeder, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve istenilen görevi normal olarak yerine getiremezler [295]. Motor aşınması saptaması için motorlarda yağ belli periyotlar sonucunda kontrol edilmekte ve içindeki metal miktarları ölçülmektedir [6]. Aspir biyodizeli, dizel ve biyodizel-dizel karışım yakıtlarıyla yapılan bir denemede her 20 saat sonunda motor yağlama yağı analizi yapılarak aşınma elementlerinin miktarı incelenmiş ve motor yağlama yağı içindeki aşınma elementlerinin değerleri Tablo 1.34.'te verilmiştir. Sonuç olarak, biyodizel kullanımı ile motor yağlama yağı içindeki kurşun, alüminyum, krom ve bakır elementlerinin dizel yakıtına göre azaldığı, demir elementinin ise dizel yakıtından %9.7 oranında yüksek çıktığı belirtilmiştir [296].

**Tablo 1.34.** Motor yağlama yağı içindeki aşınma elementlerinin değerleri [296]

Numune	Saat	Demir (ppm)	Kurşun (ppm)	Alüminyum (ppm)	Krom (ppm)	Bakır (ppm)
Dizel	20	78.12	2.34	30.29	11.55	6.05
	40	123.15	2.48	33.39	11.75	5.2
	60	157.1	2.69	41.28	12.36	7.81
	80	167.86	3.01	51.667	15.98	12.05
	100	181.88	3.65	73.73	19.15	16.05
B2	20	85.48	2.31	32.64	12.1	7.07
	40	133.27	2.4	33.26	12.97	7.65
	60	162.77	2.51	40.31	12.99	9.71
	80	169.74	2.9	49.01	13.4	10.03
	100	187.89	3.4	72.95	15.7	14.58
B20	20	98.21	2.21	28.91	10.84	5.06
	40	132.02	2.3	35.11	12.11	6.5
	60	164.14	2.35	39.03	13.96	7.43
	80	179.07	2.63	47.4	15.07	10.74
	100	190.66	2.69	70.16	17.65	14.71
B100	20	90.33	2.06	35.61	10.02	6.01
	40	141.27	2.21	38.01	11.81	6.2
	60	178.81	2.25	38.51	13.45	6.9
	80	189.24	2.33	45.36	15.69	8.99
	100	199.56	2.48	49.19	16.74	11.67
Yağlama yağı	0	72.36	1.94	27.21	9.65	4.83



Biyodizel taşıma ve depolama açısından güvenli bir yakıttır. Dizel yakıtının taşınması sırasında güvenliğini artırmak amacıyla içerisine belli oranlarda biyodizel karıştırılması uygulamaları yapılmaktadır. Ancak, biyodizelin kara yolundaki asfaltı yumuşatma ve eritme etkisi olduğundan depolara ve tanklara biyodizel doldurulurken dikkatli olunması gerekmektedir. Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorunla karşılaşılması beklenmemektedir. Soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en fazla 6 ay süreyle depolanabileceği belirtilmektedir [297]. Orta dereceli bir çözücü olan biyodizel, boyalı yüzeyler ile temas etmesi durumunda boyayı çözebilir. Biyodizelin bu özelliğinden dolayı kullanılmadan önce araç yakıt depolarının temizliğinin ve bakımının yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde depodaki ve yakıt hatlarındaki dizel yakıtından kaynaklanan tortuları çözerek pompa arızasına, yakıt filtresi ve enjektörlerde tıkanmalara neden olabilir [6, 40, 57, 297]. Ayrıca, depolama yapılmadan önce yakıt deposundaki su uzaklaştırılmalıdır [57].

Biyodizel pirinç, bakır, bronz, kurşun, çinko ve kalay ile okside olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Pirinç regülatörler, bakır borular ve rakorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Zarar görmüş parçalar paslanmaz çelik ya da alüminyum ile değiştirilmelidir [40, 95]. Aynı zamanda, yakıt sisteminde bulunan doğal ve nitril kauçuk esaslı hortum, yakıt pompası diyaframı gibi malzemelerde şişme, sızdırma, bozulma riski ortaya çıkmaktadır [6]. Biyodizelin çeşitli malzemelerle uyuşabilirliği Tablo 1.35.'te verilmiştir.

**Tablo 1.35.** Biyodizelin çeşitli malzemelerle uyuşabilirliği [57]

Materyal	Yakıt	Dizel Yakıtına Göre Malzemeye Etkisi
Teflon	B100	Küçük Değişme
Naylon 6/6	B100	Küçük Değişme
Nitril	B100	%20 Sertlik Azalması
	B100	%18 Şişmede Artış
Viton A401-C	B100	Küçük Değişme
Viton GFLT	B100	Küçük Değişme
Fluorosilicon	B100	Sertlikte Küçük Değişme
	B100	%7 Şişmede Artış
Polyurethane	B100	Sertlikte Küçük Değişme
	B100	%6 Şişmede Artış
Polypropylene	B100	%10 Sertlikte Azalma
	B100	%8-15 Şişmede Artış
Polyvinyl	B100	Çok Kötü
	B50	Kötü
	B40	Kötü
	B30	Kötü
	B20	Aynı
	B10	Aynı
Tygon	B100	Kötü

Biyodizel nemli ve ılıman iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi olarak biyosit ilave edilmelidir. Biyosit depo içerisindeki mikroorganizmaları yok eden sıvı formda bir zehirdir. Biyosit miktarı 50-60 g olması gerekmektedir. Dökülen bu miktar depo 3 defa boşalana kadar etkisini sürdürebilmektedir. Eğer dizel motor 2 haftadan daha uzun bir süre kullanılmayacak ise deponun yakıtla doldurulması ve depo içerisine 50-60 g biyosit veya biyostat konulması gerekmektedir. Biyostat, ılıman ve nemli bölgelerde bakteri gelişimini mümkün mertebe engellemek için yakıt içerisine periyodik olarak ilave edilmelidir. Uzun süreli depolanmış biyodizeli kullanmadan önce mutlaka pH ve özgül ağırlık değerleri ölçülmeli ve pH değerinin 7-10 sınırları içinde olduğu, özgül ağırlığının da  $0.9 \text{ g/cm}^3$ 'ü aşım aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel doldurulan yakıt depoları mümkün olduğu sürece dolu tutularak hava ile temasını en aza indirmek gerekmektedir [297].

#### **1.11. Sarı hardal (*Sinapis alba* L.) (Cruciferae)**

Haçlılar (turpgiller) familyasından olan hardal, hem yağ hem de baharat bitkisi olarak bilinmektedir. 0.2-1.5 m boylarında, beyaz veya sarı çiçekli, yıllık otsu bir bitki olan hardalın, beyaz hardal ve siyah hardal başta olmak üzere 10 kadar türü bulunmaktadır [6, 298]. Beyaz hardal, sarı hardal olarak da adlandırılmaktadır [299]. Sarı hardalın vatanı kesin olarak bilinmemekle beraber çok büyük bir ihtimal ile vatanı, Hindistan'ın doğusundan, Kuzey Afrika'ya, Mısır'dan Kanarya Adaları'na kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Sarı hardal, Eski Mısırlılar tarafından yağı için kullanılmıştır. Eski Yunanlılar tarafından da yeşil bitkisinden sebze olarak faydalandığı bilinmektedir [298].

Sarı hardal, iğ şeklinde ince bir kazık köke sahiptir. Kök sistemi kolza ve yağ şalgamından zayıftır. 40-50 cm derine ve 40-70 cm yanlara yayılabilmektedir. Sapı 30-120 cm arasında boylanabilmektedir. Fakat çoğunlukla ve ortalama 40-70 cm kadar yükselmektedir. Tohumları sarımsı-beyaz, fildişi rengindedir. Çapı 2-2.5 mm kadar ve bin dane ağırlığı da 3-6 g'dır [298]. Sarı hardal bitkisinin çeşitli görüntüleri Şekil 1.17.'de görülmektedir.



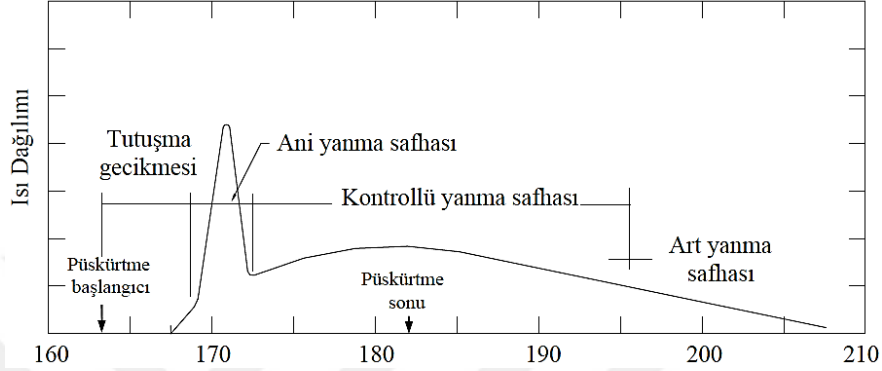
Şekil 1.17. Sarı hardal bitkisi [300, 301]

### 1.12. Dizel motorlarda yanma

Yanma, yakıtın bünyesinde bulunan karbon ile hidrojenin oksijen ile kimyasal bir tepkime sonucu birleşmesi olayıdır. Bu tepkime sırasında yakıt içerisindeki kimyasal enerji açığa çıkar. Bu enerjinin büyük bir kısmı ısı (sıcak gazlar), geri kalan kısmı ise elektromanyetik dalgalar (ışık), elektrik (çevreye saçılan elektronlar ve iyonlar) ve mekanik enerji (ses) şeklinde çevreye yayılır. Fakat elektrik ve mekanik enerji şeklinde çok az miktarda enerji çıktığı için genellikle ihmal edilmektedir. Aynı zamanda yanma sonucunda açığa çıkan ışık şeklindeki elektromanyetik enerjinin toplam enerji içerisindeki payı da çok düşüktür [27, 302]. Yanma için yakıt ve oksijeninin yanı sıra ortam sıcaklığının yeterli seviyede olması gerekmektedir. Eğer ortam sıcaklığı düşük ise yanma gerçekleşmez [302]. Dizel motorlarda yanma, yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü andan başlayarak egzoz subabının açıldığı ana kadar geçen zamanda meydana gelen karmaşık fiziksel ve kimyasal olaylar temel alınarak incelenmektedir [303].

### 1.12.1. Dizel motorlarda yanma periyotları

Yanma olayı tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma (ani yanma), kontrollü yanma ve art yanma safhalarından oluşmaktadır. Dizel motorlarda yanma diyagramı Şekil 1.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Dizel motorlarda yanma diyagramı [303]

#### 1.12.1.1. Tutuşma gecikmesi

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt yanma odasına püskürtülmekte ve hava ile karışarak buharlaşmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi püskürtme başlangıcından, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği, bir başka ifadeyle ani basınç artışının görüldüğü ana kadardır. Bu sürede yakıtın yanmaya hazırlanması için gerekli olan fiziksel ve kimyasal işlemler meydana gelmektedir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın basıncı ve sıcaklığı ile sıcaklığı sıkıştırma zamanında yükseltilmiş hava arasında bir sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yakıtın buharlaşması sırasında ısının kendi üzerine akışını bu sıcaklık farkı sağlamaktadır. Bu transfer sırasında çekilen ısı, silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç artışını bir miktar yavaşlatır [304].

#### 1.12.1.2. Kontrolsüz yanma (Ani yanma safhası)

Tutuşma gecikmesi süresince silindire alınan yakıt buharlaşmaktadır. Bu süre boyunca yakıt zerrelere daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha ideal bir karışım meydana getirirler. Aynı zamanda yanma odasına girmekte olan yakıtın da kısmen yanması nedeniyle basınç ve sıcaklıkta ani bir yükseliş görülür. Yakıt püskürtme işlemi bu safhada devam edebileceği gibi daha önce de kesilebilir. Bu bölgedeki basınç artış oranı tutuşma gecikmesi süresi, püskürtme oranı, atomizasyon kalitesi ve püskürtülen yakıt miktarı tarafından belirlenmektedir. Normal şartlarda

çalışan bir dizel motorda ortalama basınç artışı 3-5 bar/°Krank mili açısı (KMA)'nı geçmemelidir. Bu değerin üzerindeki basınç artış oranı vurutuya neden olmaktadır. Bir dizel motorda en iyi yakıt ekonomisi çevrimin maksimum basıncının krankın üst ölü noktayı 6-10° geçtiği anda elde edilmesiyle gerçekteşir [304].

#### **1.12.1.3. Kontrollü yanma**

Kumandalı yanma olarakta bilinen kontrollü yanma, maksimum gaz sıcaklığına ulaşılan krank açısında sonra erer. Yakıt püskürtülmesi genellikle bu periyot öncesinde tamamlanır. Kontrollü yanma bölgesindeki sıcaklık artışı yanmanın ikinci safhasına göre daha yavaştır. Çünkü oksijen miktarı azalmış ve karışıma yanma ürünleri ile seyreltilmiştir. Buna rağmen sıcaklık artışı bu süre boyunca devam etmektedir. Kontrollü yanma süresi yakıt özelliklerine, dolgunun türbülans derecesine ve hava fazlalık katsayısına bağlıdır. En avantajlı çalışma durumunda yanma sonu sıcaklığı krank üst ölü noktayı 20-35° geçe en yüksek değerine ulaşır [304].

#### **1.12.1.4. Art yanma**

Sonradan yanma ya da genişleme kursunda yanma olarakta isimlendirilmektedir. Maksimum yanma sıcaklığından sonraki safhadır. Art yanma tüm dizel motorlarda meydana gelmektedir. Art yanmanın süresi yüksek hızlı motorlarda, düşük hızlı motorlara oranla daha uzun gerçekteşir. Sonradan yanma, egzoz gazlarının sıcaklığını yükseltir ve soğutmaya daha fazla ısı transferi gerçekteşirerek yakıt ekonomisini kötüleştirir. Buradaki ısı kayıpları, türbülansın artırılması ve buna bağlı olarak yanmanın daha etkinleştirilmesi suretiyle düşürülebilir [304].

#### **1.12.2. Dizel motorlarda yanmaya etki eden parametreler**

Dizel motorlarda çalışma parametrelerinin yanma hızı ve basınç yükselme hızı gibi performans faktörlerine etkisi yanma odasının ve enjeksiyon sisteminin tasarımına bağlıdır. Püskürtme avansı, motor hızı, yakıt/hava oranı, sıkıştırma oranı, giriş basıncı, soğutucu akışkan ve emme havası sıcaklıkları, püskürtülen yakıt miktarı, yakıt özellikleri, motor büyüklüğü, aşırı doldurma, püskürtme karakteristikleri, girdap hareketleri ve egzoz gazı %'si yanmaya etki eden parametrelerdir [305].

### **1.12.2.1. Püskürtme avansı**

Püskürtme avansı büyüdükçe püskürtmenin başlangıç anında ortam basıncı ve sıcaklığı düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi gittikçe artar. Bu durumda basınç yükselme hızı yüksek olmasına rağmen maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşük olur, verim düşer ve motorun sert çalışmasına neden olur. Tutuşmanın daha da gecikmesi durumunda ise piston üst ölü noktadan iyice uzaklaşmış olacağından yanma son derece kötü ve verim de çok düşük olur. Avans küçülünce tutuşma da geç olacağından piston üst ölü noktadan uzaklaşmış olur. Tutuşma gecikmesi süresi azalır. Bu durumda motor daha yumuşak çalışır. Fakat yanmanın büyük bir bölümü genişleme fazında gerçekleşir, dolayısıyla güçte azalma meydana gelir [305, 306].

### **1.12.2.2. Motor devri**

Motor devrinin artması ile tutuşma gecikmesi KMA cinsinden artmakta ancak saniye cinsinden azalmaktadır. Motorlarda önemli olan KMA olduğundan yüksek devirlerde motor daha sert çalışır. Devir sayısı artınca yanma koşulları iyileşmekte fakat yanma olayı için ayrılan süre azalmaktadır. Bu durumda yanmanın tamamlanabilmesi için avansın artırılması gerekmektedir [306].

### **1.12.2.3. Yakıt/hava oranı**

Yakıt/hava oranı emilen hava miktarı ve püskürtülen yakıt miktarı değerlerinden hesaplanmaktadır [305]. Dizel motorlar fakir karışım ile çalışırlar. Rölantideki hava/yakıt oranı 80:1~100:1, tam yükte ise 18:1~20:1 seviyelerindedir [307]. Yakıt/hava oranının basınç-<sup>o</sup>KMA eğrisi üzerine direkt bir etkisi bulunmamaktadır. Silindir içerisinde sıfırdan sonsuza kadar değişen değerlerde yakıt/hava oranı mevcut olmasına rağmen önemli olan püskürtülen yakıt miktarı değil yanma öncesinde buharlaşan yakıt miktarıdır. Yakıt/hava oranı basıncı dolaylı olarak etkilemektedir. Yakıt/hava oranı azaldıkça yanma sonu ve silindir duvar sıcaklıkları azalacağından tutuşma gecikmesi süresi artabilir [305].

#### **1.12.2.4. Sıkıştırma oranı**

Sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesi üzerine etkisi net değildir. Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı artacağından tutuşma gecikmesinin kısaldığı ve basınç artış hızının yükseldiği söylenebilir. Sıkıştırma oranı arttıkça havanın yoğunluğu arttığı için yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı düşmektedir. Bu durum yakıt ve oksijen molekülleri arasındaki temasın yakınlaşması nedeniyle reaksiyon süresinin kısılmasından kaynaklanmaktadır. Kendi kendine tutuşma sıcaklığının düşmesi gecikme periyodunu azaltır [307]. Yapılan denemelerde bu etkinin hissedilebilecek düzeyde olmadığı anlaşılmıştır. Sıkıştırma oranının artması ile maksimum basıncın daha erken ve daha yüksek değerlerde oluştuğu, verimi çok az artırdığı fakat sürtünme, kompresyon kaçakları ve soğuk hava koşullarında çalışma için gerekli torku önemli ölçüde artırdığı söylenebilir [305].

#### **1.12.2.5. Giriş basıncı**

Giriş basıncının artması tutuşma gecikmesini ve basınç artış hızını azaltmaktadır. Bu azalmanın temelinde sıcaklık artışı bulunmaktadır. Giriş basıncının artması dolgu miktarını da artıracığından silindir içerisine daha fazla yakıt püskürtülerek motor gücü artırılabilir. Ancak, bu durumda maksimum basınçta artmaktadır [305].

#### **1.12.2.6. Soğutucu akışkan ve emme havası sıcaklıkları**

Soğutucu akışkan ve emme havası giriş sıcaklıklarının artması durumunda tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Yakıtın püskürtülmesi sırasında silindir içerisindeki sıcaklığın yüksek olması içeriye emilen havanın azalmasına ve maksimum gücün düşmesine neden olur [305]. Fakat püskürtmenin yapıldığı ortamın sıcaklığı arttıkça tutuşma gecikmesinin azalma hızı yavaşlamaktadır [306]. Bununla birlikte emme havası sıcaklığının artırılması havanın yoğunluğunun düşmesine neden olur. Bu da motor gücünü ve volümetrik verimi düşürdüğü için tavsiye edilmemektedir [307].

#### **1.12.2.7. Püskürtülen yakıt miktarı**

Dizel motorlarda silindir içerisine yakıt oranından daha fazla hava alınır. Silindir içerisine fazla miktarda alınan havaya püskürtülen yakıt miktarı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi de artmaktadır [308].

#### **1.12.2.8. Yakıt özellikleri**

Yakıt bileşiminde bulunan hidrokarbonlar gerek tek gerekse grup halinde yanma olayına, özellikle de tutuşma gecikmesine etkileri büyüktür. Yakıttaki parafinik hidrokarbonların miktarı arttıkça yakıtın setan sayısında artar. Setan sayısının artışına bağlı olarak tutuşma gecikmesi azalır ve motor daha yumuşak çalışır [306, 309]. Tutuşma gecikmesini etkileyen diğer yakıt özellikleri ise uçuculuk, gizli buharlaşma ısısı, viskozite ve yüzey gerilimidir [307]. Viskozite ve yüzey gerilimi atomizasyonu; uçuculuk, gizli buharlaşma ısısı ve viskozite yakıtın buharlaşmasını etkileyen özelliklerdir.

#### **1.12.2.9. Motor büyüklüğü**

Büyük motorlarda atalet kuvvetlerinin koyduğu sınırlamalardan dolayı yüksek motor devirlerine çıkılamaz. Düşük motor devirlerinde ise aynı tutuşma gecikmesi süresine karşılık gelen gecikme açısı, dolayısıyla bu süre zarfında püskürtülen yakıt miktarı daha az olacağından büyük dizel motorlarda yanma olayının kontrolü daha kolay olmaktadır. Büyük dizel motorların yanma yönünden bir başka avantajı da soğutma yüzeyi/silindir hacmi oranının küçük olmasıdır. Dolayısıyla cidarlar motorun çalışması sırasında daha sıcaktır. Bu da tutuşma gecikmesi süresini kısaltmaktadır. Bu nedenlerden dolayı büyük dizel motorların tasarımı daha kolaydır [305].

#### **1.12.2.10. Aşırı doldurma**

Aşırı doldurma giriş basıncını artırdığı gibi giriş sıcaklığında artırmaktadır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yönde etki yapar. Dolayısıyla aşırı doldurma düşük basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurmasız haline göre büyük bir üstünlük sağlar. Bundan dolayı da dizel motorlarda yanma bakımından belirli bir aşırı doldurma sınırı bulunmamaktadır. Bu sınır maksimum silindir basıncı ve ısı transferi hızları tarafından konulmaktadır [305].

#### **1.12.2.11. Püskürtme karakteristikleri**

Dizel motorlarda yanma verimini etkileyen önemli parametrelerden birisi de yakıtın püskürtme karakteristikleridir. Yakıt taneciklerinin çok ince olması halinde



buharlaşmaları daha kolay ve ataletleri de düşük olacağından enjektör çıkışından hemen sonra buharlaşırlar. Bundan dolayı silindir duvarlarına yakın bÖlgelerde bulunan bir miktar hava kullanılamaz. Yakıt taneciklerinin iri olması halinde ise yüksek buharlaşma hızlarında bile buharlaşma çok zaman almaktadır. Hatta yüksek devirlerde buharlaşmak için zaman bulamayacağından silindir içerisinde karbon kalıntıları oluşmakta ve egzozda is miktarı yükselmektedir. Buharlaşma hızının düşük olması tutuşma gecikmesinin uzamasına, pistonun üst ölü noktadan uzaklaşmasına, güç ve verimde önemli miktarda azalmaya neden olmaktadır [305].

#### **1.12.2.12. Girdap hareketleri**

Motorlarda hava hareketleri yanma odasının tipleri ile ilgilidir [306]. Hava hareketleri dizel motorlarda karışım hızını artırarak yanma olayını etkilemektedir. Püskürtme basıncının yüksek olması ve püskürtülen yakıt miktarının yeterli olması durumunda yakıt huzmesi cidarlara ulaşabilmekte ve çarpma noktası civarında girdap hareketlerinin varlığına ve şiddetine bağlı olarak tek veya çift duvar jetleri oluşturmaktadır. Sıcaklığı yükselen silindir duvarları tutuşma gecikmesi süresini düşürmektedir. Ayrıca, silindir duvarlarına yakın bÖlgelerde etkili bir yakıt/hava karışımı sağlayarak üçüncü safhada yanma süresini kısaltmaktadır. Girdap hızının yüksek olması durumunda ise olumlu etki tersine dönmektedir. Dolayısıyla püskürtme karakteristikleri ile girdap hareketleri arasında yanma verimi yönünden optimum bir nokta bulunmaktadır [305].

#### **1.12.2.13. Egzoz gazı %'si**

Silindir içerisinde yanma sonu kalan egzoz gazlarının %'si artınca tutuşma gecikmesi artmaktadır. Özellikle iki zamanlı motorlarda egzoz gazlarının %'si yüksek olduğundan tutuşma gecikmesi daha yüksektir ve motor sert çalışmaktadır [306].

#### **1.13. Dizel motorlarda kullanılan alkoller**

Alkoller motorlarda kullanılabilen sıvı yakıtlardandır. Alkoller tek başına kullanılabilceği gibi petrol kökenli yakıtlara belirli oranlarda harmanlanarak da kullanılabilirler [310].

### **1.13.1. Metanol (Metil alkol)**

Mısırlıların mumyalama işlemi sırasında odunun pirolizinden elde ettikleri metanolü içeren bir karışımı kullandıkları bilinmektedir. Metanol ilk defa 1661 yılında odunun kuru kuruya damıtılmasıyla elde edilmiştir. Yunanca şarap-alkol anlamına gelen ‘methu’ ve odun anlamına gelen ‘hyle’ kelimelerinden oluşturulmuş, ‘metilen’ kelimesiyle anlam kazanmış, 1840 yılında metilenden geri oluşum ile ‘metil’ kelimesi türetilmiş ve sonrasında ise metil alkolü tanımlamak için kullanılmıştır. 1892 yılında ise metil alkol kelimesi ‘metanol’ olarak kısaltılmıştır. Metil alkol berrak, kolay alevlenebilen, zeyirleyici, süspansiyon halinde safsızlıklar içermeyen, su ile her oranda karışabilen bir organik bileşiktir. Çok az miktardaki metanol dahi canlı organizma için zehirdir. Kalıcı yaralar ve bozukluklar meydana getirir. Öldürücü doz, 11.5-160 g arasında değişmektedir. Metanol düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarda kullanımında bir takım problemler çıkarmaktadır. Buharlaşma ısısının da yüksek olmasından dolayı soğuk hava koşullarında ilk çalıştırmada zorluklar çıkmaktadır [311].

### **1.13.2. Etanol (Etil alkol)**

Kuzey Çinde, içerisinde kurumuş etanol bulunan, 9000 yıl öncesinden kalma toprak kaplar bulunmuştur. Damıtma tekniğini geliştiren İslam simyagerleri, etanolün saf bir bileşik olarak ayrıştırılmasını sağlamışlardır. Ebu Musa Cabir bin Hayyan kaynatılan şaraptan yanıcı buhar elde ettiğini, El Kindi şarabın nasıl damıtıldığını anlatmışlardır. Saf etanol ise ilk kez 1796 yılında Johann Tobias Lowitz tarafından damıtılmış etanolün mangal kömürü ile filtre edilmesi sonucu elde edilmiştir. Etanol, etil alkol ya da bitkisel alkol olarak da bilinen renksiz ve yanıcı bir kimyasal bileşiktir. Etanol, içerisinde etil alkol bulunan şeker, şekeri çevirebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Günümüzde etanol için kullanılan hammaddeler mısır, şeker pancarı, buğday, patates ve arpadır. 1 ton şeker pancarından yaklaşık 108 L, 1 ton buğdaydan yaklaşık 349 L, 1 ton patatesten yaklaşık 91 L, 1 ton arpadan yaklaşık 295 L ve 1 ton mısırdan yaklaşık 367 L etanol üretmek mümkündür. Etanolün çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarda sorunlar yaratabilmektedir [311].

### 1.13.3. İzopropanol (İzopropil alkol)

İzopropanol, 2-propanol ya da propan-2-ol olarak da isimlendirilen izopropil alkol renksiz ve yanıcı bir alkoldür. Aseton ve gliserin gibi maddelerin sentezinde çıkış maddesidir. Endüstride solvent olarak ve kozmetik ürünlerin yapısında kullanılmaktadır. İzopropil alkol dizel yakıtına %20 oranına kadar harmanlanarak kullanılabilir [312, 313].

### 1.13.4. Bütanol (Bütil alkol)

Bütanol, n-bütanol, n-bütil alkol ya da bütan-1-ol olarak da adlandırılan bütil alkol renksiz, berrak, suyla karışmayan ve biyokökenli kaynaklardan elde edilebilen bir alkoldür. Bütanol kalıcı olmayan orta dereceli bir kokuya sahiptir. Plastik, kozmetik, boya, yiyecek ve temelde izobütil asetat üretiminde çözücü olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelere ilave edilmektedir. Bütanol zehirli bir alkoldür. Yanma eğilimi gösterir. Isıl değeri dizel yakıtından azdır. %40 oranına kadar dizel yakıtına katılarak kullanılabilir [308, 313].

### 1.13.5. Pentanol (Amil alkol)

Pentanol, n-pentanol, n-amil alkol ya da pentan-1-ol olarak adlandırılmaktadır ve yenilenebilir hammaddelerden üretilebilmektedir. Setan sayısı ve enerji içeriği diğer alkollere göre fazladır. %45 oranına kadar dizel yakıtına katılarak kullanılabilir [313, 314]. Alkollerin bazı özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması Tablo 1.36.'da verilmiştir.

**Tablo 1.36.** Alkollerin bazı özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması [313]

Özellikler	Dizel	Metanol	Etanol	Propanol	Bütanol	Pentanol
Kimyasal formül	$C_xH_y$	$CH_3-OH$	$C_2H_5-OH$	$C_3H_7-OH$	$C_4H_9-OH$	$C_5H_{13}-OH$
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	190-211.7	32.04	46.07	60.09	74.12	88.15
C (%ağırlıkça)	86.13	37.48	52.14	59.96	64.82	68.13
H (%ağırlıkça)	13.87	12.48	13.02	13.31	13.49	13.61
O (%ağırlıkça)	0	49.93	34.73	26.62	21.59	18.15
Yağlama özelliği ( $\mu m$ , düzeltilmiş aşınma izi çapı)	315	1100	1057	922	591	670.5
Setan sayısı	52	5	8	12	17	18.2-20
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )	254-300	463	420	350	345	300
Yoğunluk ( $kg/m^3$ ), $15^{\circ}C$ 'de	835	791.3	789.4	803.7	809.7	814.8
Viskozite ( $mm^2/s$ ), $40^{\circ}C$ 'de	2.72	0.58	1.13	1.74	2.22	2.89
Alt ısıl değer (MJ/kg)	42.49	19.58	26.83	30.63	33.09	34.65
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	270-375	1162.64	918.42	727.88	581.4	308.05
Buhar basıncı (mmHg)	0.4	127	55	20	7	6
SFTN ( $^{\circ}C$ )	-17	<-51	<-51	<-51	<-51	-40
Kaynama noktası ( $^{\circ}C$ )	180-360	64.7	78.3	97.1	117.5	137.9
Parlama noktası ( $^{\circ}C$ )	>55	11-12	17	11.7	35-37	49

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizellerin ve bunların dizel yakıtı ile değişik oranlardaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanıldığı görülmektedir. Alkollerin ise genel olarak biyodizele ve dizel yakıtına ilave edilerek kullanıldığı, bununla birlikte bu üç yakıtın değişik oranlarda harmanlarak da dizel motorlarda kullanıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Birçok araştırmacı, dizel motorlarda biyodizel ve alkol kullanımının motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kaynaklar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

Ulusoy ve Alibaş [80] çalışmalarında, ayçiçek yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, Pancar Motor E89 marka bir dizel motorda deneyerek motor performansını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, ayçiçek yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde bariz bir farklılığın olmadığını ve biyodizelin dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıtının yerine doğrudan kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Dorado ve ark. [315] çalışmalarında, atık zeytinyağı biyodizelini 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 34 kW, su soğutmalı, Perkins AD 3-152 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyonlarını değişik çalışma koşullarında dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, atık zeytinyağı biyodizeli kullanımı ile dizel yakıtına göre CO emisyonunun %58.9, CO<sub>2</sub> emisyonunun %8.6, NO emisyonunun %37.5 ve SO<sub>2</sub> emisyonunun %57.7 oranlarında azaldığını, NO<sub>2</sub> emisyonunun ise %8.1 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Nwafor [316] çalışmasında, kanola yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %25, 50 ve 75 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, endirekt püskürtmeli, hava soğutmalı, Petter AC1 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, kanola yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre CO<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını, HC emisyonlarında bir miktar azalmanın meydana geldiğini, egzoz gazı

sıcaklıklarının yüksek devirlerde hemen hemen hiç değişmediğini, ancak düşük devirlerde düştüğünü belirlemiştir.

Oğuz [40] çalışmasında, fındık yağından ürettiği biyodizeli 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 60 kW, Tümosan 4D39T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, fındık yağı biyodizeli kullanımıyla motor performansında önemli oranlarda değişimin olmadığını, güçte çok az bir düşme, özgül yakıt tüketiminde %10.2'lik bir artış meydana geldiğini, egzoz emisyonları açısından CO<sub>2</sub> ve duman yoğunluğunun dizel yakıtına göre düşük, HC emisyonunun yüksek, CO emisyonunun ise sadece 1400-1700 d/d devir aralığında yüksek çıktığını tespit etmiştir.

Soylu ve ark. [317] çalışmalarında, biyodizellerin dizel yakıtından daha düşük ısı değere, yüksek yoğunluğa, oksijen içeriğine ve setan sayısına sahip olmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarında farklılık görülmesine sebep olduğunu, düşük ısı değerinin biyodizel ve biyodizel-dizel karışımlarında motor gücünü ve torkunu azalttığını, yakıt tüketimini ise artırdığını, oksijen içeriğine bağlı olarak iyi yanma karakteristiklerinin ısı verimini artırdığını, iyi yanmaya bağlı olarak CO emisyonunun azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını, hemen hemen hiç kükürt içermediğinden SO<sub>2</sub> emisyonunun oluşmadığını, biyodizel yakıtı ile HC, PM ve is emisyonlarında azalmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Ulusoy ve ark. [318] çalışmalarında, atık kızartma yağından ürettikleri biyodizeli 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, 46 kW, Fiat Doblo 1.9 DS marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, atık kızartma yağı biyodizeli kullanımı ile dizel yakıtına göre tekerlek gücünün %2.63 ve tekerlek kuvvetinin %3.35 oranlarında azaldığını, HC, CO ve PM emisyonlarının sırasıyla %30.77, 8.59 ve 63.33 oranlarında düştüğünü, buna karşın NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının sırasıyla %5.03 ve 2.62 oranlarında yükseldiğini belirlemiştir. Ayrıca, ivmelenme testlerine göre biyodizelin 40-100 km/h arasındaki ivmelenme süresi dizel yakıtından %7.32, 60-100 km/h arasındaki ivmelenme süresi ise dizel yakıtından %8.78 oranlarında yüksek çıktığını tespit etmişlerdir.

Balcı [319] çalışmasında, atık bitkisel yağ esterini 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, 44 kW, su soğutmalı, Ford XLD418 marka bir dizel motorda tam yük koşulunda deneyerek performans, maksimum basınç ve tutuşma gecikmesi açısından dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, hem biyodizel hem de dizel yakıtı kullanımı ile soğutma suyu, emme havası ve yakıt sıcaklıklarında belirgin bir farkın oluşmadığını, ancak egzoz sıcaklığının biyodizelde daha yüksek ölçüldüğünü, hava fazlalık katsayısının genel olarak dizel yakıtında daha yüksek olduğunu, biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre daha düşük motor torku ve efektif gücü elde edildiğini, özgül yakıt tüketiminin ise biyodizel yakıtında daha yüksek olduğunu, 1000 d/d motor devri haricinde biyodizelin maksimum basınç değerlerinin dizel yakıtından az olduğunu, devir arttıkça biyodizel ile tespit edilen maksimum basınç değerlerinin elde edildiği krank açısının dizel yakıtına göre daha da uzaklaştığını, biyodizelin maksimum motor torkunun elde edildiği motor devrindeki tutuşma gecikmesinin dizel yakıtından daha kısa olduğunu, ancak maksimum gücün elde edildiği motor devrinde tam tersi bir durumun oluştuğunu belirlemiştir.

Can ve ark. [320] çalışmalarında, dizel yakıtına %10 ve 15 oranlarında etanol ilave ederek 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, turbo şarjlı, 44 kW, su soğutmalı, Ford XLD 418T marka bir dizel motorda farklı yüklerde (%50, 75 ve 100) deneyerek egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dizel yakıtına etanol ilavesinin NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığını, is, CO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarını ise azalttığını, emisyonlardaki iyileşmenin tam yükte kısmi yüklerle göre daha çok dikkate değer bir seviyede olduğunu belirtmişlerdir.

Shi ve ark. [321] çalışmalarında, soya yağı biyodizeline %20 oranında etanol ekledikten sonra bu karışımı %15 ve 20 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmışlardır. Ayrıca, dizel yakıtına %20 oranında soya yağı biyodizeli ilave ederek bu üç karışım yakıtını 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 76 kW, Sofim 8140.43C marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışım yakıtların PM ve duman emisyonlarının dizel yakıtından düşük olduğunu, etanol kullanımı ile bu emisyonların daha da düştüğünü, tüm karışımların NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtından yüksek olduğunu, etanol kullanımı ile bu emisyonların daha da

yükseldiğini, soya yağı biyodizelinin HC emisyonunun dizel yakıtından düşük olduğunu, etanol kullanımı ile HC emisyonlarının dizel yakıtından da yüksek olduğunu, düşük motor devirlerinde biyodizelin CO emisyonunu artırdığını, orta ve yüksek devirlerde ise azalttığını, etanol kullanımı ile biyodizel karışımına göre CO emisyonunu genelde düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Usta [322] çalışmasında, tütün tohumu yağından ürettiği biyodizeli 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, turbo şarjlı, 55 kW, su soğutmalı, Ford XLD 418T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, tütün tohumu yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor performansında önemli bir değişikliğin olmadığını, egzoz emisyonlarında ise CO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, buna karşın NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını belirtmiştir.

Usta ve ark. [323] çalışmalarında, tütün tohumu yağından ve ayçiçek yağı ile fındık yağı sabun stoğunun eşit oranlarda karışımından elde edilen yağdan üretilen biyodizelleri dizel yakıtı ile ayrı ayrı %17.5 oranlarında karıştırmışlar, bununla birlikte dizel yakıtına %15 oranında etanol ve kararlı bir karışım elde etmek için %1 oranında izopropanol ilave etmişlerdir. Elde ettikleri tüm yakıtları 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, turbo şarjlı, 44 kW, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtların kullanımı ile dizel yakıtına göre CO, is ve SO<sub>2</sub> emiyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, etanol ilavesinin güçte bir miktar düşmeye sebep olduğunu, biyodizel ilavesinin ise çok az oranda güç artışı sağladığını belirlemişlerdir.

Güçvardar [46] çalışmasında, soya yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %2, 5 ve 10 oranlarında karıştırmış ve 6 silindirli, 4 zamanlı, Ford Ecotorq marka bir dizel motorda tam yük-değişik devir ve sabit yük-değişik devirlerde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değişimlerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, tam yük-değişik devir ve sabit yük-değişik devir şartlarında yapılan motor deneylerinde biyodizel-dizel yakıtı karışımlarında motor performans ve egzoz emisyon değerleri açısından en iyi sonuçları B2 yakıtının verdiğini belirlemiştir.

Marangoz ve ark. [157] çalışmalarında, tarım potansiyeli oldukça fazla ve enerji politikası petrole bağılı olan ülkemizde, gerek yağlı tohumlu bitkilerin üretimlerinde gerekse biyodizel tesislerinin kurulması yönünde hükümetimiz tarafından en kısa zamanda teşvik ve tedbirlerin alınmasının ülkemiz geleceği açısından önemli olacağını belirtmişlerdir.

Özsezen ve ark. [324] çalışmalarında, palmiye yağı kökenli atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizeli 4 silindirli, 4 zamanlı, ön yanma odalı, doğal emişli, 38.8 kW, su soğutmalı, BMC marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizel kullanımıyla dizel yakıtına oranla CO, CO<sub>2</sub>, HC ve duman koyuluğunun sırasıyla %60.8, 3, 38.7 ve 22.3 oranlarında azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise %14.6 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Yücesu ve İlkılıç [325] çalışmalarında, pamuk yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.25 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD400 marka bir dizel motorda tam yükte deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, pamuk yağı biyodizeli kullanımının dizel yakıtına göre motor torkunu ve gücünü azalttığını, özgül yakıt tüketimini artırdığını, egzoz gazı sıcaklığını ve CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir.

Alpgiray ve ark. [326] çalışmalarında, kanola yağından etanol ve metanol kullanarak ürettikleri esterleri tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 5.5 kW, Lombardini LDA 450 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, metil ve etil ester kullanımının birbirleri arasında bariz bir fark oluşturmadığını, genel olarak dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimlerinin yükseldiğini, tork ve gücün az da olsa düştüğünü, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının düştüğünü ve NO emisyonlarının ise yükseldiğini belirlemişlerdir.

Chen ve ark. [327] çalışmalarında, dizel yakıtı içerisine hacimsel olarak %10, 20 ve 30 oranlarında etanol ilave etmişler ve daha sonra bu yakıtlara %10 oranında kanola yağından ürettikleri biyodizeli eklemişlerdir. Elde ettikleri yakıtları 4 silindirli, 4



zamanlı, 59 kW, Commins 4B marka bir dizel motorda deneyerek yanma karakteristiklerini ve PM emisyonlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, karışım yakıtlardaki etanol oranının artışına bağlı olarak duman koyuluğu ve PM emisyonu değerlerinin azaldığını, tutuşma gecikmesinin arttığını, yanma süresinin kısaldığını, yanma parlaklığının düştüğünü ve zengin yakıt bölgelerinde kurum oluşumunu engellediğini tespit etmişlerdir.

Ejder [19] çalışmasında, %5, 10 ve 15 oranlarında hazırladığı kanola yağı biyodizel-dizel yakıtı ve etanol-dizel yakıtı karışımlarını 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 51.5 kW, su soğutmalı, Başak DS 408-45 marka bir dizel motorda deneyerek motor performanslarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, B5 yakıtı ile elde edilen tork ve güç değerlerinin bir miktar arttığını, diğer karışımlarda ise biyodizel oranındaki artışla tork ve güç değerlerinin azaldığını, yüksek devirlerde ise karışımdaki biyodizel oranının artması ile tork değerlerinde azalma olduğunu, özgül yakıt tüketimi değerlerinin genel olarak dizel yakıtından yüksek olduğunu, ancak orta devirlerde karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin azaldığını, orta motor devirlerinde toplam verimin dizel yakıtına göre arttığını, diğer motor devirlerinde ise azaldığını belirtmiştir. Etanol-dizel yakıtı karışımları ile yaptığı denemelerde ise tork, güç ve toplam verim değerlerinin dizel yakıtına göre azaldığını, karışımdaki etanol oranının artması ile bu azalmanın daha da arttığını ve özgül yakıt tüketimlerinin de arttığını ortaya koymuştur.

Eliçin ve ark. [59] çalışmalarında, metanol ve etanol alkollerinin varlığında fındık yağı metil ve etil esterleri üretmişler ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 5.5 kW, hava soğutmalı, Lombardini LDA 450 marka bir dizel motorda tam gaz konumunda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, fındık yağı metil ve etil esterleri kullanıldığında motor torku ve gücü açısından birbirleri arasında herhangi bir değişimin gözlenmediğini, dizel yakıtına göre ise sırasıyla yaklaşık %5 ve 6 oranlarında bir düşmenin meydana geldiğini, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise fındık yağı metil esterinin fındık yağı etil esterine göre daha avantajlı olduğunu, toplam verimlerin dizel yakıtından daha az elde edildiğini, fındık yağı metil ve etil esterleri kullanımı ile dizel yakıtına göre daha yüksek O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluştuğunu ve daha

düşük egzoz gazı sıcaklığı, duman yoğunluğu, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Emiroğlu ve Özarlan [328] çalışmalarında, ticari bir firmadan temin ettikleri kolza yağı biyodizelini dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2, 5.75, 10 ve 20 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 62.5 kW, su soğutmalı, New Holland-Trakmak TD85D Turbo marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kolza yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motorun efektif güç ve efektif tork değerlerinde dikkate alınmayacak düzeyde küçük değişimler meydana geldiğini, yakıt tüketim değerlerinde belirgin bir fark oluşmadığını, termik verim değerinin arttığını, CO, HC, PM emisyonlarının düştüğünü ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının yükseldiğini belirlemişlerdir.

Karabektaş ve Ergen [329] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 8.5 BG, hava soğutmalı, Antor 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına olan etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, soya yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre efektif tork ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise ortalama %9.18 oranında arttığını, termik verimin ortalama %5.26 oranında arttığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise ortalama %18.23 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Keskin ve ark. [156] çalışmalarında, tall yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %90 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B90 yakıtının kullanımıyla tork ve güç değerlerinde sırasıyla %2.99 ve 2.94'e varan azalmalar meydana geldiğini, özgül yakıt tüketiminin ise %7.63 oranında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Duman koyuluğu ve CO emisyonunda sırasıyla %13.27 ve 35.44'e kadar düşüşlerin olduğunu, ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarının %13.29 oranına kadar yükseldiğini belirlemişlerdir.

Oğuz ve ark. [286] çalışmalarında, soya, kanola ve palm yağlarından ürettikleri biyodizelleri 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 30 kW, su soğutmalı, Tümosan marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizellerin dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimlerinin yüksek, duman koyuluğu değerlerinin düşük çıktığını, buna karşın motor torku ve motor gücünde kayda değer bir farkın oluşmadığını tespit etmişlerdir.

Öğüt [330], kullanımı giderek yaygınlaşan biyoyakıtların, alternatif ve yenilenebilir bir yakıt olması yanında benzin ve dizelin çevre zararlarını kabul edilebilir sınırlarına indirmek için katkı maddesi olarak kullanıldığını ve Gazohol (Etanol-Benzin), E-Dizel (Dizel-Hol) (Dizel-Etanol) ve E-B-Dizel (Etanol-Biyodizel-Dizel) gibi kombinasyonların elde edilebileceğini belirtmiştir. E-Dizelin motorlarda kullanımında etanolün çözücü etkiye sahip olmasından dolayı dizel kalıntılarının çözülmesine ve eski motorlarda arızalara, etanolün yüksek uçuculuk özelliğinin pompa ve enjektörlerde kavitasyona neden olabileceğini, kavitasyon oluşumu kurşun malzemenin aşınmasına ve sıcak hava şartlarında motorun yeniden çalıştırılmasında sorunlara yol açabileceğini, ayrıca etanolün korozif etkisinden dolayı metalik malzemede aşındırma ve metalik olmayan malzemede sertleşme ya da yumuşama etkisi ortaya çıkardığını bildirmiştir.

Öğüt ve ark. [331] çalışmalarında, özellikle tarım kesiminde ‘Bitkisel Yağın Uygun Traktörlerde Yakıt Olarak Kullanılabilmesi’ için ‘Yakıt Amaçlı Bitkisel Yağ Standardının’ oluşturulması gerektiğini, bu düzenlemenin aynı zamanda yağ bitkileri tarımını da yaygınlaştırabileceğini belirtmişlerdir.

Raheman ve ark. [332] çalışmalarında, mahua yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20, 40, 60 ve 80 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, 9 kW, su soğutmalı, Ricardo E6 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, mahua yağı biyodizeli kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torku ve özgül yakıt tüketiminde artış, egzoz emisyonlarında ise iyileşme olduğunu belirtmişlerdir.

Aktaş ve Sekmen [333] çalışmalarında, soya yağı biyodizelinin tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.25 kW, Lombardini LD 400 marka bir dizel motorda tam yükte ve farklı püskürtme avanslarında (24.9, 26.6 ve 28.5 °KMA) deneyerek püskürtme avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizel kullanımı ile püskürtme avansının 26.6 °KMA'ya artırılmasının motor torku ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %8'e kadar iyileşme sağladığını, ayrıca CO ve HC emisyonlarında azalma olduğunu, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %4-11 arasında değişen oranlarda artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Baydan [278] çalışmasında, aspir yağı biyodizelinin %20 oranında dizel yakıtı ile karıştırarak %5, 10 ve 15 oranlarında biyoetanol ilave etmiş ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 60 kW, su soğutmalı, Tümosan 4D39T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon sonuçlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, aspir yağı biyodizelinin tork ve güç değerlerinin dizel yakıtından düşük olduğunu, karışımdaki biyoetanol oranının artmasıyla tork ve güç değerlerinin daha da azaldığını, aspir yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtından yüksek olduğunu, biyoetanol ilavesi ile özgül yakıt tüketimi değerlerinin daha da arttığını tespit etmiştir. Dizel yakıtına %20 oranında aspir yağı biyodizeli eklenmesinin duman emisyonlarını azalttığını, biyoetanol ilavesi ile duman emisyonlarının daha da düştüğünü belirtmiştir.

Haşimoğlu ve ark. [334] çalışmalarında, ayçiçek yağından ürettikleri biyodizeli 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, 66 kW, Mercedes-Benz marka bir dizel motorda deneyerek kısmi yük şartlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, egzoz gazı sıcaklığı ve duman koyuluğunun azaldığını belirtmişlerdir.

Kılıç ve ark. [335] çalışmalarında, kanola yağından ürettikleri biyodizeli 100 saat boyunca 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 44 kW, su soğutmalı, Fiat 60-56 marka bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde deneyerek biyodizelin yakıt enjeksiyon pompasına, enjektörlere, filtrelere ve yakıt tankına olan etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizelin dizel motorlarda

kullanılmasının yakıt filtresinde tortulaşmadan kaynaklı tıkanmalara, kauçuklarda çürüme, enjeksiyon sisteminin parçalarında yapışma, krank milinin bazı bölgelerinde koyulaşma, enjektör tıkanması ve motor yağlama yağının bozulmasına neden olduğunu, bu nedenle biyodizelin saf olarak kullanılamayacağını belirtmişlerdir.

Oğuz ve ark. [336], taşıtlardan kaynaklanan emisyon değerlerinin sadece bulunduğu bölgenin hava kalitesinin bozulmasına değil aynı zamanda küresel iklim değişikliklerine de neden olduğunu, araştırmacıların sürekli olarak taşıtların emisyon değerlerini azaltmak için uğraştıklarını, bu çalışmaların temelini ya motor teknolojisindeki yeni gelişmelerin ya da alternatif yakıt kullanımının oluşturduğunu bildirmişlerdir. Hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik alınması gereken önlemlerin, enerji ikmalinin güvenliği, arz-talep dengesinin sağlanması, ucuz enerji temini, yatırım ihtiyacının azaltılması, dışa bağımlılığın azaltılması, gerçekçi fiyatlandırma, kamuoyunun kabulü, tükenmekte olan kaynakların kontrolü, istihdamın artırılması, sürekliliğin sağlanması gibi teknik, ekonomik, politik ve sosyal faktörlerinde yer aldığı geniş bir çerçevede değerlendirilmesinin gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Özsezen ve ark. [337] çalışmalarında, palm kökenli atık kızartma yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, endirekt püskürtmeli, doğal emişli, 38.8 kW, su soğutmalı, BMC marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans, püskürtme ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizel ve karışım yakıtların kullanılması ile dizel yakıtına göre motor torku ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketimlerinin arttığını, motor gürültüsünün azaldığını, tüm test yakıtları için maksimum termal verimin maksimum torkun elde edildiği motor devrinde tespit edildiğini, yakıttaki biyodizel oranının artması ile ortalama olarak termal verimin azaldığını, egzoz gazı sıcaklıklarında kayda değer bir değişimin olmadığını, maksimum silindir basıncının tüm yakıtlarda üst ölü noktadan 2.5-6 °KMA sonra gerçekleştiğini, biyodizel oranının artması ile tutuşma gecikmesinin azaldığını, tüm test koşullarında ön yanma fazının ve püskürtmenin başlama zamanının dizel yakıtından daha önce gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Soysal [310] çalışmasında, ticari bir firmadan temin ettiği soya yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %5, 10, 20 ve 50 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, sıkıştırma oranı değiştirilebilir bir dizel motorda tam gaz konumunda ve farklı sıkıştırma oranlarında (17:1, 19:1 ve 21:1) deneyerek motor performans sonuçlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, biyodizel ve biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torku, efektif güç ve ortalama efektif basınç değerlerinin ortalama %1-3 arasında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %4-13 arasında arttığını, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlerinin ortalama %1-3 arasında arttığını, sıkıştırma oranının 17:1 olması durumunda B5, B10 ve B20 yakıtlarının B50 ve B100 yakıtlarından daha iyi motor performansı sağladıklarını, sıkıştırma oranının 21:1 olması durumunda ise B50 ve B100 yakıtlarının B5, B10 ve B20 yakıtlarından daha iyi motor performansı sağladıklarını tespit etmiştir.

Bayrakçeken ve ark. [338] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dizel yakıtına göre soya yağı biyodizelinin kullanımı ile ortalama motor torku ve gücünde sırası ile %4.2 ve 3'lük bir azalmanın olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise %12.8'lik bir artışın olduğunu belirtmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtına göre ortalama olarak sırasıyla %4.1, 4.47 ve 9.23 oranlarında arttığını, duman koyuluğunun ise %19.5 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Ceviz ve ark. [99] çalışmalarında, farklı bitkisel yağlardan (findık-ayçiçek yağı karışımı, soya yağı, ayçiçek kızartma yağı, mısır kızartma yağı, findık yağı) ürettikleri biyodizelleri 2 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 20.9 kW, su soğutmalı, Süper Star 7728 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizellerin kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torku ve gücünde önemli seviyede azalmanın olmadığını, özgül yakıt tüketiminin bir miktar arttığını, motor efektif veriminin ise nispeten azaldığını ortaya koymuşlardır. Egzoz emisyon karakteristiklerinde ise dizel yakıtına göre HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, CO emisyonunda ise az da olsa

artışların görüldüğünü belirtmişlerdir. Fındık yağından ürettikleri biyodizel ile yaptıkları denemelerde özellikle düşük motor devirlerinde diğer biyodizellere göre daha iyi performans ve düşük kirletici emisyon seviyesi elde etmişlerdir.

Demir [20] çalışmasında, pamuk yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %20 ve 50 oranlarında karıştırmış ve 6 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, 260 BG, Cummins 6CTAA marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, pamuk yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torku ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz emisyonlarında ise dizel yakıtına göre HC, CO ve ışık absorblama değerlerinin azaldığını, NO emisyonunun arttığını belirtmiştir.

Eryılmaz [6] çalışmasında, yabani hardal yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 ve 20 oranlarında karıştırmış ve 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 60 BG, su soğutmalı, Tümosan 3D29T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, B2 yakıtı kullanımıyla dizel yakıtına göre tork, güç ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde herhangi bir değişim olmadığını, B20 ve B100'de ise artışlar meydana geldiğini, biyodizel kullanımıyla toplam verimin dizel yakıtından yüksek çıktığını, duman yoğunluğunun ise azaldığını belirtmiştir.

Karabaş [3] çalışmasında, tütün tohumu yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile kütleli olarak %10, 20 ve 50 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 20 BG, su soğutmalı, Süper Star marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, tütün tohumu yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torku ve güç değerlerinin bir miktar arttığını, efektif verimde düşme ve özgül yakıt tüketiminde artış meydana geldiğini, egzoz emisyonları açısından dizel yakıtına göre HC, CO ve duman yoğunluğunun düşük, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise yüksek çıktığını tespit etmiştir.

Nabi ve ark. [339] çalışmalarında, pamuk yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %10, 20, 30 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt

püskürtmeli, doğal emişli, 4.476 kW, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, pamuk yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre termal verimin düştüğünü, özgül yakıt tüketiminin yükseldiğini, daha düşük duman koyuluğu, CO ve PM emisyonlarının oluştuğunu, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise bir miktar yükseldiğini belirtmişlerdir.

Özsezen ve Çanakçı [340] çalışmalarında, atık palmye yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, ön yanma odalı, 38.8 kW, su soğutmalı, BMC marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motordaki performans ve emisyon karakteristiklerini üç boyutlu haritalar üzerinden analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin arttığını, motor torkunda azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir. Emisyon analizi sonucunda ise, karışımdaki biyodizel oranı ile ilişkili olarak dizel yakıtına kıyasla duman koyuluğu, HC ve CO emisyonlarında iyileşmeler olduğunu, bununla birlikte CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise motor devrine göre kararlı bir yapı sergilemediğini ortaya koymuşlardır.

Özsezen ve Çanakçı [341] çalışmalarında, atık kızartma palmye yağından ürettikleri biyodizeli ve ticari bir firmadan temin ettikleri kanola yağı biyodizeli 6 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 81 kW, su soğutmalı, Ford Cargo marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans, yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, atık kızartma palmye yağı biyodizeli ve kanola yağı biyodizeli kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücünün ve ısı veriminin ortalama %2 oranında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin ortalama %6 oranında arttığını belirlemişlerdir. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre ön yanma safhasının daha erken başladığını, tutuşma gecikmesinin kısaldığını, maksimum silindir gaz basıncı bölgesinin üst ölü noktaya yaklaştığını, yakıt sevk başlangıcının daha erken gerçekleştiğini ve mekanik yüklemeler açısından yakıtların yanma grafiklerinin birbirlerine benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Egzoz emisyonları açısından ise biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre HC, CO emisyonlarının ve duman



koyuluğunun azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise az da olsa arttığını ortaya koymuşlardır.

Qi ve ark. [342] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 11.03 kW, su soğutmalı, yüksek hızlı bir dizel motorda farklı yük koşullarında deneyerek motor performans ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, düşük yüklerde biyodizel kullanımının maksimum silindir basıncını, maksimum basınç yükselme hızını ve maksimum ısı salımı hızını artırdığını, yüksek yüklerde ise hem biyodizelin hem de dizelin aynı yanma karakteristiklerini gösterdiğini, ancak biyodizel kullanımının dizel yakıtına göre maksimum basınç yükselme hızını ve maksimum ısı salımı hızını düşürdüğünü, tutuşma gecikmesinin kısa olmasından dolayı yanmayı erken başlattığını, motor gücünde pek fazla değişim olmadığını, biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin arttığını, duman koyuluğu, CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise tam yük koşulunda dizel yakıtından sırasıyla %52, 27, 27 ve 5 oranlarında düşük çıktığını belirlemişlerdir.

Puhan ve ark. [66] çalışmalarında, yüksek linolenik asit içeriğine sahip keten tohumu yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 4.4 kW, hava soğutmalı, Kirloskar marka bir dizel motorda farklı enjektör basınçlarında (200, 220 ve 240 bar) deneyerek performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, keten tohumu yağı biyodizeli için optimum enjektör basıncının 240 bar olduğunu belirlemişlerdir. Optimum enjektör basıncında biyodizelin termal veriminin iyileştiğini, dizel yakıtına göre CO, HC ve duman koyuluğunun azaldığını, ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarının yükseldiğini tespit etmişlerdir. Keten tohumu yağı biyodizeli kullanılmasıyla yüksek enjektör basıncında dizel yakıtına göre tutuşma gecikmesinin kısaldığını ve tam yükte maksimum basıncın arttığını, tüm enjektör basınçlarında yanma sürelerinin hemen hemen aynı olduğunu tespit etmişlerdir.

Sahoo ve Das [343] çalışmalarında, gıda niteliği olmayan jatropa, karanja ve tamanu yağlarından ürettikleri biyodizelleri dizel yakıtıyla %20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, 6 kW, hava soğutmalı, Kirloskar Daf 8 marka bir dizel motorda deneyerek farklı yüklerde (%0, 50 ve 100) yanma

analizlerini gerçekleştirmişler ve dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, en yüksek silindir basıncının dizel yakıtından 6.61 bar daha yüksek ile tamanu yağı biyodizelinden elde edildiğini, artan yüklemeye bağlı olarak jatropa yağı, karanja yağı ve tamanu yağı biyodizellerinin tutuşma gecikmelerinin dizel yakıtından sırasıyla 5.9-4.2, 6.3-4.5 ve 5.7-4.2 °KMA aralıklarında daha kısa sürdüklerini ortaya koymuşlardır.

Uyumaz [344] çalışmasında, pamuk yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %20 oranında karıştırmış ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 51.5 kW, Başak DS 408-45 marka bir dizel motorda deneyerek püskürtme avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, test motorunun orijinal püskürtme avansı değerinde B20 yakıtının verdiği performans değerlerinin dizel yakıtına yakın olduğunu, püskürtme avansının 21 °KMA'ya alınmasının performans değerlerini olumlu yönde etkilediğini, ancak püskürtme avansının daha fazla artırılmasının motor performansını olumsuz yönde etkilediğini, egzoz emisyonları açısından ise orijinal püskürtme avansında B20 yakıtının daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları oluşturduğunu, püskürtme avansının artırılmasının NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığını, ancak püskürtme avansının 12 ve 15 °KMA'ya ayarlanmasının NO<sub>x</sub> emisyonlarını dizel yakıtından daha aşağı çektiğini, 24 °KMA püskürtme avansı dışındaki diğer tüm avans değerlerinde dizel yakıtına göre daha düşük CO emisyonu açığa çıktığını ve 21 °KMA püskürtme avansı değerinde optimum duman koyuluğunun elde edildiğini belirtmiştir.

Aksoy ve Bayrakçeken [312] çalışmalarında, dizel yakıtına hacimsel olarak %5 ve 10 oranlarında izopropil alkol ilave ederek tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 9 kW, hava soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, izopropil alkol ilavesiyle dizel yakıtına göre motor torkunun ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO emisyonunda iyileşmelerin gözlemlendiğini, NO<sub>x</sub> emisyonunda ise artışların meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Aydın [345] çalışmasında, aspir yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 20 ve 50 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt

püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda tam gaz durumunda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, aspir yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torkunun ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, fakat maksimum tork ve maksimum ortalama efektif basınç noktalarında en düşük seviyede elde edildiğini, CO, PM ve is emisyonlarının azaldığını, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını belirlemiştir.

Aydın ve Bayındır [223] çalışmalarında, pamuk yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 20, 50 ve 75 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindri, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dizel yakıtına %5 oranında pamuk yağı biyodizeli eklenmesinin orta ve yüksek motor devirlerinde motor torkunu artırdığını, B5, B20 ve dizel yakıtları arasında motor performansı açısından önemli bir farkın bulunmadığını, karışımdaki biyodizel oranının artması ile egzoz emisyonlarının düştüğünü ortaya koymuşlardır.

Büyükkaya [346] çalışmasında, kanola yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %5, 20 ve 70 oranlarında karıştırmış ve 6 silindri, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, 164 kW, MAN marka bir dizel motorda deneyerek motor performans, egzoz emisyonu ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, dizel yakıtına düşük oranlarda kanola yağı biyodizeli ilavesinin performans ve egzoz emisyonlarını iyileştirdiğini, biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücünün %10'a kadar, motor momentinin %5'e kadar azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %11'e kadar arttığını, duman yoğunluğunun %60'a kadar azaldığını, CO emisyonunun %32'ye kadar azaldığını, tutuşma gecikmesinin ise dizel yakıtında 8.5 °KMA iken karışım yakıtlarda 7.75-5.75 °KMA olarak gerçekleştiğini tespit etmiştir.

Gümüş ve Kaşifoğlu [347] çalışmalarında, kayısı çekirdeği yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %5, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindri, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 8 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6 LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon sonuçlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B5 ve B20 yakıtlarının dizel yakıtından daha

iyi güç değerlerine sahip olduğunu, buna karşın B50 ve B100 yakıtlarının kullanılmasıyla motor gücünde azalma eğilimi gözlemlendiğini, karışım yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça egzoz emisyon değerlerinde iyileşmeler olduğunu ve motor performans ve egzoz emisyon testleri sonucunda kayısı çekirdeğinden üretilen biyodizelin, dizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek duyulmadan kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Hazar [348] çalışmasında, pamuk yağı biyodizelini dizel yakıtıyla hacimsel olarak %20 ve 40 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.25 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek yanma odasının seramik kaplanması ve kaplanmaması durumunun motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, yanma odası seramik kaplanmış durumda yaptığı denemelerde tüm test yakıtlarının performans ve egzoz emisyon değerlerinin iyileştiğini, sadece yanma odasında oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını ortaya koymuştur.

İlkılıç [349] çalışmasında, ham bitkisel yağdan ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %20 oranında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, 6.2 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyonlarını incelemiştir. Sonuç olarak, B100, B20 ve dizel yakıtı kullanımıyla maksimum gücü elde ettikleri 3100 d/d motor devrinde CO emisyonlarını sırasıyla 456, 1172 ve 1292 ppm, CO<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla %7.84, 8.86 ve 9.38, NO<sub>x</sub> emisyonlarını sırasıyla 1180, 1251 ve 1275 ppm, NO<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla 2214, 2716 ve 2873 mg/Nm<sup>3</sup>, O<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla %14.4, 8.86 ve 8.06, yanma verimlerini sırasıyla %90.8, 91.8 ve 92.9, egzoz gazı sıcaklıklarını sırasıyla 489, 495 ve 506°C olarak; maksimum torku elde ettikleri 2200 d/d motor devrinde ise CO emisyonlarını sırasıyla 1142, 2664 ve 3244 ppm, CO<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla %7.64, 8.62 ve 9.08, NO<sub>x</sub> emisyonlarını sırasıyla 1329, 1451 ve 1492 ppm, NO<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla 2542, 2727 ve 3001 mg/Nm<sup>3</sup>, O<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla %9.4, 8.6 ve 6.8, yanma verimlerini sırasıyla %90.0, 91.6 ve 93.3 ve egzoz gazı sıcaklıklarını sırasıyla 516, 518 ve 522°C olarak tespit etmişlerdir.

İlkılıç ve Behçet [350] çalışmalarında, pamuk yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %20 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.25 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B20 yakıtı kullanımıyla dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının sırasıyla %19, 22 ve 13 oranlarında azaldığını belirlemişlerdir.

Özer [308] çalışmasında, dizel yakıtına %3, 5, 8 ve 10 oranlarında bütanol ilave etmiş ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, Katana marka bir dizel motorda farklı yüklerde deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışımdaki bütanol oranının artmasına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin arttığını, termik verimin ve egzoz gazı sıcaklığının azaldığını, egzoz emisyonlarında ise hava fazlalık katsayısının, CO, NO<sub>x</sub> ve is miktarının azaldığını, buna karşın CO<sub>2</sub> ve HC emisyonlarının arttığını belirtmiştir.

Qi ve ark. [351] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %30, 50 ve 80 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 11.03 kW, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, soya yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımıyla dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin bir miktar yükseldiğini, termal verimin düştüğünü, CO ve duman koyuluğunun azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, buna karşın HC emisyonunda ciddi bir değişimin olmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca, biyodizel ve karışımlarının dizel yakıtına göre yanma başlangıçlarının daha erken olduğunu ve maksimum silindir basınçlarının yükseldiğini ortaya koymuşlardır.

Şimşek [352] çalışmasında, soya yağı biyodizelini %25, 50 ve 75 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, Katana KM 170F marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performanslarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, B25 yakıtı sonuçlarının dizel yakıtına daha yakın olduğunu ve dizel yakıtına göre motor gücünün %3 oranında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %4 oranında arttığını tespit etmiştir. Ardından B25 yakıtını farklı püskürtme basınçlarında (160, 180, 200, 220 ve 240 bar) tekrar deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarının değişimini

incelemiştir. B25 ile yaptığı denemelerde performans ve egzoz emisyonları bakımından en uygun püskürtme basıncının 220 bar olduğunu belirlemiştir. 220 bar püskürtme basıncında dizel yakıtına göre motor gücünün %1 oranında azaldığını, özgül yakıt tüketiminde ise sadece %2 oranında artış olduğunu, HC, CO ve is emisyonlarının sırasıyla %33, 9 ve 20 oranlarında azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise %12 oranında arttığını tespit etmiştir.

Aydın ve İlkılıç [353] çalışmalarında, kanola yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans ve egzoz emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kanola yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre gücün %12 oranında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %20-25 oranında arttığını belirlemişlerdir. B100 ve B20 yakıtları ile yaptıkları denemelerde dizel yakıtına göre CO emisyonunda sırasıyla %13 ve 29, CO<sub>2</sub> emisyonunda sırasıyla %27 ve 16, SO<sub>2</sub> emisyonunda sırasıyla %26 ve 27, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise sırasıyla %19 ve 31 oranlarında azalmaların meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

Aydoğan ve Acaroğlu [354] çalışmalarında, dizel yakıtına %5, 10 ve 15 oranlarında biyoetanol ilave etmişler ve 3 silindirli, 4 zamanlı, turbo şarjlı, 52 kW, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, maksimum motor torkunu %10 biyoetanol ilave edilen yakıt ile 126.33 Nm, maksimum motor gücünü %5 biyoetanol ilave edilen yakıt ile 29 kW, minimum özgül yakıt tüketimini dizel yakıtı ile 178 g/kWh, maksimum özgül yakıt tüketimini %15 biyoetanol ilave edilen yakıt ile 215 g/kWh olarak belirlemişlerdir. Dizel yakıtına biyoetanol ilavesi ile CO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarının dizel yakıtından sırasıyla %100, 50 ve 200 oranlarında yüksek elde edildiğini ve dizel yakıtına %15 biyoetanol ilavesine kadar motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Aydoğan ve ark. [355] çalışmalarında, yer fıstığı yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2, 5 ve 7 oranlarında karıştırmışlar ve 3 silindirli, 4 zamanlı, pompa enjeksiyon yakıt sistemli, 52 kW, su soğutmalı, Volkswagen marka

bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yer fıstığı yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torkunun ve motor gücünün sırasıyla %4 ve 2 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz emisyonlarında ise HC, O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> değerlerinin arttığını, CO ve CO<sub>2</sub> değerlerinin yaklaşık %40 oranında azaldıklarını belirlemişler ve fıstık yağı biyodizelinin dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Bannikov [356] çalışmasında, hardal yağından ürettiği biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 5 kW, hava soğutmalı bir dizel motorda deneyerek yanma ve emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, hardal yağı biyodizelinin kullanımıyla dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin arttığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve duman koyuluğunun azaldığını, CO emisyonunun bir miktar arttığını ve HC emisyonunda herhangi bir değişimin olmadığını belirlemiştir. Yanma analizi sonucunda ise biyodizel kullanımıyla dizel yakıtına göre püskürtmenin daha erken başladığını, tutuşma gecikmesi periyodunun kısaldığını, maksimum ısı salımı hızının ve silindir basıncının azaldığını tespit etmiştir.

Behçet ve Çakmak [357] çalışmalarında, kanola ve atık pişirme yağlarından ürettikleri biyodizelleri dizel yakıtı ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 15 BG, hava soğutmalı, Rainbow LA186 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, kanola yağı biyodizeli ve atık pişirme yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre tork ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketimlerinin arttığını, CO ve HC emisyonlarının azaldığını, egzoz gazı sıcaklığının, O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını belirlemişlerdir.

Çengelci ve ark. [81] çalışmalarında, hayvansal (iç yağ) ve bitkisel (haşhaş yağı) yağlardan ürettikleri biyodizelleri tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, hayvansal yağ kökenli biyodizel kullanıldığında dizel yakıtına göre motor performans

karakteristikleri açısından motor torku ve efektif güç değerlerinde azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artış meydana geldiğini ve CO emisyonunda azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Bitkisel yağ kökenli biyodizel kullanıldığında ise dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi, motor torku ve motor gücünde iyileşme olduğunu, egzoz gazı sıcaklıklarının yükseldiğini, CO<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını, duman koyuluğunda azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Çılgın [175] çalışmasında, menengiç yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %10, 25 ve 50 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda tam gaz durumunda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, menengiç yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torku ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını, HC emisyonunda ise motorun düşük devirlerinde düşük, yüksek devirlerinde yakın değerler çıktığını tespit etmiştir.

Eliçin ve ark. [358] çalışmalarında, fındık, haşhaş, ayçiçek, kanola, mısırözü, pamuk, soya ve zeytin yağlarından ürettikleri biyodizelleri tek silindirli, 4 zamanlı, doğal emişli, direkt püskürtmeli, 5.5 kW, Lombardini LDA 450 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, biyodizel kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torku ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış meydana geldiğini, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, buna karşın CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını belirtmişlerdir.

İlkılıç [359] çalışmasında, pamuk yağından ürettiği biyodizeli hacimsel olarak dizel yakıtıyla %25 oranında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, 6.2 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, B25 yakıtı kullanılmasıyla dizel yakıtına göre motor torkunun %2 ve motor gücünün de %1 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise %1 oranında arttığını, egzoz emisyonlarında ise azalmaların meydana geldiğini belirtmiştir.



Lei ve ark. [360] çalışmalarında, dizel yakıtına %10, 15, 20 ve 30 oranlarında etanol ilave etmişler ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı ve ara soğutuculu, 73 kW gücünde bir dizel motorda farklı atmosfer basınçlarında (81, 90 ve 100 kPa) deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarının değişimini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, karışımdaki etanol oranının artışına bağlı olarak dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin genelde düştüğünü, atmosfer basıncının artması ile tüm yakıtların özgül yakıt tüketimi değerlerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, dizel yakıtına etanol ilavesinin CO emisyonlarını artırdığını, karışımdaki etanol oranının artması ile CO emisyonu değerlerinin daha da arttığını, atmosfer basıncının artması ile CO emisyonu değerlerinin tüm yakıtlar için genelde azaldığını, etanol kullanımının düşük motor devirlerinde NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığını, orta motor devirlerinde genellikle artırdığını, yüksek motor devirlerinde ise genelde düşürdüğünü, düşük ve orta yüklerde atmosfer basıncının artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının genelde azaldığını, yüksek yüklerde ise arttığını tespit etmişlerdir.

Özcanlı ve ark. [361] çalışmalarında, menengiç yağından ürettikleri biyodizeli %5, 10, 25 ve 50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmışlar ve 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 36 kW, su soğutmalı, Fiat marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtlarda dizel yakıtına göre güç değerlerinin düştüğünü, özgül yakıt tüketimi değerlerinin yükseldiğini, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir.

Özçelik [296] çalışmasında, aspir yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile %2 ve 20 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 15 BG, su soğutmalı, Süper Star 11015 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon karakteristikleri ile motor yağlama yağında meydana gelen değişimleri dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, aspir yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torkunun ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise arttığını belirtmiştir. Egzoz emisyonları açısından biyodizel kullanımıyla dizel yakıtına göre CO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, O<sub>2</sub> emisyonunun ise düşük devirlerde azaldığını,

yüksek devirlerde ise arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca motor yağlama yağında motor çalışma saati arttıkça aşınma elementlerinin arttığını, biyodizel ve karışım yakıtların kullanımı ile kurşun, alüminyum, krom ve bakır elementlerinin dizel yakıtına göre azaldığını, demir elementinin ise dizel yakıtına göre arttığını, ancak yine de kabul edilebilir sınır değerler içerisinde olduğunu belirlemiştir.

Özdemir [204] çalışmasında, dizel yakıtı (DY) içerisine %10, 20 ve 30 oranlarında atık yağ biyodizeli (BD) karıştırmış ve bu yakıtlara %5, 10 ve 15 oranlarında etanol (E) ilave ederek %85 DY+%5 E+%10 BD, %70 DY+%10 E+%20 BD ve %55 DY+%15 E+%30 BD karışım yakıtlarını elde etmiştir. Elde ettiği yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow LA186 marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, dizel yakıtına atık yağ biyodizeli ve atık yağ biyodizeli-etanol ilaveleri ile motor torkunun ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO ve HC emisyonlarının azaldığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını tespit etmiştir.

Randazzo ve Sodr  [362] çalışmalarında, soya yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %3, 5, 10 ve 20 oranlarında karıştırmışlar, %20 biyodizel ilave edilen yakıt karışımına %2 ve 5 oranlarında etanol ilave etmişler ve 4 silindirli, 4 zamanlı, common rail multijet püskürtmeli, 62.6 kW, hava soğutmalı bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, karışımdaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını, CO, HC ve PM emisyonlarının azaldığını, etanol ilavesi ile CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığını, buna karşın CO, HC ve PM emisyonlarının arttığını belirlemişlerdir.

Subbabbiah ve Gopal [363] çalışmalarında, pirinç kepeği yağı biyodizeline %2.5, 5 ve 7.5 oranlarında etanol ilave etmişler ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 3.72 kW, su soğutmalı, Kirloskar AV1 marka bir dizel motorda farklı yük koşullarında (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) deneyerek performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, %2.5, 5 ve 7.5 oranlarında etanol ilaveli yakıtların tam yük koşullarında kullanılması ile dizel yakıtına göre termal verimlerinin sırasıyla %6.98, 4.44 ve 1.83, özgül yakıt tüketimlerinin sırasıyla %27.82, 32.35 ve 36.5, egzoz gazı sıcaklıklarının sırasıyla

%28.5, 23 ve 15.38 oranlarında arttığını, gürültü değerlerinin sırasıyla %27.47, 25.27 ve 20.88, HC emisyonlarının sırasıyla %62.2, 57.37 ve 45.9, NO<sub>x</sub> emisyonlarının sırasıyla %1.23, 5.32 ve 9.4 ve duman koyuluklarının sırasıyla %6.66, 15 ve 20 oranlarında azaldığını belirtmişlerdir. Dizel yakıtına göre %2.5 ve 5 oranlarında etanol ilavesinin CO emisyonlarını sırasıyla %17.39 ve 13.04, O<sub>2</sub> emisyonlarını sırasıyla %14.4 ve 4.8 oranlarında azalttığını, ancak %7.5 oranında etanol ilavesinin CO emisyonunu %3.22 ve O<sub>2</sub> emisyonunu %4.8 oranında artırdığını tespit etmişlerdir.

Sugözü ve ark. [364] çalışmalarında, %30 hayvansal yağ-%70 palm yağı karışımından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, ön yanma odalı, hava soğutmalı, bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dizel ve biyodizel yakıtlarının maksimum tork değerlerini 1800 d/d motor devrinde sırasıyla 35.22 ve 34.48 Nm, maksimum güç değerlerini 2200 d/d motor devrinde sırasıyla 7.55 ve 7.11 kW, minimum özgül yakıt tüketimlerini 2000 d/d motor devrinde sırasıyla 389.04 ve 440.09 g/kWh olarak tespit etmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre düşük CO emisyonu meydana geldiğini, fakat NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir miktar yükselmenin olduğunu belirtmişlerdir.

Özer ve ark. [365] çalışmalarında, kanola yağı biyodizelini dizel yakıtı ile hacimsel olarak %25, 50 ve 75 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.2 kW, hava soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtlarının içerisindeki kanola yağı biyodizeli oranının artışına bağlı olarak motor gücünün ve motor torkunun azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO ve HC emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve duman koyuluğunun arttığını tespit etmişlerdir.

Özsezen ve Çanakçı [366] çalışmalarında, atık kızartma palmiye yağından ürettikleri biyodizeli ve ticari bir firmadan temin ettikleri kanola yağı biyodizelini 6 silindirli, 4 zamanlı, doğal emişli, direkt püskürtmeli, 81 kW, su soğutmalı, Ford Cargo marka bir dizel motorda deneyerek performans, yanma ve enjeksiyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Performans ve yanma karakteristiklerini

belirlemek için sabit motor hızı ve tam yük şartlarında deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, kanola yağı ve atık kızartma palmiye yağı biyodizelleri kullanılmasıyla dizel yakıtına göre fren gücünün sırasıyla %4 ve 5 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin sırasıyla %9 ve 10 oranlarında arttığını, CO emisyonunun sırasıyla %59 ve 67, HC emisyonunun sırasıyla %17 ve 26, CO<sub>2</sub> emisyonunun sırasıyla %5 ve 8, duman koyuluğunun sırasıyla %56 ve 63 oranlarında azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise sırasıyla %11 ve 22 oranlarında arttığını belirtmişlerdir.

An ve ark. [367] çalışmalarında, atık kızartma yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %10, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, common rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorda farklı yüklerde (%10, 25, 50, 75 ve 100) deneyerek yanma ve emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizel kullanımının tüm yük koşullarında dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimini artırdığını, motor yükünün azalmasıyla özgül yakıt tüketimi değerlerinin arttığını, en fazla özgül yakıt tüketimi artışının %10 yükte %28.1 olarak gerçekleştiğini, düşük motor yüklerinde termal verimin düştüğünü, yüksek devirlerde termal verimde iyileşmelerin görüldüğünü belirtmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile silindir basıncının tüm yük koşullarında dizel yakıtından düşük olduğunu, ısı salımı hızının düştüğünü ve motor yükünün artması ile ısı salımı hızının daha da düştüğünü tespit etmişlerdir. Motor yükünün CO emisyonunu önemli derecede etkilediğini, düşük motor yüklerinde karışımdaki biyodizel oranının artışı ve motor devrinin düşmesinin CO emisyonlarını artırdığını, yüksek motor yüklerinde ise tam tersi bir durumun söz konusu olduğunu ortaya koymuşlardır.

Aydın ve ark. [368] çalışmalarında, aspir yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, aspir yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını, HC, CO<sub>2</sub> ve CO emisyonlarının ise azaldığını, genel itibariyle biyodizelin çevre açısından normal dizel yakıtından daha az zararlı olduğunu belirlemişlerdir.

Behçet ve ark. [369] çalışmalarında, balık (hamsi) ve atık kızartma yağlarından biyodizeller üretmişler ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 15 BG, hava soğutmalı, Rainbow LA186 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini dizel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, balık yağı biyodizeli ve atık pişirme yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanılmasıyla dizel yakıtına göre motor torkunun ve motor gücünün sırasıyla %3.87 ve 3.3 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketimlerinin ise sırasıyla %7 ve 13.6 oranlarında arttığını, egzoz emisyonları bakımından biyodizellerin dizel yakıtına kıyasla daha iyi özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Chauhan ve ark. [370] çalışmalarında, jatropha yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %5, 10, 20 ve 30 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 7.4 kW, hava soğutmalı, Kirloskar DAF 8 marka bir dizel motorda farklı yüklerde (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) deneyerek motor performans, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, jatropha yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre tutuşmanın daha erken başladığını, maksimum silindir içi basıncının düştüğünü, termal verimin düştüğünü, özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz gazı sıcaklığının düştüğünü, NO<sub>x</sub> emisyonlarının yükseldiğini, duman koyuluğu, HC, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Eliçin ve Erdoğan [371] çalışmalarında, ticari bir firmadan aldıkları biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 10 ve 20 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 5.5 kW, Lombardini 15 LD 350 marka bir dizel motorda deneyerek giriş hava basıncı değişiminin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, biyodizel kullanımı ve karışım oranının artmasına bağlı olarak güç ve tork değerlerinin azaldığını, buna karşın giriş hava basıncının artmasıyla güç ve tork değerlerinde oluşan düşüşlerin azaldığını, özgül yakıt tüketiminde artışların meydana geldiğini fakat giriş hava basıncının artmasıyla bu farkın azaldığını tespit etmişlerdir. Biyodizel kullanılmasıyla emisyonlardaki iyileşmelerin yanı sıra, giriş hava basıncının artırılmasının CO<sub>2</sub> ve CO emisyonlarını daha da düşürdüğünü, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise belirgin bir artışın meydana geldiğini belirlemişlerdir.

İlkılıç [372] çalışmasında, pamuk yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtıyla hacimsel olarak %75 oranında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 6.2 kW, hava soğutmalı, Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda deneyerek egzoz emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, pamuk yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre CO emisyonunun %36, CO<sub>2</sub> emisyonunun %18 ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının %15 oranlarında azaldığını, egzoz gazı sıcaklığı ve O<sub>2</sub> emisyonunun ise arttığını belirlemiştir.

Lei ve ark. [373] çalışmalarında, dizel yakıtına %5, 10 ve 15 oranlarında etanol karıştırmışlar ve CLZ adını verdikleri yeni bir emülgatör ilave ederek elde ettikleri karışım yakıtlarını 4 silindirli, 4 zamanlı, doğal emişli, 37 kW, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtların kullanımı ile dizel yakıtına göre termal verim değerlerinin yükseldiğini, düşük yüklerde CO emisyon değerlerinin arttığını, orta ve yüksek yüklerde CO emisyonu değerlerinin düştüğünü, duman koyuluğu ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının düştüğünü, HC emisyonu değerlerinin ise arttığını ortaya koymuşlardır.

Özcanlı ve ark. [374] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 36 kW, su soğutmalı, Fiat marka bir dizel motorda 1000, 2000 ve 2500 d/d motor devirlerinde deneyerek gürültü ve titreşim karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, soya yağı biyodizeli kullanılmasıyla dizel yakıtına oranla daha düşük gürültü ve titreşim meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Tan ve ark. [375] çalışmalarında, jatrofa yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 10, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, common rail püskürtme sistemine sahip, turbo şarjlı, 79 kW gücünde bir dizel motorda farklı yük koşullarında (%10, 25, 50 ve 75) deneyerek egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, jatrofa yağı biyodizelinin NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşük ve orta yüklerde dizel yakıtına göre gözle görülür bir farkın oluşmadığını, karışımdaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak orta ve yüksek yüklerde NO/NO<sub>x</sub> oranının çok az etkilendiğini, biyodizelin CO emisyonunun düşük yüklerde arttığını, biyodizel oranının artışına bağlı olarak HC,

formaldehit ve toluen emisyonlarının azaldığını, B5 yakıtının asetaldehit emisyonunun dizel yakıtından daha yüksek olmasına rağmen B100 yakıtının asetaldehit emisyonunun dizel yakıtından daha düşük olduğunu, karışım yakıtların aseton emisyonunun dizel yakıtından yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Three ve ark. [376] çalışmalarında, ayçiçek yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %5, 10, 15 ve 20 oranlarında karıştırmışlar ve 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, Ford Puma marka bir dizel motorda farklı yüklerde deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, ayçiçek yağı biyodizeli kullanımıyla motor torku ve güç değerlerinin azaldığını, egzoz emisyonlarında ise CO, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını belirlemişlerdir.

Anbarasu ve ark. [377] çalışmalarında, pamuk yağından ürettikleri biyodizele hacimsel olarak %5, 10 ve 15 oranlarında etanol ilave etmişler ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 5.2 kW, su soğutmalı, Kirloskar TV-1 marka bir dizel motorda deneyerek yanma, motor performans ve egzoz emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, etanol ilavesi ile ısı salımı hızının azaldığını, HC, CO, duman koyuluğu, NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığını ve karışımdaki etanol oranının artışına bağlı olarak maksimum silindir basıncının 71.5 bardan 70 bara düştüğünü, özgül enerji tüketiminin 11.48 MJ/kWh'den 11.31 MJ/kWh'ye düştüğünü, termal verimin %28'den %26.5'e düştüğünü belirlemişlerdir.

Keskin ve ark. [378] çalışmalarında, atık kızartma yağından ürettikleri biyodizeli (BD), dizel yakıtı (DY), etanol (E) ve bütanol (B) ile karıştırarak %60 DY+%30 BD+%5 E+%5 B (A yakıtı) ve %40 DY+%50 BD+%5 E+%5 B (B yakıtı) yakıtları hazırlamışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, Antor 4 LD 640 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, A ve B yakıtları kullanımıyla dizel yakıtına göre tork ve güç değerlerinin düştüğünü, duman koyuluğu, CO ve HC emisyonlarının sırasıyla %87.50, 87.01 ve 57.14 oranlarına kadar azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise bir miktar yükseldiğini belirlemişlerdir.

Liquat ve ark. [379] çalışmalarında, hindistan cevizi yağı biyodizelini %5 ve 15 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 7.7 kW gücünde bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, B5 ve B15 karışım yakıtlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torkunun sırasıyla ortalama %0.69 ve 2.58 oranlarında ve motor gücünün sırasıyla ortalama %0.66 ve 2.61 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin sırasıyla ortalama %0.53 ve 2.11 oranlarında arttığını belirlemişlerdir. Egzoz emisyonları bakımından ise karışım yakıtlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre daha yüksek egzoz gazı sıcaklığı, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları elde edilmesine karşın daha düşük gürültü, CO ve HC emisyonlarının oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

Öğüt ve ark. [380] çalışmalarında, aspir yağından ürettikleri biyodizeli tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 15 BG, su soğutmalı bir dizel motorda farklı enjektör basınçlarında (200, 215 ve 230 bar) deneyerek motor performansını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, püskürtme basıncının artırılmasının hem dizelin hem de aspir biyodizelinin tork ve güç değerlerinde artışa, özgül yakıt tüketiminde ise azalışa neden olduğunu, kullandıkları deney motoru için püskürtme basıncının 215 bar olduğu durumda daha iyi çalıştığını tespit etmişlerdir.

Sayın [381] çalışmasında, ayçiçek yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtıyla hacimsel olarak %10 ve 50 oranlarında karıştırmış ve 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 34 kW, su soğutmalı, Perkins AD 3-152 marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, dizel yakıtına ayçiçek yağı biyodizeli ilavesinin özgül yakıt tüketimini, is miktarını, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığını, CO ve HC emisyonlarını ise azattığını tespit etmiştir.

Selvan ve Nagarajan [382] çalışmalarında, ayçiçek, pirinç kepeği, tamanu ve palm yağlarından ürettikleri biyodizelleri tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 5.2 kW, su soğutmalı, Kirloskar TAF-1 marka bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde ve farklı yüklerde (%0, 20, 40, 60, 80 ve 100) deneyerek motor performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç



olarak, ayçiçek yağı, pirinç kepeği yağı, tamanu yağı ve palm yağı biyodizellerinin kullanımıyla tam yük durumunda özgül enerji tüketimlerini sırasıyla 12.58, 12.34, 11.35 ve 11.45 MJ/kWh, fren termal verimlerini ise sırasıyla %32.20, 32.836, 33.36 ve 30.97 olarak tespit etmişlerdir. Egzoz emisyon sonuçları ile biyodizellerin dizel yakıtından daha düşük duman koyuluğu, CO, CO<sub>2</sub> ve HC emisyonları gösterdiğini, tamanu yağı biyodizeli haricindeki diğer biyodizellerin dizel yakıtından daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları oluşturduğunu belirlemişlerdir. Yanma analizi sonuçlarına göre ise biyodizellerin hemen hemen benzer ve dizel yakıtından daha düşük ısı salımı hızlarının olduğunu, ayçiçek yağı ve pirinç kepeği yağı biyodizellerinin daha yüksek tutuşma gecikmesi sürelerinin olduğunu belirlemişlerdir.

Silitonga ve ark. [383] çalışmalarında, gıda niteliği olmayan kapok yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, 20, 30 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 7.7 kW, su soğutmalı, TF 120M Yanmar marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, 1900 d/d motor devrinde motor torkunu 36.1 Nm ve fren gücünü 3.51 kW ile en iyi motor performansını B10 yakıtının verdiğini, diğer karışım yakıtları içerisinde B10 yakıtının 161 g/kWh ile minimum özgül yakıt tüketimi değerine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Egzoz emisyonları açısından karışım yakıtların CO, HC ve duman koyuluğu değerlerinin dizel yakıtından düşük olduğunu, ancak CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtından yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Su ve ark. [21] çalışmalarında, atık kızartma yağı biyodizelini etanol ile hacimsel olarak %20 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, common rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorda deneyerek yanma ve emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, biyodizelin yanma veriminin, maksimum silindir basıncının ve ısı salımı hızının dizel yakıtından daha yüksek olduğunu, etanol ilavesi ile yanma veriminin ve silindir basıncının düştüğünü, ancak ısı salımı hızının yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, biyodizelin CO, HC, is ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtından daha düşük olduğunu, etanol ilavesi ile tüm emisyonların az da olsa yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Şahin [38] çalışmasında, keten tohumu yağından ürettiği biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2, 5, 20 ve 50 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 15 BG, su soğutmalı, Süper Star 11015 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans değerlerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, keten tohumu yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre tork ve efektif güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise arttığını tespit etmiştir.

Şahin ve ark. [384] çalışmalarında, emme kanalından emme havasının içerisine %2, 4 ve 6 oranlarında n-bütanol püskürtülmesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini 4 silindirli, 4 zamanlı, common rail püskürtmeli, turbo şarjlı, 48 kW, Renault K9K 700 marka bir dizel motorda farklı yüklemelerde deneyerek motor performansı ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, motor karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> emisyonları bakımından %2 n-bütanol püskürtülmesinin en uygun karışım oranı olacağını ve ilgili karışımda 2500 d/d motor devrinde tüm yüklerde özgül yakıt tüketiminin, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve K is faktörünün sırasıyla %0.58, 0.31 ve 17.38 oranlarında azaldığını, efektif verimin ise %1.01 oranında arttığını ortaya koymuşlardır.

Tomić ve ark. [385] çalışmalarında, ayçiçek yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %15, 25, 50 ve 75 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 48.4 kW, su soğutmalı, Mahindra NE 462R marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B100, B75, B50, B25, B15 ve dizel yakıtlarının kullanımı ile maksimum güç değerlerini sırasıyla 41.21, 41.41, 42.26, 42.85, 44.25 ve 44.01 kW, minimum özgül yakıt tüketimlerini sırasıyla 313.6, 315.8, 302.4, 285.3, 279.2 ve 277.7 g/kWh, termal verimlerini sırasıyla %28.4, 27.3, 27.5, 28.1, 28.4 ve 28.0 olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca, egzoz emisyonlarını karşılaştırdıklarında B100, B75, B50, B25 ve B15 yakıtlarının kullanımı sonucunda dizel yakıtına göre CO<sub>2</sub> emisyonunun ortalama sırasıyla %8.99, 7.70, 5.91, 5.01 ve 2.05 oranlarında azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ortalama sırasıyla %11.38, 9.50, 4.89, 3.10 ve 1.51 oranlarında arttığını, CO emisyonunun ortalama sırasıyla %13.15, 11.43, 9.30, 3.79 ve 1.84 oranlarında azaldığını belirlemişlerdir.

Aysal ve ark. [176] çalışmalarında, hardal yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %50 oranında karıtmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, hardal yağı biyodizeli kullanımıyla motor torku ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise azaldığını belirtmişlerdir.

Lešnik ve ark. [386] çalışmalarında, kanola yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %25, 50 ve 75 oranlarında karıtmışlar ve 6 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, su soğutmalı, MAN D2566 MUM marka bir dizel motorda tam gaz durumunda deneyerek motor performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristiklerini hem deneysel hem de sayısal olarak dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yakıt karışımındaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak motor torkunun ve gücünün azaldığını, B25 yakıtının tork değerinin dizel yakıtına oldukça yakın olduğunu, bununla birlikte güç değerinin dizel yakıtına göre yüksek olduğunu, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile arttığını tespit etmişlerdir. Egzoz emisyonları karşılaştırıldığında, biyodizel ve karışım yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtından düşük olduğunu, CO emisyonlarının düşük devirlerde en yüksek dizel yakıtında ölçüldüğünü, orta ve yüksek devirlerde ise %25 biyodizel ilave edilen yakıtta ölçüldüğünü ve yine diğer yakıtların CO emisyonlarının dizel yakıtından düşük olduğunu göstermişlerdir. Dizel yakıtı ile tüm devirlerde elde edilen maksimum basınç ve ısı salımı hızı değerlerinin biyodizel ve karışım yakıtlarından yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Mofijur ve ark. [387] çalışmalarında, *Moringa oleifera* yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10 ve 20 oranlarında karıtmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, indirekt püskürtmeli, 78 kW, su soğutmalı, Mitsubishi Pajero 4D56T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B10 ve B20 yakıtlarının kullanılmasıyla dizel yakıtına göre fren gücünün sırasıyla %4.22 ve 8.03 oranlarında azaldığını, özgül yakıt tüketiminin sırasıyla %5.13 ve 8.39 oranlarında arttığını, CO emisyonlarının sırasıyla %10.60 ve 22.93 oranlarında azaldığını, HC emisyonlarının

sırasıyla %9.21 ve 23.68 oranlarında azaldığını, NO emisyonlarının sırasıyla %8.46 ve 18.56 oranlarında arttığını ortaya koymuşlardır.

Ong ve ark. [158] çalışmalarında, tamanu yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, 20, 30 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 7.7 kW, su soğutmalı, TF 120M Yanmar marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B10 karışım yakıtı kullanımıyla motor performans ve egzoz emisyonlarının iyileştiğini, dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin %3.06 oranında düştüğünü, termal verimin %2.30 oranında arttığını, egzoz gazı sıcaklığının, duman koyuluğunun ve CO emisyonunun düştüğünü, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise bir miktar arttığını tespit etmişlerdir.

Ong ve ark. [388] çalışmalarında, jatropa, kapok ve tamanu yağlarından ürettikleri biyodizelleri dizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, 20, 30 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 7.7 kW, su soğutmalı, TF 120M Yanmar marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, %10 biyodizel ilave edilen yakıtların dizel yakıtına göre en iyi motor performansını gösterdiğini ve NO<sub>x</sub> hariç diğer egzoz emisyonlarını (CO<sub>2</sub>, CO ve duman koyuluğu) düşürdüğünü belirtmişlerdir. Dizel yakıtına düşük oranlarda biyodizel eklenmesinin tam yanmayı sağladığını ve özgül yakıt tüketimini bir miktar düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Örs [10] çalışmasında, aspir yağından ürettiği biyodizeli (BD) dizel yakıtı (DY) ile %3, 10, 15 ve 20 oranlarında karıştırmış ve bu yakıtlara %5 ve 10 oranlarında biyoetanol (BE) ilave ederek %92 DY+%3 BD+%5 BE, %87 DY+%3 BE, BD+%10 BE, %85 DY+%10 BD+%5 BE, %80 DY+%10 BD+%10 BE, %80 DY+%15 BD+%5 BE, %75 DY+%15 BD+%10 BE, %75 DY +%20 BD+%5 BE ve %70 DY+%20 BD+%10 BE karışım yakıtlarını elde etmiştir. Elde ettiği yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 9 kW, su soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans, yanma analizi, enerji analizi ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışım yakıtların efektif motor torku ve efektif motor gücü değerlerinin dizel yakıtından düşük, özgül yakıt tüketimlerinin ise yüksek olduğunu, karışım yakıtların yanma analizlerinin dizel

yakıtına oldukça yakın olduğunu, egzoz emisyonları açısından biyoetanol içeren yakıtların dizel yakıtına göre CO emisyonunun genelde azaldığını, ancak biyoetanol oranının artmasının CO emisyonunu artırdığını, CO<sub>2</sub>, NO ve duman yoğunluğunun azaldığını, HC emisyonunun ise arttığını tespit etmiştir.

Özgün [100] çalışmasında, atık kızartma ve nötralize atık kızartma yağlarından ürettiği biyodizelleri dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 ve 20 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 9 kW, su soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, biyodizellerin ve karışımlarının motor torku ve motor gücü değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise dizel yakıtından daha yüksek olduğunu, ancak egzoz emisyonları açısından biyodizellerin daha çevreci olduklarını, CO, HC ve duman yoğunluğu değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, NO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının ise dizel yakıtından bir miktar yüksek çıktığını tespit etmiştir.

Özener ve ark. [389] çalışmalarında, soya yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %10, 20 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 8.1 kW, hava soğutmalı, Lombardini 3 LD 450 marka bir dizel motorda deneyerek yanma, performans ve egzoz emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, soya yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torkunun azaldığını, özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz emisyonları açısından CO ve HC emisyonlarının azaldığını, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının arttığını, yanma analizinde ise tutuşma gecikmesinin ve maksimum ısı salımı hızının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Özer [390] çalışmasında, mevcut enerji kaynaklarının giderek azaldığını ve artan nüfusun getirdiği enerji talebiyle birlikte çevre kirliliğinin de artması alternatif motor yakıtlarının kullanılmasını zorunlu kıldığını, alkoller hem çevre dostu olması hem de çevreyle uyumlu olan bir yöntemle imal edilmesinden dolayı önümüzdeki dönemlerde kullanılması muhtemel alternatif yakıt olabileceklerini, kendi kendine tutuşma sıcaklığı, yüksek oktan sayısı, buharlaşma ısısının yüksek olması içten yanmalı motorlarda kullanımını yaygınlaştırabileceğini, fakat alkollerin içten yanmalı motorlarda yaygınlaştırılması için; içten yanmalı motorların yakıt

donanımlarının alkol yakıtlarına uygun hale getirilmesi, alkol yakıtlarının maliyetlerinin düşürülmesi, içten yanmalı motorlarda bazı küçük değişikliklerin yapılması gerektiğini, alkol üretiminde kullanılan tarım malzemelerinin alt yapısı oluşturularak çiftçilerin desteklenmesi gerektiğini, ayrıca motor yakıtı için alkol üretimine ağırlık verilmesi ve bunların yasal kanunlarla düzenlenmesi gerektiğini bildirmiştir.

Tosun ve ark. [391] çalışmalarında, yerfıstığı yağı biyodizeline (BD) metanol (M), etanol (E) ve bütanol (B) ilave ederek %80 BD+%20 M, %80 BD+%20 E ve %80 BD+%20 B yakıtları hazırlamışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 89 kW, su soğutmalı, Mitsubishi Canter 4D34-2A marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını yerfıstığı yağı biyodizeli ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, metanol, etanol ve bütanol ilavesi yapılan yakıtlar ile yaptıkları denemelerde motor gücünün yerfıstığı yağı biyodizeline göre sırasıyla %2.4, 10 ve 12.8 oranlarında arttığını, dizel yakıtına göre sırasıyla %26.36, 20.85 ve 18.91 oranlarında azaldığını, motor torkunun yerfıstığı yağı biyodizeline göre sırasıyla %1.2, 3.4 ve 6.1 oranlarında arttığını, dizel yakıtına göre sırasıyla %20.53, 18.81 ve 16.67 oranlarında azaldığını, CO emisyonunun yerfıstığı yağı biyodizeline göre sırasıyla %4.8, 1.8 ve 9.1 oranlarında azaldığını, dizel yakıtına göre sırasıyla %12.17, 9.37 ve 16.14 oranlarında azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının yerfıstığı yağı biyodizeline göre sırasıyla %13.8, 4.1 ve 17.4 oranlarında arttığını, dizel yakıtına göre sırasıyla %18.49, 8.26 ve 22.19 oranlarında arttığını tespit etmişlerdir.

Tüccar ve ark. [392] çalışmalarında, portakal kabuğu yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, 10 ve 20 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 89 kW, su soğutmalı, Mitsubishi Canter 4D34-2A marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, portakal kabuğu yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre motor torkunun ve gücünün azaldığını, CO emisyonunun azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını ortaya koymuşlardır.

Yılmaz ve ark. [393] çalışmalarında, atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizeli bütanol ile hacimsel olarak %5, 10 ve 20 oranlarında karıştırmışlar ve 2 silindirli, 4

zamanlı, indirekt püskürtmeli, doğal emişli, 6.5 kW, su soğutmalı, Kubota GL7000 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını atık kızartma yağı biyodizeli ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, bütanol ilavesinin biyodizele göre egzoz gazı sıcaklıklarını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azalttığını, ancak CO ve HC emisyonlarını artırdığını, dizel yakıtına göre ise %5 ve 10 oranlarında bütanol ilavesinin CO emisyonlarını azalttığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığını, HC emisyonlarında ise kayda değer bir değişim meydana getirmediğini, fakat %20 bütanol ilavesinin CO ve HC emisyonlarını artırdığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, biyodizel ve karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtından yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Behçet ve ark. [394] çalışmalarında, atık balık, fındık, kanola ve atık kızartma yağlarından ürettikleri biyodizelleri tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, atık balık yağı, fındık yağı, kanola yağı ve atık kızartma yağı biyodizellerinin kullanımıyla dizel yakıtına göre ortalama tork değerlerinin sırasıyla %10.65, 17.26, 13.11 ve 20.12 oranlarında azaldığını, ortalama güç değerlerinin sırasıyla %9.32, 20.58, 19.44 ve 17.17 oranlarında azaldığını, ortalama özgül yakıt tüketimi değerlerinin sırasıyla %2.36, 5.19, 9.92 ve 7.90 oranlarında arttığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının sırasıyla %4.76, 9.77, 6.25 ve 22.92 oranlarında arttığını, CO emisyonlarının sırasıyla %22.58, 14.19, 29.67 ve 20.01 oranlarında azaldığını, HC emisyonlarının sırasıyla %41.11, 36.11, 35.01 ve 29.44 oranlarında azaldığını, CO<sub>2</sub> emisyonlarının sırasıyla %21.58, 20.70, 8.72 ve 11.01 oranlarında azaldığını, duman koyuluğu değerlerinin sırasıyla %1.12, 0.85, 0.47 ve 0.61 oranlarında azaldığını ve egzoz gazı sıcaklıklarının arttığını belirlemişlerdir.

İlkılıç ve ark. [154] çalışmalarında, menengiç yağından ürettikleri biyodizeli hacimsel olarak %10 ve 50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 10 BG, hava soğutmalı, Rainbow-186 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, menengiç yağı biyodizeli kullanımı ile dizel yakıtına göre motor torkunun ve gücünün azaldığını, özgül yakıt tüketiminin

arttığını, CO, CO<sub>2</sub> ve HC emisyonlarının azaldığını, buna karşın O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını ortaya koymuşlardır.

Yasin ve ark. [395] çalışmalarında, palm yağı biyodizelini %5 oranında dizel yakıtına karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 64.9 kW, hava soğutmalı, EGR sistemine sahip, Mitsubishi 4D68 SOHC marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B5 yakıtı kullanımının dizel yakıtına göre güç ve torku çok fazla etkilemediğini, özgül yakıt tüketimini artırdığını, CO, CO<sub>2</sub> ve HC emisyonlarını azalttığını, ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarını bir miktar artırdığını belirlemişlerdir.

Atmanlı [396] çalışmasında, atık kızartma yağı biyodizeli (BD), dizel yakıtı (DY) ve propanol (Pr), n-bütanol (B) ve 1-pentanol (P) ile %50DY+%50 BD, %40 DY+%40 BD+%20 Pr, %40 DY+%40 BD+%20 B ve %40 DY+%40 BD+%20 P karışım yakıtlarını hazırlamış ve 4 silindirli, 4 zamanlı, endirekt püskürtmeli, doğal emişli, 12 kW, hava soğutmalı, Onan DJC marka bir dizel motorda 1800 d/d motor devrinde ve farklı yüklerde (1, 3, 6 ve 9 kW) deneyerek farklı alkol kullanımının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini B50 yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, B50 yakıtına göre n-bütanol ve 1-pentanol ilavesinin özgül yakıt tüketimini sırasıyla %0.89 ve 0.95 oranlarında azalttığını, termal verimi sırasıyla %5.58 ve 4.94 oranlarında artırdığını, ancak propanol ilavesinin ise %5.28 oranında özgül yakıt tüketimini artırdığını, %0.95 oranında da termal verimi düşürdüğünü tespit etmiştir. Propanol, n-bütanol ve 1-pentanol ilavesinin B50 yakıtına göre CO emisyonlarını sırasıyla %39.95, 38.83 ve 12.60 oranlarında yükselttiğini, NO<sub>x</sub> emisyonlarını sırasıyla %15.05, 19.27 ve 27.44 oranlarında düşürdüğünü ve HC emisyonlarını ise 1-pentanol ilaveli yakıt hariç diğer yakıtlarda düşürdüğünü belirlemiştir.

Cheikh ve ark. [205] çalışmalarında, atık kızartma yağı biyodizelini dizel yakıtı ile %25 ve 50 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 7.5 kW, hava soğutmalı bir dizel motorda deneyerek yanma karakteristikleri, performans ve egzoz emisyon haritalarını çıkarmışlardır. Sonuç olarak, atık kızartma yağı biyodizeli kullanımıyla dizel yakıtına göre düşük motor devirlerinde silindir



basıncının arttığını, yüksek motor devrilerinde ise kayda değer bir değişimin olmadığını, tutuşma gecikmesi süresinin kısaldığını, özgül yakıt tüketimi değerlerinin arttığını, egzoz emisyonlarında ise motor devrinin ve biyodizel oranının artışına bağlı olarak HC emisyonunun arttığını, CO ve PM emisyonlarının ise belirli bir devre kadar arttığını daha sonra azaldığını, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise arttığını belirlemişlerdir.

Ibrahim [397] çalışmasında, atık kızartma yağı biyodizelini (BD) dizel yakıtı (DY) ile hacimsel olarak %50 oranında karıştırmış, bununla birlikte karışım yakıtı hacimsel olarak %10 ve 20 oranlarında 1-bütanol (B) ilave ederek %45 DY+%45 BD+%10 B ve %40 DY+%40 BD+%20 B karışım yakıtlarını hazırlamıştır. Bu yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 3.5 kW, hava soğutmalı, TecQuipment TD212 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, B50 yakıt kullanımının dizel yakıtına kıyasla maksimum termal verimi artırdığını ve minimum özgül yakıt tüketimini düşürdüğünü, ancak %20 oranına kadar bütanol ilave edilmesinin motor performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristikleri açısından tolere edilebilir değişikliklere neden olduğunu, bütanolün dizel motorlarda kullanımı için motorların optimize edilmesi gerektiğini, yakıt türünün değişmesinin yanma süresinde önemli bir etkisinin olmadığını, ancak NO emisyonunu az da olsa artırdığını, yakıt türünden ziyade motor yükünün değiştirilmesinin yanma süresini daha çok etkilediğini belirtmiştir.

Igbikwe ve Nwafor [398] çalışmalarında, palm yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 oranında karıştırmışlar ve 2 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 23.4 BG, RD270 marka bir dizel motorda tam yük testlerine tabi tutarak motor performans değerlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, maksimum motor torkunu B100 ile 2400 d/d'de 61.4 Nm, B20 ile 2400 d/d'de 65.9 Nm ve dizel yakıtı ile 2400 d/d'de 64.3 Nm, maksimum motor gücünü B100 ile 3600 d/d'de 17.65 kW, B20 ile 3600 d/d'de 18.44 kW ve dizel yakıtı ile 3200 d/d'de 18.17 kW, minimum özgül yakıt tüketimini B100 ile 3000 d/d'de 0.235 kg/kWh, B20 ile 3200 d/d'de 0.196 kg/kWh ve dizel yakıtı ile 3200 d/d'de 0.166 kg/kWh,

maksimum ortalama efektif basıncını B100 ile 2400 d/d'de 6.409 kN/m<sup>2</sup>, B20 ile 2400 d/d'de 6.879 kN/m<sup>2</sup> ve dizel yakıtı ile 2400 d/d'de 6.712 kN/m<sup>2</sup> olarak tespit etmişlerdir.

Imdadul ve ark. [399] çalışmalarında, tamanu yağından ürettikleri biyodizeli (BD) dizel yakıtı (DY) ile hacimsel olarak %15 ve 20 oranlarında karıştırmışlar, elde ettikleri yakıtlara %15 ve 20 oranlarında n-bütanol (B) ve 1-pentanol (P) ilave ederek %70 DY+%15 BD+%15 B, %70 DY+%15 BD+%15 P, %60 DY+%20 BD+%20 B ve %60 DY+%20 BD+%20 P karışım yakıtları hazırlamışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 8.8 kW, su soğutmalı, TF 120 M marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını B15 ve B20 yakıtları ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, alkol ilavesinin B15 ve B20 yakıtlarına göre özgül yakıt tüketimini azalttığını, fren gücünü artırdığını, NO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırdığını, CO ve HC emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir.

Imdadul ve ark. [400] çalışmalarında, dizel yakıtına (DY) %10, 15 ve 20 oranlarında tamanu yağı biyodizeli (BD) ve pentanol ilave etmişler ve tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 8.8 kW, su soğutmalı, TF 120 M marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını %80 DY+%20 BD karışım yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, alkol ilavesi ile B20 yakıtına göre özgül yakıt tüketiminin ortalama %8.7 oranında azaldığını, termal verimin %15 oranında arttığını, fren gücünün %10.4 oranında arttığını, NO emisyonunun %4.4 oranında arttığını, duman koyuluğu, CO, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının sırasıyla ortalama %21.2, 33.1, 43.45 ve 2.5 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, pentanol ilavesinin maksimum silindir iç basıncını artırdığını, yanmayı iyileştirdiğini ve yanma başlangıcını geciktirdiğini ortaya koymuşlardır.

Uludamar ve ark. [401] çalışmalarında, ayçiçek, kanola ve mısır yağlarından ürettikleri biyodizelleri dizel yakıtı ile %20, 40, 60 ve 80 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, 89 kW, su soğutmalı, Mitsubishi Canter 4D34-2A marka bir dizel motorda deneyerek gürültü ve titreşim karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm yakıtlar için motor devrinin artışına bağlı olarak gürültü ve titreşim değerlerinin arttığını, dizel yakıtına göre ayçiçek yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama motor

titreşimlerinin %1.72-4.60 oranlarında, kanola yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama motor titreşimlerinin %2.37-5.76 oranlarında, mısır yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama motor titreşimlerinin %0.50-3.72 oranlarında azaldığını, dizel yakıtına göre ayçiçek yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama gürültü değerlerinin 0.5-0.8 dBA arasında, kanola yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama gürültü değerlerinin 0.3-0.8 dBA arasında ve mısır yağı biyodizeli ve karışımlarının kullanımı ile ortalama gürültü değerlerinin 0.2-0.7 dBA arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır.

Zhu ve ark. [402] çalışmalarında, atık kızartma yağı biyodizeline hacimsel olarak %10, 20 ve 30 oranlarında n-pentanol ilave etmişler ve 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, doğal emişli, su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtlardaki pentanol oranının artması ile yanma başlangıcının ve maksimum ısı salımının olduğu krank açısının üst ölü noktadan uzaklaştığını, silindir basıncının ve ısı salımı hızının arttığını belirlemişlerdir. Karışım yakıtların kullanımı ile dizel ve biyodizel yakıtlarına göre HC ve CO emisyonlarının arttığını, %20 alkol karışımına kadar NO<sub>x</sub> emisyonlarının biyodizele göre azaldığını tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, ilk olarak araştırmada kullanılan yakıtların hazırlanması, fiziksel, kimyasal, yakıt özelliklerinin ve korozyon karakteristiklerinin belirlenmesi için kullanılan materyal ve metotlar anlatılmıştır. Daha sonra deneylerin yapıldığı dizel motoru, egzoz emisyon cihazları, motor test düzeneği ve silindir basıncı ölçüm sistemi ekipmanları verilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan sarı hardal (*Sinapis alba* L.) tohumları İstanbul'da bulunan ticari bir firmadan temin edilmiştir. Sarı hardal yağı üretiminde kullanılan sarı hardal tohumları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sarı hardal (*Sinapis alba* L.) tohumları

#### 3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

##### 3.1.1.1. Vidalı yağ çıkarma presi

Biyodizel üretiminde kullanılan sarı hardal yağı, sarı hardal tohumlarından Tablo 3.1.'de teknik ve işletme özellikleri verilen çift kafalı vidalı yağ çıkarma presi kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.2.).

**Tablo 3.1.** Vidalı yağ çıkarma presinin teknik özellikleri

Marka	Köprülü Makina	
Tip	Vidalı pres	
İmalat yılı	2012	
Presleme girişi tohum özellikleri	Minimum tohum sıcaklığı 15°C, Nem %5-7	
Voltaj/Frekans (V/Hz)	230 V/50 Hz	
Çift başlıklı vidalı pres genel ölçüleri	Uzunluk	844 mm
	Genişlik	775 mm
	Yükseklik	1720 mm
Elektrik motoru voltajı	230/400 V	
Elektrik motoru gücü	2x1.1 kW	
Tohum presleme kapasitesi	15-45 kg/h	
Isıtıcı gücü	230 W	
Presleme öncesi başlık sıcaklık kontrolü	0-100°C	
Küspe çıkış ağız çapları	6, 8, 10 mm	



**Şekil 3.2.** Çift kafalı vidalı yağ çıkarma presi

### 3.1.1.2. Nem ölçer

Sarı hardal tohumunun nem içeriğini belirlemek için Denver Instrument marka IR-35-M model nem ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



**Şekil 3.3.** Nem ölçer

### 3.1.1.3. Soxhlet yağ tayin cihazı

Sarı hardal tohumlarındaki ham yağ oranını belirlemek için soxhlet ekstraksiyonu yapabilen Termal marka balon ısıtıcı kullanılmıştır (Şekil 3.4.). Alüminyum blok ısıtıcılı 6 adet ısıtma bölgesine sahip olan balon ısıtıcı 50-200°C sıcaklık aralığında  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  hassasiyet ile çalışmaktadır.



Şekil 3.4. Soxhlet yağ tayin cihazı

### 3.1.1.4. Döner buharlaştırıcı

Soxhlet yağ tayin cihazında analiz sonucu ham yağ ile çözücü bir arada bulunmaktadır. Çözücünün ham yağdan uzaklaştırılması için Heidolph marka Hei-Vap Value HL/G1 model döner evaporatör kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Döner evaporatör

### 3.1.1.5. Yoğunluk ölçüm cihazı

Yoğunluk ölçümleri için ölçüm aralığı 0-3 g/cm<sup>3</sup>, ölçüm sıcaklık aralığı 0-93°C ve hassasiyeti  $\pm 0.00005$  g/cm<sup>3</sup> olan Kem Kyoto marka DA-645 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.6.). Cihaz ASTM D1250, ASTM D1475, ASTM, D4052, ASTM D4806, ASTM D5002, ASTM D5798, ASTM D5931, ISO 12185 ve ISO 15212 standartlarına göre yoğunluk ölçümü yapmaktadır.



Şekil 3.6. Yoğunluk ölçüm cihazı

### 3.1.1.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Kinematik viskozite ölçümleri için ölçüm sıcaklık aralığı ortam sıcaklığı-150°C ve hassasiyeti  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  olan Polyscience marka 7306A12E model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.7.). Cihaz ASTM D445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarına göre viskozite ölçümü yapmaktadır.



Şekil 3.7. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

### 3.1.1.7. Parlama noktası tayin cihazı

Parlama noktalarının tayini için -30 ile 300°C arasında  $\pm 1^\circ\text{C}$  hassasiyet ile ölçüm yapabilen Rapid Tester marka RT-1 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.8.). Cihaz ASTM D3243, ASTM D3278, ASTM D3828, IP303, ISO 3679 ve ISO 3680 standartlarına göre parlama noktası tayini yapmaktadır.



Şekil 3.8. Parlama noktası tayin cihazı

### 3.1.1.8. Su içeriği tayin (Karl-Fischer titrasyon) cihazı

Su içeriklerini tayin etmek için ölçüm aralığı 10  $\mu\text{g}$ -300 mg ve hassasiyeti  $\pm 0.1 \mu\text{g}$  olan Kem Kyoto Electronics marka MKC-520 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.9.). Ölçüm sıcaklığı 5-35°C arasında ve 16 karakterli LCD ekranlıdır. Cihaz EN ISO 12937 standardına göre ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.9. Su içeriği tayin cihazı

### 3.1.1.9. Kalorimetre cihazı

Net yanma ısısını tespit etmek için ölçüm aralığı 0-40000 J ve ölçüm hassasiyeti  $\pm 0.1 \text{ J}$  olan IKA marka C200 model kalorimetre cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.10.). Cihaz DIN 51900, ISO 1928, ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468 ve ASTM E711 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.





**Şekil 3.10.** Kalorimetre cihazı

#### **3.1.1.10. Bakır şerit korozyon test cihazı**

Bakır şerit korozyon değerlerinin tayini için Koehler marka K25330 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.11.). Cihaz aynı anda 17 adet test tüpü ile korozyon analizi yapabilmektedir. Banyo sıcaklığı kontrollü olarak  $190\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkabilmektedir. Cihaz ASTM D130, ISO 2160 ve DIN 51759 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.11.** Bakır şerit korozyon test cihazı

#### **3.1.1.11. Yarı otomatik bulutlanma noktası, akma noktası ve SFTN tayin cihazı**

Bulutlanma noktası, akma noktası, donma noktası ve SFTN değerlerinin tespiti için Labkits marka PT-SYD-510F1 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.12.). Cihaz ortam sıcaklığından başlayarak  $-70^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar inebilmektedir. Cihazın sıcaklık hassasiyeti  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Cihaz GB/T510, GB/T3535, GB/T6986, SH/T0248, ASTM D97, ASTM D2500, ISO 3015, ISO 3016 ve IP 309 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.12.** Yarı otomatik bulutlanma noktası, akma noktası ve SFTN tayin cihazı

### **3.1.1.12. Otomatik renk ölçüm cihazı**

Renk değerlerinin ölçülmesi için ölçüm aralığı 0.5-8 ve hassasiyeti  $\pm 0.0004$  olan Lovibond marka PFXi-880/P model dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13.). Cihaz Saybolt, ASTM D1500, CIE, Pt-Co/Hazen/APHA renk skalalarına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.13.** Otomatik renk ölçüm cihazı

### **3.1.1.13. pH metre**

pH değerlerinin ölçülmesi için ölçüm aralığı 0-14 ve hassasiyeti  $\pm 0.01$  olan Labkits marka ELE-PHP920 model pH metre kullanılmıştır.

### **3.1.1.14. Distilasyon test cihazı**

Yakıtların distilasyon eğrilerinin belirlenmesi için Labkits marka PT-SYD-255G model distilasyon test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.14.). Cihaz GB/T7534-2004 standardına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.14.** Distilasyon test cihazı

#### **3.1.1.15. Kükürt tayin cihazı**

Yakıtların kükürt değerlerinin belirlenmesi için Biolab Sindie OTG marka taşınabilir kükürt tayin cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.15.). Cihaz ASTM D7039 ve ISO 20884 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.15.** Kükürt tayin cihazı

#### **3.1.1.16. Dizel yakıtı analiz cihazı**

Yakıtların setan sayılarının belirlenmesi için Grabner Instruments marka IROX Diesel model taşınabilir dizel yakıtı analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.16.). Cihaz ASTM D613 standardına göre ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.16.** Dizel yakıtı analiz cihazı

### **3.1.1.17. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı**

Sarı hardal yağından transesterifikasyon yöntemi ile sarı hardal yağı biyodizeli üretiminin optimizasyonunda 100-1500 d/d karıştırma devir aralığına sahip IKA marka C-MAG HS7 model ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.17.).



**Şekil 3.17.** Isıtıcılı manyetik karıştırıcı

### **3.1.1.18. Mekanik karıştırıcı**

Yakıt karışımlarının hazırlanması için 50-2000 d/d karıştırma devir aralığına sahip VELP Scientifica marka DLS F20100155 model laboratuvar tipi mekanik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.18.).



**Şekil 3.18.** Mekanik karıştırıcı

### **3.1.1.19. Homojenizatör**

Yakıtlarda homojenlik sağlanması için yakıt analizlerinden önce 0-24000 d/d karıştırma devir aralığına sahip IKA marka ULTRA-TURRAX T25 dijital model homojenizatör kullanılmıştır (Şekil 3.19.).



**Şekil 3.19.** Homojenizatör

### **3.1.1.20. Kül fırını**

Yakıtların yanma sonucu sülfatlanmış kül miktarını tespit etmek için 30-3000°C sıcaklık ayarlı Nabertherm marka B180 model kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.20.).



**Şekil 3.20.** Kül fırını

#### **3.1.1.21. Hassas teraziler**

Alkol, katalizör ve yakıt numunelerinin tartımları için 210 g kapasiteli,  $\pm 0.0001$  g hassasiyetli ve  $10-30^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında ölçüm yapabilen Denver Instrument marka TP-214 model hassas terazi kullanılmıştır. Motor performans denemelerinde, yakıt tüketimlerinin ölçülmesi için ise 3000 g kapasiteli,  $\pm 0.01$  g hassasiyetli ve  $-10$  ile  $+40^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında ölçüm yapabilen Dikomsan marka FGH-3000 model hassas terazi kullanılmıştır.

#### **3.1.1.22. Etüv**

Temizlenen cam malzemelerin kurutulmasında  $0-300^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığına sahip Elektro-mag marka M6040P model etüv kullanılmıştır.

#### **3.1.1.23. Kronometre**

Kinematik viskozite ve yakıt tüketiminin hesaplanmasında gerekli olan zamanın ölçülmesi için ölçüm aralığı  $0-2400$  s ve hassasiyeti  $\pm 0.01$  s olan HiTRAX RUN marka kronometre kullanılmıştır.

#### **3.1.1.24. Termometreler**

Çalışma süresince sıcaklık ölçümleri için dijital ve cıva sütunlu termometreler kullanılmıştır. Dijital termometre,  $-50$  ile  $+150^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığına sahip  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  hassasiyetli Hanna Checktemp marka kablolu ve problu tip termometredir. Cıva sütunlu termometreler ise  $0-400^{\circ}\text{C}$ ,  $0-300^{\circ}\text{C}$ ,  $-80$  ile  $+60^{\circ}\text{C}$ ,  $-30$  ile  $+50^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralıklarına sahip  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  hassasiyetli termometrelerdir.

### 3.1.1.25. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Yakıtların içerisindeki elementlerin tespiti için Thermo Scientific marka iCAP-Qc model İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. ICP-MS cihazı

### 3.1.1.26. Gaz kromatografisi-Kütle spektrometresi (GC-MS)

Sarı hardal yağı ve bu yağdan üretilen biyodizelin yağ asidi kompozisyonlarının belirlenmesi için Agilent marka 6890 N Network model Gaz kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.22a.). Aynı zamanda biyodizelin ester içeriği, serbest gliserol, toplam gliserol ve metanol içeriklerinin belirlenmesi için Shimadzu marka GCMS-QP2010 Ultra model Gaz kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.22b.).



Şekil 3.22. GC-MS cihazları

### 3.1.1.27. Dijital fotoğraf makinesi

Yakıtların içerisine daldırılan metallerin görüntülenmesi için Canon marka 600D model dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

### 3.1.1.28. Dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu

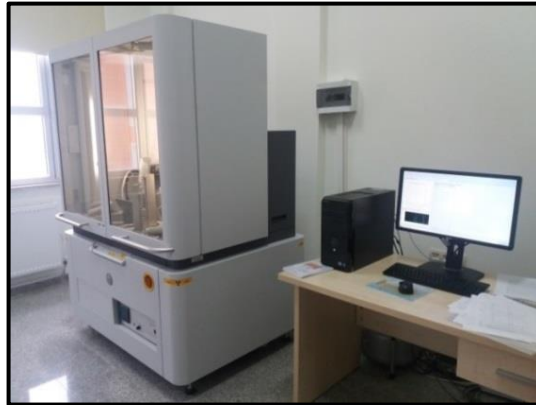
Yakıt numunelerinin alüminyum, bakır, çinko ve pirinç metalleri üzerine korozyon etkilerini görüntülemek için Leica marka DM4500P model dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu

### 3.1.1.29. Çok amaçlı X-ışını difraktometresi (MP-XRD)

Metal yüzeylerinde oluşan değişimleri belirlemek için PANalytical marka Empyrean model çok amaçlı X-ışını difraktometresi (MP-XRD) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. MP-XRD cihazı



### **3.1.1.30. Alan emisyonlu-Çevresel taramalı elektron mikroskobu-Enerji dağılım spektrometresi (FE-ESEM-EDS)**

Metal yüzeylerindeki aşınmaları tespit etmek için Fei marka Quanta 450 Feg model Alan emisyonlu-Çevresel taramalı elektron mikroskobu-Enerji dağılım spektrometresi (FE-ESEM-EDS) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.25.).



**Şekil 3.25.** FE-ESEM-EDS cihazı

### **3.1.1.31. Titrasyon düzeneği**

Sarı hardal yağının serbest yağ asidi ve asit değeri ile test yakıtlarının asit sayılarının tespit edilmesi için titrasyon düzeneği kullanılmıştır. Titrasyon işleminde büret, erlen, hassas terazi, 0.1 N etanollü KOH çözeltisi, %1'lik fenolftaleyn ve etanol-dietil eter karışımı (1:1, v/v) kullanılmıştır. Serbest yağ asitliği kütlece % olarak ve genellikle oleik asit üzerinden verilir. Harcanan her 1 mL 0.1 N KOH çözeltisi 0.028 g oleik aside eş değerdir. Ayrıca, harcanan her 1 mL 0.1 N KOH çözeltisi 56.1 mg potasyum hidroksiti karşıladığı için buradan da asit sayısı hesaplanabilmektedir.

### **3.1.1.32. Ultra saf su cihazı**

Denemelerde kullanılan ultra saf suyu elde etmek için Millipore marka Direct-Q 8UV model ultra saf su cihazı kullanılmıştır.

### **3.1.1.33. Kumpas**

Metal örneklerinin boyutlarının belirlenmesinde 0-150 mm ölçüm aralığına sahip  $\pm 0.01$  mm hassasiyetli Insize marka dijital kumpas kullanılmıştır.

### **3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasallar**

#### **3.1.2.1. Metanol**

Sarı hardal yağından biyodizel üretmek ve B20M5, B20M10, B2M5 ve B2M10 karışım yakıtlarını hazırlamak için molekül ağırlığı 32.04 g/mol ve saflığı %99.8 olan Sigma-Aldrich marka metanol (CH<sub>4</sub>O) kullanılmıştır.

#### **3.1.2.2. Etanol**

B20E5, B20E10, B2E5 ve B2E10 karışım yakıtlarını hazırlamak için molekül ağırlığı 46.07 g/mol ve saflığı  $\geq$ %99.5 olan Sigma-Aldrich marka etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) kullanılmıştır.

#### **3.1.2.3. İzopropanol**

B20I5, B20I10, B2I5 ve B2I10 karışım yakıtlarını hazırlamak için molekül ağırlığı 60.10 g/mol ve saflığı %99.5 olan Sigma-Aldrich marka izopropanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) kullanılmıştır.

#### **3.1.2.4. Bütanol**

B20B5, B20B10, B2B5 ve B2B10 karışım yakıtlarını hazırlamak için molekül ağırlığı 74.12 g/mol ve saflığı  $\geq$ %99 olan Sigma-Aldrich marka bütanol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) kullanılmıştır.

#### **3.1.2.5. Pentanol**

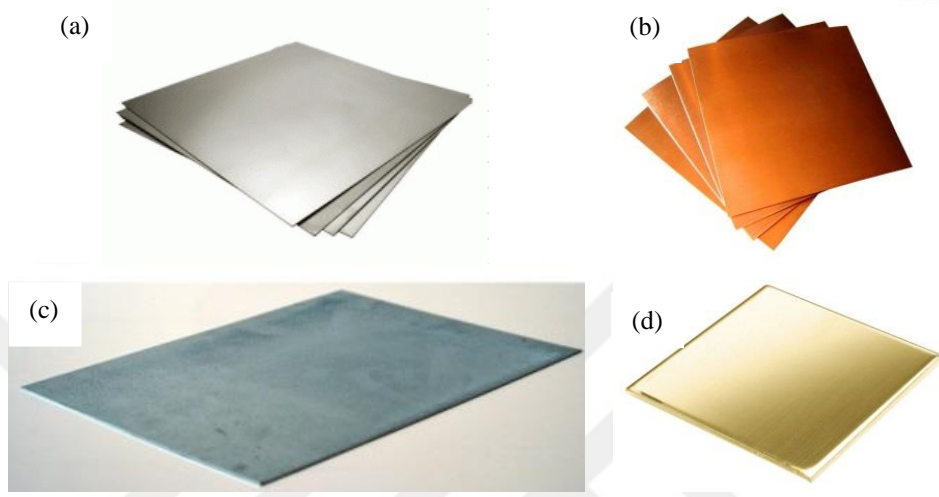
B20P5, B20PB10, B2P5 ve B2P10 karışım yakıtlarını hazırlamak için molekül ağırlığı 88.15 g/mol ve saflığı  $\geq$ %99 olan Merck marka pentanol (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O) kullanılmıştır.

#### **3.1.2.6. Sodyum hidroksit**

Sarı hardal yağından biyodizel elde etmek için katalizör olarak molekül ağırlığı 40 g/mol ve saflığı  $\geq$ %97 olan Merck marka sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

### 3.1.3. Araştırmada kullanılan metaller

Yakıtların metaller üzerine korozif etkilerini belirlemek için 6013 serisi alüminyum, %99.9 saflıkta bakır, %99.86 saflıkta çinko ve MS63 serisi pirinç kullanılmıştır (Şekil 3.26.).



Şekil 3.26. (a) Alüminyum, (b) bakır, (c) çinko, (d) pirinç

### 3.1.4. Pilot biyodizel üretim tesisi

Sarı hardal yağından sarı hardal yağı biyodizeli üretimi Küçük Ölçekli Programlanabilir Kontrol Cihazı (PLC) destekli Pilot Biyodizel Üretim Tesisi'nde gerçekleştirilmiştir. Tesis, bitkisel ve hayvansal yağlardan biyodizel üretmek amacıyla 2013MMF/A53 nolu proje kapsamında Biyoyakıt Laboratuvarı'nda kurulmuştur. Otomasyon sistemine sahip olan tesiste, ham yağ tankına ve metoksit tankına gerekli malzemeler konulduktan sonra herhangi bir müdahaleye gerek olmadan biyodizel üretilebilmektedir. Tesis 2 mm Cr-Ni sacdan imal edilen ve Tablo 3.2.'de kapasiteleri verilen 8 ana tanktan oluşmaktadır.

Tablo 3.2. Biyodizel üretim tesisinde bulunan tanklar ve kapasiteleri

Tank	Kapasite (L)
Ham yağ	65
Reaktör	105
Yıkama/dinlendirme	105
Metoksit	23
Saf su	65
Biyodizel	65
Gliserol	65
Atık su	65

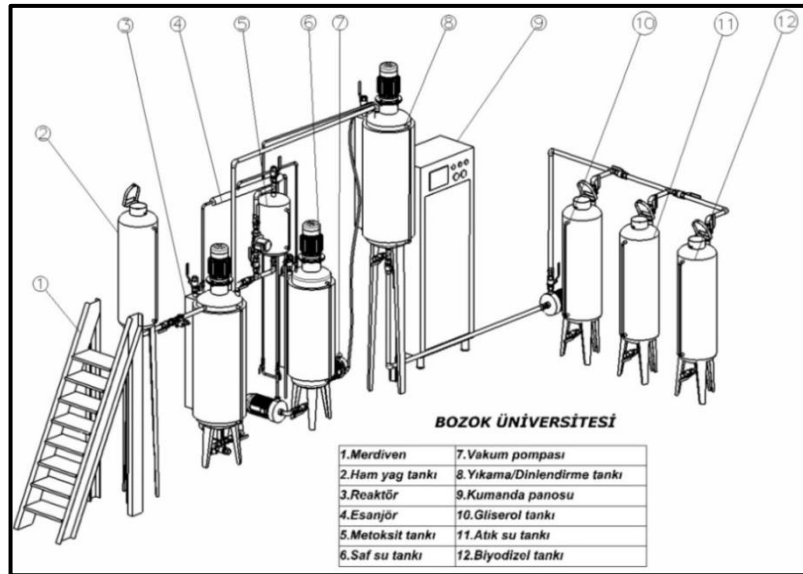
Gerekli kontrol işlemini gerçekleştirmek için de aşağıda belirtilen kumanda elemanları kullanılmıştır.

- 3 adet 3 fazlı asenkron motor (karıştırıcıları çalıştırmak için),
- 3 adet 1 fazlı asenkron motor (ürünleri pompalamak için)
- 3 adet ısıtıcı ve termostat (reaktör, yıkama/dinlendirme ve saf su tankı için)

Pilot biyodizel üretim tesisi yukarıda bahsedilen ana elemanlardan ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Tesis görüntüsü ve şeması Şekil 3.27. ve 3.28.'de verilmiştir.



Şekil 3.27. PLC destekli pilot biyodizel üretim tesisi

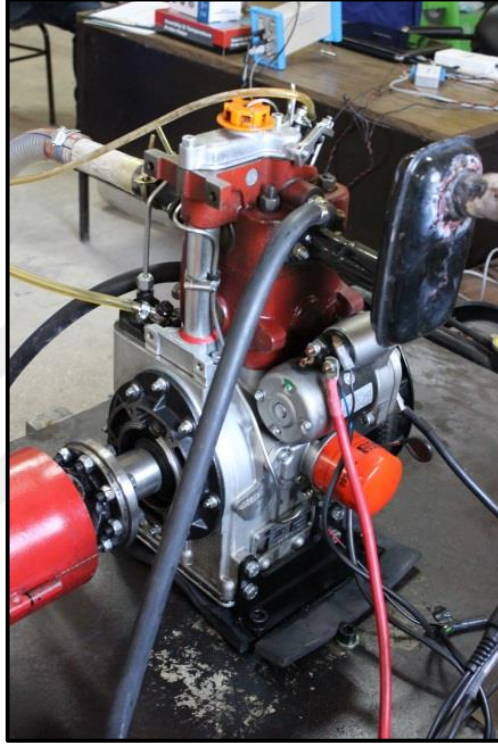


Şekil 3.28. PLC destekli pilot biyodizel üretim tesisi şeması

### 3.1.5. Motor test düzeneği ve ölçüm ekipmanları

#### 3.1.5.1. Test motoru

Motor denemeleri Antor marka 3 LD 510 model bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.29.). Motora ait teknik özellikler Tablo 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.29. Denemelerde kullanılan dizel motor

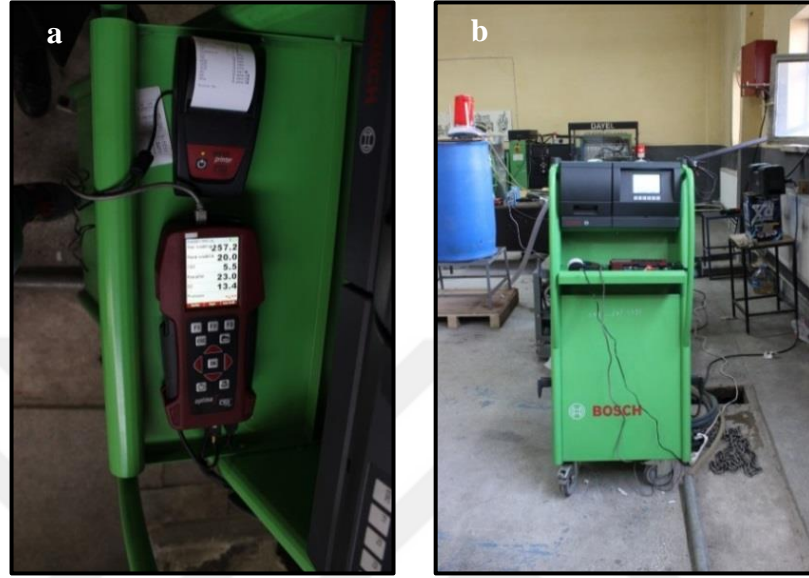
Tablo 3.3. Test motorunun teknik özellikleri

Marka	Antor
Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm <sup>3</sup>	510
Silindir çapı, mm	85
Strok, mm	90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri, d/d	3300
Maksimum motor torku, Nm	32.8
Maksimum motor gücü, kW	9
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjektör markası-püskürtme basıncı, bar	STANADYNE 41445190-190

#### 3.1.5.2. Egzoz emisyon cihazları

Yakıt denemeleri sonucu ortaya çıkan CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> emisyonlarının ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümleri için MRU AIRfair marka OPTIMA 7 model emisyon ölçüm cihazı (Şekil 3.30a.), duman koyuluğunu ölçmek için ise Bosch

marka RTM 430 model duman koyuluğu ölçüm kiti ve Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı (Şekil 3.30b.) kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazlarının teknik özellikleri Tablo 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.30. Egzoz emisyon cihazları

Tablo 3.4. Egzoz emisyon cihazlarının teknik özellikleri

MRU AIRfair OPTIMA 7 egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri			
Emisyon	Birim	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	ppm	0-40000	%5
CO <sub>2</sub>	%	0-20	%5
NO <sub>2</sub>	ppm	0-200	%5
NO	ppm	0-5000	%5
O <sub>2</sub>	% hacimsel	0-21	%0.2
Egzoz gazı sıcaklığı	°C	0-750	±2
Bosch BEA 350 egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri			
Emisyon	Birim	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Duman koyuluğu	1/m	0-10	%1

### 3.1.5.3. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi

Motor performansı denemelerinde motorun yüklenmesi için NetFren marka NF150 model hidrolik dinamometre test sistemine monte edilmiştir (Şekil 3.31.). Hidrolik dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0-6500 d/d ve tork ölçüm aralığı 0-450 Nm'dir. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, ±1 g hassasiyetinde ve 0-200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi kullanılarak okunmuştur (Şekil 3.32.).

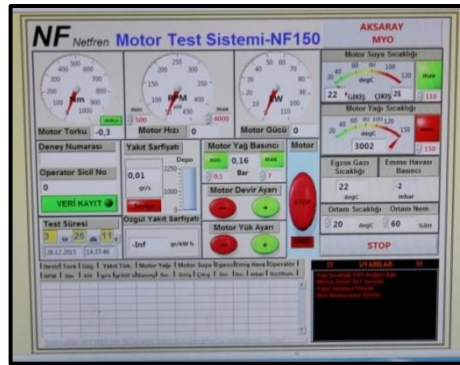


Şekil 3.31. Hidrolik dinamometre



Şekil 3.32. S tipi yük hücresi

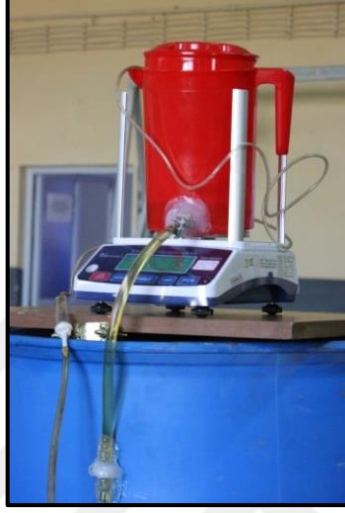
Testlerde elde edilen veriler NetFren firması tarafından hazırlanmış olan ve arayüzü Şekil 3.33.'de gösterilen LabVIEW bilgisayar yazılımı kullanılarak oluşturulan yazılım sayesinde ölçülmüş ve depolanmıştır. Bu yazılım ile motorun frenleme yükü kontrolü de sağlanmaktadır.



Şekil 3.33. Dinamometre kontrol yazılımı arayüzü

#### 3.1.5.4. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

Yakıt tüketimi 2.5 L kapasiteli bir yakıt deposu, Dikomsan marka FGH-3000 model dijital terazi ve HiTRAX RUN marka kronometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.34.).



Şekil 3.34. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

#### 3.1.5.5. Hava tüketimi ölçüm düzeneği

Denemeler sırasında hava tüketimini ölçmek için 0-80 mmH<sub>2</sub>O aralığında ölçüm yapabilen eğik manometre bağlı bir hava metre kullanılmıştır. Deneylerde hava metre girişine 27.5 mm çaplı bir orifis plaka yerleştirilmiştir (Şekil 3.35.).



Şekil 3.35. Hava tüketimi ölçüm düzeneği



### 3.1.5.6. Motor sıcaklıkları ölçümünde kullanılan sıcaklık ölçerler

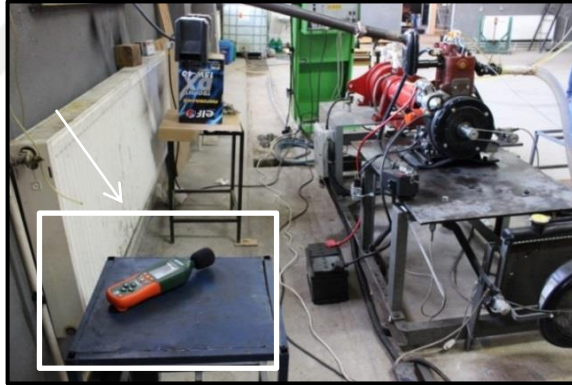
Motor suyu giriş-çıkış ve motor yağı sıcaklıklarının ölçümü için k tipi PT 100 sıcaklık ölçerler kullanılmıştır. Ayrıca, motor yüzey sıcaklığının ölçümü için kızılötesi sıcaklık ölçer kullanılmıştır.

### 3.1.5.7. Debimetre

Motorun soğutucu akışkanının debisi için Bass Instruments firmasına ait TDSS.0.10.0.15. tip, 3-20 L/d ölçüm aralığına ve  $\pm 0.01$  L/d ölçüm hassasiyetine sahip debimetre kullanılmıştır.

### 3.1.5.8. Ses seviyesi ölçüm cihazı

Motorun çalışması sırasında ortaya çıkan gürültü değerlerinin ölçümü için 30-130 dBA ölçüm aralığına ve  $\pm 1.4$  dBA hassasiyete sahip Extech marka HD600 model ses seviyesi ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.36.).

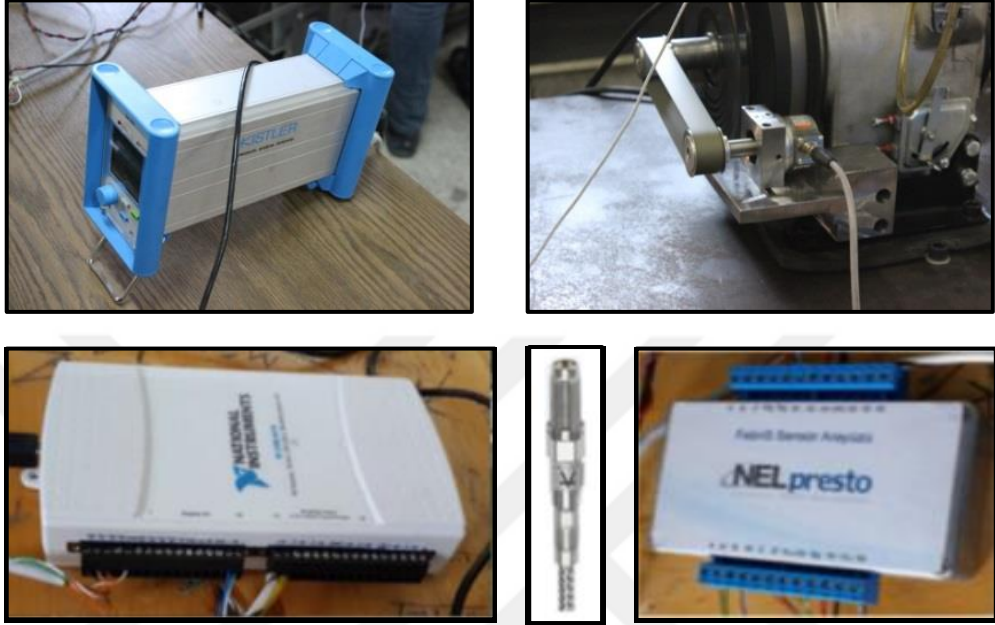


Şekil 3.36. Ses seviyesi ölçüm cihazı

### 3.1.5.9. Silindir basıncı ölçüm sistemi

Silindir basıncı ölçüm sistemi silindir basınç sensörü, amplifikatör, manyetik devir algılayıcı, veri toplama kartı, sinyal koşullandırıcı ve filtresinden meydana gelmektedir (Şekil 3.37.). Kistler marka 6052C model piezoelektrik basınç sensörü silindir basıncının ölçülmesinde kullanılmıştır ve motor silindir kapağına açılan yer, dizel motoru üreten firma tarafından sensörü üreten firmanın önerdiği şekilde yapılmıştır. Silindir basıncına bağlı olarak sensör tarafından üretilen voltajın basınç sinyaline dönüştürülmesini sağlayan ve hassas filtreleme özelliğine sahip olan Kistler marka 5018A model amplifikatör kullanılmıştır. Silindir basıncının krank açısına

bağlı değişiminin ölçülmesi için ise Kübler marka Sendix 5000 model manyetik devir algılayıcısı kullanılmıştır. Silindir basıncı ölçüm sisteminde bulunan elemanların teknik özellikleri Tablo 3.5.'te verilmiştir.

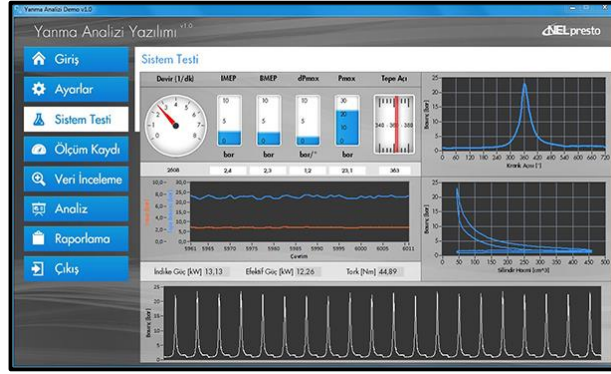


**Şekil 3.37.** Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanları

**Tablo 3.5.** Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarının teknik özellikleri

Basıncı sensörü		Amplifikatör		Manyetik devir algılayıcı	
Marka	Kistler	Marka	Kistler	Marka	Kübler
Model	6052C	Model	5018A	Model	Sendix 5000
Tip	Piezoelektrik	Kanal sayısı	1	Ölçüm aralığı, d/d	0-12000
Ölçüm aralığı, bar	0-250	Ölçüm aralığı, pC	2-2200000	Çalışma sıcaklığı, °C	(-40)-(+85)
Çalışma sıcaklığı, °C	(-20)-(+350)	Çıkış sinyali, V	(-10)-(+10)		
		Frekans, kHz	0-200		
		Çalışma sıcaklığı, °C	0-50		

Motor denemeleri sırasında ölçülen silindir basıncı-krank açısı verileri National firmasına ait NI usb 6210 model veri toplayıcısı, Nel Elektronik firması tarafından hazırlanan sinyal koşullandırıcı ve filtreleyici ve FebriS programı kullanılarak alınmıştır. FebriS yazılımından bir görüntü Şekil 3.38.'de verilmiştir.



Şekil 3.38. FebriS yanma analizi programı arayüzü

Motor performans, yanma analizi ve egzoz emisyon testlerinde kullanılan elemanlar ile oluşturulan test düzeneği Şekil 3.39.'da verilmiştir.



Şekil 3.39. Motor denemelerinin yapıldığı test düzeneği

### 3.2. Metot

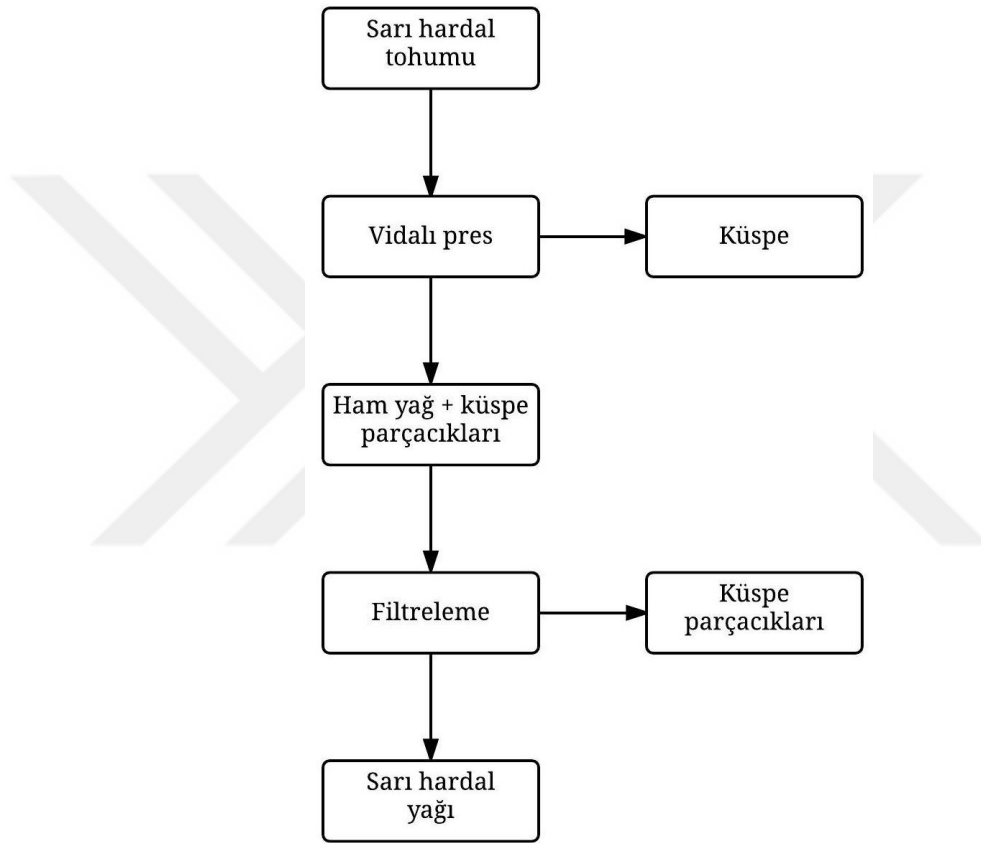
Yapılan araştırma çalışması aşağıda belirtildiği gibi dokuz aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılacak SHYB için sarı hardal tohumundan vidalı pres yardımıyla sarı hardal ham yağının elde edilmesi,
- Sarı hardal ham yağının fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- SHYB'nin üretim sürecine etki eden parametrelerin (metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi) yanıt yüzey metodu (YYM) ile belirlenmesi,
- En yüksek biyodizel veriminin elde edildiği optimum üretim parametrelerinde SHYB'nin pilot tesiste üretilmesi,
- ED, B100 ve farklı alkoller (M, E, I, B, P) ile karışım yakıtların hazırlanması,
- ED, B100 ve karışım yakıtların fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- Farklı metalik malzemeler (alüminyum, bakır, çinko, pirinç) üzerine ED, B100 ve karışım yakıtların korozyon karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanıp, motor deneylerinin yapılması,
- Motorun enerji ve ekserji analizinin gerçekleştirilmesi.

#### 3.2.1. Sarı hardal tohumundan ham yağ elde edilmesi

Sarı hardal yağı Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan vidalı yağ çıkarma presi kullanılarak elde edilmiştir. Vidalı yağ çıkarma presi 6, 8 ve 10 mm küspe çıkış ağız çapına sahiptir. Küspe çıkış ağız çapı küçüldükçe elde edilen yağ miktarı artmaktadır. Sarı hardal tohumundan ham yağ elde etmek için 6 mm çapa sahip küspe çıkış ağız kullanılmıştır. Vidalı yağ çıkarma presinin özelliği olarak, en yüksek yağ verimini elde etmek için tohum sıcaklığı minimum 15°C'de ve nem içeriği de %5-7 aralığında olması gerekmektedir. Sarı hardal tohumundan yağ çıkarma işlemi Şekil 3.40.'da verilmiştir. Sarı hardal tohumu 20±0.5°C ve %4.77±0.03 nemde preslenmiştir. Presleme yapılmadan önce başlık sıcaklığı 55±1°C'ye çıkartılmıştır. İlk çalıştırmada küspe ve yağ çıkışı 10

dakika kadar sonra gerçekleşmiştir. 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilen yağ sıkma işlemi  $104.6 \pm 2.9$  dakika devam etmiş ve 30 kg tohumdan  $6.400 \pm 0.090$  L ( $5.826 \pm 0.082$  kg) yağ elde edilmiştir. Sarı hardal tohumundan vidalı presleme işlemi sonrasında %19.42 oranında ham yağ elde edilmiştir. Sarı hardal tohumundan soxhlet ekstraksiyon işlemi sonunda elde edilen ham yağ oranı ise %26.50 olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 3.40.** Ham yağın elde edilme aşamaları

Elde edilen ham yağ cam kavanozlarda ağzı kapalı olarak 1 hafta bekletildikten sonra yoğunluk farkı nedeniyle alt kısmında küspe parçacıklarının biriktiği gözlenmiştir. Üst kısımdaki yağ alınmış ve içerisinde asılı kalan küspe parçacıkları filtrelenerek giderilmiştir. Daha sonra elde edilen ham yağ biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Sarı hardal tohumunun preslenmesi, elde edilen küspe, ham yağ ve ham yağın bekletilmesi sonucu çöken küspe parçacıkları Şekil 3.41.'de verilmiştir. Sarı hardal yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.6.'da, yağ asidi kompozisyonu ise Tablo 3.7.'de verilmiştir.



**Şekil 3.41.** (a) Sarı hardal tohumunun preslenmesi, (b) küspe, (c) ham yağ, (d) ham yağ ve çöken küspe parçacıkları

**Tablo 3.6.** Sarı hardal yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	Sarı hardal yağı
Yoğunluk (15°C'de)	g/cm <sup>3</sup>	0.91380 ± 0.00033
Kinematik viskozite (40°C'de)	mm <sup>2</sup> /s	42.777 ± 0.076
Isıl değer	MJ/kg	39.832 ± 0.752
Su içeriği	mg/kg	546.12 ± 3.673
Parlama noktası	°C	218
Asit sayısı	mg KOH/g	1.828
Serbest yağ asitliği	%oleik	0.914
Renk (ASTM D1500)	-	2.2
pH	-	6.727 ± 0.160
Bakır şerit korozyon (50°C'de 3 saat)	Korozyon derecesi	1a
Bulutlanma noktası	°C	-2
Akma noktası	°C	-18
SFTN	°C	*
Donma noktası	°C	-21

\*Tespit edilememiştir.

**Tablo 3.7.** Sarı hardal yağının yağ asidi kompozisyonu

No	Yağ asidi	Molekül ağırlığı	Yapı	Formül	Sarı hardal yağı
1	Steraik	284	18:0	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.262 ± 0.037
2	Oleik	282	18:1	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	23.571 ± 0.362
3	Linoleik	280	18:2	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	8.336 ± 0.142
4	Linolenik	278	18:3	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	9.385 ± 0.115
5	Gondoik	310	20:1	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	9.822 ± 0.088
6	Erusik	339	22:1	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	32.977 ± 0.011
7	Nervonik	367	24:1	C <sub>24</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	3.816 ± 0.275

### 3.2.2. Sarı hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu

Sarı hardal yağından SHYB üretimi Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyoyakıt Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretimine geçmeden önce sarı hardal yağının serbest yağ asidi değerinin bilinmesi gerekmektedir. Serbest yağ asidi değerine bağlı olarak reaksiyonun tek kademeli mi yoksa çift kademeli mi olduğuna karar verilebilmektedir. Sarı hardal yağının serbest yağ asidi değeri %1'den düşük [103, 119-132] olması sebebiyle ön iyileştirme reaksiyonuna gerek kalmadan doğrudan transesterifikasyon yöntemi uygulanmıştır.

Optimizasyon sürecinde metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi parametreleri incelenmiş ve optimum koşulların belirlenmesinde YYM kullanılmıştır. Optimizasyon çalışması Design Expert 9.0.4 [403] paket programında yapılmıştır.

Biyodizel verimi Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır [122].

$$\text{Biyodizel verimi (Y)} = \frac{\text{Üretilen biyodizel miktarı (g)}}{\text{Reaksiyonda kullanılan yağ miktarı (g)}} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu çalışmada 4 değişkenli, 5 seviyeli ve 30 özel tasarım noktası içeren Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) esasları temel alınmıştır. Deneylerin tasarımında seçilen bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin seviye değerleri Tablo 3.8.'de verilmiştir.

**Tablo 3.8.** Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri

Değişken	Birim	Sembol	Kodlanan değişken seviyeleri				
			-a	-1	0	1	a
Metanol/yağ molar oranı	mol/mol	X <sub>1</sub>	2:1	4:1	6:1	8:1	10:1
Katalizör miktarı	%	X <sub>2</sub>	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Reaksiyon sıcaklığı	°C	X <sub>3</sub>	50	55	60	65	70
Reaksiyon süresi	dakika	X <sub>4</sub>	30	45	60	75	90

Biyodizel verimine etki eden her bir parametre 5 farklı seviyede incelenmiştir. Klasik deney tasarım yöntemlerinde tam faktöriyel tasarım ile 625 (5<sup>k=4</sup>) adet deney yapmak yerine 4 adet değişkenin yanı sıra parametreler arasındaki etkilerin de incelenebildiği MKT kullanılarak sadece 30 (=2<sup>k</sup>+2k+6) adet deney yapılmıştır. Denemeler sonucunda gerçek yanıt yüzeyindeki eğriliği tahmin edecek olan ikinci dereceden polinom Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

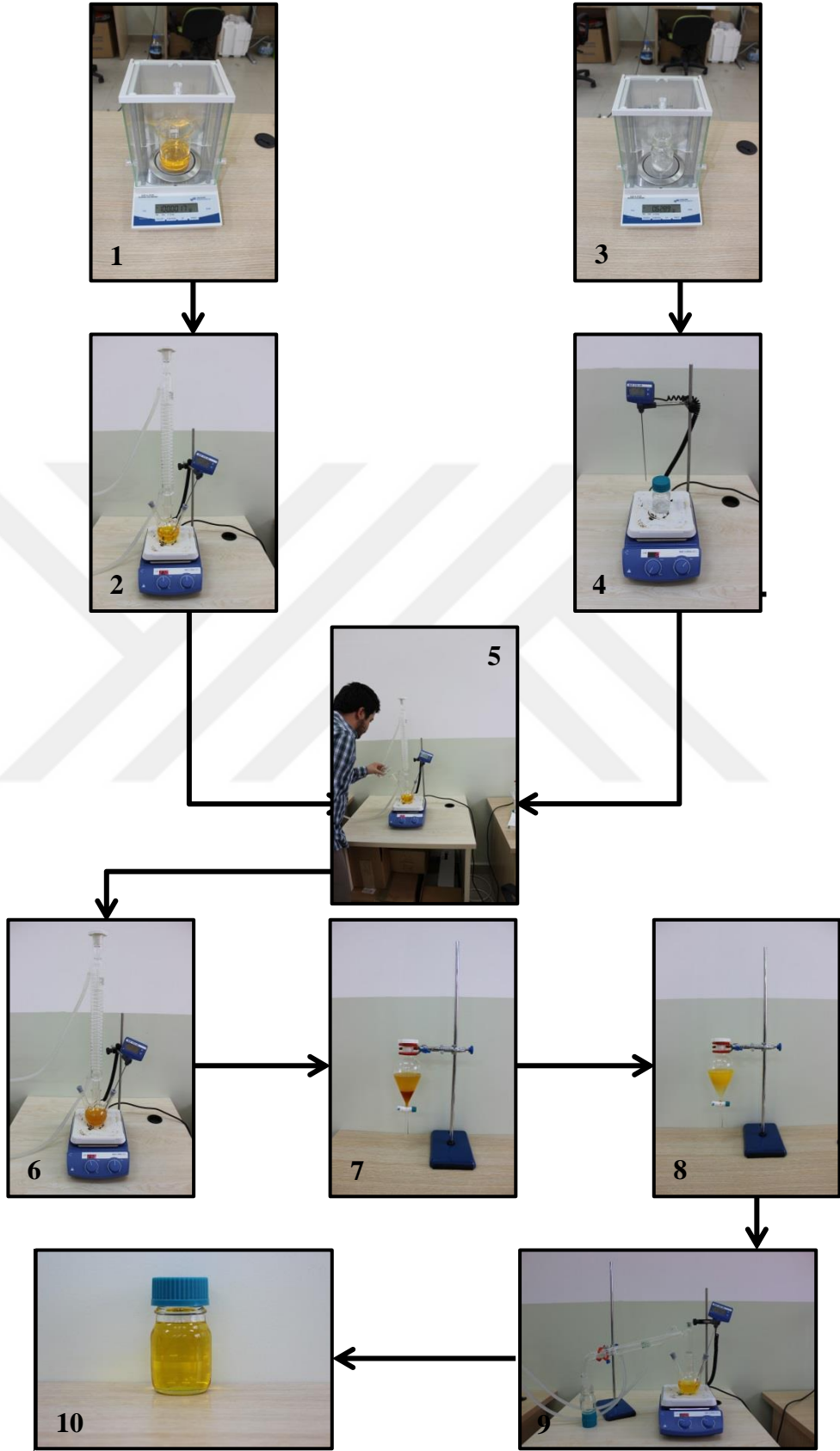
$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{ii>j}^k \sum_j^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (3.2)$$

Burada  $Y(\%)$  biyodizel verimini;  $b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij}$  sabit ve modelin katsayılarını;  $X_i, X_j$  bağımsız değişkenleri;  $e$  ise ortalaması 0 ve varyansı  $R^2$  olan normal dağılıma ait hata terimini ifade etmektedir.

Design Expert 9.0.4 [403] programı, varyans analizi (ANOVA) ve yanıt yüzeylerini oluşturmak için kullanılmıştır. Önerilen modelin istatistik ve regresyon önemi sırasıyla F ve t testi ile kontrol edilmiştir. Matematiksel model tahmini yapıldıktan sonra bu eşitliğin ilişkiyi ne derece açıkladığının ve yapılacak olan tahminlerin ne derece hassas sonuçlar vereceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan varsayımlardan biri, seçilen modelin matematiksel formunun uygun olduğu, dolayısıyla gerçek ortalama yanıtı temsil edebildiği de test edilmelidir. Bu amaçla, regresyon katsayısının ( $R^2$ ), düzeltilmiş regresyon katsayısının ( $R^2_{adj}$ ), varyasyon katsayısının (C.V), tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamının (PRESS), yeterli tahminleme (adequite precision) değerinin hesaplanması, regresyon analizine hipotez testlerinin uygulanması, hipotez testlerinin regresyon katsayılarına bireysel olarak uygulanması, model uygunsuzluğunun test edilmesi (lack of fit testi) ve kalıntı analizi gibi farklı test yöntemleri uygulanmaktadır. Aynı zamanda, oluşturulan matematiksel modelin sistemi tam anlamıyla temsil edip etmediğini belirlemek için yapılan deneylerde, incelenen parametrelerden bazılarının seviyesini değiştirerek doğrulama deneyleri yapılarak modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilmektedir. Eğer doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar ile matematiksel modelden elde edilen sonuçlar arasındaki hata payı kabul edilebilir sınır değerler içerisinde ise oluşturulan matematiksel modelin uygun olduğu söylenebilir. Optimizasyon prosesinin belirlenen hedefler doğrultusunda, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu bağımsız değişkenlerin hedefe olan etkileri de göz önünde bulundurularak bir araya getirilip uygulanması işlemidir. Herhangi bir optimizasyon işlemi, genellikle hedef fonksiyonu adı verilen önceden tanımlanmış kriterleri maksimize veya minimize etmek için bağımsız değişkenler adı verilen belirlenen koşulların değiştirilmesini içerir. Bugün, rekabete dayalı piyasada optimizasyon teorisinin ve tekniklerinin uygulanması gereklidir [404].



Sarı hardal yağından biyodizel üretiminde optimizasyon aşamaları Şekil 3.42.'de verilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör olarak NaOH, alkol olarak ise metanol kullanılmıştır. NaOH ve metanol ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında (23°C) 15 dakika boyunca karıştırılmış ve metoksit çözeltisi elde edilmiştir. Elde edilen metoksit çözeltisi, 3 yollu balon içerisinde bulunan karıştırma devri 1000 d/d olan 100 g sarı hardal yağının üzerine eklenmiş ve reaksiyona tabi tutulmuştur. Reaksiyon sonunda gliserol fazını ayırmak için ayırma hunisi kullanılmıştır. 8 saat sonra üst tarafta kalan ham biyodizel tekrar ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerine alınmış ve sıcaklığı 75°C'ye çıkarılarak içerisindeki metanolün uzaklaşması sağlanmıştır. Ardından ham biyodizelin sıcaklığı 55°C'ye düşene kadar beklenmiş ve tekrar ayırma hunisine alınmıştır. Ham biyodizeli nötrleştirmek amacıyla duşlama yöntemi ile ham biyodizelin %20'si oranında 55°C sıcaklıkta ultra saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işlemi sonunda 8 saat beklenmiş ve ayırma hunisi yardımıyla atık su alınmıştır. Yıkanmış biyodizel ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ile içerisinde kalan suyu uzaklaştırmak için 120°C'ye ısıtılmış ve 2 saat beklenmiştir. 2 saat sonunda biyodizel alınarak cam fermantasyon kavanozlarında ağzları kapalı şekilde soğumaya bırakılmıştır. Soğutulan biyodizel hassas terazi yardımıyla tartılarak kaydedilmiş ve biyodizel verimi Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.42. Biyodizel üretiminde optimizasyon aşamaları

### 3.2.3. Sarı hardal yağı biyodizelinin pilot tesiste üretilmesi

Laboratuvar koşullarında yapılan çalışmalar ile birlikte büyük ölçekte biyodizel üretimi için optimum reaksiyon şartları 7.407:1 metanol/yağ molar oranı, %0.627 katalizör, 61.837°C reaksiyon sıcaklığı ve 62.122 dakika reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir. Sarı hardal yağından SHYB üretmek için, yağ pilot tesiste aşağıdaki aşamalar uygulanarak dizel motorlarda kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

- 50 L sarı hardal yağı pilot tesiste ham yağ tankına konulmuştur. Buradan yağ selenoid vana ve yerçekimi yardımıyla reaktöre gönderilmiştir. Sarı hardal yağı reaktörde 61.8°C'ye kadar ısıtılmıştır. Termostat kontrolü sayesinde reaksiyon sıcaklığı sabit tutulmuştur. Karıştırıcı ile karıştırılarak sıcaklığın her yerde homojen olması sağlanmıştır.
- Optimizasyon çalışması sonucu bulunan 7.407:1 metanol/yağ molar oranına bağlı metanol ile %0.627 NaOH metoksit tankına konulmuş ve sirkülasyon pompası vasıtasıyla katalizörün çözünmesi beklenmiştir. Elde edilen metoksit çözeltisi yer çekimi vasıtasıyla reaktörde bulunan sarı hardal yağı üzerine gönderilmiştir.
- Reaktörde karıştırma işlemi 62.1 dakika devam etmiştir. Sonra karıştırıcı ve ısıtıcı durdurulmuştur. Gliserolün çökmesi için 8 saat beklenmiş ve çöken gliserol pompa vasıtasıyla gliserol tankına gönderilmiştir. Reaksiyon sonunda ortaya çıkan gliserol miktarı 5.2 L'dir. Daha sonra ham biyodizelin sıcaklığı 75°C'ye çıkartılmış ve eşanjör vasıtasıyla 3.3 L metanol geri kazanılmıştır.
- Reaktör içerisindeki ham biyodizel pompa yardımıyla dinlendirme/yıkama tankına gönderilmiş, burada ham biyodizelin sıcaklığının 55°C'ye düşmesi ile birlikte reaksiyon bazik karakterli olduğu için nötrleşinceye kadar duşlama yöntemi kullanılarak 55°C sıcaklıktaki 12.5 L ultra saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işlemi sonrası atık suyun çökmesi için 8 saat beklenmiş ve atık su pompa vasıtasıyla atık su tankına gönderilmiştir.
- Dinlendirme/yıkama tankının ısıtıcısı çalıştırılmış ve 120°C sıcaklığa kadar yıkanmış biyodizel ısıtılmıştır. Biyodizelin içerisinde buharlaşan su bu tanka

bağlı olan vakum pompası yardımıyla dışarı atılmıştır. Toplamda 120°C’de 2 saat kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından, SHYB soğuması için pompa yardımıyla biyodizel tankına gönderilmiştir. Böylece pilot biyodizel üretim tesisinde sarı hardal yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.4. Yakıt karışımlarının hazırlanması

Yakıt karışımları hacimsel olarak hazırlanmıştır. Karışımlar yapılırken dizel yakıtı SHYB’ye ilave edilmiş ve gözle görülür şekilde homojenlik sağlanana kadar mekanik karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Daha sonra, alkol ilavesi yapılarak mekanik karıştırıcı ile 7.5 dakika ve homojenizatör ile 7.5 dakika olmak üzere toplam 15 dakika karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Hazırlanan tüm test yakıtları Şekil 3.43.’te görülmektedir. Tüm yakıtlar cam fermantasyon kavanozlarında ve ortam koşullarında depolanmıştır. Denemelere başlamadan önce yakıtlar tekrar karıştırılarak oluşabilecek herhangi bir faz ayrışımı önlenmeye çalışılmıştır.



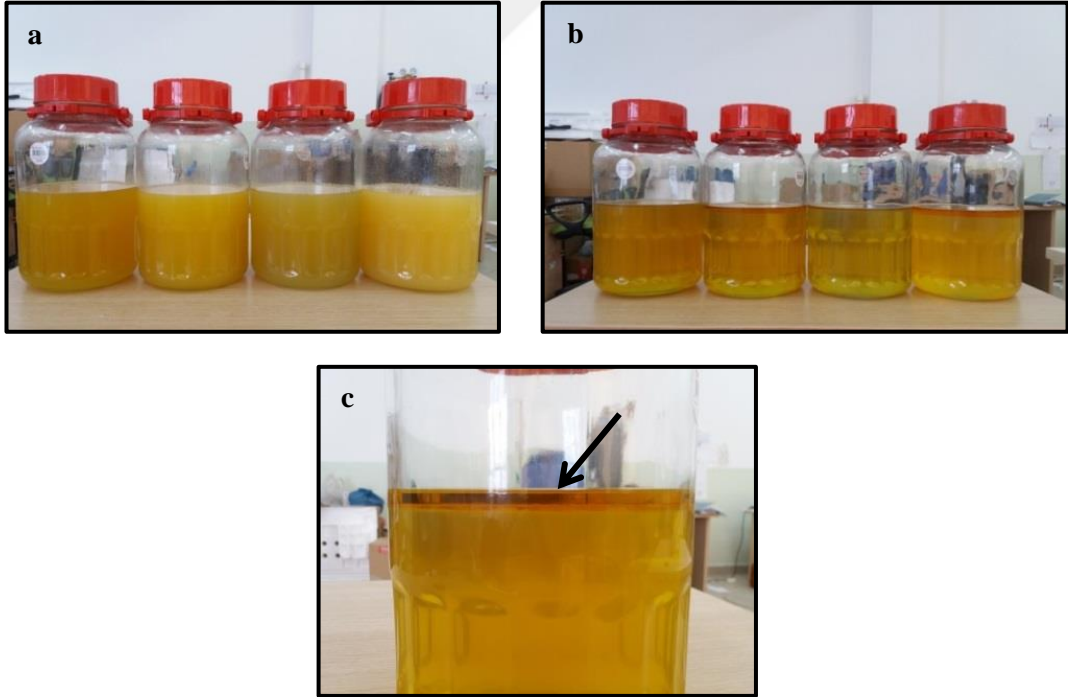
**Şekil 3.43.** Sarı hardal yağı, SHYB, ED ve hazırlanan karışım yakıtlar

Denemelerde kullanılan yakıtların hacimsel olarak karışım oranları Tablo 3.9.’da verilmiştir. 20-25°C sıcaklıkta karıştırılan yakıtlarda metanol katkılı yakıtlar hariç diğer yakıtlarda faz ayrışımı görülmemiştir. Metanol eklenen karışımlarda belirli bir süre sonra faz ayrışması gözlenmiş ve bu nedenden dolayı da denemeler gerçekleştirilememiştir (Şekil 3.44.).

**Tablo 3.9.** Denemelerde kullanılan yakıtların hacimsel olarak karışım oranları

No	Test yakıtı	ED	SHYB	M	E	I	B	P
1	ED	100	-	-	-	-	-	-
2	M	-	-	100	-	-	-	-
3	E	-	-	-	100	-	-	-
4	I	-	-	-	-	100	-	-
5	B	-	-	-	-	-	100	-
6	P	-	-	-	-	-	-	100
7	B100	-	100	-	-	-	-	-
8	B20	80	20	-	-	-	-	-
9	B20M5*	75	20	5	-	-	-	-
10	B20M10*	70	20	10	-	-	-	-
11	B20E5	75	20	-	5	-	-	-
12	B20E10	70	20	-	10	-	-	-
13	B20I5	75	20	-	-	5	-	-
14	B20I10	70	20	-	-	10	-	-
15	B20B5	75	20	-	-	-	5	-
16	B20B10	70	20	-	-	-	10	-
17	B20P5	75	20	-	-	-	-	5
18	B20P10	70	20	-	-	-	-	10
19	B2	98	2	-	-	-	-	-
20	B2M5*	93	2	5	-	-	-	-
21	B2M10*	88	2	10	-	-	-	-
22	B2E5	93	2	-	5	-	-	-
23	B2E10	88	2	-	10	-	-	-
24	B2I5	93	2	-	-	5	-	-
25	B2I10	88	2	-	-	10	-	-
26	B2B5	93	2	-	-	-	5	-
27	B2B10	88	2	-	-	-	10	-
28	B2P5	93	2	-	-	-	-	5
29	B2P10	88	2	-	-	-	-	10

\*Faz ayrışmasından dolayı denemeler gerçekleştirilememiştir.



**Şekil 3.44.** (a) Karışım oluşturulduktan hemen sonraki ve (b), (c) belirli bir süre sonraki metanol katkılı yakıtların faz ayrışması

### 3.2.5. Test yakıtlarının fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi

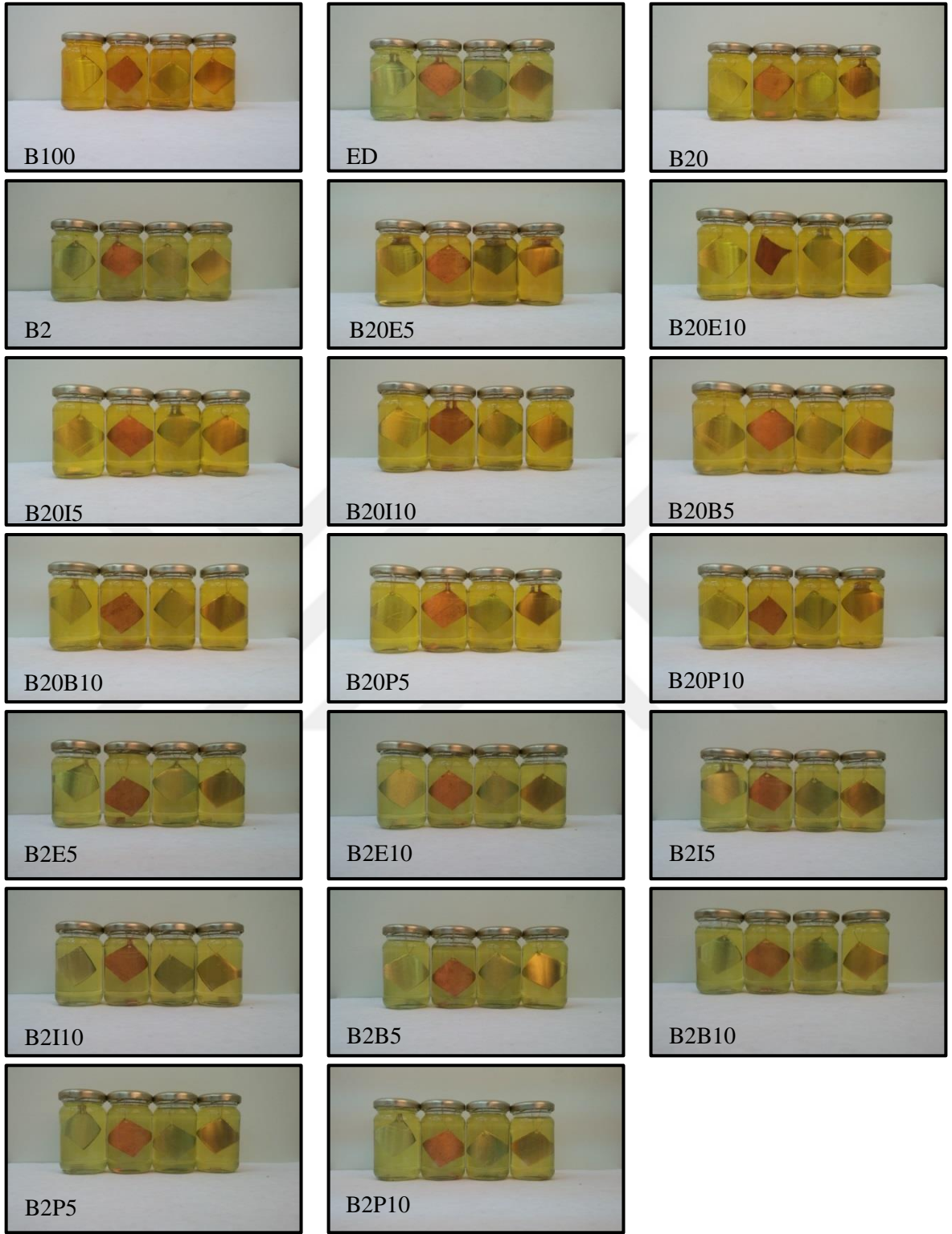
Test yakıtlarının yoğunluk, kinematik viskozite, ısı değeri, su içeriği, parlama noktası, renk, pH, asit sayısı, distilasyon eğrileri, setan indisi, bulutlanma noktası, akma noktası, SFTN ve donma noktası Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda; kükürt miktarı ve setan sayısı Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Akaryakıt Analiz Laboratuvarı'nda; ester içeriği, metanol içeriği, serbest ve toplam gliserol, element içerikleri Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde; sülfatlanmış kül içeriği Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda, bakır şerit korozyon Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Biyodizel Laboratuvarı'nda, yağ asidi bileşenleri, linolenik asit metil ester ve çoklu doymamış ( $\geq 4$  çift bağ) metil ester değerleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. B100 yakıtının iyot sayısı (g iyot/100g) ise yağ asidi kompozisyonuna göre Eşitlik 3.3 ile hesaplanmıştır [68].

$$Iyot\ sayısı = \sum_{i=1}^n \left( \frac{254xDx A_i}{MW_i} \right) \quad (3.3)$$

Burada;  $D$  yağ asidi zincirindeki çift bağ sayısını,  $A_i$  yağ asidi kompozisyonundaki her bir bileşenin oranını ve  $MW_i$  (g/mol) bu bileşenlerin molar kütlelerini ifade etmektedir.

### 3.2.6. Korozyon testleri

Korozyon testleri Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyoyakıt Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Test yakıtlarının farklı metaller (alüminyum, bakır, çinko, pirinç) üzerine korozyon etkileri statik daldırma testi ile belirlenmiştir. İlk olarak, metaller 30x30x2 mm boyutlarında kesilmiş ve bir köşesinden 2 mm çapında delik açılmıştır. Denemelerden önce metaller etanol ve aseton ile yüzeyleri temizlenmiş ve kurutulmuştur. Metaller yakıt içerisine daldırılmadan önce hassas terazi ile tartılıp ağırlıkları not edilmiştir. Ardından malzemeler yakıt içerisine daldırılarak 4320 saat (6 ay) süre ile oda sıcaklığında (20-25°C) ve ışıksız ortamda cam kavanozlarda bekletilmiştir. Yakıtların içerisine daldırılan metallerin korozyon denemelerine başlamadan önceki görüntüleri Şekil 3.45.'te verilmiştir.



**Şekil 3.45.** Statik daldırma testi için hazırlanan örnekler

Aynı zamanda, daldırma zamanının etkisini ortaya koymak için ED ve B100 yakıtlarına alüminyum, bakır, çinko ve pirinç daldırılmış ve 45, 90, 135, 180 gün için ayrı ayrı denemeler kurularak korozyon hızları belirlenmiştir.

4320 saat (6 ay) sonunda yakıt içerisine daldırılan metaller çıkartılmış, kurutma kağıdıyla kurutularak ve tekrar hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlık farkına bağlı olarak korozyon hızı (KH) Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır [235].

$$KH = \frac{534w}{D_m t A} \quad (3.4)$$

Burada;  $KH$  ( $mpy=milli-inch\ per\ year$ ) korozyon hızını,  $w$  ( $mg$ ) ağırlık kaybını,  $D_m$  ( $g/cm^3$ ) metalin yoğunluğunu,  $t$  ( $h$ ) daldırma zamanını ve  $A$  ( $inç^2$ ) metalin yakıtla temas eden alanını ifade etmektedir ( $1\ mpy=0.0254\ mm/yıl$ ).

Malzemelerin ilk ve son durumda yüzeylerinde meydana gelen değişimler dijital fotoğraf makinesi, dijital görüntüleme sistemli polarize araştırma mikroskobu (x40), çevresel taramalı elektron mikroskobu (x250, x500, x2500, x5000 ve x10000) ile görüntülenmiş ve yakıtların malzeme yüzeylerinde meydana getirdiği aşınmalar belirlenmiştir. Daha sonra malzemeler MP-XRD cihazıyla taranmış ve malzeme üzerinde meydana gelen kristal yapı değişimleri tespit edilmiştir. Görüntüleme işlemleri Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyoyakıt Laboratuvarı'nda ve Jeoloji Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda ve tarama işlemleri Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

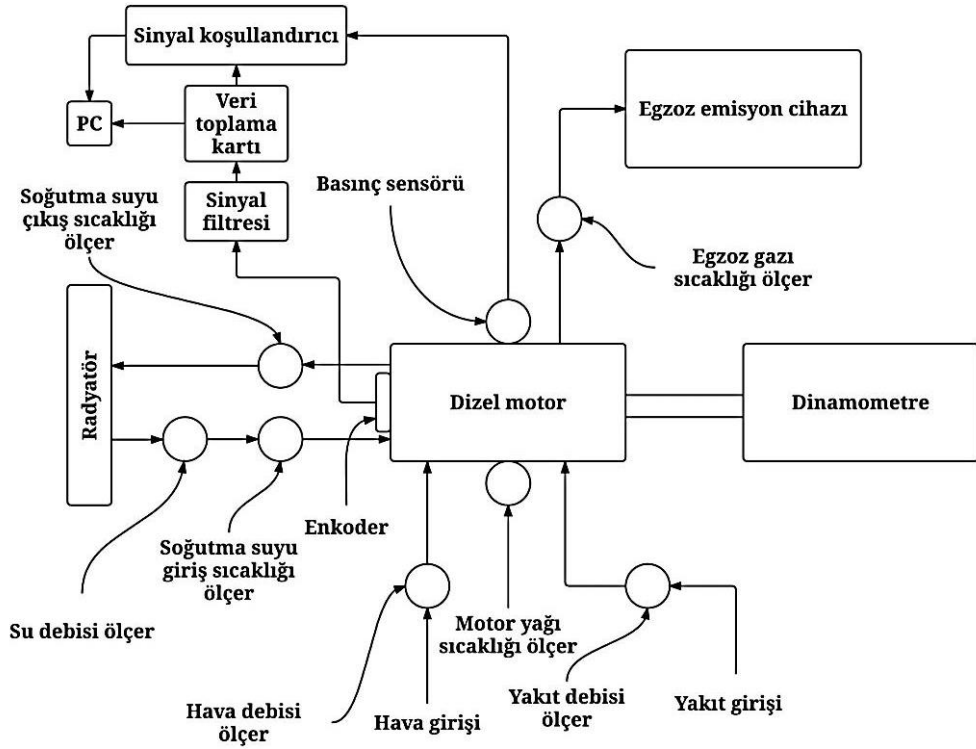
### **3.2.7. Motor karakteristik deneyleri**

Motor karakteristik deneyleri, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı Otomotiv Laboratuvarı'nda kurulu olan motor test düzeneğinde yürütülmüştür.

#### **3.2.7.1. Motor test düzeneğinin hazırlanması**

Motor test düzeneği; motor torku, yakıt tüketimi, hava tüketimi, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklığı ölçümlerinin yapıldığı motor test sistemi, egzoz gaz analizlerinin yapıldığı emisyon ölçüm sistemi ve silindir içi yanma analizlerinin yapıldığı silindir basıncı ölçüm sistemlerinden oluşmaktadır. Motor denemelerinin yapıldığı test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.46.'da verilmiştir.





Şekil 3.46. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

### 3.2.7.2. Motor performans ve egzoz emisyon deneylerinin yapılması

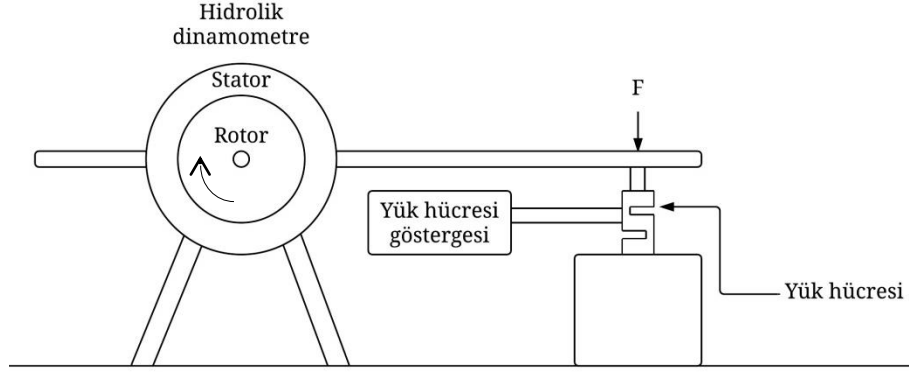
Testlere başlamadan önce kullanılan cihazların kalibrasyonları yapılmış, motorun rodaj süresi geçirilmiş ve ön testler gerçekleştirilerek motorun çalışma şartları belirlenmiştir. Ön testler sonucunda, motorun kararlı hale gelme süresi tespit edilerek tüm yakıtlar için motorun kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Ön testlerde karşılaşılan tüm eksiklikler giderildikten sonra ana test sürecine geçilmiştir.

Dizel yakıtı referans yakıt olarak test edilmiş ve motor tam gaz kelebeği açıklığında, 3200 d/d motor devrinden başlayarak hidrolik dinamometre ile yüklenerek 200 d/d aralıklar ile motor devirleri sabit tutularak 1000 d/d motor devrine kadar motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri belirlenmiştir. Testler sırasında ortam sıcaklığı 25°C olarak tespit edilmiştir.

### 3.2.7.3. Deneylerde ölçülen parametreler

#### 3.2.7.3.1. Efektif motor torku

Motor torku ölçümlerinde kullanılan hidrolik dinamometre ve yük hücresinin şematik gösterimi Şekil 3.47.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.47.** Hidrolik dinamometre ve yük hücresinin şematik görünümü

Motorun dönmesi ile birlikte, rotorda aynı yöne dönmeye başlar. Kanatçıklar arasına su dolmaya başladığı andan itibaren rotorun dönme kuvveti statora tesir ederek döndürmeye çalışır. Stator dönmek isterken yük hücresine baskı yapar ve bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet motorun döndürme kuvvetidir. Motorun o anda üretmiş olduğu efektif tork yük hücresi ile motor merkezi arasındaki mesafeye bağlı olarak Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır.

$$M_e = FL \quad (3.5)$$

Burada;  $M_e$  ( $Nm$ ) efektif motor torkunu,  $F$  ( $N$ ) motorun döndürme kuvvetini,  $L$  ( $m$ ) ise yük hücresi ile rotor merkezi arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

### 3.2.7.3.2. Yakıt tüketimi

Yakıt tüketimi ağırlık esasına göre 2.5 L kapasiteli bir yakıt deposunun dijital terazi üzerine yerleştirilerek kronometre yardımıyla yakıt miktarının zamana bağlı değişimlerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Ölçülen yakıt tüketimi birimi g/s'dir.

### 3.2.7.3.3. Motor ve egzoz gazı sıcaklıkları

Testlerde, motor soğutma suyu, motor yağı ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümleri için kullanılan sıcaklık ölçerler, egzoz gazı sıcaklığı için egzoz manifolduna mümkün olan en yakın mesafeye, motor yağı sıcaklığı ölçümü için kartere, soğutma suyu sıcaklığı için soğutucunun radyatöre girdiği ve çıktığı noktalara bağlanarak ölçümler yapılmıştır.

#### 3.2.7.3.4. Silindir basıncı

Silindir basıncı, motorun her bir çevrimi için, bir iş çevrimi boyunca her 1 °KMA aralığında 720 °KMA boyunca alınan silindir basıncı verilerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Silindir basıncı verileri en az 50 çevrimin Savitzky-Golay filtreleme yöntemi uygulandıktan sonra ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

#### 3.2.7.3.5. Egzoz emisyonu ölçümü

Test yakıtları kullanılarak yapılan denemeler sonucunda elde edilen CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu değerleri karşılaştırılmıştır.

#### 3.2.7.3.6. Gürültü değerleri ölçümü

Ses seviyesi ölçüm cihazı test yakıtlarının dizel motorda denenmesi sırasında motordan yaklaşık 1 m uzaklığa konularak tüm motor devirlerinde ölçüm yapılmıştır.

#### 3.2.7.4. Deneylerde hesaplanan parametreler

##### 3.2.7.4.1. Efektif motor gücü

Efektif güç, efektif motor torku ile bu değer elde edildiği açısal hız kullanılarak hesaplanmıştır. Efektif gücü ( $P_e$ ) hesaplamak için kullanılan Eşitlik 3.9; Eşitlik 3.6, 3.7 ve 3.8 kullanılarak elde edilmiştir.

$$P_e = \omega M_e \quad (3.6)$$

Açısal hız birimi d/d cinsinden yazılırsa,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3.7)$$

Bulunan açısal hız Eşitlik 3.6'da yerine yazılıp sonuç kW birimine dönüştürüldüğünde,

$$P_e = \frac{\pi n M_e}{30 \cdot 10^3} \quad (3.8)$$

eşitliği elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$P_e = \frac{M_e n}{9549.3} \quad (3.9)$$

Burada;  $P_e$  (kW) efektif motor gücünü,  $M_e$  (Nm) efektif motor torkunu ve  $n$  (d/d) ise motor devrini ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.2. Efektif özgül yakıt tüketimi

Efektif özgül yakıt tüketimi, ölçülen yakıt tüketimi ve efektif motor gücüne bağlı olarak hesaplanan bir değerdir ve birim zamanda birim güç elde etmek için harcanan yakıt tüketimi miktarını ifade etmektedir. Efektif özgül yakıt tüketimi Eşitlik 3.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{B_e 3600}{P_e} \quad (3.10)$$

Burada;  $b_e$  (g/kWh) efektif özgül yakıt tüketimini,  $B_e$  (g/s) yakıt tüketimini ve  $P_e$  (kW) ise efektif motor gücünü ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.3. Hava fazlalık katsayısı

Yanma sırasında harcanan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiyometrik hava miktarına olan oranına hava fazlalık katsayısı denir ve Eşitlik 3.11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{H/Y}{H/Y_{stk}} \quad (3.11)$$

Burada;  $\lambda$  hava fazlalık katsayısını,  $H/Y$  gerçek hava/yakıt oranını,  $H/Y_{stk}$  ise stokiyometrik hava/yakıt oranını ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.4. Efektif termik verim

Yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisine karşılık motorun bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranıdır ve Eşitlik 3.12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_t = \frac{3600}{b_e H_u} \quad (3.12)$$

Burada;  $\eta_t$  (%) efektif termik verimi,  $b_e$  (g/kWh) efektif özgül yakıt tüketimini ve  $H_u$  (kJ/kg) yakıtın alt ısı değerini ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.5. Volümetrik verim

Volümetrik verim, emme zamanında silindire alınan havanın, aynı çalışma şartlarında silindire alınması gereken teorik hava miktarına oranıdır ve Eşitlik 3.13 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_v = \frac{L}{30\rho_h V_h n} \quad (3.13)$$

Burada;  $\eta_v$  (%) volümetrik verimi,  $L$  (kg/h) silindire alınan hava miktarını,  $\rho_h$  (kg/m<sup>3</sup>) havanın yoğunluğunu,  $V_h$  (m<sup>3</sup>) silindir hacmini ve  $n$  (d/d) motor devir sayısını ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.6. Net ısı salımı

Yanma sırasında iç enerji artışı ve mekanik işe dönüşen net ısı salımı krank açısına bağlı olarak termodinamiğin birinci yasasına göre Eşitlik 3.14 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{\gamma}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (3.14)$$

Burada;  $dQ_{net}$  (J) yanma sonunda silindir duvarı ve yanma odası duvarına geçen enerjiyi,  $\theta$  (°) krank açısını,  $\gamma$  özgül ısılar oranını,  $P$  (Pa) silindir basıncını ve  $V$  (m<sup>3</sup>) silindir hacmini ifade etmektedir.

#### 3.2.7.4.7. Ortalama efektif basınç

Ortalama efektif basınç, gerçek çevrim sırasında üretilen işe eşit işi veren ve tüm güç stroku süresince pistonu etki ettiği varsayılan ortalama bir basınç değeridir. Ortalama efektif basınç Eşitlik 3.15 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{mep} = \frac{P_e f 60}{V_h Z n} \quad (3.15)$$

Burada;  $P_{mep}$  (kPa) ortalama efektif basıncı,  $P_e$  (kW) efektif motor gücünü,  $f$  çevrim katsayısını (dört zamanlı motorlar için  $f=2$ ),  $V_h$  (m<sup>3</sup>) kurs hacmini,  $Z$  silindir sayısını ve  $n$  (d/d) motor devrini ifade etmektedir.

### 3.2.7.4.8. Enerji analizi

Termodinamiğin birinci yasasına göre, sistem ile çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır. Bir sistem için enerji dengesi Eşitlik 3.16 ile ifade edilmektedir.

$$E_t = E_g - E_ç \quad (3.16)$$

Burada;  $E_t$  sistemin toplam enerjisini,  $E_g$  sisteme giren enerjiyi ve  $E_ç$  ise sistemden çıkan enerjiyi belirtmektedir.

İçten yanmalı motorlar için termodinamiğin birinci kanunu uygulanırsa kontrol hacmi için Eşitlik 3.17 elde edilir.

$$\dot{Q}_y = P_e + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{eg} + \dot{Q}_k \quad (3.17)$$

Burada;  $\dot{Q}_y$  birim zamanda harcanan yakıt enerjisini,  $P_e$  efektif motor gücünü,  $\dot{Q}_s$  birim zamanda soğutma suyuna geçen ısı enerjisini,  $\dot{Q}_{eg}$  birim zamanda egzoz gazlarından kaybedilen ısı enerjisini ve  $\dot{Q}_k$  birim zamanda diğer yollar ile kaybedilen ısı enerjisini ifade etmektedir.

Motora yakıt tarafından sağlanan enerji Eşitlik 3.18 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_y = B_e H_u \quad (3.18)$$

Burada;  $\dot{Q}_y$  birim zamanda harcanan yakıt enerjisini,  $B_e$  yakıt tüketimini ve  $H_u$  yakıtın alt ısıl değerini ifade etmektedir.

Soğutma suyu tarafından taşınan ısı enerjisi Eşitlik 3.19 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_s c_s (T_ç - T_g) \quad (3.19)$$

Burada;  $\dot{Q}_s$  birim zamanda soğutma suyuna geçen ısı enerjisini,  $\dot{m}_s$  soğutma suyunun kütleli debisini,  $c_s$  suyun ortalama özgül ısısını,  $T_ç$  suyun çıkış sıcaklığını ve  $T_g$  suyun giriş sıcaklığını ifade etmektedir.

Egzoz gazlarından kaybedilen ısı enerjisi Eşitlik 3.20 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{eg} = (B_e + L)c_g(T_{eg} - T_0) \quad (3.20)$$

Burada;  $\dot{Q}_{eg}$  birim zamanda egzoz gazlarından kaybedilen ısı enerjisini,  $B_e$  yakıt tüketimini,  $L$  silindire alınan hava miktarını,  $c_g$  egzoz gazlarının ortalama özgül ısısını,  $T_{eg}$  egzoz gazı sıcaklığını ve  $T_0$  ortam sıcaklığını ifade etmektedir.

Isı transferi ve yağlama gibi sistemden çevreye ısı transferi yoluyla kaybolan ısı enerjisi enerji korunumu ilkesinden faydalanılarak Eşitlik 3.21 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_y - (P_e + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{eg}) \quad (3.21)$$

Burada;  $\dot{Q}_k$  birim zamanda diğer yollar ile kaybedilen ısı enerjisini,  $\dot{Q}_y$  birim zamanda harcanan yakıt enerjisini,  $P_e$  efektif motor gücünü,  $\dot{Q}_s$  birim zamanda soğutma suyuna geçen ısı enerjisini ve  $\dot{Q}_{eg}$  birim zamanda egzoz gazlarından kaybedilen ısı enerjisini ifade etmektedir [405].

Motorun enerji verimi ise Eşitlik 3.22 ile hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{P_e}{\dot{Q}_y} \quad (3.22)$$

### 3.2.7.4.9. Ekserji analizi

Bir motor için kayıpların ve motor verimliliğinin belirlenmesinde enerji analizi tek başına yeterli değildir. Enerji analizinin yanında ekserji analizinin de uygulanmasıyla dizel motorlar için tam termodinamik analiz sonucu ortaya çıkacaktır. Yakıt ekserjisinin bulunması için Kotas'ın [406] önerdiği yöntem kullanılmıştır. Denemelerde ED ( $C_{14}H_{25}$ ), B100 ( $C_{19.53}H_{36.46}O_2$ ), E ( $C_2H_6O$ ), I ( $C_3H_8O$ ), B ( $C_4H_{10}O$ ) ve P ( $C_5H_{12}O$ ) farklı oranlarda harmanlanmasıyla elde edilen yirmi çeşit yakıt kullanılmıştır. Yakıtların ekserjileri Eşitlik 3.22 ve 3.23 kullanılarak Tablo 3.10.'da gösterilen atomik kütle oranlarına bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{\alpha}{c} \left( 1 - 2.0628 \frac{h}{c} \right) \quad (3.22)$$

$$\varepsilon_y = H_u \varphi \quad (3.23)$$

Burada;  $\varphi$  kimyasal ekserji katsayısını,  $\varepsilon_y$  özgül yakıt ekserjisini ve  $H_u$  yakıtın alt ısı değerini,  $h$ ,  $c$ ,  $o$  ve  $\alpha$  ise sırasıyla yakıtta bulunan hidrojen, karbon, oksijen ve kükürtün kütle oranlarını ifade etmektedir.

**Tablo 3.10.** Yakıtların h/c, o/c ve a/c oranları

Yakıtlar	h/c	o/c	a/c
ED	0.148810	-	-
B100	0.155573	0.136542	-
B2	0.148997	0.003780	-
B20	0.150558	0.035306	-
B2P5	0.149940	0.008784	-
B2P10	0.156706	0.138078	-
B20P5	0.150258	0.015399	-
B20P10	0.152226	0.038437	-
B2B5	0.149878	0.008817	-
B2B10	0.150827	0.014238	-
B20B5	0.151433	0.041079	-
B20B10	0.152370	0.047261	-
B2E5	0.149754	0.008882	-
B2E10	0.150582	0.014458	-
B20E5	0.151328	0.041362	-
B20E10	0.152165	0.047941	-
B2I5	0.149816	0.008849	-
B2I10	0.150705	0.014347	-
B20I5	0.151381	0.041220	-
B20I10	0.152268	0.047599	-

Giriş ekserjisi, yani kullanılan yakıtın özgül akış ekserjisi ise Eşitlik 3.24 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_y = B_e \varepsilon_y \quad (3.24)$$

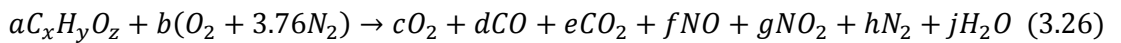
Burada;  $\dot{E}x_y$  yakıtın kimyasal ekserjisini,  $B_e$  yakıtın kütleli debisini ve  $\varepsilon_y$  özgül yakıt ekserjisini ifade etmektedir.

Efektif güç ekserjisi motordan elde edilen net güce eşittir. Efektif güç ekserjisi Eşitlik 3.25 ile ifade edilebilir.

$$\dot{E}x_w = P_e \quad (3.25)$$

Burada;  $\dot{E}x_w$  efektif güç ekserjisini ve  $P_e$  efektif motor gücünü ifade etmektedir.

Egzoz ekserjisinin hesaplanmasında yakıtın kütleli debisi, hava debisi ve egzoz gazı sıcaklığı esas alınarak yanma denklemlerinden elde edilen egzoz emisyonlarının herbirinin ekserjileri tek tek bulunmuştur.  $C_xH_yO_z$  yakıtı için teorik yanma denklemi Eşitlik 3.26'da gösterilmiştir.



Yanma denkleminde verilen katsayılardan  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$  ve  $g$  egzoz emisyon sonuçlarından, diğer katsayılar ise  $C$ ,  $O$ ,  $H$  ve  $N$  için yazılan kütle dengesinden bulunmuştur. Bu şekilde yakıtların gerçek yanma denklemleri elde edilmiştir.



Yanma ürünlerinin mol kütleleri Eşitlik 3.27 ile hesaplanmıştır.

$$M_{top} = cM_{O_2} + dM_{CO} + eM_{CO_2} + fM_{NO} + gM_{NO_2} + hM_{N_2} + jM_{H_2O} \quad (3.27)$$

Egzozdan çıkan gazların %2 kayıp ile çıktığı kabul edilirse egzoz kütleli debisi hava ve yakıtın kütleli debilerinin toplamının kayıptan çıkarılması ile bulunur. Egzoz gazının kütleli debisi Eşitlik 3.28 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{eg} = (B_e + L)0.98 \quad (3.28)$$

Burada;  $\dot{m}_{eg}$  egzoz gazının kütleli debisini,  $B_e$  yakıtın kütleli debisini ve  $L$  silindire alınan hava miktarını ifade etmektedir.

Yanma ürünlerinin toplam kütle içerisindeki mol kesirleri Eşitlik 3.29 ile hesaplanmıştır.

$$y_i = \frac{M_i}{M_{top}} \quad (3.29)$$

Yanma ürünlerinin gerçek kütleli debileri Eşitlik 3.30 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_i = y_i \dot{m}_{eg} \quad (3.30)$$

Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri için yanma sonu açığa çıkan  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$  ve  $H_2O$ 'nun toplam ekserjileri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Burada kullanılan termodinamik özellikler Annamalai ve Puri'den [407] alınmıştır. Yanma sonu açığa çıkan gazların termomekaniksel, kimyasal ve toplam ekserjileri sırasıyla Eşitlik 3.31, Eşitlik 3.32 ve Eşitlik 3.33 ile hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{tm} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (3.31)$$

$$\varepsilon_{km} = \bar{R}T_0 \ln \frac{y_i}{y_g^e} \quad (3.32)$$

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{tm} + \varepsilon_{km} \quad (3.33)$$

Burada;  $\varepsilon_{tm}$  termomekanik ekserjiyi,  $\varepsilon_{km}$  kimyasal ekserjiyi,  $\varepsilon_{top}$  toplam ekserjiyi,  $h$  entalpiyi,  $s$  entropiyi,  $T$  sıcaklığı,  $0$  ölü haldeki parametreleri,  $\bar{R}$  ideal gaz sabitini,  $y_i$  her bir egzoz gazının mol kesirini,  $y_g^e$  Tablo 3.11.'de verilen referans çevrenin mol kesirini ifade etmektedir.

**Tablo 3.11.** Çevrenin tanımı [408]

Referans bileşen	Mol kesri (%)
N <sub>2</sub>	75.6700
O <sub>2</sub>	20.3500
CO <sub>2</sub>	0.03450
H <sub>2</sub> O	3.03000
CO	0.00070
SO <sub>2</sub>	0.00020
H <sub>2</sub>	0.00005
Diğer	0.91455

Her bir yanma ürününün toplam ekserjileri gerçek kütleli debileri ile çarpılırsa toplam egzoz ekserjisi bulunur. Toplam egzoz ekserjisi Eşitlik 3.34 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{eg} = \sum \dot{m}_i \varepsilon_{top} \quad (3.34)$$

Soğutma suyu ekserjisi Eşitlik 3.35 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ss} = \dot{Q}_s \left(1 - \frac{T_0}{T_{ort}}\right) \quad (3.35)$$

Motordaki süreç sürekli akışlı bir açık sistem olarak düşünüldüğünde ekserji dengesi yazılabilir. Isı transferine eşlik eden ekserji transferi motorun dış yüzeyinden ısı transferleri sırasındaki ekserji geçişlerinden olur. Ayrıca yanma işleminden dolayı motor içinde ekserji yıkımı da olmaktadır. Ekserji dengesi Eşitlik 3.36'da gösterildiği gibi yazılabilir.

$$\dot{E}x_y = \dot{E}x_w + \dot{E}x_{eg} + \dot{E}x_{ss} + \dot{E}x_{ye} + \dot{E}x_{it} \quad (3.36)$$

Isı transferine eşlik eden ekserji Eşitlik 3.37 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{it} = \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_m}\right) \quad (3.37)$$

Motorda üretilen toplam entropi ise Eşitlik 3.38 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{\sigma} = \frac{\dot{E}_{ye}}{T_0} \quad (3.38)$$

Motorun ekserji verimi ise Eşitlik 3.39 ile hesaplanmıştır.

$$\psi = \frac{P_e}{\dot{E}x_y} \quad (3.39)$$

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Sarı hardal yağı biyodizeli üretiminin optimizasyonu

Bu çalışmada, sarı hardal yağından metanol ve NaOH kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda biyodizel verimini etkileyen en önemli parametreler metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresidir. Bu amaçla 4 değişkenli, 5 seviyeli ve 30 özel tasarım noktası içeren MKT esasları temel alınarak deneyler laboratuvar koşullarında sürdürülmüştür. MKT ile belirlenen noktalar (kodları ve değerleri) ve deneysel sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Geliştirilen model için deney tasarımı ve deneysel sonuçlar

Deney No	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		Deneysel (%)
	Kod	Değer	Kod	Değer	Kod	Değer	Kod	Değer	
1	-1	4:1	-1	0.4	-1	55	-1	45	86.6412
2	1	8:1	-1	0.4	-1	55	-1	45	91.2772
3	-1	4:1	1	0.8	-1	55	-1	45	85.0834
4	1	8:1	1	0.8	-1	55	-1	45	89.7491
5	-1	4:1	-1	0.4	1	65	-1	45	87.9796
6	1	8:1	-1	0.4	1	65	-1	45	92.8064
7	-1	4:1	1	0.8	1	65	-1	45	88.8921
8	1	8:1	1	0.8	1	65	-1	45	93.0698
9	-1	4:1	-1	0.4	-1	55	1	75	88.5442
10	1	8:1	-1	0.4	-1	55	1	75	91.2682
11	-1	4:1	1	0.8	-1	55	1	75	88.7472
12	1	8:1	1	0.8	-1	55	1	75	90.9291
13	-1	4:1	-1	0.4	1	65	1	75	88.0253
14	1	8:1	-1	0.4	1	65	1	75	91.2876
15	-1	4:1	1	0.8	1	65	1	75	91.1148
16	1	8:1	1	0.8	1	65	1	75	94.8872
17	- $\alpha$	2:1	0	0.6	0	60	0	60	86.9153
18	$\alpha$	10:1	0	0.6	0	60	0	60	94.0032
19	0	6:1	- $\alpha$	0.2	0	60	0	60	89.7854
20	0	6:1	$\alpha$	1.0	0	60	0	60	89.0125
21	0	6:1	0	0.6	- $\alpha$	50	0	60	88.3526
22	0	6:1	0	0.6	$\alpha$	70	0	60	91.4688
23	0	6:1	0	0.6	0	60	- $\alpha$	30	87.2714
24	0	6:1	0	0.6	0	60	$\alpha$	90	91.5538
25	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	96.0154
26	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	95.7146
27	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	94.8327
28	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	95.8221
29	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	96.0993
30	0	6:1	0	0.6	0	60	0	60	96.3985

Bağımsız değişkenlere karşılık bağımlı değişken için varyans analizi Design Expert 9.0.4 programı [403] ile yapılmıştır. 4 değişkenli ve 5 seviyeli MKT ile elde edilen yanıtların değerlendirilmesinde 2. dereceden polinom eşitliği kullanılmıştır. Biyodizel verimine etki eden faktörler için kurulan 2. dereceden polinom Eşitlik 4.1.'de, varyans analizi sonuçları (ANOVA tablosu) Tablo 4.2.'de ve deneysel

sonuçlar ile matematiksel modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılması ise Şekil 4.1.'de verilmiştir.

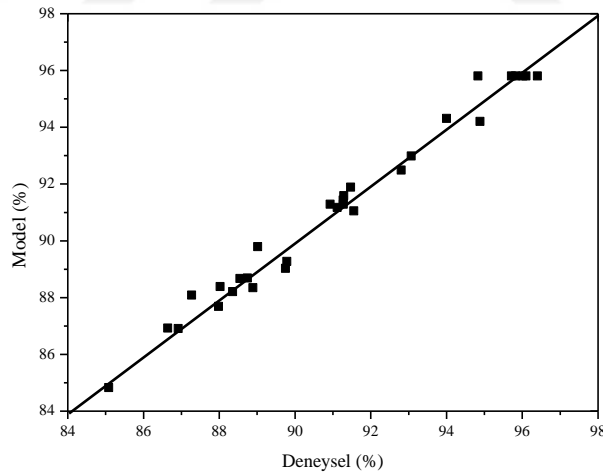
$$Y = 95.81 + 1.85X_1 + 0.13X_2 + 0.92X_3 + 0.74X_4 - 0.041X_1X_2 + 0.11X_1X_3 - 0.40X_1X_4 + 0.69X_2X_3 + 0.53X_2X_4 - 0.26X_3X_4 - 1.30X_1^2 - 1.57X_2^2 - 1.44X_3^2 - 1.56X_4^2 \quad (4.1)$$

**Tablo 4.2.** Biyodizel verimi için ANOVA tablosu

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri
Model	299.09	14	21.36	57.94	< 0.0001
X <sub>1</sub>	82.22	1	82.22	223.00	< 0.0001
X <sub>2</sub>	0.40	1	0.40	1.08	0.3143
X <sub>3</sub>	20.27	1	20.27	54.97	< 0.0001
X <sub>4</sub>	13.31	1	13.31	36.08	< 0.0001
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.027	1	0.027	0.072	0.7922
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.21	1	0.21	0.57	0.4625
X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	2.53	1	2.53	6.87	0.0193
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	7.68	1	7.68	20.84	0.0004
X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	4.48	1	4.48	12.14	0.0033
X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	1.09	1	1.09	2.95	0.1065
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	46.45	1	46.45	125.98	< 0.0001
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	67.30	1	67.30	182.53	< 0.0001
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	56.76	1	56.76	153.93	< 0.0001
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	67.01	1	67.01	181.74	< 0.0001
Artık hata	5.53	15	0.37		
Uyum eksikliği	4.09	10	0.41	1.43	0.3651
Saf hata	1.44	5	0.29		
Toplam	304.62	29			

Standart sapma = 0.61  
Ortalama = 91.12  
PRESS = 25.65  
C.V. = %0.67

R<sup>2</sup> = 0.9818  
R<sup>2</sup><sub>adj</sub> = 0.9649  
R<sup>2</sup> (tahmin) = 0.9158  
Adequate precision = 25.572

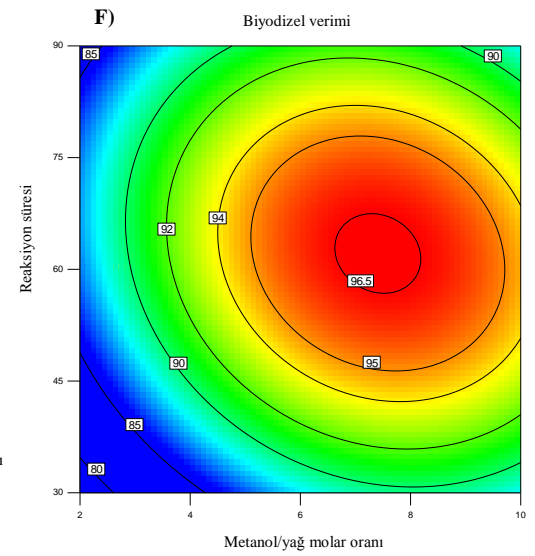
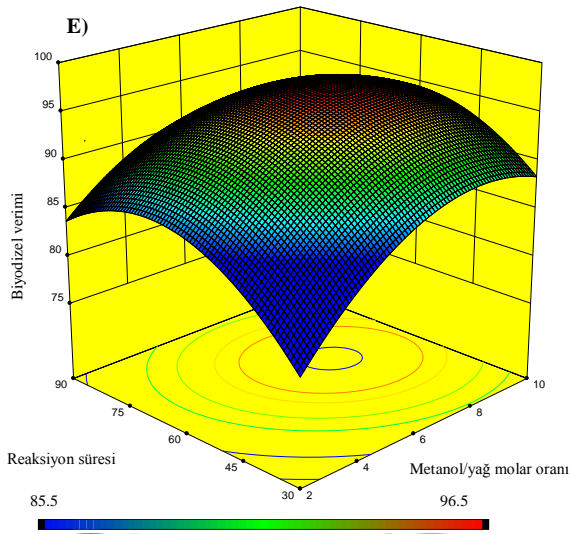
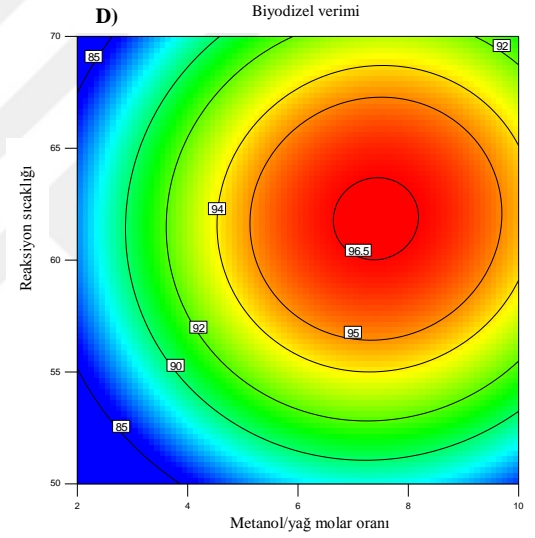
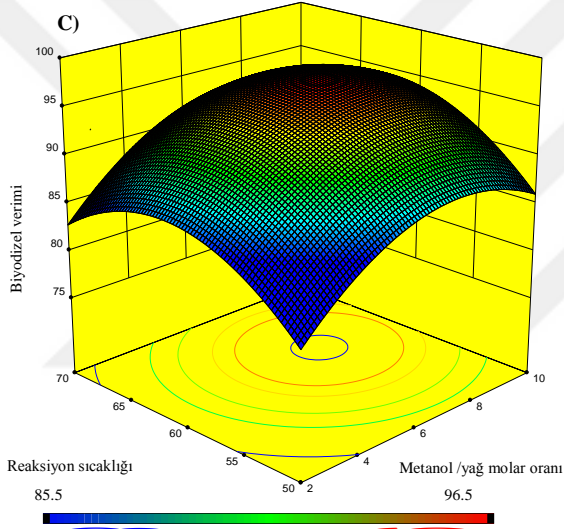
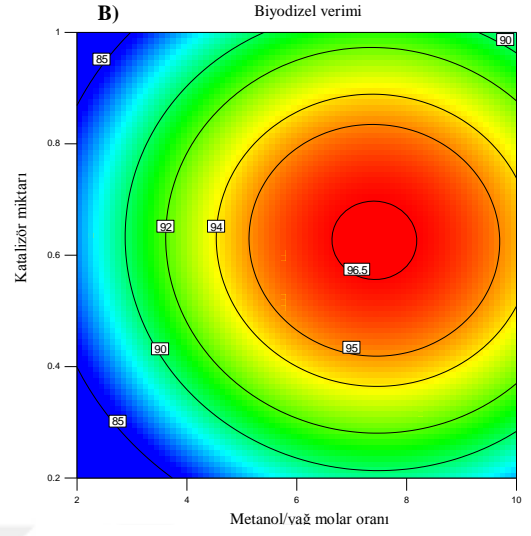
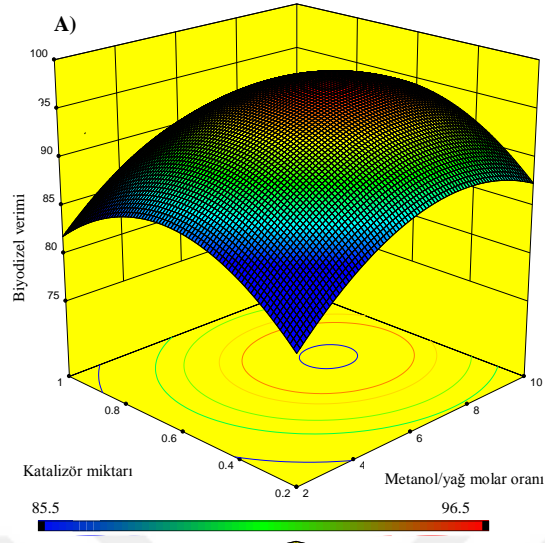


**Şekil 4.1.** Biyodizel verimi iin deneysel sonular ile matematiksel modelden elde edilen sonuların karşılaştırılması

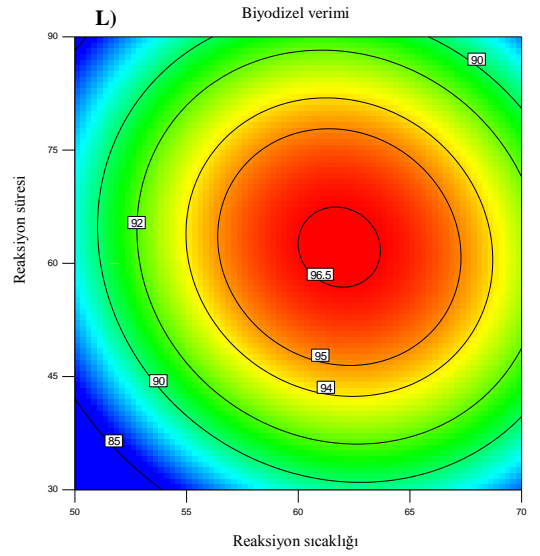
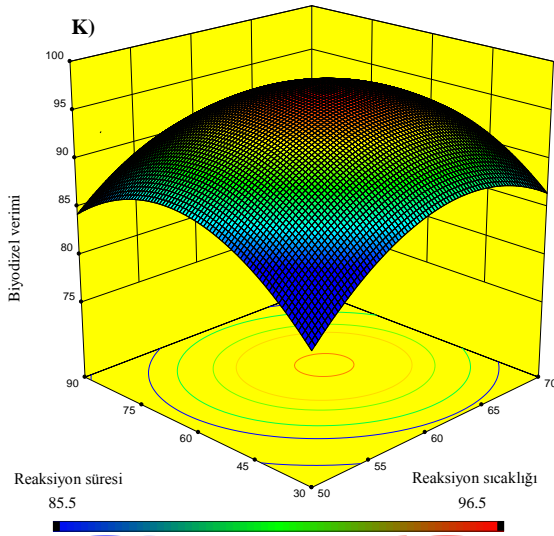
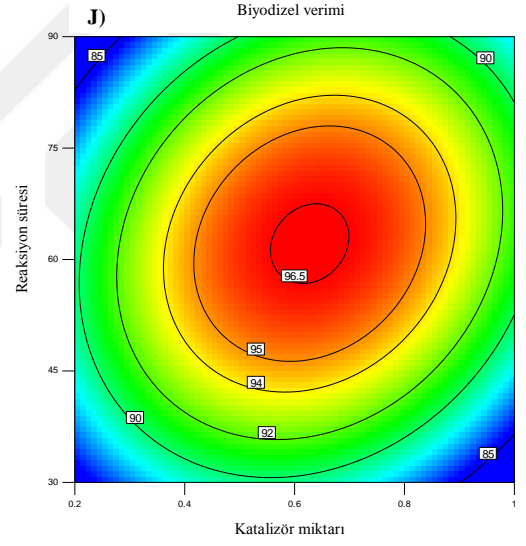
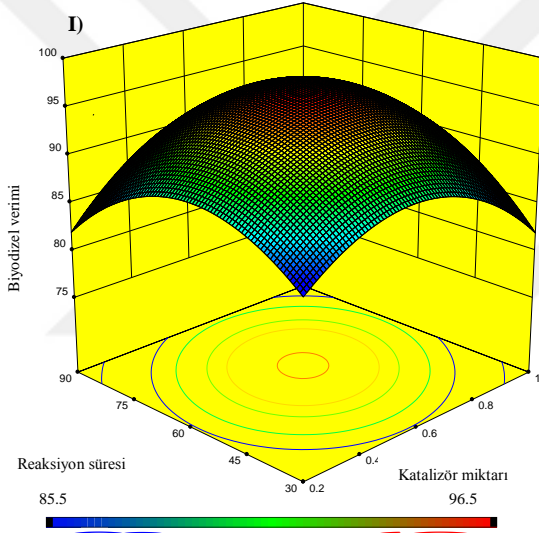
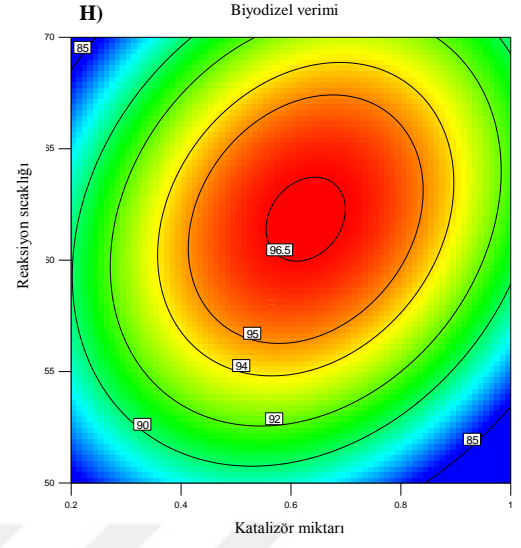
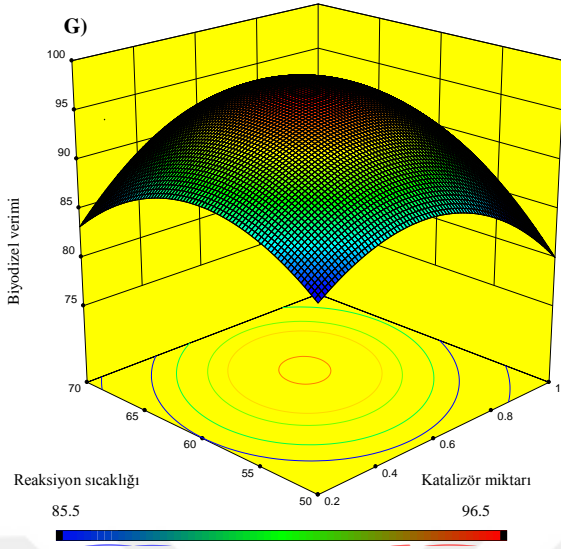
Varyans analizi sonuçları %95 güven seviyesinde test edilmiştir. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde SHYB retiminde metanol/yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin etkili olduğu anlaşılmıştır. Katalizör miktarının ise belirlenen aralıklıklarda biyodizel verimi üzerine istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir (p>0.05).

Matematiksel modelin deneysel veriyi ne ölçüde karşıladığı  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$  ve C.V. hesaplanarak belirlenmiştir. Tahmin edilen biyodizel verimi ile deneysel olarak bulunan biyodizel verimi arasındaki uyumu gösteren ilişki katsayısı ( $R^2$ ) 0.9818 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değer, deneysel sonuçların model ile %98.18 oranında açıklanabileceğini göstermektedir. Bu sonuç elde edilen matematiksel modelin SHYB verimi için incelenen bağımsız değişken aralığında yüksek doğrulukta uygulanabilirliğini göstermektedir. Ayrıca,  $R^2_{adj}$  değerinin modelin uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılması ve %90'ın altında olmaması önerilmektedir. Oluşturulan matematiksel modelde ise  $R^2_{adj}$  değeri %96.49 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte deneysel verideki kalıntı varyasyonunun ortalamaya bağlı olarak bir ölçüsü olan C.V.'nin %10'un altında olması istenmektedir. Oluşturulan modelde ise C.V. %0.67 olarak tespit edilmiştir. Bir regresyon modelinin daha sonra yapılacak gözlemler için bir tahminleme modeli olarak kullanılabilmesi ise adequate precision (yeterli hassasiyet), PRESS ve  $R^2$  (tahmin) istatistikleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Yeterli hassasiyet değerinin en az 4 olması istenmektedir. SHYB için oluşturulan modelin yeterli hassasiyet değeri 25.572 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük PRESS değeri,  $R^2$  (tahmin) ve  $R^2_{adj}$  değerlerinin birbirine yakın olması matematiksel modelin tahminleme açısından uygun olduğunu göstermektedir. Uyum eksikliği için F testi önemli ise verilere uygun olması için daha karmaşık bir modele ihtiyaç vardır. Biyodizel verimi için uyum eksikliği 0.3651 olarak bulunmuştur. Buna göre uyum eksikliğinönemsiz ( $p>0.05$ ) olduğu görülmekte ve sarı hardal yağından biyodizel üretilirken metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin biyodizel verimi üzerine etkileri oluşturulan model ile iyi bir şekilde açıklanabilmektedir.

Matematiksel model değişkenlerinin metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin SHYB'nin verimi üzerine etkilerinin görsel olarak anlaşılabilmesi için elde edilen sonuçlar kullanılarak YYM grafikleri ve izdüşüm eğrileri oluşturulmuştur. Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Bu grafikler değişkenlerden ikisinin sabit tutulup diğer iki değişkenin birlikte değiştirilmesi ile elde edilmiştir.



**Şekil 4.2.** Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri



Şekil 4.2. Devam

SHYB'nin YYM ile belirlenen optimum üretim parametreleri Tablo 4.3.'te verilmiştir.

**Tablo 4.3.** YYM ile belirlenen optimum üretim parametreleri

Parametreler	Optimum değerler
Biyodizel verimi (%)	96.695
Metanol/yağ molar oranı (mol/mol) ( $X_1$ )	7.407:1
Katalizör miktarı (%) ( $X_2$ )	0.627
Reaksiyon sıcaklığı ( $^{\circ}$ C) ( $X_3$ )	61.837
Reaksiyon süresi (dakika) ( $X_4$ )	62.122

#### 4.2. Sarı hardal yağı biyodizelinin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri

YYM ile belirlenen en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği reaksiyon koşullarında pilot biyodizel üretim tesisinde SHYB üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizelin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri Tablo 4.4.'te verilmiştir. SHYB'nin yakıt özellikleri standartlar ile karşılaştırıldığında kinematik viskozitenin TS EN 14214 standardında verilen sınır değerden bir miktar yüksek çıktığı, buna karşın ASTM D6751 standardını sağladığı, Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller ile fosfor içeriği değerlerinin standartları sağlamadığı, diğer özelliklerin ise standartları sağladığı görülmektedir. SHYB'nin yağ asidi kompozisyonu Tablo 4.5.'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** SHYB'nin fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri

Özellik	Birim	Sınırlar		SHYB
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	96.9
Yoğunluk, 15 $^{\circ}$ C'ta	g/cm <sup>3</sup>	860	900	0.87784±0.00013
Kinematik viskozite, 40 $^{\circ}$ C'ta	mm <sup>2</sup> /s	3.50	5.00	5.413 ± 0.015
Parlama noktası	$^{\circ}$ C	101	-	164
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	0.4
Setan sayısı	-	51	-	57.23
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	0.0109
Su içeriği	mg/kg	-	500	335.89 ± 3.918
Bakır şerit korozyonu, 50 $^{\circ}$ C'de 3 saat	Derece	Sınıf 1		1a
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.50	0.336 ± 0.065
İyot sayısı <sup>1</sup>	g iyot/100 g	-	120	106.26
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12.0	11.701 ± 0.082
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	%(m/m)	-	1.0	0
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0.20	0.15
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	0.01
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0.25	0.23
Isıl değer	MJ/kg	-	-	39.931 ± 0.420
Renk (ASTM D1500)	-	-	-	2.0
pH	-	-	-	7.192 ± 0.007
BN	$^{\circ}$ C	-	-	5
AN	$^{\circ}$ C	-	-	-18
SFTN <sup>2</sup>	$^{\circ}$ C	-	-	0
DN	$^{\circ}$ C	-	-	-20
Grup I (Na+K) metaller	mg/kg	-	5.0	56.150
Grup II (Ca+Mg) metaller	mg/kg	-	5.0	25.117
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4.0	9.254 ± 0.167

<sup>1</sup>Hesaplanmıştır.

<sup>2</sup>Bu özellik coğrafi konum veya iklime göre değişiklik göstermektedir.



**Tablo 4.5.** SHYB'nin yağ asidi kompozisyonu

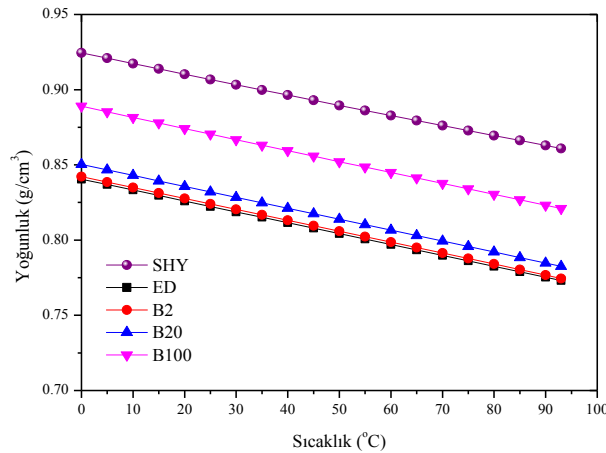
No	Yağ asidi	Molekül ağırlığı	Yapı	Formül	SHYB
1	Palmitik	256	16:0	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	3.403 ± 0.085
2	Palmitoleik	254	16:1	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	0.117 ± 0.003
3	Oleik	282	18:1	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	28.633 ± 0.106
4	Linoleik	280	18:2	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	10.269 ± 0.027
5	Linolenik	278	18:3	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	11.701 ± 0.082
6	Araşidik	312	20:0	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	0.248 ± 0.009
7	Gondoik	310	20:1	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	11.225 ± 0.004
8	Erusik	339	22:1	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	34.212 ± 0.186

### 4.3. Test yakıtlarının fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri

Bu bölümde, test yakıtlarının (ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5, B20P10) bazı önemli fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak grafikler halinde sunulmuştur.

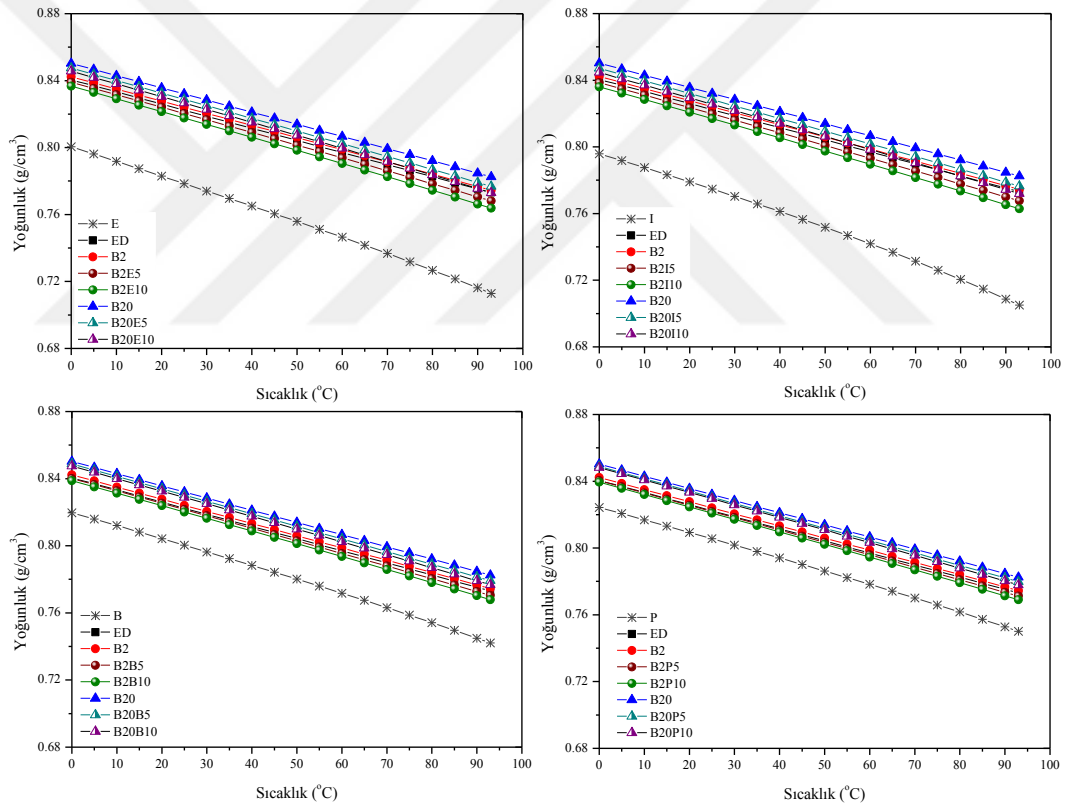
#### 4.3.1. Yoğunluk

Sarı hardal yağı, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 0-93°C sıcaklık aralığında her 5°C'de ölçülen yoğunluk değerleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Yakıtların yoğunluk değerlerinin sıcaklık artışına bağlı olarak lineer olarak değiştiği ve en yüksek yoğunluk değerlerinin 0°C'de olduğu belirlenmiştir. 15°C'de B100, B20 ve B2 yakıtlarının yoğunluk değerleri ED yakıtından sırasıyla %5.81, 1.17 ve 0.21 oranlarında yüksek çıkmıştır.

**Şekil 4.3.** SHY, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının yoğunluk değerleri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların 0-93°C sıcaklık aralığında her 5°C'de ölçülen yoğunluk değerleri Şekil 4.4.'te verilmiştir. Alkol ilavesi ile yoğunluk değerlerinin farklı miktarlarda düştüğü ve

sıcaklığa bağlı olarak yine lineer bir azalmanın söz konusu olduğu görülmektedir. En düşük yoğunluk değeri I'da ölçülürken bu alkolü sırasıyla E, B ve P izlemektedir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının yoğunluk değerleri ED yakıtından sırasıyla %0.80, 0.55, 0.75, 0.43, 0.97, 0.80, 0.99 ve 0.89 oranlarında yüksek, B20 yakıtından ise sırasıyla %0.36, 0.61, 0.41, 0.73, 0.20, 0.37, 0.18 ve 0.28 oranlarında düşük çıkmıştır. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının yoğunluk değerleri ED yakıtından sırasıyla %0.21, 0.52, 0.28, 0.60, 0.08, 0.24, 0.04 ve 0.15 oranlarında ve B2 yakıtından sırasıyla %0.42, 0.73, 0.48, 0.81, 0.29, 0.45, 0.25 ve 0.36 oranlarında düşük çıkmıştır.

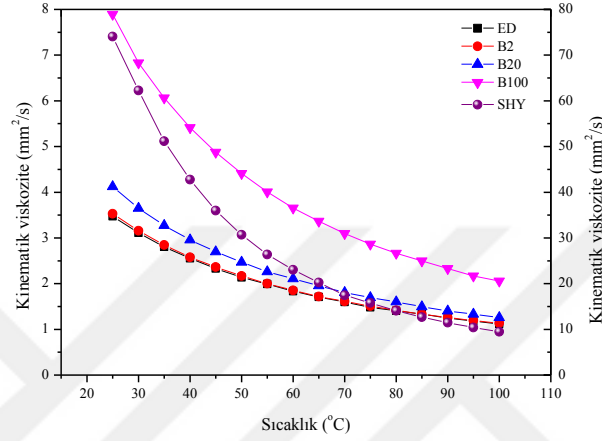


Şekil 4.4. Farklı alkol ilave edilen yakıtların yoğunluk değerleri

### 4.3.2. Kinematik viskozite

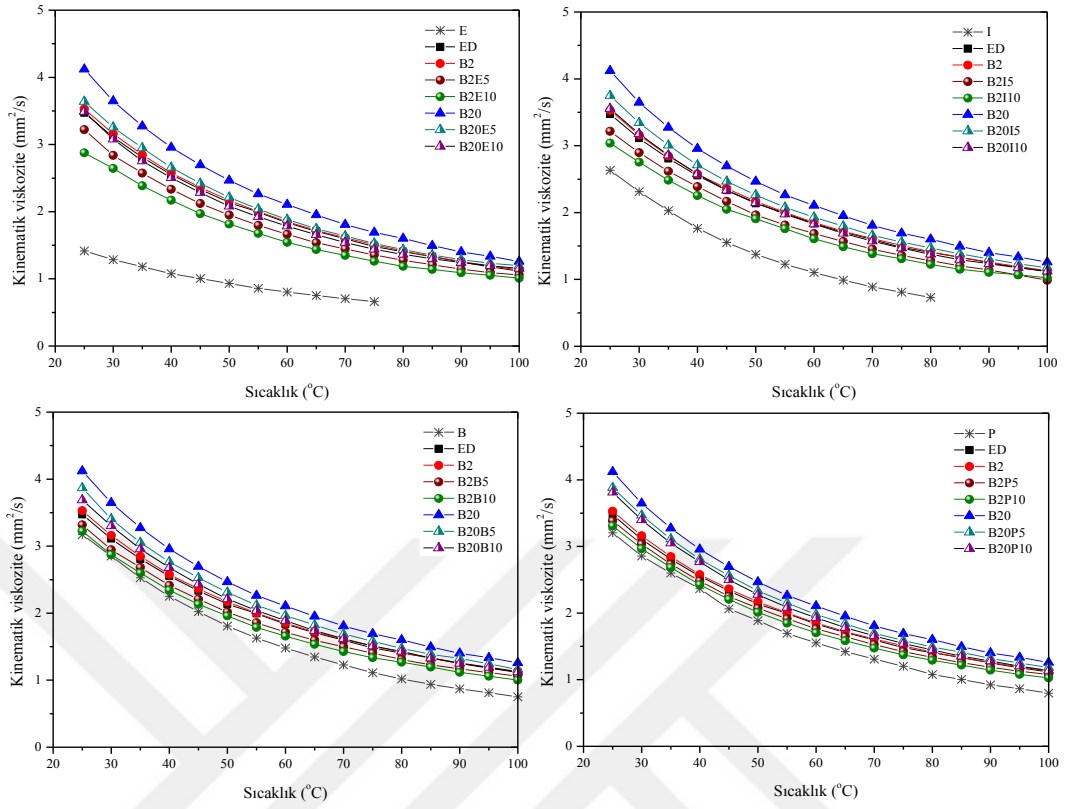
Sarı hardal yağı, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 25-100°C sıcaklık aralığında her 5°C'de ölçülen kinematik viskozite değerleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. Transesterifikasyon yöntemi ile sarı hardal yağının 42.777 mm<sup>2</sup>/s olan 40°C'deki kinematik viskozitesi 7.9 kat azaltılarak 5.413 mm<sup>2</sup>/s'ye indirilmiştir. Ancak bu

değer TS EN 14214 standardında verilen  $5 \text{ mm}^2/\text{s}$ 'den %8.26 yüksektir. Buna karşın B100 yakıtının kinematik viskozitesi ASTM D6751 standardında verilen sınır değerler içerisinde olduğu görülmektedir. B100, B20 ve B2 yakıtlarının  $40^\circ\text{C}$ 'deki kinematik viskoziteleri ED yakıtından sırasıyla %111.94, 15.74 ve 0.86 oranlarında yüksek çıkmıştır.



**Şekil 4.5.** SHY, ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların  $25-100^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında her  $5^\circ\text{C}$ 'de ölçülen kinematik viskozite değerleri Şekil 4.6.'da verilmiştir. Alkollerin kaynama noktalarının düşük olması nedeniyle (E ve I) yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ölçümleri gerçekleştirilememiştir. En düşük kinematik viskoziteye sahip alkol E iken bunu sırasıyla I, B ve P izlemektedir. B20E5, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri ED yakıtından sırasıyla %4.10, 6.07, 0.90, 8.26, 4.86, 9.95 ve 8.42 oranlarında yüksek iken sadece B20E10 yakıtının kinematik viskozite değeri ED yakıtından %1.94 oranında düşük çıkmıştır. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri B20 yakıtından ise sırasıyla %10.06, 15.27, 8.36, 12.82, 6.46, 9.41, 5.01 ve 6.33 oranlarında düşük çıkmıştır. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri ED yakıtından sırasıyla %8.65, 15.01, 6.49, 11.75, 5.44, 8.36, 2.86 ve 5.06 oranlarında ve B2 yakıtından sırasıyla %9.42, 15.73, 7.29, 12.50, 6.25, 9.15, 3.69, 5.87 oranlarında düşük çıkmıştır.



Şekil 4.6. Farklı alkol ilave edilen yakıtlarının kinematik viskozite değerleri

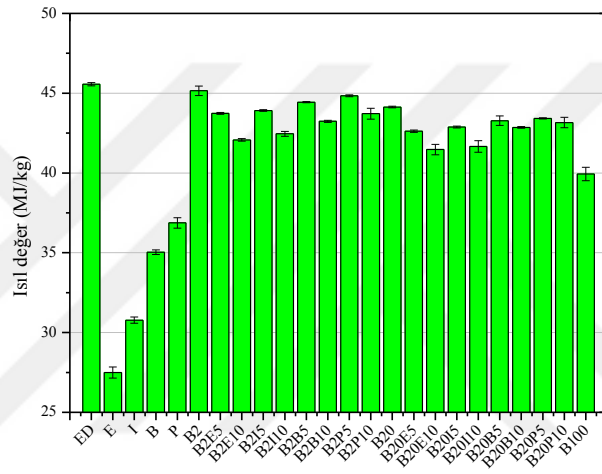
#### 4.3.3. Parlama noktası

E, I, B ve P'nin üretici firmaları bu alkollerin parlama noktalarını sırasıyla 14, 12, 35 ve 47°C olarak vermektedir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının parlama noktaları ise sırasıyla 60, 65, 88 ve 164°C olarak tespit edilmiştir. Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artmasına bağlı olarak parlama noktası değerlerinin arttığı görülmektedir. Alkol ilavesi ile yakıtların parlama noktalarının düştüğü gözlenmiştir. Yakıtlara E ve I ilavesi ile elde edilen yakıtlar ortam sıcaklığında parladıkları için tam olarak parlama noktaları tespit edilememiştir. B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının parlama noktaları sırasıyla 37, 36, 49, 48, 39, 38, 52 ve 50°C olarak tespit edilmiştir.

#### 4.3.4. Isıl değer

Test yakıtlarının ısıl değerleri Şekil 4.7.'de verilmiştir. En yüksek ısıl değer 45.565 MJ/kg ile ED yakıtında elde edilirken en düşük ısıl değer alkollerde ölçülmüştür. B100, B20 ve B2 yakıtlarının ısıl değerleri ED yakıtından sırasıyla %12.36, 3.14 ve 0.90 oranlarında düşük çıkmıştır. Alkollerde ise en düşük ısıl değer E'de ölçülürken

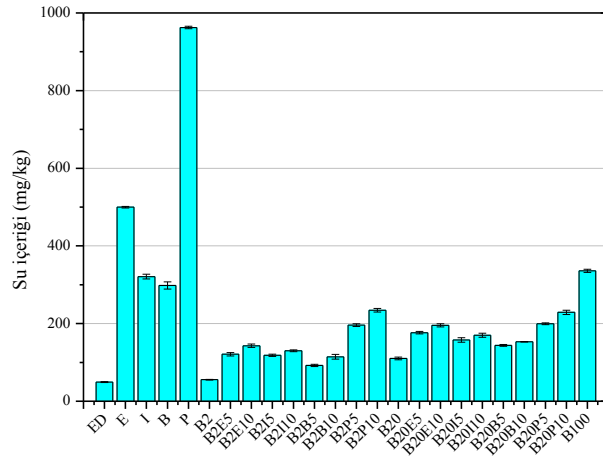
bunu sırasıyla I, B ve P izlemiştir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının ısı değerleri ED yakıtından sırasıyla %6.47, 8.99, 5.89, 8.56, 5.02, 5.94, 4.71 ve 5.28 oranlarında, B20 yakıtından ise sırasıyla %3.44, 6.04, 2.83, 5.60, 1.94, 2.89, 1.62 ve 2.21 oranlarında düşük çıkmıştır. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının ısı değerleri ED yakıtından sırasıyla %4.01, 7.67, 3.63, 6.83, 2.48, 5.11, 1.60 ve 4.06 oranlarında ve B2 yakıtından ise sırasıyla %3.14, 6.83, 2.75, 5.98, 1.59, 4.25, 0.70 ve 3.18 oranlarında düşük çıkmıştır.



Şekil 4.7. Test yakıtlarının ısı değerleri

#### 4.3.5. Su içeriği

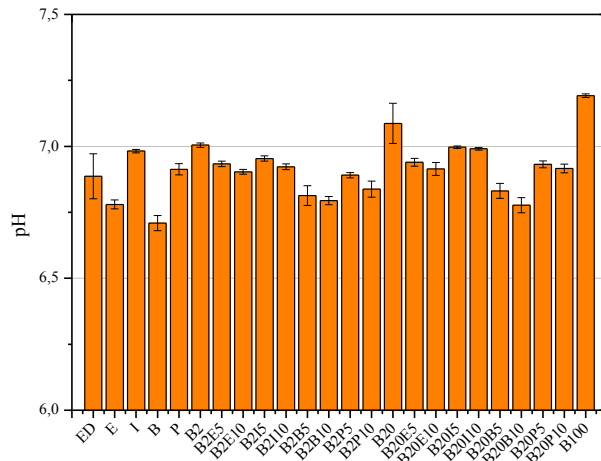
Test yakıtlarının su içerikleri Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.8. incelendiğinde en fazla su içeriğine alkollerin sahip olduğu, en düşük su içeriğinin ise ED yakıtında olduğu görülmektedir. B100, B20 ve B2 yakıtlarının su içerikleri ED yakıtından sırasıyla 6.80, 2.23 ve 1.12 kat fazla tespit edilmiştir. Yakıtlara alkol ilavesi ile su içerikleri artmıştır. Alkollerde en düşük su içeriği B'de ölçülürken bunu sırasıyla I, E ve P izlemiştir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının su içeriği değerleri ED yakıtından sırasıyla 3.57, 3.95, 3.19, 3.44, 2.91, 3.10, 4.04 ve 4.63 kat, B20 yakıtından ise sırasıyla 1.60, 1.77, 1.43, 1.54, 1.30, 1.39, 1.81 ve 2.08 kat yüksek çıkmıştır. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının su içeriği değerleri ED yakıtından sırasıyla 2.45, 2.89, 2.40, 2.63, 1.87, 2.31, 3.97 ve 4.74 kat ve B2 yakıtından ise sırasıyla 2.19, 2.58, 2.14, 2.35, 1.67, 2.06, 3.54 ve 4.23 kat yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.8. Test yakıtlarının su içeriği değerleri

#### 4.3.6. pH

Test yakıtlarının pH değerleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının pH değerleri sırasıyla 6.886, 7.005, 7.087 ve 7.192 olarak tespit edilmiştir. Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak pH değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış ED yakıtına göre B100 yakıtı ile %4.44, B20 yakıtı ile %2.91 ve B2 yakıtı ile %1.72 olarak gerçekleşmiştir. Alkollerde en düşük pH değeri B'de ölçülürken bunu sırasıyla E, P ve I izlemiştir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının pH değerleri sırasıyla 6.940, 6.914, 6.997, 6.991, 6.831, 6.777, 6.932 ve 6.916 olarak ölçülmüştür. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının pH değerleri sırasıyla 6.933, 6.903, 6.954, 6.923, 6.814, 6.794, 6.891 ve 6.838 olarak ölçülmüştür.



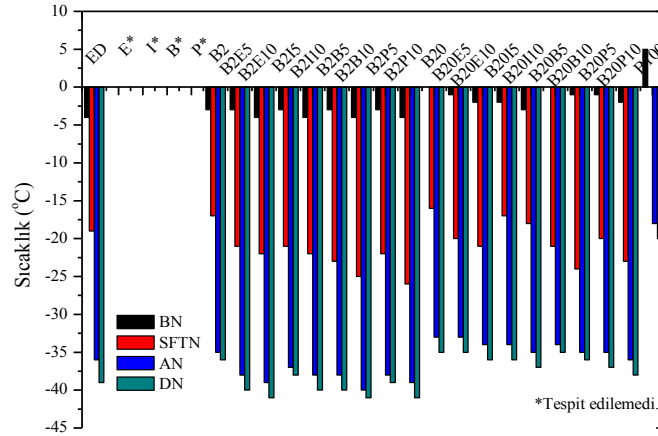
Şekil 4.9. Test yakıtlarının pH değerleri

#### 4.3.7. Renk

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının ASTM D1500 standardına göre belirlenen renk değerleri sırasıyla 1.3, 1.4, 1.6 ve 2.0 olarak tespit edilmiştir. Alkol ilavesi ile renk değerlerinde bir miktar düşme gözlenmiştir. B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının renk değerleri 1.5 ve B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının renk değerleri 1.3 olarak ölçülmüştür.

#### 4.3.8. Soğuk akış özellikleri

Test yakıtlarının BN, AN, SFTN ve DN değerleri Şekil 4.10.'da verilmiştir. B100 yakıtının BN, SFTN, AN ve DN'si sırasıyla 5, 0, -18 ve -20°C, ED yakıtının ki ise sırasıyla -4, -19, -36 ve -39°C olarak tespit edilmiştir. Alkollerin soğuk akış özelliklerinin iyi olmasından dolayı alkol ilave edilen yakıtların soğuk akış özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmiştir. Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına %5 ve 10 oranlarında alkol ilavesi yapılarak kış şartlarına uygun yakıtlar elde etmek mümkündür.



Şekil 4.10. Test yakıtlarının BN, SFTN, AN ve DN değerleri

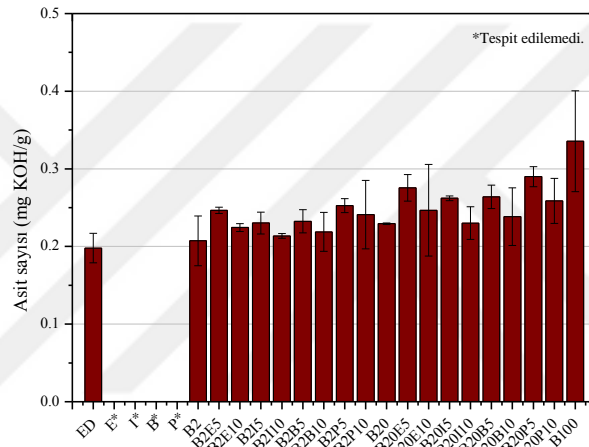
#### 4.3.9. Bakır şerit korozyon

Test yakıtlarının bakır şerit korozyon değerleri 1a olarak ölçülmüştür.

#### 4.3.10. Asit sayısı

Test yakıtlarının asit sayıları Şekil 4.11.'de verilmiştir. B100 yakıtının asit değeri 0.336 mg KOH/g olarak tespit edilirken, B20, B2 ve ED yakıtlarının asit sayıları

sırasıyla 0.229, 0.207 ve 0.198 mg KOH/g olarak ölçülmüştür. Yakıtlara alkol ilavesi ile asit sayılarının bir miktar arttığı gözlenmiştir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının asit sayıları ED yakıtından sırasıyla %39.14, 24.55, 32.37, 16.21, 33.28, 20.40, 46.41 ve 30.66 oranlarında, B20 yakıtından ise sırasıyla %20.15, 7.54, 14.30, 0.35, 15.09, 3.97, 26.43 ve 12.82 oranlarında yüksek çıkmıştır. B2E5, B2E10, B2I5, B20I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının asit sayıları ED yakıtından sırasıyla %24.49, 13.33, 16.26, 7.88, 17.37, 10.51, 27.53 ve 21.72 oranlarında ve B2 yakıtından ise sırasıyla %18.91, 8.25, 11.05, 3.04, 12.11, 5.55, 21.80 ve 16.26 oranlarında yüksek çıkmıştır.

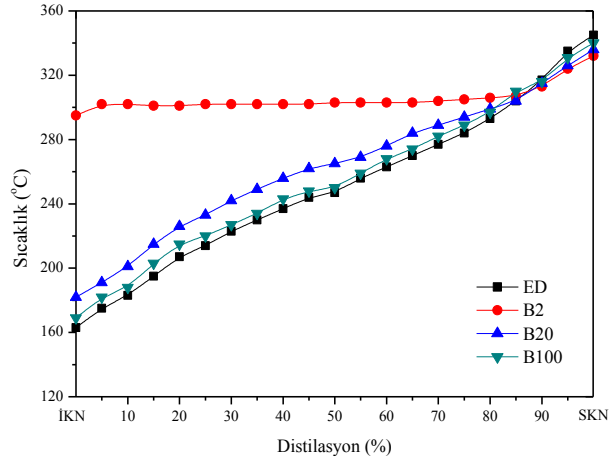


Şekil 4.11. Test yakıtlarının asit sayıları

#### 4.3.11. Distilasyon eğrisi

Test yakıtlarının distilasyon eğrileri Şekil 4.12.'de verilmiştir. Yakıtların distilasyon eğrileri incelendiğinde benzer karakteristiklere sahip olduğu görülmektedir. B100 yakıtının ilk kaynama noktasının ED yakıtına oranla çok daha yüksek olduğu, bu nedenle biyodizelin kaynama aralığının sıcaklık değeri olarak ED yakıtına göre daha kısa olduğu görülmektedir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının ilk kaynama noktaları sırasıyla 163, 169, 182 ve 295°C olarak, kaynama aralıkları sırasıyla 182, 171, 154 ve 37°C olarak ve %90 distilasyon sıcaklıkları sırasıyla 317, 316, 315 ve 313°C olarak ölçülmüştür. Test yakıtlarının gözlenen geri kazanım miktarları %96'nın üzerinde elde edilmiştir. Karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça distilasyon sıcaklıkları artış, %90 distilasyon sıcaklıkları ve son kaynama noktaları düşme göstermiştir.





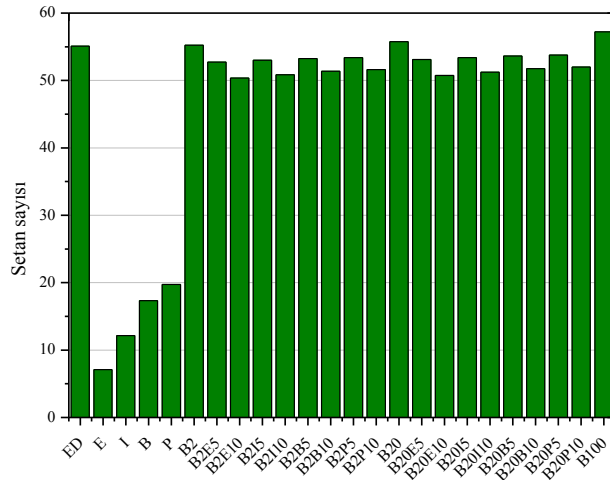
Şekil 4.12. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının distilasyon eğrileri

#### 4.3.12. Setan indisi

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının distilasyon eğrilerine ve yoğunluklarına göre Eşitlik 1.1 ile hesaplanan setan indisi değerleri sırasıyla 48.63, 48.84, 49.20 ve 49.56 olarak bulunmuştur.

#### 4.3.13. Setan sayısı

Test yakıtlarının setan sayıları Şekil 4.13.'te verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının setan sayıları sırasıyla 55.10, 55.24, 55.75 ve 57.23 olarak tespit edilmiştir. En düşük setan sayısına ise alkollerin sahip olduğu görülmektedir. Yakıtlara farklı alkol ilavesi ile setan sayılarının bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Yakıt karışımlarının setan sayıları 50'nin üzerinde ölçülmüştür.



Şekil 4.13. Test yakıtlarının setan sayıları

#### 4.3.14. Sülfatlanmış kül miktarı

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının sülfatlanmış kül miktarları sırasıyla %0.0161, 0.0160, 0.0147 ve 0.0109 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.3.15. Element miktarı

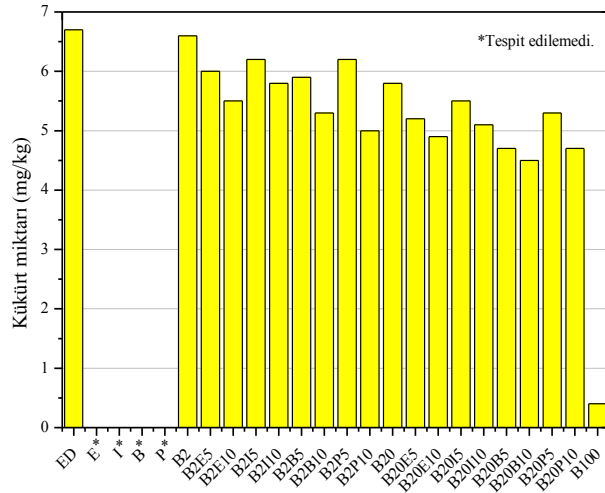
ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının element içerikleri Tablo 4.6.'da verilmiştir. Yakıtların element içerikleri incelendiğinde daha çok sodyum, potasyum, kalsiyum ve fosforun olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.6.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının element içerikleri

Elementler (mg/kg)	ED	B2	B20	B100
Bor (B)	0.687±0.133	0.593±0.083	0.561±0.059	0.662±0.032
Sodyum (Na)	37.317±2.112	61.609±0.981	47.730±0.912	35.045±0.562
Magnezyum (Mg)	2.564±0.040	3.409±0.040	2.444±0.064	4.785±0.205
Alüminyum (Al)	-	-	-	-
Fosfor (P)	0.463±0.008	2.323±0.085	3.626±0.092	9.254±0.167
Potasyum (K)	19.769±0.847	41.385±0.644	28.482±0.619	21.105±0.609
Kalsiyum (Ca)	12.129±0.717	14.214±0.385	12.192±0.330	20.331±0.489
Krom (Cr)	0.134±0.015	0.077±0.004	0.058±0.003	0.049±0.002
Mangan (Mn)	0.035±0.006	0.052±0.001	0.040±0.001	0.066±0.003
Demir (Fe)	0.881±0.080	0.729±0.010	0.500±0.025	0.473±0.014
Kobalt (Co)	0.005±0.001	0.007±0.000	0.005±0.000	0.004±0.000
Nikel (Ni)	-	0.041±0.002	-	-
Bakır (Cu)	0.250±0.011	0.271±0.006	0.147±0.004	0.306±0.006
Çinko (Zn)	0.492±0.042	0.647±0.002	0.528±0.017	0.336±0.015
Selenyum (Se)	1.634±0.058	1.155±0.020	1.034±0.049	1.025±0.013
Molibden (Mo)	0.017±0.002	0.010±0.001	0.007±0.001	0.005±0.000
Kadmiyum (Cd)	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.002±0.000
İndiyum (In)	0.001±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
Kalay (Sn)	0.012±0.001	0.012±0.001	0.081±0.002	0.290±0.005
Baryum (Ba)	0.066±0.001	0.061±0.005	0.068±0.002	0.115±0.002
Kurşun (Pb)	-	-	-	-
Bizmut (Bi)	-	-	-	-

#### 4.3.16. Kükürt miktarı

Test yakıtlarının kükürt miktarları Şekil 4.14.'te verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kükürt miktarları sırasıyla 6.7, 6.6, 5.8 ve 0.4 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Yakıtlara farklı alkol ilavesi ile kükürt miktarlarının azaldığı belirlenmiştir.



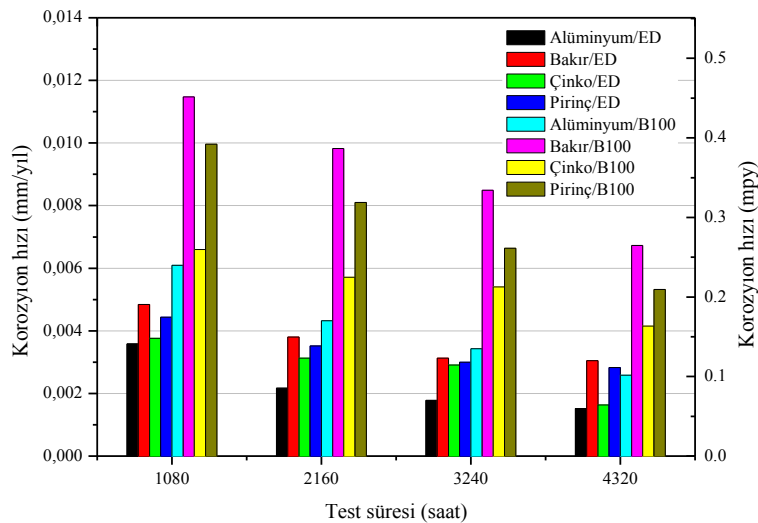
Şekil 4.14. Test yakıtlarının kükürt miktarları

#### 4.4. Korozyon testi sonuçları

Bu bölümde, oda sıcaklığında ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarına daldırılan farklı malzemeler (alüminyum, bakır, çinko ve pirinç) üzerinde meydana gelen değişimler sunulmuştur.

##### 4.4.1. Korozyon hızlarının karşılaştırılması

ED ve B100 yakıtlarının farklı daldırma sürelerindeki (1080, 2160, 3240 ve 4320 saat) alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemeleri üzerine olan korozif etkileri Şekil 4.15.'te verilmiştir.



Şekil 4.15. B100 ve ED yakıtlarının farklı daldırma sürelerindeki korozyon hızları

1080, 2160, 3240 ve 4320 saat sonundaki KH'ler ED yakıtına daldırılan alüminyum için 0.1409, 0.0854, 0.0700 ve 0.0599 mpy, bakır için 0.1906, 0.1495, 0.1232 ve 0.1200 mpy, çinko için 0.1481, 0.1233, 0.1145 ve 0.0641 mpy ve pirinç için 0.1746, 0.1385, 0.1181 ve 0.1114 olarak; B100 yakıtına daldırılan alüminyum için 0.2398, 0.1700, 0.1349 ve 0.1017 mpy, bakır için 0.4515, 0.3866, 0.3342 ve 0.2650 mpy, çinko için 0.2599, 0.2249, 0.2126 ve 0.1634 mpy ve pirinç için 0.3922, 0.3191, 0.2614 ve 0.2094 mpy olarak gerçekleşmiştir.

Daldırma zamanının artışına bağlı olarak alüminyum, bakır, çinko ve pirincin KH'lerinin azaldığı görülmektedir. Fazal ve ark. [409] bakırın, Fazal ve ark. [237] alüminyumun ve Chew ve ark. [410] alüminyum ve magnezyumun KH'lerinin daldırma zamanının artmasına bağlı olarak azaldıklarını belirtmişlerdir. Malzemelerin KH'leri karşılaştırıldığında en çok korozyona uğrayan bakır iken bakırı sırasıyla pirinç, çinko ve alüminyum izlemektedir. Hu ve ark. [411] yakıtlara daldırılan alüminyumun üzerinde zamanla metal oksit filmlerinin oluştuğunu, bu metal oksitler nedeniyle yakıtın malzeme ile temasının azaldığını ve böylece oksidasyonu ve korozyonu engellediğini tespit etmişlerdir. Fazal ve ark. [412] biyodizelin içerisinde bulunan serbest yağ asitlerinin, yüksek oksijen miktarının, su içeriğinin ve üretimden kaynaklanan kirliliklerin dizel yakıtına göre korozyonu artırdığını belirtmişlerdir.

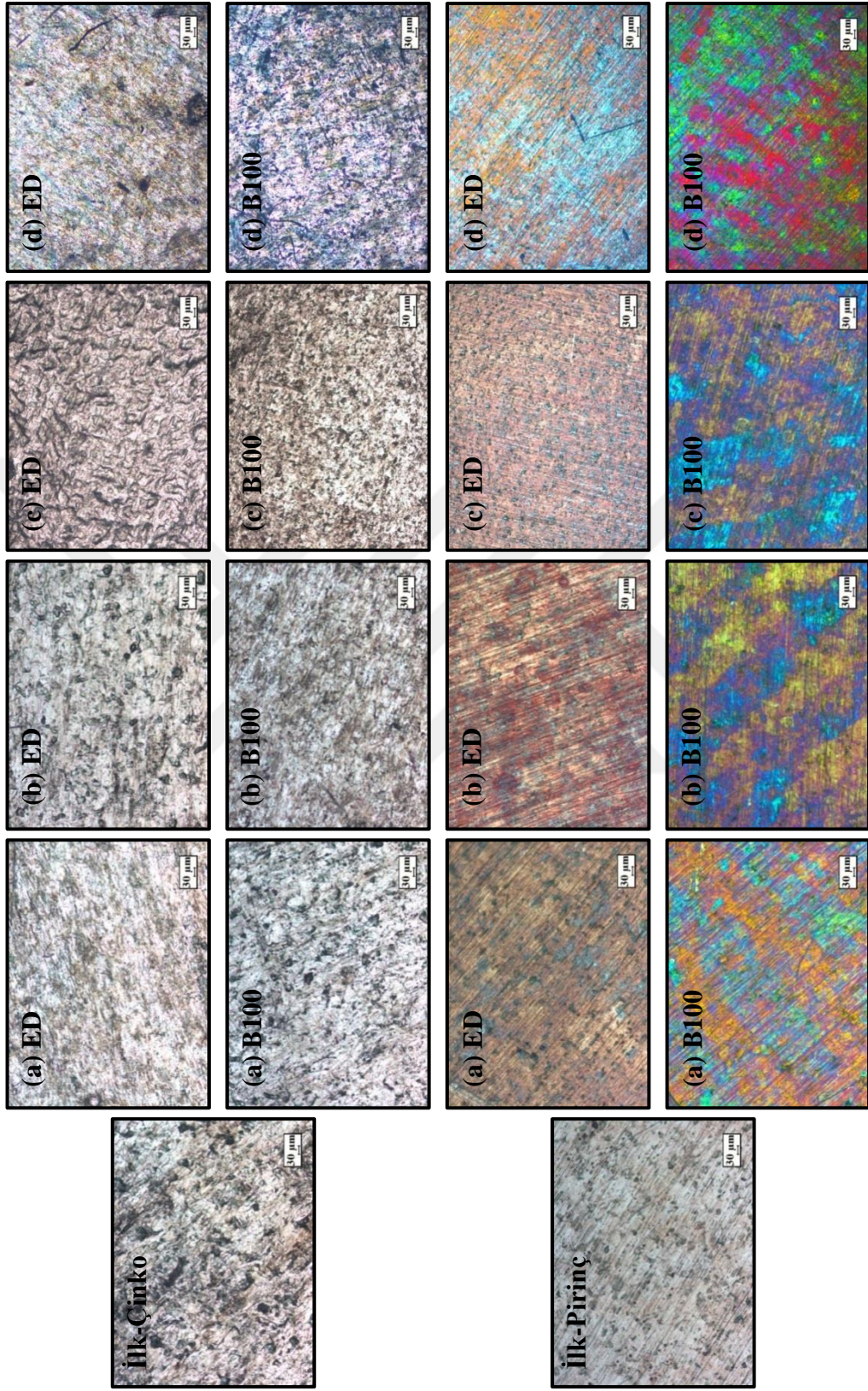
Test yakıtlarının alüminyum, bakır, çinko ve piriç malzemeleri üzerine olan 4320 saat sonundaki koroziyon etkileri Şekil 4.16.'da verilmiştir. B20 ve B2 yakıtlarına daldırılan alüminyum sırasıyla 0.0811 ve 0.0642 mpy, bakır sırasıyla 0.2184 ve 0.1730 mpy, çinko sırasıyla 0.1239 ve 0.0786 ve pirinç sırasıyla 0.1881 ve 0.1673 mpy KH göstermiştir. Ayrıca, alkol ilavesi yapılan yakıtların KH'lerinin arttığı görülmektedir. B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5, B20P10, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarına daldırılan alüminyumun KH'si sırasıyla 0.1043, 0.1155, 0.0812, 0.0849, 0.0812, 0.0872, 0.1124, 0.1294, 0.0831, 0.0993, 0.0677, 0.0760, 0.0627, 0.0827, 0.0882 ve 0.0908 mpy; bakırın KH'si sırasıyla 0.2251, 0.2527, 0.2150, 0.2181, 0.2202, 0.2219, 0.2987, 0.3104, 0.2146, 0.2224, 0.1833, 0.1999, 0.1838, 0.1909, 0.2303 ve 0.2564 mpy; çinkonun KH'si sırasıyla 0.1611, 0.1817, 0.1328, 0.1385, 0.1349, 0.1480, 0.2071, 0.2271, 0.1034, 0.1244, 0.0837, 0.0901, 0.0901, 0.0968, 0.1411 ve 0.1804 mpy ve





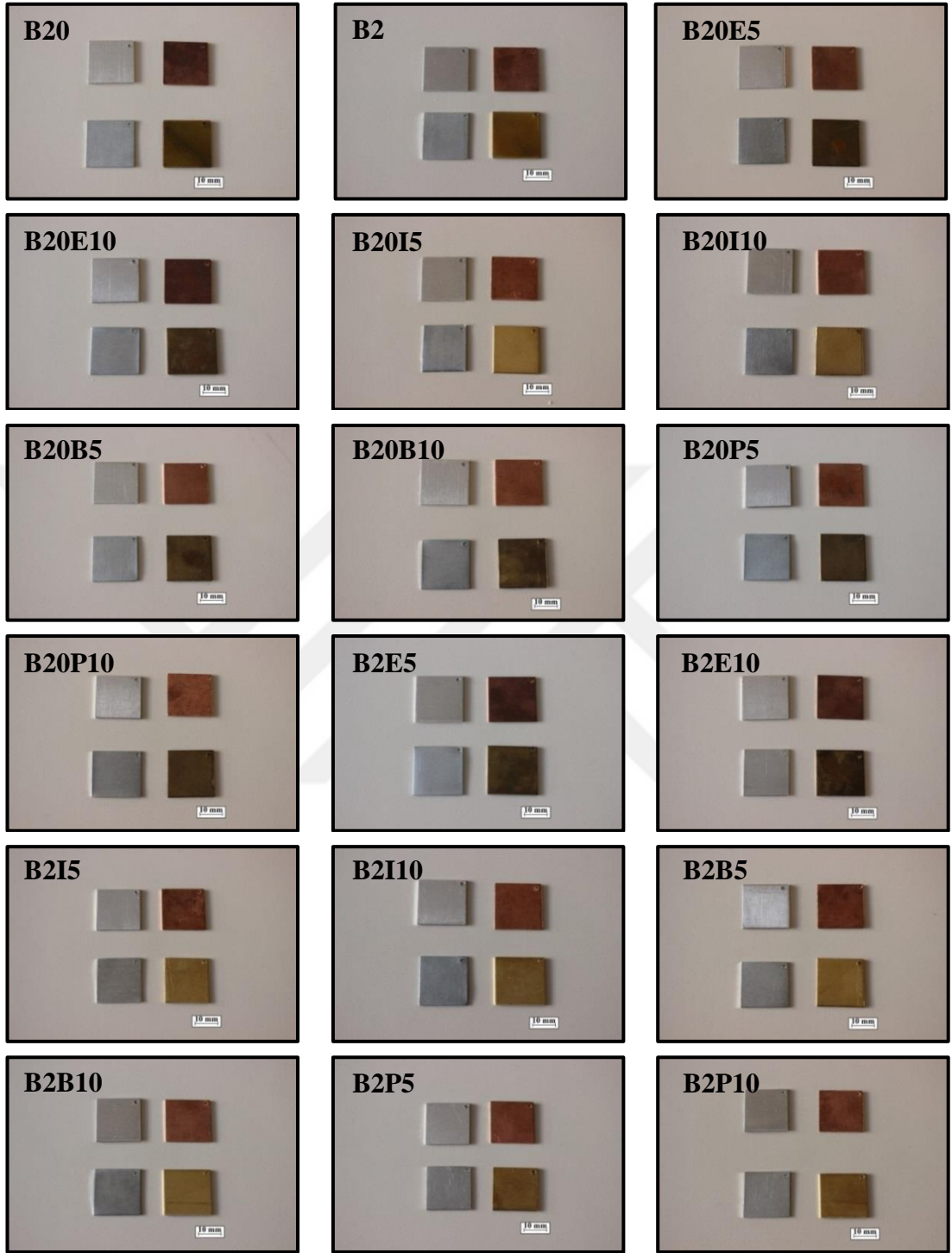
Şekil 4.17. ED ve B100 yakıtlarına daldırılan malzemelerin yüzeylerinde (a) 1080, (b) 2160, (c) 3240 ve (d) 4320 saat sonunda meydana gelen değişimler



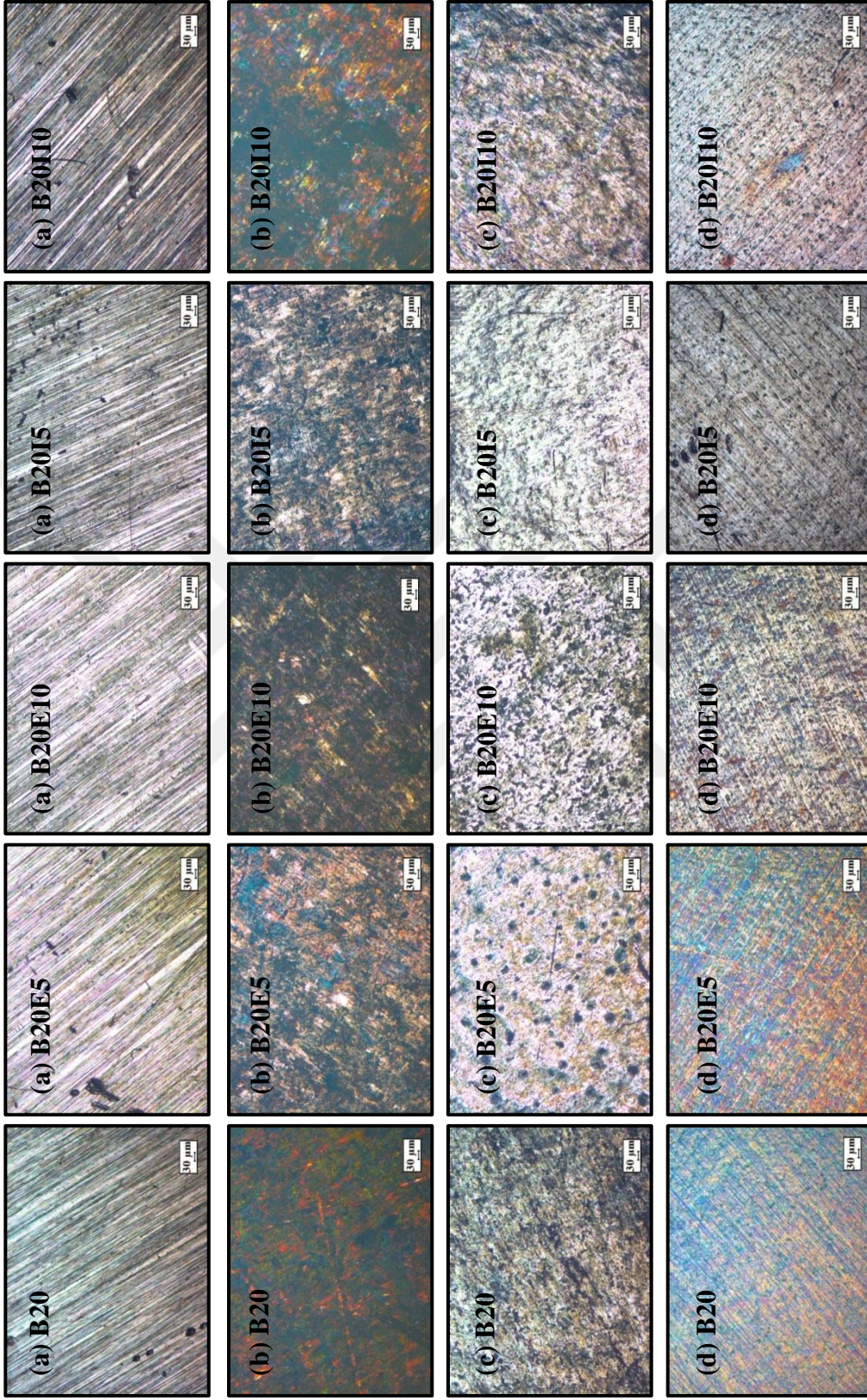


Şekil 4.18. Devam

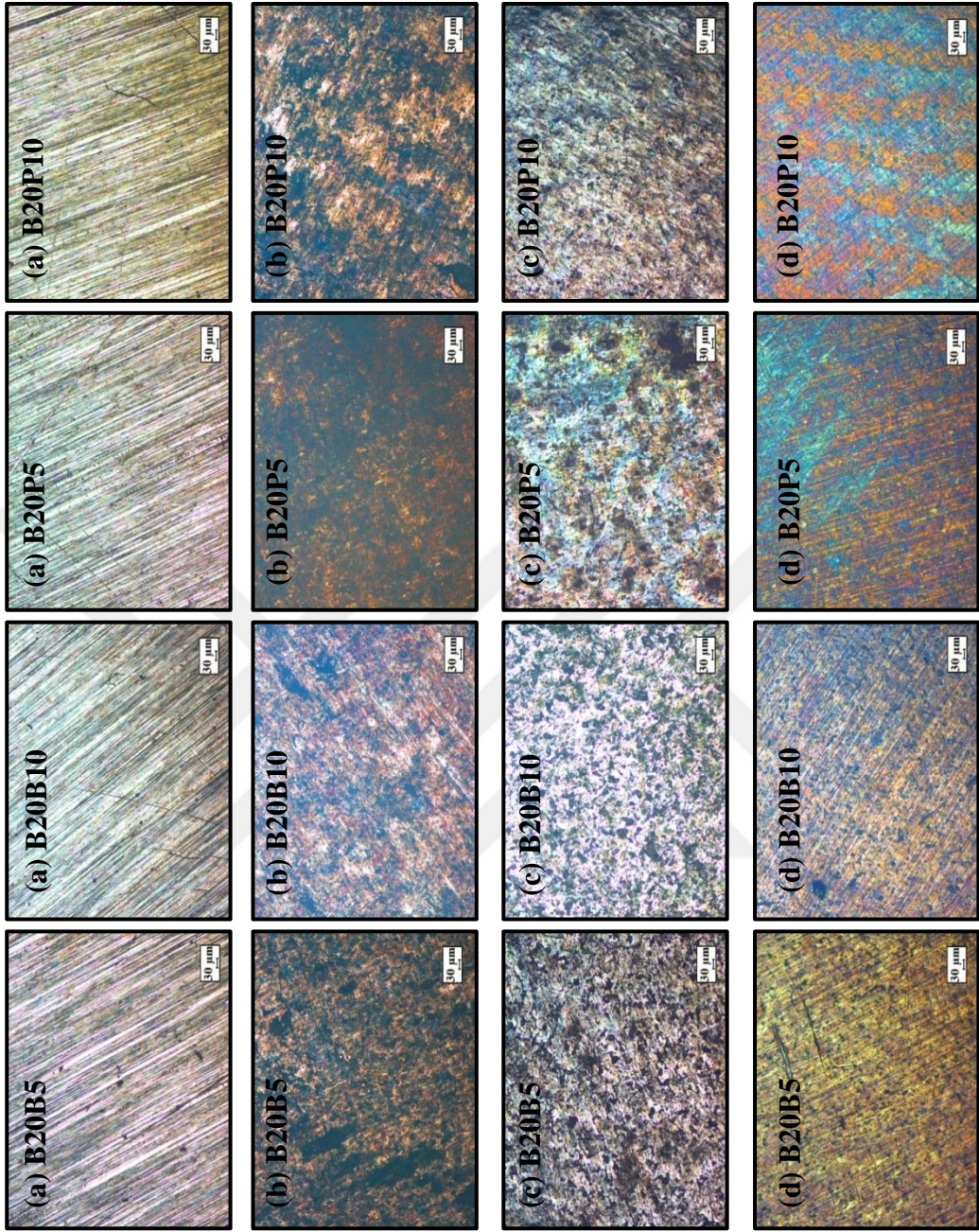




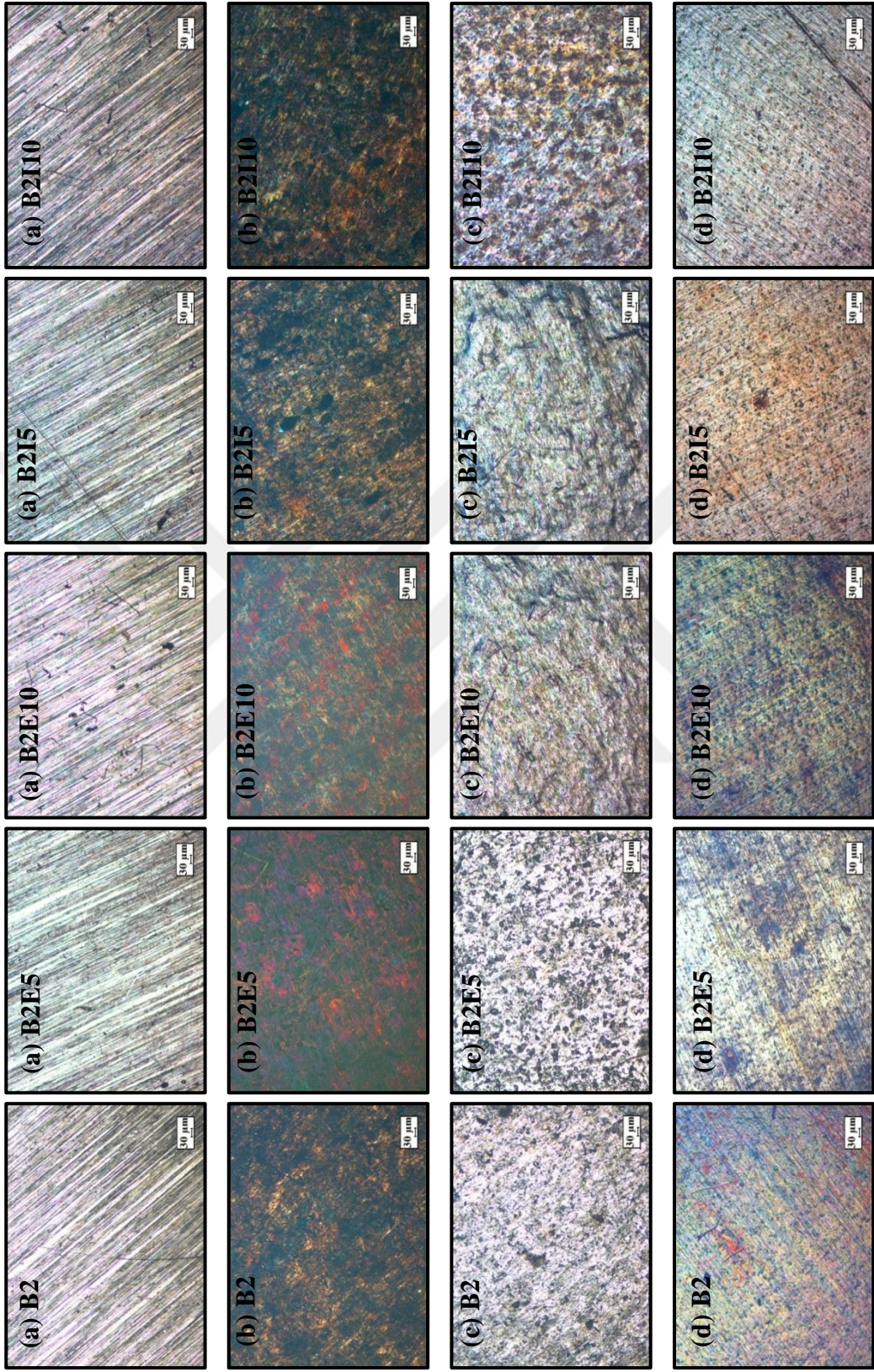
**Şekil 4.19.** Test yakıtlarına daldırılan malzemelerin yüzeylerinde 4320 saat sonunda meydana gelen değişimler



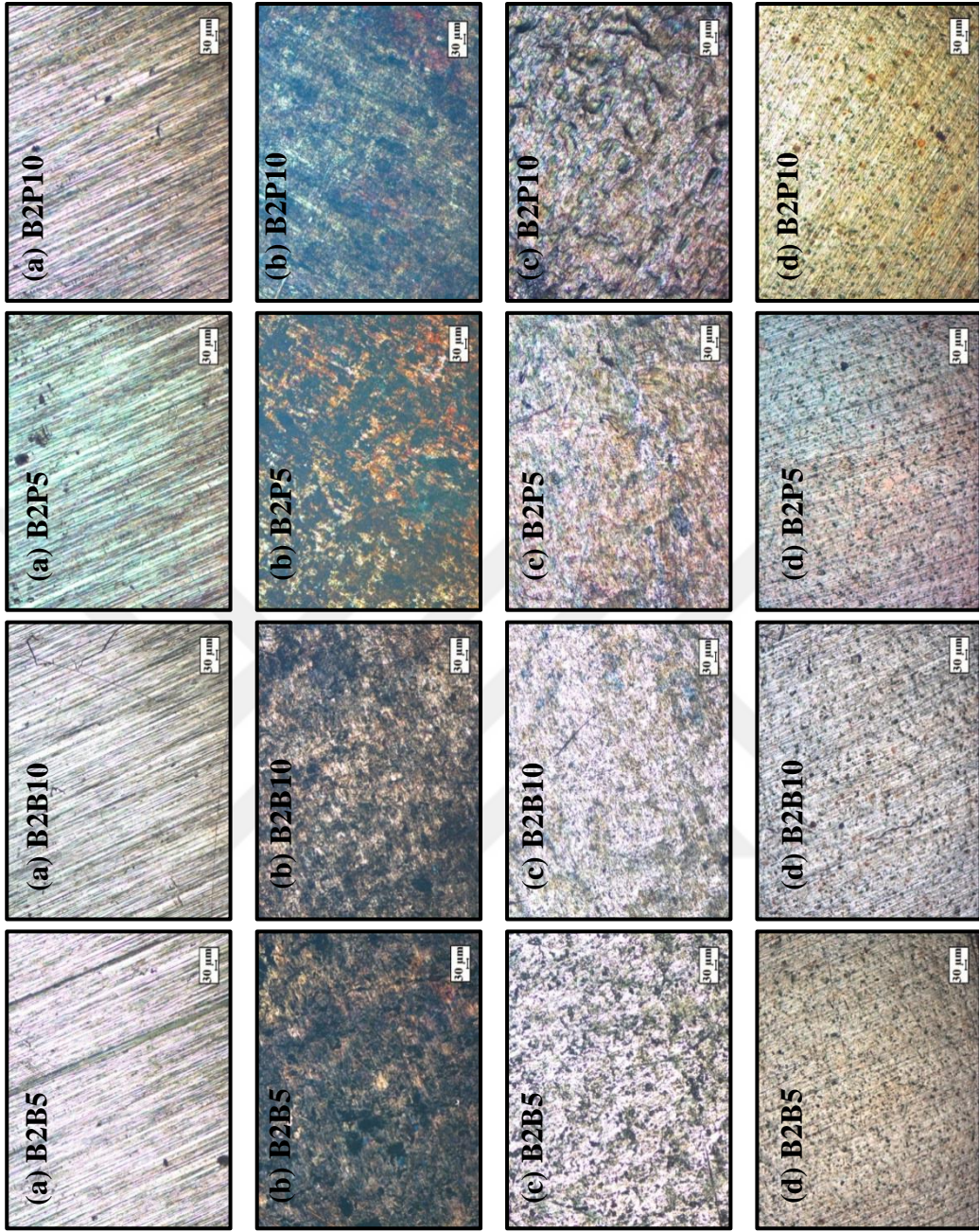
**Şekil 4.20.** Test yakıtlarına daldırılan (a) alüminyum, (b) bakır, (c) çinko ve (d) pirinç malzemelerinin yüzeylerinin 4320 saat sonundaki mikroskop görüntüleri (x40)



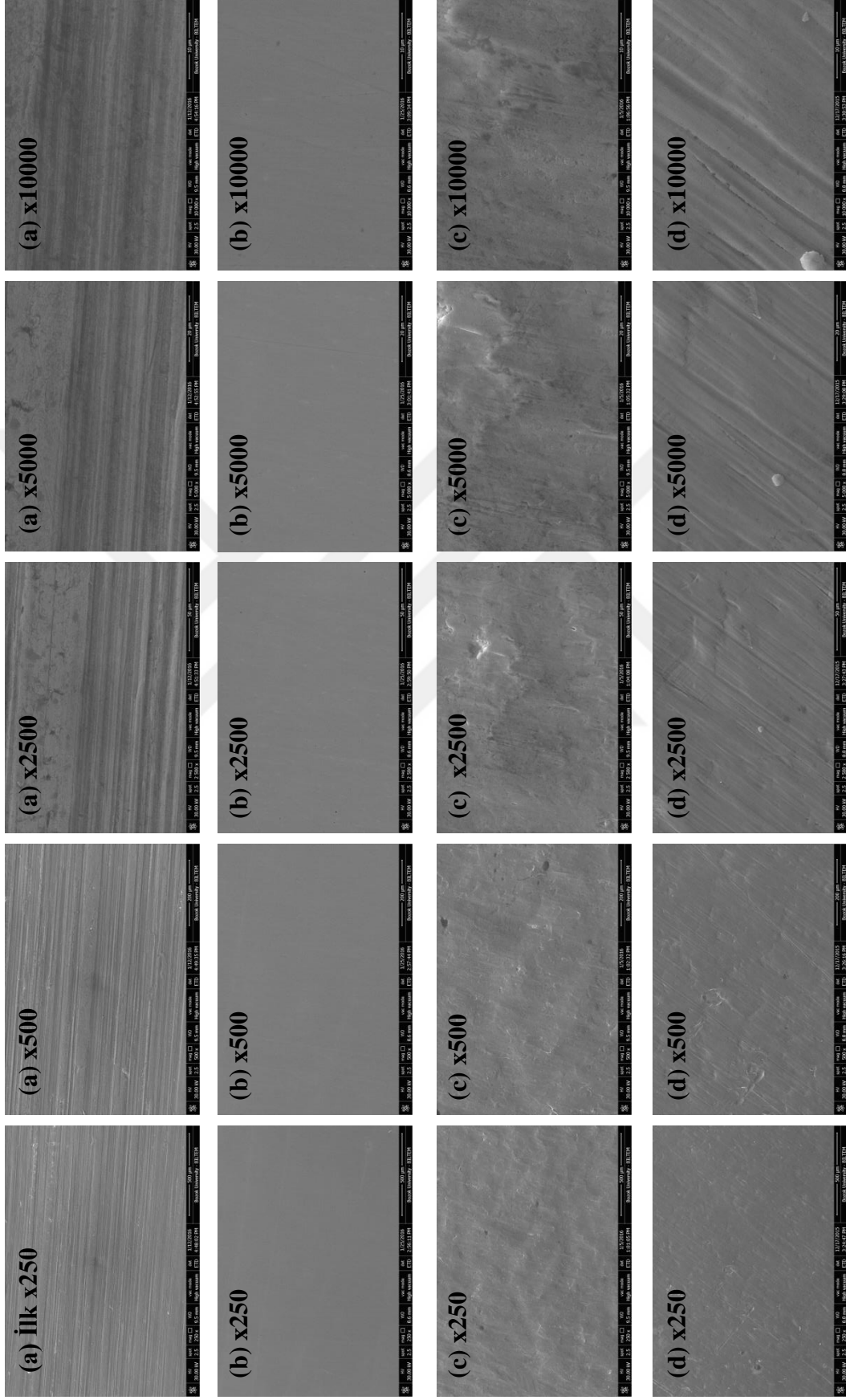
Şekil 4.20. Devam



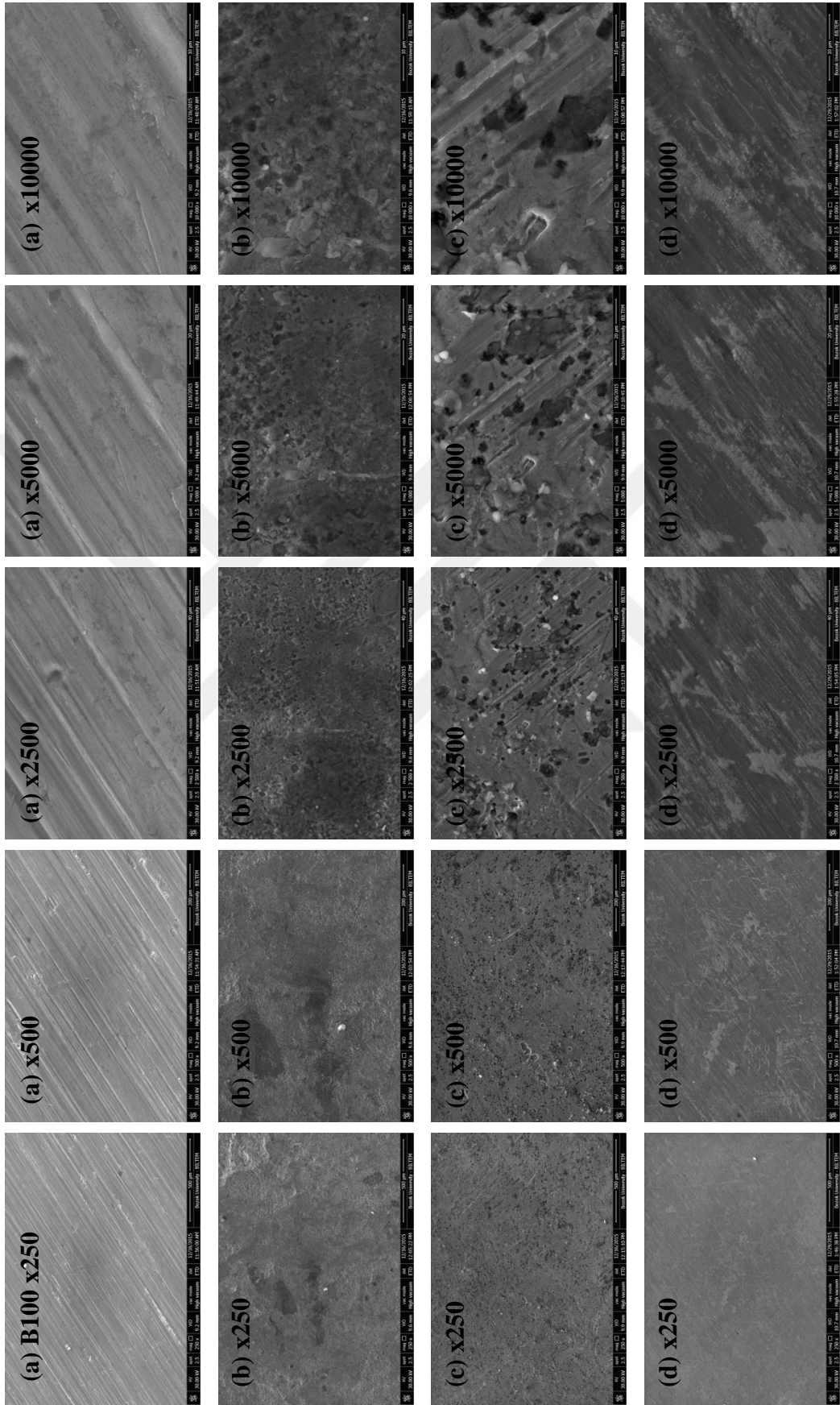
Şekil 4.20. Devam



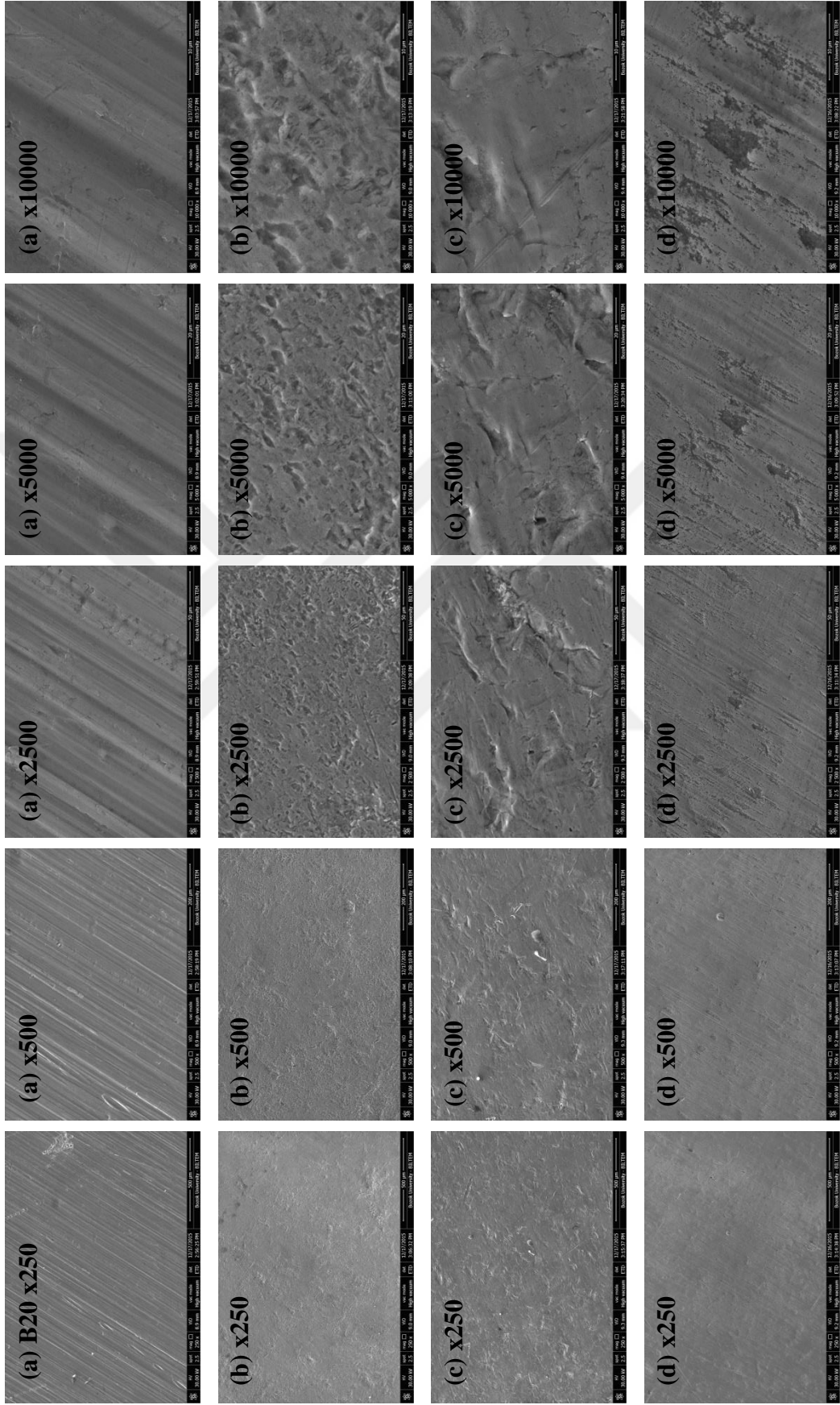
Şekil 4.20. Devam



**Şekil 4.21.** (a) Alüminyum, (b) bakır, (c) çinko, (d) pirinç malzemelerinin daldırma öncesi ve yakıtlara daldırıldıktan 4320 saat sonundaki TEM görüntüleri

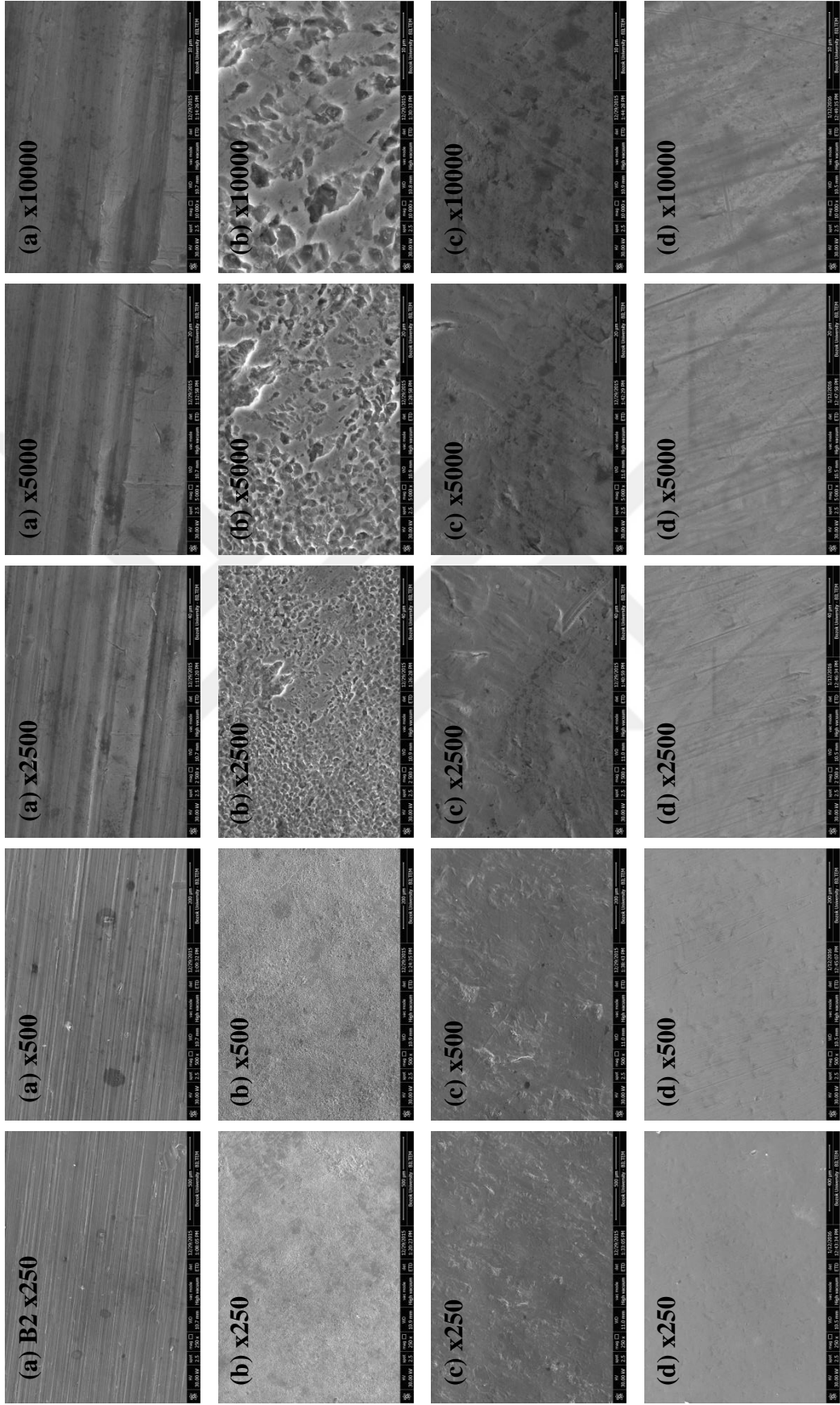


Şekil 4.21. Devam

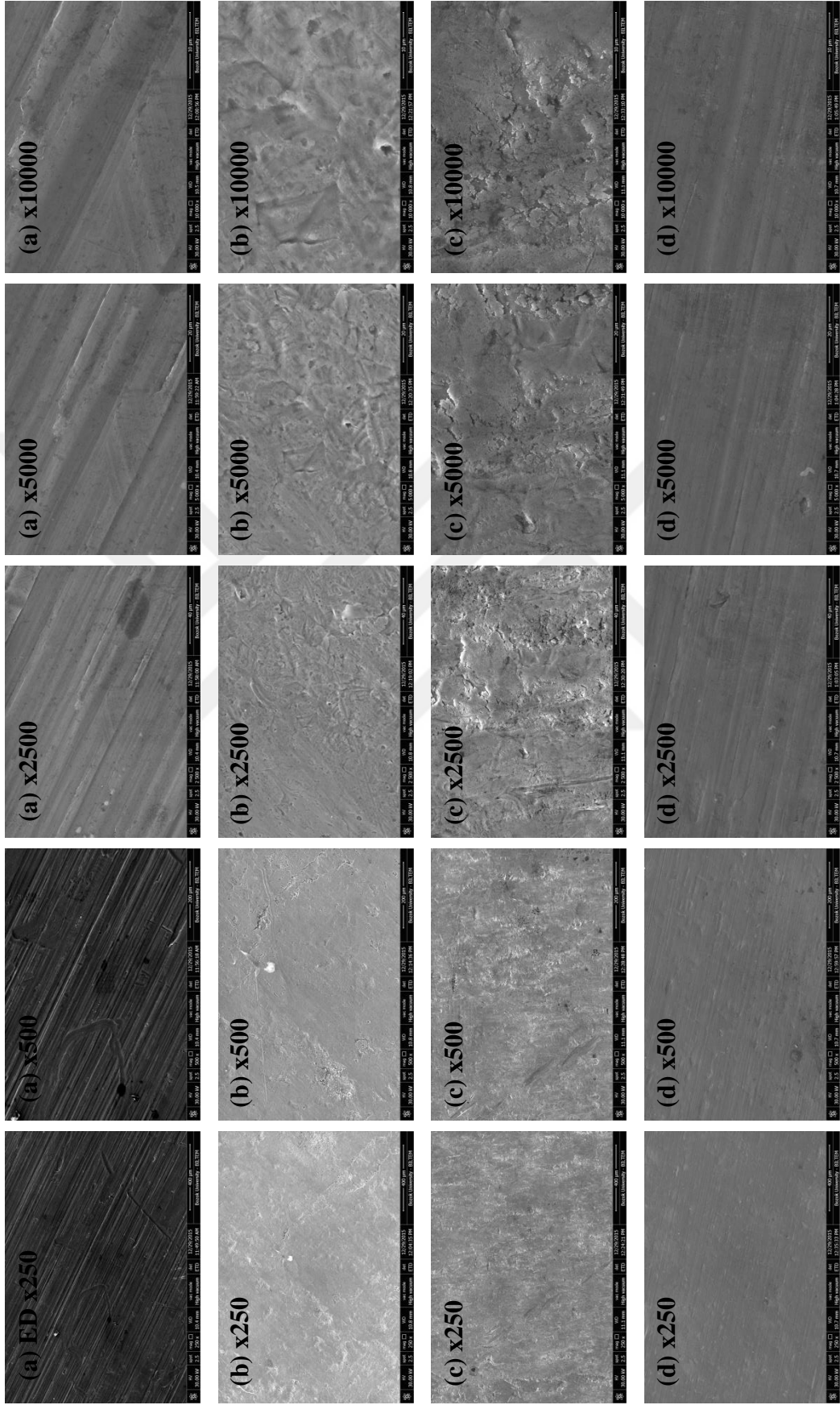


Şekil 4.21. Devam

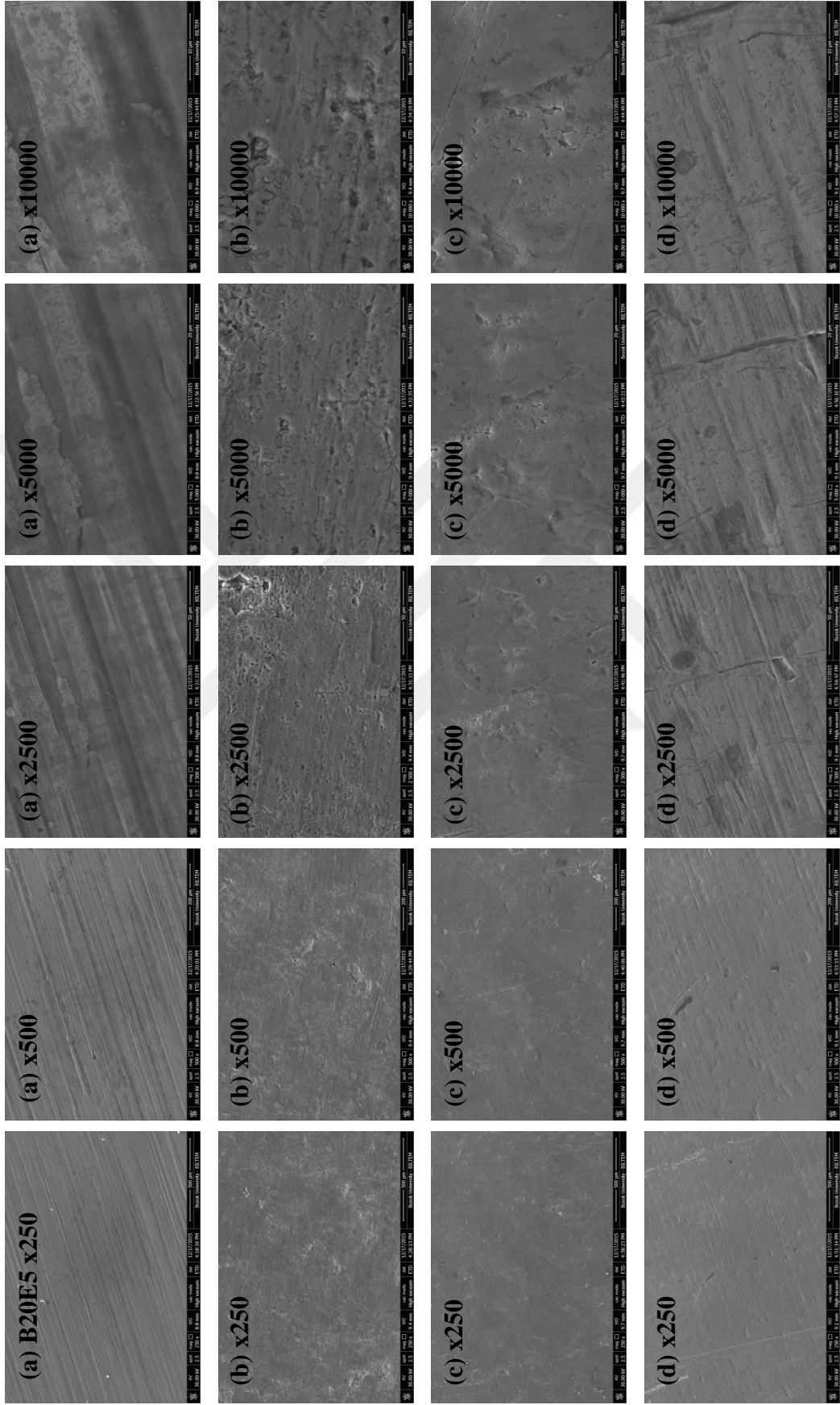




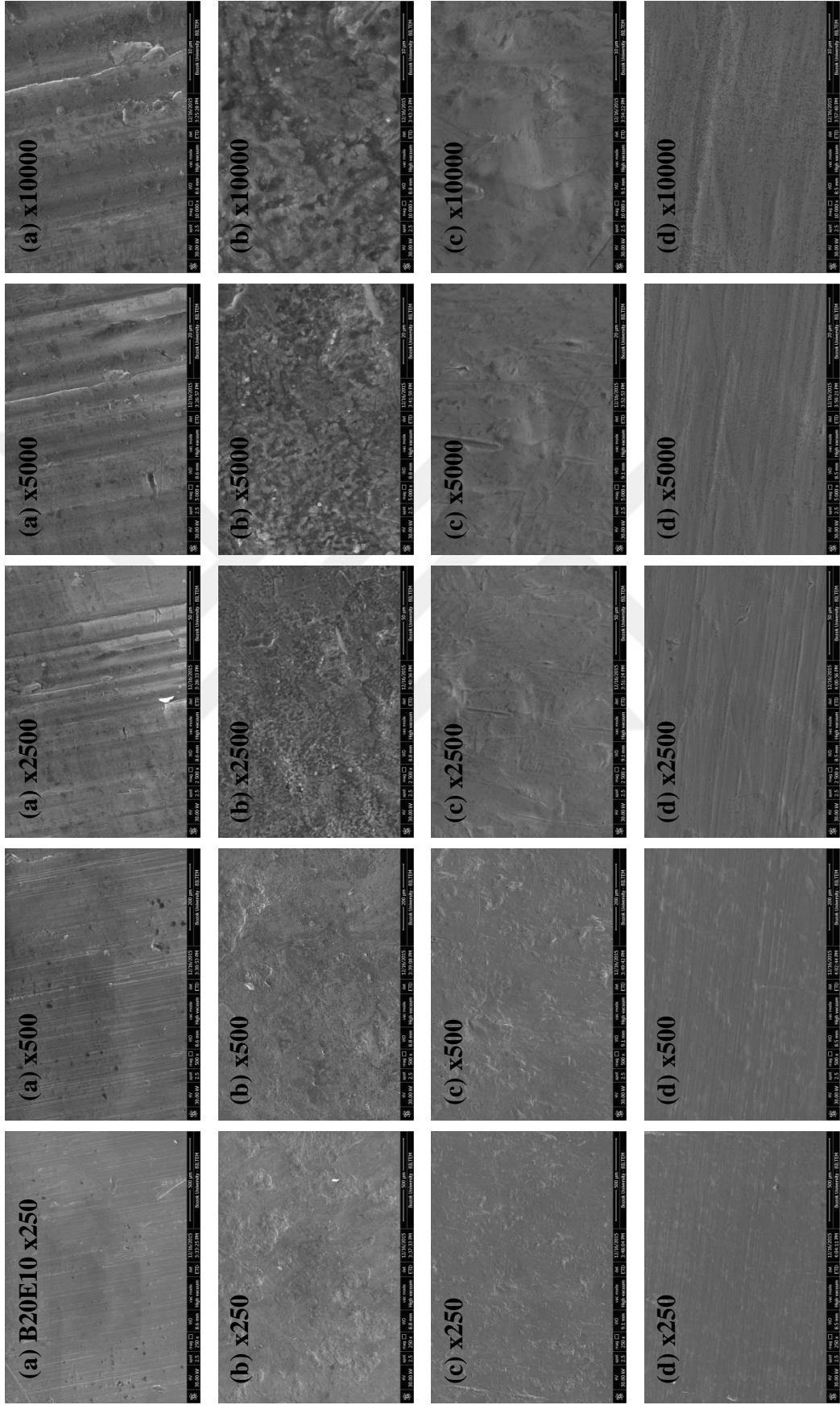
Şekil 4.21. Devam



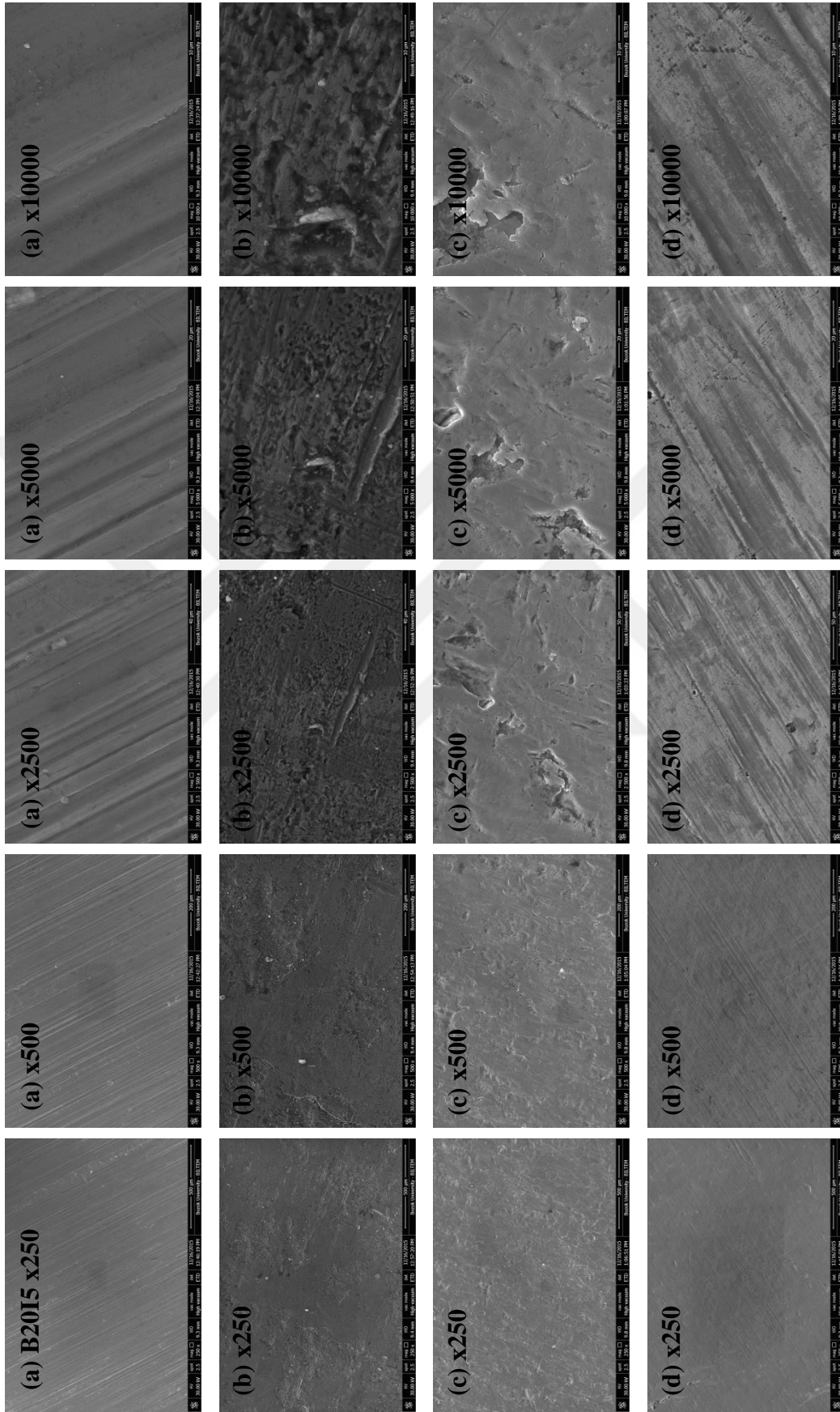
Şekil 4.21. Devam



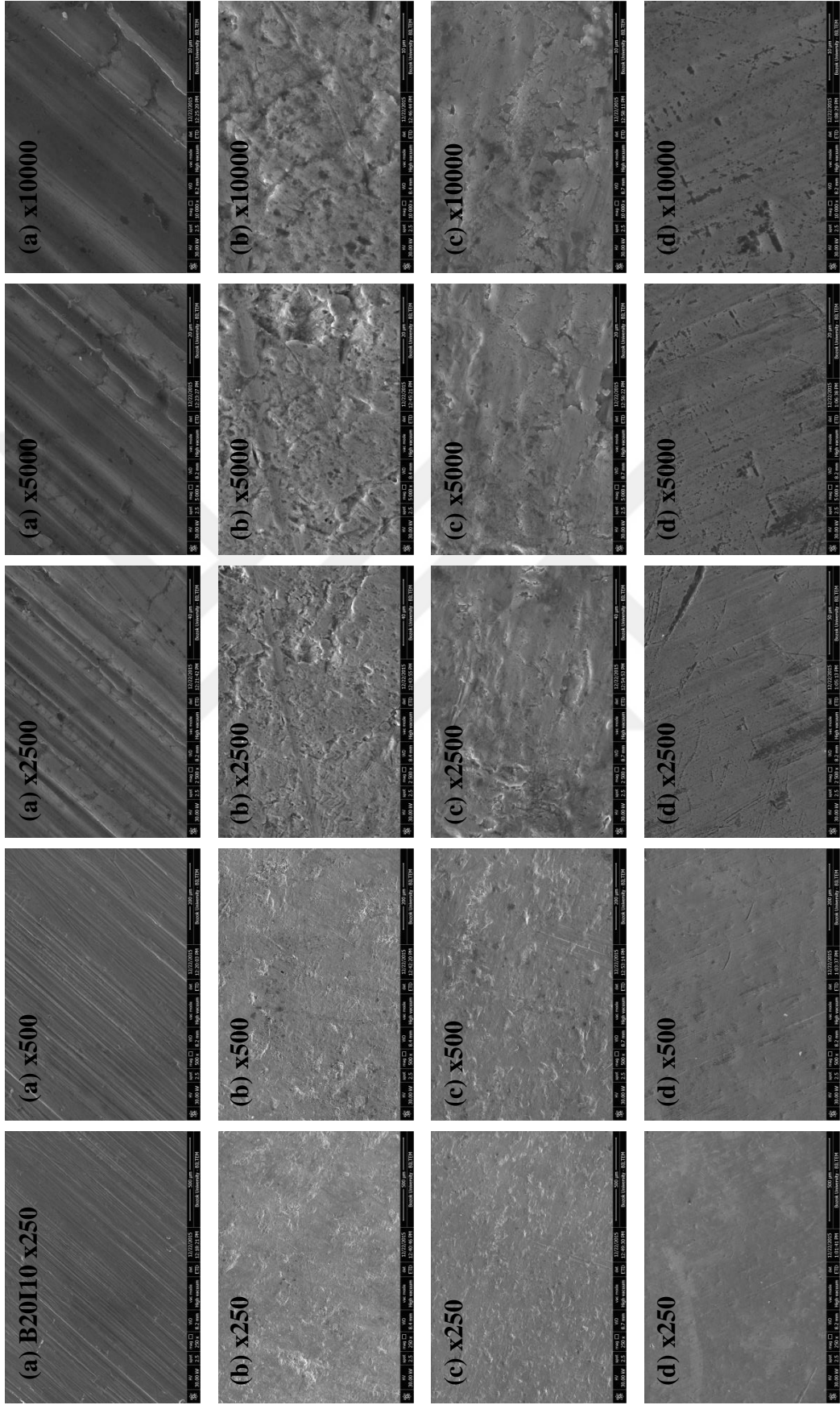
Şekil 4.21. Devam



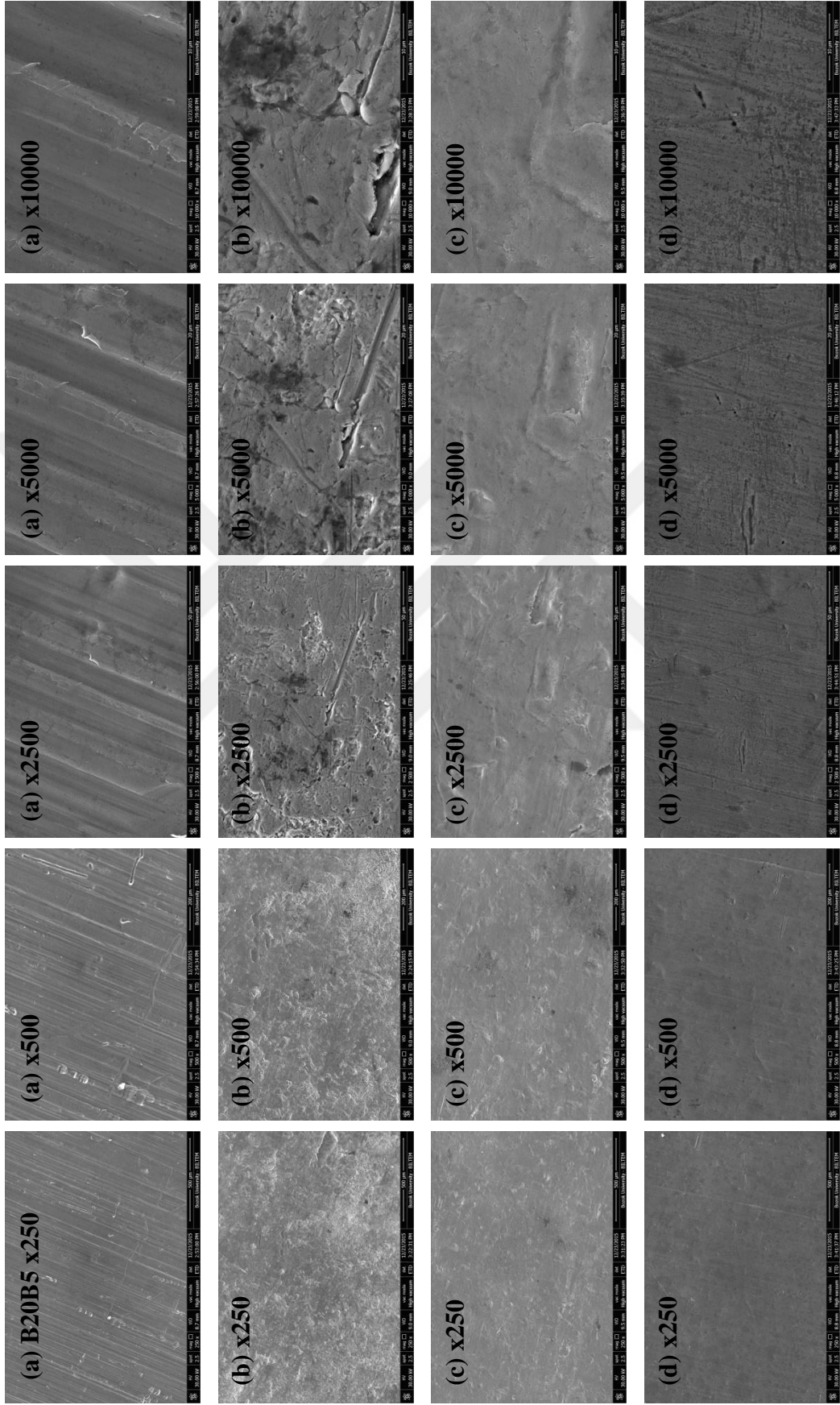
Şekil 4.21. Devam



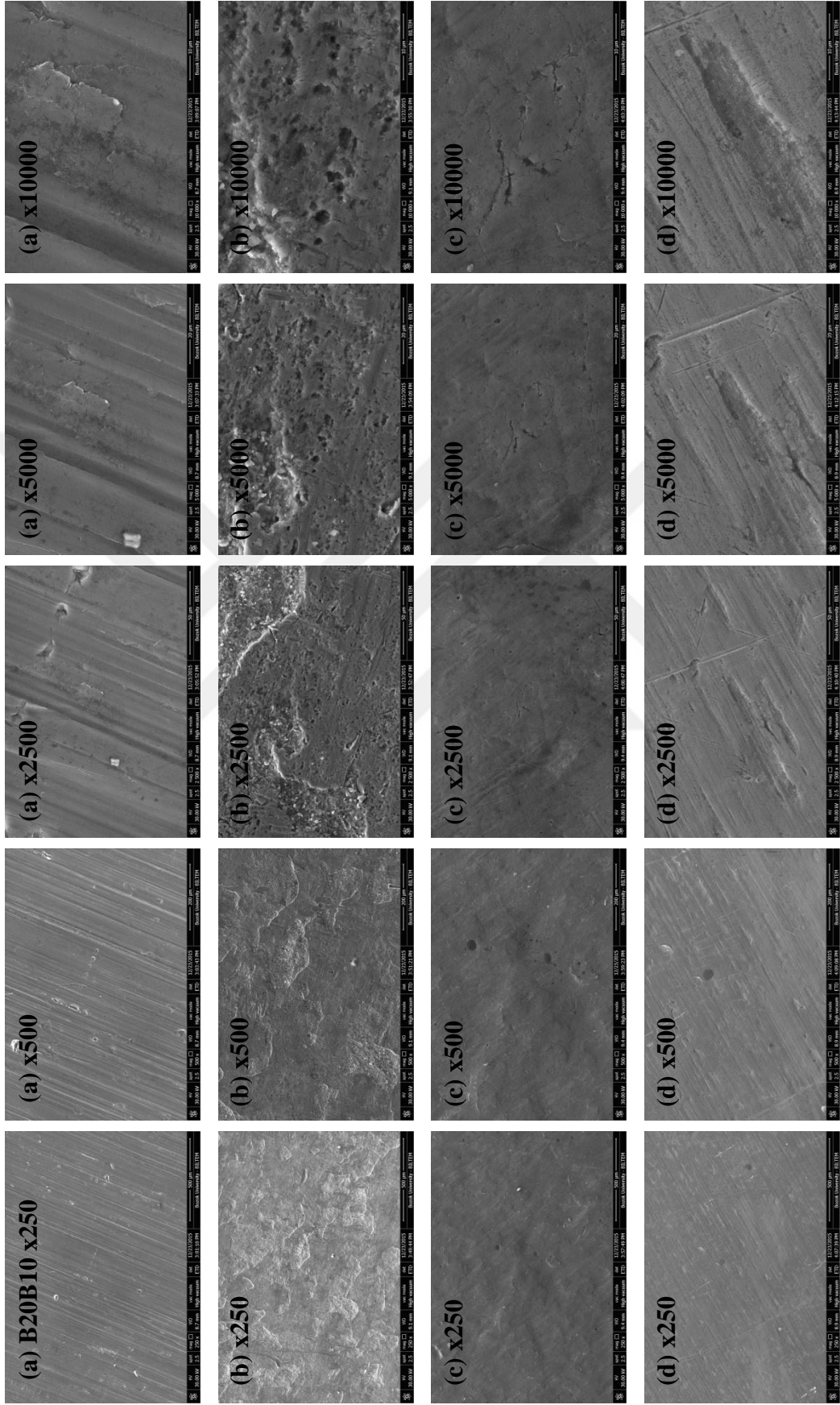
Şekil 4.21. Devam



Şekil 4.21. Devam

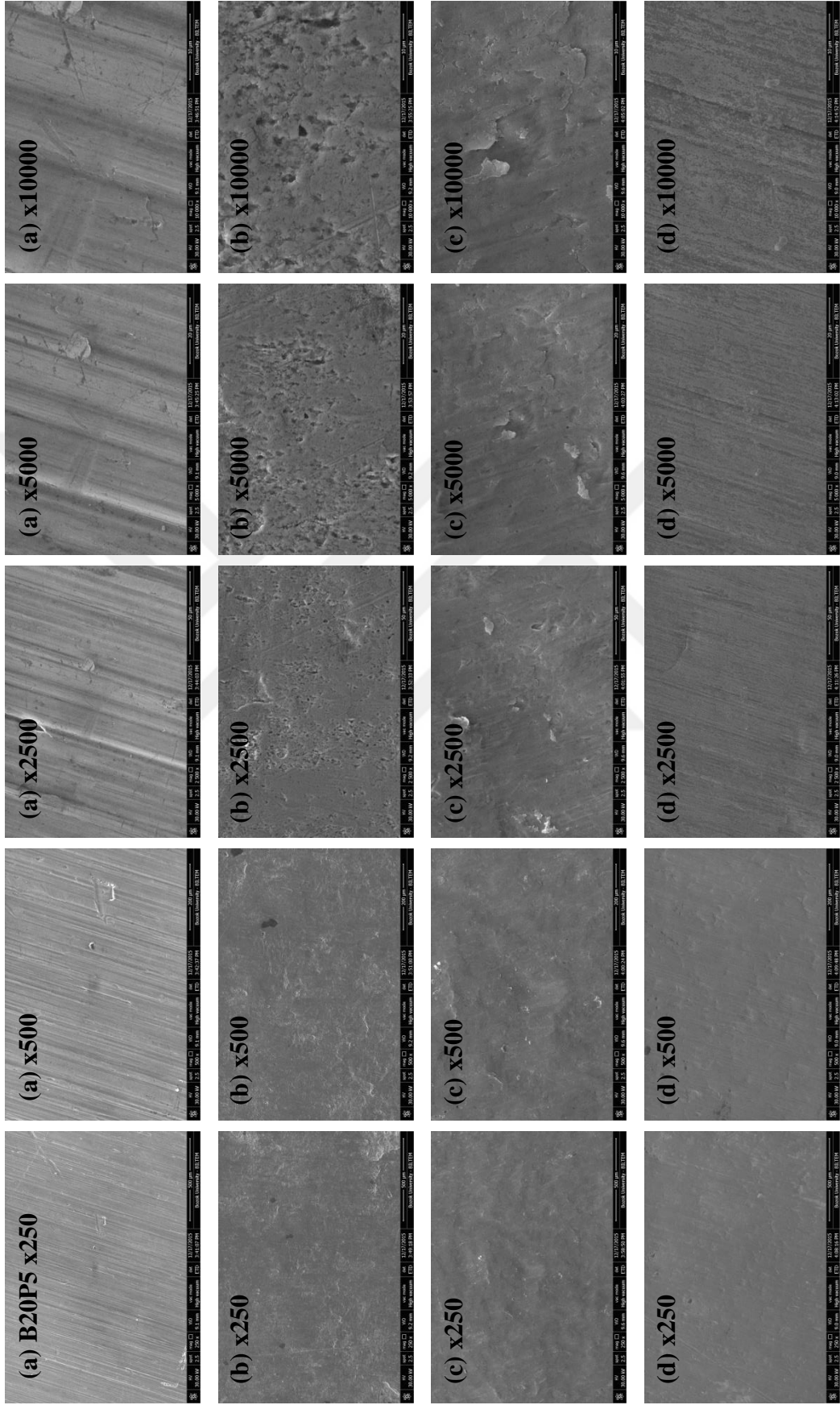


Şekil 4.21. Devam

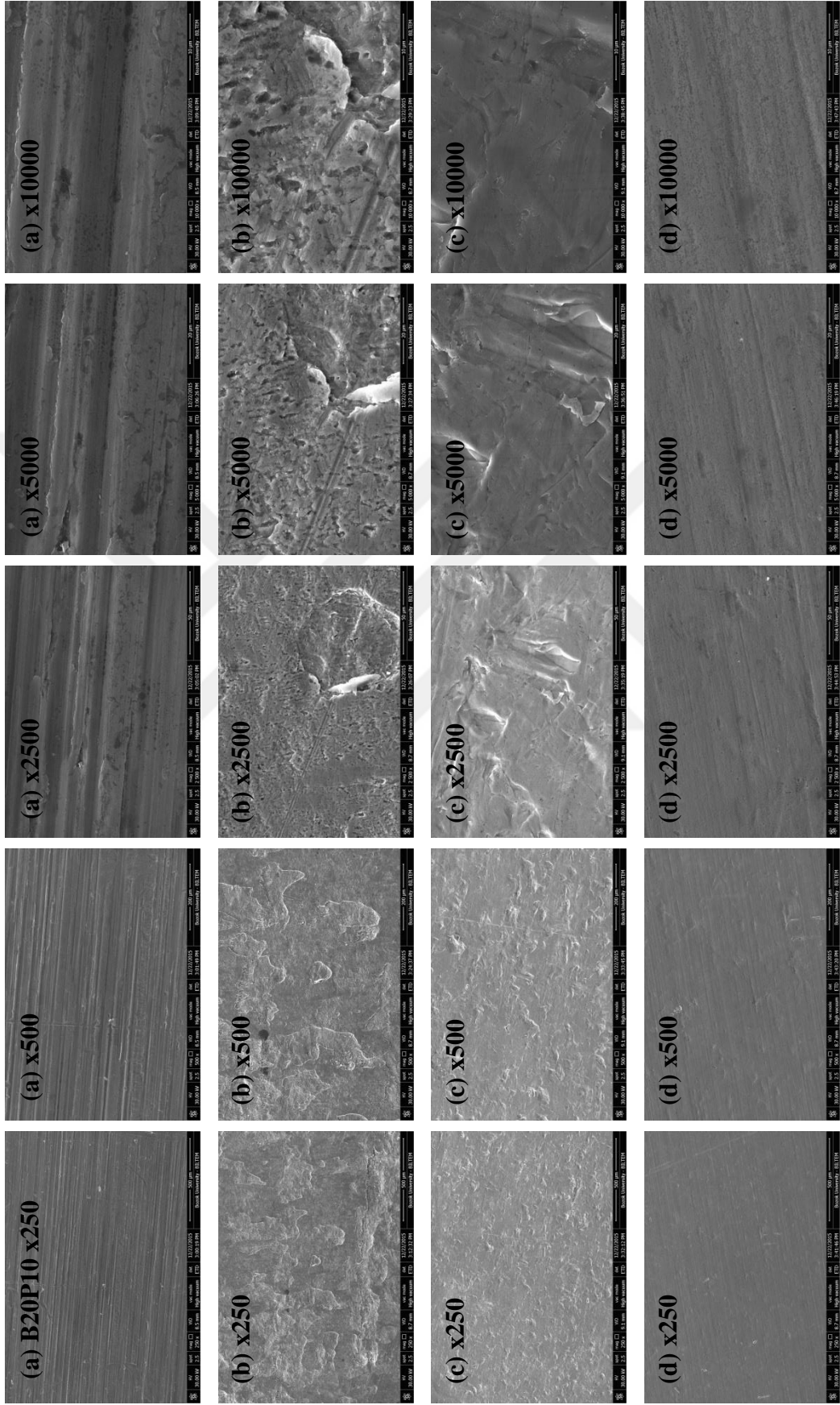


Şekil 4.21. Devam

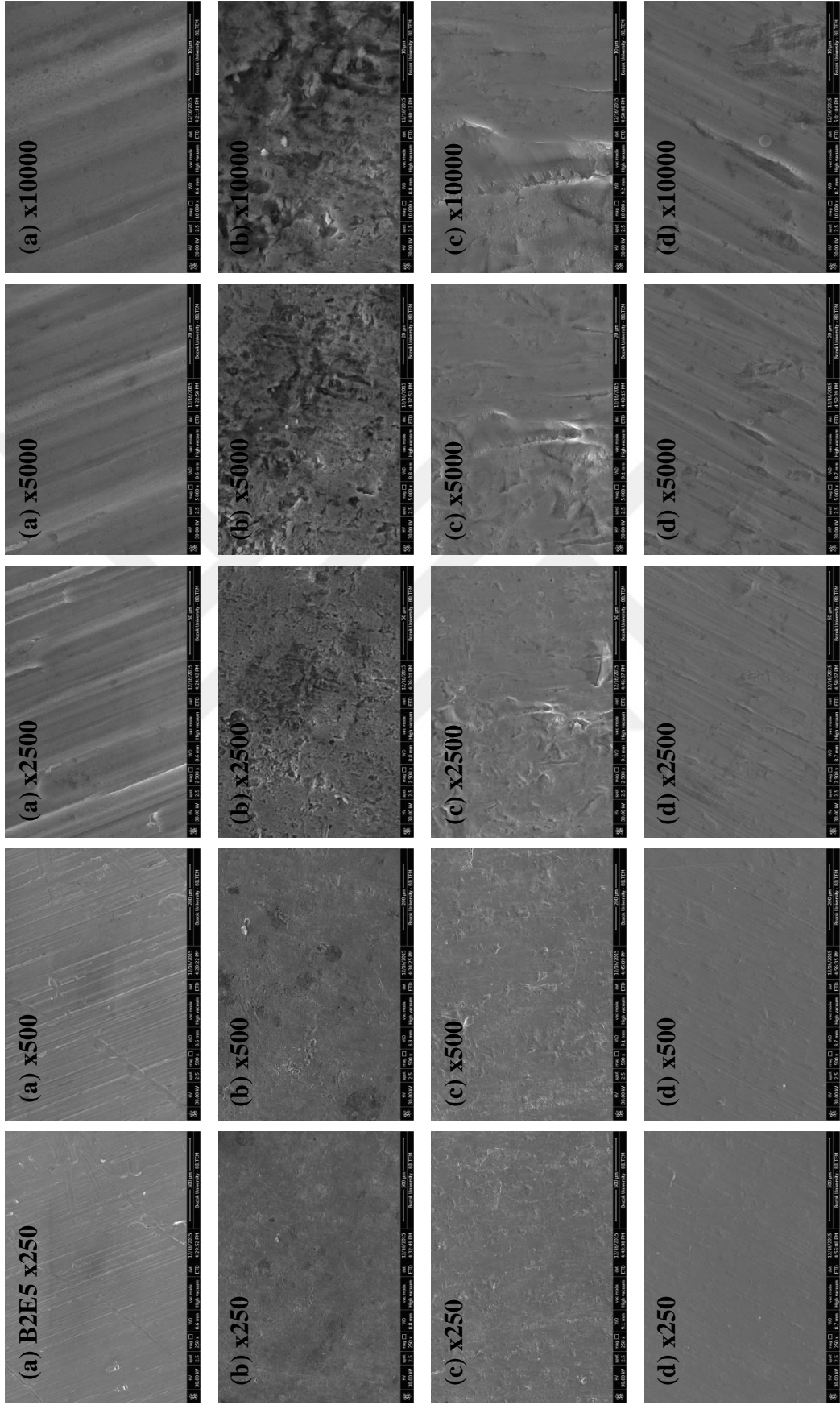




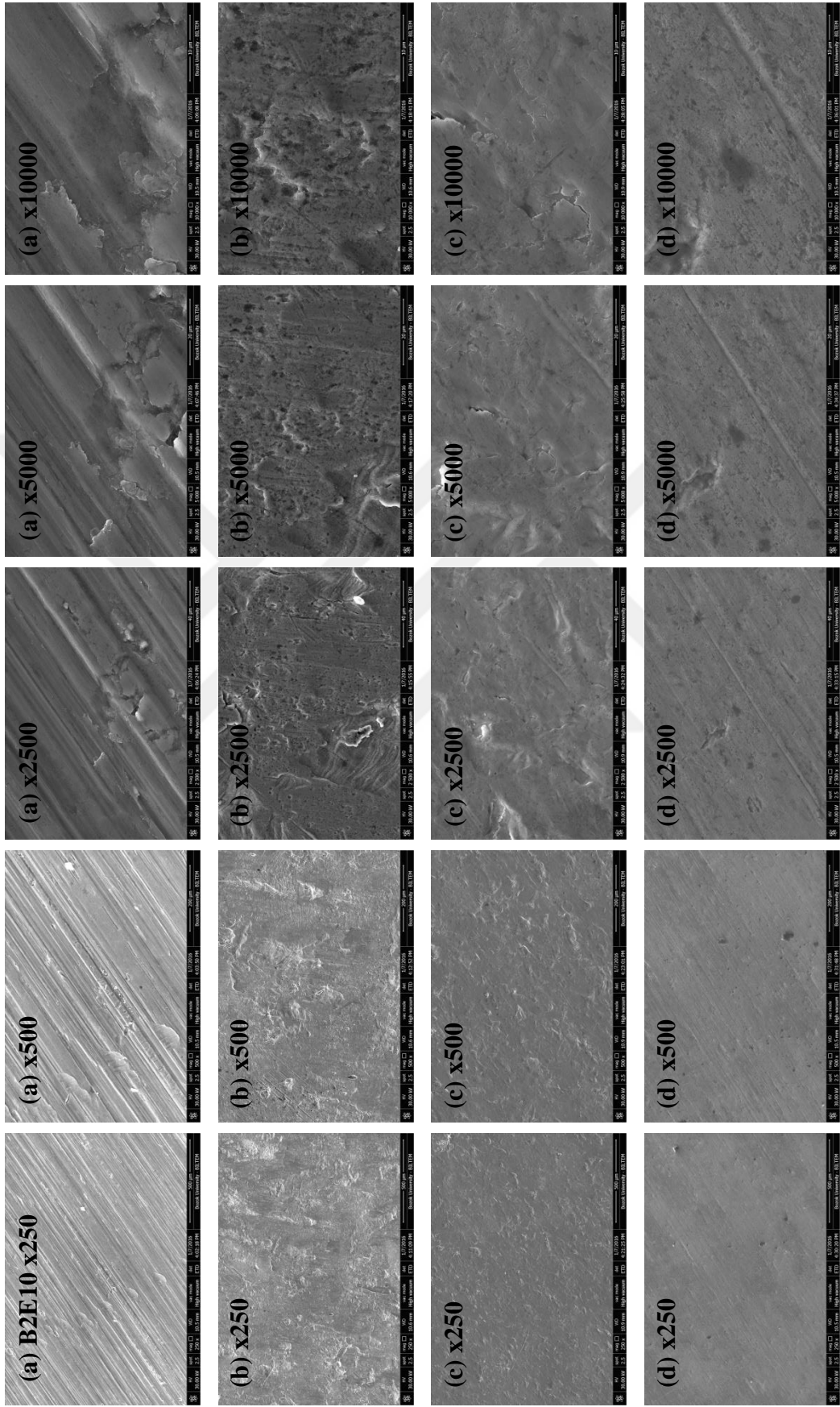
Şekil 4.21. Devam



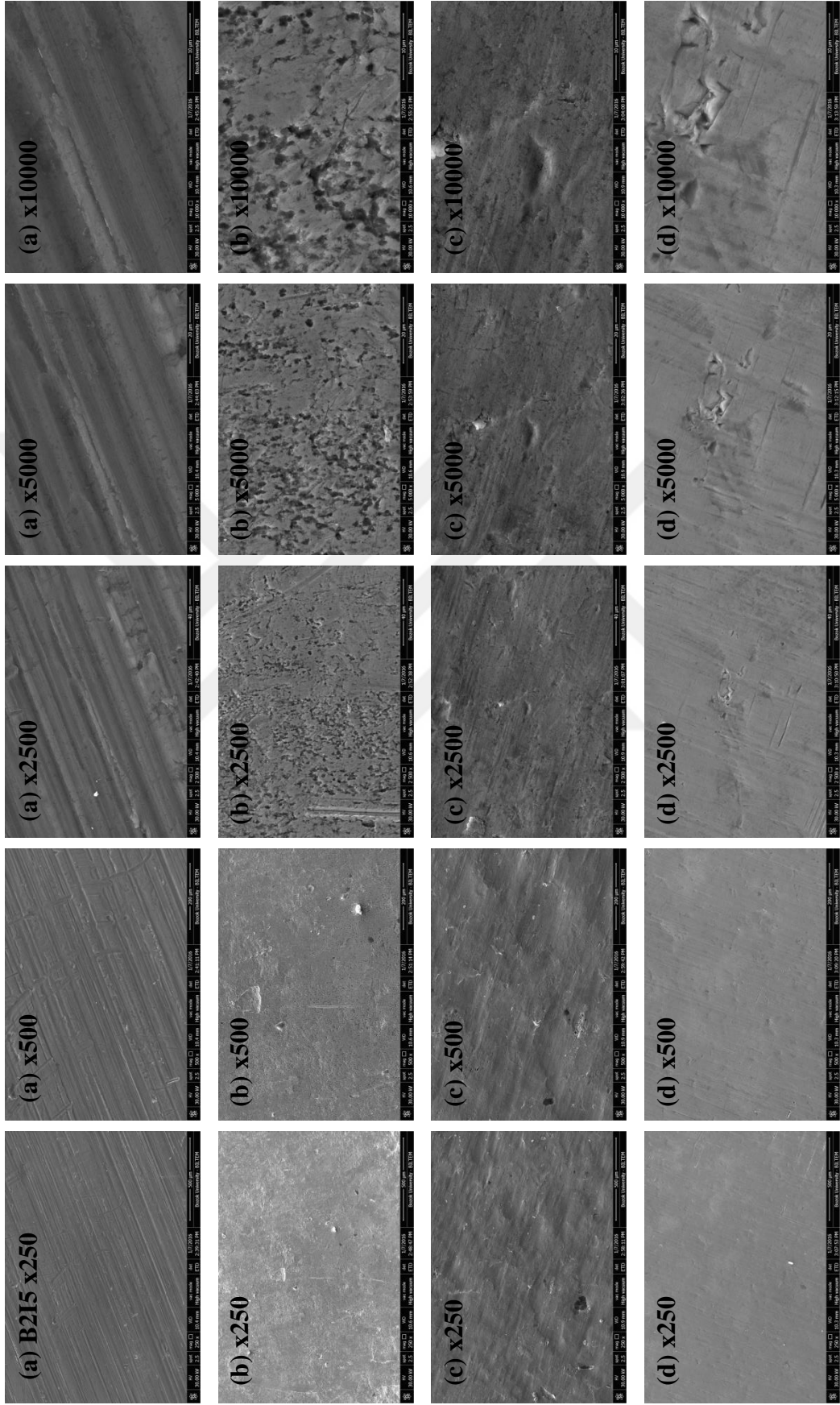
Şekil 4.21. Devam



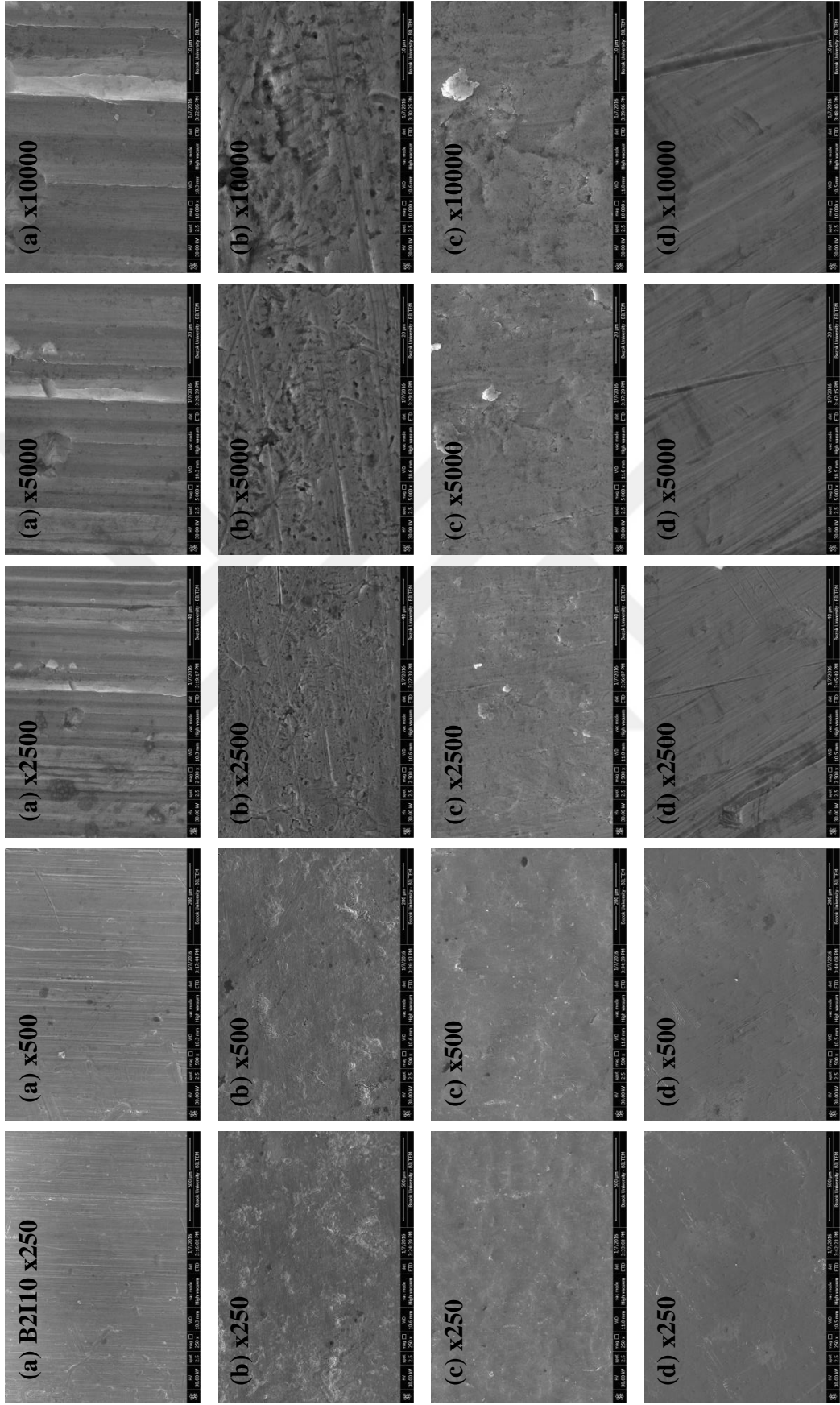
Şekil 4.21. Devam



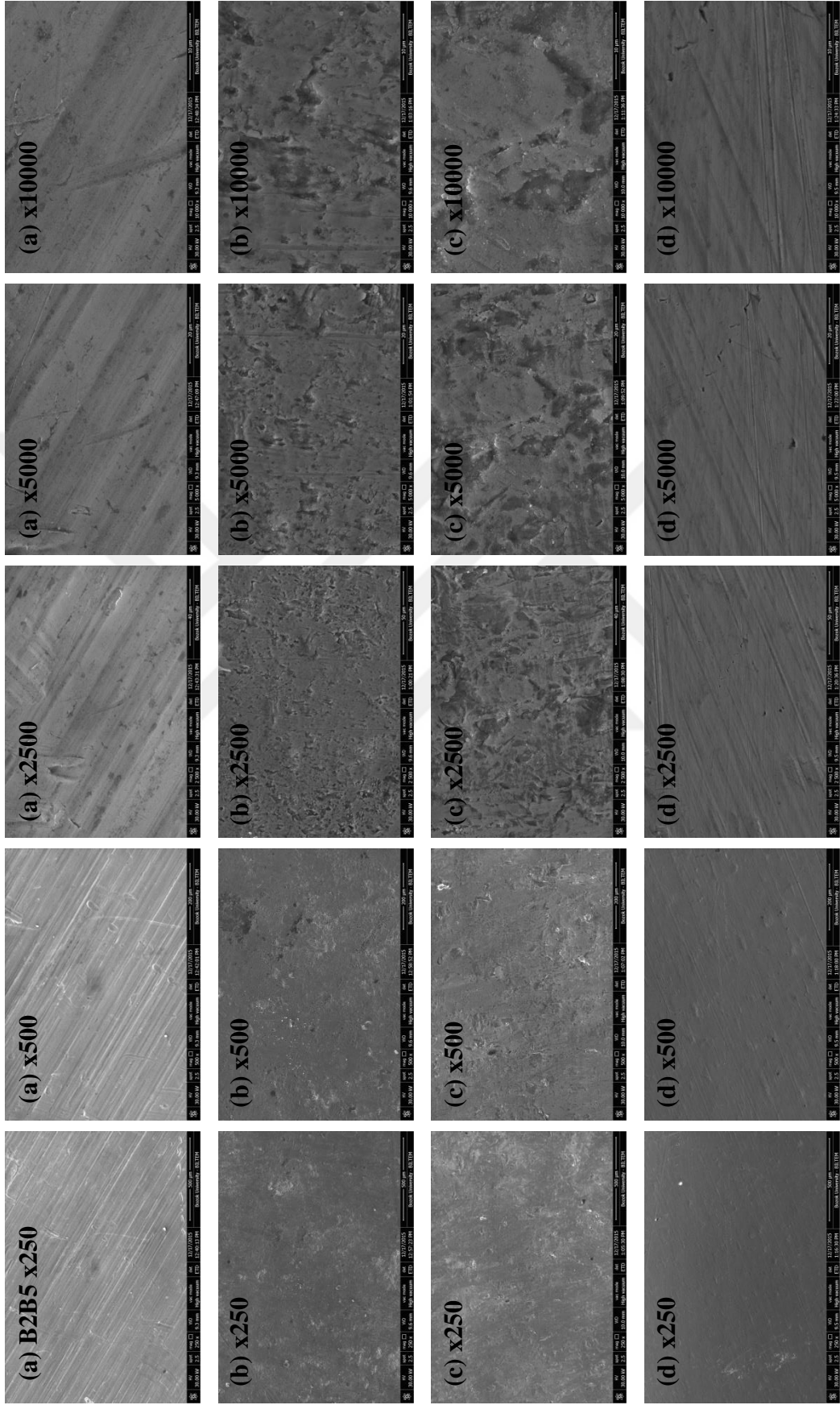
Şekil 4.21. Devam



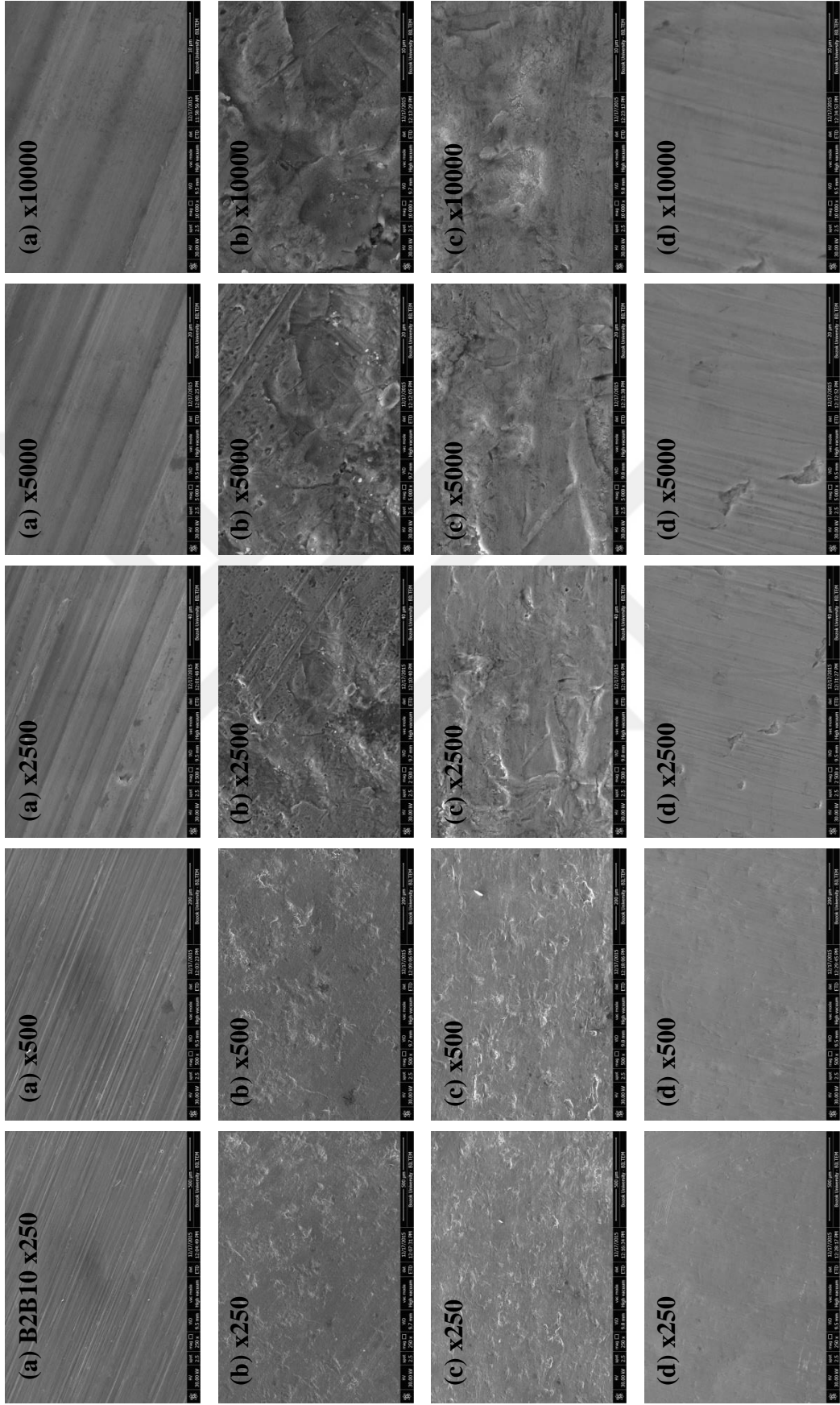
Şekil 4.21. Devam



Şekil 4.21. Devam

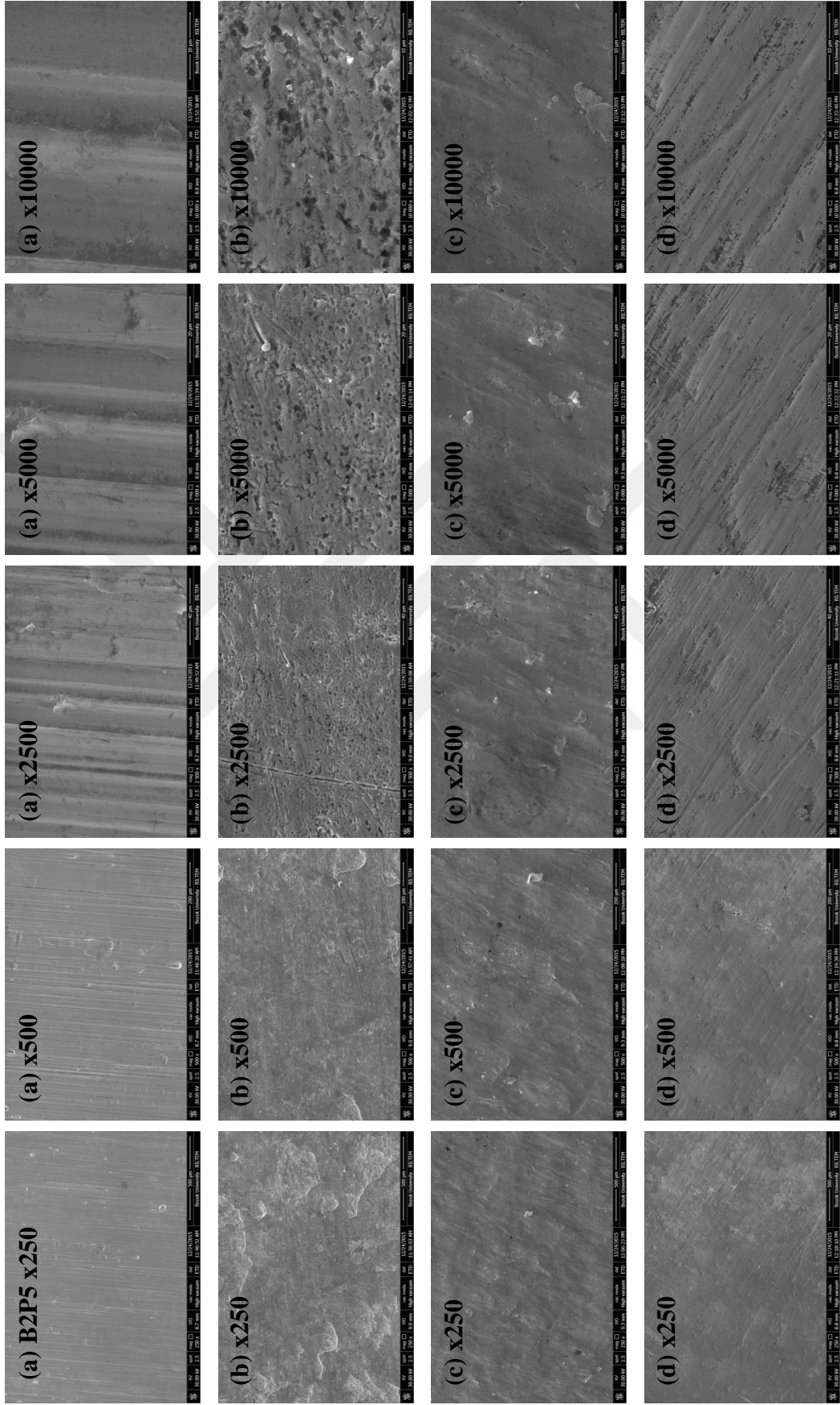


Şekil 4.21. Devam

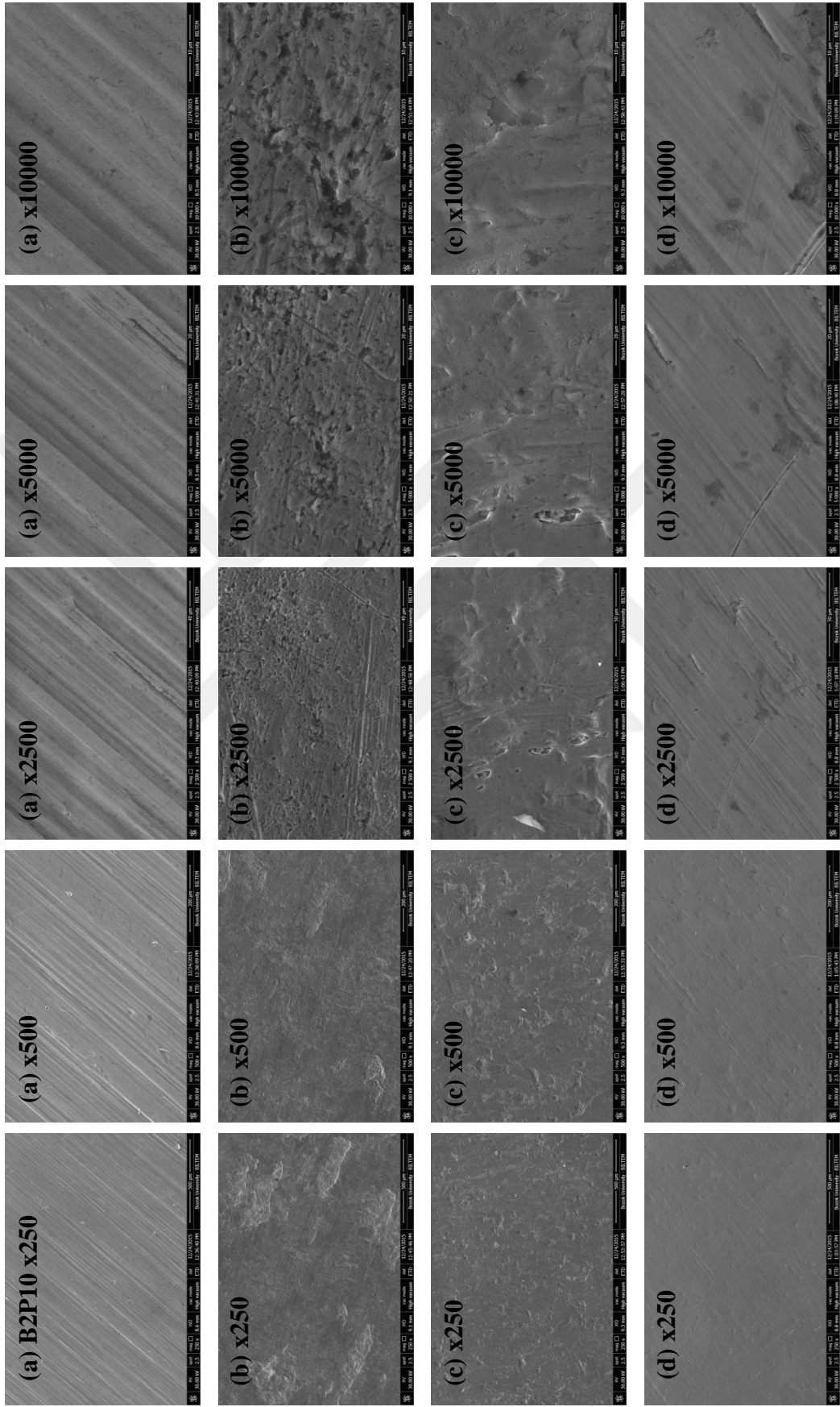


Şekil 4.21. Devam





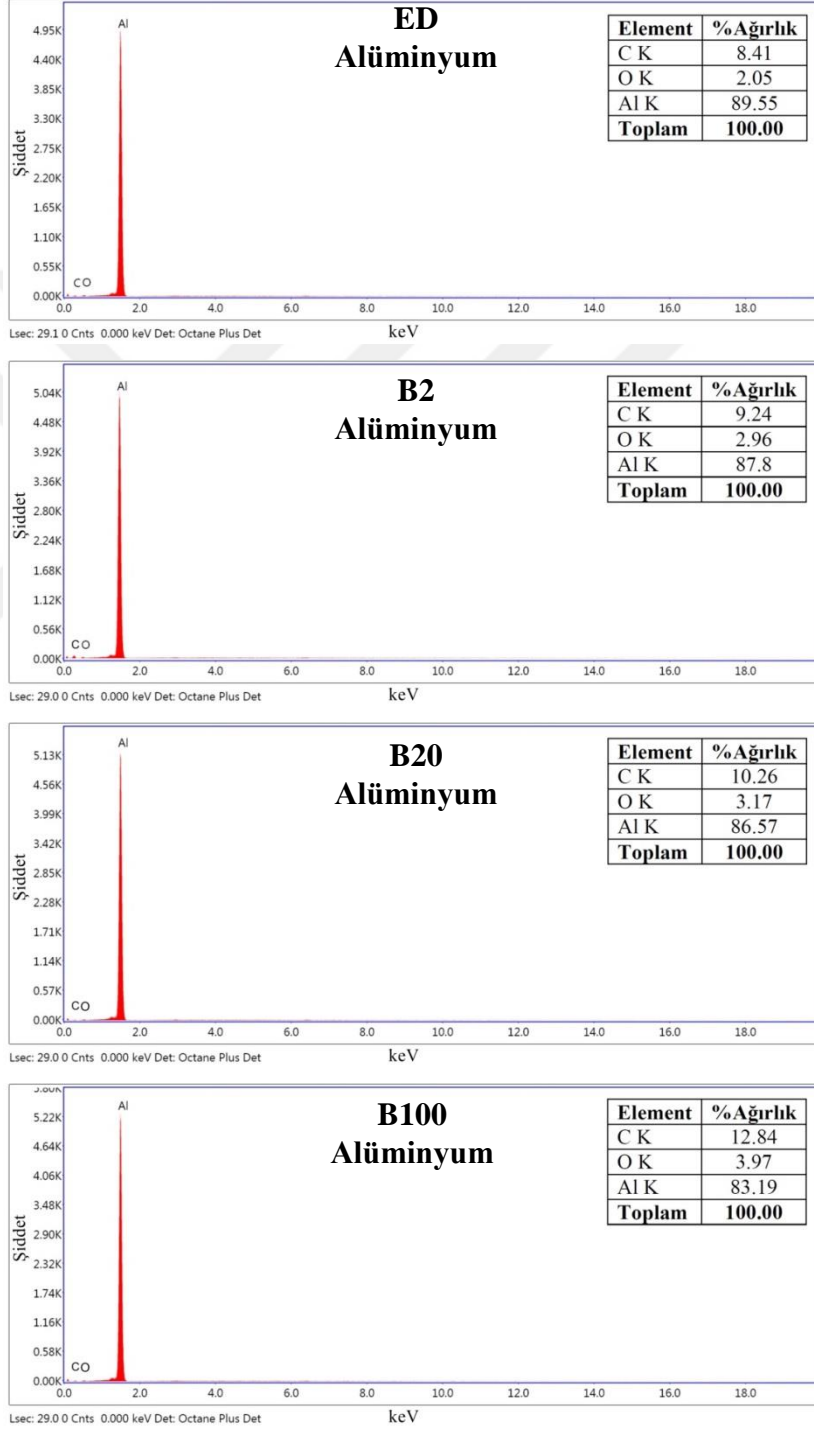
Şekil 4.21. Devam



Şekil 4.21. Devam

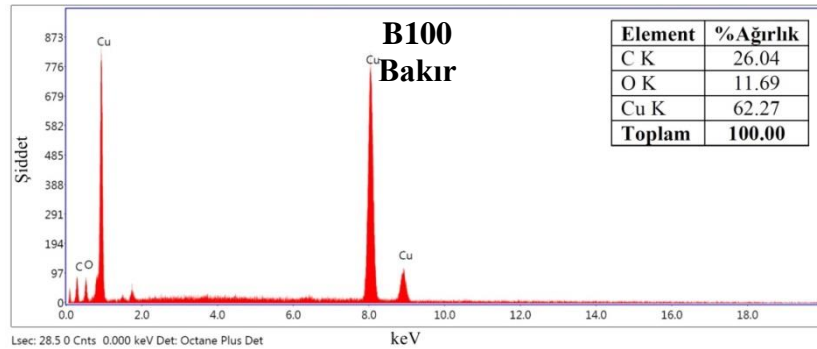
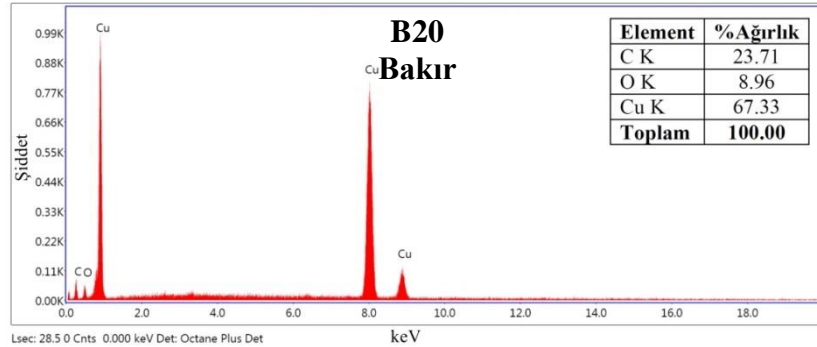
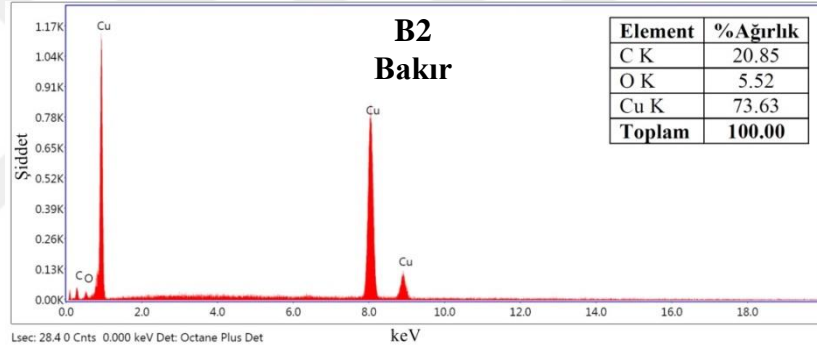
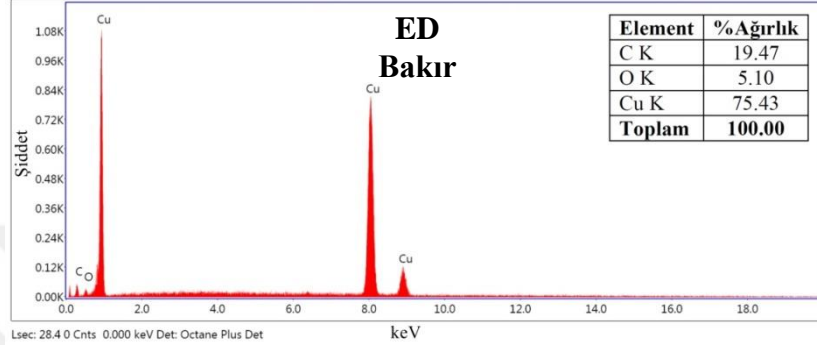
#### 4.4.3. EDS analizi sonuçları

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarına daldırılan alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemelerinin 4320 saat sonundaki EDS analizi sonuçları Şekil 4.22.'de verilmiştir.

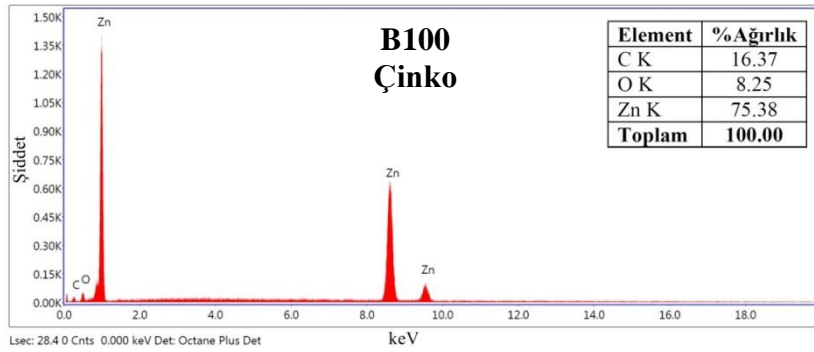
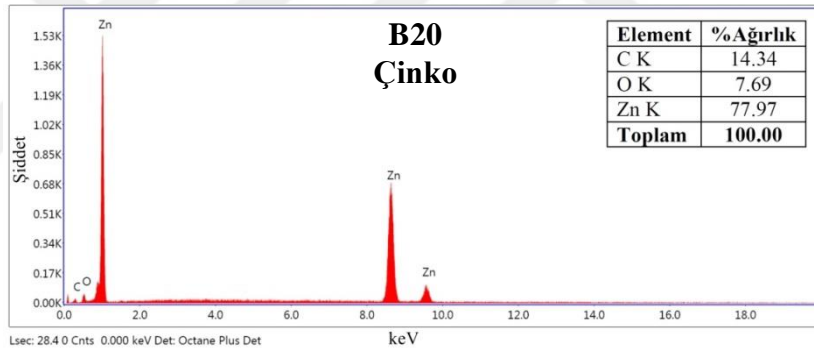
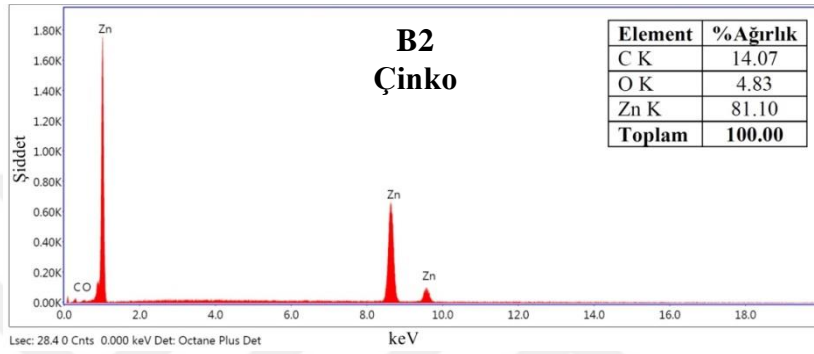
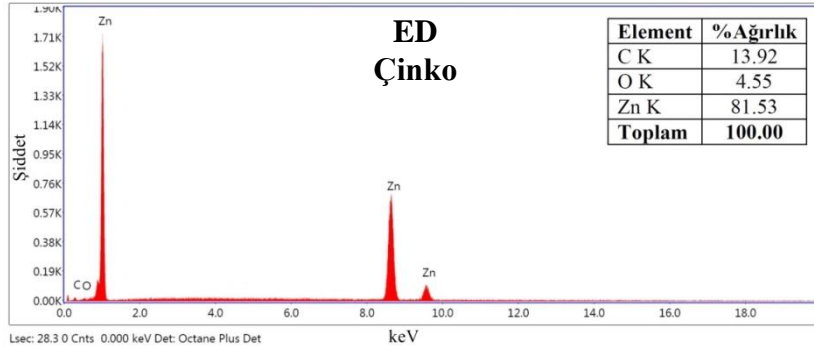


Şekil 4.22. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarına daldırılan alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemelerinin 4320 saat sonundaki EDS analizi sonuçları

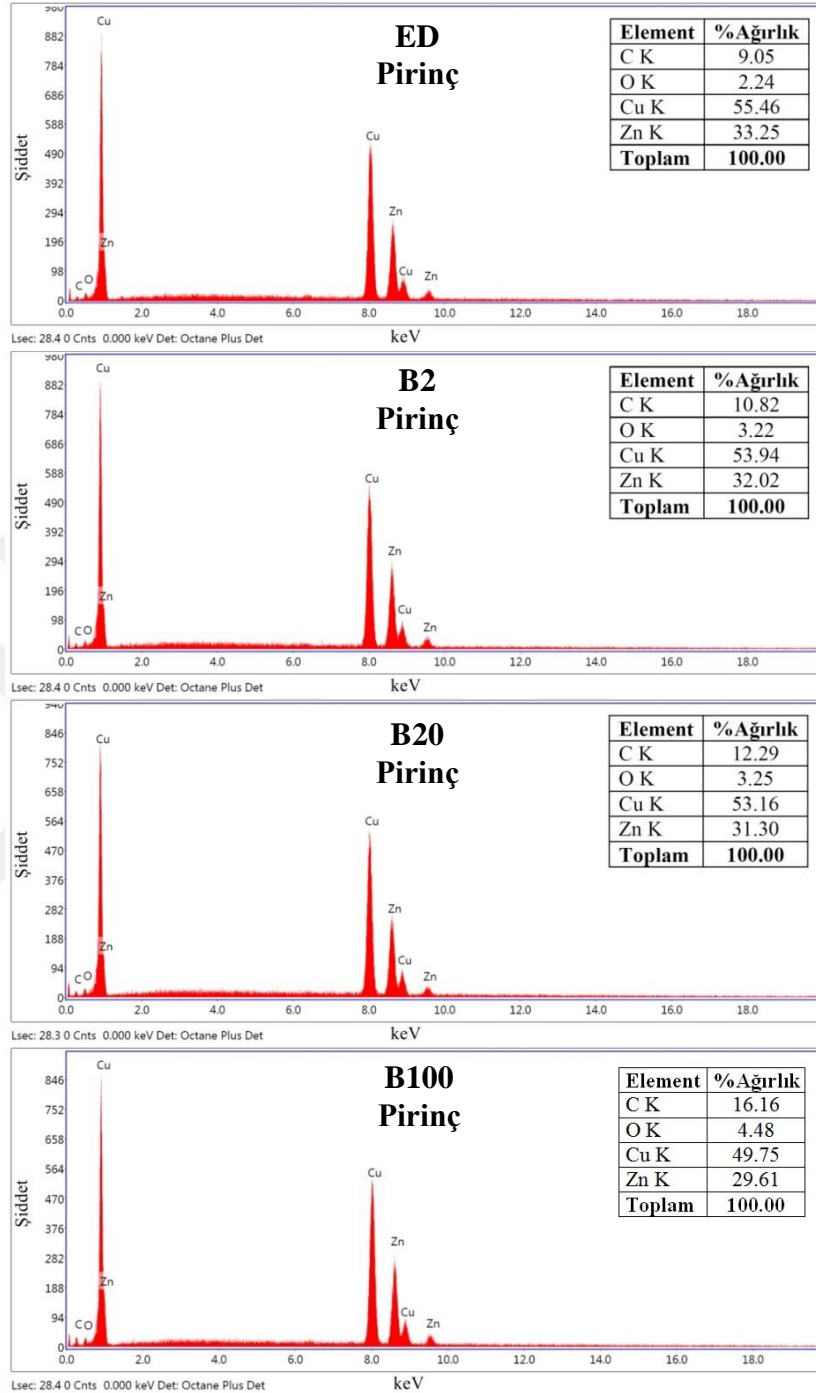
Dizel yakıtına göre biyodizel ve karışımlarına daldırılan malzemelerin yüzeylerindeki oksijen konsantrasyonunun yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum biyodizelin içeriğindeki yüksek oksijen konsantrasyonundan kaynaklandığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [237, 409, 412, 414].



Şekil 4.22. Devam



Şekil 4.22. Devam

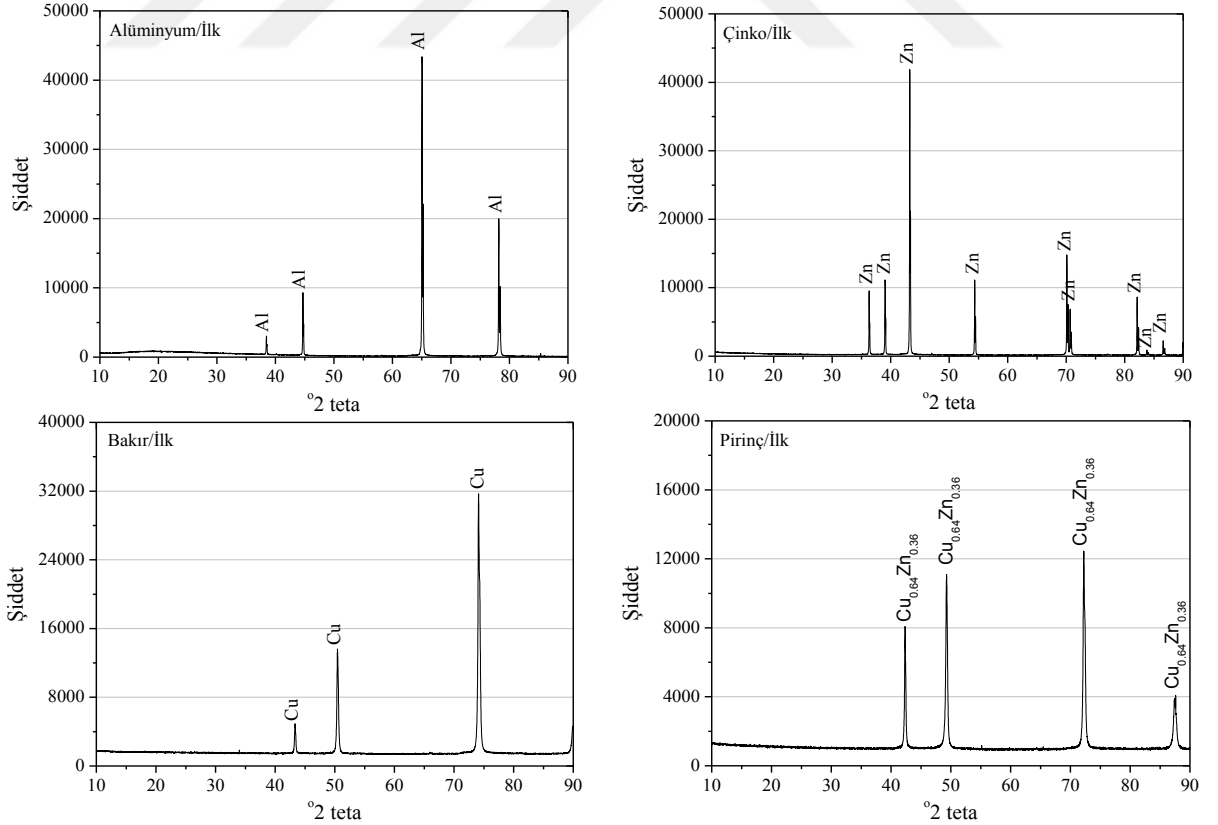


Şekil 4.22. Devam

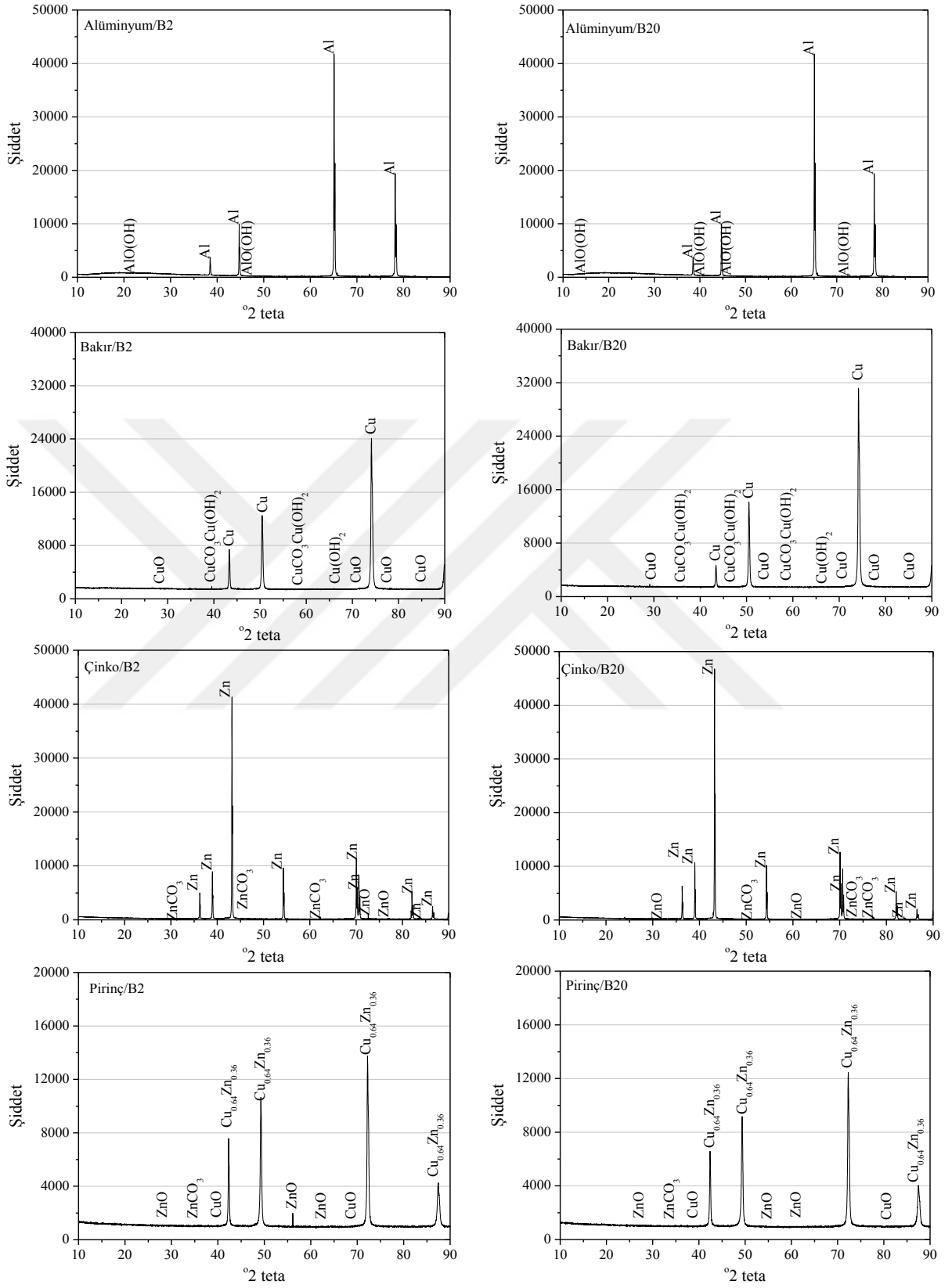
#### 4.4.4. XRD analizi sonuçları

Alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemelerinin yüzeylerinin ilk ve test yakıtlarına daldırıldıktan 4320 saat sonraki XRD analizi sonuçları Şekil 4.23.'te verilmiştir. Biyodizelin %10-12 oranında, alkollerin ise değişik oranlarda oksijen içermelerinden dolayı metaller farklı oksitler ile oksitlenirler. Biyodizelin bazı

özellikleri metallere karşı kimyasal eğilimi artırır ve bunun sonucunda da korozyon olayı gerçekleşir [414]. XRD sonuçları incelendiğinde alüminyum, bakır, çinko ve pirinç içerisinde en az etkilenen metalin alüminyum olduğu görülmektedir. Alüminyumun yüzeyinde genel olarak  $AlO(OH)$  oluşumunun olduğu, ED yakıtında ise bu oluşumun çok düşük oranda gerçekleştiği, yakıttaki biyodizel ve alkol oranının artmasına bağlı olarak bu oluşumun bir miktar arttığı görülmektedir. ED yakıtına daldırılan bakırın yüzeyinde düşük konsantrasyonlarda  $CuO$  ve  $CuCO_3Cu(OH)_2$  oluşumlarının meydana geldiği buna karşın yakıt içerisindeki biyodizel ve alkol oranına bağlı olarak  $CuO$ ,  $Cu(OH)_2$  ve  $CuCO_3Cu(OH)_2$  oluşumlarının konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. ED yakıtına daldırılan pirincin yüzeyinde  $CuO$ ,  $ZnO$  ve  $CuCO_3$  oluşumları meydana gelirken biyodizel ve alkol oranına bağlı olarak  $CuO$ ,  $CuCO_3Cu(OH)_2$ ,  $CuCO_3$  ve  $ZnCO_3$  oluşumları görülmektedir. Pirincin temel bileşeni bakır olduğundan dolayı korozyon büyük oranda bakırdan etkilenmektedir. Çinkoda ise genel olarak  $ZnO$ ,  $ZnCO_3$  ve  $Zn(OH)_2$  oluşumları meydana gelmiştir.

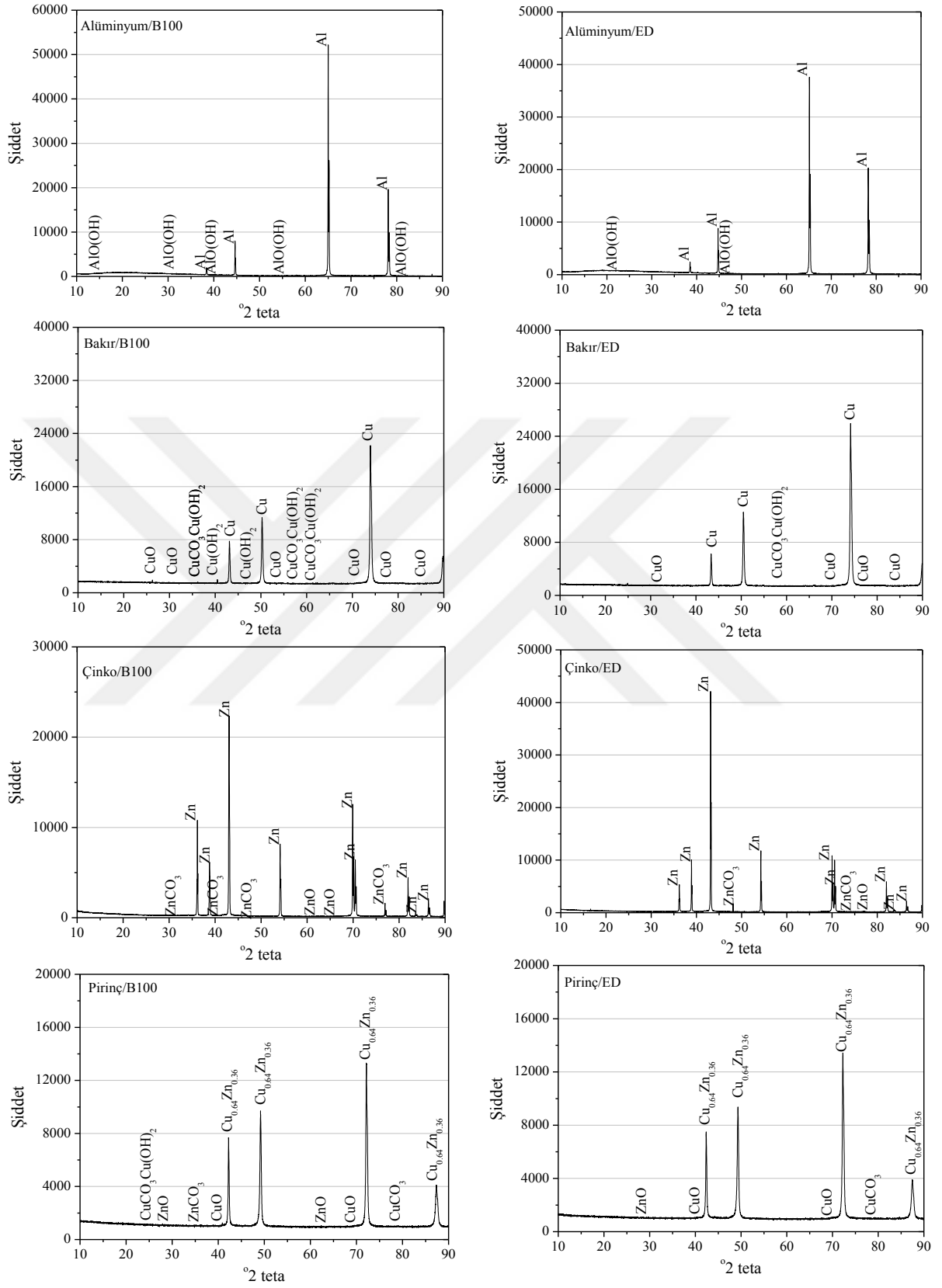


**Şekil 4.23.** Alüminyum, bakır, çinko ve pirinç malzemelerinin daldırma öncesi ve test yakıtlarına daldırıldıktan 4320 saat sonraki XRD analizi sonuçları

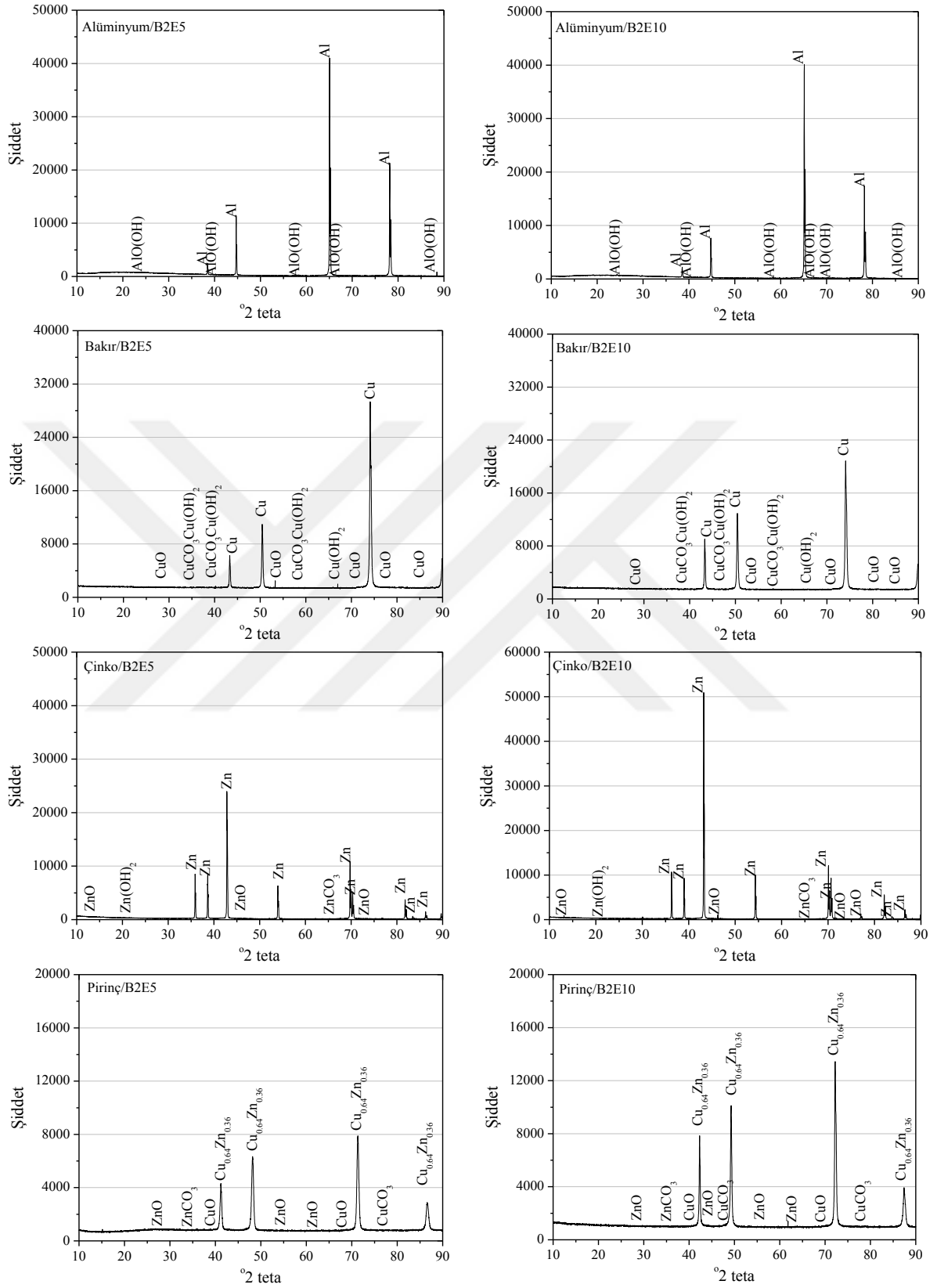


Şekil 4.23. Devam

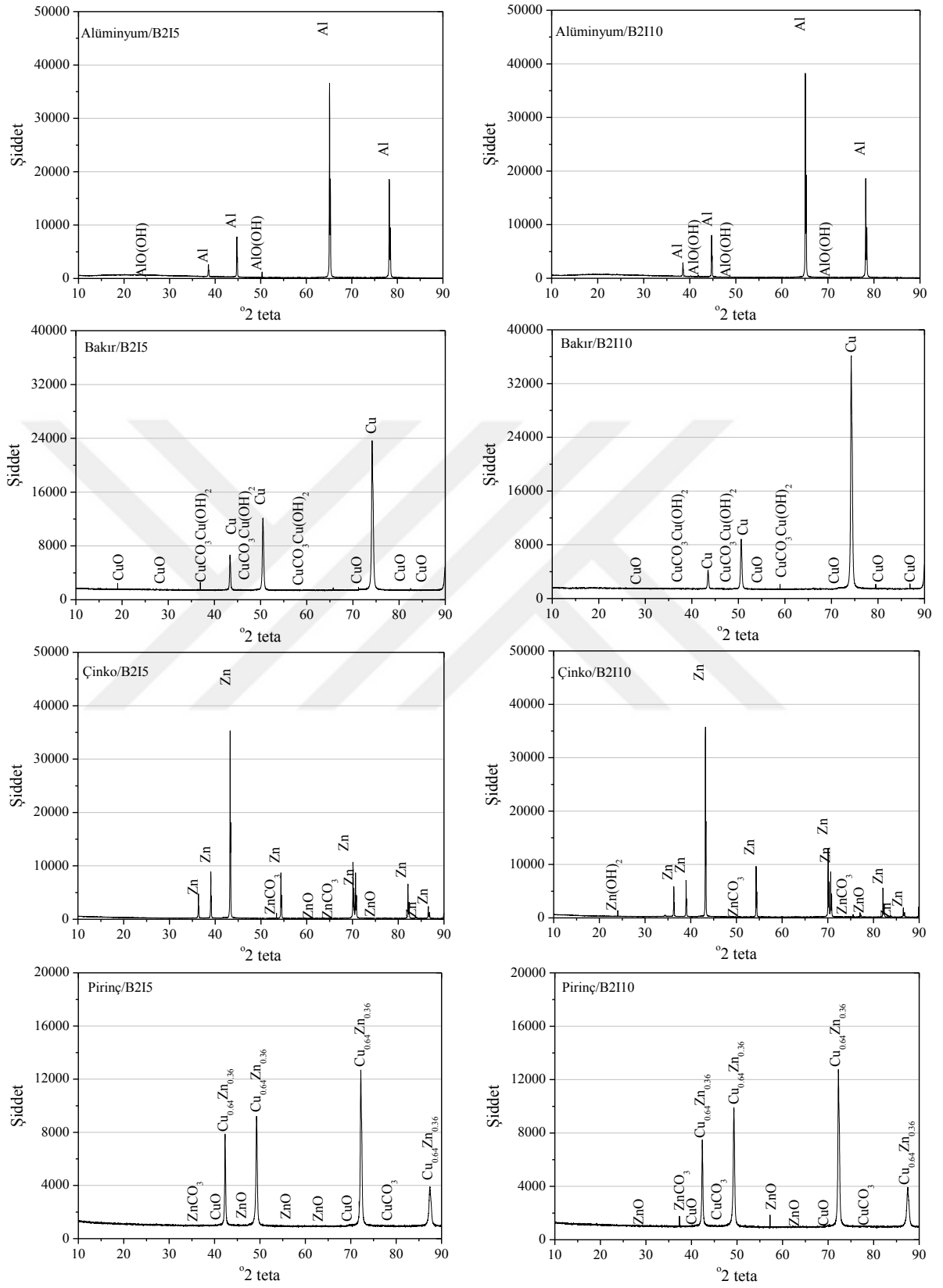




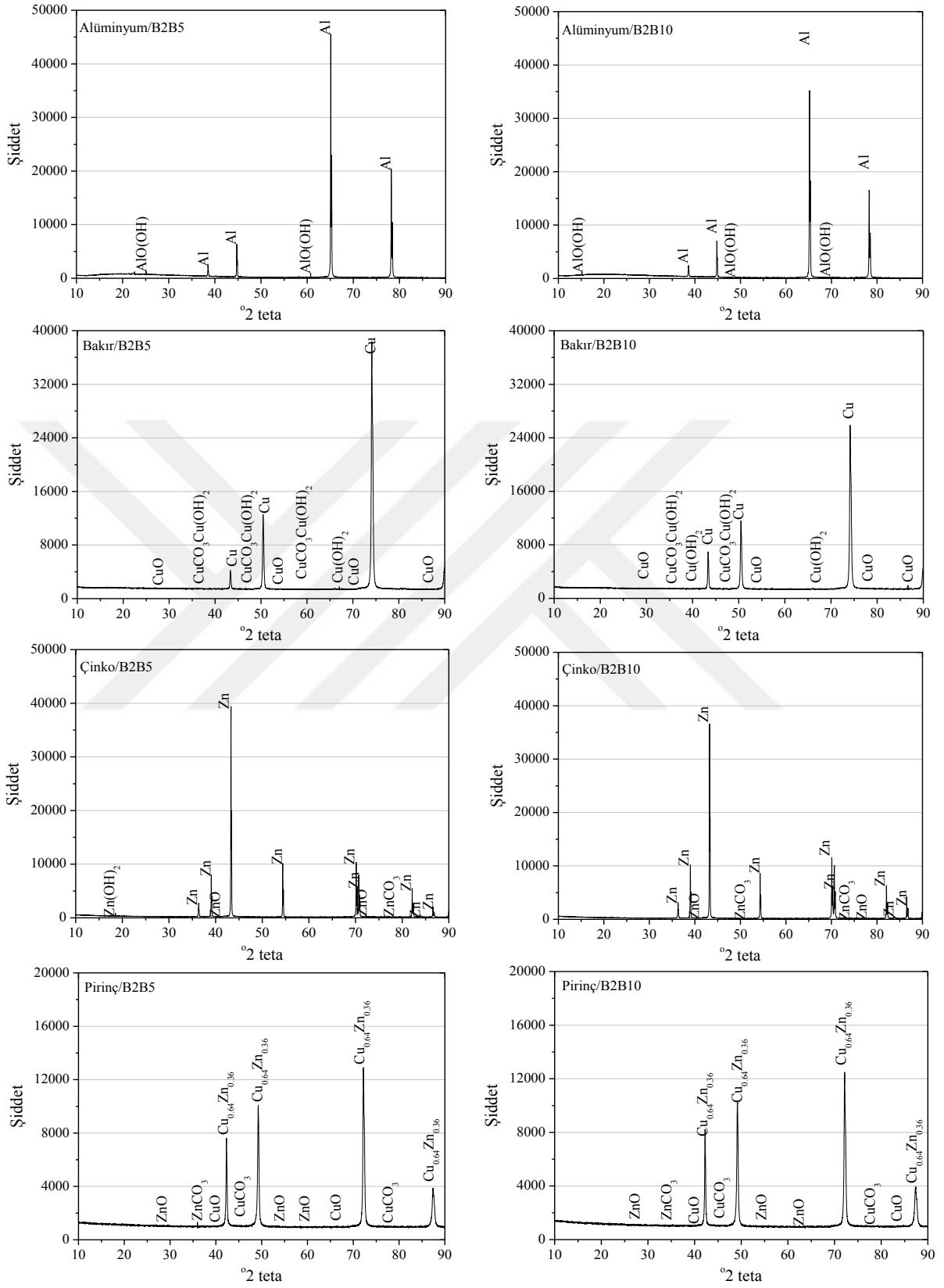
Şekil 4.23. Devam



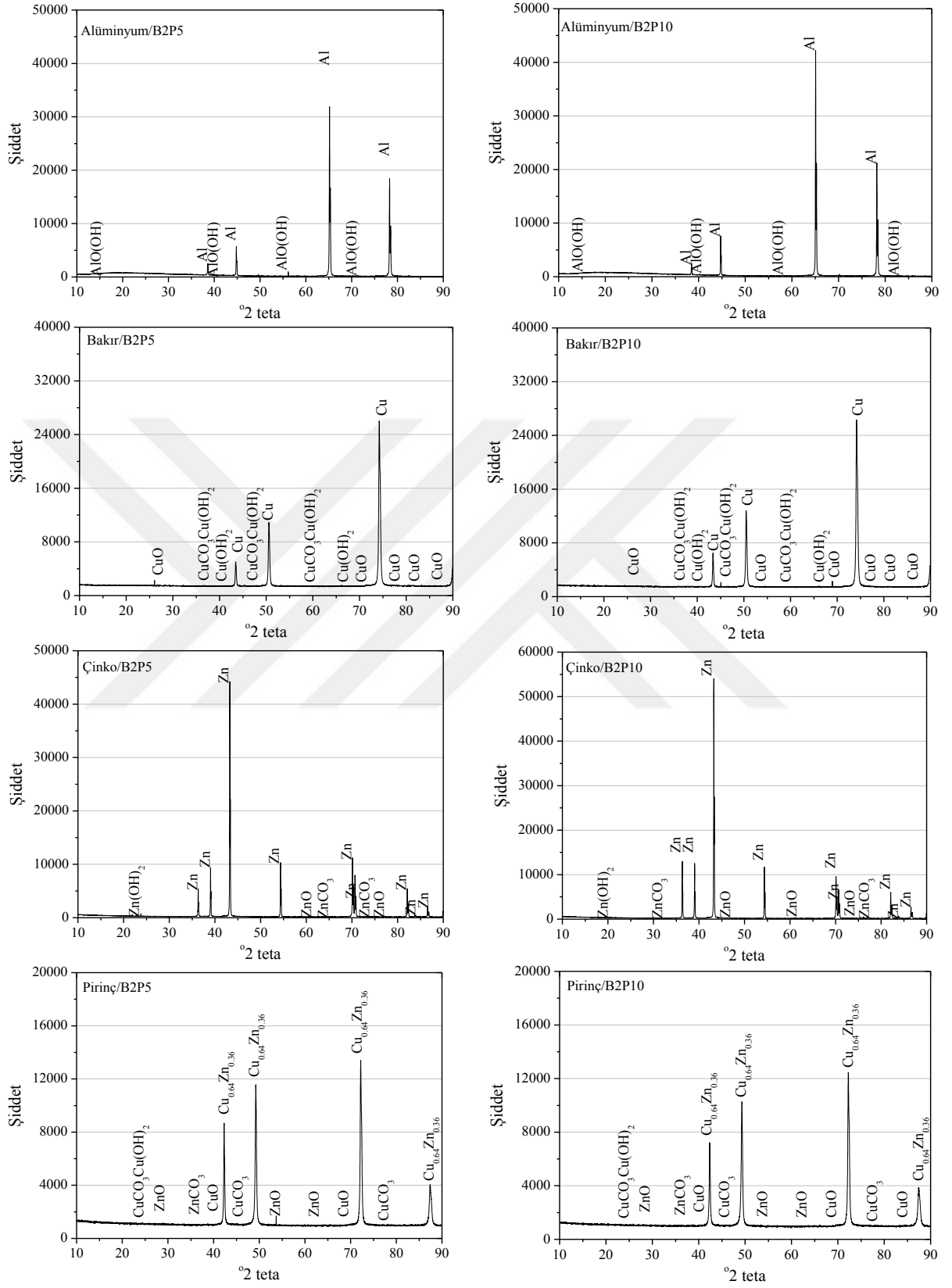
Şekil 4.23. Devam



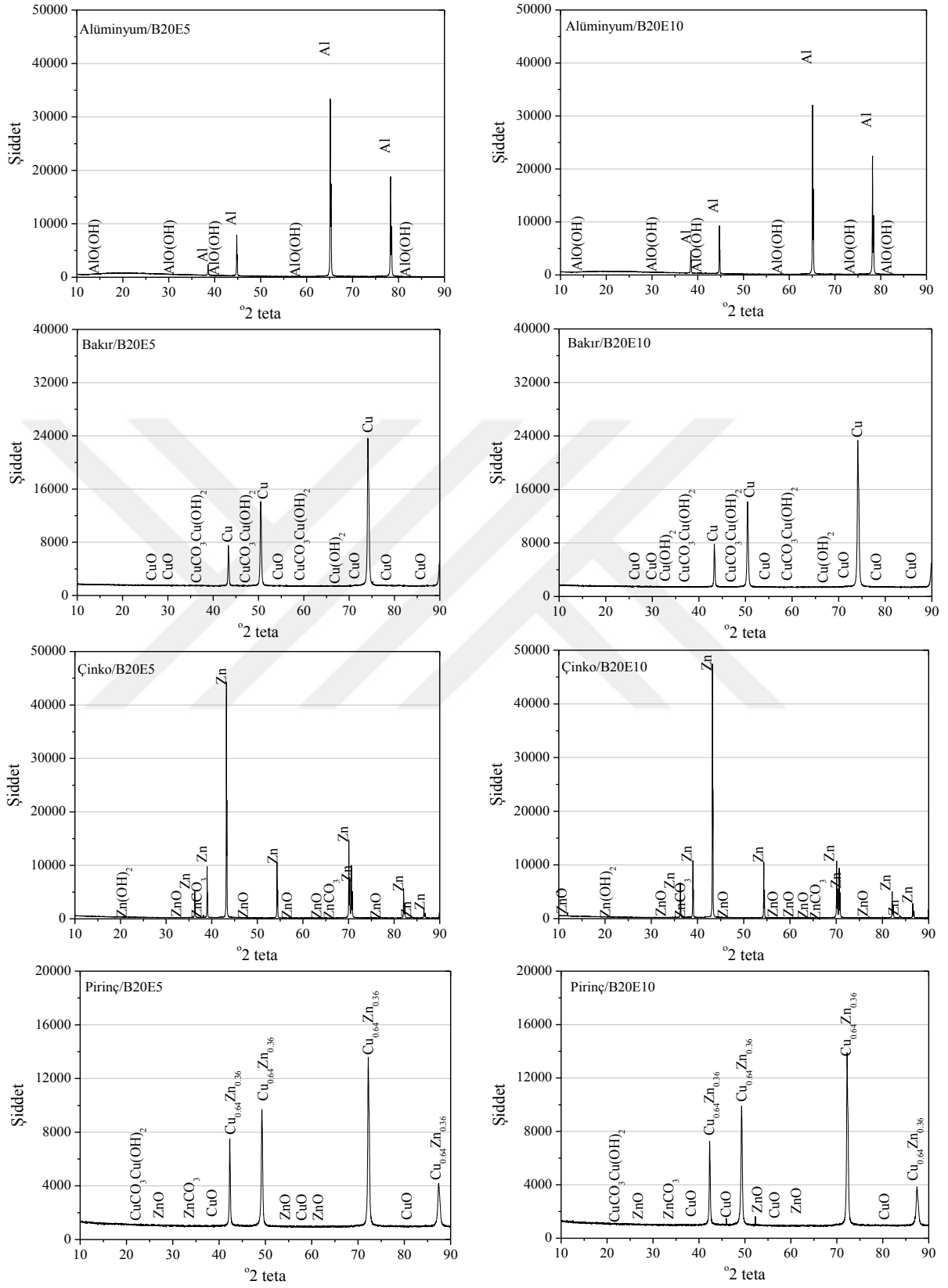
Şekil 4.23. Devam



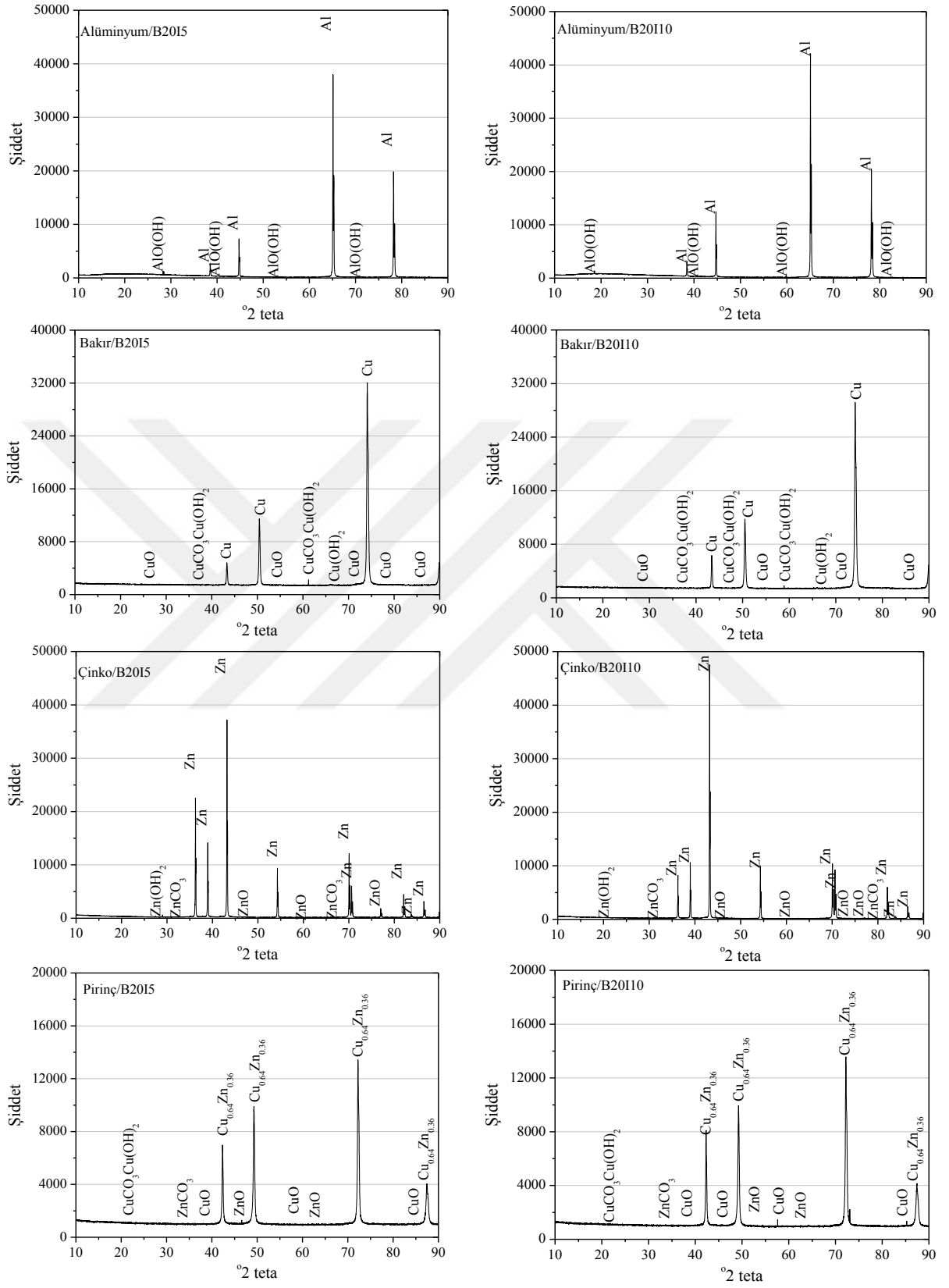
Şekil 4.23. Devam



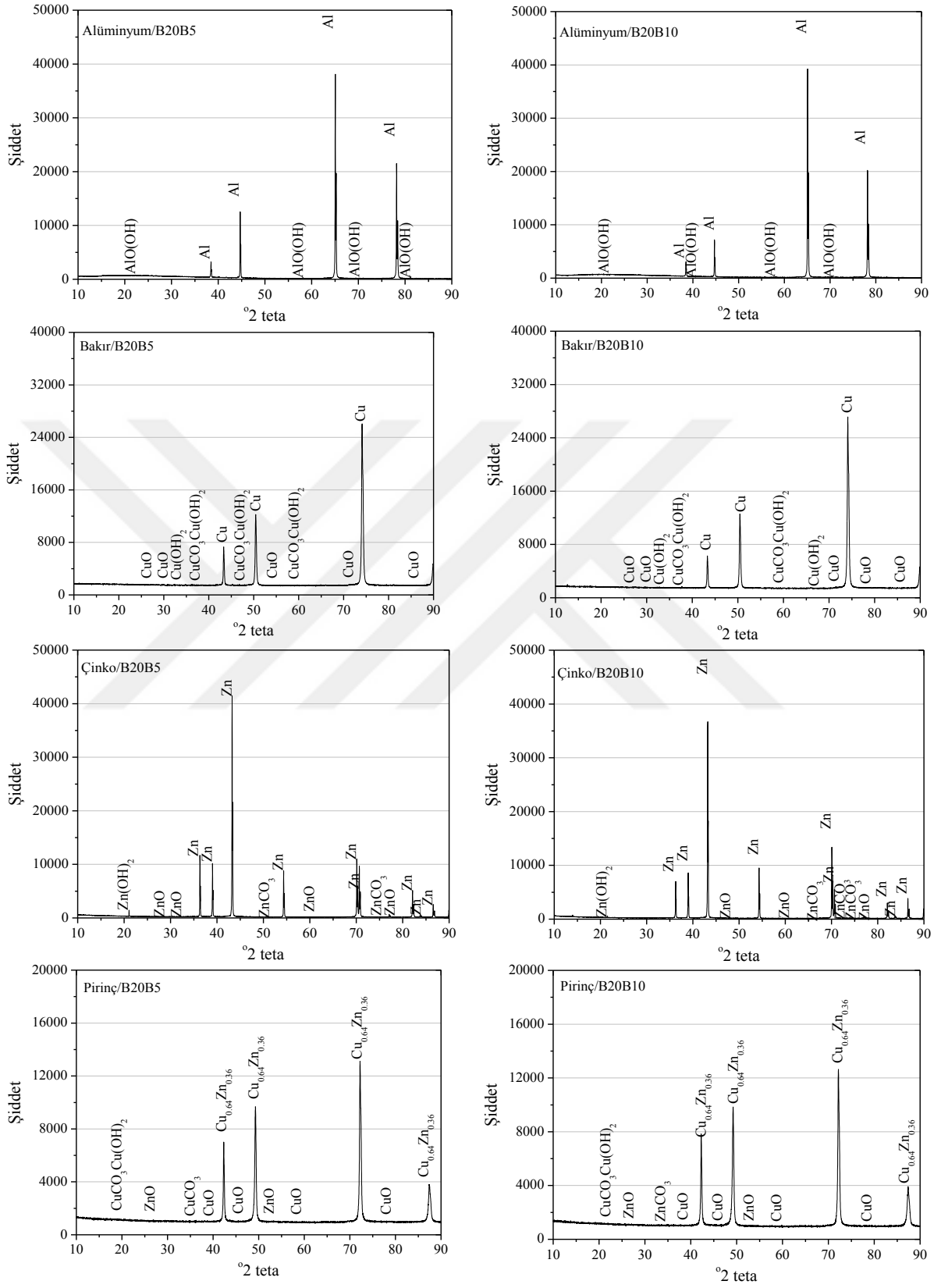
Şekil 4.23. Devam



Şekil 4.23. Devam

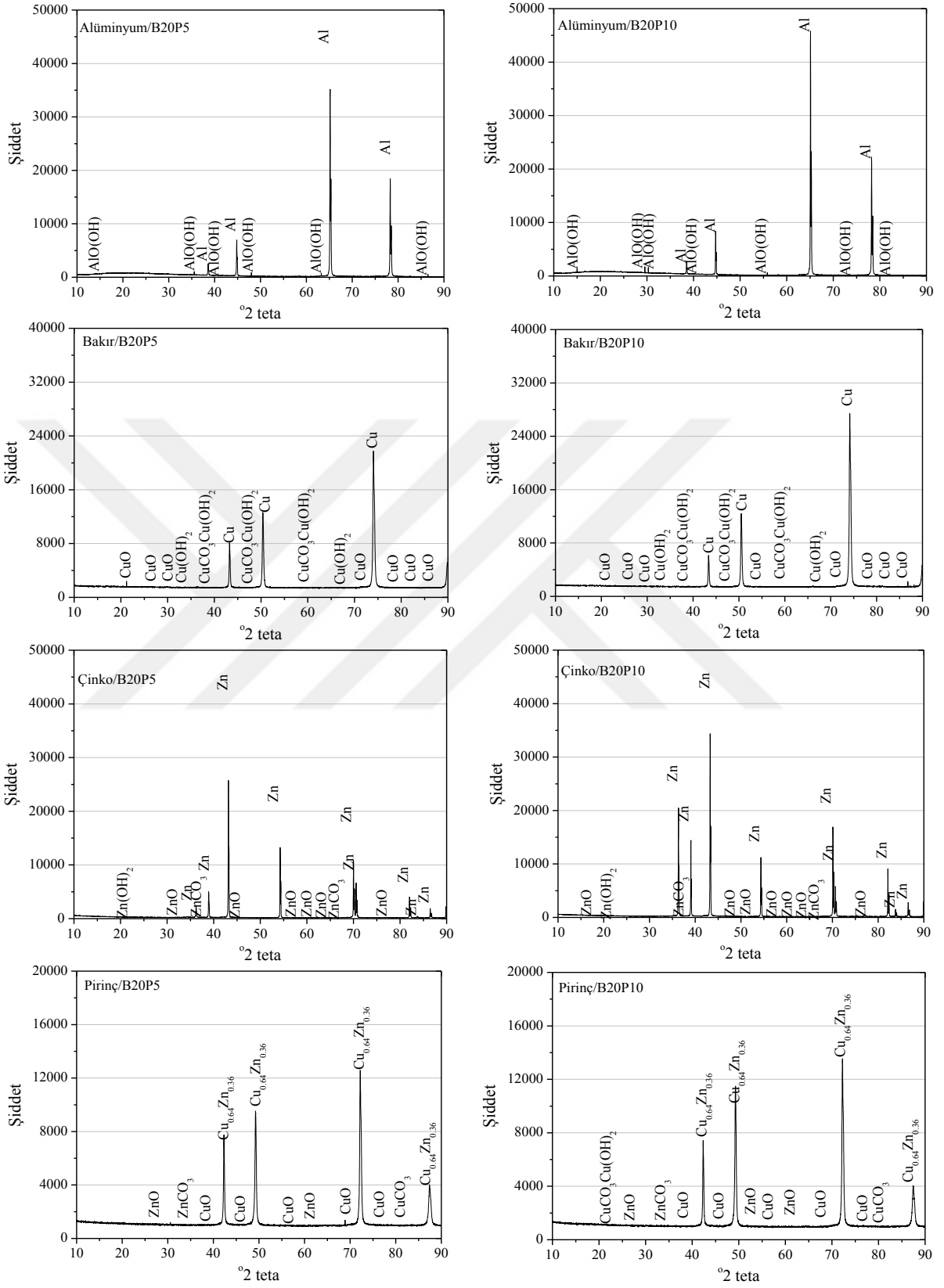


Şekil 4.23. Devam



Şekil 4.23. Devam





Şekil 4.23. Devam

#### **4.5. Motor karakteristik sonuçları**

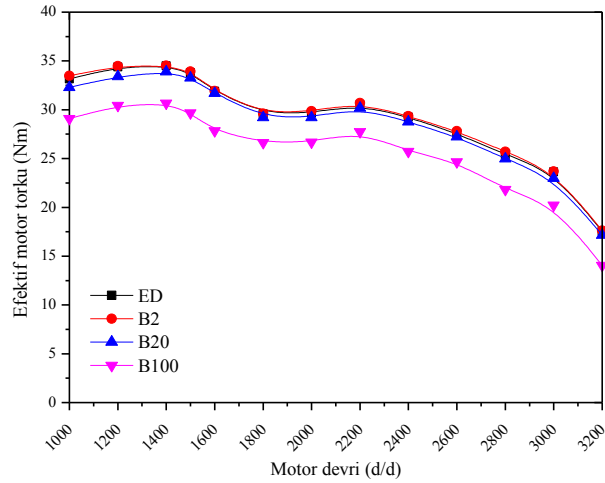
Bu bölümde; ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5, B20P10 yakıtlarının bir dizel motorda tam gaz durumunda denenmesiyle elde edilen motor karakteristik sonuçları (efektif motor torku, efektif motor gücü, efektif özgül yakıt tüketimi) motor devir sayısına bağlı olarak grafikler halinde verilmiştir.

##### **4.5.1. Efektif motor torku**

ED, B2, B20 ve B100 yakıtları ile yapılan testler sonucunda efektif motor torkunun motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.24.'te verilmiştir. Yakıtların maksimum efektif motor torkları incelendiğinde en yüksek değer 1400 d/d'de gerçekleştiği görülmektedir. 1400 d/d'ye kadar efektif motor torku artmış ve daha sonra azalmaya başlamıştır.

Bir motorun torku, o motorun birim çevrimde silindire alınan hava/yakıt oranı ile yakıtın kimyasal enerjisini işe dönüştürme oranına bağlıdır. Motor devrindeki artış ile birim çevrimde silindire giren hava miktarı ve hızı artmıştır. Aynı zamanda motor devrindeki artış ile kurs başına gaz kaçakları ve ısı kayıpları azalmıştır. Silindir içinde oluşan türbülansın iyileşmesi ile yanma verimi artış gösterirken, maksimum efektif motor torkunun elde edildiği motor devrinden sonra ise motor devrindeki artış ile yanma için gereken süre kısalmış ve yakıtın yanma verimi düşmüştür. Ayrıca sürtünme kayıplarının da artması efektif motor torkunu düşürmüştür [10, 204].

1400 d/d motor devrinde ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif motor torkları sırasıyla 34.49, 34.51, 33.89 ve 30.67 Nm olarak tespit edilmiştir. B2 yakıtı ile elde edilen efektif motor torku ED yakıtına göre ortalama olarak %0.46 artmış, B20 yakıtı ile elde edilen efektif motor torku ED yakıtına göre ortalama olarak %1.77 ve B100 yakıtı ile elde edilen efektif motor torku ED yakıtına göre ortalama olarak %12.31 azalmıştır.



**Şekil 4.24.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif motor torku değerleri

B2 karışım yakıtı kullanıldığında efektif motor torkunun artması, biyodizelin %10-12 oranında oksijen içermesi, yağlayıcılık özelliğinin iyi olması, viskozite ve yoğunluğunun ED yakıtına göre bir miktar yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Biyodizel oksijen içerdiği için silindir içerisinde tam yanmanın oluşmasına, viskozitesinin ED yakıtına göre yüksek olması pompa kaçaklarının azalmasına ve silindire hacimsel olarak bir miktar fazla yakıtın püskürtülmesine, yoğunluğun yüksek olması ise pompadan bir çevrimde kütleli olarak biraz daha fazla yakıtın silindirlere püskürtülmesini sağlayarak zengin karışım oluşumuna neden olmaktadır. Zengin karışım ise yanma odası cidar sıcaklığının artmasını ve tutuşma gecikmesi süresinin azalmasını sağlar. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 6, 10, 19, 57, 80, 196, 220-223, 333, 344, 346, 383, 386].

Efektif motor torkunu etkileyen en önemli parametrelerden birisi de yakıtın sahip olduğu enerji miktarıdır. B100 yakıtının ED yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olmasından dolayı karışım yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça efektif motor torku düşmektedir. Ayrıca, biyodizel oranının artması yakıtın viskozitesini ve yoğunluğunu artırmakta böylece püskürtme karakteristiklerinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Püskürtülen yakıtın viskoziteleri yüksek olduğu için yakıt damlacıklarının çapı ED yakıtına göre daha büyük olduğundan iyi atomizasyon olamamakta ve silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya iyi nüfuz edememektedir. Bu durumun yakıtın buharlaşma süresini uzattığı ve yakıtın daha uzun bir genişleme

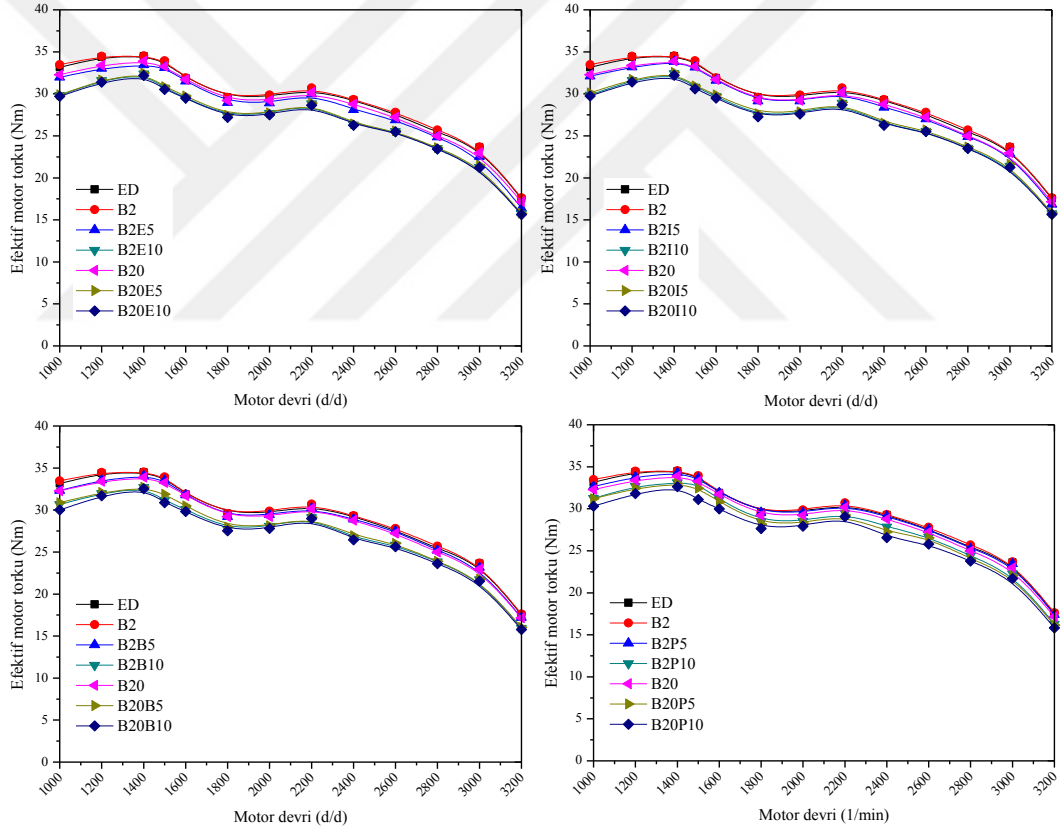
süresince yanmasına neden olduğu için karışımdaki biyodizel oranının artması efektif motor torkunu düşürmüştür. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 6, 10, 19, 20, 46, 80, 81, 156, 204, 223, 224, 278, 319, 325, 329, 333, 340, 344-346, 350, 383, 386].

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak efektif motor torklarının değişimi Şekil 4.25.'te gösterilmiştir. Alkol ilaveli yakıtların en yüksek efektif motor torkları da 1400 d/d motor devrinde gerçekleşmiştir. Maksimum efektif motor torkları B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 33.44, 32.40, 32.49 ve 32.18 Nm; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 33.85, 32.42, 32.57 ve 32.20 Nm; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 34.08, 32.69, 32.73 ve 32.53 Nm; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 34.29, 33.13, 32.99 ve 32.63 Nm olarak elde edilmiştir.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.07 ve 8.14, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.51 ve 8.56; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.30 ve 7.94, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.74 ve 8.35; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.26 ve 6.78, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.71 ve 7.21; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %0.59 ve 4.27, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.05 ve 4.71 oranlarında azalmıştır. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.79 ve 8.54, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.14 ve 6.89; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.37 ve 8.41, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %5.71 ve 6.76; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.13 ve 7.62, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.44 ve 5.96; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının efektif motor torkları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %5.19 ve 7.13, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.49 ve 5.46 oranlarında azalmıştır.

Karıışımdaki alkol oranının artışı ile efektif motor torku değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun en büyük nedeni alkollerin ED ve B100 yakıtlarına göre daha

az ısıl değere sahip olmasıdır. Isıl değerin azalması ile yanma sonucu oluşan ısı enerjisi düşmekte ve karışımdaki alkol oranının artması da efektif motor torkunu düşürmektedir. Alkollerin ısıl değerleri incelendiğinde en düşük ısıl değere E sahipken E'yi sırasıyla I, B ve P izlemektedir. Alkol ilaveli yakıtların efektif motor torkları incelendiğinde de ED yakıtına göre en fazla azalma E ilavesiyle olurken, bunu sırasıyla I, B ve P ilaveli yakıtlar takip etmektedir. Aynı zamanda alkollerin sahip olduğu düşük setan sayısı tutuşma gecikmesini artırarak kontrollü yanma için gerekli olan zamanı azaltmakta ve yanmayı kötüleştirmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 19, 204, 278].



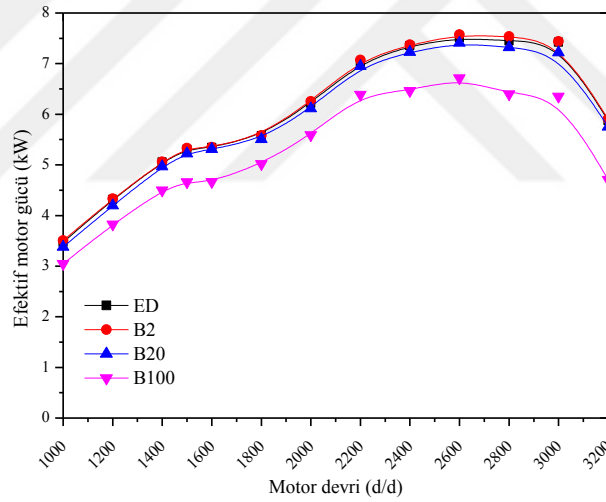
Şekil 4.25. Farklı alkol ilavesinin efektif motor torku üzerine etkisi

#### 4.5.2. Efektif motor gücü

ED, B2, B20 ve B100 yakıtları ile yapılan motor karakteristik değerlerinden elde edilen efektif motor gücünün motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4.26.'da verilmiştir. Elde edilen en düşük efektif motor gücü 3.05 kW ile 1000 d/d

motor devrinde B100 yakıtının olup aynı devirdeki en yüksek değere sahip olan ED yakıtının efektif motor gücünden %12.31 daha düşüktür. Test yakıtlarının efektif motor gücü değerleri 2600 d/d motor devrine kadar artış göstermiş ve bu devirden sonra azalmaya başlamıştır.

Motor devrindeki artışa bağlı olarak birim zamanda emilen hava miktarı ve hızı artmış, silindir içerisinde oluşan türbülansın da iyileşmesiyle yanma verimi yükselmiştir. En yüksek efektif motor gücünün elde edildiği motor devrinden sonra ise yanma için gereken süre azalmış, sübapların açık kalma süresi kısaldığı için yeterli miktarda hava silindir içerisine alınamamış ve yanma sonucu oluşan gazlar dış ortama atılmıştır. Bu nedenden dolayı yanma verimi düşerek efektif motor gücünü azaltmıştır. Ayrıca, sürtünme ve pompalama kayıplarının da artması efektif motor gücünü olumsuz yönde etkilemiştir [10, 20, 204].



**Şekil 4.26.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif güç değerleri

2600 d/d motor devrinde ED, B2, B20 ve B100 kullanılması ile elde edilen efektif motor gücü değerleri sırasıyla 7.51, 7.57, 7.41 ve 6.71 kW olarak belirlenmiştir.

B2 yakıtı ile yapılan denemelerde ED yakıtına göre bir miktar artışın meydana geldiği, bu artış ise biyodizelin %10-12 oranında oksijen içermesinden dolayı tam yanmanın oluşmasından, yağlama özelliğinin iyi olması ve viskozitenin ED yakıtından bir miktar yüksek olmasından dolayı da pompalama kaçaklarını azaltmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek viskozite, aynı zamanda yakıt püskürtme penetrasyonunu artırmakta ve böylece hava-yakıt karışım oranını iyileştirerek güçte

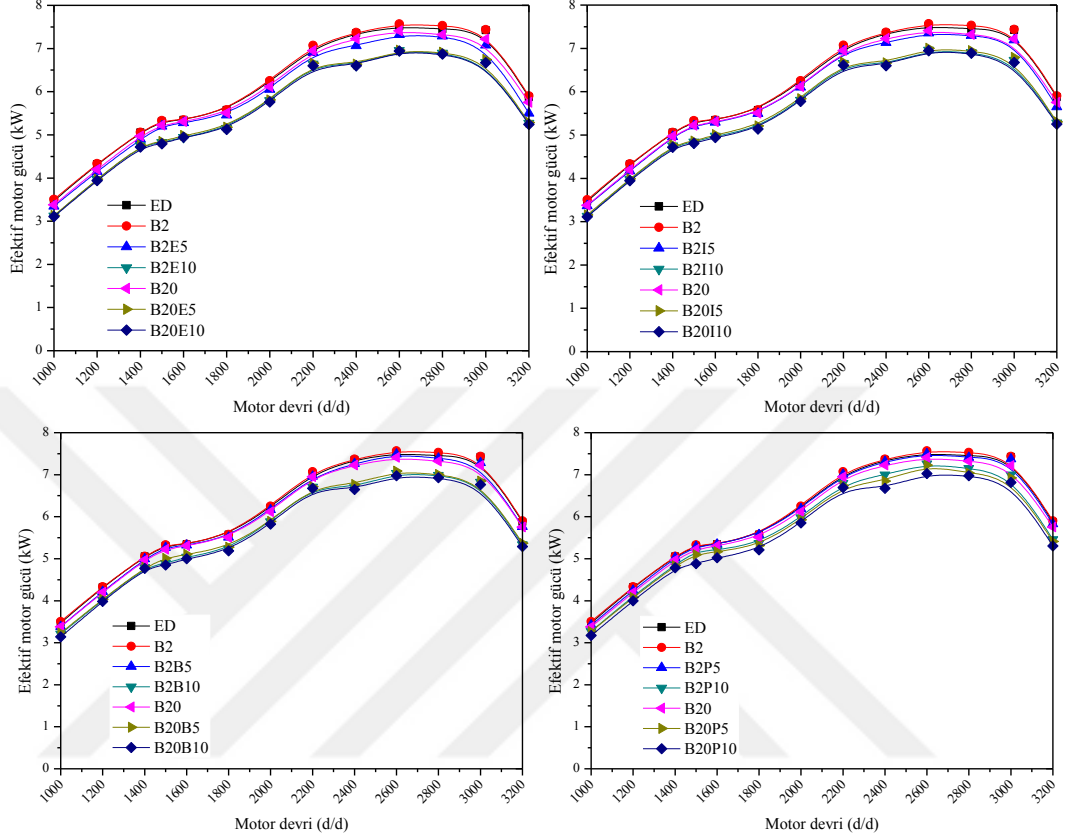
bir miktar artış sağlamaktadır. Ayrıca, biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtından fazla olmasından dolayı silindirlere kütle bazda daha fazla yakıt gönderilmektedir. Böylece de efektif motor gücünde az bir artış sağlanabildiği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 10, 19, 46, 80, 196, 220-222, 278, 333, 344, 385, 386].

Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak efektif motor gücü düşmektedir. Biyodizelin ısı değeri ED yakıtınınkinden düşük olması, viskozite değerinin yüksek olması ile püskürtme karakteristiklerinin kötüleşmesi ve böylece yanma veriminin düşmesi, oksijen içeriğinin fazla olması ile birim zamanda silindire alınan yakıt miktarının azalması efektif motor gücünün düşmesine neden olmuştur. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 10, 20, 204, 278, 329, 366].

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak efektif motor gücü değerlerinin değişimi Şekil 4.27.'de gösterilmiştir. Alkol ilaveli yakıtların test edilmesi sonucunda en yüksek efektif motor gücü değerleri de 2600 d/d motor devrinde gerçekleşmiştir. Maksimum efektif motor güçleri B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 7.32, 6.95, 6.96 ve 6.94 kW; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 7.36, 6.96, 7.00 ve 6.95 kW; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 7.49, 7.03, 7.09 ve 6.98 kW; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 7.50, 7.26, 7.23 ve 7.03 kW olarak elde edilmiştir.

Yakıttaki alkol oranının artması ile birlikte efektif motor gücü değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Ayrıca, alkol ilaveli yakıtların efektif motor gücü değerleri karşılaştırıldığında en düşük değerler E ilaveli yakıtlarda olurken bu yakıtları sırasıyla I, B ve P ilaveli yakıtlar izlemektedir. Alkol ilaveli yakıtların efektif motor gücü değerlerinin düşük olmasının nedeni alkollerin biyodizel ve ED yakıtına göre daha düşük ısı değeri ve setan sayısına sahip olması ile yanmayı kötüleştirmesidir. Alkollerin sahip olduğu düşük viskozite ve yoğunluk yakıtların viskozite ve yoğunluklarını olumsuz yönde etkileyerek pompa ve enjektörlerde kaçaklara neden olmaktadır. Alkollerin yüksek oranda oksijen içermesi birim zamanda silindire alınan yakıt miktarının düşmesine neden olarak efektif motor gücünü azaltmaktadır. Elde

edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 19, 204, 278, 312, 320].



**şekil 4.27.** Farklı alkol ilavesinin efektif motor gücü üzerine etkisi

### 4.5.3. Efektif özgül yakıt tüketimi

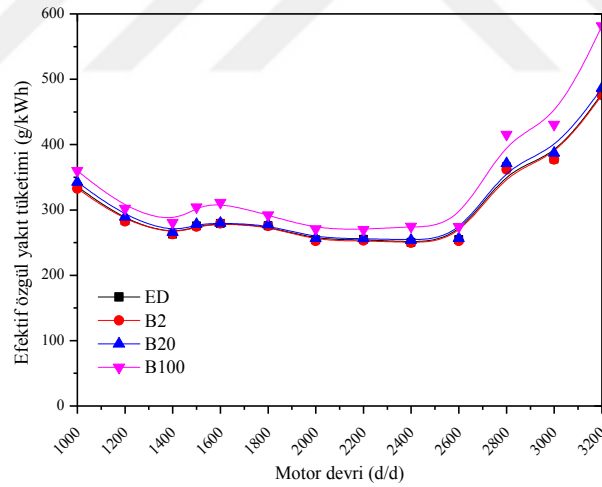
ED, B2, B20 ve B100 yakıtları ile yapılan testlerde efektif özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı olarak değişimi şekil 4.28.'de verilmiştir. Testlerde motor devrinin artması ile belirli bir devre kadar efektif özgül yakıt tüketimi değerleri düşmüş, bu devirden sonra ise yükselmeye başlamıştır.

Yüksek motor devirlerinde sürtünme ve pompalama kayıplarının artması, homojen karışım ve tam yanma için yeterli zamanın olmaması efektif özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Ayrıca düşük motor devirlerinde silindir içi türbülansın kötüleşmesi ve motorun hareketli parçalarındaki atalet kuvvetinin fazla olması efektif özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Orta motor devirlerinde ise yanma için gerekli sürenin yeterli olması, silindir içi türbülansın iyileşmesi ile karışımın homojen olması yanma verimini artırırken efektif özgül yakıt tüketimini düşürmüştür [10, 204].



ED, B2, B20 ve B100 kullanılması ile elde edilen minimum efektif özgül yakıt tüketimleri sırasıyla 2400 d/d'de 250.51 g/kWh, 2400 d/d'de 249.81 g/kWh, 2400 d/d'de 253.77 g/kWh ve 2200 d/d'de 269.77 g/kWh olarak hesaplanmıştır. B2 yakıtı ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketimi ED yakıtından ortalama olarak %0.48 oranında düşük, B20 yakıtı ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketimi ED yakıtından ortalama olarak %1.25 ve B100 yakıtı ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketimi ED yakıtından ortalama olarak %9.81 oranlarında yüksek çıkmıştır.

B2 yakıtının efektif motor gücündeki artışın ED yakıtından yüksek olması efektif özgül yakıt tüketiminin ED yakıtından daha düşük çıkmasına neden olmuştur. Aynı zamanda dizel yakıtına %2 oranında biyodizel ilave edilmesi ile motorda yağ film tabakası oluşturması motorun daha rahat çalışmasına ve böylece efektif özgül yakıt tüketiminin düşmesine neden olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [6, 10].



**Şekil 4.28.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri

B20 ve B100 yakıtlarının ısıl değerlerinin ED yakıtından düşük olması ile aynı motor gücünü üretebilmek için daha fazla yakıtın harcanması gerekmektedir. Yakıtın yoğunluk ve viskozite değerleri özgül yakıt tüketimini etkileyen en önemli yakıt özelliklerindedir. Yakıtın yoğunluk ve viskozite değerlerinin ED yakıtından yüksek olması püskürtme karakteristiklerinin kötüleşmesine ve iyi atomize olamayan yakıtın reaksiyon bölgelerinde azalmasına ve bundan dolayı da yanma kalitesinin ve

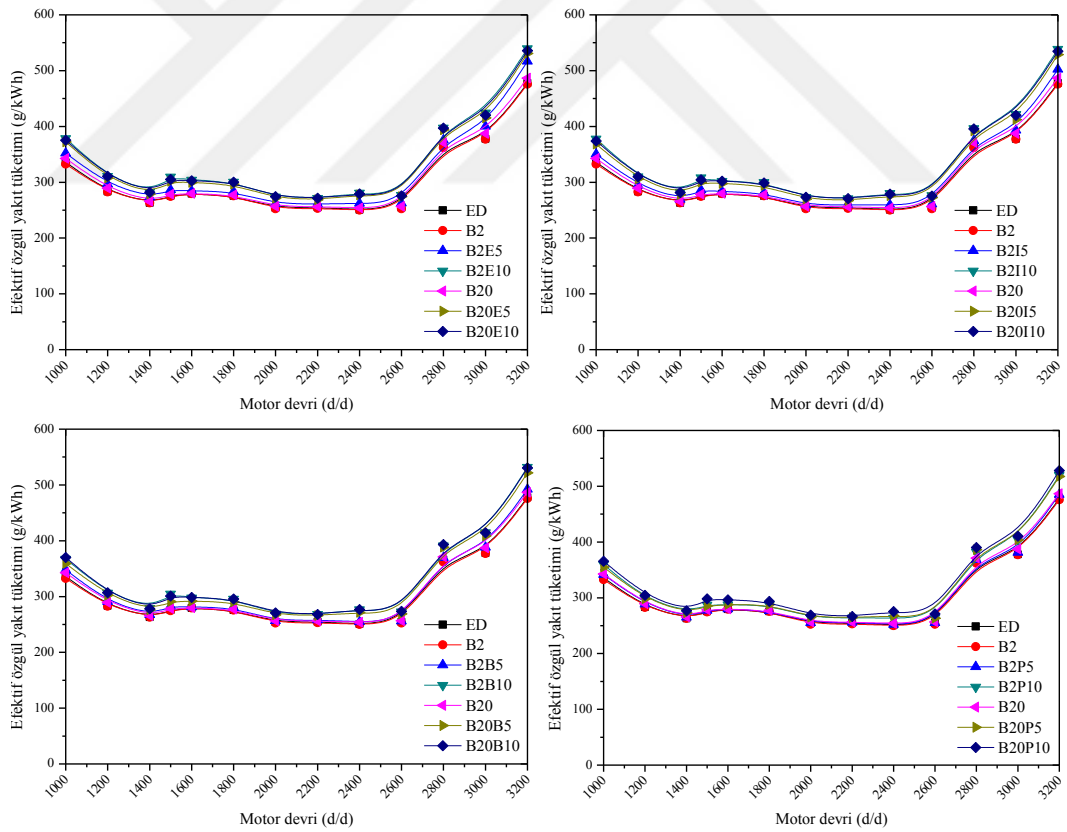
veriminin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumdan dolayı da karışım yakıtlarda biyodizel oranının artması ile ED yakıtına göre efektif özgül yakıt tüketimleri artmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 6, 10, 19, 20, 46, 204, 279, 303, 329, 350, 366].

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak efektif özgül yakıt tüketimlerinin değişimi Şekil 4.29.'da verilmiştir. Alkol ilaveli yakıtların test edilmesi sonucunda minimum efektif özgül yakıt tüketimleri 2400-2600 d/d motor devir aralığında gerçekleşmiştir. Minimum efektif özgül yakıt tüketimleri B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için 2200 d/d'de sırasıyla 260.70, 271.53, 268.66 ve 271.47 g/kWh; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için 2200 d/d'de sırasıyla 259.36, 270.59, 267.34 ve 270.72 g/kWh; B2B5 için 2400 d/d'de 254.59 g/kWh, B2B10, B20B5 ve B20B10 için 2200 d/d'de sırasıyla 268.15, 265.82 ve 267.85 g/kWh; B2P5 ve B2P10 için 2400 d/d'de sırasıyla 252.14 ve 263.78 g/kWh, B20P5 için 2600 d/d'de 263.43 g/kWh ve B20P10 için 2200 d/d'de 266.47 g/kWh olarak tespit edilmiştir.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %3.98 ve 9.91, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.48 ve 10.44; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %3.01 ve 9.58, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.51 ve 10.11; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %1.84 ve 8.04, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.34 ve 8.56; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %0.77 ve 4.97, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.25 ve 5.47 oranlarında yüksek çıkmıştır. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %8.35 ve 9.41, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.01 ve 8.06; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %7.70 ve 9.14, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.37 ve 7.79; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama sırasıyla %6.19 ve 8.07, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.87 ve 6.73; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının efektif özgül yakıt tüketimleri ED yakıtından ortalama

sırasıyla %5.00 ve 7.27, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.70 ve 5.94 oranlarında yüksek çıkmıştır.

Karışımındaki alkol oranının artışı ile efektif özgül yakıt tüketimlerinin yükseldiği görülmektedir. Alkol ilaveli yakıtların efektif özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olmasının nedeni alkollerin B100 ve ED yakıtından daha düşük ısıl değere sahip olması ile aynı efektif motor gücünü elde edebilmek için silindire daha fazla yakıt almasıdır. Ayrıca, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının ED yakıtına göre daha yüksek olmasından dolayı alkolün buharlaşması daha yavaş gerçekleşmekte ve yanma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu etkinin de efektif özgül yakıt tüketimini artırdığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 19, 204, 308, 312].



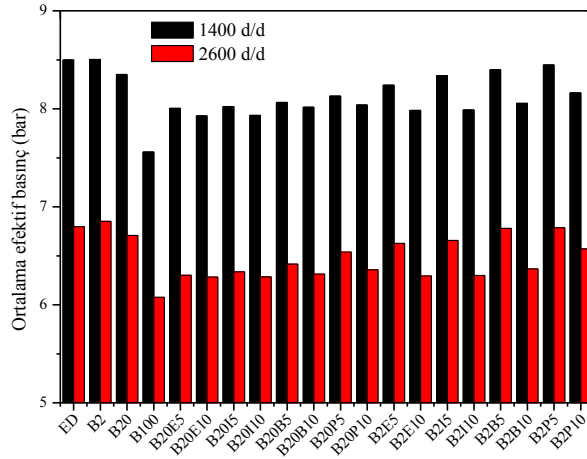
**Şekil 4.29.** Farklı alkol ilavesinin efektif özgül yakıt tüketimi üzerine etkisi

#### 4.5.4. Ortalama efektif basınç

Ortalama efektif basınç, birim strok hacmi başına motorun ürettiği net işi ifade ettiği için farklı büyüklükteki benzer motorların performanslarının karşılaştırılması için kullanılabilir bir değer olması bakımından önemlidir. Test yakıtlarının maksimum efektif motor torkunun ve efektif motor gücünün elde edildiği 1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde hesaplanan ortalama efektif basınçları Şekil 4.30.'da verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının ortalama efektif basınçları 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 8.499, 8.504, 8.351 ve 7.558 bar; 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 6.797, 6.852, 6.707 ve 6.077 bar olarak hesaplanmıştır.

Ortalama efektif basınç, motorun efektif gücüne, motorun devrine, 4 ya da 2 zamanlı oluşuna ve motorun silindir hacmine bağlı olarak değişmektedir. Motor devrinin artması ile sürtünme kayıplarının arttığı bu nedenle ortalama efektif basınç değerlerinin düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda, ED yakıtına biyodizel ilavesinin ortalama efektif basıncı düşürdüğü görülmektedir. Bunun temel sebebi, biyodizelin ısı değerinin dizel yakıtından daha düşük olması, viskozite ve yoğunluk değerlerinin de dizel yakıtından fazla olmasından dolayı yanmayı kötüleştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 20].

Alkol ilaveli yakıtların test edilmesi sonucunda elde edilen ortalama efektif basınçlar B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 yakıtları için 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 8.241, 7.984, 8.004, 7.929 bar ve 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 6.626, 6.294, 6.301 ve 6.282 bar; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 yakıtları için 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 8.340, 7.987, 8.024, 7.934 bar ve 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 6.657, 6.299, 6.336 ve 6.286 bar; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 yakıtları için 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 8.398, 8.055, 8.064, 8.016 bar ve 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 6.779, 6.366, 6.416 ve 6.314 bar; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 yakıtları için 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 8.448, 8.163, 8.129, 8.039 bar ve 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 6.787, 6.570, 6.539 ve 6.358 bar olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.30.** Test yakıtlarının ortalama efektif basınçları

#### 4.6. Yanma analizi

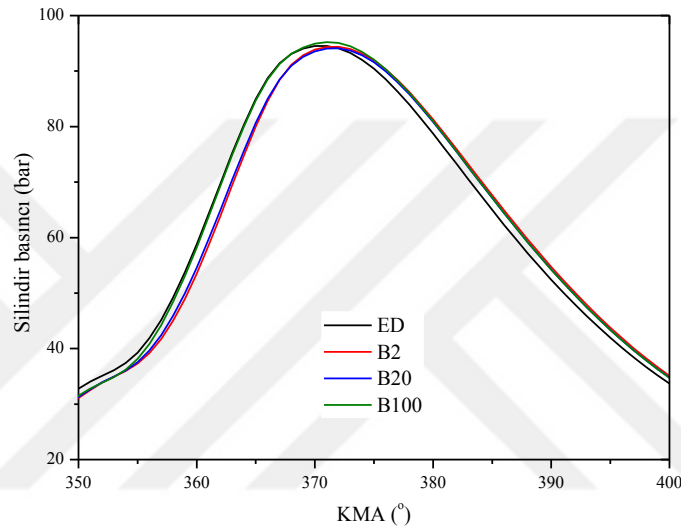
Yanma analizi; ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5, B20P10 yakıtları için maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d motor devirlerinde, silindir basıncı ve ısı salımı karakteristiklerinin karşılaştırılması şeklinde incelenmiştir.

##### 4.6.1. Silindir basıncı analizi

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d'de ki silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri Şekil 4.31. ve Şekil 4.32.'de verilmiştir. 1400 d/d motor devrinde maksimum silindir basıncı değerleri ED ve B100 yakıtları için 371 °KMA'da, B2 ve B20 yakıtları için 372 °KMA'da elde edilmiştir. 2600 d/d motor devrinde ise en yüksek basınç değerleri ED yakıtı için 373 °KMA'da, B2 ve B20 yakıtları için 375 °KMA'da ve B100 yakıtı için 374 °KMA'da elde edilmiştir.

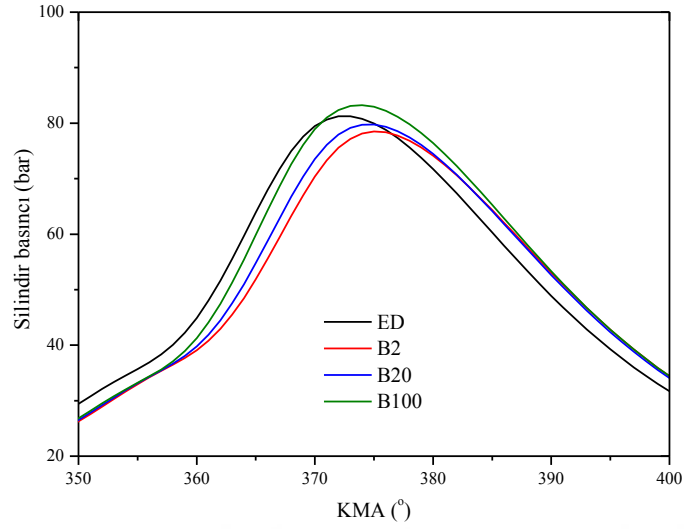
ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1400 d/d motor devrinde maksimum silindir basıncı değerleri sırasıyla 94.52, 94.37, 94.11 ve 95.22 bar, 2600 d/d motor devrinde maksimum silindir basıncı değerleri ise sırasıyla 81.24, 78.49, 79.75 ve 83.26 bar olarak tespit edilmiştir.

1400 d/d motor devrinde bir çevrim boyunca elde edilen silindir basınçları incelendiğinde B2 ve B20 yakıtları ile elde edilen silindir basınçları ED yakıtından ortalama sırasıyla %0.81 ve 0.082 oranlarında yüksek çıkarken, B100 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı ED yakıtından ortalama %1.53 oranında düşük çıkmıştır. 2600 d/d motor devrinde bir çevrim boyunca elde edilen silindir basıncı değerleri incelendiğinde B2, B20 ve B100 yakıtları ile elde edilen silindir basınçları ED yakıtından ortalama sırasıyla %0.79, 0.99 ve 0.30 oranlarında düşük çıkmıştır.



**Şekil 4.31.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1400 d/d'deki silindir basınçları

Silindir basıncının en yüksek olduğu KMA, yakıtın özelliklerine ve yanmanın başlangıcına göre değişim göstermektedir. Her iki motor devrinde elde edilen basınç değerleri incelendiğinde, B100 yakıtı kullanımı ile ED yakıtından daha yüksek, B2 ve B20 yakıtları kullanımı ile ED yakıtından daha düşük silindir basıncı elde edilmiştir. Biyodizel kullanımının maksimum silindir basıncını artırması içerisinde bulunan oksijen miktarının yüksek olması ve ED yakıtına göre anlık yanma hızını yükseltmesinden kaynaklanmaktadır. Motor devrinin artması ile maksimum silindir basıncının elde edildiği KMA değerlerinin üst ölü noktadan uzaklaştığı belirlenmiştir. Bu durum, artan piston hızına göre yanma hızının aynı oranda artmaması ile açıklanabilir. Motor devrindeki artış maksimum silindir basıncını da düşürmüştür. Bu durum, tam yanmanın gerçekleşmesi için yeterli sürenin olmaması ile açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 21, 319, 386].



**Şekil 4.32.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 2600 d/d'deki silindir basınçları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların KMA'ya bağlı olarak maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d'deki silindir basınçlarının değişimi Şekil 4.33.'te, efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d'deki silindir basınçlarının değişimi ise Şekil 4.34.'te verilmiştir.

1400 d/d motor devrinde B2E10 yakıtı hariç diğer alkol ilaveli yakıtların maksimum silindir basınçlarının ED yakıtından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının maksimum silindir basınçları sırasıyla 372 °KMA'da 95.48 bar, 372 °KMA'da 92.77 bar, 372 °KMA'da 95.88 bar, 371 °KMA'da 95.67 bar, 371 °KMA'da 95.82 bar, 371 °KMA'da 95.04 bar, 372 °KMA'da 95.23 bar ve 372 °KMA'da 95.57 bar olarak; B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının maksimum silindir basınçları sırasıyla 372 °KMA'da 95.65 bar, 371 °KMA'da 95.61 bar, 372 °KMA'da 95.00 bar, 371 °KMA'da 95.30 bar, 371 °KMA'da 94.55 bar, 372 °KMA'da 94.66 bar, 372 °KMA'da 94.73 bar ve 372 °KMA'da 95.41 bar olarak tespit edilmiştir.

1400 d/d motor devrinde B2E5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %2.11 düşük, ED yakıtından ortalama %1.28 düşük; B2E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.52 düşük, ED yakıtından ortalama %0.33 yüksek; B2I5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %1.14 düşük, ED yakıtından ortalama %0.32 düşük; B2I10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.51 düşük, ED yakıtından ortalama %0.32

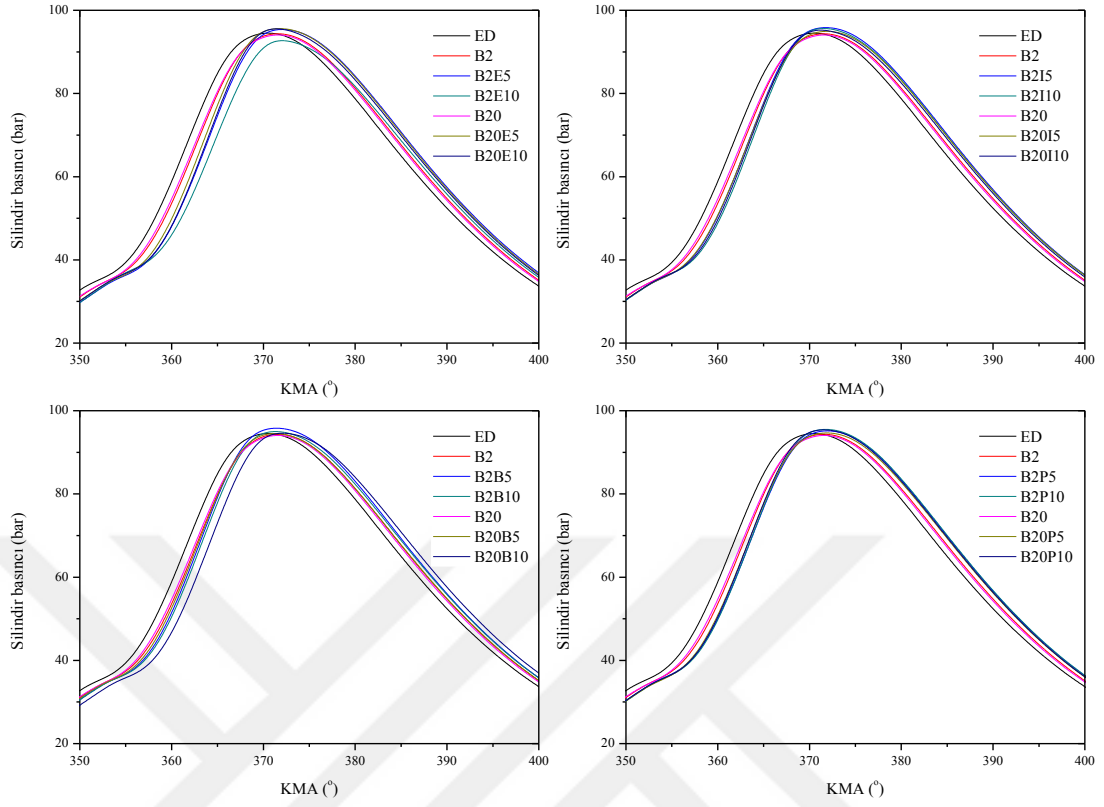
yüksek; B2B5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %1.76 düşük, ED yakıtından ortalama %0.95 düşük; B2B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %2.07 düşük, ED yakıtından ortalama %1.26 düşük; B2P5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.84 düşük, ED yakıtından ortalama %0.02 düşük ve B2P10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.16 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.00 yüksek çıkmıştır. B20E5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.70 düşük, ED yakıtından ortalama %0.56 düşük; B20E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.91 düşük, ED yakıtından ortalama %0.79 düşük; B20I5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.18 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.29 yüksek ; B20I10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %1.07 düşük, ED yakıtından ortalama %0.97 düşük; B20B5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.96 düşük, ED yakıtından ortalama %0.87 düşük; B20B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.94 düşük, ED yakıtından ortalama %0.82 düşük; B20P5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.07 düşük, ED yakıtından ortalama %0.04 yüksek ve B20P10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.04 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.14 yüksek çıkmıştır.

2600 d/d motor devrinde ise B2B5 ve B20E5 yakıtları hariç diğer alkol ilaveli yakıtların maksimum silindir basınçlarının ED yakıtından daha düşük olduğu belirlenmiştir. B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtlarının maksimum silindir basınçları sırasıyla 377 °KMA'da 77.08 bar, 377 °KMA'da 77.01 bar, 376 °KMA'da 80.26 bar, 376 °KMA'da 78.60 bar, 375 °KMA'da 82.19 bar, 376 °KMA'da 79.58 bar, 376 °KMA'da 80.20 bar ve 376 °KMA'da 79.26 bar olarak; B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarının maksimum silindir basınçları sırasıyla 376 °KMA'da 82.02 bar, 376 °KMA'da 79.75 bar, 376 °KMA'da 79.20 bar, 376 °KMA'da 79.10 bar, 375 °KMA'da 78.19 bar, 376 °KMA'da 78.91 bar, 376 °KMA'da 79.24 bar ve 376 °KMA'da 79.51 bar olarak tespit edilmiştir.

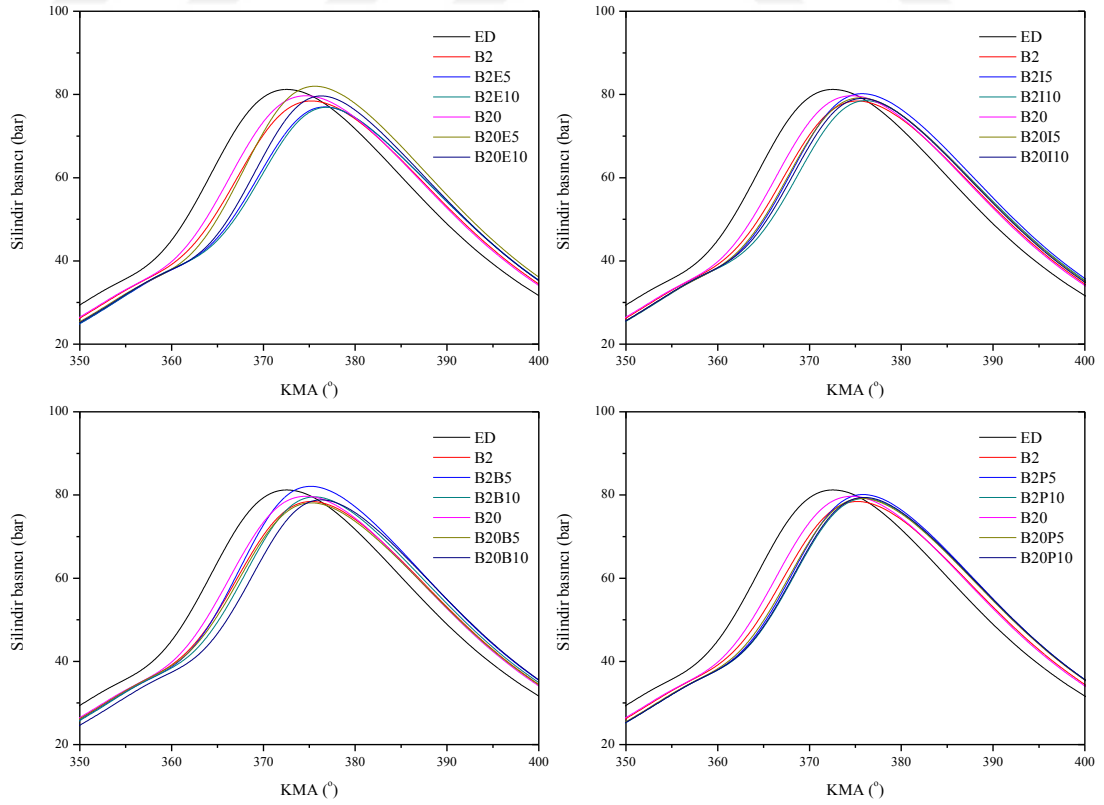


2600 d/d motor devrinde B2E5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %1.41 düşük, ED yakıtından ortalama %2.11 düşük; B2E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.03 düşük, ED yakıtından ortalama %0.74 düşük; B2I5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.33 düşük, ED yakıtından ortalama %1.06 düşük; B2I10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.66 düşük, ED yakıtından ortalama %1.39 düşük; B2B5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.41 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.34 düşük; B2B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.23 düşük, ED yakıtından ortalama %0.98 düşük; B2P5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %0.53 düşük, ED yakıtından ortalama %1.25 düşük ve B2P10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B2 yakıtından ortalama %1.83 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.10 yüksek çıkmıştır. B20E5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.81 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.09 düşük; B20E10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %1.38 düşük, ED yakıtından ortalama %2.30 düşük; B20I5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.49 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.46 düşük; B20I10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.21 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.75 düşük; B20B5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %1.60 düşük, ED yakıtından ortalama %0.87 düşük; B20B10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.24 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.68 düşük; B20P5 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.68 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.26 düşük ve B20P10 yakıtı ile elde edilen silindir basıncı B20 yakıtından ortalama %0.52 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.42 düşük çıkmıştır.

Alkol ilavesinin yakıtların maksimum silindir içi basınç değerlerini genel olarak üst ölü noktadan uzaklaştırdığı görülmektedir. Bunun nedeni alkollerin setan sayısının ED ve B100 yakıtından düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesini artırmasıdır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 377].



**Şekil 4.33.** Farklı alkol ilavesinin 1400 d/d'deki silindir basıncına etkisi

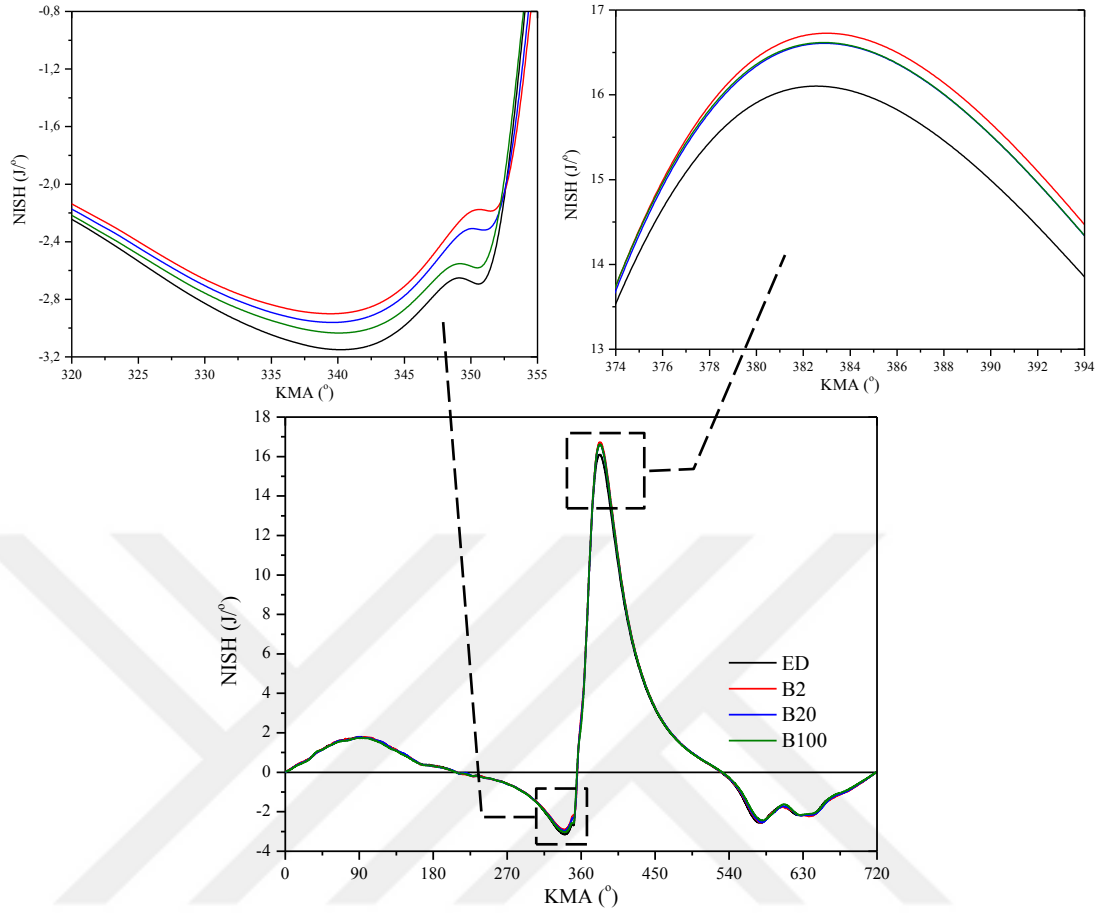


**Şekil 4.34.** Farklı alkol ilavesinin 2600 d/d'deki silindir basıncına etkisi

#### 4.6.2. Net ısı salımı hızı (NISH)

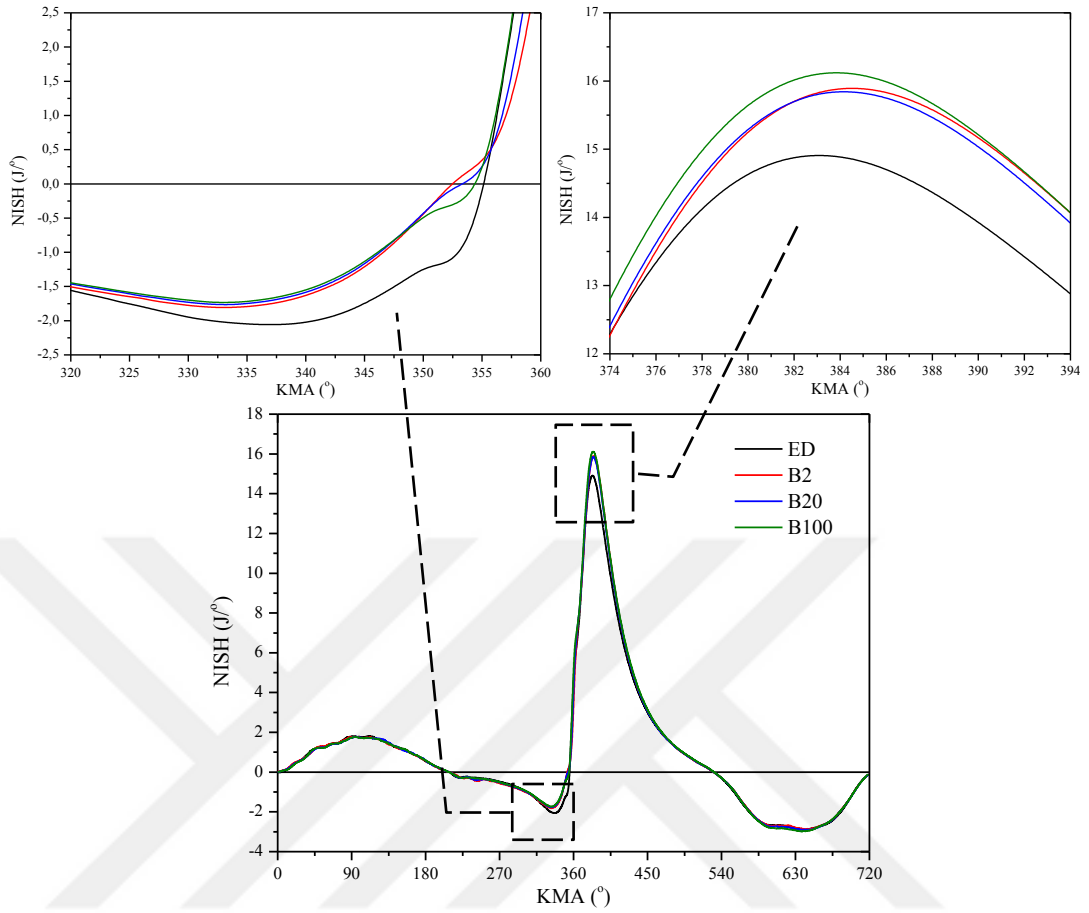
ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d motor devirlerindeki net ısı salımı hızlarının (NISH) KMA'ya göre değişimleri Şekil 4.35. ve 4.36.'da verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için 1400 d/d motor devrinde maksimum NISH'ler 383 °KMA'da sırasıyla 16.11, 16.74, 16.62 ve 16.63 J/° olarak tespit edilmiştir. 2600 d/d motor devrinde maksimum NISH'ler ise B2, B20 ve B100 yakıtları için 384 °KMA'da sırasıyla 15.89, 15.85 ve 16.13 J/° olarak, ED yakıtı için ise 383 °KMA'da 14.92 J/° olarak belirlenmiştir.

ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için motor devrinin artmasına bağlı olarak maksimum NISH'lerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, yüksek motor devirlerinde biyodizelin kötü püskürtme karakteristiklerinin biraz daha düzelmesi ve ısı transfer hızının da azalmasından kaynaklanmaktadır. Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artması maksimum NISH'leri artırmaktadır. Biyodizelin viskozite ve yoğunluk değerlerinin ED yakıtından yüksek olması, yakıtın püskürtme karakteristiklerini kötüleştirmektedir. Yanma başlangıcına kadar geçen zamanda ise silindir içerisinde daha fazla yakıt birikmekte ve biyodizelin ED yakıtına göre daha fazla oksijen içermesinden dolayı da bir anda yüksek hızda yanmaya başlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı karışım yakıtların NISH'leri ED yakıtından yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 21].



**Şekil 4.35.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1400 d/d'deki NISH'leri

1400 d/d motor devrinde bir çevrim boyunca NISH'ler incelendiğinde B2 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %2.62 yüksek, B20 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %0.33 düşük ve B100 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %2.60 düşük elde edilmiştir. 2600 d/d motor devrinde bir çevrim boyunca NISH'ler incelendiğinde ise B2 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %3.71 düşük, B20 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %2.16 düşük ve B100 yakıtı ile elde edilen NISH'ler ED yakıtından ortalama %2.56 düşük elde edilmiştir.



**Şekil 4.36.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 2600 d/d'deki NISH'leri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların KMA'ya bağlı olarak maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d motor devrindeki NISH'lerinin değişimi Şekil 4.37.'de, efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d motor devrindeki NISH'lerinin değişimi ise Şekil 4.38.'de verilmiştir.

1400 d/d motor devrinde maksimum NISH B20B10 yakıtında 384 °KMA'da, diğer yakıtlarda ise 383 °KMA'da gerçekleşmiştir. Elde edilen maksimum NISH'ler B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtları için sırasıyla 17.47, 16.96, 17.33, 17.24, 17.14, 17.01, 17.26 ve 17.31 J/° olarak; B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtları için sırasıyla 17.39, 17.25, 17.21, 17.07, 16.76, 17.48, 17.13 ve 17.19 J/° olarak tespit edilmiştir.

1400 d/d motor devrinde B2E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %1.73 düşük, ED yakıtından ortalama %1.77 düşük; B2E10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.48 düşük, ED yakıtından

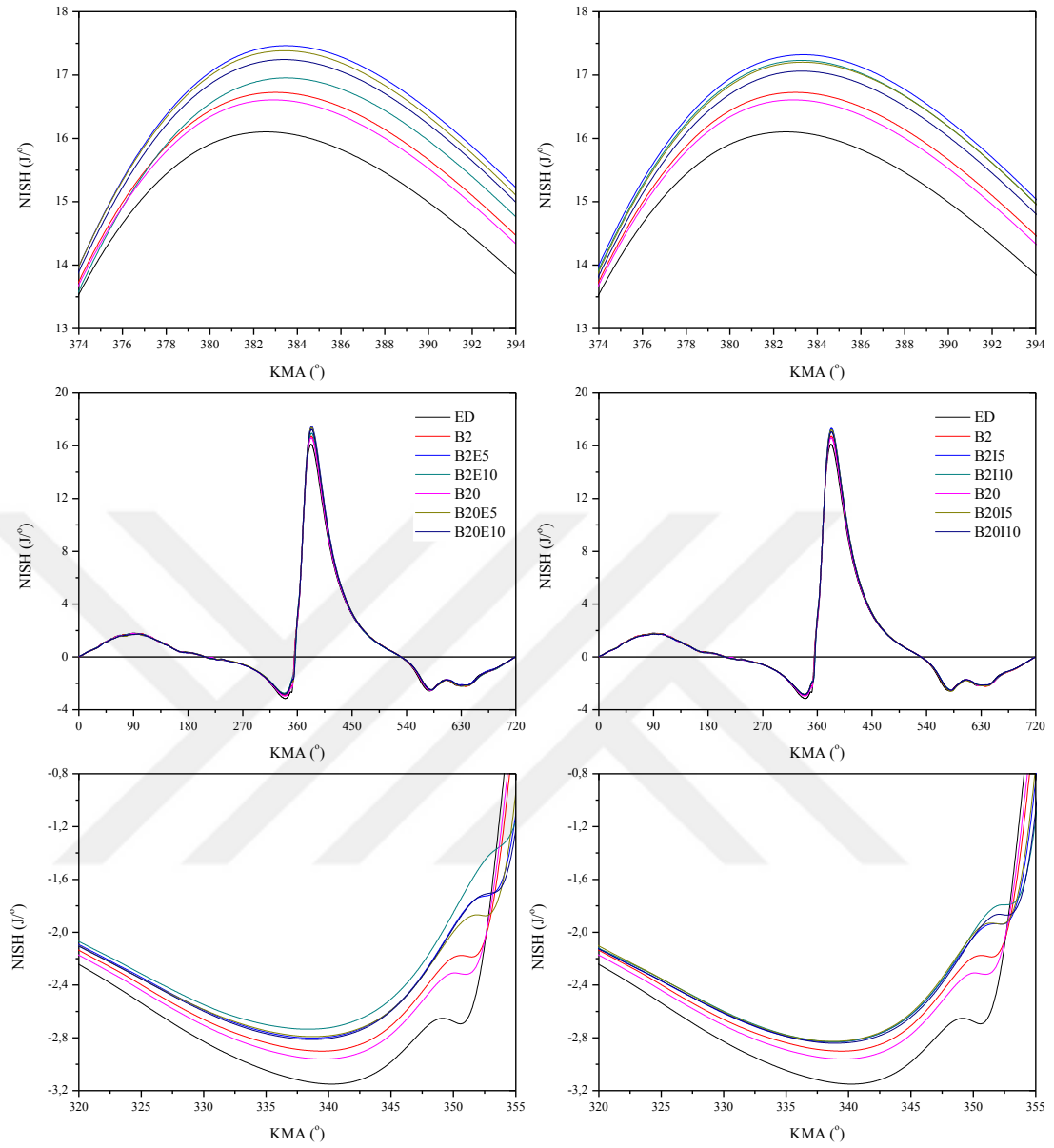
ortalama %0.96 yüksek; B2I5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %2.55 düşük, ED yakıtından ortalama %0.35 düşük; B2I10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %3.04 düşük, ED yakıtından ortalama %0.73 düşük; B2B5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %2.24 düşük, ED yakıtından ortalama %0.58 düşük; B2B10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %1.46 düşük, ED yakıtından ortalama %1.42 düşük; B2P5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %1.04 düşük, ED yakıtından ortalama %0.26 yüksek ve B2P10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.25 düşük, ED yakıtından ortalama %0.28 yüksek çıkmıştır. B20E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %3.57 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.22 düşük; B20E10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %2.46 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.88 düşük; B20I5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %4.17 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.85 yüksek; B20I10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %2.52 yüksek, ED yakıtından ortalama %2.33 düşük; B20B5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %2.30 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.43 düşük; B20B10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %3.48 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.81 düşük; B20P5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %4.36 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.31 yüksek ve B20P10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %3.50 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.85 düşük elde edilmiştir.

2600 d/d motor devrinde maksimum NISH'ler B2B5 yakıtında 384 °KMA'da, diğer yakıtlarda ise 385 °KMA'da gerçekleşmiştir. Elde edilen maksimum NISH'ler B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5 ve B2P10 yakıtları için sırasıyla 16.13, 16.14, 16.47, 16.18, 16.47, 16.13, 16.45 ve 16.36 J<sup>o</sup> olarak; B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtları için sırasıyla 16.70, 16.34, 16.15, 16.10, 15.80, 16.39, 16.30 ve 16.38 J<sup>o</sup> olarak tespit edilmiştir.

2600 d/d motor devrinde B2E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.32 düşük, ED yakıtından ortalama %5.12 düşük; B2E10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %1.20 yüksek, ED yakıtından

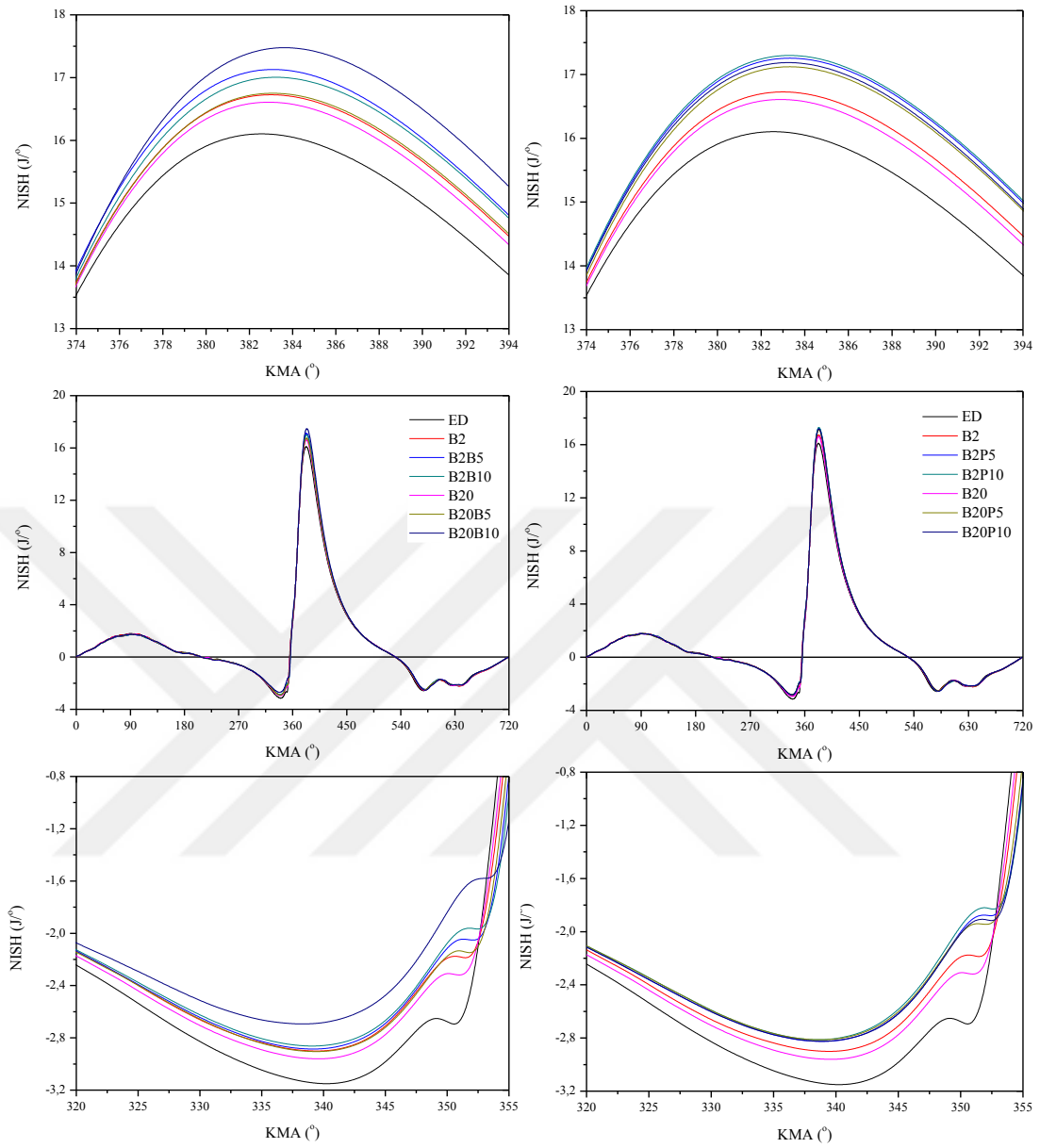
ortalama %3.42 düşük; B2I5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.02 yüksek, ED yakıtından ortalama %3.01 düşük; B2I10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %1.18 yüksek, ED yakıtından ortalama %3.74 düşük; B2B5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.38 yüksek, ED yakıtından ortalama %2.65 düşük; B2B10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.35 düşük, ED yakıtından ortalama %3.80 düşük; B2P5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %0.61 yüksek, ED yakıtından ortalama %3.14 düşük ve B2P10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B2 yakıtından ortalama %4.56 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.17 düşük çıkmıştır. B20E5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %1.08 düşük, ED yakıtından ortalama %2.81 düşük; B20E10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %1.08 düşük, ED yakıtından ortalama %4.18 düşük; B20I5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %0.14 düşük, ED yakıtından ortalama %2.52 düşük; B20I10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %0.44 yüksek, ED yakıtından ortalama %2.99 düşük; B20B5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %0.51 yüksek, ED yakıtından ortalama %4.38 düşük; B20B10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %0.91 yüksek, ED yakıtından ortalama %2.08 düşük; B20P5 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %2.83 yüksek, ED yakıtından ortalama %0.07 düşük ve B20P10 yakıtı ile elde edilen maksimum NISH B20 yakıtından ortalama %2.03 yüksek, ED yakıtından ortalama %1.72 düşük elde edilmiştir.

Alkol ilavesi yapılan yakıtların maksimum NISH değerleri incelendiğinde genelde yükselmelerin meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, alkollerin yanma hızını artırmada ki etkisinin ve ısı transferi hızının da azalması olarak açıklanabilir. Ayrıca, alkollerin setan sayılarının düşük olması ve tutuşma gecikmesini artırması ile silindir içerisindeki yakıt miktarının artmasına neden olur. Böylece birikmiş yakıt bir anda yanmaya başlar ve oksijeninde etkisi ile yanma hızı artar. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 21, 327, 377].

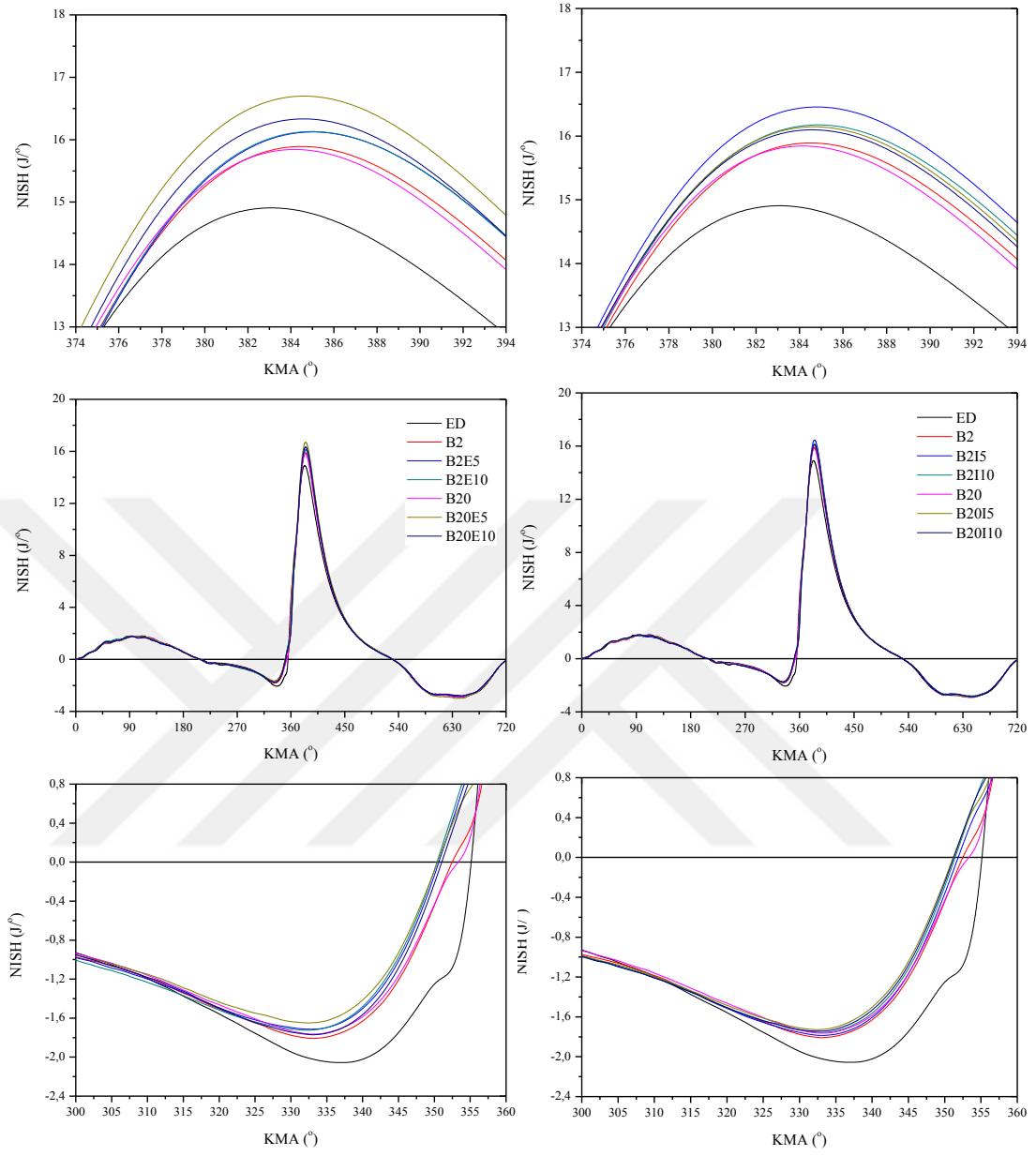


Şekil 4.37. Farklı alkol kullanımının 1400 d/d'deki NISH'leri

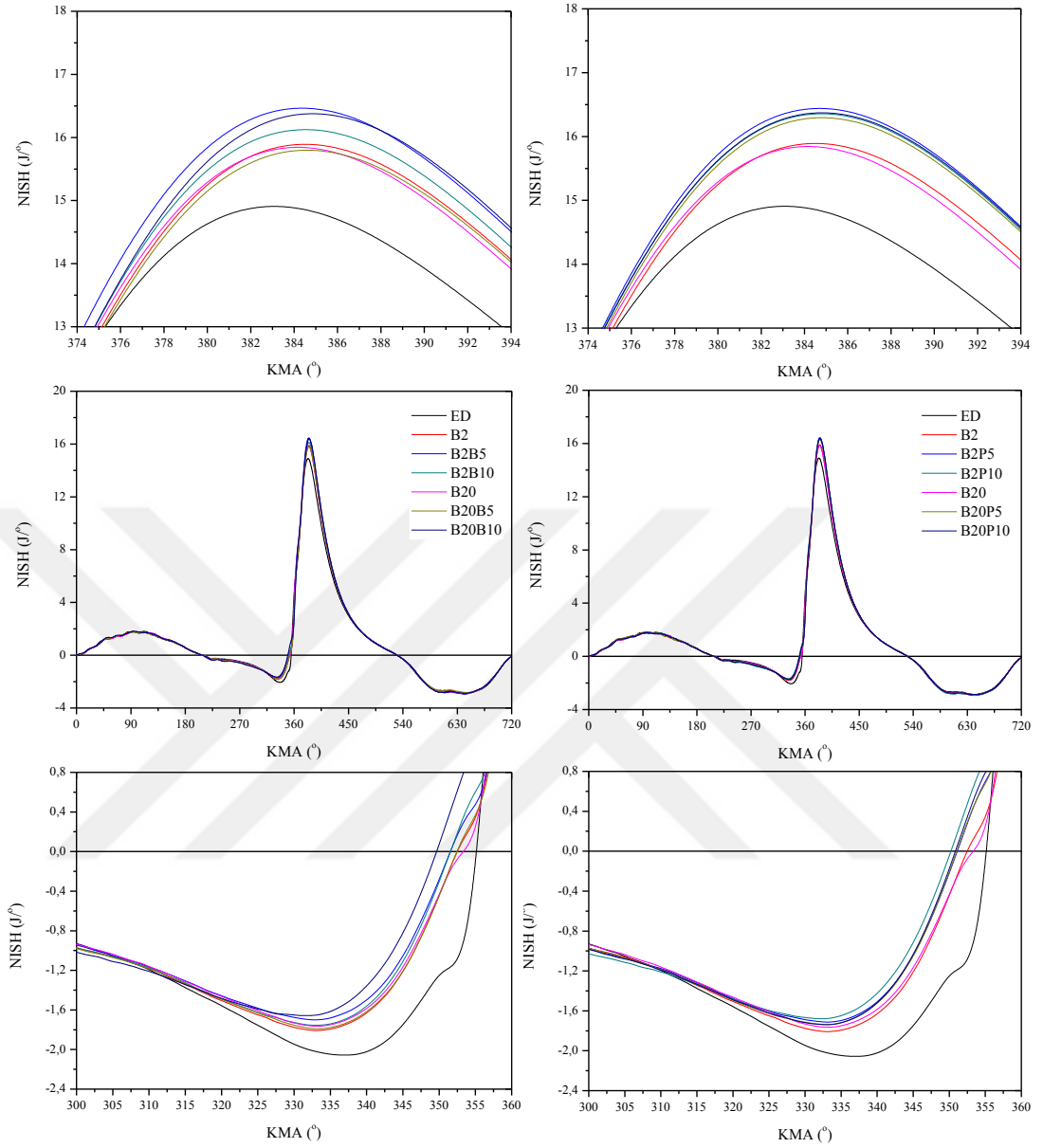




Şekil 4.37. Devam



Şekil 4.38. Farklı alkol kullanımının 2600 d/d'deki NISH'leri



Şekil 4.38. Devam

#### 4.6.3. Tutuşma gecikmesi

Dizel motorlarda yanma olayının analiz edilmesinde en önemli parametreler püskürtme başlangıcı (PB), yanma başlangıcı (YB), yanma sonu (YS), tutuşma gecikmesi (TG) ve yanma periyodu (süresi) (YP)'dur. Test yakıtlarının maksimum motor torkunun elde edildiği 1400 d/d ve maksimum motor gücünün elde edildiği 2600 d/d motor devirlerindeki PB, YB, YS, TG ve YP değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir. Motor devrinin artmasına bağlı olarak PB, YB ve YS değerlerinin arttığı, TG ve YP değerlerinin ise azaldığı görülmektedir.

Biyodizel kullanımı ile TG değerlerinin genelde kısaldığı, alkol ilavesi ile ise TG değerlerini arttığı görülmektedir. TG'yi etkileyen en önemli yakıt özelliklerinden bir tanesi setan sayısıdır. Biyodizelin setan sayısının ED yakıtından bir miktar yüksek olması, buna karşın alkollerin setan sayısının ise düşük olması sonucunda elde edilen değerler beklenen sonuçlara büyük ölçüde yakındır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 351, 402].

**Tablo 4.7.** Test yakıtlarının püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı, yanma sonu, tutuşma gecikmesi ve yanma periyodu değerleri

Yakıt	1400 d/d							2600 d/d												
	PB		YB		YS		TG		YP		PB		YB		YS					
	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms	°KMA	ms				
ED	332	47	351	46	398	45	19	2.36	47	5.88	333	47	354	46	399	45	21	1.29	45	2.96
B2	333	46	352	46	398	45	19	2.10	46	5.40	336	46	355	46	400	45	19	1.10	45	2.98
B20	333	46	352	46	398	45	19	2.09	46	5.50	335	46	354	46	400	45	19	0.84	46	2.91
B100	332	47	351	47	398	45	19	2.07	47	5.47	336	47	354	47	399	45	18	1.12	45	2.85
B20E5	334	46	353	46	399	45	19	2.32	46	5.79	337	46	356	46	400	44	19	1.21	44	2.83
B20E10	334	45	354	45	399	45	20	2.31	45	5.27	337	45	358	45	400	42	21	1.32	42	2.70
B20I5	335	46	353	46	399	45	18	2.28	46	5.38	337	46	356	46	401	45	19	1.23	45	2.81
B20I10	335	46	353	46	399	45	18	2.27	46	5.39	337	46	355	46	400	45	18	1.28	45	2.77
B20B5	334	47	352	47	399	45	18	2.23	47	5.82	336	47	355	47	401	46	19	1.22	46	2.97
B20B10	335	45	354	45	399	45	19	2.37	45	5.62	336	45	357	45	401	44	21	1.35	44	2.82
B20P5	334	46	353	46	399	45	19	2.35	46	5.74	336	46	356	46	401	45	20	1.29	45	2.89
B20P10	334	45	353	45	398	45	19	2.34	45	5.62	337	45	356	45	401	45	19	1.21	45	2.89
B2E5	334	45	354	45	399	45	20	2.52	45	5.50	337	45	356	45	401	45	19	1.22	45	2.90
B2E10	334	44	355	44	399	45	21	2.42	44	5.16	337	44	358	44	401	43	21	1.27	43	2.75
B2I5	335	46	353	46	399	45	18	2.39	46	5.78	337	46	358	46	401	43	21	1.31	43	2.84
B2I10	334	45	354	45	399	45	20	2.30	45	5.25	336	45	358	45	401	43	22	1.33	43	2.80
B2B5	334	45	353	45	398	45	19	2.19	45	5.18	335	45	354	45	400	46	19	1.21	46	2.94
B2B10	334	46	353	46	399	45	19	2.37	46	5.74	336	46	356	46	400	44	20	0.96	44	3.17
B2P5	334	46	353	46	399	45	19	2.36	46	5.75	336	46	358	46	400	42	22	1.40	42	2.68
B2P10	334	46	353	46	399	45	19	2.18	46	5.37	337	46	355	46	401	46	18	1.08	46	2.95

#### 4.7. Motor verimleri

Bu bölümde; ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtları için elde edilen motor verimleri efektif termik verim ve volümetrik verim olarak incelenmiştir.

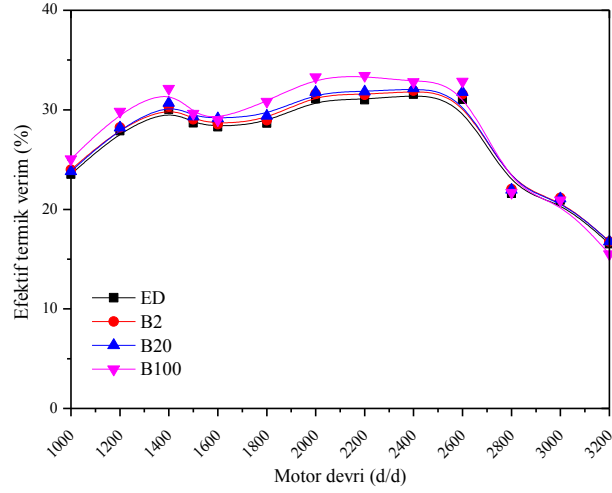
##### 4.7.1. Efektif termik verim

İçten yanmalı motorlarda yanma sonucu açığa çıkan enerji ısı transferi kayıpları nedeni ile tümüyle yararlı işe dönüştürülememektedir. Alternatif yakıtlar ile yapılan çalışmalarda motor performansının değerlendirilmesi açısından termik verim önemli bir parametredir [303].

ED, B2, B20 ve B100 yakıtları ile yapılan testlerde motor devrine bağı olarak elde edilen efektif termik verim değerleri Şekil 4.39.'da verilmiştir. Efektif termik verim, efektif özgül yakıt tüketimi ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Bundan dolayı, motor devrinin artması ile efektif termik verim değerlerinin belirli bir motor devrine kadar yükselmesi ve daha sonra düşmeye başlaması, orta motor hızlarında yanma veriminin iyileşmesi ile efektif termik verimin yükselmesi açıklanabilir. Düşük motor devirlerinde silindir içi türbülansın kötü olması, yüksek motor devirlerinde ise homojen karışım ve tam yanma için yeterli zamanın olmaması efektif termik verim değerlerini düşürmüştür [10].

B2, B20 ve B100 yakıtları kullanımı ile elde edilen efektif termik verimlerin ED yakıtından yüksek olduğu, karışımındaki biyodizel oranının artışına bağı olarak da efektif termik verim değerinin arttığı görülmektedir. ED, B2, B20 ve B100 kullanılması ile elde edilen maksimum efektif termik verimler sırasıyla 2400 d/d motor devrinde %31.54, 2400 d/d motor devrinde %31.92, 2400 d/d motor devrinde %32.14 ve 2200 d/d motor devrinde %33.42 olarak hesaplanmıştır. ED, B2, B20 ve B100 kullanılması ile elde edilen en düşük efektif termik verimler ise 3200 d/d motor devrinde sırasıyla %16.53, 16.76, 16.77 ve 15.50 olarak hesaplanmıştır. B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile elde edilen efektif termik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla % 1.40, 1.97 ve 4.07 oranlarında artış göstermiştir.

Biyodizel kullanımı ile efektif termik verimin artmasının temel sebebi, biyodizelin sahip olduğu %10-12 oranında oksijendir. Biyodizel oksijen içerdigi için yanma verimini artırarak tam yanmanın oluşmasına yardımcı olmaktadır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [57, 385].



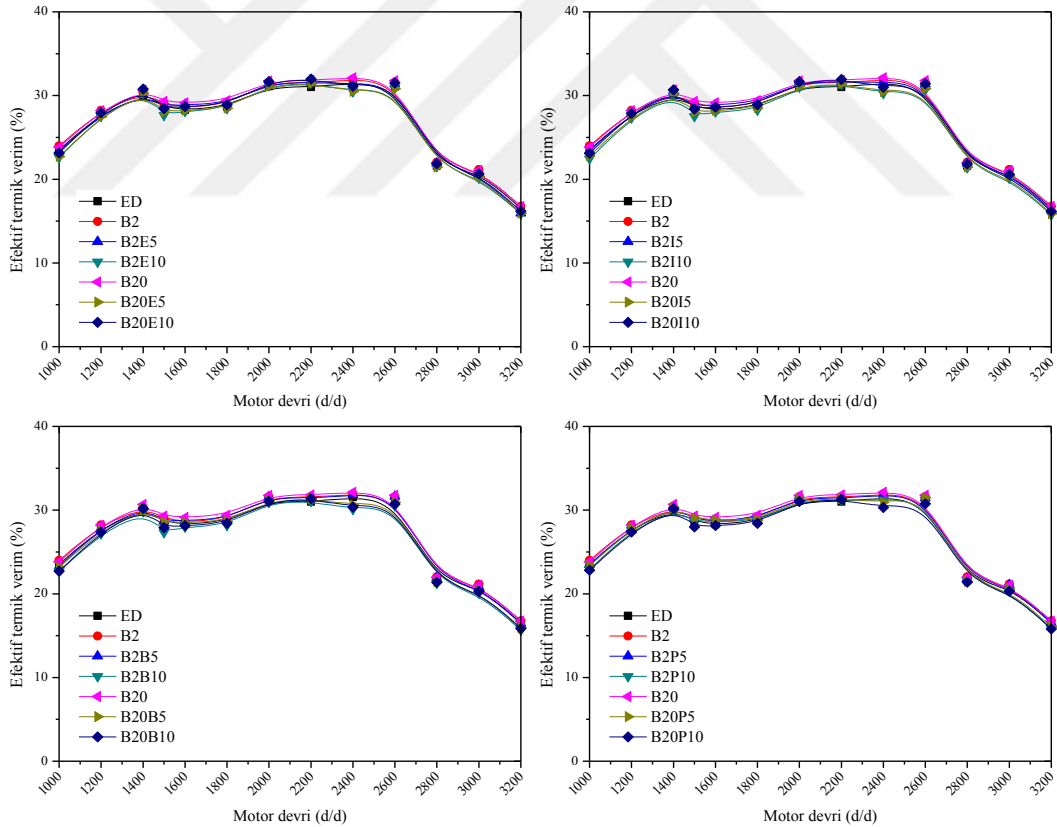
**Şekil 4.39.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının efektif termik verimleri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak efektif termik verimlerinin değişimi Şekil 4.40.'ta gösterilmiştir. Maksimum efektif termik verimler B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için 2200 d/d'de sırasıyla %31.57, 31.51, 31.44 ve 31.98; B2I5 için 2000 d/d'de %31.63, B2I10, B20I5 ve B20I10 için 2200 d/d'de sırasıyla %31.34, 31.40 ve 31.92; B2B5 için 2400 d/d'de %31.82, B2B10, B20B5 ve B20B10 için 2200 d/d'de sırasıyla %31.05, 31.29 ve 31.36; B2P5 ve B2P10 için 2400 d/d'de sırasıyla %31.84 ve 31.22, B20P5 için 2600 d/d'de %31.47 ve B20P10 için 2200 d/d'de %31.30 olarak elde edilmiştir.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.22 artış ve %1.42 azalış, B2 yakıtına göre ortalama %1.16 ve 2.78 azalış; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.74 artış ve %2.02 azalış, B2 yakıtına göre ortalama %0.65 ve 3.37 azalış; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.69 artış ve %2.42 azalış, B2 yakıtına göre ortalama %0.70 ve 3.77 azalış; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.85 artış ve %0.68 azalış, B2 yakıtına göre ortalama %0.54 ve 2.05 azalış meydana gelmiştir. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %1.29 azalış ve %0.45 artış, B20 yakıtına göre ortalama %3.20 ve %1.49 azalış; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %1.32 azalış ve %0.23 artış, B20 yakıtına göre ortalama %3.23 ve 1.71 azalış; B20B5 ve B20B10

yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.84 ve 1.59 azalış, B20 yakıtına göre ortalama %2.76 ve 3.50 azalış; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının efektif termik verimleri ED yakıtına göre ortalama %0.04 ve 1.55 azalış, B20 yakıtına göre ortalama %1.97 ve 3.46 azalış meydana gelmiştir.

Alkol ilavesinin yakıtların efektif termik verimlerini genel olarak düşürdüğü, alkol oranının artışına bağlı olarak bu düşüşün daha da arttığı görülmektedir. Bunun temel sebebi, alkol ilavesi ile yakıtların ısıl değerlerinin azalmasıdır. Silindir içerisine alınan yakıtın ısıl değerinin düşmesi, yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü için efektif termik verimi de düşüreceği söylenebilir. Aynı zamanda alkollerin düşük setan sayısının tutuşma gecikmesini artırarak yanma verimini düşürmesi de efektif termik verimi düşürmüştür. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 308].



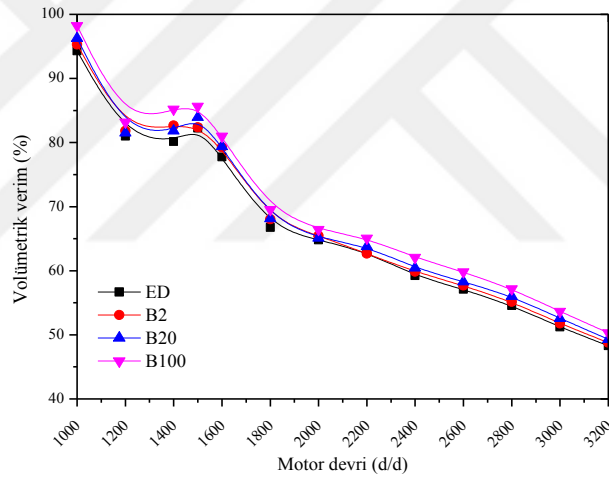
Şekil 4.40. Farklı alkol ilavesinin efektif termik verim üzerine etkisi

#### 4.7.2. Volümetrik verim

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devir sayılarında elde edilen volümetrik verim değerleri Şekil 4.41.'de verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları

kullanımı ile elde edilen maksimum volümetrik verimler 1000 d/d'de sırasıyla %94.30, 95.28, 96.27 ve 98.23; en düşük volümetrik verimler ise 3200 d/d'de sırasıyla %48.28, 48.79, 49.29 ve 50.30 olarak belirlenmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile elde edilen volümetrik verimler ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.16, 1.88 ve 4.23 oranlarında artış göstermiştir. Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artmasına bağlı olarak volümetrik verimin arttığı, motor devrinin artışına bağlı olarakta genel olarak volümetrik verimin azaldığı görülmektedir.

Motor devrinin artması ile silindire emilen hava hızının artmasına rağmen volümetrik verimin azalması emme subabının açık kalma süresinin kısılmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 57].



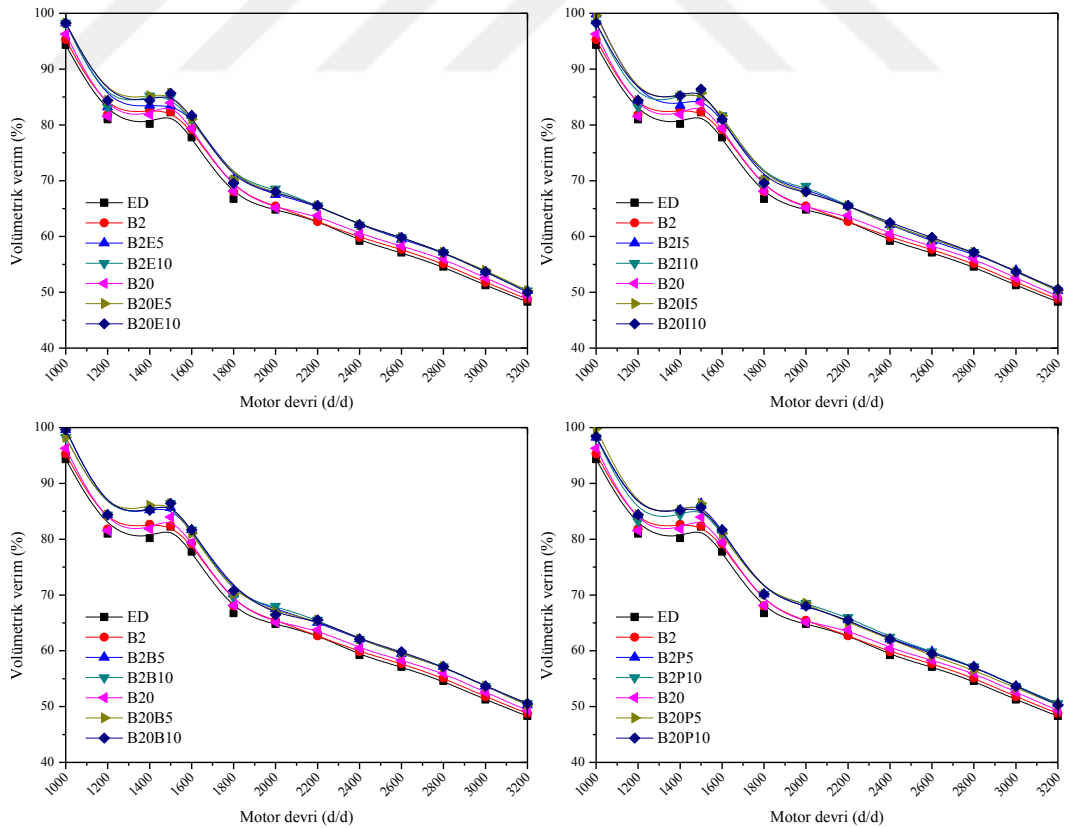
**Şekil 4.41.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının volümetrik verimleri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak volümetrik verimlerinin değişimi Şekil 4.42.'de gösterilmiştir. B2E5 ve B2E10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.13 ve 4.54, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.93 ve 3.34; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.52 ve 4.67, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.32 ve 3.49; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.67 ve 4.72, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.47 ve 3.52; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.84 ve 4.67, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.63 ve 3.48 artış meydana



gelmiştir. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.70 ve 4.52, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.77 ve 2.60; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.79 ve 4.75, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.86 ve 2.81; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.63 ve 4.83, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.70 ve 2.90; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının volümetrik verim değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.63 ve 4.69, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.70 ve 2.76 oranlarında artış meydana gelmiştir.

Alkol ilavesi ile volümetrik verim değerlerinin arttığı görülmektedir. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olmasından dolayı sıkıştırma zamanı sonuna doğru püskürtülen yakıtın emilen havanın sıcaklığını düşürmesi ve daha fazla havanın silindire alınması olarak açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 415].



Şekil 4.42. Farklı alkol ilavesinin volümetrik verim üzerine etkisi

## 4.8. Egzoz emisyonları

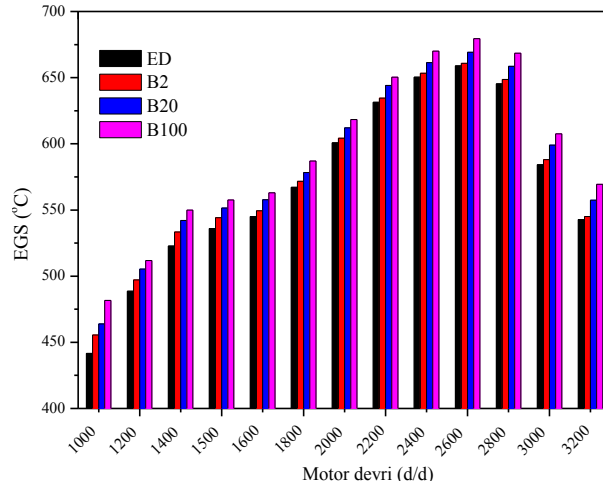
Bu bölümde; ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtları için elde edilen egzoz gazı sıcaklığı (EGS), hava fazlalık katsayısı (HFK), CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve duman koyuluğu değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### 4.8.1. Egzoz gazı sıcaklığı (EGS)

Egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biri olan egzoz gazı sıcaklığı (EGS) yakıt özelliğine (setan sayısı, yoğunluk, viskozite, ısıl değer vb.) ve motor işletme parametrelerine (sıkıştırma oranı, püskürtme basıncı, püskürtme avansı vb.) bağlıdır [415].

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devirlerinde elde edilen EGS'leri Şekil 4.43.'te verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için maksimum EGS'ler 2600 d/d motor devrinde sırasıyla 658.9, 660.8, 669.2 ve 679.5°C olarak tespit edilmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.03, 2.60 ve 4.19 oranlarında yüksek elde edilmiştir. Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artmasına bağlı olarak EGS'lerinin yükseldiği görülmektedir.

Biyodizel ve karışım yakıtların setan sayılarının ED yakıtına göre yüksek olmasından dolayı yanmanın erken başlaması yani tutuşma gecikmesinin kısılması, biyodizelin yapısında bulunan kaynama noktası yüksek bileşikler nedeni ile yanmanın iş zamanında da devam etmesi ve biyodizelin oksijen içeriğinin ED yakıtına göre yüksek oluşu yanmayı iyileştirmiş ve yanma sıcaklığını yükselteceğinden EGS'leri artırmıştır. Aynı zamanda EGS'nin düşük devirlerde düşük olduğu ve devir sayısı arttıkça sıcaklıklarında arttığı görülmektedir. Biyodizelin viskozitesinin ED yakıtından yüksek olması nedeniyle düşük devirlerde püskürtülen yakıtın atomizasyonu zorlaşarak yanma süresi uzamıştır. Bundan dolayı yanma, genişlemenin daha ileri safhalarında kadar sürmüş ve EGS'nin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yüksek devirlerde hava hareketlerinin artması yanma reaksiyonlarını etkilediğinden yanma sonu ürünlerinin sıcaklığının arttığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 10, 158, 175, 319, 352].



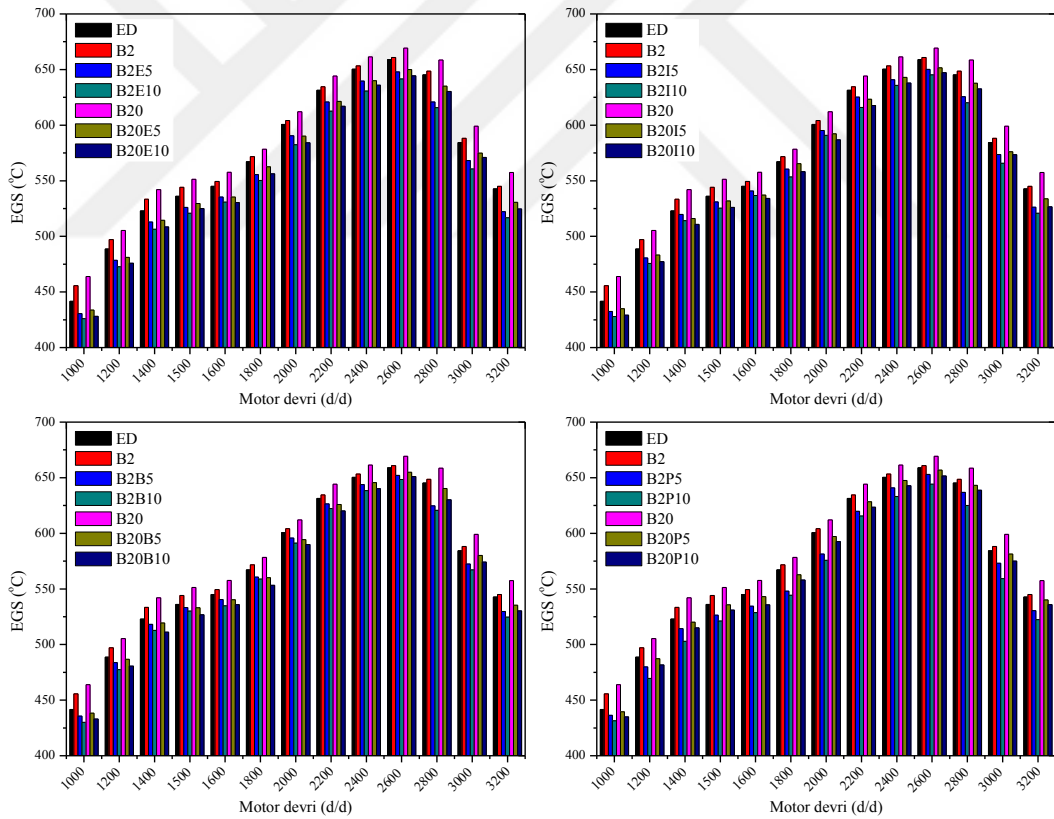
**Şekil 4.43.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının EGS'leri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak EGS'lerinin değişimi Şekil 4.44.'te verilmiştir. Maksimum EGS'ler tüm test yakıtları için 2600 d/d'de elde edilmiştir. Maksimum EGS'ler B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 647.8, 641.6, 649.9 ve 644.3°C; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 650.1, 645.2, 651.5 ve 647.1°C; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 652.0, 648.4, 654.8 ve 651°C; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 653.0, 644.1, 656.8 ve 651.5°C olarak ölçülmüştür.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.25 ve %3.35, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.24 ve 4.33; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.53 ve %2.53, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.53 ve 3.52; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.31 ve 2.14, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.31 ve 3.14; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.90 ve 3.28, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.89 ve 4.26;. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.58 ve %2.50, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.06 ve 4.96; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.20 ve %2.15, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.70 ve 4.62; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının EGS'leri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %0.82 ve 1.88, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.32 ve 4.35; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının EGS'leri ED

yakıtına göre ortalama sırasıyla %0.43 ve 1.35, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.94 ve 3.84 oranlarında düşük çıkmıştır.

Alkol ilavesi yapılan yakıtlardan elde edilen EGS'lerin karışımdaki alkol oranının artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olmasından dolayı buharlaşabilmek için ortamdan daha fazla ısı çekmekte, bu durum da EGS'leri düşürmektedir. EGS, yanma sonu sıcaklıklarının bir göstergesidir ve tutuşma gecikmesinin bir fonksiyonudur. Oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olur. Alkollerin bünyesinde bulunan yüksek orandaki oksijen yanma hızını artırarak EGS'leri düşürmüştür. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 19, 308].

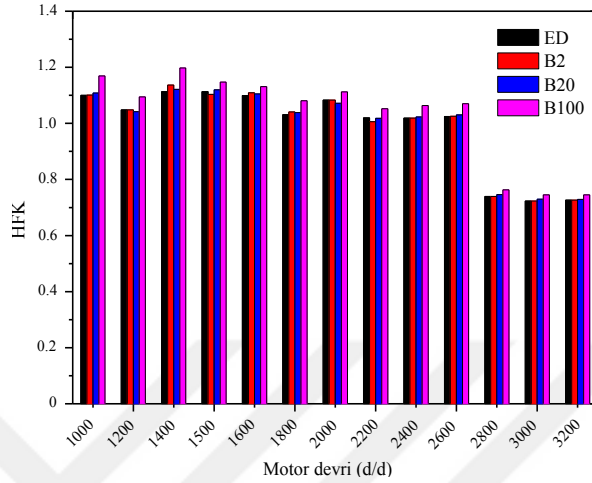


Şekil 4.44. Farklı alkol ilavesinin EGS üzerine etkisi

#### 4.8.2. Hava fazlalık katsayısı (HFK)

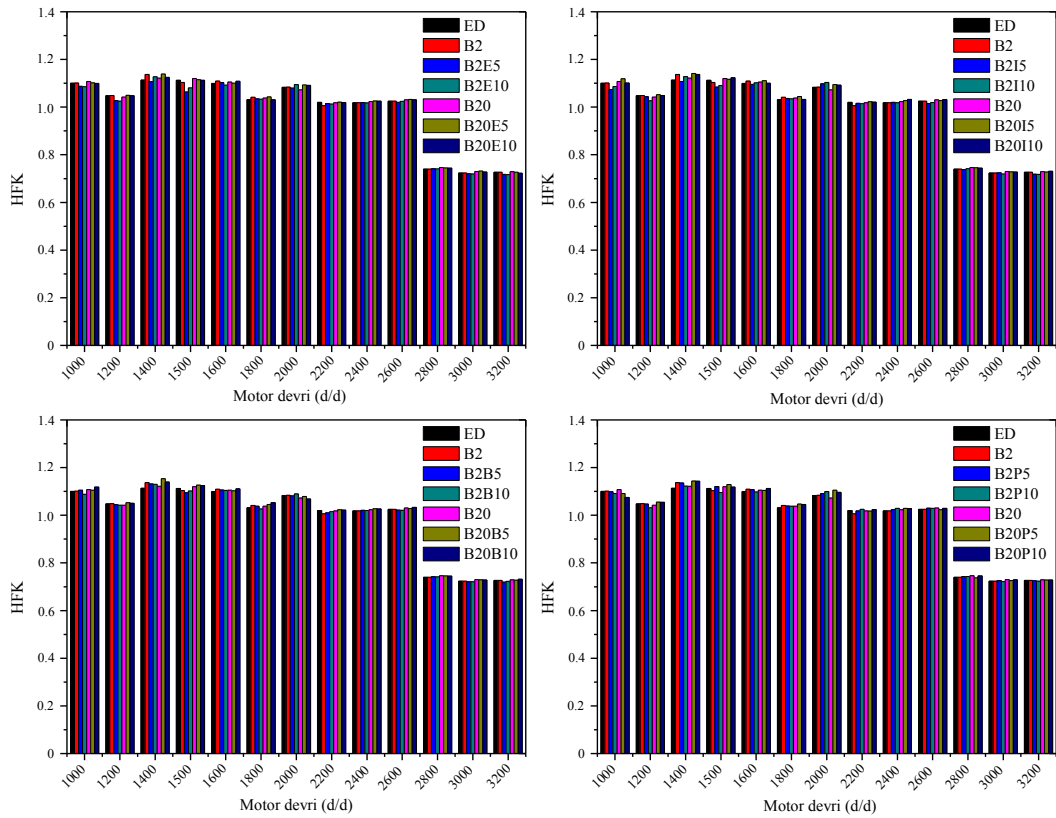
ED, B2, B20 ve B100 yakıtları ile farklı motor devirlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen hava fazlalık katsayısı (HFK) değerleri Şekil 4.45.'te

verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları kullanımı sonucunda maksimum HFK'ler maksimum tork değerinin elde edildiği 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 1.11, 1.14, 1.12 ve 1.20 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.45. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının HFK'leri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak HFK'lerinin değişimi Şekil 4.46.'da verilmiştir.



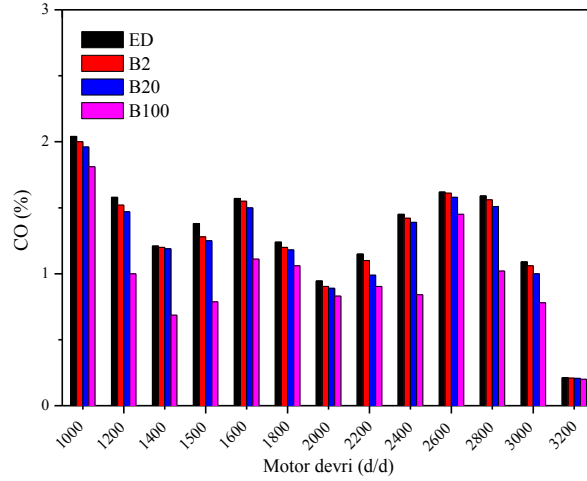
Şekil 4.46. Farklı alkol ilavesinin HFK üzerine etkisi

Maksimum HFK'ler tüm test yakıtları için 1400 d/d motor devrinde elde edilmiştir. Maksimum HFK'ler B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 1.11, 1.13, 1.14 ve 1.12; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 1.11, 1.13, 1.14 ve 1.14; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 1.13, 1.13, 1.15 ve 1.14; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 1.14, 1.12, 1.14 ve 1.14 olarak tespit edilmiştir.

#### **4.8.3. CO emisyonu**

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile oluşan CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimleri Şekil 4.47.'de verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için maksimum CO emisyonları 1000 d/d motor devrinde sırasıyla %2.04, 2.00, 1.96 ve 1.81 olarak tespit edilmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %2.76, 5.66 ve 25.70 oranlarında düşük çıkmıştır. Karışımdaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir.

CO emisyonlarının oluşmasındaki en önemli sebep yanma odasındaki oksijen miktarının yetersiz olmasıdır. Eksik yanma sonucu oluşan CO emisyonu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişim göstermektedir. CO emisyonu, motorda kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade ettiği için önemli bir parametredir. Biyodizelde ise bünyesinde bulundurduğu %10-12 oranında oksijenden dolayı tam yanma meydana gelmekte ve böylece CO emisyonları düşmektedir. Yakıtların oksijen içermesi ile karbon atomları yeterli miktarda oksijen bulur ve CO<sub>2</sub> gazına dönüşür. B100 yakıtının stokiometrik hava/yakıt oranının ED yakıtından daha düşük olması ve egzoz gazı sıcaklığının ED yakıtından yüksek olması yanma esnasında daha az oksijene ihtiyaç duymasına ve yanma verimini iyileştirmesinin CO emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. CO emisyonlarının düşmesinin bir başka nedeni de biyodizelin yüksek setan sayısına sahip olmasıdır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 20, 158, 204, 220, 279, 303, 316, 322, 324, 340, 361, 386, 387].



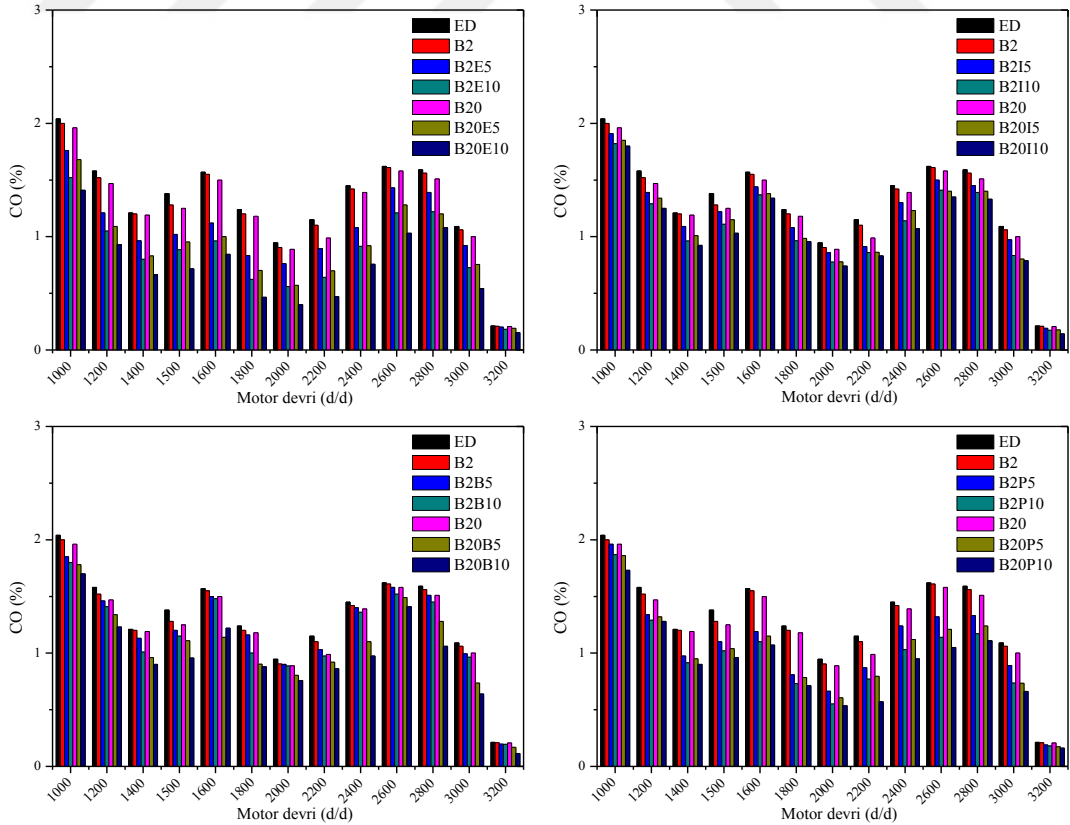
**Şekil 4.47.** ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO emisyonları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi Şekil 4.48.'de verilmiştir. Maksimum CO emisyonları tüm test yakıtları için 1000 d/d motor devrinde elde edilmiştir. Maksimum CO emisyonları B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla %1.76, 1.52, 1.68 ve 1.41; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla %1.91, 1.82, 1.85 ve 1.80; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla %1.85, 1.80, 1.78 ve 1.70; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla %1.96, 1.87, 1.86 ve 1.73 olarak tespit edilmiştir.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %19.75 ve 33.49, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %17.50 ve 31.66; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %10.61 ve %18.17, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %8.07 ve 15.86; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.90 ve 11.02, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.26 ve 8.50; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %19.23 ve 27.32, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %16.96 ve 25.28; B20E5 ve B20E10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %30.14 ve %45.01, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %26.02 ve 41.85; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %16.67 ve 22.17, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %11.68 ve 17.47; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %20.18 ve 27.54, B20 yakıtına göre ortalama

sırasıyla %15.33 ve 23.11; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının CO emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %24.80 ve 32.40, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %20.30 ve 28.46 oranlarında düşük çıkmıştır.

Alkol ilavesinin yakıtların CO emisyonlarını düşürdüğü ve alkol oranının artışına bağlı olarak bu düşüşün daha da fazlaştığı görülmektedir. Alkoller dizel yakıtına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır. CO emisyonlarındaki iyileşmenin nedeni alkollerin yapılarında ED yakıtına göre daha az karbon ve daha çok oksijen bulundurmasıdır. Motor çalıştırıldığında silindir içerisindeki yakıtın zengin olduğu bölgelerde alkollerin yapısındaki oksijen ile oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın tam olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [204, 308, 312, 320, 416, 417, 418].



**Şekil 4.48.** Farklı alkol ilavesinin CO emisyonu üzerine etkisi

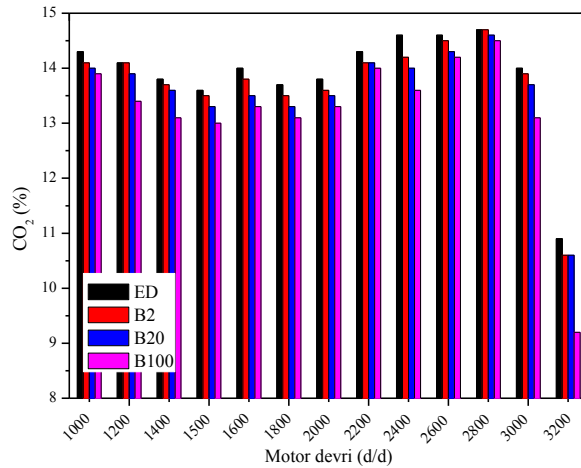


#### 4.8.4. CO<sub>2</sub> emisyonu

Hidrokarbon içeren yakıtların yanmasıyla doğal olarak açığa çıkan bir gaz olan CO<sub>2</sub> genel olarak yakıt içerisinde bulunan C atomu miktarına ve yakıtın yanma verimine bağlıdır. Bugünlerde dünyanın önemli çevre sorunlarından biri olan küresel ısınmada temel etkenlerden biride artan CO<sub>2</sub> emisyonunun atmosferde sera etkisi oluşturmasıdır. Biyodizel kullanımı ile ortaya çıkan ve atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun biyodizel üretiminde kullanılan yağ bitkileri tarafından fotosentez çevrimine katıldığı belirtilmektedir [276, 303, 340].

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile oluşan CO<sub>2</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.49.'da verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı sonucunda maksimum CO<sub>2</sub> emisyonları 2800 d/d motor devrinde sırasıyla %14.7, 14.7, 14.6 ve 14.5 olarak ölçülmüştür. B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %1.19, 2.23 ve 5.02 oranlarında düşük çıkmıştır. Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artışına bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığı görülmektedir.

Egzoz ürünleri arasında bulunan CO<sub>2</sub> tam yanmayı ifade ettiği için önemli bir parametredir. Biyodizel yakıtı dizel yakıtına göre daha düşük karbon/hidrojen oranına sahip olmasından dolayı daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonu oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [340, 367].



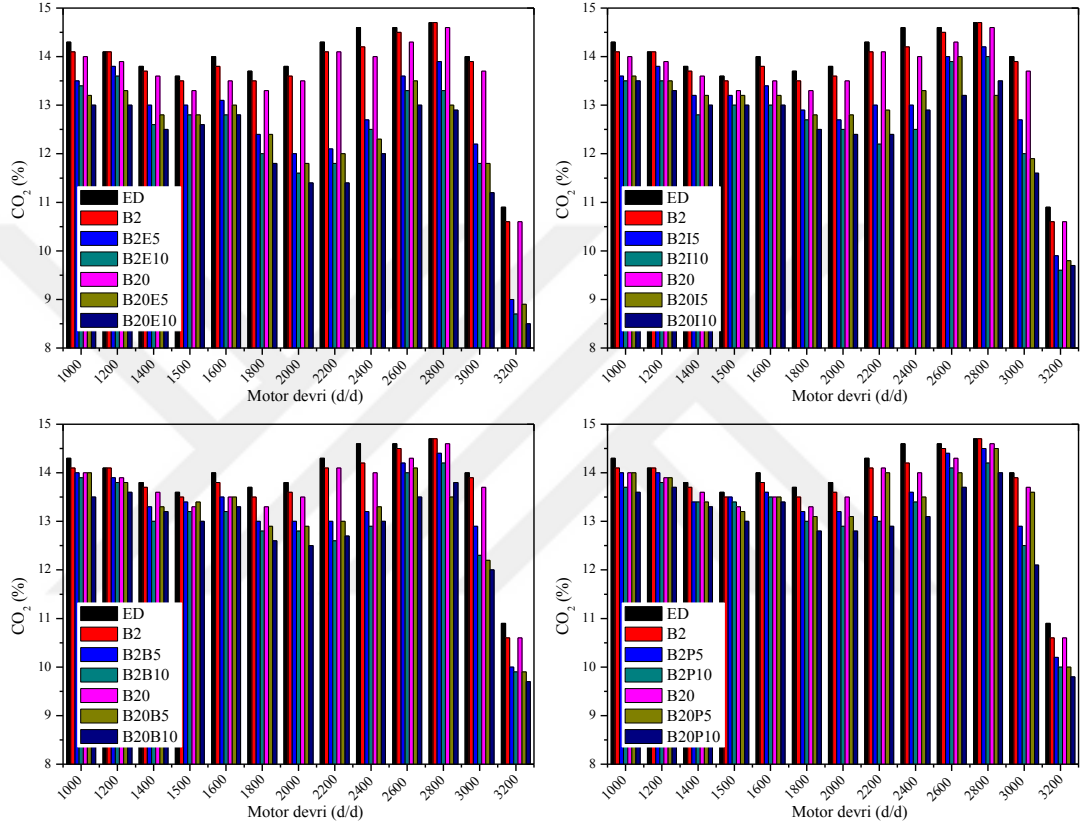
Şekil 4.49. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi Şekil 4.50.'de verilmiştir. Maksimum CO<sub>2</sub> emisyonları B2E10 yakıtında 1200 d/d'de, B20E5, B20E10 ve B20I5 yakıtlarında 2600 d/d motor devrinde, diğer yakıtlarda ise 2800 d/d motor devrinde elde edilmiştir. Maksimum CO<sub>2</sub> emisyonları B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla %13.9, 13.6, 13.5 ve 13.0; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla %14.2, 14.0, 14.0 ve 13.5; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla %14.4, 14.2, 14.1 ve 13.8; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla %14.5, 14.2, 14.5 ve 14.0 olarak tespit edilmiştir.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %9.07 ve 11.35, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.99 ve 10.30; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.03 ve 8.48, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.91 ve 7.39; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.82 ve 6.58, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.68 ve 5.47; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.81 ve 5.31, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.66 ve 4.17; B20E5 ve B20E10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %10.97 ve %13.60, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %8.94 ve 11.63; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.24 ve 9.10, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %5.11 ve 7.03; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %5.91 ve 7.80, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.76 ve 5.70; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.74 ve 6.81, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.55 ve 4.69 oranlarında düşük çıkmıştır.

Karışım yakıtlara alkol ilavesi ise CO<sub>2</sub> emisyonlarının düştüğü ve karışımdaki alkol oranının artması ile CO<sub>2</sub> emisyonlarının daha da düştüğü görülmektedir. Bunun temel nedeni alkollerin ED ve B100 yakıtlarına göre daha az oranda karbon atomu içermesinden kaynaklanmaktadır. Karbon atomu sıralamasına göre incelenirse alkoller içerisinde en düşük CO<sub>2</sub> emisyonu oluşturan karışımlar 2 karbon atomu içeren E ilaveli yakıtlardır. E ilaveli yakıtları ise sırasıyla 3 karbon atomu içeren I ilaveli yakıtlar, 4 karbon atomu içeren B ilaveli yakıtlar ve 5 karbon atomu içeren P

ilaveli yakıtlar izlemektedir. Ayrıca, alkollerin silindir içerisinde yakıtın homojen karışımına engel olması ve yanma hızının artması ile karbon ve oksijen atomlarının reaksiyon sürelerini kısaltmasında CO<sub>2</sub> emisyonlarını azalttığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 362].

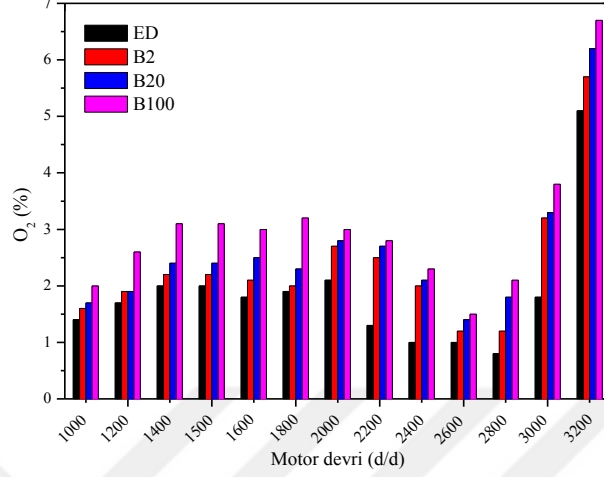


Şekil 4.50. Farklı alkol ilavesinin CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisi

#### 4.8.5. O<sub>2</sub> emisyonu

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının test edilmesi sonucu ortaya çıkan O<sub>2</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı değişimleri Şekil 4.51.'de verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 kullanımı sonucunda maksimum O<sub>2</sub> emisyonları 3200 d/d motor devrinde sırasıyla %5.1, 5.7, 6.2 ve 6.7 olarak tespit edilmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının test edilmesi sonucunda oluşan O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %34.49, 50.31 ve 75.70 oranlarında yüksek çıkmıştır. Karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artışına bağlı olarak O<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun temel nedeni biyodizelin bünyesinde bulunan %10-12

oranındaki oksijendir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [57, 303].

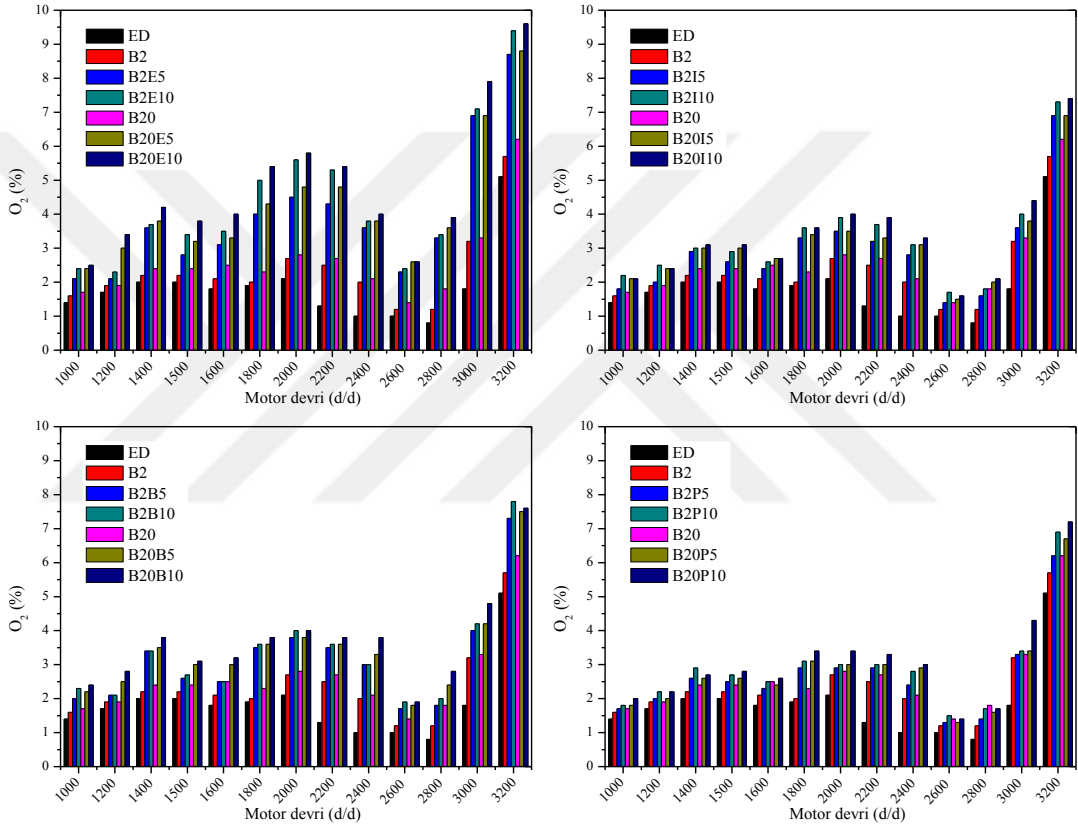


Şekil 4.51. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak O<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi Şekil 4.52.'de verilmiştir. Maksimum O<sub>2</sub> emisyonları tüm test yakıtları için 3200 d/d motor devrinde elde edilmiştir. Maksimum O<sub>2</sub> emisyonları B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla %8.7, 9.4, 8.8 ve 9.6; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla %6.9, 7.3, 6.9 ve 7.4; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla %7.3, 7.8, 7.5 ve 7.6; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla %6.2, 6.9, 6.7 ve 7.2 olarak ölçülmüştür.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %136.75 ve 162.88, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %71.84 ve 91.54; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %68.95 ve 90.29, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %25.25 ve 41.02; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %84.62 ve 93.45, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %36.75 ve 43.53; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %52.74 ve 67.72, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %13.70 ve 24.77; B20E5 ve B20E10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %157.79 ve 188.55, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %67.43 ve 88.33; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %84.39 ve 97.94, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla

%22.71 ve 30.83; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %102.59 ve 121.34, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %34.21 ve 45.62; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %62.82 ve 78.38, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %8.29 ve 18.60 oranlarında yüksek çıkmıştır. Alkol ilavesi ile karışım yakıtların O<sub>2</sub> emisyonlarının arttığı görülmektedir. Bu durum alkollerin bünyesinde bulunan oksijen ile açıklanabilir.



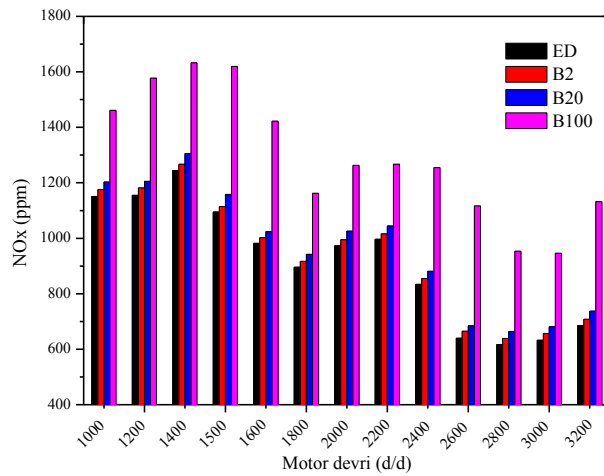
Şekil 4.52. Farklı alkol ilavesinin O<sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisi

#### 4.8.6. NO<sub>x</sub> emisyonu

Havanın yaklaşık %78'ini oluşturan azot (N<sub>2</sub>) normal şartlar altında yanma sonucu reaksiyona girmemektedir. Ancak, silindir içerisindeki yanmadan dolayı ulaşılan yüksek sıcaklık nedeniyle silindire emilen havanın içerisindeki azot ile oksijen reaksiyona girerek azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksiti oluşturan ana yapı NO'dur. Egzoz gazlarının atmosfere atılması ile NO'nun bir bölümü NO<sub>2</sub> ve diğer NO<sub>x</sub>'lere dönüşmektedir [10, 20, 315, 324].

ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının test edilmesi sonucunda ortaya çıkan NO<sub>x</sub> emisyonları Şekil 4.53.'te verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 kullanımı sonucunda maksimum NO<sub>x</sub> emisyonları maksimum torkun elde edildiği 1400 d/d motor devrinde sırasıyla 1244, 1267, 1305 ve 1633 ppm olarak tespit edilmiştir. Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artışına bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının da arttığı görülmektedir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının kullanımı ile elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %2.62, 5.74 ve 43.74 oranlarında yüksek çıkmıştır.

NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşmasındaki en önemli parametreler silindir içi sıcaklığı ve basıncı, tutuşma gecikmesi ve yanma süresidir. Biyodizelin efektif özgül yakıt tüketiminin ED yakıtına göre yüksek olması ve bünyesinde %10-12 oranında oksijen içermesinden dolayı yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma bölgelerinin sayısını artırmıştır ve böylece yüksek ortam sıcaklığının olduğu bölge sayısı artarak daha yüksek miktarda NO<sub>x</sub> emisyonları meydana gelmiştir. Motor devrinin artışına bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının düzgün bir dağılım göstermediği görülmektedir. Fakat motor devrinin artışına bağlı olarak efektif özgül yakıt tüketiminin artmasına rağmen volümetrik verimin azalması tüm test yakıtları için NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 20, 204, 303, 333, 387].



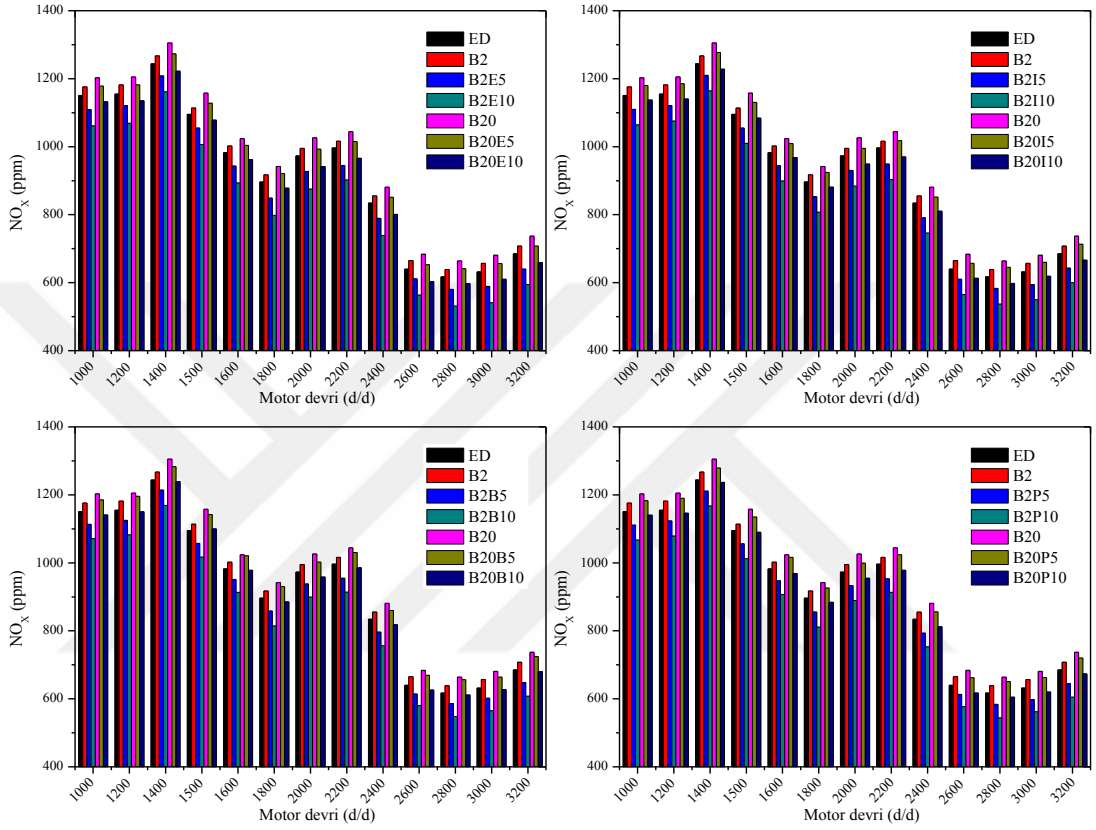
Şekil 4.53. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının değişimi Şekil 4.54.'te verilmiştir. Maksimum NO<sub>x</sub> emisyonları tüm test yakıtları için maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d motor devrinde tespit edilmiştir. Maksimum NO<sub>x</sub> emisyonları B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 1208, 1161, 1273 ve 1222 ppm; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 1210, 1164, 1277 ve 1228 ppm; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 1214, 1169, 1283 ve 1239 ppm; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 1211, 1167, 1279 ve 1237 ppm olarak ölçülmüştür.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.73 ve 10.36, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %7.15 ve 12.62; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.48 ve 2.87, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.90 ve 5.34; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %3.90 ve 8.48, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.34 ve 10.80; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %4.21 ve 8.81, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %6.64 ve 11.22 oranlarında azalmıştır. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %2.63 yüksek ve 10.36 düşük, B20 yakıtından ortalama sırasıyla %2.94 ve 15.19 düşük; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %4.48 ve 9.71 düşük, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %9.64 ve 14.58 düşük; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %4.06 yüksek ve 0.93 düşük, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %1.58 ve 6.29 düşük; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları ED yakıtından ortalama sırasıyla %3.55 yüksek ve 1.61 düşük, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %2.07 ve 6.93 düşük çıkmıştır.

Alkol ilavesinin yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürdüğü ve alkol oranının artışına bağlı olarak bu düşüşün daha da fazlaştığı görülmektedir. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması, oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip olmasından dolayı silindir içi artık gazların sıcaklığının düşmesi ile N ve O atomları tepkimeye girememekte ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca, alkollerin

yoğunluk ve viskozite değerlerinin biyodizel ve dizel yakıtından düşük olması sebebiyle silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığına doğrudan etki etmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [10, 308].



Şekil 4.54. Farklı alkol ilavesinin NO<sub>x</sub> emisyonu üzerine etkisi

#### 4.8.7. Duman koyuluğu

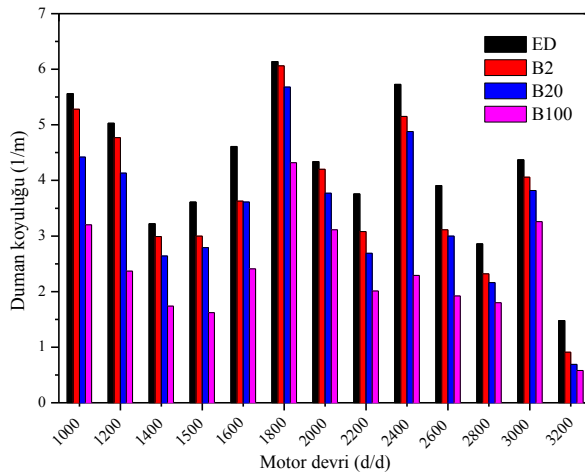
Duman koyuluğu TSE 11365 standardına göre, egzoz gazı içerisinde bulunan şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0, ışığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu ise %100'dür. Işık absorblama katsayısı egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışın aydınlatma şiddetinin (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azalmasıyla ilgili bir katsayıdır [6]. Dizel motorunda silindir içerisinde yanma esnasında oksijenin yetersiz olması sıvı formda bulunan hidrokarbon bileşikli yakıt damlacıklarının çok bulunduğu yerde katı halde karbon parçacıklarının



oluşmasına ve yanmayarak is partikülleri şeklinde dışarı atılmasına neden olur. Işık absorblama katsayısını etkileyen en önemli parametreler silindire alınan hava miktarı, yakıtın bünyesinde bulunan oksijen miktarı ve yakıtın silindir içerisinde hızla hava ile karışamayıp buharlaşmamasıdır.

ED, B2, B20 ve B100 yakıtların test edilmesi ile elde edilen duman koyuluğu değerleri Şekil 4.55.'te verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için maksimum duman koyuluğu 1800 d/d'de sırasıyla 6.14, 6.06, 5.68 ve 4.32 l/m olarak ölçülmüştür. B2, B20 ve B100 yakıtı kullanımı sonucunda elde edilen duman koyuluğu değerleri ED kullanımı sonucunda elde edilen duman koyuluğu değerinden ortalama sırasıyla %13.32, 21.42 ve 44.84 oranlarında düşüktür.

Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artması duman koyuluğu değerlerinin düşmesini sağlamıştır. Biyodizelin sahip olduğu yüksek miktarda oksijen sayesinde yakıttaki karbon atomları tepkimeye girebilmekte ve karbon atomları CO ve CO<sub>2</sub> formunda atmosfere atılabilmektedir. Püskürtme zamanı ve tutuşma gecikmesi süresi de duman oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Yüksek motor devirlerinde yakıtın oksidasyonu kötüleşmekte ve sonuç olarak dizel yakıt için duman oluşumu artar. Biyodizelde ise içerisinde bulunan oksijen sayesinde yakıt zerreciklerinin oksidasyonu iyileştiği için dizel yakıtına göre duman koyuluğunun azaldığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [3, 10, 158, 303, 339].



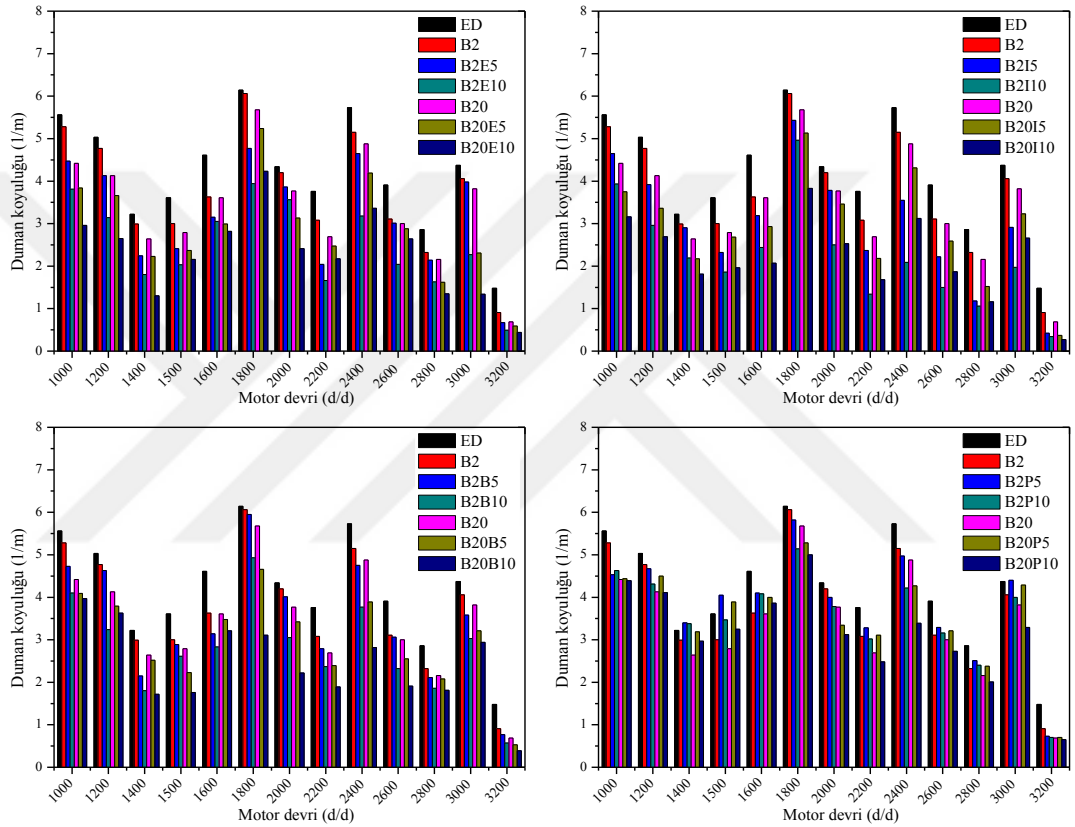
Şekil 4.55. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının duman koyulukları

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak duman koyuluğu değerlerinin değişimi Şekil 4.56.'da verilmiştir. Maksimum duman koyuluğu B20B10 yakıtında 1000 d/d'de, diğer tüm test yakıtlarında ise 1800 d/d'de elde edilmiştir. Maksimum duman koyuluğu değerleri B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 için sırasıyla 4.77, 3.94, 5.24 ve 4.23 1/m; B2I5, B2I10, B20I5 ve B20I10 için sırasıyla 5.43, 4.96, 5.13 ve 3.83 1/m; B2B5, B2B10, B20B5 ve B20B10 için sırasıyla 5.95, 4.93, 4.66 ve 3.97 1/m; B2P5, B2P10, B20P5 ve B20P10 için sırasıyla 5.82, 5.14, 5.28 ve 5.00 1/m olarak ölçülmüştür.

B2E5 ve B2E10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %26.36 ve 42.36, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %15.30 ve 33.78; B2I5 ve B2I10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %32.41 ve 49.54, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %23.23 ve 42.75; B2B5 ve B2B10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %21.20 ve 35.43, B2 yakıtına göre ortalama sırasıyla %9.23 ve 25.62; B2P5 ve B2P10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %10.47 ve 16.39 oranlarında düşük çıkmıştır. B2P10 yakıtının duman koyuluğu değerleri B2 yakıtına göre ortalama %3.50 düşük çıkarken B2P5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B2 yakıtına göre ortalama %3.25 yüksek çıkmıştır. B20E5 ve B20E10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %33.78 ve 47.45, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %15.56 ve 32.83; B20I5 ve B20I10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %34.29 ve 49.77, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %17.54 ve 37.04; B20B5 ve B20B10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %30.94 ve 44.43, B20 yakıtına göre ortalama sırasıyla %12.34 ve 29.42; B20P5 ve B20P10 yakıtlarının duman koyuluğu değerleri ED yakıtına göre ortalama sırasıyla %15.86 ve 25.81 oranlarında düşük çıkmıştır. B20P10 yakıtının duman koyuluğu değerleri B20 yakıtına göre ortalama %5.26 düşük çıkarken B20P5 yakıtının duman koyuluğu değerleri B20 yakıtına göre ortalama %7.39 yüksek çıkmıştır.

Alkol ilavesi ile yakıtların duman koyuluğu değerlerinin düştüğü, alkol oranının artması ile duman koyuluğu değerlerinin daha da düştüğü görülmektedir. Dizel

difüzyon alevi ilerlerken yakıtın yoğun olduğu bölgelerdeki duman oluşum eğiliminin kimyasal olarak kontrolünde, alkollerin içerisinde atomik bağla bağlı olan oksijenin pozitif bir etkisi olmaktadır. Bu sebeple, alkollerin bünyesinde bulunan oksijenden dolayı duman koyuluğunun azaldığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [6, 10, 308, 320].

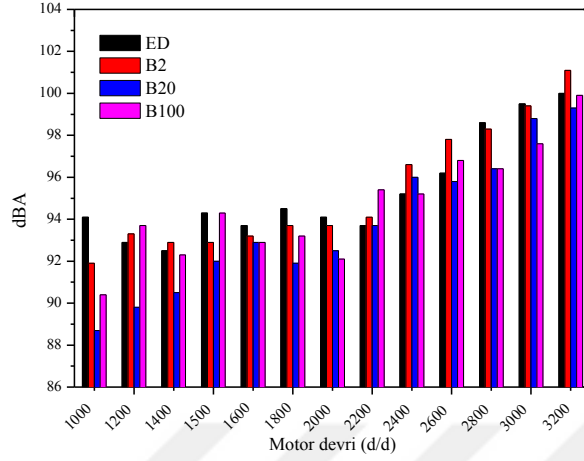


Şekil 4.56. Farklı alkol ilavesinin duman koyuluğu üzerine etkisi

#### 4.9. Motor gürültü sonuçları

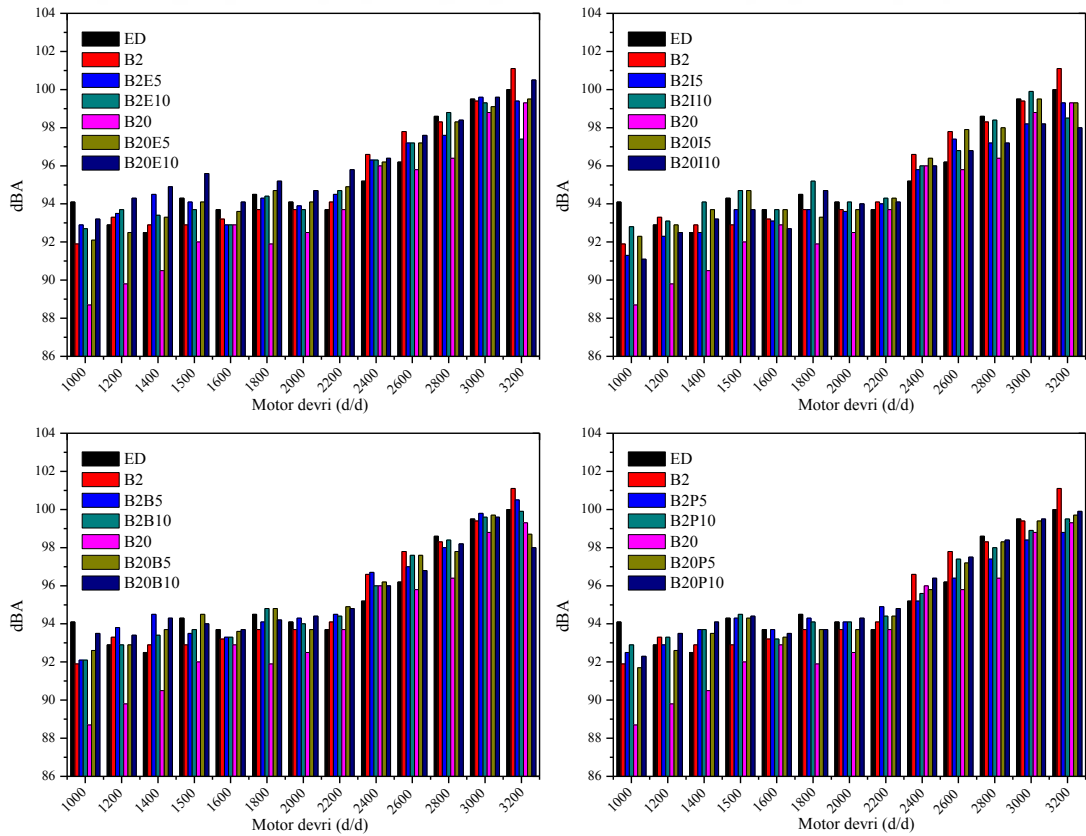
ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının test edilmesi sonucunda ortaya çıkan gürültü değerleri Şekil 4.57.'de verilmiştir. ED, B2, B20 ve B100 yakıtları için maksimum gürültü değerleri 3200 d/d'de sırasıyla 100, 101.1, 99.3 ve 99.9 dBA, minimum gürültü değerleri ise ED yakıtı için 1400 d/d'de 92.5 dBA, B2, B20 ve B100 yakıtları için 1000 d/d'de sırasıyla 91.9, 88.7 ve 90.4 dBA olarak tespit edilmiştir. Genel olarak, motor devrinin artışı ile gürültü değerlerinin de arttığı görülmektedir. B2,

B20 ve B100 yakıtlarının gürültü değerleri ED yakıtına göre belirli devirlerde yükselme ve azalmalar göstermiştir.



Şekil 4.57. ED, B2, B20 ve B100 yakıtlarının motor gürültü değerleri

Biyodizel, dizel ve farklı alkollerin (E, I, B, P) karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor devrine bağlı olarak motor gürültü değerlerinin değişimi Şekil 4.58.'de verilmiştir. Maksimum gürültü değerleri 3000-3200 d/d'de, minimum gürültü değerleri ise 1000-1200 d/d'de ölçülmüştür.



Şekil 4.58. Farklı alkol ilavesinin motor gürültü değerleri üzerine etkisi

#### 4.10. Enerji analizi sonuçları

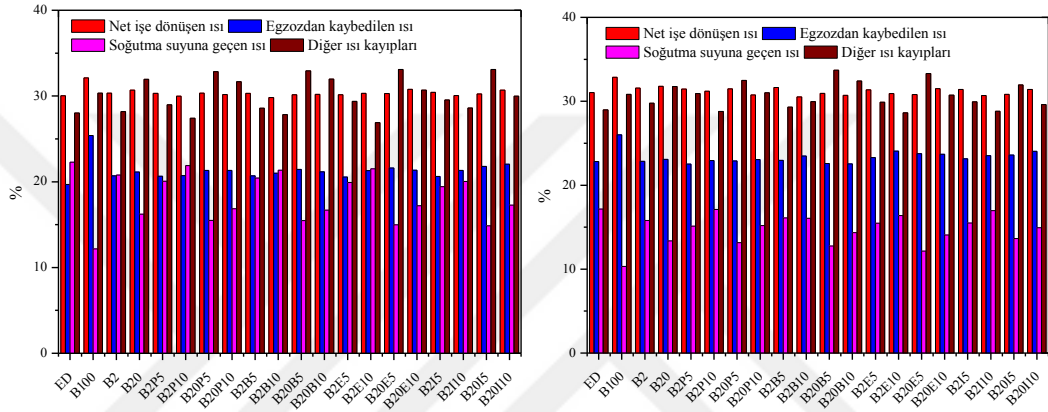
Enerji analizinde maksimum efektif motor torkunun ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde ED, B2, B20, B100, B2E5, B2E10, B2I5, B2I10, B2B5, B2B10, B2P5, B2P10, B20E5, B20E10, B20I5, B20I10, B20B5, B20B10, B20P5 ve B20P10 yakıtlarından elde edilen enerjinin işe dönüşüm miktarı ve diğer yollar ile kaybedilen ısı miktarları olarak incelenmiştir. Yakıt enerjisi, net işe dönüşen ısı, egzozdan kaybedilen ısı, soğutma suyundan kaybedilen ısı ve diğer yollar ile çevre atılan ısı kayıpları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Motor devrinin artması ile birlikte birim zamanda silindir içerisine alınan yakıt miktarının artışına bağlı olarak yakıt enerjisinin arttığı, efektif özgül yakıt tüketiminin artmasına bağlı olarak net işe dönüşen ısının arttığı, hava ve yakıt tüketiminin artışına bağlı olarak egzozdan kaybedilen ısının arttığı, hareket eden parçaların ataletinden kaynaklanan dinamik kuvvetlerin artması, motor yağlama yağının sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin çok fazla düşmesi ve ısı transferinin artması ile soğutma suyuna geçen ısının ve diğer ısı kayıplarının arttığı söylenebilir.

**Tablo 4.8.** 1400 ve 2600 d/d’de test yakıtlarının enerji analizi sonuçları

Yakıt	Yakıt enerjisi (kW)		Net işe dönüşen ısı (kW)		Egzozdan kaybedilen ısı (kW)		Soğutma suyuna geçen ısı (kW)		Diğer ısı kayıpları (kW)	
	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d
ED	16.838	24.201	5.057	7.511	3.315	5.524	3.750	4.153	4.716	7.013
B100	14.001	20.439	4.497	6.715	3.554	5.317	1.703	2.108	4.246	6.299
B2	16.678	23.976	5.060	7.571	3.451	5.479	3.465	3.787	4.702	7.139
B20	16.193	23.321	4.969	7.411	3.422	5.384	2.627	3.118	5.175	7.408
B2P5	16.586	23.847	5.027	7.500	3.423	5.369	3.329	3.607	4.807	7.371
B2P10	16.197	23.270	4.857	7.259	3.355	5.335	3.546	3.979	4.439	6.697
B20P5	15.942	22.958	4.837	7.226	3.401	5.253	2.468	3.020	5.236	7.459
B20P10	15.856	22.836	4.783	7.026	3.380	5.263	2.673	3.468	5.020	7.080
B2B5	16.491	23.676	4.997	7.491	3.410	5.438	3.369	3.811	4.714	6.937
B2B10	16.070	23.057	4.792	7.035	3.373	5.415	3.431	3.700	4.474	6.907
B20B5	15.917	22.911	4.798	7.089	3.414	5.177	2.464	2.925	5.242	7.720
B20B10	15.794	22.719	4.769	6.977	3.341	5.119	2.636	3.258	5.048	7.365
B2E5	16.264	23.349	4.903	7.322	3.343	5.437	3.238	3.614	4.779	6.977
B2E10	15.677	22.496	4.750	6.955	3.338	5.412	3.374	3.688	4.216	6.441
B20E5	15.719	22.604	4.763	6.963	3.398	5.368	2.355	2.744	5.204	7.529
B20E10	15.327	22.039	4.718	6.942	3.271	5.220	2.637	3.101	4.702	6.775
B2I5	16.309	23.410	4.962	7.356	3.363	5.417	3.168	3.627	4.816	7.010
B2I10	15.811	22.679	4.752	6.961	3.370	5.334	3.168	3.851	4.521	6.533
B20I5	15.787	22.719	4.774	7.001	3.441	5.361	2.347	3.099	5.224	7.259
B20I10	15.383	22.112	4.721	6.945	3.393	5.316	2.655	3.302	4.613	6.548

1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde test yakıtlarının enerji yüzdelерinin değışimi ise Şekil 4.59.'da gösterilmiştir. Tüm test yakıtlarının yüzdelik dağılımları incelendiğinde 1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde net işe dönüşen ısı sırasıyla %29.82-32.12 ve 30.51-32.85, egzozdan kaybedilen ısı sırasıyla %19.69-25.38 ve %22.52-26.01, soğutma suyuna geçen ısı sırasıyla %12.16-22.27 ve %10.31-17.16, ve diğer ısı kayıpları sırasıyla %26.89-33.11 ve %28.63-33.70 aralığında değışim göstermiştir.



Şekil 4.59. Test yakıtlarının 1400 ve 2600 d/d'deki enerji dağılımları

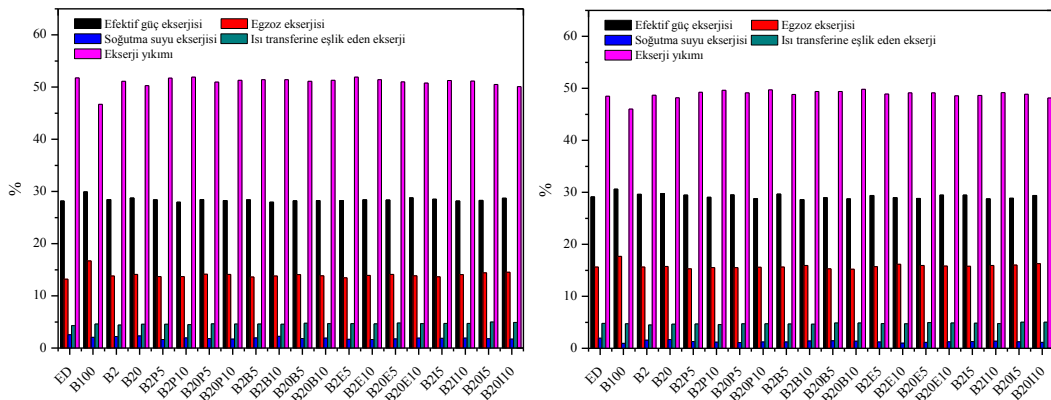
#### 4.11. Ekserji analizi sonuçları

Sadece enerji analizine göre bir değerlendirme yapılarak motorun ekonomik çalışma şartlarının belirlenmesi yeterli olmamaktadır. Enerji analizinin yanında ekserji analizinin de yapılması önem arz etmektedir. Test yakıtlarının bir dizel motorda kullanılmasıyla elde edilen ekserji analizi sonuçları maksimum tork ve maksimum gücün elde edildiği 1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde incelenmiştir. Yakıt ekserjisi, efektif güç ekserjisi, egzoz ekserjisi, soğutma suyu ekserjisi, ısı transferine eşlik eden ekserji, ekserji yıkımı ve üretilen toplam entropi değerleri Tablo 4.9.'da verilmiştir.

**Tablo 4.9.** 1400 ve 2600 d/d’de test yakıtlarının ekserji analizi sonuçları

Yakıtlar	Yakıt ekserjisi (kW)		Etketif güç ekserjisi (kW)		Egzoz ekserjisi (kW)		Soğutma suyu ekserjisi (kW)		Isı transferine eşlik eden ekserji (kW)		Ekserji yıkımı (kW)		Üretilen toplam entropi (kW/K)	
	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d	1400 d/d	2600 d/d
ED	17.947	25.794	5.057	7.511	2.366	4.037	0.459	0.502	0.773	1.237	9.291	12.506	0.031	0.042
B100	15.021	21.928	4.497	6.715	2.509	3.878	0.306	0.210	0.692	1.034	7.017	10.090	0.024	0.034
B2	17.779	25.559	5.060	7.571	2.458	3.994	0.389	0.402	0.784	1.145	9.088	12.447	0.030	0.042
B20	17.289	24.898	4.969	7.411	2.438	3.917	0.401	0.420	0.786	1.156	8.694	11.994	0.029	0.040
B2P5	17.687	25.431	5.027	7.500	2.419	3.888	0.291	0.326	0.804	1.186	9.146	12.530	0.031	0.042
B2P10	17.382	24.972	4.857	7.259	2.382	3.879	0.335	0.296	0.783	1.142	9.024	12.396	0.030	0.042
B20P5	17.006	24.490	4.837	7.226	2.403	3.799	0.311	0.271	0.788	1.158	8.667	12.036	0.029	0.040
B20P10	16.935	24.390	4.783	7.026	2.388	3.800	0.291	0.293	0.781	1.147	8.691	12.124	0.029	0.041
B2B5	17.585	25.248	4.997	7.491	2.395	3.943	0.343	0.306	0.809	1.181	9.041	12.326	0.030	0.041
B2B10	17.143	24.597	4.792	7.035	2.366	3.917	0.385	0.345	0.783	1.145	8.818	12.156	0.030	0.041
B20B5	17.000	24.470	4.798	7.089	2.394	3.744	0.312	0.355	0.806	1.190	8.690	12.091	0.029	0.041
B20B10	16.876	24.275	4.769	6.977	2.336	3.695	0.322	0.330	0.789	1.178	8.660	12.095	0.029	0.041
B2E5	17.343	24.899	4.903	7.322	2.336	3.913	0.289	0.301	0.811	1.181	9.004	12.181	0.030	0.041
B2E10	16.724	23.997	4.750	6.955	2.325	3.878	0.273	0.239	0.777	1.132	8.599	11.794	0.029	0.040
B20E5	16.788	24.142	4.763	6.963	2.368	3.845	0.295	0.277	0.803	1.195	8.560	11.862	0.029	0.040
B20E10	16.377	23.548	4.718	6.942	2.266	3.723	0.311	0.298	0.767	1.145	8.315	11.440	0.028	0.038
B2I5	17.391	24.964	4.962	7.356	2.373	3.937	0.322	0.320	0.820	1.206	8.915	12.146	0.030	0.041
B2I10	16.866	24.194	4.752	6.961	2.371	3.854	0.319	0.329	0.796	1.152	8.628	11.898	0.029	0.040
B20I5	16.862	24.265	4.774	7.001	2.428	3.888	0.301	0.300	0.838	1.216	8.520	11.860	0.029	0.040
B20I10	16.436	23.626	4.721	6.945	2.388	3.849	0.282	0.274	0.809	1.183	8.236	11.374	0.028	0.038

1400 ve 2600 d/d motor devrinde test yakıtlarının ekserji yüzdelerinin değişimi ise Şekil 4.60.’ta gösterilmiştir. Tüm test yakıtlarının yüzdelik dağılımları incelendiğinde 1400 ve 2600 d/d motor devirlerinde efektif güç ekserjisi sırasıyla %27.94-29.94 ve 28.60-30.62, egzoz ekserjisi sırasıyla %13.18-16.71 ve %15.22-17.69, soğutma suyu ekserjisi sırasıyla %1.63-2.56 ve %0.96-1.95, ısı transferine eşlik eden ekserji %4.31-4.97 ve %4.48-5.01 ve ekserji yıkımı sırasıyla %46.72-51.92 ve %46.02-49.82 aralığında değişim göstermiştir.

**Şekil 4.60.** Test yakıtlarının 1400 ve 2600 d/d’deki ekserji dağılımları

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sarı hardal (*Sinapis alba* L.) tohumlarından vidalı pres yardımıyla elde edilen sarı hardal ham yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimine etki eden parametreler (metanol/yağ molar oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi) YYM ile optimize edilerek en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği koşullarda pilot tesiste SHYB üretimi gerçekleştirilmiştir. Ardından ED, SHYB ve farklı alkoller (E, I, B, P) ile hazırlanan karışım yakıtların bazı önemli yakıt özellikleri tespit edilmiş, bu yakıtlara daldırılan farklı metaller (alüminyum, bakır, çinko, pirinç) üzerine olan korozyon etkileri belirlenmiş, motor performansı, silindir içi yanma analizi, egzoz emisyonları, enerji ve ekserji analizleri değerlendirilmiş ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

Sarı hardal yağının düşük serbest yağ asidi (%0.914) içeriğine sahip olmasından dolayı tek kademeli transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı parametrelerin kullanıldığı deneylerde en yüksek biyodizel verimi 7.407:1 metanol/yağ molar oranı, %0.627 katalizör, 61.837°C reaksiyon sıcaklığı ve 62.122 dakika reaksiyon süresinde %96.695 olarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda üretilen biyodizelin kinematik viskozite, Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller ile fosfor içeriği hariç diğer yakıt özelliklerinin standartları sağladığı, kinematik viskozitenin TS EN 14214'te verilen standart değerden %8.26 oranında yüksek çıktığı, ancak ASTM D6751 standardını sağladığı tespit edilmiştir. ED yakıtına biyodizel ilavesi ile ısı değeri, kinematik viskozite, su içeriği, yoğunluk, asit sayısı, BN, AN, SFTN ve DN olumsuz yönde etkilenirken; parlama noktası değerinin iyileştiği belirlenmiştir. Ayrıca bu karışımlara alkol ilavesi ile kinematik viskozite, yoğunluk, BN, AN, SFTN ve DN özelliklerinin iyileştiği; su içeriği, parlama noktası, ısı değeri gibi özelliklerinin kötüleştiği belirlenmiştir.

Korozyon testi sonuçlarına göre daldırma zamanının artışına bağlı olarak alüminyum, bakır, çinko ve pirincin KH'lerinin azaldığı, malzemelerin KH'leri karşılaştırıldığında ise en çok korozyona uğrayan bakır iken bakırı sırasıyla pirinç,



Çinko ve alüminyumun izlediği, yakıtlara alkol ilavesi ile korozyon hızlarının arttığı tespit edilmiştir.

Motor performansı sonuçlarına göre ED yakıtına %2 oranında biyodizel katılması ile viskozite ve yoğunluğun bir miktar artması ile pompalama kaçaklarının azalması ve oksijen içeriğinin artması ile performans değerlerinin iyileştiği, biyodizel oranının daha da artması ve alkol katılması ile dizel yakıtından daha az ısıl değere sahip olmasından dolayı motor performans değerlerinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir.

Motor devrinin artması ile maksimum silindir basıncının elde edildiği KMA değerlerinin artan piston hızına göre yanma hızının aynı oranda artmaması ile genelde üst ölü noktadan uzaklaştığı, ayrıca alkol ilavesi ile karışım yakıtlarının setan sayılarının azalması ile tutuşma gecikmelerinin artmasından dolayı da yakıtların maksimum silindir basıncı değerlerini üst ölü noktadan uzaklaştığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda motor devrinin artmasına bağlı olarak biyodizelin kötü püskürtme karakteristiklerinin biraz daha düzelmesi ve ısı transfer hızının da azalmasından dolayı maksimum NISH'lerin azaldığı, karışım yakıtlardaki biyodizel oranının artması ile viskozite ve yoğunluk değerlerinin ED yakıtından yüksek olması, yakıtın püskürtme karakteristiklerini kötüleştirdiğinde maksimum NISH'lerin arttığı, alkol ilavesi yapılan yakıtların maksimum NISH değerlerinin genelde yükseldiği görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile TG değerlerinin genelde kısaldığı, alkol ilavesi ile TG değerlerinin arttığı, TG'yi etkileyen en önemli yakıt özelliklerinden bir tanesi olan setan sayısının biyodizelde daha yüksek olması, buna karşın alkollerin setan sayısının ise düşük olması sonucunda elde edilen değerler beklenen sonuçlara büyük ölçüde yakın olduğu tespit edilmiştir.

Dizel yakıtı içerisine %2 gibi düşük oranda biyodizel ilavesinin biyodizelin sahip olduğu %10-12 oranında oksijenden dolayı yanma verimini artırarak tam yanmanın oluşmasına yardımcı olduğu ve efektif termik verimi bir miktar artırdığı, ayrıca, yoğunluk ve viskozitenin bir miktar yükselmesi de pompalama kaçaklarını azalttığı için bir miktar daha fazla yakıt püskürtülerek efektif termik verimi artırdığı, alkol ilavesinin yakıtların efektif termik verimlerini genel olarak düşürdüğu, alkol oranının artışına bağlı olarak bu düşüşün daha da arttığı, karışım yakıtlarda biyodizel oranının

artışına bağlı olarak volümetrik verimin arttığı, motor devrinin artışına bağlı olarakta genel olarak volümetrik verimin azaldığı, motor devrinin artması ile silindire emilen hava hızının artmasına rağmen volümetrik verimin azalması emme subabının açık kalma süresinin kısalmamasından kaynaklanmaktadır. Alkol ilavesi ile volümetrik verim değerlerinin arttığı görülmektedir.

Karışım yakıtlarda biyodizel oranının artışına bağlı olarak EGS, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarının arttığı, buna karşın duman koyuluğu, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığı; alkol ilave edilen karışım yakıtlarda ise EGS, duman koyuluğu, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığı, O<sub>2</sub> emisyonunun ise arttığı tespit edilmiştir. Motor gürültü değerlerinin belirli devirlerde yükselme ve azalmalar gösterdiği, maksimum gürültü değerlerinin 3000-3200 d/d'de, minimum gürültü değerlerinin ise 1000-1200 d/d'de olduğu tespit edilmiştir.

Test yakıtlarının maksimum efektif motor torkunun elde edildiği 1400 d/d'de ve maksimum efektif motor gücünün elde edildiği 2600 d/d'de enerji verimleri sırasıyla %29.82-32.12 ve 30.51-32.85 aralıklarında; ekserji verimleri ise sırasıyla %27.94-29.94 ve 28.60-30.62 aralıklarında hesaplanmıştır.

Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- Sarı hardal tohumundan başka ülkemizde yemeklik değeri olmayan yağlar, hayvansal yağlar ve alg yağları ile biyodizel üretim çalışmaları yapılabilir.
- Transesterifikasyon yöntemi dışındaki diğer biyodizel üretim yöntemleri ile biyodizel üretilip yakıt olarak kullanılması incelenebilir.
- Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan alkol ve katalizör değiştirilerek, alkol ve katalizör türünün üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri de araştırılarak, dizel motorlarına daha uygun biyodizel üretimi konusunda da çalışmalar yapılabilir.
- Üretim maliyetini yükselten bir girdi olarak transesterifikasyon reaksiyonunda alkol olarak en çok kullanılan metanolün yerel kaynaklar ile üretilmesi için çalışmalar yapılarak biyodizel maliyeti düşürülebilir.

- Yapılan kısa süreli motor denemeleri sonucunda SHYB'nin motorun yakıt sistemine olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Ancak, daha uzun süreli motor denemeleri yapılarak SHYB'nin motorun mekanik parçaları, yakıt sistemi ve motorun yağlama yağına etkisi gibi bazı incelemeler yapılabilir.
- Püskürtme avansının değiştirilmesi, yakıtın ısıtılması ve püskürtme basıncının değiştirilmesi gibi parametrik çalışmalar yapılabilir.
- Benzer deneyler farklı deney motorları ve taşıt motorlarıyla da yapılarak elde edilen sonuçlar genelleştirilebilir.
- Biyodizel kullanılan motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonları dizel motora göre daha yüksek çıkmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltıcı yönde çalışmalar yapılabilir.
- Enerji ve ekserji analizi diğer alternatif yakıt çeşitlerine ve değişik tipteki motorlara uygulanabilir.
- SHYB yakıtı, yenilenebilir ve temiz bir yakıt olması nedeniyle dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Ancak SHYB ve diğer biyodizel yakıtların daha yaygın olarak kullanımı ülkemizde biyodizelin vergisinin azaltılması ile daha ucuz üretilmesine bağlıdır.
- Ülkemizin pek çok bölgesinde ikinci ürün olarak da yetiştirilebilecek sarı hardalın ülkemiz ekonomisine sağlayabileceği katkılarda dikkate alınarak, bu alanda yapılacak olan çalışmalara teşvik ve destek verilmelidir.
- Sarı hardal üretim miktarının artırılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve üreticinin üretim girdilerinin azaltılması için üreticilerin gerek sarı hardal tarımı gerekse sarı hardal bitkisinin özellikleri hususunda bilinçlendirilebilir.
- Ülke ekonomisi ve gereklilikleri için biyodizel yakıtlarının çeşitlendirilmesi, ekilemeyen alanlara uygun biyodizel elde edilebilecek ürünlerin ekilmesi sureti ile öncelikle ülkeye ve dolayısıyla insanlığa katkı sağlanmasının da oldukça önemli olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Koç, E., Şenel, M.C., Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-Genel değerlendirme, Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44, 2013.
2. Koç, E., Kaplan, E., Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-I Dünya değerlendirmesi, Termodinamik Dergisi, 187, 70-80, 2008.
3. Karabaş, H., Tütün tohumu yağı metil esterinin dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2009.
4. Demirbaş, L., Türkiye’de enerji sektörü, sektörün problemleri, Avrupa Birliği ve Türkiye’de enerji politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2002.
5. TPAO, Ham petrol ve doğalgaz sektör raporu, Mayıs, 2015.
6. Eryılmaz, T., Hardal yağı biyodizeline farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performans etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2009.
7. <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (23.02.2015).
8. Türkyılmaz, O., Türkiye enerji görünümü, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ocak, 2015.
9. <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=regions&syid=1980&eyid=2014&unit=TBPD> (09.06.2016)
10. Örs, İ., Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
11. EPDK, Petrol piyasası sektör raporu, 2013.
12. Alptekin, E., Çanakçı, M., Farklı hammaddelerden üretilen metil ester ve gliserinin bazı özelliklerinin belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(3), 549-556, 2008.
13. EPDK, Petrol piyasası sektör raporu, 2016.
14. [http://www.globalpetrolprices.com/diesel\\_prices/](http://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/) (27.05.2016).
15. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18762> (18.02.2016).
16. Motorlu kara taşıtları istatistikleri, Yayın No: 4173, Ankara, 2013.

17. Keskin, A., Sağıroğlu, S., Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Mühendis ve Makine*, 51(606), 2-9, 2010.
18. Haşimoğlu, C., İcingür, Y., Öğüt, H., Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(2), 127-135, 2002.
19. Ejder, S.B., Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
20. Demir, B., Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterinin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2009.
21. Su, J., Zhu, H., Bohac, S.V., Particulate matter emission comparison from conventional and premixed low temperature combustion with diesel, biodiesel and biodiesel-ethanol fuels, *Fuel*, 113, 221-227, 2013.
22. Zhu, H., Bohac, S.V., Nakashima, K., Hagen, L.M., Huang, Z., Assanis, D.N., Effect of fuel oxygen on the trade-offs between soot, NO<sub>x</sub> and combustion efficiency in premixed low-temperature diesel engine combustion, *Fuel*, 112, 459-465, 2013.
23. Zhu, H., Bohac, S.V., Nakashima, K., Hagen, L.M., Huang, Z., Assanis, D.N., Effect of biodiesel and ethanol on load limits of high-efficiency premixed lowtemperature combustion in a diesel engine, *Fuel*, 106, 773-778, 2013.
24. Keskin, A., Particulate matter emission control in diesel engines and developments, 5. International Advanced Technologies Symposium, Karabuk, 7 pages, May 13-15, 2009.
25. Zhang, Q., Zhu, Y., Measurements of ultrafine particles and other vehicular pollutants inside school buses in South Texas, *Atmospheric Environment*, 44(2), 253-261, 2010.
26. Chauhan, S.K., Shukla, A., Environmental impacts of production of biodiesel and its use in transportation sector, environmental impact of biofuels, Dr. Marco Aurelio Dos Santos Bernardes (Ed.), InTech, 2011.
27. Motorlu araçlar teknolojisi, Egzoz emisyon kontrolü, 525MT0300, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.
28. Otken, B., Gümüşay, M.Ü., Karayolunda hareket halindeki taşıtların çevreye yaydıkları emisyonların analizi için CBS'de arayüzlerin hazırlanması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 7 sayfa, 11-15 Mayıs, 2009

29. Mofijur, M., Atabani, A.E., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Masum, B.M., A study on the effects of promising edible and non-edible biodiesel feedstocks on engine performance and emissions production: A comparative evaluation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 391-404, 2013.
30. Bhuiya, M.M.K., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., Ashwath, N., Azad, A.K., Hazrat, M.A., Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel-Part 2: Properties, performance and emission characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1129-1146, 2016.
31. Kelen, F., Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87, 2014.
32. Kılıç, E., Arın, S., Durgut, M.R., Tekirdağ ili benzinli araçlarının egzoz emisyonu üzerine bir araştırma, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 197-203, 2006.
33. King, R.T., Design of a SCR system to reduce NO<sub>x</sub> emissions of the 2003 West Virginia University Future Truck, MSc. Thesis, West Virginia University, Morgantown, 2007.
34. [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com) (22.01.2014).
35. Eliçin, A.K., Saçılık, K., Erdoğan, D., Haşhaş yağı esterlerinin bir diesel motorda kullanım olanaklarının belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(3), 137-144, 2007.
36. Karaosmanoğlu, F., Türkiye için çevre dostu yenilenebilir bir yakıt adayı: Biyomotorin, *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, ICCI Özel Sayısı, 50-56, 2002.
37. Çalışkan, Ö., Odabaş, M.S., Çamaş, N., Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) tohumunun Biyoyakıt olarak değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2), 46-55, 2009.
38. Şahin, S., Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2013.
39. Enerji ekipmanları yerli üretimi durum değerlendirmesi ve öneriler, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/621, Ankara, Ekim 2014,
40. Oğuz, H., Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi, Doktora Tezi Selçuk Üniversitesi, Konya, 2004.
41. Alptekin, E., Çanakçı, M., Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Mühendis ve Makine*, 47(561), 57-64, 2006.

42. Çildir, O., Çanakçı, M., Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(2), 367-372, 2006.
43. Eryılmaz, T., Motorin-biyodizel karışım oranlarının motor performansına etkisi, Biyoyakıt Dünyası, 6, 54-57, 2006.
44. Gizlenci, Ş., Acar, M., Enerji bitkileri tarımı ve biyoyakıtlar (Biyomotorin, Biyoetanol, Biyomas), Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Rapor, 1-18, Samsun, 2008.
45. Gizlenci, Ş., Acar, M., Şahin, M., Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının (Biyodizel, Biyoetanol ve Biyokütle) projeksiyonu, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 8(3), 337-344, 2012.
46. Güçvardar, E., Soya yağı metil esterden elde edilen biyodizelin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2006.
47. Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R., Motor termodinamiği, Alfa Akademi Basm Yayım Dağıtım Ltd. Şti, İstanbul, 2004.
48. Başoğlu, F., Yemeklik yağ teknolojisi, Dora Yayınları, Ekim, Bursa, 2004.
49. Uğur, A.E., Türkiye’de yağlı tohum bitkileri üretimi ve bitkisel yağ sanayi, YABİTED I. Bitkisel Yağ Kongresi, 2004.
50. Kolsarıcı, Ö., Biyodizel üretiminde değerlendirilebilecek yağlı tohumlu bitkilerimizin potansiyeli, Biyoyakıt Dünyası Dergisi, 2, 56-58, 2006.
51. <http://www.bysd.org.tr/> (11.05.2016).
52. Bitkisel üretim istatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/> (08.06.2016).
53. Alpaslan, M., Demir, N., Yemeklik yağlar ve margarinler, International 2<sup>nd</sup> Halal and Healthy Food Congress, Konya, 337-343, November 7-10, 2013.
54. Erfa, M.A., Ham ve rafine ayçiçeği yağı üretiminde TS EN ISO 22000 gıda güvenliği sisteminin kurulması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ, 2007.
55. Saygın Gümüşkesen, A., Bitkisel Yağ Teknolojisi, Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği Yayın No: 5, Asya Tıp Yayıncılık Ltd. Şti., Bornova, İzmir, 1999.
56. Kılılı, F., Biyodizel üretiminde kullanılabilir yağ bitkileri ve yakıtla ilişkili önemli özellikleri, Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, 41-48, 14-15 Aralık, 2006.

57. Yumak, B., Tavuk yağı metil ester üretiminin optimizasyonu ve motor performansı üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2016.
58. Karaca, E., Aytaç, S., Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 123-131, 2007.
59. Eliçin, A.K., Erdoğan, D., Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 13(2), 137-146, 2007.
60. Oğuz, H., Öğüt, H., Çiftçi şartlarına uygun bir biyodizel üretim tesisinin tasarım ve imalatı, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1(1), 21-27, 2005.
61. Demirbaş, A., Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: A survey. Energy Conversion and Management, 44, 2093-2109, 2003.
62. Eryilmaz, T., Yesilyurt, M.K., Influence of blending ratio on the physicochemical properties of safflower oil methyl ester-safflower oil, safflower oil methyl ester-diesel and safflower oil-diesel, Renewable Energy, 95, 233-247, 2016.
63. Koh, M.Y., Ghazi, T.I.M., A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 2240-2251, 2015.
64. Anand, K., Sharma, R.P., Mehta, P.S., A comprehensive approach for estimating thermo-physical properties of biodiesel fuels, Applied Thermal Engineering, 31,, 235-242, 2011.
65. Yaakob, Z., Narayanan, B.N., Padikkaparambil, S., Unni K., S., Akbar P., M., A review on the oxidation stability of biodiesel, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 35, 136-153, 2014.
66. Puhan, S., Jegan, R., Balasubramanian, K., Nagarajan, G., Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine, Renewable Energy, 34(5), 1227-1233, 2009.
67. Bello, E.I., Agge, M., Biodiesel production from ground nut oil, Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, 3(2), 276-280, 2012.
68. Eryilmaz, T., Arslan, M., Yesilyurt, M.K., Taner, A., Comparison of empirical equations and artificial neural network results in terms of kinematic viscosity prediction of fuels based on hazelnut oil methyl ester, Environmental Progress and Sustainable Energy, 35(6), 1827-1841.



69. Agarwal, M., Singh, K., Chaurasia, S.P., Prediction of biodiesel properties from fatty acid composition using linear regression and ANN techniques, *Indian Chemical Engineer*, 52(4), 347-361, 2010.
70. Demirbas, A., Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils, *Fuel*, 77, 1117-1120, 1998.
71. Ong, H.C., Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Chong, W.T., Boosroh, M.H., Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha curcas*, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*, *Energy Conversion and Management*, 73, 245-255, 2013.
72. Corsini, A., Marchegiani, A., Rispoli, F., Sciulli, F., Venturini, P., Vegetable oils as fuels in diesel engine. Engine performance and emissions, *Energy Procedia*, 81, 942-949, 2015.
73. Sidibé, S.S., Blin, J., Vaitilingom, G., Azoumah, Y., Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2748-2759, 2010.
74. Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N., Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), 653-662, 2009.
75. Agarwal, D., Agarwal, A.K., Performance and emissions characteristics of *Jatropha* oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1314–2323, 2007.
76. Kegl, B., Kegl, M., Pehan, S., *Green Diesel Engines. Biodiesel Usage in Diesel Engines*, Springer-Verlag, London, 2013.
77. Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Baydır, Ş.A., Yavuz, H., Kanola yağı metil esterine ön ısıtma uygulamasının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 25-33, 2009.
78. Tekin, A., Bitkisel yağların gıda dışı yeni kullanım alanları, *Gıda*, 23(3), 229-233, 1998.
79. Onurbaş Avcıoğlu, A., *Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler biyoyakıtlar*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Kızılay, Ankara, 2011.
80. Ulusoy, Y., Alibaş, K. Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50, 2002.
81. Çengelci, E., Bayrakçeken, H., Aksoy, F., Hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel yakıtı ile karşılaştırılması, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 41-53, 2011.

82. Akgün, G., Bayındır, H., Aydın, H., Düz, Z., Hayvansal yağlardan biodizel üretimi ve teknik değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır,131-136, 2009.
83. Oğuz, H., Öğüt, H., Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı, Selçuk-Teknik Online Dergisi, 2(2), 2001.
84. Oğuz, H., Diesel yakıtı-ayçiçek yağı karışımlarının diesel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 1998.
85. Martin, M., Prithviraj, D., Performance of pre-heated cottonseed oil and diesel fuel blends in a compression ignition engine, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 5(3), 235-240, 2011.
86. Pramanik, K., Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine, Renewable Energy, 28, 239-248, 2003.
87. Bajpai, S., Sahoo, P.K., Das, L.M., Feasibility of blending karanja vegetable oil in petro-diesel and utilization in a direct injection diesel engine, Fuel, 88, 705-711, 2009.
88. Al-Hamamre, Z., Al-Salaymeh, A., Physical properties of (jojoba oil + biodiesel), (jojoba oil + diesel) and (biodiesel + diesel) blends, Fuel, 123, 175-188, 2014.
89. Hazar, H., Aydın, H., Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)-diesel blends, Applied Energy, 87, 786-790, 2010.
90. Aksoy, L., Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3), 45-52, 2010.
91. Balo, F., Kurtbaş, İ., Yücel, H.L., Bitkisel yağların dizel yakıt özellikleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 6 sayfa, 2006.
92. Şanlı, H., Farklı alkol ve katalizör kullanımının biyodizel üretimindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2005.
93. Goering, C.E., Fry, B., Engine durability screening test of a diesel/soy oil/alcohol microemulsion fuel, Journal of the American Oil Chemists' Society, 61(10), 1627-1632, 1984.
94. Dağdelen, A., Yüksel, Y., Yağlı tohum çeşidi ve transesterifikasyon yöntemlerinin biyoyakıt üretimine ve kalitesine etkileri, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, TARGİD Özel Sayısı, 107-117, 2016.
95. Altuntaş, A., Hardal yağı biyodizelinde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2006.

96. Lang, X., Dalai, A.K., Bakhshi, N.N., Reany, M.J., Hertz, P.B., Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils, *Bioresource Technology*, 80(1), 53-62, 2001.
97. Dorado, M.P., Ballesteros, E., De Almeida, J.A., Schellert, C., Löhrlin, H.P., Krause, R., An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid waste oils, *Transactions of the ASAE*, 45(3), 525-529, 2002.
98. Sharma, Y.C., Singh, B., Upadhyay, S.N., Advancements in development and characterization of biodiesel: A review, *Fuel*, 87, 2355-2373, 2008.
99. Ceviz, M.A., Koncuk, F., Yüksel, F., Küçük, Ö., Gören, A.C., Beş farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ile dizel yakıtının motor performansı ve emisyon karakteristiklerinin karşılaştırmalı analizi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50(588), 20-26, 2009.
100. Özgün, A.K., Atık kızırtma yağı ve nötralize atık kızırtma yağından üretilen biyodizel ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarının karşılaştırılması olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2014.
101. Ma, F., Clements, L.D., Hanna, M.A., The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow, *Transactions of the ASAE*, 41, 1261-1264, 1998.
102. Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D., Kates, M., Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment, *Bioresource Technology*, 89(1), 1-16, 2003.
103. Ma, F., Hanna, M.A., Biodiesel production: A review, *Bioresource Technology*, 70, 1-15, 1999.
104. Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Aziz, A.A., Sulaiman, N.M.N., The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3456-3470, 2012.
105. Canakci, M., Van Gerpen, J.H., Biodiesel production via acid catalysis, *Transactions of the ASAE*, 42, 1203-1210, 1999.
106. Canakci, M., Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions, Ph.D. Thesis, Iowa State University, 2001.
107. Boz, N., Degirmenbasi, N., Kalyon, D.M., Conversion of biomass to fuel: Transesterification of vegetable oil to biodiesel using KF loaded nano- $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  as catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 89, 590-596, 2009.
108. Zullaikah, S., Lai, C., Vali, S.R., Ju, Y., A two-step acid-catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil, *Bioresource Technology*, 96, 1889-1896, 2005.

109. Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernando, W.J.N., Kim, J., Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review, *Fuel Processing Technology*, 90, 1502-1514, 2009.
110. Tomasevic, A.V., Siler-Marinkovic, S.S., Methanolysis of used frying oil., *Fuel Processing Technology*, 81, 1-6, 2003.
111. Demirbas, A., Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics, *Energy Conversion and Management*, 47, 2271-2282, 2006.
112. Felizardo, P., Correia, M.J.N., Raposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R., Bordado, J.M., Production of biodiesel from waste frying oils, *Waste Management*, 26, 487-494, 2006.
113. Dalvi, S.N., Funde, P.E., Pokharkar, R.D., Mohite, K.C., Effect of concentration of KOH, H<sub>2</sub>O, temp in in situ transesterification reaction of *Sesbania sesban*, *Capparis deciduas* seed, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Valencia, Spain, 4 pages, April 15-17, 2009.
114. Yan, S., Kim, M., Salley, S.O., Wilson, J., Simon Ng, K.Y., Biodiesel production by simultaneous transesterification and esterification, Detroit, MI: Nat. Biofuels Energ. Laboratory NextEnergy/Wayne State University; November 2008.
115. Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., Ziao, X., Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst, *Fuel*, 87, 216-221, 2008.
116. Sharma, Y.C., Singh, B., An ideal feedstock, kusum (*Schleichera triguga*) for preparation of biodiesel: Optimization of parameters, *Fuel*, 89, 1470-1474, 2010.
117. Bradshaw, G.B., Meuly, W.C., Preparation of detergents, US Patent No: 2, 360,844, 1944.
118. Feuge, R.O., Grose, T., Modification of vegetable oils. VII. Alkali catalyzed interesterification of peanut oil with ethanol, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 26, 97-102, 1949.
119. Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts, T.L., Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61, 1638-1643, 1984.
120. Tiwari, A.K., Kumar, A., Raheman, H., Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process, *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 569-575, 2007.

121. Sarve, A., Varma, M.N., Sonawane, S.S., Optimization and kinetic studies on biodiesel production from kusum (*Schleichera trijuga*) oil using response surface methodology, *Journal of Oleo Science*, 64(9), 987-997, 2015.
122. Goyal, P., Sharma, M.P., Jain, S., Optimization of transesterification of *Jatropha curcas* oil to biodiesel using response surface methodology and its adulteration with kerosene, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(2), 277-284, 2013.
123. Nehdi, I.A., Sbihi, H.M., Mokbli, S., Rashid, U., Al-Resayes, S.I., *Yucca aloifolia* oil methyl esters, *Industrial Crops and Products*, 69, 257-262, 2015.
124. Meng, X., Chen, G., Wang, Y., Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test, *Fuel Processing Technology*, 89, 851-857, 2008.
125. Ghadge, S.V., Raheman, H., Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids, *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 601-605, 2005.
126. Karabaş, H., Biodiesel production from crude acorn (*Quercus frainetto* L.) kernel oil: An optimisation process using the Taguchi method, *Renewable Energy*, 53, 384-388, 2013.
127. Canakci, M., Van Gerpen J.H., Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1429-36, 2001.
128. Berchmans, H.J., Hirata, S., Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids, *Bioresource Technology*, 99, 1716-1721, 2008.
129. Betiku, E., Omilakin, O.R., Ajala, S.O., Okeleye, A.A., Taiwo, A.E., Solomon, B.O., Mathematical modeling and process parameters optimization studies by artificial neural network and response surface methodology: A case of non-edible neem (*Azadirachta indica*) seed oil biodiesel synthesis, *Energy*, 72, 266-273, 2014.
130. Betiku, E., Okunsolawo, S.S., Ajala, S.O., Odedele, O.S., Performance evaluation of artificial neural network coupled with generic algorithm and response surface methodology in modeling and optimization of biodiesel production process parameters from shea tree (*Vitellaria paradoxa*) nut butter, *Renewable Energy*, 76, 408-417, 2015.
131. Jeyalakshmi, P., Subramanian, R., The application of response surface methodology for the optimization of pretreatment process parameters of paradise seed (*Simarouba Glauca*) oil, *Energy Sources, Part A*, 35, 2087-2095, 2013.

132. Tütüncü, H., Transesterifikasyonla balık yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2013.
133. Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Biodiesel production from high FFA rubber seed oil, *Fuel*, 84(4), 335-340, 2005.
134. Sahoo, P.K., Das, L.M., Babu, M.K.G., Naik, S.N., Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine, *Fuel*, 86(3), 448-454, 2007.
135. Mishra, S.R., Mohanty, M.K., Das, S.P., Pattanaik, A.K., Optimisation of base-catalysed transesterification of *Simarouba glauca* oil for biodiesel production, *International Journal of Sustainable Energy*, 33(6), 1033-1040, 2013.
136. Meher, L.C., Sagar, D.V., Naik, S.N., Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248-268, 2006.
137. Bojan, S.G., Chelladurai, S., Durairaj, S.K., Response surface methodology for optimization of biodiesel production from high FFA *Jatropha curcas* oil, *International Journal of Green Energy*, 8, 607-617, 2011.
138. Gandhi, B.S., Chelladurai, S.S., Kumaran, D.S., Process optimization for biodiesel synthesis from *Jatropha curcas* oil, *Distributed Generation and Alternative Energy Journal*, 26, 6-16, 2011.
139. Patil, P.D., Deng., S., Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils, *Fuel*, 88, 1302-1306, 2009.
140. Sarin, R., Sharma, M., Khan, A.A., Studies on *Guizotia abyssinica* L. oil: Biodiesel synthesis and process optimization, *Bioresource Technology*, 100, 4187-4192, 2009.
141. Venkanna, B.K., Reddy, C.V., Biodiesel production and optimization from *Calophyllum inophyllum* linn oil (honne oil)-A three stage method, *Bioresource Technology*, 100, 5122-5125, 2009.
142. Charoenchaitrakool, M., Thienmethangkoon, J., Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process, *Fuel Processing Technology*, 92, 112-118, 2011.
143. Awolu, O.O., Layokun, S.K., Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from neem (*Azadirachta indica*) oil, *International Journal of Energy and Environmental*, 4(1), 1-9, 2013.
144. Chakraborty, M., Baruah, D.C. Production and characterization of biodiesel obtained from *Sapindus mukorossi* kernel oil, *Energy*, 60, 159-167, 2013.

145. Sivaskumar, P., Sindhanaiselvan, S., Gnadhi, N.N., Devi, S.S., Renganathan, S., Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized *Ceiba Pentandra* oil, *Fuel*, 103, 693-698, 2013.
146. Rao, R., Srivastava, S., Mukherjee, D., A two step catalytic production and characterization of biodiesel from non-edible oils (*Pongamia pinnata* and *Mahua indica*), *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 645-654, 2015.
147. Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Ong, H.C., Kusumo, F., Aditiya, H.B., Ghazali, N.N.N., *Schleichera oleosa* L. oil as feedstock for biodiesel production, *Fuel*, 156, 63-70, 2015.
148. Stamenkovic, O.S., Velickovic, A.V., Kostic, M.D., Jokovic, N.M., Rajkovic, K.M., Milic, P.S., Veljkovic, V.B., Optimization of KOH-catalyzed methanolysis of hempseed oil, *Energy Conversion and Management*, 103, 235-243, 2015.
149. Aksoy, L., Opium poppy (*Papaver somniferum* L.) oil for preparation of biodiesel: Optimization of conditions, *Applied Energy*, 88, 4713-4718, 2011.
150. Lam, M.K., Lee, K.T., Mohamed, A. R., Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review, *Biotechnology Advances*, 28(4), 500-518, 2010.
151. Rashid, U., Anwar, F., Moser, B.R., Ashraf, S., Production of sunflower oil methyl esters by optimized alkali-catalyzed methanolysis, *Biomass and Bioenergy*, 32, 1202-1205, 2008.
152. Kafadar, A.B., Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2010.
153. Atapour, M., Kariminia, H.R., Moslehabadi, P.M., Optimization of biodiesel production by alkali-catalyzed transesterification of used frying oil, *Process Safety and Environmental Protection*, 92, 179-185, 2014.
154. İlkılıç, C., Çılğın, E., Aydın, H., Terebinth oil for biodiesel production and its diesel engine application, *Journal of the Energy Institute*, 88(3), 292-303, 2015.
155. Sinha, S., Agarwal, A.K., Garg, S., Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization, *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1248-1257, 2008.
156. Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, A., Tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımının alternatif dizel yakıtı olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 57-63, 2007.

157. Marangoz, D., Kahya, L., Atalay, F.S., Biyodizel ve gelecek için önemi, Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, 221-226, 14-15 Aralık, 2006.
158. Ong, H.C., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Silitonga, A.S., Chong, W.T., Leong, K.Y., Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid *Calophyllum inophyllum* oil in CI diesel engine, Energy Conversion and Management, 81, 30-40, 2014.
159. Srivastava, A., Prasad, R., Triglycerides-based diesel fuels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, 111-133, 2000.
160. Vicente, G., Martinez, M., Aracil, J., Optimisation of integrated biodiesel production. Part I. A study of the biodiesel purity and yield, Bioresource Technology, 98, 1724-1733, 2007.
161. Yang, F.X., Su, Y.Q., Zhang, Q., Sun, R.C., Preparation of biodiesel from *Idesia polycarpa* var. *vestita* fruit oil, Industrial Crops and Products, 29, 622-628, 2009.
162. Boonmee, K., Chuntranuluck, S., Punsuvon, V., Siayoi, P., Optimization of biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas* L.) using response surface methodology, Kasetsart Journal, 44, 290-299, 2010.
163. Hoda, N., Optimization of biodiesel production from cottonseed oil by transesterification using NaOH and methanol, Energy Sources, Part A, 32, 434-441, 2010.
164. Musa, U., Alechanu, A.A., Muhammed, I.A., Aliyu, A.M., Sadiq, M.M., Olaibi, A.O., Process optimization, empirical modeling and characterization of biodiesel from cottonseed oil, Transactions on Engineering Technologies, World Congress on Engineering 2014, Netherlands, 723-737, Springer, 2015.
165. Karnwal, A., Kumar, N., Hasan, M.M., Chaudhary, R., Siddiquee, A.N., Khan, Z.A., Production of biodiesel from Thumba oil: Optimization of process parameters, Iranica Journal of Energy and Environment, 1(4), 352-358, 2010.
166. Keera, S.T., El Sabagh, S.M., Taman, A.R., Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst, Fuel, 90, 42-47, 2011.
167. Nakpong, P., Wootthikanokkhan, S., Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) oil as an alternative feedstock for biodiesel production in Thailand, Fuel, 89(8), 1806-1811, 2010.
168. Hoque, M.E., Singh, A., Chuan, Y.L., Biodiesel from low cost feedstocks: The effects of process parameters on the biodiesel yield, Biomass and Bioenergy, 35, 1582-1587, 2011.



169. Santos Jr, O.O., Maruyama, S.A., Claus, T.C., De Souza, N.E., Matsushita, M., Visentainer, J.V., A novel response surface methodology optimization of base-catalyzed soybean oil methanolysis, *Fuel*, 113, 580-585, 2013.
170. Sultana, S., Khalid, A., Ahmad, M., Zuhairi, A.A., Teong, L.K., Zafar, M., Hassan, F.U., The production, optimization, and characterization of biodiesel from a novel source: *Sinapis alba* L., *International Journal of Green Energy*, 11(3), 280-291, 2014.
171. Muniyappa, P.R., Brammer, S.C., Nouredini, H., Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product, *Bioresource Technology*, 56(1), 19-24, 1996.
172. Sánchez, M., Bergamin, F., Peña, E., Martínez, M., Aracil, J., A comparative study of the production of esters from *Jatropha* oil using different short-chain alcohols: Optimization and characterization, *Fuel*, 143, 183-188, 2015.
173. Meneghetti, S.M.P., Meneghetti, M.R., Wolf, C.R., Silva, E.C., Lima, G.E.S., Silva, L.L., Serra, T.M., Cauduro, F., Oliveira, L.G., Biodiesel from castor oil: A comparison of ethanolysis versus methanolysis, *Energy and Fuels*, 20, 2262-2265, 2006.
174. Rashid, U., Ibrahim, M., Ali, S., Adil, M., Hina, S., Bukhari, I.H., Yunus, R., Comparative study of the methanolysis and ethanolysis of maize oils using alkaline catalysts, *Grasas y Aceites*, 63(1), 35-43, 2012.
175. Çılgın, E., Menengiç (*Pistacia Terebinthus* L.) yağının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2011.
176. Aysal, F.E., Aksoy, F., Şahin, A., Aksoy, L., Yıldırım, H., Hardal yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu ve motor performans testleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14, 1-9, 2014.
177. Ünsal, M., Kesikli proste biyodizel üretiminin optimizasyonu ve en uygun teknikle üretilmesi, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 2010.
178. Meher, L.C., Dharmagadda, V.S.S., Naik, S.N., Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel, *Bioresource Technology*, 97, 1392-1397, 2006.
179. Valle, P.W.P.A., Razende, T.F., Souza, R.A., Fortes, I.C.P., Pasa, V.M.D., Combination of fractional factorial and doehlert experimental designs in biodiesel production: Ethanolysis of *Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* stokes oil catalyzed by sodium ethoxide, *Energy and Fuels*, 23, 5219-5227, 2009.
180. <http://www.progressivefuelslimited.com/biodieselpg.asp> (10.05.2016)
181. [http://www.albiyobir.org.tr/dunyada\\_b.htm](http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm) (10.05.2016)

182. Pousa, G.P.A.G., Santos, A.L.F., Suarez, P.A.Z., History and policy of biodiesel in Brazil, *Energy Policy*, 35, 5393-5398, 2007.
183. Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., Mingdong, D., Opportunities and challenges for biodiesel fuel, *Applied Energy*, 88, 1020-1031, 2011.
184. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Türkiyede ve Dünyada enerji tüketimi-Biyodizel, GAP V. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, 415-422, 26-28 Nisan, 2006.
185. Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Badruddin, I.A., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H. and, Mekhilef, S., A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2070-2093, 2012.
186. Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E. and, Natarajan, M., Review of biodiesel composition, properties, and specifications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 143-69, 2012.
187. Thangaraja, J., Anand, K., Mehta, P.S., Biodiesel NO<sub>x</sub> penalty and control measures-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 1-24, 2016.
188. <http://www.gec.com.tr/dunyadabiyodizel.htm> (09.05.2016).
189. Eryilmaz, T., Yesilyurt, M.K., Cesur, C., Gokdogan, O., Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 842-851, 2016.
190. Earth Policy Institute, World biodiesel production, <http://www.earth-policy.org/> (13.02.2013).
191. European Biodiesel Board, Statistics of the european union biodiesel industry, <http://www.ebb-eu.org/> (10.05.2016).
192. [http://www.albiyobir.org.tr/trde\\_b.htm](http://www.albiyobir.org.tr/trde_b.htm) (11.05.2016).
193. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> (09.05.2016).
194. Acar, M., EPDK'nın biyoyakıt harmanlama kararları, Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, Samsun, 189-193, 28-29 Mayıs, 2014.
195. Barabás, I., Todorut, I.A., Biodiesel: Quality, standards and properties, biodiesel-quality, emissions and by-products, Montero, G. (Ed), InTech, 2011.
196. Erol, A., Kemanoglu, F., Ay, M.A., Uysal, B.Z., Değişik yağlardan elde edilen biyodizellerin karşılaştırılması, Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir, 83-94, 14-15 Aralık, 2006.

197. Ferrari, R.A., Pighinelli, A.L.M.T., Park, K.J., Biodiesel production and quality, InTech Open Access Publisher, 2011.
198. Force, T.T., White paper on internationally compatible biofuel standards, Tripartite Task Force Brazil, European Union & United State of America, 2007.
199. Sarin, A., Biodiesel: Production and properties, Royal Society of Chemistry, 2012.
200. Gulum, M., Bilgin, A., Density, flash point and heating value variations of corn oil biodiesel-diesel fuel blends, Fuel Processing Technology, 134, 456-464, 2015.
201. Rocabrano-Vldes, C.I., Ramirez-Verduzco, L.F., Hernandez, J.A., Artificial neural network models to predict density, dynamic viscosity, and cetane number of biodiesel, Fuel, 147, 9-17, 2015.
202. Ozcanli, M., Gungor, C., Aydin, K., Biodiesel fuel specifications: A review. Energy Sources, Part A, 35(7), 635-647, 2013.
203. Eryilmaz, T., Bacak, S., Ozrahat, E., Comparison of some fuel properties of biodiesels produced from vegetable oils, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 29(2), 1073-1082, 2012.
204. Özdemir, M., Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2011.
205. Cheikh, K., Sary, A., Khaled, L., Abdelkrim, L., Mohand, T., Experimental assessment of performance and emissions maps for biodiesel fueled compression ignition engine, Applied Energy, 161, 320-329, 2016.
206. Attia, A.M.A., Hassaneen, A.E., Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance, Fuel, 167, 316-328, 2016.
207. Atabani, A.E., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Anjum Badruddin, I., Yussof, H.W., Chong, W.T., Lee, K.T., A comparative evaluation of physical and chemical properties of biodiesel synthesized from edible and non-edible oils and study on the effect of biodiesel blending, Energy, 58, 296-304, 2013.
208. Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Badruddin, I.A., Fayaz, H., Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18, 211-245, 2013.
209. Altun, Ş., Gür, M.A., Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(3), 35-42, 2005.

210. Karabaş, H., Ülkemiz ıslahçı çeşitlerinden Remzibey-05 aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tohumlarından üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17, 2013.
211. Karabaş H., The effective parameter optimization on the conversion rate of the sunflower oil biodiesel, *Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty*, 10(1), 1-5, 2013.
212. Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., Powles, N., Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines, *Renewable Energy*, 35, 2752-2760, 2010.
213. Ghazali, W.N.M.V., Mamat, R., Masjuki, H.H., Najafi, G., Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585-602, 2015.
214. Shahabuddin, M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Bhuiya, M.M.K., Mofijur, M., An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination, *Energy*, 44(1), 616-622, 2012.
215. Tate, R.E., Watts, K.C., Allen, C.A.W., Wilkie, K.I., The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300°C, *Fuel*, 85(7-8), 1010-1015, 2006.
216. Kwangdinata, R., Raya, I., Zakir, M., Production of biodiesel from lipid of phytoplankton *Chaetoceros calcitrans* through ultrasonic method, *The Scientific World Journal*, 2014, 5 pages, 2014.
217. Arbab, M.I., Masjuki, H.H., Varman, M., Kalam, M.A., Imtenan, S., Sajjad, H., Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 133-147, 2015.
218. Kutti, O.A., Zhu, J., Nishida, K., Wang, X., Huang, Z., Characterization of spray and combustion processes of biodiesel fuel injected by diesel engine common rail system, *Fuel*, 104, 838-846, 2013.
219. Xue, J., Grift, T.E., Hansaen, A.C., Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1098-1116, 2015.
220. Oner, C., Altun, S., Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine, *Applied Energy*, 86, 2114-2120, 2009.
221. Lin, B.F., Huang, J.H., Huang, D.Y., Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions, *Fuel*, 88, 1779-1785, 2009.

222. Monyem, A., Van Gerpen, J.H., Canakci, M., The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engines, *Transactions of the ASAE*, 44, 35-42, 2001.
223. Aydin, H., Bayindir, H., Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. *Renewable Energy*, 35, 588-592, 2010.
224. Utlu, Z., Kocak, M.S., The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, *Renewable Energy*, 33, 1936-1941, 2008.
225. Mittelbach, M., Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel, *Bioresource Technology*, 56, 7-11, 1996.
226. Mittelbach, M., Enzelsberger, H., Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 545-550, 1999.
227. Öcal, M., Setan sayısı hakkında 6 soru, *Mühendis ve Makine*, 48(568), 24-25, 2006.
228. Aleme, H.G., Barbeira, P.J.S., Determination of flash point and cetane index in diesel using distillation curves and multivariate calibration, *Fuel*, 102, 129-134, 2012.
229. Van Gerpen, J.H., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., Knothe, G., Biodiesel production technology, NREL/SR-510-36244, 2004.
230. Demirbas, A., Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management*, 50, 14-34, 2009.
231. Warabi, Y., Kusdiana, D., Saka, S., Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols, *Bioresource Technology*, 91, 283-287, 2004.
232. Van Gerpen, J.H., Hammond, E.G., Johnson, L.A., Marley, S.J., Yu, L., Lee, I., Monyem, A., Determining the influence of contaminants on biodiesel properties, Iowa State University, July 31, 1996.
233. Shrestha, D., Thompson, J., Nowatzki, J., Biodiesel fuel quality, energy, energy biodiesel, energy processing, July 15, 2010.
234. Gomes, M.C.S., Pereira, N.C., Davantel de Barros, S.T., Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes, *Journal of Membrane Science*, 352, 271-6, 2010.
235. Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Ann, L.J., Fazal, M.A., Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel, *Fuel Processing Technology*, 91, 329-334, 2010.

- 236.** Boro, J., Thakur, A.J., Deka, D., Solid oxide derived from waste shells of *Turbonilla striatula* as a renewable catalyst for biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, 92, 2061-2067, 2011.
- 237.** Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials, *Fuel Processing Technology*, 91, 1308-1315, 2010.
- 238.** Berrios, M., Skelton, R.L., Comparison of purification methods for biodiesel, *Chemical Engineering Journal*, 144(3), 459-465, 2008.
- 239.** Lin, C., Wang, K., Effects of diesel engine speed and water content on emission characteristics of three-phase emulsions, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(5), 1345-1359, 2004.
- 240.** de Jesus, A., Silva, M.M., Goreti, M., Vale, R., The use of microemulsion for determination of sodium and potassium in biodiesel by flame atomic absorption spectrometry, *Talanta*, 74, 1378-1384, 2008.
- 241.** Crookes, R.J., Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines, *Biomass Bioenergy*, 30, 461-468, 2006.
- 242.** Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J., Tazerout, M., Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel-Part 2: Engine test analysis, *Fuel*, 85, 2646-2652, 2006.
- 243.** Weibiao, F., Jingsong, G., Lingyun, H., There is no micro-explosion in the diesel engines fueled with emulsified fuel, *Chinese Science Bulletin*, 51(10), 1261-1265, 2006.
- 244.** Arnas, O., Ballesteros, R., Martos, F.J., Agudelo, J.R., Characterization of light duty Diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel, *Fuel*, 84, 1011-1018, 2005.
- 245.** Fahd, M.E., Yang, W., Lee, P.S., Chou, S.K., Yap, C.R., Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load conditions, *Applied Energy*, 102, 1042-1049, 2013.
- 246.** Abu-Zaid, M., Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions, *Energy Conversion and Management*, 45, 697-705, 2004.
- 247.** Saravanan, M., Anbarasu, A., Gnanasekaran, B.M., Study of performance and emission characteristics of IC engines by using diesel-water emulsion, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69, 2531-44, 2013.

248. Alahmer, A., Yamin, J., Sakhrieh, A., Hamdan, M.A., Engine performance using emulsified diesel fuel, *Energy Conversion and Management*, 51, 1708-13, 2010.
249. Ogunkoya, D., Li, S., Rojas, O. J., Fang, T., Performance, combustion, and emissions in a diesel engine operated with fuel-in-water emulsions based on lignin, *Applied Energy*, 154, 851-861, 2015.
250. Singh, B., Korstad, J., Sharma, Y.C., A critical review on corrosion of compression ignition (CI) engine parts by biodiesel and biodiesel blends and its inhibition, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3401-3408, 2012.
251. Jung, H., Kittelson, D.B., Zachariah, M.R., Characteristics of SME biodiesel-fueled diesel particle emissions and the kinetics of oxidation, *Environmental Science and Technology*, 40, 4949-4955, 2006.
252. Nagy, M., Foston, M., Ragauskas, A.J., Rapid quantitative analytical tool for characterizing the preparation of biodiesel, *The Journal of Physical Chemistry A*, 114, 3883-2887, 2010.
253. Berthiaume, D., Tremblay, A., Study of the rancimat test method in measuring the oxidation stability of biodiesel ester and blends, NRCan project No: CO414 CETC-327, OLEOTEK Inc., Québec, Canada, November, 2006.
254. Oromí-Farrús, M., Villorbina, G., Eras, J., Gatiús, F., Torres, M., Canela, R., Determination of the iodine value of biodiesel using  $^1\text{H}$  NMR with 1,4-dioxane as an internal standard, *Fuel*, 89(11), 3489-3492, 2010.
255. Barradas Filho, A.O., Barros, A.K.D., Labidi, S., Viegas, I.M.A., Marques, D.B., Romariz, A.R., de Sousa, R.M., Marques, A.L.B., Marques, E.P., Application of artificial neural networks to predict viscosity, iodine value and induction period of biodiesel focused on the study of oxidative stability, *Fuel*, 145, 127-135, 2015.
256. Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils, *Fuel*, 86, 2596-2602, 2007.
257. Schober, S., Mittelbach, M., Iodine value and biodiesel: Is limitation still appropriate?, *Lipid Technology*, 19, 281-284, 2007.
258. Ögüt, H., Oğuz, H. Mengeş, H.O., Eryılmaz, T., Farklı iyot sayısına sahip biyodizellerin motora etkisinin incelenmesi, *Biyoyakıt Dünyası*, 1, 33-36, 2006.
259. Prankl, H., Wörgetter, M., Influence of the iodine number of biodiesel to the engine performance, Third Liquid Fuel Conference, Nashville, Tennessee, USA, 6 pages, September 15-17, 1996.

260. Rao, P.V., Clarke, S., Brown, R., Influence of iodine value on combustion and NO<sub>x</sub> emission characteristics of a DI diesel engine, In Chemeca 2010: The 40<sup>th</sup> Australasian Chemical Engineering Conference, Engineers Australia, Adelaide, South Australia, 2010.
261. Drapcho, C.M., Nhuan, N.P., Walker, T.H., Biofuels Engineering Processing Technology, McGraw-Hill Companies, New York, NY, USA, 2008.
262. Prankl, H., Host, S., Kerckow, B., Lack, N., Ammerer, A., Cantarella, M., European Bioenergy Networks, Innovative Solutions for Solid, Gaseous and Liquid Biomass Production and Use, EUBIONET-Liquid Biofuels Network, Biodiesel Specification, Final Report, Austria, 2003.
263. Prankl, H., Wörgetter, M., Rathbauer, J., Technical performance of vegetable oil methyl esters with a high iodine number, Fourth Biomass Conference of the Americas, Oakland, California, USA, 1, 805-810, August 29-September 2, 1999.
264. Yaman, G., Çanakçı, M., Biyodizel üretimi ve yakıt problemleri, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya, 518-523, 26-28 Mayıs, 2004.
265. Bhale, P.V., Deshpande, N.V., Thombre, S.B., Improving the low temperature properties of biodiesel fuel, Renewable Energy, 34, 794-800, 2009.
266. Asaduskas, S., Erhan, S., Depression of pour point of vegetable oils by blending with diluents used for biodegradable lubricants, Journal of the American Oil Chemists' Society, 76(3), 313-316, 1999.
267. Ögüt, H., Biyodizelin soğuk akış özellikleri, Biyoyakıt Dünyası, 4, 6-7, 2006.
268. Dunn, R.O., Shockley M.W., Bagby, M.O., Improving the low-temperature properties of alternative diesel fuels: Vegetable oil-derived methyl esters, Journal of the American Oil Chemists' Society, 73(12), 1719-1727, 1996.
269. Lee, I., Lawrence A.C., Hammond, E.G., Reducing the crystallization temperature of biodiesel by winterizing methyl soyate, Journal of the American Oil Chemists' Society, 73(5), 631-636, 1996.
270. Knothe, G., Designer biodiesel: Optimizing fatty ester composition to improve fuel properties, Energy and Fuels, 22, 1358-1364, 2008.
271. Rasimoğlu, N., Temur, H., Yağlardan soğuk akış özellikleri optimize edilmiş biyodizel üretimi, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Ankara, 22-25 Haziran, 2010.
272. Moser, B.R., Impact of fatty ester composition on low temperature properties of biodiesel-petroleum diesel blends, Fuel, 115, 500-506, 2014.



273. TS EN 14214+A1, Sıvı petrol ürünleri-Yağ asidi metil esterleri (YAME/Biyodizel)-Dizel motorlarda ve ısıtma uygulamalarında kullanılan-Özellikler ve deney Yöntemleri, Ankara, 2014.
274. <http://www.albiyobir.org.tr/biyodizel.htm> (02.05.2016).
275. Demirbaş, A., Biodegradability of biodiesel and petrodiesel fuels, Energy Sources, Part A, 31(2), 169-174, 2008.
276. Biodiesel handling and use guide (Fifth Edition), US Department of Energy, DOE/GO-102016-4875, November, 2016.
277. TS EN 590, Otomotiv yakıtları-Dizel (Motorin)-Gerekler ve Deney Yöntemleri, Ankara, 2014.
278. Baydan, H.E., Biyoetanol, metil ester ve dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının motor performansına etkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.
279. Sekmen Y., Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterinin dizel motorda yakıt olarak kullanılması, Teknoloji Dergisi, 10 (4), 295-302, 2007.
280. [http://www.arfuels.com.au/files/ARF\\_Fact\\_Sheet\\_5\\_Warranties.pdf](http://www.arfuels.com.au/files/ARF_Fact_Sheet_5_Warranties.pdf) (15.06.2016).
281. Savci, S., Eryilmaz, T.E., Yesilyurt, M.K., The effects of biodiesel on the environment, Journal of Selcuk University Natural and Applied Science, 635-646., 2014.
282. Biodiesel America's advanced biofuels, [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org) (22.01.2014).
283. Di-ming, L., De-li, K., Yu-jie, C., Qiang, Q., Tao, Z., Performance and unregulated emissions of chinese V diesel engine fuelled with biodiesel, International Conference on Material Science and Environmental Engineering, Wuhan, Hubei, China, 94-98, August 17-18, 2013.
284. Hertz, P.B., Extending diesel engine life and fuel economy with canola based fuel additives, University of Saskatchewan, 1998.
285. Öğüt, H., Oğuz, H., Biodiesel-biyomotorin yada yeşil enerji, Ticaret Borsası Dergisi, 5(13), 50-55, 2002.
286. Oguz, H., Ogut, H., Eryilmaz, T., Investigation of biodiesel production, quality and performance in Turkey, Energy Sources, Part A, 29, 1529-1535, 2007.
287. Öğüt H., Biyodizelin yağlayıcılık özelliği, Biyoyakıt Dünyası, 1306-9373, 2006.

288. Önem Koç, E., Sekmen, P., Dizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenme yöntemleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1(2), 1-8, 2009.
289. Önem Koç, E., Biyodizel yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Kocaeli, 2009.
290. Oguz, H., Duzcukoglu, H., Ekinci, S., The investigation of lubrication properties performance of euro-diesel and biodiesel, Tribology Transactions, 54(3), 449-456, 2011.
291. Anastopoulos, G., Lois, E., Serdari, A., Zanicos, F., Stournas, S., Kalligeros, S., Lubrication properties of low-sulfur diesel fuels in the presence of specific types of fatty acid derivatives, Energy and Fuels, 15, 106-112, 2001.
292. Hughes, J.M., Mushrush, G.W., Hardy, D.R., Lubricity-enhancing properties of soy oil when used as a blending stock for middle distillate fuels, Industrial and Engineering Chemistry Research, 41, 1386-1388, 2002.
293. Bhatnagar, A.K., Kaul, S., Chhibber, V.K., Gupta, A.K., HFRR studies on methyl esters of nonedible vegetable oils, Energy and Fuels, 20, 1341-1344, 2006.
294. [http://biodiesel.org/docs/ffs-performace\\_usage/lubricity-benefits.pdf?sfvrsn=4](http://biodiesel.org/docs/ffs-performace_usage/lubricity-benefits.pdf?sfvrsn=4) (14.06.2016)
295. Hazar, H., Öner, C., Bir dizel motoru silindir gömleğinin aşınması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 146-149, 2005.
296. Özçelik, A.E., Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2011.
297. Ögüt, H., Oğuz, H., Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No: 745, Fen ve Biyoloji Yayınları Dizisi: 33, Ankara, 2006.
298. İlisulu, K., Yağ Bitkileri ve Islahı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1973.
299. <https://www.mountainroseherbs.com/products/yellow-mustard-seed/profile> (10.05.2016).
300. <https://www.westcoastseeds.com/shop/seasonal/cover-crops/white-mustard-cover-crop-seeds/> (10.05.2016).
301. [http://gernot-katzers-spice-pages.com/engl/Sina\\_alb.html](http://gernot-katzers-spice-pages.com/engl/Sina_alb.html) (10.05.2016).
302. Denizcilik, Gemi dizel motorları-2, 525MT0189, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.

303. Çanakçı, M., Sayın, C., Özsezen, A.N., Türkcan, A., Alternatif bir yakıt olan biyodizelin yanma karakteristiklerinin NO<sub>x</sub> oluşumuna etkisinin incelenmesi, Tübitak Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Proje No: 104M372, Kocaeli, 2007.
304. Yardım, M.H. Motor teknolojisi, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Yayın No: 1298, Teknik Bilimler: 101, Ostim, Ankara, 2008.
305. Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M., İçten yanmalı motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, 1992.
306. Deniz, O., İçten yanmalı motorlar ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul, 2008.
307. [http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/aparлак\\_7dc483f73d0afe844cd71842953575cb.pptx](http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/aparлак_7dc483f73d0afe844cd71842953575cb.pptx) (03.06.2016)
308. Özer, S., Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2010.
309. İçingür, Y., Altıparmak, D., Experimental analysis of the effects of fuel injection pressure and fuel cetane number on direct injection diesel engine emissions, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 27, 291-297, 2003.
310. Soysal, C., Dizel motorlarında biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2008.
311. Acaroğlu, M., Alternatif enerji kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Yayın No: 1253, Teknik Bilimler: 96, Ostim, Ankara, 2007.
312. Aksoy, F., Bayrakçeken, H., Dizel yakıtına %5 ve %10 izopropil alkol (IPA) ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisi, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3), 37-43, 2010.
313. Kumar, B.R., Saravanan, S., Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 84-115, 2016.
314. Li, L., Wang, J., Wang, Z., Xiao, J., Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends, Fuel, 156, 211-218, 2015.
315. Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J., Lopez, F.J., Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, Fuel, 82, 1311-1315, 2003.
316. Nwafor, O., Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester, Renewable Energy, 29(1), 119-129, 2004.

- 317.** Soylu, Ş., Karabektaş, M., Ermiş, K., Otomobiller için alternatif enerji kaynaklarının incelenmesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya, 491-504, 26-28 Mayıs, 2004.
- 318.** Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M., Karaosmanoglu, F., The engine tests of biodiesel from used frying oil, *Energy Sources*, 26, 927-932, 2004.
- 319.** Balcı, B., Diesel motor yakıtı olarak kullanılan atık bitkisel yağ esterlerinin maksimum basınç ve tutuşma gecikmesi açısından motorin ile karşılaştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- 320.** Can, Ö., Çelikten, İ., Usta, N., Etanol karışımli motorin yakıtın diesel motoru egzoz emisyonlarına etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 219-224, 2005.
- 321.** Shi, X., Yu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Li, R., Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine, *Fuel*, 84(12-13), 1543-1549, 2005.
- 322.** Usta, N., Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine, *Biomass and Bioenergy*, 28, 77-86, 2005.
- 323.** Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3, 325-334, 2005.
- 324.** Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Sayın, C., Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorun emisyonları üzerine etkisi, *Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu*, Bursa, 41-51, 29-30 Haziran, 2006.
- 325.** Yücesu, H.S., İlkılıç, C., Effect of cotton seed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine, *Energy Sources, Part A*, 28(4), 389-398, 2006.
- 326.** Alpgiray, B., Eliçin, A.K., Gürhan, R., Kanola yağı alkil esterlerinin bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(3), 145-150, 2007.
- 327.** Chen, H., Shi-Jin, S., Jian-Xin, W., Study on combustion characteristics and PM emission of diesel engines using ester-ethanol-diesel blended fuels, *Proceedings of the Combustion Institute*, 31(2), 2981-2989, 2007.
- 328.** Emiroğlu, H., Özarslan, C., Bir traktör modelinde yakıt olarak değişik oranlarda biodizel kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, *Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi*, Kahramanmaraş, 5-6 Eylül, 2007.
- 329.** Karabektaş, M., Ergen, G., Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 21-26, 2007.

330. Ögüt, H., E-dizel nedir?, *Biyoyakıt Dünyası*, 5, 6-9, 2007.
331. Ögüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H.O., Eryılmaz, T., Standartlara uygun bitkisel yağların tarım traktörlerinde doğrudan yakıt olarak kullanımının araştırılması, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu*, Ankara, 147-157, 12-13 Aralık, 2007.
332. Raheman, H., Ghadge, S.V., Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel, *Fuel*, 86(16), 2568-2573, 2007.
333. Aktaş, A., Sekmen, Y., Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 199-206, 2008.
334. Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Özsert. İ., Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 207-213, 2008.
335. Kılıç, E., Bayhan, Y., Arın, S., Determination of effect of pure biodiesel (B100) using on fuel injection system in diesel engine, 10<sup>th</sup> International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Antalya, 351-360, October 14-17, 2008.
336. Oğuz, H., Ögüt, H., Eryılmaz, T., Biyoyakıtların hava kalitesine etkisinin incelenmesi, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, Konya, 331-341, 30-31 Mayıs, 2008.
337. Ozsezen, A.N., Canakci, M., Sayin, C., Effects of biodiesel from used frying palm oil on the performance, injection, and combustion characteristics of an indirect injection diesel engine, *Energy and Fuels*, 22(2), 1297-1305, 2008.
338. Bayrakçeken, H., Yavuz, H., Aksoy, F., Baydır, Ş.A., Soya yağı metil esterinin motor performans ve emisyonlarına etkisi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 4 sayfa, 13-15 Mayıs, 2009.
339. Nabi, M.N., Rahman, M.M., Akhter, M.S., Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions, *Applied Thermal Engineering*, 29(11), 2265-2270, 2009.
340. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 173-180, 2009.
341. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Atık palmye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 275-284, 2009.

- 342.** Qi, D.H., Geng, L.M., Chen, H., Bian, Y.Z., Liu, J., Ren, X.C., Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil, *Renewable Energy*, 34(12), 2706-2713, 2009.
- 343.** Sahoo, P.K., Das, L.M., Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine, *Fuel*, 88(6), 994-999, 2009.
- 344.** Uyumaz, A., Pamuk yağı esaslı biyodizel ile çalışan bir dizel motorunda yakıt püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009.
- 345.** Aydın, S., Aspir yağından biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2010.
- 346.** Büyükkaya, E., Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 89, 3099-3105, 2010.
- 347.** Gumus, M., Kasifoglu, S., Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel, *Biomass and Bioenergy*, 34, 134-139, 2010.
- 348.** Hazar, H., Cotton methyl ester usage in a diesel engine equipped with insulated combustion chamber, *Applied Energy*, 87(1), 134-140, 2010.
- 349.** Ilkilic, C., An analysis of exhaust emissions on a diesel engine operation by biodiesel, *Energy Sources, Part A*, 33(4), 298-306, 2010.
- 350.** Ilkilic, C., Behcet, R., The reduction of exhaust emissions from a diesel engine by using biodiesel blend, *Energy Sources, Part A*, 32(9), 839-850, 2010.
- 351.** Qi, D.H., Chen, H., Geng, L.M., Bian, Y.Z.H., Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends, *Energy Conversion and Management*, 51, 2985-2992, 2010.
- 352.** Şimşek, D., Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2010.
- 353.** Aydın, H., Ilkilic, C., Exhaust emissions of a CI engine operated with biodiesel from rapeseed oil, *Energy Sources, Part A*, 33(16), 1523-1531, 2011.
- 354.** Aydoğan, H., Acaroglu, M., The Effect of bioethanol-diesel blends on the performance and emissions of a turbocharged pump injection diesel engine, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(1), 261-270, 2011.

355. Aydogan, H., Ozcelik, A.E., Acaroglu, M., The effect of peanut oil methyl ester on the performance and emissions of a diesel engine with a pump injection fuel system, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(1), 189-200, 2011.
356. Bannikov, M.G., Combustion and emissions characteristics of mustard biodiesel, 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey, 132-136, May 16-18, 2011.
357. Behçet, R., Çakmak, A., Farklı hammaddelerden üretilen biodizel yakıtların motor performans ve emisyonlarının karşılaştırılması, 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak, 738-744, 07-10 Eylül, 2011.
358. Eliçin, A.K., Gezici, M., Erdoğan, D., Determination of using possibilities of some oil esters as a fuel in a small internal combustion engine, 11<sup>th</sup> International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Istanbul, 608-613, September, 21-23, 2011.
359. Ilkilic, C., Performance and emissions characteristics of biofuel blend in a CI engine, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(1), 369-378, 2011.
360. Lei, J., Bi, Y., Shen, L., Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with ethanol-diesel blends in different altitude regions, *BioMed Research International*, 2011, 417421, 10 pages, 2011.
361. Ozcanli, M., Keskin, A., Aydin, K., Biodiesel production from terebinth (*Pistacia terebinthus*) oil and its usage in diesel engine, *International Journal of Green Energy*, 8, 518-528, 2011.
362. Randazzo, M.L., Sodr , J.R., Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5), *Fuel*, 90(1), 98-103, 2011.
363. Subbaiah, G.V., Gopal, K.R., An experimental investigation on the performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with rice bran biodiesel and ethanol blends, *International Journal of Sustainable Energy*, 8, 197-208, 2011.
364. Sugo , I., Eryilmaz, T., Ors, I., Solmaz, O., Biodiesel production from animal fat- palm oil blend and performance analysis of its effects on a single cylinder diesel engine, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(1), 505-514, 2011.
365.  zer, S., Vural, E.,  zdalyan, B., Dizel motorlarında kanola yağı metil esteridizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 9-18, 2011.

- 366.** Ozsezen, A.N., Canakci, M., Determination of performance and combustion characteristics of a Diesel engine fueled with canola and waste palm oil methyl esters, *Energy Conversion and Management*, 52, 108-116, 2011.
- 367.** An, H., Yang, W.M., Chou, S.K., Chua, K.J., Combustion and emissions characteristics of diesel engine fueled by biodiesel at partial load conditions, *Applied Energy*, 99, 363-371, 2012.
- 368.** Aydın, S., Aydın, H., İlkılıç, C., Biyodizelin hava kirliliğine etkisi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 329-338, 2012.
- 369.** Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A., Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 55-62, 2012.
- 370.** Chauhan, B.S., Kumar, N., Cho, H.M., A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with jatropha biodiesel oil and its blends, *Energy*, 37(1), 616-622, 2012.
- 371.** Eliçin, A.K., Erdoğan, D., Biyodizel yakıtla çalışan bir diesel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncının etkisinin incelemesi, 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun, 530-543, 5-7 Eylül, 2012.
- 372.** İlkilic, C., The emission characteristics of a CI engine fueled with a biofuel blend, *Energy Sources, Part A*, 34(20), 1901-1912, 2012.
- 373.** Lei, J., Shen, L., Bi, Y., Chen, H., A novel emulsifier for ethanol-diesel blends and its effect on performance and emissions of diesel engine, *Fuel*, 93, 305-311, 2012.
- 374.** Özcanlı, M., Keskin, A., Serin, H., Yamaçlı, S., Üstün, D., Effects of soybean biodiesel on engine vibration and noise emission, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(2), 949-956, 2012.
- 375.** Tan, P.Q., Hu, Z.Y., Lou, D.M., Li, Z.J., Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel, *Energy*, 39(1), 356-362, 2012.
- 376.** Three, A.A., Fieldhouse, J., Brown, R., The optimisation of biodiesel production by using response surface methodology and its effect on diesel engine, 2<sup>nd</sup> International Conference on Environment Science and Biotechnology, Singapore, 48, 17-21, 2012.
- 377.** Anbarasu, A., Saravanan, M., Loganathan, M., The effect of ethanol addition in a biodiesel operated DI diesel engine on combustion, performance, and emission characteristics, *International Journal of Green Energy*, 10(1), 90-102, 2013.
- 378.** Keskin, A., Yaşar, A., Reşitoğlu, İ., Akar, M.A., Sugözü, İ., The influence of diesel fuel-biodiesel-ethanol-butanol blends on the performance and emission



- characteristics of a diesel engine, *Energy Sources, Part A*, 35(19), 1873-1881, 2013.
379. Liaquat, A.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Fattah, I.R., Hazrat, M.A., Varman, M., Mojijur, M., Shahabuddin, M., Effect of coconut biodiesel blended fuels on engine performance and emission characteristics, *Procedia Engineering*, 56, 583-590, 2013.
  380. Ögüt, H., Oğuz, H., Aydın, F., Aspir biyodizeline farklı enjektör basınçlarının motor performansına etkisi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 9(2), 93-97, 2013.
  381. Sayın, C., Diesel engine emissions improvements by the use of sunflower methyl ester/diesel blends, *Journal of Thermal Science and Technology*, 33(2), 83-88, 2013.
  382. Selvan, T., Nagarajan, G., Combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel having varying saturated fatty acid composition, *International Journal of Green Energy*, 10, 952-965, 2013.
  383. Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Ong, H.C., Chong, W.T., Experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with *Ceiba pentandra* biodiesel blends, *Energy Conversion and Management*, 76, 828-836, 2013.
  384. Şahin, Z., Aksu, O.N., Durgun, O., Turboşarjlı bir dizel motorunda n-bütanol-dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun, 1242-1253, 9-12 Eylül, 2013.
  385. Tomić, M.D., Savin, L.D., Mičić, R.D., Simikić, M.D., Furman, T.F., Effects of fossil diesel and biodiesel blends on the performances and emissions of agricultural tractor engines, *Thermal Science*, 17(1), 263-278, 2013.
  386. Lešnik, L., Iljaž, J., Hribernik, A., Kegl, B., Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends, *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546, 2014.
  387. Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., Arbab, M.I., Cheng, S.F., Gouk, S.W., Properties and use of *Moringa oleifera* biodiesel and diesel fuel blends in a multi-cylinder diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 82, 169-176, 2014.
  388. Ong, H.C., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Silitonga, A.S., Chong, W.T., Yusaf, T., Engine performance and emissions using *Jatropha curcas*, *Ceiba pentandra* and *Calophyllum inophyllum* biodiesel in a CI diesel engine, *Energy*, 69, 427-445, 2014.

- 389.** Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A.T., Özkan, M., Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 115, 875-883, 2014.
- 390.** Özer, S., Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(1), 97-114, 2014.
- 391.** Tosun, E., Yilmaz, A.C., Ozcanli, M., Aydin, K., Determination of effects of various alcohol additions into peanut methyl ester on performance and emission characteristics of a compression ignition engine, *Fuel*, 126, 38-43, 2014.
- 392.** Tuccar, G., Tosun, E., Ozgur, T., Aydin, K., Diesel engine emissions and performance from blends of citrus sinensis biodiesel and diesel fuel, *Fuel*, 132, 7-11, 2014.
- 393.** Yilmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., Calva, A., Effect of biodiesel-butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine, *Fuel*, 135, 46-50, 2014.
- 394.** Behcet, R., Aydin, H., Ilkiliç, C., Iscan, B., Aydin, S., Diesel engine applications for evaluation of performance and emission behavior of biodiesel from different oil stocks, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 34(3), 890-896, 2015.
- 395.** Yasin, M.H.M., Paruka, P., Mamat, R., Yusop, A.F., Najafi, G., Alias, A., Effect of low proportion palm biodiesel blend on performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine, *Energy Procedia*, 75, 92-98, 2015.
- 396.** Atmanli, A., Comparative analyses of diesel-waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine, *Fuel*, 176, 209-215, 2016.
- 397.** Ibrahim, A., Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol-biodiesel-diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 103, 651-659, 2016.
- 398.** Igbokwe, J.O., Nwafor, O.M.I., Performance characteristics of palm kernel biodiesel and its blend in a CI engine, *International Journal of Ambient Energy*, 37(1), 103-106, 2016.
- 399.** Imdadul, H.K., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Alabdulkarem, A., Kamruzzaman, M., Rashed, M.M., A comparative study of C4 and C5 alcohol treated diesel-biodiesel blends in terms of diesel engine performance and exhaust emission, *Fuel*, 179, 281-288, 2016.
- 400.** Imdadul, H.K., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Alabdulkarem, A., Rashed, M.M., Teoh, Y.H., How, H.G., Higher alcohol-biodiesel-diesel blends: An approach for improving the performance, emission, and combustion

- of a light-duty diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 111, 174-185, 2016.
401. Uludamar, E., Tosun, E., Aydin, K., Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels, *Fuel*, 177, 326-333, 2016.
  402. Zhu, L., Xiao, Y., Cheung, C.S., Guan, C., Huang, Z., Combustion, gaseous and particulate emission of a diesel engine fueled with n-pentanol (C5 alcohol) blended with waste cooking oil biodiesel, *Applied Thermal Engineering*, 102, 73-79, 2016.
  403. Design-Expert<sup>®</sup> software, version 9, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN USA, [www.statease.com](http://www.statease.com)
  404. Subaşı, A., Yanıt yüzey yöntemi yardımı ile ısı değiştirici optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2010.
  405. Abedin, M.J., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Sanjid, A., Ashrafur Rahman, S.M., Masum, B.M., Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 20-33, 2016.
  406. Kotas, T.J., *The exergy method of thermal plant analysis*, Krieger, Melbourne, 1995.
  407. Annamalai, K., Puri, I.K., *Advanced thermodynamics engineering*, CRC Press, 2002.
  408. Tosun, E., Energy and exergy analysis of a diesel engine, MSc Thesis, Cukurova University, Adana, 2013.
  409. Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Corrosion mechanism of copper in palm biodiesel, *Corrosion Science*, 67, 50-59, 2013.
  410. Chew, K.V., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Fazal, M.A., Gupto, M., Corrosion of magnesium and aluminum in palm biodiesel: A comparative evaluation, *Energy*, 57, 478-483, 2013.
  411. Hu, E., Xu, Y., Hu, X., Pan, L., Jiang, S., Corrosion behaviors of metals in biodiesel from rapeseed oil and methanol, *Renewable Energy*, 37, 371-378, 2012.
  412. Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Effect of temperature on the corrosion behavior of mild steel upon exposure to palm biodiesel, *Energy*, 36, 3328-3334, 2011.
  413. Baena, L.M., Gómez, M., Calderón, J.A., Aggressiveness of a 20% bioethanol-80% gasoline mixture on autoparts: I behavior of metallic materials and evaluation of their electrochemical properties, *Fuel*, 95, 320-328, 2012.

414. Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H.H., Degradation of automotive materials in palm biodiesel, *Energy*, 40, 76-83, 2012.
415. Candan, F., Dizel metanol ve katkı maddelerinin dizel motor performansı ve emisyonu etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2012.
416. Choi, C.Y., Reitz, R.D., An experimental study on the effects of oxygenated fuel blends and multiple injection strategies on DI diesel engine emissions, *Fuel*, 78(11), 1303-1317, 1999.
417. Ajav, E.A., Singh, B., Bhattacharya, T.K., Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel, *Biomass and Bioenergy*, 17(4), 357-365, 1999.
418. Can, Ö., Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Kırıkkale’de doğan Murat Kadir YEŞİLYURT; ilk, orta ve lise öğrenimlerini sırasıyla Battal Gazi İlkokulu, Yıldırım Beyazıt Ortaokulu ve TED Polatlı Koleji’nde tamamlamıştır. 2007 yılında kazandığı Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği (İng.) Bölümü’nü 2011 yılında bitirmiştir. Aynı yıl girdiği Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan 2013 yılında Makine Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2013 yılında doktora eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamıştır. 2013 yılından beri Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

### İletişim Bilgileri

Adres: Yeni Cami Mah. Söğütlüdere Cad. Dar Sk. MND Yakut Evleri Kat:3 Daire:7  
66100 Merkez/Yozgat

Telefon:0 (542) 825 56 17

E-posta: kadir.yesilyurt@bozok.edu.tr