



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAĞ ALKOLLERİ VE BİYODİZEL
KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORDA
YANMA VE PERFORMANS
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN
DENEYSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Halis DEVİREN

Danışman
Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Haziran-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Halis DEVİREN tarafından hazırlanan “Yağ Alkolleri ve Biyodizel Karışımlarının Bir Dizel Motorda Yanma ve Performans Parametrelerine Etkilerinin DeneySEL ve Yapay Sinir Ağları İle Optimizasyonu” adlı tez çalışması 23/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Üye

Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

Üye

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Üye

Doç. Dr. Fevzi YAŞAR

İmza

.....

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Halis DEVİREN
Tarih: 23.06.2023

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YAĞ ALKOLLERİ VE BİYODİZEL KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORDA YANMA VE PERFORMANS PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU

Halis DEVİREN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

2023, 421 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Prof. Dr. Hasan BAYINDIR
Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ
Prof. Dr. Bahattin İŞCAN
Doç. Dr. Fevzi YAŞAR

Bu çalışmada, aspir tohumlarından farklı yöntemlerle yağ ekstrakte edilmiş ve ekstrakte edilen aspir tohumu yağı (ATY) transesterifikasyon prosesi ile biyodizele (B100)'e sentezlenmiştir. B100, dizel yakıt (DF) ve farklı ağır alkoller (AA)'ler belli oranlarda harmanlanarak elde edilen yakıtların motor performansı, emisyonları ve yanma parametreleri incelenmiştir. Yanma parametrelerinin deneysel sonuçları yapay sinir ağı (YSA) ile tahmin edilmiştir. Ekstraksiyon yöntemleri arasında maksimum yağ elde etme verimliliği sokslet ekstraksiyon yöntemi ile %32.49 olarak gerçekleşmiştir. ATY'nin yağ asidi bileşimleri sırasıyla %30.9 ve %56.4 civarında C18:1 ve C18:2'dir. ATY'nin biyodizele sentezlenmesinde alkol/yağ molar oranı 4.799/1 olarak hesaplanmıştır. Biyodizelin sentezi spektroskopik yöntemler ile doğrulanmıştır. ¹H NMR ile yağ asidi metil esterlere (YAME)'lere dönüşüm %95.23 olarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen analizler neticesinde sentezlenen biyodizelin ASTM-D6751 ve EN-14214 standartlarını karşıladığı görülmüştür. Testlerde DF50DE50 yakıtı DF'den sonra en düşük fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) ve fren özgül enerji tüketimi (FÖET) ile sonuçlanmışken fren termal verimliliği (FTV) bakımından ise DF'den sonra en yüksek olan yakıttır. DF50HE50 yakıtı ile en yüksek egzoz gazı sıcaklığı (EGS) elde edilmişken, en düşük EGS ise DF50B25HE25 yakıtı ile elde edilmiştir. B100'ün ürettiği NOx emisyonu DF'ye göre yüksektir. Düşük NOx emisyonu ise dekanolün olduğu karışımlar tarafından üretilmiştir. B100'ün ürettiği CO emisyonu DF'nin ürettiği olduğundan daha yüksektir. DF50B50'nin ürettiği CO emisyonları tekli ve ikili yakıt karışımlarının ürettiği olduklarına kıyasla daha düşüktür. DF'nin ürettiği is emisyonu ise bütün test yakıtlarının ürettiği olduğundan daha yüksektir. DF50OC50 artan yükler ile yüksek silindir basınçları (SB)'ler oluştururken, en büyük SB DF50HE50 yakıtının net ısı salımı hızı (NISH) en yüksektir. B100'ün basınç artış oranı (BAO), DF yakıtından yüksek iken DF50B50 yakıtının BAO'sı tekli yakıtlarınkine göre daha düşük olmuştur. Üçlü yakıt karışımlarının BAO'sı ikili yakıt karışımlarına göre düşüktür. Yanma verilerinin YSA ile tahmini ortalama kare hatası (MSE) değerleri doğrultusunda oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aspir tohumu, biyodizel, emisyonlar, motor performansı, spektroskopi, transesterifikasyon, yanma analizi, yapay sinir ağı (YSA)

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

EXPERIMENTAL AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK OPTIMIZATION OF THE EFFECTS OF OIL ALCOHOLS AND BIODIESEL BLENDS ON COMBUSTION AND PERFORMANCE PARAMETERS IN A DIESEL ENGINE

Halis DEVİREN

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisör: Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

2023, 421 Pages

Jury

**Prof. Dr. Hüseyin AYDIN
Prof. Dr. Hasan BAYINDIR
Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ
Prof. Dr. Bahattin İŞCAN
Assoc. Prof. Fevzi YAŞAR**

In this study, oil was extracted from safflower seeds (SSs) using different methods, and the extracted SSO was synthesized into B100 through the transesterification process. The performance, emissions, and combustion parameters of fuels obtained by blending B100, DF, and different heavy alcohols (HA) in specific proportions were investigated. The experimental results of combustion parameters were predicted using ANNs. Among the extraction methods, the soxhlet extraction method achieved a maximum oil extraction efficiency of 32.49%. The FA compositions of SSO are approximately 30.9% and 56.4% for C18:1 and C18:2, respectively. The alcohol/oil molar ratio for the synthesis of SSO biodiesel was calculated as 4.799/1. The synthesis of biodiesel was confirmed using spectroscopic methods. The conversion of fatty acids to FAMES was determined to be 95.23% using ¹H NMR spectroscopy. Based on the conducted analyses, the synthesized biodiesel was found to meet the ASTM-D6751 and EN-14214 standards. In the tests, the fuel blend DF50DE50 resulted in the lowest brake-specific fuel consumption (BSFC) and brake-specific energy consumption (BSEC) compared to DF, while it exhibited the highest brake thermal efficiency (BTE) among the fuels tested. The fuel blend DF50HE50 achieved the highest exhaust gas temperature (EGT), while the lowest EGT was obtained with the fuel blend DF50B25HE25. The NO_x emissions produced by B100 are higher compared to DF. Low NO_x emissions were produced by mixtures containing decanol. The CO emissions produced by B100 are higher compared to those generated by DF. The CO emissions produced by DF50B50 are lower compared to those generated by single and dual fuel blends. The particulate matter (PM) emissions produced by DF are higher compared to those generated by all tested fuels. DF50OC50 generates high cylinder pressures (CP) with increasing loads, while the highest CP is achieved with the DF50HE50 fuel blend. The net heat release rate (NHRR) of the DF50HE50 fuel blend is the highest. The pressure rise rate (PRR) of B100 is higher than that of DF, while the PRR of the DF50B50 fuel blend is lower compared to single fuels. It has been observed that the prediction of combustion data using ANNs is highly successful, as indicated by the low MSE values.

Keywords: Artificial neural networks (ANNs), biodiesel, combustion analysis, emissions, engine performance, safflower seed, spectroscopy, transesterification

ÖNSÖZ

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtların hızla tükenmesi ve dünyada emisyonların çevreye verdiği zarar/zararlardan dolayı oluşan kaygı ve farkındalığın artmasından ötürü emisyonların azaltılmasının önemi giderek artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, aspir tohumunun farklı yöntemlerle ekstrakte edilmesi neticesinde elde edilen yağın biyodizele sentezlenerek farklı ağır alkollerle farklı oranlarda harmanlanarak bir dizel motorda performans, emisyon ve yanma parametrelerinin iyileştirilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yanma parametrelerinin tahmini için YSA mimarileri oluşturulmuştur. Çalışma sırasında değerli katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin AYDIN'a saygılarımı ve sevgilerimi sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarında ve diğer bütün konularda ilgi ve desteklerini esirgemeyen Sayın Mak. Müh. Sercan SERCANOĞLU'na, Hüseyin BİLGE'ye, Öğr. Gör. Rukiye KAYA'ya, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ASKER'e, Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin FIRAT'a, Doç. Dr. Erdal ÇILGIN'a, Dr. Fethullah TEKİN'e, Doç. Dr. Murat BİNGÜL'e, Prof. Dr. Ahmet YARDIMEDEN'e ve Tez İzleme Komitesi üyeleri / Tez Jürisi değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Hasan BAYINDIR'a, Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ'a, Prof. Dr. Bahattin İŞCAN'a ve Doç. Dr. Fevzi YAŞAR'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam için ihtiyaç duyulan ağır alkollerin tedarikinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Polar Laboratuvar Cihazları Ltd. Şti. çalışanlarına ve firmanın koordinatörü Fatma PEKAVCILAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, hayatım boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen değerli anneme, babama, kardeşlerime ve çalışmalarım boyunca gösterdikleri sabırdan dolayı değerli eşime ve oğlum Özkan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
ÇİZELGELER LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu	6
1.2. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	16
1.3. Çeşitli Sektörlere Göre Enerji Talebi ve 2050 Yılı İçin Öngörülen Talep	18
1.4. Petrol ve Diğer Sıvı Yakıtların Üretimi	22
1.5. Biyoyakıtlar.....	28
1.5.1. Biyoyakıt çeşitleri.....	29
1.5.1.1. Biyoetanol.....	31
1.5.1.2. Biyodizel ve B100 yakıtının özellikleri	35
1.5.1.2.1. Kükürt	41
1.5.1.2.2. Parlama noktası	42
1.5.1.2.3. Su ve serbest partikül miktarı.....	43
1.5.1.2.4. Viskozite	44
1.5.1.2.5. Sülfatlanmış kül	46
1.5.1.2.6. Bakır şerit korozyon testi	47
1.5.1.2.7. Setan sayısı ve setan indeksi	48
1.5.1.2.8. Karbon artığı	50
1.5.1.2.9. Asit sayısı	50
1.5.1.2.10. Oksidasyon kararlılığı	51
1.5.1.2.11. İyot sayısı	53
1.5.1.2.12. Yoğunluk.....	55
1.5.1.2.13. Net yanma ısısı	56
1.5.1.2.14. Grup I metaller (Na+K) ve grup II metaller (Ca+Mg).....	57
1.5.1.2.15. Fosfor içeriği	58
1.5.1.2.16. Soğuk akış özellikleri	58
1.5.1.2.16.1. Bulutlanma noktası	59
1.5.1.2.16.2. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)	60
1.5.1.2.16.3. Akma ve donma noktası	61

1.5.1.2.3. Dünya’da ve Ülkemizde B100 üretim miktarları	62
1.5.1.3.1. Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler	63
1.5.1.2.3. Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri	67
1.5.1.2.3.1. Doğrudan kullanım veya seyreltme (inceltme)	68
1.5.1.2.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma	70
1.5.1.2.3.3. Piroliz (ısıl parçalanma)	70
1.5.1.2.3.4. Transesterifikasyon.....	71
1.6. Alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı	75
1.6.1. Hafif alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı.....	78
1.6.1.1. Metanol (CH_3OH).....	79
1.6.1.2. Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	80
1.6.1.3. Propanol ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$)	82
1.6.2. Ağır alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı.....	83
1.6.2.1. Bütanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$)	85
1.6.2.2. Pentanol ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$)	88
1.6.2.3. Hekzanol ($\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$)	89
1.6.2.4. Oktanol ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$).....	90
1.6.2.5. Dekanol ($\text{C}_9\text{H}_{19}\text{OH}$)	91
1.7. Aspir Bitkisi	92
1.7.1. Aspir tohumlarının morfolojik yapısı	96
1.7.2. Aspir tohumlarından oleozom ekstraksiyonu	99
1.7.3. Bitki tohumlarından yağ elde etme yöntemleri	100
1.7.3.1. Mekanik ekstraksiyon	101
1.7.3.1.1. Şahmerdanlı pres	102
1.7.3.1.2. Köprü tipi yağ çıkarma presi	103
1.7.3.1.3. Hidrolik tip yağ çıkarma presi.....	105
1.7.3.1.4. Ghani yağ ekstraksiyon yöntemi	106
1.7.3.1.5. Sürekli Vidalı Presler veya Ekspeller	107
1.7.3.2. Kimyasal ekstraksiyon	109
1.7.3.2.1. Folch Metodu	110
1.7.3.2.2. Bligh ve Dyer yöntemi	110
1.7.3.2.3. Sokslet Ekstraksiyonu	111
1.7.3.2.4. Süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE)	112
1.7.3.2.5. Ultrason destekli ekstraksiyon (UAE)	114
1.7.3.2.6. Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE).....	115
1.8. İçten Yanmalı Motorlar	117
1.8.1. İçten yanmalı motorların çalışma prensibi	119

1.9. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyonlar	123
1.9.1. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yanma periyotları.....	124
1.9.1.1. Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyetlerine etki eden faktörler	129
1.9.1.1.1. Fiziksel tutuşma gecikmesine etki eden faktörler	130
1.9.1.1.1.1. Devir sayısı	130
1.9.1.1.1.2. Hava hareketleri ve türbülans	131
1.9.1.1.1.3. Bölünmüş yanma odaları (BYO).....	131
1.9.1.1.2. Kimyasal tutuşma gecikmesine etki eden faktörler	132
1.9.1.1.2.1. Setan sayısı (SS)	133
1.9.1.1.2.2. Sıkıştırma oranı	133
1.9.1.1.2.3. Püskürtme avansı.....	134
1.9.1.1.2.4. Yakıt/hava oranı	135
1.9.1.1.2.5. Emme manifoldu basıncı.....	136
1.9.1.1.2.6. Emme havası sıcaklığı.....	136
1.9.1.1.2.7. Aşırı doldurma.....	137
1.9.1.1.2.8. Motor gücü (Yükü).....	137
1.9.1.1.2.9. Soğutucu akışkan sıcaklığı	138
1.9.1.1.2.10. Karışımdaki oksijen ve egzoz gazı yüzdesi	138
1.9.1.1.2.11. Strok hacmi.....	139
1.9.1.1.2.12. Atomizasyon derecesi.....	139
1.9.2. Egzoz emisyonlarının oluşumu	140
1.9.2.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonlarının oluşumu.....	141
1.9.2.2. Yanmamış (HC) emisyonlarının oluşumu	142
1.9.2.3. Partikül madde ve is emisyonlarının oluşumu	143
1.9.2.4. Azot oksit (NO _x) emisyonlarının oluşumu	144
1.9.2.5. Kükürt oksit emisyonlarının oluşumu.....	145
1.10. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	146
1.10.1. Aktivasyon fonksiyonları	149
1.10.1.1. Step (basamak) fonksiyonu.....	150
1.10.1.2. Lineer (doğrusal) fonksiyon.....	151
1.10.1.3. Sigmoid fonksiyon	151
1.10.1.4. Hiperbolik tanjant (tanh) fonksiyonu.....	152
1.10.1.5. ReLu fonksiyonu.....	153
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	154
2.1. Bitki tohumlarından yağ ekstraksiyonu	154
2.2. Dizel, B100 ve ağır alkol kombinasyonları.....	160
2.3. Motor karakteristiklerinin tahmini için YSA ile ilgili çalışmalar	174

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	179
3.1. Materyal	179
3.1.1. Aspir tohumu	179
3.1.2. Araştırmada kullanılan mekanik ve elektrikli cihazlar.....	179
3.1.2.1. Vidalı tip yağ çıkarma presi.....	180
3.1.2.2. Atölye tipi kesikli hidrolik yağ çıkarma presi.....	181
3.1.2.3. Yağ ekstraksiyonu için imal edilen pres kafesi.....	182
3.1.2.4. Sokslet yağ tayin cihazı	183
3.1.2.5. Döner buharlaştırıcı	184
3.1.2.6. Hassas teraziler	184
3.1.2.7. Etüv	185
3.1.2.8. Manyetik karıştırıcı.....	186
3.1.2.9. Laboratuvar tipi değirmen	186
3.1.2.10. Diyaframalı yağsız vakum pompası	187
3.1.2.11. Vakum filtrasyon sistemi elemanları	187
3.1.2.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	188
3.1.2.13. Kinematik viskozite tayin cihazı.....	189
3.1.2.14. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	190
3.1.2.15. Gaz Kromatografisi (GC)	190
3.1.2.16. Kütle Spektrometresi (GC/MS)	191
3.1.2.17. Kapiler Kolon	191
3.1.2.18. Sıvı NMR Ölçümleri (400 MHz).....	192
3.1.2.19. FT-IR analizi.....	192
3.1.2.20. Laboratuvar cam malzemeler, termometre ve manyetik balık.....	193
3.1.2.21. Kumpas, mikrometre ve çelik cetvel	194
3.1.3. Tez çalışmasında kullanılan kimyasallar.....	194
3.1.3.1. Metanol (CH_3OH).....	195
3.1.3.2. Potasyum hidroksit (KOH)	195
3.1.3.3. Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	196
3.1.3.4. Fenolftalein İndikatör Çözeltisi (%1)	196
3.1.3.5. Dietil eter ($\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	197
3.1.3.6. Hekzan (C_6H_{14})	197
3.1.3.7. 1-Hekzanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$).....	198
3.1.3.8. 1-Oktanöl ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$)	198
3.1.3.9. 1-Dekanöl ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{OH}$)	199
3.1.4. Motor test düzeneği ve ölçüm ekipmanları	199
3.1.4.1. Test motoru	200

3.1.4.2. Egzoz emisyon cihazları	201
3.1.4.3. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi	201
3.1.4.4. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği	203
3.1.4.5. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümünde kullanılan sıcaklık ölçer	204
3.2. Metot	205
3.2.1. Aspir tohumunun tedarik edilmesi	206
3.2.2. Aspir tohumunun fiziksel özellikleri	206
3.2.2.1. Aspir tohumunun karakteristik boyutlarının belirlenmesi	206
3.2.2.2. Aspir tohumlarının nem muhteiyatının belirlenmesi	207
3.2.2.3. Aspir tohumu 1000 dane kütlesi	208
3.2.3. Aspir tohumundan yağ ekstraksiyon yöntemleri	208
3.2.3.1. Hidrolik pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu.....	209
3.2.3.2. Vidalı tip pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu.....	210
3.2.3.3. Sokslet ekstraksiyonu	212
3.2.4. Yağın ve biyodizelin fizikokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi	213
3.2.5. Aspir tohumu yağının asit değerinin belirlenmesi.....	214
3.2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemi.....	215
3.2.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)	216
3.2.8. Aspir tohumu yağı ve sentezlenen biyodizelin GC-MS analizleri	216
3.2.9. Nükleer magnetik rezonans (NMR) analizleri	217
3.2.10. Aspir tohumu yağının biyodizele sentezlenmesi	217
3.2.11. Yakıt karışımlarının hazırlanması	223
3.2.12. Motor karakteristik deneyleri	225
3.2.12.1. Motor test düzeneği	225
3.2.12.2. Testlerde hesaplanan performans karakteristikleri	226
3.2.12.2.1. Yakıt tüketimi.....	226
3.2.12.2.2. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)	227
3.2.12.2.3. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET)	228
3.2.12.2.4. Fren termal verimliliği (FTV)	228
3.2.12.3. Yanma analiz sistemi	229
3.2.12.3.1. Silindir basıncı (SB).....	229
3.2.12.3.2. Net ısı salımı hızı (NISH)	229
3.2.12.3.3. Basınç artış oranı (BAO).....	231
3.2.12.3.4. Egzoz gazı sıcaklıkları	231
3.2.12.4. Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi	231
3.2.13. YSA mimarisi oluşturma yöntemleri	232
3.2.13.1. Python	232

3.2.13.1.1. Python geliştirme arayüzleri.....	233
3.2.13.1.2. Python kütüphaneleri.....	234
3.2.13.1.2.1. Makine öğrenme kütüphanesi.....	234
3.2.13.1.2.1.1. Keras	234
3.2.13.1.2.1.2. Scikit-learn	235
3.2.13.1.2.2. Bilimsel hesaplama kütüphanesi.....	235
3.2.13.1.2.2.1. NumPy.....	235
3.2.13.1.2.3. Veri analizi ve görselleştirme kütüphanesi.....	235
3.2.13.1.2.3.1. Pandas	236
3.2.13.1.2.3.2. Matplotlib.....	236
3.2.14. Yanma parametrelerinin tahmini için YSA modelinin oluşturulması ...	237
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	240
4.1. Yağ ekstraksiyonu.....	240
4.1.1. Hidrolik pres ile yağ ekstraksiyonu.....	240
4.1.2. Sürekli vidalı pres ile yağ ekstraksiyonu.....	241
4.1.3. Sokslet yağ ekstraksiyonu	242
4.1.4. Ekstraksiyon yöntemlerinin yağ verimliliklerinin mukayesesi	243
4.2. Ekstrakte edilen tohumların morfolojik yapısında meydana gelen değişimler..	243
4.3. Ekstrakte edilen yağın karakterizasyonu.....	246
4.3.1. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi.....	246
4.3.2. ¹ H NMR analizi	248
4.3.3. ¹³ C NMR analizi	249
4.3.4. GC-MS analizi.....	250
4.4. Biyodizelin sentezlenmesi ve sentezlenen biyodizelin karakterizasyonu.....	253
4.4.1. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin FT-IR analizi	253
4.4.2. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin ¹ H NMR analizi.....	255
4.4.3. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin ¹³ C NMR analizi.....	256
4.4.4. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin GC-MS analizi	257
4.4.5. Sentezlenen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	258
4.3. Dizel yakıtı, B100 ve diğer test yakıtlarının motor deneyleri.....	264
4.3.1. Performans parametreleri	264
4.3.1.1. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT).....	264
4.3.1.2. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET)	269
4.3.1.2. Fren termal verimliliği (FTV).....	272
4.3.1.4. Egzoz gazı sıcaklığı (T _e)	275
4.3.2. Emisyon parametreleri.....	278
4.3.2.1. Azot oksit (NO _x) emisyonları.....	279

4.3.2.2. Karbon monoksit emisyonları.....	286
4.3.2.3. Duman koyuluğu.....	293
4.3.3. Yanma parametreleri	299
4.3.3.1. Silindir basıncı (SB).....	300
4.3.3.2. Net ısı salımı hızı (NISH)	310
4.3.3.3. Basınç artış oranı (BAO)	319
4.3.4. Yanma parametrelerinin YSA ile tahmini	328
4.3.4.1. Silindir basıncının YSA ile tahmini.....	329
4.3.4.2. Net ısı salımı hızının YSA ile tahmini.....	338
4.3.4.3. Basınç artış oranının YSA ile tahmini	347
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	357
5.1. Sonuçlar.....	357
5.2. Öneriler	373
6. KAYNAKLAR	375
ÖZGEÇMİŞ	421

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Gerçekleşen ve HGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı	4
Şekil 1.3. Gerçekleşen ve NSS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı	5
Şekil 1.4. Gerçekleşen ve MDS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı.....	6
Şekil 1.5. DBEÜ	7
Şekil 1.6. DBEÜ'de ilk beş sırada yer alan ülkeler	8
Şekil 1.7. TBEÜ.....	8
Şekil 1.8. Dünyada ham petrol üretiminde ilk 5 sırada yer alan ülkeler	9
Şekil 1.9. Türkiye ham petrol üretim miktarları	9
Şekil 1.10. Dünya doğal gaz üretim miktarları.....	10
Şekil 1.11. Dünya kömür üretim miktarları.....	10
Şekil 1.12. Türkiye kömür üretim miktarları.....	11
Şekil 1.13. Dünya nükleer enerji kaynaklarından net elektrik üretim miktarı	11
Şekil 1.14. DBET.....	12
Şekil 1.15. 1995-2019 yılları arası enerji kaynağı türüne göre DBET	12
Şekil 1.16. 1990-2020 yılları arası enerji kaynağı türüne göre TBET	13
Şekil 1.17. Dünya YEK'den net elektrik üretim miktarları.....	17
Şekil 1.18. Türkiye YEK'den net elektrik üretim miktarları.....	18
Şekil 1.19. Gerçekleşen ve HGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı	19
Şekil 1.20. Gerçekleşen ve NSGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı	20
Şekil 1.21. Gerçekleşen ve MDGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı	21
Şekil 1.22. Enerji kaynakları	28
Şekil 1.23. Tarımsal ürünlerin sıvı biyoyakıtlara dönüştürülmesi.....	30
Şekil 1.24. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam biyoyakıt üretimi	31
Şekil 1.25. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam biyoetanol üretimi	35
Şekil 1.26. Dünya biyoetanol üretiminde ilk on sırada yer alan ülkeler	35
Şekil 1.27. Trigliseritler, gliserol ve yağ asitlerinin kimyasal yapısı	38
Şekil 1.28. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam B100 üretimi.....	62
Şekil 1.29. Dünya B100 üretiminde ilk on sırada yer alan ülkeler.....	63
Şekil 1.30. Trigliseritlerin kimyasal yapısı.....	64
Şekil 1.31. Biyodizel üretiminde kullanılan farklı hammaddeler.....	66
Şekil 1.32. Yağların yakıt olarak kullanılmasına ilişkin sorunlar ve olası çözümler	69
Şekil 1.33. Esterifikasyon reaksiyonu	71
Şekil 1.34. Yağ bileşeni olan trigliseridi üretmek için gliserol ve YA'leri reaksiyonu ..	72
Şekil 1.35. YAME'leri oluşturmak için transesterifikasyon reaksiyonu.....	72
Şekil 1.36. Potasyum metoksit oluşturmak için gerçekleşen kimyasal reaksiyon.....	73
Şekil 1.37. Sodyum etoksit oluşturmak için gerçekleşen kimyasal reaksiyon	73
Şekil 1.38. Metanolden dekanole doğru geçerken alkol özelliklerinin değişimi.....	75
Şekil 1.39. Çeşitli alkol üretim metodolojileri	77
Şekil 1.40. Küresel çiçek başlı aspir bitkisinin birincil, ikincil ve üçüncül dalları	92
Şekil 1.41. Aspir bitkisinin farklı büyüme ve gelişme safhaları	93
Şekil 1.42. Beyaz renkli, sert kabuklu aspir tohumları.....	93
Şekil 1.43. Aspir tohumunda bulunabilecek papuslar (saç tutamları).....	94
Şekil 1.44. Kış mevsiminde aspir bitkisinin boy uzunluğu	95
Şekil 1.45. Çimlenmiş tohumun yapısı.....	96
Şekil 1.46. Aspir kotiledon somatik embriyo kökenini gösteren mikroyaflar	97
Şekil 1.47. Oleozom (yağ gövdesi) yapısı	98
Şekil 1.48. Tohum hücrelerinin çiçeklenmeden 28 gün sonraki elektron mikroyafları	99

Şekil 1.49. Oleozomların Yapısı.....	100
Şekil 1.50. Şahmerdanlı pres	102
Şekil 1.51. Köprü tip yağ çıkarma presİ	104
Şekil 1.52. Elle tahrik edilen hidrolik tip yağ çıkarma presİ	105
Şekil 1.53. Bir hayvan ve elektrik motoru tarafından tahrik edilen ghani sistemleri ...	107
Şekil 1.54. Sürekli (ekspeller) vidalı yağ çıkarma presİ.....	107
Şekil 1.55. Sokslet ekstraksiyon aparatı kurulumu.....	112
Şekil 1.56. Süperkritik CO ₂ sıvı ekstraksiyonunun şematik gösterimi.....	113
Şekil 1.57. Ultrasonik sistemlerin şematik gösterimi	115
Şekil 1.58. Mikrodalga destekli solvent ekstraksiyonunun şematik gösterimi.....	117
Şekil 1.59. Teorik otto ve dizel çevrimi	120
Şekil 1.60. Dört zamanlı buji ateşlemeli motor	120
Şekil 1.61. Dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli motor	121
Şekil 1.62. Bir dizel motoruna ait krank açısı-basınç diyagramında yanma prosesi....	125
Şekil 1.63. Dizel motorların yanma safhalarında meydana gelen ısı dağılımı	129
Şekil 1.64. Motor devrinin TG'sine etkisi	130
Şekil 1.65. Girdap hareketi sağlayan tipik bir yanma odası.....	131
Şekil 1.66. Direkt püskürtmeli ve bölünmüş yanma odaları	131
Şekil 1.67. Yanma odası türünün TG üzerindeki etkileri	132
Şekil 1.68. Sıkıştırma oranının basınç- krank açısı diyagramının seyrine etkisi.....	134
Şekil 1.69. Püskürtme avansının yakıt tutuşması üzerindeki etkisi.....	134
Şekil 1.70. Y/H oranının TG üzerindeki etkisi	136
Şekil 1.71. Emme manifoldundaki basıncın TG süresi üzerindeki etkisi.....	136
Şekil 1.72. Emme havası sıcaklığının TG süresi üzerindeki etkisi	137
Şekil 1.73. Motor yükünün TG süresi üzerindeki etkisi.....	137
Şekil 1.74. Soğutucu akışkan sıcaklığının TG süresi üzerindeki etkisi.....	138
Şekil 1.75. Karışımındaki O ₂ yüzdesinin TG süresi üzerindeki etkisi	138
Şekil 1.76. Karışımındaki egzoz gazı yüzdesinin TG süresi üzerindeki etkisi.....	139
Şekil 1.77. Strok hacminin TG süresi üzerindeki etkisi	139
Şekil 1.78. Dizel Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi	140
Şekil 1.79. Biyolojik sinir hücre yapısı	146
Şekil 1.80. Basit bir YSA mimarisi	147
Şekil 1.81. Yapay sinir hücresi yapısı	149
Şekil 1.82. Aktivasyon fonksiyonu şeması.....	150
Şekil 1.83. Basamak aktivasyon fonksiyonu ve türevi.....	150
Şekil 1.84. Lineer aktivasyon fonksiyonu ve türevi	151
Şekil 1.85. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve türevi	152
Şekil 1.86. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve türevi	153
Şekil 1.87. ReLu aktivasyon fonksiyonu ve türevi.....	153
Şekil 2.1. Kaliforniya taşıma oranı üniversal test makinesi	155
Şekil 3.1. Aspir (Carthamus tinctorius L.) tohumları	179
Şekil 3.2. Vidalı yağ çıkarma presİ.....	180
Şekil 3.3. Tohumdan yağ ekstrakte etmek için kullanılan hidrolik pres	181
Şekil 3.4. Yağ ekstraksiyonu için imal edilen pres kafesi	182
Şekil 3.5. Sokslet yağ tayin cihazı.....	183
Şekil 3.6. Döner evaporatör.....	184
Şekil 3.7. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan hassas teraziler	185
Şekil 3.8. Nem ve ekstraksiyon çözücüsünün uçurulması için kullanılan etüv.....	185
Şekil 3.9. Isıtıcı manyetik karıştırıcı	186
Şekil 3.10. Laboratuvar tipi değirmen	187

Şekil 3.11. Diyaframlı yağsız vakum pompası.....	187
Şekil 3.12. Vakum filtrasyon sistemi ve elemanları.....	188
Şekil 3.13. ESEM Taramalı Elektron Mikroskobu.....	189
Şekil 3.14. Kinematik Viskozite Banyosu Cihazı	189
Şekil 3.15. Mettler Toledo Densito 30 PX yoğunluk ölçüm cihazı.....	190
Şekil 3.16. Gaz kromatografisi (GC - Agilent 7890A) cihazı.....	191
Şekil 3.17. Kütle spektrometresi (GC/MS - Agilent 5975C) cihazı.....	191
Şekil 3.18. Kapiler kolon (Agilent J&W GC Columns) bobini.....	192
Şekil 3.19. Bruker AVANCE III 400 MHz spektrometresi	192
Şekil 3.20. Agilent Cary 630 FT-IR spektrometresi.....	193
Şekil 3.21. Tez çalışmasında kullanılan laboratuvar malzemeleri	194
Şekil 3.22. Tez çalışmasında kullanılan ölçü aletleri	194
Şekil 3.23. Yağın biyodizele sentezlenmesi için kullanılan metanol	195
Şekil 3.24. Yağın biyodizele sentezlenmesi için için kullanılan KOH	195
Şekil 3.25. Yağın titre edilmesi için kullanılan etanol	196
Şekil 3.26. Titrasyon işleminde kullanılan fenoltalein indikatör çözeltisi.....	196
Şekil 3.27. Dietil eter (C_2H_5) ₂ O.....	197
Şekil 3.28. Sokslet ekstraksiyon işleminde çözücü olarak kullanılan hekzan.....	197
Şekil 3.29. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-hekzanol	198
Şekil 3.30. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-oktanol.....	198
Şekil 3.31. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-dekanol	199
Şekil 3.32. Yakıtların testlerinde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü	199
Şekil 3.33. Farklı yakıtların testlerinde kullanılan dizel motor	200
Şekil 3.34. Egzoz emisyon cihazları.....	201
Şekil 3.35. Hidrolik dinamometre	202
Şekil 3.36. ICEngineSoft bilgisayar yanma analiz yazılımının arayüzü	202
Şekil 3.37. Yakıtların test edildiği motora entegre edilen sensör ve diğer kısımlar.....	203
Şekil 3.38. Test yakıtları ölçüm düzeneği	204
Şekil 3.39. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümünde kullanılan kızılötesi termometre	204
Şekil 3.40. Tez çalışması aşamaları.....	205
Şekil 3.41. Tedarik edilen aspir tohumu çuvalı	206
Şekil 3.42. Aspir tohumu tanelerinin dik çaplarının gösterimi.....	206
Şekil 3.43. Etüvde bekletilmeden ve 72 saat bekletildikten sonraki tohum kütlesi	207
Şekil 3.44. Aspir tohumlarının 1000 dane kütlesinin belirlenmesi	208
Şekil 3.45. Farklı yöntemler ile yağ ekstraksiyonu	208
Şekil 3.46. Hidrolik pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonunun aşamaları.....	209
Şekil 3.47. Hidrolik pres ile aspir tohumundan yağın ekstraksiyonu	210
Şekil 3.48. Vidalı pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu.....	211
Şekil 3.49. Sokslet ekstraksiyonu	212
Şekil 3.50. İki adımlı proses ile yağların biyodizele sentezlenmesi.....	214
Şekil 3.51. SYA tayininde titrasyon işleminin gösterilmesi.....	215
Şekil 3.52. Triglicerit üretmek için gliserol ve yağ asitlerinin reaksiyonu.....	218
Şekil 3.53. Transesterifikasyon kimyasal reaksiyon prosesi	218
Şekil 3.54. Potasyum metoksit oluşumunun kimyasal reaksiyonu.....	221
Şekil 3.55. Metil ester üretim aşamaları	223
Şekil 3.56. DF, B100 ve AA'ler ile hazırlanan karışım yakıtlar	223
Şekil 3.57. Motor test düzeneğinin şematik görünümü	226
Şekil 3.58. Python şeması.....	233
Şekil 3.59. Dropout uygulanmamış ve uygulanmış ağ yapısı	237
Şekil 3.60. Yanma parametrelerinin tahmini için oluşturulan YSA mimarisi.....	238

Şekil 4.1. Farklı basınçlarda hidrolik pres ile ekstrakte edilen tohumun yağ verimi ...	241
Şekil 4.2. Sürekli vidalı pres ile ekstrakte edilen aspir tohumunun yağ verimi	242
Şekil 4.3. Sokslet ekstraksiyonu ile ekstrakte edilen aspir tohumunun yağ verimi.....	242
Şekil 4.4. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinden yağ elde etme verimlilikleri.....	243
Şekil 4.5. Tek çenekli bitki için tohumla çimlendirilmiş yapı.....	244
Şekil 4.6. Farklı yöntemlerle ekstrakte edilen aspir tohumunun SEM görüntüleri	244
Şekil 4.7. Sıkıştırma altında oleozomların varsayımsal konformasyonu	245
Şekil 4.8. Ekstrakte edilen ATY'nin FT-IR spektrumu.....	247
Şekil 4.9. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin ¹ H NMR spektrumları	249
Şekil 4.10. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin ¹³ C NMR spektrumları	250
Şekil 4.11. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin GC-MS profili	252
Şekil 4.12. Sentezlenen biyodizelin FT-IR spektrumu.....	254
Şekil 4.13. DD'lerine göre farklı yağlardan sentezlenen biyodizellerin iyot değeri	263
Şekil 4.14. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi	265
Şekil 4.15. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi	266
Şekil 4.16. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi	267
Şekil 4.17. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi	270
Şekil 4.18. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi	270
Şekil 4.19. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi.....	271
Şekil 4.20. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi	272
Şekil 4.21. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi	273
Şekil 4.22. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi	273
Şekil 4.23. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi	276
Şekil 4.24. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi	276
Şekil 4.25. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi	277
Şekil 4.26. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların NOx emisyonları	281
Şekil 4.27. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların NOx emisyonları	282
Şekil 4.28. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların NOx emisyonları.....	282
Şekil 4.29. %50 AA içeren farklı yakıtların NOx emisyonları	283
Şekil 4.30. %25 AA içeren farklı yakıtların NOx emisyonları	283
Şekil 4.31. %15 ağır alkol içeren farklı yakıtların NOx emisyonları	284
Şekil 4.32. %5 AA içeren farklı yakıtların NOx emisyonları	284
Şekil 4.33. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları	288
Şekil 4.34. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları.....	289
Şekil 4.35. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları	289
Şekil 4.36. %50 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları.....	290
Şekil 4.37. %25 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları.....	290
Şekil 4.38. %15 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları.....	291
Şekil 4.39. %5 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları.....	291
Şekil 4.40. Hekzanol ilavesinin DK üzerine etkisi	295
Şekil 4.41. Oktanol ilavesinin DK üzerine etkisi	295
Şekil 4.42. Dekanol ilavesinin DK üzerine etkisi.....	296
Şekil 4.43. %50 AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi	296
Şekil 4.44. %25 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi.....	297
Şekil 4.45. %15 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi.....	297
Şekil 4.46. %5 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi.....	298
Şekil 4.47. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar).....	301
Şekil 4.48. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar).....	302
Şekil 4.49. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (2 bar).....	302
Şekil 4.50. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (3 bar).....	303

Şekil 4.51. Hekzanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin olduğu KA.....	303
Şekil 4.52. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar)	304
Şekil 4.53. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar)	304
Şekil 4.54. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (2 bar)	305
Şekil 4.55. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (3 bar)	305
Şekil 4.56. Oktanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin olduğu KA	306
Şekil 4.57. Dekanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar)	306
Şekil 4.58. Dekanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar)	307
Şekil 4.59. Dekanol içeren yakıtların SB'lerinin değişimi (2 bar)	307
Şekil 4.60. Dekanol içeren yakıtların SB'lerinin değişimi (3 bar)	308
Şekil 4.61. Dekanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin olduğu KA	308
Şekil 4.62. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar)	311
Şekil 4.63. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar)	312
Şekil 4.64. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar)	312
Şekil 4.65. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar)	313
Şekil 4.66. Hekzanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin olduğu KA	313
Şekil 4.67. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar)	314
Şekil 4.68. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar)	314
Şekil 4.69. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar)	315
Şekil 4.70. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar)	315
Şekil 4.71. Oktanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin olduğu KA.....	316
Şekil 4.72. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar).....	316
Şekil 4.73. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar).....	317
Şekil 4.74. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar).....	317
Şekil 4.75. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar).....	318
Şekil 4.76. Dekanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin olduğu KA	318
Şekil 4.77. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar).....	320
Şekil 4.78. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar).....	321
Şekil 4.79. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar).....	321
Şekil 4.80. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar).....	322
Şekil 4.81. Hekzanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının olduğu KA	322
Şekil 4.82. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar)	323
Şekil 4.83. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar)	323
Şekil 4.84. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar)	324
Şekil 4.85. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar)	324
Şekil 4.86. Oktanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının olduğu KA	325
Şekil 4.87. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar).....	325
Şekil 4.88. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar).....	326
Şekil 4.89. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar).....	326
Şekil 4.90. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar).....	327
Şekil 4.91. Dekanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının olduğu KA	327
Şekil 4.92. DF'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	330
Şekil 4.93. B100'ün SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	330
Şekil 4.94. DF50B50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	331
Şekil 4.95. DF50HE50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	331
Şekil 4.96. DF50B25HE25'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	332
Şekil 4.97. DF50B35HE15'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	333
Şekil 4.98. DF50B45HE5'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	333
Şekil 4.99. DF50OC50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	334
Şekil 4.100. DF50B25OC25'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	334

Şekil 4.101.	DF50B35OC15'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	335
Şekil 4.102.	DF50B45OC5'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	336
Şekil 4.103.	DF50DE50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	336
Şekil 4.104.	DF50B25DE25'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	337
Şekil 4.105.	DF50B35DE15'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	337
Şekil 4.106.	DF50B45DE5'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	338
Şekil 4.107.	DF'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	339
Şekil 4.108.	B100'ün NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	339
Şekil 4.109.	DF50B50'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	340
Şekil 4.110.	DF50HE50'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	340
Şekil 4.111.	DF50B25HE25'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	341
Şekil 4.112.	DF50B35HE15'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	342
Şekil 4.113.	DF50B45HE5'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	342
Şekil 4.114.	DF50OC50'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	343
Şekil 4.115.	DF50B25OC25'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	343
Şekil 4.116.	DF50B35OC15'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	344
Şekil 4.117.	DF50B45OC5'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	345
Şekil 4.118.	DF50DE50'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	345
Şekil 4.119.	DF50B25DE25'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	346
Şekil 4.120.	DF50B35DE15'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	346
Şekil 4.121.	DF50B45DE5'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	347
Şekil 4.122.	DF'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	348
Şekil 4.123.	B100'ün BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	348
Şekil 4.124.	DF50B50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	349
Şekil 4.125.	DF50HE50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	349
Şekil 4.126.	DF50B25HE25'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	350
Şekil 4.127.	DF50B35HE15'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	351
Şekil 4.128.	DF50B45HE5'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	351
Şekil 4.129.	DF50OC50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	352
Şekil 4.130.	DF50B25OC25'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	352
Şekil 4.131.	DF50B35OC15'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	353
Şekil 4.132.	DF50B45OC5'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	354
Şekil 4.133.	DF50DE50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	354
Şekil 4.134.	DF50B25DE25'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini.....	355
Şekil 4.135.	DF50B35DE15'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	355
Şekil 4.136.	DF50B45DE5'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini	356

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. Ülkelere göre kanıtlanmış ham petrol rezervleri (Milyar Varil)	14
Çizelge 1.2. Ülkelere göre kanıtlanmış doğalgaz rezervleri (Trilyon m ³).....	15
Çizelge 1.3. Ülkelere/bölgelere göre kanıtlanmış kömür rezervleri (MT)	16
Çizelge 1.4. Dünya ve Türkiye, LPG rafineri çıkış miktarı	22
Çizelge 1.5. Dünya ve Türkiye, motor ve uçak benzini rafineri çıkış miktarı	23
Çizelge 1.6. Dünya ve Türkiye, nafta rafineri çıkış miktarı	24
Çizelge 1.7. Yıllara göre Dünya ve Türkiye, kerosen rafineri çıkış miktarı	24
Çizelge 1.8. Dünya ve Türkiye, kerosen bazlı jet yakıtı rafineri çıkış miktarı.....	25
Çizelge 1.9. Dünya ve Türkiye, motorin rafineri çıkış miktarı	26
Çizelge 1.10. Dünya ve Türkiye, fuel-oil rafineri çıkış miktarı	27
Çizelge 1.11. Dünya ve Türkiye, diğer petrol ürünleri rafineri çıkış miktarı.....	27
Çizelge 1.12. Türkiye ve Dünya şeker bitkileri üretim miktarı (ton/yıl).....	32
Çizelge 1.13. Türkiye ve Dünyada bazı nişastalı bitkilerin üretim miktarları (ton/yıl) .	33
Çizelge 1.14. Biyoetanol parametrelerinin benzin ile kıyaslanması	34
Çizelge 1.15. Yağlarda ve katı yağlarda yaygın olarak görülen yağ asitleri	39
Çizelge 1.16. Biyodizel için ana özellikler	40
Çizelge 1.17. Bazı yağ asitlerinin erime noktaları.....	59
Çizelge 1.18. İklimle ilgili B100 SFTN özellikleri ve deney yöntemleri	61
Çizelge 1.19. Farklı hammaddelerin YA profilleri (min. ve mak. ağırlık yüzdeleri).....	65
Çizelge 1.20. Dizel ve hafif alkollere kıyasla daha AA'lerin özellikleri.....	76
Çizelge 1.21. Metanolün fizikokimyasal özellikleri.....	79
Çizelge 1.22. Etanolün fizikokimyasal özellikleri.....	81
Çizelge 1.23. Propanülün fizikokimyasal özellikleri.....	83
Çizelge 1.24. Bütanol izomerlerinin özellikleri.....	86
Çizelge 1.25. Bütanolün fizikokimyasal özellikleri	87
Çizelge 1.26. Pentanolün fizikokimyasal özellikleri	88
Çizelge 1.27. Hekzanolün fizikokimyasal özellikleri.....	89
Çizelge 1.28. Oktanolün fizikokimyasal özellikleri	90
Çizelge 1.29. Dekanolün fizikokimyasal özellikleri	91
Çizelge 1.30. Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması.....	146
Çizelge 2.1. Kaliforniya taşıma oranı üniversal test makinesi teknik özellikleri	155
Çizelge 3.1. Vidalı yağ çıkarma presinin teknik özellikleri	180
Çizelge 3.2. Atölye tipi hidrolik presin teknik özellikleri	181
Çizelge 3.3. Sokslet yağ tayin cihazının teknik özellikleri.....	183
Çizelge 3.4. Döner özelliğe sahip buharlaştırıcının teknik özellikleri	184
Çizelge 3.5. Manyetik karıştırıcı teknik özellikleri	186
Çizelge 3.6. ESEM taramalı elektron mikroskobu cihazı teknik özellikleri	188
Çizelge 3.7. Kinematik viskozite banyosu cihazının teknik özellikleri	189
Çizelge 3.8. Yoğunluk ölçüm cihazının teknik özellikleri	190
Çizelge 3.9. Deney motor özellikleri.....	200
Çizelge 3.10. Emisyon cihazları özellikleri.....	201
Çizelge 3.11. Aspir tohumunun karakteristik boyutlarının ortalaması.....	207
Çizelge 3.12. Laboratuvar tipi değirmende 50 g numunenin elek boyutları	213
Çizelge 3.13. Analizi gerçekleştirilen B100 özellikleri ve test metodu	214
Çizelge 3.14. Gaz Kromatografisi (GC) Şartları	217
Çizelge 3.15. Gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi (GC/MS) şartları.....	217
Çizelge 3.16. Aspir tohumu yağının YA bileşimi	220
Çizelge 3.17. Testlerde kullanılan yakıtların hacimsel olarak karışım oranları	225

Çizelge 4.1. Yağ spektrumunda bulunan fonksiyonel gruplar için FT-IR bant aralığı	246
Çizelge 4.2. Aspir yağı, katı ve diğer sıvı yağlarda yaygın olarak görülen YA'leri	251
Çizelge 4.3. Aspir tohum yağının YA bileşimi (Bağıl Yüzde%)	253
Çizelge 4.4. Yağ ve sentezlenen biyodizelin ¹ H NMR pikleri	256
Çizelge 4.5. Yağ ve sentezlenen biyodizelin ¹³ C NMR pikleri	257
Çizelge 4.6. Sentezlenen biyodizelin YAME bileşimi (Bağıl Yüzde %)	258
Çizelge 4.7. Sentezlenen ve diğer çalışmalardaki B100 yakıtın özellikleri	259
Çizelge 4.8. Bitkisel yağların YA kompozisyonları	261
Çizelge 4.9. YA bileşimi (%ağırlıkça), DD parametresi ve B100 iyot değeri	262
Çizelge 5.1. Test Yakıtlarının hesaplanan özellikleri	358
Çizelge 5.2. DF, B100 ve %50 B100 ve AA fraksiyonlarının FÖYT'leri	359
Çizelge 5.3. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri	359
Çizelge 5.4. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri	359
Çizelge 5.5. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri	359
Çizelge 5.6. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının FÖET'leri	360
Çizelge 5.7. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FÖET'leri	360
Çizelge 5.8. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FÖET'leri	360
Çizelge 5.9. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FÖET'leri	360
Çizelge 5.10. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)	361
Çizelge 5.11. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)	361
Çizelge 5.12. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)	361
Çizelge 5.13. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)	361
Çizelge 5.14. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının EGS'leri (°C)	362
Çizelge 5.15. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının EGS'leri (°C)	362
Çizelge 5.16. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının EGS'leri (°C)	362
Çizelge 5.17. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının EGS'leri (°C)	362
Çizelge 5.18. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının NOx emisyonları	363
Çizelge 5.19. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları	363
Çizelge 5.20. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları	363
Çizelge 5.21. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları	363
Çizelge 5.22. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA karışımlarının CO emisyonları	364
Çizelge 5.23. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının CO emisyonları	364
Çizelge 5.24. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının CO emisyonları	364
Çizelge 5.25. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının CO emisyonları	364
Çizelge 5.26. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının is emisyonları	365
Çizelge 5.27. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının is emisyonları	365
Çizelge 5.28. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının is emisyonları	365
Çizelge 5.29. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının is emisyonları	365
Çizelge 5.30. DF, B100, %50 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA	366
Çizelge 5.31. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA	366
Çizelge 5.32. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA	366
Çizelge 5.33. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA	367
Çizelge 5.34. DF, B100 ve %50 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA ..	367
Çizelge 5.35. DF, B100 ve %25 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA ..	367
Çizelge 5.36. DF, B100 ve %15 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA ..	368
Çizelge 5.37. DF, B100 ve %5 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA	368
Çizelge 5.38. DF, B100 ve %50 AA karışımlarının maksimum BAO olduğu KA ...	369
Çizelge 5.39. DF, B100 ve %25 AA karışımlarının maksimum BAO olduğu KA ...	369
Çizelge 5.40. DF, B100 ve %15 AA karışımlarının maksimum BAO olduğu KA ...	369
Çizelge 5.41. DF, B100 ve %5 AA karışımlarının maksimum BAO olduğu KA	369

Çizelge 5.42.	%50 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri.....	370
Çizelge 5.43.	%25 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri.....	370
Çizelge 5.44.	%15 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri.....	370
Çizelge 5.45.	%5 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri.....	371
Çizelge 5.46.	%50 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri	371
Çizelge 5.47.	%25 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri	371
Çizelge 5.48.	%15 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri	372
Çizelge 5.49.	%5 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri	372
Çizelge 5.50.	%50 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri	372
Çizelge 5.51.	%25 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri	373
Çizelge 5.52.	%15 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri	373
Çizelge 5.53.	%5 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri	373



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C18:1	: Oleik Asit
C18:2	: Linoleik Asit
C18:3	: Linolenik Asit
CDCl₃	: Döterlenmiş Kloroform
CH₄	: Metan
C₆H₁₄	: Hekzan
C₂H₆O	: Biyoetanol
CH₃OH	: Metanol
C₂H₅OH	: Etanol
C₃H₇OH	: Propanol
C₄H₉OH	: Bütanol
C₅H₁₁OH	: Pentanol
C₆H₁₃OH	: Hekzanol
C₈H₁₇OH	: Oktanol
C₉H₁₉OH	: Dekanol
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	: Karbondioksit
EJ	: Eksajoule
HC	: Hidrokarbon
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
KOH	: Potasyum Hidroksit
kPa	: Kilo Paskal
MPa	: Mega Paskal
N₂	: Azot Gazı
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NO_x	: Azot Oksit
-OCH₃	: Metoksit
-OCH₂CH₃	: Etoksit
-OH	: Hidroksil Grubu
PM	: Partikül Madde
\$	: Dolar
SO₂	: Kükürt Dioksit
SO_x	: Kükürt Oksitler

Kısaltmalar

¹H NMR	: Proton Nükleer Manyetik Rezonans
¹³C NMR	: Karbon-13 Nükleer Manyetik Rezonans
AA	: Ağır Alkol / Ağır Alkoller
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHY	: Atık Hayvansal Yağlar
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
ATY	: Aspir Tohumu Yağı
AYY	: Atık Yemeklik Yağlar
B100	: Saf Biyodizel
B5	: %5 Biyodizel - %95 Dizel karışımli yakıt
B20	: %20 Biyodizel - %80 Dizel karışımli yakıt
BAO	: Basınç Artış Oranı
BEK	: Birincil Enerji Kaynakları
BET	: Birincil Enerji Tüketim
Bin MT	: Bin Metrik Ton
BMEP	: Fren Ortalama Efektif Basıncı
BP	: British Petroleum
BYO	: Bölünmüş Yanma Odası
CPU	: Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)
DBET	: Dünya Birincil Enerji Tüketimi
DBEÜ	: Dünya Birincil Enerji Üretimi
DF	: Dizel Yakıt
DF50B50	: %50 Dizel - %50 Biyodizel Karışımli Yakıt
DF50DE50	: %50 Dizel - %50 Dekanol Karışımli Yakıt
DF50HE50	: %50 Dizel - %50 Hekzanol Karışımli Yakıt
DF50OC50	: %50 Dizel - %50 Oktanol Karışımli Yakıt
DF50B25DE25	: %50 Dizel - %25 Biyodizel - %25 Dekanol Karışımli Yakıt
DF50B25HE25	: %50 Dizel - %25 Biyodizel - %25 Hekzanol Karışımli Yakıt
DF50B25OC25	: %50 Dizel - %25 Biyodizel - %25 Oktanol Karışımli Yakıt
DF50B35DE15	: %50 Dizel - %35 Biyodizel - %15 Dekanol Karışımli Yakıt
DF50B35HE15	: %50 Dizel - %35 Biyodizel - %15 Hekzanol Karışımli Yakıt
DF50B35OC15	: %50 Dizel - %35 Biyodizel - %15 Oktanol Karışımli Yakıt
DF50B45DE5	: %50 Dizel - %45 Biyodizel - %5 Dekanol Karışımli Yakıt
DF50B45HE5	: %50 Dizel - %45 Biyodizel - %5 Hekzanol Karışımli Yakıt
DF50B45OC5	: %50 Dizel - %45 Biyodizel - %5 Oktanol Karışımli Yakıt
DK	: Duman Koyuluğu
DYO	: Düz Yanma Odalılar
EBB	: Avrupa Biyodizel Kurulu (European Biodiesel Board)
EGS	: Egzoz Gazı Sıcaklığı
EIA	: Enerji Bilgi Yönetimi (Energy Information Administration)
EN	: Avrupa Standardı (Europeane Norm)
FÖYT	: Fren Özgöl Yakıt Tüketimi
FTG	: Fiziksel Tutuşma Gecikmesi
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü İnfrared
FTV	: Fren Termal Verimi
GC	: Gaz Kromatografisi
GC/GC-MS	: Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi

GPU	: Grafik İşlemci Birimi (Graphics Processing Unit)
HCCI	: Homojen Dolgulu Sıkıştırma Ateşlemeli
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HGS	: Hızlı Geçiş Senaryosu
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
KA	: Krank Açısı
⁰KMA	: Krank Mili Açısı
KTG	: Kimyasal Tutuşma Gecikmesi
MDS	: Mevcut Durum Senaryosu
MFG	: Motor Fren Gücü
MSE	: Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error)
MT	: Milyon Ton
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NBB	: Ulusal Biyodizel Kurulu (The National Biodiesel Board)
NISH	: Net Isı Salımı Hızı
NMR	: Nükleer Magnetik Rezonans
NSS	: Net Sıfır Senaryosu
PN	: Parlama Noktası
R	: Ortalama Korelasyon Katsayısı
R²	: Korelasyon Katsayısı
SAM	: Sıkıştırma Ateşlemeli Motor
SB	: Silindir Basıncı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SFTN	: Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
SS	: Setan Sayısı
SYA	: Serbest Yağ Asidi
TBEÜ	: Türkiye Birincil Enerji Üretimi
TBET	: Türkiye Birincil Enerji Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
USEPA	: Çevre Koruma Ajansı (The U.S. Environmental Protection Agency)
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
YA	: Yağ Asidi
YAME	: Yağ Asidi Metil Esterleri
YE	: Yenilenebilir Enerjiler
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YYY	: Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM - Response Surface Methodology)

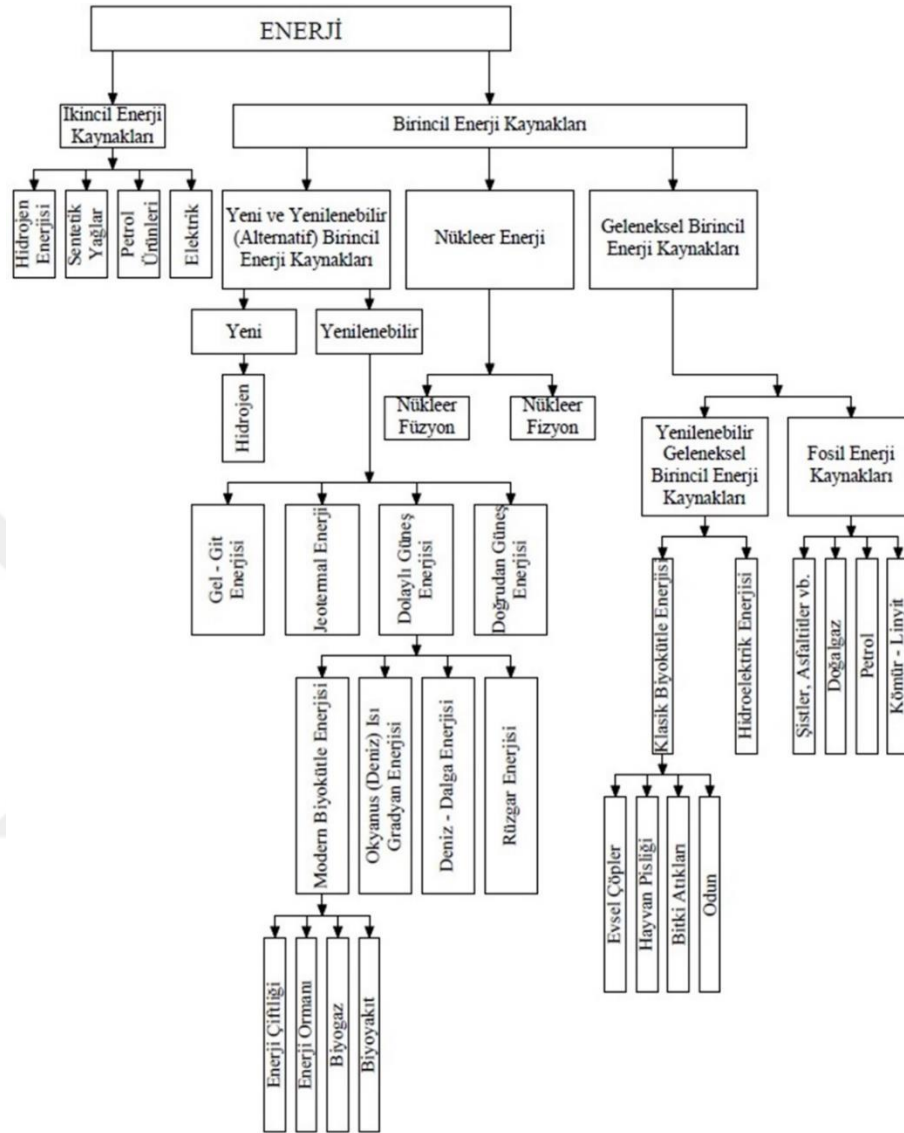
1. GİRİŞ

Günümüzde enerji; küresel ekonominin gelişmesi ile birlikte insanlığın hayatını sürdürmesi için dünya çapında en önemli ihtiyaçlardan biri haline gelmiştir. Enerji kaynaklarının gelişmesi ve kullanımı, insan yaşamının sürdürülebilirliği noktasında önemli bir etkiye sahiptir (Behrens ve ark., 2007). Bununla birlikte, her geçen gün bir önceki gün ile kıyaslandığında, bilimin ve küresel ekonominin sürekli olarak genişlemesinin yanı sıra ülkelerin nüfusunun devamlı olarak artmasından dolayı enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır (Demirbaş, 2005; Panwar ve ark., 2011). ‘En’ (İç) ve ‘Ergon’ (İş) Yunanca kökenli kelimelerinden türeyen enerji kelimesi; iş üretme becerisi, kudret, kuvvet ve dinamizm kelimeleri ile eş anlamlı olarak kullanılmaya başlanmış olup bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir (Demirbaş, 2002).

Çağımızda gelişmişlik anlayışı, enerjinin bol miktarda bulunması ve bol miktarda bulunan bu enerjinin tüketilmesinden ziyade, mevcut enerji kaynaklarının daha tasarruflu, daha ekonomik bir şekilde karşılandığı ve daha verimli bir şekilde kaynak kullanımı anlayışı ile yer değiştiren bir anlayış haline gelmiştir. Bu yeni bakış açısı ile “daha sağlıklı bir çevre”, “enerji arzı güvenliği” ve “enerji türlerinin artırılması” politikalarını da beraberinde getirmiştir. Günümüz dünyasında sera gazı salınımının neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliğinin neden olduğu orman yangınları, seller, su taşkınları kuraklık, vb. doğal afetlerin neden olduğu ekolojik ve çevresel zararların azaltılması amacı bu yeni politikaların temelini oluşturmaktadır (Güner ve Turan, 2017).

Enerji kaynaklarını birbirine dönüştürebilme durumlarına göre en genel hali ile birincil (primary) ve ikincil (secondary) enerji kaynakları olarak sınıflandırabilmek mümkündür. Birincil (primary) enerji; enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış hali ile kullanılmasıdır. Birincil enerji kaynakları (BEK); gel – git, jeotermal, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerjiler (YE) olabildiği gibi şistler, asfaltitler, petrol, kömür – linyit ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynakları da olabilir. İkincil (secondary) enerji, dönüşüm süreçleri yoluyla diğer BEK’den dönüştürülen daha uygun enerji formlarını ifade etmektedir. Örnek olarak kömür, ham petrol, akaryakıt, doğal gaz, rüzgâr, güneş ve nükleer enerji, elektrik enerjisine dönüştürülmesinin yanı sıra BEK olan petrolün dizel yakıt (DF) benzin, metanol (CH_3OH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) vb. yakıt formlarına dönüştürülmesi ikincil enerji kaynaklarını meydana getirmektedir.

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, enerji elde edilebilen kaynakları; birincil ve (ikincil) enerji kaynakları olarak sınıflandırabilmek mümkündür (Eryılmaz, 2009).



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

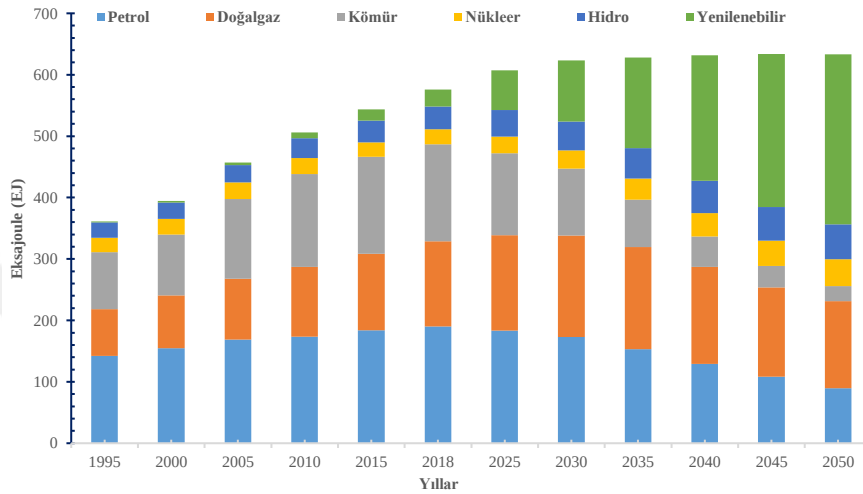
British Petroleum (BP)’nin 2050’ye küresel enerji geçişini şekillendiren güçleri ve bu geçiş çevreleyen temel belirsizlikleri araştıran, gelecek 30 yılın enerji trendlerine ışık tuttuğu “Enerji Görünümü” Raporu’nun 2020 baskısında, üç senaryo dâhilinde öngörülere yer verilmiştir. Bu öngörülere göre gelecek 30 yıl içinde enerji talebi artış gösterecektir, bu artış içinde petrole olan talep azalırken, yeni ve YE’nin birincil enerji üretimi ve tüketimindeki payı artış göstereceği vurgulanmıştır. Bu raporda, küresel enerji dönüşümünün nasıl gerçekleştirileceğinin metodolojileri, küresel enerji pazarlarının önümüzdeki 30 sene içinde gelişiminin nasıl olacağının yanı sıra onları

şekillendirebilecek temel belirsizlikleri ele almaktadır. Raporda ele alınan ve gerçekleşmesi muhtemel senaryolara göre, dünya enerji tüketimindeki karbon seviyesinin asgari seviyelere indirgenmesi yönünde ilerlerken, küresel enerji sistemleri; yakıtlar arasındaki artan rekabet ve müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda çeşitlenerek yeni ve YE türlerine dönüşeceği vurgulanmaktadır. Elektrikleşme oranları arttıkça enerji tüketimi de çevreye ve doğaya kalıcı hasarları olan fosil yakıtlardan yeni ve YE'ye doğru yön değiştireceği düşünülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

Karbon fiyatlarında meydana gelecek olan mali artışlar gibi belirleyici politik önlemlerinde, enerji kullanımından kaynaklanan emisyonları kalıcı olarak azaltacağı belirtilmektedir. BP Enerji Görünümü Raporu'nda, önümüzdeki otuz yılda gerçekleşmesi muhtemel olası çıktıları keşfetmeye yardımcı olmak için tasarlanan Hızlı (Rapid), Sıfır Emisyon (Net Zero) ve Mevcut Durum (Business-as-usual) olarak üç senaryo üzerinde durulmuştur. Bu senaryolar, tahmin ötesinde; politikalar ve toplumsal tercihlerle alakalı alternatif varsayımlara dayanmaktadır. Gerçekleşmesi muhtemel olan, üç senaryoda da gelişen ekonomilerde, artan refah ve yaşam standartlarının neden olduğu enerji talebinin artışı söz konusudur. Hızlı ve sıfır emisyon senaryolarına göre birincil enerji talebi 15 yıl içinde yükseliş sonrası durağan bir noktaya gelirken; MDS'ye göre 30 yıl boyunca talep artışı 2050'ye kadar devam edecektir. Bu senaryolarda gelecek 30 yıl içinde doğa ve çevre tahribatına neden olan fosil kaynaklı petrol talebinde düşüş olacağı öngörülmektedir. Şekil 1.2 hızlı geçiş senaryosu (HGS) olup, karbon fiyatlarında önemli bir artışın olduğu ve enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarının 2050 yılına kadar yaklaşık %70 oranında düşmesine neden olan daha hedefli sektöre özgü önlemlerle desteklenen bir dizi politika önlemi ön plana çıkarılmaktadır. Emisyonlardaki bu düşüş, küresel sıcaklıklardaki artışın 2100 yılına kadar sanayi devrimi öncesi seviyelerin 2 °C çok altında sınırlandırılmasıyla tutarlı senaryolarla uyumludur (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, 1995 yılında kaynaklarına göre birincil enerji tüketim (BET) miktarları şu şekildedir; petrolden 142.17 Eksajoule (EJ), doğalgazdan 75.99 EJ, kömürden 93.09 EJ, nükleer enerjiden 23.22 EJ, hidro enerjiden 24.89 EJ ve YE kaynaklarından 1.90 EJ enerji elde edilmekteydi. 1995'ten 2018 yılı sonuna kadar toplam Dünya birincil enerji tüketimi (DBET) yaklaşık olarak %261.51 artmış olup, 2018 yılı sonuna kadar enerji kaynakları türüne göre tüketim artış veya azalma yüzdeleri şu şekildedir; petrol + %33.90, doğalgaz + %82.34, kömür + %69.65, nükleer + %4.05, hidro enerji + %50.70 ve yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) + %1,328.42 şeklindedir.

2018 yılında kaynaklarına göre tüketim miktarları şu şekildedir; petrolden 190.36 EJ, doğalgazdan 138.56 EJ, kömürden 157.93 EJ, nükleerden 24.16 EJ, hidro enerjiden 37.51 EJ ve YEK'den 27.14 EJ değerlerindedir. 2018'den 2050 yılı sonuna kadar toplam DBET yaklaşık olarak %10 artması öngörülmektedir. 2050 yılı sonuna kadar enerji kaynakları türüne göre tüketim artış veya azalma yüzdeleri; petrol - %53.07, doğalgaz + %2.63, kömür - %84.60, nükleer + %81.04, hidro enerji + %51.45 ve yenilenebilir + %919.93 şeklinde artması veya azalması öngörülmektedir.

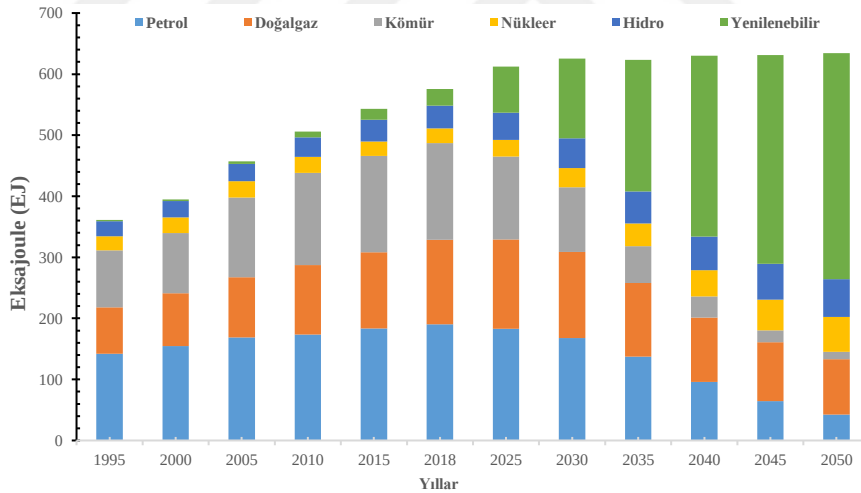


Şekil 1.2. Gerçekleşen ve HGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

İkinci senaryo olan net sıfır senaryosu (NSS), HGS'de yer alan politika önlemlerinin, karbon emisyonlarındaki azalmayı daha da hızlandıran toplumsal davranış ve tercihlerdeki önemli değişikliklere hem eklendiğini hem de bu değişikliklerle güçlendirildiğini varsaymaktadır. Enerji kullanımından kaynaklanan küresel karbon emisyonları, genel olarak sıcaklık artışlarının 1.5 °C ile sınırlandırılmasıyla tutarlı bir dizi senaryo ile uyumlu olarak, 2050 yılına kadar %95'in üzerinde düşeceğini öngörmektedir. Hem hızlı hem de NSS'de, karbon fiyatlarında 2050 yılına kadar gelişmiş dünyada 250 Dolar (\$)/ton karbondioksit (CO₂)'ye (2018\$ fiyatları) ve gelişmekte olan ekonomilerde 175\$'a ulaşan önemli bir artış olduğunu varsaymaktadır. Karbon fiyatlarındaki bu artış, hem enerji verimliliğinde hem de düşük karbonlu enerji kaynaklarının kullanımında önemli kazanımları teşvik ediyor. NSS'nin mali etkisi, HGS'nin mali etkisinden daha düşüktür. NSS'nin gerçekleşmesi durumunda, karbon fiyatları gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomilerde 2050 yılına kadar ton CO₂ başına sırasıyla yalnızca 65\$ ve 35\$'a ulaşacağı öngörülmektedir. NSS, hızlandırılmış bir enerji geçişinin yalnızca hükümet politikaları tarafından yönlendirilebileceği ölçüde ekonomik ve politik sınırlar olabileceği

görüşüne dayanmaktadır. Bu politikaların etkisinin, sirküler ve paylaşım ekonomilerinin daha fazla benimsenmesi, düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçme eğiliminin artması, düşük karbonlu teknolojilerin ve dağıtım ağlarının hızlandırılmış oluşumuna karşı daha az direnç ile şirketlerin ve hane halklarının değişen davranış ve tercihleri tarafından gerçekleştirilebileceğini vurgulamaktadır (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

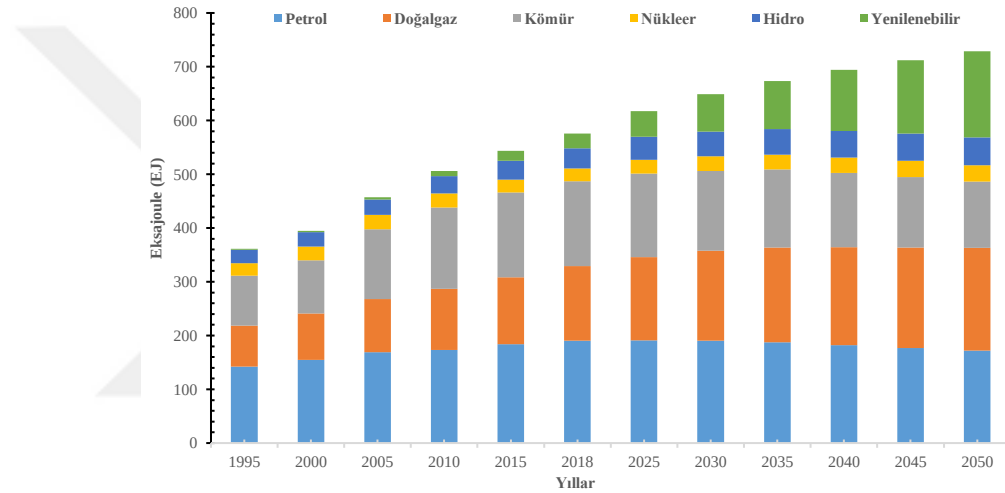
Şekil 1.3'te NSS'ye göre gerçekleşmiş ve 2025-2050 yılları arasında gerçekleşmesi beklenen BET miktarı görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2018 yılında kaynaklarına göre tüketim miktarları şu şekildedir; petrolden 190.36 EJ, doğalgazdan 138.56 EJ, kömürden 157.93 EJ, nükleerden 24.16 EJ, hidro enerjiden 37.51 EJ, YEK'den 27.14 EJ değerlerindedir. 2018'den 2050 yılı sonuna kadar toplam DBET yaklaşık olarak %10.153 artması öngörülmektedir. 2018'den 2050 yılı sonuna kadar enerji kaynakları türüne göre tüketim artış veya azalma yüzdeleri şu şekilde olması düşünülmektedir; petrol - %77.72, doğalgaz - %34.34, kömür - %92.50, nükleer + %135.84, hidro + %65.10 ve yenilenebilir + %1,263.19 şeklinde artması veya azalması öngörülmektedir.



Şekil 1.3. Gerçekleşen ve NSS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

Üçüncü senaryo olan mevcut durum senaryosunda (MDS) hükümet politikalarının, teknolojilerinin ve toplumsal tercihlerin yakın geçmişte görülen bir şekilde ve hızda gelişmeye devam ettiğini varsaymaktadır. Bu senaryoda enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonları 2020'lerin ortalarında zirveye ulaşmaktadır ancak 2050'deki emisyonlar 2018 emisyon seviyesinden %10 gibi önemli olmayan ölçüde azalması öngörülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

Şekil 1.4'te MDS'ye göre gerçekleşmiş ve 2025 – 2050 yılları arasında gerçekleşmesi beklenen BET miktarı görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2018 yılında kaynaklarına göre tüketim miktarları şu şekildedir; petrolden 190,36 EJ, doğalgazdan 138.56 EJ, kömürden 157.93 EJ, nükleer enerjiden 24.16 EJ, hidro enerjiden 37.51 EJ ve YEK'den 27.14 EJ değerlerindedir. 2018'den 2050 yılı sonuna kadar toplam DBET yaklaşık olarak %26.63 artması öngörülmektedir. 2018'den 2050 yılı sonuna kadar enerji kaynakları türüne göre tüketim artış veya azalma yüzdeleri şu şekilde olması düşünülmektedir; petrol - %9.60, doğalgaz + %37.82, kömür - %21.90, nükleer enerji + %26.82, hidro enerji + %36.68 ve yenilenebilir + %491.93 şeklinde artması veya azalması öngörülmektedir.

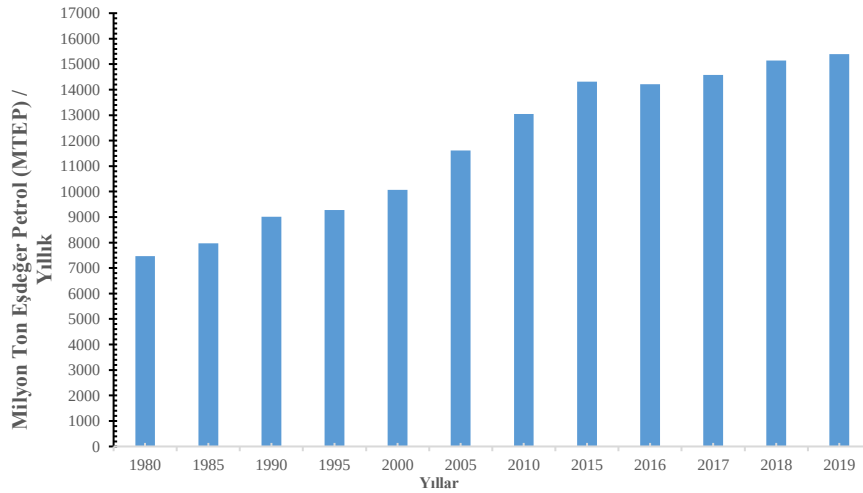


Şekil 1.4. Gerçekleşen ve MDS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

Bu politikaların ve toplumsal tercihlerdeki değişimlerin bir sonucu olarak, her üç senaryoda da hidrokarbonların (HC)'lerin (kömür, petrol ve doğal gaz) küresel enerji sistemindeki payında düşüş yaşanacağı öngörülmektedir. Ayrıca elektriğe erişim oranının artması, YE'nin rolüne karşılık gelen bir artışla eşleştirilmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

1.1. Dünyada ve Türkiye'de Genel Enerji Durumu

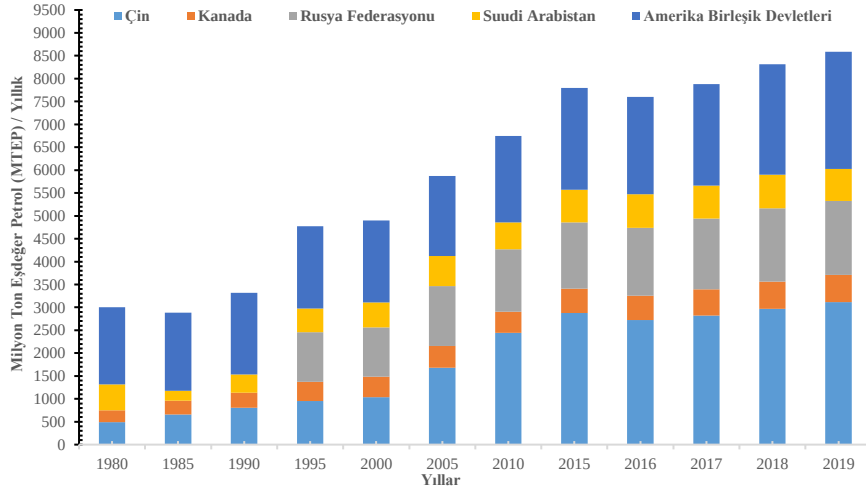
Şekil 1.5'te dünya birincil enerji üretimi (DBEÜ) görülmektedir (EIA, 2022). 2019 yılında DBEÜ 15,398.38 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olarak gerçekleşmiştir. DBEÜ 1980 yılında 7,467.57 MTEP'den 2019'da 15,398.38 MTEP'e yükselerek yıllık ortalama %1.89 oranında artmıştır.



Şekil 1.5. DBEÜ

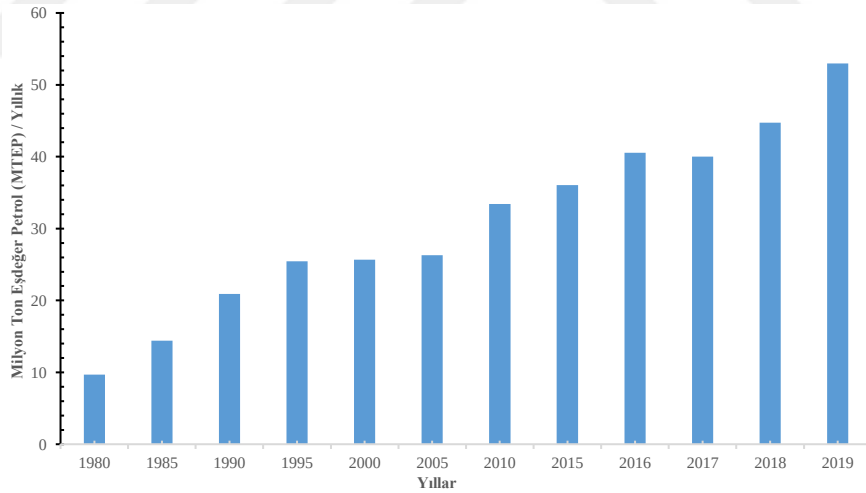
Şekil 1.6’da DBEÜ’de ilk beş sırada yer alan ülkeler görülmektedir (EIA, 2022). Çin, birincil enerji üretiminde dünyada birinci ülkedir. 2019 yılında Çin’deki birincil enerji üretimi, dünyanın birincil enerji üretiminin %20.226’sını oluşturan 3,114.45 MTEP olmuştur. 2019 yılında, birincil enerji üretimi bakımından Çin’den sonraki ülkeler Kanada, Suudi Arabistan, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Rusya Federasyonu olup, Dünya toplam birincil enerji üretiminin %55.755’ini gerçekleştirmişlerdir. Bir başka ifade ile 2019 yılı sonunda Dünyada 15,398.38 MTEP birincil enerji üretimi gerçekleşmiş olup bu miktarın yarısından fazlasını 8,585.37 MTEP’lik üretimi bu beş ülke tarafından gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1.6’daki veriler değerlendirildiğinde, bu beş ülkenin yıllık birincil enerji üretim kapasitelerinin artış oranları şu şekildedir; Çin’in birincil enerji üretim kapasitesi 1980 yılında 492.38 MTEP iken 2019 yılında 3,114.45 MTEP’e çıkararak yıllık ortalama %4.925 oranında artmıştır. Kanada’nın birincil enerji üretim kapasitesi 1980 yılında 255.84 MTEP iken 2019 yılında 592.62 MTEP’e çıkararak yıllık ortalama %2.215 oranında artmıştır. Suudi Arabistan’ın birincil enerji üretim kapasitesi 1980 yılında 565.34 MTEP iken 2019 yılında 702.09 MTEP’e çıkararak yıllık ortalama %1.324 oranında artmıştır. ABD’nin birincil enerji üretim kapasitesi 1980 yılında 1,692.07 MTEP iken 2019 yılında 2,556.18 MTEP’e çıkararak yıllık ortalama %1.104 oranında artmıştır. Rusya’nın 1980 yılına ait birincil enerji üretim verileri bulunmamaktadır. Bu ülkenin birincil enerji üretim kapasitesi 1992 yılında 1,264.47 MTEP iken 2019 yılında 1,619.85 MTEP’e çıkararak yıllık ortalama %0.979 oranında büyümüştür.



Şekil 1.6. DBEÜ’de ilk beş sırada yer alan ülkeler

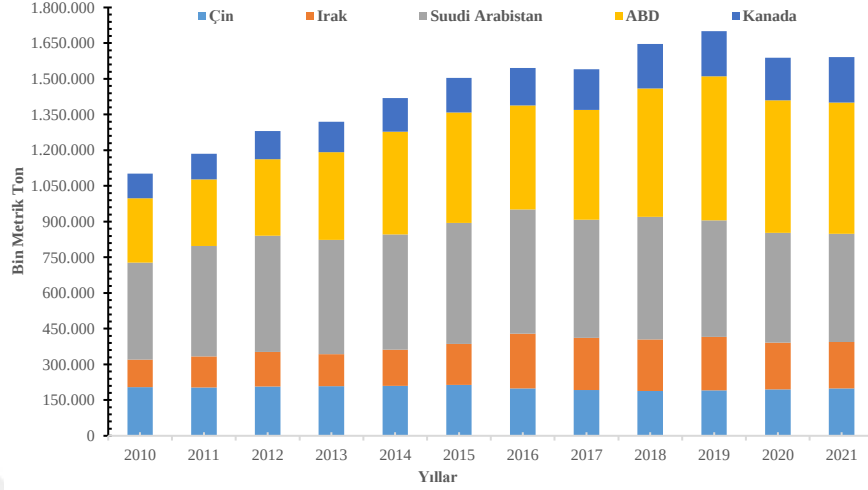
Şekil 1.7’de Türkiye birincil enerji üretimi (TBEÜ) görülmektedir (EIA, 2022). Ülkemizin birincil enerji üretimi 1980 yılında 9.67 MTEP iken 2019’da 52.97 MTEP’e yükselerek yıllık ortalama %4.712 oranında büyümüştür. 2019 yılında DBEÜ 15,398.38 MTEP olarak gerçekleşmiş olup ülkemizin birincil enerji üretimi potansiyeli bu değer %0.344’üne karşılık gelmektedir.



Şekil 1.7. TBEÜ

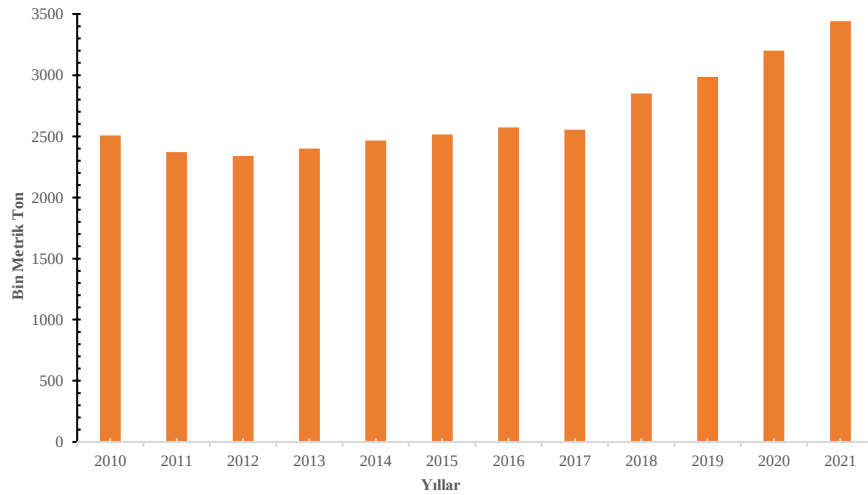
Dünyada birincil enerji üretimi, kaynak bazında değerlendirildiğinde ham petrolün toplam üretim miktarı ve ham petrol üretimi bakımından ilk beş sırada yer alan ülkeler Şekil 1.8’de görüldüğü gibidir (JodiOil, 2022). 2021 yılında Dünyada toplam 3,039,708.76 Bin Metrik Ton (Bin MT) ham petrol elde edilmiştir. Toplam miktar içerisinde, ABD’nin üretmiş olduğu miktar 551,753.00 Bin MT, Suudi Arabistan’ın 454,797.08 Bin MT, Çin’in 199,394.00 Bin MT, Irak 195,094.08 Bin MT ve Kanada’nın

elde etmiş olduğu ham petrol miktarı 190,170.00 Bin MT'dir. 2021 yılında, bu beş ülkenin üretmiş olduğu 1,591,208.16 Bin MT'lik ham petrol bütün dünyada üretilmiş olan 3,039,708.76 Bin MT'lik ham petrolün yaklaşık olarak %52.35'ine karşılık gelmektedir.



Şekil 1.8. Dünyada ham petrol üretiminde ilk 5 sırada yer alan ülkeler

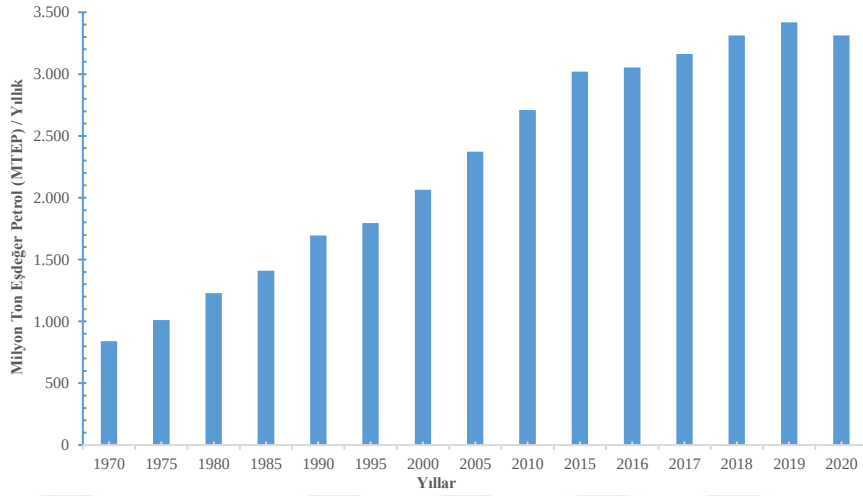
Ülkemizin yıllara göre ham petrol üretimi Şekil 1.9'da görüldüğü gibidir (JodiOil, 2022). 2010 yılından itibaren ham petrol üretimi yıllık ortalama %3.0155 artmıştır. 2021 yılında Ülkemizde üretilen 3,441.00 Bin MT'lik petrol üretimi 2021 yılında Dünyada üretilen ham petrolün %0.113'üne karşılık gelmektedir.



Şekil 1.9. Türkiye ham petrol üretim miktarları

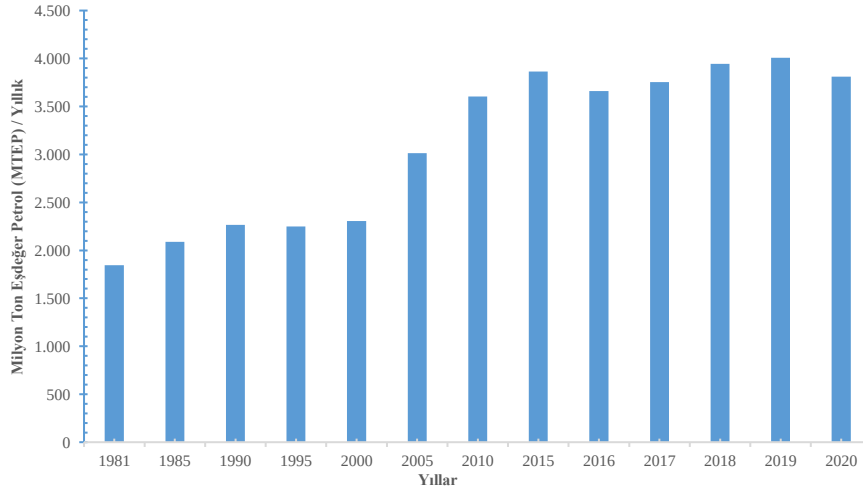
Şekil 1.10'da dünya doğal gaz üretim miktarları görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 1970 yılında üretilen doğal gaz miktarı 839.29 MTEP iken

yıllık yaklaşık olarak %2.807’lik artışla 2020 yılı sonunda 3,315.55 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.10. Dünya doğal gaz üretim miktarları

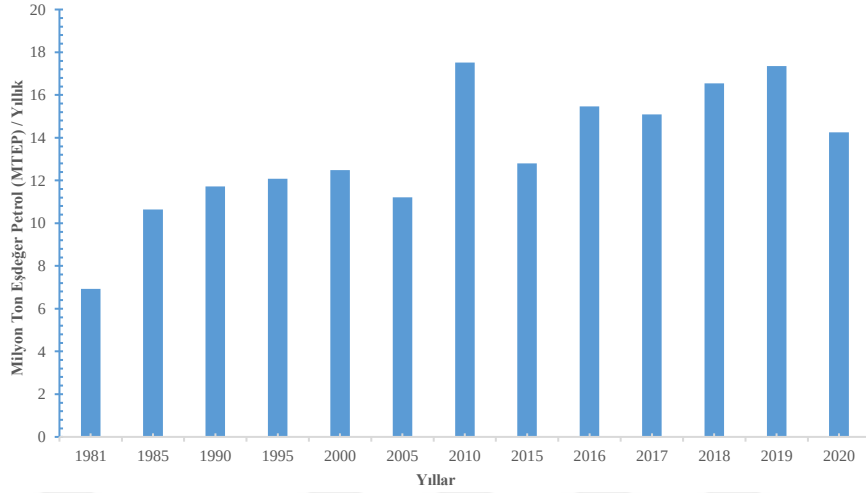
Şekil 1.11’de Dünya kömür üretim miktarları görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 1981 yılında üretilen kömür miktarı 1,844.04 MTEP iken yıllık yaklaşık olarak %1.929’lik artışla 2020 yılı sonunda 3,812.14 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.11. Dünya kömür üretim miktarları

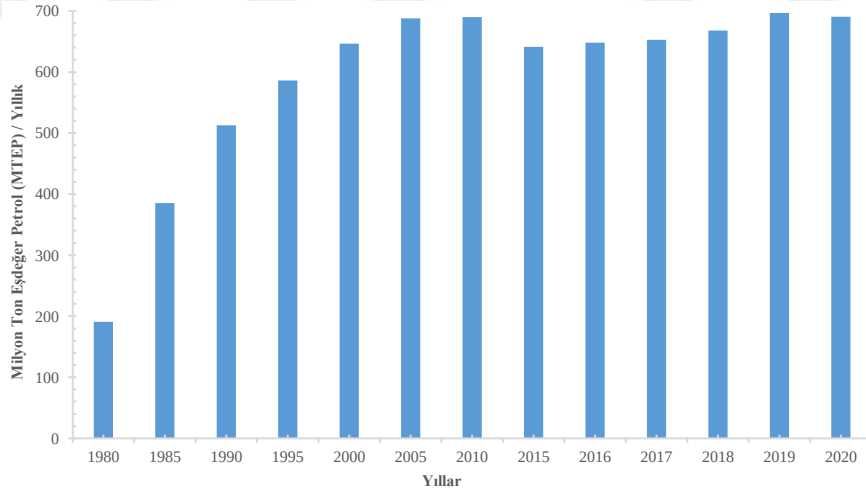
Ülkemizin yıllara göre kömür üretimi Şekil 1.12’de görüldüğü gibidir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 1981 yılından itibaren kömür üretimi yıllık ortalama %2.319 artarak 2020 yılında 14.26 MTEP olmuştur. 2020 yılında Ülkemizde üretilen 14.26

MTEP'lik kömür miktarı aynı yıl içerisinde Dünyada üretilen 1,844.04 MTEP'lik kömürün yaklaşık olarak %0.773'üne karşılık gelmektedir.



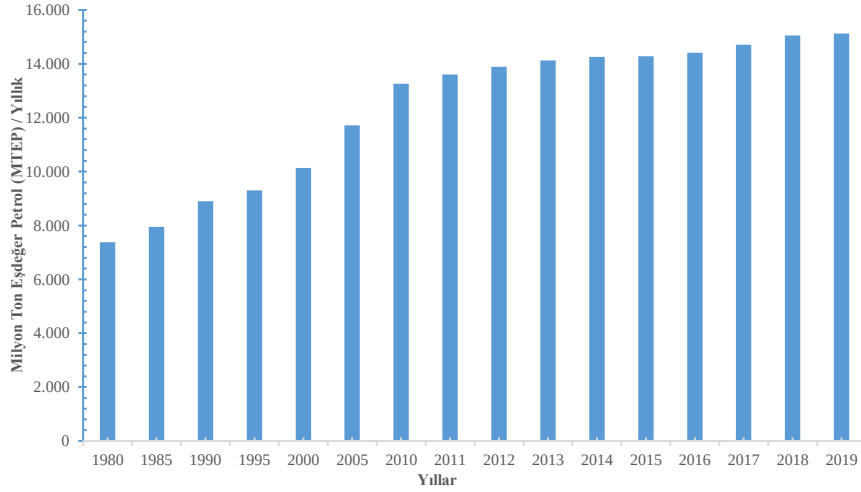
Şekil 1.12. Türkiye kömür üretim miktarları

Şekil 1.13'te Dünya nükleer enerjiden net elektrik üretim miktarları görülmektedir (EIA, 2022). 1980 yılında üretilen net elektrik miktarı 190.90 MTEP iken yıllık yaklaşık olarak %3.402'lik artışla 2020 yılı sonunda 690.31 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



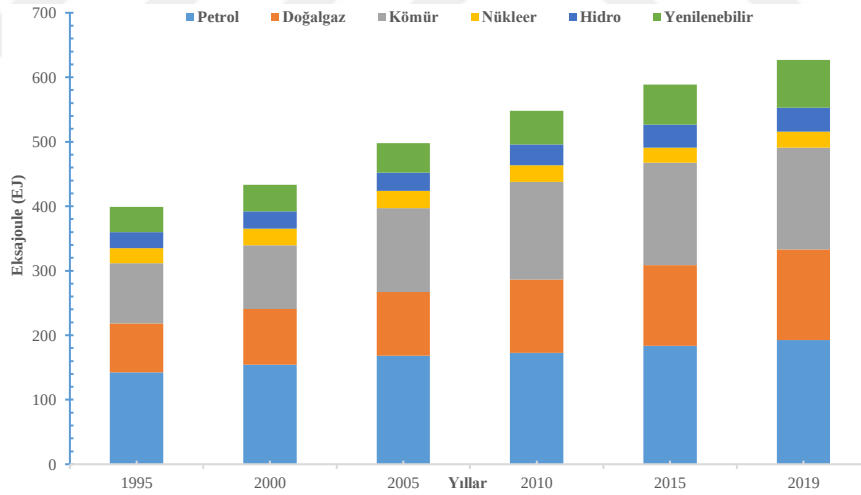
Şekil 1.13. Dünya nükleer enerji kaynaklarından net elektrik üretim miktarı

Şekil 1.14'te DBET görülmektedir (EIA, 2022). 2019 yılında DBET 15,126.45 MTEP olarak gerçekleşmiştir. DBET 1980 yılında 7,380.95 MTEP iken yıllık ortalama %1.869 artarak 2019 yılı sonunda BET miktarı 15,126.45 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.14. DBET

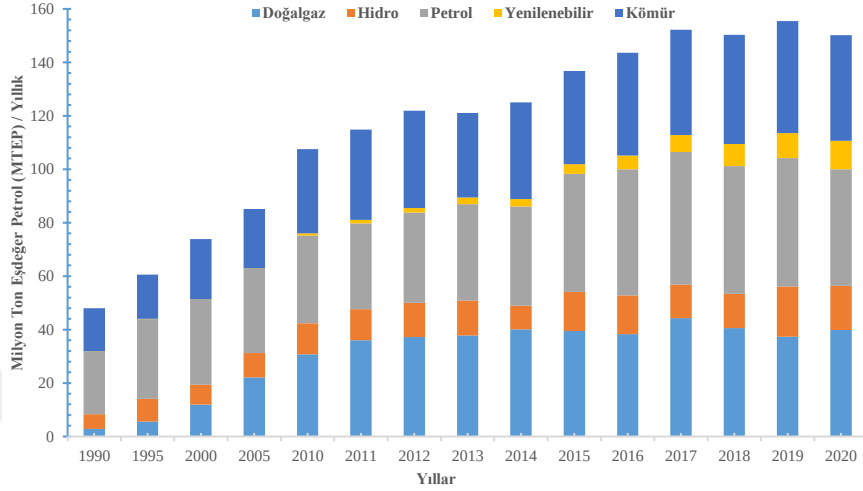
Şekil 1.15'te 1995-2019 yılları arası enerji kaynağı türüne göre DBET görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2019 yılı sonunda DBET 627.07 EJ'dir. Enerji türleri bakımından tüketim değerleri şu şekildedir; petrol 192.71 EJ, doğalgaz 140.39 EJ, kömür 157.64 EJ, nükleer 24.86 EJ, hidro 37.58 EJ ve YEK 73.89 EJ şeklindedir.



Şekil 1.15. 1995-2019 yılları arası enerji kaynağı türüne göre DBET

Şekil 1.16'da 1990-2020 yılları arası enerji kaynağı türüne göre Türkiye birincil enerji tüketimi (TBET) görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). Ülkemizin BET'i 1990 yılında 47.97 MTEP iken 2020 yılına kadar yıllık ortalama %3.986'lık artış ile 2020 yılı sonunda ülkemizin BET 150.23 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Kaynak türlerine göre 1990 yılından 2020 yılı sonuna kadar yıllık artış miktarları şu şekildedir. 1990 yılında 2.78 MTEP olan doğalgaz tüketimi yıllık ortalama %9.702'lik artış ile 2020

yılı sonunda 39.87 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 5.53 MTEP olan hidro enerji tüketimi %5.889'lık artış ile 39.87 MTEP, 23.60 MTEP olan petrol tüketimi %2.229'luk artış ile 43.51 MTEP, 0.02 MTEP olan petrol tüketimi %29.035'lik artış ile 10.67 MTEP ve 16.04 MTEP olan kömür enerjisi tüketimi %3.384'lük artış ile 39.62 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.16. 1990-2020 yılları arası enerji kaynağı türüne göre TBET

BEK'in rezerv ömürleri genel olarak jeolojik ve mühendislik bilgilerinin makul bir kesinlikle mevcut ekonomik ve işletme koşulları altında bilinen yatlardan gelecekte geri kazanılabilecek miktarların gösterimi olarak kabul edilmektedir. Mevcut üretimin (P), üretilebilecek rezervlere (R) oranı ile elde edilen bir değerdir. Yeni rezervlerin keşfi ile BEK'in rezerv ömürlerinde yıllara göre değişiklik meydana gelebilir.

Ham petrol rezervleri genel olarak, ulaşım yakıtları ve petrol bazlı ürünlerin üretimi için kullanılan bir fosil yakıt ve sıvı formdaki HC'dir. Yeraltı rezervuarlarından çıkarılan ham petrol; petrol, dizel, jet yakıtı, ev ısıtma yakıtı, yağlama yağı ve asfalt gibi çeşitli petrol ürünlerine dönüştürüldüğü rafinerilere boru hattı, gemi, demiryolu veya kamyon ile taşınan bir enerji kaynağıdır. Ayrıca ham petrolden elde edilen petrokimyasallar ile plastikler, ilaçlar, sentetik elyaflar, sabunlar ve boyaları imal etmek içinde kullanılır.

Dünyadaki ham petrol rezerv miktarına göre Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi en iyi durumda olan ülke Venezuela'dır (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2020 yılı sonu itibari ile bu ülkenin kanıtlanmış ham petrol rezervi 303.80 milyar varildir. Suudi Arabistan 297.50 milyar varil, Kanada 168.10 milyar varil, İran 157.80 milyar varil ve Irak 145.00 milyar varil kanıtlanmış ham petrol rezervine sahiptir. 2020 yılı sonunda

Dünyanın kanıtlanmış ham petrol rezervlerinin toplamı 1,724.40 milyar varildir. Venezuela, Suudi Arabistan, Kanada, İran ve Irak'ın 2020 yılı sonu itibari ile toplam ham petrol rezervi 1,072.20 milyar varil ham petrol olup bütün dünyanın sahip olduğu petrol rezervinin yaklaşık olarak %62.178'ine bu beş ülke sahiptir.

Çizelge 1.1. Ükelere göre kanıtlanmış ham petrol rezervleri (Milyar Varil)

Ülke	2016	2017	2018	2019	2020
Venezuela	302.30	302.80	303.80	303.80	303.80
Suudi Arabistan	266.20	296.00	297.70	297.60	297.50
Kanada	170.50	171.80	170.70	169.10	168.10
İran	157.20	155.60	155.60	157.80	157.80
Irak	148.80	147.20	145.00	145.00	145.00
Rusya Federasyonu	106.30	106.60	107.20	107.80	107.80
Kuveyt	101.50	101.50	101.50	101.50	101.50
Birleşik Arap Emirlikleri	97.80	97.80	97.80	97.80	97.80
ABD	50.00	61.20	68.90	68.80	68.80
Libya	48.40	48.40	48.40	48.40	48.40
Nijerya	37.50	37.50	37.00	36.90	36.90
Kazakistan	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Çin	25.70	25.90	26.20	26.00	26.00
Katar	25.20	25.20	25.20	25.20	25.20
Cezayir	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20
Brezilya	12.60	12.80	13.40	12.70	11.90
Norveç	7.60	7.90	8.60	8.50	7.90
Angola	9.50	8.40	8.20	7.80	7.80
Azerbaycan	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Meksika	7.60	7.00	6.50	6.10	6.10
Diğer Ülkeler	58.70	57.70	57.70	57.00	56.90
Toplam	1,682.6	1,720.6	1,728.6	1,726.9	1,724.4

Enerji içeriği metandan (CH_4)'ten kaynaklanır ve bu yanıcı gaz doğalgazın en büyük kesrini meydana getirir. Bu enerji kaynağı fosil kökenli yenilenemez bir HC'dir. Günümüzde doğal gaz ısınma, yemek pişirme ve elektrik üretimi için enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Dünyadaki doğalgaz rezerv miktarına göre Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi en iyi durumda olan ülke Rusya'dır (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2020 yılı sonu itibari ile bu ülkenin kanıtlanmış doğalgaz rezervi 37.40 trilyon m^3 'tür. İran 32.10 trilyon m^3 , Katar 24.70 trilyon m^3 , Türkmenistan 13.6 trilyon m^3 ve ABD 12.60 trilyon m^3 kanıtlanmış doğalgaz rezervine sahiptir. 2020 yılı sonunda Dünyanın kanıtlanmış doğalgaz rezervlerinin toplamı 186.20 trilyon m^3 'tür. Rusya Federasyonu, İran, Katar Türkmenistan ve ABD'nin 2020 yılı sonu itibari ile toplam doğalgaz rezervi 120.40

trilyon m³ milyar doğalgaz olup bütün dünyanın sahip olduğu doğalgaz rezervinin yaklaşık olarak %64.662'sine bu beş ülke sahiptir.

Çizelge 1.2. Ülkelere göre kanıtlanmış doğalgaz rezervleri (Trilyon m³)

Ülke	2016	2017	2018	2019	2020
Rusya Federasyonu	34.80	37.90	37.60	37.60	37.40
İran	31.80	31.90	32.00	32.10	32.10
Katar	24.90	24.70	24.70	24.70	24.70
Türkmenistan	13.60	13.60	13.60	13.60	13.60
ABD	8.70	11.90	12.90	12.60	12.60
Çin	5.50	6.10	6.40	8.40	8.40
Venezuela	6.40	6.30	6.30	6.30	6.30
Suudi Arabistan	8.00	5.70	5.90	6.00	6.00
Birleşik Arap Emirlikleri	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90
Nijerya	5.20	5.30	5.40	5.50	5.50
Irak	3.60	3.60	3.50	3.50	3.50
Azerbaycan	1.30	1.30	2.10	2.50	2.50
Avustralya	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
Kanada	2.00	2.00	1.90	2.00	2.40
Cezayir	4.30	4.30	4.30	4.30	2.30
Kazakistan	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
Mısır	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Kuveyt	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
Libya	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Norveç	1.80	1.70	1.60	1.50	1.40
Diğer Ülkeler	13.90	14.00	13.30	12.00	11.70
Toplam	181.80	186.20	187.40	188.40	186.20

Oluşumu milyonlarca yıl sürdüğünden dolayı kömür yenilenemez enerji kaynağı sınıflandırılmaktadır. Muhteviyatında yüksek oranlarda karbon ve HC içeren yanıcı bir tortul kayaç türüdür. Yüzyıllar öncesinde bataklık ormanlarında yaşamış olan bitkilerin depolamış oldukları enerjiyi içermektedirler. Yenilenebilir olmayan kömürün en önemli kullanım alanları şu şekildedir; elektrik, çelik, çimento ve sıvı yakıt üretimidir. Termal kömür olarak da bilinen, buhar kömürü ekseriyet ile termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılır. Kok kömürü ise, metalürjik kömür olarak da bilinir ve esas olarak çelik imalatında kullanılır.

Dünyadaki kömür rezerv miktarına göre Çizelge 1.3'te görüldüğü gibi en iyi durumda olan ülke ABD'dir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2020 yılı sonu itibari ile bu ülkenin kanıtlanmış kömür rezervi 248,941 Milyon Ton (MT)'dir. Rusya Federasyonu 162,166 MT, Avustralya 150,227 MT, Çin 143,197 MT ve Hindistan 111,052 MT kanıtlanmış kömür rezervine sahiptir. 2020 yılı sonunda Dünyanın

kanıtlanmış kömür rezervlerinin toplamı 1,072,599 MT'dir. ABD, Rusya Federasyonu, Avustralya, Çin ve Hindistan'nın 2020 yılı sonu itibari ile toplam kömür rezervi 815,583 MT olup bütün dünyanın sahip olduğu kömür rezervinin yaklaşık olarak %76.038'ine bu beş ülke sahiptir.

Çizelge 1.3. Ülkelere/bölgelere göre kanıtlanmış kömür rezervleri (MT)

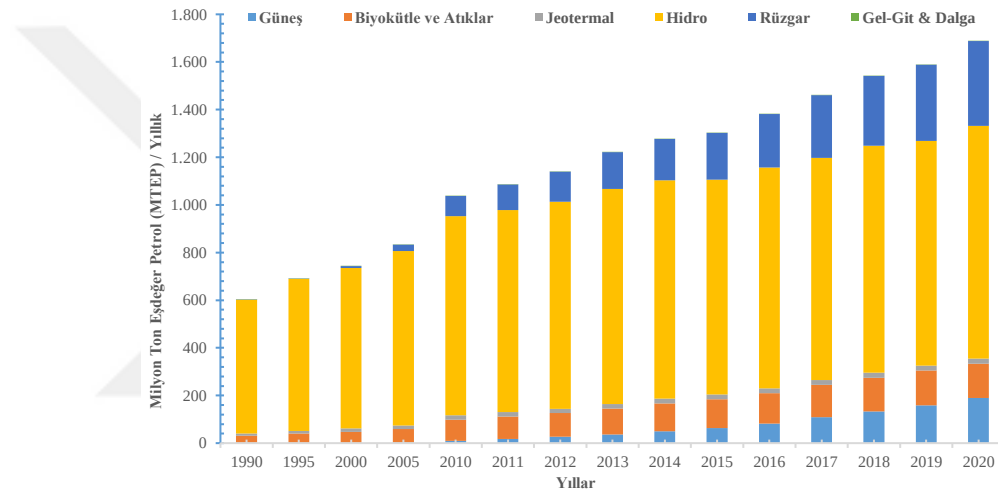
Ülke	2016	2017	2018	2019	2020
ABD	251,582.00	250,916.00	250,219.00	249,537.00	248,941.00
Rusya Federasyonu	160,364.00	160,364.00	160,364.00	162,166.00	162,166.00
Avustralya	144,818.00	144,818.00	147,435.00	149,079.00	150,227.00
Çin	244,010.00	138,819.00	138,819.00	141,595.00	143,197.00
Hindistan	94,769.00	97,728.00	101,363.00	105,931.00	111,052.00
Almanya	36,212.00	36,108.00	36,103.00	35,900.00	35,900.00
Endonezya	25,573.00	22,598.00	37,000.00	39,891.00	34,869.00
Ukrayna	34,375.00	34,375.00	34,375.00	34,375.00	34,375.00
Polonya	24,161.00	25,811.00	26,479.00	26,932.00	28,395.00
Kazakistan	25,605.00	25,605.00	25,605.00	25,605.00	25,605.00
Türkiye	11,353.00	11,353.00	11,526.00	11,525.00	11,525.00
Güney Afrika	9,893.00	9,893.00	9,893.00	9,893.00	9,893.00
Yeni Zelanda	7,575.00	7,575.00	7,575.00	7,575.00	7,575.00
Sırbistan	7,514.00	7,514.00	7,514.00	7,514.00	7,514.00
Brezilya	6,596.00	6,596.00	6,596.00	6,596.00	6,596.00
Kanada	6,582.00	6,582.00	6,582.00	6,582.00	6,582.00
Avrupa Kıtasının Diğer Ülkeleri	6,280.00	6,280.00	6,281.00	6,281.00	6,281.00
Kolombiya	4,881.00	4,881.00	4,881.00	4,554.00	4,554.00
Afrika Kıtasının Diğer Ülkeleri	2,822.00	2,822.00	2,822.00	4,442.00	4,442.00
Çek Cumhuriyeti	3,676.00	3,640.00	2,657.00	2,927.00	3,595.00
Diğer Ülkeler	29,180.00	29,225.00	29,184.00	29,227.00	29,315.00
Toplam	1,137,821.00	1,033,503.00	1,053,273.00	1,068,127.00	1,072,599.00

1.2. Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Dünyada YEK olan; güneş, biyokütle ve atıklar, jeotermal, hidro enerji, rüzgâr, gel-git ve dalga enerjilerinden üretilen net elektrik enerjisi Şekil 1.17'de görüldüğü gibidir (EIA, 2022). Toplam YEK'den Dünya net elektrik üretimi 1990 yılında 603.34 MTEP iken yıllık ortalama %3.515 MTEP artarak 2020 yılı sonunda 1,689.70 MTEP olarak gerçekleşmiştir.

YEK bazında değerlendirilirse; güneş enerjisinden elektrik üretimi 1990 yılında 1.49 MTEP iken, yıllık %19.057 MTEP'lik artış ile 2020 yılı sonunda 189.77 MTEP olarak gerçekleşmiştir.

Biyokütle ve atıklardan elektrik üretimi 1990 yılında 28.98 MTEP iken, yıllık %5.561 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 143.60 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi 1990 yılında 9.65 MTEP iken, yıllık %2.794 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 21.88 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Hidro enerjiden elektrik üretimi 1990 yılında 562.13 MTEP iken, yıllık %1.874 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 975.95 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi 1990 yılında 0.94 MTEP iken, yıllık %22.193 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 975.95 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Gel-git ve dalga enerjisinden elektrik üretimi 1990 yılında 0.16 MTEP iken, yıllık %11.091 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 1.82 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



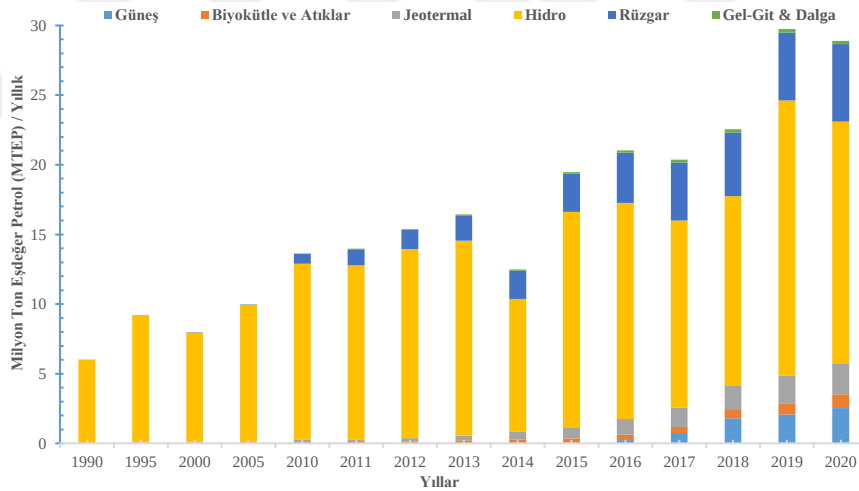
Şekil 1.17. Dünya YEK’den net elektrik üretim miktarları

Ülkemizde YEK olan; güneş, biyokütle ve atıklar, jeotermal, hidro, rüzgâr, gel-git ve dalga enerjilerinden üretilen net elektrik enerjisi Şekil 1.18’de görüldüğü gibidir (EIA, 2022). Toplam YEK’den Ülkemizin net elektrik üretimi 1990 yılında 6.03 MTEP iken yıllık ortalama %7.039 MTEP artarak 2020 yılı sonunda 28.90 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizde 2020 yılı sonunda YEK’den üretilen net elektrik miktarı aynı zamanda YEK’den Dünya’da üretilen net elektrik miktarının yaklaşık olarak %1.710’na karşılık gelmektedir.

YEK bazında değerlendirilirse; güneş enerjisinden elektrik üretimi için 2014 yılına kadar kayıtlı veri yok iken, 2014 yılı sonunda 0.00407 MTEP’lik elektrik üretimi gerçekleşmiş olup, 2020 yılı sonunda 2.53 MTEP’lik enerji üretimi gerçekleşmiş olup 2014-2020 yılları arasında yıllık %305.308 MTEP’lik artış söz konusudur.

Biyokütle ve atıklardan elektrik üretimi 1990 yılında 0.00 MTEP iken, 1991 yılında bu kaynaklardan net elektrik üretimi 0.001 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 1991 yılından 2020 yılı sonuna kadar yıllık %26.752 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda bu kaynaktan net elektrik üretimi 0.99 MTEP olarak gerçekleşmiştir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi 1990 yılında 0.02 MTEP iken, yıllık %20.623 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 2.23 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Hidro enerjiden elektrik üretimi 1990 yılında 6.01 MTEP iken, yıllık %5.675 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda 17.36 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi 1990-1997 yıllarında 0.00 MTEP iken, 1998 yılında bu kaynaktan net elektrik üretimi 0.001 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 1998 yılından 2020 yılı sonuna kadar yıllık %59.191 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda bu kaynaktan net elektrik üretimi 5.54 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Gel-git ve dalga enerjisinden elektrik üretimi 1990-2000 yıllarında 0.00 MTEP iken, 2000 yılında bu kaynaktan net elektrik üretimi 0.01 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 2000 yılından 2020 yılı sonuna kadar yıllık %27.592 MTEP’lik artış ile 2020 yılı sonunda bu kaynaktan net elektrik üretimi 0.24 MTEP olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.18. Türkiye YEK’den net elektrik üretim miktarları

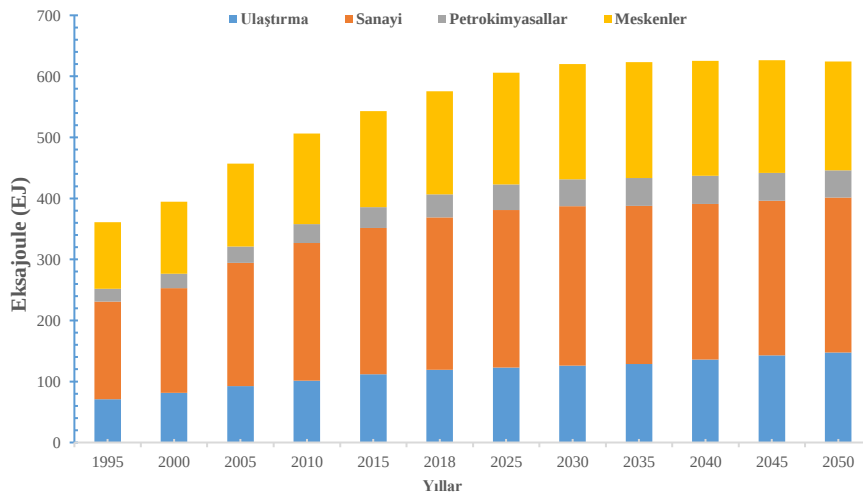
1.3. Çeşitli Sektörlere Göre Enerji Talebi ve 2050 Yılı İçin Öngörülen Talep

Daha öncede bahsedildiği gibi BP’nin 2050’ye küresel enerji geçişini şekillendiren güçleri ve bu geçişi çevreleyen temel belirsizlikleri araştıran, gelecek 30 yılın enerji trendlerine ışık tuttuğu “Enerji Görünümü” Raporu’nun 2020 baskısında, üç senaryo dâhilinde öngörülere yer verilmişti. Bu öngörülere göre gelecek 30 yıl içinde enerji talebi artış gösterecektir, bu artış içinde petrole olan talep azalırken, yeni ve YE’nin birincil

enerji üretimi ve tüketimindeki payı artış göstereceği vurgulanmıştı. BP Enerji Görünümü Raporu'nda, önümüzdeki otuz yılda gerçekleşmesi muhtemel olası çıktıları keşfetmeye yardımcı olmak için tasarlanan Hızlı (Rapid), Sıfır Emisyon (Net Zero) ve Mevcut Durum (Business-as-usual) olarak üç senaryo üzerinde durulmuştu. Önümüzdeki 30 yıl boyunca enerji büyümesinin gücü ve bileşimi, önemli ölçüde bu enerjinin, ekonominin ana sektörlerinde nasıl kullanıldığına bağlıdır.

Şekil 1.19'da gerçekleşmiş ve HGS'ye göre 2025-2050 yılları arasında sektörlere göre gerçekleşmesi öngörülen BET verilmiştir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). HGS'ye göre 2018 yılında belirtilen sektörlerde BET 575.54 EJ iken %8.508'lik artış ile 2050 yılında 624.51 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Sektörlere göre ise 2018 yılından 2050 yılı sonuna kadar gerçekleşecek artış miktarlarının şu şekilde olacağı tahmin edilmektedir;

Ulaştırma 119.04 EJ'den %23.748'lik artış ile 147.31 EJ'e, sanayide 249.90 EJ'den %1.776'lik artış ile 254.34 EJ'e, petrokimyasal mamullerin üretimine 37.58 EJ'e karşılık gelen enerji kaynağının %17.828'lik artış ile 44.28 EJ'e karşılık gelen enerji kaynağının tüketimine ve meskenlerde (konut ve ticari binalarda) 169.02 EJ'den %8.508'lik artış ile 178.58 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. HGS'ye göre 2018'den 2050 yılına kadar BET 48.97 EJ artacağı düşünülmekte olup en fazla artışın ulaştırma sektöründe 28.27 EJ olacağı vurgulanmaktadır. Bu değer birincil enerjideki toplam artışın yaklaşık %57.729'unu oluşturuyor.

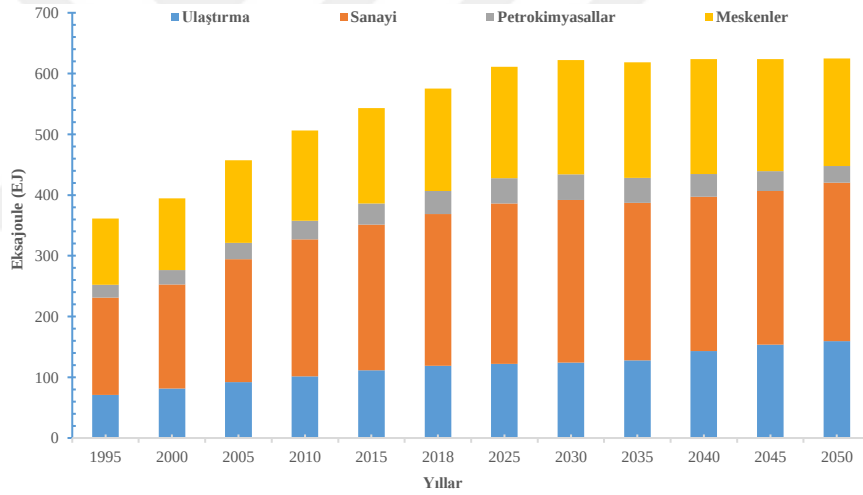


Şekil 1.19. Gerçekleşen ve HGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

Şekil 1.20'de görüldüğü gibi, net geçiş senaryosuna göre gerçekleşmiş ve 2025-2050 yılları arasında sektörlere göre gerçekleşmesi öngörülen BET miktarları

görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2018 yılında belirtilen sektörlerde BET 575.54 EJ iken %8.524'lik artış ile 2050 yılında 624.60 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Sektörlere göre ise 2018 yılından 2050 yılı sonuna kadar gerçekleşecek artma veya azalma miktarlarının şu şekilde olacağı tahmin edilmektedir;

Ulaştırma 119.04 EJ'den + %25.282 artış ile 159,32 EJ'e, sanayide 249.90 EJ'den + %4.256'lik artış ile 261.01 EJ'e, petrokimyasal mamullerin üretimine 37.58 EJ'e karşılık gelen enerji kaynağının - %36.011 azalma ile 27.63 EJ'e karşılık gelen enerji kaynağının tüketimine ve meskenlerde 169.02 EJ'den +%4.314'lük artış ile 176.64 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. NSS'ye göre 2018'den 2050 yılına kadar BET 49.06 EJ artacağı düşünülmekte olup en fazla artışın ulaştırma sektöründe 40.28 EJ olacağı öngörülmektedir. Bu değer birincil enerjideki toplam artışın yaklaşık %82.103'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca bu senaryoya göre, petrokimyasal ürünlerin imalatı için 9.95 EJ'a karşılık gelen tüketimin azalacağı vurgulanmaktadır.



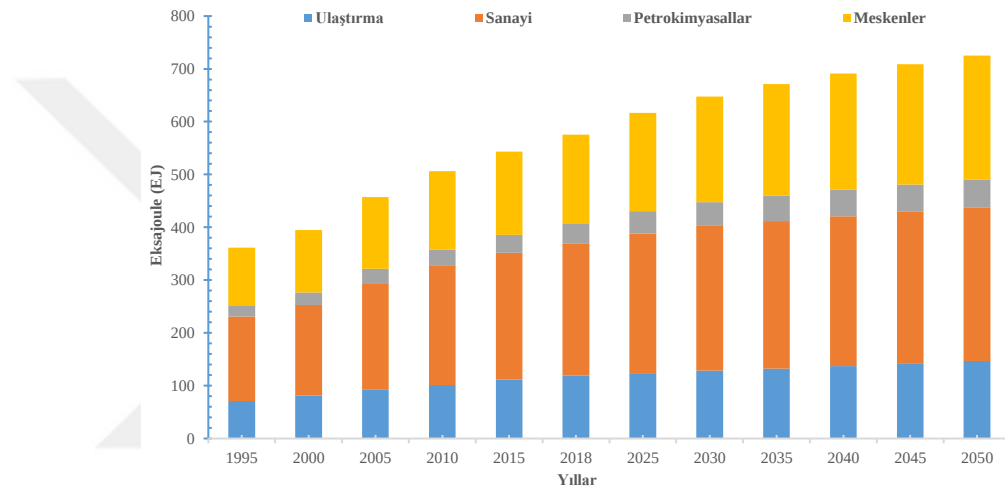
Şekil 1.20. Gerçekleşen ve NSGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

Şekil 1.21'de görüldüğü gibi, MDGS'ye göre gerçekleşmiş ve 2025-2050 yılları arasında sektörlerde gerçekleşmesi öngörülen BET miktarları görülmektedir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020). 2018 yılında belirtilen sektörlerde BET 575.54 EJ iken %25.998'lik artış ile 2050 yılında 725.17 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Sektörlere göre ise 2018 yılından 2050 yılı sonuna kadar gerçekleşecek artma veya azalma miktarlarının şu şekilde olacağı tahmin edilmektedir;

Ulaştırma 119.04 EJ'den +%23.328'lik artış ile 146.81 EJ'e, sanayide 249.90 EJ'den +%16.374'lük artış ile 290.82 EJ'e, petrokimyasal mamullerin üretimine 37.58 EJ'e karşılık gelen enerji kaynağının +%41.458'lik artış ile 53.16 EJ'e karşılık gelen

enerji kaynağının tüketimine ve meskenlerde 169.02 EJ'den +%38.670'lik artış ile 234.38 EJ olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. MDGS'ye göre 2018'den 2050 yılına kadar BET 149.63 EJ artacağı düşünülmekte olup en fazla artışın meskenlerde 65.36 EJ olacağı öngörülmektedir. Bu değer birincil enerjideki toplam artışın yaklaşık %43.681'ini oluşturmaktadır.

MDGS'de birincil enerji kullanımı, son 20 yılda yavaş da olsa önemli ölçüde artmaktadır. Bu yavaş artış en çok sanayi ve ulaşımda göze çarpıyor olsa da, meskenlerde ve petrokimyasal ürün imalatındaki artış BET'deki artışın yaklaşık %43.256'sını oluşturmaktadır.



Şekil 1.21. Gerçekleşen ve MDGS'ye göre gerçekleşeceği öngörülen BET miktarı

BP tarafından ortaya konan üç senaryoda da gelişen ekonomilerde, artan refah ve yaşam standartları nedeniyle enerji talebi artmaktadır. Hızlı ve net sıfır geçiş senaryosuna göre BET 15 yıl içinde yükseliş sonrası durağan bir noktaya gelirken; MDGS'ye göre 30 yıl boyunca talep artışı devam ederek, 2050'ye kadar, %25 oranında artışa sebep olacak. Tüm senaryolarda önümüzdeki 30 yıl içinde petrol talebinde düşüş olacağı varsayılmaktadır. 2050'ye kadar MDGS'ye göre %10, HGS'ye göre %55 ve NSGS'ye göre ise %80'lik bir düşüş olabileceği belirtilmektedir. YE'de en hızlı gelişen enerji kaynağı olarak görülüyor. 2018'de %5 olan YE'lerin gelişimi 2050'ye kadar, NSGS'ye göre %60, HGS'ye göre %45 ve MDGS'ye göre %20 oranında büyüyecektir (BP Energy Outlook 1995-2050, 2020).

1.4. Petrol ve Diğer Sıvı Yakıtların Üretimi

Toksik, tutuşabilme kabiliyeti olan ve farklı molekül ağırlıklarına sahip karmaşık HC yapılarından oluşan sıvı formdaki ham petrol rafinasyon işlemine tabi tutularak satılabilir ürünlere dönüştürülmektedir. Genellikle sondaj yolu ile çıkarılan ham petrol içerisindeki bileşenlerin kaynama sıcaklıkları farkından faydalanılarak ham petrol damıtma kulesinde çeşitli ürünlere (LPG, benzin, nafta, kerosen, motorin, yağlama yağları, fuel-oil, bitüm vb.) dönüştürülür.

Çizelge 1.4'te yıllara göre Dünya'da ve Türkiye'de LPG rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2002 yılında 33,775.89 Bin Varil/Gün olan LPG üretim miktarı, yıllık ortalama %2.686'lık artış ile 2021 yılı sonunda 54,902.60 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 282.64 Bin Varil/Gün olan LPG üretim miktarı, yıllık ortalama %2.263'lük artış ile 2021 yılı sonunda 386.05 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.4. Dünya ve Türkiye, LPG rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2002	33,775.89	163,376.10	282.64	1,366.59
2003	37,808.61	182,746.96	288.65	1,396.10
2004	41,532.45	201,429.24	289.86	1,405.32
2005	42,850.25	207,267.93	292.13	1,412.70
2006	45,305.27	219,066.73	307.82	1,490.16
2007	45,749.30	221,264.59	290.67	1,405.32
2008	46,098.53	223,555.64	301.51	1,462.49
2009	46,571.21	225,272.11	230.27	1,113.93
2010	48,438.52	234,294.53	248.27	1,202.45
2011	48,479.96	234,469.48	281.63	1,362.91
2012	49,794.58	241,507.92	294.61	1,429.30
2013	51,568.55	249,435.58	279.58	1,351.84
2014	53,072.16	256,590.16	266.72	1,289.13
2015	54,908.00	265,665.84	342.38	1,657.99
2016	55,725.78	270,253.60	369.52	1,792.62
2017	59,077.78	285,775.90	387.10	1,871.92
2018	60,258.21	291,427.87	347.69	1,683.81
2019	55,498.22	268,398.87	412.60	1,995.48
2020	52,255.21	253,406.91	368.85	1,788.93
2021	54,902.60	265,587.60	386.05	1,868.23

Çizelge 1.5'te yıllara göre Dünya'da ve Türkiye'de motor ve uçak benzini rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2002 yılında 219,694.60 Bin Varil/Gün olan motor ve uçak benzini üretim miktarı, yıllık ortalama %0.754'lük artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 250,129.15 Bin Varil/Gün olmuştur.

Ülkemizde ise 2002 yılında 1,033.17 Bin Varil/Gün olan motor ve uçak benzini üretim miktarı, yıllık ortalama %1.782’lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 1,278.69 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.5. Dünya ve Türkiye, motor ve uçak benzini rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2002	219,694.60	1,062,564.21	1,033.17	4,993.58
2003	227,517.42	1,100,375.76	1,066.11	5,156.14
2004	235,452.04	1,141,854.93	964.41	4,673.85
2005	234,712.97	1,134,914.27	1,002.55	4,848.49
2006	236,948.51	1,146,108.20	1,014.73	4,915.66
2007	240,026.55	1,160,990.30	1,137.57	5,505.44
2008	242,121.31	1,174,153.23	1,263.59	6,128.80
2009	248,348.52	1,201,120.58	1,099.19	5,324.07
2010	251,507.65	1,216,580.62	1,061.44	5,142.71
2011	253,070.91	1,223,848.64	1,186.96	5,739.20
2012	255,569.57	1,239,420.09	1,208.65	5,861.45
2013	263,731.38	1,275,540.66	1,188.93	5,753.97
2014	255,335.16	1,234,804.63	1,097.95	5,310.64
2015	262,001.32	1,267,233.57	1,420.16	6,869.03
2016	268,053.81	1,299,805.27	1,414.92	6,855.60
2017	267,830.03	1,295,378.27	1,490.32	7,208.93
2018	269,887.40	1,305,071.17	1,301.20	6,302.10
2019	261,226.06	1,263,381.30	1,472.65	7,117.57
2020	232,335.42	1,126,588.00	1,154.95	5,602.17
2021	250,129.15	1,210,234.75	1,278.69	6,194.62

Çizelge 1.6’da yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de nafta rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2008 yılında 38,550.76 Bin Varil/Gün olan nafta üretim miktarı, yıllık ortalama %4.422’lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 61,682.60 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 49.38 Bin Varil/Gün olan nafta üretim miktarı, yıllık ortalama %45.859’luk artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 554.38 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.6. Dünya ve Türkiye, nafta rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2009	38,550.76	186,351.03	49.38	237.72
2010	51,311.87	248,100.18	176.53	854.65
2011	50,225.67	242,784.67	87.87	427.33
2012	51,677.87	250,552.86	90.05	435.82
2013	54,383.69	263,003.05	43.10	209.42
2014	54,430.29	263,137.33	89.06	430.16
2015	56,113.70	271,484.23	79.40	386.29
2016	59,348.51	287,723.68	93.27	452.80
2017	62,215.15	300,880.99	100.01	485.34
2018	66,101.89	319,644.08	109.30	530.62
2019	60,824.99	294,089.07	333.27	1,610.26
2020	57,035.67	276,506.94	438.90	2,126.73
2021	61,682.60	298,273.01	554.38	2,682.82

Çizelge 1.7’de yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de kerosen (gaz yağı) rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2002 yılında 64,623.05 Bin Varil/Gün olan kerosen üretim miktarı, yıllık ortalama - %0.0639 azalış miktarı ile 2021 yılı sonunda 57,962.39 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 427.0507 Bin Varil/Gün olan kerosen üretim miktarı, yıllık ortalama %6.266’lık artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 855.6317 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.7. Yıllara göre Dünya ve Türkiye, kerosen rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2002	64,623.0467	312,463.6827	427.0507	2,068.4091
2003	66,566.4231	321,860.2253	455.9553	2,207.4725
2004	69,673.8164	337,832.0040	472.9021	2,293.9170
2005	70,893.9219	342,784.5774	523.1316	2,531.9532
2006	70,611.4444	341,472.5509	433.7758	2,099.7298
2007	71,805.5358	347,232.8065	622.8842	3,015.5425
2008	72,844.3341	353,255.3682	664.2143	3,218.4997
2009	70,362.9391	340,177.4892	525.3556	2,541.9758
2010	71,913.9780	347,721.8656	686.3328	3,322.4840
2011	73,894.8710	357,327.8292	760.5441	3,682.0439
2012	74,930.0387	363,360.0341	858.0107	4,161.8747
2013	76,367.8975	369,344.0840	941.1499	4,556.5138
2014	78,264.3250	378,499.4458	932.9623	4,515.1706
2015	81,796.4008	395,658.7801	1,316.0624	6,370.6001
2016	84,420.1084	409,391.3570	1,167.9135	5,665.2612
2017	86,748.6457	419,523.5148	1,257.4053	6,083.7038
2018	90,126.2719	435,809.1977	1,244.7477	6,026.0740
2019	86,376.8940	417,796.3592	1,546.8726	7,484.3589
2020	55,010.2167	266,482.2758	758.0247	3,672.0214
2021	57,962.3862	280,420.4613	855.6317	4,145.5880

Çizelge 1.8’de yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de kerosen bazlı jet yakıtı rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2009 yılında

41,461.47 Bin Varil/Gün olan kerosen bazlı jet yakıtı üretim miktarı, yıllık ortalama - %0.512 azalış miktarı ile 2021 yılı sonunda 33,657.31 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 518.91 Bin Varil/Gün olan kerosen bazlı jet yakıtı üretim miktarı, yıllık ortalama %7.248'lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 854.84 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.8. Dünya ve Türkiye, kerosen bazlı jet yakıtı rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2009	41,461.47	200,557.54	518.91	2,510.66
2010	42,994.75	207,978.50	676.28	3,273.62
2011	44,244.22	214,104.44	745.00	3,606.87
2012	45,118.10	218,819.25	846.37	4,105.50
2013	46,302.28	223,971.15	927.23	4,490.11
2014	47,850.15	231,473.51	918.59	4,445.01
2015	48,855.10	236,306.12	1,301.15	6,297.94
2016	50,320.39	244,063.20	1,163.27	5,642.71
2017	51,819.23	250,784.77	1,252.50	6,059.90
2018	54,719.98	264,724.41	1,238.78	5,997.26
2019	55,173.64	266,878.59	1,544.32	7,471.83
2020	30,971.92	149,953.59	756.68	3,665.76
2021	33,657.31	162,975.54	854.84	4,141.83

Çizelge 1.9'da yıllara göre Dünya'da ve Türkiye'de motorin rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2002 yılında 225,264.00 Bin Varil/Gün olan motorin üretim miktarı, yıllık ortalama %1.311'lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 286,182.00 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 1,891.94 Bin Varil/Gün olan motorin üretim miktarı, yıllık ortalama %5.883'lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 4,259.03 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.9. Dünya ve Türkiye, motorin rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2002	225,264.00	1,089,217.47	1,891.94	9,156.28
2003	239,105.58	1,156,298.57	1,981.69	9,591.56
2004	253,245.66	1,228,075.30	1,873.34	9,091.05
2005	259,735.15	1,256,190.68	1,863.10	9,015.15
2006	267,821.84	1,295,161.87	1,846.86	8,953.47
2007	274,211.38	1,326,164.89	1,722.10	8,321.31
2008	283,874.84	1,376,746.33	1,730.69	8,394.84
2009	276,962.01	1,339,216.20	1,250.14	6,051.21
2010	282,910.53	1,368,400.26	1,301.51	6,306.21
2011	291,630.86	1,410,324.44	1,726.87	8,354.52
2012	298,189.97	1,446,005.20	1,916.23	9,296.24
2013	302,451.08	1,462,874.84	1,880.13	9,094.61
2014	311,837.24	1,507,930.27	1,529.43	7,389.07
2015	314,503.58	1,521,095.22	2,119.94	10,261.68
2016	311,768.13	1,511,876.64	2,360.80	11,458.40
2017	315,323.86	1,525,036.75	2,567.62	12,427.40
2018	313,564.09	1,516,439.52	2,304.86	11,173.75
2019	304,141.92	1,470,903.66	3,384.88	16,387.61
2020	284,728.29	1,380,691.58	4,177.27	20,262.43
2021	286,182.00	1,384,483.49	4,259.03	20,625.36

Çizelge 1.10’da yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de fuel-oil rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2002 yılında 105,329.35 Bin Varil/Gün olan fuel-oil üretim miktarı, yıllık ortalama - %2.139’luk azalış miktarı ile 2021 yılı sonunda 68,168.31 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2002 yılında 1,692.24 Bin Varil/Gün olan motorin üretim miktarı, yıllık ortalama %7.404’lük artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 339.32 Bin Varil/Gün olmuştur.

Çizelge 1.10. Dünya ve Türkiye, fuel-oil rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2002	105,329.35	509,222.64	1,692.24	8,172.99
2003	109,930.15	531,410.23	1,706.46	8,242.73
2004	112,817.77	547,009.30	1,659.17	8,044.81
2005	112,666.04	544,704.92	1,530.98	7,391.59
2006	114,586.69	554,001.83	1,541.92	7,456.19
2007	115,399.90	558,039.61	1,354.36	6,531.22
2008	111,279.82	539,576.28	1,134.30	5,499.59
2009	104,160.56	503,397.66	638.49	3,088.72
2010	101,860.40	492,522.39	590.85	2,850.81
2011	99,667.45	481,814.42	528.42	2,555.47
2012	100,578.10	487,705.85	332.24	1,606.91
2013	96,595.90	467,024.71	639.58	3,089.74
2014	95,659.09	462,522.46	814.19	3,934.73
2015	90,550.72	437,874.97	734.69	3,548.13
2016	86,864.22	421,149.14	602.22	2,907.21
2017	81,200.99	392,456.81	546.79	2,630.33
2018	77,757.20	375,896.93	463.98	2,244.75
2019	69,822.02	337,555.91	664.76	3,193.31
2020	61,822.91	299,694.10	96.56	468.64
2021	68,168.31	329,676.43	339.32	1,642.80

Çizelge 1.11’de yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de diğer petrol ürünleri (yağlama yağları, bitüm vb.) rafineri çıkış miktarı verilmiştir (JodiOil, 2022). Çizelgede görüldüğü gibi 2009 yılında 110,081.87 Bin Varil/Gün olan diğer petrol ürünleri üretim miktarı, yıllık ortalama %3.138’lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 154,038.38 Bin Varil/Gün olmuştur. Ülkemizde ise 2009 yılında 828.63 Bin Varil/Gün olan diğer petrol ürünleri üretim miktarı, yıllık ortalama %8.915’lik artış miktarı ile 2021 yılı sonunda 1,753.49 Bin Varil/Gün olmuştur.

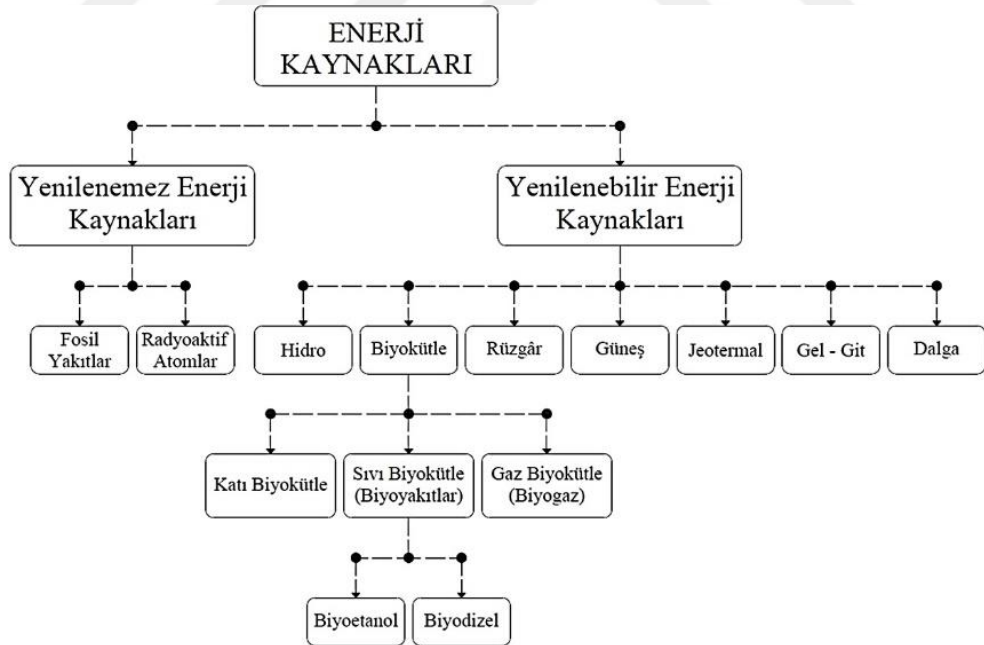
Çizelge 1.11. Dünya ve Türkiye, diğer petrol ürünleri rafineri çıkış miktarı

Yıllar	Dünya		Türkiye	
	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre	Bin Varil/Gün	Bin Kilolitre
2009	110,081.87	532,415.07	828.63	4,022.08
2010	111,437.98	538,857.97	899.28	4,359.12
2011	115,993.41	560,838.56	967.59	4,688.68
2012	109,755.47	532,156.17	1,090.62	5,285.73
2013	107,109.66	517,988.35	998.74	4,834.20
2014	130,197.12	629,858.94	719.16	3,476.39
2015	135,201.75	653,690.95	1,271.86	6,154.56
2016	143,299.32	694,775.53	1,365.02	6,625.36
2017	143,164.00	692,431.20	1,523.66	7,377.56
2018	151,519.63	732,872.37	1,287.54	6,235.88
2019	171,399.20	828,163.68	1,453.50	7,042.65
2020	171,410.77	830,740.61	1,807.33	8,768.54
2021	154,038.38	744,824.41	1,753.49	8,490.34

1.5. Biyoyakıtlar

Daha öncede bahsedildiği gibi enerji kaynakları, oluşum süreçlerinde geçen zamana göre iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Petrol, kömür, doğalgaz vb. enerji kaynaklarının oluşumları çok uzun yıllar sürdüğünden dolayı yenilenemez enerji kaynağı sınıfında yer alırlar. Yenilenemez enerji kaynaklarının aksine oluşum süreleri daha kısa bir zamanda gerçekleşen hidro enerji, rüzgâr, güneş, jeotermal, gel-git, dalga ve biyolojik kütle (biyokütle) vb. enerji kaynakları YEK sınıfında yer alırlar (Arzu, 2012). Biyokütle, YEK'den olup, 100 yıldan daha kısa sürede, yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlamak mümkündür (EIA, 2022).

Fosil haline gelmemiş olan bitkisel ve hayvansal organik maddelerden meydana gelen biyokütle enerji kaynakları, Şekil 1.22'de görüldüğü gibi, enerji elde edilmesi esnasında bulundukları fiziksel hale göre en genel şekilde üç ana kısımda sınıflandırmak mümkündür. Biyokütlenin, katı sıvı ve gaz biyokütle (biyogaz) olarak sınıflandırılması ile biyokütle enerji kaynaklarının tamamı kapsamaktadır (Hatunoğlu, 2010).



Şekil 1.22. Enerji kaynakları

Odun, bitki ve hayvansal atıklar kırsal kesimlerde ısınma ve yemek pişirme amacı ile uzun süredir kullanılmakta ve kullanılmaya devam edilen konvansiyonel yakıt türlerindendir. Biyokütle kaynaklarından sıvı ve gaz formunda enerji kaynağının elde

edilmesi son yüzyılda gerçekleşmiştir. Biyokütle kaynaklarının yaklaşık olarak %75'ini oluşturan ve kırsal kesimlerde ısınma ve yemek pişirme amaçlı kullanılan enerji kaynaklarına geleneksel biyokütle, sıvı ve gaz formuna dönüştürülen kaynaklara da modern enerji kaynakları denmektedir. Son zamanlarda ortaya çıkan ve fosil yakıtlara belli oranlarda karıştırılmak veya direkt olarak içten yanmalı motorlarda (İYM)'lerde kullanılabildiğinden biyoyakıt adını almıştır (Hatunoğlu, 2010).

1.5.1. Biyoyakıt çeşitleri

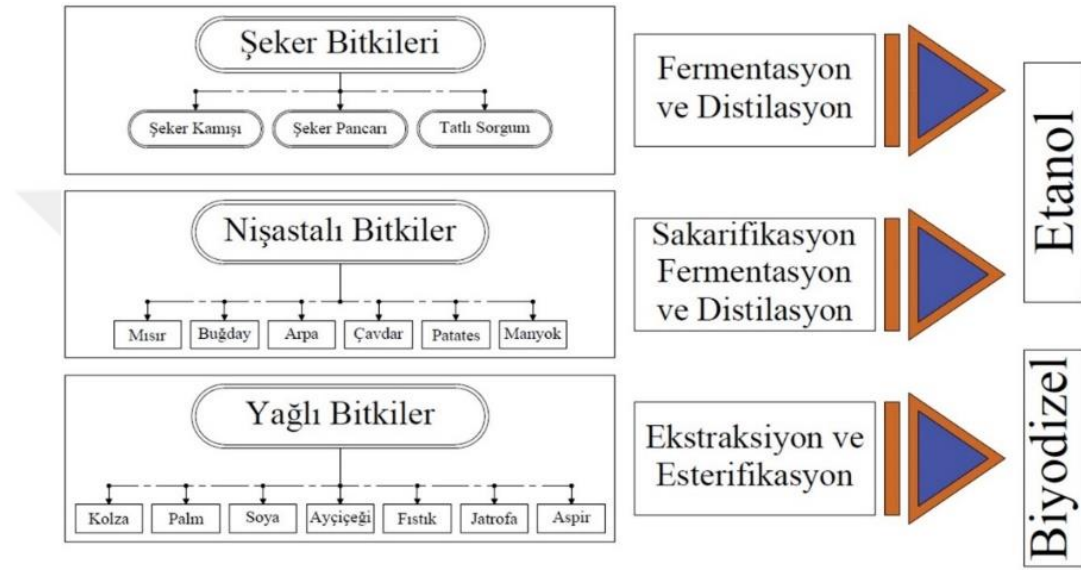
Biyoyakıt elde etmek için kullanılan biyokütlenin kimyasal içeriği ve üretim sürecinde kullanılan hammadde tipine göre biyoetanol, biyodizel (B100), biyometanol ve biyodimetiler vb. biyoyakıtlar elde edilmesine rağmen, bunların içerisinde en popüler olanı biyoetanol ve B100'dür (Ar, 2007).

Biyoyakıt elde etmek için kullanılan hammadde gıda amaçlı tüketiliyor veya tüketilemiyor olma özelliğine göre iki ayrı grup olarak sınıflandırılmaktadır. Biyokütle, tarımsal üretim sonucu elde edilip ve gıda ürünü olarak kullanılabiliyor ve bundan biyoyakıt elde edilmişse ki dünyada üretilen biyoyakıtların büyük çoğunluğu bu sınıftaki biyokütle ile elde edilmekte olup, "birinci nesil biyoyakıtlar" olarak adlandırılmaktadır. Bunun dışında, tarım ve ormancılık atıklarından yani gıda amaçlı olarak kullanılmayan biyokütleden biyoyakıt elde ediliyorsa "ikinci nesil biyoyakıtlar" olarak adlandırılmaktadır. İkinci nesil biyoyakıtların üretildiği biyokütle cinsi genellikle tarım ve ormancılık atıkları gibi gıda amaçlı kullanılmayan veya kullanılamayan lignoselülozik biyokütlelerdir (FAO, 2008).

Odunsu bitkiler (kavak, söğüt vb.), algler, çimen, su yosunları, çayır ve çimen gibi biyokütleler, biyoyakıt üretimi için gerekli hammadde maliyetini oldukça düşürmesine rağmen, biyokütlenin biyoyakıta dönüşüm işleminde kullanılan teknoloji, birinci nesil biyoyakıt üretimi için kullanılan teknolojiye göre oldukça pahalı olmasından dolayı ikinci nesil biyoyakıt üretiminin mali olarak ekonomik olmasının önündeki en büyük engellerden biridir (FAO, 2008).

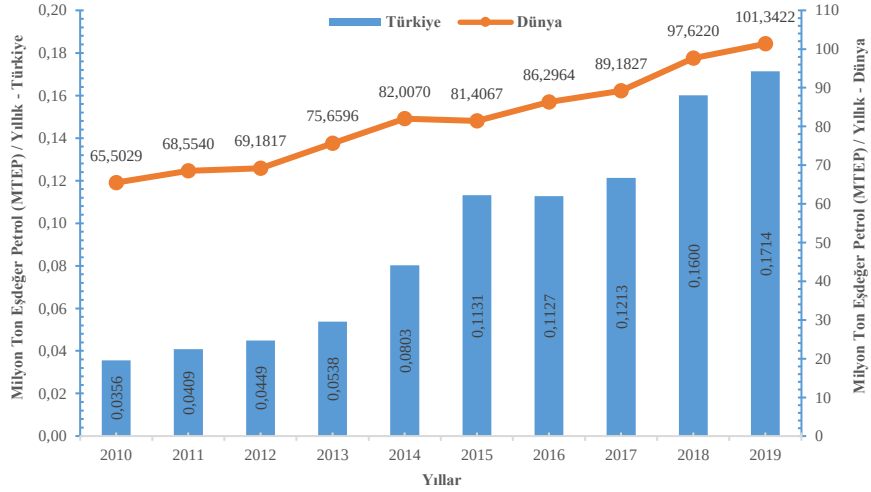
Şekil 1.23'te görüldüğü gibi, biyoyakıt üretmek için kullanılan biyokütlelerin türleri, biyoyakıtı üretmek için uygulanan kimyasal işlemler ve ürün olarak elde edilen biyoyakıt türleri özetlenmiştir (FAO, 2008). Şekil 1.23 incelendiğinde, görülebileceği üzere; nişastalı ve selülozik bitkilerden sıvı biyoyakıtın elde edilmesi için öncelikle sakarifikasyon işlemi, bu işlemden sonra glikozun alkole dönüştürülmesi için fermente

edilmesi ve fermentasyon işlemi akabinde, son işlem olarak damıtılması gereklidir. Bu işlemler neticesinde elde edilen biyoetanol, otto motorlarda benzinle belirli oranlarda karıştırılarak veya motorda bu yakıtın yanması için gerekli modifikasyonlar yapılması sureti ile saf olarak da kullanılabilir. Bünyesinde yağ bulunduran bitkiler veya tohumlarda ise oleozomlardan yağ; mekanik, kimyasal, süper kritik vb. bir yöntem ile ekstrakte edilerek elde edilen yağ; seyreltme, mikroemülsiyon, piroliz, transesterifikasyon vb. bir yöntem ile B100'e dönüştürülmektedir.



Şekil 1.23. Tarımsal ürünlerin sıvı biyoyakıtlara dönüştürülmesi

Genellikle ulaşım araçları için üretilen biyoyakıtlar, biyokütle hammaddelerinden üretilen sıvı yakıtlar ve bu sıvı yakıt karışım bileşenlerinden oluşmaktadır. Şekil 1.24'te yıllara göre Dünya'da ve Türkiye'de toplam biyoyakıt üretim miktarları verilmiştir (EIA, 2022). Şekilde görüldüğü gibi 2010 yılında Dünya'da biyoyakıt üretim miktarı 65.5029 MTEP iken yıllık ortalama +%5.0244'lük artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 101.3422 MTEP olmuştur. Ülkemizde ise 2010 yılında 0.0356 MTEP olan biyoyakıt üretim miktarı, yıllık ortalama +%20.1073'lük artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 0.1714 MTEP olmuştur.



Şekil 1.24. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam biyoyakıt üretimi

1.5.1.1. Biyoetanol

Biyokütlelerden, biyoyakıt olan biyoetanol elde etmek için hammadde olarak odunsu bitkiler ve muhteviyatında nişasta, şeker veya selüloz bulunan manyok, patates, çavdar, arpa, buğday, mısır, tatlı sorgum, şeker pancarı, şeker kamışı vb. bitkiler benzinli motorlarda kullanılabilen biyoetanol üretilmektedir.

Günümüzde ülkeler, biyoetanol üretimlerinde arazi ve iklim koşullarına göre farklı biyokütleleri kullanıyor olmalarına rağmen biyoetanülün üretiminde çoğunlukla şeker kamışı ve mısır kullanılmaktadır (Hatunoğlu, 2010).

Çizelge 1.12’de Türkiye ve Dünya şeker bitkilerinin yıllık ton cinsinden üretim miktarları verilmiştir (FAO, 2022). Çizelgedeki verilerden de görüldüğü gibi, Ülkemizde sorgum, şeker pancarı ve şeker kamışının yıllık üretiminde ortalama %3.3222 artış meydana gelerek 2020 yılı sonunda bu üç ürünün toplam üretimi 23,025.743 ton olarak gerçekleşmiştir.

Dünyada ise bu üç ürünün toplam miktarlarının yıllık üretiminde ortalama %1.1035 artış meydana gelerek 2020 yılı sonunda bu üç ürünün toplam üretimi 2,181,389,844 ton olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılı sonunda ülkemizde üretilen sorgum, şeker pancarı ve şeker kamışı tüm dünyada üretilen bu ürünlerin yaklaşık olarak %1.0555’ine karşılık gelmektedir.

Çizelge 1.12. Türkiye ve Dünya şeker bitkileri üretim miktarı (ton/yıl)

Yıllar	Türkiye			Dünya		
	Sorgum	Şeker Pancarı	Şeker Kamışı	Sorgum	Şeker Pancarı	Şeker Kamışı
2010	220	17,942,112	0	60,181,381	228,301,586	1,676,136,830
2011	180	16,126,489	0	56,807,955	278,756,561	1,789,980,914
2012	114	14,919,940	0	57,320,939	269,558,344	1,827,433,129
2013	361	16,488,590	0	61,894,858	247,624,316	1,901,503,727
2014	81	16,743,045	0	68,300,903	270,249,852	1,885,019,644
2015	4	16,462,000	0	66,116,435	240,759,023	1,875,002,672
2016	3	19,592,731	0	63,491,495	278,771,758	1,881,398,517
2017	3	21,149,020	0	57,753,572	313,936,939	1,835,889,872
2018	3	17,436,100	0	60,127,953	273,387,904	1,935,214,988
2019	4	18,085,528	0	57,362,755	280,918,827	1,955,307,695
2020	5	23,025,738	0	58,705,915	252,968,843	1,869,715,086
Toplam	978	197,971,293	0	668,064,161	2,935,233,953	20,432,603,074

Çizelge 1.13'te Türkiye ve Dünya nişastalı bitkilerin yıllık ton cinsinden üretim miktarları verilmiştir (FAO, 2022). Çizelgedeki verilerden de görüldüğü gibi, Ülkemizde buğday, mısır, arpa, çavdar, patates ve manyokun toplam miktarlarının yıllık üretiminde ortalama %1.5627 artış meydana gelerek 2020 yılı sonunda nişastalı bitkilerin toplam üretimi 424,355,510 ton olarak gerçekleşmiştir.

Dünyada ise bu altı ürünün toplam miktarlarının yıllık üretiminde ortalama %2.2887 artış meydana gelerek 2020 yılı sonunda bu ürünlerin toplam üretimi 28,183,110,995 ton olarak gerçekleşmiştir.

2020 yılı sonunda ülkemizde üretilen nişastalı bitkilerin toplamı tüm dünyada üretilen bu ürünlerin yaklaşık olarak %1.506'sına karşılık gelmektedir.

Çizelge 1.13. Türkiye ve Dünyada bazı nişastalı bitkilerin üretim miktarları (ton/yıl)

Yıllar	Türkiye						Dünya					
	Buğday	Mısır	Arpa	Çavdar	Patates	Manyok	Buğday	Mısır	Arpa	Çavdar	Patates	Manyok
2010	19,674,000	4,310,000	7,250,000	365,560	4,548,383	0	640,803,464	852,786,854	123,460,821	11,916,087	328,663,249	251,487,153
2011	21,800,000	4,200,000	7,600,000	365,750	4,648,081	0	696,898,368	887,771,173	132,879,983	13,105,772	368,983,872	265,215,334
2012	20,100,000	4,600,000	7,100,000	370,000	4,821,937	0	673,736,910	875,563,092	132,411,571	14,499,759	362,049,542	273,809,166
2013	22,050,000	5,900,000	7,900,000	365,000	3,955,294	0	710,169,467	1,016,802,467	143,683,458	16,649,965	366,205,244	278,420,328
2014	19,000,000	5,950,000	6,300,000	300,000	4,166,000	0	728,757,761	1,039,903,610	145,293,841	15,204,159	370,014,215	286,868,957
2015	22,600,000	6,400,000	8,000,000	330,000	4,760,000	0	741,845,269	1,052,718,699	147,874,303	12,937,204	366,058,316	287,190,887
2016	20,600,000	6,400,000	6,700,000	300,000	4,750,000	0	748,435,124	1,127,446,413	146,384,288	12,999,190	353,987,204	286,317,474
2017	21,500,000	5,900,000	7,100,000	320,000	4,800,000	0	772,290,608	1,138,724,080	148,481,847	13,004,048	370,113,980	280,520,757
2018	20,000,000	5,700,000	7,000,000	320,000	4,550,000	0	732,139,584	1,124,261,256	139,832,047	10,716,767	365,666,172	290,615,876
2019	19,000,000	6,000,000	7,600,000	310,000	4,979,824	0	764,980,821	1,141,359,868	158,462,601	12,824,590	354,812,093	299,028,225
2020	20,500,000	6,500,000	8,300,000	295,681	5,200,000	0	760,925,831	1,162,352,997	157,030,764	15,022,273	359,071,403	302,662,494
Toplam	226,824,000	61,860,000	80,850,000	3,641,991	51,179,519	0	7,970,983,207	11,419,690,509	1,575,795,524	148,879,814	3,965,625,290	3,102,136,651

Biyoeanol üretmek için kullanılan şeker bitkilerinden doğrudan fermantasyon işlemi ile biyoyakıt elde edilirken, nişastalı bitkilerden ise biyoyakıt elde etmek için glikoza dönüşümü sağlayan sakarifikasyon ara işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Ara işleminden sonra fermantasyon işlemine tabi tutulmak sureti ile biyoeanol elde edilebilmektedir (Dillon ve ark., 2008).

Elde edilen biyoeanolün kimyasal formülü C_2H_6O , molar kütlesi 46.07 g/mol, yoğunluğu 0.7893 g/cm^3 , kaynama noktası $>35^\circ\text{C}$, alevlenme noktası $15-20^\circ\text{C}$, renksiz ve sıvı formda olan bir bileşiktir. Elde edilen bu yakıt özelliklerinden dolayı İYM'lerde gerekli modifikasyonlar yapıldığı takdirde direkt olarak veya benzine belli oranlarda katılarak yakıt olarak kullanılabilir.

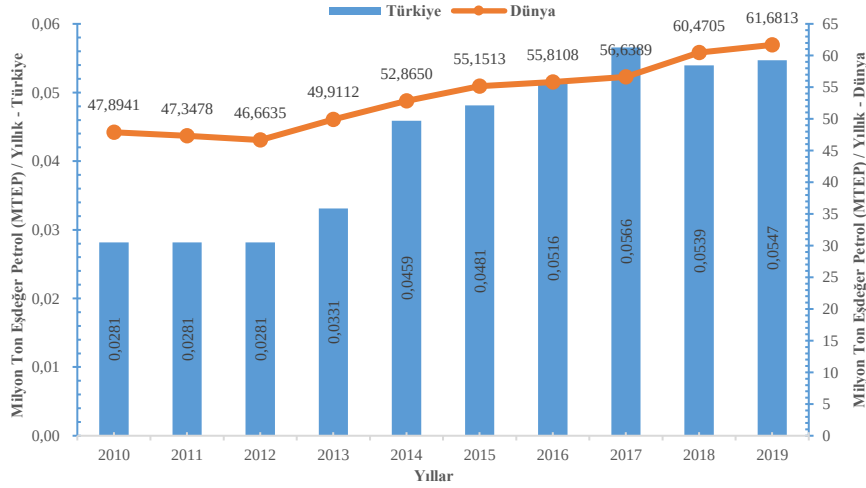
Çizelge 1.14'te fosil kökenli petrol (benzin) ile biyoeanolün özellikleri karşılaştırılmıştır (Mićić ve Jotanović, 2015). Görüldüğü gibi yakıtın vuruntu özelliğini etkileyen oktan sayısı olup, C_2H_5OH oktan sayısı benzinin oktan sayısından daha yüksektir.

Çizelge 1.14. Biyoeanol parametrelerinin benzin ile kıyaslanması

Yakıtlar	Yoğunluk (g/cm^3)	Viskozite (mm^2/s)	Alevlenme Noktası ($^\circ\text{C}$)	Isıl Değer (MJ/kg- 20°C'de)	Isıl Değer (MJ/l)	Oktan Sayısı (RON)	Yakıt Eşdeğerliği (l)
Benzin	0.76	0.6	< 21	42.7	32.45	92	1
Biyoeanol	0.7893	1.5	< 21	26.8	21.17	> 100	0.65

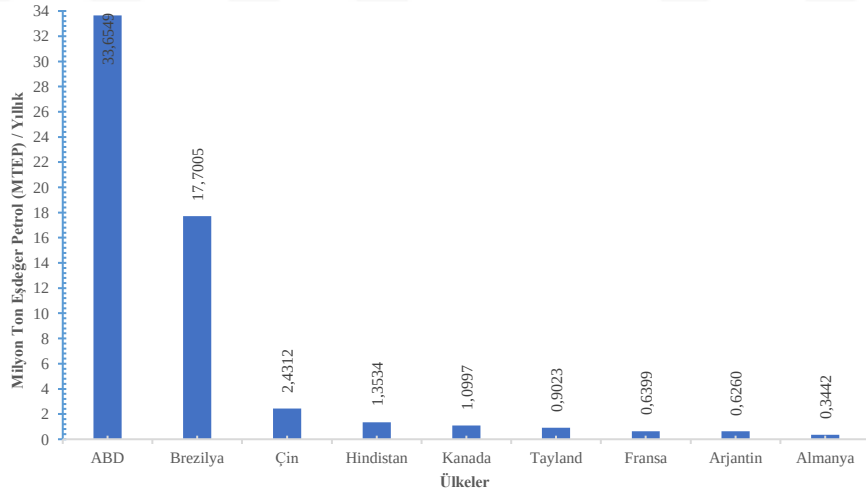
İçten yanmalı motorlara, ağır mekanik ve termal yükler gelmesine neden olan vuruntu olup, biyoeanolün oktan sayısının yüksek olması vuruntuyu önleyici yakıt olarak da isimlendirilebilir. Biyoeanolün 1 litre ısı değerinin yaklaşık olarak 21.17 MJ ve benzininde 1 litresinin 32.45 MJ olmasından dolayı, 1 litre biyoeanolden 0.65 litre benzinden elde edilen enerji sağlanabilir.

Şekil 1.25'te yıllara göre Dünya'da ve Türkiye'de toplam biyoeanol üretim miktarları verilmiştir (EIA, 2022). Şekilde görüldüğü gibi 2010 yılında Dünya'da biyoyakıt üretim miktarı 47.8941 MTEP iken yıllık ortalama +%2.896'luk artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 61.6813 MTEP olmuştur. Ülkemizde ise 2010 yılında 0.0281 MTEP olan biyoyakıt üretim miktarı, yıllık ortalama +%8.2973'lük artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 0.0547 MTEP olmuştur.



Şekil 1.25. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam biyoetanol üretimi

Şekil 1.26'da Dünya biyoetanol üretiminde ilk on sırada yer alan ülkelerin biyoetanol üretim miktarları verilmiştir (EIA, 2022). Şekilde de görülebildiği gibi bu on ülkenin 2019 yılı sonu itibari ile toplam biyoetanol üretim miktarları 58.7521 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Bu on ülkenin 2019 yılında üretmiş olduğu biyoetanol miktarı bütün Dünya'da bu yılda üretilen biyoetanol miktarının yaklaşık olarak %95.25107'sine karşılık gelmektedir.



Şekil 1.26. Dünya biyoetanol üretiminde ilk on sırada yer alan ülkeler

1.5.1.2. Biyodizel ve B100 yakıtının özellikleri

B100, bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve bunların atık pişirme yağları vb. kullanılmış türevleri gibi biyolojik olarak türetilmiş lipid hammaddelerinden elde edilen yakıt özellikleri bakımından dizel benzeri bir yakıt için kullanılan terimdir. Biyodizel,

çeşitli yerli hammaddelerden üretilen, kullanım ve taşıma esnasında düşük güvenlik kaygılarına sahip üretimden kullanıma nispeten düşük çevresel etkiye sahip olan yenilenebilir bir yakıt türüdür (Libretexts, 2021). Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ASTM) tarafından B100, bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen uzun zincirli yağ asitlerinin monoalkil esterleri olarak tanımlanır. YEK olan B100 “biyo” ve “dizel” kelimelerinin birleşmesi neticesinde türetilmiştir. “Biyo”, konvansiyonel petrol türevi motorin yakıtlar gibi yenilenemez enerji kaynakları olmayıp yenilenebilir ve biyolojik kaynak anlamına gelirken; “Dizel” kelimesi de, oluşumu diğer petroler gibi olmakla beraber, çeşitli HC içeren yakıt anlamına gelmektedir (Zhang ve ark., 2003).

Biyodizeli, petrol türevi dizelden daha güvenli bir yakıt yapan çeşitli özelliklere sahiptir. Petrol türevi dizel yanıcı bir yakıt olarak sınıflandırılırken B100 yanıcı olarak derecelendirilmektedir. Bu da düşük buhar basıncına sahip olduğu, statik kıvılcımlara karşı dirençli olduğu ve depolama sırasında kendiliğinden tutuşma olasılığının çok daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Hatta ABD’de saf B100 taşıyan tankerler nakliye sırasında uyarı işaretleri göstermemektedirler (Libretexts, 2021). Biyodizel üretiminde, hasat edilen ürünlerin kullanılması çiftlikte üretim potansiyeli nedeniyle özellikle çiftçilerin ilgisini çeken bir konudur. Biyodizel üretimi için kullanılacak olan yağ, yağlı tohumlardan farklı yöntemler ile kolay bir şekilde ekstrakte edilebilir ve ekstrakte edilen bu yağ daha sonra tarım makinelerinin İYM’lerde yakıt olarak kullanılması için farklı yöntemler ile biyodizele dönüştürülebilir. Çiftçilerin ekonomik açıdan refaha kavuşması için ek bir kaynak ve ekili arazileri yönetmek için ek bir seçenek sunmaktadır. Bir başka boyutu da değerlendirilecek olursa, yurt içinde yetiştirilen yağlı tohumlardan ekstrakte edilen yağın biyodizele dönüştürülüp yakıt olarak kullanılması, bir ülkenin ithal petrole olan bağımlılığını azaltabilir ve böylece ulusal enerji güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Ancak bu kadar olumlu katkısı bulunmasına rağmen, bazen gıda kaynağı olarak kullanılabilecek sıvı ve katı yağların yakıtı dönüştürülmesi konusunda endişeler de dile getirilmektedir (Prasad ve Ingle, 2019).

Biyodizel genel olarak çevre dostu bir yakıt olarak kabul edilmektedir. Ekstrakte edilen yağın biyodizele dönüştürülmesi ve üretilen biyodizelin İYM’lerde yakılması, petrol türevi olan dizelden daha az hava kirliliğine neden olur. ABD Tarım Bakanlığı ve Enerji Bakanlığı tarafından desteklenen bir araştırmaya göre, şehir içi otobüslerde B100 kullanılması toplam kükürt dioksit (SO_2)’nin ve partikül maddenin (PM)’nin, karbon monoksit (CO) ve kükürt oksitleri (SO_x) sırasıyla %32, %35 ve %8 azalttığı raporlanmıştır (Sheehan ve ark., 1998).

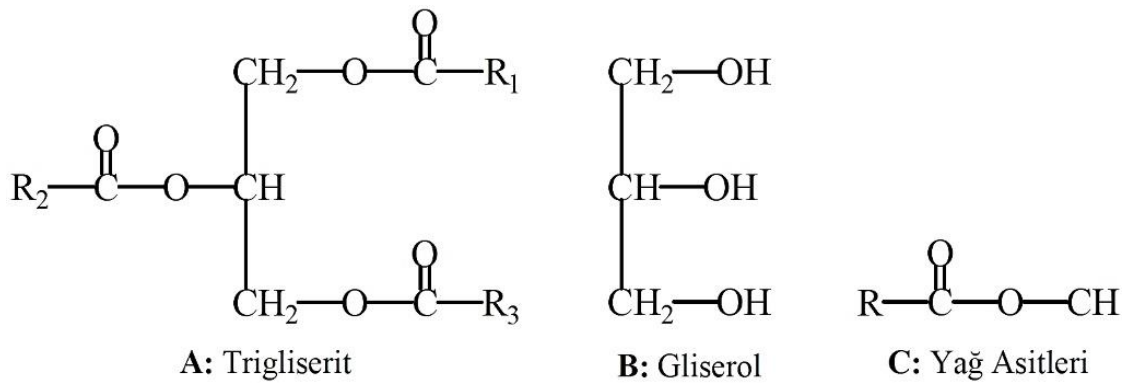
Dizel motor, adını 1890'larda icat eden Rudolf Diesel'den almıştır. Dizel motorları, bitkisel yağlar da dahil olmak üzere çeşitli yakıtlarla çalışabilir. 1900'deki Paris Fuarı'nda Rudolf Diesel, fıstık yağıyla çalışan motorlarını sergiledi ve şu ünlü açıklamayı yaptı: “Bitkisel yağların motor yakıtları için kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir. Ancak bu tür yağlar, zamanla, petrol ve günümüzün kömür katranı ürünleri kadar önemli hale gelebilir” (Libretexts, 2021).

Diesel'in vizyonu, bitkisel yağların hala doğrudan sıkıştırma ateşlemeli motorlar (SAM) için yakıt olarak kullanılabileceği konusunda geçerliydi. Ancak herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış ham bitkisel yağlar, yüksek viskoziteleri ve diğer kimyasal özellikleri nedeniyle modern dizel motorlar için ideal bir yakıt olma özelliğine sahip değildirler. Günümüz dizel motorlarında ham bitkisel yağların yakılması, silindirlerde motora kısa sürede ciddi zararlar verebilecek ağır karbon birikintilerine (kuruma) neden olurlar. Bu gibi sorunların üstesinden gelebilmek için 1930'lu yılların sonlarından başlayarak bitkisel yağları, kısa zincirli alkil yağ asidi (YA) esterlerinin bir karışımına kimyasal olarak işlemek için araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu yakıtın viskozitesi çok daha düşüktür ve bu nedenle dizel motorlarda kullanımı için daha uygun özelliklere sahiptirler. 1970'lerdeki petrol krizi sırasında, dizel motorlar için yakıt olarak alkil YA esterlerinin kullanımı daha popüler hale gelmiştir. Yirmi yıl sonra, 1990'lı yıllarda “biyodizel” adı ortaya çıkmış olup bu tarihten itibaren popülerliği gittikçe artmıştır (Libretexts, 2021).

1980'lerin başında, Mittelbach ve Avusturya'daki Graz Teknik Üniversitesi'ndeki ekibi, DF olarak B100 araştıran ilk kişilerdi. Biyodizelin ticarileşmesi 1987 yılında Avusturyalı bir şirket olan Gaskoks tarafından pilot B100 üretim tesisi ile başlamış olup, Avrupa'da B100 kullanımını teşvik eden kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olan Avrupa Biyodizel Kurulu (European Biodiesel Board - EBB) 1997 yılında kurulmuştur. ABD'de B100 araştırması ve kullanımı Avrupa'da olduğu gibi aynı zamanlarda başladı. Dr. Charles Peterson ve Idaho Üniversitesi'ndeki araştırma ekibi, bitkisel yağın traktör yakıtı olarak kullanımı üzerine bir dizi araştırma projesi yürüttüler. Ekip, B100 üretimi, motor testi, emisyon değerlendirmesi ve saha kullanımı üzerinde çalışmalarını gerçekleştirdiler. Ulusal Biyodizel Kurulu (The National Biodiesel Board - NBB), 1992 yılında ABD'de kurulmuş olup, B100 kullanımı konusunda sağlık ve çevre değerlendirmeleri yapmışlardır. NBB ayrıca biyodizelin ABD'ye kaydını yaptıran ilk kuruldur. Dizel motorlar için yedek yakıt olarak Çevre Koruma Ajansı (The U.S. Environmental Protection Agency - USEPA). NBB ve B100 araştırma topluluğu tarafından desteklenen

B100, bir endüstri sektörü olarak kurulmuştur. Saf Biyodizel, (B100) adı verilen dizel yerine kullanılan saf bir yakıt olarak kullanılabilse de, tipik olarak perakende pompalarında DF-B100 karışımı olarak bulunur. Biyodizel karışımları, geleneksel dizelde sırasıyla %5 veya %20 B100 için B5 (% 5 Biyodizel - % 95 Dizel karışımı yakıt) veya B20 (% 20 Biyodizel - % 80 Dizel karışımı yakıt) gibi hacimsel bir karışımı belirtmek üzere belirlenir (Libretexts, 2021).

Bitkisel veya hayvansal yağlar genellikle yağ veya lipid olarak isimlendirilirler. Bir katı ve sıvı yağ arasındaki ayırt edici faktör oda sıcaklığında yağların katı veya sıvı formda bulunmalarıdır. Hem sıvı hem de katı yağlardaki birincil bileşikler, Şekil 1.27.A'da görüldüğü gibi, trigliseritler adı verilen bir grup kimyasaldır. Şekil 1.27.B'de görüldüğü gibi gliserin olarak da bilinen gliserol, üç alkollü hidroksil grubuna (-OH) sahip polihidrik bir alkoldür. Saf gliserol renksiz, kokusuz ve higroskopiktir. Şekil 1.27.C'de yağ asitleri, nispeten uzun karbon zincirlerine sahip bir karboksilik asit ailesidir. Trigliseritler, üç YA'nin -OH gruplarının eklendiği bir gliserol karbon atomları zincirine kimyasal olarak bağlandığı yağ asitlerinin gliserol esterleridir. Sıvı ve katı yağlardaki trigliseritler, 10 ila 24 karbonlu (C_{10} - C_{24}) YA zincirleri içerebilir, ancak en yaygın olarak uzunlukları 16 ila 18 karbondur (C_{16} - C_{18}). Gliserol molekülüne bağlı üç YA aynı veya farklı olabilir. YA'lerin alkil zincir uzunluğu, YA zincirlerinde bulunan çift bağların varlığı, sayısı, çift bağların konumu ve yönü toplu olarak trigliseritin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirler. Bazı YA örnekleri Çizelge 1.15'te verilmiştir (Libretexts, 2021).



Şekil 1.27. Trigliseritler, gliserol ve yağ asitlerinin kimyasal yapısı

Çizelge 1.15. Yağlarda ve katı yağlarda yaygın olarak görülen yağ asitleri

Yağ Asitleri (Karbon ve Çift Bağ)	Yaygın Adı	Sistematik Adı	Kapalı Formül	Kimyasal Yapısı	Moleküler Ağırlığı (g/mol)
C _{8:0} [2]	Kaprilik Asit	Oktanoik Asit	C ₈ H ₁₆ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	140,2
C _{10:0}	Kaprik Asit	Dekanoik Asit	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	172,2
C _{12:0}	Laurik Asit	Dodekanoik Asit	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	200,3
C _{14:0}	Miristik Asit	Tetradekanoik Asit	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	228,4
C _{16:0}	Palmitik Asit	Hekzadekanoik asit	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	256,5
C _{16:1}	Palmitoleik Asit	cis-9 Hekzadekanoik asit	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH:CH(CH ₂) ₇ COOH	254,5
C _{18:0}	Stearik Asit	Oktadekanoik asit	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	284,5
C _{18:1}	Oleik Asit	9-Oktodesenoik Asit	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH:CH(CH ₂) ₇ COOH	282,5
C _{18:2}	Linoleik Asit	9,12-Oktatekadienoik Asit	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₃ (CH ₂ CH:CH) ₂ (CH ₂) ₇ COOH	280,5
C _{18:3}	Linolenik Asit	9,12,15-Oktatekatrienoik Asit	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂ CH:CH) ₃ (CH ₂) ₇ COOH	278,5
C _{20:0}	Araşidik Asit	Eikosanoik Asit	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	312,6
C _{20:1}	Gadoleik Asit	cis-11 Eikosenoik Asit	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH:CH (CH ₂) ₉ COOH	310,5
C _{20:5}	EPA	cis-5,8,11,14,17 Eikosapentaenoik Asit	C ₂₀ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂ CH:CH) ₅ (CH ₂) ₃ COOH	302,5
C _{22:1}	Eruşik Asit	cis-13 Dokosanoik Asit	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH:CH(CH ₂) ₁₂ COOH	338,6

[2] C_{x:y}, bu zincirde y çift bağları olan bir x karbon atomu zinciri anlamına gelir.

ABD'de yakıtın B100 olarak nitelendirilmesi için, Uluslararası ASTM, bitkisel yağlardan veya hayvansal yağlardan türetilen ve B100 olarak adlandırılan uzun zincirli yağ asitlerinin mono-alkil esterlerinden oluşan yakıt (U.S. Department of Energy, 2009) tanımına tam olarak uyması gerekir. Ayrıca bu standartta tanımlanan tüm kalite parametrelerini karşılamalıdır. Avrupa'da B100 tanımı Avrupa standardı (Europeane Norm - EN 14214) kapsamındadır (En, 2014).

Biyodizel, dünya çapında tüketiciler tarafından kullanılan ticarileştirilmiş bir biyoyakıttır. Motor üreticilerinin ve dizel motor müşterilerinin biyodizelin belirtilen yakıt kalitesi gereksinimlerini karşıladığını temin etmek için çeşitli uluslararası standartlar geliştirilmiş ve onaylanmıştır. Ticari bir ürün olarak B100, Kuzey Amerika'da ASTM Standardı D6751 (U.S. Department of Energy, 2009) veya Avrupa'da EN14214 (En, 2014), tarafından tanımlanan özelliklere uygun olmalıdır. Diğer bazı ülkeler de kendi standartlarını geliştirmiştir; çoğu durumda, ASTM ve EN standartlarını temel alırlar. Çizelge 1.16'da bu iki standarda göre B100 yakıtın özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 1.16. Biyodizel için ana özellikler

Özellik	Birim	ASTM D6751[a]		EN14214
		Sınıf 1B	Sınıf 2B	
Max. Kükürt (15 ppm veya daha düşük seviye)	ppm	15	15	[b]
Max. Soğuk Halde Filtrelenebilme	saniye	200	360	[b]
Max. Monogliserit	% Kütle	0,40	[b]	0,80
Max. Ca + Mg Kombinasyonu	ppm (µg/g)	5	-	5
Min. Parlama noktası (Kapalı Kap)	°C			
Alkol kontrolü (A veya B'den biri karşılanmalıdır)				
A- Metanol İçeriği	% Kütle	0,2	-	0,2
B- Min. Parlama Noktası	°C	93	-	101
Max. Su ve Tortu Miktarı	% Hacim	0,050	-	0,005
Kinematik Viskozite (40°C)	mm ² /s	1,9 – 6,0	-	3,5 – 5,0
Max. Sülfatlanmış Kül İçeriği	% Kütle	0,02	-	0,02
Bakır şerit korozyonu		No. 3	-	No. 1
Min. Setan Sayısı		47	-	51
Bulutlanma Noktası	°C	(-3) – (-12)	-	[b]
Max. Karbon Kalıntısı	% Kütle	0,05	-	0,03
Asit Sayısı	mg KOH/g	0,50	-	0,50
Max. Serbest Gliserol	% Kütle	0,02	-	0,02
Max. Toplam Gliserol	% Kütle	0,24	-	0,25
Max. Fosfor İçeriği	% Kütle	0,001	-	0,001
Distilasyon sıcaklığı (%90 Geri Kazanım)	°C	360	-	[b]
Max. Na + K Kombinasyonu	ppm (µg/g)	5	-	5
Min. Oksidasyon Kararlılığı	Saat	3	-	6

[a] Sınıf, monogliseritler ve soğuk halde filtrelenebilme için spesifikasyonu ifade eder, S15, maksimum 15 ppm kükürt içeriğini gösterir.

[b] Standartta belirtilmemiş

Biyodizel özellikleri hammaddeden ve dönüşüm sürecinden etkilenir. Bir yakıtın pazarlanabilmesi için ilgili standartlardaki tüm parametreler için karşılama özellikleri belgelendirilmelidir. Ancak bazı yakıt özellikleri kullanım açısından diğerlerinden daha kritiktir.

Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin yakıt spektleri birçok ölçüte göre belirlenmektedir. Bunlardan en önemlileri;

- i) Tutuşma kalitesi, kolay ilk harekete geçirme, optimum hava-yakıt karışımının oluşumu ve yanması, emisyon oluşumu ve kalitesi, kalorifik değer gibi motorda gerçekleşen olaylara etkisi,
- ii) Bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) gibi soğuk akış özellikleri,
- iii) Filtrelemede sıcaklık sınırı, oksidasyon ve hidrolitik kararlılığı, indüskiyon periyodu, parlama noktası (PN) ve mikrobiyal kirlilik gibi taşıma ve depolama özellikleri,

Yakıt enjeksiyon sisteminin üretiminde kullanılan malzemeler ile uyumluluk, yağlayıcılık, temizleme etkisi ve viskozite gibi motor parçalarında aşınmayı asgari seviyeye indirgeyecek özellikler olarak sıralanabilir (Barabás ve Todoruț, 2011).

1.5.1.2.1. Kükürt

ABD'de B100 kükürt içeriği, ultra düşük kükürtlü bir yakıt olarak nitelendirilebilmesi için S15 Sınıfı için 15 ppm'den ve S500 Sınıfı için 500 ppm'den fazla olmamalıdır. Ham bitkisel yağlar hammadde olarak kullanılıyorsa, biyodizeldeki kükürt içeriği tipik olarak çok düşüktür. Bununla birlikte, kullanılmış yemeklik yağlar veya hayvansal yağlar kullanılıyorsa, gerekli spesifikasyonu karşılamak için biyodizeldeki kükürt içeriği dikkatle izlenmelidir (Libretexts, 2021).

Yakıt muhteviyatındaki kükürt miktarının yüksek olması, yanma sonucundaki egzoz gazları içerisindeki SO₂ ve PM kirlletici gazların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kükürt bakımından zengin yakıtların İYM'lerde kullanılması neticesinde katalitik sistemlerinin ömürlerinin kısa ve verimliliklerinin düşük olmasına neden olmasının yanı sıra motor parçalarında ciddi aşınmalara ve tortu meydana gelmesine neden olmaktadır (Ferrari vd., 2011). Biyodizel üretiminde bitkisel yağların kullanılması DF ile

kıyaslandığında kükürt miktarlarında azalmaya sebebiyet vermesinden ötürü Euro emisyon standartlarında 10 ppm'den aşağıya çekilmesi hedefinin yakalanması için DF'ye belli oranlarda biyodizelin karıştırılmasını zorunlu hale getirmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

EN14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin toplam kükürt içeriği en fazla 10 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN ISO 20846, EN ISO 20884 ve EN ISO 13032 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2. Parlama noktası

Bir maddenin PN, sıvı buharının parlaması için gerekli olan en düşük sıcaklık olarak ifade edilebilir. Yangın güvenliği açısından, yakıtlar için minimum parlama sıcaklığının belirlenmesi gereklidir. Çünkü bu özellik yakıtın hava ile tutuşabilir bir karışım meydana getirebilme eğilimini göstermektedir. Yakıtın PN'nin yüksek olması sevkiyat ve depolama kolaylığının yanı sıra kullanım güvenliğini de arttıran bir özelliktir (Al-Hamamre ve Al-Salaymeh, 2014).

Yakıtlar ve yağlara alevlenme noktası derecesinden çok daha düşük bir sıcaklık derecesinde bir alev yaklaştırılınca, kimyasal yapılarında düşük sıcaklık derecelerinde gaz formuna geçebilen maddeler bulunmasından ötürü parlarlar. İşte parladıkları bu noktadaki sıcaklık derecesi test edilen yakıt veya yağların alev alma riskinin belirlenmesine yardımcı olur. Hayvansal veya bitkisel yağlardan B100 elde edilmesi amacı ile kullanılan alkolün tam olarak uzaklaştırılması istenen bir durumdur. Çünkü elde edilen biyodizelden alkolün tam olarak uzaklaştırılmaması elde edilen yakıtın PN'sinin düşük olmasına sebep olur ve yangın güvenliği için büyük önemdedir. Alkolün eser miktarlarda bile bulunması yakıt enjeksiyon sisteminde yer alan yakıt pompalarını, enjektörleri, conta ve o-ringleri olumsuz yönde etkileyecektir (Alleman ve ark., 2016). Biyodizelin PN tespit edilirken alkol varlığı önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır (Ferrari ve ark., 2011).

Genellikle fosil veya fosil olmayan bir yakıtın kaynama noktasının düşük olması alev alma noktasının da düşük olmasına sebebiyet verecektir. Parlama noktası, resmi akaryakıtın depolanması için resmi talimatlar gereği belirlenmesini gerektirmesinin yanı sıra İYM'lerde kullanılması durumunda kızdırma bujileri aracılığı ile ön ısıtmaya gerek olup olmadığını belirlemek içinde gereklidir. Kısacası PN, yakıtların risk sınıflamasında belirlenmesi gereken çok önemli özelliklerindendir (Acaroğlu, 2007). Yakıt nakli ve

depolanması için PN'sinin yüksek olması arzu edilir. Fosil kökenli DF'nin PN 110 °C iken, herhangi bir işlem uygulanmamış olan saf bitkisel yağınki 300 °C'den daha yüksek ve B100'ün PN 220 °C civarındadır. Yakıtların Parlama noktalarının belirlenmesinde, test yöntemi olarak DIN EN 22719 (Pensky - Martens) standardı uygulanmaktadır (Koç, 2011).

1.5.1.2.3. Su ve serbest partikül miktarı

Elde edilen biyodizelin içerisinde su miktarının aşırı yüksek olması; yakıtın kalorifik değerinin düşmesi neticesinde daha düşük güç elde edilmesine, motorun ilk harekete geçmesini zorlaştırmasına (Demirbaş, 2009), yakıt sistemindeki yakıt deposunda, yakıt pompası ve elemanlarında korozyona (Berrios ve Skelton, 2008; Boro ve ark., 2011; Demirbas, 2009; Fazal ve ark., 2010; Gomes ve ark., 2010; Haseeb ve ark., 2010), soğuk akış özelliklerinin kötüleşmesine (Erol ve ark., 2006), İYM'nin kullanım ömrünün kısılmasına (Gomes ve ark., 2010), yakıtı meydana getiren kimyasal yapının bozulmasına (Shrestha ve ark., 2010), özgül yakıt tüketiminin artmasına (Lin ve Wang, 2004) ve B100 kalitesinin kötüleşmesine (de Jesus ve ark., 2008) neden olmaktadır. Bu olumsuzluklar dışında, B100 içerisinde bulunan su, yakıt tanklarında mikroorganizmalar için uygun ortam oluşturduğundan dolayı bakteri oluşumuna da neden olmaktadır (Demirbas, 2009; Erol ve ark., 2006; Gerpen ve ark., 1996; Shrestha ve ark., 2010; Van Gerpen ve ark., 2004; Warabi ve ark., 2004). Biyodizel içerisindeki su miktarını, B100 üretilirken kullanılan yıkama ve kurutma işlemi basamaklarına ek olarak (Eryılmaz, 2009), taşıma esnasında dahil olan suda belirler.

Fosil türevli, bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin içerisinde belli oranda su bulunmasının İYM'ler için dezavantaj olmadığını raporlayan çalışmalar bulunmaktadır. Yakıt içerisinde belli oranlarda bulunan su miktarı, Su / yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sonu sıcaklığını düşürmek sureti ile azot oksit (NO_x) emisyonlarında bir miktar azalmaya neden olurken, common-rail gibi yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde ise su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde korozyona ve akabinde lokal çürümelere sebep olması söz konusudur. Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen Biyodizel içerisindeki su miktarı TS EN 14214 standardına göre en fazla 500 mg/kg olmalı, bu miktar EN ISO 12937 deney yöntemine göre yapılmaktadır (Koç, 2011; Yeşilyurt, 2017).

Partikül veya çökelti oluşumunun başlıca sebeplerinin başında yakıtın oksidasyonu gelmektedir. Elde edilen yakıtın viskozite testleri ile beraber pH testleri değerlendirilirse yakıtın oksitlenip oksitlenmediği tespit edilebilir (Alleman vd., 2016). Ayrıca, üretilen B100 numunesinde askıda bulunan ve çözünemeyen bileşiklerin selüloz nitrattan üretilen membran süzgeçten süzülmesi esasına dayanan bu test şu adımlarda gerçekleştirilir;

- i) Filtre, heptan ile yıkanır,
- ii) Heptan uçurulmak sureti ile filtre kurutulur,
- iii) Yıkanan filtre ve kurutulduktan sonra tartılarak kütle farkı hesabına dayanarak toplam kirlilik miktarı tespit edilir.

Üretilen biyodizelde istenmeyen özelliklerden olan toplam kirlilik miktarının çok fazla olması, enjeksiyon pompasının kısa sürede arızalanmasına ve filtrasyon işlemini gerçekleştiren yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilmektedir (Erol ve ark., 2006; Ferrari ve ark., 2011; FORCE, 2007; Sarin, 2012).

TS EN 14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin toplam kirlilik miktarı maksimum 24 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN 12662 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.4. Viskozite

Biyodizelin karakteristik özelliklerinden biride kinematik viskozitedir. Sıcaklığa bağlı olan viskozite, HC'lerin zincir uzunluğu arttıkça artan ve çift bağ sayısı arttıkça azalmaktadır (Ölçüm, 2006). Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin akmaya karşı gösterdiği direnç olup belirli ebatlardaki orifis boyunca hareket eden akışkanın akma süresine göre hesaplanan bir değerdir (Atabani ve ark., 2013; Atabani ve ark., 2012). Biyokütleden elde edilen biyodizelin yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi için pek çok çalışmada İYM'lerde bazı modifikasyonların yapılması veya B100 elde edilecek yağın kimyasal veya farklı yöntemler ile viskozitelerinin düşürülmesi önerilmektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2006; Altun ve Gür, 2005; Eryılmaz, 2009; Oğuz, 2004; Şahin, 2013).

Araştırmaların büyük çoğunluğu İYM'lerde yapılacak modifikasyonlar yerine B100 üretmek için kullanılacak olan yağların viskozitelerinin kimyasal yöntemler ile

düşürülmesini önermekte olup kimyasal yöntem olarak en çok tercih edilenin ise transesterifikasyon yöntemi olduğunu vurgulamışlardır. Bu kimyasal yöntem ile yabani hardal yağı (Eryilmaz, 2009), ayçiçek yağı (Karabaş, 2013a), aspir tohumu yağı (ATY) (Karabaş, 2013b), ve keten yağlarının (Şahin, 2013) kinematik viskozitelerini sırasıyla 7.76, 4.02, 6.95 ve 6.30 kat düşürdüklerini raporlamışlardır.

Üretilen biyodizelin kinematik viskozitesinin çok yüksek çıkmasının nedeni transesterifikasyon reaksiyonunun tam gerçekleşmemesi neticesinde içerisinde gliserol kalmasından dolayıdır (Eryilmaz ve ark., 2012). Petrol türevi yakıt olan motorin ile kıyaslandığında biyodizelin kinematik viskozitesi 1.6 kat daha fazla olup bu oran sıcaklık değeri düştükçe daha fazla artmaktadır (Tesfa ve ark., 2010). Düşük sıcaklıklarda B100 kalınlaşabilmekte ve akışkanlığı azalmakta olup bu durum yakıt sistemindeki enjektör ve pompaların performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Artukoğlu, 2006).

Günümüzdeki dizel motorların büyük bir çoğunluğu kinematik viskozite değerleri 4–6 mm²/s olması durumunda sorunsuz çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle elde edilen B100 yakıtların kinematik viskozite değerlerinin bu aralıkta olması istenmektedir (Alleman ve ark., 2016).

Üretilen biyodizelin uygun kinematik viskozite değerlerine sahip olmaması atomizasyon kalitesinde, yanma olayında ve motor aşınmalarında etkileri görülmektedir. Üretilen yakıtların kinematik viskozite değerlerinin yüksek olması, yakıt pompasındaki güç tüketiminin artmasına, atomizasyon ve pülverizasyon kalitelerinin düşük olmasına, yakıt tüketiminin artmasına, yanma odasının her tarafına nüfuz edemeyecek kadar yetersiz püskürtmeye, enjektör memelerinin ucunda bulunan yakıt püskürtme deliklerinin tıkanmasına, segmanlarda karbon (kurum) birikintisine, sıkıştırma zamanı sonunda yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının azalarak fakir karışım oluşumuna ve hava ile yakıt karışımı oluşumunun süresinin uzamasına neden olmaktadır. Düşük kinematik viskozite değerlerinde ise yakıt sisteminde yer alan enjeksiyon pompasında sızıntılara neden olması güç kaybına yol açmaktadır (Arbab ve ark., 2013; Ghazali ve ark., 2015; Kutu ve ark., 2013; Kwangdinata ve ark., 2014; Ozcanli ve ark., 2013; Örs, 2014; Shahabuddin ve ark., 2012; Tate ve ark., 2006; Tesfa ve ark., 2010; Xue ve ark., 2011). Bazı içten yanmalı dizel motorlar için kinematik viskozite değerinin 1.3-4.1 mm²/s arasında olması istenir. Bu tür motorlarda B100 kullanımının hiçbir sakıncası olmaz, çünkü hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin kinematik viskozite değerleri 4–6 mm²/s aralığındadır. Biyodizelin minimum kinematik viskozite değeri olan 4 mm²/s motorlarda istenen maksimum 4.1 mm²/s kinematik viskozite değerini

karşılıamaktadır. Ayrıca yüksek kinematik viskozite değerleri yanmanın kötüleşmesi ve katı partikül birikimine neden olması gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır (Alleman ve ark., 2016).

Literatürde yer alan bazı çalışmalara göre; İYM’lerde motorinden daha yüksek kinematik viskozite değerine sahip biyodizelin kullanımı yakıt penetrasyonunu artırmak sureti ile hava-yakıt karışım oranını iyileştirdiğini sonuç olarak motor torkunda ve gücünde bir miktar artış olduğunu raporlamışlardır (Erol ve ark., 2006; Lin ve ark., 2009; Monyem ve ark., 2001; Öner ve Altun, 2009).

Bazı araştırmacılarda yüksek kinematik viskozite değerinin enjeksiyon performansını kötüleştirmesinden ötürü motor gücünde bir miktar azaldığını raporlamışlardır (Aydin ve Bayindir, 2010; Utlı ve Koçak, 2008).

Kinematik viskozitenin deney yöntemi DIN EN ISO 3104’e göre yapılmaktadır. Üretilen biyodizelin kinematik viskozitesi ASTM D6751 standardına göre 40 °C’de 1.9-6.0 mm²/s ve EN14214 standardına göre 40 °C’de 3.5-5.0 mm²/s olarak belirlenmiştir.

Viskozite değerlerinin üst sınırları soğuk iklim şartlarında bile motorun çalıştırılması sırasında yakıtın düzgün ve kolay bir şekilde akıyor olabilmelerini alt sınır ise kolay akışkanlığın meydana getireceği sızıntılardan ötürü İYM’lerde meydana gelebilecek olası güç kayıplarının önlenmesini sağlamaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.5. Sülfatlanmış kül

Hayvansal veya bitkisel yağlar biyodizele dönüştürüldükten sonra arta kalan alkali atıkların inorganik metal bileşikleri biyodizeldeki sülfatlanmış külü oluşturmaktadır. Biyodizelin yakılması neticesinde teorik olarak ürünler kısmında sadece CO₂ ve su bulunması gerekirken pratikte yanmamış HC ve inorganik safsızlıklardan ötürü bir miktar kül bırakmaktadır. Biyodizelde kül bırakan inorganik maddeler;

- i) Aşındırıcı katılar,
- ii) Katalizör kalıntıları,
- iii) Metalik sabunlar olmak üzere üç formda bulunabilirler (Obisesan ve ark., 2017).

Metal içeren yakıt katkı maddeleri ve üretilen yakıttan arındırılmamış katalizörler, sülfatlanmış külün ana katkı maddelerinin başında gelir (U.S. Department of Energy,

2009). Bu inorganik maddeler, yanma sürecinde okside olarak kül formunu alırlar. Kül formunu alan bu atıklar enjektör, segman-pistonlarda, silindir duvarlarında ve yakıt besleme pompalarında aşınma meydana getirmesinin yanında motorda tortu oluşumuna da sebep olmaktadır. Yanma sonucunda yakıtın bırakmış olduğu kül zaman içerisinde motor yağına karışır ve motor yağını süzen yağ filtresinin tıkanmasına neden olur, bu olumsuzlukta sık olarak motor yağının ve yağ filtresinin değişmesini zaruri kılar (Erol ve ark., 2006; Eryilmaz, 2009; Ferrari ve ark., 2011; Utlu ve Koçak, 2008).

Yakıt içerisinde kül bırakan inorganik maddeleri kısaca özetleyecek olursak; Çözünür özelliğe sahip metalik sabunlar aşınma üzerinde çok az etkiye sahip olup, ancak yağ filtresinin yağ akışını engelleyecek şekilde tıkanmasına ve motorda tortuların oluşmasına katkıda bulunabilir (U.S. Department of Energy, 2009). Yanmamış HC'den kaynaklanan külün neden olduğu hasarda, metalik külün neden olduğu hasardan farklı etkiler oluşturur. Metal kül aşındırıcıdır ve piston-segman ile silindir duvarı yüzeyinde motorun çalışmasını olumsuz yönde etkileyen ciddi hasarlara neden olabilir (Sarin, 2012).

EN14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin toplam sülfatlanmış kül içeriği en fazla %0.02 (m/m) olmalıdır. Deney yöntemi olarak ISO 3987 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.6. Bakır şerit korozyon testi

Bakır şerit korozyon testinin yapılmasının amacı depolama tankı, motor parçalarındaki ve yakıt sistemi komponentlerinde bulunması muhtemel bakır ve bronz materyal ile ilgili korozyon karakteristiklerinin tespit edilmesidir (Alleman ve ark., 2016). 50 °C sıcaklıktaki B100 numunesi içerisine %99,9 saflıktaki bakır şerit daldırılır. Bu sıcaklıktaki B100 numunesi içerisinde 3 saat bekletilen bakır şerit daha sonra standartlar ile belirlenen referans korozyon şeritleri ile kıyaslanarak numunenin korozyon derecesi tespit edilir. Biyodizel muhteviyatındaki metal iyonları, kükürt, asit ve su korozyona neden olmaktadır (Erol ve ark., 2006; Jung ve ark., 2006; Singh ve ark., 2012). Motor parçalarının metal komponentleri üzerinde korozyona ve motorda tortu oluşumu nedenleri;

- i) Hayvansal veya bitkisel yağların biyodizele dönüştürülmesi için kullanılan transesterifikasyon reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmemesi,

- ii) Biyodizel elde edildikten sonra yıkama işleminin yetersiz olması neticesinde alkol, gliserol, serbest yağ asitleri (SYA) ve katalizör gibi artıkların kalması (Nagy ve ark., 2010).

EN14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin korozyon derecesi en fazla sınıf 1 olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN ISO 2160 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.7. Setan sayısı ve setan indeksi

Setan motoru ile belirlenen setan sayısı (SS), DF'nin tutuşma kabiliyetinin bir ölçüsüdür (Öcal, 2006). Başka bir ifade ile piston-segmanlar aracılığı ile sıkıştırılıp basınç ve sıcaklığı artırılan havanın içerisine enjektörler aracılığı ile püskürtülen motorinin ne kadar iyi yanacağını gösteren SS'dir.

Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin SS motorinin SS'den yüksek olmasından dolayı SAM'da kullanılması neticesinde motorine göre daha iyi tutuşma kabiliyeti göstermektedir (Sarin, 2012).

Biyodizelin YA zincirleri ve ester grupları SS'yi etkilemektedir. Uzun düz zincirli doymuş HC'lerin SS yüksek iken (Karahan, 2006), çift bağlı zincir sayısı SS'yi olumsuz yönde etkilemektedir yani çift bağ sayısı arttıkça SS azalır (Sarin, 2012). Palm ve don yağı gibi orta veya uzun zincirli doymuş HC'lere sahip yağların SS yüksek iken doymamışlığı yüksek olan soya ve ayçiçeği gibi yağların SS'leri ise düşüktür (Karahan, 2006).

DF'lerin tutuşma kabiliyetlerini gösteren SS yüksek olması durumunda tutuşma gecikmesi (TG) süresini azaltacağından motorlarda meydana gelen dizel vuruntusu problemini ortadan kaldıracaktır. Optimum SS'ye sahip yakıtların, vuruntu problemini ortadan kaldırmasının yanı sıra egzoz emisyon değerlerinin iyileşmesine katkıda bulunur, beyaz duman oluşumunu engellediği ve soğuk hava koşullarında çalışma performansını da artırmaktadır. Yakıtın SS'nin düşük olması ise HC ve PM miktarlarını artırıcı etkilere neden olmaktadır (Ferrari ve ark., 2011; Öcal, 2006; Sarin, 2012).

EN14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin minimum SS 51'dir. Deney yöntemi olarak EN ISO 5165 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

Setan sayısı deneysel olarak özel bir test motorunda tespit edilir, ancak işlem zor ve pahalıdır. Böyle bir motorun her yerde bulunmaması veya SS'nin tespiti için yeterli

miktarda yakıt numunesinin bulunmaması veya kısa sürede SS sonucunun alınması istendiği durumlarda uygun bir SS tahmini yapabilmek için çeşitli metodolojiler geliştirilmiştir. Bu metodolojiler neticesinde elde edilen değerler, motor testlerinden alınan değerlerden farklılaştırmak için “setan indeksi” olarak tanımlanır. Setan indeksi eskiden ASTM D 976 metoduna göre hesaplanırdı, ancak 1988 yılından sonra geliştirilen ASTM D 4737 metoduna göre setan indeksi hesaplanmaya başlanmıştır.

Yakıtın yoğunluğu ile distilasyonda %10, 50, 90 hacim fraksiyonlarının toplandığı sıcaklıklar Denklem (1.1) ile hesaplanıp, bu denklemde yer alan diğer parametreler ise Denklem (1.2), Denklem (1.3), Denklem (1.4) ve Denklem (1.5)’e göre hesaplanır (Beşergil, 2009).

$$SI = 45,2 + 0,0892 * T_{10N} + (0,131 + 0,901B) * T_{50N} + (0,523 - 0,420B) * T_{90N} + 0,00049 * (T_{10N}^2 - T_{90N}^2) + 107B + 60B^2 \quad (1.1)$$

$$T_{10N} = T_{10} - 215 \quad (1.2)$$

$$T_{50N} = T_{50} - 265 \quad (1.3)$$

$$T_{90N} = T_{90} - 310 \quad (1.4)$$

$$B = -\exp[-3500 (\rho - 850)] - 1 \quad (1.5)$$

Burada;

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 ($^{\circ}\text{C}$),

ρ : Yakıtın 15°C ’deki yoğunluk, (kg/m^3),

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda, setan indeksini B100 ve karışımlarının tahmin edilmesi için kullanılabileceği vurgulanmıştır, ancak setan indeks formülü, motorin içerisine SS artırıcı katkı maddesi konulmadığı durumlarda SS ile ilişkilidir. Katkı maddeli yakıtlarda SS değeri ancak setan motoru testi ile tespit edilebilir (Beşergil, 2009). Buna ek olarak, setan indeksi, B100, B100 + DF veya B100 + alkol vb. karışımlarının SS’yi tahmin etmekte kullanılmamalıdır. Çünkü bu indeks petrodizel’in

damıtma eğrisi ve yoğunluk parametreleri kullanılarak belirlendiği için, biyodizelin SS'yi bu indeksle belirlemek mümkün olmadığı gibi hataya sebebiyet vermektedir (Alleman ve ark., 2016).

1.5.1.2.8. Karbon artığı

Karbon artığı, belirli koşullar altında yakıtın buharlaşmasının ve termal bozunması akabinde arta kalan artığın miktarı olarak tanımlanabilir. Bu artığın belirlenmesi için test işlemi, atmosfer basıncında damıtma işlemi esnasında kısmi bozunmaya uğrayan ve muhteviyatındaki uçucu bileşikleri az olan sıvı yakıtlarda uygulanmaktadır. Bu artığın muhteviyatını meydana getiren bileşimlerin tümü karbon bileşimleri olmamasına rağmen karbon artığı/kalıntısı terimi yaygın olarak kullanılan tüm standartlarda yer almaktadır. Muhteviyatında karbon artığı yer alan yakıtın İYM'lerde kullanılması neticesinde supab başlarında, yanma odası cidarlarında ve enjektör meme uçlarında karbon birikintisine (kuruma) neden olmaktadır. Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizeldeki karbon kalıntısı SYA, sabun, gliserit miktarı, kullanılan katalizörler ve kirlilik gibi diğer birçok özellik ile yakından ilişkili olup polimerlerden ve çoklu doymamış yağ asidi metil esterlerinden (YAME) etkilenmektedir (Eryılmaz, 2009; Ferrari ve ark., 2011; Mittelbach, 1996; Mittelbach ve Enzelsberger, 1999).

EN14214 standardından biyodizelin karbon kalıntısı çıkarılmış olup, ASTM D6751 standardında ise biyodizelin maksimum karbon kalıntısı %0,05 (m/m) olarak belirlenmiştir. Deney yöntemi olarak ASTM D4530 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017)

1.5.1.2.9. Asit sayısı

Hayvansal veya bitkisel yağlardan B100 elde edilirken tepkimeye girmemiş olan asit miktarını tespit etmek için yapılan testtir. Asit sayısı (nötralizasyon sayısı, asit değeri) bir gram numune içerisinde bulunan asidik bileşenleri nötralize etmek için gerekli olan KOH miktarıdır (Barabás ve Todoruț, 2011). Bir başka şekilde ifade edilecek olursa, transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör eşliğinde gerçekleşen B100 üretiminde SYA'nın ortadan kaldırılması durumudur (Van Gerpen ve ark., 2004). Asidik bileşikler, biyodizelin üretim aşamasında iken arta kalan mineral asitler, esterlerin hidroliz veya son

hidroliz aşamalarından kaynaklanan SYA, diğer organik asitler ve okside olmuş yan ürünler şeklinde bulunabilmektedir (Berthiaume ve Tremblay, 2006).

Üretilen biyodizelin yüksek asit değerine sahip olması neticesinde yakıt deposu, kaplamalar, yakıt iletim boru hatlarında korozyona ve yakıt sisteminde tortuya neden olacaktır (Eryılmaz ve ark., 2012; Obisesan ve ark., 2017).

EN14214 standardına göre tespit edilen biyodizelin asit sayısı en fazla 0,50 mg KOH/g olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN 14104 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.10. Oksidasyon kararlılığı

Geniş anlamalı olan kararlılık kavramı biyodizelle ilgili olarak iki konuda yoğunlaşmaktadır, birincisi hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin uzun dönem depolamadaki yakıt özelliklerinin kararlılığı olan oksitlenme kararlılığı olarak bilinirken ikincisi ise biyodizelin motorun yakıt sistemi içerisinde yüksek sıcaklık ve basınç şartlarındaki kararlılığı olan ısı kararlılığıdır (Koç, 2011). Elde edilen biyodizelin 6-8 aylık gibi uzun süre depolanması sırasında meydana gelen kimyasal olayların meydana getireceği değişimlere karşı gösterdiği dirençtir. Çift bağlara sahip doymamış YAME oksidasyona oldukça yatkındırlar (Eryılmaz, 2009).

Biyodizelin depolanma süresi 6-8 ay gibi bir zaman olursa, oksidasyon kararlılığı çok büyük önem kazanacaktır. Filtreleri tıkayabilecek çökelti ve reçine benzeri katı yapışkan parçacıkların oluşması, yakıtın asit sayısının ve viskozitenin artması yakıtın yaşlanması neticesinde oksidasyon kararlılığının azalmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu durumların gerçekleşmesi neticesinde standart değerler aşıldığı takdirde bu yakıt İYM'lerde kullanılmamalıdır. Yakıt içerisinde partikül oluşumu ve yakıtın asit sayısının artması aynı anda meydana geliyorsa büyük olasılık ile yakıt özelliklerinin standart değerlerinde sapmaların başladığı anlamına gelmektedir (Koç, 2011).

Bazı prosesler ile yakıt içerisindeki oksitlenmeye yatkın bileşikler temizlemek veya yakıtı antioksidan veya bazik stabilizör katkı maddeleri ilave etmek partikül oluşumuna yol açarken yakıtın asit sayısını artırmayacaktır. İçten yanmalı motorlarda kullanılmamaya karar verilen yakıtlarda asit sayısı ve partikül oluşumu kontrolü yapıldıktan sonra bu karar verilmelidir.

Yakıtın oksidasyon kararlılığının hangi koşullarda daha uzun süreyle sağlanabileceği şu şekilde sıralanabilir;

- i) Biyodizel üretmek için kullanılacak olan hayvansal veya bitkisel yağların, doymamışlık düzeyi ne kadar yüksek olursa, elde edilen yakıtın oksidasyon kararlılığı o kadar düşüktür. Doymamışlık düzeyi YA'de bulunan daha fazla sayıdaki çift bağ, oksidasyon kararlılığının düşük olması anlamına gelmektedir. Bir çift bağı olan oleik asit (C18:1), iki çift bağı olan linoleik asit (C18:2) ve üç çift bağı olan linolenik (C18:3) asitlerin oksidasyon kararlılığı küçükten büyüğe doğru sıralanırsa; $C18:3 < C18:2 < C18:1$ şeklindedir. Genel bir kural olarak doymuş yağ asitlerinin (16:0 veya 18:0 gibi) yani çift bağ bulundurmeyen yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı oldukça yüksektir. Yağ asitlerinin doymamışlık oranları yani çift bağ sayıları arttıkça, 18:0 dan, 18:1'e, 18:2'ye veya 18:3'e geçişte yakıtın oksidasyon kararlılığı hızla düşer. C18:3'den oluşan bir yakıtın oksidasyon kararlılığı, C18:1'den oluşan bir yakıtı göre 100 kez daha düşük olduğu söylenebilir. Bunun ana sebebi, doymamışlık noktası (çift bağ) sayısı arttıkça, bu noktadaki molekülün oksijen ile reaksiyona girmesi neticesinde bileşiminde normal oksitlerden daha çok oksijen bulunan peroksit oluşmasına yol açması neticesinde peroksitlerinden parçalanarak asit, çökelti ve yapışkan parçacıklar oluşturmalarıdır (Koç, 2011).
- ii) Isı, yükseltilmiş sıcaklık, depolanma süresi, biyodizelin depolandığı kabın materyali ve güneş ışınları oksidasyona sebep olan diğer faktörler arasında yer almaktadır. Yapılan bir çalışmada belli miktarda soya metil ester i ağz ı genişçe açık olan kaplarda havaya maruz bırakılmıştır ve belli derinliklerden alınan numunelerin asit değeri ve kinematik viskoziteleri ölçülmüştür. Yüzey tarafındaki numunelerin bu iki değeri süreye bağılı olarak yükselmiştir. Hava ile temas eden yüzey alanının geniş olması oksidasyonu hızlandırdığı rapor edilmiştir (Acaroğlu, 2007). Üretilen biyodizeli, oksijenden uzak tutmak doğal olarak oksitlenmeyi düşürecek ve yakıtın depolanma ömrünü oldukça uzatacaktır. Bu sebepten ötürü yakıt depolama işlemi sabit depolama tanklarında azot katmanı kullanılarak veya ağz ı açık olmayan tanklarda yapılmalıdır (Koç, 2011). Gerçekleştirilen uzun ve kısa süreli deneylerde güneş ışınlarının yakıtın okside olması üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu

raporlanmıştır. Bu gibi sebeplerden ötürü hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin, ışık almayan ve şeffaf olmayan depolarda saklanması önerilmektedir (Acaroğlu, 2007). Bakır, çinko, kurşun, kalay, pirinç ve bronz gibi materyaller biyodizelin bozulma sürecini arttırmakta ve daha fazla çökelti oluşumunu tetiklemektedirler. Üretilen biyodizelin bu tür malzemeleri içeren depolama sistemlerini kullanmaktan kaçınılmalıdır. Bazı katkı maddeleri aracılığı ile bu materyallerin biyodizelin bozunması etkisi asgari seviyeye indirmek mümkündür (Koç, 2011).

- iii) Biyodizel üretilirken doğal olarak bulunan veya üretimi sürecinde katılan antioksidantlar, biyodizelin depolanma ömrünü önemli düzeyde arttırırken, bazı hammadde veya B100 üretim süreçleri ise hammaddedeki doğal antioksidantları yok eder ve oksidasyon kararlılığının oldukça düşmesine neden olabilir. Özellikle bitkisel yağların doğal yapısında antioksidantlar bulunmakta ve bu antioksidantlar bozulmazlar. Ancak, damıtma yağları, koku gidermek için yapılan işlemler veya ağartma B100 üretiminin herhangi bir aşamasında kullanılıyorsa bu işlemler doğal antioksidantların ayrışmasına neden olurlar (Koç, 2011).

Kısaca özetlenecek olursa; Oksidasyon kararlılığı B100 için bir kalite ölçütü olup, YAME'nin oksidasyon kararlılığı biyodizelin minimum kalite gereksinimlerini ifade etmek için kullanılan standart bir parametre olarak (Koç, 2011), EN14214 standardına göre tespit edilmek sureti ile bu değer en az 8 saat olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN 14112 ve EN 15751 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.11. İyot sayısı

Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin oksidasyon kararlılığını belirleyen iyot sayısı, yakıt elde edilecek olan yağ kompozisyonunu meydana getiren yağ asitlerinin çift bağ sayısını yani doymamışlığı ifade etmektedir.

Yakıt elde edilen yağın toplam doymamışlığının bir ölçüsü olan iyot sayısı, bitkisel veya hayvansal yağların bir özelliği olup çift bağ sayısına göre değişmektedir (Koç, 2011). Hava ile temas ettiğinde kolayca okside olan B100 numunesinin iyot sayısının yüksek olduğunun göstergesidir. İyot sayısı yüksek olan B100 yakıtının

kullanıldığı İYM’lerde, doymamış yağlar motor yağlama sistemindeki yağlanma yapısına katılarak ortamdaki polimerizasyonu arttırmak sureti ile;

- i) Enjektör memelerinin ucundaki delikleri tıkarlar,
- ii) Yanma odasında deformasyonlara neden olurlar,
- iii) Pistonlar ve segman kanallarında birikirler,

İyot sayısının belirlenmesi yukarıda maddeler halinde verilmiş olan motorda oluşabilecek problemlerin oluşmaması veya önlenmesi için oldukça faydalıdır. İyot sayısının yüksek olması motorun çalışmasını olumsuz yönde etkiler ve yağlama kalitesinin azalmasına neden olan çeşitli parçalanma ürünleri ile alakalıdır (Bouaid ve ark., 2007; Oromí-Farrús ve ark., 2010; Schober ve Mittelbach, 2007).

Gerçekleştirilen çalışmalarda farklı iyot sayılarına sahip olan soya yağı (126.91 g iyot/100g), ayçiçek yağı (113.22 g iyot/100g) ve pamuk yağından (105.00 g iyot/100g) B100 üretilmiş ve 100 saatlik motor denemeleri sonucunda, enjektörlerde herhangi bir tıkanmanın olmadığını, ancak DF, 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 raporlamışlardır (Ogut ve ark., 2006).

Keten yağı biyodizeli (182 g iyot/100g), yüksek oleik asitli ayçiçek yağı biyodizeli (100 g iyot/100g) ve bu iki yağdan elde edilen B100 karışımlarını bir dizel motorda test ederek değişik iyot sayılarının motor performansı ve motor yağı üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 250 saatlik deneme sonucunda silindirlerde, yanma odasında, supablarda ve enjektörlerde gözle görülür bir kalıntı oluşmadığını, iyot sayısının artması ile piston segmanlarında kalıntıların artmış olduğunu raporlamışlardır (Prankl ve Wörgetter, 1996).

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), jatropa yağı (93 g iyot/100g), pirinç kabuğu yağı (100 g iyot/100g) ve susam yağlarından (110 g iyot/100g) elde edilen biyodizellerin, SAM’da test edilmesi neticesinde, iyot sayısının yüksek olması NO_x emisyonlarını artırdığını, hindistan cevizi yağı ve palm yağı biyodizellerinin ise motorine göre daha düşük NO_x emisyonları oluşturduğunu raporlamışlardır. İyot sayısının 50 g iyot/100g’den büyük olması motor ömrünü azaltacağını, ancak soğuk hava şartlarında yakıtın akışkanlığını iyileştirmektedir (Drapcho ve ark., 2008). Bu gibi sebeplerden

dolayı iyot sayısı düşük olan hayvansal veya bitkisel yağlar B100 üretiminde kullanılmalıdır (Erol ve ark., 2006; Oğuz, 2004).

EN14214 standardına göre iyot sayısının en fazla 120 g iyot/100g olması gerekirken, EN 14213 de ise en çok iyot sayısı 140 g iyot/100g olarak verilmiştir. Deney yöntemi olarak EN 14111 ve EN 16300 standardı uygulanmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006; Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.12. Yoğunluk

Yoğunluk, bir maddenin kütlesinin birim hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Yakıtların temel özelliklerinden biri olan yoğunluk, SS, viskozite ve kalorifik değer gibi yakıtların diğer özelliklerini de etkilemektedir (Obisesan ve ark., 2017). Dolayısı ile fren termal verimi (FTV), fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), motor fren gücü (MFG), indike ortalama efektif basınç (IMEP) vb. motor performansını gösteren değerler üzerinde de doğrudan etkili bir özelliktir.

Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizellerin yoğunlukları genel olarak petrol türevi olan motorin yakıtından daha yüksektir. Biyodizelin yoğunluk değeri yakıtın elde edildiği YA kompozisyonuna ve yağın saflığına bağlıdır. Yakıttaki HC zinciri uzunluğunun artması yoğunluğu azaltırken, çift bağ oranı artıkça yoğunluk artmaktadır. Bunlar dışında yakıt içerisinde CH_3OH gibi düşük yoğunluklu hafif alkol kütlelerinin de bulunması yoğunluğun düşmesine neden olmaktadır (Ferrari ve ark., 2011).

Sıvı yakıtların yoğunlukları enerji içeriği ile alakalı bir özellik olup (Ozcanli ve ark., 2013), yakıtın yoğunluğunda meydana gelen değişiklikler motora alınacak olan yakıtın kütlesini de değiştireceğinden dolayı motorun gücünü de etkilemektedir (Yüce, 2008). Aynı hacme fakat farklı yoğunluklara sahip yakıtlar kıyaslandığında, yüksek yoğunluğa sahip yakıt daha yüksek miktarda potansiyel enerji bünyesinde bulundurmaktadır. Biyodizelin enerji muhteviyatı motorine göre düşük olmasına rağmen, hacimsel olarak ele alındığında biyodizelin yoğunluğu motorine göre yüksek olduğundan enerji içeriği farkı asgari seviyededir (Ozcanli ve ark., 2013). Sıvı yakıtların sahip olduğu yoğunluklar, enjeksiyon basıncını, başlangıcını, sprey formunda pülverize olma özelliklerini etkilemesi neticesinde atmosfere salınan egzoz emisyonlarında da değişimlere neden olmaktadır (Yüce, 2008).

Yüksek yoğunluğa sahip yakıtlar sıkıştırma zamanı sonunda daha fazla miktarda silindirlere püskürtülmesini sağlayarak zengin karışım oluşumuna neden olurlar. Silindir içerisindeki zengin karışım yanma odası cidar sıcaklığının artmasına sebep olduğundan dolayı TG süresi azalır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda güç artışı sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın üzerine püskürtülen yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Güç gereksinimi artarsa silindir içerisine gönderilmesi gereken yakıt miktarının da artması gerekmektedir, ancak bu durum silindir içerisinde oluşan hava+yakıt karışımının homojen olmamasına ve yanma sonu karbon birikintilerinin artmasını tetikler (Örs, 2014; Özdemir, 2011).

Elde edilen biyodizelin yoğunluğun yüksek olması transesterifikasyon reaksiyonu ile gliserolün tam olarak uzaklaştırılmadığını göstermektedir (Eryilmaz ve ark., 2012). Sıkıştırma ateşlemeli bir test motorunda 0.860, 0.849 ve 0.846 g/cm³ yüksek yoğunluk değerlerine sahip B100 ve karışımlarını bunlar dışında yoğunluğu 0.840 g/cm³ olan motorin test edilmiş olup, enjeksiyon pompasından silindir içerisine gönderilen yakıtın kütleli debisinin artmış olduğu raporlanmıştır (Cheikh ve ark., 2016).

Yakıtın kalorifik değeri, viskozite ve SS'ye ek olarak yoğunluğunda motor performansı ve egzoz emisyonlarını incelemek için gerçekleştirilen bir çalışmada motorine %3 oranında B100 katılması neticesinde motor performansına ve egzoz emisyonlarına direkt etki etmesinin yanı sıra motorinin viskozitesini ve yoğunluğunu bir miktar arttırması ile pompalama kaçaklarını da düşürdüğünü raporlamışlardır (Örs, 2014). Bir başka çalışmada da düşük yoğunluğa sahip yakıtların ise motor gücünün ve egzoz emisyonlarını azaltmış olduğunu raporlamışlardır (Attia ve Hassaneen, 2016).

EN14214 standardına göre biyodizelin yoğunluğu 15 °C'de 0.860-0.900 g/cm³ olması gerekmektedir. Deney yöntemi olarak EN ISO 3675 ve EN ISO 12185'e standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.13. Net yanma ısısı

Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin önemli özelliklerinden biride net yanma ısısı (ısıl değeri, kalorifik değeri vb.)'dir. Bir yakıtın birim hacim veya kütesinin oksijen ile yakılması neticesinde verdiği enerji miktarı şeklinde tanımlanabilir. Motor performansı çalışmalarında, birim yakıtın yanması neticesinde baca veya egzoz gazı sıcaklıkları (EGS)'leri yaklaşık olarak 150 °C civarlarında olup ve yanma sonucunda

ürünler kısmında oluşan suyun buhar fazında olmasından dolayı yakıtın alt ısı değeri göz önüne alınmaktadır.

Yakıtın yanması neticesinde elde edilen güç açısından ve motorun problemsiz çalışması için ısı değeri önemli bir parametredir. Birim kütle veya hacimdeki yakıtın enerji miktarının bir göstergesi olduğundan ısı değerinin yüksek olması istenmektedir. Yakıtın kalorifik değeri yakıt bünyesindeki doymuş HC'lerin zincir uzunluğu arttıkça yakıtın ısı değeri de artmaktadır (Eryılmaz, 2009; Oğuz, 2004; Onurbaşı Avcıoğlu, 2011). Doymamış HC (hidrojen sayısı azaldıkça) zincirlerinin bulunduğu yakıt yapılarında ise kalorifik değeri azalmaktadır. Biyodizelin en genel hali ile kimyasal formülü $C_{19}H_{35,2}O_2$ şeklinde olup, kimyasal yapısında oksijen bulunduğundan dolayı kimyasal formülü en genel hali ile $C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$ olan DF'ye oranla yaklaşık %11 daha düşük kalorifik değere sahiptir. Bundan dolayı aynı motor şartlarında biyodizelin ve motorinin yakıt olarak kullanıldığı çalışmalarda biyodizelden elde edilen motor gücü ve torku daha düşüktür, şayet biyodizelin enjeksiyon hacmi artırılırsa yakıt sarfiyatı artmasına rağmen motorin ile edilen motor performansı sağlanabilir (Karabektaş, 2002; Karahan, 2006). Yakıtların birim hacminin içerdiği enerji miktarı (kalorifik değeri) $kcal/m^3$ veya kJ/m^3 birimleri ile verilirken, birim yakıt kütlesinin içerdiği enerji miktarı ise kJ/kg veya $kcal/kg$ ile verilmektedir.

Biyodizelin kalorifik değeri genellikle 35 Mj/kg 'dan daha büyük olup, yakıtın ısı değeri DIN 51900-3 (Acaroğlu, 2007) veya ASTM D 240 test metoduna göre belirlenmektedir.

1.5.1.2.14. Grup I metaller (Na+K) ve grup II metaller (Ca+Mg)

Hayvansal veya bitkisel yağlar transesterifikasyon yöntemi ile biyodizele dönüştürülürken kimyasal işlemler için kullanılan katalizör ile yıkama işlemi kullanılan sudan gelebilecek olan iyonların tespit edilmesi için yapılan bir testtir. Biyodizelde bulunan sodyum ve potasyum sülfatlanmış kül miktarını artırırken kalsiyum ise enjeksiyon pompasının çalışmaması gibi hasarlara neden olmaktadır. Grup I ve Grup II metaller indüktif eşleşmiş plazma (ICP) ve atomik absorpsiyon spektrometresi ile ölçülüp tespit edilebilmektedir (Erol ve ark., 2006; Eryılmaz, 2009; Ferrari ve ark., 2011; Force, 2007; Sarin, 2012).

EN14214 standardına göre biyodizelin içerisindeki Grup I (Na+K) ve Grup II (Ca+Mg) metaller maksimum 5 mg/kg olması gerekmektedir. Deney yöntemi olarak

Grup I metaller (Sodyum+Potasyum) için EN 14108 ve EN 14109, Grup II metaller (Kalsiyum+Magnezyum) için EN 14538 ve TS EN 14538 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.15. Fosfor içeriği

Hayvansal veya bitkisel yağlardan B100 elde edilirken bu yağ kaynaklarının içerisindeki protein ve fosfolipit zardan gelen, tam olarak rafine edilmeyen fosfolipitlerin oluşturmuş olduğu yakıtın muhteviyatında olması istenmeyen bir özelliktir (Van Gerpen ve ark., 2004). Ayrıca B100 elde edilebilecek bir başka kütle olan atık kızartma yağlarındaki inorganik tuzlarda, elde edilen yakıtın içerisinde fosfor bulunmasına neden olmaktadır. Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen yakıtın içerisindeki fosforun tespiti, fosfor ICP cihazı ile belirlenebilmektedir (Erol ve ark., 2006; Eryılmaz, 2009; Ferrari ve ark., 2011; Force, 2007; Sarin, 2012).

Yakıtın içerisindeki fosfor düzeyi 10 ppm'i aşması durumunda, egzoz katalizörü zarar görüp bozulabilir (Alleman ve ark., 2016). Bundan dolayı EN 14214 standardına göre yakıttaki fosfor miktarı en fazla 4 mg/kg olması gereklidir. Deney yöntemi EN 14107 ve EN 16294 standardı uygulanmaktadır (Yeşilyurt, 2017).

1.5.1.2.16. Soğuk akış özellikleri

Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen B100 yakıtının kullanılmasının önündeki en büyük engellerin başında yakıtın düşük sıcaklıklardaki gösterdikleri davranışları belirleyen soğuk akış özellikleridir. Kış şartlarında yakıtların kullanılabilmesi için bulutlanma, akma ve SFTN'ları en önemli akış özelliklerindendir (Onurbaşı Avcıoğlu, 2011). Soğuk akış özelliği uygun olmayan yakıtların İYM'lerde kullanımı yakıt besleme ve enjeksiyon sistemi elemanlarına zarar vermesinin yanında motorda ilk hareket problemlerine de neden olmaktadır. Biyodizel elde etmek için düşük maliyetli yağlardan olan hayvansal ve kızartma yağların doymuş HC sayıları fazladır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Biyodizel elde edilecek kaynaklardan olan bu yağlar, yüksek oranda doymuş yağ asitleri içerdiğinden dolayı yüksek sıcaklıklarda kristalize olabilmektedirler (Onurbaşı Avcıoğlu, 2011). Çizelge 1.17'de bazı yağ asitlerinin erime noktaları verilmiştir (Moser, 2014).

Çizelge 1.17. Bazı yağ asitlerinin erime noktaları

Yağ Asitleri (Karbon ve Çift Bağ)	Yaygın Adı	Kapalı Formül	Erime Noktası (°C)
C _{16:0}	Palmitik Asit	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	28
C _{18:0}	Stearik Asit	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	38
C _{20:0}	Araşidik Asit	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	46
C _{22:0}	Behenik Asit	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	53
C _{18:1}	Oleik Asit	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-20
C _{18:2}	Linoleik Asit	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	-43
C _{18:3}	Linolenik Asit	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	-52

Elde edilen biyodizeli çeşitli katkı maddeleri ile harmanlama (Asadauskas ve Erhan, 1999; Bhale ve ark., 2009; Ögüt ve ark., 2006), vinterizasyon (Dunn ve ark., 1996; Lee ve ark., 1996), yakıt bileşimlerinin modifikasyonu (Rasimoğlu ve Temur, 2010) ve farklı alkoller kullanılmak (Knothe, 2008) sureti ile yakıtın soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Hem B100 hem de DF sıcaklık değeri düştükçe jelleşme ve donma başladığından dolayı yakıtların soğuk akış özellikleri önem oluşturmaktadır. Çünkü jel kıvamına gelen yakıt, süzüldüğü filtreyi tıkamasının yanında yakıt pompasına da yapışabilir (Koç, 2011). Dizel motorların yakıtlarının soğuk akış özellikleri;

1.5.1.2.16.1. Bulutlanma noktası

Test metoduna göre belirlenmiş standart koşullar altında sıcaklığı düşürülmüş yakıtta, küçük katı taneleri olan wax (parafinik hidrokarban) kristallerinin ilk görüldüğü sıcaklık değeridir (Eryilmaz, 2009; Koç, 2011). Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen B100, wax kristallerinin ilk görüldüğü sıcaklık değerinin üzerinde kullanılacak ise herhangi bir problem söz konusu değildir. Ancak wax kristallerinin ilk görüldüğü sıcaklığın altında kullanılacak ise meydana gelen kristallerden dolayı yakıt filtresinin tıkanması söz konusu olacaktır. Elde edilen biyodizelin bulutlanma noktası, petrol türevi olan motorinden çok daha yüksek sıcaklıkta olduğundan, soğuk iklim koşullarında da problemsiz bir şekilde kullanılabilir (Alleman ve ark., 2016).

Bulutlanma noktası, sıcaklığa bağlı parametrelerden biri olup farklı coğrafi ve iklim koşullarında hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin kullanımını etkilemektedir. ASTM D6751 standardına göre bulutlanma noktası için verilen sınır rapor edilmemiş olmasının sebebi, bu parametrenin farklı coğrafi konumların iklim şartları için

ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bazı yeni araştırmalarda EN ISO 3016 standardına göre elde edilen biyodizelin bulutlanma noktası değeri bildirilmiş ve bu değer -20 - 284°C arasında değişmektedir (Esmaeili ve Foroutan, 2017).

1.5.1.2.16.2. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)

SFTN yakıtın kristalleşmesi nedeniyle bir filtrenin deliklerinden geçemeyerek tıkanmasına neden olan sıcaklıktaki özelliğidir. Bu sıcaklığın tespiti şu şekilde yapılır;

- i) Hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilen 20 ml’lik B100 numunesi belirli koşullar altında bir cam tüp içine konur,
- ii) Cam tüp içine konan numune soğutulur, 1°C aralıklarla kontrol edilir,
- iii) Kontrol işleminde 45 µm delik çapına sahip filtre kullanılır, bu filtreden numunenin 60 saniyede geçmesi istenir,
- iv) Cam tüp içerisindeki numunenin sıcaklığı her seferinde 1°C düşürülür ve tekrar filtreden geçirilir, belirtilen şartlar sağlanamayınca kadar işlem tekrarlanır. Yakıtın filtreden geçmediği sıcaklık SFTN sıcaklığıdır (Sarin, 2012; Alleman ve ark., 2016; Yeşilyurt, 2017).

Kısacası, ester yapılarının kristalleşmiş olduğu sıcaklık değeri “SFTN Sıcaklığını” belirtir. Bu özellik SAM’da kullanılan yakıtların soğuk akış özelliklerini en iyi şekilde tanımlamakta olup soğuk iklim şartlarında SAM’da hayati öneme sahiptir (Alleman ve ark., 2016; Sarin, 2012).

SFTN sıcaklıklarının standartları belirlenirken, farklı coğrafi konumlarda bulunan ülkelerin standartları iklim koşullarına göre düzenleme yapabilmelerine imkân vermek amacı ile ılıman ve kutup iklime göre farklı tip seçenekleri Çizelge 1.18’de verilmiştir. İlıman iklimler için 6 ve kutup iklimleri için 5 SFTN sıcaklıkları belirlenmiştir. Ülkelerin coğrafi konumlarına göre verilen standartlardaki deney yöntemlerine tabi tutulduğunda çizelgede verilen sınır sıcaklık değerlerini sağlamalıdır. Ülkemizde yaz mevsimi için 1 Nisan – 30 Eylül ± 15 gün Tip A ve bu zaman aralığı dışında kalan zamanlarda kış mevsimi olarak kabul edilmek sureti ile Tip E sınır sıcaklık değerlerini sağlamalıdır (TS EN 14214:2012+A1:2014/AC, 2014).

Çizelge 1.18. İklima bağlı B100 SFTN özellikleri ve deney yöntemleri

(a) Ilıman İklimler	Tip A (°C) Maksimum +5	Tip B (°C) Maksimum 0	Tip C (°C) Maksimum -5	Tip D (°C) Maksimum -10	Tip E (°C) Maksimum -15	Tip F (°C) Maksimum -20	Deney Yöntemi
(b) Kutup İklimleri	Tip 0 (°C) Maksimum -20	Tip 1 (°C) Maksimum -26	Tip 2 (°C) Maksimum -32	Tip 3 (°C) Maksimum -38	Tip 4 (°C) Maksimum -44		EN 116 & EN 16329

1.5.1.2.16.3. Akma ve donma noktası

Herhangi bir sıvı yakıtın standartları belirlenmiş şartlar altında soğutulurken akıcılığını devam ettirebildiği en düşük sıcaklıktır (Onurbaş Avcıoğlu, 2011). Akma noktası yakıtın akarak pompalanabildiği en düşük sıcaklık olduğundan dolayı, son kullanıcılardan ziyade akaryakıt distribütörlerini ve akaryakıt istasyonları için önemli bir özelliktir (Canakci ve Sanli, 2008; Ögüt ve ark., 2006).

Elde edilen kaynaktan bağımsız olarak tüm B100 yakıtlarının kullanımının önündeki en büyük engellerden biri de motorine göre kötü soğuk akış özelliği olan yüksek bulutlanma ve akma noktalarına sahip olmasıdır (Canakci ve Sanli, 2008). Elde edilen biyodizelin bu kötü özelliklerine sahip olmasının nedeni, B100 üretilirken katalizör türünün veya reaksiyon koşullarından bağımsız, ancak akma noktası değeri biyodizele dönüştürülecek olan yağın muhteviyatındaki yağ asitlerinin miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Viskozitede herhangi bir sebepten ötürü meydana gelen artış veya yağın yapısında bulunan mumun kristalleşmesi akışın kesilmesine sebep olan nedenlerin başında gelmektedir. Akma noktasının yerine katılaşma veya donma noktası da sık kullanılan ifadelerdendir (Koç, 2011; Sarin, 2012).

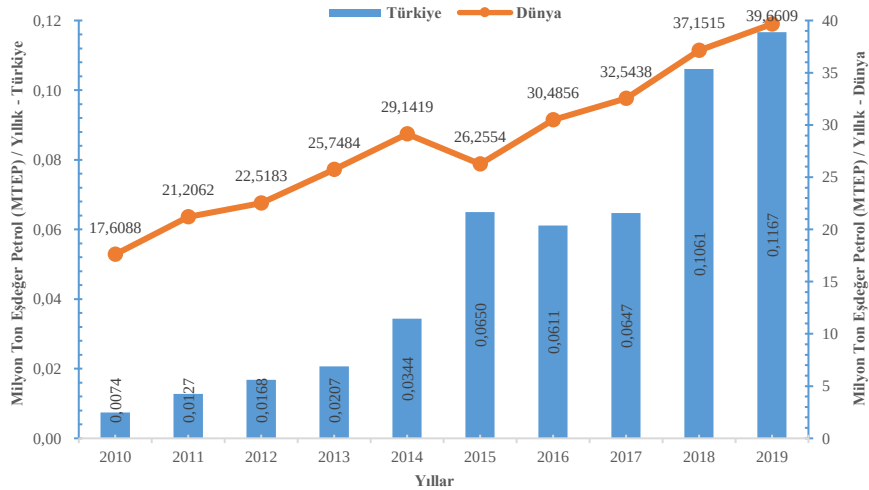
Biyodizelin soğuk akış özelliklerini etkileyen nedenleri kısaca özetlenecek olursa, YA kompozisyonları soğuk akış özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Elde edilen biyodizelin donma noktası, karbon zincirlerinde artan karbon atomlarıyla birlikte artar ve artan çift bağ sayıları ile azalır. Bu duruma istinaden YA kompozisyonlarından doymuş yağ asitleri oranı fazla olan yağdan elde edilen biyodizelin bulutlanma ve akma noktasının daha yüksek olması beklenir (Uzun, 2018).

1.5.1.2.3. Dünya’da ve Ülkemizde B100 üretim miktarları

Biyodizel genellikle, soya fasulyesi, kanola, aspir veya diğer bitkisel yağlardan elde edilebilen bir yakıt olmasının yanı sıra hayvansal yağlar ve geri dönüştürülmüş atık yağlardan da elde edilebilir. Petrol türevi dizel veya distilat yakıtın yerini alabilme özelliklerine sahiptirler. EIA (Energy Information Administration) raporlarında, bitkisel veya hayvansal yağlardan türetilen, B100 olarak adlandırılan ve ASTM, D6751 gereksinimlerini karşılayan uzun zincirli yağ asitlerinin mono-alkil esterlerinden oluşan bir yakıt olup, ülkemizde ve dünyada yıllara göre toplam B100 üretimi Şekil 1.26’da verildiği gibidir.

Biyodizel, B100 adı verilen DF yerine kullanılan saf bir yakıt olarak kullanılabilir de, tipik olarak perakende pompalarında DF-B100 karışımı olarak bulunur. Biyodizel karışımları, geleneksel DF’de sırasıyla %5 veya %20 biyodizel için B5 veya B20 gibi hacimsel bir karışımı belirtmek üzere belirlenir (Libretexts, 2021).

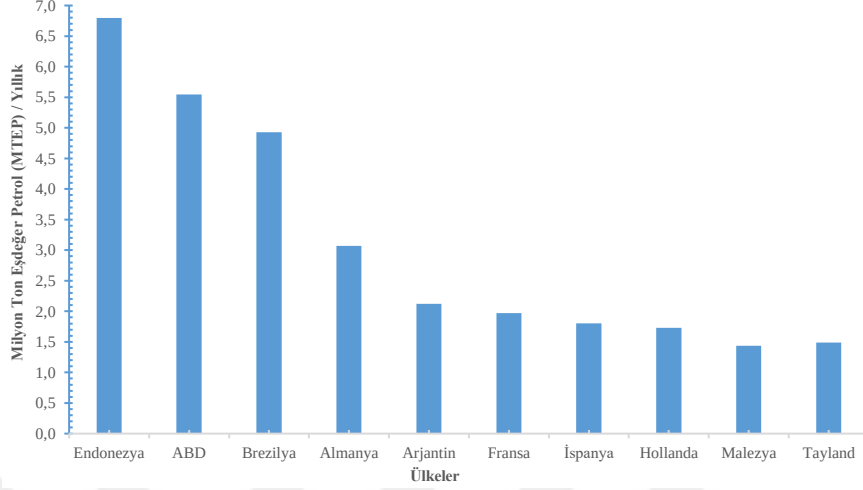
Şekil 1.28’de yıllara göre Dünya’da ve Türkiye’de toplam B100 üretim miktarları verilmiştir (EIA, 2022). Şekilde görüldüğü gibi 2010 yılında Dünya’da B100 üretim miktarı 17.6088 MTEP iken yıllık ortalama +%9.7791’lik artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 39.6609 MTEP olmuştur. Ülkemizde ise 2010 yılında 0.0074 MTEP olan B100 üretim miktarı, yıllık ortalama +%39.5179’luk artış miktarı ile 2019 yılı sonunda 0.1167 MTEP olmuştur.



Şekil 1.28. Yıllara göre Türkiye ve Dünyada toplam B100 üretimi

Şekil 1.29’da Dünya B100 üretiminde ilk on sırada yer alan ülkelerin B100 üretim miktarları verilmiştir (EIA, 2022). Şekilde de görülebildiği gibi bu on ülkenin 2019 yılı

sonu itibari ile toplam B100 üretim miktarları 30.8930 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Bu on ülkenin 2019 yılında üretmiş olduğu B100 miktarı bütün Dünya’da bu yılda üretilen B100 miktarının yaklaşık olarak %77.89283’üne karşılık gelmektedir.



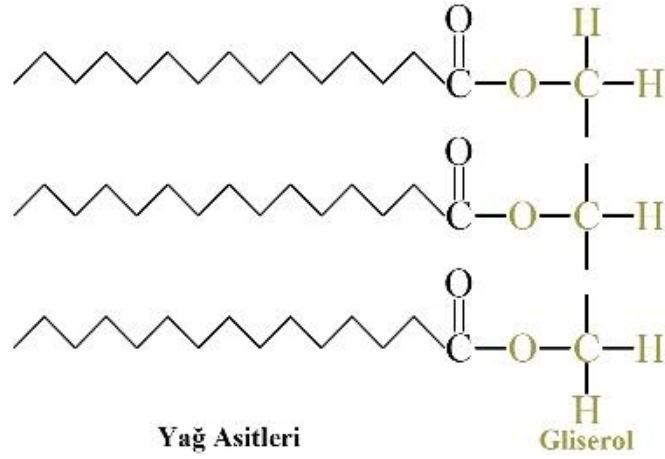
Şekil 1.29. Dünya B100 üretiminde ilk on sırada yer alan ülkeler

Bir B100 üretim tesisi inşa edilmeden önce, yeterli hammadde tedarikinin sağlanması her zaman bir numaralı önceliktir. Bulundukları yere göre, soya fasulyesi yağı ve mısır yağı ABD'deki başlıca hammaddeler iken, kolza tohumu/kanola yağı Avrupa'da kullanılan en yaygın hammaddedir. Diğer büyük üretici ülkeler, sırasıyla soya fasulyesi yağı ve palmiye yağına dayanan Brezilya ve Endonezya'dır (Libretexts, 2021).

1.5.1.3.1. Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler

Biyodizel üretimi için farklı potansiyel ham maddeler bulunmaktadır. Bunlar; bitkisel yağlar (yenilebilir ve yenilebilir olmayan), AYY'ler, hayvansal yağlar ve alg yağları gibi çeşitli hammaddelerdir.

Bu hammaddelerin kimyasal yapıları, esas olarak daha küçük bir diğliserit ve monogliserit fraksiyonu ile trigliseritlerden oluşan bitkisel ve hayvansal yağlarda benzerdir (Banković-Ilić ve ark., 2014). Trigliseritler, Şekil 1.30'da görüldüğü gibi üç molekül doymuş veya doymamış YA ile birleşmiş bir gliserol molekülünden oluşur.



Şekil 1.30. Trigliseritlerin kimyasal yapısı

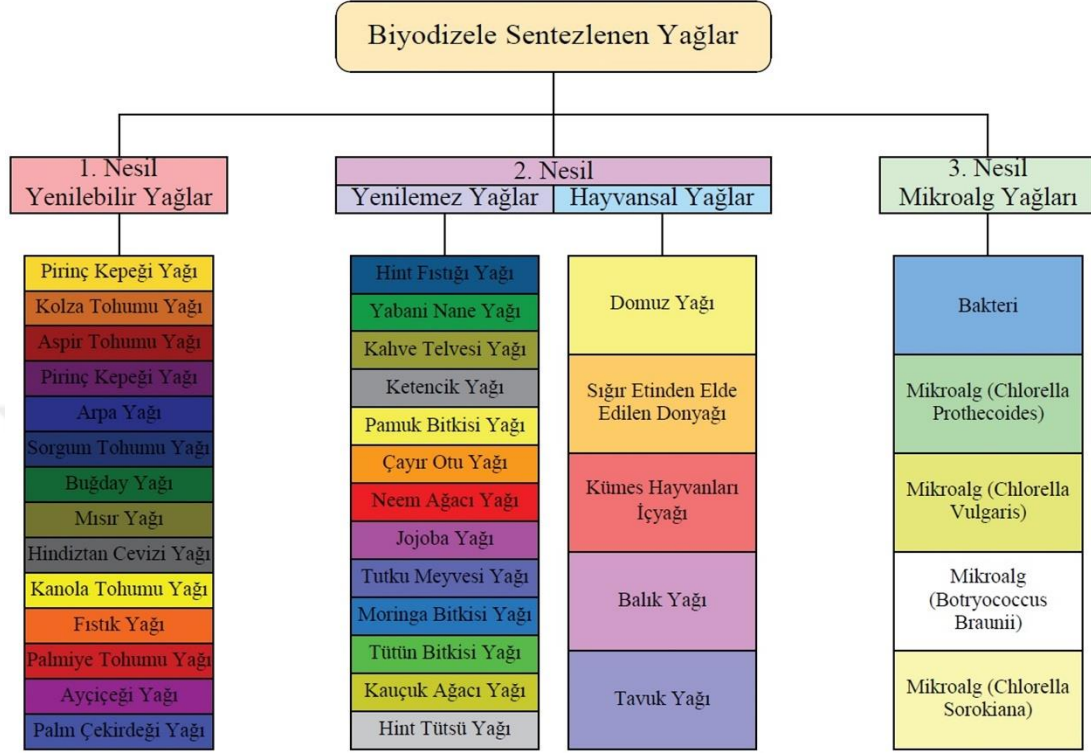
Trigliseritleri meydana getiren yağ asitleri ve gliserol hidrofilik olup suda çözünmezler ancak polar olmayan organik çözücülerde çözünürler (Banković-Ilić ve ark., 2014). Aralarındaki en temel farklar, yağ asitlerinin çeşitli dağılımları ve yağlardaki yüksek SYA içeriğidir (Ramos ve ark., 2019). Bazı bitkisel ve hayvansal yağların YA profilleri Çizelge 1.19’da verilmiştir (Aryee ve ark., 2011; Azócar ve ark., 2010; Banković-Ilić ve ark., 2014; Behçet, 2011; Boey ve ark., 2011; Chakraborty ve ark., 2014; Charoenchaitrakool ve Thienmethangkoon, 2011; da Cunha ve ark., 2009; J. Dias ve ark., 2008; J. M. Dias ve ark., 2008; Ito ve ark., 2012; Leung ve Guo, 2006; Maniam ve ark., 2015; Woodgate ve van der Veen, 2014; Wyatt ve ark., 2005).

Çizelge 1.19. Farklı hammaddelerin YA profilleri (min. ve mak. ağırlık yüzdeleri)

YA	Kolza Tohumu Yağı	Soya Yağı	Atık Kızartma Yağı	Sığır Don Yağı	Domuz Yağı	Kümes Hayvanları Yağı		Balık Yağı		
						Tavuk Yağı	Ördek Don Yağı	Yayın Balığı Yağı	Somon Balığı Yağı	Hamsi Balığı Yağı
Laurik (C12:0)	-	-	ö-0.4	-	-	ö-1.0	-	11.5	0.1	-
Miristik (C14:0)	-	ö-1.0	ö-1.1	2.6-3.5	1.3-1.7	0.5-1.0	-	11.7	5.8	6.7
Miristeloik (C14:1)	-	-	-	0.5-1.3	-	0.1-0.2	-	2.0	-	-
Pentadekanoik (C15:0)	-	-	-	0.5-1.0	-	-	-	1.9	-	-
Palmitik (C16:0)	3.5-4.5	10.5-11.0	8.4-25.8	23.8-27.0	23.2-25.5	20.9-24.7	17.0	28.1	16.9	20.2
Palmitoleik (C16:1)	ö-0.5	-	0.2-4.6	0.5-4.7	2.2-2.7	5.0-7.7	-	-	5.4	6.6
Margarik (C17:0)	-	-	-	1.1-2.5	ö-0.4	-	-	-	-	0.2
Heptadekanoik (C17:1)	-	-	-	0.5-1.7	ö-0.4	-	-	-	-	-
Stearik (C18:0)	0.9-1.5	3.3-4.8	3.7-4.8	12.7-34.7	10.4-17.0	4.5-5.8	4.0	-	4.3	4.2
Oleik (C18:1 cis)	-	22.0-25.4	28.5-52.9	29.9-47.2	40.0-42.8	38.2-48.5	59.4	26.8	19.2	19.7
Linoleik (C18:2)	18.7-22.3	52.3-54.5	13.5-50.5	0.8-2.7	10.7-21.0	17.3-23.8	19.6	6.7	16.1	2.6
Linolenik (C18:3)	7.7-9.0	5.3-7.5	0.6-3.5	ö-0.8	ö-64.7	ö-2.5	-	-	2.8	1.6
Araşidik (C20:0)	0.4-0.5	0.4-0.5	0.1-0.4	ö-0.3	ö-0.2	-	-	-	-	-
Gadoleik (C20:1)	1.0-2.0	ö-0.3	0.1-0.8	ö-0.5	0.9-1.0	0.5-1.0	-	2.7	-	-
Eikosadienoik (C20:2)	-	-	-	-	0.5-0.7	-	-	0.8	-	0.2
Eikosatrienoik (C20:3)	-	-	-	-	ö-0.2	-	-	0.5	-	-
Eikosapentaenoik (C20:5)	ö-0.1	-	0.2	-	-	-	-	-	15.6	10.4
Behenik (C22:0)	ö-0.5	0.4-0.5	ö-0.8	-	-	-	-	-	-	-
Erusik (C22:1)	ö-0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dokosapentaenoik (C22:5)	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	0.8
Dokosaheksaenoik (C22:6)	-	-	-	-	-	-	-	-	11.4	21.6
Lignoserik (C24:0)	-	ö-0.1	0.04-0.3	-	-	-	-	-	-	-

ö: Ölçülemedi

Şekil 1.31’de görüldüğü gibi biyodizele sentezlenen yağlar, hammaddelerine göre, birinci, ikinci ve üçüncü nesil olarak üç kategoriye ayrılabilir (Atabani ve ark., 2012).



Şekil 1.31. Biyodizel üretiminde kullanılan farklı hammaddeler

Birinci nesil, yenilebilir bitkisel yağlardan sentezlenen biyodizeli ifade eder. Ayçiçeği, mısır, yer fıstığı, soya fasulyesi, kolza tohumu, hurma ve hindistan cevizi en sık kullanılanlarıdır (Knothe ve Razon, 2017). Yenilebilir bitkisel yağların uygun SYA değerlerinden dolayı tek adımlı alkali katalizli transesterifikasyon prosesi ile biyodizele sentezlenmeleri nispeten daha kolaydır.

Biyodizel gibi biyoyakıtların üretiminde yenilebilir bitkisel yağların kullanılıyor olması tarım arazisi, su ve gübrenin sadece gıda fiyatını değil aynı zamanda sürdürülebilirlik konularını da etkilemektedir (Knothe ve Razon, 2017).

Günümüzde, yemeklik yağlar dünya B100 üretimi için ana kaynak konumundadır. Ancak dünyadaki insanların yaklaşık olarak %55-60'ının yetersiz beslendiği biliniyor olması yenilebilir özellikte yağların kullanılmaması gerekliliği sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Ahmia ve ark., 2014). Ayrıca yetiştirilen tohumlardan elde edilen yemeklik yağların toplam miktarı B100 üretiminde kullanılsa dahi günümüz motorin

ihtiyacını karşılamaya yetmemektedir. Bu ve buna benzer endişeler, daha sürdürülebilir hammadde arayışlarının artmasına neden olmuştur (Ramos ve ark., 2019).

İkinci nesil biyoyakıtlar, petrol rafinerisinden çıkan atık yağlar, atık yemeklik yağlar (AYY), gresler ve atık hayvansal yağlar (AHY) gibi gıda özelliklerini yitirmiş olan yenilebilir olmayan mahsullerden veya hammaddelerden elde edilen biyodizellerdir. Yenilebilir olmayan ürünlerin yetiştirilmesi için su veya gübre gereksinimi daha düşük olan ekinler için kullanılamayan marjinal arazilerde yetiştirilebilir ve bu da ekimlerini daha ekonomik hale getirir (Živković ve ark., 2017). AYY, ısıtılan ve farklı türde yiyecekleri pişirmek için kullanılan bitkisel veya hayvansal yağları ifade eder. Bu işlem sırasında, yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştiren hidroliz, polimerizasyon ve oksidasyon gibi çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Geri dönüştürülmüş yağlar, SYA seviyelerine göre sarı veya kahverengi koyu kıvamlı yağ olarak sınıflandırılabilir. Sarı greslerin SYA seviyesi, kahverengi greslerin SYA seviyesinden daha düşüktür (Canakci, 2007). İkinci nesil ayrıca AHY'ları veya işlenmiş hayvansal yağları içermektedir.

Üçüncü nesil, alg biyokütlesinden elde edilen biyodizellerdir. Kullanılan hammadde kategorisinden bağımsız olarak, biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri aynıdır (J. M. Dias ve ark., 2008).

1.5.1.2.3. Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri

HC bazlı DF'lerin özelliklerine ve performansına yaklaşan bitkisel ve hayvansal yağ türevlerinin geliştirilmesi için önemli çabalar sarf edilmiş ve edilmeye devam etmektedir. DF'lerin yerine trigliseritlerin kullanılmasıyla ilgili problemler çoğunlukla;

- i) Yüksek viskoziteleri,
- ii) Oksidasyona (ve müteakip polimerizasyon reaksiyonlarına) karşı düşük stabilite,
- iii) Eksik yanma nedeniyle nispeten yüksek miktarda kül oluşumunu etkileyen düşük uçuculuk olarak sıralanabilir (Robles-Medina ve ark., 2009).

Bu olumsuz özellikler seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon prosesleri ile iyileştirilebilir.

1.5.1.2.3.1. Doğrudan kullanım veya seyreltme (inceltme)

Bitkisel veya hayvansal yağlar, sıvı formda olması durumunda DF ile karıştırılabilir veya doğrudan bir motoru çalıştırmak için kullanılabilir. Bitkisel veya hayvansal yağların DF ile başarılı bir şekilde deneysel olarak harmanlanması çok sayıda araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. 1982'de SAM'dan oluşan filo, %95 filtre edilmiş AYY'lar ve %5 DF karışımı ile çalıştırılmıştır. Caterpillar Brezilya Şirketi, 1980 yılında motorda herhangi bir değişiklik yapmadan toplam gücü korumak amacı ile %10 bitkisel yağ karışımıyla ön yanma odalı sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde %20 yağ ve %80 DF karışımlarından başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Narayan, 2002). %50'lik bir Jatropha yağı karışımının dizel motorlarda dikkate değer bir çalışma zorluğu olmadan kullanılabileceğini ancak uzun vadede motor üzerindeki olumsuz etkilerin belirlenebilmesi için daha fazla çalışmanın gerekli olduğu vurgulanmıştır (Pramanik, 2003).

Bitkisel veya hayvansal yağların doğrudan kullanımının ve/veya yağ karışımlarının kullanılması SAM'lar için hem doğrudan hem de dolaylı olarak yetersiz ve pratik olmadığı düşünülmüştür (Yusuf ve ark., 2011).

Şekil 1.32'de görüldüğü gibi; yağların yüksek viskozitesi, asit bileşimleri, SYA içerikleri, oksidasyona bağlı sakızlaşma, depolama ve yanma sırasında polimerizasyon, karbon birikintileri ve yağlama yağı kalınlaşması gibi problemleri meydana getirmektedir. Saf bitkisel veya hayvansal yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili esas sorun, yüksek viskoziteyle ilişkilendirilmiştir. Mikro-emülsifikasyon, piroliz ve transesterifikasyon gibi yöntemler yüksek viskoziteden dolayı karşılaşılan sorunları ortadan kaldırabilmektedir (Ramadhas ve ark., 2004; Pramanik, 2003).



Şekil 1.32. Yağların yakıt olarak kullanılmasına ilişkin sorunlar ve olası çözümler

1.5.1.2.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma

Mikroemülsifikasyon oluşumu, amfifillerin eklenmesi yoluyla bitkisel yağ/alkol karışımlarının çözündürülmesiyle hibrit DF'ları formüle etmek için kullanılan bir prosestir. CH_3OH veya $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ gibi alkoller polar olmayan hayvansal ve bitkisel yağlarda sınırlı çözünürlüğe sahiptir; bu nedenle fosfolipitler, sorbitan seskiolat (Span83), n-butanol, 2-oktanol, karboksilat yüzey aktif maddeler ve benzerleri gibi amfifilik bileşikler çözünürlüğü artırmak, yağı seyreltmek ve viskoziteyi azaltmak için eklenebilen kimyasallardır. Ortalama çapı görünür ışığın dalga boyunun dörtte birinden daha az olan optik olarak izotropik sıvı mikroyapılarının denge dağılımı, neredeyse karışmayan sıvıların bir karışımına amfifillerin eklenmesi üzerine kendiliğinden oluşur ve mikroemülsiyon olarak bilinir (Schwab ve ark., 1983). Mikroemülsiyonlar termodinamik açıdan kararlı durumda olduklarından sabit sıcaklık ve basınçta tek fazlı, yarı saydam bir çözelti halinde kalmak için çalkalama işlemine gerek duymazlar (Ivanov ve Kralchevsky, 1997).

Gerçekleştirilen çalışmalarda, hayvansal yağların su ve CH_3OH ile stabil emülsiyon oluşturarak dizel motor yakıtı olarak kullanımı için hayvansal yağ-su emülsiyonlarını hazırlamak ve stabilize etmek amacıyla yüzey aktif madde olarak Span 83 (sorbitan sesquiolate) ve span 80 (sorbitan monooleate) kullanılmıştır. Hayvansal yağların geliştirilmiş fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip kararlı bir biyoyakıt emülsiyonuna dönüştürülebileceği ve dizel motorlarda uygun bir yakıt olarak kullanılabileceği raporlanmıştır (Kerihuel ve ark., 2005).

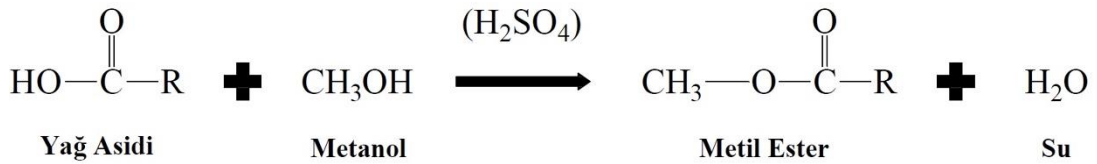
1.5.1.2.3.3. Piroliz (ısıl parçalanma)

Piroliz veya ısıl parçalanma olarak isimlendirilen bu metodolji, hava ve oksijen yokluğunda, ısı veya bir katalizör varlığında bitkisel yağ, hayvansal yağ, doğal yağ asitleri veya yağ asitlerinin metil esterlerinin daha küçük moleküllere katalitik dönüşümünü içerir. Triglicerit maddelerin (hayvansal veya bitkisel yağlar) termal krakingi, yakıt ve kimyasal uygulamalarda kullanıma uygun yenilenebilir biyo-esaslı ürünler üretmenin alternatif yöntemlerindendir. Kimyasallar ve dizel benzeri yakıt üretmek için farklı bitkisel yağ çeşitlerinin pirolizi ile ilgili çok sayıda önemli araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Alencar ve ark., 1983; Canakci ve ark., 2009; Demirbas, 2008; Lima ve ark., 2004; Omar ve Robinson, 2014; Pramanik, 2003; Schwab ve ark., 1987).

Yağların pirolizi, özellikle dünyanın petrol yataklarından yoksun bölgelerinde 100 yılı aşkın bir süredir araştırılmaktadır. Birçok araştırmacı, dizel motorlara uygun ürünler elde etmek için trigliseritlerin pirolizini incelemişlerdir. Trigliseritlerin termal ayrışması neticesinde alkanlar, alkenler, alkadienler, aromatikler ve karboksilik asitler elde edilir (Canakci ve ark., 2009; Pramanik, 2003).

1.5.1.2.3.4. Transesterifikasyon

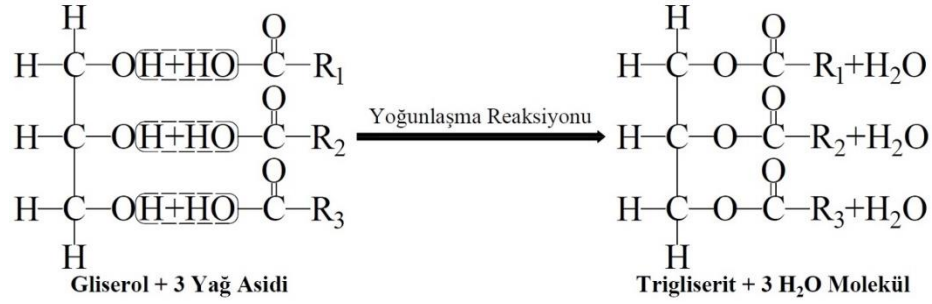
Transesterifikasyon prosesi, hayvansal ve bitkisel yağların viskozitelerini düşürmek için en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yaygın olarak B100 (katı formdaki veya sıvı yağların alkil esterleri) olarak bilinen ürünlere dönüşmesidir (Gerpen, 2005; Knothe ve ark., 2015). Bitkisel veya hayvansal yağların, transesterifikasyon prosesi ile biyodizele sentezlenmesi için SYA ve nem muhteviyatı bu yağların en önemli parametrelerindendir (Dorado ve ark., 2002). Biyodizele sentezlenecek olan yağın SYA seviyesi %5'in üzerinde olması durumunda sabun, metil esterlerin ve gliserolün ayrılmasını engelleyerek saf su ile yıkama işleminde emülsiyon oluşumuna katkıda bulunur. SYA değeri %5'in üzerinde olduğunda, SYA'yı metil esterlere esterleştirmek için Şekil 1.33'teki reaksiyonda gösterildiği gibi sülfürik asit (H_2SO_4) gibi bir asit katalizörü kullanılabilir (Gerpen, 2005).



Şekil 1.33. Esterifikasyon reaksiyonu

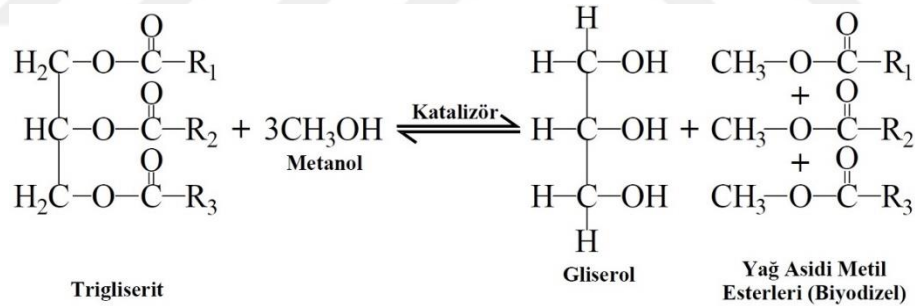
Esterifikasyon reaksiyonu; 1 mol SYA'nın bir mol alkol ile reaksiyona girmesi neticesinde 1 mol ester ve 1 mol H_2O 'nun elde edilmesiyle gerçekleşir (Gebremariam ve Marchetti, 2018). H_2SO_4 katalizörlüğündeki esterifikasyon reaksiyonu neticesinde trigliseritler daha düşük SYA değerlerine sahip olmaktadır.

Yağlar, birincil bileşikler olarak trigliseritler adı verilen bir grup kimyasalı içeren maddelerdir. Kimyasal olarak, bir trigliserit, Şekil 1.34'te gösterildiği gibi (Gurr ve ark., 2016), gliserin olarak da bilinen bir gliserolün üç YA molekülü (R_1 , R_2 ve R_3) ile reaksiyon ürünüdür (Lestari ve ark., 2009).



Şekil 1.34. Yağ bileşeni olan trigliseridi üretmek için gliserol ve YA'leri reaksiyonu

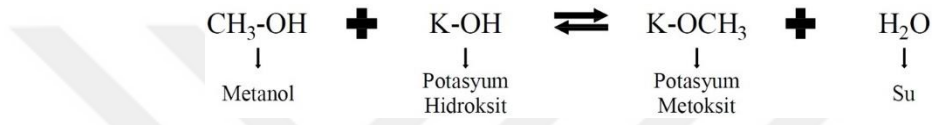
Şekil 1.35'te görülen baz katalizli transesterifikasyon reaksiyonunu tamamlamak için; %3'ten daha düşük bir SYA miktarına ihtiyaç duyulmaktadır, bu değer esterifikasyon reaksiyonu neticesinde gerçekleşmektedir. SYA değerinin yüksek olması durumunda esterlere dönüşüm verimliliği oldukça düşük ve dönüşüm işlemi uzun zaman alacaktır (Dorado ve ark., 2002). Biyodizel, yağda bulunan trigliseritlerin alkali katalizörler (potasyum hidroksit (KOH) veya sodyum hidroksit (NaOH)) varlığında alkoller (CH_3OH veya $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ile reaksiyona girerek yan ürün olarak esterler ve gliserol oluşturan transesterifikasyon işlemi sonucunda elde edilir (Banerjee ve Chakraborty, 2009; Enweremadu ve Mbarawa, 2009).



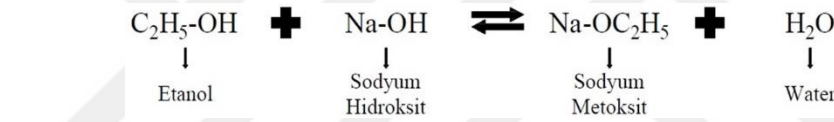
Şekil 1.35. YAME'leri oluşturmak için transesterifikasyon reaksiyonu

Transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için katalizörlerin kullanılması gereklidir (Arachchige ve ark., 2021). Bitkisel yağlar CH_3OH veya $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ile karıştırılırsa, transesterifikasyon reaksiyonu oda sıcaklığında bile gerçekleşir, ancak denge koşullarına yaklaşması çok uzun zaman alacaktır. Reaksiyon süresini önemli ölçüde kısaltmak için katalizör ve yüksek sıcaklıklar ($60-70^\circ\text{C}$) kullanılır. Sıvı veya katı yağların transesterifikasyonu için uygun katalizörler ya güçlü asitler ya da güçlü bazlardır. Saf bitkisel yağlar için özellikle güçlü bazlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Baz katalizörleri olarak kullanılan NaOH ve KOH katı pullar veya topraklar biçiminde düşük maliyetli olarak temin edilebilirler (Holden ve ark., 2021).

Katalizör, CH_3OH içerisine KOH veya NaOH katı formlarının eklenip, tamamen çözünüp homojen bir çözelti oluşturana dek karıştırılarak hazırlanan bir çözeltidir (Kachhadiya ve ark., 2019). Alkol türü CH_3OH ise Şekil 1.36’da görüldüğü gibi metoksit ($-\text{OCH}_3$), alkol türü $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ise Şekil 1.37’de görüldüğü gibi etoksit ($-\text{OCH}_2\text{CH}_3$) elde edilen kimyasal bir reaksiyondur. Aktif katalizörler trigliserit moleküllerinden metil esterleri oluşturma işlevini yerine getirirler (Arachchige ve ark., 2021; Holden ve ark., 2021). Bitkisel tohumlardan ekstrakte edilen yağlar transesterifikasyon prosesi ile biyodizele dönüştürülürken; yağın reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, reaksiyon süresi, katalizör, alkol yüzdesi ve SYA gibi birçok faktöre bağlı olduğu bildirilmiştir (Corro ve ark., 2011; Kawentar ve Budiman, 2013; Phan ve Phan, 2008; Rahadiani ve ark., 2018).



Şekil 1.36. Potasyum metoksit oluşturmak için gerçekleşen kimyasal reaksiyon



Şekil 1.37. Sodyum etoksit oluşturmak için gerçekleşen kimyasal reaksiyon

Transesterifikasyon reaksiyonu için gerekli kimyasalların (reaktan ve katalizör) net hacmini hesaplamak için bitkisel veya hayvansal yağların moleküler ağırlığı tespit edilmelidir. Bütün yağlar, yağ kaynağına hatta spesifik olarak bitki türüne ve hayvan cinsine göre YA kompozisyonunda değişiklik gösterir. Bundan dolayı, bütün yağların net bir moleküler ağırlığı yoktur. Ancak hesaplamalar ile ortalama bir moleküler ağırlık kullanılır. Şekil 1.34’te verilen, gliserolün YA esterlerinin hidrolizine dayanarak, bitkisel yağın ortalama moleküler ağırlığı Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)’ye göre hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\text{MW}_{\text{ave,FA}}} = \sum \frac{C_{i,\text{FA}}}{\text{MW}_{i,\text{FA}}} \quad (1.6)$$

Burada;

$\text{MW}_{\text{ave,FA}}$: Yağ asitlerinin genel ortalama moleküler ağırlığı (kg/kmol),

$C_{i,\text{FA}}$: Yağ asitlerinin kütleli bağıl yüzdeleri (%)

$MW_{i,FA}$: Belirli yağ asitlerinin moleküler ağırlığı (kg/kmol),

$$MW_{ave} = MW_{gly} - 3MW_{water} + 3MW_{ave,FA} \quad (1.7)$$

Burada;

MW_{ave} : Yağın moleküler ağırlığı (YA gliserol esterlerinin bir karışımı – kg/kmol),

MW_{gly} : Gliserolün moleküler ağırlığı ($C_3H_8O_3$ - 92.064 kg/kmol),

MW_{water} : Suyun moleküler ağırlığı (18.016 kg/kmol),

$MW_{ave,FA}$: Yağ asitlerinin moleküller ağırlığı (kg/kmol),

Bir transesterifikasyon reaksiyonunu stokiyometrik olarak tamamlamak için trigliseritlere karşı 3:1 molar oranda alkol oranı gereklidir. Denklem (1.8)'e göre alkol ve yağın mol oranı hesaplanabilir. Ancak pratik uygulamalarda, ileri reaksiyonları yönlendirmek, sıvı ve katı yağların biyodizele daha eksiksiz dönüşümünü sağlamak için stokiyometrik CH_3OH ihtiyacından daha fazla eklenir. Fazla CH_3OH , sistemde yeniden kullanım için geri kazanılabilir ve saflaştırılabilir. Biyodizel üretimi planlanırken üretilen her B100 hacminin eşit hacimde bitkisel yağ gerektirdiği kabul edilebilir bir varsayım olduğu da unutulmamalıdır.

$$\frac{n_{alcohol}}{n_{oil}} = \frac{\frac{m_{alcohol}}{MW_{alcohol}}}{\frac{m_{oil}}{MW_{oil}}} = \frac{\frac{\rho_{alcohol} * V_{alcohol}}{MW_{alcohol}}}{\frac{\rho_{oil} * V_{oil}}{MW_{oil}}} \quad (1.8)$$

Burada;

$\frac{n_{alcohol}}{n_{oil}}$: Yağ / metanol molar oranı (m/m),

$m_{alcohol}$: Alkolün kütlesi (kg),

$MW_{alcohol}$: Alkolün moleküler ağırlığı (kg/kmol),

M_{oil} : Yağın kütlesi (kg),

MW_{oil} : Yağın moleküler ağırlığı (kg/kmol),

$\rho_{alcohol}$: Alkolün yoğunluğu (kg/m^3)

$V_{alcohol}$: Alkolün hacmi (m^3),

ρ_{oil} : Yağın yoğunluğu (kg/m^3)

V_{oil} : Yağın hacmi (m^3),

1.6. Alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı

19. ve 20. yüzyılın başlarındaki sanayi devrimi ile beraber, eski uygarlıklardan günümüze eşlik eden alkol bir otomotiv yakıtı olarak ilgi görmeye başladı. Bitkiler tarafından yenilenebilir üretimi nedeniyle daha yüksek termal verimlilik ve daha düşük sera gazı emisyonu elde etme potansiyeli gibi özelliklerinden dolayı dikkatleri üzerine çekmiştir (Bae ve Kim, 2017).

Alkoller, baz alkan yapısında bir veya birden daha fazla –OH içeren karbon zincirli bileşiklerdir. Alkol familyası tek karbonlu CH_3OH 'dan yirmi karbonlu fitol ve daha yüksek zincirli bileşiklere kadar uzanır ki daha yüksek zincirli bileşikler henüz derinlemesine araştırılmamıştır. Şekil 1.38, karbon zinciri uzunluğu arttıkça alkol familyasını meydana getiren üyelerinin özelliklerinin nasıl değiştiğini göstermektedir (Nanthagopal ve ark., 2020). Kereste fabrikası, odun hamuru, şeker kamışı küspesi, pirinç samanı gibi bol miktarda bulunabilen çeşitli ormancılık ve tarımsal biyokütle atıklarının anaerobik fermentasyonu ile alkoller kolayca elde edilir (Bhatia ve ark., 2012). Alkol familyasını meydana getiren çeşitli hafif ve ağır alkollerin (AA) kimyasal özellikleri Çizelge 1.20'de verildiği gibidir (Campos-Fernandez ve ark., 2013; Harnisch ve ark., 2013; Lapuerta ve ark., 2010; Linstrom ve Mallard, 2001; Ramírez ve ark., 2014; Weinebeck ve Murrenhoff, 2013).

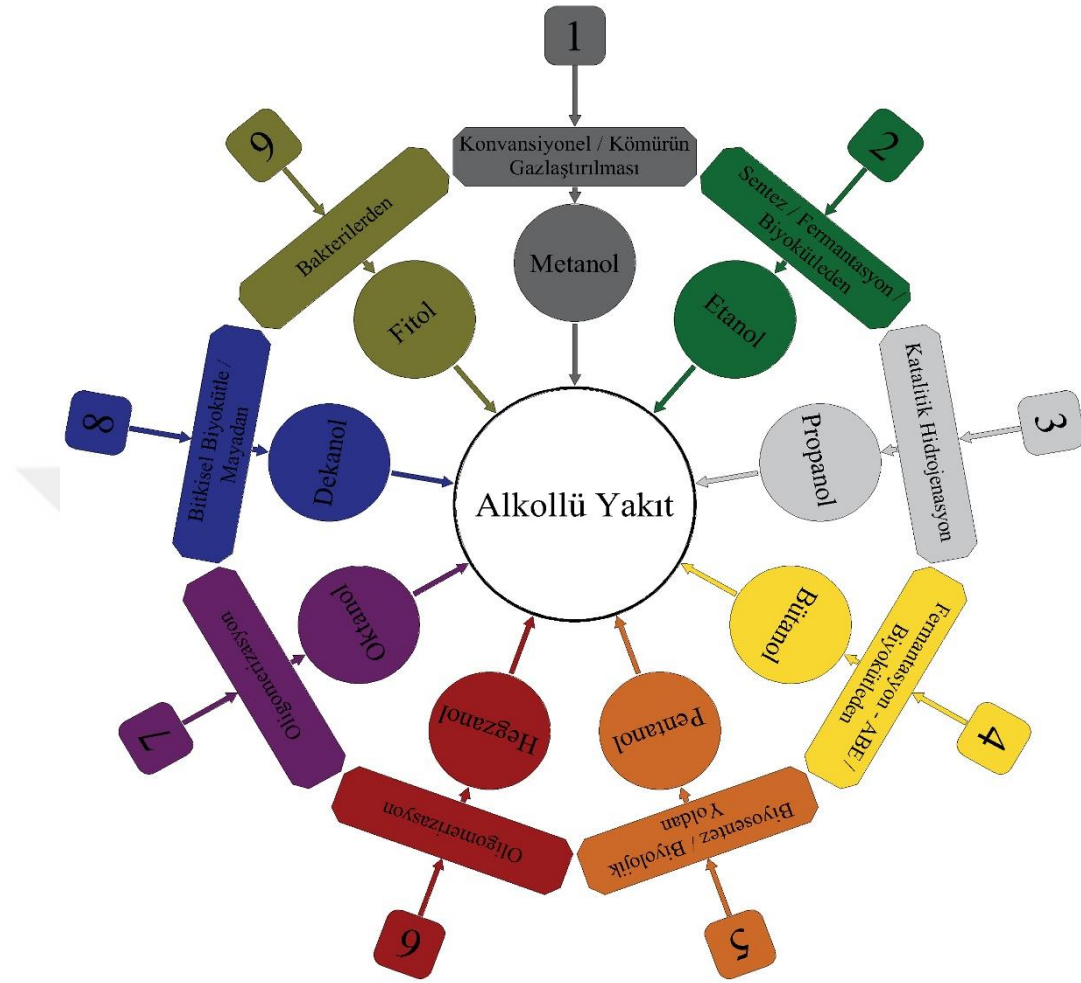


Şekil 1.38. Metanolden dekanole doğru geçerken alkol özelliklerinin değişimi

Çizelge 1.20. Dizel ve hafif alkollere kıyasla daha AA'lerin özellikleri

Özellikler	Dizel	Metanol	Etanol	Propanol	Bütanol	Pentanol	Hekzanol	Oktanol	Dekanol	Phytol
Molekül Formülü	C_xH_y	CH_3-OH	C_2H_5-OH	C_3H_7-OH	C_4H_9-OH	$C_5H_{11}-OH$	$C_6H_{13}-OH$	$C_8H_{17}-OH$	$C_9H_{19}-OH$	$C_{20}H_{39}-OH$
Molekül Ağırlığı (kg / kmol)	190-211.7	32.04	46.07	60.09	74.12	88.15	102.18	130.23	158.28	296
Yoğunluk (kg/m ³) 15°C'de	835	791.3	789.4	803.7	809.7	814.8	821.8	827	830	850.9
Parlama Noktası (°C)	455	11-12	17	11.7	35-37	49	59	81	108	-
Kaynama Noktası (°C)	180-360	64.7	78.3	97.1	117.5	137.9	157	195	233	204
Buharlaşma Gizli Isısı (kJ/kg)	270-375	1162.64	918.42	727.88	581.4	308.05	486			
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası (°C)	-17	<-51	<-51	<-51	<-51	-40	-	-	-	-
Çözünürlük (g/L)	Çözünmez	Çözünür	Çözünür	Çözünür	77	22	7.9	4.6	3.7	-
C (%wt)	86.13	37.48	52.14	59.96	64.82	68.13	70.52	73.72	68.23	81.08
H (%wt)	13.87	12.48	13.02	13.31	13.49	13.61	13.70	13.82	12.64	13.51
O (%wt)	0	49.93	34.73	26.62	21.59	18.15	15.70	12.29	10.11	5.4
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (°C)	254-300	463	420	350	345	300	285	270	255	-
Setan Sayısı	52	5	8	12	17	18.2-20	23	39	50	45.9
Viskozite 40 °C'de (mm ² /s)	2.72	0.58	1.13	1.74	2.22	2.89	5.32	5.8	6.5	63.54
Yağlayıcılık (µm düzeltilmiş aşınma izi)	315	1100	1057	922	591	670.5	534	404	406	-
Alt Isıl Değer (MJ/Kg)	42.49	19.58	26.83	30.63	33.09	34.65	39.10	52.94	41.8	
Buhar Basıncı (mmHg)	0.4	127	55	20	7	6	1	0.08	<0.1	-

Şekil 1.39, alkol familyasının üyeleri için popüler ve en çok tercih edilen üretim yöntemlerini göstermektedir (Nanthagopal ve ark., 2020).



Şekil 1.39. Çeşitli alkol üretim metodolojileri

Şekil 1.39’da vurgulanan rakamların açıklamaları şu şekildedir;

- 1: Konvansiyonel yöntem - doğal gaz kullanarak sentez gazından CH_3OH eldesi / kömür gazlaştırma - sentez gazından,
- 2: Sentez - Etanın parçalanması / Fermantasyon - şeker ürünlerinin ve nişastaların maya kullanılarak parçalanması / biyokütle - tasarlanmış bakterileri kullanır,
- 3: Oksijenli proses işlemi ile üretilen propionaldehit, katalizör varlığında hidrojenasyona uğrar,
- 4: Yan ürün olarak butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) üretmek için *clostridium acetobutylicum* enzimi (ABE) / biyokütleden de üretilir,

- 5: Biyosentez - *Escherichia coli* (kalın bağırsakta enfeksiyona neden olan bakteri) / biyolojik yollar - doğal fermantasyon süreci,
- 6: C_2H_5OH 'ın oligomerizasyonu çeşitli oligomerler (sınırsız sayıda monomer) üretir / hegzanol damıtma yoluyla ayrılır,
- 7: Hegzanol üretiminden farklı olarak, bu yöntem de etilen kullanılır,
- 8: Dehidrasyon ile bitkisel biyokütleden üretilir / *E. coli* bakterileri tarafından hindistancevizinden *Yarrowia lipolytica* mayası,
- 9: Üretimi hala laboratuvar ölçeğindedir / fotosentetik bakterileri kullanır (Nanthagopal ve ark., 2020).

1.6.1. Hafif alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda CH_3OH ve C_2H_5OH gibi düşük karbonlu (hafif) alkollerin kullanılması, düşük SS'leri yüksek gizli buharlaşma ısıları ve kendi kendine tutuşmaya karşı yüksek dirençleri nedeniyle bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Karabektas ve Hosoz, 2009). Ayrıca, daha düşük kalorifik değer, DF ile zayıf karışabilirlik ve zayıf yağlama özellikleri, dizel motorlarda kullanımlarını kısıtlamaktadır (Campos-Fernández ve ark., 2012). Alkol fümigasyonu, ikili enjeksiyon, alkol-dizel karışımları ve alkol-dizel emülsiyonları gibi çeşitli teknikler, dizel motor yakıtı olarak alkollerin bu sınırlamaların üstesinden gelmek için kullanılan yöntemlerdendir (Ozsezen ve ark., 2011).

Güvenlik açısından, düşük karbon sayısına sahip alkoller düşük PN'ye sahiptirler ve ABD'deki Ulusal Yangından Korunma Derneği (National Fire Protection Association - NFPA) tarafından benzinle birlikte Sınıf I sıvılar (PN 37.8 °C'nin altında) olarak sınıflandırılır. Aynı dernek tarafından DF, Sınıf II sıvılar (PN 37.8 °C'nin üzerinde) altında sınıflandırılır. Ancak dizele hafif alkollerin eklenmesi PN'yi düşürür ve karışımın Sınıf I sıvılar kapsamına girmesine neden olur, sonuç olarak depolama ve işleme için benzinle aynı altyapıyı gerektirir. Öte yandan alkollerin dizel motorlarda avantaj sağlayabilecek bazı olumlu yönleri de var. Duman emsiyonunun azaltılması, karışımların oksijen içeriği ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Ren ve ark., 2008). -OH içeren oksijenli yakıtlar olan alkoller, özellikle yüksek motor yüklerinde dizel motorlarda yanma sırasında oksijenin kullanılabilirliğini artırmakta ve duman emisyonlarını azaltmaktadır (Lapuerta ve ark., 2010). Kimyasal yapı itibarıyla duman azaltma etkinliğinin alkolde yüksek, eterde düşük olduğu görüşü yaygındır (Wang ve ark., 2012).

1.6.1.1. Metanol (CH₃OH)

Tek karbonlu -OH olan CH₃OH, alkol familyasının ilk üyesi olup, yüksek buharlaşma gizli ısı ve CH₃OH'nin yüksek oksijen içeriği, motorda vuruntu direncini ve termal verimi iyileştirmektedir (Erdiwansyah ve ark., 2019). Ek olarak, geniş hammadde kaynağı, daha düşük emisyon, maliyet ve motor teknolojisine uyarlabilirlik, CH₃OH'nin İYM'ler için umut verici bir yakıt adayı olmasını sağlamaktadır (Çelebi ve Aydın, 2019). CH₃OH'nin fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.21'de listelenmiştir (Geng ve ark., 2017; Liu ve ark., 2016; Mourad ve Mahmoud, 2018).

Çizelge 1.21. Metanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Metanol
Kimyasal formül	-	CH ₃ OH
Setan sayısı	-	2
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	32.04
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	791.3
Kaynama noktası	(°C)	64.7
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	20.01
Gizli buharlaşma ısı	(kJ/kg)	1162.64
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	385
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	37.48
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	49.93
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	12.48
Gizli ısı (25 °C)	(kJ/kg)	1162
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	0.59
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	6.5
Yüzey gerilimi	(N/m)	18.8
Alevlenme noktası	(°C)	11

CH₃OH, B100 ile kıyaslandığında önemli ölçüde daha düşük (onda birinden daha az) SS'ye ve daha yüksek (yaklaşık dört kat) gizli buharlaşma ısısına sahiptir. Bu özellikler, CH₃OH ilavesinin biyodizelin kendi kendine tutuşma sıcaklığını artıracak ve yakıt buharlaşması nedeniyle ısı emilimindeki artış nedeniyle tutuşma sınırına ulaşmayı zorlaştıracak anlamına gelmektedir. CH₃OH'nin düşük viskozitesi ve düşük yüzey gerilimi özellikleri sayesinde B100 gibi yakıtlarla harmanlanması neticesinde harmanlanmış yakıtların atomizasyon performansını iyileştirecek ve yakıtlarla havanın karışmasını hızlandıracaktır. CH₃OH'nin alt ısı değeri biyodizelin sadece yarısı kadar olduğundan, aynı yükü elde etmek için döngüsel yakıt besleme ve enjeksiyon süresi açısından iyileştirmelerin sağlanması elzemdir. Ayrıca, CH₃OH'nin biyodizele kıyasla

yaklaşık olarak beş kat daha yüksek oksijen içeriği, yanma sırasında ara ürünlerin daha çok oksitlenmesini ve yakıtın yanma kalitesini artıracaktır (Huang ve ark., 2020). Bununla birlikte, CH_3OH 'ın daha uzun TG ve çok düşük SS gibi belirli özellikleri, dizel motorlarda CH_3OH 'ın doğrudan kullanımının önündeki engellerdendir (Y. Li ve ark., 2013). Araştırmacılar, DF veya B100 gibi diğer biyoyakıtlar ile CH_3OH 'ın harmanlanması, emülsiyon veya fümigasyon yoluyla bu dezavantajların ortadan kaldırılabileceğini raporlamışlardır (Soni ve Gupta, 2016).

1.6.1.2. Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, alkol familyasının kapsamlı olarak araştırılan türlerinden biridir. Doğada çok düşük miktarlarının bile son derece toksik olduğu tespit edilen Metil Tersiyer Butil Eter (MTBE) için güçlü bir ikame olarak tanıtılmıştır (Song ve ark., 2006). $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 'ın üretim maliyetinin 19 yy'da çok yüksek olmasından dolayı kullanımını önemli ölçüde etkilemesinden ötürü sadece enerji darboğazı durumlarında kullanımı dikkate alınmıştır (Sun ve Cheng, 2002). Günümüzde, onlarca yıllık üretim yöntemlerine kıyasla daha düşük işletme maliyetleriyle daha yüksek verim sağlayan üretim metodolojilerinde ciddi gelişmeler kaydedilmiştir. Sıkı emisyon normları ve fosil yakıt rezervlerinin azalmasıyla birlikte, gelişmekte olan ülkeler tarafından benimsenen çeşitli politikalarda ileriye dönük bir yakıt olarak $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 'e yapılan vurgu ön plana çıkmıştır. Brezilya, biyokütle görevi gören şeker kamışı bolluğu nedeniyle yakıtında yaygın olarak $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ kullanımıyla listenin başında yer alıyor (Macedo ve ark., 2008). $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ile harmanlanan yakıtlar ayrıca, otomobillerdeki yakıt dağıtım ve dağıtım sistemlerini etkili bir şekilde temizleyerek, zamanla birikmiş olabilecek zararlı istenmeyen maddeleri ortadan kaldırmak sureti ile dikkate değer absorpsiyon özellikleri sergiler (Kumar ve ark., 2010). Bu avantajlarının yanı sıra dizele göre daha düşük PN'ları nedeniyle, malzemenin depolanması ve taşınmasında endüstriyel güvenlik önlemlerinin alınmasını zorunlu kılmaktadır (Shahir ve ark., 2014). $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 'ın fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.22'de listelenmiştir (Geng ve ark., 2017; Liu ve ark., 2016; Mourad ve Mahmoud, 2018).

Çizelge 1.22. Etanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Etanol
Kimyasal formül	-	C ₂ H ₅ OH
Setan sayısı	-	8
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	46.07
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	789.4
Kaynama noktası	(°C)	79
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	26.08
Gizli buharlaşma ısısı	(kJ/kg)	918.42
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	363
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	52.14
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	34.73
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.02
Gizli ısı (25 °C)	(kJ/kg)	904
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	1.13
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	9.7
Yüzey gerilimi	(N/m)	22.39
Alevlenme noktası	(°C)	13

Alkol ile harmanlanmış yakıtların avantajları, yanma kalitesini artırmak sureti ile daha az emisyon elde edilmesine yardımcı olan yakıt oksijen içeriğidir. Biyodizel ve C₂H₅OH'nın kalorifik değerleri DF'ye göre daha düşüktür ve kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları B100 karışımli yakıttan daha yüksektir. C₂H₅OH için kalorifik değer biyodizelden yaklaşık %28 daha düşüktür ve viskozite de yaklaşık dört kat daha düşüktür. Bu nedenle, C₂H₅OH ile harmanlanan biyodizelin viskozitesi ve yoğunluğu düşecek ve yakıt oksijen içeriği artacaktır. C₂H₅OH'nın düşük SS, biyodizellerin daha yüksek SS ile telafi edilebilir (Kwanchareon ve ark., 2007). Bununla birlikte, C₂H₅OH-DF karışımlarındaki en büyük dezavantaj, kimyasal yapı ve özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle C₂H₅OH'nın geniş bir sıcaklık ve içeriğindeki sudan dolayı dizel ile karışmamasıdır. Bunlar faz ayrışması nedeniyle yakıt istikrarsızlığına neden olabilir. Bu ayrışmanın önlenmesi iki şekilde gerçekleştirilebilir: DF içinde küçük C₂H₅OH damlacıklarını askıya alma görevi gören bir emülgatör ekleyerek veya homojen bir karışım üretmek için moleküler uyumluluk ve bağlanma yoluyla bir köprüleme maddesi görevi gören bir yardımcı çözücü ekleyerek bu sorun giderilebilir (Lapuerta ve ark., 2018).

1.6.1.3. Propanol (C_3H_7OH)

Propanol, alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmeye çalışılan C_2H_5OH 'den sonraki alkol familyasının bir üyesidir. Doğada propanol (C_3H_7OH), 1-propanol ve 2-propanol (sırasıyla n-propanol ve izopropil alkol/izopropanol olarak da bilinir) olarak iki izomer halinde bulunur (Walther ve François, 2016). Propanolün geçmişte yüksek üretim maliyeti, ikame yakıt olma ihtimalini engellemekle beraber bu alkol ile ilgili yürütülen araştırma çalışmalarının sınırlı sayıda olmasına neden olmuştur (Jun Choi ve ark., 2012; Shen ve Liao, 2013). 3 karbonlu C_3H_7OH , daha yüksek enerji yoğunluğuna ve SS'ye sahip düz zincirli bir alkol olup, dizel ile karışım bileşeni olarak daha hafif alkollere (CH_3OH ve C_2H_5OH) potansiyel bir alternatif olmasını sağlar. Geçmişte C_3H_7OH 'ın üretim maliyetinin aksine günümüzde, C_3H_7OH petrokimyasallardan en uygun maliyetli süreç olan okso-sentez yoluyla üretilmektedir (Cornils, 2004).

Fosil rezervlerinin tükenmesine ilişkin endişeler nedeniyle, bu alkolü üretmek için çeşitli sürdürülebilir yollar geliştirilmiştir. Propanol, biyokütle veya kentsel katı atık gibi hammaddelerden üretilir. Bu hammaddeler sentez gazına (CO , H_2 ve CO_2) gazlaştırılır ve daha sonra *Clostridium ljungdahlii* ve *Clostridium ragsdalei* gibi mikrobiyal katalizörler kullanılarak biyoyakıtlara dönüştürülür (Liu ve ark., 2014). Glikozdan doğal olarak önemli miktarlarda C_3H_7OH üretebilen hiçbir mikroorganizma mevcut değildir. Bu nedenle araştırmacılar, geleneksel kompleks *Clostridium* türlerinden daha kolay manipüle edilebilen bir mikroorganizma olan *Escherichia coli*'den endüstri ile ilgili miktarlarda C_3H_7OH üretmek için biyo-sentetik yollara yöneldiler (Shen ve Liao, 2008; Shota ve C, 2008). Günümüzde, yeni tasarlanmış bir *Escherichia coli*'den 1- C_3H_7OH ve C_2H_5OH 'in birlikte üretimini geliştirmek için çeşitli biyokimyasal, genetik ve metabolik mühendislik stratejileri geliştirilmektedir (Srirangan ve ark., 2014).

Propanol, daha iyi çözücü özellikleri, daha düşük korozyon etkileri ve daha büyük karbon zinciri sayesinde CH_3OH ve C_2H_5OH gibi hafif alkollerden daha yüksek SS ve kalorifik değerleri ile gölgede bırakmaktadır (Rajesh Kumar ve Saravanan, 2016). Propanolün diğer olumlu özellikleri arasında alkol familyasının diğer hafif alkollerine göre daha yüksek enerji yoğunluğu ve PN'de yer alır. Bu alkol, fosil dize yakıtına göre önemli ölçüde daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahip olmasına rağmen, düşük kendi kendine tutuşma sıcaklığı, diğer hafif alkollere kıyasla TG süresini azaltır (Naumczyk ve ark., 1996; Rotter ve ark., 1991). Propanol, bitkisel yağ yakıtlı dizel motorlarda ya dizel ile harmanlama bileşeni olarak ya da viskoziteyi azaltmak için seyreltici bir madde olarak

kullanılır (Lapueta ve ark., 2010). Ayrıca, C_3H_7OH dizel motorlarda hafif alkoller bağlamak için çözücü olarak ve ayrıca dizel motorlarda DF ile karışım bileşeni olarak kullanılmaktadır (Campos-Fernández ve ark., 2012; Siwale ve ark., 2013). Propanolün fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.23'te listelenmiştir (Geng ve ark., 2017; Liu ve ark., 2016; Mourad ve Mahmoud, 2018).

Çizelge 1.23. Propanülün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Propanol
Kimyasal formül	-	C_3H_7OH
Setan sayısı	-	12
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	60.10
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	803.7
Kaynama noktası	(°C)	97
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	29.82
Gizli buharlaşma ısısı	(kJ/kg)	727.88
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	59.96
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	26.62
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.31
Gizli ısı (25 °C)	(kJ/kg)	728
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	1.74
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	11.21
Yüzey gerilimi	(N/m)	23
Alevlenme noktası	(°C)	15

C_3H_7OH alternatif bir yakıt ikamesi olma umutlarının yanı sıra kozmetik, ilaç ve tekstil endüstrilerinde ticari olarak kullanılmaktadır (Naumczyk ve ark., 1996; Rotter ve ark., 1991).

1.6.2. Ağır alkoller ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımı

Daha fazla karbon sayısına sahip (ağır) alkoller, C_2H_5OH , CH_3OH gibi diğer yaygın olarak incelenen hafif alkollerle karşılaştırıldığında daha yüksek enerji yoğunlukları, daha yüksek SS'ler daha iyi karışım kararlılığı ve daha az higroskopik yapıları nedeniyle araştırmacılar arasında ilgi toplamıştır. Karbon zincirlerinin uzunluğundaki artış, alkol moleküllerinin tutuşma kalitesini de artırmaktadır (Koivisto ve ark., 2015).

Daha yüksek karbon sayılı alkol terimi genellikle dört veya daha fazla karbon atomu içeren düz zincirli alkol serisini ifade etmektedir. Yani, C_4H_9OH , pentanol

($C_5H_{11}OH$), hekzanol ($C_6H_{13}OH$), oktanol ($C_8H_{17}OH$), dodekanol (C_{12}), fitol (C_{20}) vb. Çizelge 1.20’de görüldüğü gibi, daha AA’lerin (CH_3OH ve C_2H_5OH gibi daha düşük alkollerle karşılaştırıldığında) fosil kökenli yakıt olan dizelin tamamen veya kısmen yerini alma potansiyellerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir. AA’ler, yüksek karbon içeriğine, düşük polariteye ve daha az higroskopik yapıya atfedilen herhangi bir faz ayrımı olmadan dizel ile karışabilme özelliklerine sahiptirler (Campos-Fernández ve ark., 2012; Siwale ve ark., 2013). Bu nedenle, daha AA kullanıldığında karışım stabilitesini korumak için yardımcı çözücüler veya emülsifiye edici maddeler kullanımına gerek kalmaz. Bir alkolde karbon zincirinin uzunluğundaki artış ve dalların olmaması, yüksek kalorifik değer, yoğunluk ve SS sağlarken, kendi kendine tutuşma özelliklerini ve daha az vuruntu eğilimini de sağlar (Campos-Fernández ve ark., 2012).

AA, yakıt dağıtım ve enjeksiyon sistemlerinde kullanılan malzemeler üzerinde daha az aşındırıcı etkiye sahiptir (Xing-cai ve ark., 2004). Alkollerdeki su içeriği ne kadar yüksekse, aşındırıcı etki o kadar yüksektir. Karbon sayısı 4 ve daha fazla olan AA daha az higroskopiktir ve bu nedenle daha az aşındırıcı özelliğe sahiptirler. Ayrıca yüksek molekül ağırlıklı alkoller daha az korozyiftirler (Rasskazchikova ve ark., 2004). AA’nin PN’leri oldukça yüksektir ve bu da onları mevcut dağıtım altyapısında depolamayı, işlemeyi ve teslimatı daha güvenli hale getirir. AA’nin daha düşük buhar basınçları aynı zamanda daha düşük buharlaşma emisyonları ile sonuçlanır (Doğan, 2011).

Daha uzun zincirli alkoller daha az oksijen içeriğine sahip olmalarına rağmen, nispeten daha uzun TG ile önceden karıştırılmış yanma fazını artırabilirler ve hava/yakıtın yeterli şekilde karışmasına izin verirler ve aynı zamanda difüzyon yanma fazını da geliştirirler. Ayrıca, daha uzun karbon zincirli alkoller, büyük makromoleküllerin parçalanmasına yönelik biyolojik süreç daha erken durabildiğinden, diğer hafif alkollere kıyasla üretimi sırasında daha az enerji tüketirler (Campos-Fernández ve ark., 2012).

AA’nin kullanımı, daha önce yüksek üretim maliyetleri, gıda endüstrisinde üretken kullanımı ve petrol dışı kaynaklardan sınırlı üretim nedeniyle tercih edilmemekteydi (Popuri ve Bata, 1993). Son yıllarda AA (sürdürülebilir araç yakıtları olarak) olan ilgi artmış, bu da birçok araştırma grubunu ve biyo teknoloji şirketini yeni Clostridium türleri (Wendy ve ark., 2011) ve Escherichia coli (Desai ve ark., 2015), Cyanobacteria (Formighieri, 2015) ve Saccharomyces cerevisiae (Ofuonye ve ark., 2013) gibi genetiği değiştirilmiş mikro organizmalar kullanılarak glikozdan biyosentez yoluyla modern fermentasyon süreçleriyle selülozdan C_4H_9OH ve $C_5H_{11}OH$ gibi AA’nin üretim verimini arttırmak için yeniden ilgi odağı haline gelmiştir. Biyokütlenin

gazlaştırılabilirdiği veya buharla reforme edilebildiği veya kısmen oksitlenerek sentez gazı (CO , H_2 ve CO_2) üretilebildiği ve bu gazın Yüksek Alkol Sentezi (YAS) adı verilen bir işlemle katalitik olarak AA'ye dönüştürülebildiği alternatif bir yöntemde bulunmaktadır (Andersson ve ark., 2014). AA, doğrudan elektromikrobiyal dönüşüm veya CO_2 'nin fotosentetik geri dönüşümü ile de üretilebilir (Li ve ark., 2012). Bu yöntem, biyokütlenin parçalanmasına gerek kalmadan CO_2 'in (bir sera gazı) daha yüksek alkollere geri dönüştürülmesine yardımcı olabilir (Atsumi ve ark., 2009). Ayrıca, Gevo (Falls Energy ve Jackson, 2012; Gevo resumes commercial production of isobutanol at its Luverne plant, 2013) ve Butamax (BP/DuPont launches Butamax biobutanol, 2009) gibi yüksek maliyetleri azaltmak için biyoyakıt üreticileri tarafından AA'nin büyük ölçekli ticari üretimi için tescilli biyokimyasal yollar geliştirilmektedir. ABD Yenilenebilir Yakıt Standardı (Renewable Fuel Standard - RFS) programı, 2022 yılına kadar 36 milyar galona çıkması gereken gelişmiş biyo yakıtların her yıl artan miktarlarda fosil ulaşım yakıtı ile karıştırılmasını gerektirir (Lawyer ve ark., 2013). Bu programa göre, her yenilenebilir yakıt kategorisi, yerini aldığı fosil kökenli benzin veya motorine kıyasla daha düşük sera gazı emisyonları üretmelidir. Bu bağlamda, ligno-selülozdan türetilen gelişmiş biyoyakıtlar olarak nitelendirilen AA, bu hedeflere ulaşmak için kullanılabilir (Rajesh Kumar ve Saravanan, 2016).

Birçok bilim adamı ve araştırmacı, mevcut CI motorlarında yakıt olarak uygunluğunu değerlendirmek için dizel ile çeşitli oranlarda 3-karbon propanolden 20-karbon fitole kadar değişen AA'nin kullanımını incelemektedirler. Dizel motorlarda fosil DF'nin AA'lerle değiştirilmesine (tamamen veya kısmen) ilişkin devam eden araştırmalar ve önceki bulguların genel olarak başarılı olduğu söylenebilir çünkü bunlar, yakıttaki yenilenebilir fraksiyonu artırmanın yanı sıra iyileştirilmiş verimlilikle düzenlenmiş emisyonları azaltmışlardır (Rajesh Kumar ve Saravanan, 2016).

1.6.2.1. Bütanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$)

Genellikle 'bütanol' olarak adlandırılan n-bütanol, biyokütle (bio-bütanol) ve fosil yakıtlardan (petro-bütanol) üretilebilen 4 karbonlu düz zincirli bir alkoldür. Bununla birlikte, her ikisi de aynı kimyasal özelliklere sahiptir ve İYM'lerde kullanıldığında benzer veya birbirine yakın etkiler oluştururlar (Jin ve ark., 2011). Bütanol, alkol familyasının en çok araştırılan üyesi olup; berrak, renksiz ve muz kokusuna benzer karakteristik bir kokusu vardır. Bu alkolün dört karbonlu zincir yapısı göz önüne

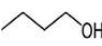
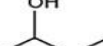
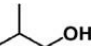
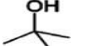
alındığında, -OH grubu kendisini dört farklı pozisyonda bağlayabilir ve dört izomere yol açar - 1-bütanol, 2-bütanol, izo-bütanol ve ter-bütanol (Chen ve ark., 2015).

-OH'nin konumuna ve karbon zincir yapısına bağlı olarak dört bütanol izomeri vardır, bunlar;

- i) *n*-bütanol-CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-OH- uç karbondan -OH olan düz zincirli alkol,
- ii) *sec*-bütanol-CH₃-CH₂-CH-OH-CH₃- iç karbondan -OH olan düz zincirli alkol,
- iii) *iso*-bütanol-(CH₃)₂-CH₂-CH-OH- uç karbondan -OH bulunan dallı zincirli alkol,
- iv) *ter*-bütanol-(CH₃)₃-C-OH, iç karbondan -OH olan dallı zincirli alkol.

Tüm izomerlerin üretim yöntemleri birbirinden farklı olup, petrokimyasallardan türetilen ter-bütanol dışında ilk üç izomerin üretimi için biyolojik yollar mevcuttur (Nigam ve Singh, 2011; Sarathy ve ark., 2012). Tüm izomerler aynı moleküler ağırlığa ancak özelliklerini etkileyen farklı moleküler yapıya sahiptir. Bütanol izomerlerinin özellikleri Çizelge 1.24'te listelenmiştir (Zheng ve ark., 2015). Çizelgede görüldüğü gibi benzer enerji içeriğine sahip olmalarına rağmen çözünürlük, yoğunluk, gizli buharlaşma ısı ve kaynama noktaları gibi fiziksel özellikleri farklıdır. Dolayısıyla dizel motorlardaki davranışları da farklı olabilir. *n*-bütanol, *sec*-bütanol ve *iso*-bütanol suda karışmazken, ter-bütanol suda çözünür (Moss ve ark., 2008).

Çizelge 1.24. Bütanol izomerlerinin özellikleri

Özellikler	Dizel	<i>n</i> - Bütanol	<i>sec</i> - Bütanol	<i>iso</i> - Bütanol	<i>ter</i> - Bütanol
Moleküller yapısı					
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	190–211.7	74.12	74.12	74.12	74.12
C (%wt)	86.13	64.82	64.82	64.82	64.82
H (%wt)	13.87	13.60	13.60	13.60	13.60
O (%wt)	0	21.59	21.59	21.59	21.59
Setan sayısı	52	17	—	—	—
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (°C)	254–300	345	406.1	415.6	477.8
Yoğunluk (kg/m ³) at 15°C	835	809.7	806	802	789
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42.49	33.09	32.74	33.11	29.79
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	270–375	581.4	671	684	511
Buhar basıncı (mm/Hg)	—	7.2	12.5	8.0	30.1
Kaynama noktası (°C)	180–360	117.5	99.5	108	82.4

C_2H_5OH 'ın araştırılmasından kısa bir süre sonra, araştırma topluluğu birincil alkollerin çözünürlük sorunlarıyla mücadele etmek ve harmanlama sırasında daha yüksek SS sağlamak için C_4H_9OH 'a yönelmiştir. Yukarıdaki avantajlarına ek olarak, C_4H_9OH C_2H_5OH 'den daha az hidrofilik, toksik ve aşındırıcıdır ve daha düşük uçucu yapısı, yüksek PN mevcut yakıt altyapısıyla daha uyumlu olmasını sağlar (Bankar ve ark., 2013; Giakoumis ve ark., 2013). Buna ek olarak, Çizelge 1.25'te görüldüğü gibi C_4H_9OH 'ın kinematik viskozitesi standart DF'ye oldukça yakındır, bu da yakıt enjeksiyon işlemi ve sistemin yağlanması için oldukça arzu edilir bir durumdur (Brandão ve Suarez, 2018; Geng ve ark., 2017; Liu ve ark., 2016; Mourad ve Mahmoud, 2018).

Çizelge 1.25. Bütanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Bütanol
Kimyasal formül	-	C_4H_9OH
Setan sayısı	-	17
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	74.12
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	810.9
Kaynama noktası	(°C)	117.8
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	32.01
Gizli buharlaşma ısısı	(kJ/kg)	581.4
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	343
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	64.82
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	21.59
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.49
Gizli ısı (25 °C)	(kJ/kg)	585
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	2.22
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	11.21
Yüzey gerilimi	(N/m)	24.2
Alevlenme noktası	(°C)	35

Bütanol, CH_3OH ve C_2H_5OH gibi hafif alkoller ile karşılaştırıldığında, daha yüksek ısı değeri, daha düşük buharlaşma ısısı, yanma odası içinde buharlaşmayı kolaylaştırması ve soğukta ilk çalıştırma problemlerini önemsizleştirmesi nedeniyle önemli ölçüde üstün yanma özellikleri sergiler (Karavalakis ve ark., 2014). Bütanol, daha düşük kendi kendine tutuşma sıcaklığına sahip olmasına rağmen, dizel ile karıştırıldığında daha yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle yakıtın buharlaşmasını etkiler ve TG'sini uzatarak silindir içinde yakıt birikmesine neden olur (Kumar ve ark., 2013). Bütanol, çözücü, katkı maddesi, temizlik maddesi, ağırlık kesici, parfüm, kozmetik vb. gibi çeşitli alanlarda uygulama alanı bulmaktadır (Jin ve ark., 2011).

1.6.2.2. Pentanol ($C_5H_{11}OH$)

Pentanol, daha yüksek enerji yoğunluğu, daha yüksek SS, daha iyi karışım stabilitesi ve hafif karbonlara kıyasla daha az higroskopik doğası sayesinde DF ile harmanlama bileşeni olarak daha büyük potansiyele sahip 5 karbonlu düz zincirli bir alkoldür. Bir korozyon inhibitörü olan $C_5H_{11}OH$, CH_3OH ve C_2H_5OH (Cann ve Liao, 2010) hafif alkollerinden farklı olarak yakıt dağıtımını ve besleme sistemlerini etkilemez.

Pentanolün gizli buharlaşma ısısı, yoğunluk ve viskozite gibi belirli özellikleri dizele diğer hafif alkollere göre daha yakındır. Özetle, $C_5H_{11}OH$ mükemmel bir yenilenebilir alternatiftir çünkü tasarlanmış mikroorganizmalar kullanılarak doğal mikrobiyal fermentasyon (Cann ve Liao, 2010) ve *Escherichia coli* (Zhang ve ark., 2008) kullanılarak glikozdan biyo-sentez gibi biyolojik yollardan üretilebilir. Daha uzun zincirli bir alkol olan $C_5H_{11}OH$, diğer kısa zincirli hafif alkollere kıyasla üretimi için daha az enerji gerektirmesi ayrıca üstünlük sağlayan diğer bir özelliğidir (Campos-Fernández ve ark., 2012). Pentanolün fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.26'da listelenmiştir (Liu ve ark., 2016; Edwin ve ark., 2019; Rajesh Kumar ve Saravanan, 2016; Uslu ve Celik, 2020a; Uslu ve Celik, 2020b; Qian ve ark., 2019; Liu ve ark., 2016).

Çizelge 1.26. Pentanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	n-pentanol
Kimyasal formül	-	$C_5H_{11}OH$
Setan sayısı	-	20
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	88.15
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	814.8
Kaynama noktası	(°C)	137.5
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	34.65
Gizli buharlaşma ısısı	(MJ/kg)	308.05
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	300
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	68.13
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	18.15
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.61
Gizli ısı (25 °C)	(kJ/kg)	308.05
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	2.89
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	11.73
Yüzey gerilimi	(N/m)	24.7
Alevlenme noktası	(°C)	49

1.6.2.3. Hekzanol (C₆H₁₃OH)

Hekzanol, uzun zincirli altı karbonlu yapıya sahip renksiz bir sıvıdır ve endüstriyel olarak C₂H₅OH oligomerizasyonu yoluyla üretilir (Falbe ve ark., 2010). Hekzanol üretimi için hammaddenin çoğu biyolojik olarak parçalanabilen tarımsal atıklardan ve içeceklerin işlenmesinden gelmektedir (Phillips ve ark., 2015). Karbon zincirindeki artışla birlikte gözlemlendiği üzere, C₆H₁₃OH alkol ailesinin daha hafif üyelerine kıyasla daha yüksek karışım kararlılığı, yoğunluk, SS ve enerji içeriği sergilemektedir (Babu ve Anand, 2017). Hekzanolün yoğunluğu, buharlaşma gizli ısı ve viskozitesi hafif alkollere kıyasla dizele oldukça yakındır ve bu da onu potansiyel bir alternatif yakıt haline getirmektedir. Hekzanol endüstriyel olarak dizelin C₂H₅OH ve CH₃OH gibi daha düşük alkollerle mikro emülsiyonu için bir yüzey aktif madde olarak kullanılmaktadır (Gupta ve Agarwal, 2008; Wang ve ark., 2008). Hekzanol yapısında bulunan oksijen atomu, C₂H₅OH ile güçlü bir hidrojen bağı oluşturarak onu uygun bir oksijenli katkı maddesi haline getirir. DF üzerindeki güçlü afinitesi nedeniyle, C₆H₁₃OH'nın hidrofobik doğası, daha uzun HC yapısından kaynaklanır ve suyun karışım toleransını iyileştirmek için onu uygun bir yardımcı çözücü yapar (Krasowska ve ark., 2011). Buna ek olarak, C₆H₁₃OH tutuşma geliştirici, tatlandırıcı katkı maddesi olarak ve yağlayıcılarda, parfümlerde uygulama alanı bulmaktadır (McGinty ve ark., 2010; Randles, 1992). Hekzanolün fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.27'de listelenmiştir (Nanthagopal ve ark., 2020; EL-Seesy ve ark., 2019; Bhatt ve Shrivastava, 2022; Babu ve Anand, 2017; Santhosh ve Kumar, 2021).

Çizelge 1.27. Hekzanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	n-Hekzanol
Kimyasal formül	-	C ₆ H ₁₃ OH
Setan sayısı	-	23
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	102.17
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	821.80
Kaynama noktası	(°C)	157
Alt ısı değeri	(MJ/kg)	39.10
Gizli buharlaşma ısı	(kJ/kg)	486
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	285
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	70.52
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	15.70
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.70
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	5.32
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	(kg/kg)	12.15
Yüzey gerilimi	(N/m)	0.0245
Alevlenme noktası	(°C)	60

1.6.2.4. Oktanol ($C_8H_{17}OH$)

Oktanol 8 karbonlu, uzun zincirli bir alkoldür ve C_2H_5OH kullanan $C_6H_{13}OH$ 'ın aksine etilenin oligomerizasyonu yoluyla endüstriyel olarak üretilir (Falbe ve ark., 2000). Diğer yüksek alkollere benzer şekilde, $C_8H_{17}OH$ 'da okso-sentez, YA indirgeme ve bakteri kullanımı gibi sürdürülebilir üretim metodolojileri nedeniyle araştırma camiasında dikkat çekmiştir (Hamilton-Kemp ve ark., 2005; Vallon ve ark., 2013) Oktanol, üretim kaynağı olan lingo-selülozik biyokütle sayesinde biyo-türevli bir yakıt olarak tanımlanmaktadır (Julis ve Leitner, 2012) ve bu nedenle $C_8H_{17}OH$ 'ın temel yanma özelliklerinin altını çizmek için derin bir çalışma başlatmıştır (Cai ve ark., 2015; Kerschgens ve ark., 2016). Oktanol yaklaşık %12.3 m/m ile daha yüksek bir oksijen içeriğine sahiptir ancak dizelin damıtma eğrisinin alt ucunda yer alan kaynama noktası nedeniyle daha düşük reaktivite sergiler (Hoppe ve ark., 2015). Bununla birlikte, daha yüksek yüzey gerilimi, daha düşük buhar basıncı, daha yüksek gizli buharlaşma ısısı gibi diğer özellikleri, düşük kaynama noktasını telafi eder ve geliştirilmiş sprey penetrasyonu sağlar. Oktanol, dizelden daha yüksek kinematik viskozite sergilemesine rağmen, hava/yakıt karışımı oluşumu üzerindeki olumsuz etkisi, düşük SS ve düşük kaynama noktasının birleşik etkisi ile telafi edilir. Diğer yüksek alkollere benzer şekilde, $C_8H_{17}OH$ daha az higroskopik doğası nedeniyle koroziif olmayan özellikler sergiler. Ticari olarak $C_8H_{17}OH$; katkı maddeleri, emülgatörler, köpük önleyici maddeler, çözücüler, köpürtücü maddeler vb. olarak uygulama alanı bulmaktadır (Sheftel, 2000; Verschueren, 2001). Oktanolün fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.28'de listelenmiştir (Nanthagopal ve ark., 2020; EL-Seesy ve ark., 2019).

Çizelge 1.28. Oktanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	n-Oktanol
Kimyasal formül	-	$C_8H_{17}OH$
Setan sayısı	-	39.10
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	130.23
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	827
Kaynama noktası	(°C)	195
Alt ısııl değeri	(MJ/kg)	37.53
Gizli buharlaşma ısısı	(kJ/kg)	315.10
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	270
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	73.72
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	12.29
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	13.82
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	5.8
Alevlenme noktası	(°C)	81

1.6.2.5. Dekanol (C₉H₁₉OH)

Dekanol, düz zincirinde dokuz karbon atomu taşıyan berrak, renksiz - hafif sarı bir sıvıdır. Dekanol, SAM'lar için alternatif bir yakıt olmaktan çok, gıda ve kimya endüstrisinde daha fazla öneme sahiptir (Wasewar, 2002; Salimon, 2012) Bununla birlikte, yapılan son araştırmalar dekanolik asit içeren dekal üretimi için hindistan cevizinin veya *Yarrowia lipolytica* gibi mayaların hammadde olarak kullanılmasını önermektedir ve proseslerin yüksek verimle birlikte uygun maliyetli olduğu bulunmuştur (Hamilton-Kemp ve ark., 2005; Rutter ve Rao, 2016). Bu nedenle, bitkisel biyokütle ve lignoselülozik malzeme, atık protein gibi biyo-kaynakların kullanılma ihtimali, araştırma camiasını dekanolü (C₉H₁₉OH)'ı potansiyel bir yakıt olarak incelemeye sevk etmiştir. Özellikler açısından, C₉H₁₉OH'nın kalorifik değeri, mevcut biyodizellerin çoğundan ve alkol familyasının diğer üyelerinden daha yüksektir. Kaynama noktası dizel kaynama eğrisi aralığında yer alır ve dizelin aksine C₉H₁₉OH herhangi bir aromatik yapı taşımaz. CH₃OH ve diğer alkollerin en yaygın sorunu kötü kullanım özellikleridir. Her türlü alkol bariz baş ağrılarına, sersemliğe, safraya ve daha da önemlisi cilt tahrişine neden olabilir (Sikkema ve ark., 1995; Heipieper ve ark., 1994). Dekanolün fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1.29'da listelenmiştir (Nanthagopal ve ark., 2020; EL-Seesy ve ark., 2019).

Çizelge 1.29. Dekanolün fizikokimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	n-Dekanol
Kimyasal formül	-	C ₉ H ₁₉ OH
Setan sayısı	-	50
Moleküler ağırlığı	(g/mol)	158.28
Yoğunluk (20 °C)	(kg/m ³)	829.7
Kaynama noktası	(°C)	233
Alt ısıt değeri	(MJ/kg)	41.8
Gizli buharlaşma ısısı	(MJ/kg)	494.8
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	(°C)	255
Karbon içeriği	(% ağırlıkça)	68.23
Oksijen içeriği	(% ağırlıkça)	10.11
Hidrojen içeriği	(% ağırlıkça)	12.64
Kinematik viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	6.5
Alevlenme noktası	(°C)	108

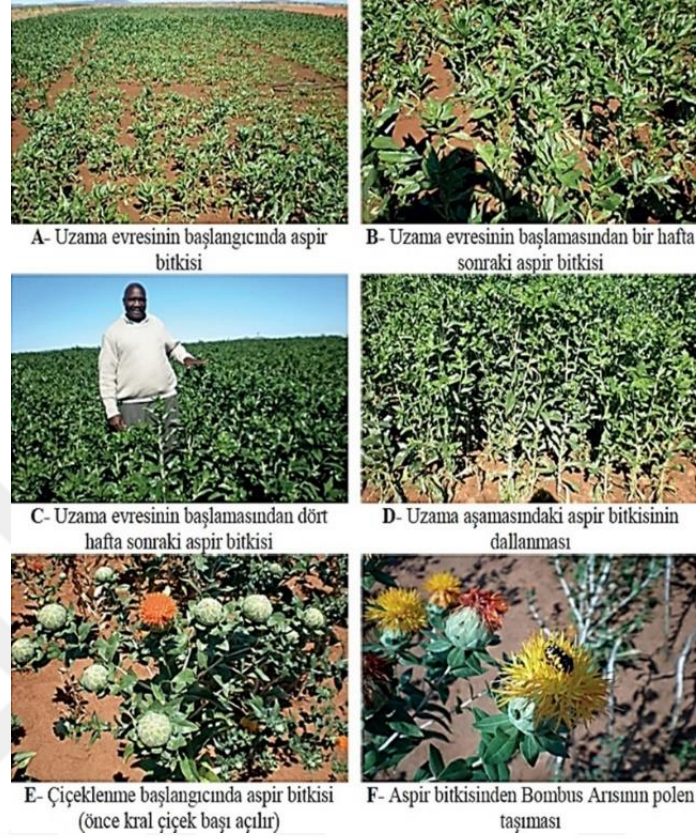
1.7. Aspir Bitkisi

Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), Asteraceae veya Compositae familyasına aittir. *Carthamus* cinsi 16 türden oluşur ve *Centraureinae* alt familyasının, *Cardueae* familyasının (deve diken), *Tubulifl orae* alt familyasının bir üyesidir (González, 1989; P. K. Gupta ve Tsuchiya, 1991; Vilatersana ve ark., 2000). Yetiştirilen *Carthamus Tinctorius* L.'nin kromozom sayısı $2n = 24$ 'tür (Knowles, 1969; Tsunoda ve ark., 1980; González, 1989; Ekin, 2005). Aspir, yaprak ve çiçek yaprağı üzerinde çok sayıda diken bulunan, dallı, devedikeni benzeri otsu bir yıllık veya kışlık bir bitkidir. Şekil 1.40'ta görüldüğü gibi (Emongor ve ark., 2013), birincil, ikincil ve üçüncül dallara sahip olup her dal küresel bir çiçek başı ile son bulur. Aspir bitkisi parlak sarı, turuncu veya kırmızı çiçeklerle küresel çiçek başlı olarak 30 - 210 cm boyuna kadar büyüyebilir. 2 - 3 m derinliğe kadar inebilen ve kuru iklimlerde gelişmesini sağlayan güçlü bir kazık köke sahiptir. Aspir, yağışın fazla olduğu bölgelerde ve örtü altında (sera üretimi) kesme çiçek veya sebze olarak da yetiştirilmektedir. Yüksek rakımlarda bitki büyüme ve gelişme dönemlerinde uzama ve çiçeklenme dönemlerinde don olmaması durumunda deniz seviyesinden 2000 m yüksekliğe kadar değişen yüksekliklerde yetiştirilebilir. Aspir bitkisi esas olarak dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yağlı tohum mahsulü, kuş tohumu veya çiçekleri boyar madde ve tıbbi amaç içinde yetiştirilmektedir (Mcpherson ve ark., 2004; Emongor, 2010).



Şekil 1.40. Küresel çiçek başlı aspir bitkisinin birincil, ikincil ve üçüncül dalları

Carthamus Tinctorius L.'nin (aspir bitkisinin) farklı büyüme ve gelişme aşamaları Şekil 1.41'de görüldüğü gibidir (Emongor ve ark., 2013).



Şekil 1.41. Aspir bitkisinin farklı büyüme ve gelişme safhaları

Şekil 1.42'de görüldüğü gibi genotipe, iklim koşullarına, tarımsal uygulamalara ve büyüme mevsimine bağlı olarak her biri 0.01 - 0.444 g ağırlığında beyaz, parlak ve pürüzsüz sert kabuklu tohumlar üretir (Dajue ve Mündel, 1996; R. J. Singh, 2006; Arslan, 2007; Emongor, 2010).



Şekil 1.42. Beyaz renkli, sert kabuklu aspir tohumları

Sert kabuklar dört taraflıdır, kalın bir tohum zarına sahiptir ve papus (tohumda bulunan saç tutamları) Şekil 1.43'te görüldüğü gibi olabilir, ayrıca Şekil 1.42'deki papuslar bulunmayabilir de. Çimlenme sıcaklığına bağlı olarak 3-8 gün sürer ve çimlenme 2-5 °C'ye kadar düşük sıcaklıklarda gerçekleşir (Mündel, 1969; Emongor, 2010).



Şekil 1.43. Aspir tohumunda bulunabilecek papuslar (saç tutamları)

Çimlenmeyi, zemin seviyesine yakın çok sayıda yaprağın üretildiği ve güçlü kazık köklerin geliştiği yavaş büyüyen bir çiçeklenme aşaması izler. Çiçeklenme aşaması, aspir bitkisinin büyümesindeki belirtilerden biri olarak kabul edilir (Tanaka ve ark., 1997; N. Uslu, 1997). Aspir bitkisi büyüme, gelişme, uzama ve çiçeklenme aşamalarında don olmaması koşuluyla -15-40 °C arasında geniş bir sıcaklık aralığını tolere edebilecek özelliğe sahiptir. Çiçeklenme aşamasında aspir bitkisi -7 °C ortam sıcaklığına kadar dayanabilir (Mündel ve ark., 1992; Dajue ve ark., 1995; Carapetian, 2001; Emongor, 2010; Emongor ve ark., 2013). Aspir bitkisinde çiçeklenme döneminin süresi genotipe, kültürel uygulamalara, ışık periyoduna ve çimlenme sonrası sıcaklığa bağlı olarak 20-35 gün arasında değişmektedir (Weiss, 2000; Emongor, 2010; Emongor ve ark., 2013). Kış aylarında daha düşük sıcaklık, daha yüksek tane verimi ile ilişkili olan çiçeklenme süresini uzamaktadır (Munoz, 1986; Salera, 1997; Emongor ve ark., 2013). Şekil 1.44'te görüldüğü gibi (Emongor ve ark., 2017), aspir bitkisinin dikim tarihi, bitkiler arasındaki aralık, toprak nemi durumu, toprak verimliliği, foto periyot ve sıcaklığa bağlı olarak 44-210 cm yüksekliğe kadar erişebilir (Weiss, 2000).



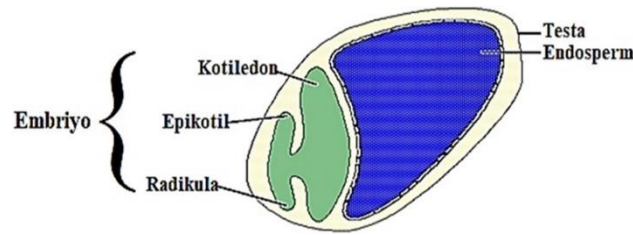
Şekil 1.44. Kış mevsiminde aspir bitkisinin boy uzunluğu

Çiçeklenme birincil kömeçten başlar, ardından ikincil kömeç ve bu şekilde devam eder. Bir kömeç içinde, çiçeklenme çiçekçiklerin dış çemberinde başlar ve kömecin merkezine doğru merkezci olarak ilerler. Çiçeklenme dönemi, kültürel uygulamalara ve iklim koşullarına, özellikle sıcaklığa bağlı olarak 4-6 hafta sürer. Turuncu, sarı ve kırmızı çiçek tonları üretilip aspir poleni sarı renklidir. Döllenme işlemi, çeşit ve dişicik başı (çiçek) kaynaşmış başak tüpünden dışarı çıktığında gerçekleşir. Tozlaşmamış dişicik başı (çiçek) birkaç gün boyunca çiftleşmek için hazır durumda bekler. Çiçekler boru şeklindedir ve büyük ölçüde kendi kendine tozlaşır (Knowles, 1969). Aspir, 12 kromozom çifti ile diploiddir (Ashri ve Knowles, 1960) ve ağırlıklı olarak kendi kendine tozlaşan türdür, ancak çeşitli böcekler tarafından polen transferi ile önemli ölçüde fazla çaprazlama potansiyeline sahiptir (Butler Jr ve ark., 1966; Rudolphi ve ark., 2008). Ayrıca, çaprazlama derecesi genotipe ve çevre koşullarına da bağlıdır. İnce kabuklu özelliğin, normal gövde morfolojisi veya anatomisine sahip hatları tercih eden polen toplayıcılarını caydıran çiçekteki erkek organ ayrışması üzerinde pleyiotropik bir etkisi vardır (Rubis ve ark., 1966; Weiss, 2000). Tozlaşma sırasındaki yüksek sıcaklıklar, tozlayıcıların polen toplamak için harcadıkları zamanı azaltabilir ve bu da çaprazlama miktarını azaltmaya neden olabilir (Ahmadi ve Bahrani, 2009). Aspirde aşılamanın farklı genotiplerde %0-59 arasında değişmektedir (Knowles, 1969; Patil ve ark., 1987). Açık tozlaşma altında erkek-steril ve erkek-verimli bitkilerin tohum veriminde herhangi bir fark gözlenmediğinden, aspirde genetik erkek-steril hatlarda karşı döllenme %100'dür. (V. Singh, 1996). Şekil 1.41F'de görüldüğü gibi Aspir poleni rüzgârla değil böceklerle taşınır. Aspir bitkisinde en yaygın tozlayıcı bal arılarıdır. Arılar hem polen hem de nektar

için aspir çiçeklerini ziyaret eder. Bombus arıları, böcekler ve diğer böcekler de çapraz tozlaşma seviyesini artırır. Bombus arıları, böcekler ve diğer böcekler de çapraz tozlaşma seviyesini artırır. Her bir aspir kömeci, çiçeklenmeden 4-5 hafta sonra olgunlaşan 13-71 adet sert kabuklu tohum üretir. Aspir tohumu %33-60 kabuk ve %40-67 çekirdekten oluşur (Dajue ve Mündel, 1996; Pahlavani, 2005). Tohum yağı içeriği, çeşide ve yetiştirme ortamına bağlı olarak %20-45 arasında değişmektedir. Yaprak boyutu, çeşitler arasında ve hatta tek bir bitki içinde önemli ölçüde değişmekle beraber 2.5-5 cm genişliğinde ve 10-15 cm uzunluğundadır. Yapraklar genellikle alt gövdede derin tırtıklıdır, ancak kısa ve sert, bürgülü burum şeklinde oluşturdukları çiçek salkımının çevresinde aşağı doğru daralan yumurta şeklinde ovaldir. Alt yapraklar genellikle dikensizdir, ancak daha yukarılarda gövde dikenleri tomurcuk aşamasında gelişir ve tam çiçeklenme ile güçlü, sert dikenler haline gelir. Çin ve Hindistan'da kesme çiçek ve tohum üretimi ve tıbbi amaçlı taç yaprağı hasadı için dikensiz çeşitler geliştirilmiştir (Dajue ve Mündel, 1996).

1.7.1. Aspir tohumlarının morfolojik yapısı

Tohum morfolojisi, esasen tohum kabuğu (testa), besidoku (endosperm) ve embriyodan oluşmaktadır. Her tohumda, tohumun canlı kısmı olan bir embriyo muhakkak bulunur. Şekil 1.45'te görüldüğü gibi (Bareke, 2018), çimlenmiş bir tohum; çenek (kotiledon), epikotil (kotiledonların bağlanma yerinin üstünde kalan eksen kısmı) ve radikula (kökçük) embriyoyu meydana getirir.



Şekil 1.45. Çimlenmiş tohumun yapısı

Yapay ortamda yetiştirilen aspir kotiledon (çenek) somatik embriyo kökenini gösteren ışıklı mikrografları Şekil 1.46'da görüldüğü gibidir. Şekil 1.46'da vurgulanan harflerin ve ok açıklamaları şu şekildedir;

A. Belirgin çekirdeğe sahip, büyümenin başladığı hücreli doku olarak aktif üst kısım (epidermal hücre), 2 günlük kültür başlangıcında.

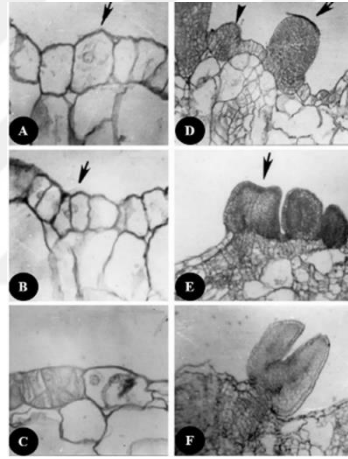
B. Kültür başlangıcından 4 gün sonra bir üst kısım epidermal hücrede ilk antiklinal (bitkinin yüzeyine dik) bölünme.

C. 8 günlük kültür başlangıcında çok hücreli proembriyonal (olgunlaşma öncesi) kompleks, kalın hücre duvarının ortak sınırı içinde bir grup küçük hücre oluşmuştur.

D. Kültür başlangıcından 10 gün sonra, üst kısım epidermal tabakadan gelişen küresel bir embriyonun ve küresel bir proembriyonun uzunlamasına kesiti.

E. İlk 15 günlük kültürde tek kalp şeklinde ve iki küresel embriyonun boyuna kesiti.

F. Kültür başlangıcından 15 gün sonra kotiledon embriyonun boyuna kesiti (Mandal ve Dutta Gupta, 2003).

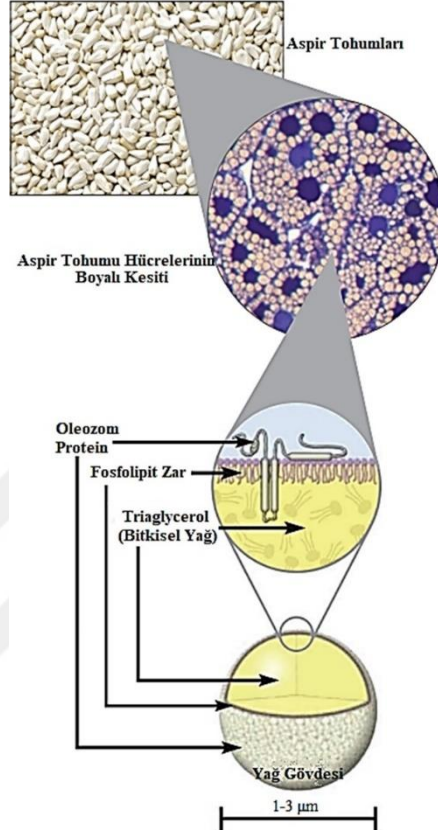


Şekil 1.46. Aspir kotiledon somatik embriyo kökenini gösteren mikrograflar

Morfolojik yapısı anlatılan aspir tohumunu değerli kılan özelliklerinden biri, tohumun canlı dokularının (embriyo ve endosperm) iç kısmında bulunan oleozomlardır.

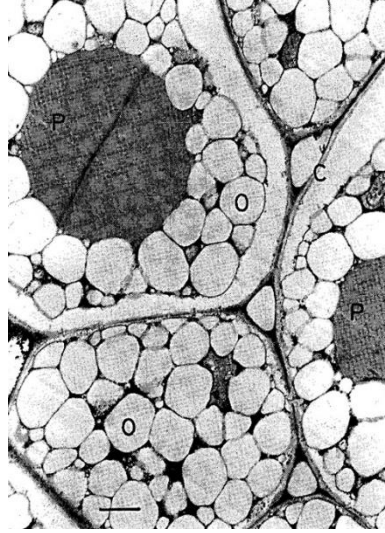
Oleozomlar çok çeşitli bitki türlerinde tanımlanmış olan, depolama yağı kütleleriyle ilişkili bir protein sınıfıdır (Murphy, 1993; A. H. C. Huang, 1992; Keddie ve ark., 1992). Bugüne kadar canlı tohum dokularının içinde önemli miktarlarda bulunan oleozom biriktiren tüm dokuların ortak özelliği, uzun süreli depo lipidleri içermeleri ve normal gelişimlerinin bir parçası olarak bir kuruma dönemine girmeleridir (Ross ve Murphy, 1993; Pence ve ark., 1981). Şekil 1.47’de de görüldüğü gibi, oleozomlar çimlenme süreci için yağ yani enerji kaynağını depolayan ve koruyan bitki tohumlarının içindeki (1-3 µm boyutunda) depolama yapılarıdır. Bunlar, bir oleozom protein kaplamalı (ağırlıkça %1) tek bir fosfolipid tabakası ile çevrili bir bitkisel trigliserit yağı

çekirdeğinden oluşur. Oleozomlar, yüzey aktif (surfaktan benzeri) olan hem hidrofilik (suyu seven) hem de hidrofobik (yağ seven) alanlardan oluşan proteinlerdir ve bu nedenle düşük seviyelerde bile benzersiz emülsifikasyon verimliliği sergilerler (Botaneco Inc., 2021).



Şekil 1.47. Oleozom (yağ gövdesi) yapısı

Oleozomların sayısı, tohum olgunlaşmasıyla daha da artmaktadır. Şekil 1.48’de görüldüğü gibi, çiçeklenmeden 28 gün sonra, oleozomlar, protein gövdeleri, çekirdek veya kalıntı sitoplazma tarafından doldurulmayan hücre boşluğunun neredeyse tamamını doldurur. Olgun tohumların yağ içeriği yaklaşık olarak %32’dir. Protein gövdeleri, hücrelerde bulunan ikinci ana depolama ürünleridir. Çoğu oleozomun çapı ortalama 0.2-2 µm arasındadır. Tohum olgunlaşması ile oleozomların elektron yoğunluğu azalır. Oleozomlar birbirine yaklaştırılarak sıkıştırılır, ancak bitişiğindeki oleozomlarla birleşmezler. Şekil 1.48’de vurgulanan harflerin açıklamaları şu şekildedir; P: Protein gövdesi, O: Oleozom, C: Hücre duvarıdır (Ichihara, 1982).



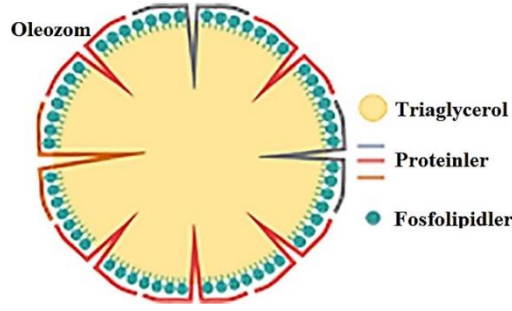
Şekil 1.48. Tohum hücrelerinin çiçeklenmeden 28 gün sonraki elektron mikrografı

1.7.2. Aspir tohumlarından oleozom ekstraksiyonu

Oleozom yüzeyi, fosfolipid kutup başlarından ve ara yüzey proteinlerinin hidrofilik alanlarından oluşur. Hidrofilik karakter ve elektrokinetik potansiyel nedeniyle, oleozomlar proteinlerle aynı ekstraksiyon kurallarını takip eder ve 7 - 9 arasındaki bir pH aralığında sulu olarak ekstrakte edilir (Tzen ve ark., 1997). Bununla birlikte, protein moleküllerine kıyasla oleozom partiküllerinin daha büyük çapı nedeniyle, oleozomların difüzyon kinetiği daha düşüktür (Matsakidou ve ark., 2015). Ekstraksiyonlarından sonra oleozomlar, doğal su içinde yağ emülsiyonları veya yoğun oleozom kremleri olarak elde edilir (Nikiforidis ve ark., 2011; Nikiforidis ve Scholten, 2015).

Endüstriyel düzeyde oleozomların yaygın kullanımını teşvik etmek için, oleozom membranını ve stabilitesini etkilemeyen kolay bir ekstraksiyon işlemi gerçekleştirmek esastır. Bu nedenle, yüksek verimlerde sürdürülebilir bir oleozom ekstraksiyonuna yönelik araştırmalar devam etmektedir (B. Chen ve ark., 2012; Iwanaga ve ark., 2007; Nikiforidis ve Kiosseoglou, 2009).

Oleozomları ekstrakte ederken önemli bir aşama, saf oleozomların mı yoksa oleozom ve depolama proteinlerinin karışımlarının mı gerekli olduğunu belirlemektir. Şekil 1.49'da görüldüğü gibi, oleozomlar, oleozomlarla birlikte ekstrakte edilen proteinler gibi diğer hücre içi materyallerle yakın temas halindedir (Nikiforidis ve Kiosseoglou, 2010).



Şekil 1.49. Oleozomların Yapısı

Bazı uygulamalarda, özellikle sistemin makroskopik özelliklerini ayarlamak için proteinlerin kullanıldığı salata sosları gibi gıdalar için, oleozom ve bitki depolama proteinlerinin karışımlarına sahip olmak faydalı olabilir (Nikiforidis ve ark., 2012; Karefyllakis ve ark., 2019). Ancak diğer uygulamalarda, belki saf oleozomlara ihtiyaç duyulabilir (Fisk ve ark., 2011). Proteinler gibi dışsal malzeme, oleozom arayüzü ile etkileşime girebilir ve çevrelenmiş malzeme ile etkileşimler, sistemin reolojik özellikleri üzerindeki etkileri ve fiziksel ve kimyasal stabiliteleri gibi davranışlarını ve özelliklerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir (Nikiforidis ve Kiosseoglou, 2010; Karkani ve ark., 2013; Nikiforidis ve ark., 2016). Saf oleozomlar elde etmek için, oleozom arayüzünden dış materyali çıkarmak için pH ayarlaması ve santrifüjlemeyi içeren birkaç yıkama adımı gereklidir (De Chirico ve ark., 2018).

1.7.3. Bitki tohumlarından yağ elde etme yöntemleri

Bitkilerin büyük çoğunluğu, özellikle tarımsal stok sınıfında olanlar, bazı ticari değeri olabilecek ekstrakte edilebilir yağ içermektedir. İnsan uygarlığının başlangıcından bu yana, dünyanın dört bir yanındaki kırsal topluluklar, esas olarak bitkisel kökenli materyallerden yemeklik yağ çıkarmak için çeşitli geleneksel yöntemler kullanmışlardır (Ali ve ark., 2005). Ünlü Homer bile bitkisel yağların kullanımıyla ilgilenmiştir. Bu yağların taş devri ve tunç devrinde kullanıldığını gösteren çok sayıda referans ve ipucu bulunmaktadır (Seidel, 2006).

Hurma, mısır, soya fasulyesi, yer fıstığı, hindistancevizi vb. birçok yenilebilir bitkisel yağ yüksek besin değeri nedeniyle sofraya yağ olarak kullanılmaktadır. Örneğin, katı yağlar ve sıvı yağlardan 1'er gram yakıldığında yaklaşık olarak 9-9.3 kcal temin edilirken proteinler ve karbonhidratlar için gram başına sadece 4-4.5 kcal enerji temin edilmektedir. 1'er gramı kıyasla katı ve sıvı yağlar, en konsantre enerji sağlayan formdur

(Ali ve ark., 2005). Buna ek olarak, poliollerin, polimerlerin, reçinelerin, biyodizelin, farmasötiklerin vb. sentezi için hammadde olarak endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaktadır (A.K. Yusuf, 2018).

Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) tohumu, içerdiği yüksek miktarda besleyici yağ nedeniyle önemli bir yağlı tohum olarak kabul edilmektedir (R. K. Gupta ve Das, 2000). Kabukları ayıklanmış tohumlar ayrıca salatalarda ve unlu mamüllerde de yaygın olarak tüketilmektedir (Khazaei ve ark., 2006).

Kolza tohumu, yağlı tohum bitkileri olarak yetiştirilen hardal ailesi (Brassicaceae) ile yakından ilişkilidir. Kolza tohumu esas olarak yenilebilir olmayan ancak yüksek performanslı endüstriyel yağlayıcılarda değerli olan bir erusik asit kaynağı olarak yetiştirilir. Anti-nutrisyonel (besleyici olmayan) bileşiklerin çıkarılmasından sonra, kolza tohumu yağı, doymamış yağ asitleri çok yüksek bir ürün haline gelmektedir ve böylece diyetlerde sağlıklı olan yüksek kaliteli bir gıda yağı olarak kabul edilmiştir. Son petrol fiyatlarındaki artışlar, kolza tohumundan elde edilen yağın B100 üretimi için olan ilgiyi büyük ölçüde artırmıştır (Ehrensing, 2008).

Aspir, ayçiçeği ile aynı bileşik aileden bir bitkidir. Her aspir tohumu ağırlığının yarısını diğer yağlardan daha fazla linoleik asit (%80'e kadar) bulunduran yağ içerir (Keith, 1988). Aspir tohumlarından hidrolik presleme veya solvent ekstraksiyonu ile elde edilen yağ, bazı otoriteler tarafından en doğal besleyici bitkisel yağ olarak kabul edilmektedir (Considine, 2012).

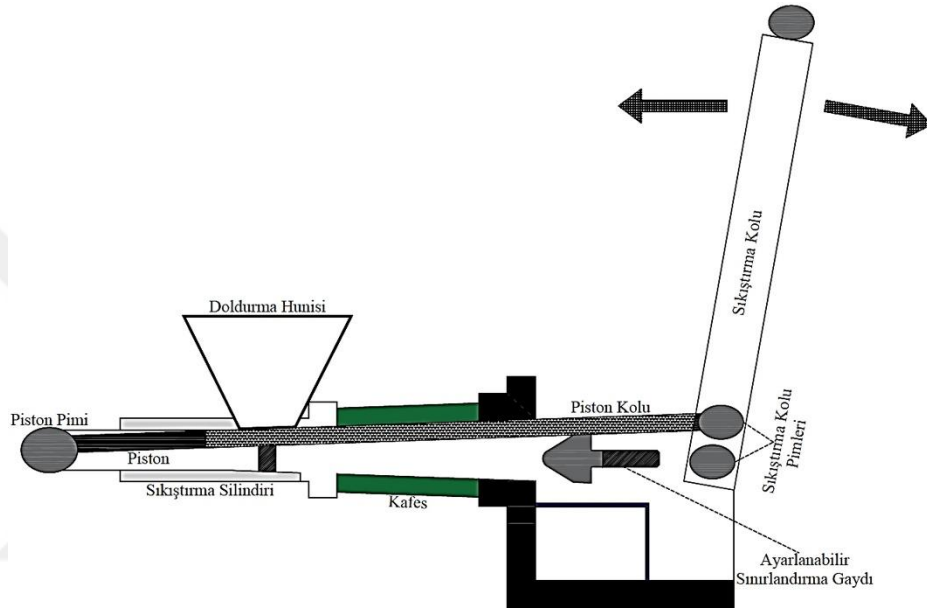
Bu işlemlerin olası varyasyonları ve hatta kombinasyonları ile yağın ekstraksiyonu için kullanılan üç ana yöntem vardır; kesikli hidrolik presleme, mekanik sürekli presleme (ekspeller) ve solvent ekstraksiyonu şeklindedir (Martins, 2010). Bu yöntemlere ek olarak son yıllarda, süperkritik akışkan ekstraksiyonu yönteminde bitki tohumlarından yağ elde etmek için kullanılan yöntemlerdendir.

1.7.3.1. Mekanik ekstraksiyon

Yağ çıkarmanın en geleneksel yöntemi, mekanik preslerin/mechanik sürekli presleme (ekspeller) kullanılmasıdır. Mekanik ifade, uygulanan basınç altında (kesikli çalışan hidrolik presler, sürekli vidalı presler veya döner presler) bünyesinde yağ bulunan tohumlardan yağın zorla çıkarılması işlemlerinin tamamıdır.

1.7.3.1.1. Şahmerdanlı pres

Şahmerdan presi, bünyesinde yağ bulunduran tohumlardan yağların çıkarılması için kullanılır. Şahmerdanlı pres ilk olarak 1985 yılında Karl Bilenberg tarafından tasarlanmıştır. Bir şahmerdanlı presinin tasarımı esas olarak Şekil 1.50’de gösterildiği gibi bir doldurma hunisi, dönme hareketi yapan uzun bir sıkıştırma kolu ve silindirik bir pres kafesinden oluşmaktadır (Head ve ark., 1995).



Şekil 1.50. Şahmerdanlı pres

Sıkıştırma kolu, pistonu silindirik kafesin içinde ileri - geri doğru hareket ettirir. Pistonun hareketi, tohumların kafese girebileceği pres kafesine besleme hunisinin giriş portunu açar. Pistonun geriye doğru hareketi giriş ağzını kapatır ve tohumlar üzerinde bir basınç oluşturarak yağın tohumlardan dışarı atılmasını sağlar. Kafesin deliklerinden yağ, kafesin altında bulunan metal çubuklara akar ve sıkıştırılmış tohum, kafesin sonunda bulunan boşluktan dışarı itilir. Ayarlanabilir konik sınırlandırma gaydı kullanılması neticesinde boşluk artırılıp – azaltılması ile sistemin basıncı ayarlanabilir. Şahmerdanlı preste küçük ölçekli mekanik sürekli presleme ile eşit bir basınç elde edilebilir. Yaklaşık 4kg/saat işleme kapasitesine sahiptir. Şahmerdanlı pres, ayçiçeği tohumlarının yağının alınması için özel olarak tasarlanmıştır. Günümüzde yerkıstığı, hindistan cevizi ve susamdan yağ çıkarmak içinde şahmerdanlı pres kullanılmaktadır. Şahmerdanlı preslerin ekstraksiyon verimliliği %57-62 arasında değişmektedir (Otto, 1992). Hint fıstığı bünyesinde bulunan, yağın %65'i şahmerdanlı pres aracılığı ile çıkarılabilir. Şahmerdanlı

pres büyük ölçekli yağı çıkarma için verimsiz olsa da kırsal alanlarda hala petrol enerji kaynağı yerine kullanılacak olan biyodizelin üretilmesi için kullanılacak yağın elde edilmesinde kullanılmaktadır (de Jongh ve Nielsen, 2011). Şahmerdanlı presin kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- i) Minimum operasyonel beceri gerektirir,
- ii) Düşük maliyetli bakım ve onarıma ihtiyaç duyar,
- iii) Düşük maliyetli ekipmanlara sahiptir,
- iv) Kırsal alanlarda basit ve uygun maliyetlidir (Uziak ve Loukanov, 2007).

Solvent ekstraksiyon yönteminin neden olduğu bazı dezavantajlardan dolayı bitkisel yağ üreticilerinin çoğu vidalı presleri veya hidrolik presleri kullanarak mekanik ekstraksiyonu kullanmayı tercih etmektedirler. Bu ekipmanlar arasında, küçük ölçekli işletmelerde hidrolik pres kullanımı başlangıç ve bakım maliyetlerinden dolayı yaygındır. Hidrolik presler farklı versiyonlarda ve tasarım şekillerinde mevcut olmasına rağmen yağ ekstraksiyon verimlilikleri nadiren %70'i aşmaktadır (Owolarafe ve ark., 2007).

Hidrolik ekspresyon, yanal olarak delinmiş silindirik bir kafeste bulunan yağlı malzemeye (tohumlara) basınç uygulanması neticesinde yağ ekstraksiyonu gerçekleşir. Bu yöntemde, eksenel bir sıkıştırma ve radyal bir yağ akışı meydana gelir. Yağ ekstraksiyonu verimliliği bakımından, geleneksel çözücü ekstraksiyon yöntemiyle elde edilenin çok altında yağ elde edilmekte olup, tohumların nem içeriği, sıcaklığı gibi başlangıç koşullarından ve presin tasarım eksenine gibi konstrüksiyon yönlerinden doğrudan etkilenmektedir (Pighinelli ve Gambetta, 2012).

1.7.3.1.2. Köprü tipi yağ çıkarma presi

Bir köprü tipi presin tasarımında, vidalı bir milin altına yerleştirilmiş pres plakası bulunmaktadır. Kafesin köprüsünde bulunan somun içerisinde aşağı – yukarı hareket eden bir vidalı mil bulunmaktadır. Şekil 1.51’de Autocad programında tasarlanmış köprü tipi yağ çıkarma presinin izometrik görünüşü verilmiştir.



Şekil 1.51. Köprü tip yağ çıkarma presi

Köprü tip yağ çıkarma presinde basınç gelişimi kafes çapına bağlıdır. Başlangıçta, düşük basınçlar altında palmiye meyvelerinden yağı çıkarmaya uygun 24 cm çapında kafes ile bu pres tasarlanmıştır. Basınçlardaki esneklik nedeniyle, köprü presi çok çeşitli tohumlardan yağ çıkarmak için kullanılmıştır. Kafesin çapının ve ayrıca baskı plakasının küçültülmesiyle daha yüksek basınçlar elde edilebilir. Kafes çapındaki küçülme, birim alan başına düşen yükleme kapasitesinin artmasına yol açar. Genellikle kafes, ortalama 20 kg kapasiteli 5-30 kg yağlı malzemeyi barındırabilir. Çalışma sırasında, kafes bir yığın yağlı tohum ile yüklenir. Pistonun hareketi ile malzeme üzerinde basınç oluşur ve kafesin deliklerinden yağ dışarı atılır. Yağlı tohumlar üzerindeki sabit basıncı korumak için kafes içinde katman plakaları kullanılabilir. Basınç, malzemedan ilk yağ damlayana kadar yavaşça artırılmalıdır. Laboratuvar deneyleri, köprü presinin susamdan yağ çıkarmak için en uygun pres tipi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Denemelerde, nem içeriğinin de yağ elde etme verimliliğini etkilediği rapor edilmiştir. Deneylerde, susam ezilerek hamur haline getirilmiş, önceden 50 °C'ye ısıtılmış ve %12.7 nem içeriğinde %70'in üzerinde bir verim elde edildiği bildirilmiştir (Head ve ark., 1995).

1.7.3.1.3. Hidrolik tip yağ çıkarma presi

Hidrolik tip yağ çıkarma preslerinin elektrikle çalışanı ve elle tahrik edilenleri mevcuttur. olarak mevcuttur. Şekil 1.52’de Autocad programında tasarlanmış elle tahrik edilen hidrolik tip yağ çıkarma presinin izometrik görünüşü verilmiştir.



Şekil 1.52. Elle tahrik edilen hidrolik tip yağ çıkarma pres

Elle tahrik edilen hidrolik tip presin tasarımı baskı plakası, pres kafesi ve pres gövdesine bağlanan bir hidrolik krikodan oluşur. Pres kafesi, yağ çıkarılacak tohumların beslendiği delinmiş çelik borudan yapılmıştır. Delikli kafesin altında, deliklerden çıkan yağın toplandığı hazne ve bu hazneden yağın konteynere boşaltılması için delikli bir boruya sahiptir. Hidrolik krikodaki yüke bağlı olarak malzeme üzerinde basınç oluşur ve yağ dışarı atılır. Tipik elle çalıştırılan hidrolik kriko, 10-15 ton yük taşıyabilir.

Dünyanın birçok yerinde tohumlardan veya yağlı dokulardan yağ çıkarmanın en ekonomik ve pratik yolu olarak hala hidrolik pres kullanılmaktadır. Hidrolik preste yağ ekstraksiyonu, öğütülmüş tohum tozu veya ıslak dokular pres bezi ile sandviç katmanlar halinde dizilecek şekilde gerçekleştirilir. Başlangıçta düşük bir basınç uygulanır ve çıkarılan malzemenin yağ içeriğinin azalmasıyla basınç arttırılır. Hidrolik preste 700-800 kg/m² gibi yüksek bir basınç elde edilebilir. Pres kafesinin yüklenmesinden yağ tahliyesine kadar 1.5-2 saatlik bir süre gerekiyor olmasına rağmen pres kafesinin yükleme kapasitesi, boyutuna ve çalışma moduna (motorlu veya el tahrikli) olmasına bağlı olarak

bu sürede değişiklikler olabilir (Bhargavi ve ark., 2018). Hidrolik preste tohum yağı çıkarma işlemi üç aşamada gerçekleşir;

- i) Yağı çıkarılacak olan materyalin üzerine basınç uygulanarak, kritik bir noktada tohum, temas noktalarında baskıya maruz kalır ve tohumun yağının dışarı atılması,
- ii) Dinamik aşama olarak da adlandırılan ikinci aşamada yağ akışı maksimuma ulaşır,
- iii) Son aşama, yağ konteynerinin filtre edilen yağ ile dolması (Pighinelli ve Gambetta, 2012).

1.7.3.1.4. Ghani yağ ekstraksiyon yöntemi

Ghani, Hindistan Yarımadası'nda yer fıstığı, hardal, susam ve hindistan cevizinden yağ çıkarmak için yaygın olarak kullanılan geleneksel bir motor ve havaneli yağ çıkarma cihazıdır. Ghanideki yağ çıkarma özelliği, diğer mekanik cihazlardan farklı olarak, yağlı tohumun ilk önce ince toz haline getirilmesi ve ardından yağ ekstraksiyonun yapılmasıdır. Yağlı tohumlar ve tohumlardan ekstrakte edilen yağ, taş veya ahşaptan yapılmış dairesel bir harcın tam merkezindeki kepçeli dairesel bir çukurda tutulur. Ghaniler ilk yapıldığına, havaneleri tahrik ederek dönmesini sağlayan manivelaya bir hayvan tarafından kuvvet uygulanırdı. Hayvanın taş veya ahşaptan yapılmış dairesel harcın etrafındaki hareketi, tohumun havan içinde havan tokmağı ile öğütülmesine neden olmaktadır. Öğütülmüş tohuma belirli bir miktar su eklenir, bu da havan içerisindeki yoğurma etkisi ile yağın tohumdan ekstraksiyonunu hızlandırmaktadır. Ekstrakte edilen yağ harcın dibindeki yarıktan sızar. Bünyesinde yağ bulunduran tohumdan çıkan yağ miktarına bağlı olarak küspe çıkarılır ve harcın içerisine ekstrakte edilmemiş taze tohum yüklenir. Hayvanlar tarafından tahrik edilen ghaniler 10 kg tohum/2 saat kapasiteye sahiptirler. Hayvanlar 3-4 saat sürekli çalışmaktan yoruldukları için elektrik motorlu ghaniler (güçlü ghaniler), hayvan güdümlü ghanilere kıyasla daha verimlidirler. Motorlu ghanilerin olağan verimi günde yaklaşık olarak 100 kg tohumdur. Tohumlardan yağ ekstrakte etmek için ghanilerin kullanılması, maliyetli ekipman gerektirmediği için en önemli avantajlarından biridir. Bu avantajına ek olarak, tohumların ön işleme tabi tutulmaması ekstrakte edilen yağın kalitesinin yüksek olmasının sebeplerindendir. Şekil

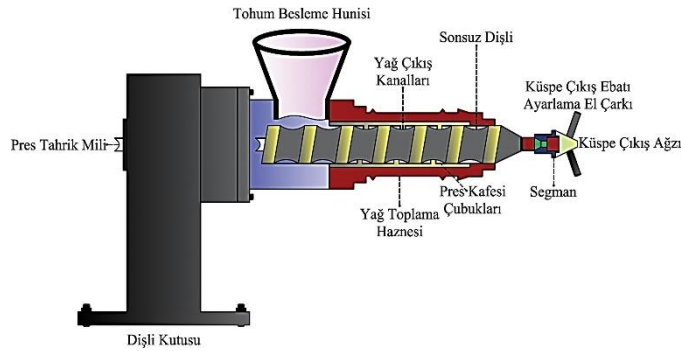
1.53'te, bir hayvan ve elektrik motoru tarafından yağ ekstrakte etmek için kullanılan ghani sistemler görülmektedir (Head ve ark., 1995).



Şekil 1.53. Bir hayvan ve elektrik motoru tarafından tahrik edilen ghani sistemleri

1.7.3.1.5. Sürekli Vidalı Presler veya Ekspeller

Ekspeller'ler dünya çapında uygulamalar bulmuştur ve ticari olarak en yaygın mekanik yağ çıkarma ekipmanları olarak kullanılmaktadır. Bunlar yaygın olarak pamuk tohumları, keten tohumları, hurma çekirdekleri, yer fıstığı ve diğer tohumların çoğundan sürekli çalışma için uygunluklarına bağlı olarak yağın çıkarılması için kullanılır. Şekil 1.54'te bir sürekli vidalı presin tasarımı gösterilmektedir (Khan ve Hanna, 1983).



Şekil 1.54. Sürekli (ekspeller) vidalı yağ çıkarma presi

Sürekli vidalı yağ çıkarma presinin en önemli kısmı dönen bir vidayı barındıran yatay bir şafttan oluşur. Sonsuz vida, çelik çubukların oluşturduğu kapalı bir kafesin içinde döner. Yağlı tohumlar, tohum besleme hunisinden kafese yönlendiren hazneye sürekli olarak beslenir. Boşaltma ucunda bulunan hareketli bir koni, halka şeklindeki boşluğun genişliğini ayarlayarak basıncı korur. Ara parçalar, basınç artışı ile yağın geçişine izin verir. Vidanın diğer ucuna yerleştirilen el çarkı, presin tıkanmasını önlemek için küspe çıkış boyutunu ayarlamak için kullanılır. Küspe çıkış ağzının ebatı ve eksen

dönüşü, ekstraksiyon için kullanılan tohum tipine göre ayarlanmalıdır (Pighinelli ve Gambetta, 2012). Vidalı presler, sonsuz vida dişlilerin bünyesinde yağ bulunduran tohumları pres kafesinden geçirmeye zorlayarak tohumların kapladığı hacmin azalmasına neden olması prensibi ile çalışır. Hacimdeki daha fazla azalma, tohum küspesinin sıkışmasına ve yağın dışarı çıkmasına neden olur. Yağ, pres kafesi üzerine ızgara şeklinde dizilmiş pres kafesi çubuklarını geçerek yağ çıkış kanallarından yağ toplama haznesi içine akar ve pres kafesine sıkıştırılmış tohumlar uç kısımda bulunan ve çıkış çapı ayarlanabilir dairesel delikler aracılığıyla dışarı atılır (Akinoso ve ark., 2009). Sürekli vidalı presin yağ ekstraksiyon verimliliği, pres kafesinden yağ toplama haznesine biriken yağ miktarı ile belirlenir. Bu verimlilik büyük ölçüde dönen milin basıncına ve hızına bağlıdır. Yüksek basınçta çalıştırma, pres kafesinde sıkıştırılmış olan tohum küspesinde %10'dan daha az yağ bırakır bu da daha fazla ham yağ elde edilmesine neden olur. Diğer taraftan, milin dönme hızındaki azalma, yağ elde edilme verimini düşürebilir, pres kafesinde sıkıştırılmış olan tohumda ekstrakte edilmemiş yağ miktarını artırır, yani yağ elde edilme verimliliğinin düşmesinin yanı sıra ekstrakte edilen yağdaki katı partikül miktarını arttırır (Jariene ve ark., 2008). Ekspeller pres, hidrolik presten daha fazla basınç uygulayabilir. Arttırılmış basınçlara ulaşma yeteneği, bir presin yağ çıkarma verimliliğini arttıracaktır. Hidrolik presteki tohum küspesi %4-6 artık yağ içerirken, bir expeller tohum küspesi sadece %3-4 oranında ekstrakte edilememiş yağ içerir. Geleneksel olmasına rağmen, expellerler şimdiye kadar yağ ekspresyon tesislerinde hayati bir rol oynamaktadır. Expeller ile ilgili dezavantaj, daha yüksek verim elde etmek için daha uzun çalışma süresine ihtiyaç duymasıdır. Sürekli vidalı presler ile ayrıca solvent ekstraksiyonu ile birlikte kullanılması tartışılmaktadır (Bhargavi ve ark., 2018).

Mekanik yöntemler, bünyesinde yağ bulunduran tohumlar için yağ ekstraksiyonu için en geleneksel yöntemlerdendir. Kimyasalların kullanımından kaçınılması, yüksek kaliteli ve anında tüketilebilir ham yağ üretimi, mekanik ekstraksiyon modlarıyla ilişkili ana avantajların başında gelmektedir. Ek olarak, mekanik ekstraksiyon, diğer yöntemlere kıyasla maliyeti düşük ekipman, düşük güç sarfıyatı ve ayrıca manuel hareket kabiliyetleri içerir. Bununla birlikte, verimler göz önüne alındığında, mekanik yöntem, küspelerde kalan yağ miktarı ve ekstrakte edilen yağın yüksek yağ içeriği sınırlamaları ile karşı karşıyadır. Bu dezavantajlar, ekstraksiyonu mekanik sistemlerle kârsız hale getirmektedir (Pighinelli ve Gambetta, 2012).

1.7.3.2. Kimyasal ekstraksiyon

Kimyasal ekstraksiyon yöntemleri çoğunlukla organik çözücüler ile gerçekleştirilir. Bu nedenle, kimyasal ekstraksiyon aynı zamanda solvent ekstraksiyonu olarak da adlandırılır. Solvent ekstraksiyonu, sıvı ve katı yağların (lipidlerin) ayrılması için çoğunlukla yaygın olarak kullanılan ticari bir yöntemdir. Ultrason dalgalarının ve mikrodalgaların etkisi mekanik olsa da, solvent ekstraksiyonu altında ultrasonik destekli ekstraksiyon ve mikrodalga destekli ekstraksiyonlara değinilmesinin nedeni çoğunlukla bu teknikler solventlerin kullanımı ile birlikte gerçekleştirilmektedir (Bhargavi ve ark., 2018).

Yağlı tohumlardan mekanik yöntemler kullanılarak yüksek verim elde edilmesi amaçlanıyorsa, yağ kaynağının düşük nem içeriğine kadar kurutulması veya yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması gerekir, ancak bu işlemlere tabi tutulan yağlı tohumlardan çıkarılan yağ kararmaktadır. Öte yandan, çoğu expeller veya presler tarafından ekstraksiyon sırasında, yem veya insan besin gıdası olarak kullanılabilecek materyaller yüksek sıcaklıklara maruz bırakılırsa amaca uygun hale gelmeyecektir. Ek olarak, mekanik ekstraksiyon yöntemi düşük verimliliğe sahiptir ve tohum küspesinde yüksek yağ içeriği bırakır. Soya fasulyesi gibi düşük yağ içeren tohumlardan tam yağ ekstraksiyonu için mekanik yöntemler uygun değildir. Mekanik yöntemlerle ilgili dezavantajların üstesinden gelmek için solvent yöntemleri geliştirilmiştir. Hatta mekanik ekstraksiyondan sonra tohumların küspesinde kalan yağı çıkarmak için solvent ekstraksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır (Kessler ve ark., 1985). Solvent ekstraksiyonu, bir solvent kullanarak katı veya sıvılardan belirli veya istenen bileşenlerin izolasyonudur. Çözücü ekstraksiyonlarının farklı türleri vardır, en yaygın olanı sıvı-sıvı ve katı-sıvı ekstraksiyonlarıdır (Bhargavi ve ark., 2018). Ekstraktanın kimyasal özellikleri ve analiti, ekstraksiyon olayını etkiler. Temel olarak, çözünürlük, hidrofobiklik veya hidrofiliklik, buhar basıncı, molekül ağırlığı ve asit ayrışması, ekstraksiyon için çözücü seçimine karar veren bir analitin temel özellikleridir (Wells, 2003). Parçacık boyutu (azaltılmış parçacık boyutu iki faz arasındaki bariyeri sınırlar), karıştırma hızı ve ekstraksiyon sıcaklığı çözücü ekstraksiyonunun verimliliğini etkiler (Bhargavi ve ark., 2018).

1.7.3.2.1. Folch Metodu

Tek olarak kullanılan organik çözücüler veya organik çözücülerin kombinasyonları, bir organik bileşik karışımından belirli bir lipid sınıfını ekstrakte etmek için kullanılır. Folch ve firması, hayvan dokusundan kloroform ve CH_3OH (2:1 hacim bazında) kullanılarak bir solvent lipid ekstraksiyon yöntemi geliştirmiştir. Folch ve arkadaşlarının yönteminin uygulanma prosedürü şu şekildedir; başlangıçta hücreler (çoğunlukla dokular) homojenize edilir ve %25'lik tuz çözeltisi hacmi ile dengelenir, ardından sıkı bir karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Meydana gelen karışım, faz oluşturur, üst fazda lipidlerin bulunduğu birbirinden farklı iki katman oluşur. Folch ve diğer arkadaşlarının geliştirmiş olduğu bu yöntem, lipid ekstraksiyonu için en eski yöntemlerden olup, mevcut gelişmiş solvent ekstraksiyon yöntemlerinin geliştirilmesinin temelini oluşturmuştur. Yöntem hızlı ve kolay olmasına rağmen diğer ekstraksiyon yöntemleri ile kıyaslandığında ekstraksiyon verimliliği oldukça düşüktür (Folch ve ark., 1957).

1.7.3.2.2. Bligh ve Dyer yöntemi

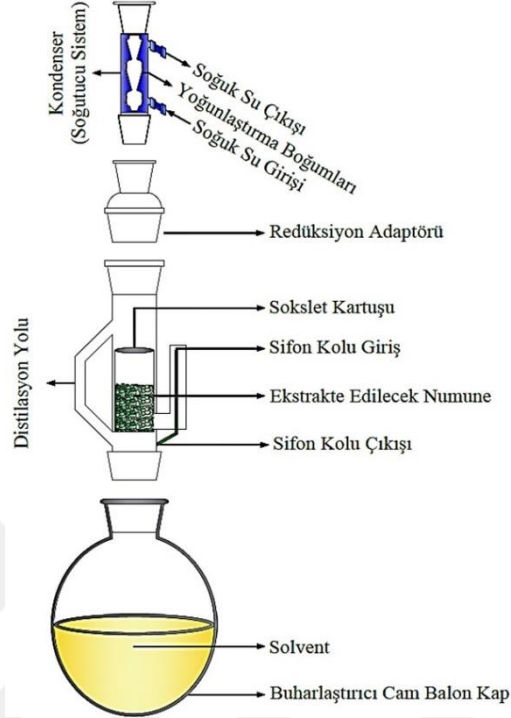
Lipidlerin ekstraksiyonu için yaygın olarak kabul edilen bir yöntemdir ve yağ ekstraksiyon şekli, Folch ve arkadaşlarının yöntemine benzerdir. Folch ve Dyer yöntemleri arasındaki temel fark, çözücü/çözücü ve çözücü/doku oranları arasındaki farktır. Bligh ve Dyer yöntemi, lipidlerin eşzamanlı ekstraksiyonunu ve fazların birbirinden ayrılmasını içerir. Ek olarak, proteinler iki sıvı faz arasında çökeltilmiş bir tabaka oluşturur. Prosedür 1:2 (v/v) içinde kloroform ve CH_3OH kullanımını içerir ve son olarak lipidler kloroform fazından daha fazla ayrılabilir. Bu yöntem en yaygın olarak üçüncü nesil biyoyakıt kaynaklarından (alglerden) lipidlerin veya yağların çıkarılması için kullanılmaktadır (Bligh ve Dyer, 1959). Bu yöntemin etkinliğini artırmak için, araştırmacılar suya alternatif olarak bir molar NaCl kullanımını benimsemişlerdir. NaCl kullanımı asidik lipidlerin denatüre (özellikliğini yitirmiş) lipidlere bağlanmasını önler. Daha sonra 0.2 M fosforik asit ve HCl ilavesinin lipidlerin ayrılma süresini asgari seviyeye indirmediği rapor edilmiştir (Ranjith Kumar ve ark., 2015).

1.7.3.2.3. Sokslet Ekstraksiyonu

Sokslet ekstraksiyonu, çok çeşitli uçucu bileşiklerin katı numunelerden yağların ekstrakte edilmesi için günümüzde de halen kullanılmakta olan en geleneksel metodolojilerden biridir. 19. yüzyılın ortalarında, Baron Von Soxhlet bu yöntemi tanıtmış olduğundan dolayı yöntemin adını almıştır. Sokslet ekstraksiyonu popüler bir yöntem olup, mevcut birkaç modern ekstraksiyon tekniği için referans olarak kabul edilmektedir (Bhargavi ve ark., 2018). Şekil 1.55'te temel olarak küresel tabanlı bir cam hazne, bir kartuş tutucu ve bir yoğunlaştırıcıdan oluşan tipik bir Sokslet aparatını göstermektedir. Sokslet ekstraksiyonun nasıl gerçekleştiğini maddeler halinde şu şekilde sıralayabiliriz;

- i) Cam balon kap ısıtılınca içerisinde bulunan solvent buharlaşmaya başlar,
- ii) Balon camı terk eden solvent buharları, damıtma tüpü aracılığı ile kondensere gider,
- iii) Kondenser çözücünün buharlarını yoğunlaştırır ve bu yoğunlaştırılmış buharlar sokslet kartuşu üstüne düşer,
- iv) Ekstrakte edilecek numunemizi kartuşun içine koyduktan sonra numunemizin dökülmesini önlemek için üstüne biraz pamuk koyulur,
- v) Kondenserde yoğunlaşan buharlar kartuşun içine damladığında ekstrakte edilecek numune solvent ile ıslanır, böylelikle ekstrakte edilecek ürünler solvent ile birlikte tutulur,
- vi) Sifon, kartuş ile cam balonu birbirine bağlar. Çözünen yağ + çözücü karışımı kartuş ve sifonu doldurmaya başlar. Dolan sifon yer çekimi kuvveti etkisi ile cam balon kap içerisine akmaya başlar,
- vii) Sifon doğrudan cam balona bağlı olduğundan çözünen yağ + çözücü karışımı taşıkça cam balona düşmeye başladığı an, ekstrakte edilecek numuneden ilk ekstraksiyon döngüsü başlamış olur. Bu döngüyü istediğimiz sayıda tutabiliriz.
- viii) Sokslet ekstraksiyon işleminde en önemli husus her döngüde solventi değiştirmememizdir. Solvent buharlaştıkça ekstrakte edilen bileşenler (yağ vb.) buharlaşmaz.
- ix) Kaynama noktaları farkından kaynaklanan bu durum sayesinde her döngüde %100 saf solvent buharları elde etmiş oluyoruz.

- x) Numuneden yeterince bileşenleri ekstrakte ettiğimizi düşündüğümüzde ısı kaynağını kapattığımızda döngüyü durdurmuş oluruz. Döngüyü durdurduktan sonra artık elimizde çözücü + çözünen bileşenlerin çözeltisi mevcuttur.



Şekil 1.55. Sokslet ekstraksiyon aparatı kurulumu

Ekstraksiyon solventleri, tek tek veya solvent karışımları olarak kullanılabilir; hekzan (C_6H_{14}) + C_2H_5OH (Ali ve Watson, 2014), kloroform+ CH_3OH veya C_6H_{14} + CH_3OH (Balasubramanian ve ark., 2013), terpen solventleri, C_3H_7OH +kloroform+toluen (Tanzi ve ark., 2012). En yaygın olarak C_6H_{14} , yağ ekstraksiyonu için kullanılır, küresel şekilli hazneye eklenir ve hazne çözücünün buharlaşması için yavaşça çözücünün kaynama noktasına kadar ısıtılır (Kou ve Mitra, 2003; L. Wang ve Weller, 2006).

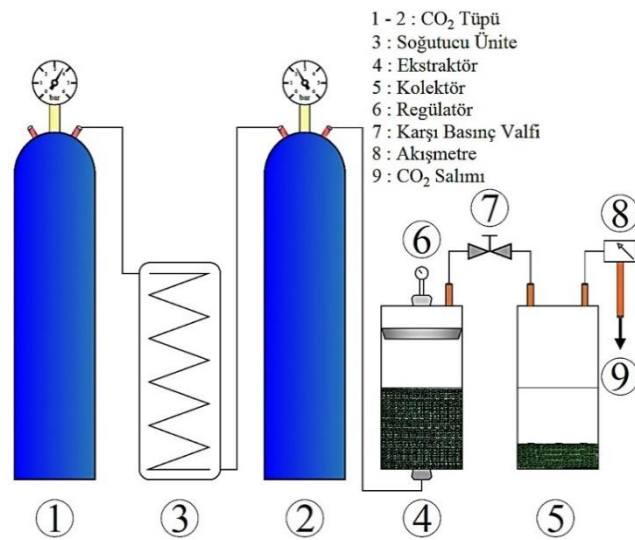
1.7.3.2.4. Süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE)

Genel olarak, çözücü ekstraksiyonları (Sokslet), ekstraksiyon işlemi için daha uzun sürelere ihtiyaç duyulması, çok miktarda çözücü gereksinimi ve C_6H_{14} 'ın yağdan tam olarak uzaklaştırılamamasından dolayı ekstraksiyon işlemi için alternatif yenilikçi teknolojiler bulmak zorunlu hale gelmiştir (Maran ve Priya, 2015). İlk olarak 1980'lerde SFE, lipidlerin ekstraksiyonu için laboratuvar yöntemi ve organik çözücülerin

kullanımına alternatif olarak geliştirilmiştir. Daha sonra, endüstriyel ölçekte bir teknik olarak geliştirilip, olağan doğrudan solvent ekstraksiyon yöntemlerinin yerini almıştır. CO₂, propan, toluen, etan ve su gibi gazlar, süperkritik koşullarda SFE'de çözücü olarak kullanılmıştır. Süperkritik koşullardaki bir gaz, sıvı olarak yoğunluk ve çözünürlük gibi özelliklere sahipken, viskozite, difüzyon ve yüzey gerilimleri bir gazinkine benzer özelliklere sahiptir. Özelliklerdeki bu değişiklikler, normal çözücülere göre seçiciliği, akış hızlarını ve kütle transferini iyileştirir. Ek olarak, bu gazların SFE'de solvent olarak kullanılması, ekstraksiyonu geleneksel solvent ekstraksiyonlarına kıyasla daha verimli ve çevreye zararsız hale getirir (Rudzinski ve Aminabhavi, 2000).

CO₂, kabul edilebilir kritik koşulları (304 °K sıcaklık ve 73atm basınç), düşük maliyeti, tutuşmama özelliği ve toksik olmaması nedeniyle SFE'de en yaygın olarak kullanılan yağ/lipit özütleme çözücüsüdür (Clifford, 1998). Sıvı ve katı yağların ekstraksiyonu için süper kritik CO₂'nin özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- i) Polar olmayan bileşiklerin yüksek çözünürlüğü,
- ii) Düşük moleküler ağırlıklı bileşenlerin yüksek çözünürlüğü,
- iii) Oksijen içeren organik maddelere karşı yüksek çekim kuvveti,
- iv) <100°C'de suyun daha az çözünürlüğü,
- v) Proteinlere, polisakkaritlere karşı daha az yatkınlık ve diğer tuzlar ile ilgili bileşik, sıcaklık ve basınç ayarlanarak ekstrakte edilebilir (Sahena ve ark., 2009). Şekil 1.56'da Süperkritik CO₂ düzeneği şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.56. Süperkritik CO₂ sıvı ekstraksiyonunun şematik gösterimi

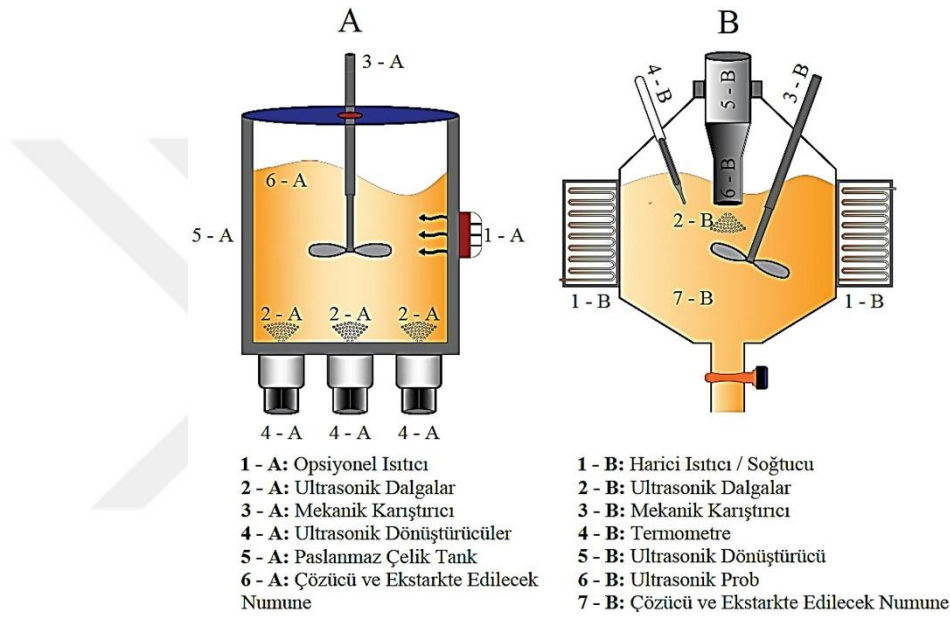
Ekstraksiyon için, ekstraksiyon odası, öğütülmüş yağlı malzeme ile doldurulmaktadır. Diyaframlı kompresör CO₂'nin basıncını korur ve bağlantı pompaları aracılığıyla yağ çıkarıcıya verilir. Ekstraksiyon odasının sıcaklığı, ısıtma ceket ve termostat aracılığı ile sabit tutulur. Basınç valfi, basıncı düzenlemeye yardımcı olur. Süperkritik CO₂, ekstraksiyon odasındaki malzeme ile etkileşime girer ve ekstraktlar toplayıcıda toplanır. Basıncın düşürülmesi CO₂'yi hafifletir, ekstraktları toplayıcıda bırakır ve CO₂ daha fazla ekstraksiyon için dolaştırılır (Pradhan ve ark., 2011).

SFE'nin çalışma prensibi, süperkritik koşullarındaki bir çözücü, yağlı numuneyle etkileşime girdiğinde, yağın çözücünde çözünmesinin meydana gelmesidir. Çözünür yağ, basınç düşürülerek süper kritik akışkandan ayrılabilir. Sıcaklık, basınç ve ekstraksiyon süresi gibi faktörler, ekstraksiyon verimini ve ayrıca yağın saflığını etkilemektedir. Toplam lipidler göz önüne alındığında, hemen hemen tüm lipidler süperkritik sıvı içinde çözünür ancak çözünen lipidleri çözücünden ayırmak oldukça zor bir işlemdir. Çözünür lipidlerin süperkritik CO₂'ten ayrılmasını arttırmak için genellikle silika, celit ve sentetik reçineler gibi adsorbanlar kullanılır (Sahena ve ark., 2009). Süper kritik CO₂ ekstraksiyonu diğer solvent ekstraksiyonlarından daha verimli olmasına ve kaliteli yağ elde edilmesine rağmen, bu teknik hala emekleme aşamasındadır ve yağların ekstraksiyonu için geniş ticari uygulamalar bulamamıştır. Yüksek ekipman ve işletme maliyetleri, tekniğin ticarileşmemesinin başlıca nedenleridir. Proses parametrelerini optimize etmek ve proses maliyetinin düşürülmesi için araştırmalar devam etmektedir (Pighinelli ve Gambetta, 2012).

1.7.3.2.5. Ultrason destekli ekstraksiyon (UAE)

Ultrasonlar çok yüksek frekanslı (20 kHz-100 MHz) ses dalgalarıdır, bu ses dalgaları sıkıştırma ve seyreltme yoluyla yayılırken hareket edebilecekleri bir ortam (yani doku) gerekir. Ultrason destekli ekstraksiyon, kavitasyon kabarcıklarının patlamasıyla oluşturulan yüksek yoğunluklu ultrasonik enerjiyi kullanır. Kabarcıkların çökmesi fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere neden olabilir. Bu enerji, ekstraksiyon çözücüsü yoluyla ham maddenin yüzeyine ulaştığında, 1000-3000 atmosfer basınca eşdeğer mekanik enerjiye dönüştürülür (Virot ve ark., 2010). Yüksek basınç, malzeme parçacıklarını kırar, hücre zarlarını tahrip eder, çözücünün penetrasyonunu iyileştirirken katı ve sıvı yüzler arasındaki temas yüzey alanını artırır, bu da fenoliklerin (bitkilerde doğal olarak bulunan çeşitli kimyasal bileşikler) ekstraksiyon çözücüsüne göreceli olarak

kısa sürede salınmasına neden olur (Virot ve ark., 2010; Chemat ve ark., 2012). UAE, geleneksel ekstraksiyon tekniklerine göre basit, çevre dostu ve verimli bir alternatiftir (Ghafoor ve ark., 2009). Yöntemin ana avantajları, kullanım kolaylığı ve düşük ekipman gereksinimleridir (Virot ve ark., 2010; Chemat ve ark., 2012; Zu ve ark., 2012). Şekil 1.57’de görüldüğü gibi; Ultrasonik cihazlar, çoğunlukla küçük ölçekli ekstraksiyonlar için kullanılan bir ultrasonik banyo veya büyük ölçekli endüstriyel ekstraksiyonlar için ultrasonik bir prob sistemi içerir (Zu ve ark., 2012; Vinatoru ve ark., 1997; Luque de Castro ve Priego-Capote, 2007).



Şekil 1.57. Ultrasonik sistemlerin şematik gösterimi

Geleneksel solvent ekstraksiyon yöntemleri daha uzun ekstraksiyon süresi, toksik solvent kullanımı ve düşük verimlilik sınırlamalarına sahip olduğundan, araştırmalar mekanik dalgaların solvent ekstraksiyon teknikleriyle kombinasyonunun bu olumsuzlukları bertaraf edilebileceğini göstermiştir. Son zamanlarda, ultrasonik tıbbi tentürlerden endüstriyel B100 üretimine kadar ekstraksiyon işlemlerinde kullanılmaya daha fazla önem verilmiştir (Gaete-Garretón ve ark., 2011).

1.7.3.2.6. Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE)

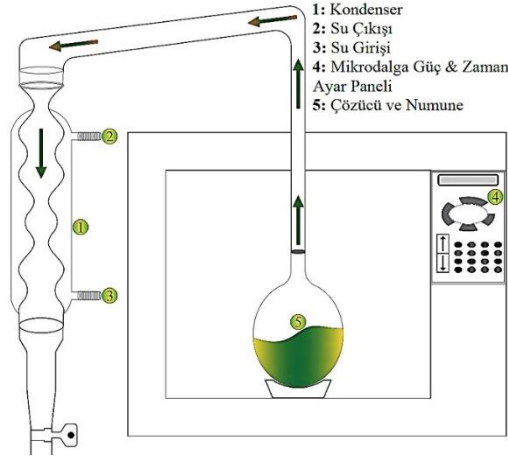
Mikrodalga ekstraksiyon (MAE) işleminin temelleri, geleneksel yöntemlerden (katı-sıvı veya basit ekstraksiyon) farklıdır çünkü ekstraksiyon, elektromanyetik dalgaların neden olduğu hücre yapısındaki değişikliklerin bir sonucu olarak

gerçekleşmektedir. Mikrodalga enerjisi, 300 MHz'den 300 GHz'e kadar üçüncü bir büyüklük ölçeğini kapsayan iyonlaştırıcı olmayan bir radyasyondur (Chemat ve ark., 2009). Mikrodalga kullanarak ısıtma prensibi, malzemenin molekülleri üzerindeki doğrudan etkilerine dayanmaktadır. Elektromanyetik enerji, iyonik iletim ve dipol dönüş mekanizmalarını takiben ısıya dönüştürülmektedir (Jain, 2009). MAE işlemi aşağıdaki üç ardışık adımı içermektedir.

- i) Çözünenlerin artan sıcaklık ve basınç altında numune matrisinin aktif bölgelerinden ayrılması,
- ii) Çözücünün numune matrisi boyunca difüzyonu,
- iii) Çözünenlerin numune matrisinden çözücüye salınması (Alupului ve ark., 2012).

Çalışma koşulları, bu işlemin verimliliğindeki başarı ile ilgili olabilir; bu anlamda, çözücü ekstraksiyonu, ekstraksiyonun sıcaklığı ve zamanı, mikrodalga gücü ve malzemenin fizikokimyasal özellikleri gibi parametreler, hedef bileşiklerin geri kazanımını potansiyel olarak etkileyebileceğinden özel dikkat göstermelidir (Sparr Eskinsson ve Björklund, 2000; Routray ve Orsat 2012).

Mikrodalga bazlı ekstraksiyon, ekstraksiyon numunesine hapsolmuş nemi hedefleme üzerine çalışır. Mikrodalga, numune malzemesinin hücrelerinin içinde sıkışan nemi ısıttığında, nem buharlaşmaya çalışır, böylece şişme yoluyla hücre duvarları üzerinde geniş bir basınç oluşturur. İç basınç hücre duvarını iter, duvarların gerilmesine ve yırtılmasına neden olur ve hücre içi içerikleri çözücüye bırakır. Böylece ekstraksiyon verimini artırır. MAE'nin verimliliği, yüksek ısı yayma kapasitesine sahip çözücüler kullanılarak daha da artırılabilir (V. Mandal ve ark., 2007). MAE'nin verimliliği çözücünün doğasına ve hacmine, ekstraksiyon süresine, mikrodalga gücüne, numune partikül büyüklüğüne, nem içeriğine, ekstraksiyonun sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. MAE, çevre dostu, uygun maliyetli, düşük miktarlarda solvent kullanımı ve daha az ekstraksiyon süresi gibi avantajlara sahiptir. Öte yandan, ekstraksiyon çözücüsü veya analit polar olmayan veya uçucu olduğunda düşük verimlilik sınırlamalarına sahiptir. Ayrıca, teknik yüksek sıcaklıklar içerdiğinden, termo kararsız bileşiklerin ayrışması meydana gelebilir (Mubarak ve ark., 2015). Şekil 1.58'de mikrodalga destekli solvent ekstraksiyon düzeneğinin şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 1.58. Mikrodalga destekli solvent ekstraksiyonunun şematik gösterimi

1.8. İçten Yanmalı Motorlar

İYM'ler, yanma odasında yakıtların yanması neticesinde açığa çıkan ısı enerjisini kullanarak mekanik enerji elde edilen makinelerdir (Safgönül ve ark., 2013). İYM'ler dıştan yanmalı motorlardan farklı olarak enerji; yakıtın motorun yanma odasında yanması veya oksidasyonu sonucu elde edilir. Yanma prosesinden önceki hava-yakıt karışımı ve yanmadan sonra oluşan yanma ürünleri gerçek iş gazlarıdır. Enerji transferi kullanım amacına göre, doğrudan bu iş gazı ve motorun mekanik komponentleri arasında meydana gelmektedir (Heywood, 1988).

Yaklaşık olarak iki yüzyıl önce ısı motorları insanlığın kullanımına sunulmuştur. Isı motorları ilkin kömür gibi yanma ürünleri aracılığıyla su, buhar haline getirilmiştir. Elde edilen su buharı bir piston silindir düzeneğine gönderilerek mekanik iş elde edilmiştir. Bu mekanizma İYM'nin tam anlamda kullanılabilir olduğu 1860'lı yıllara kadar etkili bir şekilde uygulanmıştır. İmal edilen ilk ticari İYM'lar kömür-gaz karışımının atmosferik basınçta yanması ile çalışıyordu. Bu prensibe göre çalışan ve ticari anlamda pazarlanabilir ilk İYM'yi J.J.E Lenoir 1860 yılında geliştirmiştir. Bu İYM'de piston stroğun yarısına kadar hava yakıt karışımını silindirin içine emiyordu. Bir kıvılcım aracılığı ile dolgu silindir içine emilen karışım ateşlenerek yanma başlıyor ve yanmanın etkisi ile yükselen basınçla birlikte stroğun ikinci yarısında piston alt ölü noktaya (AÖN)'ya doğru hareket ettirilerek iş elde ediliyor ve son olarak çevrim bir egzoz süreci ile tamamlanıyordu. Bu prensibe göre çalışan yaklaşık 5000 adet motor 1860 -1865 yılları arasında imal edilmiştir. Lenoir motorunun gücü yaklaşık olarak 6 BG (~4.5 kW)

ve verimi %5 mertebelerindeydi. Bu motordan daha üstün motor olan atmosferik motoru 1867 yılında N. A. Otto ve E. Langen imal etmişlerdir (Heywood, 1988).

Otto ve Langen imal ettikleri motorun düşük olan termal verimini yükseltmek ve ağırlığını azaltmak için emme, ateşlemeden önce sıkıştırma, genişleme (iş) ve egzoz zamanı prensibine göre çalışan dört zamanlı motorun tasarımını gerçekleştirdiler. Yanma sonucunda elde edilen basınç genişleme zamanında krank miline iletilen dört zamanlı motor ilk olarak 1876 yılında çalıştırılmıştır. Çalıştırılan bu motorun verimi yaklaşık %14'dü. Otto'nun yeni motoru İYM endüstrisinde büyük bir buluş olmuştur. 1890 yılına dek Avrupa ve Amerika'da bu motordan 50000 adet satılmıştır. Fakat 1884 yılında, 1862 yılına ait yayınlanmamış bir Fransız patenti tespit edilmiştir. Alphonse Beau De Rochas'a ait olan bu patentte dört zamanlı çevrimin temel ilkeleri genel hatlarıyla tanımlanmıştı. Beau De Rochas'a göre bir İYM'da maksimum verime ulaşmak için aşağıda maddeler halinde sıralanan şartların sağlanması gerekiyordu;

- i) Minimum yüzey alanına sahip maksimum hacimli silindirler kullanılmalı,
- ii) Çok yüksek devir sayılarına çıkılması gereklidir,
- iii) Genişleme zamanı mümkün olduğunca büyük olmalıdır,
- iv) Genişleme zamanı başlangıcında, yani ateşlemeden sonra en yüksek basınç değeri elde edilmelidir.

Beau De Rochas'ın patenti ilk olmasına rağmen fikirleri uygulamaya döken Otto olduğundan, Otto modern dört zamanlı İYM'ları icat eden kişi olarak tarihteki yerini almıştır. Otto'nun başarısından sonra çok hızlı gelişmeler başladı. 1890'lı yıllarda İngiltere ve Almanya'da iki zamanlı motorlar imal edilmiştir ancak motorun verimine doğrudan etki eden sıkıştırma oranının değeri 4 civarında sınırlı kalmıştı. Sıkıştırma oranının kullanılan yakıtlar ile ciddi vuruntu problemleri ortaya çıkardığından sıkıştırma oranının artırılması mümkün olmamıştır (Heywood, 1988). Bu durum düşük verim ve performansa neden olmuştur.

1892 yılında Alman Mühendis Rudolf Diesel yeni bir motorun patentini yayınladı. Patenti yayınlanan bu yeni motorda yanma, sıkıştırma sürecinde ısınan havanın içerisine yakıtın enjekte edilmesi ile gerçekleştiriliyordu. Rudolf Diesel'in bu motorunun verimi mevcut motorların veriminden yaklaşık iki kat daha fazlaydı. Motor vuruntusu olmadan yüksek sıkıştırma oranı ve daha fazla genişleme süresi bu motoru ilgi odağı haline getirmiştir. Ağır ticari taşıtlar ve gemilerde kullanımı başta olmak üzere Rudolf Diesel'in

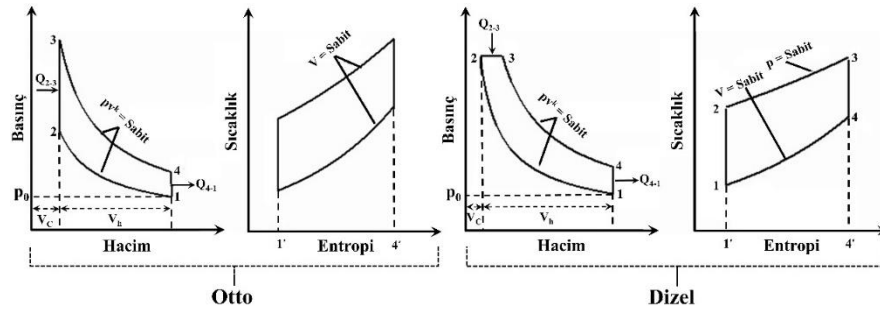
bu motorunun kullanımı 1905 yılından itibaren yaygınlaşmıştır. Otto ve dizel motorundan sonra İYM'ler için son büyük buluş dönel pistonlu motorların geliştirilmesi olmuştur. Bu motorlar üzerine çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen bir başarı elde edilememiştir. Alman araştırmacı Felix Wankel bu motor için temel uygulanabilir bir tasarımı 1957 yılında gerçekleştirmiş olup, wankel motorunun kullanımı, sürtünme ve kaçak kayıplarının fazla olması sebebiyle öteleme hareketi yapan otto ve dizel pistonlu motorlar kadar yaygınlaşmamıştır (Heywood, 1988).

1.8.1. İçten yanmalı motorların çalışma prensibi

Silindir içerisine emilen havanın basınç ve sıcaklığını artırmak sureti ile üzerine püskürtülen yakıtın ateşleme işleminin gerçekleşmesini sağlayan motorlar Diesel (Dizel) motorudur, ateşleme işlemi bir buji ile gerçekleşen motorlar ise Otto (Benzin) motorlarıdır. Günümüzde İYM'lerin geneli Otto ve Dizel çevrim prensiplerine göre çalışırlar. Otto çevrimli motorlarında kullanılan yakıt türü, kimyasal formülü $C_{6,93}H_{14,58}$ olarak genellikle benzin, Dizel motorlarda ise kimyasal formülü $C_{12}H_{23}$ motorin kullanılır. İYM'lerde silindir içerisinde meydana gelen yanma işlemi sonu açığa çıkan ısı enerjisi biyel-krank mekanizmasıyla mekanik enerjiye dönüştürülür. İYM'lerde bir çevrim; emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanlarından meydana gelir (Sürmen ve ark., 2004). Bütün teorik hava standart güç çevrimleri (otto, dizel) için aşağıdaki kabuller yapılır:

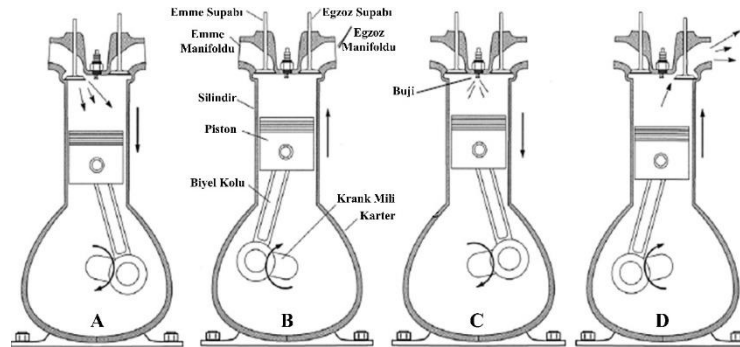
- i) Silindir yükü ideal bir gaz olan hava kabul edilir ve bu ideal gazın ısı kapasitelerinin (c_p ve c_v) sıcaklıktan etkilenmediği kabul edilir,
- ii) Çevrim boyunca kullanılan havanın kütlesi sabit kabul edilir,
- iii) Silindir duvarlarına ve duvarlardan ısı transferi ihmal edilmektedir, yani sıkıştırma ve genişleme zamanlarında çevre ile sistem arasında ısı alışverişi olmayıp izantropiktir (adyabatik),
- iv) Yanma işlemi otto çevriminde sabit hacimde ve dizel çevriminde sabit basınçta gerçekleşen bir ısı ekleme işlemi olarak değerlendirilir,
- v) Çevrimi oluşturan hal değişimlerinin tümü içten tersinirdir (Safgönül ve ark., 2013).

Teorik otto ve dizel çevrimine ait P-V ve T-S diyagramları Şekil 1.59’da gösterildiği gibidir.



Şekil 1.59. Teorik otto ve dizel çevrimi

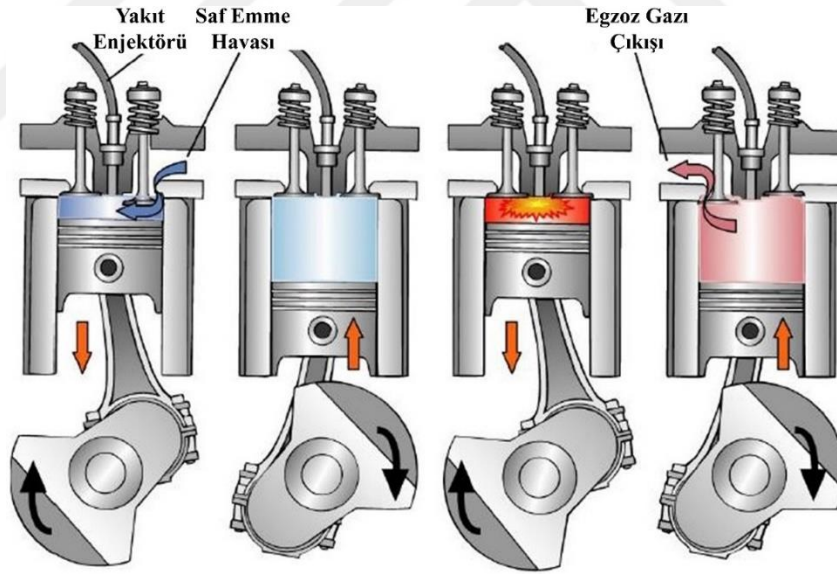
Otto prensibine göre çalışan motor Şekil 1.60’da verildiği gibidir (Suresh ve ark., 2015). Şekil 1.60A’da görüldüğü gibi ilk strok emme strokudur. Bu strokta emme supabı açılır ve silindire yakıt ve hava karışımı girer. Bu strokta egzoz supabı kapalıdır. Motor çalıştırıldığında, piston AÖN’ya doğru hareket ettirilerek silindir içerisinde düşük basınç oluşturularak yakıt ve hava karışımı silindir içerisine girer. Şekil 1.60B’de görüldüğü gibi ikinci strok sıkıştırma strokudur. Bu strokta emme ve egzoz valfleri kapalı konumdadır. Piston üst ölü noktaya (ÜÖN)’ye doğru hareket ederken silindir içerisine emilen hava+yakıt karışımının basıncı artar. Şekil 1.60C’de görüldüğü gibi üçüncü strok güç strokudur. Bu strokta da her iki valf kapalı konumdadır. Basıncı hava yakıt karışımı bujiden çıkan kıvılcımla tutuşur ve ısı enerjisi açığa çıkar. Açığa çıkan bu enerji neticesinde yüksek basınç pistonu AÖN’ya doğru hareket etmeye zorlayarak krank-biyel mekanizması aracılığıyla doğrusal hareket dönme hareketine dönüştürülür. Şekil 1.60D’de görüldüğü gibi son strok egzoz strokudur, burada egzoz valfi açılır ve egzoz ürünleri silindirden dışarı atılır. Egzoz zamanının sonuna yakın yerde emme valfi açılır ve egzoz valfi kapanarak ilk strokun başlangıcı ile çevrim devam eder.



Şekil 1.60. Dört zamanlı buji ateşlemeli motor

Dizel motor, yakıt ve havayı emme strokunda değil motorun içerisinde karıştıran bir sıkıştırma ateşlemeli İYM'dir. Emme strokunda sadece hava silindir içerisine emilerek sıkıştırma stroku sonunda basıncı ve sıcaklığı artarak motorinin silindir içine püskürtülerek tutuşturulmasıyla yüksek sıcaklıkların ve basıncın meydana gelmesine neden olur (Işık, 2016). Yanma odasına sıkıştırılan hava, SAM'ın yanma odasındaki hava-yakıt karışımına kıyasla daha az yer kaplar, dolayısıyla bu motorlarda daha yüksek sıkıştırma oranı elde edilir.

Sıkıştırma ateşlemeli bir motor motorinin kimyasal enerjisinden oluşan bu ısıyı mekanik kuvvete dönüştürülmesinde oldukça başarılıdır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlardaki intercooler (arasoğutucu), turbo dolgulu ya da süper dolgulu olması motor verimliliğini artırmakla beraber insan sağlığına ve atmosfere zarar veren emisyonların ve yanma sonucu meydana gelen gürültülerinde asgari seviyelere indirgenmesini de sağlar (Işık, 2016). Şekil 1.61'de dört stroklu bir SAM'ın çalışması görülmektedir (Suresh ve ark., 2015). Sıkıştırma ateşlemeli motorlar 4 veya 2 zamanlı tasarlanabilmelerine rağmen günümüzdeki araçların genelinde 4 stroklu SAM'lar kullanılmaktadır.



Şekil 1.61. Dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli motor

Sıkıştırma ateşlemeli bir motorda yanma prosesi özetlenecek olursa; Motorin, sıkıştırma zamanının sonlarına doğru, piston ÜÖN'ya varmadan püskürtme avansı değeri öncesinde ($\theta_{inj} = 10-20^\circ$ Krank Mili Açısı - $^\circ$ KMA) bir enjektör vasıtasıyla püskürtülerek silindir içerisine enjekte edilmektedir. Sıvı formdaki motorin çok yüksek hızlarda küçük çaplı orifislerden tek ya da çok sayıda jet olarak püskürtülür. Sıvı formdaki yakıtın yüksek

hız ve mikron mertebelerindeki küçük çaplardan püskürtülmesi yakıtın daha iyi atomize ve pülverize edilmesi neticesinde yanma odasında sıkıştırma stroku sonunda basıncı (3-5 MPa) ve sıcaklığı (850-1200 K) artmış olan havanın her yerine nüfus etmesini sağlar. Sıvı formdaki yakıt yüksek sıcaklık ve basınçta silindir içerisinde buharlaşması neticesinde hava ile karışır. Silindir içi basınç ve sıcaklık yakıtın kendi kendine tutuşma noktasına ulaştığı bölgede gecikme ile tutuşma gerçekleşir ve yanmış gazların silindir içerisinde yayılması ile silindir içi basınç (direkt püskürtmeli motorlarda = 7-10 MPa) ve sıcaklık (1700-2100 K) yüksek mertebelere ulaşır. Yakıtın ilk tutuşan kısmı, diğer yanmamış olan hava-yakıt karışımının TG süresinin kısalmasını sağlar ve püskürtme ilgili silindirin içerisine yakıtın püskürtülmesine kadar devam eder. Yanma genişleme (iş) sürecinde de devam etmektedir (Koca, 2013).

Pratik dizel çevriminde verimi olumsuz etkileyen bazı faktörler şu şekildedir; emme stroğunda silindir içerisine dış ortamdan hava alınması gerekmektedir. Hava silindirlere alınırken pompalama kayıpları, motor devir sayısı, emme supablarının açık kalma süresi ve bu supabların açıklık miktarından, emme supabının kapanma zamanından, silindirde kalan egzoz gazlarının miktarı etkilenmekte ve hiçbir zaman silindir içerisine tam olarak taze hava doldurulamamaktadır.

Dizel çevriminde silindir içerisine alınan havanın sıkıştırılması sırasında silindir duvarları ve cidarlarından ısı kayıpları meydana gelmektedir. Sıkıştırma stroku sonunda ısı kayıpları, basınç ve sıcaklığın teorik çevrime göre çok daha düşük kalmasına neden olur. Pratik çevrimde, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artan havaya enjektörle yakıt atomize ve pülverize şekilde püskürtülür, püskürtülen yakıtın yanması sonucu sisteme ısı verilmiş olur. Yanma işlemi belirli bir zamanda tamamlanarak, sisteme verilen ısı basıncı ve sıcaklığı artırır. Daha öncede vurgulandığı gibi, teorik çevrimde ısısının sabit basınçta verildiği kabul edilmekteydi. Yanma odasındaki, yakıt hava karışımının bir bölgesinde tutuşma meydana gelmesine rağmen, tamamı yanamaz, çünkü hava-yakıt karışımı, karışımın her noktasında homojen değildir; bazı noktalarda yanma için gerekli olan eksik oksijen, bazı noktalarda ise yakıt miktarının eksik olması söz konusudur. Yanma prosesinin kimyasal denklemi hiçbir zaman tam olarak gerçekleşmez. Yüksek sıcaklıklarda CO ve CO₂ arasında bir döngü söz konusudur. Sisteme ısı verildikten sonra, piston AÖN'ya hareket ederken de ısı kayıpları meydana geleceğinden elde edilecek net iş düşer. Genişleme işlemi tam olarak AÖN'ya kadar devam etmez. Piston AÖN'ya yaklaşırken egzoz supabı açılır ve yanmış gazların dışarıya atılma işlemi başlar bu durum da net işin azalmasına neden olan başka bir faktördür. Özetle, pratik dizel çevriminde

egzoz gazlarının sistemden atılmasına AÖN'den önce başlanır ve piston ÜÖN'yi geçene kadar bu işlem devam eder. Dışarı atılan egzoz gazları emme stroğunda silindir içersine alınan taze havanın özelliklerinden farklıdır. Basınçları ve sıcaklıkları daha yüksek, kimyasal ve fiziksel olarak da başlangıç özelliklerinden sapmalar olmuştur. Bu durumda pratik dizel çevrimi açık ve içten tersinmez bir çevrim olarak değerlendirilir (Işık, 2016).

1.9. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyonlar

Yanma, bir yakıtı meydana getiren karbon ile hidrojenin oksijen ile kimyasal bir tepkime sonucu birleşmesi olayı olarak düşünülebilir. Gerçekleşen bu tepkime neticesinde yakıt içersindeki kimyasal enerji açığa çıkar. Açığa çıkan kimyasal enerjinin büyük bir kısmı ısı (sıcak gazlar), geriye kalan kısmı ise ışık formundaki elektromanyetik dalgalardır. Bu enerji formları dışında toplam enerji içersindeki payı çok düşük olduğundan ihmal edilebilir seviyelerde olan elektrik (iyonlar ve çevreye saçılan elektronlar) ve mekanik enerji (ses) şeklinde çevreye yayılırlar. Yanma prosesinin gerçekleşmesi için yakıt ve oksijenin varlığına ek olarak ortam sıcaklığının uygun olması gerekmektedir. Şayet ortam sıcaklığı uygun değerde değilse yanma prosesi gerçekleşmeyecektir (Yeşilyurt, 2017).

Sıkıştırma ateşlemeli motorlar, otto motorlarındaki gibi homojen bir karışım söz konusu değildir. Yanma, sıkıştırma stroku sonunda sıcaklığı yaklaşık olarak 600-700° C'ye yükseltilmiş havanın içersine yakıtın püskürtülmesiyle gerçekleşir. Yakıt pistonun silindir içersinde ÜÖN'ye yakın olduğu bir yerde, yani ısının termodinamik bakımdan en fazla faydalı olduğu bir zamanda püskürtülür. Silindir içersindeki havaya bir enjektör aracılığı ile yakıt basınçlı bir şekilde püskürtüldüğünde, yakıt sıcak hava içersinde ilerlerken sıcaklığı artarak ısınır, buharlaşır ve basınç altında bulunan hava ile baskılanarak yavaşlar. Yavaşlayan yakıt, enjektörden püskürtülmeye devam edip ortadan gelen yüksek basınçlı ve yüksek hızlı yakıt tarafından hüzenin dış yan tarafına doğru itilir. Hüzenin uç ve kenar kısmı hava ile en fazla temas halinde olduğu için sürtünme sebebiyle iyice ufanmıştırlar. Ufalanın bu küçük taneler hava ile daha büyük bir yüzey üzerinden temas eder (Genç, 2007).

Atmosfere salınan emisyon ve yakıt tüketimi kontrolü bakımından çok önemli olması nedeniyle, yanma olayının anlaşılması gerekmektedir. Yanma sırasında silindir içersinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal işlemler oldukça komplike olduğundan yapılan değerlendirmeler farklılık arz edebilir. Ancak yine de bu değerlendirmelerle, bir

dizel motordaki yanma sırasında NO_x, HC ve CO vb. kirleticilerinin nasıl oluştuğu daha iyi anlaşılabilir (Özveren, 2013).

Dizel motorlarında kaliteli bir yanmanın oluşabilmesi karışımın teşkili ile doğrudan ilgilidir. Genel anlamda karışımın teşkili; yakıtın tane boyutunun atomize ve pülverize olarak silindirdeki hava ile iyi bir yanma sağlayacak şekilde karışması ile sağlanmaktadır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yakıt hava karışımının benzin motorlardaki gibi karışım halinde silindir içerisine alınmaması nedeniyle, yakıtın silindir içine alınmasını takiben karışımın 15-30 °KMA gibi kısa bir sürede hazır hale getirilmesi gerekir. Bu kısa süre zarfı içerisinde yakıtla havanın homojen olarak karışmasının zorluğu SAM'ların devir sayısı artışını sınırlayan en önemli nedenlerdendir. Karışım teşkilinin iyileştirilmesinin en temel yolu atomizasyon-pülverizasyonu iyileştirmektir. Bu şekilde daha ince zerrelere ayrılan yakıtın, sıcak hava ile temas yüzeyi artarak, yakıtın kolaylıkla buharlaşması neticesinde havanın içerisindeki difüzyonunu artırarak karışım süresinin kısılmasını sağlar. Karışım süresini kısılması karışımın homojenliğini arttıran unsurlardandır. Silindir içerisine püskürtülen yakıtın tamamının yüksek bir yanma verimi ile yanmasını sağlamak, yakıtın silindir içinde tamamen dağıtılması, başka bir ifade ile yanma odası içindeki hava ile uygun bir şekilde karışması ile mümkün olmaktadır (Koca, 2013).

Dizel motorlarında yanma prosesi, yanma odasına yakıtın pülverize edilip püskürtülmeye başladığı andan itibaren yanma prosesi sonu ürünlerinin egzoz borusundan dışarıya atıldığı zamana kadar geçen süre içerisindeki karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır (Heywood, 1988). Motor performansı ve emisyon oluşumunun değerlendirilebilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için yanma olayının analizinin çok iyi yapılması iyi gerekmektedir.

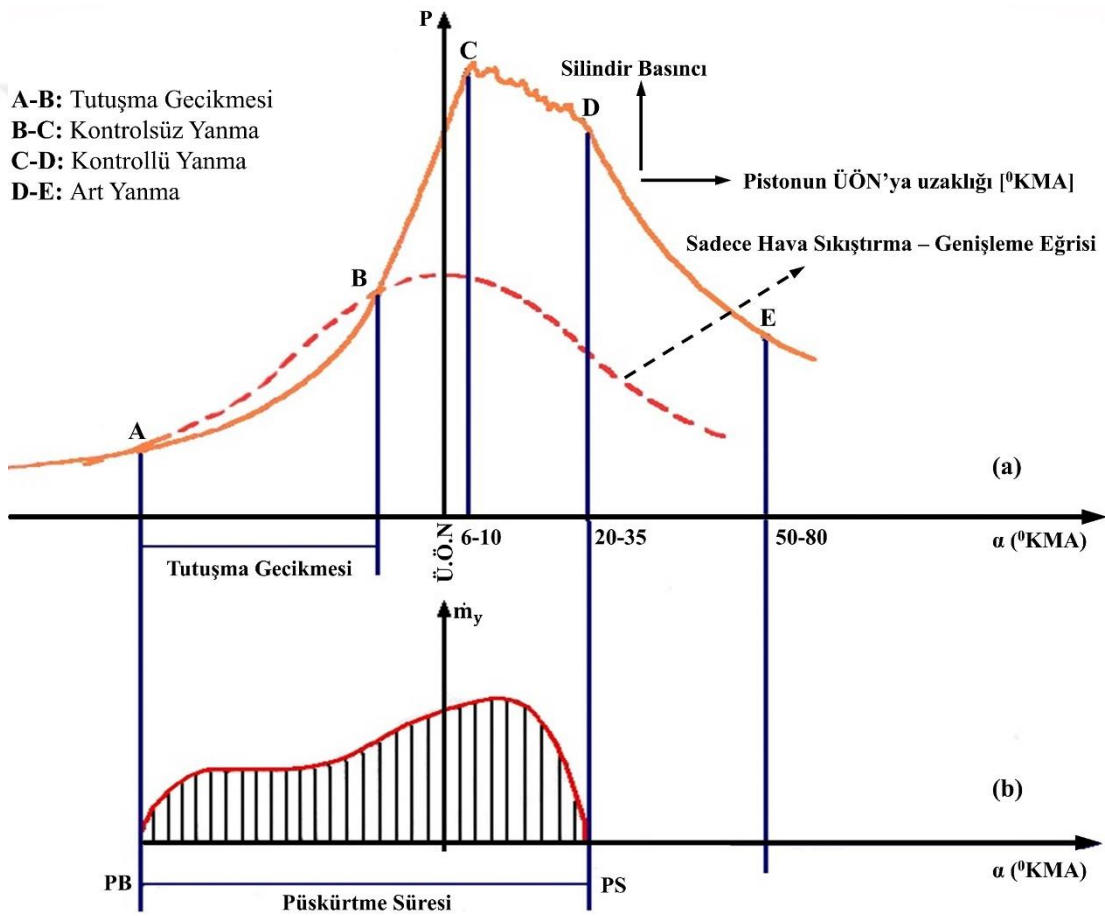
1.9.1. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yanma periyotları

Benzin ve dizel motorları, çevrimin termodinamiği bakımından birbirlerine son derece benzer olmakla birlikte yanma olayının başlangıçtan son aşamaya geçirdiği safhalar ve olayın kontrolü bakımından çok önemli farklılıklar ortaya koyarlar. Dizel motorlarında hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 1÷20 arasında olduğundan sıkıştırma strokunun sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. ÜÖN'dan hemen önce

yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar (Borat ve ark., 1992).

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda Şekil 1.62’de görüldüğü gibi yanma prosesi dört ana faza ayrılarak incelenebilir (Borat ve ark., 1992);

- i) Tutuşma gecikmesi,
- ii) Kontrolsüz yanma (Hızlı yanma),
- iii) Kontrollü yanma,
- iv) Gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir.



Şekil 1.62. Bir dizel motoruna ait krank açısı-basınç diyagramında yanma prosesi

Şekil 1.62.(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç-krank açısı diyagramı gösterilmiş olup, şeklin (b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden anlaşılabileceği gibi, TG olarak tariflenen kısım, A noktası ile ifade edilen püskürtme başlangıcından B noktası ile ifade edilen tutuşma noktasına kadar dikkate değer bir

gecikme vardır. Şekil 1.62.(a)'da tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı (firing record) ve sadece hava ile (motoring record) elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade ederler. Doğal bünyesinde yakıt bulundurduğundan dolayı sadece birinci durumda ateşleme olacağından iki eğri B noktasında birbirlerinden ayrılmaktadırlar. TG süresi yakıtın buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi - FTG) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların olduğu (kimyasal tutuşma gecikmesi - KTG) safhalarından ibarettir (Borat ve ark., 1992).

Sıkıştırma ateşlemeli motorların yakıt enjeksiyon sistemlerinin en önemli elemanlarından olan enjektörlerden püskürtülen yakıtın, püskürtme başlangıcı ile kendi kendine tutuşması arasında geçen zaman yaklaşık olarak 0.001-0.0015 saniye olup, bu süreye TG adı verilir. Başka bir ifade ile sıkıştırma stroku sonunda silindir içerisine püskürtülen yakıt hemen tutuşmaz. Tutuşmanın gerçekleşebilmesi için oksijenle karışması ve sıcaklığının yükselmesi gerekir bu nedenle, enjektörün yakıtı silindir içerisine püskürtmesinden, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği zamana kadar geçen süreye TG denir (Heywood, 1988; Işık, 2016). Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda TG'si zorunlu bir gecikme olup bu sürenin minimum olması istenir. Bu sürenin çok uzun olması, enjektörler aracılığıyla silindir içerisine püskürtülen yakıt yanmayarak silindir içerisinde birikir. Yanmanın başlaması ile biriken bu yakıt aniden yanarak optimum basınç artışından daha fazla basınç artışına sebep olarak motor vuruntusuna (detenasyona) neden olarak motorun sesli çalışarak zarar görmesine neden olur (Heywood, 1988). TG, Şekil 1.62'de A-B arasında gösterilen bu süre 2000 rpm ile çalışan bir motorda 0.009 saniyedir. Bu safhada, basınçta kayda değer bir değişim olmaksızın, yakıtın yanmaya hazırlanması için gerekli fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Basınçta ciddi bir artış olmamasının nedeni, enjektörler tarafından yanma odasına püskürtülen yakıtın basıncı ve sıcaklığı ile emme stroğu sonunda sıcaklığı yükseltilmiş hava arasında bir sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yakıtın buharlaşması esnasında ısının kendi üzerine akışını bu sıcaklık farkı sağlamaktadır. Sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen bu ısı transferi sırasında çekilen ısı, silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç artışını bir miktar yavaşlatır. Minimum TG süresi ÜÖN'ye 10-15 °KMA (püskürtme avansı) kala enjeksiyonun başlatılmasıyla gerçekleşmektedir (Yardım, 2008; Işık, 2016).

TG süresince yakıt silindire girmekte ve silindire alınan yakıt buharlaşmaktadır. Bu süre zarfında damlacıklar (yakıt zerrecikleri) daha küçük parçalara bölünüp hava ile daha mükemmel (ideal) bir karışım meydana getirirler. Yanma başladığı anda oksijenle temas etmekte olan yakıt çok büyük bir hızla yanarak, bu yanma hızı silindir içerisindeki dp/dt

basınç yükselme hızını da belirler. Daha öncede vurgulandığı gibi, nominal değerlerden yüksek bir basınç yükselme hızı hareketli motor parçalarına ani bir yük bindirmesine neden olacağından bu parçalardan sık sık yorulmadan ileri gelen tahribatlar görülmesine ek olarak, ani basınç yükselmesinin bir başka istenmeyen neticesi ise dizel vuruntusu olarak bilinen şiddetli bir sestir (Borat ve ark., 1992). Şekil 1.62.(a)'daki B-C arasındaki yanmanın ikinci safhası olan kontrolsüz yanmanın basınç artışı şu faktörlerden etkilenir.

- i) Aracın yakıt enjeksiyon sistemi dizaynına bağlı olan, yakıtın atomizasyon derecesine,
- ii) TG süresinin uzunluğuna bağlı olan, gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarına,
- iii) TG süresince yakıtın hava ile karışımının ne kadar iyi olduğu, karışımın mükkemel olması için kullanılan zaman, püskürtme karakteristikleri ve bir dereceye kadar da silindir içerisindeki havanın hareketleri bu faktör üzerinde oldukça etkilidir. TG'sinin uzun sürmesi ve yüksek motor devirlerinde karışımın daha mükemmel olacağı unutulmamalıdır.
- iv) TG süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı. Bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur (Borat ve ark., 1992; Yardım, 2008).

Gerçekleştirilen açıklamalardan da anlaşılabileceği üzere, basınç yükselme hızı ve süresinin TG süresi ile mutlak ilişkili olduğudur. Bu safhadaki basınç yükselme miktarı çevrimin maksimum basıncını belirleyebilir. Maksimum basınç motor konstrüksiyonundan ötürü sınırlı tutulmalıdır. Basınç yükselme miktarı esas olarak yakıt miktarına bağlıdır. Yanmanın bu aşaması ⁰KMA cinsinden TG'sine kıyasla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük kısmı TG süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla SAM'larda maksimum basıncı da tayin eden yine TG'sidir. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda motorinin püskürtülme süresi TG süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olacağından TG'sinin basınç yükselme miktarı üzerindeki etkisinin daha az olacağı sonucu çıkarılabilir (Borat ve ark., 1992).

Kolayca anlaşılabileceği gibi kontrolsüz yanma periyodundaki dp/dt artışı ve maksimum basınç yükselme değerleri TG'si periyodundaki şartlarla ilişkilidir. Daha sonraki yanma periyotları da bu değerlerden etkilendiğinden, TG'sinin SAM'larda yanma

olayını yönlendiren en önemli parametre olduğu sonucu çıkarılabilir (Borat ve ark., 1992).

Kumandalı yanma olarakta bilinen kontrollü yanma safhası maksimum basınçla yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı an arasındaki bir süreyi kapsar. Kumandalı yanma bölgesindeki sıcaklık artışı ikinci safha olan kontrolsüz yanmaya göre daha yavaştır. Çünkü bu safhada oksijen miktarı oldukça azalmış ve karışım yanma ürünleri olan emisyon gazları ile seyreltilmiştir. Buna rağmen sıcaklık artışı bu süre boyunca devam etmektedir (Borat ve ark., 1992; Yardım, 2008). Ani yanma olarakta isimlendirilen kontrolsüz yanma safhası sonunda basınç ve sıcaklık değerleri çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen motorin oksijen bulunca hemen yanar. Kontrollü yanma safhasındaki basınç eğrisinin seyri aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

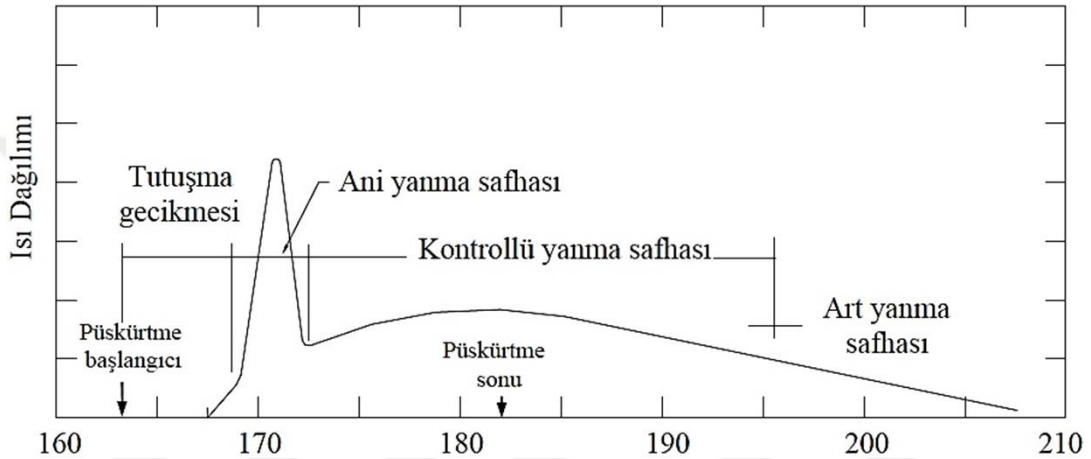
- i) Özellikle silindir içerisinde hala yeterli miktarda oksijen bulunuyorsa, yakıt püskürtme hızı çok etkili bir faktördür,
- ii) Motor devri ve yanma odasının şekline bağlı olan, yakıt ile hava temasını iyileştirecek şekilde ve şiddette hava hareketi olmasına,
- iii) Kontrollü yanma safhasının başlangıcı, pistonun ÜÖN'dan çok uzaklaştığı bir piston konumunda gerçekleşiyorsa o zaman hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi belirgin hale getiren pistonun konumuna bağlıdır (Borat ve ark., 1992).

Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmışsa o zaman üçüncü safha olan kontrollü yanma aşamasındaki basınç eğrisinin seyrini kontrolsüz yanma safhasında yeterli oksijeni bulamamış yakıt damlacıkları belirler. Verimin maksimum olabilmesi için yanmanın ÜÖN'ya mümkün olduğunca en yakın açıda tamamlaması gerekir. Bu bakımdan kontrollü yanma safhası oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek, karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmış olsa kötü bir püskürtme karakteristiği kontrollü yanma safhasından yanmanın uzun sürmesine neden olabilir. Düşük hızlı SAM'larda olduğu gibi püskürtmenin kontrollü yanma safhasına sarktığı durumlarda, karışım hızının yanı sıra püskürtme hızı da yanma olayını etkiler. Bu özelliklere sahip SAM'lar kontrollü yanma safhasında hava-yakıt karışımını çok etkili kılacak şekilde tasarlanmalıdır (Borat ve ark., 1992).

Genişleme zamanında yanma veya sonradan yanma olarakta isimlendirilen art yanma, kontrollü yanma sonundan egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre de bir

art yanma safhası olarak değerlendirilebilir. Bu son safhada yanma tamamlanmakta, pistonun AÖN'ya hareketinden ötürü silindir hacminin büyümesi sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir. Yakıt enjeksiyon sistemi aracılığı ile hala yakıt püskürtülmüyor ise (ki muhtemelen püskürtülmüyor) yanam ürün konsantrasyonu maksimum değerine çıkar. Verimin maksimum olması için kısa sürmesi istenen bir safhadır (Borat ve ark., 1992; Yardım, 2008).

Şekil 1.63'te SAM'ların yanma safhalarında KMA'ya göre meydana gelen ısı dağılımları görülmektedir (Heywood, 1988).



Şekil 1.63. Dizel motorların yanma safhalarında meydana gelen ısı dağılımı

1.9.1.1. Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyetlerine etki eden faktörler

Bir yakıtın tutuşma kabiliyeti denilince, SAM'larda yakıtın tutuşması için geçen sürenin uzun veya kısa olması anlaşılır. DF'lerin tutuşma kabiliyeti yakıt moleküllerinin yapısına ve içindeki bileşenlerle kuvvetli bir şekilde ilişkilidir. DF'nin tutuşma kabiliyeti TG değeri ile karakterize edilmektedir. TG ne kadar küçükse tutuşma kabiliyeti o kadar fazla olduğu anlamına gelmektedir. TG'ni daha iyi tariflemek için; SAM dışarıdan tahrik edilebilecek şekilde hazırlanır. Basınç değişimi bir kaydedici aracılığıyla tespit edilir. Motora yakıt püskürtülmeden emme strokunda silindir içerisine alınmış olan hava sıkıştırılır. Müteakiben yakıt enjekte edilip patlama eğrisi alınır. Bu veriler alındıktan sonra, hava yerine azot gönderilip, sıcak azota püskürtülen yakıtın reaksiyona girmeden soğutma etkisi görülerek; FTG ve KTG tarifleri yapılır (Borat ve ark., 1992).

Püskürtme başlangıcından, normal motor hali ile azotlu çalışmanın ayrıldığı (veya buharlaşma nedeniyle basınç düşüşünün sona erdiği) noktaya kadar geçen zamana FTG denir (Borat ve ark., 1992).

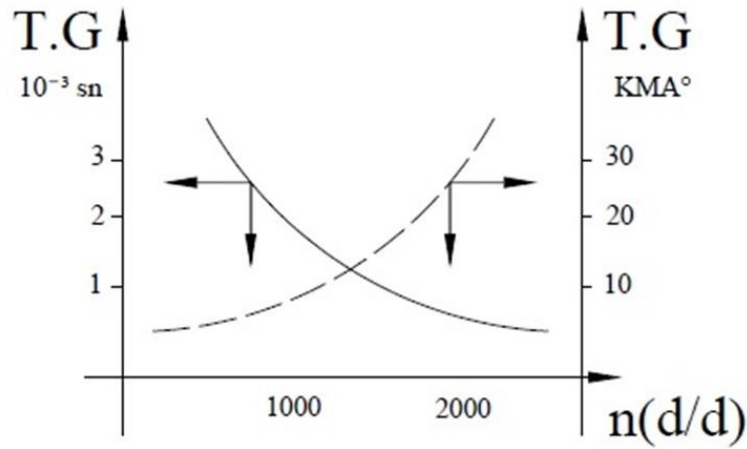
Buharlaşma peryodunun sonundan (yani FTG sonundan) normal motor hali basıncının püskürtmenin hava sıkıřtırılmalđ duruma ulaştığı (veya buharlaşma sonucu düşen basıncın geri kazanıldığı) noktaya kadar geçen süreye KTG denir (Borat ve ark., 1992).

1.9.1.1.1. Fiziksel tutuşma gecikmesine etki eden faktörler

0.5-1 ms civarında olan ve yakıt demetinin parçalanması, damlacıklara ayrılması ve bunların buharlaşması için gereken süre olarak tariflenebilecek FTG (Deniz, 2008); motorun hızı, hava hareketleri ve türbölansın yanı sıra bölünmüş yanma odaları (BYO)'ları gibi faktörlere bağlıdır.

1.9.1.1.1.1. Devir sayısı

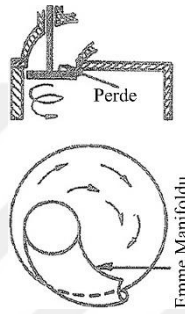
şekil 1.64'te görüldüğü gibi, motor devri arttıkça TG süresine karşılık gelen ^0KMA artmakta ancak artış tam olarak aynı oranlarda olmadığından TG süresi saniye cinsinden azalmaktadır. Motorlarda önemli olan ^0KMA olduğundan yüksek devirlerde motor daha sert çalışır. Devir sayısı artınca yanma koşulları iyileşmekte fakat yanma olayı için ayrılan süre azalmaktadır. Bu durumda yanmanın tamamlanabilmesi için avansın artırılması gerekmektedir ki her şeye rağmen dizel motorlarında artan motor devrinin basınç yükselme hızını ve basıncı artırdığı söylenebilir, bu da dizel motorlarının yüksek devirli imal edilememelerinin ana sebeplerindendir (Borat ve ark., 1992; Deniz, 2008).



şekil 1.64. Motor devrinin TG'sine etkisi

1.9.1.1.2. Hava hareketleri ve türbülans

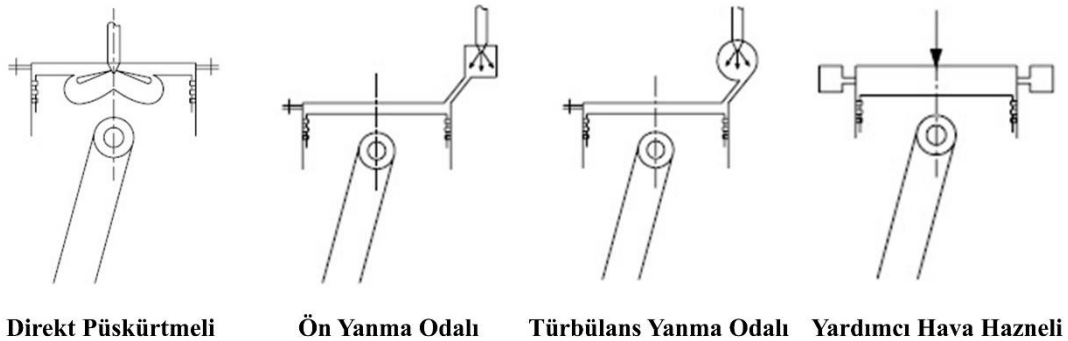
Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yanmanın özellikle üçüncü fazında artan motor hızının karışım ve türbülans şiddetini artırarak TG süresini kısalttığı düşünülmektedir. Böylece yüksek devirlerde de verimli olarak çalışabilen SAM'ların dizaynı mümkün hale gelmektedir. Sıkıştırma ateşlemeli motorların hava hareketi muhtelif silindir ve piston dizayn seçenekleriyle sağlanabilmektedir. Düz yanma odası yerine BYO, oyuk yüzeyli pistonlar, girdap hareketi sağlayan özel manifold şekilleri ve emme manifoldu üzerine konulan girdap perdesi bu seçeneklerden başlıcalarıdır (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.65. Girdap hareketi sağlayan tipik bir yanma odası

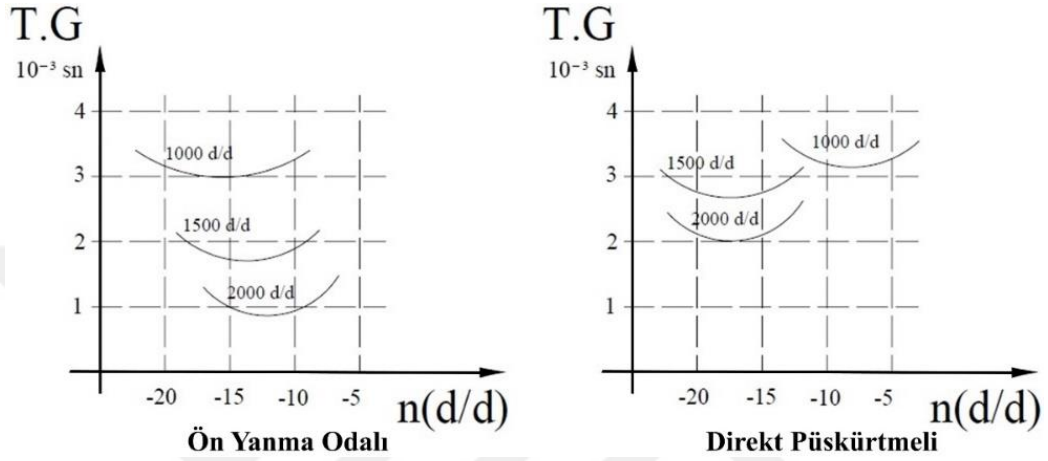
1.9.1.1.3. Bölünmüş yanma odaları (BYO)

Daha önce belirtildiği gibi SAM'larda hava hareketi Şekil 1.66'da görüldüğü gibi yanma odası çeşitleri ile ilgilidir (Deniz, 2008). Yanma odaları direkt püskürtmeli ve BYO'ları (ön yanma odalı, türbülans yanma odalı ve yardımcı hava hazneli yanma odalı) olarak en genel hali ile sınıflandırılabilir.



Şekil 1.66. Direkt püskürtmeli ve bölünmüş yanma odaları

Şekil 1.67’de değişik motor devirlerindeki yanma odası türlerinin TG’ne etkileri görülmektedir (Deniz, 2008). Şekilden net olarak özellikle 2000 rpm ve daha yüksek devirler için BYO TG süresini önemli ölçüde azaltmış olduğu görülmektedir. Daha düşük motor hızlarında ise ısı kayıpları çok fazla ve hava hareketleri yeterli olmadığından direkt püskürtmeli enjeksiyon sistemine sahip düz yanma odalıların (DYO), BYO’larına kıyasla BYO durumunda TG daha uzundur (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.67. Yanma odası türünün TG üzerindeki etkileri

Şekil 1.67’deki eğrilerin oluşum nedenleri kısaca özetlenecek olursa;

- i) Motor hızı artınca TG artan hız ile birlikte hava hareketleri artıp tutuşma koşullarını iyileştirdiğinden azalmaktadır,
- ii) Ön yanma odalı sahip motorlarda, direkt püskürtmeliye kıyasla hava hareketleri fazla olduğundan aynı motor hızı için TG süresi daha kısadır,
- iii) Ön yanma odalı motorlarda, motor hızı düştükçe direkt püskürtmeliye kıyasla TG süresi soğutma yüzeyleri fazla olduğundan daha uzundur (Deniz, 2008).

1.9.1.1.2. Kimyasal tutuşma gecikmesine etki eden faktörler

Kimyasal reaksiyonların başladığı andan itibaren soğuk alevin oluşmasına kadar geçen süre olarak tariflenebilecek KTG (Deniz, 2008); SS, sıkıştırma oranı, püskürtme avansı, yakıt/hava oranı, emme Manifoldu basıncı, emme havası sıcaklığı, aşırı doldurma, motor yükü, soğutma sıvısı sıcaklığı, oksijen ve egzoz gazı yüzdesi, strok hacmi ve atomizasyon derecesi gibi faktörlere bağlıdır.

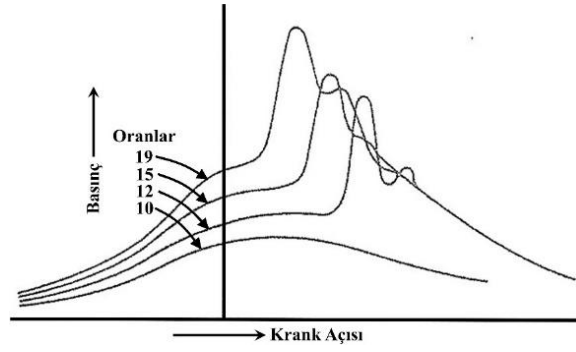
1.9.1.1.2.1. Setan sayısı (SS)

TG'yi etkileyen en önemli faktörlerin başında yakıtın kalitesi, basınç ve sıcaklık parametreleri gelmektedir. Yüksek sıcaklık ve basınç TG'si süresini kısaltan parametrelerdendir. TG süresince silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise TG'sini etkilememektedir. TG'si süresini etkileyen en önemli faktör yakıtın tutuşma kabiliyetini gösteren SS'dir (Heywood, 1988). SS arttıkça TG'si süresi kısalmaktadır. Ancak SS'nin aşırı yüksek olması da istenmeyen bir durumdur. Setan sayısının çok yüksek olması durumunda is emisyonu ve yakıtın enjektörden çıkar çıkmaz kısa bir mesafede (yanma odasına ulaşmadan) tutuşması nedeniyle enjektörün uç kısmında koklaşarak enjektör memesini tıkayan karbon birikintisi (kurum) gibi sorunlara neden olmaktadır (Safgönül ve ark., 2013). Bu sebeplerden dolayı dizel motorlarında kullanılan yakıtların SS'ler, motorun devir sayısına göre 45-65 sınırları arasında tutulması gerekmektedir (S. Aydın, 2014).

1.9.1.1.2.2. Sıkıştırma oranı

Sıkıştırma oranının TG üzerindeki etkisi net olmamakla beraber, sıkıştırma oranı arttıkça basınç ve sıcaklık artacağından TG'sinin kısaldığı dp/dt değerinin artacağı söylenebilir (Rogowski, 1953), ancak gerçekleştirilen deneylerde bu etkinin hissedilecek derecede olmadığı vurgulanmıştır. Hatta sıkıştırma oranı arttıkça püskürtme avansı, maksimum basınca aynı krank açısından ulaşılacak şekilde değiştirildiğinden basınç yükselme hızında bir miktar artış bile mümkün olmaktadır (Taylor, 1986).

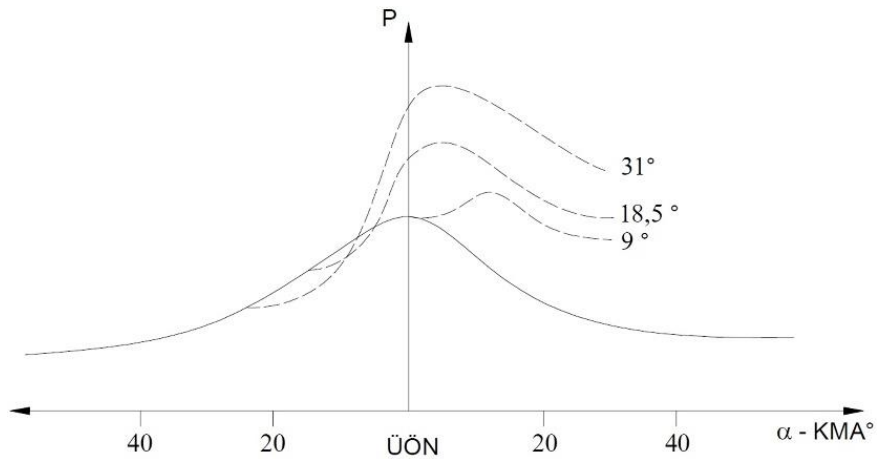
Şekil 1.68 de görüldüğü gibi artan sıkıştırma oranı maksimum basıncın daha erken ve daha yüksek değerlerde oluşmasına sebep olurken SAM'larda, sıkıştırma oranını dizel sınırında ($\epsilon=14-20$) artırmak verimi çok az artırdığı fakat sürtünme, gaz kaçakları ve motoru ilk harekete geçirmek için ihtiyaç duyulan torku önemli ölçüde artırmaktadır (Draper, 1938). Bu nedenle SAM'ları mevcut yakıtla çalıştırabilecek en düşük sıkıştırma oranları tercih edilir. Bu sınırı da motoru ilk harekete geçirme ve çalışma şartları belirler. Bölünmüş yanma odalı motorlarda ısı kayıpları direkt püskürtmeli motorlara kıyasla daha fazla olduğundan sıkıştırma oranını da daha yüksek tutmak gerekir. Böylece sık sık soğukta çalışmanın getirdiği problemler de bertaraf edilmiş olur (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.68. Sıkıştırma oranının basınç- krank açısı diyagramının seyrine etkisi

1.9.1.1.2.3. Püskürtme avansı

Püskürtme avansı arttıkça, püskürtmenin başlangıç anında ortam basıncı ve sıcaklığı düşük olacağından TG önce azalmakta sonra tekrar artmaktadır. Bu durumda yanmanın maksimum basıncının ve basınç artma oranının yükselmesine motorun sert çalışmasına neden olur. Avansın küçültülmesi durumunda TG süresi azalır bu durumda motor daha yumuşak çalışır. Ancak yanmanın büyük bölümü genişleme fazında yani pistonun ÜÖN'dan uzaklaşması esnasında gerçekleşmesinden dolayı basınç yükselme hızı yüksek olmasına rağmen maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşük olur, verim düşer dolayısıyla güçte azalma olur. Şekil 1.69'da görüldüğü gibi tutuşmanın daha da gecikmesi yani avansın daha da küçültülmesi durumunda piston ÜÖN'dan daha çok uzaklaşmış olacağından yükselme hızı ve ortalama basınç düşük seyreder. Yanma son derece kötü ve verim de oldukça düşüktür (Borat ve ark., 1992; Deniz, 2008).



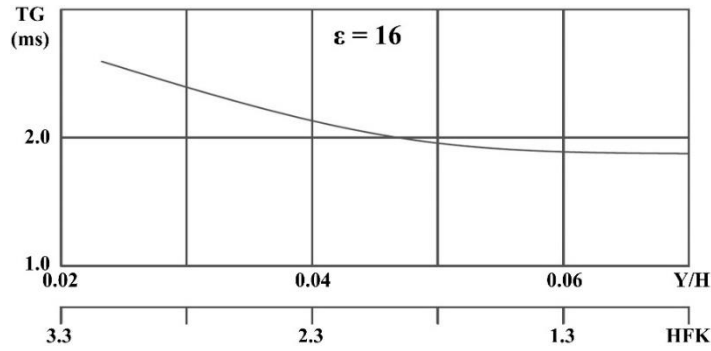
Şekil 1.69. Püskürtme avansının yakıt tutuşması üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.4. Yakıt/hava oranı

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda Y/H oranı silindir içerisine emilen hava miktarı ve sıkıştırma stroğu sonunda püskürtülen yakıt miktarı değerlerinden hesaplanmaktadır (Borat ve ark., 1992). Sıkıştırma ateşlemeli motorlar fakir karışım ile çalışırlar. Rölantideki H/Y oranı 80:1~100:1, tam yükte ise 18:1~20:1 seviyelerindedir (Rogowski, 1953). Emme stroğunda silindir içerisine emilen hava ve sıkıştırılan havanın üstüne püskürtülen yakıt miktarları üzerinden hesaplanan yakıt/hava oranının basınç-⁰KMA eğrisi üzerinde direkt bir etkisi bulunmamaktadır. Çünkü silindir içerisinde sıfırdan sonsuza kadar değişen değerlerde yakıt/hava oranları mevcut olduğundan önemli olan püskürtülen yakıt miktarı (yani Y/H oranı) değil yanma gerçekleşmeden önceki buharlaşan yakıt miktarıdır. Yakıt/hava oranının basınç-⁰KMA seyri üzerindeki etkisi dolaylı olup; Y/H oranı azaldıkça yanma sonu ve silindir duvar sıcaklıkları azalacağından TG süresini artırma ihtimali bulunmaktadır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda Y/H oranına sınır koyan en önemli problem lerin başında emisyonlar gelmektedir. Bütün İYM'ler için emisyon bakımından mutlaka pratik bir Y/H oranı sınırı vardır. Belirlenen bu sınır aşılsa fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış HC emisyonu olarak dışarı atılır. Bu isli egzoz ve silindir cidarlarında karbon (kurum) birikintisi gibi istenmeyen sonuçlara yol açar. Bu nedenle is sınırını ifade eden yakıt/hava oranının yüksekliği yanma odası tasarımının, karışımın uygunluğu bakımından üstünlüğünü ifade eder. Düşük yüklerde ve rölantide de is görülebilir. Bunun sebebi düşük Y/H oranlarında istenilen püskürtme özelliklerinin sağlanamamasındandır (Borat ve ark., 1992).

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda enjektörler aracılığı ile yakıt silindire sıvı olarak püskürtülüp içeride buharlaşır. Dolayısıyla buharlaşmanın lokal durumuna bağlı olarak silindir içerisinde sadece hava bulunan noktalardan sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları sağlayan noktalar mevcuttur. Bu nedenle dizel motorları için bilinen kütesel Y/H oranı tarifinin pratik bir anlamı yoktur. Doğal olarak yanma (kendiliğinden tutuşma) en uygun Y/H oranının olduğu noktada başlar. Önceden de vurgulandığı gibi, yine bu duruma bağlı olarak, dizel motorlarında yanma birçok noktada aniden başlayabilir. O bakımdan Y/H oranının TG'sine direkt bir etkisi olmadığı söylenebilir. Y/H oranının TG'sine dolaylı etkisi, fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 1.70'de de görüldüğü gibi Y/H oranı azaldıkça TG süresi artar.

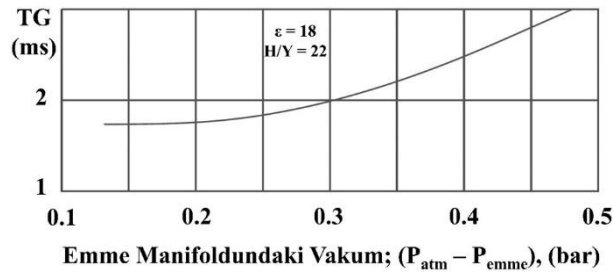
Netice olarak TO süresine olan etkisi bakımından Y/H oranı için bir alt sınır yoktur (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.70. Y/H oranının TG üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.5. Emme manifoldu basıncı

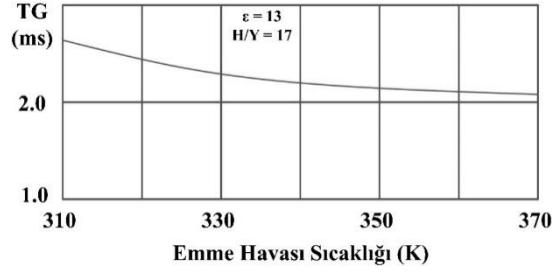
Şekil 1.71’de görüldüğü gibi emme manifoldu basıncındaki azalma TG süresini artırır. Bunun gerçekleşmesi için TG süresini etkileyen diğer faktörlerin sabit kalması şartına bağlıdır. TG süresi arttıkça bu süre zarfındaki ortalama silindir sıcaklığı da düşer. En yüksek güç en düşük basınç yükselme hızına yakın bir noktada olduğundan TG süresi nisbeten kısa olduğundan basıncın sıcaklık üzerindeki etkisi oldukça azdır.



Şekil 1.71. Emme manifoldundaki basıncın TG süresi üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.6. Emme havası sıcaklığı

Şekil 1.72’de görüldüğü gibi silindir içerisine emilen havanın artan sıcaklığı TG süresinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu azalmanın sebebi enjektörler tarafından atomize edilmiş DF daha sıcak bir ortama püskürtüldüğünden buharlaşma ve dolayısıyla TG süresi daha az bir süre olmaktadır (Borat ve ark., 1992).



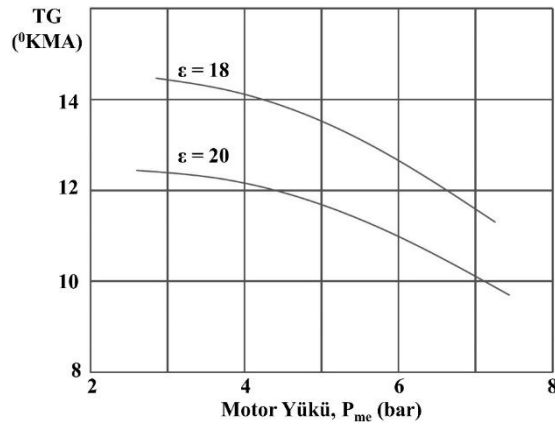
Şekil 1.72. Emme havası sıcaklığının TG süresi üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.7. Aşırı doldurma

Hem giriş sıcaklığını hem de giriş basıncını artıran aşırı doldurma her iki parametre vasıtasıyla Şekil 1.71 ve Şekil 1.72’de görüldüğü gibi TG süresini azaltmaktadır. Aşırı doldurmalı motorlarda basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı doğal emişli motorlara kıyasla düşük olduğundan aşırı doldurma için vuruş ve performans bakımından sınır yoktur (Borat ve ark., 1992).

1.9.1.1.2.8. Motor gücü (Yükü)

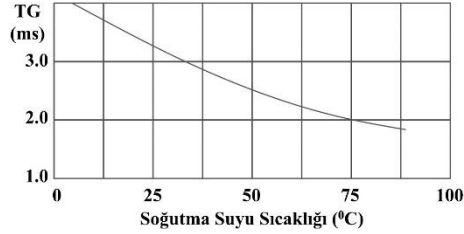
Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda, motor gücü yakıt miktarıyla orantılı olarak artan bir değerdir. Artan yakıt miktarına bağlı olarak yanma odasına birim zamanda verilen enerji artacağından ortalama çalışma sıcaklığını da artıracaktır. Ayrıca yol şartlarına bağlı olarak motor devri veya motor çalışma sıcaklığı da artmış olacağından tutuşma gecikmesi süresinde düşüş Y/H oranındakine kıyasla artan oranlarda gerçekleşecektir (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.73. Motor yükünün TG süresi üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.9. Soğutucu akışkan sıcaklığı

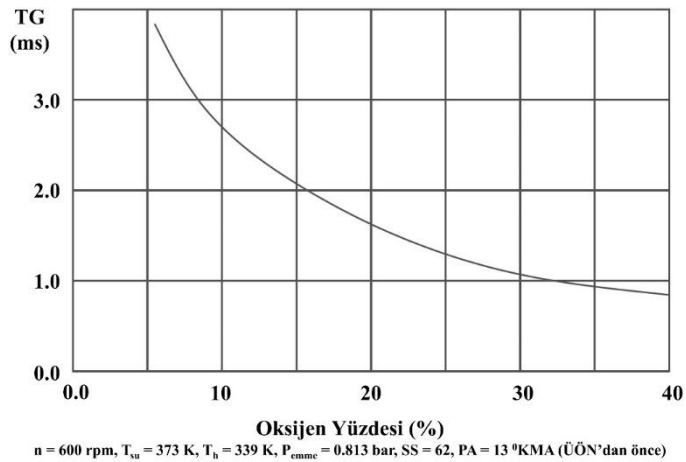
Şekil 1.74’de görüldüğü gibi soğutma suyu sıcaklığının emme havası sıcaklığına benzer bir etkisi bulunmaktadır; artan soğutucu akışkan sıcaklığına bağlı olarak TG süresi azalmaktadır (Borat ve ark., 1992).



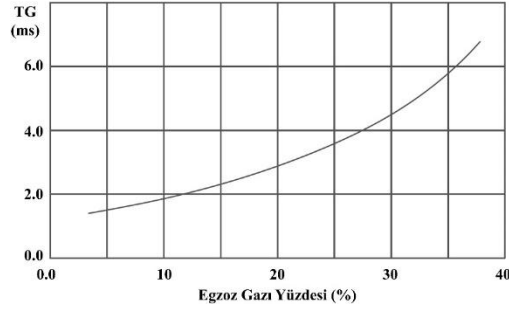
Şekil 1.74. Soğutucu akışkan sıcaklığının TG süresi üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.10. Karışımdaki oksijen ve egzoz gazı yüzdesi

Alternatif veya fosil yakıtlar ile beraber muhtevasında yaklaşık olarak %78 azot, %21 O₂ ve %1’lik kısmında diğer gazlar bulunan hava yerine sadece oksijen kullanılması neticesinde birim hacim başına açığa çıkan enerji miktarını yaklaşık beş kat artırmaktadır. Bu nedenle Şekil 1.75’te görüldüğü gibi karışımdaki artan oksijen miktarı enerji açığa çıkma hızını artırarak TG süresini azaltmaktadır. Bu durumun tersi olan karışım içerisindeki artan egzoz gazı yüzdesi ise oksijen gibi aktif bileşenlerin yüzdelik kesrini azaltacağından Şekil 1.76’da görüldüğü gibi TG süresi üzerinde oksijen yüzdesine ters bir etki oluşturacağı görülmektedir (Borat ve ark., 1992).



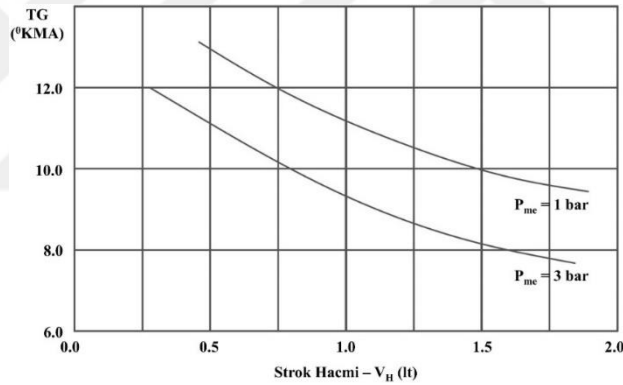
Şekil 1.75. Karışımdaki O₂ yüzdesinin TG süresi üzerindeki etkisi



Şekil 1.76. Karışımındaki egzoz gazı yüzdesinin TG süresi üzerindeki etkisi

1.9.1.1.2.11. Strok hacmi

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kompresyon hacmi sabit tutulup strok hacmi artırılırsa sıkıştırma oranının artacağından TG süresi üzerindeki etkisi, sıkıştırma oranının etkisine benzer olacaktır. Değişik ortalama efektif basınç değerleri için strok hacminin TG süresi üzerindeki etkisi Şekil 1.77’de gösterildiği gibidir (Borat ve ark., 1992).



Şekil 1.77. Strok hacminin TG süresi üzerindeki etkisi

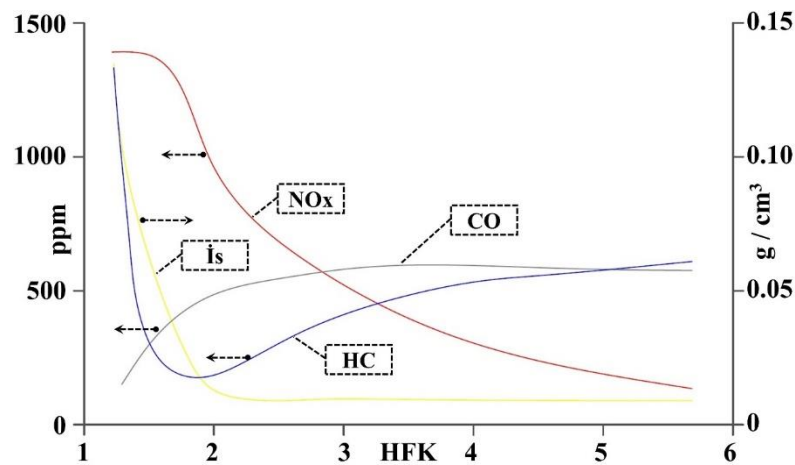
1.9.1.1.2.12. Atomizasyon derecesi

SAM’larda, yakıt hüzmesinin fiziksel karakteristiği, yanma odasının büyüklük şekil ve konstrüksiyonu ile olan ilişkisi yanma prosesi bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle SAM’ların tasarımında üzerinde durulan en güç problemlerden biri de güç ve verim bakımından optimum püskürtme karakteristiğinin belirlenmesi işlemidir. Tabi bunu yaparken basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın arzu edilen sınırları aşmaması gerekir. Yakıt taneciklerinin çok ince olması durumunda buharlaşmaları daha kolay ve ataletleri düşük olacağından enjektör memesi çıkışından hemen sonra buharlaşırlar. Bu durumda silindir duvarlarına yakın alanlarda kayda değer bir miktar

hava kullanılamaz. Bu sebeple püskürtülecek yakıt miktarının az olması durumunda püskürtme basıncını artırmak çözüm olamamaktadır. Yakıt taneciklerinin iri olması durumunda ise yüksek buharlaşma hızlarında bile buharlaşmaları oldukça zaman alır. Özellikle motor devrinin yüksek olması durumunda buharlaşma zamanını bulamayacakları için egzoz isli olur, silindirde çığ karbon kalıntıları birikir. Silindir cidarları yeterince sıcak değilse ataletleri yüksek olan tanecikler cidarlara ulaşabilir ve emisyon daha kötü olur. Ayrıca buharlaşma hızının düşük olması TG süresinin uzun olmasına ve dp/dt 'nin yüksek değerlerde gerçekleşmesine neden olur. TG süresi daha uzun olursa piston ÜÖN'dan uzaklaşıp genişleme stroğu başlamış olacağından önemli ölçüde güç ve verim kaybı gerçekleşir. Yakıt hüzmesinin çok sıcak cidarlara ulaşması ve hemen buharlaşması TG süresini azalttığını daha önce vurgulanmıştı. Silindir cidarları yeterli miktarda sıcak değilse o zaman yakıt tam olarak yanmaz ve yapışkan bir karbon tabakası oluşumuna neden olurlar. Bu yapı segmanların yuvasına yapışmasına sebep olmasının yanı sıra yağlama yağının niteliklerini bozarlar (Borat ve ark., 1992).

1.9.2. Egzoz emisyonlarının oluşumu

Sıkıştırma ateşlemeli motorlar genellikle fakir karışım ile çalıştırılmakta ve H/Y oranı motorun yük değerine göre farklılıklar göstermektedir. Şekil 1.78'de hava HFK (hava fazlalık katsayısı) değişimine göre emisyonların değişim eğrileri görülmektedir. İS emisyonu sınırı H/Y karışımının zenginleşmesini kısıtlamaktadır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda HFK <2 iken İS emisyonu değeri oldukça yüksektir (Ajav ve Akingbehin, 2002; Özer, 2010).



Şekil 1.78. Dizel Motorda Hava Fazlalık Katsayısının Emisyona Etkisi

Sıkıştırma ateşlemeli motorların atmosfere salıdığı emisyonlar genellikle çeşitli gaz karışımlarından, su buharından ve PM'lerden oluşmaktadır. Bu motorların atmosfere salıdığı emisyonlar arasında tam yanma ürünleri (CO_2 , H_2O , NO_x , SO_2) ve eksik yanma ürünleri (CO , HC , is) bulunmaktadır. Bu emisyonlara ek olarak SAM'lardan kaynaklanan ve kontrol altında tutulması gereken emisyonların başında is ve NO_x emisyonları gelmektedir (Afşar, 2015).

Yanma odasındaki H/Y karışımının oluşma hızı, H/Y oranı, yanma sıcaklığı ve gazların yanma odasındaki kalış süreleri gibi parametreler emisyonların oluşumunu değişik ölçülerde etkilemektedirler. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda, buji ile ateşlemeli motorların aksine karışımın teşkili ve yanma heterojen olarak gerçekleşmektedir. Heterojen durumdaki H/Y karışımının yanması sonucu oluşan emisyonlar sadece yanma periyoduna ve genişleme zamanına değil aynı zamanda yanma odasında baskın olan genel şartlara da bağlıdır. Tutuşma periyodu boyunca karışım teşkili, yakıtın tutuşma kabiliyeti, yanma odasında farklı sıcaklıklarda bekleme süresi, genişleme stroğu ve motorun genel özellikleri emisyonların oluşumunda etkindirler. Esasında, farklı tür emisyonların egzozdaki konsantrasyonları emisyonların meydana geçmelerinin bir sonucudur. Yanmanın başlangıç safhalarında oluşan eksik yanma ürünleri genişleme zamanı sonuna kadar okside olabilirler. Yanmamış HC'lerin oksitleyici gazlar ile karışımı, yüksek yanma odası sıcaklığı, oksidasyon süreci için yeterli zamanın olması tam yanmaya yardımcı olan parametrelerdendir (Heywood, 1988; Merker ve ark., 2006).

1.9.2.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonlarının oluşumu

CO emisyon oluşumu; H/Y oranının kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Zira; yanma prosesinin ara kademelerinde oluşan CO'nun CO_2 'ye dönüşmesi için ortamda oksidasyon için yeterli oksijenin bulunması gerekir. CO_2 dönüşümü için, oksijenin yanı sıra reaksiyon için yeterli sıcaklık ve zamana da ihtiyaç vardır. Düşük motor yüklerinde, sıcaklığın düşük olması nedeniyle CO'nun oksidasyonu için gerekli olan reaksiyonlar gerçekleşemediğinden CO miktarı yüksek devirlere kıyasla daha yüksektir. Özetle, bu nedenlerden dolayı motor yükü arttıkça; CO emisyonu azalmaktadır. Ancak motor tam yük ile yüklendiğinde oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalması nedeniyle CO miktarı tekrar artış eğilimi göstermektedir (Ajav, 2002; Özer, 2010). CO emisyonları, yakıtları meydana getiren HC'lerin eksik yanması sonucu oluşan bir ürün olup, yanma odasındaki oksidasyon için yetersiz O_2 'nin ve düşük

sıcaklıkların beraber neden olduğu eksik yanma dolayısı ile CO emisyonları oluşur. Yanma prosesinin sonuna doğru oluşan CO emisyonları, değişik oksidantlarla birleşme tepkimesine girerek CO₂ emisyonlarına dönüştürler. Düşük yanma odası sıcaklığı ve oksidasyon için yetersiz oksidant seviyesinden dolayı gerçekleşemeyen birleşme tepkimeleri, CO emisyonlarının artmasını tetiklemektedirler (Şahin, 2022). Yakıt bakımından zengin olan karışımlar, yakıt bakımından fakir olan karışımlara kıyas ile daha az CO emisyonu üretirler. Ancak, SAM'lar hava fazlalığı ile çalışma prensibine sahip olduklarından CO emisyonları oldukça düşüktür. Sıkıştırma ateşlemeli motorlardaki yanmanın her safhasında, yüksek yanma sıcaklığı, O₂ miktarının fazlalığı, karışım oluşum hızının yüksek oluşu CO emisyonlarının oksidasyonuna yardım eden nedenler arasındadır (Rakopoulos ve ark., 2010).

1.9.2.2. Yanmamış (HC) emisyonlarının oluşumu

HC'ler ve aldehitler, alevin söndüğü silindir duvarlarında ve yanma prosesinin başlangıç aşamasında veya prosesin sonuna doğru hava tarafından yanmanın kalitesinin bozulduğu bölgelerde oluşur. Yani; silindir cidarlarında soğuyan yakıt damlacıkları, HC emisyonunu artırır (Uslu, 2006). Özetle, HC emisyonlarının daha yüksek olması silindir içi yanma ortamının zayıf olması ile ilgilidir (İşcan, 2020). Motor yükünün artışı ile silindirin yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının artmasına rağmen sıcaklıklardaki artış, yanma reaksiyonlarını hızlandırmakta ve yanmamış zararlı HC emisyonu azalmaktadır (Uslu, 2006).

Sıkıştırma ateşlemeli motorların atmosfere salıdığı HC emisyonları, parçalanmış yakıt veya yağlama yağı moleküllerinden oluşur. HC emisyonları, TG periyodu boyunca, zengin yakıt/hava oranlarının bir sonucu olarak veya karışım oluşumu sırasında tutuşamayan yakıt moleküllerinden meydana gelir. TG'den sonra püskürtülen yakıt, yakıtın ve piroliz ürünlerinin hava ile karışmasını yavaşlatmasından dolayı eksik yanma ve HC emisyonlarının oluşumuna sebep olan karışımın yakıt bakımından aşırı zenginleşmesine ve yanma ürünlerinin soğumasına yol açan sebeplerdendir. Motor yükünün küçük ve karışımın zengin olduğu SAM'ların HC emisyonları oldukça fazladır. Zararlı HC emisyonlarının oluşumunun ana kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgeleridir (Rakopoulos ve ark., 2010).

Zararlı HC emisyonlarının oluşumuna neden olan majör sebepler; motor yükü, yanma odası koşulları, hava emiş sistemi (doğal emişli veya aşırı doldurmalı) ve yakıt

enjeksiyon sistemleri olarak sıralanabilir. Yanmamış HC oluşumunun mekanizması, buharlaşma hızının yavaş ve yanma prosesi için aşırı zengin olan karışımın kombinasyonunun bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki Y/H oranının durumu karışım oluşumu hızını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdendir (Şahin, 2022).

1.9.2.3. Partikül madde ve is emisyonlarının oluşumu

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda, motor yüküne bağlı olarak H/Y oranı farklılık göstermektedir. Yanma prosesinin verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için; yanma odasında bünyesinde yaklaşık %21 O₂ bulunduran yeterli miktarda hava, süre sıcaklık değerinin olması gerekmektedir. Çünkü is oluşumu; hava miktarına, yanma odası sıcaklığına ve yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli süreye göre farklılık göstermektedir. Sıkıştırma ateşlemeli motorların düşük devirlerinde hava hareketlerinin yetersiz olması, yüksek devirlerde ise; volumetrik verimin düşmesi ve yanma için yeterli sürenin sağlanamaması gibi nedenlerden ötürü karbon tanecikleri, is oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 1.78’de HFK’nın is oluşumuna etkisi görülmektedir. İs miktarı; yük arttıkça, artmakta ve yük arttıkça HFK düşmektedir. Bu durum neticesinde yanma odasındaki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri, yanma prosesini tamamlayamazlar ve atmosfere is olarak salınırlar. Ek olarak motor hızı arttıkça yanma için yeterli süre sağlanamadığından ötürü is oluşumu hızlanmaktadır. Bu nedenle SAM’ların izin verilen is emisyonu sınırı, motor gücünü sınırlayan bir faktördür (Uslu, 2006; Ejder, 2007).

Dizel motorların partikül emisyonları genellikle yanmamış yakıt ve yağlama yağından dolayı ortaya çıkan bazı organik bileşiklerin yanması sonucu ortaya çıkan karbon içerikli maddeler (is) tarafından absorbe edilmesi ile dizel PM emisyonlarının büyük bir kısmı, eksik yanma ürünü olarak oluşmaktadır. PM kompozisyonu motor egzozundaki koşullara ve dizel partikül filtre (DPF) gibi partikül tutucu sistemlere bağlıdır. Doğrudan püskürtmeli SAM’larda maksimum partikül konsantrasyonu; yanma prosesinde kullanılan hava miktarının gerçek yakıt-hava oranının kuramsal yakıt hava oranı olan ortalama bölgesel eşdeğerlik oranının (ϕ) çok yüksek olduğu yakıt demetinin çekirdeğinde gözlemlenmiştir. İs konsantrasyonu yanma başladıktan hemen sonra hızlı bir şekilde artar. Partikül konsantrasyonu enjektör memesi deliğine yakın, yakıt demeti ekseninde önemli derecede yüksektir. Yakıt demeti çekirdeğinden uzaklaştıkça is

konsantrasyonu azalmaktadır (Heywood 1988; Rakopoulos ve ark., 2010). PM'lerin diğer bileşenleri ise kısmi okside olmuş yakıt veya yağlama yağı, su, aşınmış metal parçacıkları ve sülfatlardan oluşmaktadır. Sülfürik asit/sülfat yüzdesi kabaca yakıt içerisindeki kükürt muhteviyatına bağlı olarak değişmektedir. Okside olmamış yakıt ve yağlama yağı (yani çözünabilir organik kısım) yüzdesi ise motor konstrüksiyonuna ve işletme koşullarına göre değişiklik gösterip, kütleli olarak %10-%90 arasında olabilir (Rakopoulos ve ark., 2010).

Özetle, SAM'ların üretmiş olduğu is emisyonları, eksik yanmanın bir göstergesi olup, aşırı zengin H/Y oranının veya kısmen buharlaşabilmiş yakıt zerreciklerinin bir sonucu olarak oluşur. Is emisyonu, yüksek sıcaklıktaki yakıt bakımından zengin bölgelerde buhar fazından katı faza geçiş sırasında çekirdeklenen yanmamış yakıtlardan oluşurlar. PM'nin ebatları 20 nm-10 µm arasında olduğundan solunabilir özelliğe haizdirler. PM'nin bir kısmı çözünabilir kısım kalan diğer kısmı ise çözünmez veya kuru kısım olarak bilinirler. Kuru kısım genellikle is emisyonlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlardan atmosfere salınan PM içerisindeki is miktarı değişiklik göstermesine rağmen genellikle %40-%50'den daha fazla orana sahiptirler (Şahin, 2022).

1.9.2.4. Azot oksit (NO_x) emisyonlarının oluşumu

Hava muhteviyatının yaklaşık olarak %78'i azot (N₂) gazıdır. Bu gaz, normal şartlar altında yanma proseslerinde reaksiyona girmemekte ve yanma prosesi sonunda ürünler kısmında N₂ gazı olarak çıkmaktadır. Fakat İYM'lerde silindir içerisinde enjektörler aracılığı ile yakıtın püskürtülmesine müteakip gerçekleşen yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklık neticesinde silindir içerisine emme stroğu boyunca emilen hava içindeki N₂ gazı oksijen molekülleri ile reaksiyona girerek istenmeyen NO_x emisyonlarına neden olmaktadır (Özsezen ve ark., 2006). NO_x emisyonları; yanma odası sıcaklığına ve basıncına, hava-yakıt karışımının oluşumuna ve TG periyodu boyunca silindir içerisinde biriken yakıt miktarına bağlı olarak oluştuğu söylenebilir. NO_x'ler daha öncede belirtildiği gibi yanmış ve yüksek sıcaklığa sahip gaz bölgelerinde oluşmaktadır. Ancak, yanmış gazlar içerisinde sıcaklık ve H/Y oranı üniform olmadığından, NO_x'lerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Şekil 1.78'de HFK'nın NO_x'e etkisi görülmektedir. NO_x miktarı; motor yükü artışı neticesinde artan sıcaklığa ve H/Y oranının stokiyometrik orana yaklaşması ile artmaktadır (Özer, 2010).

NOx'lerin oluşumuna neden olan gazların başında azot monoksit (NO) gelir. Bu gazın atmosfere salımı sırasında NO gazının bir bölümü azot dioksit (NO₂) ve diğer NOx gazlarına dönüşmektedir (Özsezen ve ark., 2006). Ancak N₂O, N₂O₅ ve NO₃ gazları gibi zararlı NOx'ler çok düşük miktarlarda olduğu için bu emisyonlar genel olarak dikkate alınmamaktadır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlardan atmosfere salınan en zararlı emisyonlardan olan NOx, insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Çevre bilinci farkındalığının giderek arttığı günümüzde sıkı emisyon normlarını karşılamak için NOx emisyonunun kontrol altında tutulması ve hatta asgari seviyelere indirgenmesi gereklidir (Atmanlı ve Yılmaz, 2020).

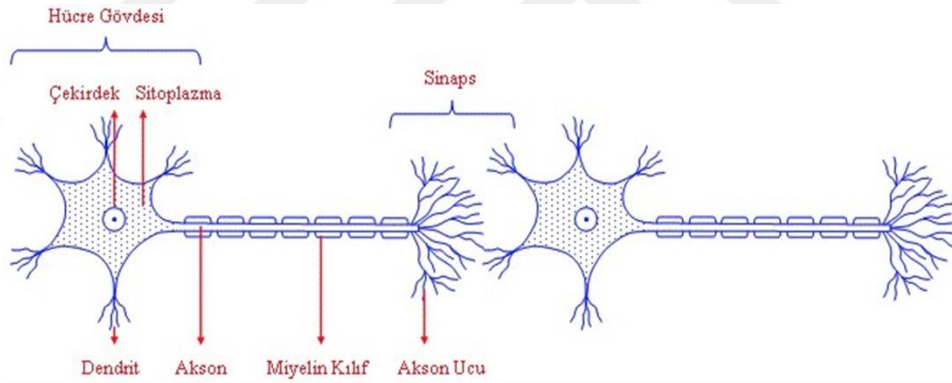
Günümüzde NOx emisyonlarını etkili bir şekilde düşürmek amacı ile egzoz gaz resirkülasyonu (EGR) veya püskürtmenin geciktirilmesi ile silindir içi basınç ve sıcaklıkları azaltmak amacı ile çözümler getirilmiştir. Ayrıca değişken supap zamanlaması ve egzoz manifoldu çıkışı harici sistemler (katalitik konvertör gibi) NOx emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılmaktadır (Rakopoulos ve ark., 2010).

1.9.2.5. Kükürt oksit emisyonlarının oluşumu

SAM'larda yanma esnasında H/Y oranı, hava sirkülasyonu, yanma odası sıcaklığı vb. etkenler nedeniyle oluşan emisyonlar haricinde kullanılan yakıtın muhteviyatında bulunan kükürt (S) miktarına bağlı olarak üretilen emisyonlar SOx gazlarıdır. Özellikle dizel motorlarında yanma prosesi sonucu kükürdün hava ile birleşmesi ile SO₂ oluşmaktadır. Kükürt içeren fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda oluşarak atmosfere salınan bu zararlı emisyon, renksiz ve genizi yakan bir özelliğe sahiptir. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılan motorin muhteviyatında %0,05'in altında kükürt vardır. SOx emisyonlarını meydana getiren zararlı gazların büyük çoğunluğu SO₂'dir. Yakıtın muhteviyatındaki kükürt miktarına bağlı olarak yanma sonucu kükürdün hava ile birleşmesi neticesinde oluşan SO₂, H₂SO₄ oluşumuna neden olur, bu asit motor elemanlarının korozyonuna sebebiyet verir. Renksiz, sert kokulu bir gaz olan SO₂, solunum yolları, akciğer ve karaciğer hastalıklarını tetiklemesini yanı sıra, su buharı ile birleşerek oluşturduğu H₂SO₄'ün insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde olumsuz etkileride bulunmaktadır (Çıtak, 2014; Işık, 2016).

1.10. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Biyolojik sinir ağlarının yapısını oluşturan temel eleman sinir hücreleri olup, sinir hücresinin temel elemanları ise Şekil 1.79’da görüldüğü gibi hücre gövdesi, dendrit ve aksondur (Güzel, 2018). Sinir hücresine başka sinir hücrelerinden gelen uyarımlar, dendritler vasıtasıyla hücre gövdesine taşınır ve hücre içi aktivasyonun/kararlılık halinin bozulmasıyla oluşan bir kimyasal süreç içerisinde diğer hücelere aksonlar aracılığıyla iletilir; gelen uyarımların diğer sinir hücrelerine taşınabiliyor olması akson uçları ile dendritler arasındaki sinaptik boşluklar (sinaps) etkin rol oynar. Sinaptik boşluk içinde bulunan sinaptik kesecikler gelen uyarımların diğer hücelere dendritler vasıtasıyla geçmesini koşullayan elemanlardır. Sinaptik kesecikler tarafından sağlanan nöroiletken maddenin sinaptik boşluğa dolması uyarımların diğer hücelere transferini koşullar. Hücelere transfer olan uyarımlarla uyumlu olarak hüceler arasında bulunan sinaptik ilişkilerin değişimi veya hüceler arasında yeni sinaptik ilişkilerin kurulması “öğrenme” sürecine karşılık gelmektedir (Koç ve ark., 2004).



Şekil 1.79. Biyolojik sinir hücre yapısı

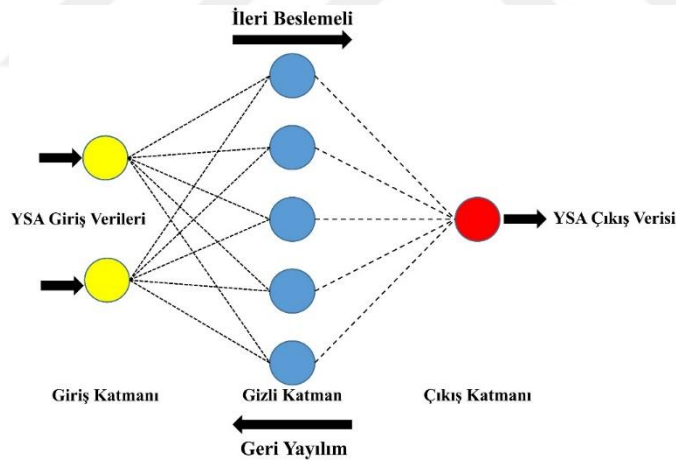
İnsan biyolojik sinir hücreleri ve YSA’ların yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması Çizelge 1.30’da verildiği gibidir (Elmas, 2011).

Çizelge 1.30. Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması

Biyolojik Sinir Hücresi	Yapay Sinir Hücresi
Akson	Çıktı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Çekirdek	Aktivasyon fonksiyonu
Sinaps	Ağırlıklar

YSA, insan biyolojik sinir hücrelerinden esinlenilerek geliştirilen bilgi işlem sistemleridir. İnsan, biyolojik sinir ağlarını oluşturan biyolojik sinir hücrelerinin görevini YSA'da ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan proses elemanları yerine getirmektedir. Proses elemanlarının her biri düğüm ya da basit sinirler olarak da adlandırılır. Biyolojik sinir ağlarını taklit eden YSA'nın oluşabilmesi için yapay sinir hücrelerinin katmanlar dâhilinde paralel olarak bir araya gelmesi gerekir. Şekil 1.80'de görüldüğü gibi yapay sinir hücresi girdi katmanı (input layer), ara katman (hidden layers) ve çıktı katmanı (output layer) olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır (Öztemel, 2003; Elmas, 2011).

- i) Giriş katmanı; verinin işlenmediği, sadece gelen verilerin ağıya iletiildiği katmandır,
- ii) Gizli katman; giriş katmanından gelen bilgilerin işlendiği ve çıktı katmanına aktarıldığı katmandır. Bu katmanda birden fazla gizli katman olabilir.
- iii) Çıkış katmanı; gizli katmandan gelen veriyi işleyerek kullanıcıya kurulan YSA mimarisi amacına uygun olarak aktaran katmandır (Yergök, 2020).



Şekil 1.80. Basit bir YSA mimarisi

Bir YSA birbiriyle bağlantılı birden fazla düğümden oluşur. Her bir proses elemanının (yapay sinir hücresinin) beş ana bileşeni bulunmaktadır.

- i) Girdiler ($G_0, G_1, \dots, G_i$) çevreden aldığı bilgileri sinire getirir. Bu bilgiler çevreden olabileceği gibi diğer hücrelerden veya hücrenin kendisinden gelebilmektedir,

- ii) Ağırlıklar ($A_0, A_1, \dots, A_i$) hücreye gelen bilginin hücre üzerindeki tesirini gösterirler. Ağırlık değerlerinin küçük veya büyük olması, verilerin önemini belirleyen bir etken değildir. O girişin hücreye kuvvetli bir şekilde bağlanması durumunda ağırlık değeri büyük, zayıf bağlanması durumunda ise ağırlık değerinin küçük olduğunu gösterir,
- iii) Hücreye gelen net girdiyi hesaplayarak, çıkan sonucu aktivasyon fonksiyonuna gönderen toplama fonksiyonu gönderir. Net girdinin hesaplanabilmesi için farklı fonksiyonlar kullanılabilir. YSA’larda genellikle hücreye gelen girdi değerlerinin kendilerinin sahip oldukları ağırlıklar ile çarpılarak elde edilen ağırlıklı toplam kullanılır.
- iv) Aktivasyon fonksiyonu, bir önceki adımdaki toplama fonksiyonundan alınan sonuç, amaca uygun sonuçlar veren aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışa aktarılır. Bu adımda, değişik fonksiyonlar kullanılabilir. Birlikte herhangi bir problemin çözümü için kullanılacak aktivasyon fonksiyonunun belirlenebilmesi için herhangi bir metodoloji bulunmamaktadır.
- v) YSA’larda en son adım olan çıktı adımı, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen sonuçlardır. Bu sonuçlar birden fazla hücreye girdi olarak gönderilebilirler. Fakat her bir hücrenin tek bir çıkış değeri bulunmaktadır (Serttaş, 2011).

Şekil 1.81’de görülen yapay sinir hücre yapısında, $G_1, G_2, \dots, G_i$ ile gösterilen girdiler bir YSA’nın giriş verileridir. $A_1, A_2, \dots, A_i$, giriş verilerinin ağırlıkları olarak tanımlanırlar ve yapay sinir hücresine gelen verinin tesirini gösterirler. Toplama işlevi fonksiyonu (NET) ise bir sinir hücresine gelen net bilgiyi hesaplama işlevini yerine getirir. Bu net değerin hesaplanması için farklı fonksiyonlardan istifade edilmesine rağmen en çok kullanılan Denklem (1.9)’a göre toplam ağırlığı bulan eşitliktir.

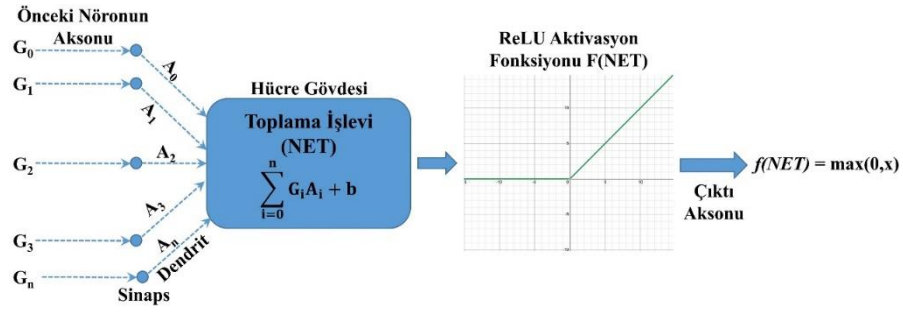
$$NET = \sum_{i=0}^n G_i A_i = G_0 A_0 + G_1 A_1 + \dots + G_n A_n \quad (1.9)$$

Burada;

NET : Fonksiyonun toplam değeri,

G_i : i. girişin değeri,

A_i : i. giriş değerinin ağırlığı,



Şekil 1.81. Yapay sinir hücresi yapısı

Yapay sinir hücresindeki aktivasyon işlevi fonksiyonu $F(NEt)$ da bir önceki adımdaki toplama işlevi fonksiyonundan bu hücreye gelen net girdileri hesaplayarak elde edilecek çıktı değerini / değerlerini belirler. Aktivasyon fonksiyonlarının lineer (doğrusal) fonksiyon, step (basamak) fonksiyonu, relu fonksiyonu, sinüs fonksiyonu, eşik değer fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu, softsign fonksiyonu ve hiperbolik tanjant ($\tanh$) fonksiyonu olmak üzere değişik gösterimleri mevcuttur (Çevik ve Dandıl, 2012). Çalışmamızda relu fonksiyonu tercih edilmiş olup, bu fonksiyon Denklem (1.10)'daki formülle gösterilir. Bu denklemde $F(NEt)$ aktivasyon fonksiyonunu temsil eder

$$F(NEt) = \max(0, x) \quad (1.10)$$

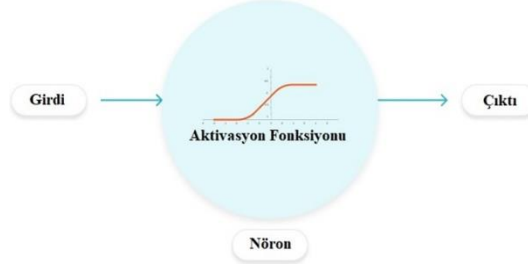
Burada;

$F(NEt)$: Fonksiyonun toplam değeri,

1.10.1. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonları, bir YSA'nın çıktısını belirleyen matematiksel denklemlerdir. Şekil 1.82'de görüldüğü gibi bu fonksiyonların işlevi, YSA'daki bütün nöronlara bağlanıp her nöronun girdisinin geliştirilen modelin tahmini ile ilgili olup olmadığına bağlı olarak etkinleştirilmesine ("tetiklenmesi") gerek olup olmadığını belirler. Ayrıca bu fonksiyonlar her nöronun çıkışını 1 ile 0 arasında veya -1 ile 1 arasında normalize etmeye yardımcı olur (Kalyoncu, 2020). Bu fonksiyonlar YSA'da kullanılmadığı takdirde katmanlar arası transfer edilen veriler lineer şekilde olacaktır. Fakat YSA modelinden beklenen sonuç lineer olmayan bir yapıda ve komplike yapıda olan ses, görüntü, video vb. olduğunda bunların işlenmesi oldukça zor olacak ve ağır öğrenmesi sınırlı kalacaktır. Ağın bu sınırlandırmalardan kurtulması için her nöronun

ağırlığı ve giriş sayısının ağırlıkla çarpımlarının toplamı bir aktivasyon fonksiyonuna alınarak bir sonraki katmana aktarılan nöronun çıktısını vermesi gerekmektedir (Özkay, 2021).

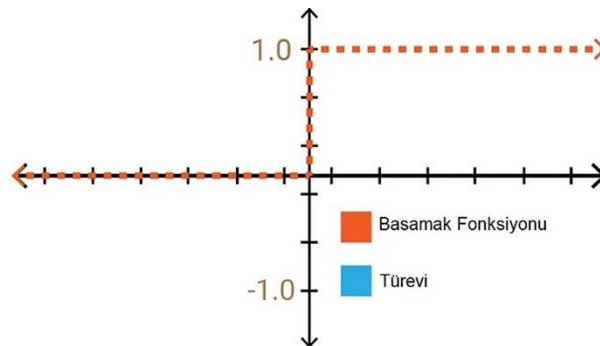


Şekil 1.82. Aktivasyon fonksiyonu şeması

1.10.1.1. Step (basamak) fonksiyonu

Bu aktivasyon fonksiyonu 0 ve 1 gibi ikili değer alan bir fonksiyondur ve yapısı gereği ikili sınıflayıcı olarak kullanılmaktadır. Yapı olarak sınırlı olduğundan dolayı genellikle çıkış katmanlarında kullanılmaktadır. En büyük dezavantajlarından gizli katmanlarda türevi öğrenme değeri temsil etmediğinden yani türevinin sıfır olmasından dolayı geriye yayılımı (backpropagation) hataları güncelleyememektedir (Szandala, 2021; Kızrak, 2019). Şekil 1.83'te (Kızrak, 2019) ve Denklem (1.11)'de görüldüğü gibi değer ≤ 0 olması durumunda çıktı değeri 0 verir, değer > 0 olması durumunda tüm değerleri 1 olarak döndürür (Szandala, 2021).

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq T \\ 1, & x > T \end{cases} \quad (1.11)$$

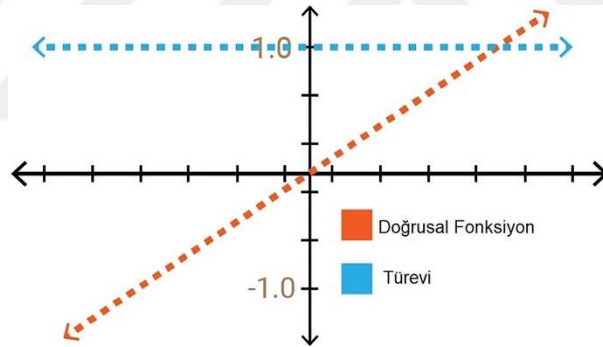


Şekil 1.83. Basamak aktivasyon fonksiyonu ve türevi

1.10.1.2. Lineer (doğrusal) fonksiyon

Step fonksiyonuna kıyasla bir dizi aktivasyon değeri ürettiğinden dolayı daha işlevsel bir yapıdadır. Ürettiği bu değerler basamak fonksiyonundaki gibi ikili değerler değildir. Bir kaç nöronu (sinir hücresini) birbirine bağlamaya imkân verir. Basamak fonksiyonlarında görülen türevi sıfır olma ve geriye doğru güncellememe durumları bu aktivasyon fonksiyonu için görülmez. Fakat bu aktivasyon fonksiyonuna ait önemli bir sorun bulunmaktadır. Bu sorun lineer fonksiyonun her türev durumunda değeri değişen ancak sabit bir sayı döndürmesidir. YSA'yı meydana getiren tüm katmanlarda lineer aktivasyon fonksiyonu kullanıldığında giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında her zaman aynı doğrusal sonuca ulaşılır (Szandala, 2021; Kızrak, 2019). Şekil 1.84'te (Kızrak, 2019) ve Denklem (1.12)'de görüldüğü gibi bu aktivasyon fonksiyonunun her türevlenmesi durumunda değeri değişen ancak sabit bir sayı elde edilecektir.

$$f(x) = a * x, a \in \mathbb{R} \quad (1.12)$$



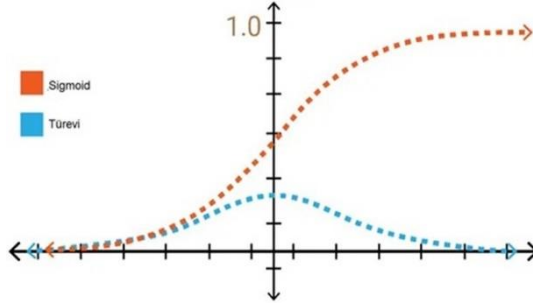
Şekil 1.84. Lineer aktivasyon fonksiyonu ve türevi

1.10.1.3. Sigmoid fonksiyon

Bu aktivasyon fonksiyonunun daha önce bahsi geçen aktivasyon fonksiyonlarından farkı lineer bir şekilde olmamasıdır. 'S' harfine benzer şekilde bir görüntü çizen bu aktivasyon fonksiyonunun sınırları 1 ile 0 arasındadır. Bu fonksiyonun önemli bir eksikliği ise X düzleminde yapılan değişimlerin miktarı kadar Y düzleminde bir değişime neden olmayacaktır ve kaybolan gradyen (vanishing gradient) durumu ortaya çıkacaktır. Bu durumun bir sonucu olarak YSA'daki öğrenme olayı minimum düzeyde gerçekleşerek zaman olarak daha geç olmaktadır (Szandala, 2021; Kızrak,

2019). Bu aktivasyon fonksiyonuna ait grafik ve türevi Şekil 1.85'te (Kızrak, 2019) ve eşitliği ise Denklem (1.13)'te verilmiştir.

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1.13)$$

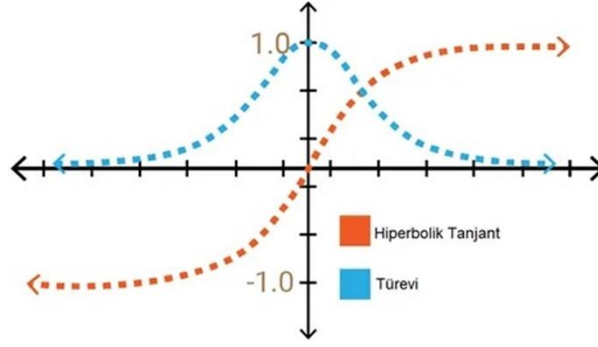


Şekil 1.85. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve türevi

1.10.1.4. Hiperbolik tanjant (tanh) fonksiyonu

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu sigmoid aktivasyon fonksiyonuna çok benzer bir yapıya sahip olup, aralarındaki fark bu fonksiyonun Y değerleri (-1,+1) arasında olmasıdır. Y değerlerinin aralığının farklı olmasına ek olarak sigmoid fonksiyondan bir diğer farkı ise negatif bir alanı kapsadığı için daha çok değer alabilir, yani giriş değerleri negatif olsa bile negatif çıkış verecek ve ağda bir takılma durumu söz konusu olmayacaktır. Ayrıca bu aktivasyon fonksiyonunun türevi, sigmoid fonksiyonundan daha büyük olduğu için sigmoid aktivasyon fonksiyonunda karşılaşılan öğrenme zaman gecikmesi *tanh* fonksiyonunda yaşanmamaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonundaki zikzak çizme problemide bu aktivasyon fonksiyonunda görülmemektedir (Szandala, 2021; Kızrak, 2019). Bu aktivasyon fonksiyonuna ait grafik ve türevi Şekil 1.86'da (Kızrak, 2019) ve eşitliği ise Denklem (1.14)'te verilmiştir.

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (1.14)$$

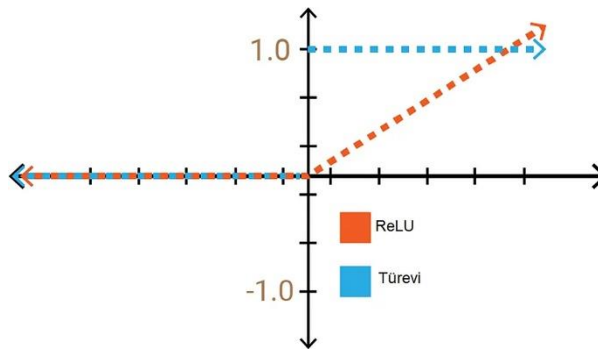


Şekil 1.86. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ve türevi

1.10.1.5. ReLu fonksiyonu

Diğer adı rampa fonksiyonu olan ReLu aktivasyon fonksiyonu pozitif ekseninde doğrusal fonksiyon ile aynı özelliklere sahip gibi görünsede ReLu fonksiyonu doğrusal değildir. Bu aktivasyon fonksiyonunun tahmin etme kabiliyeti oldukça iyidir. ReLu aktivasyon fonksiyonlarının kombinasyonları ile başka bir aktivasyon fonksiyonuna yakınsamak da mümkündür. Negatif ekseninde bu fonksiyonun 0 değerlerini alması ağına daha hızlı çalışacağı anlamına da gelmektedir ki, hız açısından diğer kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından yaklaşık 6 kat daha hızlı olup, ileri ve geri yayılım hızında oldukça yüksektir (Szandala, 2021; Kızrak, 2019). Bu aktivasyon fonksiyonuna ait grafik ve türevi Şekil 1.87’de (Kızrak, 2019) ve eşitliği ise Denklem (1.15)’te verilmiştir.

$$f(x) = x^+ = \max(0, x) \quad (1.15)$$



Şekil 1.87. ReLu aktivasyon fonksiyonu ve türevi

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bitki tohumlarından yağ ekstraksiyonu

Bargale ve ark. (1999) göre, mekanik ekstraksiyonun birçok avantajı olmasına rağmen, düşük yağ verimliliğinin sınırlayıcı bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında, solvent ekstraksiyonu ile %98 yağ ekstraksiyon verimliliğine erişildiğini ancak pres ekstraksiyon verimlerinin nadiren %80'i geçtiğini belirtmişlerdir. Mekanik pres ekstraksiyonu ile yağı çıkarılmış tohumların kabuğunda yıllık yaklaşık olarak 55 – 60 milyon ABD doları maliyetindeki yağın tohum kabuğunda kaldığını bildirmişlerdir. Mekanik pres ile gerçekleştirilen yağ ekstraksiyonunun düşük verimliliğinden dolayı pek çok çalışmada yağ veriminin artırılması ve sürecin optimizasyonunu gerçekleştirmek için yapılan işlem değişkenleri; yağın çıkartılması için tohuma uygulanan basınç, tohum temizliği, tohum neminin giderilmesinin yanı sıra vidalı pres milinin dönüş hızı ve basıncının optimize edilmesi gerektiğini raporlamışlardır. Bargale ve arkadaşlarının bu çalışmalarında belirtmiş oldukları bu optimizasyonlara ek olarak, Khan ve Hanna (1983), yapmış oldukları çalışmalarında; presleme esnasında tohumun ısıtılarak sıcaklığının artırılması ve presleme süresini de eklemek gerektiğini vurgulamışlardır.

Bargale ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sıcaklık, presleme süresi, uygulanan basınç, tek eksenli pres ile preslenecek numunenin yüksekliğinin (pres kafesine konulan tohumun miktarının) ekstraksiyon verimliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneyler için, tek eksenli preslemeye tabi tutulan yağlı malzeme olarak soya fasulyesi kullanmışlardır. Çalışmalarında presleme süresini ve sıcaklığını (22°C'den 90°C'ye çıkarılmasının) daha fazla miktarda yağın ekstrakte edildiğini raporlamışlardır. Ayrıca numunenin daha küçük bir yüksekliği (pres kafesine konulan tohum miktarının az olması) ve uygulanan basıncın 20 MPa'dan 40 MPa'ya yükseltilmesi de ekstrakte edilen yağ miktarının artmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarının sonuç bölümünde; pres kafesine konulan numune miktarının, uygulanan basıncın, presleme sıcaklığının, presleme süresinin ve bu değişkenler arasındaki ikinci ve üçüncü derece etkileşimlerin soya fasulyesi numunelerinden yağ geri kazanımını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir.

Olanıyan (2010), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ekstraksiyon koşullarının hint fasulyesinden elde edilen yağın verimi ve kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, hint fasulyesinden yağın mekanik ekspresyonu sırasında

çekirdeğin doğası, ısıtma sıcaklığı ve presleme süresinin yağ verimi, ekstraksiyon verimliliği ve basınç değeri üzerinde etkisi olduğunu raporlamıştır. Bu nedenle, ekstraksiyon işlemi sırasında bu işlem koşulları dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Deneyleri, Çizelge 2.1’de teknik özellikleri verilen ve Şekil 2.1’de gösterilen Kaliforniya taşıma oranı üniversal test makinesini (California Bearing Ratio [CBR] Test Machines) kullanmıştır.



Şekil 2.1. Kaliforniya taşıma oranı üniversal test makinesi

Çizelge 2.1. Kaliforniya taşıma oranı üniversal test makinesi teknik özellikleri

Model	UTS-0860
Ölçüler L x W x H (mm)	645 x 470 x 1140
Kütle (kg)	80
Voltaj / Frekans (V / Hz) - Faz	220 V / 50 Hz – Mono Faz
Motor Gücü (kW)	0.75
Test Hız Aralığı (mm/min)	0.5 - 5
Maksimum Yatay Genişliği (mm)	260
Maksimum Dikey Yüksekliği (mm)	690
Minimum Dikey Yüksekliği (mm)	260
Maksimum Piston Çapı (mm)	100

Pighinelli ve Gambetta (2012), basınç profilinin, sıcaklığın, kabuk kalınlığının ve nem içeriğinin çeşitli tohumlar (susam, keten tohumu, hurma çekirdeği, jatropha ve kolza tohumu) için yağ verimi ve presleme oranı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, 100 °C’lik bir sıcaklık kullanılarak ve deneylerde kullanılan tohumların optimum nem içeriği (% 2’ye yakın kuru baz) kullanılıp basınç arttırıldığında, test edilen tüm yağlı tohumlar için yağ veriminin arttığını raporlamışlardır. Kabukları soyulmuş tohumlardan elde edilen yağ miktarının, kabuklu tohumlardan elde edilenden yağ miktarından daha

fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu duruma, yağın kabuk gövdelerinde bulunan lifler tarafından emilmesinin neden olduğu şeklinde yorumlamışlardır. Sonuç olarak, yazarlar daha yüksek basınç uygulayabilen (> 45 MPa) bir pres kullanıldığında, yağ veriminin geleneksel preslere kıyasla %15 (yağ/yağ) arttığını belirtmişlerdir.

Willems ve ark. (2008), hidrolik pres ile tohumlardan yağ elde etmek için gerçekleştirmiş olduğu tez çalışmasında, artan mekanik basınçla, *Jatropha* da dahil olmak üzere tüm tohumlar için verim artışının daha yüksek basınçlarda bir sınıra yaklaştığını bildirmiştir. Kabuk gövdesi önemli miktarda yağ içermediğinden ve gövdedeki lif, ekspresyon sırasında yağı emdiğinden, toplam verimi düşürdüğünü, kabuklu tohumlara kıyasla kabuğu soyulmuş tohumlar için maksimum verimin daha yüksek olduğunu raporlamıştır. *Jatropha* dahil tüm tohumlar için 40, 80 ve 100 °C sıcaklıklarda ve 30 MPa'lık sabit bir mekanik basınçta deneylerini gerçekleştirmiştir. Yaklaşık olarak 100 °C'de nem giderimi gerçekleştirilen tohumlarda, protein ve yağ kürecikleri pıhtılaştığından sıcaklığın yağ verimi üzerindeki önemli etkisinin sadece 100 °C'de olduğunu raporlamıştır.

Adeeko ve Ajibola (1990), mekanik olarak ifade edilen yerfıstığı yağının verimini ve kalitesini etkileyen faktörleri belirlemek için gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, sıcaklık, ısıtma süresi ve partikül boyutlarının ebatlarını incelemişlerdir. Bu parametrelerdeki artışla yağ ekspresyon hızının arttığını gözlemlediler. Isıtma sıcaklığı ve süresindeki artış, SYA, peroksit sayısını (1g yağdaki aktif oksijenin mikrogram olarak miktarı) ve yağın renk yoğunluğunu arttırdığını raporlamışlardır.

Ward (1976), yapmış olduğu çalışmada, vidalı presin performansını en çok etkileyen faktörlerin ısıtma ve kurutma olduğunu bildirmiştir. Presleme öncesi ısıtma, yağ hücrelerinin parçalanması, proteinin pıhtılaşması, nem içeriğinin presleme için optimum değere gelmesi ve yağın daha hızlı akmasını sağlayan yağ viskozitesinin azalması nedeniyle yağ ekstraksiyon veriminin artacağını raporlamıştır.

Bamgboye ve Adejumo (2011), kabuğu soyulmuş ayçiçeği tohumlarından yağ çıkarmak için bir vidalı pres geliştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları bu presin ana bileşenleri; çerçeve, küspe çıkışı, yağ çıkış yuvası, ısıtma bölmesi, sonsuz dişli grubu ve kasnağı, hazne ve milden oluşmaktadır. Tohumlar bir ısıtma bölmesi aracılığı ile üretilen buhar ile ısıtıldıktan sonra sonsuz dişliler tarafından tohumun yağın çıkarmışlardır. Tohumlardan elde edilen yağın ve küспенin çıkışını ekipmanın sonuna eklemişlerdir. Ekipman performansı, üç farklı devir sayısında (30, 40 ve 50 rpm) test edilerek değerlendirme yapmışlardır. En iyi yağ verimi (%73.08), 50 rpm için elde etmişlerdir.

Daha düşük yağ verimi, 30 rpm için elde edilmiş olup, devir sayısındaki artışla yağ veriminin artacağını raporlamışlardır.

Pradhan ve ark. (2011), kabuğu alınmış Jathropa (Hint Fıstığı) tohumlarının presleme özellikleri için, fırında ısıtma ve nem içeriğinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, nem içeriğinin (Yaş Bazda; %7.22, %9.69 ve %12.16), pişirme sıcaklığının (50, 70, 90, 110 ve 130 °C) ve pişirme süresinin (5, 10, 15 ve 20 dk.) gibi parametrelerin yağ geri kazanımı, atık yağ içeriği, presleme hızı ve tortu içeriğini değerlendirmişlerdir. Yağ geri kazanımı, nem içeriğinden etkilendiğini bildirmişlerdir. Bu durumu şu şekilde yorumlamışlardır; “çünkü nem içeriğinin artışı, yağ geri kazanımında bir artışa sebebiyet vermektedir.” Pişmiş tohumlarda en yüksek yağ verimi kuru bazda %8,19, pişmemiş tohumlarda ise kuru bazda %9,86 ile elde etmişlerdir. Nem içeriğindeki müteakip artışlar, muhtemelen yağ hücreleri üzerindeki yağ akışını zorlaştıran müsilaj gelişimine bağlı olarak yağ veriminde hızlı bir düşüşe sebebiyet verdiğini ve en iyi pişirme sıcaklığının 10 dakika boyunca 110 °C olduğunu belirtmişlerdir. İlk sonuç, pişmemiş numunelerden elde edilen yağ geri kazanımının, aynı nem içeriğindeki pişmiş numunelerden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumu da şu şekilde yorumlamışlardır; “Tohumlar pişirildiğinde dokuları yumuşar ve yağın viskozitesi düşer, daha yumuşak dokular, hücresel yapıyı zayıflatarak basınç altında yırtılmaya neden olurken, düşük viskozite, yağın akışını kolaylaştırarak daha yüksek yağ verimine katkıda bulunmaktadır. Ancak, daha yüksek sıcaklıklar, kırılgan tohumlara ve yağın bozulmasına neden olabileceğini çünkü Hint Fıstığı gibi yüksek protein içeriğine sahip tohumlarda, ısıtma işlemine bağlı protein pıhtılaşmasının yağ geri kazanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir.” Pişmemiş tohumdan presleme oranı, pişmiş tohuma göre daha yüksek ve vidalı pres yağının tortu içeriğinin daha düşük olduğunu raporlamışlardır.

Bamgboye ve Adejumo (2011), ince ve kaba öğütülmüş bamya tohumlarının yağ verimi üzerine işleme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışma değişkenlerini presleme sırasında uygulanan basınç, tanelerin ısıtma sıcaklığı, presleme ve ısıtma süresi olarak almışlardır. Hem işleme parametreleri hem de malzemenin boyutu, 30 MPa’a kadar basınç ve 100 °C sıcaklığa kadar işleme parametrelerinde bir artışla artan ve bu noktaların ötesinde azalan yağ verimini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, nem içeriğinde bir artış ile yağ veriminin arttığını da vurgulamışlardır. İnce öğütülmüş numuneler, farklı proses parametreleri için daha yüksek bir yağ verimi gösterdiğini raporlamışlardır.

Deli ve ark. (2011), çörek otu (*Nigella sativa* L.) tohum yağlarının ekstraksiyonunda kullanacakları vidalı pres makinesinin; küspe çıkışı – nozul kesiti, vidalı mil devir sayısı ve vidalı mil pres çapındaki değişikliklerin etkisini incelemişlerdir. En yüksek yağ verimi %22.27 ve %19.2 ile sırasıyla 6 mm nozul boyutu, 8 mm mil vida çapı, 21 rpm ve 54 rpm dönüş hızı için elde etmişlerdir. En düşük yağ verimini ise %8,73 ile 10 mm nozul boyutu, 11 mm mil vidası çapı ve 21 rpm dönüş hızında elde etmişlerdir. Mil devir sayısının artması ile yağ veriminin yüzdesinde düşüşler kaydetmişlerdir. Düşük bir devir sayısı kullanıldığında, presleme işlemi süresinde ve tane kütlelerinin ısınmasında bir artış gözlemlenmiştir ve bu yağ elde etme verimliliğinin artmasına neden olmasını şu şekilde yorumlamışlardır; “Bu ısınma sonucu artan tohum sıcaklığının yağın daha kolay akmasına, böylece daha fazla yağ elde edilmesine olanak sağlamış olduğunu vurgulamışlardır.” Nozul boyutunun doğrudan uygulanan basınçla ilgili ve küçük açıklıkların tohumlar üzerindeki basıncın artmasına, böylece mil vidaları ve tohumlar arasındaki sürtünme nedeniyle tahıl kütlelerinde daha yüksek bir sıcaklık oluşmasına neden olduğunu vurgulamışlardır. Sonuç olarak yazarlar, küçülen nozul boyutları, vidalı mil çapı, devir sayısı ve sıcaklık ile yağ veriminin artacağını raporlamışlardır.

Akinoso ve ark. (2009), Vidalı mil presinin basınç gerilimi, tohum besleme hızı ve devir sayısının hurma çekirdeği yağı verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Deneylerinde, 180 kg/saat nominal kapasiteli bir vidalı pres kullanmışlardır. Deneylerini, basınç gerilmesi (10, 20 ve 30 MPa), tohum besleme hızı (50, 100 ve 150 kg/saat) ve vidalı mil hızı (50, 80 ve 110 rpm) olmak üzere 3 kademede 3 değişkenli faktöriyel deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Vidalı mil presinde; 30 MPa basma gerilimi, 150 kg/saat tohum besleme hızı ve 110 rpm hızında maksimum %94,5 verim ve 10 MPa basma gerilimi, 150 kg/saat besleme hızı ve 50 rpm vidalı mil pres hızında %33.6 minimum yağ ekstraksiyon verimi elde edildiğini bildirmişlerdir. Deneylerinde kullandıkları aralıklar için, vidalı mil presinin devir sayısı ve besleme hızının artmasıyla yağ verimi artmıştır. Yağ verimi, basınç stresi ile doğru orantılıyken devir sayısı etkisinin düşük ve ayrıca basınç stresindeki bir artışla yağ veriminde daha fazla artış olacağını tahmin etmişlerdir.

Çılğın (2015), fosil kökenli yakıt olan dizel ikamesi için mikroalgleri üretmişlerdir. Mikroalglerin yetiştirilmesi için gerekli olan hava şartları ve besin kaynağı olarak kullanılan başta CO₂ olmak üzere besin elemanlarının ülkemizde bol miktarda bulunduğundan, mikroalglerin ülkemiz için umut vaat eden bir metil ester (biyodizel) kaynağı olduğunu bildirmiştir.

Evangelista ve Cermak (2007), pişmiş pul pul Cuphea (Cennet Çiçeği) tohumlarının nem içeriğinin, tohumun sürekli vidalı presleme özellikleri ve kesikli pres yağının kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Preslenip yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilen tohum kabuklarının analizi, nem içeriği azaldığında artık yağ içeriğinde önemli bir azalma olduğunu bildirmişlerdir. %9 ve %12 nem içeriği için, artık yağ içeriğindeki farkın önemli olmadığını vurgulamışlardır. Nem içeriği %1 oranında azaltıldığında preslenmiş tohumun kabuğunda bulunan artık yağda % 0.4'lük bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Preslenmiş tohum kabuğundaki en düşük kalıntı %5.6'lık yağ değeri, tohum nem içeriğinin %3,1'e düşürüldüğünde elde edilmiştir. Pişmiş tohum nem içeriği %5.5'ten %3.1'e düşerken yağ verimi %79.4 ile %83,6 arasında değişmiş olduğunu bildirmişlerdir. Nem içeriğinin %3 olduğu tohumlarda en iyi yağ veriminin elde edilmesine rağmen, araştırmacılar uzun kurutma periyotlarının ve uygulanan yüksek basınçların yağ ekstraksiyon işleminin enerji tüketimini arttırdığını vurgulamışlardır.

Olayanju, (2003), vidalı mil pres devrini 30 - 75 rpm ve nem içeriğinin % 4.10 - %10.32 arasındaki susam tohumunun preslendikten sonraki tohum kabuklarındaki yağ nitelikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Neticede, devir sayısı 30 rpm'den 75 rpm'e yükseltilmesi ve başlangıç koşullarına göre daha fazla nem içeriği ile yağın renginin koyulaştığını vurgulamıştır. Tohumun nem içeriğinin artmasına paralel olarak, preslenmiş tohum kabuk içindeki artık yağ miktarı artmış olduğunu belirtmiştir. Tohumun preslendikten sonraki kabuğunun içindeki en düşük artık yağ miktarının yani tohumdan maksimum yağ elde etme verimliliğinin vidalı milin devir sayısının 45 rpm ve başlangıç şartlarındaki tohum nem miktarının %5.3 olduğu şartlarda elde edildiğini raporlamıştır.

Singh ve ark. (2002), Crambe (deniz lahanası) tohumlarının vidalı mil ile preslenmesinde tohumun nem içeriğinin ve tohumu ısıtma işleminin tohumdan yağ elde edilmesinin üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Pişmiş tohumlarda nem içeriğinin azalmasıyla yağ verimi %69'dan %80.9'a yükselirken, pişmemiş tohumlarda yağ verimi artışı %67.7'den %78.9'a çıktığını bildirmişlerdir. Çalışmalarındaki deneyler esnasında %3.6 nem içeriğine sahip tohumların vidalı presin küspe çıkış ağzında tıkanmalar gibi sorunları yaşadıklarını raporlamışlardır. %3.6 nem içeriğine sahip olan tohumların, nem içeriği daha yüksek olan tohumlara kıyas ile %7 daha fazla yağ geri kazanımının gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, araştırmalarındaki çeşitli koşullar için yağ geri kazanımı açısından kurutmanın pişirmekten çok daha faydalı olduğu sonucuna

varmışlardır, ancak k speyi hayvan yemi için uygun hale getirerek mirosinaz enzimini inaktive etmek için kramp durumunda küspenin pişirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

 ıl ın (2021d), *Salvia Candidissima* (yabani adaçayı bitkisinden hidrodistilasyon yöntemi ile ya  ekstrakte etmeye çalışmıştır. 100 gram bitki biyokütlesinden 6-9 ml ya  ekstrakte edilebildiğini raporlamıştır.

2.2. Dizel, B100 ve ağır alkol kombinasyonları

Yaşar (2020a), ger ekle tirmi  olduğu çalışmada farklı biyokütlelerden B100 elde ederek, elde etmiş olduğu bu biyodizelleri %5, %10, %15 ve %20 oranlarında (v/v) jet yakıtına ilave ederek, elde edilen yakıt karışımlarının yoğunluk, viskozite, PN ve donma noktası değerlerinin belirlemeye çalışmıştır. Atık kızartma ya ından elde ettiği metil esterlerden en yüksek yoğunluk, viskozite, PN ve donma noktasına sahip yakıtın sırasıyla (892 kg/m³, 4.66 mm²/s, 180  C, -8  C) olduğunu bildirmi tır. Ayrıca mikroalg ya ından sentezlenen biyodizelin yoğunluk değerinin 881 kg/m³, PN'nin 150  C ve donma noktasının -14  C'ye sahip olduğunu, elde ettiği sonuçlara göre çalışmada pamuk ya ı metil esterlerinin en uygun viskozite değerini kar ıladı ını raporlamıştır.

Yük ve ark., (2020), DF-B100 karışımlı yakıtta dimetil eter ilavesinin yanma, performans parametreleri üzerindeki etkilerini incelemek için bir çalışma ger ekle tirmi lerdir. Deneyleri motorun yüksüz durumundan maksimum yükün %60'ına karşılık gelecek y k aralığında ve motor devrini sabit 1500 rpm'de tutmuşlardır. Motor deneylerinde kullandıkları test yakıtları B25DME25, B10DME10, B25 ve biyodizel ve DF'dir. Deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre B100 ile beraber dimetil eterin kullanımı yanma özelliklerini iyile tirdi ini, muhteviyatında dimetil eter bulunan yakıtların, dizel ve B100 karışımı yakıtlara kıyasla ortalama gaz sıcaklığının artı ını, kütlesel ve FÖYT'lerinin iyile ti ini, CO ve HC emisyonlarının üretimini d   rd  n  ancak NOx emisyonlarında küçük artışların meydana geldiğini raporlamışlardır.

Yaşar (2019), ger ekle tirmi  olduğu çalışmada B100  retiminde, CH₃OH'ın kolza ya ı ve düşük maliyetli atık yumurta kabuğu ve CaO katalizörleri ile transesterifikasyon reaksiyonu üzerinde etkili olan parametreleri araştırmak için bir çalışma ger ekle tirmi tır. Normal transesterifikasyon prosesi için en uygun reaksiyon koşulları %4 katalizör, 1 saatlik reaksiyon süresi ve 60  C reaksiyon koşulları sabit tutularak araştırılmıştır. Bu koşullar altında en yüksek verimler; 1. Kullanım için %96.81 (CaO), %95.12 (yumurta kabuğu) olarak elde edildiğini bildirmi tır. Bu  artlar altında

sentezlediği biyodizelin yoğunluk ve viskozite değerleri sırasıyla CaO: 888 kg/m³, 4.946 mm²/s, yumurta kabuğu: 890 kg/m³, 4.954 mm²/s olarak raporlamıştır. Tüm çalışma parametrelerinden elde edilen biyodizelin yoğunluk ve viskozite değerleri EN 14214'ün kabul ettiği sınırlar dahilinde 860-900 kg/m³ ve 3.5-5.0 mm²/s arasında olduğunu bildirmiştir.

Işık ve ark., (2017), n-bütanolün B100-DF karışımına eklenmesinin yanma, performans ve emisyon parametreleri üzerindeki etkilerini saptamak için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçlarından B20 yakıtının düşük motor yüklerinde DF'ye benzer ancak biraz düşük maksimum basınç değerleri elde edilirken n-bütanol katılmış BB20 yakıtı ise bütün motor yükü şartlarında ÜÖN'dan sonra daha düşük basınç artış oranı (BAO) ve silindir basıncına (SB)'ye neden olmuştur. Çalışmalarında en fazla kütleli yakıt tüketimi değerinin B20 yakıtı ve en düşük EGS'nin n-bütanol katılmış olan BB20 yakıtı için gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Emisyonlar bakımından endüyük NOx ve CO emisyonunun BB20 yakıtının üretmiş olduğunu ve en yüksek NOx emisyonunun B20 yakıtı tarafından üretildiğini raporlamışlardır.

Çılğın ve İlkılıç (2015), mikroalg yağından sentezlenen biyodizelin DF ile %5 fraksiyonunda harmanlayarak bir SAM'da yakmaları neticesinde; DF'ye kıyasla NOx ve O₂ emisyonlarının daha yüksek ancak HC, CO₂ ve CO emisyonlarının daha düşük olduğunu raporlamışlardır.

Behçet ve ark., (2015), tarafından balık yağı biyodizeli (FOB), fındık yağı biyodizeli (HOB), kolza yağı biyodizeli (ROB) ve AYY biyodizeli (WCOB) gibi farklı hammaddeleri biyodizele sentezleyerek, bir SAM'da motor performansı ve egzoz emisyon parametrelerini incelemişlerdir, araştırmacıların çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Sentezledikleri biyodizelleri DF ile tork değerlerini kıyasladıklarında; FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %10.65, %17.26, %13.11 ve %20.12 düşüş olmuştur,
- ii) Sentezledikleri biyodizelleri DF ile ortalama güç düşüşleri bakımından kıyasladıklarında; FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %9.32, %20.58, %19.44 ve %17.17 olmuştur,
- iii) Sentezledikleri biyodizelleri DF ile ortalama FÖYT bakımından kıyasladıklarında; düşüşleri bakımından Biyodizeller için ortalama bsfc

değerleri FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %2,36, %5,19, %9,92 ve %7,90 oranlarında artış olmuştur,

- iv) Sentezledikleri biyodizelleri DF'nin EGS'leri bakımından kıyasladıklarında; FOB, HOB, ROB ve WCOB biyodizelleri için makul ölçüde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir,
- v) Sentezledikleri biyodizelleri DF ile üretilen NO_x emisyonları bakımından kıyasladıklarında; FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %4.76, %9.77, %6.25 ve %22.92 oranlarında daha yüksek salınım elde etmişlerdir,
- vi) Sentezledikleri biyodizelleri DF ile CO emisyon değerleri bakımından kıyasladıklarında; FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %22.58, %14.19, %29.67 ve %20.01 oranlarında dizelden daha düşük olduğunu, HC emisyon değerleri bakımından ise FOB, HOB, ROB ve WCOB yakıtları için sırasıyla %41.11, %36.11, %35.01 ve %29.44 oranlarında dizelden daha düşük sonuçlar elde etmişlerdir,
- vii) En yüksek duman emisyonu seviyesi ise DF için elde edildiğini ve biyodizellerden kaynaklanan toplam CO₂ emisyonlarının DF'den daha düşük tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak, çalışmalarında kullanmış oldukları tüm yağlardan sentezledikleri biyodizellerin, SAM'larda herhangi bir modifikasyon yapılmadan ve sentezlenen biyodizellerin fosil kökenli DF ikamesi olarak kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Yaşar (2020b), gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, çeşitli bitkisel yağların, bu bitkisel yağlardan üretilen B100 yakıtların yakıt özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak ve B100 üretimi için en uygun hammaddeyi belirlemeyi amaçlamıştır. Bitkisel yağların YA bileşimlerinin yakıt özellikleri ile ilişkilendirmek için doymamışlık derecesi (DU) ve uzun zincirli doymuşluk faktörü (LCSF) parametrelerini çalışma kapsamında hesaplamıştır. Ayrıca, biyodizelle sentezleyeceği hammaddenin su muhteviyatının ester dönüşümüne etkisi, doymamışlık derecesi ile biyodizelin SS'nin değişimi, biyodizelin soğuk akış özelliklerine karşı LCSF, viskozite ve asit sayısına göre B100 yakıtların oksidatif stabilitesindeki değişiklikler gibi parametreleride araştırmıştır. Gerçekleştirmiş olduğu deneyler neticesinde maksimum ester içeriği (%98.5) minimum su içeriğine sahip olan alg yağından elde edildiğini bildirmiştir. Ayrıca, alg yağının pamuk tohumu yağında olduğu gibi en yüksek doymuş YA içeriğine sahip olması nedeniyle en yüksek SS'ye ve en düşük soğuk akış özelliklerine sahip olduğunu raporlamıştır.

Hazar ve Aydın (2010), kolza tohumu yağı ve DF karışımlarının ön ısıtma işlemi ile muamele edilmesi neticesinde motor performansı ve emisyon üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında; ön ısıtma işlemi uygulanmış D50O50 yakıtının FÖYT değerinde en fazla düşüş, ön ısıtma etkisinin tüm test yakıtlarının EGS’de azalmaların meydana geldiğini bildirmişlerdir. Ön ısıtmaya tabi tutulan tüm test yakıtlarının NO_x emisyonlarında artış meydana gelirken CO emisyonlarının azaldığını raporlamışlardır.

İlkılıç ve Çılğın (2014), menengiç yağından sentezledikleri biyodizeli %10 oranında DF ile harmanlayarak elde ettikleri yakıt için motor testleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları karışım yakıtın CO emisyonlarını azalttığını ve NO_x emisyonlarını artırdığını raporlamışlardır.

Huang ve Wu (2008) biyodizelin dezavantajlarının yüksek viskozite, yüksek akma noktası ve düşük kalorifik değer gibi dizel motordaki teknik engeller olduğunu fark etmiştir. Qi ve ark. (2011), alkoller ve soğuk akış geliştiriciler gibi katkı maddeleri kullanılarak B100 özelliklerini geliştirmek için çeşitli teknikler denemişlerdir.

Mahanta ve ark. (2006), B20 biyodizelin FTV’nin saf dizelden daha yüksek olduğunu, çünkü B100 yakıttaki daha yüksek oksijen atomu içeriğinin yakıtın yanma odasında daha eksiksiz yanmasını sağladığını raporlamışlardır.

Agarwal ve ark. (2000), saf dizele göre farklı biyodizel karışım oranlarının (B5, B10, B15, B20, B25, B30, B40, B50, B75, B100) dizel motorun maksimum termal verimi üzerindeki etkilerini araştırmış ve B20 B100-dizel karışım koşulunun termal veriminin en yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Zhu ve ark. (2010), saf B100, B100- C₂H₅OH ve B100-CH₃OH karışımlarının termal verimliliğinin tüm çalışma koşullarında saf dizelden daha yüksek olduğunu, çünkü yakıt karışımlarındaki az miktardaki C₂H₅OH’ın viskozitenin azalmasını kolaylaştırdığını ve bunun da yanma özelliklerini ve motor performansını iyileştirdiğini raporlamışlardır.

Çılğın, (2021c), çalışmada, origanum yağından sentezlediği biyodizeli %5 oranında DF ile harmanlayarak 4 silindirli, 4 zamanlı doğal emişli bir dizel motorda 1500 rpm sabit hızda ve farklı motor yüklerinde (3.52, 7.04 ve 10.56 kW) test etmiştir. Motorun FTV’sinin dizele kıyasla %2.90 azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %1.23/kWh artmış olduğunu bildirmiştir. Ayrıca CO ve HC emisyonlarının azaldığını, NO_x emisyonlarının artmış olduğunu raporlamıştır.

Gumus ve ark. (2012), dizel motorda B100 karışım yüzdesinin ve enjeksiyon basıncının artmasıyla CO emisyonlarının azaldığını raporlamışlardır.

Aydın ve İlkılıç (2010), DF-B100 ve C₂H₅OH eklenmesinin motor performansı ve emisyon parametreleri üzerindeki etkileri araştırmak için gerçekleştirmiş oldukları çalışmada elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Elde ettikleri test yakıtlarını, SAM'larda çok büyük modifikasyonlar yapılmadan DF yerine kullanılabileceğini,
- ii) BE20 için elde edilen motor torkunun, hem dizel hem de B20 yakıtlarından elde edilenden daha yüksek olduğunu,
- iii) BE20'nin motor gücü DF'ye çok yakın ancak B20 yakıtının biraz daha düşük olduğunu,
- iv) BE20 yakıtı için ortalama FÖYT'nin B20'den daha düşük ancak standart DF'ye çok yakın olduğunu,
- v) Test yakıtlarından en yüksek EGS'yi BE20 yakıt karışımından elde edildiğini,
- vi) NO_x emisyonları, B100-DF karışımına kıyasla hem B100- C₂H₅OH karışımı hem de standart DF kullanımıyla çok düşük miktarda arttığını,
- vii) CO₂ emisyonlarının, hem dizel hem de BE20 yakıtlarına kıyasla B20 yakıtı için ciddi bir düşüş elde edilmişken, B20 için ortalama CO₂ emisyonunun azalması dizel ve BE20 yakıtlarına kıyasla sırasıyla yaklaşık %67 ve %67.5 olduğunu,
- viii) CO ve SO₂ emisyonları, hem B100-C₂H₅OH hem de B100-DF karışımlarının kullanımıyla, saf DF'ye kıyasla azaldığını raporlamışlardır.

İlkılıç ve Çılğın (2013), menengiç yağından sentezledikleri biyodizeli %25 fraksiyonunda DF ile harmanlayarak bir SAM'da yanma ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. İncelemelerinin sonucunda DF'ye kıyasla CO, HC ve CO₂ emisyonlarının düşük ancak NO_x emisyonlarının yüksek olduğunu raporlamışlardır.

Suryawanshi ve Deshpande (2005), B100 karışımlarının HC emisyonlarının tam motor yükünde saf dizelden önemli ölçüde daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Çılğın, (2021a), *Salvia Candidissima* (yabani ada çayı) bitkisinden hidrodistilasyon yöntemi ile yağ ekstrakte edip, ekstrakte edilen yağı transesterifikasyon prosesi ile biyodizele sentezlemiştir. Sentezlediği biyodizeli %20 oranında DF ile harmanlayıp, bir SAM'da yakmıştır. Motor testleri neticesinde DF'ye kıyasla D80B20 yakıtının NO_x ve CO₂ emisyon üretimin artırdığı ancak CO ve HC emisyonlarını azalttığını bildirmiştir. Ayrıca D80B20 yakıtının maksimum SB'yi maksimum net ısı

salımı hızını (NISH) ve maksimum kümülatif ısı salımını artırdığını gözlemleyerek, azalmıştır. *Salvia Candidissima* bitkisinin yağından sentezlenen biyodizelin yanma prosesinde iyileşmeler sağladığını raporlamıştır.

Grimaldi ve ark. (2002), 250 rpm motor devrinde, B100 yakmanın CO emisyon seviyesinin dizel yakmaya kıyasla benzer olduğunu bulmuştur. Motor devri 4000 rpm olduğunda, CO emisyonları B100 yakıtının yakılmasıyla önemli ölçüde azaldığını raporlamışlardır.

İlkılıç ve Aydın (2011), pamuk çekirdeği yağından ekstrakte ettikleri yağı transesterifikasyon prosesi biyodizele sentezleyip, D25B75 yakıtının motor tam yük ve farklı devirlerde performans ve emisyon parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Motor torku ve gücünde DF'ye kıyasla düşüşler meydana geldiğini bildirmişlerdir. Emisyonlar DF ile kıyaslandığında CO ve HC emisyonlarında düşüşler gözlemlenirken en büyük düşüşün duman emisyonunda olduğunu raporlamışlardır.

Çılğın, (2021b), çalışmasında uçucu yağ bitkilerinden olan *Mentha Tomentosa*'dan (tüylü nane) hidrodistilasyon yöntemini kullanarak yağ ekstrakte etmiştir. Transesterifikasyon prosesi ile bu yağı biyodizele sentezleyerek %5, %10, %15 ve %20 oranlarında DF ile harmanlayarak motor testleri gerçekleştirmiştir. 1500 rpm sabit motor devrinde, çeşitli yükler altında motor performans ve emisyon parametrelerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlar neticesinde karışım yakıtların NO_x ve CO₂ emisyonlarını artırırken CO ve HC'yi düşürdüğünü bildirmiştir. Performans parametreleri için, motor gücü ve torkunu sırasıyla %8.95 kW ve %4,28 Nm artırdığını, özgül yakıt tüketimini ise %5,82 g/kWh düşürdüğünü raporlamıştır.

Sharp ve ark. (2005), NO_x emisyonları ile B100 yakıt yüzdesi arasındaki ilişkileri araştırmış ve NO_x emisyonlarının test edilen yakıttaki oksijen içeriğinin artmasıyla azaldığını ancak artan karbon zinciri uzunluğuyla arttığını raporlamışlardır.

Aydın ve İlkılıç (2011), Kolza tohumu yağından elde edilen saf biyodizelin ve DF ile %20 fraksiyonda karıştırılarak elde edilen D80B20 yakıtının bir SAM'da motor performansı ve emisyon parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirmiş oldukları çalışmada elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) B20 yakıtı için tork ve yakıt tüketiminde çok düşük farklılıklar gözlemlenmiştir. B20 yakıtının DF'ye kıyasla CO, CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarını sırasıyla %29, %16, %31 ve %27 oranında azaltmış olduğunu,

- ii) B100'ün DF'ye kıyasla yaklaşık %12 daha düşük güç ve %20 - %25 daha fazla yakıt tüketimi gerçekleştirdiğini, B100 yakıtının CO, CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarını sırasıyla %13, %27, %19 ve %26 oranında azaltmış olduğunu,
- iii) B20, DF yerine doğrudan kullanılabilir ve kolza yağından sentezlenen biyodizelin FÖYT'sinin ve EGS'nin DF'ye kıyasla biraz daha yüksek bulunmasına rağmen motorda çok büyük modifikasyonlar yapılmadan DF yerine kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Çılğın, (2020), hybrid of Origanum Sp. Tekin-2017 bitkisinin yağdan sentezlediği biyodizeli %10 oranında DF ile karıştırması sonunda sabit motor devrinde DF'ye kıyasla NO_x emisyonlarını %2.46 artırdığını raporlamıştır.

Aydın, (2020), ATY'den sentezlediği biyodizeli saf ve %50 oranında DF ile harmanlayarak yakması neticesinde DF'ye kıyasla NO_x emisyonlarının önemli ölçüde yüksek olduğunu bildirmiştir.

Yaşar, (2016), tarafından yosun yağdan sentezlenen biyodizelin NO_x emisyonları; 10,2 kW yükte B0 için 854 ppm, B20 için 850 ppm ve B100 için ise 892 ppm olarak ölçmüştür.

Aydın ve ark., (2015) tarafından AYY'dan sentezlenen biyodizeli B5, B100-DF karışımlarını, tek silindirli bir dizel motora ait piston ve valfler, astar tabakası olarak 100 µm NiCrAl kullanılarak plazma sprey kaplama yöntemi ile kaplanmış ve bu tabakanın üzerine aynı yüzeyler, %88 ZrO₂, %4 MgO ve %8 Al₂O₃, içeren karışımın 400 µm kaplanıp yakıtlar test edilmiş ve çalışmada elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Test motorunun güç çıkışı, B100 yakıtı kullanıldığında kaplama işlemi ile sadece biraz artarken, B5 ve DF için neredeyse hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. DF ile çalışan motorun yakıt tüketimi kaplama işlemi ile azaltılmış ve bundan dolayı en düşük ortalama FÖYT bu yakıt için elde edilmiştir. Biyoyakıt karışımları içinde ortalama FÖYT'nin azaldığı gözlenmiştir.
- ii) Test motorunda izolasyon malzemelerinin kullanımı ile EGS'nin artmış olduğu gözlenmiştir.

- iii) Yalıtımlı yanma odasından ısı transferinin azalması nedeniyle TG süresinin gecikmesinin kısılması ile seramik kaplama sayesinde motor gürültüsündeki azalma gözlenmiştir.
- iv) Test motorunun piston ve valflerinin kaplanması ile tüm test yakıtlarında CO, HC ve duman emisyonları azaldığı, ayrıca karışım yakıtların CO, HC ve duman emisyonları hem kaplamalı hem de kaplamasız motorda DF'ye göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ancak motor kaplandığında hem dizel hemde karışım yakıtlarının NOx emisyonları artmıştır.
- v) Termal bariyerle kaplanmış motordan elde edilen silindir gazı basınç değerlerinin, kaplanmamış motordan elde edilen silindir gazı basınç değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her iki motorda ve test yakıtlarının kullanılmasıyla ölçülen maksimum basınçlar ÜÖN'dan sonra oluşmuştur. Her iki motorda da aynı deney koşullarında elde edilen ısı yayılım oranları birbirine çok yakın olmuş ve ÜÖN'dan önce oluştuğunu raporlamışlardır.

Çılğın, (2015), tarafından mikroalg yağından transesterifikasyon prosesi ile sentezlenen biyodizelin, fosil kökenli DF ile belli oranlarda harmanlanarak bir SAM'da yakılmasının motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin fosil kökenli DF'ye benzerlik gösterdiğini bildirmiştir. Yine aynı çalışmada araştırmacı tarafından, motor emisyonlarında ise mikroalg yağından sentezlenen biyodizelin fosil kökenli yakıt karışımlarının çevre açısından daha az zararlı emisyon ürettiğini raporlamıştır.

Behçet ve ark., (2015) tarafından dizel motorlara alternatif yakıtlar geliştirmek amacıyla, balık (FOME) ve tavuk (CFME) yağı/yağlarından üretilen FOME ve CFME metil esterlerinden elde edilen FOB20 ve CFB20 karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmış ve çalışmada elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Biyodizel sentezlenmesinde alternatif hammadde olarak balık yağı ve tavuk yağı kullanılabileceğini, yağın ayrılması, ısıtma ve transesterifikasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilebileceğini ve FOB20 ve CFB20 karışım yakıtlarının özellikleri, standart B100 yakıtına benzer olduğunu,
- ii) Hayvansal yağlardan sentezlenen biyodizellerin emisyonları kimyasal olarak standart DF'den farklı olduğu için daha düşük CO, HC, CO₂ ve duman

emisyonları elde edildiğini ve bu emisyon değerlerinin sırasıyla %17.34, %12.89, %7.87 ve %12.99 oranlarda azaldığını raporlamışlardır.

Kim ve Choi (2008) C_2H_5OH gibi katkı maddelerinin kimyasal özellikleri iyileştirdiğini, ancak parlama ve yanma noktası, kalorifik değer ve SS gibi diğer özellikleri etkilediğini vurgulamışlardır. Bu nedenle, dizel motorlarda kullanımı için geleneksel dizelin yerini alacak mükemmel ve uygun bir karışım hazırlamanın zor bir görev olduğunu belirtmişlerdir.

Yao ve ark. (2010), CH_3OH ve C_2H_5OH gibi hafif alkollerin dezavantajının zayıf karışım çözünürlüğü ve dizel ile zayıf karışabilirlik ve düşük sıcaklıklarda faz ayrışması olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Moreau ve ark. (2012), daha fazla karbon sayısına sahip AA'nin fiziksel ve termodinamik özellikleri nedeniyle bir kaynak olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Sivalakshmi ve Balusamy (2011) daha AA'nin daha yüksek SS'ye ve dizel ile daha iyi karışabilirliğe sahip olduğu sonucunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte, Giakoumis ve ark. (2013), C_4H_9OH 'ın dizel motorlarda yakıt katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanıldığını ve uygun egzoz emisyonlarına sahip olduğunu raporlamışlardır.

Biyodizelin alkol ile harmanlanması neticesinde biyodizelin yoğunluğunu ve viskozitesini azalttığı, bunun da yakıt atomizasyonunu ve püskürtme özelliklerini iyileştirdiği raporlanmıştır. Aynı zamanda yanma verimliliğini iyileştirir ve biyodizeldeki oksijen miktarını artırır, böylece daha az CO_2 , CO ve HC emisyonu sağlar (Imdadul ve ark., 2016). AA çeşitli fraksiyonlarda dizel veya B100 uygulamaları üzerine birçok bilimsel çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar raporlanmıştır. Son zamanlarda, literatür de çeşitli biyolojik kaynaklardan daha AA üretimi konusunda olumlu sonuçlar raporlanmıştır.

Alkoller-dizel-B100 kombinasyonları üzerine yapılan daha önceki çalışmalar, karbon içeriği dörtten fazla olan tüm AA'nin daha düşük buharlaşma gizli ısısı, karşılaştırılabilir kalorifik değer, daha iyi alev hızı ve üstün kendi kendine tutuşma kalitesi gibi birçok fayda sağlayabileceği rapor edilmiştir (Giakoumis ve ark., 2013).

Mat Yasin ve ark. (2014), yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip saf biyodizelin motorlarda yaygın olarak uygulanmadığına, ancak az miktarda alkol eklenerek performansının artırılabilirliğini raporlamışlardır. Ayrıca, 2500 dev/dak motor hızında, biyodizele az miktarda CH_3OH eklenmesi, motor gücünü ve CO emisyonlarını azaltarak,

maksimum SBY'yi ve ısı yayma oranını (HRR) biraz yükselttiğini ve diğer emisyonları artırdığını bildirmişlerdir.

Yilmaz ve ark. (2014), farklı yükleme koşullarında AYY ile C_4H_9OH 'ı %5, %10 ve %20 oranlarında karışım olarak kullanmışlardır. Tropik bir ağaç bitkisinden elde edilen yağın biyodizeline C_4H_9OH ilavesinden sonra FÖYT ile CO ve HC emisyonlarında artış olduğunu, EGS ve NO_x emisyonlarının ise azaldığını bildirmişlerdir. %20 oranında C_4H_9OH karışımıyla elde edilen yakıtlar saf DF ile kıyaslandığında önemli HC emisyonları kaydedilmiştir.

Imtenan ve ark. (2015), tropik bir ağaç bitkisinden elde edilen yağın biyodizeli ve dizel karışımına az miktarda n-bütanol ilavesinin %20 B100 çözeltisine kıyasla FÖYT'de %3.3'lük bir azalma gösterdiğini ortaya koymuştur. Biyodizel ve dizel karışımına %5 n-bütanol ilavesi NO_x emisyonlarını artırmış, ancak %10 n-bütanol ilavesi NO_x emisyonlarını %8 oranında azaltmıştır. Bu iki karışım aynı zamanda sırasıyla %19 ve %26 CO emisyonunu azalttığını raporlamışlardır. Bununla birlikte, C_4H_9OH karışımları %20 B100 çözeltisine kıyasla %36 daha yüksek CO emisyonu ve %17 duman koyuluğunu (DK)'yi düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Sharon ve ark. (2013), palm yağı ve C_4H_9OH 'ın DI (Direct Injection) dizel motorda dizel ile etkilerini raporlamışlardır. Bu rapor sonucunda C_4H_9OH kullanımı NO_x emisyonunu ve DK'yi azaltmıştır. Ayrıca, C_4H_9OH karışımlı yakıt için FTV'nin arttığını bildirmişlerdir.

Ramírez ve ark. (2014), fitolün dizel (%5, %10 ve %20 v/v) ile tek silindirli dizel motor çalışması için uygunluğunu incelemiştir. Saf dizelin fitol karışımlı yakıtı ile beslendiğinde motorun verimliliği ile NO_x ve CO emisyonunun daha düşük olduğunu raporlamışlardır.

Tosun ve Aydın (2020), tarafından ATY'den sentezlenen biyodizele belli oranlarda C_3H_7OH eklenerek yanma, performans ve emisyon parametreleri üzerindeki etkilerini incelemek için gerçekleştirdikleri çalışmalarında; Biyodizelin özgül yakıt tüketimi değerlerinin DF'ye kıyasla daha yüksek olduğunu raporlamışlardır. Biyodizelin özgül yakıt tüketimindeki artışın nedeni olarak, biyodizelin ısı değerlerinin DF'den daha düşük olması; yakıtın miktarı, yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketim miktarını etkilediğini vurgulamışlardır. Biyodizel düşük kalorifik değere sahip olduğundan, aynı miktarda enerji üretmek için daha fazla yakıt tüketimi gerektirdiğini, bu durumda özgül yakıt tüketiminin DF tüketiminden daha yüksek olmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Nanthagopal ve ark. (2018a), tropik bir ağaç bitkisinden elde edilen yağdan sentezlenen B100 yakıtına n-pentanol ve n-oktanol gibi daha AA ilavesinin etkisini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. AA'nin B100 ile karıştırılmasının, karışımların kendiliğinden tutuşma kalitesini ve yoğunluğunu düşürdüğünü bildirmişlerdir. FTV'nin %30 $C_8H_{17}OH$ karışımı için saf B100'e göre %8.9 oranında daha yüksek olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca, ağır alkollerin B100 ile harmanlanmasının HC emisyonunu %8-22 oranında azalttığını ve CO'yu %50 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Yanma özellikleri, biyodizele %10 daha yüksek alkol ilavesi için tüm motor yüklerinde DF'den daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Nanthagopal ve ark. (2018b), 1-pentanol ve 1-butanolün tropik bir ağaç bitkisinden elde edilen yağın biyodizeli ile birlikte hacimce %40, %50 ve %60 gibi daha yüksek konsantrasyonlarda bir SAM emisyon özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. B100-AA karışımındaki alkol içeriğinin artmasıyla CO, HC ve NO_x emisyonlarının arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, DK alkol içeriğinin azalmasıyla artmıştır. Daha yüksek alkol oranı için SB'de önemli bir düşüş gerçekleştirdiğini raporlamışlardır.

Campos-Fernández ve ark. (2013), dizel-1-pentanol karışımını dizel motorda %10-25 gibi farklı karışım oranlarıyla değerlendirmişlerdir. Pentanolün %25'inin ve dizelin %75'inin dizel motorda dizel yerine yakıt olarak kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Arbab ve ark. (2013), dizel-n-bütanol ikili karışımlarının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları, dizel-n-bütanol karışımlarının yeni nesil bir yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Atmanli ve ark. (2016), daha iyi emisyon ve performans elde etmek için dizel-n- C_4H_9OH -pamuk tohumu yağı üçlü karışımlarını optimize etmiştir. Optimum konsantrasyon %65.5 hacim dizel, %23.1 hacim n-bütanol ve %11.4 hacim pamuk tohumu yağı olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, dizele kıyasla belirtilen karışımlar için fren ısı verimi, MFG ve fren torkunun azaldığını, FÖYT'nin ise arttığını göstermiştir. NO_x , CO ve HC emisyonları ilgili karışımlar için sırasıyla %11.33, %45.17 ve %81.45 oranında azalmıştır.

Sharon ve ark. (2013), dizel - palm yağı - n-bütanol karışımlarını alternatif yakıt olarak dizel motorda deneysel olarak incelemişlerdir. Üçlü karışımlardaki bütanol içeriğinin artması NO_x , CO, CO_2 ve duman emisyonlarının azalmasına neden olurken, yanmamış HC emisyonu ve FTV'si artmıştır. Bununla birlikte, Ileri, (2016), dizel

motorda n-bütanol-dizel-bitkisel yağ karışımlarını incelemiştir. Hacimsel olarak %60'lık n-bütanol içeriğine sahip karışımların CO ve yanmamış HC emisyonlarını azaltabildiğini raporlamıştır.

Kimyasal yapılarında beşten fazla karbon atomu içeren alkoller: Hekzanol, Oktanol ve Dekanol, oldukça benzer kimyasal özelliklere sahip oldukları ve baz yakıtla karıştırıldıklarında benzer etkilere sahiptirler. Bu alkoller, alkol familyasının diğer üyelerinden daha yüksek enerji ve oksijen içeriğine sahiptir ve ayrıca daha yüksek karbon içeriği, B100 ve dizel ile düşük polarite ve daha iyi çözücü yetenekleri sağlar (Aloko ve ark., 2007). Bu nedenle, bu AA'ler alternatif bir yakıt olarak potansiyellerini belirlemek için araştırma topluluğundan özel ilgi görmüşlerdir. Hekzanol ilk olarak üçlü karışımlarda, özellikle kendiliğinden tutuşma özelliklerinden yoksun, daha yüksek viskoziteleri ve daha düşük enerji içerikleri nedeniyle daha düşük ısı yayma kabiliyetine sahip olan hafif alkol-B100-DF karışımlarında tutuşma geliştirici veya oksijenli katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Raju ve ark., 2016). Hekzanol, C_2H_5OH karışımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü sadece tutuşma geliştirici ve oksijenli katkı maddesi amacına hizmet etmekle kalmaz, aynı zamanda $C_6H_{13}OH$ 'daki oksijen atomu C_2H_5OH yapısı ile güçlü bir hidrojen bağı oluşturduğundan C_2H_5OH konsantrasyonlarında karışım stabilitesini de sağlar (Sathiyagnanam ve ark., 2010). Benzer şekilde, $C_8H_{17}OH$ İYM'lerde diğer alkollerle karıştırmak için yüzey aktif bir madde olarak kullanılmış (Ishida ve ark., 2010), ancak daha sonra umut verici SS (33.10) ve diğer hafif alkollerden daha yüksek oksijen içeriği (~%12.3 m/m) nedeniyle dikkat çekmiştir (Hoppe ve ark., 2015). Ticari üretim süreci henüz başlangıç aşamasında olduğundan, $C_9H_{19}OH$ şu anda alternatif yakıt kulvarında fazla bir önem arz etmemektedir. Bununla birlikte, $C_9H_{19}OH$ 'ın üstün kimyasal özellikleri ve yapısı sayesinde yakın gelecekte alternatif yakıt endüstrisinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir.

Nanthagopal ve ark., (2019) tarafından tropik bir ağaç bitkisi (tamanu) yağından sentezledikleri biyodizeli DF-B100 ve DF-B100- $C_9H_{19}OH$ karışımlarında hacimce %10, %15, %20, %30 ve %40 konsantrasyonlarda harmanlanarak elde ettikleri yakıtlar ile motor testleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Elde ettikleri tüm üçlü karışımların FÖYT ve FÖET AA'nin sağlamış olduğu yeterli miktarda oksijen nedeniyle DF'den daha yüksek, ancak biyodizelden

daha düşük olduğunu, öte yandan, tüm üçlü karışımların FTV'sinin saf biyodizelden daha yüksek ve karışımdaki $C_9H_{19}OH$ konsantrasyonundaki artışla artmış olduğunu,

- ii) HC, CO emisyonları ve duman opaklığı, üçlü karışımın alkol içeriğinin artmasıyla azaldığını ve %40 alkol karışımı için en az, NO_x emisyonu ise bu alkol içeriği ile artmış olduğunu bildirmişlerdir. Ek olarak, üçlü karışımların genel HC, CO emisyonları ve duman opaklığı, tüm yüklerde saf dizel ve biyodizelden daha düşük olduğunu, ancak, saf dizel için NO_x emisyonu, üçlü karışımlardan daha düşük olduğunu raporlamışlardır.
- iii) Biyodizel-DF karışımına $C_9H_{19}OH$ ilave edildiğinde, tepe basıncı ile birlikte silindir içi basınç değerleri bir miktar iyileştiğini, üçlü karışımların tepe basıncının saf dizelinkinden daha düşük olduğu ve tüm yüklerde en yüksek değeri gösteren D50B10DE40 ile üçlü karışımda alkol yüzdesi arttıkça artmış olduğunu raporlamışlardır.
- iv) Kısmi yüklerde ısı yayma oranı, üçlü karışımlar için önemli ölçüde daha düşük olduğunu, bununla birlikte, $C_9H_{19}OH$ yüzdesi arttıkça, saf biyodizele kıyasla ısı değerindeki artış nedeniyle HRR değerleri de daha yüksek yüklerde iyileştiğini raporlamışlardır.
- v) Yakıt karışımına alkol eklendikçe, yakıt karışımındaki moleküler oksijen de artar ve kalorifik değerde bir artış gözlemlense de alkol karışımları için CHRR, yanmanın son aşamasında daha da düştüğünü bildirmişlerdir.

Işık (2021) tarafından AA'ler olan C_3H_7OH , C_4H_9OH , $C_5H_{11}OH$ ve $C_8H_{17}OH$ 'ın aspir yağı biyodizelinin kullanılabilirliği üzerindeki etkileri, bu alkollerin %20'si B100 ile karıştırılarak deneysel olarak incelemiştir. Alkol karışımlarından elde edilen performans, yanma ve emisyon verileri, saf B100 ve petrol DF ile karşılaştırılmış, çalışmada elde ettiği sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Alkol ilavesi, daha düşük ısı değerleri nedeniyle performansta düşüşe neden olup yakıt tüketiminde artışa neden olduğunu, OC20 yakıtının ve DF'nin değerleri çok yakın olduğunu,
- ii) Yakıtlar arasındaki kütleli yakıt ve FÖYT'nin orta yüklerden sonra azaldığını, diğer alkol karışımlarından meydana gelen yakıtlar OC20 ile kıyaslandığında diğer alkol karışımlarında %4.7'lik bir artış olduğunu,

- iii) En düşük enerji değerlerinin PR20 yakıtı için elde edildiğini, dizel motordaki AA'nin belirli miktarlarda B100 ile karıştırılarak kullanılması motor verimini önemli ölçüde artırdığını,
- iv) En düşük CO değerlerinin, DF'ye kıyasla OC20 için elde edildiğini ve CO emisyonlarında yaklaşık %14'lük bir iyileşme sağlanıp, diğer alkol verilerinin de OC20'ye çok yakın olduğunu,
- v) En düşük HC değerlerinin OC20 için elde edilirken, en yüksek değerlerin B100 için elde edildiğini, diğer alkol verilerinin OC20'ye çok yakın ve aradaki farkın yaklaşık %12 olduğunu,
- vi) Düşük adyabatik alev sıcaklığı ve daha yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle, karışım olarak alkol kullanıldığında NOx emisyonları genellikle azalmış olduğunu,
- vii) Alkol bazlı yakıtlar için CO₂'deki azalmanın nedeni alkollerde ve biyodizelde aşırı oksijen içeriğine ve bunların kimyasal zincirlerinde nispeten düşük C/H oranına neden olduğunu,
- viii) Alkol eklenmesi pik basınç değerlerini düşürdüğünü, OC20 kısmen düşürmesine rağmen DF'ye yakın olduğunu, alkollerin yüksek gizli buharlaşma ısısı, ön karışımli yanmadaki değerleri düşürmüş ve tepe noktaları ÜÖN'dan uzaklaştırmış olduğunu
- ix) DF ve OC20 için NISH grafiğinin oldukça benzer olduğunu,
- x) Daha yüksek ön buharlaşma sıcaklıkları ve alkollerin düşük sıcaklıkta yanmasının daha düşük EGS'ye neden olduğunu,
- xi) Tüm test yakıtlarının yanmış yakıt oranı değerlerinin oldukça benzer olduğunu raporlamıştır.

Gerçekleştirilen literatür taraması neticesinde, motor modifikasyonuna gerek kalmadan dizel, B100 ve AA karışımları kullanan motorlar üzerinde yapılan araştırmalar, daha yüksek kalorifik değeri, daha yüksek SS, DF ve B100 ile daha iyi karışabilirliği nedeniyle hafif alkollere kıyasla AA'lerin potansiyel bir katkı maddesi olarak kullanılabilir. Biyodizelde AA'lerin kullanılması kalorifik değeri, soğuk akış özelliklerini ve SS'yi iyileştirmektedir. Biyodizelin maksimum kullanımı minimum dizel tüketimi ile sonuçlanacaktır.

2.3. Motor karakteristiklerinin tahmini için YSA ile ilgili çalışmalar

Geleneksel dizel motor testlerinin zaman alıcı ve kaynak tüketim ihtiyacı nedeniyle, bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte dizel motor problemlerini çözmek için makine öğrenimi teknikleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Hosseini ve ark. (2020), farklı oranlarda DF-B100-alümina yakıt karışımlarını tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorun güç, tork ve emisyonlarını tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Motor devir sayısı, yakıt karışımının yoğunluğu ve viskozitesini içeren motor çalışma parametreleri girdi parametreleri olarak seçmişlerdir. Ağın eğitimi, doğrulanması ve test edilmesinden sonra, korelasyon katsayısı (R^2) değerleri 0.99'dan yüksekti, bu da oluşturulan modelin yüksek doğruluk ve performansını göstermektedir.

Sharon ve ark. (2012), test ve tahmin için farklı B100-DF karışım oranlarını, MFG ve yükü içeren girdi parametreleri olarak motor performans ve emisyon parametrelerini içeren çıktı parametreleri ile YSA modeline dayalı olarak bir dizel motorun tam hız ve yükteki performans ve emisyon özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, yakıt emisyonlarını ve performansını tahmin etmek için eğitilmiş sinir ağının SIMULINK modelini oluşturulmuşlardır. Korelasyon katsayısı 0.9989 ve 0.999 olan eğitilmiş sinir ağı B15, B30, B60 ve B90 için daha iyi tahminler vermiş, sonuçların kabul edilebilir olduğunu raporlamışlardır.

Baranitharan ve ark. (2019), piroliz yağı/dizel/tert-bütıl hidroksi kinon antioksidan karışımıyla çalışan bir dizel motorun performansını tahmin ve optimize etmek için YSA ve yanıt yüzey yöntemi (YYY - RSM) uygulamıştır. YYY ve YSA modelleri için deneysel verileri elde etmek üzere %80 dizel %20 Aegle marmelos biyo-yağı 1000 ppm tert-bütıl hidroksi kinon antioksidanı ile beslenen tek silindirli bir dizel motor kullanmışlardır. Maksimum yükte, 17.5:1 sıkıştırma oranı, deneysel değerlendirme, YSA ve YYY modelleri aracılığıyla üstün motor özellikleri olarak bulmuşlardır. Tahmin edilen YSA modelinde mutlak ortalama hata (MOH) %0.552 ve optimize edilmiş YYY modelinde MOH %1.231'dir. YSA ve YYY modelleri sırasıyla 0.998 ortalama korelasyon katsayısı (R) ve 0.991 R^2 sonucunu elde etmişlerdir. Deneysel, YSA ve YYY analiz sonuçları, A20D80 (%20 Aegle marmelos biyodizeli + %80 Dizel) karışımının saf DF'ye kıyasla daha yüksek performans ve daha iyi emisyon davranışları sağladığını raporlamışlardır.

Mehra ve ark. (2018), HCNG (Hidrojenle zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğal gaz) karışımlarıyla beslenen turboşarjlı bir motor üzerinde motor performansı ve emisyon özellikleri testleri gerçekleştirdikten sonra hiperbolik tanjant transfer aktivasyon fonksiyonu ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanarak deneysel verilere dayalı bir YSA modeli oluşturmuş ve eğitmişlerdir. Doğrulama için en düşük ve en yüksek (R) ve MSE değerleri, FÖYT, tork, NO_x, CO, toplam hidrokarbon (THC) ve CH₄ gibi çeşitli parametreler için çıkarmışlardır. R (min-max) ve OKH (min-max) değerleri FÖYT; 0.9519 – 0.9963 ve 5.72 - 64.29, tork; 0.9948 – 0.9997 ve 8.3935 – 95.8350, NO_x; 0.9938 – 0.9992 ve 0.5271 - 3.4340, CO; 0.8595 – 0.9960 ve 0.0188 - 1.0154 ve THC; 0.9644 – 0.9972 ve 0.0714 – 1.1695, CH₄; 0.7965 – 0.9973, 0.0351 – 1.1789 sırasıyla çeşitli sayıda nöron için. Araştırmacılar, YSA modellemesi hidrojen katkılı CNG motorlarının performans ve emisyon özelliklerini hassas bir şekilde tahmin etmek için kullanılabileceğini raporlamışlardır.

Krishnamoorthi ve ark. (2018b), değişken sıkıştırma oranlı bir motorda dizel, ham bitkisel yağ ve dietil eter karışımlarının performans, yanma ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Sıkıştırma oranı (CR), devir ve yük YSA modeli için girdi faktörleri olarak alınmış ve FTV, FÖYT, CO, NO_x, CO₂ ve DK'yi çıktı faktörleri olarak almışlardır. Araştırmalarını, deneysel veri analizi ve YSA modellemesinin bir kombinasyonu ile gerçekleştirmişlerdir. YYY optimizasyonu, motor emisyonlarını en aza indirmek ve motor performansını en üst düzeye çıkarmak için gerçekleştirilmiştir. 1. optimizasyonda %0 egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), 2. Optimizasyonda %5 EGR ve 3. optimizasyonda %10 EGR dikkate alınarak %65D + %25SVO (şolmgra yağı) + %10DEE (dietil eter) karışımı için üç optimizasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. DF ile karşılaştırıldığında, 2. Optimizasyondaki karışım yakıt için CO, NO_x ve HC sırasıyla %12.8, %4.19 ve %9.61 oranında azaltılmış olduğunu raporlamışlardır.

Niu ve ark. (2017), YSA ve destek vektör makinesi (DVM) yöntemlerini kullanarak bir common rail doğrudan enjeksiyon sistemi destekli deniz dizel motoru üzerinde bir tahmin karşılaştırma ve değerlendirme deneyi gerçekleştirmişlerdir. Eğitim verilerinin çalışma noktalarının belirlenmesi için Taguchi ortogonal dizisi kullanılmıştır; daha sonra, sadece 25 örnek içeren aynı eğitim verilerine dayanarak, YSA ve DVM'nin tahmin performansları değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. YSA ve DVM'nin karşılaştırılması, sınırlı deneysel verilerle DVM'nin optimum küresel çözümü bulabildiğini ve mükemmel tahmin doğruluğu ve genelleme kabiliyetine sahip olduğunu,

YSA'nın ise yerel minimumlara yakınsayabileceğini ve aşırı uyum sorunuyla karşılaşabileceğini raporlamışlardır.

Deb ve ark. (2016), tek silindirli dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli (SA) bir motorda yanma ve emisyon parametreleri testleri gerçekleştirmiş ve çift yakıt modunda hidrojen kullanan tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorun performans ve emisyon özelliklerini tahmin etmek için YSA modellemesinin kullanımını araştırmışlardır. Motor performansı ve emisyon özellikleri, Jatropha metil ester B100 karışımları ile beslenen tek silindirli bir dizel motor üzerinde test edilmiş, ardından Javed ve ark. (2015), tarafından YSA modellemesi kullanılarak eğitilmiş ve tahmin edilmiştir. YSA modeli, yük, B100 karışımları ve hidrojen akış oranlarını değiştirerek ilk deneysel çalışmalara dayanarak FTV, FÖYT, CO, O₂, CO₂, NO_x, HC ve EGS'yi tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Her biri beş eğitim fonksiyonu kombinasyonuna sahip yedi eğitim algoritması incelemişlerdir. Logaritmik sigmoid ve hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonlu Levenberg-Marquardt geri yayılım eğitim algoritması, performans ve emisyon özelliklerinin tahmini için en iyi modelle sonuçlandığını raporlamışlardır. Geliştirilen model için genel (R), ortalama kare hatası (MSE - Mean Squared Error) ve ortalama mutlak yüzdelik hata (MAPE - Mean Absolute Percentage Error) sırasıyla 0.99360, 0.0011 ve %4.863001 bulmuşlardır. YSA'nın çift yakıtlı hidrojen jatropha B100 motorunun simülasyonu ve tahmini için iyi araçlar olduğunu raporlamışlardır.

(Uslu, 2020; Uslu ve Celik, 2020; Uslu ve Celik, 2018) kıvılcım ateşlemeli (SI) motorlarda ve tek silindirli bir dizel motorda farklı yakıt karışımlarının performans ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Tahmini YSA ile gerçekleştirmişler ve YYY ile optimize etmişlerdir. YSA ve YYY modelleri, motor yükü, enjeksiyon avansı ve yakıt karışımlarının yüzdesi girdi olarak ve BTE, EGT, CO, HC, duman ve NO_x gibi çıktı faktörleri ile geliştirilmiş ve iyi tahmin performansı göstermiştir.

Uslu, (2020), Palm yağı-dizel karışımlarının motor performansı ve emisyon özellikleri, tek silindirli dizel motorda çeşitli motor yükleri ve enjeksiyon avansları ile test etmiştir. FTV, EGS, CO, HC, DK, NO_x, motor yükü, enjeksiyon avansı, yakıt karışımındaki palm yağı yüzdesini girdi değişkenleri olarak dikkate alarak çıktı faktörlerini YYY ve YSA kullanarak optimize etmiştir. Geliştirilen YSA ve YYY modelleri büyük R² değerleri ile üstün tahmin kesinliği gösterdiğini bildirmiştir. YYY modelleri daha iyi performans göstermiş ve YSA modellerinden daha yüksek R² değerlerine sahip olduğunu raporlamıştır. Geliştirilen YYY modeli 0.90'nın üzerinde R² değerlerine sahipken, YSA modelinin R² değerleri 0.88 – 0.95 arasında olduğunu

raporlamıştır. Tüm yanıtlar için ortalama bağıl hata (MRE - Mean Relative Error) ve kök ortalama kare hata (RMSE - Root Mean Square Error) değerleri düşük olduğunu bildirmiştir. Optimum yanıtlar, %17.88 palm yağı yüzdesi, 35 °CA enjeksiyon avansı ve 780 watt motor yükü gibi optimum çalışma faktörleri ile DK, NO_x, CO, HC, EGS ve FTV için sırasıyla %69.11, 196.25 ppm, %0.126, 189.764 ppm, 155.49 °C ve %30.75 olarak bulmuştur. Uygulanan modeller, motor performansını ve emisyon özelliklerini tahmin etmek ve optimize etmek için faydalı olan iyi sonuçlar verdiğini raporlamıştır.

Işcan, (2020), DF ve ATY'den sentezlediği Biyodizel yakıtı için SB, yanan kütle oranı, ortalama gaz sıcaklığı, ısı salınım hızı, kümülatif ısı salınımı, ısı transfer hızı gibi yanma parametrelerini belirlemek için tek silindirli bir dizel motorda farklı yüklerde bu değerlerin belirlenmesi için deneyler gerçekleştirerek gerekleri hesapları yapmıştır. Deneyler ve yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçların tahmini için YSA model/modelleri geliştirmiştir. Geliştirilen YSA modeli, 3 katman sayısı ve 10 nöron ile performans fonksiyonu MSE olan ileri beslemeli geri yayılım Levenberg-Marquardt algoritmasıdır. Tahminler yük ve yakıt değişimleri için yapılmış ve derinlemesine analiz edilerek raporlanmıştır. Sonuçlar, hesaplanan parametrelerin ve seçilen YSA'nın tahmini değerlerinin iyi bir şekilde eşleştiğini bildirmiştir. Deneysel sonuçlardan ve hesaplanan yanma parametrelerinin, YSA tarafından tahmin edilen değerlerle çok yakın olduğunu raporlamıştır.

Ismail ve ark. (2012), motor kontrol değişkenleri ve motor çıkış parametreleri arasındaki karmaşık etkileşimleri minimum sayıda girdi parametresiyle modellemek için YSA kullanmıştır. Optimizasyon metodolojisi ve YSA'nın performansını, değerlendirme kriteri olarak MSE ve R değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, geri yayımlı ileri beslemeli sinir ağının, tansig/purelin transfer fonksiyonlarının kombinasyonu olan TRAINLM eğitim algoritmasının ve 10 nöron değerinin, dört motor kontrol parametresi ve dokuz motor çıkışı yanıtı arasındaki korelasyonları tahmin etmek için optimum yapılandırma olduğunu bildirmiştir. Tasarlanan YSA, dokuz motor çıkış tepkisinden yedisini yüksek doğruluk derecesiyle doğru bir şekilde tahmin edebildiğini, YSA'nın yüksek ekonomik fayda ve düşük simülasyon çalışma süresi ile gelecek vaat eden bir modelleme aracı olduğunu raporlamıştır. YSA modellemesi motor test aşamasında uygulandığında, optimum bir YSA modelinin oluşturulması için gereken minimum sayıda deneysel çalışma gerçekleştirilerek deneylerin sayısının önemli ölçüde azaltılabileceğini, YSA modeli oluşturulduktan sonra, farklı girdi/çalışma koşullarında motorun yanma ve emisyon

davranışları model tarafından tahmin edilebileceğini vurgulamıştır. Geliştirilen modelin, girdi-çıkı korelasyonlarının gerekli olduğu diğer yanma sistemlerine de uygulanarak, özellikle motor tasarımı ve geliştirme döngüsüyle ilişkili zaman ve maliyetin azaltılmasında otomotiv endüstrisine fayda sağlayacağını bildirmiştir.

Rezaei ve ark. (2015), çalışmalarında oksijenli yakıtlarla (C_4H_9OH ve C_2H_5OH) beslenen HCCI (homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli) motorlarının performans ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmalarını, deneysel veri analizi ve YSA modellemesinin bir kombinasyonu ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, ortalama etkin basınç (IMEP), FTV, SB, NISH, NO_x , CO ve THC konsantrasyonları dahil olmak üzere yedi motor performans ölçütündeki varyasyonları karakterize etmek için HCCI deneysel verileri kullanmışlardır. Yedi motor performans ölçütünü tahmin etmek için radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ve ileri beslemeli (FF) olmak üzere iki tür YSA geliştirmişlerdir. YSA modellerini doğrulamak için iki farklı motordan 123 HCCI çalışma noktasındaki deneysel verileri kullanmışlardır. Doğrulama sonuçları, hem RBF hem de FF modellerinin C_4H_9OH ve C_2H_5OH yakıtlı motorlar için HCCI motor performans ölçümlerini %4'ten daha az hata ile tahmin edebildiğini bildirmişlerdir. Sonuçlar, FF sinir ağı modellerinin daha az gerekli nöron ile ağı basitliği açısından avantajlı olduğunu, ancak RBF modellerine kıyasla iki kat daha fazla eğitim süresine ihtiyaç duyduğunu raporlamışlardır.

Aydin ve ark. (2020), çalışmalarında B100-DF karışımları ile çalışan tek silindirli bir dizel motorun performans ve emisyon parametrelerini YSA ile tahmin etmiş ve YYY ile optimize etmişlerdir. YSA ve YYY uygulamaları için kullanılacak veriler, farklı motor yüklerinde ve çeşitli enjeksiyon basınçlarında B100-DF karışımları kullanılarak elde etmişlerdir. Motor yükü, B100 oranı ve enjeksiyon basıncına bağlı olarak FTV, FÖYT, EGS, NO_x , HC, CO ve DK gibi çıktıları tahmin etmek için YSA modeli geliştirmişlerdir. Giriş ve çıkış faktörleri arasındaki korelasyonu göstermek için ileri beslemeli çok katmanlı bir perceptron ağı kullanılmışlardır. YYY emisyonların, EGS'nin, FÖYT'nin eşzamanlı olarak azaltılması ve FTV'nin artırılması amacıyla optimum motor çalışma parametrelerini bulmak için uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, YSA'nın 0.8663-0.9858 arasındaki R^2 ile egzoz emisyon ve performans parametrelerini doğru bir şekilde modelleyebildiğini ortaya koymuştur. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, maksimum ortalama bağıl hatanın (MRE) %10'dan az olduğunu bildirmişlerdir. YYY çalışması, 816 W motor yükü ve 470 bar enjeksiyon basıncı ile %32 B100 oranının optimum motor çalışma parametreleri olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

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

3.1. Materyal

3.1.1. Aspir tohumu

Bu tez çalışmasında transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizele sentezlenecek olan yağın ekstrakte edilmesi için kullanılan Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tohumları Şekil 3.1’de görüldüğü gibidir. Bu tohumlar, Aksaray’da bulunan ticari faaliyet gösteren İpek Değirmen firmasından temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) tohumları

3.1.2. Araştırmada kullanılan mekanik ve elektrikli cihazlar

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için kullanılan mekanik ve elektrikli cihazlar; Atölye tipi kesikli hidrolik pres, pres kafesi, hassas terazi, etüv, manyetik karıştırıcı, diyaframli yağsız vakum pompası, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Gaz kromatografisi/kütle spektrometresi (GC/GC-MS), Kinematik viskozite tayin cihazı, Yoğunluk ölçüm cihazı, kumpas, çelik cetvel, laboratuvar cam malzemeler, termometre ve manyetik balıktır.

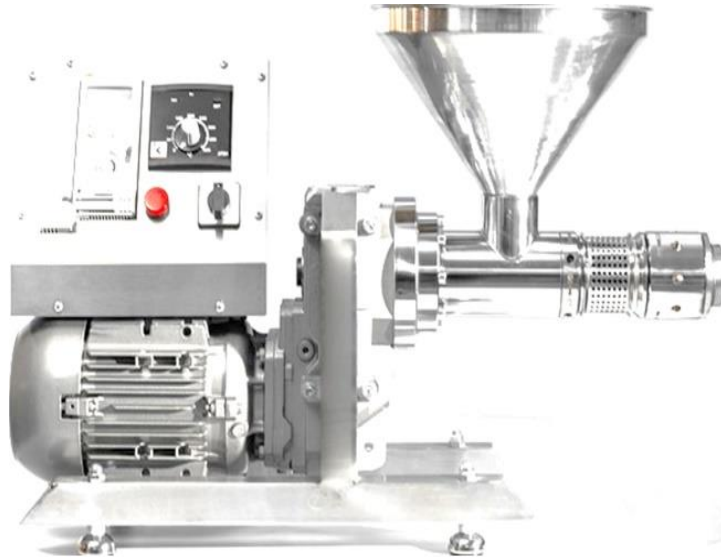
3.1.2.1. Vidalı tip yağ çıkarma presi

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan ATY, teknik ve işletme özellikleri Çizelge 3.1’de verilen vidalı soğuk yağ pres makinası ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Vidalı yağ çıkarma presinin teknik özellikleri

Marka	Karaerler	
Tip	Vidalı Pres	
İmalat Yılı	2015	
Presleme girişi tohum özellikleri	Min. Tohum sıcaklığı 15 °C, Nem %5 - 7	
Voltaj / Frekans (V / Hz)	220 - 240 V / 50 Hz	
Çift başlıklı vidalı pres genel ölçüleri	Uzunluk	840 mm
	Genişlik	240 mm
	Yükseklik	540 mm
Elektrik motoru voltajı	230 / 400 V	
Elektrik motoru gücü	0.75 kW	
Tohum presleme kapasitesi	7 - 50 kg / h	
Isıtıcı gücü	600 W	
Presleme öncesi başlık sıcaklık kontrolü	0 – 100 °C	
Küspe çıkış ağzı çapları	6 – 8 – 10 mm	

Aspir tohumlarından, ham aspir yağının elde edildiği vidalı soğuk yağ pres makinası Şekil 3.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.2. Vidalı yağ çıkarma presi

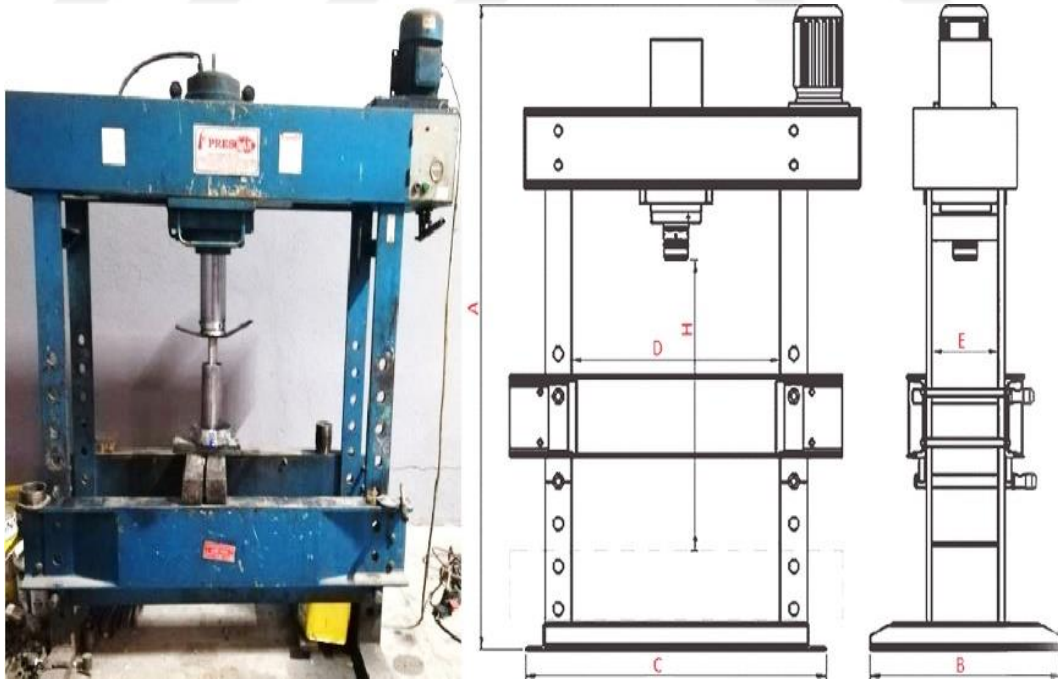
3.1.2.2. Atölye tipi kesikli hidrolik yağ çıkarma presi

Vidalalı soğuk pres makinası dışında, teknik ve işletme özellikleri Çizelge 3.2’de verilen atölye tipi kesikli hidrolik preste aspir tohumundan yağ elde etmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Atölye tipi hidrolik presin teknik özellikleri

A (mm)	2000 - 2400
B (mm)	950
C (mm)	1590 - 1700
D (mm)	1120 - 1360
E (mm)	360 - 420
H (mm)	900
Stroke (mm)	350
Motor (kW)	4
Pompa (lt / dak.)	15
Azami Kütle	1300

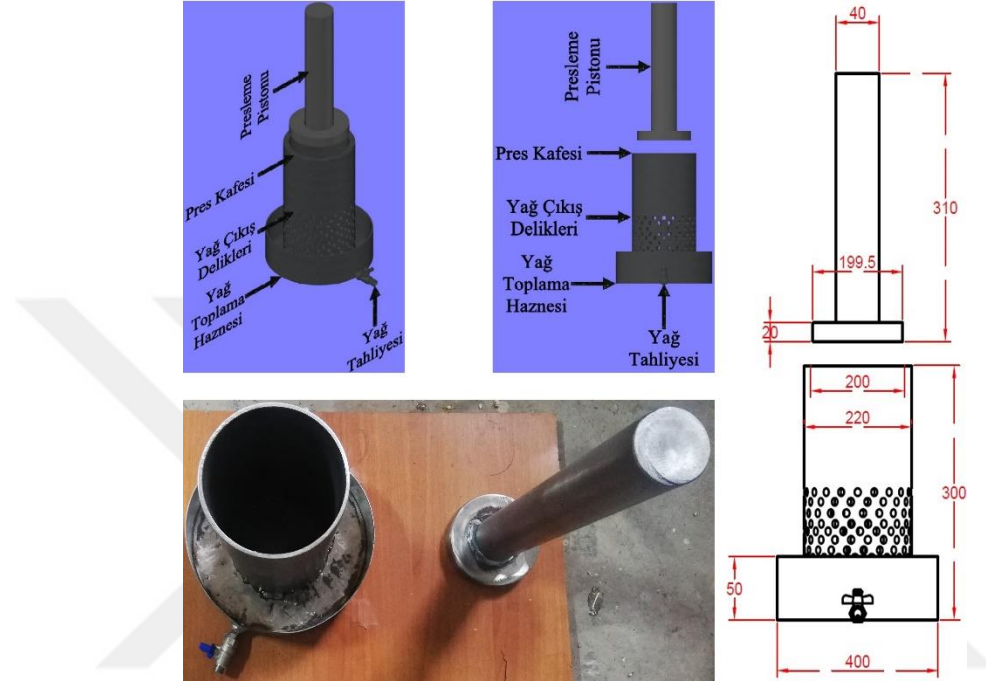
Aspir tohumlarından yağ elde edilmesi için kullanılan atölye tipi kesikli hidrolik pres ve bu presin teknik resmi Şekil 3.3’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3. Tohumdan yağ ekstrakte etmek için kullanılan hidrolik pres

3.1.2.3. Yağ ekstraksiyonu için imal edilen pres kafesi

Atölye tipi hidrolik pres aracılığı ile Aspir tohumundan yağın çıkarılması için imal edilen pres kafesi, Autocad 2022 programında tasarlanmış olup izometrik perspektif ve ön görünüş ve ölçülendirme detayları Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4. Yağ ekstraksiyonu için imal edilen pres kafesi

Pres kafesinin ana bileşenleri olarak piston (baskı plakası), pres kafesi silindiri, kollektör (yağ toplama haznesi) ve yağ çıkışını sağlayan küresel bir vandan oluşur.

Piston sağlam bir milin ucuna kaynatılmış olan bir plakadan oluşup yağın tohumlardan ekspresyonu için gerekli basıncın tohumlara aktarılmasını sağlar. Pres kafesi, 20 mm kalınlığında, iç çapı 200 mm ve dış çapı 220 mm olan ve toplam yüksekliği 300 mm olan yumuşak çelikten yapılmış bir borudur, yağlı tohumun kafese gireceği bir açıklığa sahiptir ve ayrıca yağ tahliyesi için silindirik yüzeylerde gelişmiş güzel delikler delinmiştir. Yağ toplayıcı tepsisinin alt plakası 40 mm kalınlığında ve 400 mm çapında bir çelik levhadır. Yağın kolay toplanması için plakanın etrafına 1 mm kalınlığında 50 mm yüksekliğinde krom bir duvar oluşturulmuştur. Yağ toplama haznesi, ATY ile doldukça küresel vana aracılığı ile boşaltılmıştır.

3.1.2.4. Sokslet yağ tayin cihazı

Aspir tohumlarındaki ham yağ oranını belirlemek için, teknik ve işletme özellikleri Çizelge 3.3'te verilen Sokslet ekstraksiyonu yapabilen Gerhardt Soxtherm 2000 Automatic ekstraksiyon sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Sokslet yağ tayin cihazının teknik özellikleri

Maksimum Soğutma Suyu Tüketimi (l/min)	3
Soğutma Suyu Basıncı (bar)	1-6
Nominal Voltaj (VAC)	230/115
Frekans (Hz)	50-60
Nominal Elektrik Gücü (W)	1200
Kütle (kg)	43
Ebatlar W/D/H (mm)	565/410/580
Maksimum Sıcaklık (°C)	300
Sıcaklık Hassasiyeti	±0.5

Farklı boyutlarda öğütülmüş aspir tohumundan yağ ekstraksiyonunun gerçekleştirildiği Sokslet yağ tayin cihazı Şekil 3.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3.5. Sokslet yağ tayin cihazı

3.1.2.5. Döner buharlaştırıcı

Sokslet yağ tayin cihazında analiz sonucu ham yağ ile çözücü bir arada bulunmaktadır. Çözücünün ham yağdan uzaklaştırılması ve için Çizelge 3.4'te teknik özellikleri verilen BUCHI Rotavapor R-3 döner buharlaştırıcı sistemi kullanılmıştır. Ayrıca B100 elde edilecek olan aspir yağının 60 °C reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılması için buharlaştırıcının paslanmaz çelik 4 L hacme ve 1700 W ısıtma gücüne sahip evaporatörün sıcak su banyosu kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Döner özelliğe sahip buharlaştırıcının teknik özellikleri

Teknik Veriler	Rotator	Isıtma Banyosu
Ölçüler (W x H x D)	430 x 535 x 315 mm	285 x 240 x 330
Nominal Voltaj	24 VDC	100 – 120 V veya 220 – 240 V $\pm$ %10
Ağırlık	13 – 14 kg (Montaj edilen cam parçaya bağlı)	4 kg
Güç Tüketimi	30 W	1700 W
Frekans (Hz)	-	50-60 Hz
Dönme Hızı Aralığı	20 – 280 rpm	-
Sıcaklık Kontrol Aralığı	-	Oda Sıcaklığı – 95 °C

Farklı boyutlarda öğütülmüş aspir tohumundan yağ ekstrakte etmek için kullanılan çözücünün uçurulması için kullanılan döner buharlaştırıcı Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6. Döner evaporatör

3.1.2.6. Hassas teraziler

Alkol, katalizör, Aspir tohumu, yakıt numunelerinin tartımları ve aspir tohumlarının nem tayini ve aspir tohumlarının 1000 dane ağırlığı için 210 g kapasiteli,

± 0.0001 g hassasiyetli ve 0.01 g okunabilirlik özelliklerine sahip Denver Instrument marka TP-1502 model hassas terazi kullanılmıştır.

Motor performans denemelerinde, yakıt tüketimlerinin ölçülmesi amacı ile 6000 g kapasiteli, ± 0.1 g hassasiyetli ve 0.5 g taksimata sahip Dikomsan marka ACS-Z 6 model hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan hassas teraziler

3.1.2.7. Etüv

Aspir tohumlarının muhteviyatında yer alan nemin asgari seviyeye indirgenmesi, Sokslet ekstraksiyon çözücüsünün uçurulması ve B100 üretiminde kullanılan cam ekipmanların kurutulması amacı ile Şekil 3.8’de görüldüğü gibi 40-180 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında ayarlanabilir ELE marka 1211 model etüv kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Nem ve ekstraksiyon çözücüsünün uçurulması için kullanılan etüv

3.1.2.8. Manyetik karıştırıcı

Aspir tohumu yağından transesterifikasyon yöntemi ile aspir yağı biyodizeli üretiminin gerçekleştirilmesi için teknik ve işletme özellikleri Çizelge 3.5'te verilen manyetik karıştırıcı özelliğine sahip ısıtıcı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Manyetik karıştırıcı teknik özellikleri

Marka/Model	WiseStir/MSH-20A
Isıtıcı Plaka Malzeme Cinsi	Seramik Kaplı Alüminyum
Karıştırma Kapasitesi, Max. (l)	20
Devir Kontrol Aralığı (rpm)	0 - 1500
Maksimum Sıcaklık (°C)	380
Nominal Voltaj (VAC)	Mono Faz 120 V, 60 Hz veya 220 V, 50/60 Hz
Nominal Elektrik Gücü (W)	600
Isıtıcı Plaka Ebatı W/D (mm)	180 x 180
Manyetik Karıştırıcı Cihaz Ebatı W/D/H (mm)	206/307/99
Kullanılabilir Karıştırıcı Magnet Ebatı (mm)	30-50

Aspir tohumu yağının ısıtılması ve $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH}$ çözeltisinin karıştırılması için kullanılan manyetik karıştırıcı Şekil 3.9'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı

3.1.2.9. Laboratuvar tipi değirmen

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağı elde etmek için tedarik edilen aspir tohumlarının tanecik büyüklüğü Şekil 3.10'da görülen laboratuvar tipi öğütücü ile küçültülmüştür. Diskli tip bir değirmen olan bu öğütücü, numuneyi bir sabit ve bir döner metal disk arasındaki dişlerle öğütmektedir. Öğütücüdeki Aspir tohumu büyüklüğü, sabit ve döner disk arasındaki mesafenin ayarlanmasıyla değiştirilmiştir.



Şekil 3.10. Laboratuvar tipi değirmen

3.1.2.10. Diyaframalı yağsız vakum pompası

Biyodizel üretmek için vidalı tip yağ çıkarma pres, atölye tipi kesikli hidrolik pres ve Sokslet ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen yağ Şekil 3.11’de verilen Gast marka model DOA-P504-BN diyaframalı yağsız vakum pompası ile Filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur.

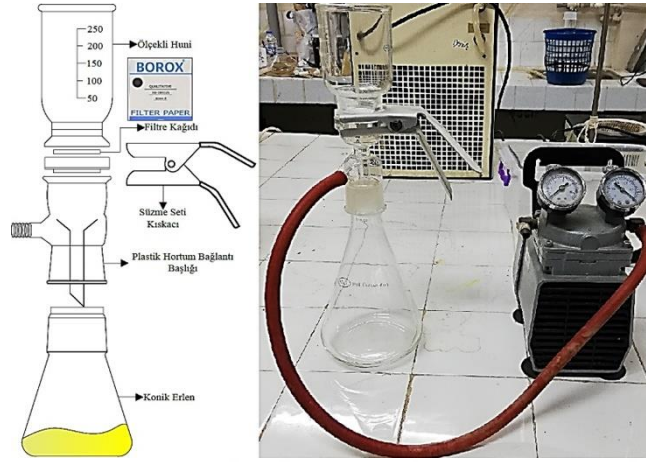


Şekil 3.11. Diyaframalı yağsız vakum pompası

3.1.2.11. Vakum filtrasyon sistemi elemanları

Vidalı tip yağ çıkarma pres, atölye tipi kesikli hidrolik pres ve Sokslet ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen yağın filtrasyon işlemine tabi tutulması için, filtrasyon sistemi diyaframalı yağsız vakum pompası dışında Şekil 3.12’de görüldüğü gibi; Ölçekli huni, filtre kâğıdı (Borox marka), süzme seti kısıpacı, plastik hortum bağlantı

başlığı ve konik erlenden oluşmaktadır. Filtre kâğıdı 50 mm çapında kesilip kullanılmıştır. Bu filtre kâğıdının partikül tutma özelliği 20 – 25 μm 'dir.



Şekil 3.12. Vakum filtrasyon sistemi ve elemanları

3.1.2.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Herhangi bir işlem uygulanmamış olan aspir tohumu, atölye tipi hidrolik pres ile vidalı yağ çıkarma presli ile hegzan (C_6H_{14}) ile ve Sokslet yağ tayin cihazı ile ekstrakte edilmiş aspir tohumunun morfolojik yapısında meydana gelen değişimlerin görüntüleri Çizelge 3.6'da teknik özellikleri verilen ve Şekil 3.13'te görüldüğü gibi SEM-Quanta FEG-250, ESEM, SEM cihazı ile alınmıştır.

Çizelge 3.6. ESEM taramalı elektron mikroskobu cihazı teknik özellikleri

Marka	Quanta FEG-250 SEM
Voltaj / Frekans (V / Hz)	230 V (+%6, - %10), 50 - 60 Hz ($\pm\%1$)
Hızlandırma Gerilimi	200V - 30kV
Çalışma Gerilimi	5 – 30 kV
Büyütme Oranı	30X - 300kX
Çözünürlük	@30kV@Yüksek Vakum Şartları: 1.2 nm @30kV@Düşük Vakum Şartları: 3.0 nm



Şekil 3.13. ESEM Taramalı Elektron Mikroskobu

3.1.2.13. Kinematik viskozite tayin cihazı

Aspir tohumundan elde edilen ham yağ ve bu ham yağdan transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş olan B100 yakıtının kinematik viskoziteleri Çizelge 3.7’de teknik özellikleri verilen ve Şekil 3.14’te görülen Koehler marka Kinematik Viskozite Banyosu cihazı ile tespit edilmiştir.

Çizelge 3.7. Kinematik viskozite banyosu cihazının teknik özellikleri

Marka	Koehler
Model	K23377-00000 Kinematik Viskozite Banyosu
Maksimum Seçilebilir Test Sıcaklığı	150 °C
ASTM Gereksinimlerine Göre Banyo Sıcaklığı Kararlılığı	± 0.02 °C
Uygun Ölçüm Standartları	ASTM D445, D6074, D6158; IP 71; ISO 3104; DIN 51550; FTM 791-305; NF T 60-100
Banyo Derinliği	46 cm
Banyo Hacmi	33.7 L
Voltaj / Frekans (V / Hz)	220 – 240 V 50 / 60 Hz, Tek Faz, 5.3 A



Şekil 3.14. Kinematik Viskozite Banyosu Cihazı

3.1.2.14. Yoğunluk ölçüm cihazı

Aspir tohumundan elde edilen ham yağ ve bu ham yağdan transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş olan B100 yakıtının yoğunlukları Çizelge 3.8’de teknik özellikleri verilen ve Şekil 3.15’te görülen Mettler Toledo Densito 30 PX cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge 3.8. Yoğunluk ölçüm cihazının teknik özellikleri

Marka	Mettler Toledo
Model	Densito 30 PX
Ölçüm Hassasiyeti	$\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$
Ölçüm Aralığı	$0 - 2 \text{ g/cm}^3$
Sıcaklık Ölçüm Aralığı (Metrik)	$5 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$
Sıcaklık Değerleri Ayırma Duyarlılığı	$0.1 \text{ }^\circ\text{C}$



Şekil 3.15. Mettler Toledo Densito 30 PX yoğunluk ölçüm cihazı

3.1.2.15. Gaz Kromatografisi (GC)

Sürekli vidalı pres ile ekstrakte edilen ATY’nin yağ asitlerinin belirlenmesi için Şekil 3.16’da görülen Gaz Kromatografisi (GC - Agilent 7890A) kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Gaz kromatografisi (GC - Agilent 7890A) cihazı

3.1.2.16. Kütle Spektrometresi (GC/MS)

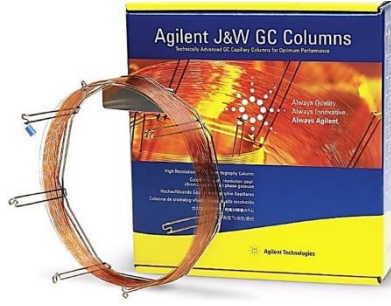
Sürekli vidalı pres ile ekstrakte edilen ATY'yi meydana getiren yağ asitlerinin kütleli ölçümü Şekil 3.17'de gösterilen kütle spektrometresi (GC/MS - Agilent 5975C) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Kütle spektrometresi (GC/MS - Agilent 5975C) cihazı

3.1.2.17. Kapiler Kolon

GC sistemlerinde maddelerin ayrımlarının yapıldığı bölüm, kapiler kolon bölümü olup Şekil 3.18'de gösterilen kapiler kolon (Agilent J&W GC Columns) kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Kapiler kolon (Agilent J&W GC Columns) bobini

3.1.2.18. Sıvı NMR Ölçümleri (400 MHz)

Aspir tohumu yağı ve bu tohumun yağından sentezlenen biyodizelin proton nükleer manyetik rezonans (^1H NMR) ve karbon-13 nükleer manyetik rezonans (^{13}C NMR) analizleri için Şekil 3.19’da görülen Bruker AVANCE III 400 MHz spektrometresi, çözücü olarak döterlenmiş kloroform (CDCl_3) kullanılmıştır. Elde edilen spektrumlar, YA metil esterlerinin protonunu ve karbonunu doğrulamak için kullanılmıştır.

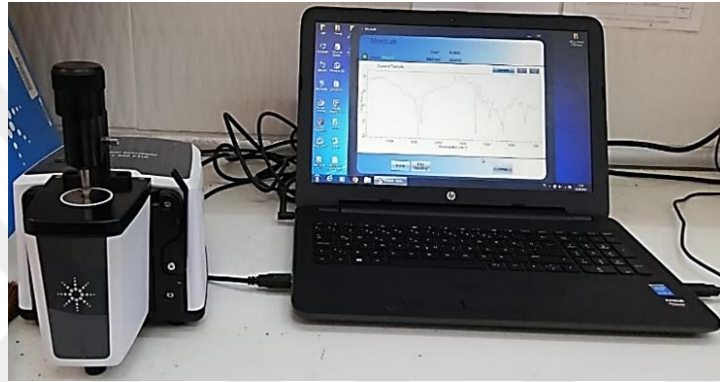


Şekil 3.19. Bruker AVANCE III 400 MHz spektrometresi

3.1.2.19. FT-IR analizi

Farklı fonksiyonel grupları belirlemek amacıyla fourier dönüşümlü infrared (FT-IR) spektrumları $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ aralığında 8 cm^{-1} çözünürlükte, elmas kristal ATR

hücresi ile donatılmış Dicle Üniversitesi, Eczacılık Fakültesinde bulunan Şekil 3.20’de görülen Agilent Cary 630 FT-IR spektrometresi üzerinde elde edildi. Her numune bir pasteur pipette aracılığı ile 15-25 µl olacak şekilde ATR kristalinin üzerine damlatıldıktan sonra 400-4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında IR spektrumlarını elde etmek için toplam 128 tarama kullanılmıştır. Numunelerin en iyi spektrumlarını elde etmek amacıyla, her yeni numunenin analizi öncesinde ATR kristali üzerinde hiç kalıntı kalmaması için bir kap içerisindeki n-hexane içerisine batırılmış selüloz dokuya sahip özel optik kağıt ile temizlenip kurutulduktan sonra yeni bir pasteur pipette kullanılarak diğer numuneler kristalin üzerine damlatılmıştır.



Şekil 3.20. Agilent Cary 630 FT-IR spektrometresi

3.1.2.20. Laboratuvar cam malzemeler, termometre ve manyetik balık

Aspir tohumundan elde edilen yağın biyodizele dönüştürülmesi için Şekil 3.21’de görüldüğü gibi cam balon, ayırma hunisi, cam mezür, civalı analog termometre ve manyetik balık kullanılmıştır.

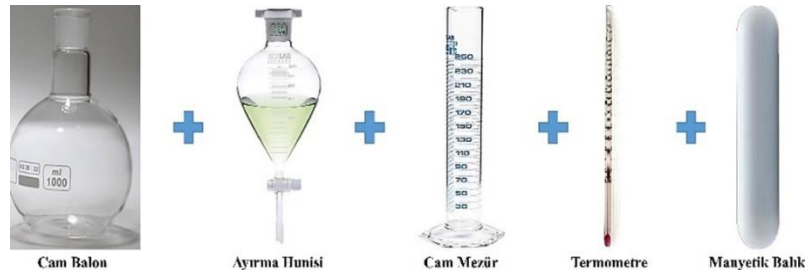
Aspir tohumundan elde edilen yağın, manyetik karıştırıcının ısıtıcı plakasında 60 $^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısıtılıp $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH}$ çözeltisinin bu yağa ilavesi ve yıkanmış biyodizelin içerisinde kalan suyun uzaklaştırılması amacı ile 120 $^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ısıtma işlemleri için cam balon kullanılmıştır.

Biyodizel üretmek için, gerekli olan ham yağ, CH_3OH ve diğer sıvı ölçümü gerektiren işlemleri gerçekleştirmek için cam mezür kullanılmıştır.

Aspir tohumu ham yağının ve ham yağa $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH}$ çözeltisi eklendikten sonraki sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için civalı bir termometre kullanılmıştır.

Aspir ham yağının ve ham yağa $\text{CH}_3\text{OH} + \text{KOH}$ çözeltisi eklendikten sonraki sıcaklığın her yerde homojen olmasını sağlamak için manyetik balık kullanılmıştır.

Metil ester ve gliserini yoğunluk farklarından yararlanarak birbirinden ayırmak için ayırma hunisi kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Tez çalışmasında kullanılan laboratuvar malzemeleri

3.1.2.21. Kumpas, mikrometre ve çelik cetvel

Aspir tohumu tanelerinin dik çaplarının ölçülmesinde, pres kafesinin imalatında vb. ölçüm gerektiren işlemlerde Şekil 3.22’de görüldüğü 0 – 150 mm ölçüm aralığına sahip 0.02 mm hassasiyetli kumpas, 0 – 25 mm, 25 – 50 mm ve 50 – 75 mm ölçüm aralığına sahip 0,01 mm hassasiyetli mikrometrelerin yanı sıra 0 – 500 mm ölçme aralığına sahip çelik cetvel kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Tez çalışmasında kullanılan ölçü aletleri

3.1.3. Tez çalışmasında kullanılan kimyasallar

Tez çalışmasında kullanılan kimyasal ürünler iki gruba ayrılarak ele alınabilir, 1. Grup kimyasallar titrasyon işleminde, aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu için ve ATY’nin biyodizele sentezlenmesinde kullanılan kimyasallar, 2. Grup kimyasallar ise farklı test yakıtlarının elde edilmesinde kullanılan AA’ler olarak sınıflandırılabilir. 1. grup kimyasallar; CH_3OH , KOH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ve fenolftalein indikatör çözeltisi (%1), dietil eter $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ ve C_6H_{14} şeklindedir. 2. grup kimyasallar; 1-Hegzanol $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH})$, 1-Oktanöl $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH})$ ve 1-dekanöl $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{OH})$ şeklindedir.

3.1.3.1. Metanol (CH_3OH)

Aspir tohumu yağından B100 üretmek için, Şekil 3.23'te görüldüğü gibi ISOLAB kimyasal ürünlerine ait CH_3OH kullanılmıştır. Kullanılan bu CH_3OH 20 °C'deki yoğunluğu 790 – 792 kg / m³, moleküler ağırlığı 32.04 g/mol, kaynama noktası 65 °C, PN'si 11 °C ve saflığı $\geq$ %99.8 CH_3OH kullanılmıştır.



Şekil 3.23. Yağın biyodizele sentezlenmesi için kullanılan metanol

3.1.3.2. Potasyum hidroksit (KOH)

Aspir tohumu yağının biyodizele sentezlenmesi ve bu yağın titre edilmesi için, Şekil 3.24'te görüldüğü gibi katalizör olarak Sigma-Aldrich marka KOH kullanılmıştır. Kullanılan bu katalizörün molekül ağırlığı 56,11 g/mol, 20 °C'deki yoğunluğu 2.04 g/cm³, pH değeri 13.5 (5.6 g/l, H_2O , 25 °C), erime sıcaklığı 380 °C ve saflık derecesi $\geq$ %98.5'tir.



Şekil 3.24. Yağın biyodizele sentezlenmesi için kullanılan KOH

3.1.3.3. Etanol (C_2H_5OH)

Aspir tohumu yağının titre edilmesi için, Şekil 3.25'te görüldüğü gibi Merck marka C_2H_5OH kullanılmıştır. Kullanılan bu C_2H_5OH 'ın 20 °C'deki yoğunluğu 790 – 793 kg / m^3 , moleküler ağırlığı 46.07 g/mol, kaynama noktası 78.3 °C, PN'si 13 °C ve saflığı $\geq \%99.8$ 'dir.



Şekil 3.25. Yağın titre edilmesi için kullanılan etanol

3.1.3.4. Fenolftalein İndikatör Çözeltisi (%1)

Titre edilen ATY'nin bu işlemin son noktası olan pembe renge dönüşmesini sağlayan indikatör olarak Şekil 3.26'da görüldüğü gibi Norateks markalı zayıf bir asit özelliği gösteren fenolftalein indikatör çözeltisi (%1) kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Titrasyon işleminde kullanılan fenolftalein indikatör çözeltisi

3.1.3.5. Dietil eter ($C_2H_5)_2O$

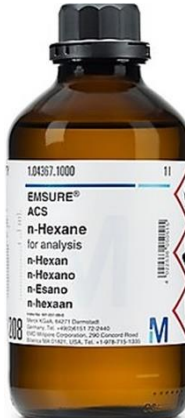
Aspir tohumu yağının titre edilmesi için C_2H_5OH ile (1:1, v/v) ölçüsünde çözelti hazırlanması için Şekil 3.27’de görüldüğü gibi ISOLAB kimyasal ürünlerine ait dietil eter ($C_2H_5)_2O$ kullanılmıştır. Kullanılan bu dietil eterin 20 °C deki yoğunluğu 710 kg / m³, moleküler ağırlığı 74.12 g/mol, kaynama noktası 34.6 °C, PN’si -40 °C ve saflığı ≥ %99.5’tir.



Şekil 3.27. Dietil eter ($C_2H_5)_2O$

3.1.3.6. Hekzan (C_6H_{14})

Aspir tohumundan sokslet ekstraksiyon işlemi ile yağın ekstrakte edilmesi için Şekil 3.28’de görüldüğü gibi Merck marka C_6H_{14} kullanılmıştır. Kullanılan bu C_6H_{14} ’ın 20 °C deki yoğunluğu 660 kg / m³, moleküler ağırlığı 86.18 g/mol, kaynama noktası 69 °C, PN’si -22 °C ve saflığı ≥ %96’dır.



Şekil 3.28. Sokslet ekstraksiyon işleminde çözücü olarak kullanılan hekzan

3.1.3.7. 1-Hekzanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$)

DF ve ATY'den sentezlenen B100 ile belli oranlarda karıştırılarak farklı yakıtların elde edilmesi amacı ile Şekil 3.29'da görüldüğü gibi Merck marka 1-hekzanol kullanılmıştır. Kullanılan bu 1-hekzanolün 20 °C'deki yoğunluğu 820 kg / m³, moleküler ağırlığı 102.18 g/mol, PN sıcaklığı 60 °C ve tutuşma sıcaklığı 285°C'dir.



Şekil 3.29. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-hekzanol

3.1.3.8. 1-Oktanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$)

DF ve ATY'den sentezlenen B100 ile belli oranlarda karıştırılarak farklı yakıtların elde edilmesi amacı ile Şekil 3.30'da görüldüğü gibi Merck marka 1-oktanol kullanılmıştır. Kullanılan bu 1-oktanolün 20 °C'deki yoğunluğu 830 kg / m³, kaynama noktası 195 °C, moleküler ağırlığı 130.23 g/mol, PN sıcaklığı 86.5 °C ve tutuşma sıcaklığı 270°C'dir.



Şekil 3.30. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-oktanol

3.1.3.9. 1-Dekanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{OH}$)

DF ve ATY'den sentezlenen B100 ile belli oranlarda karıştırılarak farklı yakıtların elde edilmesi amacı ile Şekil 3.31'de görüldüğü gibi Merck marka 1-dekanol kullanılmıştır. Kullanılan bu 1-dekanolün 20 °C'deki yoğunluğu 830.60 kg / m^3 , kaynama noktası 220 - 235 °C, moleküler ağırlığı 158.28 g/mol, PN sıcaklığı 95 °C ve tutuşma sıcaklığı 254 °C'dir.



Şekil 3.31. Farklı yakıtların elde edilmesinde kullanılan 1-dekanol

3.1.4. Motor test düzeneği ve ölçüm ekipmanları

DF, B100, 1-hekzanol, 1-oktanol ve 1-dekanolün farklı oranlarda karıştırılması neticesinde elde edilen farklı yakıtların test edildiği tek silindirli dört zamanlı bir dizel motordan, yükleme için dinamometre ve yakıt düzeneğinden oluşan test düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.32'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.32. Yakıtların testlerinde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü

3.1.4.1. Test motoru

Bu tez çalışması için elde edilen farklı yakıtların test edilmesi için Şekil 3.33'te görüldüğü gibi eddy current tip dinamometreye bağlı tek silindirli, dört zamanlı, dizel bir motordan (TV1, Kirloskar modeli) oluşmaktadır. Maksimum gücü 1500 rpm'de 5,2 kW olup sıkıştırma oranı 17,5'tir. Çalışmada kullanılan dizel motorun tüm detaylı teknik özellikleri Çizelge 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.33. Farklı yakıtların testlerinde kullanılan dizel motor

Çizelge 3.9. Deney motor özellikleri

Özellik	Açıklama
Model	Kirloskar TV1
Motor Tipi	Dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Ateşleme	Sıkıştırma ateşlemeli
Strok Hacmi	661,45 cc
Strok	110 mm
Silindir Çapı	87.50 mm
Sıkıştırma Oranı	17.5
Sabit Devir Sayısı	@ 1500 rpm
Anma Gücü	5.2 kW
Silindir Sayısı	1
Soğutma Şekli	Su soğutmalı
Yakıt Enjeksiyon Şekli	Direkt
Yakıt Tankı Kapasitesi	6.5 L
Enejektör Açılma Basıncı	210 bar
Yakıt Enjeksiyon Zamanlaması	23° CA bTDC
Biyel Kol Uzunluğu	234 mm
Supab kafa çapı	34.2 mm
Maksimum supab kaldırma	10.1 mm
Yakıt enjeksiyon pompası	MICO inline, mekanik regülatörlü ve flanş montajlı

3.1.4.2. Egzoz emisyon cihazları

Egzoz gazı emisyonları ve DK'nin ölçümü için motorun egzoz borusuna kullanılan cihazların probu bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.34'te görüldüğü gibi NO_x ve CO olmak üzere salınan gaz emisyonları testo marka (testo 350 model) emisyon analizörü kullanılarak ölçülmüş ve CAPELEC marka (CAP 3200 model) AVL 437C model opasimetre ile DK ölçmüştür.



Şekil 3.34. Egzoz emisyon cihazları

Emisyon ve DK ölçümünün gerçekleştirildiği cihazların ölçüm aralığı ve hassasiyetleri Çizelge 3.10'da sunulmuştur. Deneylerden önce, gaz analizörleri standart gazlar kullanılarak kalibre edilmiştir.

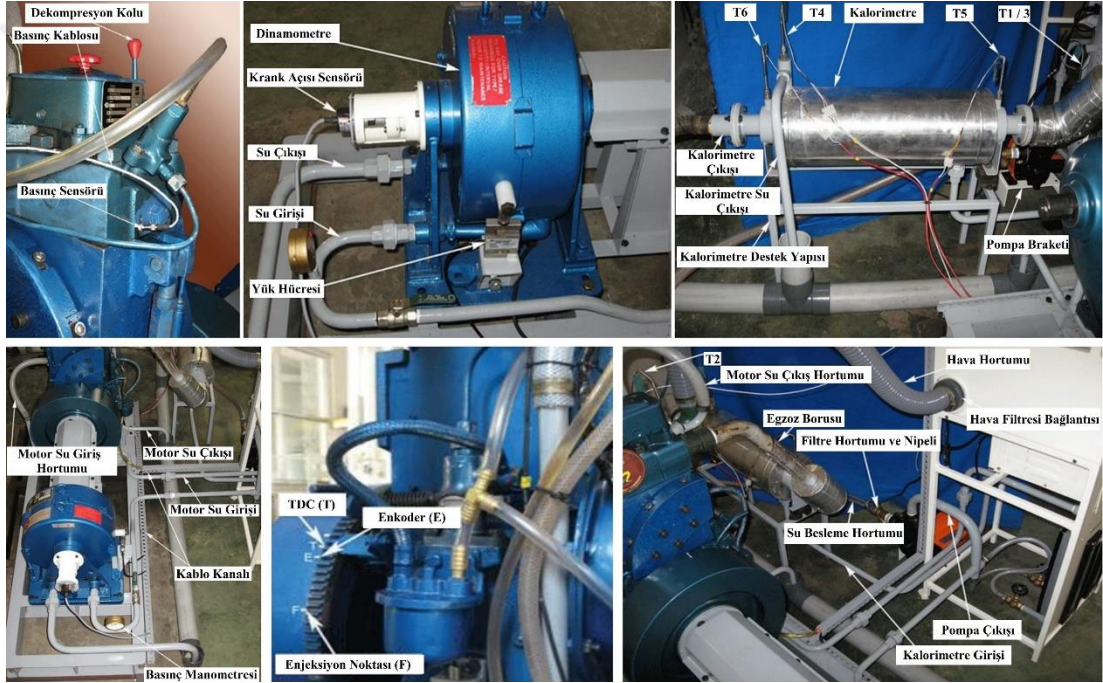
Çizelge 3.10. Emisyon cihazları özellikleri

Emisyon	Ölçüm Aralığı	Testo 350	CAP 3200
HC	100 – 4000 ppm	-	10 ppm
CO ₂	0 - %50	%0.01	-
CO	0 – 10000 ppm	1 ppm	-
O ₂	0 - %25	%0.01	-
NO _x	0 – 4000 pmm	1 ppm	-
Duman Koyuluğu	%0-99.9	-	%0.01

3.1.4.3. Hidrolik dinamometre ve kontrol ünitesi

Motor performansı, emisyon ve yanma parametreleri denemelerinde motorun yüklenmesi için Şekil 3.35'te görüldüğü gibi Technomech marka TMEC10 model hidrolik dinamometre test sistemine monte edilmiştir. Hidrolik dinamometrenin devir

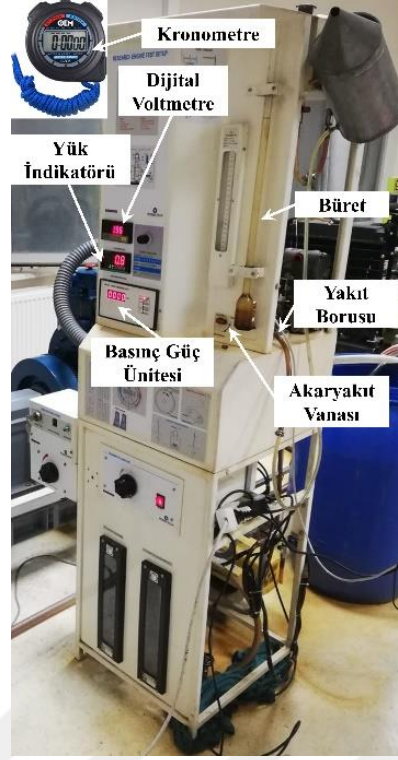
sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve farklı formatlarda raporlanmasına olanak veren bir yazılımdır. Ölçüm değerleri kullanılarak indikatör diyagramı, ortalama efektif basınçlar, güç, verim, özgül yakıt tüketimi gibi hesaplamalar, ve daha birçok ileri analizler yapılır. Tüm ölçümler ve sonuçlar, grafiksel ve istatistiksel olarak incelenir. MS Excel, MS Word, html veya düz metin formatlarında, grafikler ve çizelgeler içeren detaylı raporlar oluşturulabilir. Şekil 3.37’de verilen sembol ve kısaltmaların açılım ve anlamları şu şekildedir; **T1**: Su ceket girişi sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **T2**: Su ceket çıkışı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **T3**: Kalorimetreye su girişi sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **T4**: Kalorimetreden su çıkışı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **T5**: Egzoz gazının kalorimetreye girişi sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **T6**: Egzoz gazının kalorimetreden çıkışı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), **TDC**: Üst Ölü Nokta



Şekil 3.37. Yakıtların test edildiği motora entegre edilen sensör ve diğer kısımlar

3.1.4.4. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

Yakıt tüketiminin ölçümü için Şekil 3.38’de görüldüğü gibi test motoru düzeneğinde bulunan bir büret düzeneği ve kronometre 20 cc yakıt tüketimi için gereken süreyi kaydetmek amacı ile kullanılmıştır.



Şekil 3.38. Test yakıtları ölçüm düzeneği

3.1.4.5. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümünde kullanılan sıcaklık ölçer

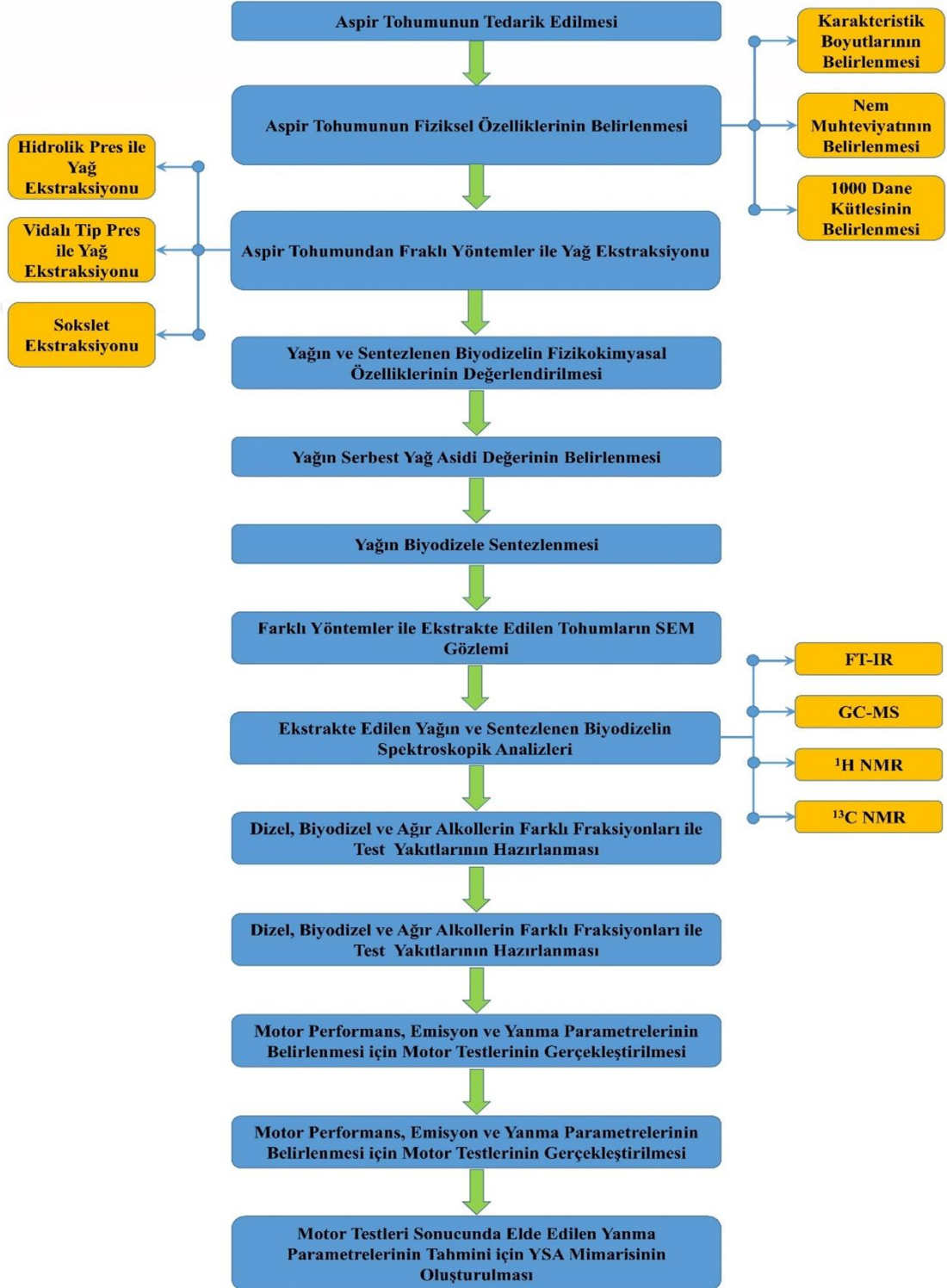
Egzoz gazı sıcaklığı bütün test yakıtları için aynı noktadan Şekil 3.39’da görüldüğü gibi bir kızılötesi termometre kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.39. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümünde kullanılan kızılötesi termometre

3.2. Metot

Gerçekleştirilen bu tez çalışması Şekil 3.40'da gösterilen aşamalarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.40. Tez çalışması aşamaları

3.2.1. Aspir tohumunun tedarik edilmesi

Aspir yağı metil esterinin üretilmesi için Aksaray’da ticari faaliyet gösteren İpek Değirmen firmasından Şekil 3.41’de görüldüğü gibi her biri beşer kilogram olmak üzere altı çuval toplam 30 kilogram aspir tohumu tedarik edilmiştir.



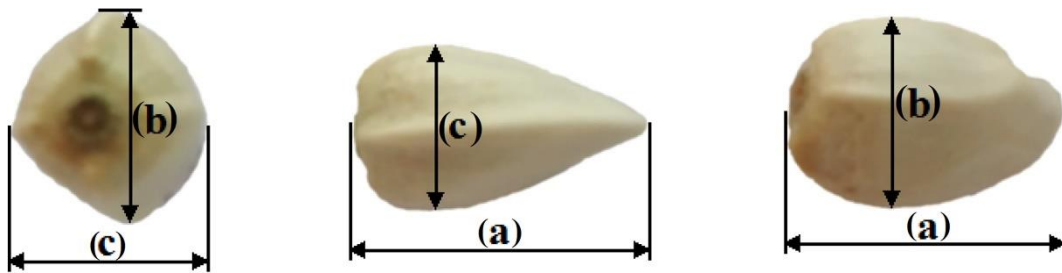
Şekil 3.41. Tedarik edilen aspir tohumu çuvalı

3.2.2. Aspir tohumunun fiziksel özellikleri

Aspir tohumunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için karakteristik boyutları, nem muhteiyatı ve 1000 dane kütlesi ölçülmüştür.

3.2.2.1. Aspir tohumunun karakteristik boyutlarının belirlenmesi

Yağ elde etmek için kullanılan aspir tohumundan 10 adet rastgele seçilmiş ve Şekil 3.42’de gösterildiği gibi (Martins ve ark., 2017), karakteristik boyutları; uzunluk (a), en (b) ve kalınlık (c) 0.02 mm hassasiyetine sahip kumpas ile ölçülmüştür. Gerçekleştirilen ve ölçümlerin ortalaması Çizelge 3.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 42. Aspir tohumu tanelerinin dik çaplarının gösterimi

Çizelge 3.11. Aspir tohumunun karakteristik boyutlarının ortalaması

Gerçekleştirilen Ölçümler	a (mm)	b (mm)	c (mm)
1.	6.52	4.34	3.40
2.	6.54	4.36	3.36
3.	6.52	4.34	3.36
4.	6.54	4.32	3.40
5.	6.48	4.32	3.38
6.	6.48	4.36	3.40
7.	6.50	4.32	3.36
8.	6.52	4.34	3.38
9.	6.54	4.36	3.40
10.	6.50	4.34	3.42
Ölçümlerin Ortalaması (mm)	6.514	4.34	3.386

3.2.2.2. Aspir tohumlarının nem muhteviyatının belirlenmesi

Aspir tohumlarının nem muhteviyatının belirlenmesi için Şekil 3.43'te görüldüğü gibi 0.0001 g hassasiyete sahip Denver Instrument terazisinde 100 g'lık örnek hazırlanmış ve 105 °C sıcaklıktaki etüvde (ELE 121) 72 saat bekletilmiştir. Aspir tohumlarının nem içeriği yaş baza göre Denklem (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$N = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

N : Yaş baza göre nem içeriği (%),

W_i : Kurutma öncesi ürün kütlesini (g),

W_s : Kurutma sonrası ürün kütlesini (g),

**Şekil 3.43.** Etüvde bekletilmeden ve 72 saat bekletildikten sonraki tohum kütlesi

3.2.2.3. Aspir tohumu 1000 dane kütlesi

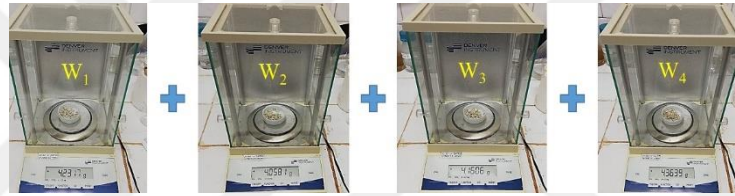
Şekil 3.44'te görüldüğü gibi, 1000 dane tohum kütlesini belirlemek için her birinde 100 tohum bulunan 4 farklı grup hassas terazide ayrı ayrı tartılmıştır. Her gruptaki 100 adet tohumun kütlesi tespit edildikten sonra, tohumların 1000 dane kütlesi Denklem (3.2)'ye göre hesaplanmıştır.

$$W_{1000} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{4} \times 10 \quad (3.2)$$

Burada;

W_{1000} : 1000 dane tohum kütlesi (g),

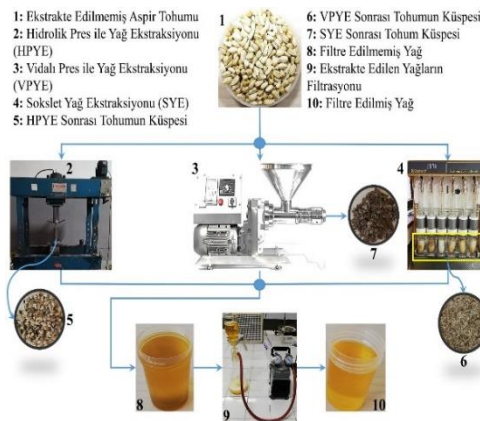
$W_{1,2,3,4}$: 1., 2., 3. ve 4. Gruptaki 100'er adet tohumların kütlesi (g).



Şekil 3.44. Aspir tohumlarının 1000 dane kütlesinin belirlenmesi

3.2.3. Aspir tohumundan yağ ekstraksiyon yöntemleri

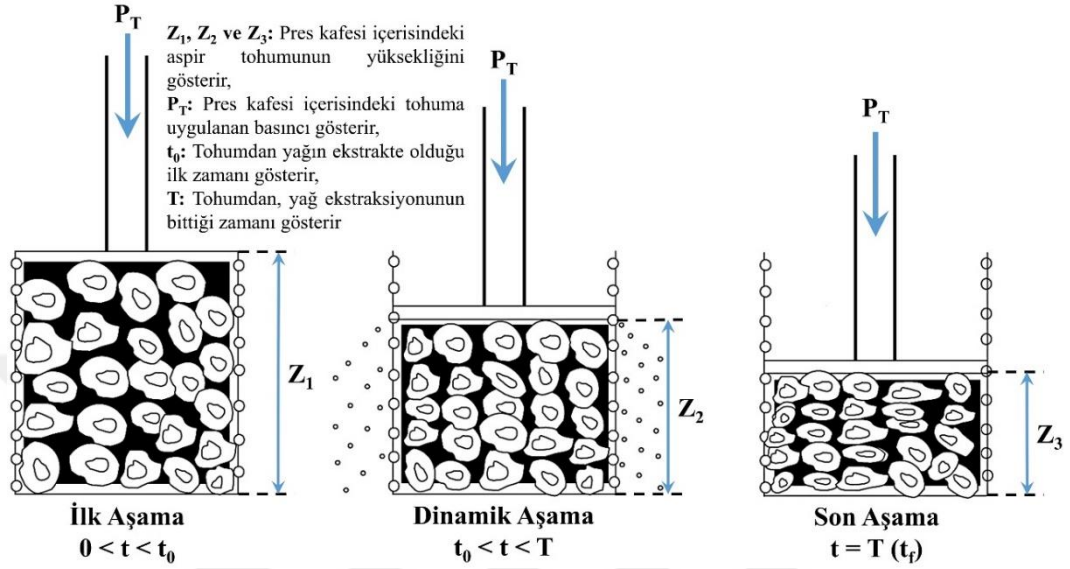
Biyodizel yakıtının üretilmesi için kullanılacak olan ATY Şekil 3.45'te görüldüğü gibi atölye tipi kesikli hidrolik pres, vidalı pres ve sokslet ekstraksiyonu ile ham ATY elde edilmiştir.



Şekil 3.45. Farklı yöntemler ile yağ ekstraksiyonu

3.2.3.1. Hidrolik pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu

Hidrolik pres ile tohumlardan yağ ekstrakte edilirken Şekil 3.46'da tanımlandığı gibi üç 3 aşama vardır (Mrema ve McNulty, 1985; Owolarafe ve ark., 2008).



İlk aşama, yağ tohumdan ekstrakte olmaya başlamadan önceki yükleme aşamasıdır. Basıncın uygulanması ile beraber tohumlar makro gözeneklerden havayı dışarıya tahliye eder. Tohumların temas noktalarından basınca tepki vermesiyle oluşan kritik bir noktaya kadar bu süreç devam eder. Hacimde değişikliğe neden olan bu durum yağ çıkışını başlatır (Mrema ve McNulty, 1985; Owolarafe ve ark., 2008).

Dinamik aşama, tohumdan ilk yağ damlası ekstrakte olduğunda başlayan aşamadır. Kademeli olarak boşalan hava hacmi sıvı ile dolar ve bir hava/sıvı karışımının çıkarıldığı (dinamik aşama) başlar (Mrema ve McNulty, 1985; Owolarafe ve ark., 2008).

Son aşama, ikinci aşamanın sona ermesiyle beraber (bütün havanın tahliyesi ile) yağ akışı maksimuma çıkar. Havanın boşalttığı hacmin tamamına sıvı dolduğunda maksimum anlık akış hızı elde edilir (Mrema ve McNulty, 1985; Owolarafe ve ark., 2008).

Tedarik edilen aspir tohumları, kabuk kırma ve ayırma işlemi uygulanmadan, sadece nemi giderildikten sonra Şekil 3.47'de görüldüğü gibi imal edilen pres kafesine kabuklu halde direkt olarak beslenmiştir. Tohumlar hidrolik presle ekstrakte edilmeden önce bütün numuneler 40 g olarak tartılmıştır. Pres kafesine konulan tohumlar, hidrolik

pres (PRESSAN HAP 15-300) kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Yağ ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilirken, farklı basınç değerleri hidrolik presin akış kontrol valfi ile sağlanmıştır. Basınç değerleri 2, 4, 6, 8 ve 10 MPa, presleme süresi 10 dakika ve işlem sıcaklıkları 30°C'yi geçmemiştir.



Şekil 3.47. Hidrolik pres ile aspir tohumundan yağın ekstraksiyonu

Hidrolik pres ile ekstrakte edilen aspir tohumunun ekstraksiyon verimi Denklem (3.3)'e göre belirlenmiştir.

$$\% \text{ Yağ Verimi} = \frac{m_1}{m_2} * 100 \quad (3.3)$$

Burada;

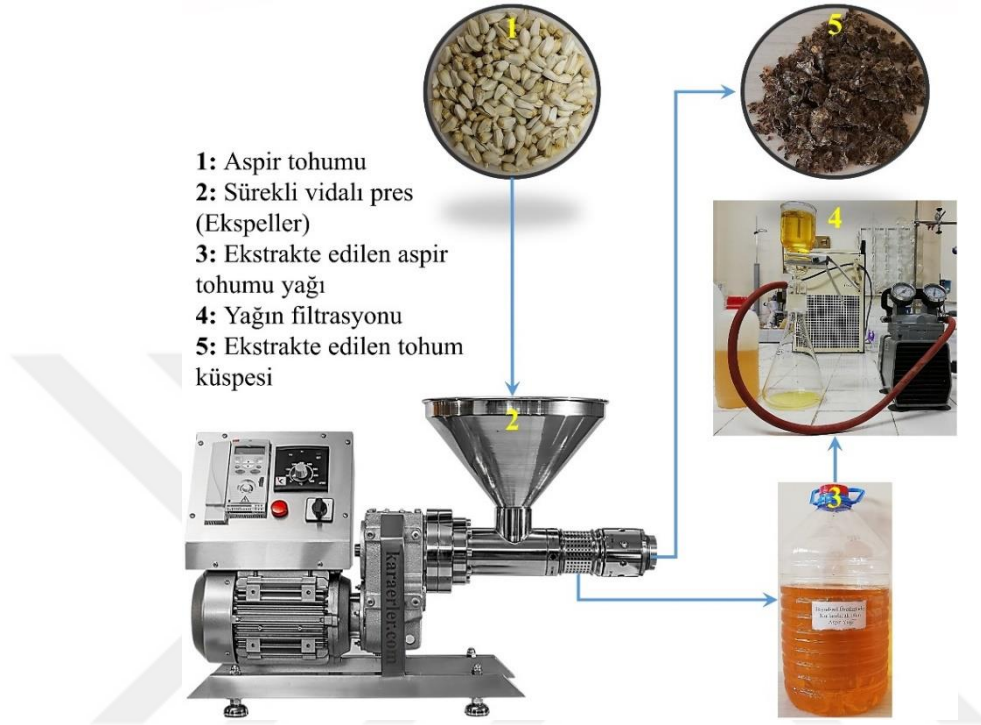
m_1 : Ekstraksiyon işleminden sonraki elde edilen yağın kütlesi (g)

m_2 : Ekstraksiyondan önce kullanılmış olan öğütülmüş / öğütülmemiş olan aspir tohumu numunesinin kuru kütlesidir (g)

3.2.3.2. Vidalı tip pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu

Sürekli vidalı pres ile yağ ekstraksiyon işlemi besleme hunisine tohumların konulmasıyla başlar. Sürekli vidalı pres, yatay konumdaki bir tahrik mili ile entegre olarak oluşturulan vida bileşiminden oluşturulmuştur. Bu vidanın dönüşü çelik çubukların meydana getirdiği bir pres kafesi içerisinde gerçekleşir. Tohum taneleri üzerindeki basınç arttıkça yağın deşarj olmasına izin veren astar çubuklarının arasına

parçalar yerleştirilmiştir. Tohumlar üzerindeki basıncın artırılması için farklı çaplardaki küspe çıkış ağızlıklıkları kullanılır ya da çıkış çapını ayarlamak için bir el çarkı mevcuttur (Khan ve Hanna, 1983). Yağ ekstraksiyonu Şekil 3.48’de görülen (Karaerler, Model NF 100) sürekli vidalı pres ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.48. Vidalı pres ile aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu

Tohum preslenmeden önce presin başlık sıcaklığı 60 °C’ye ayarlanmış ve işlem oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işleminde küspe çıkışı için 6 mm’lik çapa sahip nozul kullanılmış olup ekstraksiyon süresince presin devir sayısı 20 – 21 rpm’i geçmemiştir. Biyodizel üretmek için gerekli olan yağın çoğunluğu bu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilmiştir. 1 litre aspir yağı elde etmek için ekstraksiyon işlemi üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denklem (3.3)’te yer alan “m₁” yerine elde edilen yağın yoğunluğu ve hacmi kullanılarak Denklem (3.4)’e göre ekstraksiyon verimliliği belirlenmiştir.

$$\% \text{ Ekstraksiyon verimliliği} = \frac{V_o \times \rho_o}{m_2} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

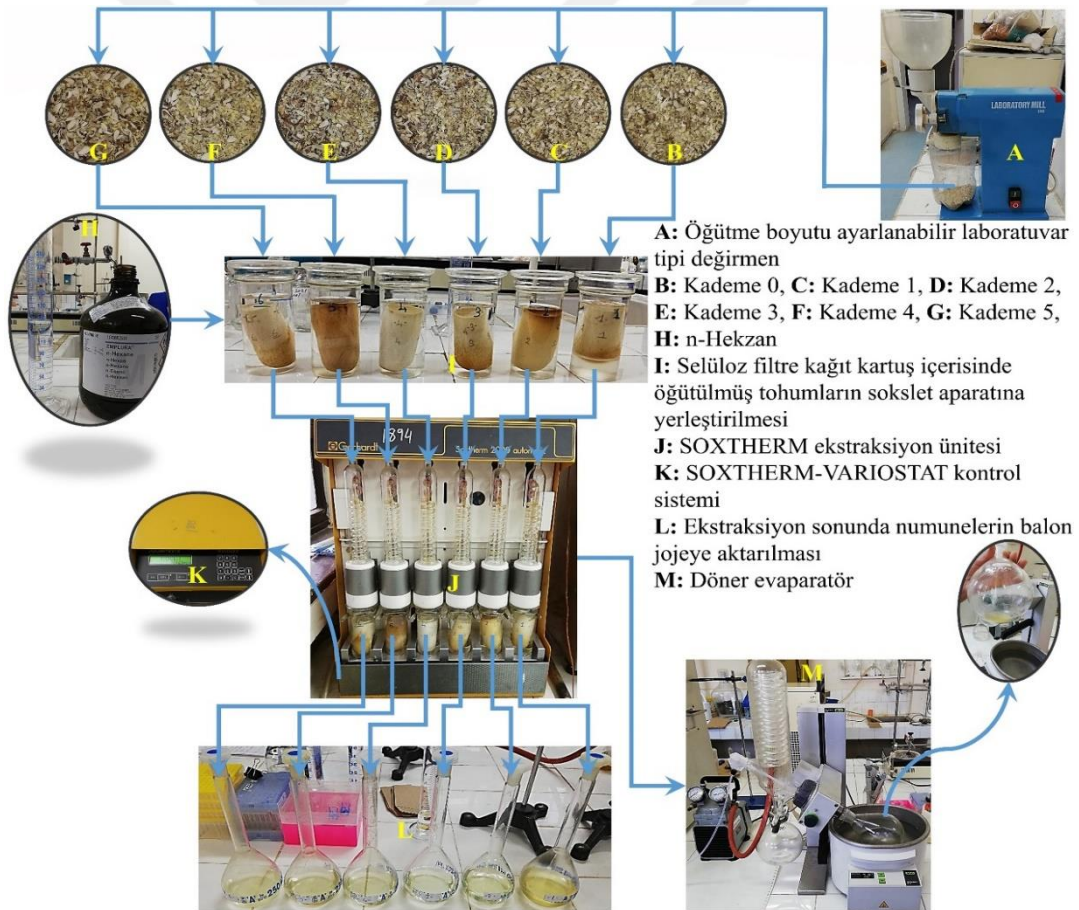
V_o : Ekstrakte edilen yağın hacmini (mL)

ρ_0 : Ekstrakte edilen yağın yoğunluğunu (g/cm^3)

m_2 : Ekstraksiyondan önce kullanılmış olan öğütülmüş / öğütülmemiş olan aspir tohumu numunesinin kuru kütlesidir (g)

3.2.3.3. Sokslet ekstraksiyonu

Solvent olarak C_6H_{14} kullanılarak ekstraksiyon tekniği olarak sokslet yöntemi seçilmiştir. Ekstraksiyon için 10 g'lık tohum numuneleri Şekil 3.49'da verilen laboratuvar tipi değirmen ile altı farklı boyutta öğütülmüştür. Parçacık boyutu veya öğütülmüş numunenin iriliği öğütme diskleri arasındaki mesafe ayarlanarak gerçekleştirilmektedir. Laboratuvar tipi değirmende altı pozisyon bulunmaktadır. Pozisyon 0 en ince öğütmeyi ve Pozisyon 5 en iri öğütmeyi sağlar. Kullanılan değirmende seçilen pozisyonlara göre elde edilen partikül büyüklüğünün ölçüleri Çizelge 3.12'de verildiği gibidir.



Şekil 3.49. Sokslet ekstraksiyonu

Çizelge 3.12. Laboratuvar tipi değirmende 50 g numunenin elek boyutları

Elek Boyutu	Konum 0	Konum 1	Konum 2	Konum 3	Konum 4	Konum 5
> 1.7 mm	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.5%	9%
> 1.0 mm	0.1%	2%	11%	26%	55%	64%
> 0.5 mm	27%	55%	60%	49%	31%	16%
< 0.5 mm	73%	43%	29%	25%	13%	11%

Hassas terazi ile ölçümler gerçekleştirildikten sonra, öğütülen tohumlar selüloz filtre kâğıdı kartuşu içerisine konmuştur. Kartuş içerisindeki öğütülmüş tohumun çözücü sıvı içerisinde dağılmaması için üstü pamuk ile örtülmüştür. Kartuş, 150 ml n-hexane doldurulan sokslet aparatının içerisine koyulduktan sonra, Şekil 3.49’da görülen Gerhardt Soxtherm 2000 Automatic ekstraksiyon sistemine yerleştirilmiştir.

Sokslet ekstraksiyon işlemi üç adımdan oluşmaktadır; 1. Adım, 20 dakika kaynatma, 2. Adım, 30 dakika durulama ve 3. Adım 10 dakika çözücü geri kazanımı şeklindedir. Çözücü olarak C_6H_{14} kullanıldığından dolayı, ekstraksiyon sıcaklığı Gerhardt Soxtherm 2000 Automatic sistem üreticisinin tavsiyesine göre 116 °C’ye ayarlandı. Ekstraksiyondan sonra, ana çözücü olan C_6H_{14} 72 °C’de döner bir buharlaştırıcıda (BUCHI Rotavapor R-3) uçurulmuştur. Farklı tanecik büyüklüğüne sahip öğütülmüş aspir tohumlarının sokslet ekstraksiyon ile ekstrakte edilmesinde % Yağ verimliliklerinin hesaplanmasında Denklem (3.5) kullanılmıştır.

$$\% \text{ Yağ Verimliliği} = \frac{\text{Ekstrakte edilen yağın kütlesi (g)}}{\text{Aspir tohumu kütlesi (g)}} \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.4. Yağın ve biyodizelin fizikokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi

Aspir tohumundan ekstrakte edilen yağın yoğunluğu ve kinematik viskozite değerlerine 3 tekrarlı olarak Dicle Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

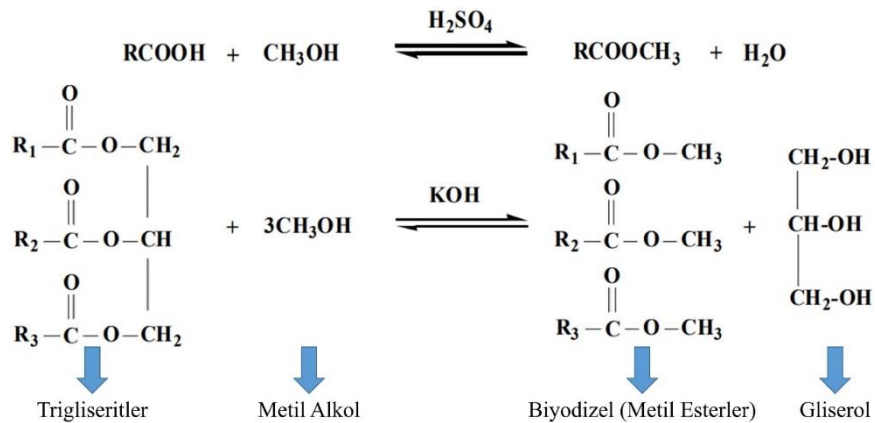
Aspir tohumu yağından sentezlenen B100 için ASTM-D6751 ve EN- 14214 standartlarını takip eden fizikokimyasal özellikler, Çizelge 3.13’te gösterildiği gibi B100 ürününü değerlendirmek için TÜBİTAK MAM enerji ve kimya laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.13. Analizi gerçekleştirilen B100 özellikleri ve test metodu

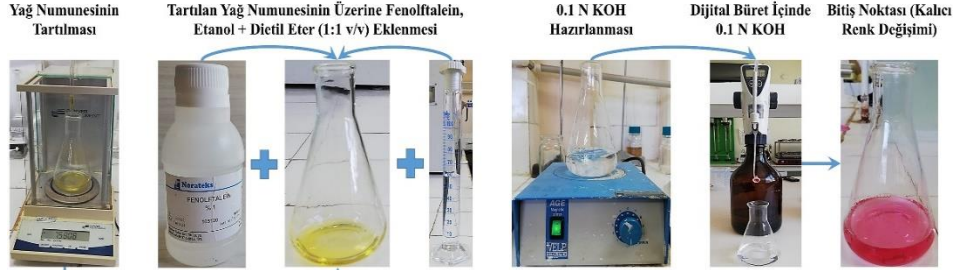
Özellik	Birim	Test Metodu
Bakır Korozyon (3h, 50°C)	Sınıf	EN ISO 2160
Kükürt Miktarı	mg/kg	EN ISO 20846
Oksidasyon Kararlılığı, 110°C	Korozyon derecesi	EN 14112
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	EN ISO 12185
Parlama Noktası	°C	EN ISO 2719
Toplam Kirlilik	mg/kg	EN 12662
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	EN 116
Su Miktarı	mg/kg	EN ISO 12937
Akma Noktası	°C	ISO 3016
Karbon Kalıntısı	% (mol/mol)	EN ISO 10370
Setan Sayısı	-	EN ISO 5165
Kinematik Viskozite 40 °C	mm ² /s	EN ISO 3104
Sülfatlanmış Kül Miktarı	% (mol/mol)	ISO 3987
İyot Sayısı	g I ₂ /100 g	EN 14111
Asit Sayısı	mg KOH/g	EN 14104
Net Yanma Isısı	MJ/kg	ASTM D 240
Grup I Metaller (Na + K)	mg/kg	EN 14108
Grup II Metaller (Ca + Mg)	mg/kg	EN 14538
Fosfor İçeriği	mg/kg	EN 14107

3.2.5. Aspir tohumu yağının asit değerinin belirlenmesi

Biyodizele sentezlenecek olan yağların, SYA değerleri ve su miktarının yüksek olması, daha fazla sabun oluşumuna neden olacağından biyodizele dönüşüm verimini azaltacaktır. Bu nedenle Şekil 3.50’de görüldüğü gibi iki aşamalı; ilk asit katalizi ardından alkali kataliz seçmek daha uygun olacaktır (Fan ve ark., 2009).

**Şekil 3.50.** İki adımlı proses ile yağların biyodizele sentezlenmesi

Nötralizasyon sayısı veya asit sayısı olarak da adlandırılan asit değeri, bir gram numunedeki SYA nötralize etmek için gerekli olan KOH miktarı olarak tanımlanır (Zahan ve Kano, 2018). Asit değeri, bir miktar yağın içerisine 3-4 damla fenolftalein indikatör çözeltisi, 0.1N KOH'ye karşı titre edilmesi neticesinde belirlenir. Şekil 3.51’de gösterildiği gibi renksiz çözeltinin pembe renk oluşturmaya kadar devam eder.



Şekil 3.51. SYA tayininde titrasyon işleminin gösterilmesi

YA değeri Denklem (3.6)’ya göre hesaplanmıştır.

$$\text{Asit Sayısı} = \frac{56.1 \times V \times N}{W} \quad (3.6)$$

Burada;

V : 0.1 N KOH hacmi (ml),

N : KOH'nin normalitesi

W : Aspir tohumu yağının kütlesidir (g)

3.2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemi

Aspir tohumlarının ekstraksiyon öncesi ve farklı ekstraksiyon yöntemleri sonrasındaki yüzey morfolojilerindeki değişimler SEM ile görüntülendi. Bu görüntüler (Quanta FEG-250) taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirildi. Numuneler, alüminyum kütük üzerinde karbon şerit ile sabitlendikten sonra, ince bir altın tabakası ile kaplanarak standart vakum durumu altında 15 kV hızlandırma gerilimi ile taranarak ikincil elektron detektöründe 3000 ve 1000 × büyütme seviyesinde görüntüler elde edilmiştir. Bütün ekstraksiyon yöntemlerinden sonra elde edilen tohum küspelerinin SEM görüntüleri alınmadan önce kalan nem ve çözücünün uzaklaştırılması amacı ile 24

saat boyunca bir desikatörde 50 °C'de kurutuldu. Böylelikle nem ve solvent bulunmayan numuneler elde edilmiştir.

3.2.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

Spektrumlar 4000-400 cm^{-1} aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte bir elmas kristal ATR hücresi ile donatılmış bir Agilent Cary 630 FTIR spektrometresi üzerinde elde edildi. Bütün analizler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her ölçüm için ekstrakte edilen yağ ve sentezlenen B100 numunelerinden 15-25 μl ATR kristalinin yüzeyine yerleştirilmiştir. Her bir spektrum elde edilmeden önce, ölçümler arasında ATR kristali üzerindeki yağ veya B100 kalıntıları yok etmek için bir kap içerisindeki C_6H_{14} içerisine batırılmış selüloz dokuya sahip özel optik kâğıt ile temizlenerek kurutuldu. Numunelerin en iyi spektrumlarını elde etmek için daha önceki numuneden hiç kalıntı kalmadığından emin olmak için temizlenmiş kristal spektral dikkatlice kontrol edildi. Her numune için üç spektrum elde edilerek ortalaması alındıktan sonra çalışmada kullanılmıştır.

3.2.8. Aspir tohumu yağı ve sentezlenen biyodizelin GC-MS analizleri

Aspir tohumlarından elde edilen yağın ve bu yağdan sentezlenen biyodizelin yağ asitleri bileşenlerinin ve YAME bileşiminin tanımlanması için gaz kromatografisi/kütle spektrometresi, bağıl yüzdelерinin belirlenmesi için ise Gaz kromatografisi yöntemi kullanılmıştır.

Yağ numunesi boron triflorur (BF_3) kullanılarak transmetilasyon yöntemine göre BF_3 ile türevlendirilmiş, bileşiminde bulunan yağ asitleri metil esterleri formuna dönüştürülerek C_6H_{14} ile hazırlanan örnek 1 μL olarak sisteme enjekte edilmiştir.

Biyodizel numunesi C_6H_{14} ile hazırlanan (% 10 h/h) örnek 40:1 split oranı ile 1 μL olarak sisteme enjekte edilmiştir. GC ve GC/MS şartları Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15'te verildiği gibi seçilmiştir. Enjektör sıcaklığı 250 °C'de sabit tutularak, kolon sıcaklık programı 60 °C'de 10 dakika bekletildi, 60 °C'den 220 °C'ye ulaşması için dakikada 4°C artacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.14. Gaz Kromatografisi (GC) Şartları

Sistem	Agilent 7890B GC System
Kolon	Agilent HP-Innowax (60.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm film kalınlığı).
Detektör	Alev İyonlaşma Dedektörü (FID)
Enjeksiyon Sıcaklığı	250 °C
Detektör Sıcaklığı	250 °C
Sıcaklık Programı	60°C (10 dk.), 4°C/dk. 220°C (10 dk.) 1°C/dk. 240°C (20 dk.), Toplam 100 dk.
Taşıyıcı Gaz	Helyum (0.7 mL/dk.)

Çizelge 3.15. Gaz kromatografisi/kütle spektroskopisi (GC/MS) şartları

Sistem	Agilent 7890B GC 5977B Mass Selective Detector System
Kolon	Agilent HP-Innowax (60.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm film kalınlığı).
Enjeksiyon Sıcaklığı	250 °C
İyon Kaynağı Sıcaklığı	230 °C
İyonizasyon Modu	EI
Elektron Enerjisi	70 eV
Kütle Aralığı	35 – 450 m/z
Sıcaklık Programı	60°C (10 dk.), 4°C/dk. 220°C (10 dk.) 1°C/dk. 240°C (20 dk.), Toplam 100 dk.
Taşıyıcı Gaz	Helium (0.7 mL/dk.)
Tanımlamalar	Wiley 9-Nist 11 Mass Spectral Database

3.2.9. Nükleer magnetik rezonans (NMR) analizleri

Nükleer Magnetik Rezonans (NMR) spektroskopisi, moleküldeki atom çekirdeklerinin manyetik alanda rezonansa girerek elektromagnetik ışımanın belli bir bölgesini soğurmaları olayının gözlenmesine dayanır (Erdik, 1993). Aspir tohumu yağı ve bu tohumun yağından sentezlenen biyodizelin ^1H NMR ve ^{13}C NMR analizleri için Bruker AVANCE III 400 MHz spektrometresi, çözücü olarak CDCl_3 kullanılmıştır.

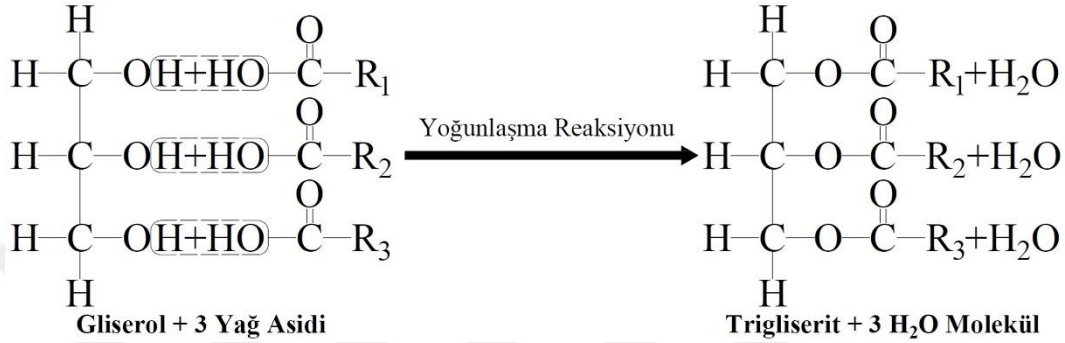
NMR spektroskopisi, transesterifikasyon prosesi ile yağlar biyodizele sentezlendiğinde prosesin reaksiyonunu incelemek, saflaştırma, ısıtılma işlem ve depolama sonrası gibi farklı yaşam döngüsü aşamalarında B100 veya yağ örneğindeki doymuş ve doymamış YAME miktarını hesaplamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir (Singh ve ark., 2019).

3.2.10. Aspir tohumu yağının biyodizele sentezlenmesi

Çeşitli metotlarla B100 üretimini gerçekleştirmek mümkün olmasına rağmen, deneylerde kullanılacak olan B100 yakıtı transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiştir.

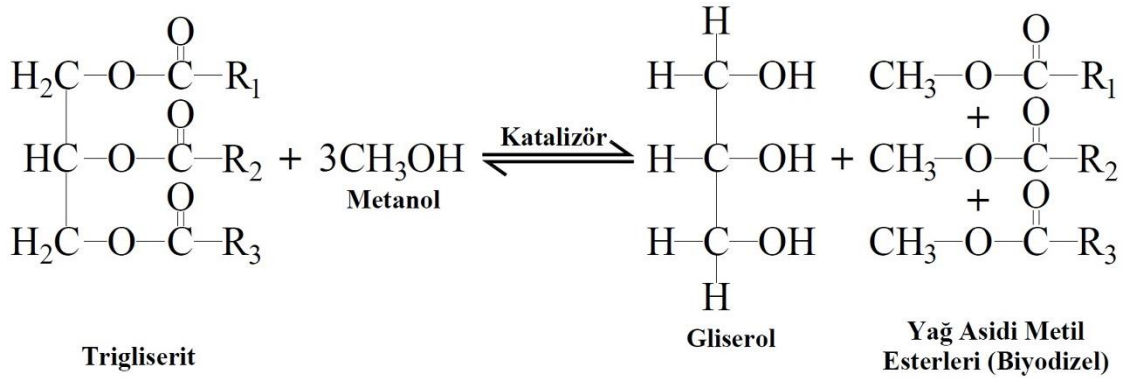
Transesterifikasyon, esterler ve gliserol oluşturmak için katı yağ veya sıvı yağın bir alkolle reaksiyona sokulması işlemidir.

Bitkisel yağlar, bitkilerden elde edilen ve birincil bileşikler olarak trigliseritler adı verilen bir grup kimyasal içeren maddelerdir. Kimyasal olarak, bir trigliserit, Şekil 3.52’de gösterildiği gibi, gliserin olarak da bilinen bir gliserolün üç YA molekülü (R_1 , R_2 ve R_3) ile reaksiyon ürünüdür (Lestari ve ark., 2009; Gurr ve ark., 2016).



Şekil 3.52. Trigliserit üretmek için gliserol ve yağ asitlerinin reaksiyonu

Biyodizel, Şekil 3.53’te görüldüğü gibi, yağda bulunan trigliseritlerin alkali katalizörler (KOH veya NaOH) varlığında alkoller (CH_3OH veya $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ile reaksiyona girerek yan ürün olarak esterler ve gliserol oluşturan transesterifikasyon işlemi sonucunda elde edilir (Enweremadu ve Mbarawa, 2009; Banerjee & Chakraborty, 2009; Rahman ve ark., 2010).



Şekil 3.53. Transesterifikasyon kimyasal reaksiyon prosesi

Transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için katalizörün kullanılması gereklidir (Arachchige ve ark., 2021). Bitkisel yağlar CH_3OH veya $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ile karıştırılırsa, transesterifikasyon reaksiyonu oda sıcaklığında bile meydana gelecektir, ancak denge koşullarına yaklaşması çok uzun sürecektir. Reaksiyon süresini önemli

ölçüde azaltmak için katalizör ve yüksek sıcaklıklar kullanılır. Sıvı veya katı yağların transesterifikasyonu için uygun katalizörler ya güçlü asitler ya da güçlü bazlardır. Saf bitkisel yağlar için özellikle güçlü bazlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Baz katalizörleri olarak kullanılan NaOH ve KOH katı pullar veya topaklar biçiminde düşük maliyetli olarak temin edilebilirler (Holden ve ark., 2021). Katalizör, CH₃OH içerisine KOH veya NaOH katı formlarının eklenip, tamamen çözünüp homojen bir çözelti oluşturana dek karıştırılarak hazırlanır (Kachhadiya ve ark., 2019). Alkol türü CH₃OH ise –OCH₃, alkol türü C₂H₅OH ise –OCH₂CH₃ elde edilen kimyasal bir reaksiyondur. Aktif katalizörler trigliserit moleküllerinden metil esterleri oluşturma işlevini yerine getirirler (Arachchige ve ark., 2021; Holden ve ark., 2021).

Bitkisel tohumlardan ekstrakte edilen yağlar transesterifikasyon prosesi ile biyodizele dönüştürülürken; yağın reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, reaksiyon süresi, katalizör, alkol yüzdesi ve SYA gibi birçok faktöre bağlı olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, reaksiyon sıcaklığı 60 °C, manyetik karıştırıcı hızı 600 rpm, katalizör olarak kullanılan KOH biyodizele dönüştürülen aspir tohumu yağ ağırlığının %1'i, kullanılan yağ içeriğinin <%2 SYA ve CH₃OH yağ hacminin %20'si kadar kullanılmıştır. Böylece literatürde verilen çalışma koşullarında B100 elde edilmiştir (Phan ve Phan, 2008; Rahadiani ve ark., 2018; Kawentar ve Budiman, 2013; Corro ve ark., 2011).

Transesterifikasyon reaksiyonu için gerekli kimyasalların (reaktan ve katalizör) net hacmini hesaplamak için bitkisel yağın moleküler ağırlığı bilinmelidir. Bütün bitkisel yağlar, yağ kaynağına hatta spesifik olarak bitki türüne göre YA kompozisyonunda değişiklik gösterir. Bundan dolayı, bütün bitkisel yağların net bir molekül ağırlığı yoktur. Ancak hesaplamalar ile ortalama bir moleküler ağırlık kullanılır. Şekil 3.52'de verilen, gliserolün YA esterlerinin hidrolizine dayanarak, bitkisel yağın ortalama moleküler ağırlığı Denklem (3.7) ve Denklem (3.8)'e göre hesaplanabilir (Holden ve ark., 2021).

Biyodizel üretimine ait işlem aşamaları ve hesaplamalar aşağıda maddeler halinde açıklanmış ve Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Hesaplamalar 100 ml Aspir tohumu yağı baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Sürekli vidalı pres (ekspeller) ile ekstrakte edilen Aspir tohumu yağının GC-MS analizinin gerçekleştirilmesi neticesinde Çizelge 3.16'da elde edilen YA profiline göre yağın ortalama moleküler ağırlığı (MW_{ave}) hesaplanmıştır.

Çizelge 3.16. Aspir tohumu yağının YA bileşimi

Pik#	YA	Molekül Formülü	Yapı	YA Grupları	Molekül Ağırlığı (g/mol)	wt%
1	Myristic	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	C14:0	DYA	228.4	0.0
2	Palmitic	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C16:0	DYA	256.5	6.1
3	Palmitoleic	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	C16:1	TDYA	254.5	0.0
4	Stearic	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C18:0	DYA	284.5	2.8
5	Oleic	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:1	TDYA	282.5	30.9
6	Linoleic	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	C18:2	ÇDYA	280.5	56.40
7	Linolenic	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	C18:3	ÇDYA	278.5	1.2
8	Arachidic	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	C20:0	DYA	312.6	0.0
9	11-Eicosenoic	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	C20:1	TDYA	310.5	0.0
10	Behenic	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	C22:0	DYA	0.5	0.5
	Others	-	-		-	1.4

DYA: Doymuş Yağ Asitleri; **TDYA:** Tekli Doymamış Yağ Asitleri; **ÇDYA:** Çoklu Doymamış Yağ Asitleri

$$\frac{1}{MW_{ave,FA}} = \sum \frac{C_{i,FA}}{MW_{i,FA}} \quad (3.7)$$

Burada;

$MW_{ave,FA}$: Bitkisel yağ yağ asitlerinin genel ortalama moleküler ağırlığını (kg/kmol),

$C_{i,FA}$: Belirli bir YA'nin kütle fraksiyonunu (%),

$MW_{i,FA}$: Belirli bir YA'nin moleküler ağırlığını (kg/kmol),

$$MW_{ave} = MW_{gly} - 3MW_{water} + 3MW_{ave,FA} \quad (3.8)$$

Burada;

MW_{ave} : Bitkisel yağın moleküler ağırlığı (YA gliserol esterlerinin bir karışımı - kg/kmol),

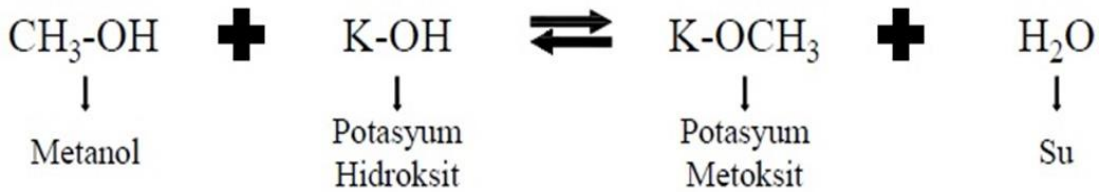
MW_{gly} : Gliserolün moleküler ağırlığı (C₃H₈O₃ - 92.064 kg/kmol),

MW_{water} : Suyun moleküler ağırlığı (18.016 kg/kmol),

$MW_{ave,FA}$: Yağdaki yağ asitlerinin ortalama moleküler ağırlığıdır (kg/kmol),

Farklı yöntemler ile ekstrakte edilen ATY'nin biyodizele sentezlenmesi için bütün işlem basamakları ve hesaplamalar aşağıda maddeler halinde açıklanmış olup Şekil 3.55'te detaylı olarak gösterilmiştir.

- iii) Aspir tohumundan yağ ekstrakte edilmiş, ekstrakte edilen ham yağ içerisinde kalan küspe parçacıkları vb. partiküllerin giderilmesi için filtrasyon işleminden geçirilmiştir, Şekil 3.55 (a, b, c, d, e, f ve g). Moleküller ağırlığı 893.0574 kg/kmol olan 100 ml aspir yağı 250 mL'lik cam kaba alınmış ve yağdaki nemi gidermek için 105-110 °C'ye kadar ısıtılmış ve ardından soğumaya bırakılmıştır.
- iv) Filtrasyon işleminden geçirilen ve nemi giderilen ham aspir yağının öncelikle Şekil 3.55 (o)'da görüldüğü gibi asit sayısı hesaplanmıştır. Asit değeri hesaplandıktan sonra ham Aspir tohumu yağı Şekil 3.55 (h)'de görüldüğü gibi manyetik karıştırıcı plakasının üzerinde bulunan cam balona aktarılmıştır. Cam balon içerisindeki manyetik karıştırıcı aracılığı ile sürekli olarak ham yağın sıcaklığı 60 °C'ye ulaşmaya kadar 600 rpm ile karıştırılmıştır. Böylelikle yağ sıcaklığının her yerde homojen olması sağlanmıştır. Bu işlem 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir.
- v) Potasyum metoksit (CH_3KO) çözeltisini hazırlamak için; kullanılan yağın hacminin %20'si kadar CH_3OH ve kütsel olarak %1'ine karşılık gelen KOH kullanılarak Şekil 3.54'te kimyasal reaksiyonu verilen çözelti elde edilmiştir. Denklem (3.9)'a göre alkol ve yağın mol oranı hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen işlem Şekil 3.55 (i)'de görüldüğü gibidir. CH_3OH ve KOH oda sıcaklığında yaklaşık olarak 40-50 dakika boyunca manyetik karıştırıcı aracılığı ile katalizör alkolün içerisinde çözünene dek 800 rpm ile karıştırılmıştır,



Şekil 3.54. Potasyum metoksit oluşumunun kimyasal reaksiyonu

$$\frac{n_{\text{alcohol}}}{n_{\text{oil}}} = \frac{\frac{m_{\text{alcohol}}}{MW_{\text{alcohol}}}}{\frac{m_{\text{oil}}}{MW_{\text{oil}}}} = \frac{\frac{\rho_{\text{alcohol}} \cdot V_{\text{alcohol}}}{MW_{\text{alcohol}}}}{\frac{\rho_{\text{oil}} \cdot V_{\text{oil}}}{MW_{\text{oil}}}} \quad (3.9)$$

Burada;

$n_{\text{alcohol}}/n_{\text{oil}}$: Yağ / Metanol molar oranlarını (m/m),

m_{alcohol}	: Alkol kütlesi (kg),
MW_{alcohol}	: Alkolün molekül ağırlığı (kg/kmol),
m_{oil}	: Yağ kütlesi (kg),
MW_{oil}	: Yağın molekül ağırlığı (kg/kmol),
ρ_{alcohol}	: Alkolün yoğunluğu (kg/m ³),
V_{alcohol}	: Alkolün hacmi (m ³),
ρ_{oil}	: Yağın yoğunluğu (kg/m ³),
V_{oil}	: Yağın hacmi (m ³),

Bir transesterifikasyon reaksiyonunu stokiyometrik olarak tamamlamak için trigliseritlere karşı 3:1 molar oranda alkol oranı gereklidir. Ancak pratik uygulamalarda, ileri reaksiyonları yönlendirmek, sıvı ve katı yağların biyodizele daha eksiksiz dönüşümünü sağlamak için stokiyometrik CH₃OH ihtiyacından daha fazla eklenir. Fazla CH₃OH, sistemde yeniden kullanım için geri kazanılabilir ve saflaştırılabilir. Biyodizel üretimi planlanırken üretilen her B100 hacminin eşit hacimde bitkisel yağ gerektirdiği kabul edilebilir bir varsayım olduğu da unutulmamalıdır. Çalışmamızda stokiyometrik oranın yaklaşık olarak 1.6 katı molar oran kullanılmıştır.

- vi)** Sıcaklığı 60 °C olan ham yağın üzerine hazırlanan homojen CH₃OH + KOH çözeltisi eklenmiş ve sıcaklık 60 °C’de sabit tutulup 600 rpm ile 120 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır, Şekil 3.55 (k).
- vii)** Transesterifikasyon reaksiyonu tamamlandıktan sonra ürünler cam balondan bir ayırma hunisine aktarıldı. Fazların birbirinden ayrılması için 6 saat bekletildi. Ayırma hunisindeki bekletilme süresinden sonra ürünler iki farklı katman oluşturdu. Şekil 3.55 (l)’de görüldüğü gibi, özgül ağırlığı daha yüksek olan gliserol ayırma hunisinin alt kısmında ve özgül ağırlığı gliserolden daha düşük olan metil ester ayırma hunisinin üst kısmında kalmıştır.
- viii)** Şekil 3.55 (m)’de görüldüğü gibi özgül ağırlık farkları nedeniyle gliserol metil esterden ayrıştırıldıktan sonra sentezlenen B100 bir ayırma hunisine aktarılmıştır. Şekil 3.55 (n)’de görüldüğü gibi reaksiyona girmemiş alkolün, kalan gliserinin, katalizör vb. safsızlıkların uzaklaştırılması için B100 damıtılmış sıcak su ile yıkandıktan sonra yine özgül ağırlıkları farkı sayesinde su ve B100 birbirinden ayrıştırılmıştır.



Şekil 3.55. Metil ester üretim aşamaları

3.2.11. Yakıt karışımlarının hazırlanması

Tez çalışması kapsamında test edilen yakıtlar, Şekil 3.56'da görüldüğü gibi DF %50 oranında sabit tutularak, Biyodizel %25, %35 ve %45 oranlarında ve AA'leri temsil eden CH ise %25, %15 ve %5 oranlarında karıştırılarak test yakıtları elde edilmiştir.



Şekil 3.56. DF, B100 ve AA'ler ile hazırlanan karışım yakıtlar

Elde edilen ve kullanılan yakıtlar tekli, ikil ve üçlü karışımlar halinde sınıflandırılıp aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- i) Tekli yakıtlar; Dizel yakıt (DF), saf biyodizel (B100)'dir.

- ii) İkili karışım yakıtlar, %50 Dizel yakıt - %50 biyodizel karışımlı yakıt (DF50B50), %50 Dizel yakıt - %50 hekzanol karışımlı yakıt (DF50HE50), %50 Dizel yakıt - %50 oktanol karışımlı yakıt (DF50OC50) ve %50 Dizel yakıt - %50 dekanol karışımlı yakıt (DF50DE50)'dir.
- iii) DF, B100 ve hekzanol ile oluşturulan üçlü karışım yakıtlar; %50 Dizel yakıt - %25 biyodizel - %25 hekzanol karışımlı yakıt (DF50B25HE25), %50 Dizel yakıt - %35 biyodizel - %15 hekzanol karışımlı yakıt (DF50B35HE15), %50 Dizel yakıt - %45 biyodizel - %5 hekzanol karışımlı yakıt (DF50B45HE5)'dir.
- iv) DF, B100 ve oktanol ile oluşturulan üçlü karışım yakıtlar; %50 Dizel yakıt - %25 biyodizel - %25 oktanol karışımlı yakıt (DF50B25OC25), %50 Dizel yakıt - %35 biyodizel - %15 oktanol karışımlı yakıt (DF50B35OC15), %50 Dizel yakıt - %45 biyodizel - %5 oktanol karışımlı yakıt (DF50B45OC5)'dir.
- v) DF, B100 ve dekanol ile oluşturulan üçlü karışım yakıtlar; %50 Dizel yakıt - %25 biyodizel - %25 dekanol karışımlı yakıt (DF50B25DE25), %50 Dizel yakıt - %35 biyodizel - %15 dekanol karışımlı yakıt (DF50B35DE15), %50 Dizel yakıt - %45 biyodizel - %5 dekanol karışımlı yakıt (DF50B45DE5)'dir.

Karışımlar oluşturulurken DF biyodizele eklenmiş gözle görülür şekilde homojenlik sağlanana kadar mekanik karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Daha sonra, AA ilavesi yapılarak mekanik karıştırıcı ile 10 dakika ve homojenizatör ile 10 dakika olmak üzere toplam 20 dakika karıştırma işlemine tabi tutularak test yakıtları hazırlanmıştır.

Çizelge 3.17'de verilen yakıtlar DF, B100 ve AA'lerin hacim oranları değiştirilerek hazırlanmıştır. Sırasıyla DF, B100 ve DF50B50 olarak tanımlanan saf dizel, saf B100 ve %50 dizel ve %50 B100 karışımının yakıt numuneleridir. Testlerin uygulanması sırasında tüm yakıt karışımları karışabilir ve kararlı durumdaydı. Hazırlanan numunelerden 48 saat sonra bile faz ayrışması gözlemlenmemiştir. Ancak yakıt homojenliğini sağlamak için deneysel motor testinden önce tüm numuneler bir karıştırıcı yardımıyla iyice karıştırılmıştır.

Çizelge 3.17. Testlerde kullanılan yakıtların hacimsel olarak karışım oranları

DF (% v/v)	B100 (% v/v)	HE (% v/v)	OC (% v/v)	DE (% v/v)	Yakıt
100	0	0	0	0	DF
0	100	0	0	0	B100
50	50	0	0	0	DF50B50
50	0	50	0	0	DF50HE50
50	25	25	0	0	DF50B25HE25
50	35	15	0	0	DF50B35HE15
50	45	5	0	0	DF50B45HE5
50	0	0	50	0	DF50OC50
50	25	0	25	0	DF50B25OC25
50	35	0	15	0	DF50B35OC15
50	45	0	5	0	DF50B45OC5
50	0	0	0	50	DF50DE50
50	25	0	0	25	DF50B25DE25
50	35	0	0	15	DF50B35DE15
50	45	0	0	5	DF50B45DE5

3.2.12. Motor karakteristik deneyleri

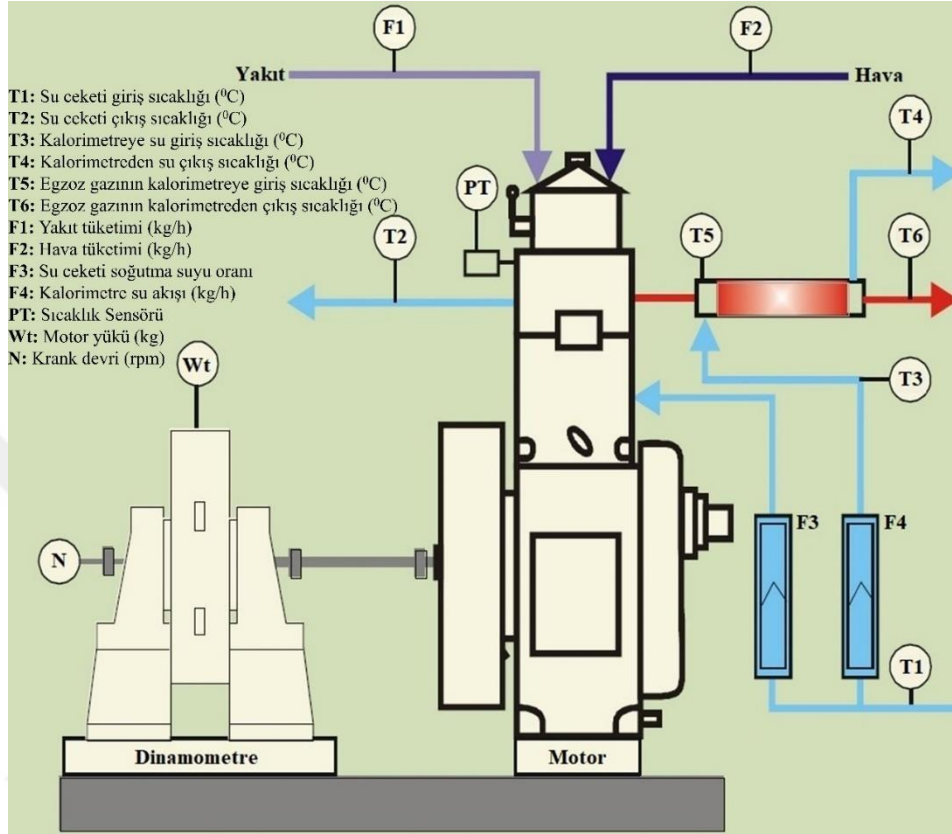
Motor karakteristik deneyleri, Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda kurulu olan motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.12.1. Motor test düzeneği

Test düzeneği yükleme için dinamometreye bağlı tek silindirli, dört zamanlı, dizel motordan oluşmaktadır. Yanma basıncı ve krank açısı ölçümleri için gerekli ekipmanlarla donatılmıştır. Bu sinyaller, Pθ-PV diyagramları için motor göstergesi aracılığıyla bilgisayara aktarılır. Ayrıca hava akışı, yakıt akışı, sıcaklıklar ve yük ölçümü için arayüz sağlanmıştır. Düzenek; hava kutusu, yakıt deposu, manometre, yakıt ölçüm ünitesi, hava ve yakıt akış ölçümleri için vericiler, proses göstergesi ve motor göstergesinden oluşan bağımsız panel kutusuna sahiptir. Soğutma suyu ve kalorimetre su akış ölçümü için rotametreler sağlanmıştır.

Testlerin gerçekleştirildiği test düzeneğinde, MFG, belirtilen güç, sürtünme gücü, fren ortalama efektif basıncı (BMEP), IMEP, FTV, belirtilen termal verimlilik, mekanik verimlilik, hacimsel verimlilik, özgül yakıt tüketimi, A/F oranı ve ısı dengesi için motor performansının incelenmesine olanak sağlar.

On line performans değerlendirmesi için Labview tabanlı Motor Performans Analizi yazılım paketi "Enginesoft" sağlanmıştır. Motor test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.57'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.57. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

3.2.12.2. Testlerde hesaplanan performans karakteristikleri

Yakıt tüketimi, FÖYT, FÖET ve FTV gibi çeşitli performans parametreleri, farklı yüklemelerde BMEP'e karşı tüm test yakıtları için hesaplanmıştır.

3.2.12.2.1. Yakıt tüketimi

Yakıt tüketiminin ölçümü için test motoru düzeneğinde bulunan bir büret düzeneği aracılığıyla 20 cm^3 yakıtın kronometre yardımıyla yakıt miktarının zamana bağlı değişimlerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi Denklem (3.10) ve Denklem (3.11) kullanılarak yakıt tüketimi birimi kg/h olarak hesaplanmıştır.

Farklı maddelerin harmanlanmasıyla elde edilen yakıtların yoğunluğunun hesaplanması için kullanılan denklemler, karışımın her bileşenine ait özellikleri

kullanılarak karışımların yoğunluğunun belirlendiği Kay's mixing kuralına (KED) dayanmaktadır (Sajjad vd., 2015).

$$\rho_{\text{Karışım}} = (\rho_D * \%V_D) + (\rho_{BD} * \%V_{BD}) + (\rho_{\text{alcohol}} * \%V_{\text{alcohol}}) \quad (3.10)$$

Burada;

$\rho_{\text{karışım}}$: Harmanlama sonucu elde edilen yakıtın yoğunluğu (kg/m^3),

ρ_D : Dizel yakıtının yoğunluğu (kg/m^3),

$\%V_D$: Dizel yakıtının hacimce yüzdesi - % (v/v),

ρ_{BD} : Biyodizel yakıtının yoğunluğu (kg/m^3),

$\%V_{BD}$: Biyodizel yakıtının hacimce yüzdesi - % (v/v),

ρ_{alcohol} : Kullanılan ağır alkolün yoğunluğu (kg/m^3),

$\%V_{\text{alcohol}}$: Harmanlanan ağır alkolün hacimce yüzdesi - % (v/v),

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_{\text{karışım}} * V_f}{\frac{t}{3600}} \quad (3.11)$$

Burada;

$\dot{m}_f$: Kütlesel yakıt debisi (kg/h),

$\rho_{\text{karışım}}$: Harmanlama sonucu elde edilen yakıtın yoğunluğu (kg/m^3),

V_f : Yakıt hacmi (20 cm^3),

t : Süre (h) (20 cm^3 yakıtın tüketimi için geçen süre),

3.2.12.2.2. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)

Birim zamanda birim güç elde etmek için harcanan yakıt tüketimi miktarını ifade eden FÖYT hesabında tüketilen yakıt miktarı MFG dikkate alınarak Denklem (3.12)'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{FÖYT} = \frac{\dot{m}_f}{\text{MFG}} \quad (3.12)$$

Burada;

FÖYT : Fren özgül yakıt tüketimi (kg/kWh),

$\dot{m}_f$: Kütlesel yakıt debisi (kg/h),

MFG : Motor Fren Gücü (kW)

3.2.12.2.3. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET)

Fren özgül enerji tüketimi (FÖET), birim güç üretmek için yakıttan enerji tüketmenin verimliliğini gösterir. FÖET farklı kalorifik değerlere sahip birden fazla yakıtı karşılaştırmak için en doğru parametredir. Herhangi bir yakıt için FÖET, alt ısı değeri ile FÖYT'nin bir parametresi olarak Denklem (3.14)'e göre hesaplanmıştır.

$$H_{uf} = \frac{(m_f)_1 * (H_{uf})_1 + (m_f)_2 * (H_{uf})_2 + \dots + (m_f)_n * (H_{uf})_n}{(m_f)_1 + (m_f)_2 + \dots + (m_f)_n} \quad (3.13)$$

Burada;

H_{uf} : Testlerde kullanılan yakıt veya harmanlanmış yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg),
 m_{f1} : Harmanlanacak olan 1. Yakıtın kütlesi (kg),
 H_{uf1} : Harmanlanacak olan 1. Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg),
 m_{f2} : Harmanlanacak olan 2. Yakıtın kütlesi (kg),
 H_{uf2} : Harmanlanacak olan 2. Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg),
 m_{fn} : Harmanlanacak olan n. Yakıtın kütlesi (kg),
 H_{ufn} : Harmanlanacak olan n. Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg),

$$FÖET = FÖYT * H_{uf} \quad (3.14)$$

Burada;

FÖET : Fren özgül enerji tüketimi (kJ/kWh),
FÖYT : Fren özgül yakıt tüketimi (kg/kWh),
 H_{uf} : Yakıtın Alt Isıl Değeri (kJ/kg),

3.2.12.2.4. Fren termal verimliliği (FTV)

Kimyasal enerjinin bir motorun verimli çalışmasına dönüştürülmesinin verimliliği, FTV ile gösterilir. Güç çıkışının yakıttan sağlanan ısıya oranıdır ve yakıtın net kalorifik değerine bağlı olup, Denklem (3.15)'e göre hesaplanmıştır.

$$FTV = \frac{MFG \cdot 3600}{\dot{m}_f \cdot H_{uf}} \quad (3.15)$$

Burada;

- FTV : Fren termal verimliliği (%),
MFG : Motor Fren Gücü (kW),
 $\dot{m}_f$: Kütlesel yakıt debisi(kg/h),
 H_{uf} : Testlerde kullanılan yakıt veya harmanlanmış yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg),

3.2.12.3. Yanma analiz sistemi

Yanma analizi sistemi; fiber optik prensiple çalışan basınç sensörü, krank açısı enkoderi, veri toplama kartı, Labview tabanlı motor performans analizi yazılım paketi olan Enginesoft'un ICEngineSoft arayüzünden oluşmaktadır.

Deneysel çalışmalarda; silindir gaz basıncı, ısı açığa çıkış miktarı ve ısı açığa çıkış hızına ait verilerin alınmasında LabVIEW tabanlı Enginesoft yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, İYM'lere adapte edilen basınç sensörü ve krank açısı enkoderinden alınan sinyalleri kullanarak hesapladığı verileri gerçek zamanlı olarak gösteren ve kaydeden, ölçülen ve hesaplanan verilere bağlı olarak yapılan ileri yanma analiz sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve farklı formatlarda raporlanmasına olanak veren bir yazılımdır.

3.2.12.3.1. Silindir basıncı (SB)

Silindir basıncı, motorun her bir çevrimi için, bir iş çevrimi boyunca her 1 °KMA aralığında 720 °KMA boyunca alınan SB verilerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Silindir basıncı verileri 10 çevrimin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Analizler tespit edilen çevrim ortalamalarına göre yapılmıştır.

3.2.12.3.2. Net ısı salımı hızı (NISH)

Yanma işlemi boyunca iç enerjideki artış, motor silindiri içinde gerçekleşir ve krank açısına karşılık gelen mekanik işi dönüştürmek için değerleri belli olan ısı salım oranı termodinamiğin birinci yasasına göre Denklem (3.16) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (3.16)$$

Termodinamiğin birinci kanun denklemleri, İYM'lerin ısı salınımı hesaplaması için yaygın olarak kullanılır. Bu basitleştirilmiş bir ifade olmasına rağmen kabul edilebilir sonuçlar elde edilmesini sağlar (Heywood, 1988; Brunt ve Platts, 1999; Leung, 2001; Canakci ve ark., 2006; Banapurmath ve ark., 2008). Yakıtın ısı salımı oranı, motor silindiri içindeki gaz basıncı ve sıcaklığında bir değişiklik oluşturur. Yakıt ekonomisini, güç çıkışını ve motorun emisyonlarını güçlü bir şekilde etkiler (Lancaster ve ark., 1975; Heywood, 1988; Banapurmath ve ark., 2008). Kısacası, Isı salınım oranı, yanma odasındaki enerji salınımının zamansal seyrini tanımlar (Işcan, 2020). Kümülatif ısı salınımı, sınırlı bir krank açısı (θ) aralığı boyunca ısı salınım oranının integrali, toplam ısı salınımı veya yanma fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Test edilecek yakıt numuneleri için kümülatif ısı salımı değerleri Denklem (3.17) (Erdoğan ve ark., 2019) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\int dQ = \int \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) P(dV) + \int \left(\frac{1}{\gamma-1} \right) V(dP) \quad (3.17)$$

Gama (γ), karışım sıcaklığına ve bileşimine göre değişir. İlgili çalışmalar, gamanın sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu belirtir (Brunt ve Platts, 1999). Denklem (3.16) ve (3.17)'de verilen ifadelerde T, Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir. 1000 K ve 2000 K'da bu ifadenin sonuçları sırasıyla 1.3 ve 1.27'dir. Brunt'un deneysel çalışmalarına dayanılarak, özgül ısılar oranı ($\gamma = \frac{C_P}{C_V}$) Denklem (3.18)'e göre hesaplanabilir.

$$\gamma = 1,338 - 60 * 10^{-5}T + 1 * 10^{-8}T^2 \quad (3.18)$$

Denklem (3.16), (3.17) ve (3.18)'de yer alan ifadeler;

- Q : Yanma prosesi sonunda silindir duvarından ve yanma odasından geçen enerji miktarı (J),
- θ : Krank açısı ($^{\circ}$),
- γ : Özgül ısılar oranı ($\frac{C_P}{C_V}$),
- P : Silindir gaz basıncı (Pa),

V : Silindir hacmi (m³),

3.2.12.3.3. Basınç artış oranı (BAO)

Yanma prosesinin enerji salınım oranının bir göstergesi, silindir BAO'dır. İçten yanmalı motorlarda yanma başlangıcındaki hızlı enerji salınımı, yanma başlangıcından elde edilen tepe SB'ye yakın doğrusal bir SB artışına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu doğrusala yakın artışın eğimi, basınç artış hızını ölçmek için bir ölçü olarak ve yanma işleminin enerji salınım hızının bir göstergesi olarak seçilmektedir. Bu eğim, ortalama BAO olarak adlandırılmaktadır. Basınç artış oranı Denklem (3.19)'a göre hesaplanabilir (Basina, 2019).

$$\left(\frac{dP}{d\theta}\right)_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta\theta} \quad (3.19)$$

Burada;

dP : Silindir basıncı artış oranı (kPa/⁰),

dθ : Krank açısı (⁰),

P_{i+1} : θ = 359⁰ KMA olduğunda silindir basıncı (kPa),

P_i : θ = 360⁰ KMA olduğunda silindir basıncı (kPa),

Δθ : 1 KMA'dır, (Basınç izi 1 ⁰KMA aralıklarla toplanır)

3.2.12.3.4. Egzoz gazı sıcaklıkları

Deney yakıtlarının motorda kullanılması sonucunda oluşan egzoz gazlarının sıcaklıklarını ölçülmesi amacıyla kızıl ötesi termometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile egzoz manifoldunun yanma odasına en yakın ve en ince cidarlı yerden sıcaklıklar ölçülmüştür. Böylece egzoz gazlarının sıcaklığını egzoz manifoldundan, her deney yakıtı için aynı şartlarda ve aynı bölgeden ölçülmüştür.

3.2.12.4. Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi

DF referans yakıt olarak test edilmiş ve sabit 1500 rpm'de hidrolik dinamometre ile yüklenerek (BMEP = 0.3 bar'dan başlayarak maksimum 3 bar olacak yükte) egzoz

emisyonları belirlenmiştir. Testler sırasında ortam sıcaklığı 10–20 °C aralığında tespit edilmiştir.

3.2.13. YSA mimarisi oluşturma yöntemleri

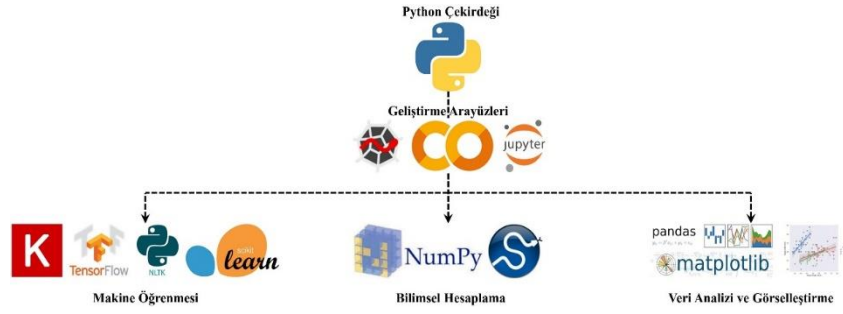
Bu bölümde Python dili, Python kütüphaneleri, kodların derlenmesi için kullanılan ortam olan Colab, YSA ve ilişkili konular verilmiştir.

3.2.13.1. Python

Python, Hollanda’da da bulunan Ulusal Araştırma Enstitü’sünde çalışan Guido van Rossum önderliğinde 1990’lı yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır. Bu makine öğrenmesi yazılım dilinin isim babası olan Rossum’un bu Python ismini verirken esinlenme kaynağı, İngiliz komedi grubu olan Monty Python’dır. Nesne tabanlı her türlü yazılı bir dil olan Python, o dönemler Hollanda menşeli bir başka dil olan ABC’nin yerini alacağı düşünülmüştür. 2000 yılında 2.0 versiyonu ve 2008 yılında ise 3.0 olan versiyonu yayımlamışlardır. C#, Java gibi nesne tabanlı diğer dillerde de bulunan ‘Garbage Collector’ yapısı Python dilinde de bulunmaktadır. Python dilinin öne çıkan en önemli özellikleri (Özkay, 2021);

- i) Öğrenmesi ve okuması oldukça kolay bir dildir,
- ii) Farklı platformlarda da bu yazılım dilinin kullanılabilme özelliği bulunmaktadır,
- iii) Çok farklı araç çubuklarına sahip olması nedeniyle çeşitli farklı işlemler için kullanılabilme özelliğine sahiptir,
- iv) Açık kaynaklı olduğu için bu dilin geliştirilmesi işlemine tüm internet topluluğu katılabilir (Özkay, 2021).

Yukarıda maddeler halinde verilen olumlu özelliklerinin aksine bu yazılım dilinin en büyük eksisi sayılabilecek durum ise çalıştırma hızının düşüklüğüdür (Özkay, 2021). 200.000’den daha fazla pakete sahip olan Python otomasyon, veri analizi, makine öğrenmesi, web programlama vb. çok önemli pekçok farklı alanda kullanılabilmektedir (Prechelt, 2000; Halterman, 2018). Python ekosistemi Şekil 3.58’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.58. Python şeması

3.2.13.1.1. Python geliştirme arayüzleri

IDLE arayüzü Python programı ile beraber gelmiş olup çok basit olduğundan program özelliklerinin küçük bir kısmını sağlar. Bu nedenle; Spyder, Google Colaboratory ve Jupyter notebook gibi araçlar daha profesyonel ve karmaşık projeler için tercih edilip kullanılabilir.

Spyder daha gelişmiş olup, bilimsel çalışma için geliştirilen IPython yorumlayıcısını kullanabilmektedir. Jupyter notebook bugün veri bilimcilerin en çok kullandığı araçların başında gelir. Bu notebook'un amacı ardışık komutları sırayla kaydetmek, komutların çıktısını kaydetmek ve gerektiğinde bu komutların kolayca tekrar üretilmesini sağlamaktır (Öztürk, 2017).

Tez çalışmamızda ücretsiz bulut servisi olan Google Colaboratory ile deneysel çalışmaların yanma parametrelerinin sonuçlarını tahmin etmek için GPU (Grafik İşlemci Birimi - Graphics Processing Unit) üzerinde YSA uygulamaları geliştirilmiştir.

Makine öğrenmesi aracılığıyla günümüzde çeşitli alanlarda kullanılmak üzere çok farklı işlemler yapılabilmektedir. Bu işlemlerin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için kurulacak modelin eğitimi çok iyi gerçekleştirilmelidir. Makine öğrenmesi aracılığı ile gerçekleştirilecek sınıflandırma, tahmin vb. başarılı sonuçların elde edilmesi için, çok sayıda veri ile ağırlıklı bir şekilde eğitilmesi gereklidir. Bu durumda sayıca çok fazla olan verinin işlenmesi için de daha hızlı bir işlemciye ihtiyaç vardır. GPU'lar, CPU (Merkezi İşlem Birimi - Central Processing Unit)'lara göre çok daha hızlı işlem yapabilme kabiliyetlerine sahip olduklarından ötürü derin öğrenme işlemlerinde çokça kullanılmaktadırlar. Verilerin çok hızlı bir şekilde GPU'lar aracılığı ile işlenmesi pozitif bir durumken, GPU'ların negatif sonuçları ise (Özkay, 2021);

- i) Yüksek oranlarda enerji harcamaları,

- ii) Bakım gereklilikleri nedeniyle ortaya çıkan bakım maliyet masrafları,
- iii) GPU sistemlere sahip donanımların pahalı olmaları da negatif sonuçlarıdır (Özkay, 2021).

GPU'lar için yukarıda maddeler halinde verilmiş olumsuz nedenlerden ötürü insanlar derin öğrenme ve makine öğrenmesi gibi çalışmalarını Google, Amazon, Intel gibi markaların oluşturdukları bulut teknolojisini kullanarak tamamlamaktadırlar. Google tarafından verilen hizmeti diğer bulut tabanlı platformlardan ayıran en önemli özelliği ise ücretsiz olmasıdır. Google tarafından sağlanan bulut tabanı kullanmak için gerekli olan tek şart ise bir Google hesabına sahip olmaktır (Özkay, 2021).

Kısaca Colab olarak bilinen Google Colaboratory, Jupyter Notebooks benzeri bir yapıya sahiptir. Colab, Python'ın 2.0 ve 3.0 olan iki sürümünde de çalışmaların gerçekleştirilmesini desteklemektedir. Colab çalışma platformunda, makine öğrenmesi çalışmalarına ek olarak, bilimsel hesaplamalardaki gibi çok fazla işlem gerektiren çalışmalarda burada yapılabilmektedir (Carneiro ve ark., 2018).

3.2.13.1.2. Python kütüphaneleri

Tez çalışmamızda makine öğrenmesi, bilimsel hesaplama, veri analizi ve görselleştirme için çeşitli Python kütüphaneleri kullanılmıştır.

3.2.13.1.2.1. Makine öğrenme kütüphanesi

Makine öğrenimi, deneyim yoluyla öğrenen algoritmaları incelemektedir. Bu algoritmalar; tahminler ve kararlar vermek için eğitim verilerinin örneklerine dayalı modeller oluşturur (Editör, 2022). Python ile makine öğrenimi kütüphanesinde yer alan keras, NLTK, PyTorch, Scikit-learn ve TensorFlow araçlarından keras ve Scikit-learn araçları tez çalışmamız kapsamında kullanılan araçlardandır.

3.2.13.1.2.1.1. Keras

Keras ve TensorFlow en çok bilinen ve kullanılan kütüphane araçlarının başında gelmektedir. Google tarafından Python dili ile geliştirilmiş bir araç olup, Tensorflow ve Thenano gibi araçların üzerinde de çalışabilme özelliğine sahiptir (Özkay, 2021).

3.2.13.1.2.1.2. Scikit-learn

Denetimli ve denetimsiz öğrenmeyi destekleyen açık kaynaklı olan scikit-learn 2010 yılında geliştirilmeye başlanmıştır. Kümeleme, sınıflandırma, regresyon vb., türden işlemler için etkili bir araçtır. Ayrıca xlsx. veya csv. formatlarında yüklenen veri setlerini istenen oranlarda test ve eğitim kümelerine ayırabilir ve ayrılan bu veriler ile modeli eğiterek doğruluk oranını da saptayabilir (Marikala, 2020; Mckinney, 2022).

3.2.13.1.2.2. Bilimsel hesaplama kütüphanesi

Bilimsel hesaplamalarda da Python önemli bir rol oynamaktadır. Bilim adamları, Komplike sorunların anlaşılması ve çözümü için süper bilgisayarlar, bilgisayar kümeleri ve hatta desktop ve laptop bilgisayarlar aracılığıyla sağlanan gelişmiş bilgi işlem yeteneklerini kullanmaktadır (Editör, 2022). Python ile bilimsel hesaplama kütüphanesinde yer alan NumPy aracı tez çalışmamız kapsamında kullanılan araçlardandır.

3.2.13.1.2.2.1. NumPy

‘Numerik Python’ kelimelerinin baş harflerinden oluşturulan NumPy aracı sayısal işlemlerin kolaylıkla yapılması için getirilmiş bir kütüphane aracıdır. Benzer türlerden meydana gelen ‘ndarray’ isimli bir matris bu kütüphanenin ana gövdesini oluşturmaktadır. Böylelikle, normal bir diziye oranla daha hızlı şekilde işlemler yapılabilme olanağı sağlamaktadır. NumPy’nın en önemli özelliklerinden biri algoritma ve kitaplıklar arasında veri aktarımı yapabilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Farklı dillerde oluşturulan kodlarla da NumPy dizisindeki veriler işlenebilmektedir (Marikala, 2020; Mckinney, 2022).

3.2.13.1.2.3. Veri analizi ve görselleştirme kütüphanesi

Veri analizi, faydalı bilgileri keşfetmek, eldeki veriler ile tahminlerde bulunmak, bu tahminler neticesinde sonuçlara varmak, karar verme süreçlerinin desteklenmesi ve daha pek çok amaç için verilerin toplanması, incelenmesi, temizlenmesi, dönüştürülüp modellenmesi için bütün süreçlerin gerçekleştirilebildiği kütüphanedir. Analizi

gerçekleştirilen verilerin grafiksel gösterimi ile ilgili olan kütüphanedir (Editör, 2022). Python ile veri analizi ve görselleştirme kütüphanesinde yer alan Pandas ve Matplotlib araçları tez çalışmamız kapsamında kullanılan araçlardır.

3.2.13.1.2.3.1. Pandas

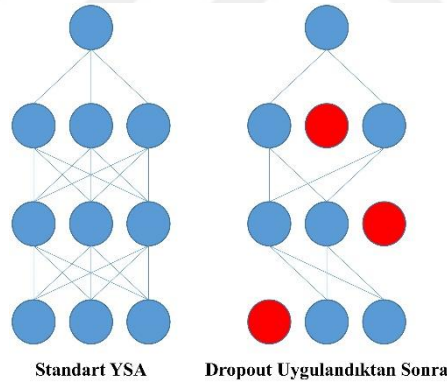
Güçlü ve esnek bir açık kaynak aracı olan Pandas, verileri analiz etmek ve işlemek için 2008 yılında çıkarılan bir kütüphane aracıdır (Editör, 2022). Bu kütüphane aracının Python dilindeki öncelikli amacı finansal veri analizi işlemlerini gerçekleştirmektir. Ancak Python'nın zaman geçtikçe popülerliğinin artması ile birlikte endüstri ve akademi camiasında da Python dili çok sık kullanılmaya başlanmıştır. Pandas kütüphane aracı 'dataframe' ve 'series' olarak iki ana yapının üstüne inşa edilmiştir. Genellikle Numpy ile beraber kullanılmakta olup, sql veri tabanı yapısı ile beraber bir ilişki kurabilmesi en önemli avantajlarından biridir (Mckinney, 2011; Bloice ve Holzinger, 2016). Pandas kütüphane aracının en önemli özelliklerinin ilk sırasında veri seti içerisindeki parametrelerin kendi aralarında bir korelasyon bulunup bulunmadığını belirleyebilmesidir. Özellikle makine öğrenmesi işlemlerinde parametreler arasında bulunan korelasyonu bulabilmek oldukça önemlidir. Pandas kütüphane aracı ile parametreler arası korelasyon bulma işlemini gerçekleştirmek için 'corr()' fonksiyonu kullanılarak kolayca elde edilmektedir (Uğuz, 2019: 36).

3.2.13.1.2.3.2. Matplotlib

John D. Hunter tarafından oluşturulan bu kütüphane aracının amacı verilerin görselleştirilmesidir. Veri noktaları çizmek, farklı grafikler oluşturmak ve bunları çoklu şekilde göstermek, histogram oluşturma gibi çoğu işlem matplotlib aracı ile gerçekleştirilmektedir (Marikala, 2020; Mckinney, 2022). Özetle Matplotlib, Python'da statik, hareketli ve etkileşimli veri görselleştirmelerini meydana getirmek için kullanılan bir kütüphane aracıdır (Editör, 2022).

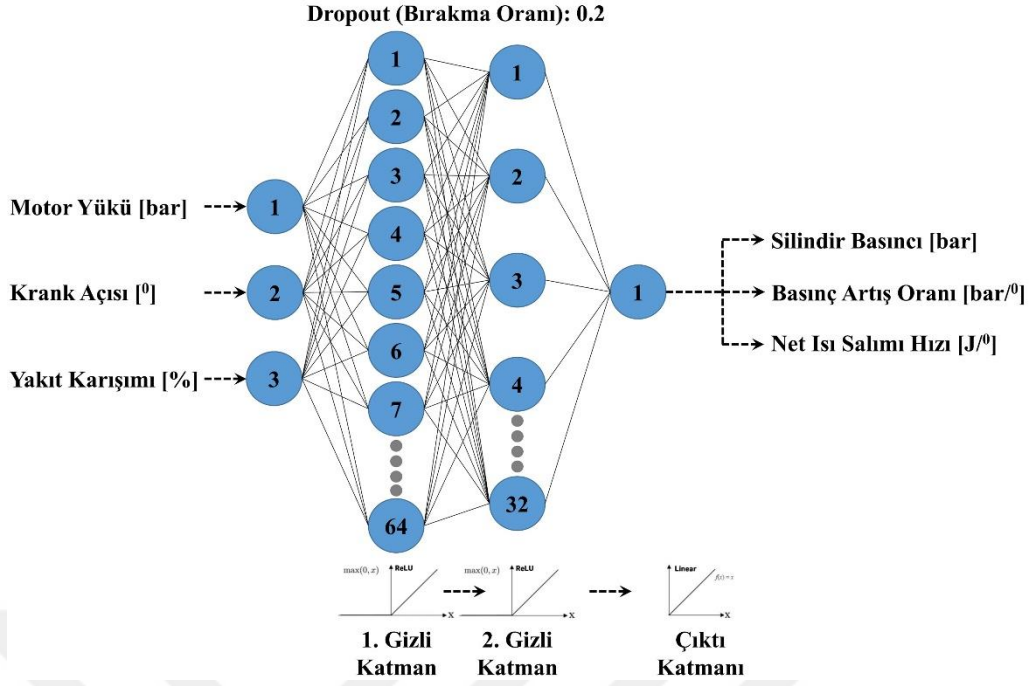
3.2.14. Yanma parametrelerinin tahmini için YSA modelinin oluşturulması

Yanma parametrelerinin tahmini için oluşturulan YSA 3 giriş, 2 gizli ve 1 çıktı katmandan oluşmaktadır. Gizli katmanda kullanılan nöron sayıları sırasıyla 64 ve 32'dir. Oluşturulan YSA'nın her bir gizli katmanından sonra bırakma (dropout) katmanı yer almaktadır. Makine öğrenmesinin en büyük sorunu kuşkusuz verilere aşırı uyum sağlamasıdır. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için, yani ağı veriyi ezberlemesini önlemek amacıyla ağı 1. ve 2. Gizli katmanlarından sonra dropout katmanı kullanılmıştır. Dropout katmanı, ağı aşırı öğrenmesinin önüne geçerek ağı veriyi ezberlemesini önlemek için kullanılmaktadır. Standart YSA ve dropout uygulanmış YSA'nın çalışma prensibi, Şekil 3.59'da görüldüğü gibi belirli bir eşik değeri (bırakma oranı-dropout rate) kullanarak bazı düğümlerin kaldırılmasına dayanır. Böylelikle gereksiz ve zayıf bilgiler unutulur ve ağı tahmin performansının yükseltilmesi sağlanır. Geliştirilen YSA'da bırakma oranı olarak 0.2 alınmıştır. Bu oran ile bir sonraki katmana geçiş yaparken, gizli katmanlardaki nöronların 0.2'si kaldırılmaktadır. Aşağıdaki şekilde normal bir sinir ağı ile Dropout uygulanmış ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Dropout uygulanmamış ve uygulanmış ağ yapısı

Ağı tarafından verilerin ezberlenmesi, ağı eğitimi aşamasında çok düşük kayıplar ve yüksek doğruluk sağlarken, test aşamasında tam anlamıyla felakete dönüşür (Kalyoncu, 2020). Yanma parametrelerinden; SB, BAO ve NISH'nin tahmin edilmesi için oluşturulan YSA Şekil 3.60'da görüldüğü gibi 1 giriş, 2 gizli ve 1 çıktı katmanından oluşmaktadır.



Şekil 3.60. Yanma parametrelerinin tahmini için oluşturulan YSA mimarisi

Şekil 3.60’da görüldüğü gibi 1. ve 2. gizli katmanlarda ReLU aktivasyon fonksiyonunun tercih edilmesinin nedeni; YSA’larda aynı anda tüm nöronları aktive etmemesidir. Yani bir nöron negatif değer ürettiği anda bu nöronun aktive edilmeyeceği anlamına gelmektedir. Negatif değerler üreten nöronlar sıfır değerini alır. Bu durum, ReLU’nun diğer aktivasyon fonksiyonu olan, hiperbolik tanjant ve sigmoid fonksiyonlarından daha verimli ve hızlı çalışmasına olanak sağlar. Bu durum ile senkronize olarak, geliştirilen YSA’nın daha hızlı öğrenmesi sağlanılır.

Geliştirilen YSA modeli eğitilirken verilerin bütünü aynı anda eğitime katılmaz. Belli sayıda parçalar halinde eğitime katılırlar. İlk parçanın eğitimi tamamlandıktan sonra modelin başarımı test edilir, başarımlarına göre geriye yayılım (backpropagation) ile ağırlıklar güncellenir. Daha sonra yeni eğitim kümesi ile model tekrar eğitilip ağırlıklar yeniden güncellenir. Bu işlem her bir eğitim adımında tekrarlanarak geliştirilen YSA modeli için en uygun ağırlık değerleri hesaplanmaya çalışılır. İşte bu eğitim adımlarının her birine “epoch” denilmekte ve gerçekleştirilen bütün tahminlerde epoch = 1000 alınmıştır.

Geliştirilen YSA modellerinde, ağırlık değerlerinin iyileştirilmesi için kullanılan parametre “optimizer” olup, optimizasyon algoritmalarının kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tez çalışmamızda yanma parametrelerinin tahmini için oluşturulan YSA modelinde “adam” (Adaptive Moment Estimation) algoritması, her bir parametre için

gerçek zamanlı olarak öğrenme oranını güncellemek amacıyla kullanılmıştır. Bu optimizasyon algoritmasının kolay kullanımı, yaygın olarak kullanımı ve hesaplamalar açısından verimli olması YSA modelimizde tercih sebeplerindendir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yağ ekstraksiyonu

Biyodizel yakıtının transesterifikasyon prosesi ile ATY'den sentezlenmesi için ihtiyaç duyulan yağ; hidrolik pres, sürekli vidalı pres ve sokslet ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilmiştir. Bütün yağ ekstraksiyon yöntemlerinde nem muhteviyatı %5.68 olan tohumlar kullanılmış olup ekstraksiyon verimleri Denklem (4.1)'e göre belirlenmiştir.

$$\text{Ekstraksiyon Verimliliği (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada;

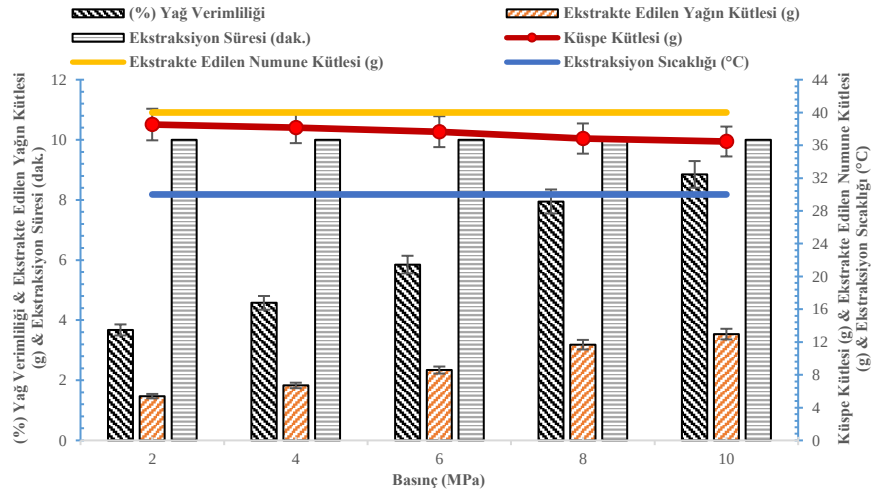
m_1 : Ekstraksiyon işleminden sonra elde edilen yağın kütlesi (g)

m_2 : Ekstraksiyon işlemlerinde kullanılmış olan öğütülmüş/öğütülmemiş olan aspir tohumu numunesinin kuru kütlesi (g),

Bir çok tohum türünün optimum nem muhteviyatı ağırlıkça %6.3-%11.3 arasında olması gerekmektedir (Martínez ve ark., 2012; Martínez ve ark., 2017). Tohumların nem muhteviyatının yüksek olması, trigliseritlerin hidrolizinin sonucu yağdaki SYA miktarında bir artışa neden olabilmektedir (Fakayode ve ark., 2017). Nem muhteviyatındaki değişikliklerden dolayı SYA içeriğinin 0.91'den 1.06'ya yükselen değerler rapor edilmiştir (Moslavac ve ark., 2014).

4.1.1. Hidrolik pres ile yağ ekstraksiyonu

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 40 gram aspir tohumu numunesi farklı basınçlarda, aynı işlem sıcaklıklarında (30°C) ve presleme sürelerinde (10 dakika) hidrolik pres ile ekstrakte edilmesi neticesinde; 10 MPa basınç uygulandığında, maksimum %8.85 yağ verimliliği, maksimum 3.54 g ekstrakte edilmiş yağ ve minimum 36.46 g küspe sonuçları elde edilmiştir.

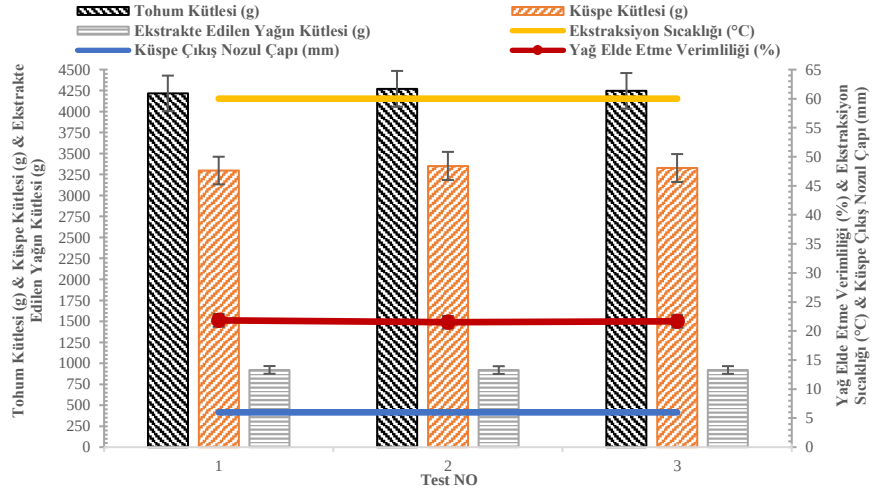


Şekil 4.1. Farklı basınçlarda hidrolik pres ile ekstrakte edilen tohumun yağ verimi

4.1.2. Sürekli vidalı pres ile yağ ekstraksiyonu

Katı tohum yapısının yumuşaması, protein pıhtılaşması ve yağ viskozitesinin azalarak yağ ekstraksiyon verimliliğinin artırılması için ekstraksiyon işlemleri esnasında pres kafasının sıcaklığı 55 °C'ye ayarlanmıştır (Subroto ve ark., 2015). Sıcaklık etkisi yağ elde etme verimliliği üzerinde olumlu etkileri var iken 60 °C'den daha yüksek sıcaklıklar, yüksek çoklu doymamış yağ asitleri içeriğine sahip tohumlarda acyglycerol'ün hidrolizine neden olduğundan risk teşkil etmektedir (Kostić, 2018). Pres kafasının sıcaklığı 60 °C'nin üzerinde ayarlanarak gerçekleşen *C. sativa* (L.) yağı ekstraksiyonu neticesinde, ekstrakte edilen yağın daha yüksek SYA'ya sahip olduğu raporlanmıştır (Moslavac ve ark., 2014). Genel olarak küspe çıkışı için daha küçük çaplı bir nozul kullanılarak ve daha düşük hızlarda daha yüksek yağ verimi elde edilebilmektedir. Nozul çapının optimum değerleri 4 - 9 mm arasında değişir (Martínez ve ark., 2012; Martínez ve ark., 2017; Subroto ve ark., 2015) ve presleme için sonsuz vidanın dönme hızı 20 – 22 rpm'dir (Martínez ve ark., 2017; Romuli ve ark., 2017).

Sürekli vidalı pres ile 1 litre yağ ekstrakte etmek için besleme hunisine beslenmesi gereken toplam tohumun kütlesini belirlemek için 3 ayrı deney yapılmıştır. 1. Deneyde 4218 g, 2. Deneyde 4271 g ve 3. Deneyde 4247 g tohum beslenmiştir. Her deneyden sonra beslenen tohum kütlelerinden 1'er litre yağ elde edilmiştir. Şekil 4.2'de aynı pres kafası sıcaklığında (60 °C), küspe çıkış nozul çapı (6 mm) ve presin sonsuz vida dönüş sayısı (20–21 rpm)'de ekstrakte edilmesi neticesinde; Maksimum %21.8349 yağ verimliliği ve maksimum 921 g yağ ekstrakte edilmiş ve minimum 3292.7 g küspe sonuçları elde edilmiştir.

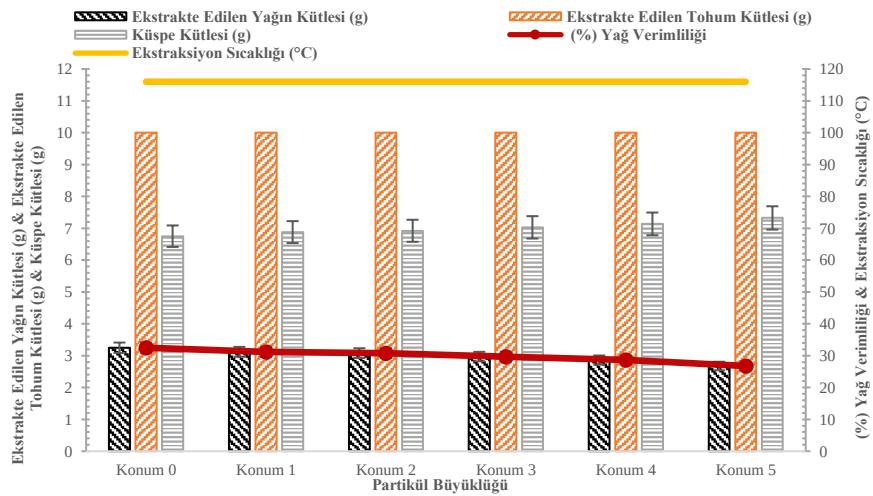


Şekil 4.2. Sürekli vidalı pres ile ekstrakte edilen aspir tohumunun yağ verimi

4.1.3. Sokslet yağ ekstraksiyonu

Sokslet ekstraksiyon yöntemi ile ekstrakte edilecek numunelerin katı (tohum) ve sıvı C_6H_{14} arasındaki ara yüzey alanını büyütmek sureti ile ekstraksiyon verimliliğini arttırmak için numuneler laboratuvar tipi bir değirmende Çizelge 3.12’de verilen 6 farklı parçacık boyutlarında öğütüldü.

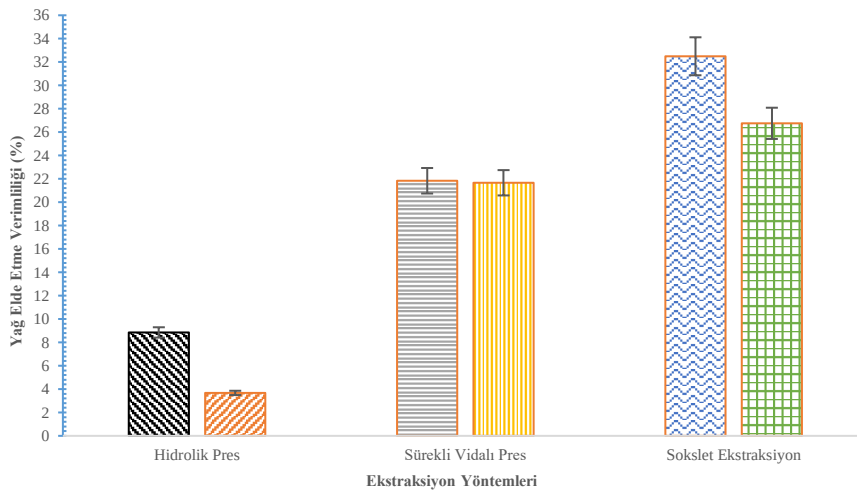
Şekil 4.3’te aynı ekstraksiyon sıcaklığında ($116^{\circ}C$), kütlede (10 g) ve çözücü C_6H_{14} ile farklı partikül büyüklüklerinde ekstrakte edilmesi neticesinde; Maksimum %32,49 yağ verimliliği, maksimum 3.249 g ekstrakte edilmiş yağ ve minimum 6.751 g kütçe sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Sokslet ekstraksiyonu ile ekstrakte edilen aspir tohumunun yağ verimi

4.1.4. Ekstraksiyon yöntemlerinin yağ verimliliklerinin mukayesesi

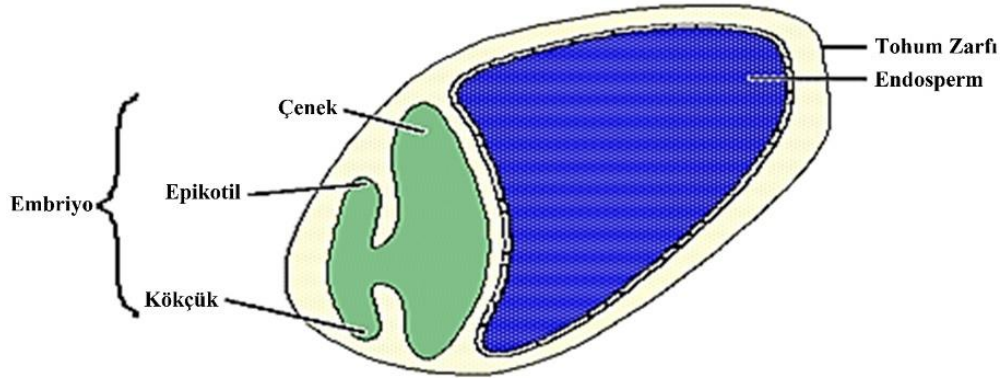
Aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu için çalışma verileri sonuçlandırıldığında, Şekil 4.4'te farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen maksimum ve minimum %yağ elde etme verimlilikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aspir tohumundan yağ ekstraksiyonu için kullanılan sokslet ekstraksiyon yönteminin %32.49 yağ elde etme verimliliği ile en yüksek verimliliğe sahip ekstraksiyon yöntemidir.



Şekil 4.4. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinden yağ elde etme verimlilikleri

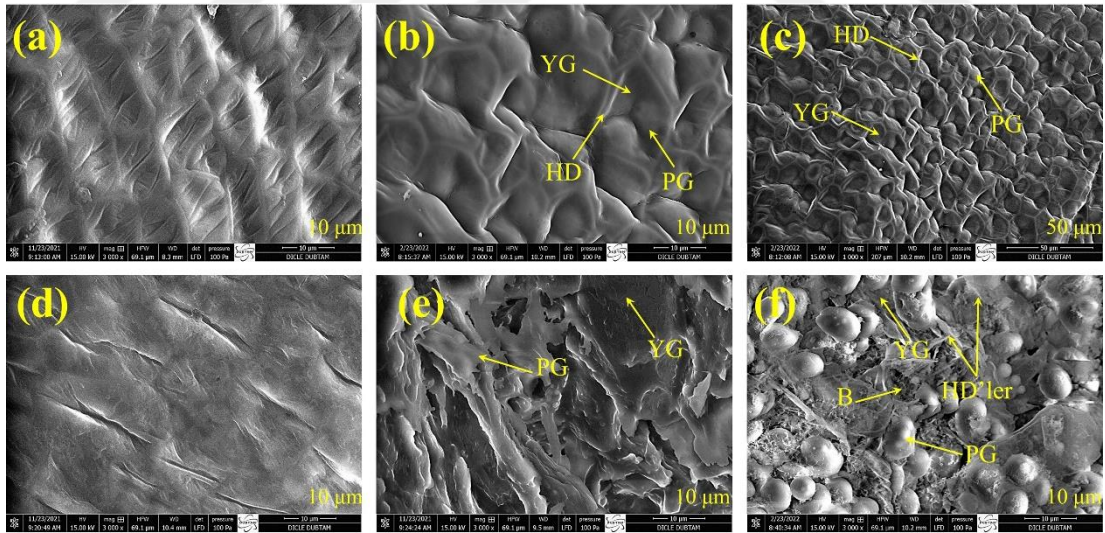
4.2. Ekstrakte edilen tohumların morfolojik yapısında meydana gelen değişimler

Aspir tohumunun farklı ekstraksiyon yöntemleri ile yağ elde edilmesinin arkasındaki mekanizmayı daha iyi anlamak için numunelerin mikro yapısı üzerinde meydana gelen yapısal değişiklikler ekstraksiyon öncesi ve sonrasında (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Aspir tohumunun uzunlamasına kesiti (Şekil 4.6.a), tohumu kalın fakat pürüzsüz hücre duvarlarıyla kaplayan tohum kabuğu dokusunu veya testayı göstermektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi testa'nın görevi embriyoyu ve tohumun depo dokusu olan endospermi koruyan lif açısından zengin bir dış tabakadır (Wadhwa ve ark., 2012). Yağlı tohumlarda; mineral besinler, lipid ve protein rezervleri esas olarak hem kalın duvarlı poligonal hücrelerden oluşan endospermde (Şekil 4.6.a, Şekil 4.6.b ve Şekil 4.6.c) hem de embriyoda bulunur (Prego ve ark., 1998).



Şekil 4.5. Tek çenekli bitki için tohumla çimlendirilmiş yapı

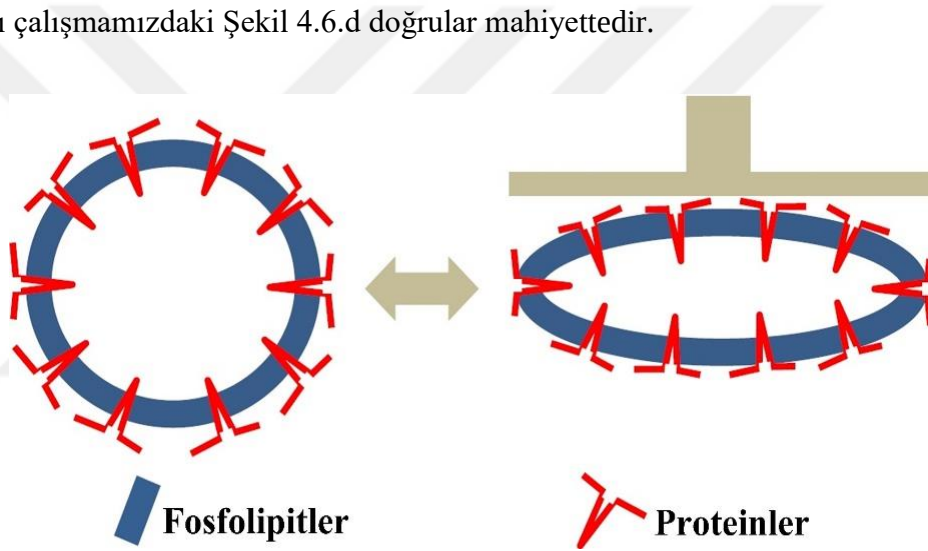
Tohumun hücre duvarlarının, protein gövdelerinin, yağ gövdelerinin veya oleozom yapılarının boşalan izlerinin net olarak görüntülenebilmesi için kabukları soyulan tohumlar bir jilet aracılığı ile ikiye bölünmüştür. İkiye bölünen tohumlar C_6H_{14} içerisinde 24 saat bekletildikten sonra jiletin temas ettiği yüzeyin (Şekil 4.6.a ve Şekil 4.6.b) SEM görüntüsü alınmıştır. Böylelikle, Şekil 4.6.b ve Şekil 4.6.c hücre altı organelleri (protein ve lipid gövdeleri) ve hücre duvarı ile izodiametrik formdaki hücrelerin gözlemlenebildiği, doğal aspir tohumunun endosperm hücrelerinin SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.6. Farklı yöntemlerle ekstrakte edilen aspir tohumunun SEM görüntüleri

Şekil 4.6'da vurgulanan harflerin açıklamaları; (a) Ekstraksiyon öncesi (b-c) 24 saat C_6H_{14} içinde bekletilen tohum (d) Hidrolik pres ile ekstraksiyonu sonrası (e) Vidalı pres ile ekstraksiyonu sonrası (f) Sokslet ekstraksiyonu sonrası. HD: Hücre Duvarı, YG: Yağ Gövdesi, PG: Protein Gövdesi, B: Boşluklar, şeklindedir.

Şekil 4.6.a’da ekstrakte olmamış tohumun hücre dokularının yüzeyinde şişmiş lipid hücrelerinin (oleozom) varlığı görülmektedir. Şekil 4.6.d’de görüldüğü gibi hidrolik pres ile ekstraksiyon işlemi gerçekleştirildikten sonra oleozom şişliği inmiştir ve tohumun mikroyapısı düzleşmiştir. Şekil 4.6.a, Şekil 4.6.b ve Şekil 4.6.c’de görüldüğü gibi soğuk ekstraksiyon yöntemleri, tohumların hücresel dokularının dış morfolojik yapısını etkilememişlerdir. Şekil 4.6.e ve Şekil 4.6.f’deki SEM görüntülerinin aksine, morfolojik yapı pürüzsüz ve sağlam kalmıştır (Rezig ve ark., 2022). Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, yumuşak ve sert fosfolipid platformları ve ayrıca proteinler arasındaki yapısal dinamikler, oleozom zarına stabilite ve gerilebilirlik sağlamaktadır. Bu henüz araştırılmamış bir alan olup oleozomların esnekliği ve uyarlanabilirliği hakkında çok ilginç veriler sağlayacaktır (Nikiforidis, 2019). Literatürde yer alan, sıkıştırma altındaki oleozomların varsayımsal yapısını çalışmamızdaki Şekil 4.6.d doğrular mahiyettedir.



Şekil 4.7. Sıkıştırma altında oleozomların varsayımsal konformasyonu

Şekil 4.6.e sürekli vidalı pres ile yağ ekstraksiyonundan sonraki küspenin SEM görüntüsüdür. Yağ ekstraksiyonu aspir tohumuna çok yüksek mekanik kuvvet uygulayan vidalı pres, SEM görüntüsünde de görüldüğü gibi tohumun morfolojik yapısının tamamını tahrip ederek ekstraksiyon işlemi gerçekleştirmiştir. Görüntünün bütününde, hücre duvarları, testa, protein – fosfolipit tabakası ve oleozomların iç içe geçtiği görülmektedir.

Şekil 4.6.f sokslet ile yağ ekstraksiyonundan sonraki küspenin SEM görüntüsüdür. Hücre duvarlarının yapısının ve dağılmış lipid gövdelerinin zarlarına ciddi hasar vererek, bazı boşluklar ve yağ difüzyonu nedeniyle gözle görülür büzülmeler meydana gelmiştir (López-Ordaz ve ark., 2019). Protein gövdelerinin sayıları azalmış ve

yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Tüm mikroyapısal değişikliklere yüksek sıcaklık (116 °C) ve ekstraksiyon süresi (1 saat) neden olmuştur.

4.3. Ekstrakte edilen yağın karakterizasyonu

Aspir tohumundan ekstrakte edilen yağın spektroskopik yöntemlerle karakterizasyonu bu bölümde sunulmuştur.

4.3.1. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi

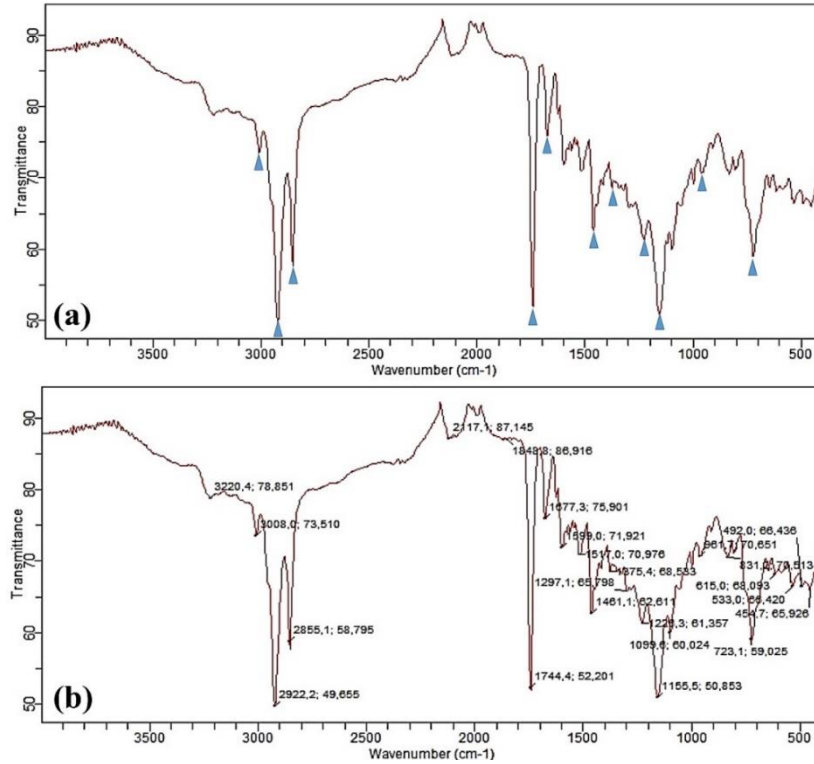
Biyodizele sentezlenecek olan Aspir tohumu yağı ve senetezlenen biyodizelin FT-IR spektrumları, B100 oluşumunu kontrol etmek için 4000-400 cm^{-1} aralığında elde edilmiştir. Spektrum değerlerinin ayrıntıları ve bunlara karşılık gelen referanslar, Çizelge 4.2’de verilmiştir (Guillen ve Cabo, 1997; Silverstein, 1974; Akoh, 2017).

Çizelge 4.1. Yağ spektrumunda bulunan fonksiyonel gruplar için FT-IR bant aralığı

Dalga Sayısı Değerleri (cm^{-1})	Bant Aralığı
~3013 ^a	$\nu(\text{C-H})$ of <i>cis</i> -alken $-\text{HC}=\text{CH}-$
~2960	$\nu_{\text{as}}(\text{C-H})$ metilen ($-\text{CH}_3$) lipid grupları
~2922	$\nu_{\text{as}}(\text{C-H})$ metilen ($-\text{CH}_2$) lipid grupları
~2852	$\nu_{\text{s}}(\text{C-H})$ metilen ($-\text{CH}_2$) lipid grupları
~1743 ^b	$\nu(\text{C=O})$ lipidlerden ve yağ asitlerinden ester fonksiyonel grupları
~1710	$\nu(\text{C=O})$ SYA
~1653	$\nu(\text{C=C})$ disüstitüe <i>cis</i> - $\text{C}=\text{C}$ of açıl grupları of (oleic ve linoleik asitler) unkonjuge olefinler
~1465	$\delta_{\text{as}}(\text{CH}_2)_{\text{scissor}}$ metilen ($-\text{CH}_2$) lipid grupları
~1418	$\delta_{\text{s,rock}}(\text{CH}_2)$ <i>cis</i> -disüstitüe olefinler
~1377	$\delta_{\text{s}}(\text{CH}_3)$ ve $\delta_{\text{s}}(\text{CH}_2)$ lipidler
~1235	$\gamma(\text{CH}_2)$ lipidler
~1145, ~1118	$\nu_{\text{as}}(\text{C-C(=O)-O})$ ve $\nu_{\text{as}}(\text{O-C-C})$ esterler ve eterler (DAGEs)
~1098	$\nu_{\text{s}}(\text{C-O-C})$ trigliseritler, kolesterol esterleri ve eterler (DAGEs)
~990	$\gamma(\text{C-H})$ konjuge <i>trans</i> , <i>trans</i> dien izomerleri
~986	$\gamma(\text{C-H})$ konjuge <i>cis</i> , <i>trans</i> dien izomer
~971	$\gamma(\text{C-H})$ metilen-düzensiz <i>trans</i> dien
~965	$\gamma(\text{C=C-H})$ <i>trans</i> - disüstitüe olefinik gruplar
~950	<i>cis</i> , <i>trans</i> dien izomer
~920	$\delta(\text{C=C-H})$ <i>cis</i> -disüstitüe olefinik gruplar
~720	$\delta_{\text{s,rock}}(\text{CH}_2)$ ve $\gamma(\text{CH}_2)$ of <i>cis</i> - disüstitüe olefinler

ν_{as} : asimetrik gerilme, ν_{s} : simetrik gerilme, δ_{as} : asimetrik düzlem içi deformasyon (bükülme), δ_{s} : asimetrik düzlem içi deformasyon (bükülme), γ : düzlem dışı deformasyon ^a: Doymamış yağ asitleri için temsili bantlar ve ^b: Toplam lipidler için temsili bantlar

Şekil 4.8 (a-b) çeşitli fonksiyonel gruplardan oluşan ATY'nin FT-IR spektrumunu göstermektedir. Sonuçlar, FT-IR spektrumunun 3008 cm^{-1} 'de cis-alken -HC=CH- gruplarının doymamış yağ asitleri (UFA'lar) titreşimleri $\nu(\text{C-H})$ için temsili bantlar ortaya çıkardığını göstermiştir. Lipitlerin metilen (-CH_2) gruplarından gelen $\nu_{\text{as}}(\text{C-H})$ gerilmesinin güçlü asimetrik titreşimleri ve lipitlerin metilen (-CH_2) gruplarından gelen simetrik $\nu_s(\text{C-H})$ titreşimleri sırasıyla 2922.2 cm^{-1} ve 2855.1 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır. Ayrıca, esas olarak lipitlerden ve yağ asitlerinden gelen ester fonksiyonel gruplarının $\nu(\text{C=O})$ 'su da 1744.4 cm^{-1} 'de gerilme titreşimi göstermiştir. Konjuge olmayan olefinlerin açıl gruplarının (oleik ve linoleik asitler) disüstitüe edilmemiş cis- C=C 'lerinin $\nu(\text{C=C})$ 'si de 1677.3 cm^{-1} 'de gerilme titreşimi olarak ortaya çıktı. Lipitlerin metilen (-CH_2) gruplarından gelen $\delta_{\text{as}}(\text{CH}_2)_{\text{scissor}}$ 1461.1 cm^{-1} 'de bükülme titreşimleri göstermiştir. Lipitlerin $\delta_s(\text{CH}_3)$ ve $\delta_s(\text{CH}_2)$ pik spektrumu 1375.4 cm^{-1} 'de, lipitlerin $\gamma(\text{CH}_2)$ pik spektrumu 1226.3 cm^{-1} 'de ve ester ve eterlerin (DAGE'ler) $\nu_s(\text{C-C(=O)-O})$ ve $\nu_{\text{as}}(\text{O-C-C})$ pik spektrumu 1155.5 cm^{-1} 'de bükülme titreşimleri göstermiştir. Son olarak görülen eğilme titreşimlerine neden olan gruplar ise şu şekildedir; Trigliseritlerin, kolesterol esterlerinin ve eterlerinin (DAGE'ler) $\nu_s(\text{C-O-C})$ $1099,6\text{ cm}^{-1}$ 'de, trans-disüstitüe olefinik grupların $\gamma(\text{C=C-H})$ 961.7 cm^{-1} 'de ve cis-disüstitüe olefinlerin $\delta_s, \text{rock}(\text{CH}_2)$ ve $\gamma(\text{CH}_2)$ 723.1 cm^{-1} 'de.



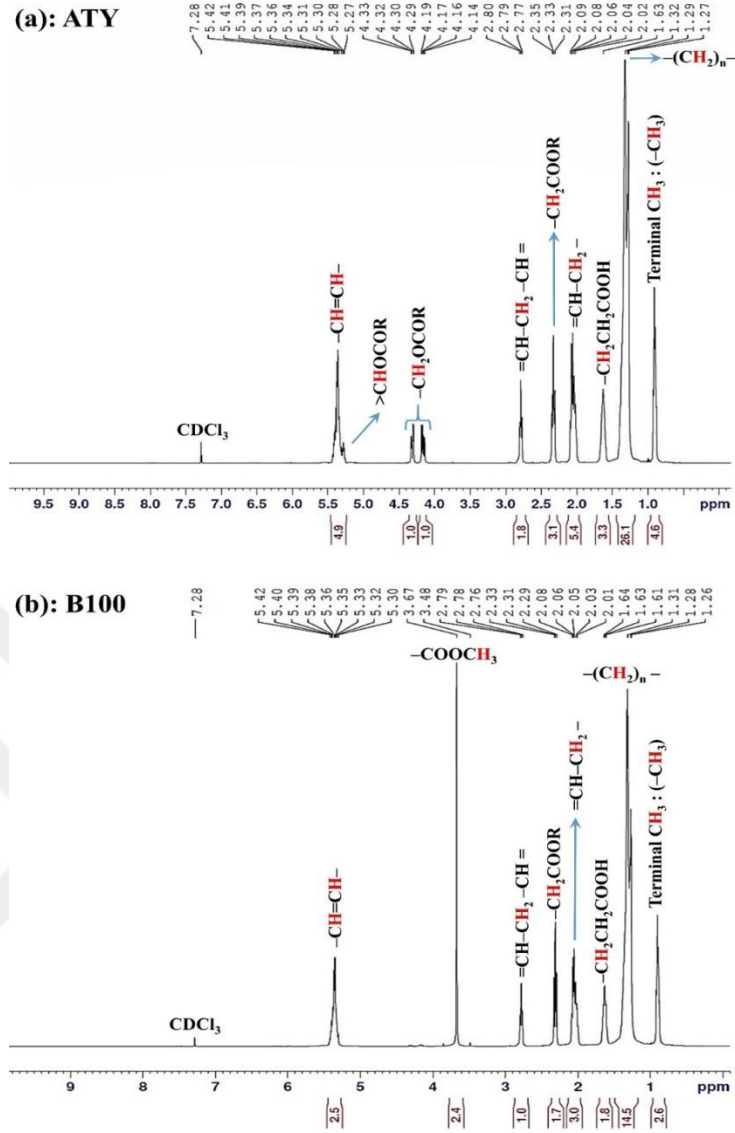
Şekil 4.8. Ekstrakte edilen ATY'nin FT-IR spektrumu

4.3.2. ^1H NMR analizi

Şekil 4.9(a) ekstrakte edilen Aspir tohumu yağının (ATY) ve Şekil 4.9(b) ATY'den sentezlenen biyodizelin ^1H NMR spektrumunu göstermektedir. 0-6.0 ppm bölgesinde, ana yapı olarak trigliserit bileşiğinin belirgin olduğu çeşitli yoğunluk sinyalleri gözlemlenebilmektedir.

Uzun zincirli HC'lerin terminal metilik protonları, doymuş oleik ve linoleik açıl grupları ($-\text{CH}_3$) 0.80–0.90 ppm arasında sinyal vermektedir. 1.27–1.32 ppm'deki sinyallere karbonil grubuyla ($-(\text{CH}_2)_n-$) ilişkili olarak daha ileri konumdaki metilenik protonlar neden olur (Segre ve Mannina, 1997). Karbonil grubuna göre β ($-\text{OCO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) konumundaki metilenik protonların sinyali 1.63 ppm'de görülmüştür. 2.02–2.09 ppm'deki sinyaller alilik protonlar olarak da adlandırılan ve ($-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$) ile ilişkili α metilenik protonlardan kaynaklanmaktadır.

Karbonil grubuna ($-\text{OCO}-\text{CH}_2-$) göre α pozisyonundaki metilenik protonlardan kaynaklanan sinyaller ve 2.31–2.35 ppm arasında görünmektedir (Fauhl ve ark., 2000). 4.14-4.33 ppm'deki sinyal, gliseril grubunun 1 ve 3 numaralı karbon atomları üzerindeki protonlardan ($-\text{CH}_2\text{OCOR}$) kaynaklanırken, 5.27-5.31 ppm'deki sinyal aynı gliseril grubunun 2 numaralı karbon atomu üzerindeki protondan ($>\text{CHOCOR}$) kaynaklanmaktadır. 7.28 ppm'deki çözücü CDCl_3 sinyalinden önceki 5.34–5.42 ppm'deki sinyal, farklı açıl gruplarının olefinik protonlardan ($\text{CH}=\text{CH}-$) kaynaklanmaktadır (Guillén ve Ruiz, 2003).

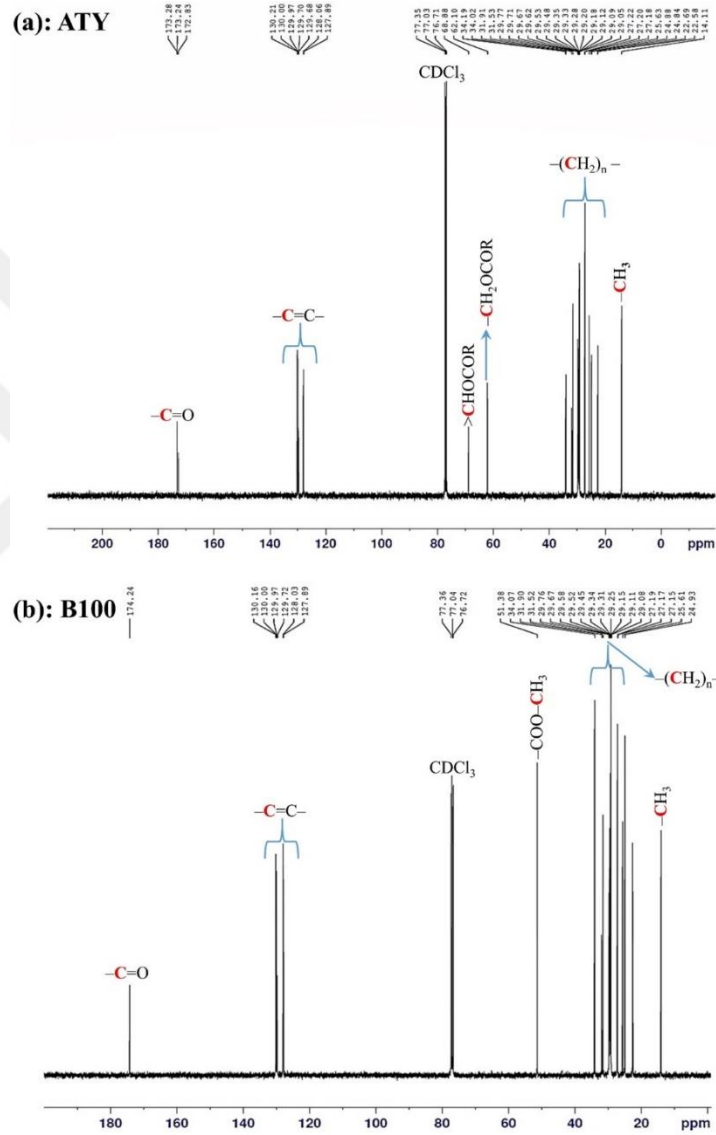


Şekil 4.9. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin ^1H NMR spektrumları

4.3.3. ^{13}C NMR analizi

Şekil 4.10(a) ekstrakte edilen Aspir tohumu yağının (ATY) ve Şekil 4.10(b) ATY'den sentezlenen biyodizelin ^{13}C NMR spektrumunu göstermektedir. 14.11 ppm'de görülen pik literatürdeki çalışmalarda metil grubunun terminal karbonu ile ilişkilendirilir. $\delta 22.57\text{--}\delta 34.08$ ppm aralığındaki piklere neden olan fonksiyonel gruplar şu şekildedir; $\delta 22.58\text{--}\delta 22.69$ ppm'deki piklere $\text{CH}_2\text{--CH}_3$, $\delta 24.84\text{--}\delta 24.88$ ppm'deki piklere $\text{CO--CH}_2\text{--CH}_2$, $\delta 25.63$ ppm'deki pike $\text{--CH=CH--CH}_2\text{--CH=CH--}$, $\delta 27.18\text{--}\delta 27.22$ ppm'deki piklere $\text{--CH=CH--CH}_2\text{--CH=CH--}$, $\delta 29.05\text{--}\delta 29.77$ ppm'deki piklere $\text{--(CH}_2\text{)}_n\text{--}$, $\delta 31.53\text{--}\delta 31.91$ ppm'deki piklere $\text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_3$ ve $\delta 34.02\text{--}\delta 34.19$ ppm'deki piklere $\text{--O--CO--CH}_2\text{--}$ şeklindedir. $\delta 62.10$ ve $\delta 68.88$ ppm'deki pikler sırasıyla gliseritlerin $\text{--O--CH}_2\text{--}$ ve --O--

CH- fonksiyonel gruplarıyla ilgilidir. Hem Aspir tohumu yağı hemde biyodizele sentezlenen bu yağın ^{13}C NMR spektrumlarında $\delta 76.71\text{--}\delta 77.35$ ppm aralığında görülen triplet sinyaller CDCl_3 'ten kaynaklanmaktadır. $\delta 127.89\text{--}\delta 130.21$ ppm'de görülen pikler olefinik grupların ($-\text{C}=\text{C}-$) doymamış YA varlığını gösterir. $\delta 172.83\text{--}\delta 173.28$ ppm'de görülen piklere trigliserit (Aspir tohumu yağı) yapısındaki ester moleküllerinin karboksil karbonları ($-\text{C}=\text{O}$) neden olmaktadır.



Şekil 4.10. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin ^{13}C NMR spektrumları

4.3.4. GC-MS analizi

Ekstrakte edilen Aspir tohumu yağının YA bileşimi GC-MS tekniği kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen Aspir tohumu yağının GC-MS profili Şekil 4.11(a)'da

gösterilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan Aspir tohumu YA kompozisyonlarının detayları ile beraber, diğer sıvı ve katı yağlarda yaygın olarak görülen yağ asitleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Aspir tohumu yağının toplam doymuş YA bileşiği ağırlıkça yaklaşık %9.4 ve toplam doymamış YA bileşiği ağırlıkça yaklaşık %89.2’dir.

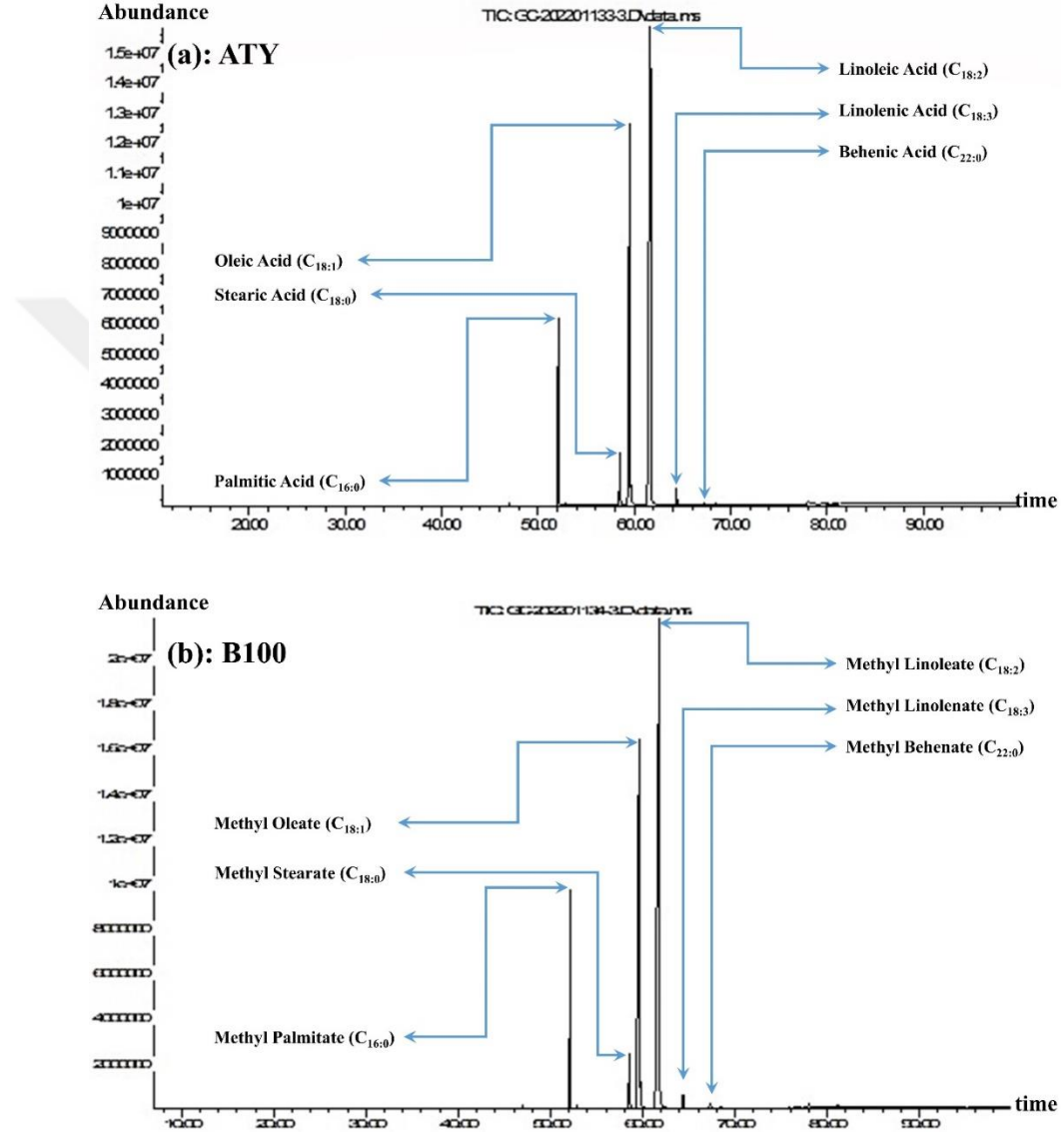
Çizelge 4.2. Aspir yağı, katı ve diğer sıvı yağlarda yaygın olarak görülen YA’leri

YA	CS/ÇB Kısaltması	Formül	Aspir (Bağıl Yüzde - %)	Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	Erime Noktası (°C)
Lauric - DYA	C12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.0	200.3	43.5
Myristic - DYA	C14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.0	228.4	54.4
Palmitic - DYA	C16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	6.1	256.5	62.9
Palmitoleic - TDYA	C16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0.0	254.5	-0.1
Stearic - DYA	C18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2.8	284.5	69.7
Oleic (cis) - TDYA	C18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	30.9	282.5	13.5
Elaidic (trans) - TDYA	C18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.7	282.5	45
Linoleic - ÇDYA	C18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	56.4	280.5	-5
Linolenic - ÇDYA	C18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	1.2	278.5	-11
Arachidic - DYA	C20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.0	312.6	76.1
Gadoleic - TDYA	C20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	0.0	310.5	23.5
Gondoic - TDYA	C20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	0.0	310.5	22
Behenic - DYA	C22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	0.5	340.6	80
Erucic - TDYA	C22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	0.0	338.6	33.8
Lignoceric - DYA	C24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	0.0	368.6	84.2
Nervonic - TDYA	C24:1	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	0.0	366.6	43.5
ΣDoymuş	-	-	9.4	-	-
ΣTekli Doymamış			31.6		
ΣÇoklu Doymamış			57.6		
Diğer Yağ Asitleri	-		1.4		

*tespit edilebilir yağ asitleri ≥0.5%, **CS**: karbon sayısı; **DB**: çift bağların sayısı; **DYA**: doymuş yağ asitleri; **TDYA**: tekli doymamış yağ asitleri; **ÇDYA**: çoklu doymamış yağ asitleri; **ΣDoymuş**: C12:0 + C14:0 + C16:0 + C18:0 + C20:0 + C22:0 + C24:0; **ΣTekli Doymamış**: C16:1 + C18:1 + C20:1 + C22:1 + C24:1; **ΣÇoklu Doymamış**: C18:2 + C18:3

Bir trigliserit molekülünde doymuş (C_n:0), bir çift bağ ile tekli doymamış (C_n:1) ve iki veya üç çift bağ ile çoklu doymamış (C_n:2,3) olmak üzere üç ana YA türü vardır. Aspir tohumundan sürekli vidalı pres (ekspeller) ile ekstrakte edilen B100 yakıt özelliklerini etkileyen başlıca yağ asitlerinin bileşimi, Çizelge 4.3’te gösterildiği gibidir. Palmitik asit (16:0) ve stearik asit (18:0) en yaygın olarak bilinen doymuş yağ asitleri iken (C18:1), (C18:2) ve (C18:3) yaygın olarak bilinen doymamış yağ asitleridir. Bu yağ asitleri bileşimi, ATY literatürüne uygundur. Linoleik asidin (18:2) sürekli vidalı presleme ekstraksiyonu için %56.40 ile baskın YA olduğu tespit edilmiş ve benzer

sonuçları Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi tarafından da bulunmuştur (de Souza ve ark., 2022; Coşge ve ark., 2007). Ayrıca, GC-MS profilinden elde edilen sonuçlar; FT-IR, ^1H NMR ve ^{13}C NMR analizinden elde edilen verilerle de uyumludur. Çift bağların FT-IR spektrumları ve kimyasal kayma sinyalleri Şekil 4.8, Şekil 4.9(a) ve Şekil 4.9(b)'de görüldüğü gibi çokça görünmektedir.



Şekil 4.11. (a) Yağ ve (b) sentezlenen biyodizelin GC-MS profili

Çizelge 4.3. Aspir tohum yağıının YA bileşimi (Bağıl Yüzde%)

Pik#	YA	Formül	Yapı	YA Grupları	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Bağıl Yüzde (%)	^a Bağıl Yüzde (%)	^a Bağıl Yüzde (%)
1	Myristic	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	C14:0	DYA	228.4	0.0	0.08	0.10
2	Palmitic	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C16:0	DYA	256.5	6.1	8.91	6.08
3	Palmitoleic	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	C16:1	TDYA	254.5	0.0	0.0	0.12
4	Stearic	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C18:0	DYA	284.5	2.8	3.95	2.31
5	Oleic	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	C18:1	TDYA	282.5	30.9	29.06	36.62
6	Linoleic	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	C18:2	ÇDYA	280.5	56.40	50.86	54.20
7	Linolenic	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	C18:3	ÇDYA	278.5	1.2	0.25	0.06
8	Arachidic	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	C20:0	DYA	312.6	0.0	0.69	0.33
9	11-Eicosenoic	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	C20:1	TDYA	310.5	0.0	0.0	0.18
10	Behenic	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	C22:0	DYA	0.5	0.5	0.0	0.0
	Diğer Yağ Asitleri	-	-	-	-	1.4	6.2	0.00

* $\geq$ % 0.5; **DYA**: doymuş yağ asitleri; **TDYA**: tekli doymamış yağ asitleri; **ÇDYA**: çoklu doymamış yağ asitleri; ^a Literatür

4.4. Biyodizelin sentezlenmesi ve sentezlenen biyodizelin karakterizasyonu

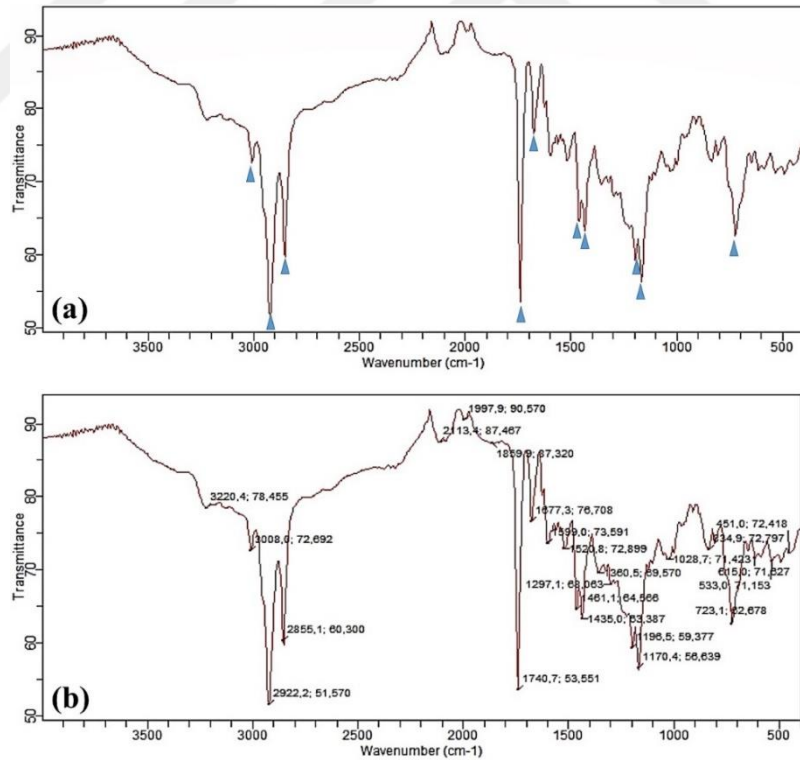
Aspir tohumu yağının yüksek kaliteli bir biyodizele sentezlenmesi için tek aşamalı bir transesterifikasyon işlemi ile uygulanmıştır. Sıvı fazda ve açık sarı renkte olan nihai B100 ürünü Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında, aspir tohumundan farklı yöntemler ile yağ ekstraksiyonu, ekstraksiyon neticesinde tohumun morfolojik yapısında meydana gelen değişimlerin SEM görüntüleri, yağın ve bu yağdan sentezlenen biyodizelin FT-IR, ¹H NMR ve ¹³C NMR, GC-MS gibi çeşitli teknikler kullanarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca biyodizelin ASTM-D6751 ve EN-14214 standartları için fizikokimyasal özellikleri vurgulanmıştır.

4.4.1. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin FT-IR analizi

Şekil 4.12(a-b), trigliserit olarak Aspir tohumu yağı ile benzer bir fonksiyonel gruba sahip Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin FT-IR spektrumunu göstermektedir. Sonuçlar, FT-IR spektrumunun 3008 cm⁻¹'de *cis*-alken -HC=CH- gruplarının doymamış yağ asitleri (UFA'lar) titreşimleri ν (C-H) için temsili bantlar ortaya çıkardığını göstermiştir. Lipitlerin metilen (-CH₂) gruplarından gelen ν_{as} (C-H) gerilmesinin güçlü asimetrik titreşimleri ve lipitlerin metilen (-CH₂) gruplarından gelen simetrik ν_s (C-H) titreşimleri sırasıyla 2922.2 cm⁻¹ ve 2855.1 cm⁻¹ 'de ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, esas olarak lipitlerden ve yağ asitlerinden gelen ester fonksiyonel gruplarının $\nu(\text{C=O})$ 'su da 1740.7 cm^{-1} 'de gerilme titreşimi göstermiştir. Konjuge olmayan olefinlerin açıl gruplarının (oleik ve linoleik asitler) disüstitüe edilmemiş *cis*- $\text{C}=\text{C}$ 'lerinin $\nu(\text{C}=\text{C})$ 'si de 1677.3 cm^{-1} 'de gerilme titreşimi olarak ortaya çıkmıştır. Biyodizele sentezlenen ATY'den farklı olarak, biyodizelin FT-IR spektrumunda $-\text{CH}_2-$ ve $-\text{CH}_3-$ gruplarının bükülme titreşiminin 1435.0 ve 1461.1 cm^{-1} 'de çift pik gözlenmiştir. Aspir tohumu yağı ise trigliserit yapıda olmasından dolayı Şekil 4.8'de görüldüğü gibi 1461.1 cm^{-1} 'de sadece tek bir pik spektrumu göstermiş ve bu da biyodizele göre daha az bükülme titreşimine neden olmuştur. Benzer şekilde, Aspir tohumu yağının $-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{C}-$ gerilme titreşimleri piki 1155.5 cm^{-1} 'de sadece tek bir pike sahipken, sentezlenen biyodizelin ise 1170.4 ve 1196.5 cm^{-1} 'de çift pikler görülmüştür.

Özetle, B100 FT-IR spektrumlarında CH_3 asimetrik bükülmesi için $1435.0 - 1461.1 \text{ cm}^{-1}$ ve $\text{O}-\text{CH}_3$ gerilmesi için $1170.4 - 1196.5 \text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki FT-IR bantları, yağın biyodizele dönüşümünü açıkça gösterirken, bu FT-IR bantları Şekil 4.8'deki yağın FT-IR spektrumlarında gözlenmemiştir.



Şekil 4.12. Sentezlenen biyodizelin FT-IR spektrumu

4.4.2. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin ^1H NMR analizi

Aspir yağından sentezlenen biyodizelin ^1H NMR spektrumu elde edilmiş ve spektrum Şekil 4.9(b)'de gösterilmiştir. Yağın biyodizele dönüşümü, Şekil 4.9(a)'da görüldüğü gibi yağdaki gliserol kısmındaki metilen ve metan protonlarının 4.14 ila 4.33'deki sinyallerinin kaybolması ve Şekil 4.9(b)'deki metoksi protonlarının 3.67 ppm'deki güçlü sinyalinin ortaya çıkmasıyla doğrulanmıştır. Metoksi protonlarının karakteristik bir ^1H NMR spektral piki (δ in ppm) %1 KOH katalizör konsantrasyonunda 3.67 ppm ve 3.49 ppm'de singlet (tekli) olarak görünür ve sırasıyla esterin metoksi $\delta(-\text{C}-\text{CH}_3)$ protonlarına ve Pro $\delta(-\text{C}(\text{H})-\text{OH})$ metil hidrojen kaymasına karşılık gelir. ^1H NMR spektrumunda 3.49 ppm'de bir CH_3OH piki tespit edilmiştir. 2.29 ppm, 2.31 ppm ve 2.33 ppm'de $\alpha\text{-CH}_2$ protonlarının tripleti gözlenmiştir. Ester $\delta(-\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}-)$ 'nin çift bağına $\alpha\text{-CH}_2$ protonları 2.00-2.08 ppm'de bir multiplet olarak görünür ve bu da biyodizelde metil esterlerin varlığını doğrulayan piklerdir.

Bu spektrumlara ek olarak, 0.95-1.65 ppm aralığındaki çeşitli sinyaller karbonil grubunun β -metil protonları $\delta(-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH})$ ve uzun zincirli HC'lerin terminal metil $\delta(\text{C}-\text{CH}_3)$ proton gruplarına karşılık gelen çoklu sinyaller gösterir (Kumar ve Das, 2018; Martínez ve ark., 2019; Yusuff, 2021; Saeed ve ark., 2021; Fadhil, 2021). ppm cinsinden raporlanan kimyasal kaymalar $\delta 7.28$ ppm'deki artık CDCl_3 çözücü sinyaline referans verilmiştir.

^1H NMR spektrumları ile biyodizele sentezlenen yağların transesterifikasyon reaksiyonu ile yağın metil esterlere dönüşümünü ölçmek için de kullanılabilir (Knothe, 2000; Gelbard ve ark., 1995). Transesterifikasyon reaksiyonunun verimi Denklem (4.2)'ye göre %95.23 olarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Biyodizel Verimliliği} = 100 \times \frac{2I_{\text{Me}}}{3I_{\text{Mt}}} \quad (4.2)$$

Burada;

I_{Me} : Metil esterlerde bulunan metoksi protonunun ($-\text{COOH}_3$) 3.67 ppm'de pik yaptığı proton integral değeridir,

I_{Mt} : Trigliseritlerde bulunan α -metilen protonunun ($-\text{CH}_2\text{COOMe}$) 2.29, 2.31 ve 2.33 ppm'de proton integral değerleridir,

Aspir tohumu yağı ve ATY biyodizelinin ^1H NMR pikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yağ ve sentezlenen biyodizelin ^1H NMR pikleri

Proton(lar)	^a Fonksiyonel Grup	Pik Alanı/Bölgesi – ppm (Yağ)	Pik Alanı/Bölgesi – ppm (Biyodizel)
$\text{CH}_3\text{-C}$	Terminal metil grup	0.90 – 1.02	0.90 – 1.00
$\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-}$	CH_2 yapısı	1.27 – 1.32	1.27 – 1.40
$\text{-CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	β -metilen proton	1.63	1.61 – 1.65
$\text{=CH-CH}_2\text{-}$	Tek ve çift bağlı α -metilen grup	2.02 – 2.09	2.00 – 2.08
$\text{-CH}_2\text{COOR}$	α -metilen gruptan estere	2.31 – 2.35	2.29 – 2.33
$\text{=CH-CH}_2\text{-CH=}$	Çift bağlı α -metilen grubu	2.77 – 2.80	2.77 – 2.80
$\text{-CH}_3\text{OH}$	Metil grup	-	3.49
$\text{-CH}_3\text{COOH}$	Esterin metil grubu	-	3.67
$\text{-CH}_2\text{OCOR}$	Metilen grubu (C1 and C3) gliseritin	4.14 – 4.19 ve 4.30 – 4.33	-
>CHOCOR	Gliseritin C2'sindeki Methine protonu	5.27 – 5.31	-
-CH=CH-	Olefin protonları	5.34 – 5.42	5.31 – 5.41

^a: (Satyarthi ve ark., 2009)

4.4.3. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin ^{13}C NMR analizi

Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin yapısını belirlemek için ^{13}C NMR spektroskopisi kullanılmış ve sentezlenen biyodizelin spektrumu Şekil 4.10(b)'de gösterilmiştir. Çizelge 4.5'te detaylı bir şekilde verilen ve ^{13}C NMR spektrumlarında da görüldüğü gibi fonksiyonel grupların “C” sinyallerini genel olarak beş ana spektral bölgede gruplayabiliriz. Bu gruplar şu şekildedir;

- i) Zincir sonu terminal metil karbon grupları bölgesi (~14 – 14.15 ppm),
- ii) Metilen karbon grupları bölgesi (~22 - 35 ppm)
- iii) Metil ester grupları bölgesinin karbon atomları (~50 - 52 ppm),
- iv) -C=C çift bağ bölgesinde yer alan olefinik karbon atomları (~127 - 131 ppm)
- v) -C=O karbonil atomları bölgesinde yer alan açıl karbon atomlarıdır (~174 - 175 ppm) [91].

Şekil 4.10(a)'da görüldüğü gibi 62.10 ve 68.88 ppm'deki pikler sırasıyla gliseritlerin $\text{-O-CH}_2\text{-}$ ve -O-CH- fonksiyonel gruplarıyla ilgilidir. Yağlar biyodizele

sentezlendiğinde Şekil 4.10(b)'de görüldüğü gibi bu pikler kaybolur, 50.78 ve 51.40 ppm'de $-\text{OCH}_3$ karbonu ile ilişkili yeni pikler gözlemlenir.

Çizelge 4.5. Yağ ve sentezlenen biyodizelin ^{13}C NMR pikleri

Karbon Sinyali	Fonksiyonel Grup	Pik Alanı/Bölgesi – ppm (Yağ)	Pik Alanı/Bölgesi – ppm (Biyodizel)
CH_2-CH_3	Terminal metil karbon grubu	14.11	14.05 – 14.09
CH_2-CH_3	Metilen karbon	22.58 – 22.69	22.57 – 22.68
$\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2$	Metilen karbon ($\text{C}3\alpha$ ve $\text{C}3\beta$)	24.84 – 24.88	24.93
$-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$ (L11)	Alil	25.63	25.61
$-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ (O8,11 ve L8,14)	Alil	27.18 – 27.22	27.15 – 27.19
$-(\text{CH}_2)_n-$	Metilen ($\text{C}4-\text{C}8$)	29.05 – 29.77	29.08 – 29.76
$\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Metilen ($\omega 3$)	31.53 – 31.91	31.52 – 31.92
$-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_2-$	Metilen ($\text{C}2\alpha$ and $\text{C}2\beta$)	34.02 – 34.19	34.08
$-\text{CH}_3\text{OH}$	Metil gru	-	50.78
$\text{COO}-\text{CH}_3$	Ester metil grup (Metoksi karbon)	-	51.40
$-\text{CH}_2\text{OCOR}$	(Tri-) gliserol (G11, G13)	62.10	-
$>\text{CHOCOR}$	(Tri-) gliserol (G12)	68.88	-
CDCl_3	Deuterated chloroform	76.71 – 77.35	76.71 – 77.35
$-\text{C}=\text{C}-$	Olefinik karbonlar (L12 - doymamış)	127.89 – 128.06	127.90 – 128.03
$-\text{C}=\text{C}-$	Olefin (O9,10 and L9,10 - doymamış)	129.70 – 130.21	129.98 – 130.18
$-\text{C}=\text{O}$	Açıl ($\text{C}1\beta$)	172.83	-
$-\text{C}=\text{O}$	Açıl ($\text{C}1\alpha$)	173.24 – 173.28	174.28 – 174.33

L: linoleik, O: Oleik, G: Gliserol;

4.4.4. Aspir tohumu yağından sentezlenen biyodizelin GC-MS analizi

Biyodizele sentezlenen ATY'nin kimyasal bileşimi Şekil 4.11(b)'de görüldüğü gibi GC-MS spektrometresi ile belirlenmiştir. Spektrumda görülen pikler, YAME'leri temsil etmekte olup metil esterlerin oluşumu ATY'de bulunan yağ asitleri ile ilişkilidir. GC-MS spektrumunda her metil ester için bir tane olmak üzere toplam altı peak gözlemlenmiştir. Tanımlanan YAME'ler kimyasal formülleriyle birlikte Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Biyodizele sentezlenen ATY'de bulunan oleik asit (%30.9) ve linoleik asit (%56.4) gibi iki ana YA'ne karşılık gelen methyl oleate (%28.9) ve methyl linoleate (%59.2) olmak üzere iki ana YAME'ler tespit edilmiştir. Aspir tohumu yağı biyodizeline bulunan geri kalan metil esterler methyl palmitate (%6.1), methyl stearate (%2.5), methyl linolenate (%0.7) ve methyl behenate (%0.7) karışımı şeklindedir.

Çizelge 4.6. Sentezlenen biyodizelin YAME bileşimi (Bağıl Yüzde %)

Tanımlanan Bileşikler	Formül	Kimyasal Yapı	İlgili YA	B100 (Bağıl Yüzde - %)	Molekül Ağırlığı (kg/kmol)
Hekzadekanoik asit metil esteri (Metil palmitat)	$C_{17}H_{34}O_2$	$CH_3OCO(CH_2)_{12}CH(CH_3)_2$	C16:0	6.1	270.5
Oktadekanoik asit metil esteri (Metil stearat)	$C_{19}H_{38}O_2$	$CH_3OCO(CH_2)_{16}CH_3$	C18:0	2.5	298.5
(Z)-9-Oktadekanoik asit metil esteri (=Metil oleat)	$C_{19}H_{36}O_2$	$CH_3OCO(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7CH_3$	C18:1	28.9	296.5
(E)-9-Oktadekanoik asit metil esteri (=Metil elaidat)	$C_{19}H_{36}O_2$	$CH_3OCO(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7CH_3$	C18:1	0.7	296.5
(Z,Z)-9,12-Oktadekadienoik asit metil esteri (=Metil linoleat)	$C_{19}H_{34}O_2$	$CH_3OCO(CH_2)_7CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_4-CH_3$	C18:2	59.2	294.5
(Z,Z,Z)-9,12,15-Oktadekatrienoik asit metil esteri (=Metil α -linolenat)	$C_{19}H_{32}O_2$	$CH_3(CH_2CH=CH)_3(CH_2)_7COOCH_3$	C18:3	0.7	292.5
Diğer bileşikler	-	-	-	1.9	-

* ≥ 0.5 ;

4.4.5. Sentezlenen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Aspir tohumu yağından sentezlenen B100 için ASTM-D6751 ve EN- 14214 standartlarını takip eden fizikokimyasal özellikler, Çizelge 4.7’de gösterildiği gibi B100 ürününü değerlendirmek için uygulanmıştır. Aspir tohumu yağı B100 üretimi için yüksek potansiyele sahip bir hammaddedir çünkü B100 üretim süreci, sabunlaşma reaksiyonu gibi yan reaksiyonların oluşumunu azaltması nedeniyle yüksek oranda ürün sağladığını göstermiştir.

Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen B100 yakıtının özellikleri, hammadde kalitesi ve yağ asitleri kompozisyonu, yakıtın elde edildiği yöntem, rafinasyon süreci ve nihai üretim parametreleri gibi pek çok farklı faktörden etkilenmektedir. Elde edilen yakıtın özelliklerini birçok kritere göre sınıflandırmak mümkündür. En önemli sınıflandırma kriterleri şu şekildedir;

- i) Tutuşma kalitesi, kolay ilk harekete geçirme, optimum hava-yakıt karışımının oluşumu ve yanması, emisyon oluşumu ve kalitesi, kalorifik değer gibi motorda gerçekleşen olaylara etkisi,
- ii) Bulutlanma, akma ve SFTN gibi soğuk akış özellikleri,

- iii) Filtrelemede sıcaklık sınırı, oksidasyon ve hidrolitik kararlılığı, indüskiyon periyodu, PN ve mikrobiyal kirlilik gibi taşıma ve depolama özellikleri,
- iv) Yakıt enjeksiyon sisteminin üretiminde kullanılan malzemeler ile uyumluluk, yağlayıcılık, temizleme etkisi ve viskozite gibi motor parçalarında aşınmayı asgari seviyeye indirgeyecek özellikler olarak sıralanabilir (Barabás ve Todoruț, 2011).

Aspir tohumu yağından elde edilen saf biyodizelin yakıt özellikleri Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Elde edilen yakıtın özellikleri literatürdeki B100 özelliklerinin çoğu ile uyumlu olup, gerçekleştirilen analizlerin neredeyse tamamı EN-14214 ve ASTM-D6751 standartlarını karşılamaktadır.

Çizelge 4.7. Sentezlenen ve diğer çalışmalardaki B100 yakıtın özellikleri

Özellik	Birim	Analiz Metodu	Biyodizel	^a Biyodizel
Bakır korozyon (3h, 50°C)	Sınıf	EN ISO 2160	1a	1a
Kükürt miktarı	mg/kg	EN ISO 20846	<3	-
Oksidasyon kararlılığı	Saat	EN 14112	1.44	0.31 – 6.0
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	EN ISO 12185	886.6	870–894.10
Parlama noktası	°C	EN ISO 2719	127.5	121–176
Toplam kirlilik	mg/kg	EN 12662	<12	18–22.8
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	EN 116	-11	(-9) – (-6)
Su miktarı	mg/kg	EN ISO 12937	178	242.99–400
Akma noktası	°C	ISO 3016	-12	(-14)-(-7)
Karbon kalıntısı	% (mol/mol)	EN ISO 10370	0.12	0.16–0.2
Setan sayısı	-	EN ISO 5165	54.8	41.92–55.7
Kinematik viskozite 40 °C	mm ² /s	EN ISO 3104	4.444	4.29–5.549
Sülfatlanmış kül miktarı	% (mol/mol)	ISO 3987	0.0035	0.015–0.031
İyot sayısı	g I ₂ /100 g	EN 14111	128	116–139.87
Asit sayısı	mg KOH/g	EN 14104	0.05	0.06–0.28
Net yanma ısısı	MJ/kg	ASTM D 240	39.7	38.52–45.21
Grup I metaller (Na + K)	mg/kg	EN 14108	2	-
Group II metaller (Ca + Mg)	mg/kg	EN 14538	2	-
Fosfor içeriği	mg/kg	EN 14107	1	2

^a: (Özçelik ve ark., 2016; Aksoy, 2016; Aydın & Ögüt, 2017; Karabaş, 2013; Rashid ve Anwar, 2008; Örs ve ark., 2017; Eryılmaz ve Yesilyurt, 2016)

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi EN-14214 standardına göre 120 g I₂/100 g olması gereken iyot değeri 128 g I₂/100 g’dır.

Bitkisel veya hayvansal yağlardan sentezlenen biyodizelin daha düşük iyot değerine sahip olması yanma özelliklerini iyileştirirken soğuk akış özelliklerini

kötüleştirmektedir (Uriarte, 2010). İyot değeri, bir YA kompozisyonundaki toplam doymamışlığın bir göstergesi olup, yağ asitleri bileşimine göre Ramos ve ark., (2009) Denklem (4.3)'e göre hesaplanabilen doymamışlık derecesi (DD) parametresi tanımlamışlardır.

$$DD = (TDYA \text{ Cn: 1, wt. \%}) + 2(\text{ÇDYA Cn: 2, wt. \%}) + 3(\text{ÇDYA Cn: 3, wt. \%}) \quad (4.3)$$

Burada;

DD : Doymamışlık Derecesi (%),

TDYA : Tekli Doymamış Yağ Asitleri (%),

ÇDYA : Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (%),

Ramos ve ark., (2009), çalışmalarında kullanmış oldukları bitki yağlarının YA kompozisyonlarına (bağıl yüzde %), tez çalışması kapsamında ekstrakte edilen ATY eklenerek Çizelge (4.8)'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Bitkisel yağların YA kompozisyonları

YA	Yapı	^a Erime Noktası (YA) - (°C)	^a Erime Noktası (Metil Ester) - (°C)	^b Palmiye	^b Zeytin	^b Fıstık	^b Kolza	^b Soya	^b Ayçiçeği	^b Üzüm	^b Y.O. Ayçiçeği	^b Badem	^b Mısır	Aspir
Lauric	C12:0	43.5	4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Myristic	C14:0	54.4	18.5	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Palmitic	C16:0	62.9	30.5	36.7	11.6	8.0	4.9	11.3	6.2	6.9	4.6	10.4	6.5	6.1
Palmitoleic	C16:1	-0.1	<15	0.1	1.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.6	0.0
Stearic	C18:0	69.7	39.1	6.6	3.1	1.8	1.6	3.6	3.7	4.0	3.4	2.9	1.4	2.8
Oleic	C18:1	13.5	-	46.1	75.0	53.3	33.0	24.9	25.2	19.0	62.8	77.1	65.6	30.9
Linoleic	C18:2	-5	-	8.6	7.8	28.4	20.4	53.0	63.1	69.1	27.5	7.6	25.2	56.40
Linolenic	C18:3	-11	-	0.3	0.6	0.3	7.9	6.1	0.2	0.3	0.1	0.8	0.1	1.2
Arachidic	C20:0	76.1	45.8	0.4	0.3	0.9	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0
Gadoleic	C20:1	23.5	-	0.2	0.0	2.4	9.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Gondoic	C20:1	22	-45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Behenic	C22:0	80	54	0.1	0.1	3.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.7	0.1	0.0	0.5
Erucic	C22:1	33.8	-	0.0	0.0	0.0	23.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Lignoceric	C24:0	84.2	57.8	0.1	0.5	1.8	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.2	0.1	0.0
Nervonic	C24:1	43.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0

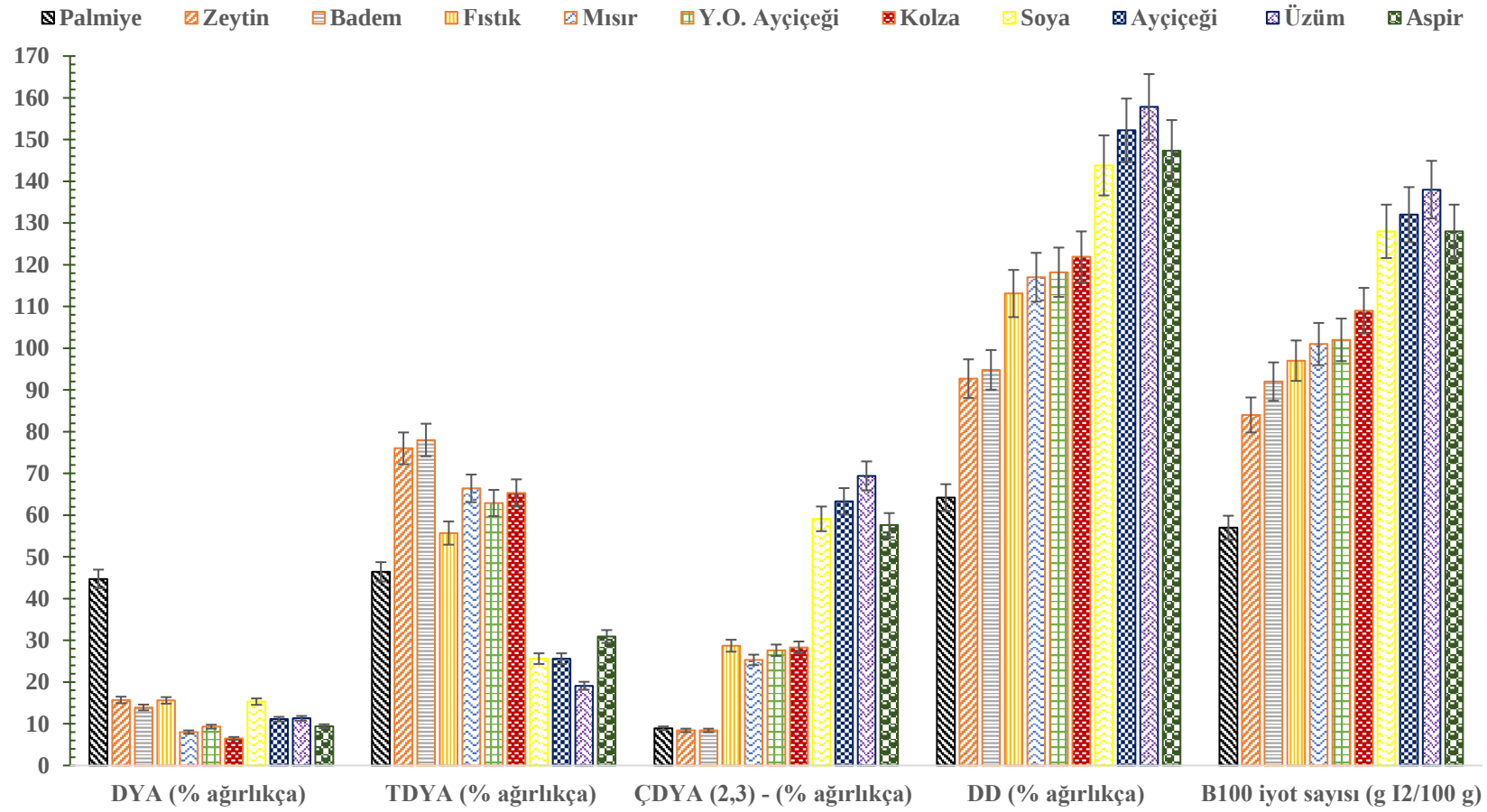
Y.O: Yüksek oleik; ^a: (Gunstone ve Harwood, 2007); ^b: (Ramos ve ark., 2009)

Tez çalışmasında kullanılan ATY’de bulunan tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerinin (% ağırlıkça) GC–MS analiz sonuçlarına göre DD, Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, Ramos ve ark., (2009) çalışmalarında kullanmış oldukları bitki yağlarının DD’sini gösteren Çizelge 4.9’a ve Şekil 4.13’e ATY eklenerek gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. YA bileşimi (%ağırlıkça), DD parametresi ve B100 iyot değeri

	^a Palmiye	^a Zeytin.	^a Fıstık.	^a Kolza.	^a Soya	^a Ayçiçeği	^a Üzüm	^a Y.O. Ayçiçeği	^a Badem.	^a Mısır	Aspir
DYA	44.7	15.7	15.6	6.5	15.3	11.1	11.3	9.3	13.9	8.0	9.4
TDYA	46.4	76.0	55.7	65.3	25.6	25.6	19.1	62.9	78.0	66.4	30.9
ÇDYA (2,3)	8.9	8.4	28.7	28.3	59.1	63.3	69.4	27.6	8.4	25.3	57.6
DD	64.2	92.7	113.1	121.9	143.8	152.2	157.8	118.2	94.8	117.0	147.3
B100 iyot sayısı (g I ₂ /100 g)	57	84	97	109	128	132	138	102	92	101	128

^a: (Ramos ve ark., 2009)



Şekil 4.13. DD'lerine göre farklı yağlardan sentezlenen biyodizellerin iyot değeri

4.3. Dizel yakıtı, B100 ve diğer test yakıtlarının motor deneyleri

AA'lerin farklı oranlarda DF ve B100 ile harmanlanması neticesinde elde edilen farklı yakıtlardan motor testleri sonucunda elde edilen performans parametreleri, emisyon parametreleri, yanma parametreleri ve test sonuçlarında elde edilen yanma parametrelerinin YSA ile tahminleri bu başlık altında paylaşılmış ve tartışılmıştır.

4.3.1. Performans parametreleri

FTV, FÖYT, fren özgül enerji tüketimi (FÖET) gibi çeşitli performans parametreleri, farklı yükleme koşullarında BMEP'e karşı tüm numuneler için çizilmiştir. Yakıtın motorda yakılması neticesinde, elde edilen ısının motorun güç çıkışına dönüştürülme verimliliği FTV olup, FTV ve FÖYT büyük ölçüde yakıtın kalorifik değerine bağlıdır. Motor yükündeki artışla birlikte, daha fazla güç çıkışı geliştirilmesi gerektiğinden FTV açısından FÖYT'ye ters bir eğilim gözlenmiştir.

4.3.1.1. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)

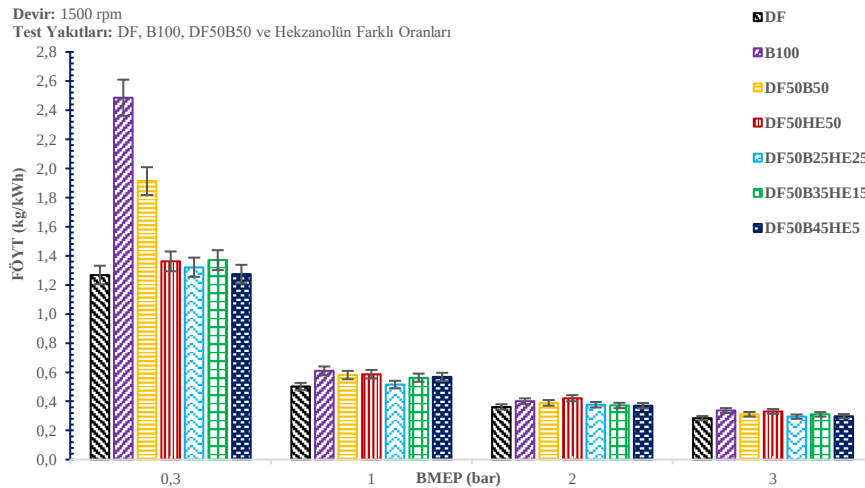
FÖYT, en sade hali ile bir saatte bir kW güç üretmek için tüketilecek olan yakıt miktarı şeklinde tanımlanabilir. Ayrıca, herhangi bir motor için yakıtın verimliliğini gösterir ve bu nedenle bir yakıtın seçim kriterlerinde önemli rol oynar (Ramesh ve ark., 2019).

- i) Tüm test yakıtları için artan yüklerle birlikte FÖYT azalan bir eğilim göstermektedir ki bu da yüksek yüklerin tipik olarak daha yüksek sıcaklıklar ve basınçlarla daha iyi yanma sağlaması nedeniyle beklenen bir durumdur. Elde edilen sonuçlar yük artışı ile beraber FÖYT'nin azaldığını göstermiştir. Bu durumun daha iyi yakıt-hava karışımına, daha hızlı yanmaya ve buna bağlı olarak daha yüksek yüklerde enerji kayıplarının azalmasının neticesinde gerçekleştiği düşünülmektedir.
- ii) Test yakıtlarından B100 en yüksek yoğunluğa ve en düşük kalorifik değere sahip olup, bu yakıt için FÖYT'nin genel eğilimi diğer yakıtlara kıyasla daha yüksektir. DF'den B100'e deneylerin gerçekleştirildiği maksimum yükte FÖYT'de %18.25'lik bir artış vardır, bu da B100'ün kötü atomizasyonu ve

yüksek püskürtme penetrasyonundan kaynaklanmaktadır (İmdadul ve ark., 2016).

- iii) Test yakıtlarından daha yüksek kalorifik değere ve düşük yoğunluğa sahip DF yakıtının FÖYT değerinin genel eğilimi diğer yakıtlara kıyasla daha düşüktür. DF'nin bütün yük koşullarında diğer test yakıtlarından daha düşük FÖYT ile sonuçlanmasının arkasındaki baskın nedenin en yüksek kalorifik değere sahip olmasındandır (Emiroğlu ve Şen, 2018).
- iv) DF50B50 yakıtının oluşturulması neticesinde, karışımın viskozitesinin azalmasından dolayı B100'e kıyasla daha az FÖYT değerine sahiptir. Çünkü yakıt viskozitesinin azalması daha iyi püskürtme ve yanma özellikleri sağlar. Viskozitenin düşmesini DF sağlarken B100'ün yapısında bulunan oksijende daha iyi yanma verimi sağlamakta ve bu nedenle DF'nin bulunduğu ikili ve üçlü yakıt karışımlarının FÖYT değerlerinde düşüşler olmaktadır.

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖYT değerleri Şekil 4.14'te gösterildiği gibidir. Test edilen yakıt örneklerinin FÖYT'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için FÖYT değerleri sırasıyla 0.28474, 0.33669, 0.31145, 0.33063, 0.29506, 0.31056 ve 0.29778 kg/kWh'dir.

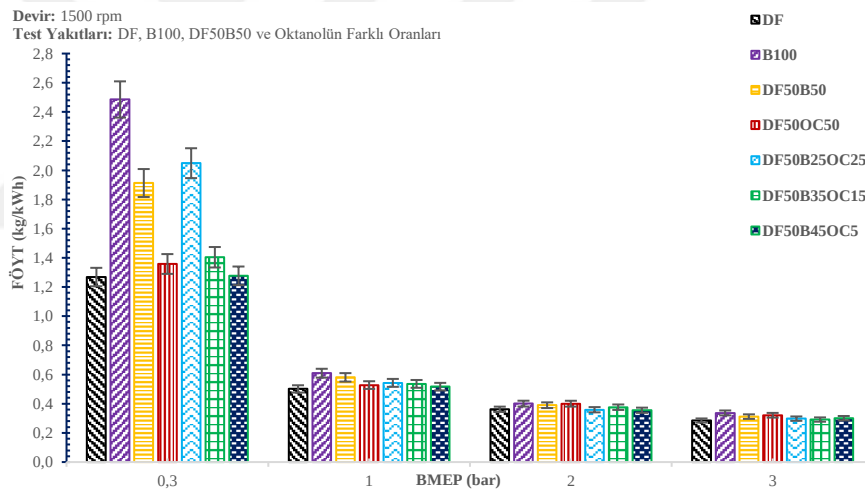


Şekil 4.14. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi

AA karışımli yakıtın FÖYT'ni büyük ölçüde karışım ve standart dizel arasındaki kalorifik değer farkına bağlıdır. Hekzanol karışımli dizelin kalorifik değerinde bir düşüş

vardır ve bu da standart dizele göre yakıt tüketiminin artmasına neden olur (Sundar ve Saravanan, 2011), $C_6H_{13}OH$ karışımli B100 ise artan enerji içeriği nedeniyle saf biyodizele göre daha az yakıt tüketimi sergiler (Rajesh Kumar ve ark., 2016). Ayrıca, test yakıtı örnekleri tüm motor yüklerinde benzer eğilimler sergilemiştir. Biyodizel ve alkoller gibi alternatif yakıt katkılarının DF ile harmanlanması neticesinde elde edilen test yakıtlarının kalorifik değerlerini düşürdüğünden dolayı test koşulları altında FÖYT'nin artmasına neden olmuştur (Yesilyurt ve ark., 2020).

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖYT değerleri Şekil 4.15'te gösterildiği gibidir. Test edilen yakıt örneklerinin FÖYT'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için FÖYT değerleri sırasıyla 0.28474, 0.33669, 0.31145, 0.32088, 0.29780, 0.29146 ve 0.30077 kg/kWh'dir.



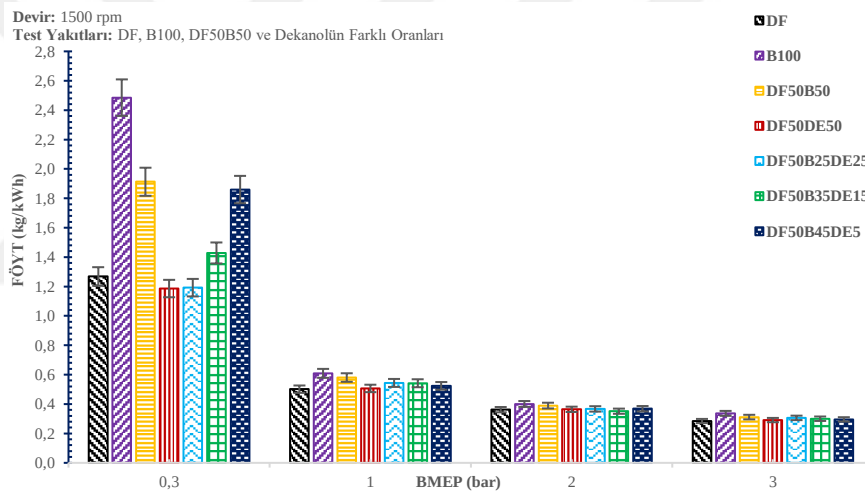
Şekil 4.15. Oktanöl ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi

Oktanöl/dizel karışımlarının performansı, yanma verimliliği (oksijen mevcudiyetinin bir sonucu olarak) ve karışımın enerji içeriğinin birleşik etkisinin bir sonucudur. Oktanöl/dizel karışımlarının kalorifik değerleri DF'den sadece biraz düşüktür. FÖYT, karışımlardaki artan $C_8H_{17}OH$ içeriği ile azalmaktadır. Bu, karışımların enerji içeriğindeki hafif düşüşün etkisinin, gerekli güç çıkışını üretmek için karışımlardaki artan oksijen içeriği (daha fazla $C_8H_{17}OH$ eklendiğinde) nedeniyle gelişmiş yanma verimliliği tarafından domine edilmektedir (Rajesh Kumar, Saravanan, Rana, Anish, ve ark., 2016). Hekzanöl ve oktanöl ile oluşturulan yakıtların yoğunlukları DF ve DF50DE50 yakıtlarından düşük olmasına rağmen kalorifik değerleri bu iki

yakıttan düşüktür. Ayrıca hekzanol ve oktanolün viskoziteleri sırasıyla 5.32 mm²/s ve 5.38 mm²/s'dir. Bu iki parametrenin DF'den daha yüksek FÖYT'ye neden olduğu düşünülmektedir.

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖYT değerleri Şekil 4.16'da gösterildiği gibidir. Test edilen yakıt örneklerinin FÖYT'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için FÖYT değerleri sırasıyla 0.28474, 0.33669, 0.31145, 0.29110, 0.30584, 0.30027 ve 0.29857 kg/kWh'dir.

Hacimsel olarak daha fazla C₉H₁₉OH içeren karışımın artan kalori değeri, enerji içeriğini artırmış ve bu da FÖYT'nin D100'e yaklaşmasının arkasındaki baskın sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.16. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FÖYT değişimi

Öte yandan, DF ve C₈H₁₇OH/C₉H₁₉OH karışımli yakıtların DF arasındaki kalorifik değer farkı önemsizdir ve daha yüksek oksijen içeriği, standart DF'ye yakın FÖYT sergilemek için yanma verimliliğini teşvik eder (Rajesh Kumar ve ark., 2016). DF yakıtından sonra düşük FÖYT genel eğilimi gösteren yakıt DF50DE50'dir. Bu ikili karışım yakıtının yoğunluğu DF yakıtından bir miktar düşük olup kalorifik değeride DF'ye oldukça yakındır. Ancak viskozite değeri 6.5 mm²/s olup DF yakıtından oldukça yüksektir. Yüksek viskozite yakıt enjeksiyon sisteminde atomizasyon ve püskürtme performansını olumsuz etkileyip yanma odası penetrasyonunu düşürdüğü düşünülmektedir. Atomizasyonun düzgün olmaması, yakıtın enjektör memelerinden büyük damlacıklar halinde çıkmasına ve parçacıkların istenilen boyutta

ayrıştırılamamasına neden olduğundan bu yakıtın FÖYT'sinin DF'den daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

AA ile harmanlama neticesinde elde edilen yakıtlar için özetle; yakıt viskozitesinin saf AA'lere kıyasla azalmasına ek olarak, numunedeki oksijen miktarının artması, yanma verimini iyileştirmekte, bu nedenle üçlü karışımların FÖYT değerlerinde düşüşler olmaktadır. Alkol ile harmanlanarak elde edilen yakıtlar için genel olarak FÖYT'nin, oksijen içeriğindeki artış ve alkollerin düşük SS'sine rağmen karışımdaki alkol içeriğinin yüzdesi arttıkça azaldığı söylenebilir (Imtenan ve ark., 2015; Ramírez ve ark., 2014).

DF, B100, DF'ye %25 B100 ve %25 AA eklenmesiyle oluşturulan üçlü karışım test yakıtlarının FÖYT'leri özetlenecek olursa;

- i) Tüm test yakıtları için artan yüklerle birlikte FÖYT azalan bir eğilim göstermiştir.
- ii) Tüm üçlü yakıt karışımlarının yoğunlukları DF'den yüksek ve kalorifik değerleri DF'den düşüktür. Ayrıca B100, hekzanol, oktanol ve dekanolün viskoziteleri sırasıyla 4.444 mm²/s, 5.32 mm²/s, 5.38 mm²/s ve 6.5 mm²/s olup DF'den oldukça yüksektir. Üçlü yakıt karışımlarının bu özelliklerinden dolayı bu yakıtlar için FÖYT değerinin genel eğilimi DF'ye kıyasla daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

DF, B100, DF'ye %35 B100 ve %15 AA eklenmesiyle oluşturulan üçlü karışım test yakıtlarının FÖYT'leri özetlenecek olursa;

- i) Tüm test yakıtları için artan yüklerle birlikte FÖYT azalan bir eğilim göstermiştir.
- ii) Tüm üçlü yakıt karışımlarının yoğunlukları B100 fraksiyonunun artmasıyla beraber oldukça artmış ve birbirine çok yakındır. Ayrıca B100 ve AA'lerin yüksek viskoziteleri bu yakıtların FÖYT'lerinin DF'ye kıyasla daha yüksek olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

DF, B100, DF'ye %45 B100 ve %5 AA eklenmesiyle oluşturulan üçlü karışım test yakıtlarının FÖYT'leri özetlenecek olursa;

- i) Tüm test yakıtları için artan yüklerle birlikte FÖYT azalan bir eğilim göstermiştir.
- ii) Tüm üçlü yakıt karışımlarının kalorifik değerlerinde DF'ye kıyasla çok büyük düşüşler yok iken yoğunlukları DF'den oldukça yüksektir. DF ve B100'e kıyasla oldukça yüksek viskoziteye sahip AA fraksiyonunun azalmasıyla diğer fraksiyonlarda AA'lerin harmanlanmasıyla elde edilen üçlü yakıt karışımlarına göre viskozitelerinin düştüğü söylenebilir. Viskozitedeki bu azalma yakıt enjeksiyon sisteminde atomizasyon ve püskürtme performansını olumlu etkileyip yanma odası penetrasyonunu artırıp diğer üçlü yakıt karışımlarına kıyasla daha düşük FÖYT genel eğilimi göstermesine sebep olduğu düşünülmektedir.

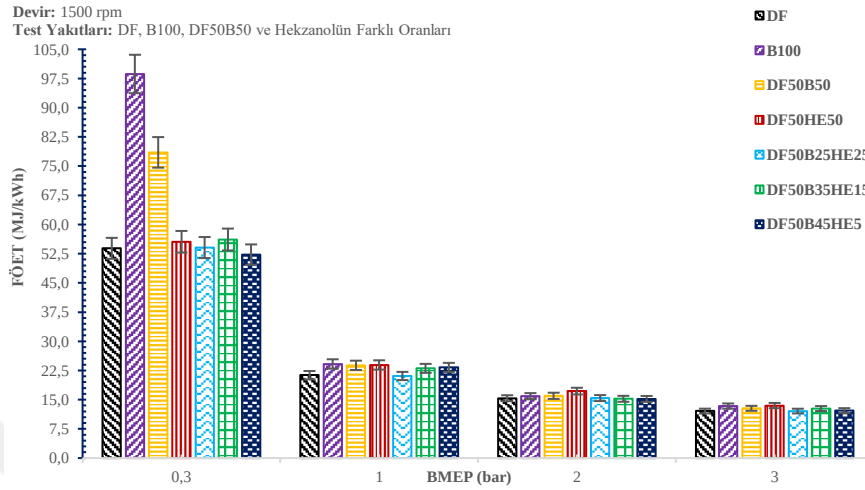
4.3.1.2. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET)

FÖET, birim güç üretmek için yakıttan enerji tüketme verimliliğini gösterir. FÖET, farklı kalorifik değerlere sahip birden fazla yakıtı karşılaştırmak için en doğru parametre olup, kısaca birim zamanda birim fren gücü üreten yakıttan üretilen etkin enerjinin ölçüsü olarak tanımlanabilir. Herhangi bir yakıt için FÖET, alt ısı değeri ile FÖYT'nin bir ürünü olarak hesaplanır.

Test edilen yakıtlar için FÖET'i Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görülmektedir. Esasen FÖET, test edilen yakıt karışımlarının FÖYT değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Grafiklerden, DF'nin FÖET değerlerinin neredeyse tüm yüklerde test edilen bütün test yakıtlarına kıyasla en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Dizelin kalorifik değeri ve ısı verimi en yüksek olmasına rağmen, FÖYT değerlerinin oldukça düşük olması bunu etkisiz hale getirmektedir. Şekilden de anlaşılabacağı üzere, B100, zayıf atomizasyon özellikleri, daha yüksek PN sıcaklığı ve daha uzun TG süresi ile birlikte en yüksek FÖYT değerleri ve düşük kalorifik değer nedeniyle test edilen karışımlar arasında en yüksek FÖET değerlerine sahiptir (Fattah ve ark., 2014). FÖYT için gözlemlenen eğilime benzer olarak FÖET değerleri BMEP'in artmasıyla azalmıştır. Saf B100'ün ve hacimsel olarak yüksek fraksiyonlarda bulunduğu karışımlarda bu eğilimi göstermesinin nedeni; daha düşük kalorifik değeri, daha yüksek kaynama noktası ve viskozitesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Echaroj ve ark., 2017).

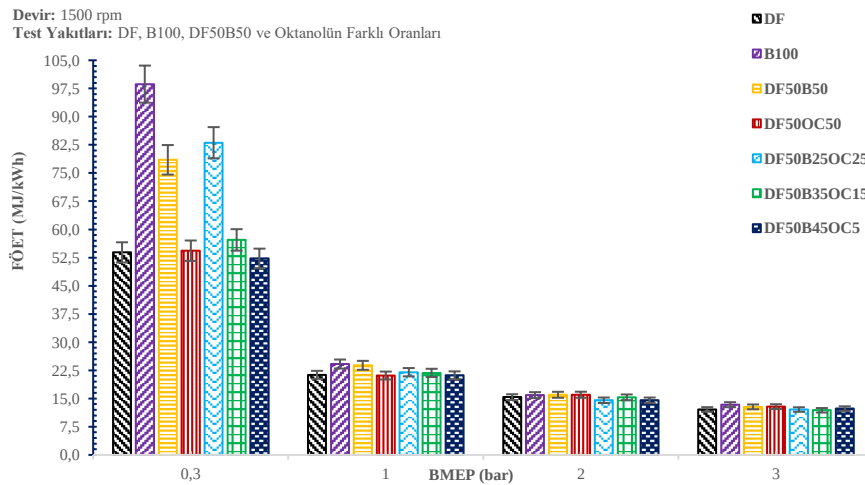
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖET değerleri Şekil 4.17'de gösterildiği gibidir. Test

edilen yakıt örneklerinin FÖET'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için FÖET değerleri sırasıyla 12.09844, 13.36661, 12.78588, 13.49262, 12.07774, 12.72714 ve 12.21759 MJ/kWh'dir.



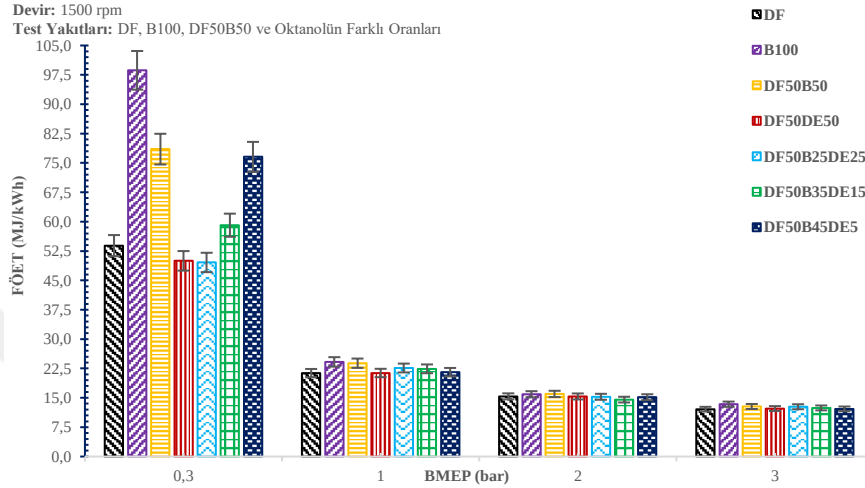
Şekil 4.17. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖET değerleri Şekil 4.18'de gösterildiği gibidir. Test edilen yakıt örneklerinin FÖET'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için FÖET değerleri sırasıyla 12.09844, 13.36661, 12.78588, 12.84240, 12.07478, 11.87733 ve 12.31756 MJ/kWh'dir.



Şekil 4.18. Oktanöl ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FÖET değerleri Şekil 4.19'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıt örneklerinin FÖET'lerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için FÖET değerleri sırasıyla 12.09844, 13.36661, 12.78588, 12.26852, 12.72018, 12.42336 ve 12.17774 MJ/kWh'dir.



Şekil 4.19. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FÖET değişimi

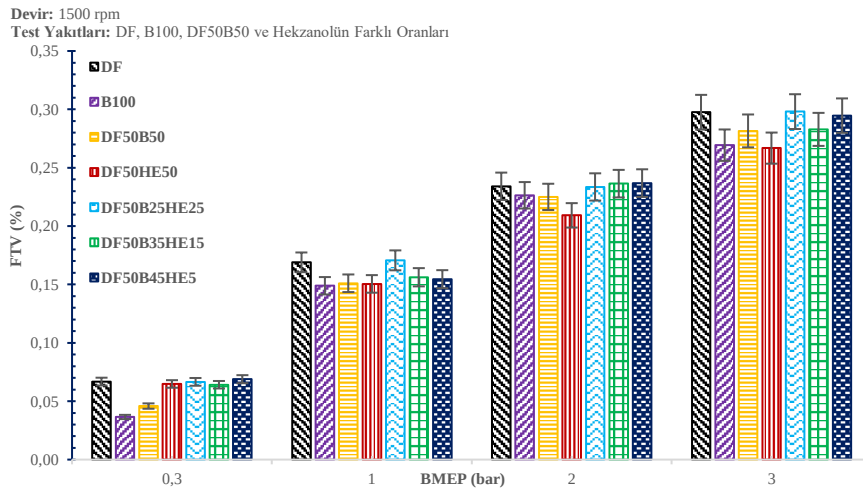
DF50B50'de, FÖYT'de ve kalorifik değerde bir düşüş vardır ve bu da B100'e kıyasla FÖET'de genel bir düşüşe yol açar. B100 ile ilişkilendirildiğinde, maksimum yükte %50 DF %50 B100 ilavesi FÖET değerini düşürmüştür. Alkol üçlü karışımları, DF50B50 ile karşılaştırıldığında FÖET'de bir düşüş görülmektedir. DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde FÖET'leri özetlenecek olursa;

- i) Saf B100 bütün yük koşullarında diğer test yakıtlarından daha yüksek FÖET ile sonuçlanma genel eğilimini göstermektedir. B100'ün en yüksek FÖYT değerleri ve düşük kalorifik değer nedeniyle test edilen karışımlar arasında en yüksek FÖET değerlerine sahip olmasının arkasındaki neden olduğu düşünülmektedir. Özetle FÖET, FÖYT ile ilişkili bir parametre olduğundan, FÖYT değişimi üzerinde etkili olan özellikler FÖET üzerinde de etkili olduğu düşünülmektedir.

4.3.1.2. Fren termal verimliliği (FTV)

Bir yakıttan elde edilen kimyasal enerjiyi motorun faydalı işine dönüştürme gücü, kalorifik değere ve FÖYT'ne bağlı olan FTV ile ölçülebilir. FTV, birim zamanda tüketilen yakıttan elde edilen termal enerji girdisinin bir fonksiyonu olarak bir ısı motorunun mekanik fren gücü olarak tanımlanabilir. Motor yükü arttıkça yanma verimliliğinin artması ve sürtünme kayıplarının azalması nedeniyle yakıt enerjisi dönüşüm verimliliğinin de yükseldiği düşünülmektedir.

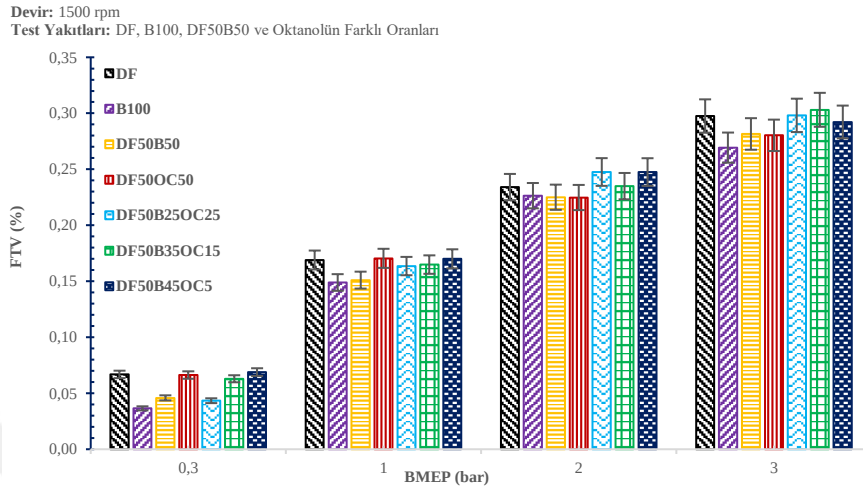
Bir SAM'ın FTV'sini etkileyen hava-yakıt oranı, enjeksiyon zamanlaması, sıkıştırma oranı ve en önemlisi yakıt karışımının kalorifik değeri gibi birçok faktör vardır (Damanik ve ark., 2018). DF yakıtı B100'den daha yüksek bir kalorifik değere sahiptir. Ayrıca, yoğunluk, viskozite ve yüzey gerilimindeki iyileşme doğrudan yakıt atomizasyon özelliklerinin ve hava-yakıt karışım oranının gelişmesini sağlar (Prakash ve ark., 2018). İkili DF, B100 ve AA ile oluşturulan üçlü yakıt karışımları da yanma odasında benzer etkilere neden olduğu düşünülmektedir. Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FTV değerleri Şekil 4.20'deki gibidir. Grafikten, test yakıtlarının FTV'lerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için FTV değerleri sırasıyla %29.756, %26.933, %28.156, %26.681, %29.807, %28.286 ve %29.466'dır.



Şekil 4.20. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi

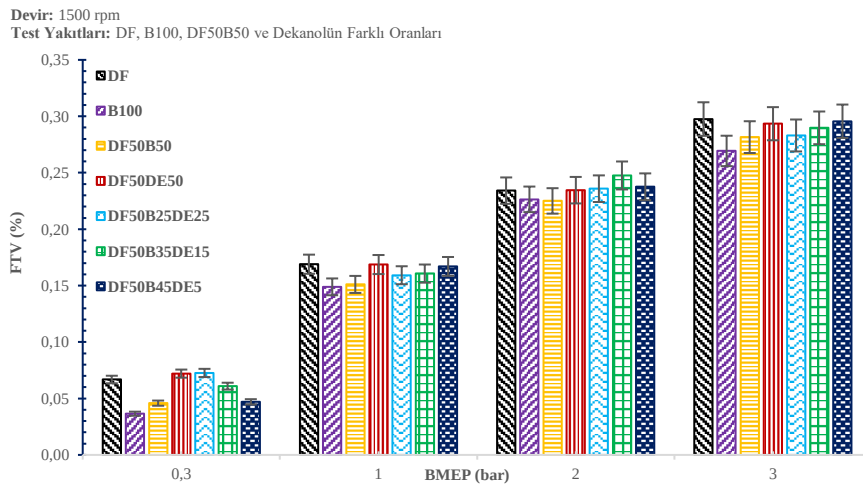
Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FTV değerleri Şekil 4.21'deki gibidir. Grafikten, test edilen

yakıtların FTV'leri maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için FTV sırasıyla %29.756, %26.933, %28.156, %28.032, %29.814, %30.310 ve %29.227'dir.



Şekil 4.21. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için FTV değerleri Şekil 4.22'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıt örneklerinin FTV'lerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için FTV sırasıyla %29.756, %26.933, %28.156, %29.343, %28.301, %28.978 ve %29.562'dir.



Şekil 4.22. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların FTV değişimi

Performans açısından, DF-B100 karışımlarına alkol ilavesinin FTV'yi iyileştirdiği ve karışımdaki daha yüksek alkol konsantrasyonu için daha da iyileştiği raporlanmıştır. Genel olarak, dizeler alkol eklenmesi kalorifik değerlerini ve viskozitelerini düşürerek FTV'lerini azaltır (Sharon ve ark., 2013) ancak daha yüksek fraksiyonlu alkoller durumunda, daha yüksek oksijen içeriği ve daha düşük SS, sabit hacimde ve daha zayıf koşullarda maksimum yanmaya izin vermek için ön karışımlyanma süresini toplu olarak uzatır ve ısı kayıplarını azaltır (Rajesh Kumar ve ark., 2016). Bu nedenle, $C_6H_{13}OH$ / $C_8H_{17}OH$ / $C_9H_{19}OH$ karışımlyakıtlar için FTV değerleri B100 ve DF50B50 yakıttan daha yüksek bulunmuştur ve aynı durum, dizelin kalorifik değeri ve viskozitesindeki düşüşün baz B100 tarafından telafi edildiği üçlü karışımlarlada açıklanabilir.

Beklendiği gibi, DF tüm güç çıkışları altında B100 ve DF50B50 test yakıtlarından daha yüksek FTV'ye sahiptir, çünkü bu yakıtlardan daha yüksek kalorifik değere sahiptir. B100, aynı güç çıkışı için yüksek yakıt tüketimine neden olan düşük kalorifik değere, yüksek viskoziteye ve yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle en düşük FTV'ye sahiptir (Nanthagopal ve ark., 2016; Svensson, 1979). B100'ün maksimum FTV'si %26.933 olarak bulunmuştur ve bu değer maksimum yükleme koşulunda gerçekleşmiştir. Ayrıca biyodizelin düşük kalorifik değerinin etkisini bastıran DF yakıtının varlığı nedeniyle DF50B50 için FTV, B100'den daha yüksektir. Dekanol ile gerçekleştirilen üçlü karışımlarlada DF ve alkol bulunması nedeniyle yüksek kalorifik değer, yüksek oksijen içeriği, daha düşük viskozite ve yoğunluğun bir sonucu olarak, tüm alkol numuneleri DF50B50'den daha yüksek FTV'ye sahiptir. Her ne kadar alkol ilavesi dizelin viskozitesini ve kalorifik değerini düşürse de, AA ile harmanlanmış üçlü karışımlarlada biyodizelin yüksek viskozitesi ve kalorifik değeri dizeldeki düşüşü telafi etmektedir (Sharon ve ark., 2013).

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde FTV'leri özetlenecek olursa;

- i) DF50DE50 yakıtından DF yakıtına yakın FTV değerleri elde edilmiştir. Bu durumun arkasındaki sebebin DF50DE50 yakıtının hem FÖYT'sinin hemde alt ısıl değerinin DF'ye çok yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- ii) DF50B50 yakıtının FTV'si bütün motor yüklerinde DF ve B100 yakıtı arasında yer almıştır. DF50B50 yakıtının hem alt ısıl değerinin hemde bütün

yüklerde FÖYT'nin DF ve B100 yakıtı arasında yer almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

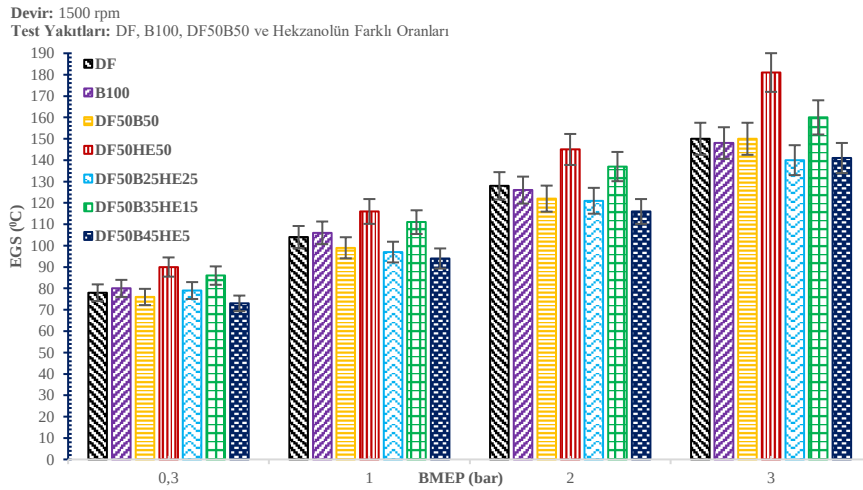
- iii) Oktanol ile oluşturulan üçlü yakıt karışımlarının tamamı diğer üçlü yakıt karışımlara kıyasla FTV değerinde iyi performans göstermiştir. Bu durumun arkasındaki sebebin oktanol ile oluşturulan üçlü yakıt karışımlarının tamamından alt ısı değeri ve FÖYT'sinin genel olarak düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.1.4. Egzoz gazı sıcaklığı (T_e)

Egzoz gazı sıcaklığı (EGS), yanma sürecinin kalitesi hakkında fikir veren önemli bir parametredir (Shrivastava ve ark., 2019). EGS, TG ve yanma verimliliği değişikliklerinden etkilenir. Daha uzun bir TG, yanma odasında yakıtın birikip aniden yanmasından dolayı daha yüksek bir EGS'na neden olur. Yanma prosesi verimli bir şekilde gerçekleştiğinde yanma odasındaki sıcaklık artar ve bu da EGS'nin yüksek olmasına yol açar. Ayrıca, yakıtın düşük SS, daha uzun bir TG'si süresine neden olur. Bu durum güç süresini uzatarak yanma sonucunda sıcaklığın yüksek olmasına neden olur (İlkılıç ve ark., 2015).

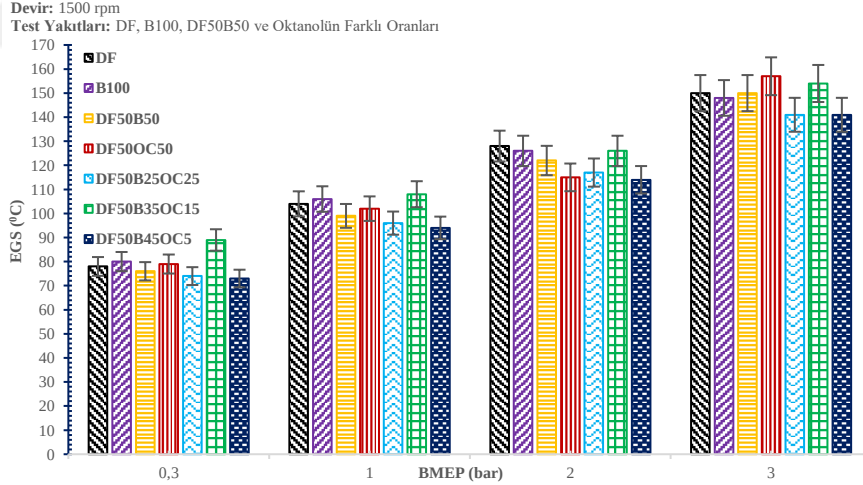
Aynı zamanda egzoz gazı içeriğini oluşturan emisyonların değişiminde de kritik bir parametredir. Dizel, B100 ve diğer üçlü karışım yakıtların EGS değerlerinin motor yüküne göre değişimi Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir.

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için EGS değerleri Şekil 4.23'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıt örneklerinin EGS'lerinin maksimum test yüklerinde maksimumdur. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için EGS sırasıyla 150, 148, 150, 181, 140, 160 ve 141 °C'dir.



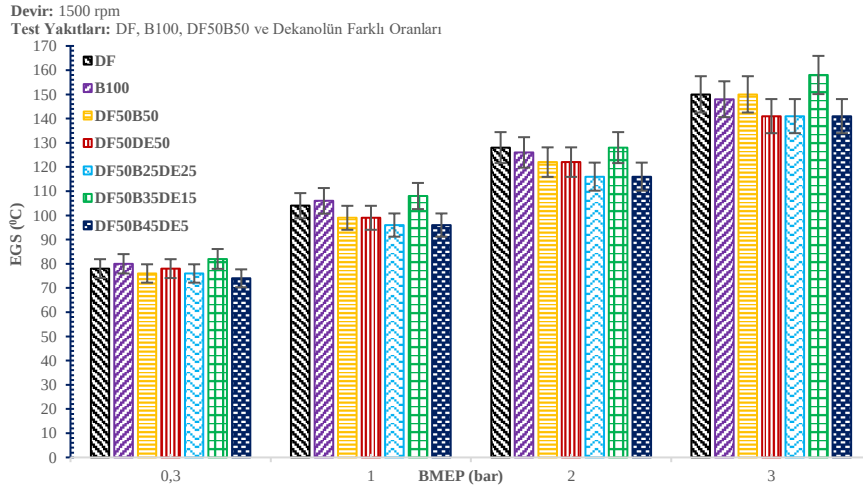
Şekil 4.23. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için EGS değerleri Şekil 4.24'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıt örneklerinin EGS'lerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için EGS sırasıyla 150, 148, 150, 157, 141, 154 ve 141 °C'dir.



Şekil 4.24. Oktanöl ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi

Dekanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için EGS değerleri Şekil 4.25'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların EGS'lerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için EGS sırasıyla 150, 148, 150, 141, 141, 158 ve 141 °C'dir.



Şekil 4.25. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların EGS değişimi

Tüm test yakıtları için EGS, motor hızının veya motor yükünün artışıyla neredeyse doğrusal olarak artmaktadır (İlkılıç ve ark., 2011). Test edilen yakıtların yanması neticesinde meydana gelen gazların oluşturduğu EGS, motorda yakılan yakıtın ısı değeri, SS, yoğunluk, kinematik viskozite vb. özelliklerine bağlı aynı zamanda yakıtın yanma odasına gönderildiği püskürtme basıncı, püskürtme avansı, devir sayısı, sıkıştırma oranı gibi motor işletme parametrelerine de bağlıdır (Yeşilyurt, 2020). Tez çalışmamızda motorda yakılan test yakıtlarının EGS sonuçları değerlendirildiğinde, daha öncede belirtildiği gibi motor yükünün artışına bağlı olarak EGS değerlerinin arttığı ve en yüksek sonuçların motor deneylerinin gerçekleştiği maksimum motor yükünde elde edildiği görülmektedir. Yılmaz ve ark., (2017)'ye göre bu durum, motor yükünün kademeli olarak artırılması yanma odasına enjektör tarafından püskürtülen yakıt miktarının artmasına ve dolayısıyla silindir içerisindeki oksijen varlığının yükselmesine neden olduğundan silindir içi sıcaklığının artması EGS'nda görülen artışa neden olduğunu vurgulamışlardır.

Tez çalışmasında kullanılan AA'den $C_6H_{13}OH$ ve $C_8H_{17}OH$ 'ın SS, DF'den daha düşüktür. Bu iki AA DF ile eşit hacimlerde harmanlanıp motorda yakıldığında testlerde kullanılan maksimum motor yükünde DF'ye kıyasla daha yüksek sıcaklığa sahip EGS oluşmuştur. Bu iki AA'nin SS, DF'den oldukça düşük iken kullanılan diğer AA olan $C_9H_{19}OH$ 'ın SS, DF'ye oldukça yakın olup $C_6H_{13}OH$ ve $C_8H_{17}OH$ gibi aynı test şartlarında DF'den daha yüksek EGS elde edilmemiştir.

AA tez çalışmamızda %50, %25, %15 ve minimum %5 hacim oranlarında DF ve B100 ile harmanlanıp farklı yakıtlar oluşturulmuştur. Minimum AA hacmi ile harmanlanıp elde edilen yakıtların tamamı bütün yüklerde diğer yakıtlara kıyasla minimum EGS oluşturmuşlardır. Yılmaz ve ark., (2017) tarafından gerçekleştirilen

çalışmalarda DF'ye %5 ve %10 oranlarında AA ilavesinin DF'ye kıyasla EGS'yi azalttığını, ancak alkol oranlarını artırdıklarında EGS'nin artmış olduğunu raporlamışlardır. Kullandıkları AA'nin sahip olduğu dışuk SS'nin TG'yi artırdığını aynı zamanda ylık oksijen içeriğinin de yanma verimi üzerinde olumlu etki yaparak EGS'yi artırdığını vurgulamışlardır. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz AA'den $C_6H_{13}OH$, diğer alkollere kıyasla en dışuk SS ve bünyesinde en ylık oksijen miktarını bulundurmaktadır. DF50HE50 şeklinde yakıt oluşturulup test motorunda yakılıp EGS'si ölçüldüğünde bütün motor yüklerinde diğer bütün yakıtlara kıyasla en ylık EGS'ı elde edilmiştir.

DF, B100 ve AA'nin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde EGS'leri özetlenecek olursa;

- i) En ylık EGS'ye neden olan yakıt türü ikili yakıt karışımlarından DF50HE50'dir. Kullanılan DF, B100 ve diğer alkollere kıyasla en ylık buharlaşma gizli ısıısına ve en dışuk setan sayısına sahip yakıttır. Bu özellikler TG süresini oldukça uzatıp yakıtın birikmesine, biriken bu yakıtın aniden yanması neticesinde silindir içi sıcaklığının yükselerek EGS'nin artmış olmasına neden olduğu düşünölmektedir.
- ii) DF'nin buharlaşma gizli ısıısı 270-280 MJ/kg, B100'ün 300-310 MJ/kg'dır. Hekzanol, oktanol ve dekanolün gizli buharlaşma ısııları sırasıyla 486, 315.10 ve 494.8 MJ/kg olup hem B100'den hem de DF'den daha ylıktır. AA DF'ye ve B100'e göre daha ylık buharlaşma gizli ısıılarına sahip olduklarından, yanabilmeleri için ortamdan daha fazla ısı çekmeleri gerekir. Sonuç olarak, alkol karışımlarının yanması neticesinde genel eğilim olarak daha dışuk silindir içi sıcaklıklar üretmiş olduğundan dolayı EGS'lerinin dışuk olduğu düşünölmektedir.

4.3.2. Emisyon parametreleri

DF, B100, DF50B50 ve AA katkılı karışımlarından oluşan yakıtların; NO_x, CO ve DK emisyon parametrelerinin karışılaştırmalı analizi için tez çalışması kapsamında ele alınmıştır.

4.3.2.1. Azot oksit (NO_x) emisyonları

NO_x'ler genellikle azot dioksit (NO₂) ve azot oksitten (NO) oluşur. NO_x oluşumu esas olarak motor silindiri içinde oluşan sıcaklıklara bağlıdır. Bu nedenle, silindir içi sıcaklık ve oksijen içeriği arttıkça NO_x emisyonu artar. DF, B100, DF50B50 ve üçlü karışımlar için NO_x emisyonlarının BMEP'e göre değişimi Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Grafiklerden görülebileceği üzere genel eğilim, silindir içi gaz sıcaklığının artması nedeniyle motor yüküyle birlikte NO_x emisyonunun artmasıdır. NO_x, silindir sıcaklıklarındaki artış nedeniyle test edilen tüm karışımlar için BMEP'deki artışla birlikte artmıştır. B100'ün, biyodizelde kalan oksijenin tek atomlu nitrojenle reaksiyona girerek nitrojen oksitleri üretmesi nedeniyle D100'den daha fazla NO_x emisyonu ürettiği gözlemlenebilir (Ashok ve ark., 2019). B100'ün saf halde kullanılması NO_x emisyonlarını artırdığı gibi DF'ye belli oranlarda harmanlanması da gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda azaltmış olduğu görülmüştür.

Test edilen yakıtlar arasında B100 ve DF ile kıyaslandığında, B100 motorun yüksüz durumunda DF ile aynı miktarda NO_x emisyonu üretmişken diğer artan motor yükleri ile beraber daha yüksek NO_x emisyonu üretmiştir. Çünkü NO_x emisyon özelliklerini, doymamışlık derecesi, setan indeksi ve yakıt iyot değeri önemli ölçüde etkilemektedir. Doymuş yağ asitleri, karbon atomlarında tek bağlara sahip olan yağ asitleri olup, bu tek bağlar, karbon atomlarının tamamen hidrojenle doyurulduğu anlamına gelmektedir, bu özelliklerinden dolayı doymuş yağ asitleri daha yüksek yanma sıcaklıklarında yanma eğilimindedirler. Doymamış yağ asitleri ise bir veya daha fazla çift bağa sahip olan yağ asitleridir. Bu çift bağlar, karbon atomlarında hidrojen eksikliğine neden olup, doymamış yağ asitlerini, daha düşük yanma sıcaklıklarında yanma eğilimi özelliğini kazandırır. Çalışmamızda biyodizele sentezlediğimiz yağın ağırlıkça doymamış YA bileşimi %88.5, doymamışlık derecesi 147.3 ve iyot sayısı 128'dir. Anandavelu ve ark., (2023), biyodizele sentezledikleri atık kızartma yağının ağırlıkça doymamış YA bileşimi %54.24 ve doymamışlık derecesi 76.18 olduğunu ve bu özelliklere sahip yağı biyodizele sentezleyip motorda yakıtlarında testleri gerçekleştirmiş oldukları bütün motor yüklerinde DF'ye kıyasla daha düşük NO_x emisyonları elde ettiklerini raporlamışlardır.

Saf biyodizelin, DF ile eşit fraksiyonu neticesinde elde edilen DF50B50 yakıtının artan motor yükleri ile beraber NO_x emisyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu

azalmaya DF ilavesiyle ikili karışımdaki oksijen miktarının düşmesi neden olduğu düşünülmektedir.

DF'nin $C_6H_{13}OH$ ve $C_8H_{17}OH$ ile eşit fraksiyonu neticesinde elde edilen DF50HE50 ve DF50OC50 yakıtının düşük motor yüklerinde DF50B50 yakıtına göre daha düşük NOx emisyonu üretirken artan motor yükleri ile beraber DF50B50 yakıtına göre NOx emisyonlarını önemli ölçüde artırmıştır. Sıkıştırma ateşlemeli motorların yükleri arttıkça maksimum sıcaklıklar ve basınçlar elde edilmek sureti ile daha iyi bir yanma sağlamasından dolayı DF50HE50, DF50OC50 ve DF50DE50 buharlaşma gizli ısı etkisini aşması ve böylece NOx oluşumunu kolaylaştırmasıyla açıklanmaktadır. Deneylerin gerçekleştirildiği maksimum yükte DF50DE50 test yakıtının DF50HE50 ve DF50OC50 yakıtına kıyasla daha düşük NOx emisyonu üretmesinin nedeni dekanolün muhtevastındaki oksijenin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

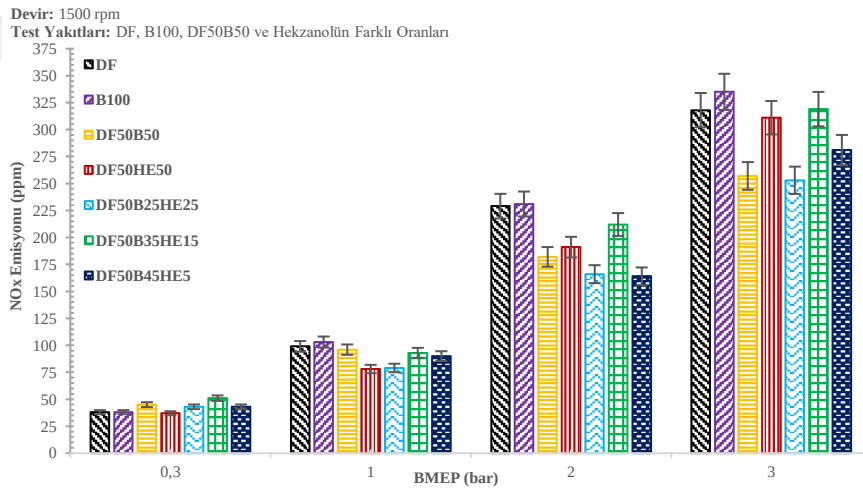
Hacimsel olarak %15 AA içeren üçlü yakıt karışımları testlerin gerçekleştirildiği maksimum motor yükü olan BMEP = 3 bar'da diğer bütün üçlü yakıt karışımlarına kıyasla en yüksek NOx emisyonlarını üretmişlerdir. Bu durumun muhtemel nedenleri şu şekildedir;

- i) Motor yükü artıkça, silindirlere enjekte edilen yakıt miktarından etkilenen daha yüksek yanma sıcaklıkları oluşmaktadır. Yanma sıcaklığı ve oksijen içeriği emisyon konsantrasyonunda NOx miktarının artışında dinamik bir rol oynar. Daha yüksek yanma sıcaklıkları ve gazların bu sıcaklıklarda kalma süresi daha yüksek NOx oluşum oranlarıyla sonuçlanmıştır (Rajak ve ark., 2019a; Rajak ve ark., 2019b; Shrivastava ve ark., 2019).
- ii) Ağır ve hafif alkollerin yüksek buharlaşma gizli ısıları soğutma etkisine neden olarak silindir içi sıcaklığı düşürmektedir. Bu durum TG süresinin oldukça uzun olmasına özellikle düşük ve orta yüklerde uygunsuz yanmaya neden olur. Ancak artan motor yükü ile beraber kümülatif ısı eklenmesi nedeniyle silindir içi sıcaklık artması neticesinde TG süresi kısalır. Bu nedenle yanma özellikleri iyileşerek emisyon konsantrasyonunda daha fazla miktarda NOx oluşmuştur (Rajak, Nashine, & Verma, 2019).
- iii) NOx emisyonundaki artış, yüksek setan indeksine sahip B100 ile birlikte yüksek oksijen bakımından zengin alkollerin yanmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, birleşik etki, NOx seviyesini artıran gelişmiş

bir yanmaya ve daha yüksek silindir içi sıcaklığa yol açmaktadır (Satputaley ve ark., 2017).

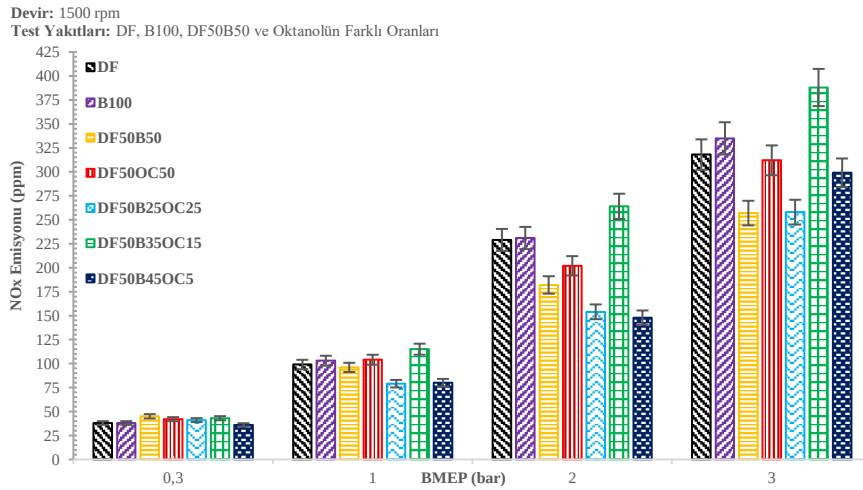
- iv) Daha düşük NO_x emisyonları, düşük setan indeksi, daha uzun TG süresi ve silindir sıcaklığını düşüren ve daha düşük NO_x oluşumuna neden olan ağır veya hafif alkollerin daha yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle daha yüksek karışım oranlarında ve düşük yüklerde gözlenmektedir (Kuleshov, 2005). Bununla birlikte, döngüsel ısı ilavesi ateşleme gecikmesini kısaltarak daha iyi yanmayı teşvik etmekte, silindir içi sıcaklığı yükseltmekte orta ve yüksek yüklerde NO_x emisyonunu artırmaktadır (Sharon, 2013).

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.26'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NO_x emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 311, 253, 319 ve 281 ppm'dir.



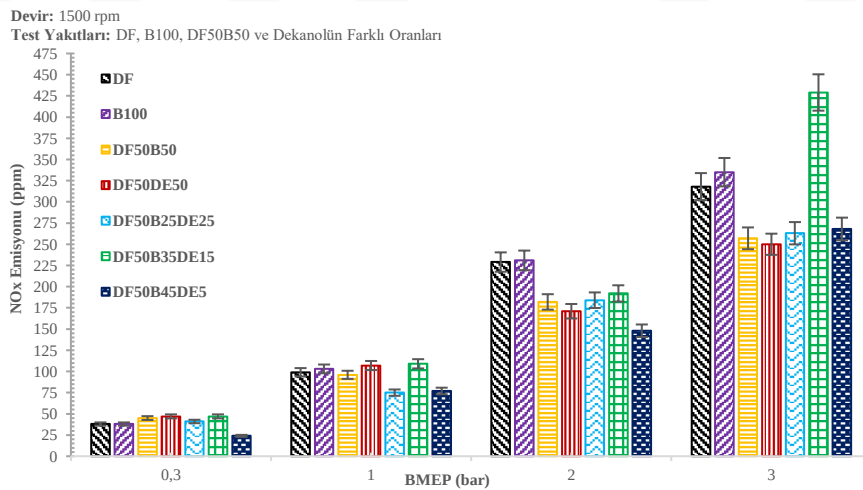
Şekil 4.26. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların NO_x emisyonları

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.27'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NO_x emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 312, 258, 388 ve 299 ppm'dir.



Şekil 4.27. Oktanol ile harmanlanmış yakıtların NOx emisyonları

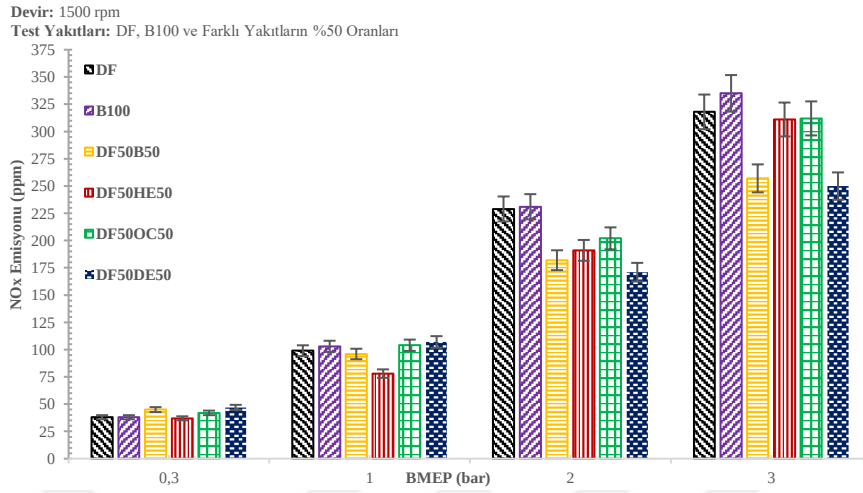
Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NOx emisyon değerleri Şekil 4.28'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NOx emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için NOx emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 250, 263, 429 ve 268 ppm'dir.



Şekil 4.28. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların NOx emisyonları

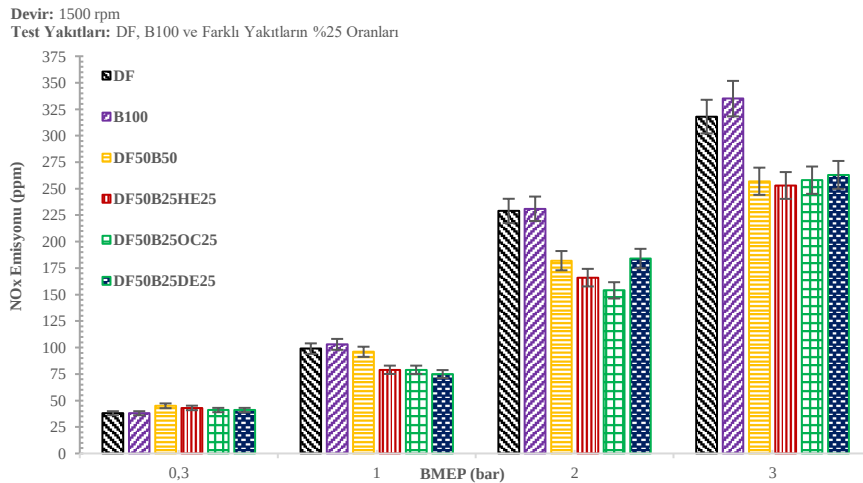
DF, B100, B100 ve AA'lerin %50 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NOx emisyon değerleri Şekil 4.29'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NOx emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50,

DF50HE50, DF50OC50 ve DF50DE50 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 311, 312 ve 250 ppm'dir.



Şekil 4.29. %50 AA içeren farklı yakıtların NO_x emisyonları

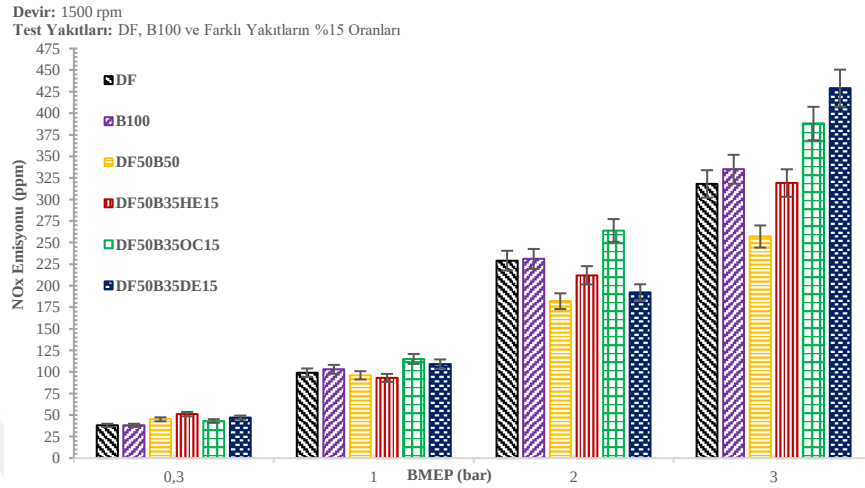
DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %25 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.30'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NO_x emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B25HE25, DF50B25OC25 ve DF50B25DE25 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 253, 258 ve 263 ppm'dir.



Şekil 4.30. %25 AA içeren farklı yakıtların NO_x emisyonları

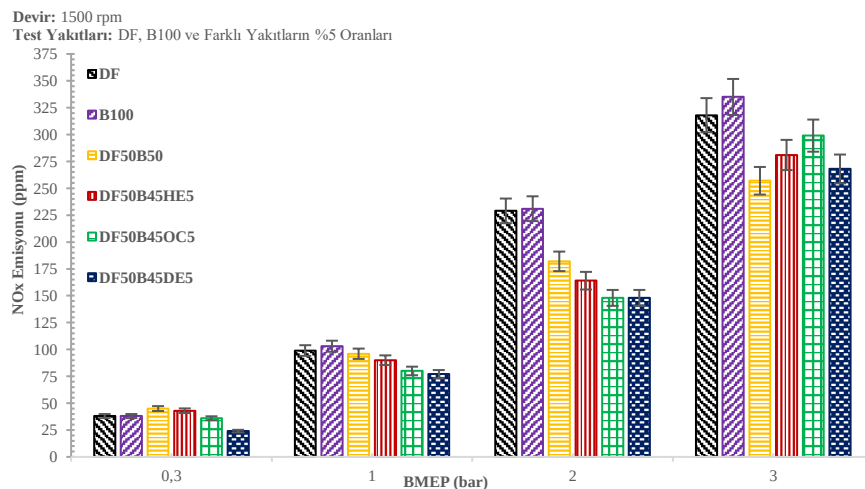
DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %15 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NO_x emisyon değerleri Şekil

4.31'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NO_x emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B35HE15, DF50B35OC15 ve DF50B35DE15 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 319, 388 ve 429 ppm'dir.



Şekil 4.31. %15 ağır alkol içeren farklı yakıtların NO_x emisyonları

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %5 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için NO_x emisyon değerleri Şekil 4.32'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların NO_x emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde maksimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B35HE5, DF50B35OC5 ve DF50B35DE5 yakıtları için NO_x emisyon değerleri sırasıyla 318, 335, 257, 281, 299 ve 268 ppm'dir.



Şekil 4.32. %5 AA içeren farklı yakıtların NO_x emisyonları

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde NOx emisyonları özetlenecek olursa;

- i) Motor testlerinden elde edilen sonuçlara göre, genel eğilim, silindir içi gaz sıcaklığının artması nedeniyle motor yüküyle birlikte NOx emisyonunun artmasıdır. NOx, silindir sıcaklıklarındaki artış nedeniyle test edilen tüm karışımlar için BMEP'deki artışla birlikte artmıştır. Bu da yüksek yüklerin tipik olarak daha yüksek sıcaklıklar ve basınçlarla daha iyi yanma sağlaması nedeniyle beklenen bir durumdur.
- ii) Tekli yakıtlardan B100 yakıtı DF ile kıyaslandığında motor yükünün artmasıyla daha yüksek miktarda NOx emisyonu üretmiştir. NOx emisyon özelliklerini, doymamışlık derecesi, setan indeksi ve yakıt iyot değeri önemli ölçüde etkilemektedir. Bir veya daha fazla çift bağa sahip olan doymamış yağ asitleri daha düşük yanma sıcaklıklarında yanma eğilimi özelliğini kazandırır. Çalışmamızda biyodizele sentezlediğimiz yağın ağırlıkça doymamış YA bileşimi %88.5, doymamışlık derecesi 147.3 ve iyot sayısı 128 olup DF'den daha yüksek NOx emisyonu üretmiştir. Gerçekleştirilen başka çalışmalarda ise atık kızartma yağının ağırlıkça doymamış YA bileşimi %54.24 ve doymamışlık derecesi 76.18 olduğunu ve bu yağı biyodizele sentezleyip motorda yaktıklarında DF'ye kıyasla daha düşük NOx emisyonlarının oluştuğu raporlanmıştır.
- iii) Üçlü yakıt karışımlarından en düşük NOx emisyon değerleri AA fraksiyonlarının %5 olduğu test yakıtları tarafından üretilmiştir. Bunun arkasındaki sebebin AA'lerin ve B100'ün muhtevasında var olan oksijen ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Literatürden elde edilen verilere göre B100'ün oksijen içeriği %ağırlıkça 10.50-10.80'dir. Hekzanol, oktanol ve dekanolün oksijen içeriği ise sırasıyla %15.70-%16.0, %12.20-%13.0 ve %10.10-%10.30 şeklindedir. %5 AA fraksiyonları ile oluşturulan yakıtların üretmiş olduğu NOx emisyon değerleri %ağırlıkça oksijen muhtevası ile genel olarak uyum göstermektedir. En düşük oksijen muhtevasına sahip dekanolün %5 fraksiyonu ile oluşturulan DF50B45DE5 yakıtı hekzanol ve oktanolün %5 fraksiyonu ile oluşturulmuş yakıtlara kıyasla daha düşük NOx emisyonu üretmiştir.

- iv) İkili yakıt karışımlarından DF50HE50 yakıtının düşük yüklerdeki NO_x emisyonu diğer tekli ve iki karışimli yakıtlara kıyasla düşük olmasına rağmen artan yükler ile beraber NO_x emisyon miktarı oldukça artmıştır. Bu durumun arkasındaki sebebin hekzanolün buharlaşma gizli ısısı oldukça yüksek ve SS'da oldukça düşüktür. TG süresinin uzamasına neden olan bu özellikler düşük ve orta yüklerde uygunsuz yanmaya neden olur. Silindir içi sıcaklığın düşük olmasından ötürü NO_x emisyon üretim miktarı azdır. Ancak TG süresince enjekte edilip buharlaşma gizli ısısından dolayı ortamdan ısı çekme durumu motor yükünün artmasıyla beraber ortadan kalkarak hatta yanmayarak biriken yakıtın yanması neticesinde kümülatif ısı eklenmesi nedeniyle silindir içi sıcaklıklar artar. Bu nedenle yanma özellikleri iyileşerek emisyon konsantrasyonunda daha fazla miktarda NO_x emisyonu oluştuğu düşünülmektedir.
- v) Üçlü yakıt karışımlarından en düşük NO_x emisyon değerleri düşük ve orta yüklerde dekanolün olduğu karışımlar sağlamıştır. Literatür verilerine göre DF'nin buharlaşma gizli ısısı 270-280 MJ/kg, B100'ün 300-310 MJ/kg'dır. Hekzanol, oktanol ve dekanolün gizli buharlaşma ısıları sırasıyla 486, 315.10 ve 494.8 MJ/kg'dır. Görüldüğü gibi en yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olan dekanoldür. Bu özelliğinden dolayı düşük ve orta motor yüklerinde silindir içi soğuma etkisine neden olurken artan motor yükleri ile beraber silindir içinde meydana gelen sıcaklık artışlarından dolayı buharlaşma gizli ısısı özelliği etkisiz kalarak, yüksek kalorifik değerinden ötürü meydana gelen yüksek sıcaklık ile beraber maksimum yüklerde NO_x emisyonu artış göstermiştir.

4.3.2.2. Karbon monoksit emisyonları

Kinematik viskozite ve yoğunluk, dizel motorlar için temel yakıt özellikleri olmaları nedeniyle B100 ve DF standartlarının gerektirdiği parametrelerdir. SAM'da, sıvı yakıt sıkıştırılmış havaya püskürtülür ve nozul çıkışına yakın küçük damlalar halinde atomize edilir. Sıvı yakıt genellikle nozul çıkışında koni şeklinde bir sprey oluşturur ve viskozitesi atomizasyon kalitesini, yakıt damlasının boyutunu ve penetrasyonu etkiler (Heywood, 1988; Lichty, 1967). Yoğunluk, motor performans özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir yakıt özelliğidir. Setan sayısı ve kalorifik değeri gibi birçok

performans özelliği yoğunlukla ilişkilidir (Tat ve Van Gerpen, 2000). Öte yandan, DF enjeksiyon sistemleri yakıtı hacim olarak ölçer. Dolayısıyla, yakıt yoğunluğundaki değişiklikler, enjekte edilen farklı yakıt kütlesi nedeniyle motor çıkış gücünü etkileyecektir (Bahadur ve ark., 1995). Yakıtların yoğunluğu ve viskozitesi enjeksiyonun başlangıcını, enjeksiyon basıncını ve yakıt püskürtme karakteristiğini etkiler, böylece motor performansını, yanmayı ve egzoz emisyonlarını etkiler (Alptekin ve Canakci, 2008). Testlerde kullanılan yakıtlardan DF dışındaki yakıtların tamamı yük artışı ile beraber CO emisyonlarında azalma sağlarken sadece DF testlerin gerçekleştirildiği maksimum yük olan BMEP = 3 bar'da önemsiz bir miktar CO emisyonu artışına neden olmuştur. Yakıtın tamamen yanmadığını, daha yüksek yanma sıcaklıkları ve tam yanma için yeterli oksijen miktarı ile azalan CO emisyonu, Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te görülebileceği üzere artan motor yükü ile azalmaktadır.

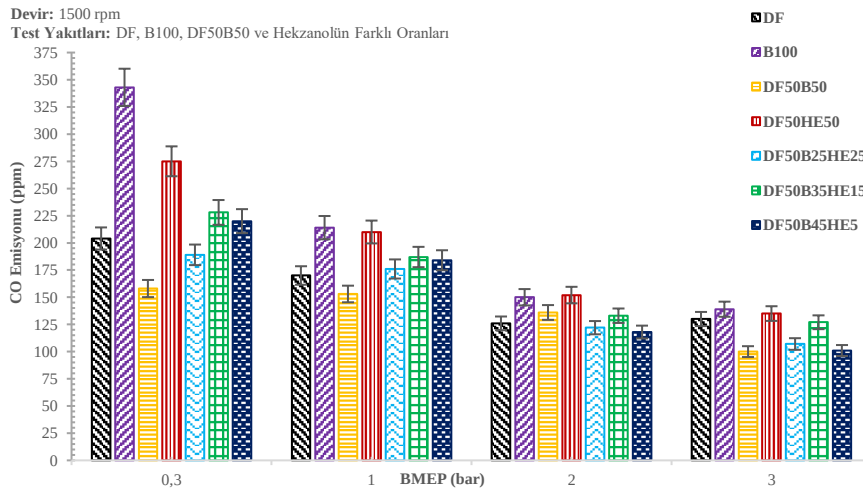
DF ile B100 kıyaslandığında, biyodizelin üretmiş olduğu CO miktarı her yükte DF'den daha fazladır. B100'ün DF'ye kıyasla daha yüksek yoğunluğu, motor çevrimi başına enjekte edilen hacimsel yakıt miktarını artırarak CO oluşumunu artırmaktadır. Bu durum, DF'nin genellikle B100'den daha fakir hava/yakıt karışımları ile yanma prosesinin tamamlanmasına neden olur. Biyodizelin DF'ye kıyasla daha yüksek viskozitesi (Alptekin, 2008; Candeia ve ark., 2009) zor yakıt atomizasyonuna ve sonuç olarak eksik yanmaya neden olarak CO oluşumunu artıran olası bir ek neden olabilir (Heywood, 1988). DF ve B100 eşit fraksiyonlarda alınıp elde edilen DF50B50 yakıtının üretmiş olduğu CO emisyonları incelendiğinde ise hem DF'den hemde biyodizelden daha düşük olduğu görülecektir. Biyodizel ve DF'nin harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtın biyodizele kıyasla viskozitesi ve yoğunluğunun düşmesi neticesinde yakıtın püskürtme karakteristiklerini iyileştirmesi, kalorifik değerini artırması ile yanma prosesi iyileşerek CO üretiminde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, dizel ve B100 yakıtların harmanlanması ile biyoyakıtların muhteviyatında doğal olarak bulunan oksijen, yanma sonunda meydana gelen emisyon konsantrasyonunda CO emisyonlarını azaltmaktadır. Atmosfer havasında bulunan oksijenin aksine, yakıt bazlı oksijen, yakıt bakımından zengin püskürtme düzenleri içerisinde yanma sürecini hızlandırır. Biyodizel moleküllerinden gelen alevdeki artan oksijen içeriği daha eksiksiz bir yanma sağlayarak CO emisyonlarının azaltılmasında ana neden olarak gösterilebilir (Aydın ve Bayindir, 2010).

İkili yakıt karışımlarından DF50B50'den sonra en düşük CO emisyonu $C_9H_{19}OH$ ile eşit fraksiyonlarda DF ile oluşturulmuş DF50DE50 yakıtı ile elde edilmiştir.

Kullanılan $C_6H_{13}OH$, $C_8H_{17}OH$ ve $C_9H_{19}OH$ oksijen muhtevası bakımından kıyaslandığında en düşük olanı $C_9H_{19}OH$ 'dır. Bu alkoller kinematik viskozite, kalorifik değer ve SS bakımından kıyaslandığında ise en yüksek değerlere sahip olan $C_9H_{19}OH$ 'dır. Bunlara ek olarak diğer AA'lere göre muhtevasında daha düşük oksijene sahip olmasına rağmen DF'ye göre daha yüksek oksijen muhtevasına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde yanma prosesini iyileştirerek CO emisyon üretimi düşmüştür.

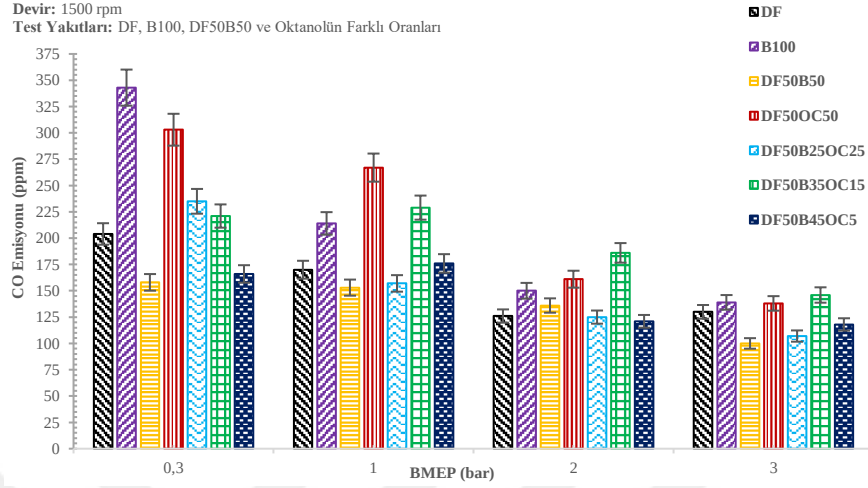
Üçlü yakıt karışımlarından B100 ve AA'lerin %25'er eşit fraksiyonlarda alınarak oluşturulan yakıtlarda ise artan motor yüklerinde DF50B25HE25, DF50B25OC25 ve DF50B25DE25 birbirine yakın CO emisyonları üretirken, daha düşük yüklerde DF50B25HE25 ve DF50B25OC25 yakıtları daha yüksek CO emisyonu üretmişlerdir. Düşük ve orta devirlerde silindir içi sıcaklık düşüktür ayrıca $C_9H_{19}OH$ 'a göre yüksek buharlaşma gizli ısıya sahip olan $C_6H_{13}OH$ ve $C_8H_{17}OH$ 'ın bu özelliğinden dolayı ortamdan ısı çekilmek sureti ile uygunsuz yanmaya neden olarak yüksek CO emisyonları üretmişlerdir. Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için CO emisyon değerleri Şekil 4.22'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 135, 107, 127 ve 101 ppm'dir.



Şekil 4.33. Hekzanol ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları

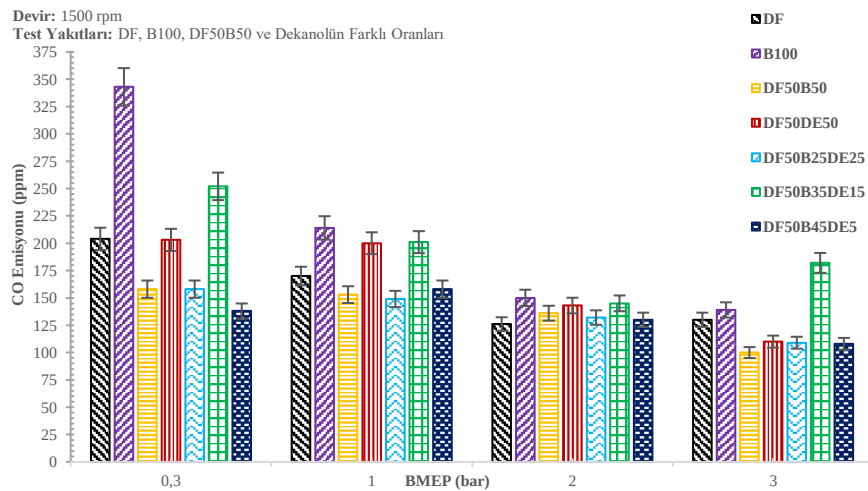
Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için CO emisyon değerleri Şekil 4.34'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde minimum

değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 138, 107, 146 ve 118 ppm'dir.



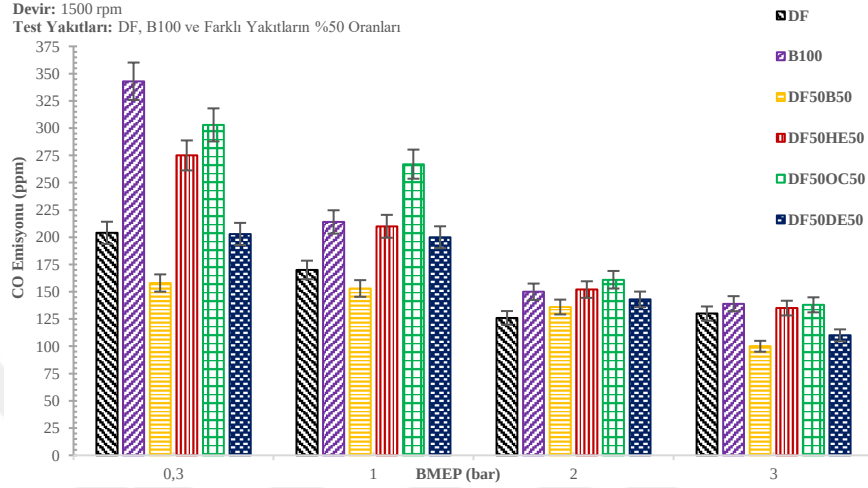
Şekil 4.34. Oktanöl ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları

Dekanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için CO emisyon değerleri Şekil 4.35'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde DF50B35DE15 yakıtı hariç diğerleri minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 110, 109, 182 ve 108 ppm'dir.



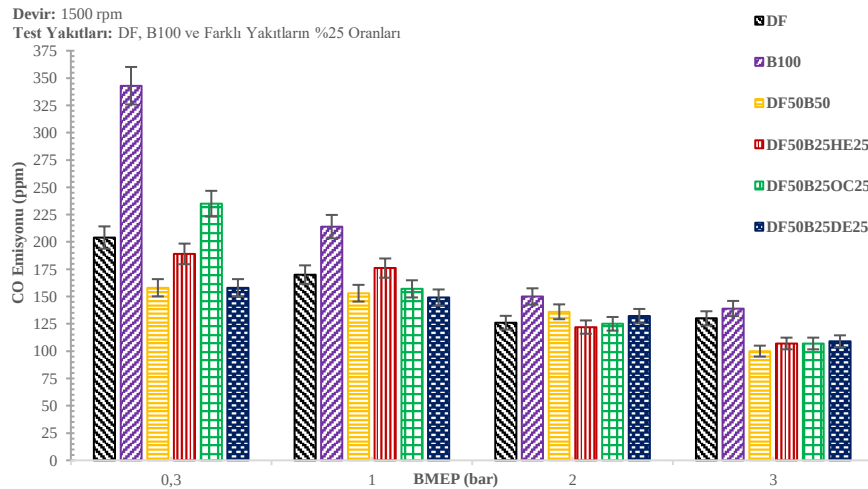
Şekil 4.35. Dekanol ile harmanlanmış yakıtların CO emisyonları

DF, B100, B100'ün ve AA'lerin %50 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devri ve farklı yükler için CO emisyon değerleri Şekil 4.36'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerleri maksimum yüklerde minimumdur. Maksimum yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50OC50 ve DF50DE50 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 135, 138 ve 110 ppm'dir.



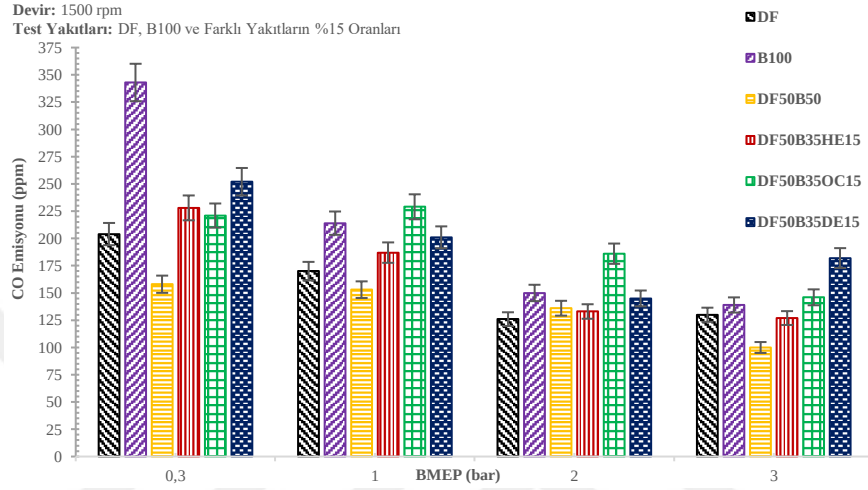
Şekil 4.36. %50 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %25 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için CO emisyon değerleri Şekil 4.37'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B25HE25, DF50B25OC25 ve DF50B25DE25 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 107, 107 ve 109 ppm'dir.



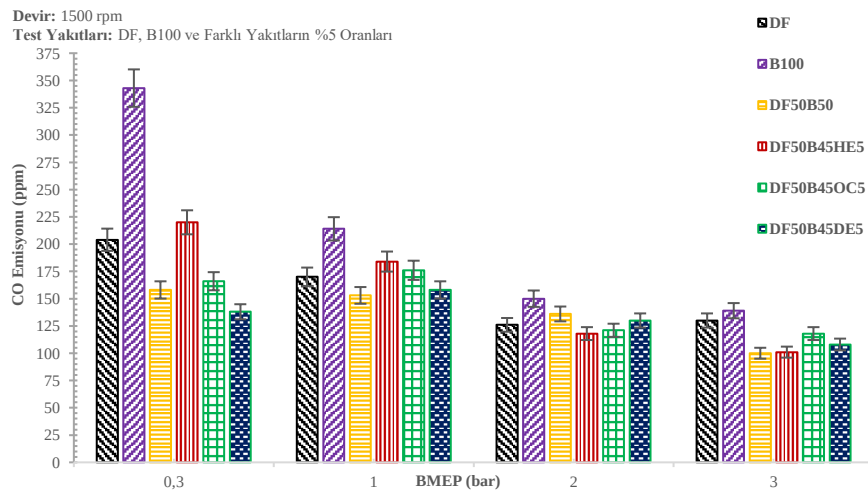
Şekil 4.37. %25 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %15 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için CO emisyon değerleri Şekil 4.37'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum test yüklerinde DF50B35DE15 hariç diğer yakıtlar minimum değerlerdedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B35HE15, DF50B35OC15 ve DF50B35DE15 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 107, 107 ve 109 ppm'dir.



Şekil 4.38. %15 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %5 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devri ve farklı yükler için CO emisyon değerleri Şekil 4.39'daki gibidir. Yakıtların CO emisyon değerlerinin maksimum yüklerde minimumdur. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B45HE5, DF50B45OC5 ve DF50B45DE5 yakıtları için CO emisyon değerleri sırasıyla 130, 139, 100, 101, 118 ve 108 ppm'dir.



Şekil 4.39. %5 AA içeren farklı yakıtların CO emisyonları

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde CO emisyonları özetlenecek olursa;

- i) Dizel enjeksiyon sistemleri yakıtı hacim olarak ölçer. Dolayısıyla, yakıt yoğunluğundaki değişiklikler, enjekte edilen farklı yakıt kütlesi nedeniyle motor çıkış gücünü etkilemektedir. Ayrıca yakıtların yoğunluğu ve viskozitesi enjeksiyonun başlangıcını, enjeksiyon basıncını ve yakıt püskürtme karakteristiğini etkiler, böylece motor performansını, yanmayı ve egzoz emisyonlarını etkilediği açıktır. Test yakıtlarından DF ve DF50B35DE15 dışındaki yakıtların tamamı yük artışı ile beraber CO emisyonlarında azalma sağlarken sadece bu iki test yakıtı maksimum yükte önemsiz bir miktar CO emisyonu artışına neden olmuştur. Daha yüksek yanma sıcaklıkları ve tam yanma için yeterli oksijen miktarı ile azalan CO emisyonu, genel olarak artan motor yükü ile azalmaktadır.
- ii) Tekli yakıtlardan DF ile B100 kıyaslandığında, her motor yükünde B100'ün üretmiş olduğu CO emisyonu DF'den daha yüksektir. B100'ün DF'ye kıyasla daha yüksek yoğunluğu, motor çevrimi başına enjekte edilen kütleli yakıt miktarını artırarak CO oluşumunu artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca B100'ün DF'ye kıyasla daha yüksek viskozitesi kötü yakıt atomizasyonuna ve sonuç olarak eksik yanmaya neden olarak CO oluşumunu artıran olası bir ek neden olduğu düşünülmektedir.
- iii) DF50B50 yakıtının CO emisyonları diğer tüm tekli ve ikili yakıt karışımlarına kıyasla daha düşüktür. Bu yakıtın B100'e kıyasla viskozitesi ve yoğunluğunun düşmesi neticesinde yakıtın püskürtme karakteristiklerini iyileştirmesi, kalorifik değerini artırması ile yanma prosesi iyileşerek CO üretiminde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. DF ve B100 yakıtların harmanlanması ile biyoyakıtların muhteviyatında doğal olarak bulunan oksijen, yanma sonunda meydana gelen emisyon konsantrasyonunda CO emisyonlarını azaltmaktadır.
- iv) Tekli yakıtlar kıyaslandığında ise B100'ün üretmiş olduğu CO emisyonu DF'den daha yüksektir. DF'ye kıyasla daha yüksek yoğunluğu, motor çevrimi başına enjekte edilen kütleli yakıt miktarını artırarak CO oluşumunu artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca DF'ye kıyasla daha yüksek viskozitesi kötü yakıt

atomizasyonuna ve sonuç olarak eksik yanmaya neden olarak CO oluşumunu artıran olası bir ek neden olduğu düşünülmektedir.

- v) DF50B50'den sonra en düşük CO emisyonu DF50DE50 yakıtı ile elde edilmiştir. AA'lerde oksijen muhtevası bakımından en düşük dekanoldür. Ayrıca kalorifik değer ve SS bakımından kıyaslandığında ise en yüksek değerlere sahip olması yanmayı iyileştirerek CO emisyonunu azaltmış olabileceği düşünülmektedir.
- vi) Hekzanol ve oktanol ile DF'nin harmanlanması neticesinde oluşturulan yakıtlar oksijen muhtevası bakımından dekanole göre avantaj sağlarken, kalorifik değer ve SS'si gibi yanmayı ve yanma sonu sıcaklığını doğrudan etkileyen özellikler dekanole göre oldukça düşüktür. Bu iki özellik oksijen muhtevası avantajını domine edip yanmayı kötüleştirerek CO emisyon üretimini artırmış olduğu düşünülmektedir.
- vii) %5 AA fraksiyonu ile oluşturulan üçlü karışım yakıtlarının arasında dekanol ile oluşturulan yakıt genel olarak bütün yüklerde en düşük CO emisyonu üretmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi AA'ler içerisinde en düşük oksijen muhtevasına sahip olan dekanoldü. Ancak bu üçlü yakıt karışımında B100'ün fraksiyonu %45 olduğundan elde edilen yakıt oksijen içeriği bakımından zengin duruma gelmiştir, ayrıca dekanolün diğer alkollere kıyasla daha yüksek kalorifik değeri ve SS'sinden ötürü yanmayı iyileştirmesi neticesinde daha düşük CO emisyonu ürettiği düşünülmektedir.

4.3.2.3. Duman koyuluğu

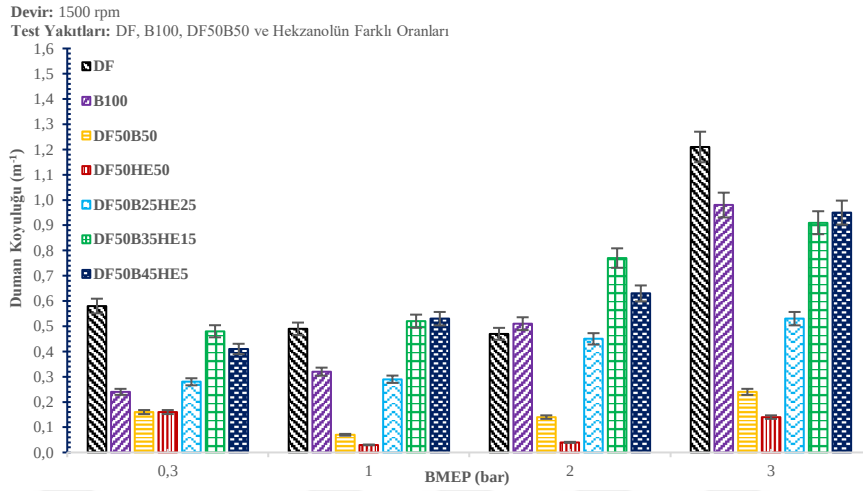
Birincil kurum oluşumu ve oluşan kurum oksidasyonu, SAM'ın egzoz manifoldundan atılan kurum için katkıda bulunan iki süreçtir. Her ikisi de moleküler çarpışma oranına ve yakıt parçalarının konsantrasyonuna bağlıdır; kurum oksidasyon sürecinde moleküllerin aynı anda karbon ve oksijen içermesi gerekir. Bu nedenle, ateşleme anındaki yakıt konsantrasyonu ve yanma sırasındaki mevcut oksijen konsantrasyonu, sırasıyla hem kurum oluşumu hem de kurum oksidasyonu oranı üzerinde temel olarak etkilidirler. Fosil kökenli DF'ye B100 eklenmesinden dolayı, karbonun azalması (daha az C-C bağı) ve karışım yakıtlardaki O₂ içeriğinin artması nedeniyle is azalmaktadır (Tan ve ark., 2012). Bu durumu başka bir şekilde ifade edecek olursak; Yanma bölgelerindeki oksijenin yetersizliğinden dolayı uzun zincirli HC moleküllerin

termal olarak kırılması sonucu partikül ve is (DK) emisyonları oluşmaktadır (Schmidt ve Van Gerpen, 1996). Yakıtların, moleküler yapısındaki oksijen muhteviyatı DK'yi etkileyen en önemli faktörlerdendir. B100 kullanımındaki DK değerlerinde azalmalar görülmektedir. Bu durumun temel nedeni, biyodizelin oksijen muhteviyatının yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını artırmasıdır. Ayrıca, biyodizelin hemen hemen hiç aromatik bileşik içermemesi partikül ve is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Fosil kökenli DF'lerin aromatik bileşikler içermesi is ve partikül emisyonlarının daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir (Özsezen ve Çanakçı, 2009). Dizel motorlarda duman oluşumu, yakıtın kinematik viskozitesi, yakıtın yanma potansiyelini ve enerji içeriğini belirleyen C/H oranı, yakıt enjeksiyon zamanlaması, yanma sırasında silindir içerisindeki mevcut oksijen konsantrasyonu, ateşleme anındaki yakıt konsantrasyonu ve yakıtın atomizasyon kalitesi duman oluşumunu etkileyen başlıca parametrelerdir (Mohammadi ve ark., 2012) Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de görüldüğü gibi, sabit devirli bir motorda, aynı güç çıkışını elde etmek için, daha fazla yakıt enjekte edilmesi nedeniyle daha yüksek yüklerde daha fazla miktarda duman emisyonları meydana gelmiştir.

Bütün yakıtlara kıyasla DF'nin üretmiş olduğu is emisyonu en yüksektir. B100 yakıtı da yüksek is emisyonu üretmiştir. B100 muhtevasında oksijen bulundurmasına rağmen yüksek viskozite probleminden kaynaklanan kötü atomizasyon ve püskürtme özelliklerinden dolayı DF'den sonra yüksek miktarda duman emisyonu üretmiştir. DF, B100 ve AA'ler eşit fraksiyonlarda alınıp oluşturulan ikili yakıtlar DF50B50, DF50HE50, DF50OC50 ve DF50DE50 bütün motor yüklerinde duman emisyonu bakımından çok iyi performans göstermişlerdir. Bu yakıtlar için duman opaklığının azalmasında B100 ve AA'lerin yüksek oksijen içeriğinden dolayı yanma prosesinin iyileşmesi neden olduğu düşünülmektedir. DF'nin %50 fraksiyonunda sabit tutulup AA fraksiyonlarının %25, %15 ve %5 oranlarına düşürülerek elde edilen yakıtlarda ise AA fraksiyon oranının en düşük olduğu karışımlar is emisyonu bakımından kötü performans sergilemişlerdir. Üçlü karışımlarda AA fraksiyonu düştükçe B100 fraksiyonu artarak yakıt yoğunluğunu artmıştır. Artan yakıt yoğunluğu daha fazla karbon ve hidrojen içerir ve yanma sırasında daha fazla kirletici madde oluşturularak is emisyonunu artırmıştır.

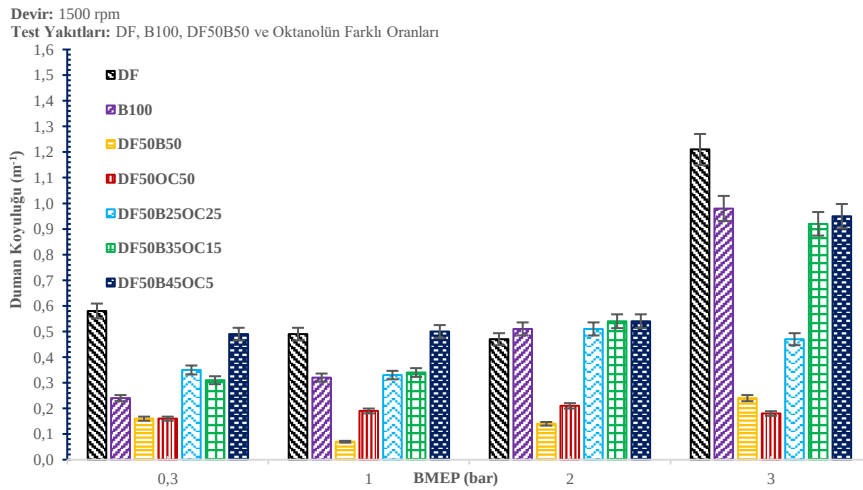
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit devirde farklı yükler için DK değerleri Şekil 4.40'taki gibidir. Yakıtların DK değerlerinin maksimum yüklerde maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100,

DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.14, 0.53, 0.91 ve 0.95 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.40. Hekzanol ilavesinin DK üzerine etkisi

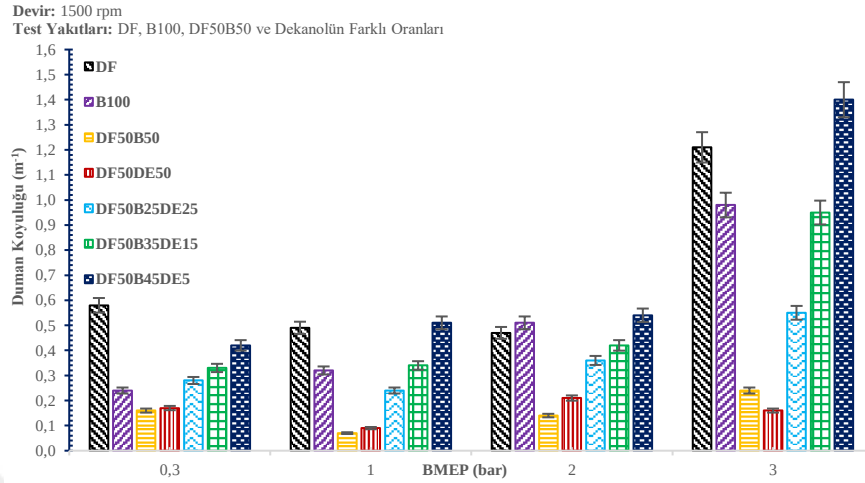
Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için DK değerleri Şekil 4.41'deki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların DK değerlerinin DF50OC50 yakıtı dışında diğer yakıtların maksimum test yüklerinde maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.18, 0.47, 0.92 ve 0.95 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.41. Oktanöl ilavesinin DK üzerine etkisi

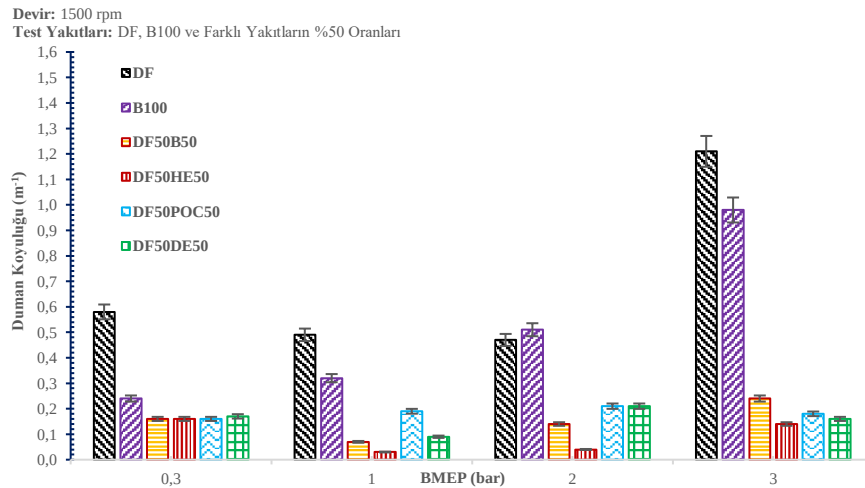
Dekanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit devirde farklı yükler için DK değerleri Şekil 4.42'deki gibidir. Yakıtların DK değerlerinin DF50DE50

hariç, diğerlerinin 3 bar'lık yükte maksimum olduğu görülmektedir. 3 bar'da DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.16, 0.55, 0.95 ve 1.40 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.42. Dekanol ilavesinin DK üzerine etkisi

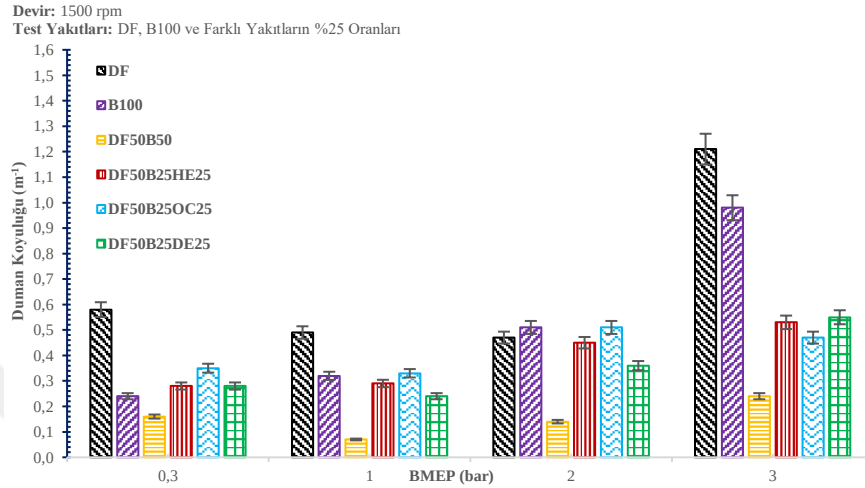
AA'lerin %50 fraksiyonları ile oluşturulan yakıtların, sabit devirde farklı yükler için DK değerleri Şekil 4.43'teki gibidir. Yakıtların DK değerlerinin DF50HE50 ve DF50DE50 dışındakilerin, 3 bar'lık yükte maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50OC50 ve DF50DE50 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.14, 0.18 ve 0.16 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.43. %50 AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi

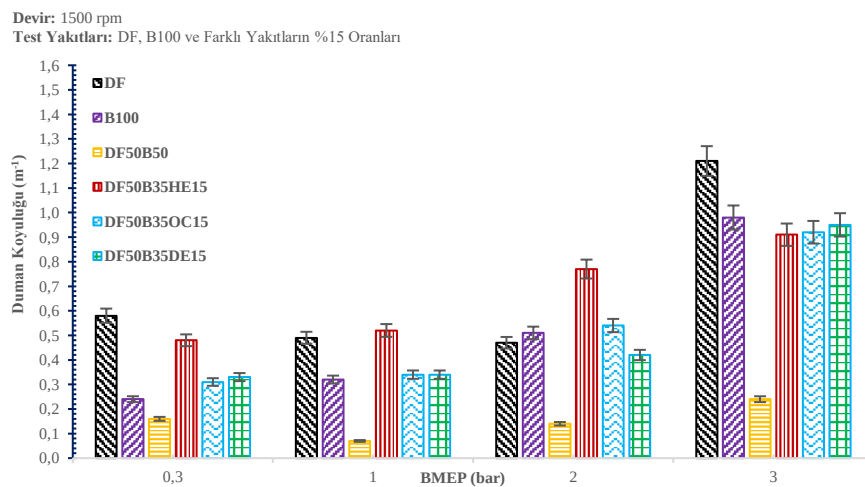
DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %25 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için DK değerleri Şekil 4.44'teki

gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların DK değerlerinin DF50B25OC25 yakıtı dışında diğer yakıtların maksimum test yüklerinde maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B25HE25, DF50B25OC25 ve DF50B25DE25 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.53, 0.47 ve 0.55 m^{-1} 'dir.



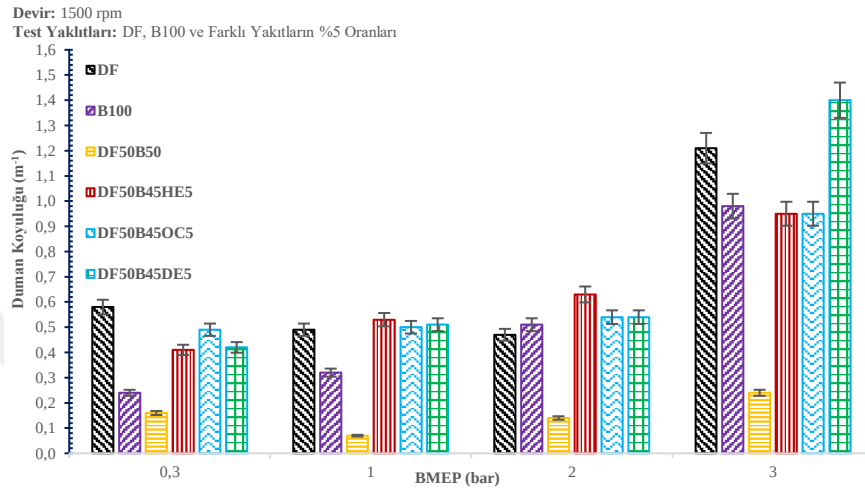
Şekil 4.44. %25 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %15 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için DK değerleri Şekil 4.45'teki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların maksimum test yüklerinde maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B35HE15, DF50B35OC15 ve DF50B35DE15 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.91, 0.92 ve 0.95 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.45. %15 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi

DF, B100, B100'ün %50 ve AA'lerin %5 fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde farklı motor yükleri için DK değerleri Şekil 4.46'daki gibidir. Grafikten, test edilen yakıtların maksimum test yüklerinde maksimum değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yükte DF, B100, DF50B50, DF50B45HE5, DF50B45OC5 ve DF50B45DE5 yakıtları için DK emisyon değerleri sırasıyla 1.21, 0.98, 0.24, 0.95, 0.95 ve 1.40 m^{-1} 'dir.



Şekil 4.46. %5 farklı AA'lerin ilavesinin DK üzerine etkisi

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde DK emisyonları özetlenecek olursa;

- i) Bütün test yakıtlarında yük artışı ile beraber DK emisyonu artmıştır. Aynı güç çıkışını elde etmek için, daha fazla yakıt enjekte edilmesi nedeniyle daha yüksek yüklerde daha fazla miktarda DK emisyonları meydana geldiği düşünülmektedir.
- ii) DF'nin DK emisyonunun genel eğilimi diğer yakıtlardan daha yüksektir. Yakıtların, moleküler yapısındaki oksijen muhteviyatı DK emisyonunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Muhteviyatında O_2 bulunmasına rağmen B100'de DF'den sonra en yüksek DK emisyonunu üretmiştir. Muhteviyatında oksijen bulundurmasına rağmen yüksek viskozite probleminden kaynaklanan kötü atomizasyon ve püskürtme özelliklerinin bir sonucu olarak DF'den sonra yüksek miktarda duman emisyonu üretmiş olduğu düşünülmektedir.
- iii) İkili yakıt karışımları hem tekli yakıtlara hem de üçlü yakıt karışımlarına kıyasla çok düşük DK emisyonu üretmişlerdir. Bu yakıtlar için duman

opaklığının azalmasında B100 ve AA'lerin yüksek oksijen içeriği olduğu düşünülmektedir. Oksijen muhtevası yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını artırmaktadır.

- iv) Ayrıca biyodizel ve tez çalışmasında kullanılan alkoller, alifatik alkol sınıfında olup aromatik (benzen ve türevlerini) bileşiklerini içermezler. Bu özelliklerinden dolayı yüksek fraksiyonlarda bulunduğu yakıt karışımlarında daha düşük DK emisyonu üretmiş olduğu düşünülmektedir. Aromatikler, DF'nin rafinasyonu ile meydana gelen hidrokarbon bileşiklerinde doğal olarak bulunan benzen grubu bileşikler içermesi ise ve partikül emisyonlarının daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.
- v) Gerçekleştirilen analizlerden ve tedarik edilen AA'lerin üretici firma verilerinden B100, heksanol, oktanol ve dekanolün yoğunlukları sırasıyla 886.60, 821.80, 827 ve 829.7 kg/m³'tür. Üçlü karışımlarda AA'lerin fraksiyonu düştükçe B100 fraksiyonu artmıştır. B100'ün artışı ile yakıt yoğunlukları da artmıştır. DK değerinin artmasındaki sebep artan yakıt yoğunluğu olduğu düşünülmektedir. Yoğunluğu fazla olan bir yakıt, daha fazla karbon ve hidrojen içerir ve yanma sırasında daha fazla kirletici madde oluşumu potansiyeline sahiptir. Partikül madde, yanma süreci sırasında oluşan yanmamış HC'ler, kurum ve diğer kirleticilerin katı parçacıklarını ifade eder. Bu parçacıklar, havaya salınarak duman, is veya partikül madde şeklinde görülebilir. Daha yoğun bir yakıt, daha fazla karbon içerdiği için daha fazla partikül madde üretme eğiliminde olup DK'yi artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca AA B100'e ve DF'ye göre oksijen muhtevası yüksektir. AA fraksiyonu azaldıkça üçlü karışım yakıtların oksijen muhtevasının düşmesi de yoğunluğa ek olarak DK miktarının artmasını desteklediği düşünülmektedir.

4.3.3. Yanma parametreleri

Farklı karbon atomlarına sahip AA'lerin (1-heksanol, 1-oktanol ve 1-dekanol) DF ve ATY'den sentezlenen B100 ile hacimsel olarak farklı oranlarda harmanlanması neticesinde hazırlanan alternatif yakıt karışımlarının bir dizel motorda test edilmesiyle ortaya çıkan yanma karakteristiklerinin sabit devir (1500 rpm) ve farklı motor yükü (0.3 bar, 1 bar, 2 bar ve 3 bar) koşullarındaki etkileri (SB, NISH, ve BAO parametreleri) grafikler halinde aşağıdaki bölümlerde sunulmuş ve tartışılmıştır.

4.3.3.1. Silindir basıncı (SB)

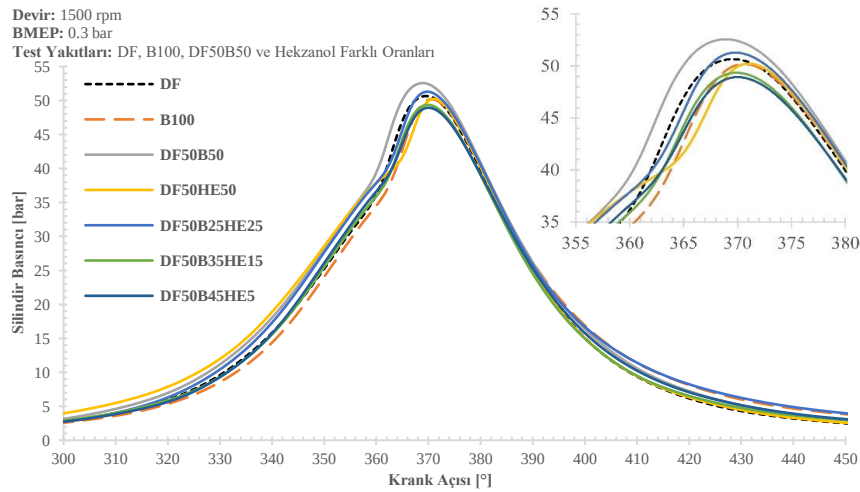
Silindir içi basınç, İYM'ların performans özelliklerini araştırmak için yanma süreci boyunca göz önünde bulundurulması gereken önemli yanma parametrelerindendir. Kontrolsüz yanma safhasına dahil olan yakıt miktarına bağlı bir parametredir (Yeşilyurt ve ark., 2020). Silindir içi pik basınçları, tüm yakıtlar için krank açısının $369^{\circ}\text{KMA} - 371^{\circ}\text{KMA}$ 'da olduğu noktalarda görülmüştür. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler incelendiğinde silindirdeki basınç profilinin test edilen yakıt karışımları için maksimum silindir içi basınçların ÜÖN'den $9-11^{\circ}$ krank açısı sonrasında oluştuğu görülmektedir. Yakıtın silindir içine püskürtülme anının başlangıcı ve yanmanın başlama aralığı olan 355° ile 360°KMA arasındaki süre TG'sinin periyodunu ifade eder. Bu periyotta yakıtın püskürtülmesi ile ortamdan ısı çekilmesi aynı esnada gerçekleştiğinden, basınçtaki artış eğiliminde azalma meydana gelmiştir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak maksimum SB değerlerinin de tüm yakıtlar için yükseldiği görülmektedir.

DF ile kıyaslandığında, biyodizelin kalorifik değerinin daha düşük olması viskozite değerinin yüksek olmasından ötürü yakıt atomizasyonun zayıf özelliklerde olması B100 yakıtının silindir içi maksimum SB'nın referans DF'den daha düşük olacağı düşünülmektedir. Başka bir ifade ile referans DF'nin yüksek kalorifik değeri ve atomizasyon özellikleri nedeniyle B100'e göre daha büyük silindir içi basınç modeliyle sonuçlanması beklenmektedir. Elde edilen sonuçlar beklenenin tam aksi olmuştur. Motorun yüksüz durumu hariç diğer bütün yüklerde B100'ün maksimum SB değeri referans DF'den daha yüksek elde edilmiştir. Ancak, saf B100, B100 ve AA ilaveleri karışım üzerinde motorun yüksüz durumu hariç diğer bütün yüklerde orta düzeyde bir etkiye sahip olmuş ve yakıt karışımındaki oksijen konsantrasyonunu iyileştirmesi neticesinde yanmanın daha verimli olmasına ve verimli yanma sonucunda silindir içindeki maksimum SB'nın artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$, $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$ ve $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{OH}$ gibi AA'lerin yüksek viskozite ve buharlaşma gizli ısılarına sahip olmaları da silindir içi maksimum SB artışına neden olmuştur. Ayrıca, alkollerin buharlaşma gizli ısı değerlerinin referans DF'den daha yüksek olması nedeniyle harmanlandığı yakıtları TG süresini artırmıştır. Bu durumda, silindirin yanma odası sıcaklığının düşmesi ateşlemede gecikmeye yol açması olasıdır. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlara benzer sonuçlar Yeşilyurt ve ark. (2020) tarafından da raporlanmıştır.

AA ile belli oranlarda harmanlanan DF ve B100'ün maksimum SB için literatürde ön plana çıkan önemli noktalar şu şekildedir;

Ağır veya hafif alkollerin setan sayısının dizel yakıttan daha düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesi süresi uzar iken bu süre içerisinde DF'ye kıyasla daha yanıcı yakıt karışımının beslenmesi devam ettiğinden referans DF'ye kıyasla yanma daha yüksek maksimum SB ile sonuçlanır. Maksimum SB'nın bir başka nedeni olarakta AA'nin düşük yoğunluk ve yüksek viskozite değerlerine sahip olmasına rağmen harmanlanması neticesinde viskozitesinin düşmesinden ötürü püskürtme özelliklerinin iyileşmesine yol açtığı ve dolayısıyla yanma odasında daha iyi hava-yakıt karışımı sağlanabileceği ve bunun da silindir içi maksimum SB artışına neden olduğu vurgulanmıştır. Bir başka çalışmada alkollerin düşük SS nedeniyle yanmanın başlama aşamasında geri kaldığı için TG süresi sonunda aniden daha fazla yakıtın yandığını tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yakıt karışımlarına alkol ilavesi ile silindir içi maksimum SB artan yükler ile yükselmiştir (Yeşilyurt ve ark., 2020; Qi ve ark., 2010; Anbarasu ve ark., 2013; Örs ve ark., 2017).

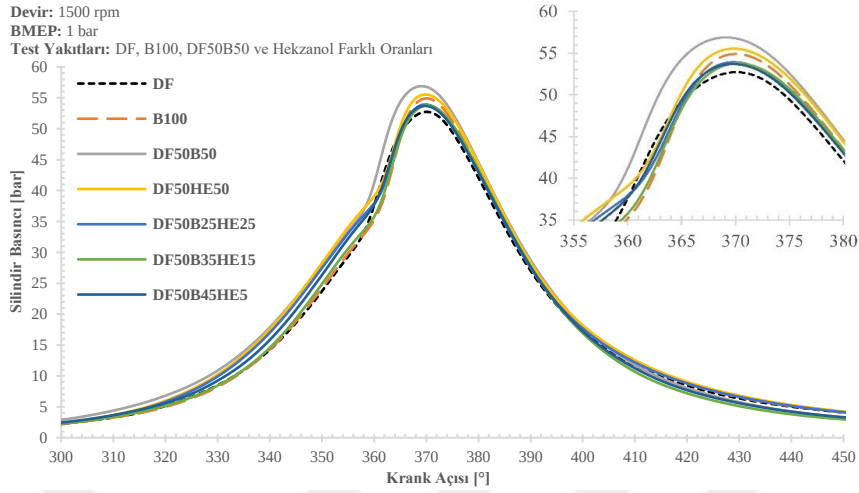
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrindeki ve 0.3 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.47'de görüldüğü gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 51.91 bar, 50.56 bar, 53.63 bar, 50.24 bar, 51.29 bar, 49.36 bar ve 48.94 bar'dır.



Şekil 4.47. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar)

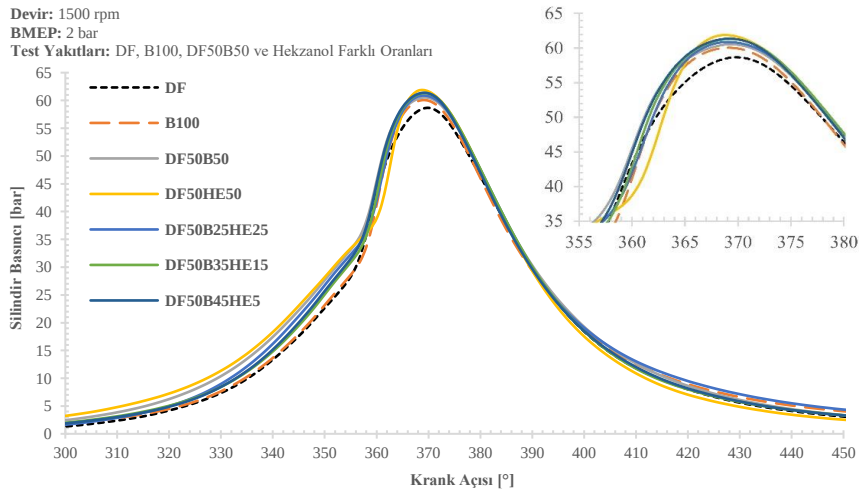
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.48'deki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15

ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 52.70 bar, 54.90 bar, 56.89 bar, 55.54 bar, 53.92 bar, 53.77 bar ve 53.68 bar'dır.



Şekil 4.48. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar)

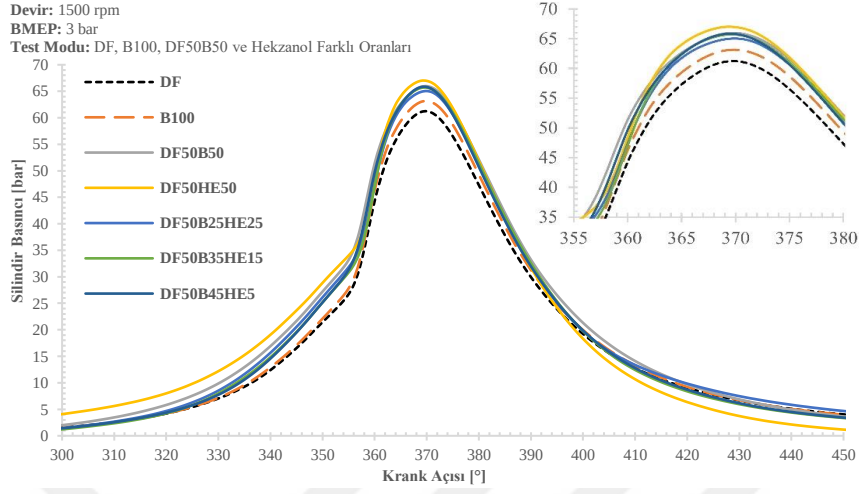
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.49'daki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 58.66 bar, 60.07 bar, 60.53 bar, 61.87 bar, 60.88 bar, 61.31 bar ve 61.37 bar'dır.



Şekil 4.49. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (2 bar)

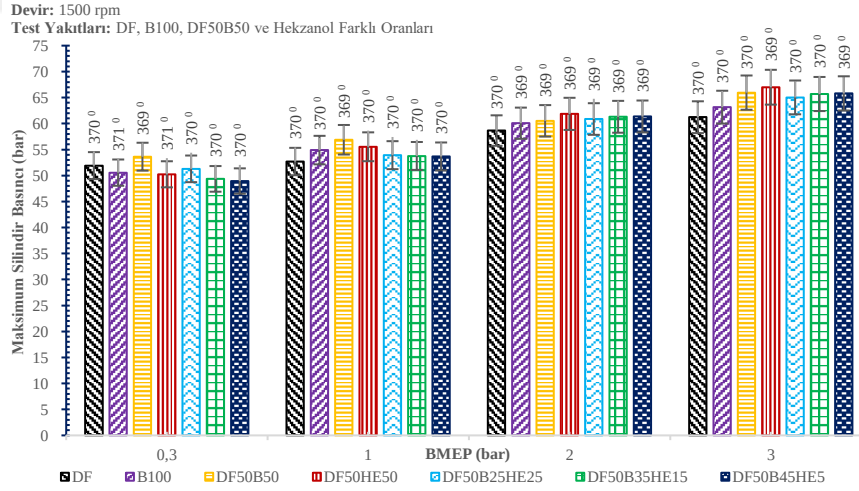
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.50'deki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15

ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 61.23 bar, 63.16 bar, 65.96 bar, 67.00 bar, 65.04 bar, 65.69 bar ve 65.81 bar'dır.



Şekil 4.50. Hekzanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (3 bar)

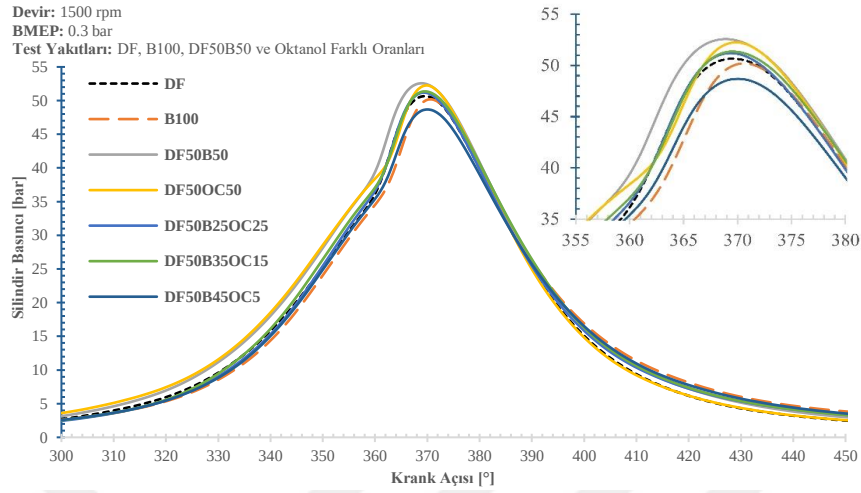
Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum SB değerlerinin elde edildiği $^{\circ}\text{KMA}$ 'lar Şekil 4.51'deki gibidir.



Şekil 4.51. Hekzanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin olduğu KA

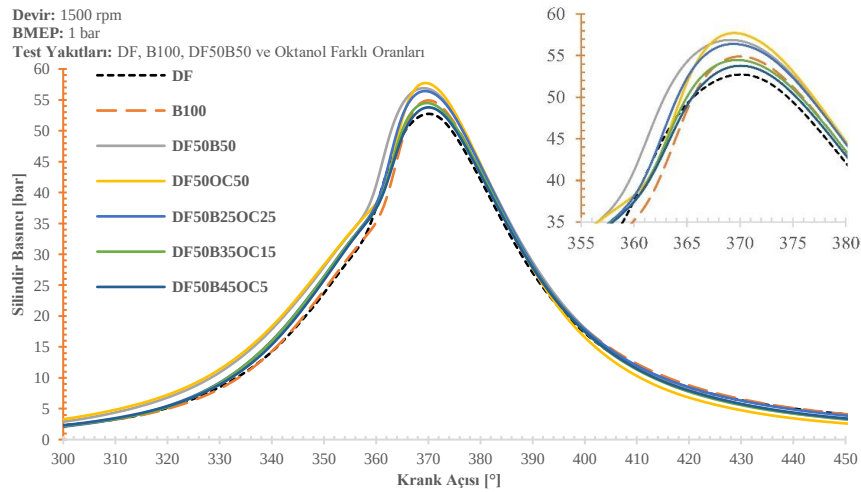
Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki silindir basınçlarının krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.52'de görüldüğü gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum silindir

basıncı değerleri sırasıyla 51.91 bar, 50.56 bar, 53.63 bar, 52.25 bar, 51.17 bar, 51.33 bar ve 48.68 bar'dır.



Şekil 4.52. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar)

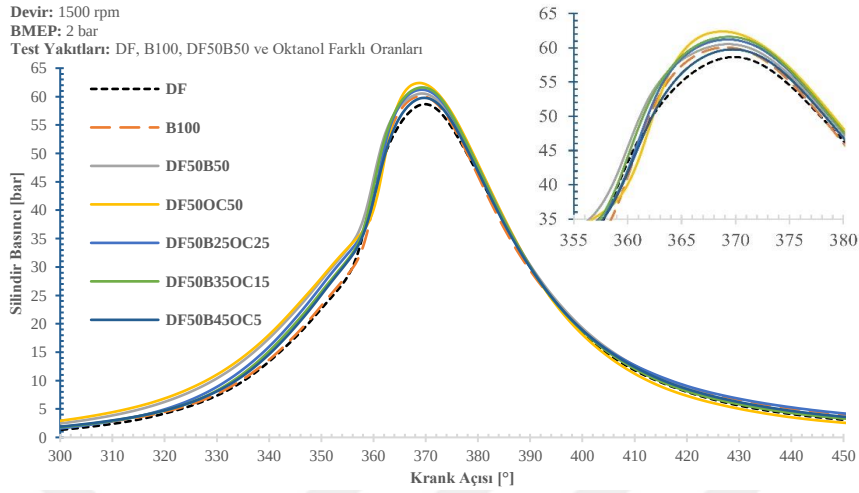
Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.53'teki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 52.70 bar, 54.90 bar, 56.89 bar, 57.68 bar, 56.40 bar, 54.48 bar ve 53.78 bar'dır.



Şekil 4.53. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar)

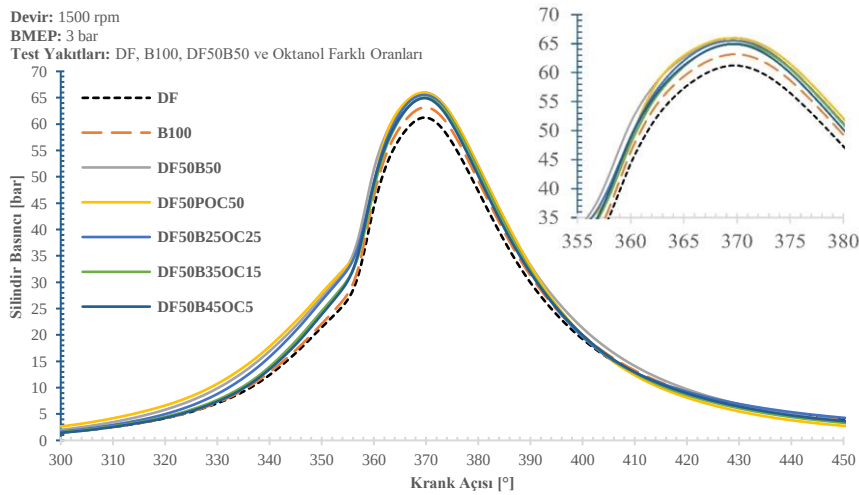
Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.54'teki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve

DF50B45OC5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 58.66 bar, 60.07 bar, 60.53 bar, 62.39 bar, 61.20 bar, 61.59 bar ve 59.76 bar'dır.



Şekil 4.54. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (2 bar)

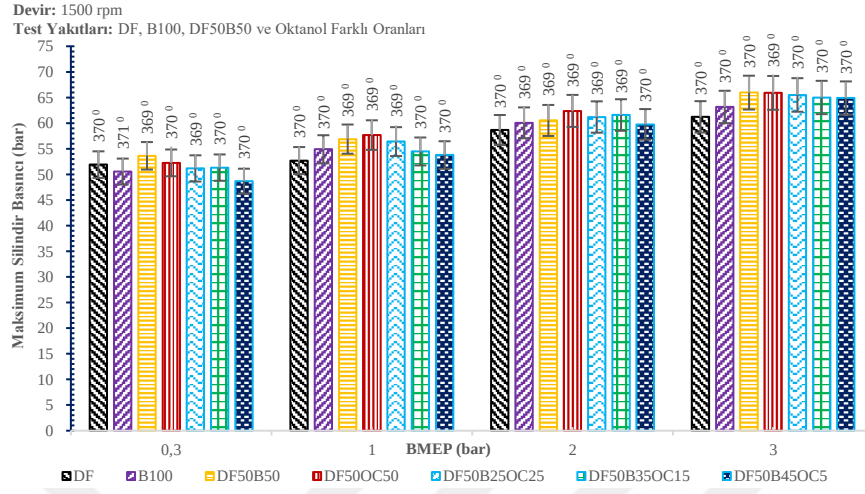
Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.55'teki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 61.23 bar, 63.16 bar, 65.96 bar, 65.91 bar, 65.50 bar, 65.01 bar ve 64.90 bar'dır.



Şekil 4.55. Oktanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (3 bar)

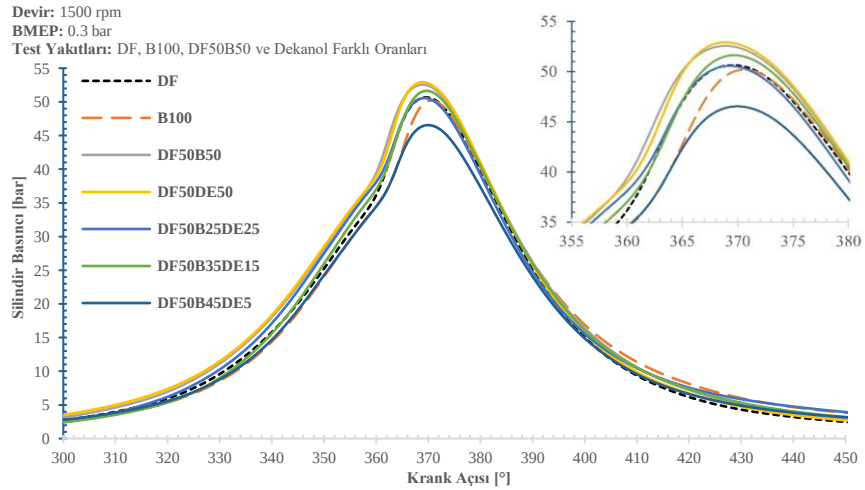
DF, B100, DF50B50 ve oktanölün %50, %25, %15 ve %5'lik farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerindeki (0.3, 1,

2 ve 3 bar) maksimum silindir basıncı değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.56'daki gibidir.



Şekil 4.56. Oktanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin olduğu KA

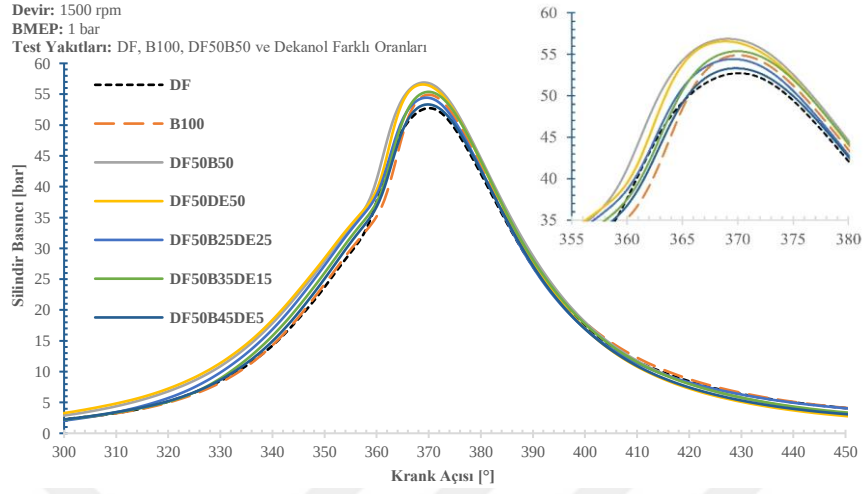
Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.57'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 51.91 bar, 50.56 bar, 53.63 bar, 52.92 bar, 50.55 bar, 51.62 bar ve 46.55 bar'dır.



Şekil 4.57. Dekanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (0.3 bar)

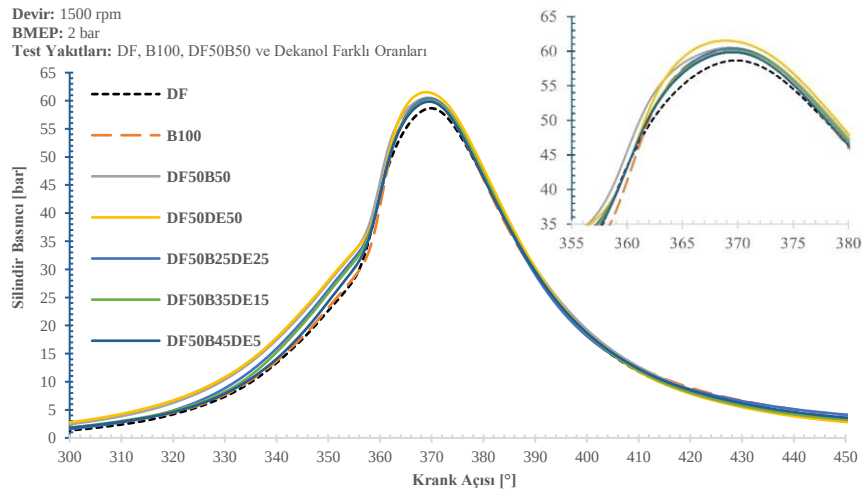
Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.58'deki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15

ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 52.70 bar, 54.90 bar, 56.89 bar, 56.57 bar, 54.41 bar, 55.38 bar ve 53.33 bar'dır.



Şekil 4.58. Dekanol içeren yakıtların SB'nin değişimi (1 bar)

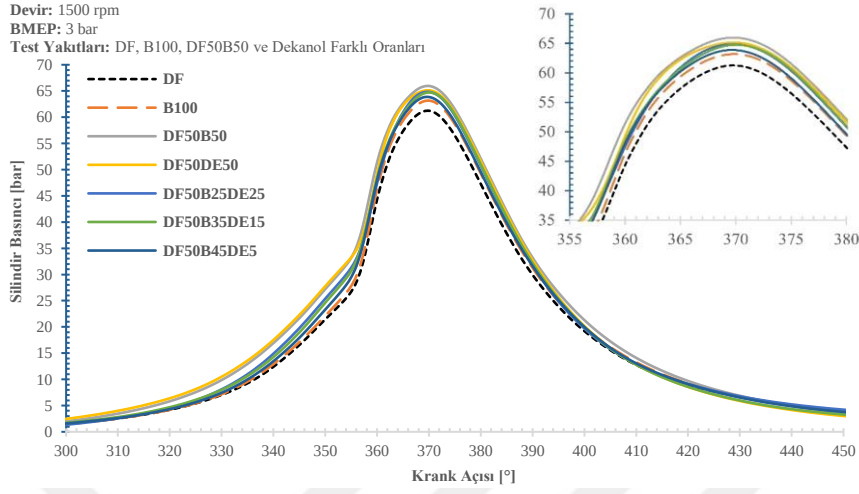
Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.59'daki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 58.66 bar, 60.07 bar, 60.53 bar, 61.52 bar, 60.35 bar, 60.04 bar ve 59.80 bar'dır.



Şekil 4.59. Dekanol içeren yakıtların SB'lerinin değişimi (2 bar)

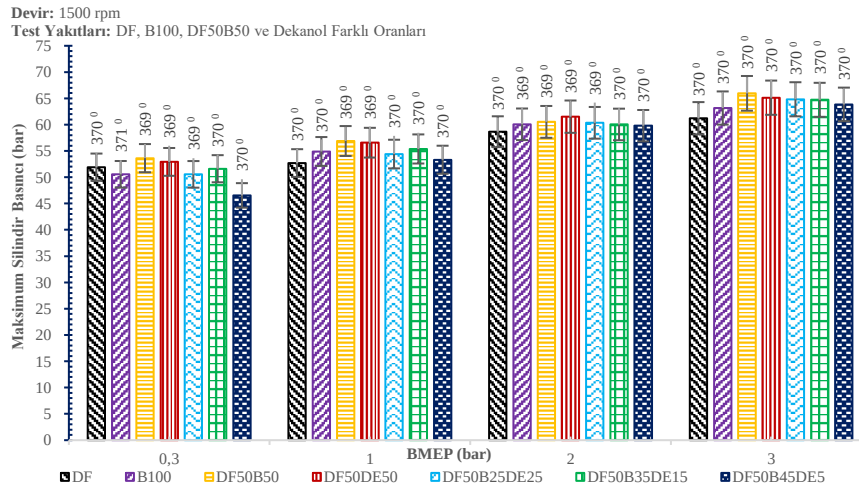
Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki SB'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.60'taki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15

ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum SB değerleri sırasıyla 61.23 bar, 63.16 bar, 65.96 bar, 65.13 bar, 64.83 bar, 64.72 bar ve 63.58 bar'dır.



Şekil 4.60. Dekanol içeren yakıtların SB'lerinin değişimi (3 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum SB değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.61'deki gibidir.



Şekil 4.61. Dekanol içeren yakıtların maksimum SB'lerin oluştuğu KA

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde SB'leri özetlenecek olursa;

- i) Maksimum basınçlar tüm yakıtlar için krank açısının 369-371 °KMA'da elde edilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler incelendiğinde silindirdeki basınç profilinin test edilen yakıt karışımları için maksimum SB'lerin ÜÖN'den 9-11° krank açısı sonrasında olduğu görülmektedir.
- ii) TG periyodu yakıtın püskürtülmesi ile ortamdan ısı çekilmesi aynı esnada gerçekleştiğinden, basınçtaki artış eğiliminde azalma meydana gelmiştir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak maksimum SB değerlerinin de tüm yakıtlar için yükseldiği gözlenmiştir.
- iii) DF ve B100 kıyaslandığında yük artışı ile beraber B100'ün maksimum SB'si DF'den daha yüksek olmuştur. Daha öncede bahsedildiği gibi dizel enjeksiyon sistemleri yakıtı hacim olarak ölçer. Dolayısıyla, yakıt yoğunluğundaki değişiklikler, enjekte edilen farklı yakıtların farklı kütlerde olmasına neden olur. Yoğunluğu DF'den daha yüksek olan B100'ün daha fazla miktarda yakıt kütlesinin ve daha yüksek PN sıcaklığı ve B100'ün buharlaşma gizli ısısının DF'den daha yüksek olmasından dolayı daha uzun TG süresi ile beraber birikmiş olan yakıtın aniden yanması sonucunda DF'ye göre daha yüksek SB'ye neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü literatürdeki verilere ve gerçekleştirilen analizlere göre DF'nin PN'si ortalama 60-65 °C, B100'ün 140-180 °C, hekzanolün 280-285 °C, oktanolün 190-195 °C ve dekanolün 250-255 °C'dir. DF'nin buharlaşma gizli ısısı 270-280 MJ/kg, B100'ün 300-310 MJ/kg'dir. Hekzanol, oktanol ve dekanolün gizli buharlaşma ısıları sırasıyla 486, 315.10 ve 494.8 MJ/kg olup hem B100'den hem de DF'den daha yüksektir.
- iv) İkili yakıt karışımlarında genel eğilim, tekli karışımlara göre artan yükler ile beraber daha yüksek SB'ler oluşmuştur. DF50B50'nin tekli yakıtlara kıyasla daha yüksek SB oluşturmamasının nedeni SS'nin optimum, kalorifik değerinin artması ve B100 ile oksijen konsantrasyonunun iyileşmesi neticesinde yanmanın daha verimli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer ikili karışım yakıtlarında ise AA'lerin daha düşük SS'ye, daha yüksek viskozite ve buharlaşma gizli ısılarından dolayı TG süresinin uzayarak birikmiş olan yakıtın ani yanması neticesinde meydana gelen artışlar olduğu düşünülmektedir.

4.3.3.2. Net ısı salımı hızı (NISH)

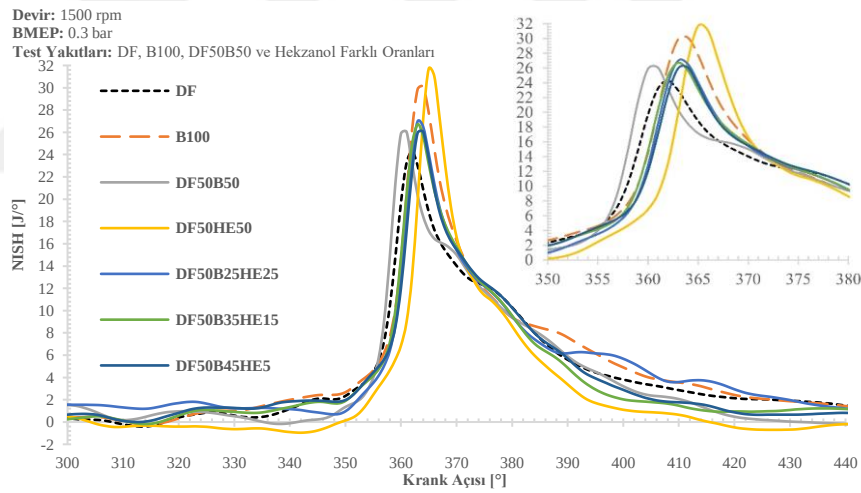
Isı salınım hızı, yanma sonrası ısı enerjisinin salınım hızı olup, silindir içerisindeki yanma sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için önemli bir yaklaşımdır (Imdadul ve ark., 2016b). Yanma sürecinin başlangıcından önce, TG periyodunda yakıtın silindir içerisinde buharlaşarak hava ile homojen bir karışım oluşturmamasından dolayı negatif NISH değerlerinin oluştuğu, ancak yanma başladığında bu değer grafiğin pozitif bölgesine çıktığı görülmektedir (Qi ve ark., 2010b). Enjektörün püskürtme basıncına ulaştığı krank açısı, enjeksiyon başlangıcı (EB) olarak isimlendirilmektedir. $NISH-^0KMA$ diyagramında eğrinin negatif bölgeden, pozitif bölgeye çıktığı anda x eksenini (^0KMA)'yı kestiği krank açısı yanma başlangıcı olarak belirlenebilmektedir (Alagumalai, 2015). Enjeksiyon başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki fark ise TG süresi olup, yakıtın enjektörde püskürtüldüğü andan itibaren yanma odası içerisinde ilk alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen sürede TG olarak isimlendirilir (Yeşilyurt ve ark., 2018). Motor yükünün artmasına bağlı olarak maksimum NISH değerlerinin de tüm yakıtlar için yükseldiği görülmektedir.

Farklı oranlarda alkol ilavesi yapılan yakıtların deneysel sonuçlarından elde edilen maksimum NISH değerleri incelendiğinde genel olarak artışların meydana geldiği söylenebilir. Bu durum, alkollerin yanma hızını artırmadaki etkisi ve ısı transferi hızının da azalması ile açıklamak mümkündür (Yeşilyurt ve ark., 2018). Tez çalışmasında kullanılan AA'lerden özellikle $C_6H_{13}OH$ 'ın SS, DF, B100, $C_8H_{17}OH$ ve $C_9H_{19}OH$ 'a göre oldukça düşüktür. Şekil 4.66 incelendiğinde $C_6H_{13}OH$ içeriği hacimsel olarak en fazla olan DF50HE50 yakıtı için bütün yüklerde maksimum NISH'nin elde edildiği krank açısı diğer yakıtlara kıyas ile en yüksektir. Yani bu yakıt için maksimum NISH'ler, krank milinin ÜÖN'yi geçtiği veya en yakın krank açılarında elde edilmiştir.

Hekzanol alkolünün düşük SS'den dolayı TG süresini artırarak silindir içerisinde daha fazla yakıtın birikmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı tutuşmayarak yanma odasında birikmiş olan yakıtın ani bir şekilde yanması ve yine AA'lerin kimyasal yapı muhteviyatında bulunan fazla oksijen içeriği yanma hızını artırmadaki etkisinden ötürü NISH'lerinin değerlerinin artmış olduğu düşünülmektedir (Emiroğlu ve Şen, 2018). Ağır ve hafif alkoller DF'ye kıyasla daha düşük kalori değerlerine sahip olmalarına rağmen kimyasal yapılarındaki oksijen muhtevası nedeniyle maksimum NISH değerleri DF'den yüksek çıkmaktadır (Huang ve ark., 2004; Tutak ve ark., 2015). Tez çalışmamıza benzer sonuçlar elde edip raporlayan Zhu ve ark. (2016) B100- $C_5H_{11}OH$ karışım yakıtlarında ki

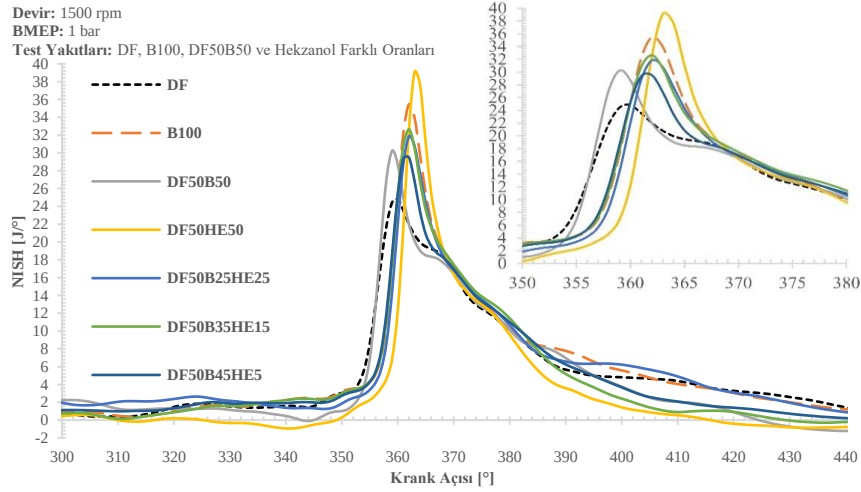
hacimsel olarak $C_5H_{11}OH$ miktarı artışının maksimum NISH değerlerini artırdığını ve bu değerlerin oluştuğu ^0KMA 'ların ÜÖN'dan uzaklaştığını raporlamışlardır. Bunun nedenini $C_5H_{11}OH$ 'ın düşük viskozite değerinin silindir içerisindeki atomizasyon karakteristiklerini optimize ederek, hava/yakıt oranını iyileştirdiğini vurgulamışlardır. Tse ve ark. (2015) alkollerin düşük SS'leri uzun TG periyodu, iyi uçuculuk özelliği ve düşük viskozite ani yanma fazı (kontROLSÜZ yanma fazı) için TG süresince yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesine neden olacağını ve biriken bu yakıtın aniden yanması sonucu maksimum NISH değerlerinin artacağını raporlamışlardır.

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki net ısı salımı hızlarının krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.62'de görüldüğü gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla $24.28 J/^0$, $30.10 J/^0$, $26.05 J/^0$, $31.71 J/^0$, $26.98 J/^0$, $26.71 J/^0$ ve $26.04 J/^0$ 'dir.



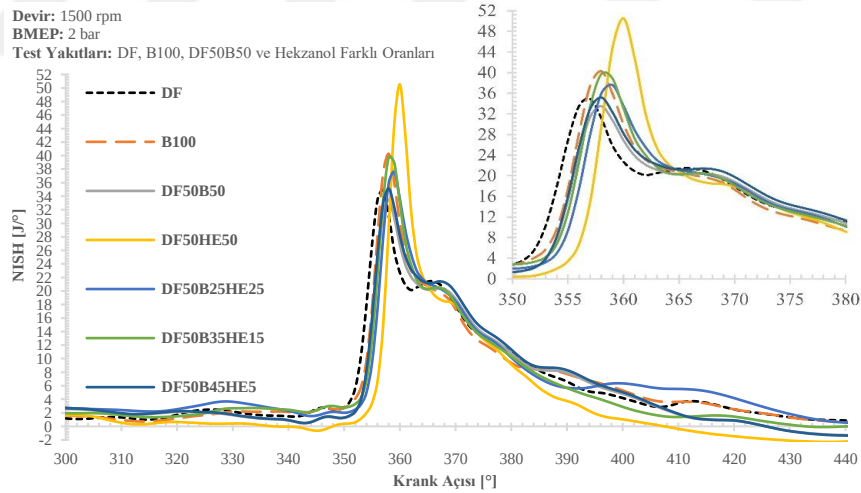
Şekil 4.62. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki net ısı salımı hızlarının krank mili açısına göre değişimleri Şekil 4.63'te görüldüğü gibidir. 1 bar'lık motor yükünde; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum net ısı salımı hızı değerleri sırasıyla $24.81 J/^0$, $35.46 J/^0$, $30.24 J/^0$, $39.09 J/^0$, $31.85 J/^0$, $32.64 J/^0$ ve $29.49 J/^0$ şeklindedir.



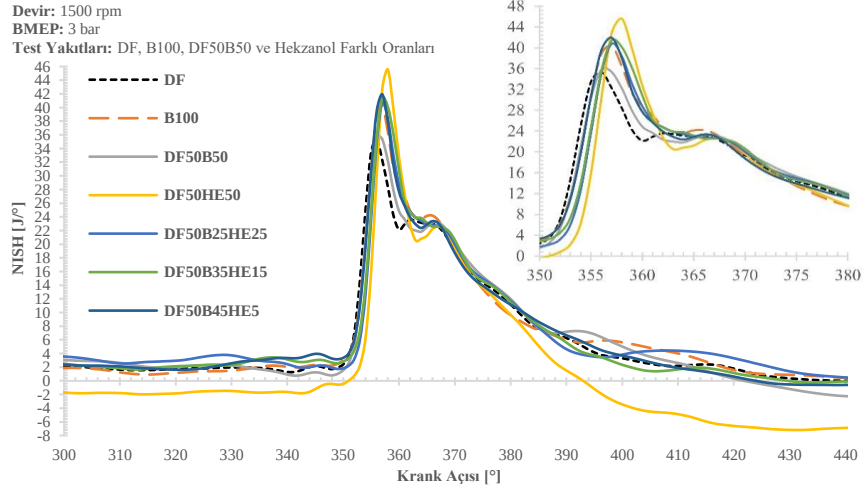
Şekil 4.63. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.64'teki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 34.91 J^0 , 40.27 J^0 , 33.48 J^0 , 50.53 J^0 , 37.60 J^0 , 39.74 J^0 ve 35.15 J^0 'dir.



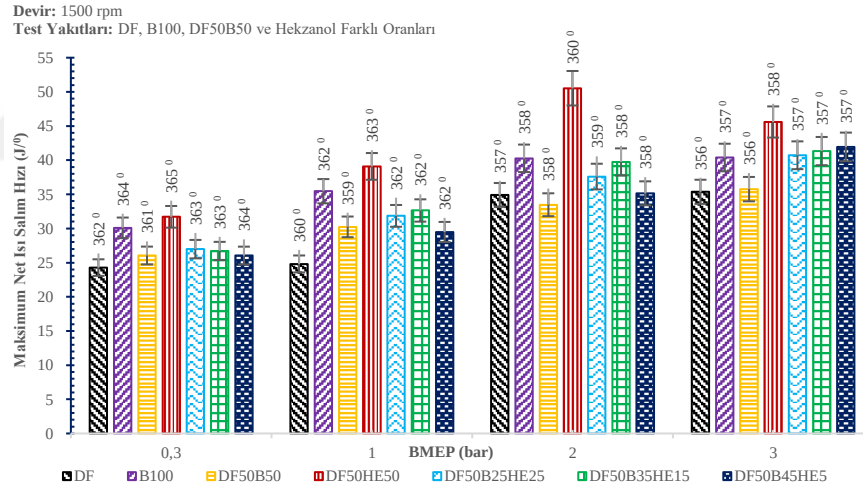
Şekil 4.64. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.65'teki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 35.37 J^0 , 40.39 J^0 , 35.76 J^0 , 45.59 J^0 , 40.72 J^0 , 41.33 J^0 ve 41.94 J^0 'dir.



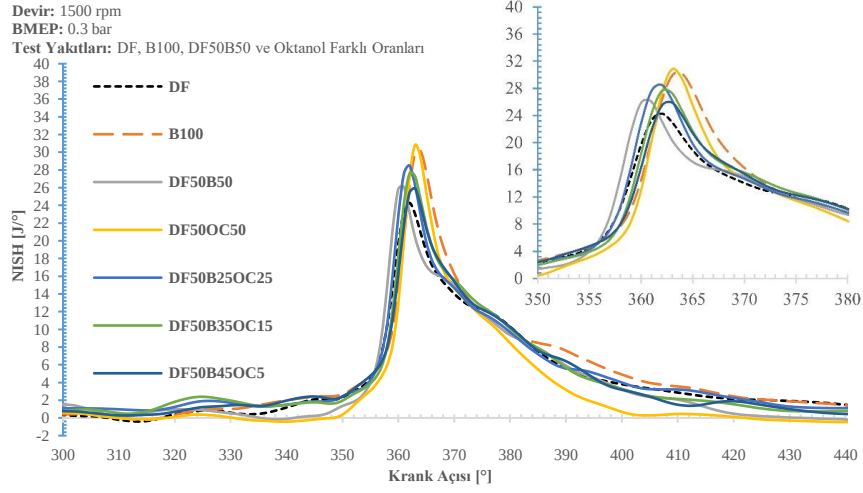
Şekil 4.65. Hekzanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum NISH değerlerinin elde edildiği ⁰KMA'lar Şekil 4.66'daki gibidir.



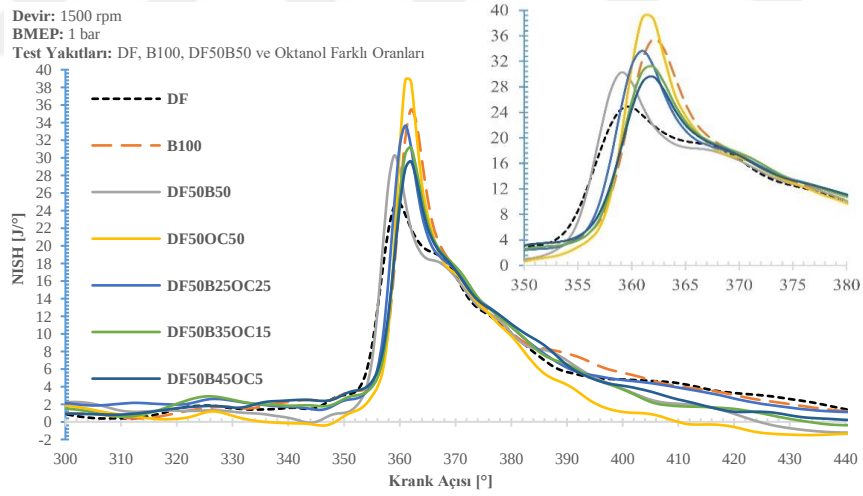
Şekil 4.66. Hekzanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin oluştuğu KA

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki NISH'lerin ⁰KMA'ya göre değişimleri Şekil 4.67'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 24.28 J/°⁰, 30.10 J/°⁰, 26.05 J/°⁰, 30.82 J/°⁰, 28.51 J/°⁰, 27.58 J/°⁰ ve 25.90 J/°⁰'dir.



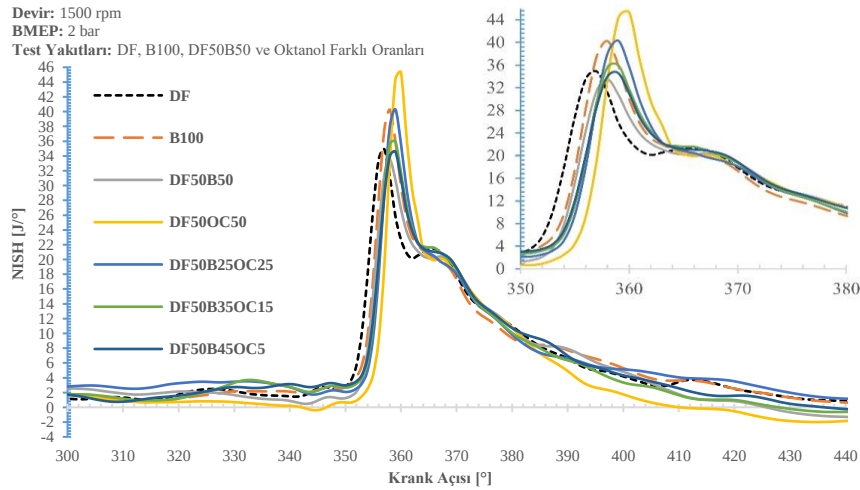
Şekil 4.67. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.68'deki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 24.81 J/^0 , 35.46 J/^0 , 30.24 J/^0 , 38.82 J/^0 , 33.64 J/^0 , 31.18 J/^0 ve 29.59 J/^0 'dir.



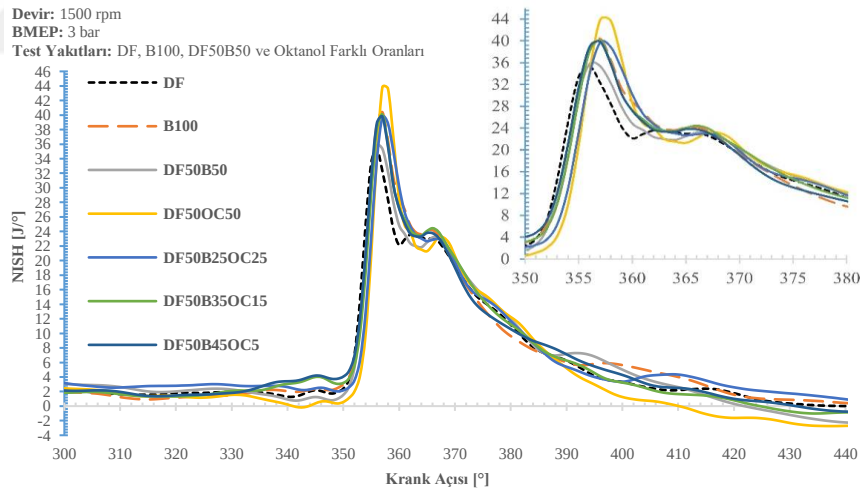
Şekil 4.68. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.69'daki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 34.91 J/^0 , 40.27 J/^0 , 33.48 J/^0 , 45.32 J/^0 , 40.30 J/^0 , 35.96 J/^0 ve 34.58 J/^0 'dir.



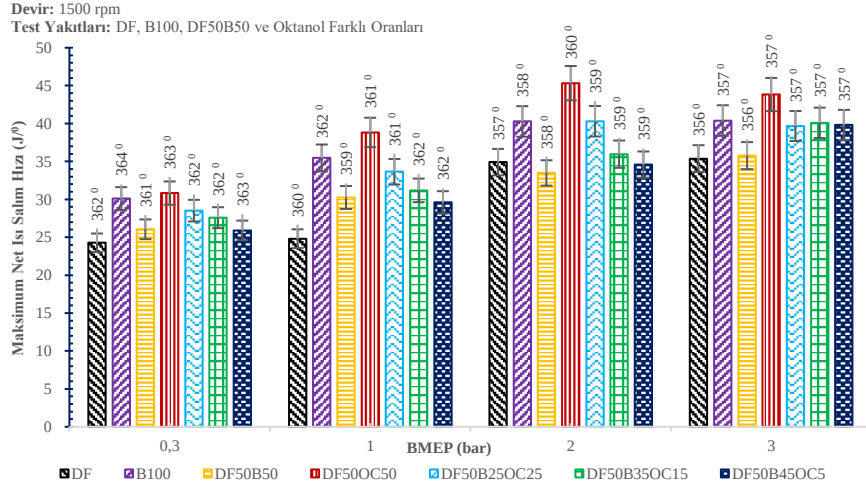
Şekil 4.69. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.69'daki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 35.37 J^0 , 40.39 J^0 , 35.76 J^0 , 43.82 J^0 , 39.67 J^0 , 40.09 J^0 ve 39.81 J^0 'dir.



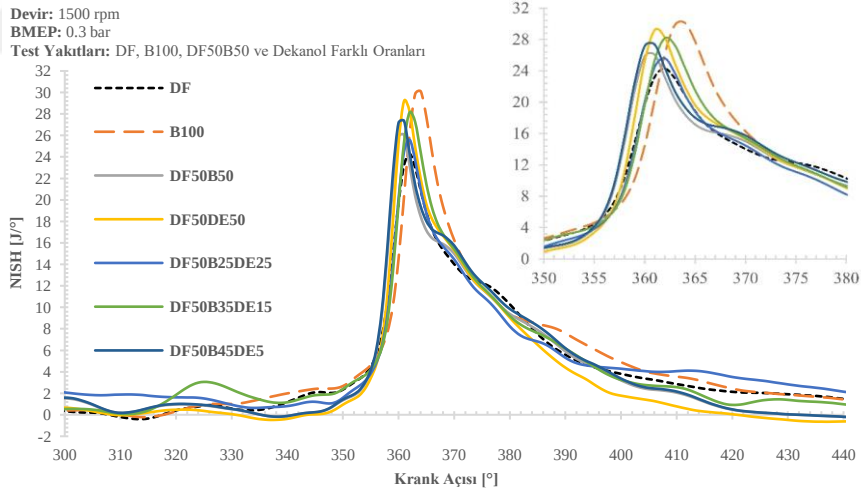
Şekil 4.70. Oktanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum NISH değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.71'deki gibidir. DF50OC50 yakıtı dışında diğer yakıtların maksimum NISH değerlerinin maksimum test yüklerinde elde edildiği görülebilir.



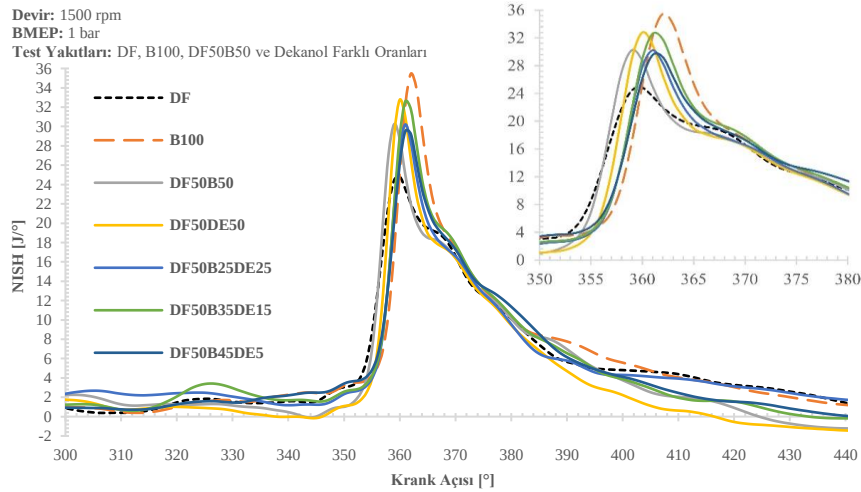
Şekil 4.71. Oktanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin olduğu KA

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.72'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 24.28 J/^0 , 30.10 J/^0 , 26.05 J/^0 , 29.21 J/^0 , 25.60 J/^0 , 28.15 J/^0 ve 27.35 J/^0 'dir.



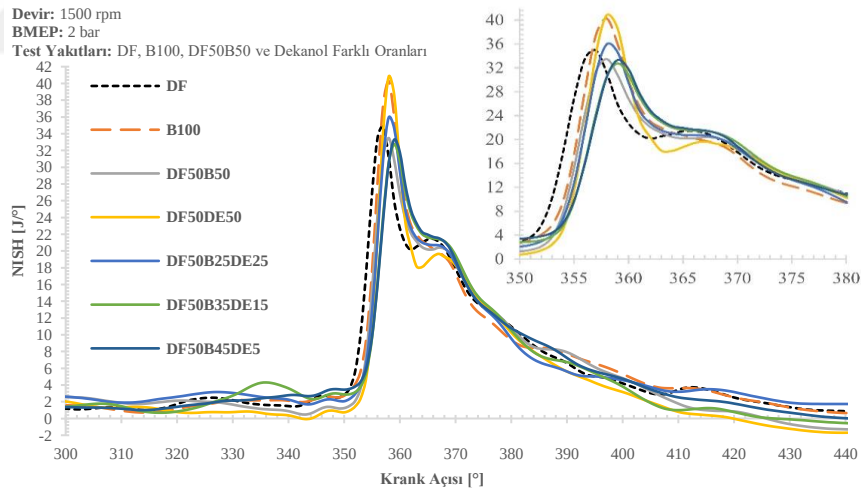
Şekil 4.72. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (0.3 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.73'teki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 24.81 J/^0 , 35.46 J/^0 , 30.24 J/^0 , 32.77 J/^0 , 30.21 J/^0 , 32.59 J/^0 ve 29.52 J/^0 'dir.



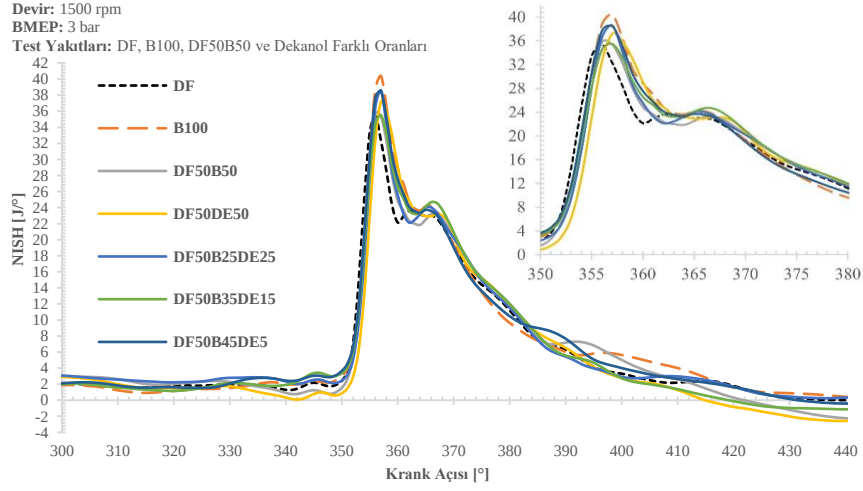
Şekil 4.73. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (1 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.74'teki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 34.91 J/^0 , 40.27 J/^0 , 33.48 J/^0 , 40.82 J/^0 , 35.94 J/^0 , 32.74 J/^0 ve 33.30 J/^0 'dir.



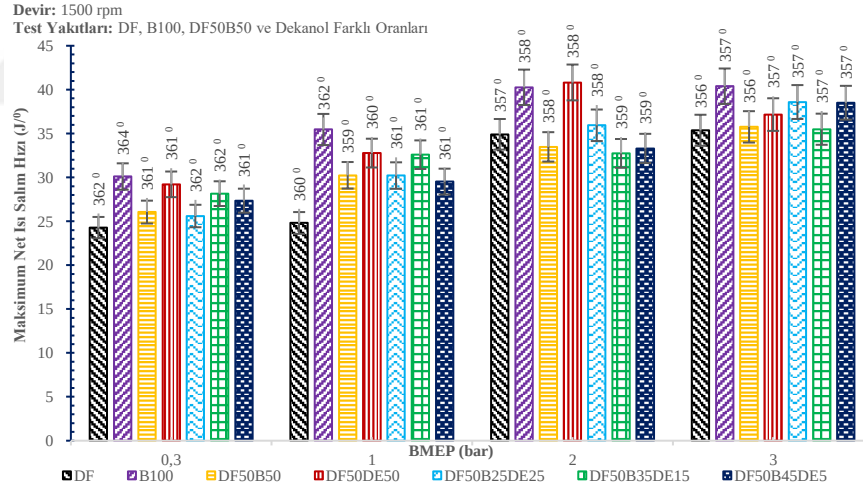
Şekil 4.74. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (2 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki NISH'lerin ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.75'teki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum NISH değerleri sırasıyla 35.37 J/^0 , 40.39 J/^0 , 35.76 J/^0 , 37.16 J/^0 , 38.59 J/^0 , 35.49 J/^0 ve 38.51 J/^0 'dir.



Şekil 4.75. Dekanol içeren yakıtların NISH'lerinin değişimi (3 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum NISH değerlerinin elde edildiği $^{\circ}\text{KMA}$ 'lar Şekil 4.76'daki gibidir. DF50DE50 yakıtı dışında diğer yakıtların maksimum NISH değerlerinin maksimum test yüklerinde elde edildiği görülebilir.



Şekil 4.76. Dekanol içeren yakıtların maksimum NISH'lerin oluştuğu KA

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde NISH'leri özetlenecek olursa;

- i) Artan motor yükü ile maksimum NISH değerlerinin genel eğilimi artış yönündedir. DF50B50 yakıtı düşük yüklerde DF yakıtından daha büyük NISH değerleri oluştururken yüksek yüklerde genel olarak DF yakıtının NISH değerlerine benzer olup DF50B50 yakıtı B100 ile kıyaslandığında tüm

yüklerde B100'den daha düşük NISH değerleri oluşturmuştur. DF50B50 yakıtının NISH değeri genel olarak DF ve B100 yakıtının arasında olmasının nedeni DF yakıtının yoğunluk, viskozite, buharlaşma gizli ısısı, PN gibi TG süresinin uzamasında etkili olan özelliklerde düşüşler meydana getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- ii) DF50HE50 tüm yüklerde diğer yakıtlara kıyasla yüksek NISH'ye neden olduğu görülmektedir. En düşük SS'ye ve yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından dolayı TG süresini oldukça artırdığından büyük ⁰KMA'larda en yüksek NISH'ye neden olduğu düşünülmektedir.
- iii) AA'lerin farklı fraksiyonları ile elde edilen üçlü yakıt karışımlarındaki maksimum NISH değerlerinin genel eğilimi DF ve B100 yakıtlarının NISH değerleri arasındadır. Bu genel eğilimden sapmalar hekzanol ile oluşturulan yakıtların maksimum motor yüklerinde meydana geldiği görülmüştür. Kullanılan AA arasında kimyasal yapı muhteviyatında en fazla oksijen miktarı bulunan hekzanolün bu özelliğinden dolayı yanma hızını artırarak NISH'lerinin yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.
- iv) Yakıt karışımındaki hekzanol fraksiyonunun artması maksimum NISH değerlerini artırdığını ve özellikle düşük yüklerde bu değerlerin olduğu ⁰KMA'lar ÜÖN'dan uzaklaşmıştır. Bunun nedeni olarak hekzanolün düşük SS'leri ve yüksek buharlaşma gizli ısısı TG süresince yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesine neden olduğu ve biriken bu yakıtın aniden yanması sonucu maksimum NISH değerleri artırdığı düşünülmektedir.

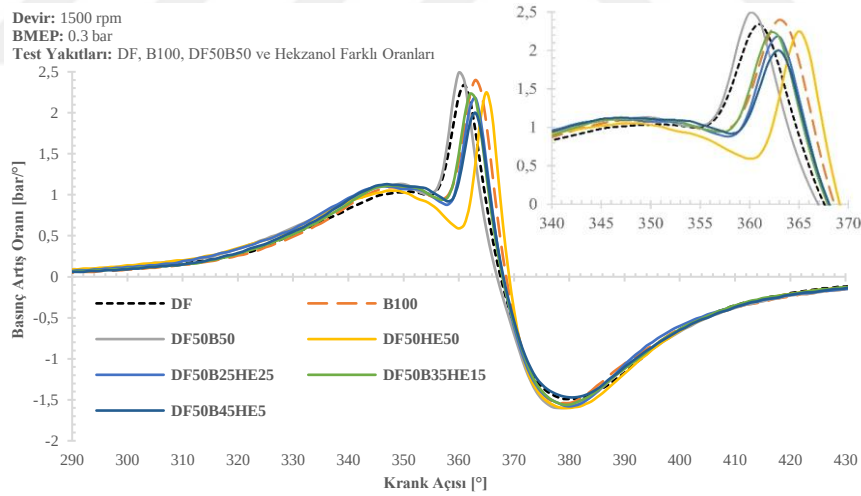
4.3.3.3. Basınç artış oranı (BAO)

Motor silindirinin yanma odasındaki yanma prosesinin sağlıklı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğini değerlendirmek için kullanılan önemli yanma parametrelerinden biriside maksimum BAO'dır. Motor gürültüsünün daha az ve motorun daha uzun ömürlü olması için maksimum BAO'nın asgari seviyelerde olması gerekmektedir (Sharma ve ark., 2021). Tez çalışmasında kullanılan bütün farklı yakıtların maksimum BAO'nı artıran motor yükleri ile beraber arttığı gözlenmiştir.

Daha yüksek kinematik viskozite, bitkisel veya hayvansal yağlardan sentezlenen B100'ün doymuş YA yüzdesi ve SS gibi özellikler maksimum BAO değeri üzerinde etkilidir. Daha yüksek viskozite, yakıt atomizasyonu ve buharlaşma gibi yakıt püskürtme

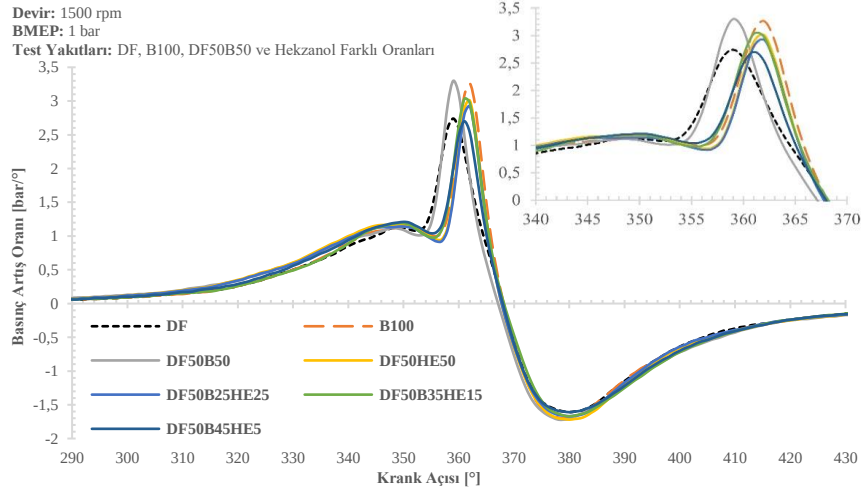
özelliklerini etkilerken, düşük SS yanma başlangıcında gecikmeye neden olur. Bu etkiler, TG süresinin daha uzun olmasına sebep olur (Thomas ve ark., 2020; Sharma ve ark., 2021). Yakıtların test edildiği motor yüklerindeki BAO grafikleri karşılaştırıldığında; BMEP = 0.3, 1 ve 2 bar motor yüklerinde maksimum BAO'larının elde edildiği ^0KMA 'ları ve maksimum BAO değerleri farklılıklar gösterirken, BMEP = 3 bar motor yükünde maksimum BAO'larının elde edildiği ^0KMA 'ları ve maksimum BAO değerleri düşük motor yüklerindeki gibi büyük farklılıklar göstermemiştir. Bu duruma artan motor yükü ile beraber silindir içi sıcaklığın artmasından dolayı yanıcı bir karışım oluşturmak için yakıtın buharlaşmasının kolaylaşarak hava/yakıt karışım oranının iyileşmesi neticesinde TG süresinde meydana gelen azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.77'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.34 bar/ ^{0} , 2.40 bar/ ^{0} , 2.49 bar/ ^{0} , 2.25 bar/ ^{0} , 2.18 bar/ ^{0} , 2.23 bar/ ^{0} ve 2.00 bar/ ^{0} 'dir.



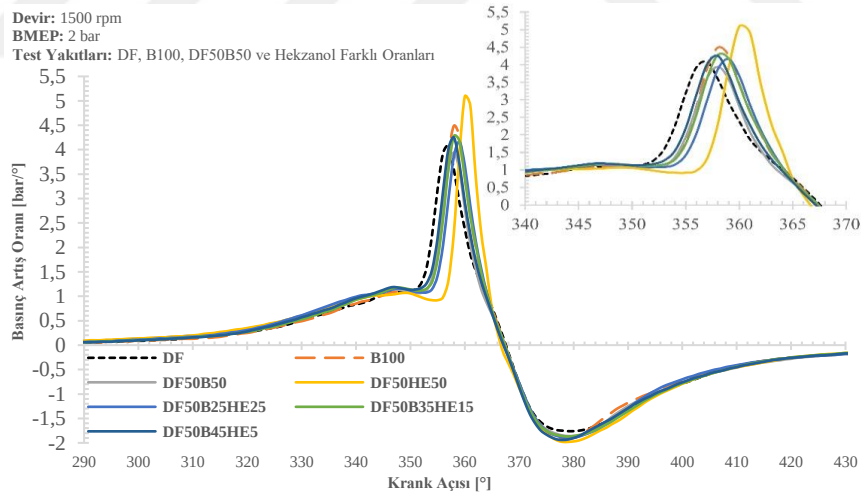
Şekil 4.77. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.78'deki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.74 bar/ ^{0} , 3.26 bar/ ^{0} , 3.30 bar/ ^{0} , 3.01 bar/ ^{0} , 2.92 bar/ ^{0} , 3.03 bar/ ^{0} ve 2.70 bar/ ^{0} 'dir.



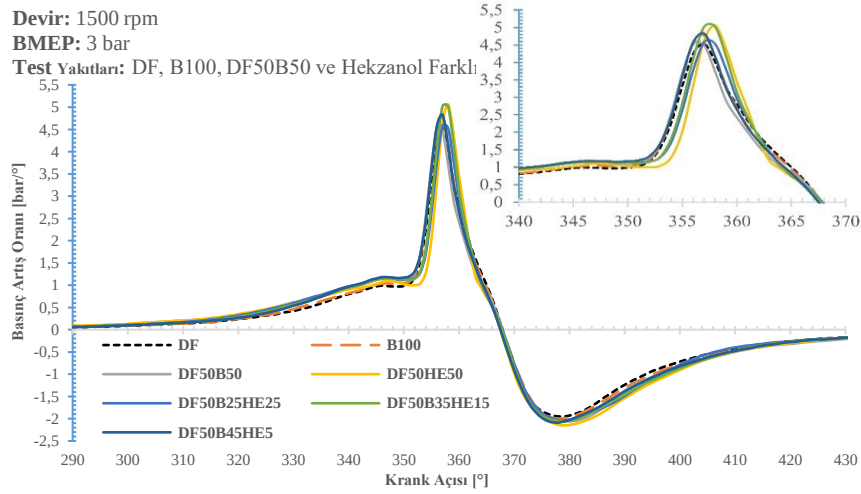
Şekil 4.78. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.79'daki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.08 bar/ ^{0} , 4.49 bar/ ^{0} , 3.94 bar/ ^{0} , 5.09 bar/ ^{0} , 4.16 bar/ ^{0} , 4.28 bar/ ^{0} ve 4.25 bar/ ^{0} dir.



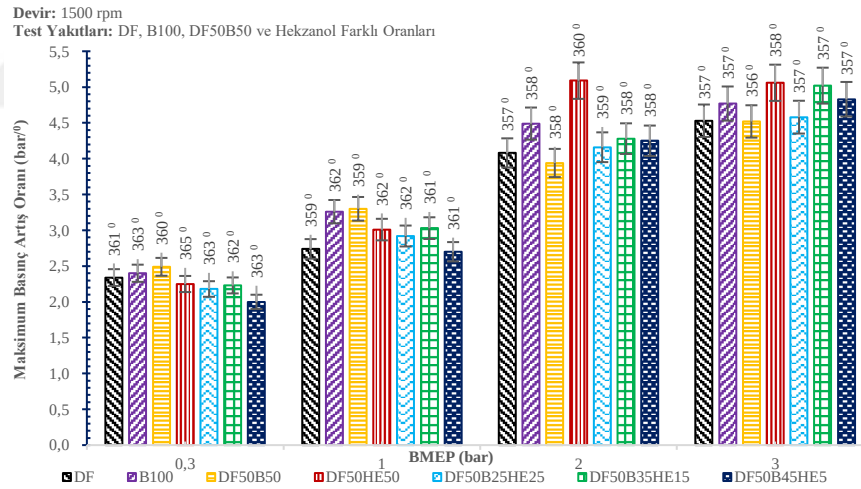
Şekil 4.79. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.80'deki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50HE50, DF50B25HE25, DF50B35HE15 ve DF50B45HE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.53 bar/ ^{0} , 4.77 bar/ ^{0} , 4.52 bar/ ^{0} , 5.06 bar/ ^{0} , 4.58 bar/ ^{0} , 5.02 bar/ ^{0} ve 4.83 bar/ ^{0} dir.



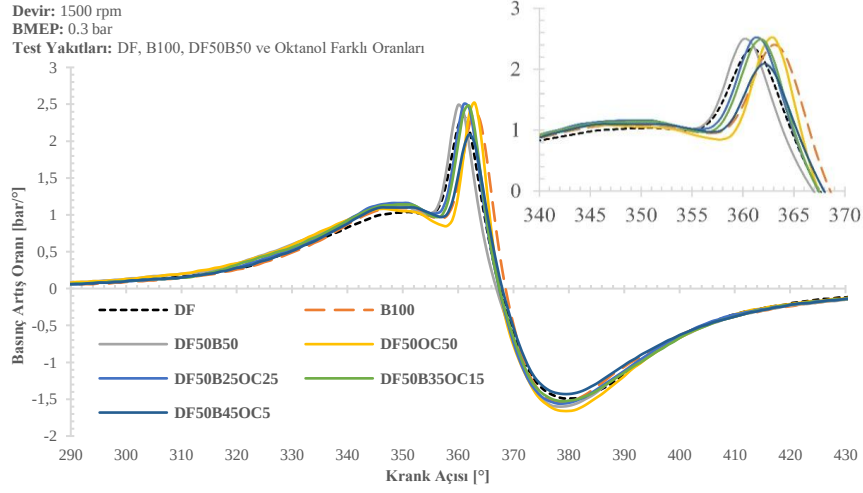
Şekil 4.80. Hekzanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar)

Hekzanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum BAO değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.81'deki gibidir. DF50HE50 yakıtı dışında diğer yakıtların maksimum BAO değerlerinin maksimum test yüklerinde elde edildiği görülebilir.



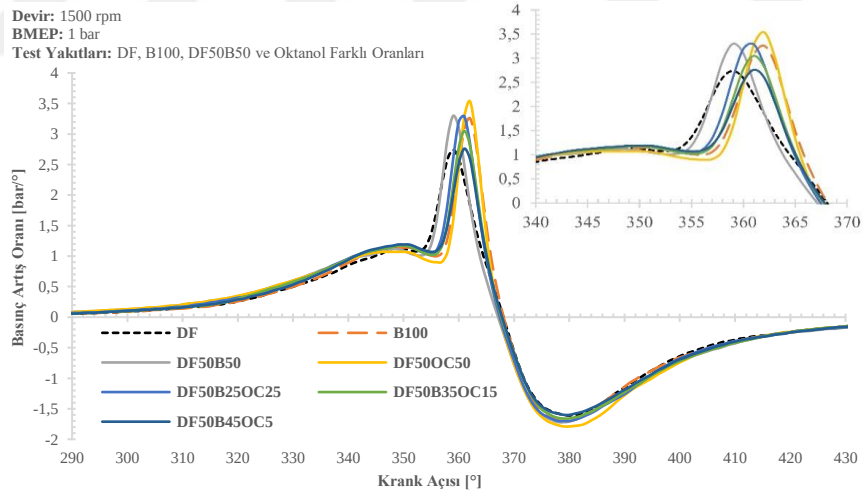
Şekil 4.81. Hekzanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının oluştuğu KA

Oktanölün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.82'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.34 bar/ ^{0} , 2.40 bar/ ^{0} , 2.49 bar/ ^{0} , 2.52 bar/ ^{0} , 2.50 bar/ ^{0} , 2.48 bar/ ^{0} ve 2.09 bar/ ^{0} 'dir.



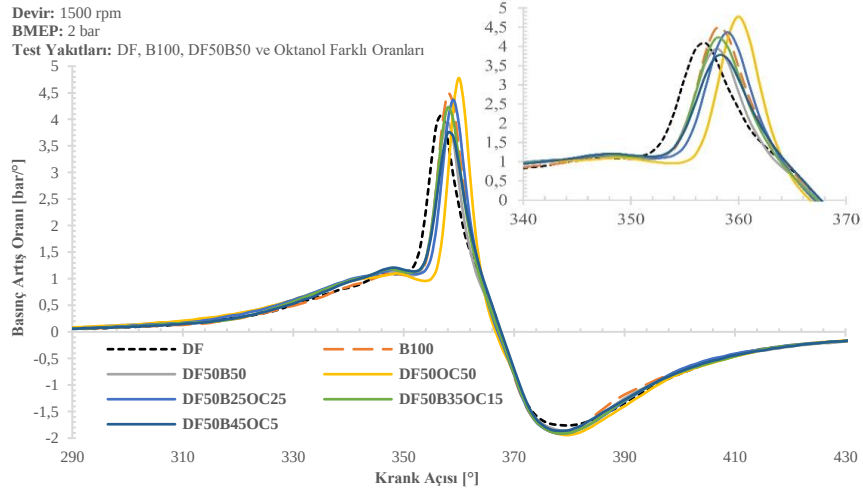
Şekil 4.82. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.83'teki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.74 bar/ ^{0} , 3.26 bar/ ^{0} , 3.30 bar/ ^{0} , 3.54 bar/ ^{0} , 3.29 bar/ ^{0} , 3.05 bar/ ^{0} ve 2.76 bar/ ^{0} dir.



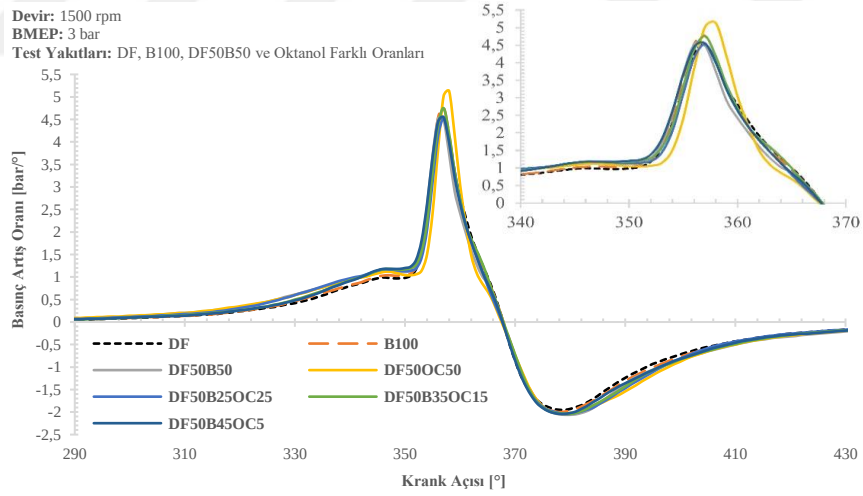
Şekil 4.83. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.84'teki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.08, 4.49, 3.94, 4.78, 4.37, 4.23 ve 3.75 bar/ ^{0} dir.



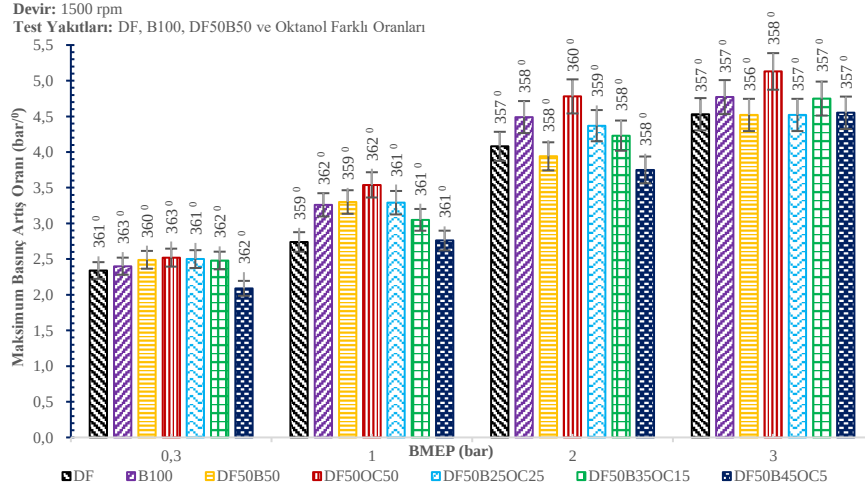
Şekil 4.84. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.85'teki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50OC50, DF50B25OC25, DF50B35OC15 ve DF50B45OC5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.53 bar/ ^{0} , 4.77 bar/ ^{0} , 4.52 bar/ ^{0} , 5.13 bar/ ^{0} , 4.52 bar/ ^{0} , 4.75 bar/ ^{0} ve 4.55 bar/ ^{0} dir.



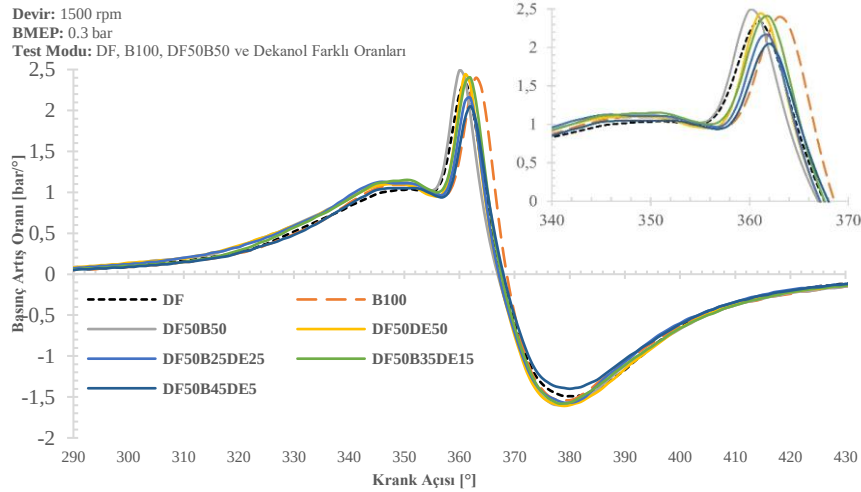
Şekil 4.85. Oktanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar)

Oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum NISH değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.86'daki gibidir.



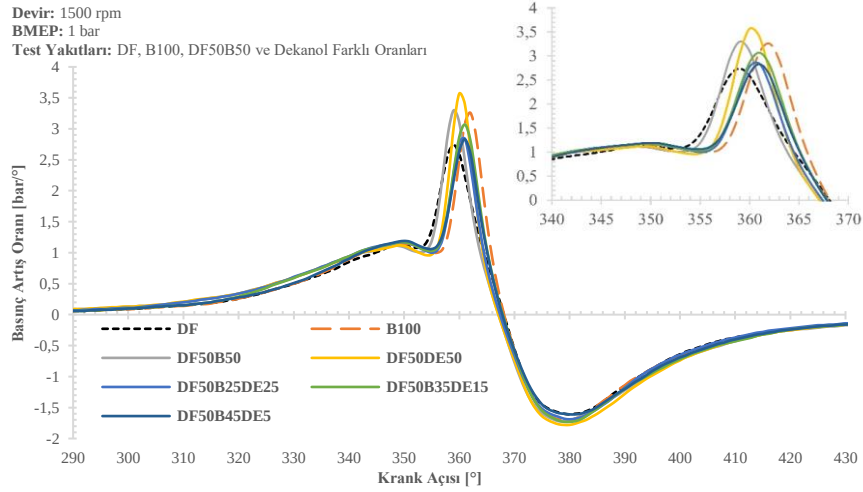
Şekil 4.86. Oktanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının oluştuğu KA

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 0.3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.87'deki gibidir. 0.3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.34 bar/ ^{0} , 2.40 bar/ ^{0} , 2.49 bar/ ^{0} , 2.44 bar/ ^{0} , 2.15 bar/ ^{0} , 2.40 bar/ ^{0} ve 2.05 bar/ ^{0} 'dir.



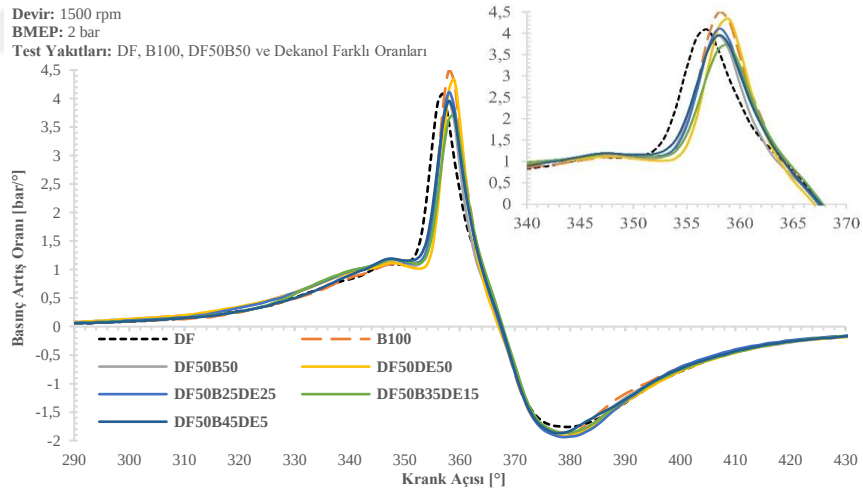
Şekil 4.87. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (0.3 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 1 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.88'deki gibidir. 1 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 2.74, 3.26, 3.30, 3.57, 2.84, 3.07 ve 2.83 bar/ ^{0} 'dir.



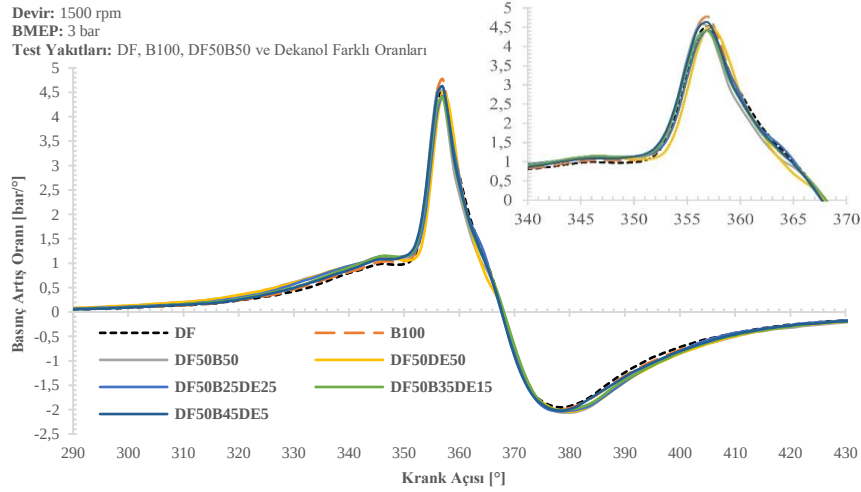
Şekil 4.88. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (1 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 2 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.89'daki gibidir. 2 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.08 bar/ ^{0} , 4.49 bar/ ^{0} , 3.94 bar/ ^{0} , 4.33 bar/ ^{0} , 4.11 bar/ ^{0} , 3.70 bar/ ^{0} ve 3.96 bar/ ^{0} dir.



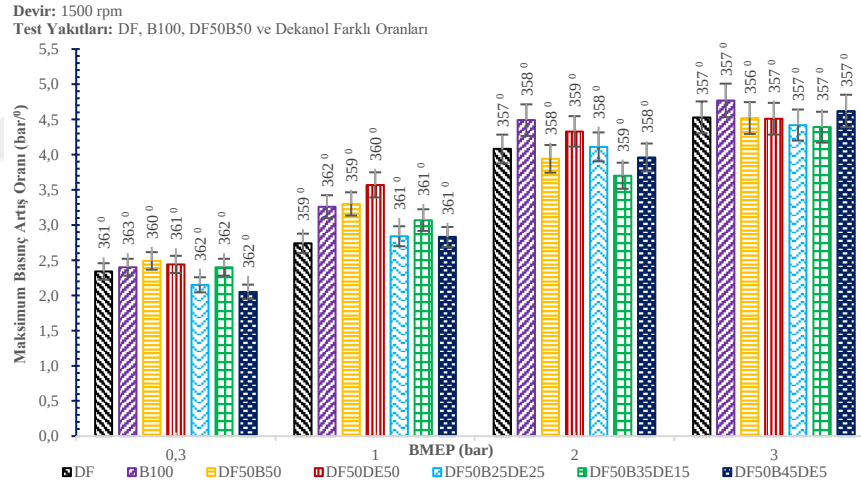
Şekil 4.89. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (2 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde 3 bar motor yükündeki BAO'ların ^0KMA 'ya göre değişimleri Şekil 4.90'daki gibidir. 3 bar yükte; DF, B100, DF50B50, DF50DE50, DF50B25DE25, DF50B35DE15 ve DF50B45DE5 yakıtları için maksimum BAO'larının değerleri sırasıyla 4.53, 4.77, 4.52, 4.51, 4.42, 4.39 ve 4.62 bar/ ^{0} dir.



Şekil 4.90. Dekanol içeren yakıtların BAO'larının değişimi (3 bar)

Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan test yakıtlarının sabit motor devrinde ve bütün motor yüklerinde maksimum BAO değerlerinin elde edildiği ^0KMA 'lar Şekil 4.91'deki gibidir.



Şekil 4.91. Dekanol içeren yakıtların maksimum BAO'larının oluştuğu KA

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde BAO'leri özetlenecek olursa;

- i) Bütün yakıtların maksimum BAO'sı artan motor yükleri ile artmıştır. Düşük yüklerde maksimum BAO'ları farklı ^0KMA 'larda elde edilirken yük artışı ile beraber ÜÖN'dan önce elde edilmesi genel eğiliminde olup maksimum yükte maksimum BAO'nın elde edildiği ^0KMA aynı olmuştur. Bu duruma artan motor yükü ile beraber silindir içi sıcaklığın artmasından dolayı yanıcı bir

karışım oluşturmak için yakıtın buharlaşmasının kolaylaşarak hava/yakıt karışım oranının iyileşmesi neticesinde TG süresinde meydana gelen azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

- ii) B100 yakıtı DF'ye kıyasla bütün yüklerde daha yüksek BAO'ye neden olmuşken, DF50B50 yakıtı tekli yakıtlara kıyasla artan yüklerle beraber daha düşük BAO'ye neden olmuştur. Daha yüksek viskozite, yakıt atomizasyonu ve buharlaşma gibi özellikler yakıt püskürtme karakteristikleri üzerinde etkilidirler. DF50B50 yakıtında bulunan DF TG süresinin uzamasının nedenlerini bir miktar azaltmış olmasından dolayı bu düşüşlerin meydana geldiği düşünülmektedir.
- iii) Hekzanol ve oktanol ile oluşturulan DF50HE50 ve DF50OC50 yakıtlarının TG süresinin uzaması üzerinde DF'ye kıyasla daha yüksek buharlaşma gizli ısı, viskozite, PN ve düşük SS özelliklerinden dolayı artan yükler ile beraber bile test yakıtları arasında en yüksek BAO'lara neden olduğu düşünülmektedir.
- iv) Dekanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan yakıtların geneli, hekzanol ve oktanolün farklı fraksiyonları ile oluşturulan yakıtlar gibi yüksek BAO oluşturmamışlardır. Dekanol ve diğer alkoller DF'ye kıyasla daha yüksek buharlaşma gizli ısıya, viskozite, PN'ye sahip olmasına rağmen dekanolün diğer alkollere göre daha yüksek SS'ye sahip olması TG süresinin uzaması üzerindeki diğer etkileri domine ederek test yakıtlarına göre daha düşük BAO'ya neden olduğu düşünülmektedir.
- v) Üçlü yakıt karışımları, ikili yakıt karışımları ile kıyaslandığında genel eğilim olarak daha düşük BAO'lar görülmüştür. Bu durumun arkasındaki sebep, AA'lerin daha düşük SS, daha yüksek PN, viskozite ve buharlaşma gizli ısı etkilerinin ikili karışımdakilere göre daha az baskın olmalarından ötürü TG süresinin uzamamasından BAO genel olarak bir miktar düştüğü düşünülmektedir.

4.3.4. Yanma parametrelerinin YSA ile tahmini

Deneysel çalışmalardan elde edilen SB, NISH ve BAO değerlerinin tahmin edilmesi için geliştirilen YSA modelinin performansının değerlendirilmesi için MSE hata metriği kullanılmış olup, bu metrik gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki

farkın karesinin ortalama değerini hesaplar. Matematiksel olarak, Denlem (4.4) şeklinde ifade edilmektedir.

$$MSE = \sum_{i=1}^n e_t^2 \rightarrow MSE = \frac{1}{n} \sum (y - \hat{y})^2 \quad (4.4)$$

Burada;

n : Veri noktalarının sayısını temsil eder,

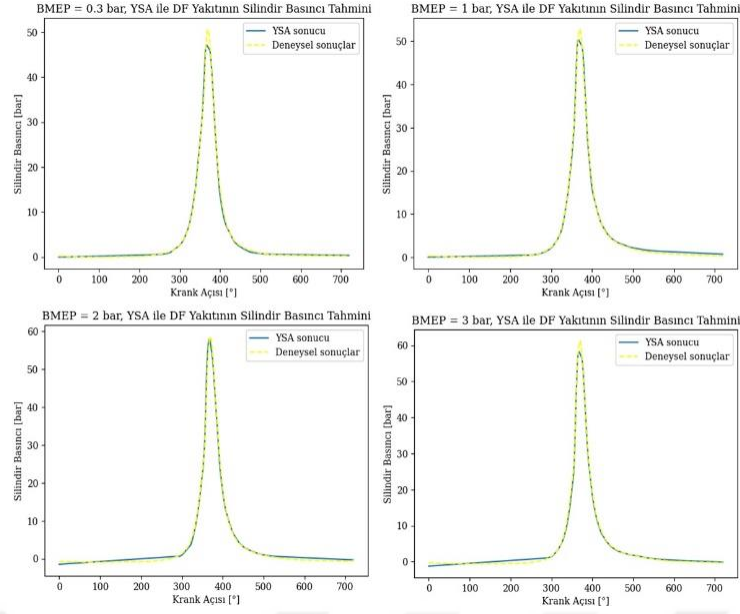
y : Gerçek değerleri ifade eder,

$\hat{y}$: Tahmin edilen değerleri ifade eder,

YSA ağının oluşturulduğu Python'da, scikit-learn birçok makine öğrenimi kütüphanesi MSE'yi hesaplamak için fonksiyonlar sunar. Scikit-learn'de "mean_squared_error" fonksiyonu MSE'yi hesaplamak için kullanılmıştır. Bu fonksiyon gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkları hesaplar, bu farkların karelerini alır, toplar ve veri noktalarının sayısına bölerek MSE değerini elde eder. MSE, hata metrikleri arasında yaygın olarak kullanılır çünkü karelerin alınmasıyla pozitif hale getirilir ve büyük hataların daha fazla ağırlıklandırılmasını sağlar. MSE değeri, modelin performansını ölçmek ve farklı modeller veya parametre ayarlarının karşılaştırılması için kullanılır. Daha düşük MSE değeri, daha iyi bir tahmin performansını gösterirken, yüksek MSE değeri daha kötü bir tahmin performansını gösterir. Ancak, MSE değerinin yorumlanması, veri setinin özelliklerine ve bağlamına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Yanma parametrelerinin tahmin edilmesi için oluşturulan YSA modelinin ve makine öğrenmesi yöntemleri için verilerin %80'lik kısmı ile eğitim aşaması; geriye kalan %20'lik kısmı ile test aşaması gerçekleştirilmiştir.

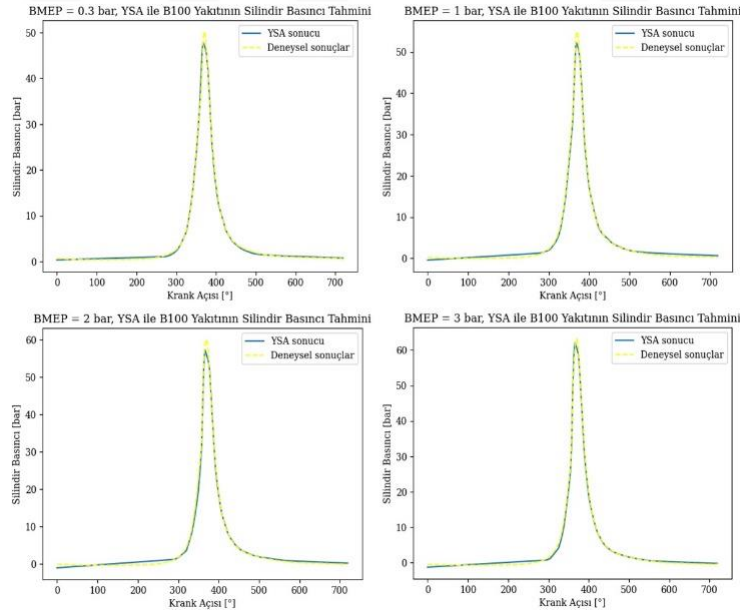
4.3.4.1. Silindir basıncının YSA ile tahmini

Şekil 4.92'de görüldüğü gibi, DF'nin farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.254, 0.246, 0.444 ve 0.323'tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.92. DF'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

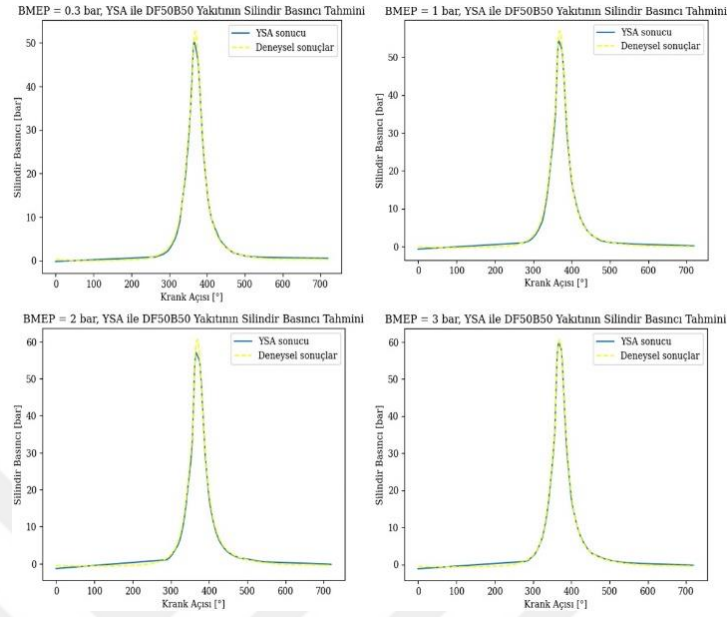
Şekil 4.93'te görüldüğü gibi, B100'ün farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.275, 0.278, 0.506 ve 0.340'tır. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.93. B100'ün SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

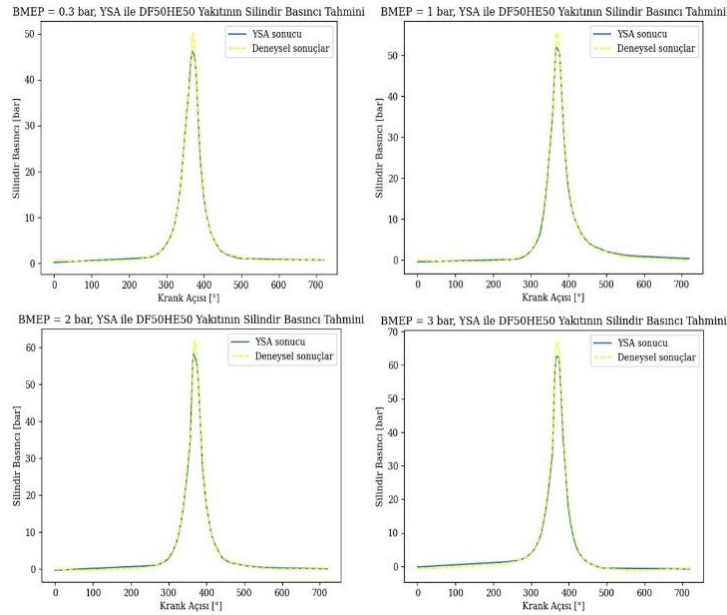
Şekil 4.94'te görüldüğü gibi, DF50B50'nin SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.241, 0.310, 0.497 ve

0.204'tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



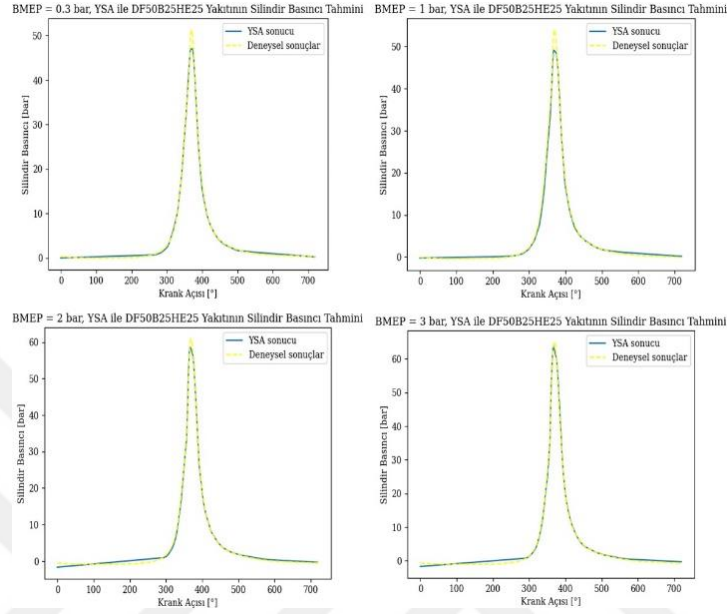
Şekil 4.94. DF50B50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.95'te görüldüğü gibi, DF50HE50'nin farklı yüklerdeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.159, 0.275, 0.493 ve 0.700'dür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



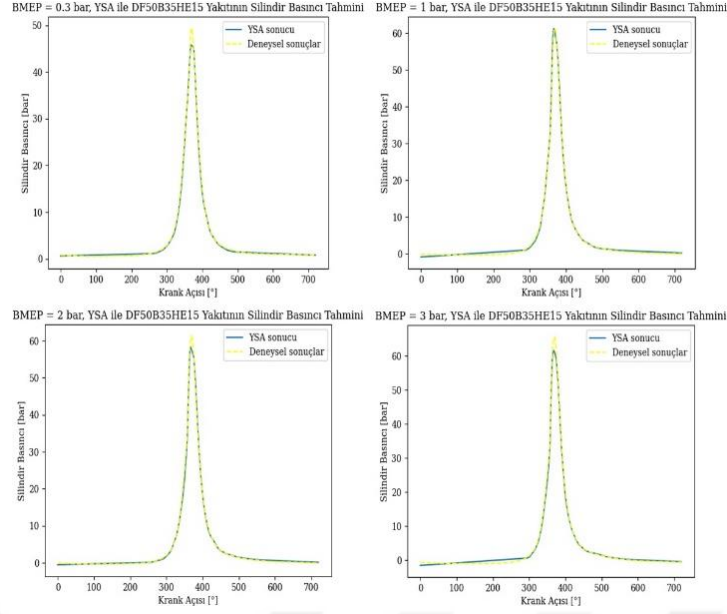
Şekil 4.95. DF50HE50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.96’da görüldüğü gibi, DF50B25HE25’in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.246, 0.541, 0.347 ve 0.368’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



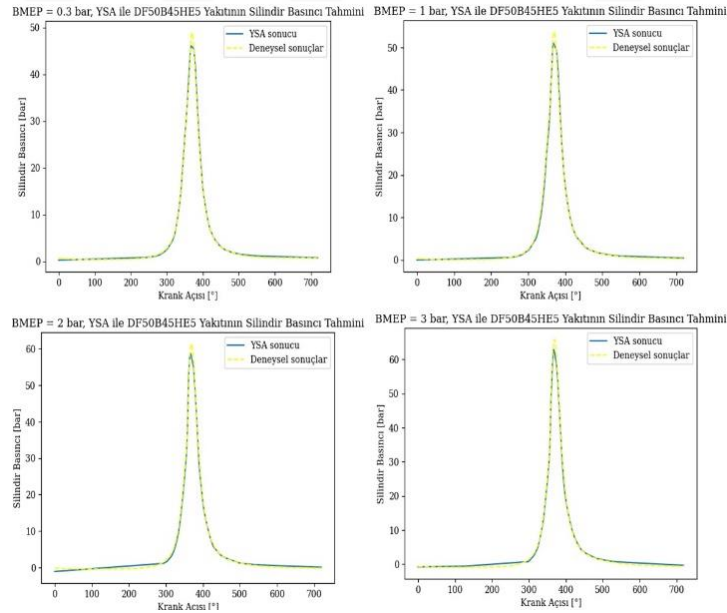
Şekil 4.96. DF50B25HE25’in SB deney sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.97’de görüldüğü gibi, DF50B35HE15’in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.170, 0.325, 0.288 ve 0.501’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.97. DF50B35HE15'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

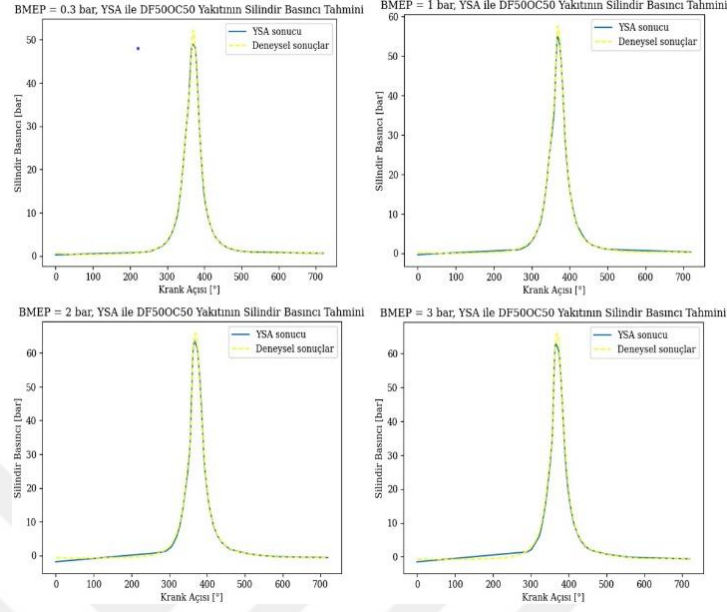
Şekil 4.98'de görüldüğü gibi, DF50B45HE5'in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.150, 0.221, 0.366 ve 0.460'tır. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.98. DF50B45HE5'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

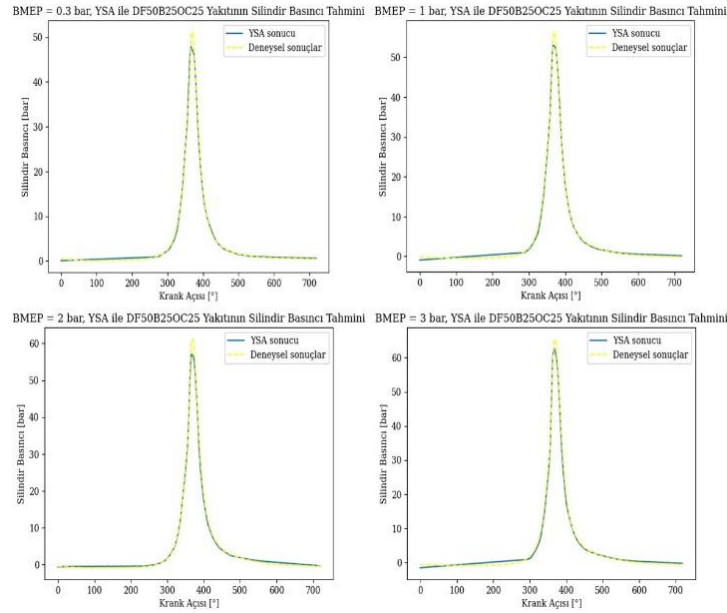
Şekil 4.99'da görüldüğü gibi, DF50OC50'nin farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.197,

0.218, 0.458 ve 0.486'dır. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



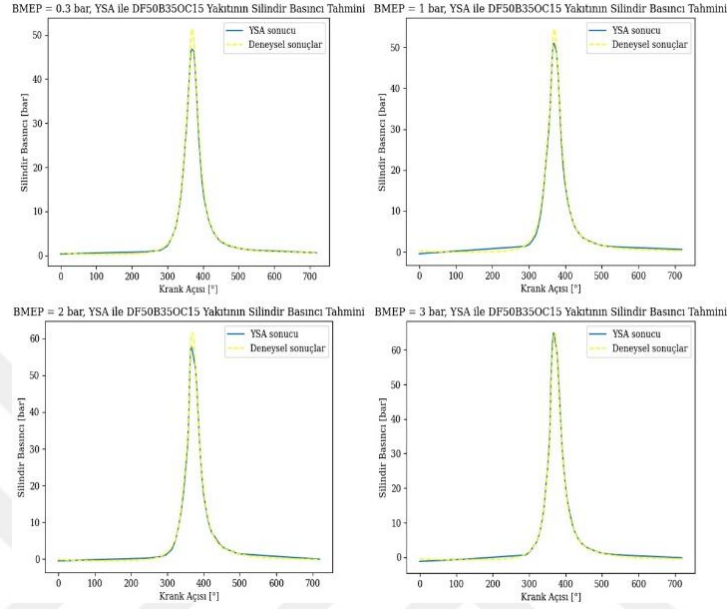
Şekil 4.99. DF50OC50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.100'de görüldüğü gibi, DF50B25OC25'in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.274, 0.328, 0.462 ve 0.497'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



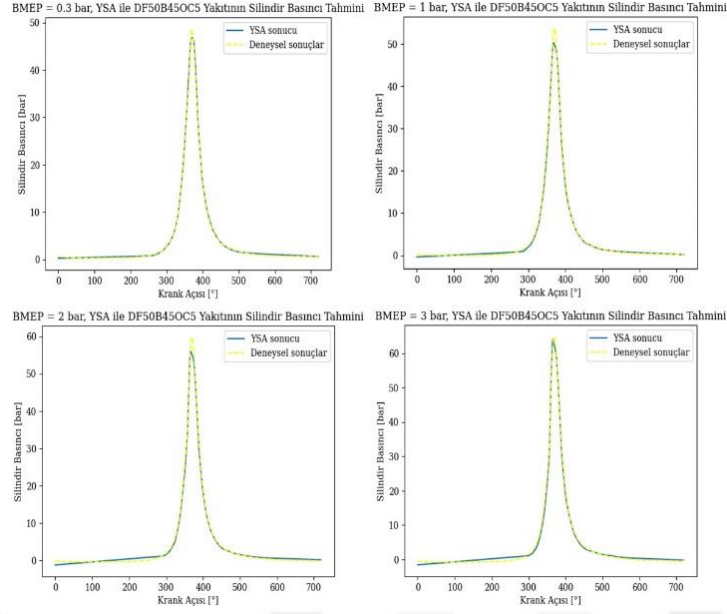
Şekil 4.100. DF50B25OC25'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.101’de görüldüğü gibi, DF50B35OC15’in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.360, 0.435, 0.405 ve 0.407’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



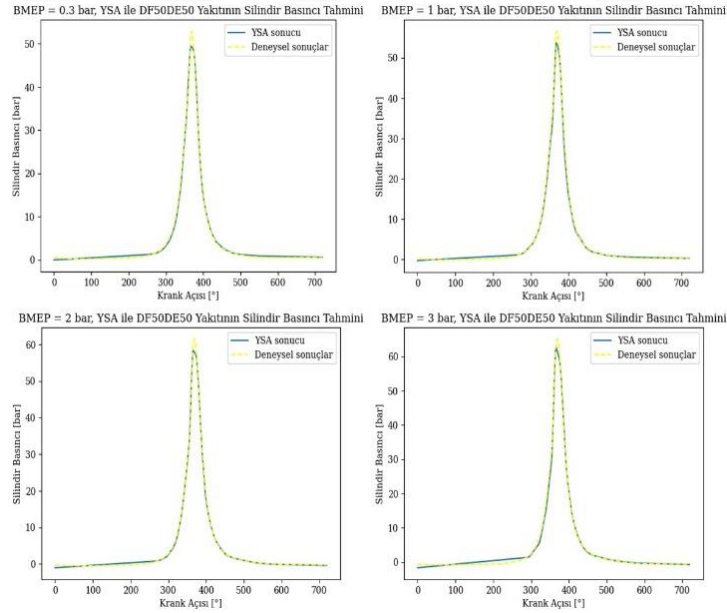
Şekil 4.101. DF50B35OC15’in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.102’de görüldüğü gibi, DF50B45OC5’in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.130, 0.423, 0.445 ve 0.485’tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.102. DF50B45OC5'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

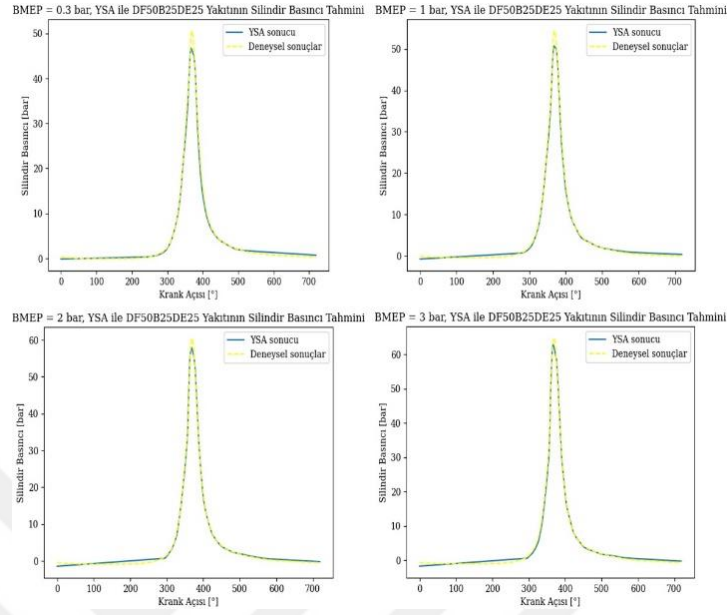
Şekil 4.103'te görüldüğü gibi, DF50DE50'nin farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.306, 0.356, 0.302 ve 0.456'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 2 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.103. DF50DE50'nin SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

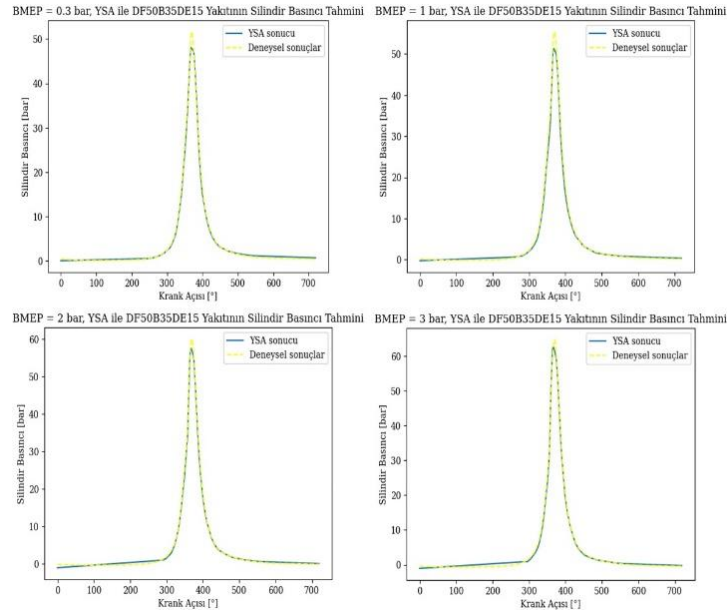
Şekil 4.104'te görüldüğü gibi, DF50B25DE25'in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla;

0.393, 0.360, 0.301 ve 0.364'tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 2 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



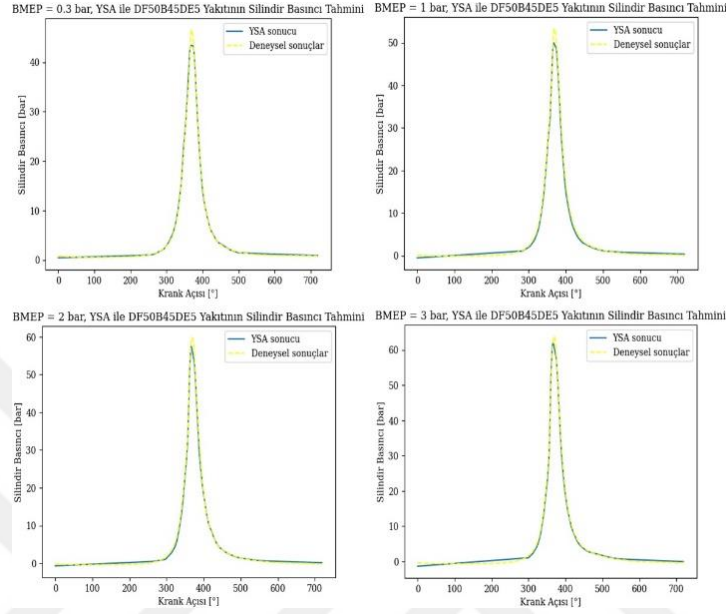
Şekil 4.104. DF50B25DE25'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.105'te görüldüğü gibi, DF50B35DE15'in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.264, 0.460, 0.308 ve 0.307'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.105. DF50B35DE15'in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

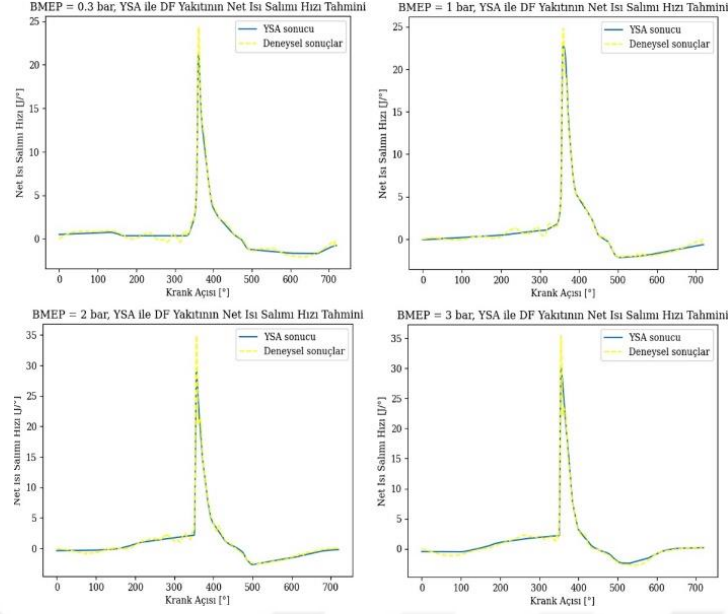
Şekil 4.106’da görüldüğü gibi, DF50B45DE5’in farklı motor yüklerindeki, SB deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.151, 0.343, 0.282 ve 0.414’tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.106. DF50B45DE5’in SB deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

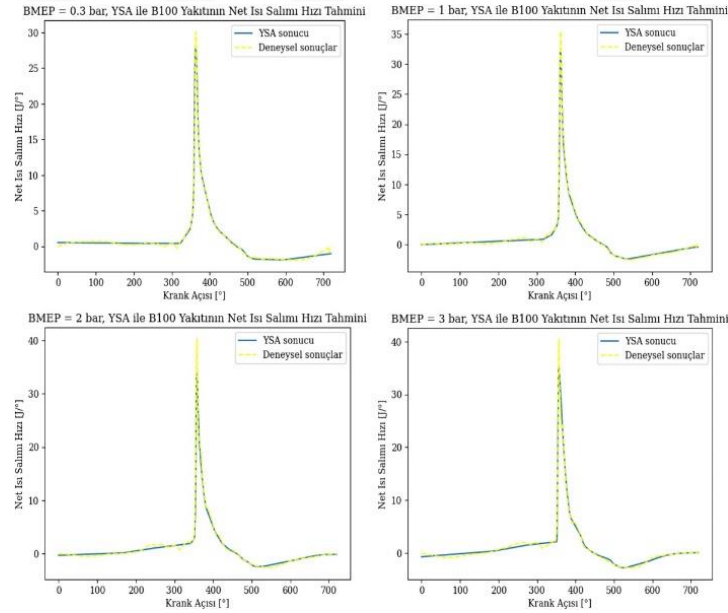
4.3.4.2. Net ısı salımı hızının YSA ile tahmini

Şekil 4.107’de görüldüğü gibi, DF’nin farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.123, 0.156, 0.324 ve 0.325’tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.107. DF'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

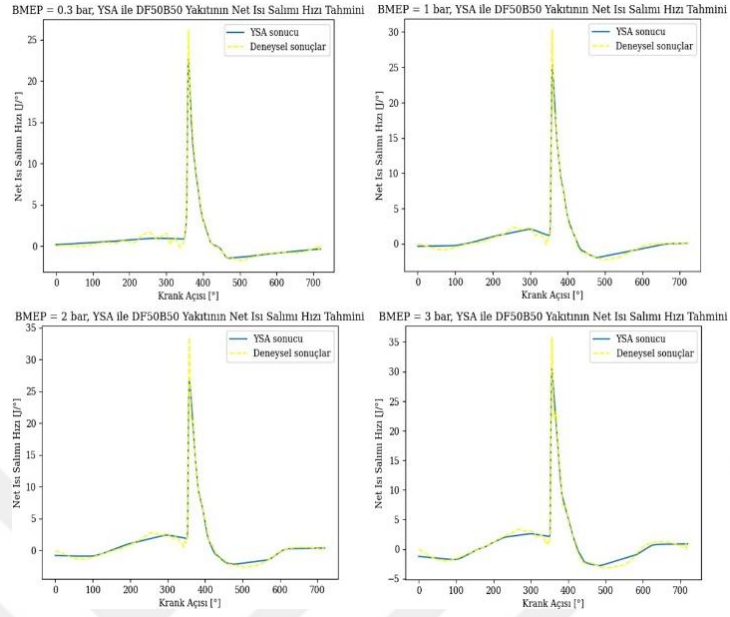
Şekil 4.108'de görüldüğü gibi, B100'ün farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.253, 0.134, 0.407 ve 0.401'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.108. B100'ün NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

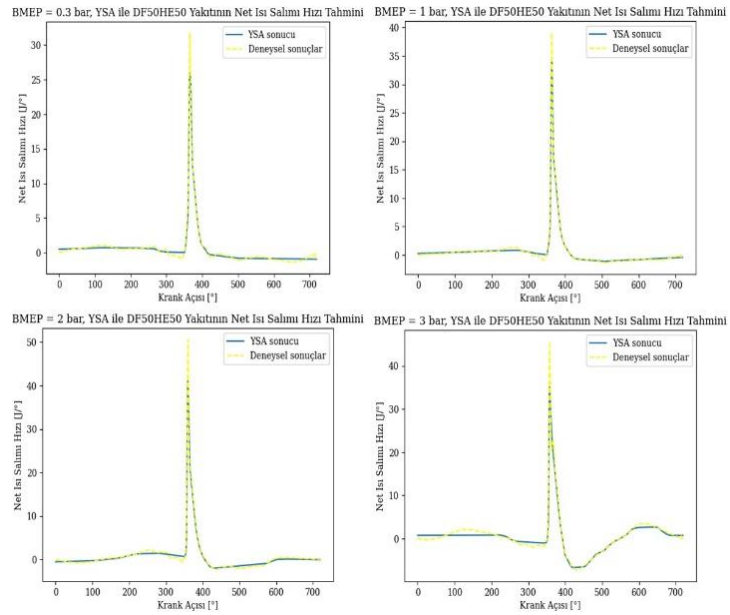
Şekil 4.109'da görüldüğü gibi, DF50B50'nin farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla;

0.207, 0.370, 0.545 ve 0.442'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



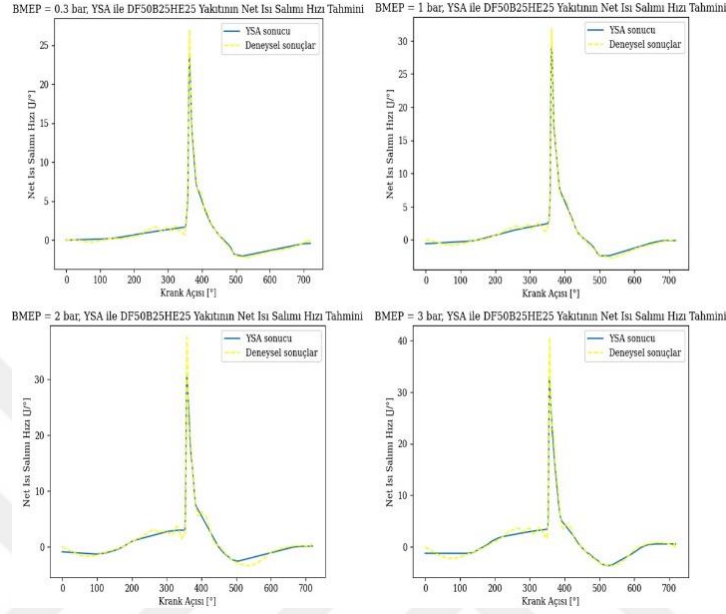
Şekil 4.109. DF50B50'nin NISH deneyel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.110'da görüldüğü gibi, DF50HE50'nin farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.544, 0.287, 0.933 ve 1.275'tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



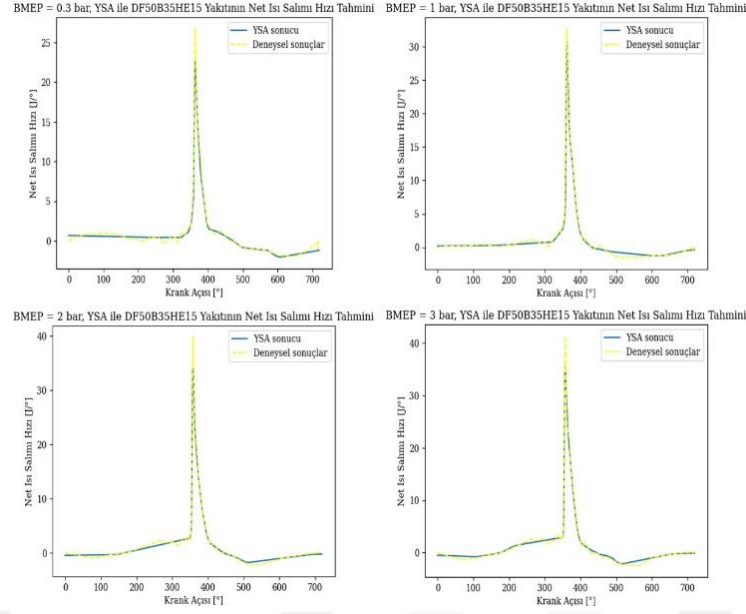
Şekil 4.110. DF50HE50'nin NISH deneyel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.111’de görüldüğü gibi, DF50B25HE25 farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.178, 0.134, 0.669 ve 0.720’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



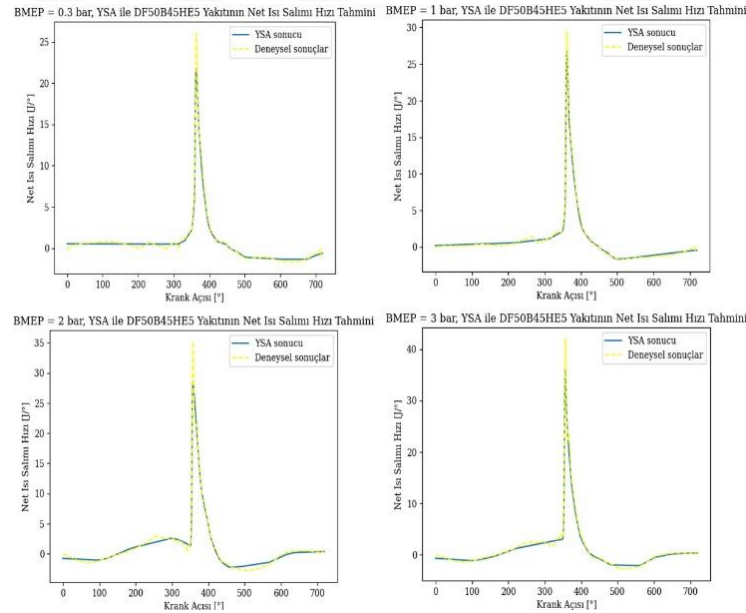
Şekil 4.111. DF50B25HE25’in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.112’de, DF50B35HE15’in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.313, 0.276, 0.384 ve 0.378’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.112. DF50B35HE15'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

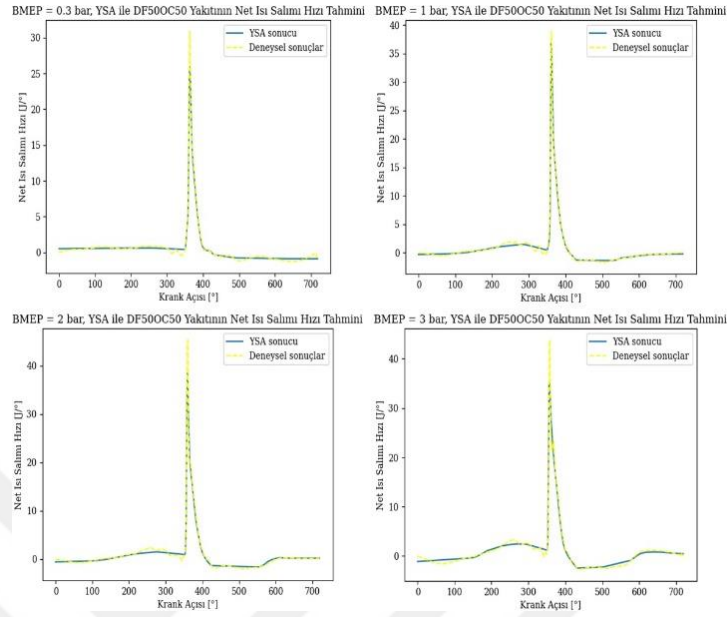
Şekil 4.113'te görüldüğü gibi, DF50B45HE5'in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.269, 0.099, 0.578 ve 0.438'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.113. DF50B45HE5'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

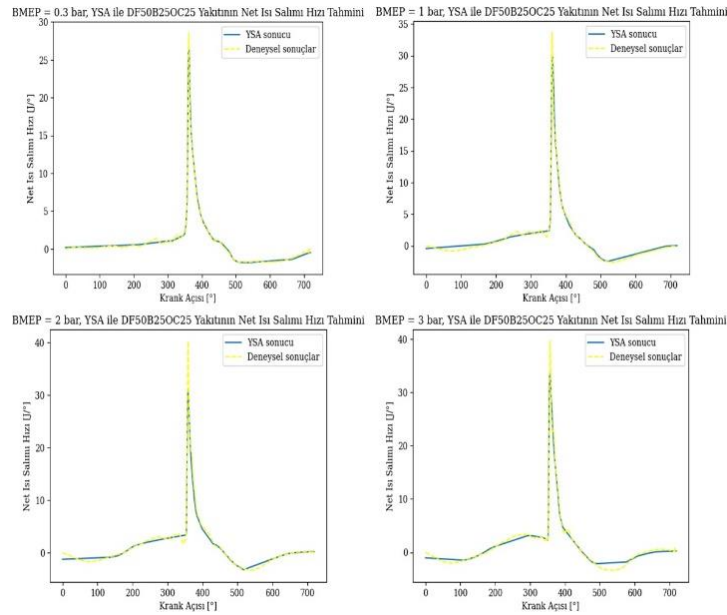
Şekil 4.114'te görüldüğü gibi, DF50OC50'nin farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla;

0.241, 0.186, 0.639 ve 1.017'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



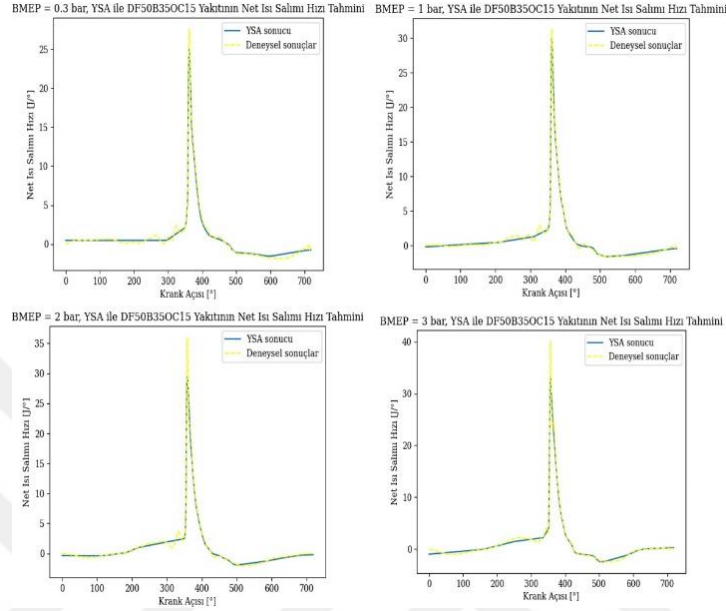
Şekil 4.114. DF50OC50'nin NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.115'te görüldüğü gibi, DF50B25OC25'in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.080, 0.427, 0.851 ve 0.652'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



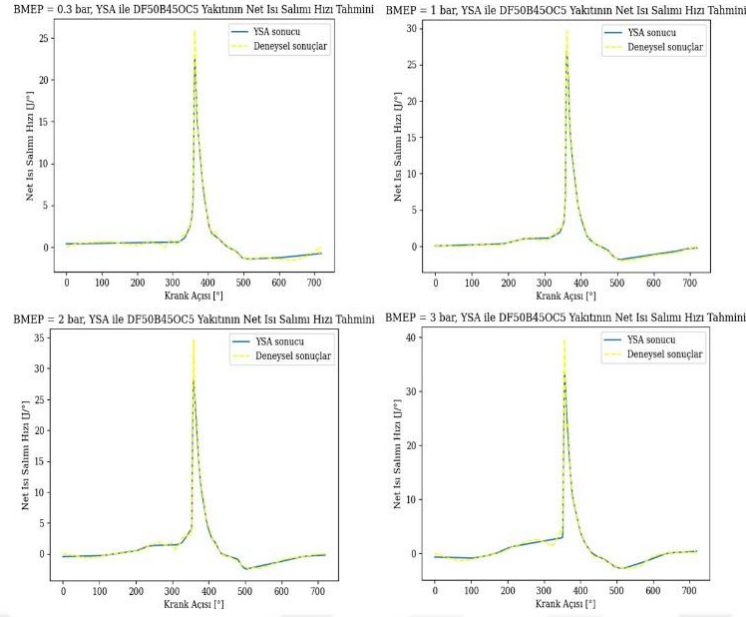
Şekil 4.115. DF50B25OC25'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.116’da, DF50B35OC15’in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.193, 0.172, 0.488 ve 0.308’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



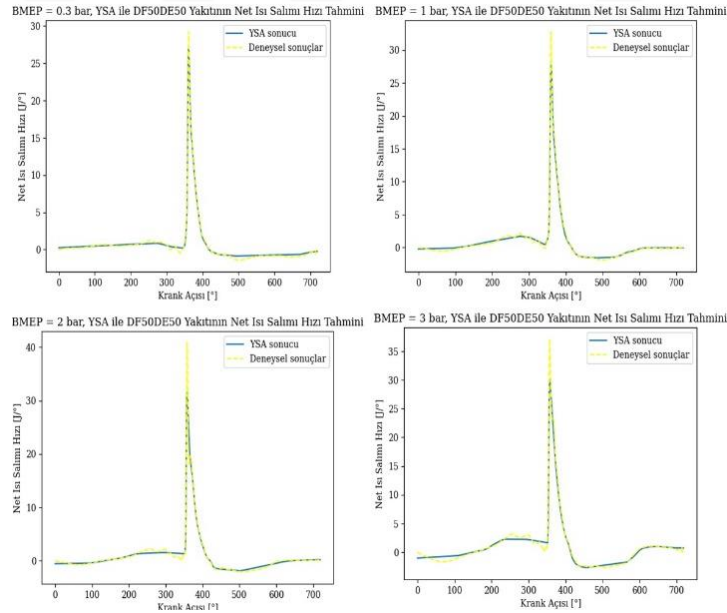
Şekil 4.116. DF50B35OC15’in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.117’de görüldüğü gibi, DF50B45OC5’in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.161, 0.071, 0.451 ve 0.379’dur. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.117. DF50B45OC5'in NISH deneyisel sonuçlarının YSA ile tahmini

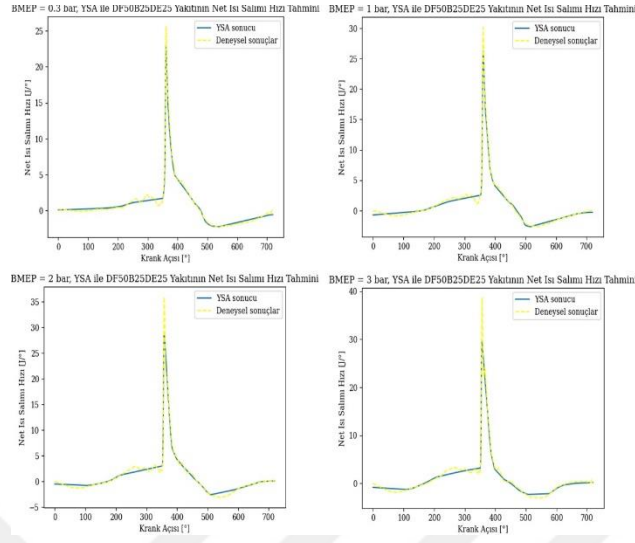
Şekil 4.118'de görüldüğü gibi, DF50DE50'nin farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.076, 0.270, 0.956 ve 0.500'dür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.118. DF50DE50'nin NISH deneyisel sonuçlarının YSA ile tahmini

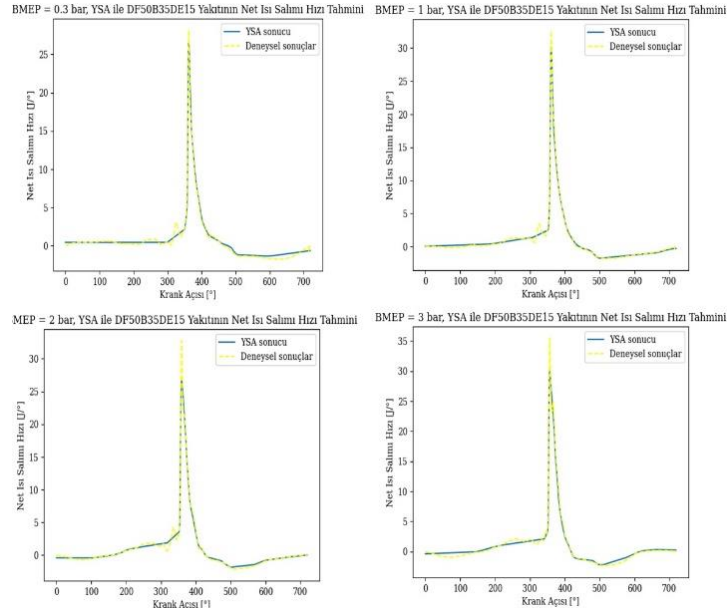
Şekil 4.119'da, DF50B25DE25'in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.119,

0.273, 0.682 ve 0.565'tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



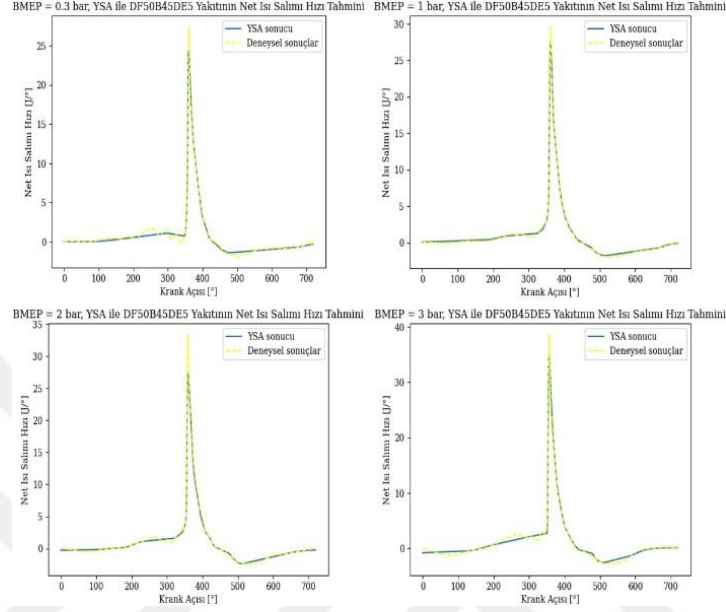
Şekil 4.119. DF50B25DE25'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.120'de, DF50B35DE15'in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.227, 0.164, 0.366 ve 0.351'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.120. DF50B35DE15'in NISH deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

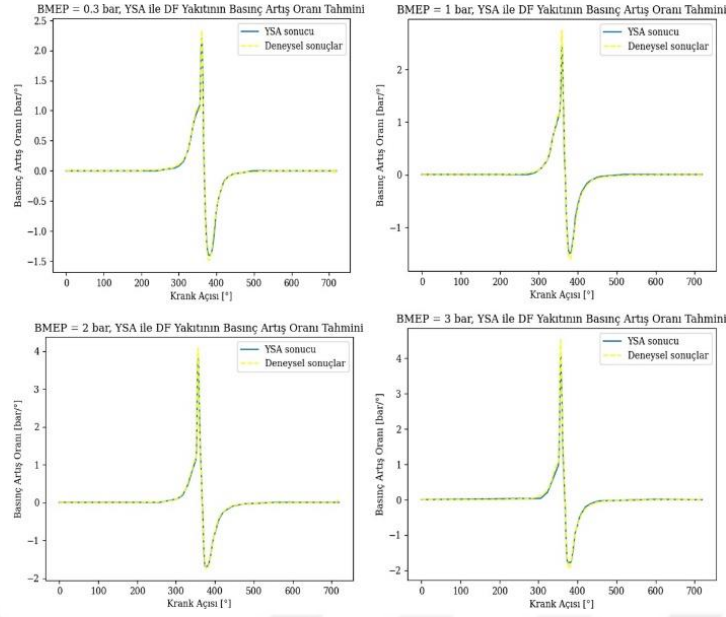
Şekil 4.121’de görüldüğü gibi, DF50B45DE5’in farklı motor yüklerindeki, NISH deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.304, 0.105, 0.351 ve 0.321’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.121. DF50B45DE5’in NISH deney sonuçlarının YSA ile tahmini

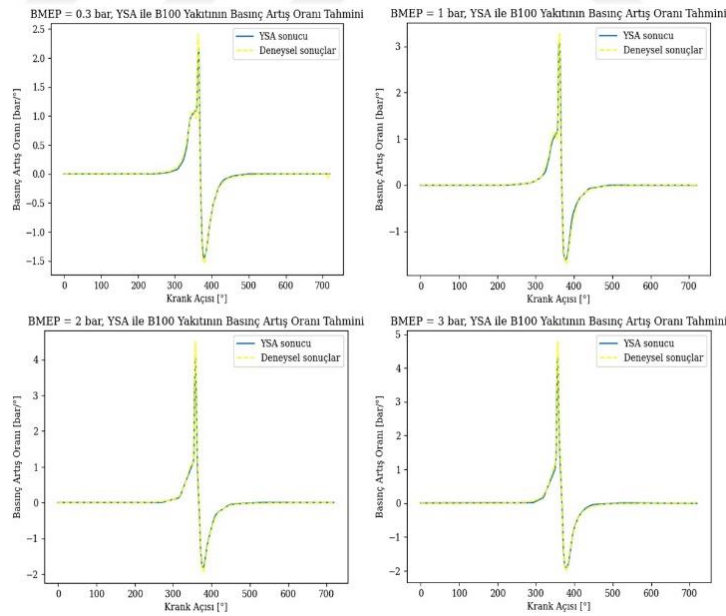
4.3.4.3. Basınç artış oranının YSA ile tahmini

Şekil 4.122’de, DF’nin farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00059, 0.00230, 0.00051 ve 0.00231’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 2 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.122. DF'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

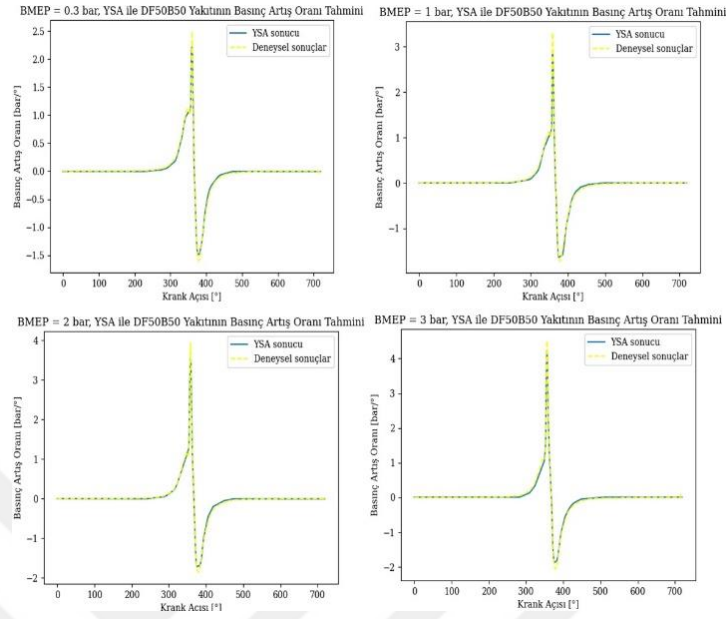
Şekil 4.123'te, B100'ün farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00280, 0.00390, 0.00256 ve 0.00255'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.123. B100'ün BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

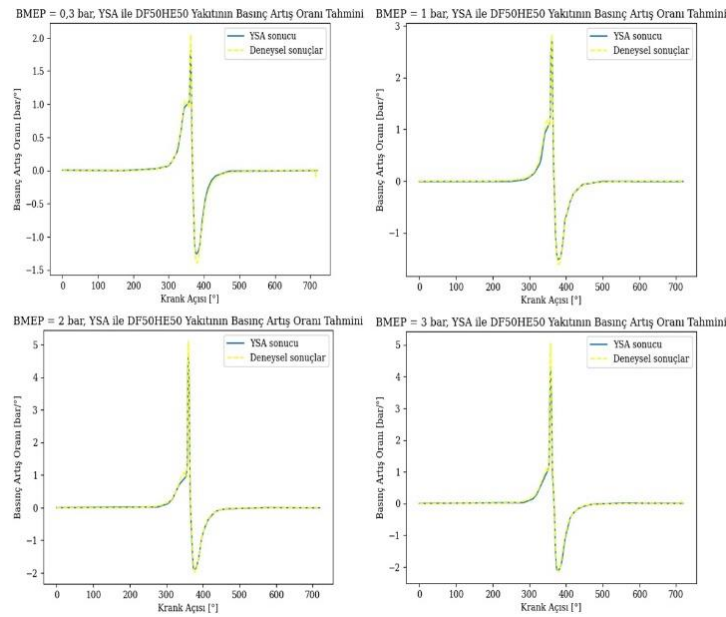
Şekil 4.124'te, DF50B50'nin farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00144, 0.00349,

0.00273 ve 0.00259'dur. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



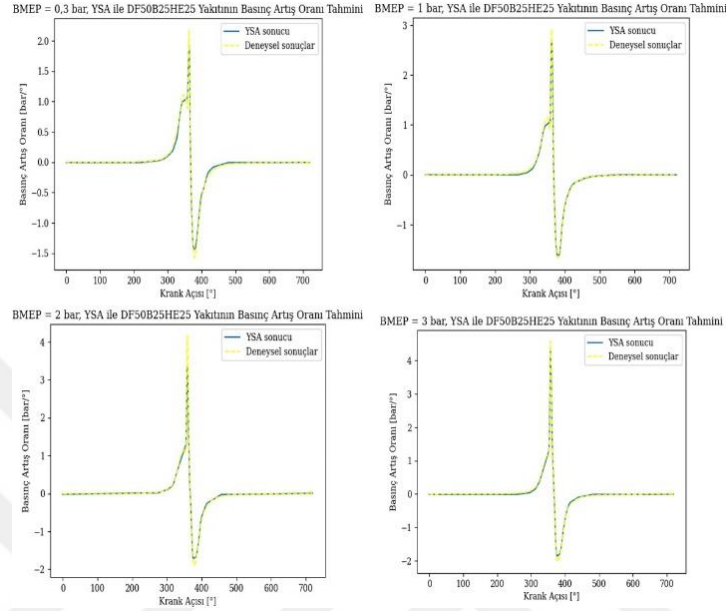
Şekil 4.124. DF50B50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.125'te, DF50HE50'nin farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00153, 0.00343, 0.00606 ve 0.00541'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



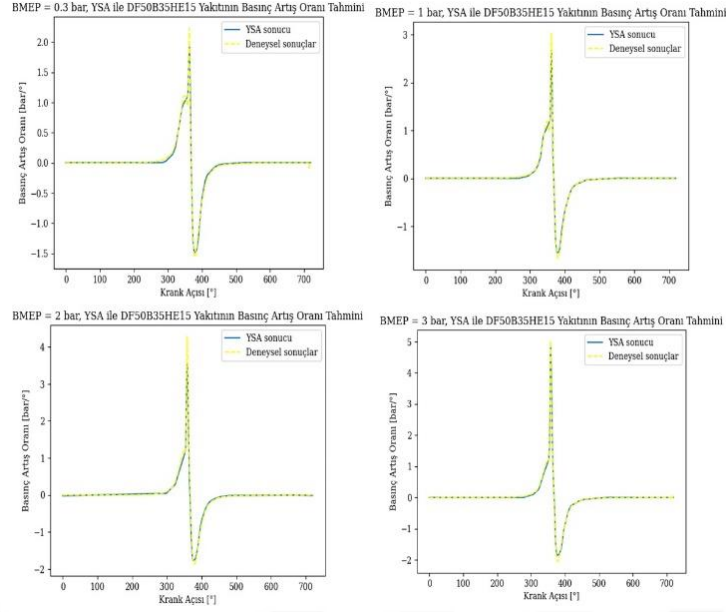
Şekil 4.125. DF50HE50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.126’da, DF50B25HE25’in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00168, 0.00366, 0.00723 ve 0.00253’tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık yük deneyinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



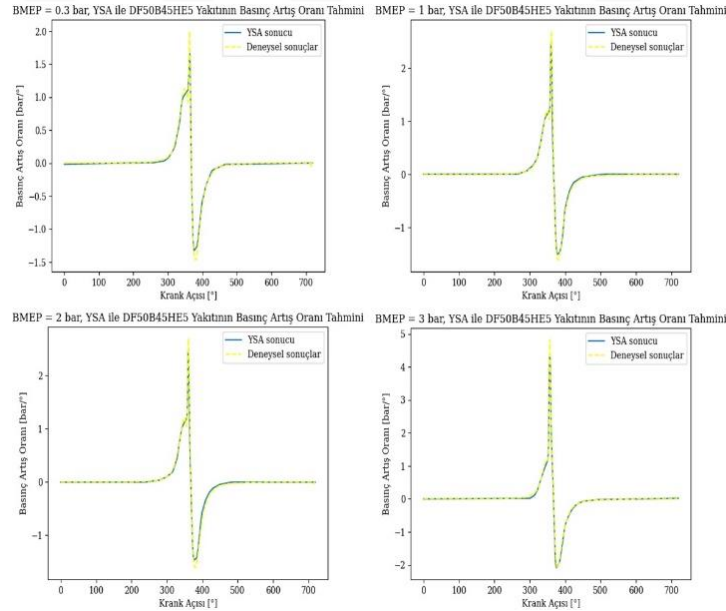
Şekil 4.126. DF50B25HE25’in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.127’de, DF50B35HE15’in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00238, 0.00309, 0.00749 ve 0.00422’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık yük deneyinden elde edilen sonuç için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.127. DF50B35HE15'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

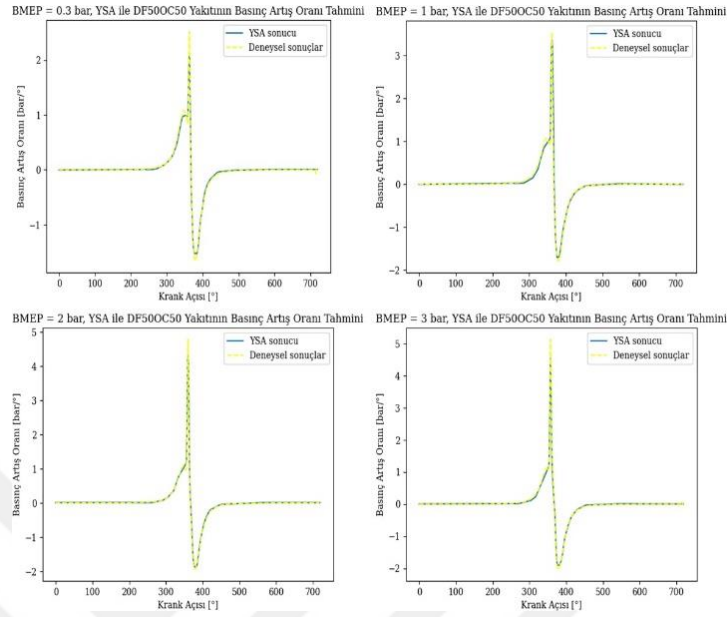
Şekil 4.128'de, DF50B45HE5'in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00227, 0.00455, 0.00377 ve 0.00162'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.128. DF50B45HE5'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

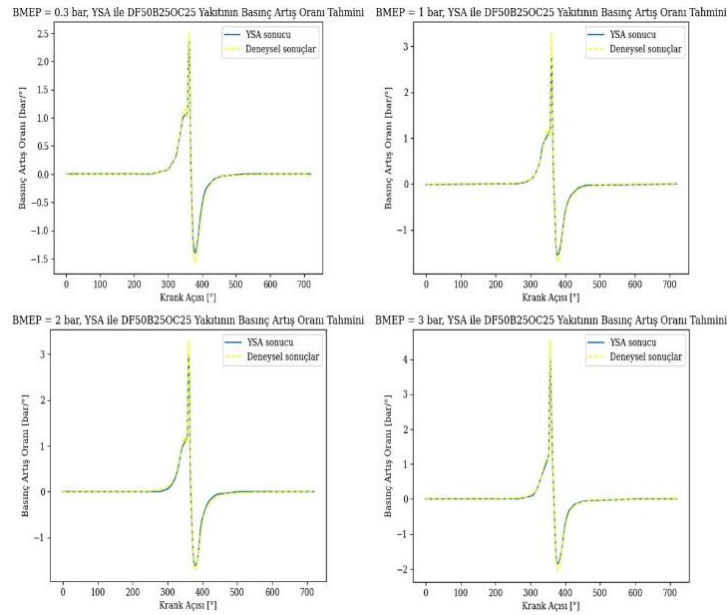
Şekil 4.129'da, DF50OC50'nin farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00192,

0.00187, 0.00391 ve 0.00946'dır. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 1 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



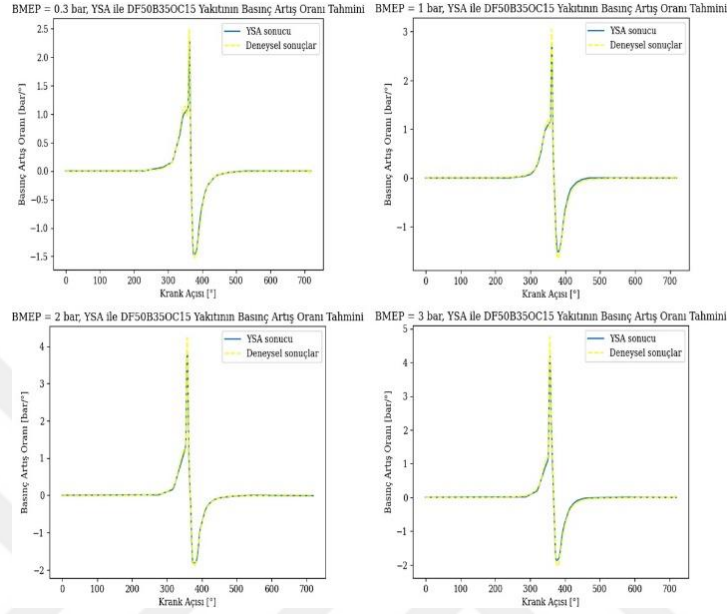
Şekil 4.129. DF50OC50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.130'da, DF50B25OC25'in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00161, 0.00377, 0.00238 ve 0.00147'dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 3 bar'lık yük deneyinden elde edilen sonuç için gerçekleşmiştir.



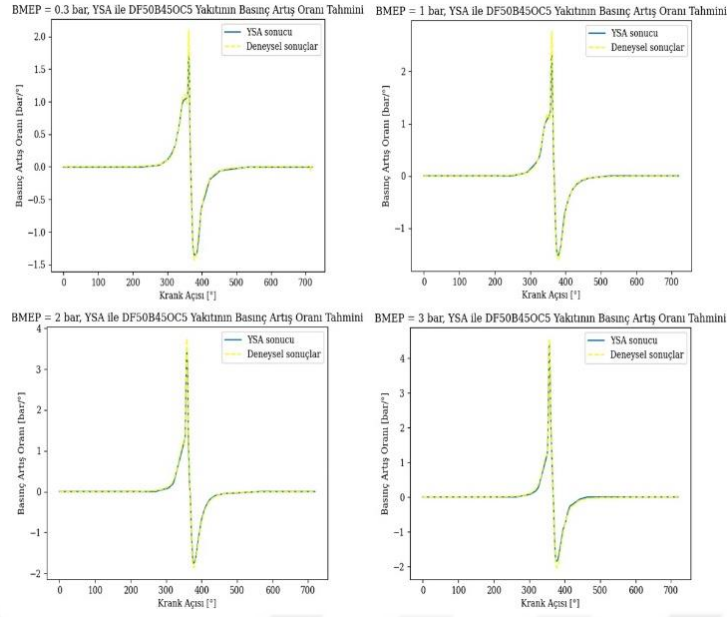
Şekil 4.130. DF50B25OC25'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.131’de, DF50B35OC15’in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00424, 0.00412, 0.00214 ve 0.00280’dır. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 2 bar’lık yük deneyinden elde edilen sonuç için gerçekleşmiştir.



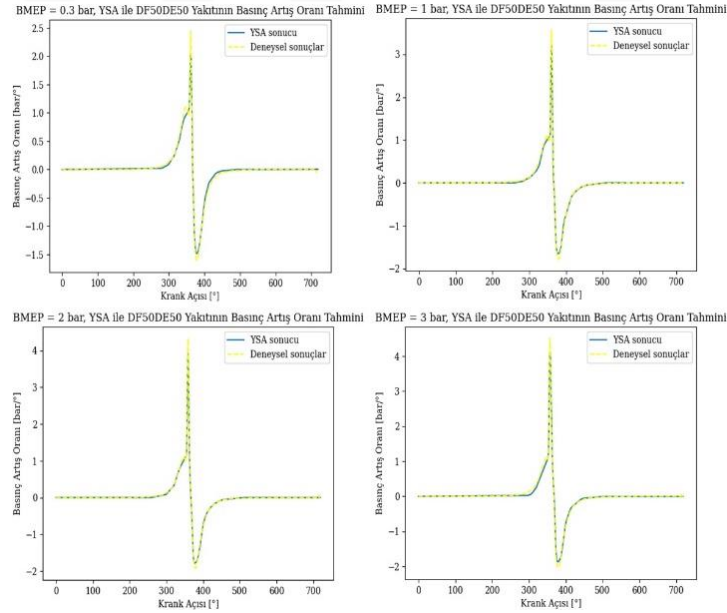
Şekil 4.131. DF50B35OC15’in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.132’de, DF50B35OC5’in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00203, 0.00213, 0.00305 ve 0.00144’tür. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.132. DF50B45OC5'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

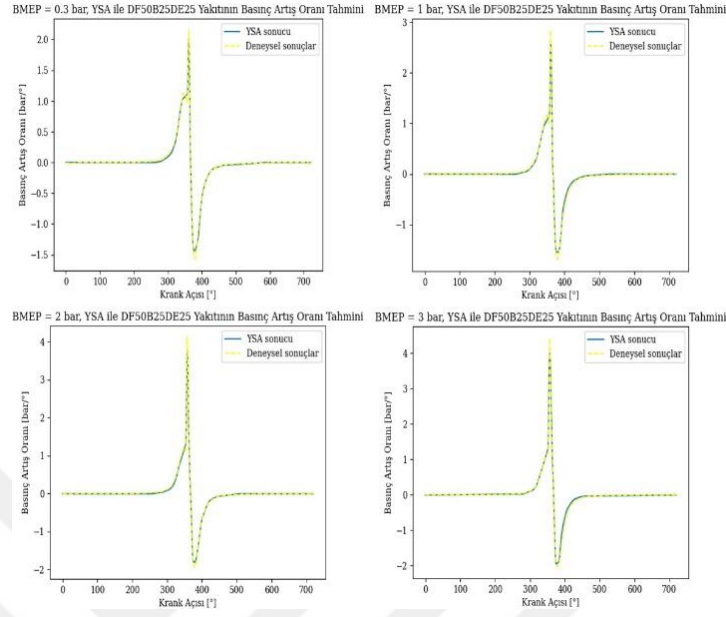
Şekil 4.133'te, DF50DE50'nin farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00172, 0.00327, 0.00237 ve 0.00270'tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.133. DF50DE50'nin BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

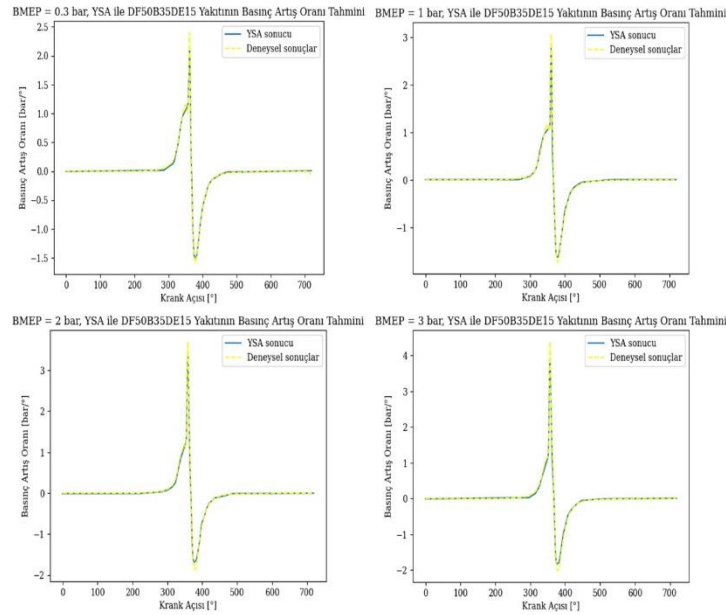
Şekil 4.134'te, DF50B25DE25'in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla;

0.00105, 0.00232, 0.00177 ve 0.00235'tir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık yük deneyinden elde edilen sonuç için gerçekleşmiştir.



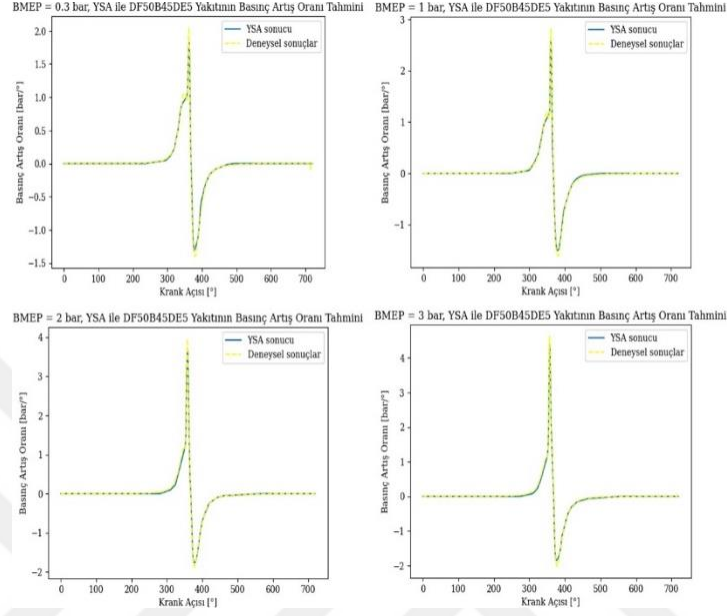
Şekil 4.134. DF50B25DE25'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.135'te, DF50B35DE15'in farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00115, 0.00608, 0.00250 ve 0.00399'dur. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar'lık yük deneyinden elde edilen sonuç için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.135. DF50B35DE15'in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

Şekil 4.136’da, DF50B45DE5 farklı motor yüklerindeki, BAO deney sonuçları ve YSA tahminleri verilmiştir. YSA modelinin MSE değerleri sırasıyla; 0.00143, 0.00232, 0.00186 ve 0.00217’dir. MSE değerleri doğrultusunda en başarılı tahmin sonucu 0.3 bar’lık motor yükü deneylerinden elde edilen sonuçlar için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.136. DF50B45DE5’in BAO deneysel sonuçlarının YSA ile tahmini

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, aspir tohumundan farklı yöntemler ile yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve ekstrakte edilen yağ biyodizele sentezlenmiştir. Sentezlenen Biyodizel yakıtı DF, 1-hekzanol, 1-oktanol ve 1-dekanolün farklı oranlarda karıştırılması neticesinde elde edilen farklı yakıtlar eddy current tip dinamometreye bağlı tek silindirli, dört zamanlı bir dizel bir motorda yanma, performans ve emisyonlara etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen yanma parametrelerinin veri setlerini oluşturan datalar, YSA ağlarının oluşturulması için yeterli olduğundan elde edilen sonuçlar YSA aracılığı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Test yakıtları, dinamometre aracılığı ile motorun BMEP = 0.3, 1, 2 ve 3 bar yüklenmesi ile test edilmiştir.

Yağ ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmeden önce tohumların ortalama karakteristik ölçüleri ($a = 6.514$ mm, $b = 4.34$ mm ve $c = 3.386$ mm), tohumların nem muhteiyatı %5.68 ve tohumların 1000 dane kütlesi 42.03575 g olarak ölçülmüştür.

Tohumdan yağ ekstraksiyonu için hidrolik pres, sürekli vidalı pres ve sokslet ekstraksiyon yöntemleri kullanılmıştır. Hidrolik pres ile yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilirken preslenme süresi 10 dakikada sabit tutulmuş ve farklı basınçlarda (2, 4, 6, 8 and 10 MPa) ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile maksimum yağ elde etme verimliliği 10 MPa'da %8.85 olarak gerçekleşmiştir. Sürekli vidalı pres ile yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilirken pres kafası sıcaklığı 60°C 'de, küspe nozul çıkış çapı 6 mm ve sonsuz vida dönüş sayısı 20 – 21 rpm'de yağ elde etme verimliliği %21.8349 olarak gerçekleşmiştir. Sokslet ekstraksiyon yöntemi ile yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilirken 116°C ekstraksiyon sıcaklığında, çözücü olarak C_6H_{14} kullanılıp ve tohumun farklı partikül büyüklüklerinde ekstraksiyon gerçekleştirildiğinde, bu yöntem ile maksimum yağ elde etme verimliliği %32.49 olarak gerçekleşmiştir.

Farklı yöntemler ile ekstrakte edilen tohumların SEM görüntüleri alınmış ve elde edilen görüntüler neticesinde ekstraksiyondan sonra tohumların oleozome şişliklerinin indiği, tohumun mikroyapısının düzleştiği, tohumun morfolojik yapısının tahrip olduğu ve yağ difüzyonu nedeniyle büzülmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, literatürde basınç etkisi altında oleozomların varsayımsal konformasyonunu doğrulayan SEM görüntüsü (Şekil 4.6.d) elde edilmiştir.

Ekstrakte edilen yağa ve sentezlenen biyodizele FT-IR, ^1H NMR, ^{13}C NMR, GC-MS analizleri ayrıca yağın asit değeri testi için otomatik potansiyometrik titrasyon yöntemi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen bu analizler ve uygulanan yöntemlerin sonuçları hem yağın hemde biyodizelin fizikokimyasal özelliklerini karakterize etmek ve değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, elde edilen ATY'nin, YA kompozisyonunun ana bileşiği olarak (C18:2) ve (C18:1) oluşan ağırlıkça %88.5'in üzerinde bir toplam doymamış YA bileşimine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca sentezlenen biyodizelin metil esterlerinin kimyasal bileşimi de GC-MS kromatografik verileriyle C16 ila C18 arasında değişen altı YAME tanımlanmıştır. Ayrıca, KOH katalizörü ile katalize edilen tek aşamalı transesterifikasyon prosesi kullanılarak ATY'den sentezlenen B100 hem ASTM-D6751 hem de EN-14214 standartlarına uygun aralıkta olduğu görülmüştür.

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde performans, emisyon ve yanma parametreleri için aşağıda belirtilen genel sonuçlar elde edilmiş olup, test yakıtlarının hesaplanan özellikleri Çizelge 5.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 5.1. Test Yakıtlarının hesaplanan özellikleri

Yakıt Türü	Yoğunluk (kg/m^3)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)
DF	835.00	42490.000
B100	886.60	39700.000
DF50B50	860.80	41053.189
DF50HE50	828.40	40808.504
DF50OC50	831.00	40021.937
DF50DE50	832.35	42146.098
DF50B25HE25	844.60	40933.193
DF50B25OC25	845.90	40546.646
DF50B25DE25	846.58	41590.462
DF50B35HE15	851.08	40981.740
DF50B35OC15	851.86	40751.389
DF50B35DE15	852.27	41373.400
DF50B45HE5	857.56	41029.552
DF50B45OC5	857.82	40953.288
DF50B45DE5	857.96	41159.218

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde FÖYT'leri Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi en

yüksek yoğunluğa ve en düşük kalorifik değere sahip olan B100 yakıtının FÖYT değerlerinin genel eğilimi diğer yakıtlara kıyasla daha yüksektir. Test yakıtlarından daha yüksek kalorifik değere ve düşük yoğunluğa sahip DF yakıtının FÖYT değerinin genel eğilimi diğer yakıtlara kıyasla en düşüktür. Kullanılan test yakıtları arasında yüksek kalorifik değer bakımından ikinci sırada yer alan DF50DE50 yakıtı ikinci düşük FÖYT genel eğilimi göstermiştir.

Çizelge 5.2. DF, B100 ve %50 B100 ve AA fraksiyonlarının FÖYT'leri

BMEP (bar)	DF (kg/kWh)	B100 (kg/kWh)	DF50B50 (kg/kWh)	DF50HE50 (kg/kWh)	DF50OC50 (kg/kWh)	DF50DE50 (kg/kWh)
0.3	1.26803	2.48521	1.91276	1.36167	1.35764	1.18604
1	0.50141	0.60899	0.58060	0.58621	0.52767	0.50642
2	0.36187	0.40050	0.38966	0.42165	0.40017	0.36418
3	0.28474	0.33669	0.31145	0.33063	0.32088	0.29110

Çizelge 5.3. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri

BMEP (bar)	DF (kg/kWh)	B100 (kg/kWh)	DF50B25HE25 (kg/kWh)	DF50B25OC25 (kg/kWh)	DF50B25DE25 (kg/kWh)
0.3	1.26803	2.48521	1.32116	2.04873	1.19209
1	0.50141	0.60899	0.51530	0.54282	0.54377
2	0.36187	0.40050	0.37658	0.35863	0.36699
3	0.28474	0.33669	0.29506	0.29780	0.30584

Çizelge 5.4. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri

BMEP (bar)	DF (kg/kWh)	B100 (kg/kWh)	DF50B35HE15 (kg/kWh)	DF50B35OC15 (kg/kWh)	DF50B35DE15 (kg/kWh)
0.3	1.26803	2.48521	1.36994	1.40387	1.42826
1	0.50141	0.60899	0.56244	0.53576	0.54160
2	0.36187	0.40050	0.37166	0.37601	0.35146
3	0.28474	0.33669	0.31056	0.29146	0.30027

Çizelge 5.5. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FÖYT'leri

BMEP (bar)	DF (kg/kWh)	B100 (kg/kWh)	DF50B45HE5 (kg/kWh)	DF50B45OC5 (kg/kWh)	DF50B45DE5 (kg/kWh)
0.3	1.26803	2.48521	1.27400	1.27643	1.85982
1	0.50141	0.60899	0.56778	0.51698	0.52372
2	0.36187	0.40050	0.37047	0.35517	0.36819
3	0.28474	0.33669	0.29778	0.30077	0.29587

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde FÖET'leri Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Çizelge

5.8 ve Çizelge 5.9’da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi B100 yakıtı bütün yük koşullarında diğer test yakıtlarından daha yüksek FÖET ile sonuçlanma genel eğilimi gösterirken DF ve DF50DE50 yakıtları da daha düşük FÖET ile sonuçlanma genel eğilimi gösterip bu yakıtların değerleri birbirine yakındır.

Çizelge 5.6. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının FÖET’leri

BMEP (bar)	DF (MJ/kWh)	B100 (MJ/kWh)	DF50B50 (MJ/kWh)	DF50HE50 (MJ/kWh)	DF50OC50 (MJ/kWh)	DF50DE50 (MJ/kWh)
0.3	53.87874	98.66299	78.52495	55.56777	54.33552	49.98690
1	21.30509	24.17696	23.83531	23.92253	21.11835	21.34358
2	15.37588	15.89987	15.99668	17.20710	16.01540	15.34864
3	12.09844	13.36661	12.78588	13.49262	12.84240	12.26852

Çizelge 5.7. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FÖET’leri

BMEP (bar)	DF (MJ/kWh)	B100 (MJ/kWh)	DF50B25HE25 (MJ/kWh)	DF50B25OC25 (MJ/kWh)	DF50B25DE25 (MJ/kWh)
0.3	53.87874	98.66299	54.07944	83.06912	49.57959
1	21.30509	24.17696	21.09281	22.00944	22.61561
2	15.37588	15.89987	15.41467	14.54111	15.26323
3	12.09844	13.36661	12.07774	12.07478	12.72018

Çizelge 5.8. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FÖET’leri

BMEP (bar)	DF (MJ/kWh)	B100 (MJ/kWh)	DF50B35HE15 (MJ/kWh)	DF50B35OC15 (MJ/kWh)	DF50B35DE15 (MJ/kWh)
0.3	53.87874	98.66299	56.14239	57.20957	59.09203
1	21.30509	24.17696	23.04966	21.83301	22.40792
2	15.37588	15.89987	15.23116	15.32306	14.54090
3	12.09844	13.36661	12.72714	11.87733	12.42336

Çizelge 5.9. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FÖET’leri

BMEP (bar)	DF (MJ/kWh)	B100 (MJ/kWh)	DF50B45HE5 (MJ/kWh)	DF50B45OC5 (MJ/kWh)	DF50B45DE5 (MJ/kWh)
0.3	53.87874	98.66299	52.27157	52.27410	76.54887
1	21.30509	24.17696	23.29566	21.17191	21.55583
2	15.37588	15.89987	15.20012	14.54537	15.15445
3	12.09844	13.36661	12.21759	12.31756	12.17774

DF, B100 ve AA’lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde FTV’leri Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi

Oktanöl ile oluşturulan üçlü yakıt karışımlarının tamamı diğer üçlü yakıt karışımlara kıyasla FTV değerinde genel eğilim olarak daha iyi performans göstermiştir.

Çizelge 5.10. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B50	DF50HE50	DF50OC50	DF50DE50
0.3	0.06682	0.03649	0.04585	0.06479	0.06625	0.07202
1	0.16897	0.14890	0.15104	0.15049	0.17047	0.16867
2	0.23413	0.22642	0.22505	0.20922	0.22478	0.23455
3	0.29756	0.26933	0.28156	0.26681	0.28032	0.29343

Çizelge 5.11. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B25HE25	DF50B25OC25	DF50B25DE25
0.3	0.06682	0.03649	0.06657	0.04334	0.07261
1	0.16897	0.14890	0.17067	0.16357	0.15918
2	0.23413	0.22642	0.23354	0.24757	0.23586
3	0.29756	0.26933	0.29807	0.29814	0.28301

Çizelge 5.12. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B35HE15	DF50B35OC15	DF50B35DE15
0.3	0.06682	0.03649	0.06412	0.06293	0.06092
1	0.16897	0.14890	0.15618	0.16489	0.16066
2	0.23413	0.22642	0.23636	0.23494	0.24758
3	0.29756	0.26933	0.28286	0.30310	0.28978

Çizelge 5.13. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının FTV'leri (%)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B45HE5	DF50B45OC5	DF50B45DE5
0.3	0.06682	0.03649	0.06887	0.06887	0.04703
1	0.16897	0.14890	0.15454	0.17004	0.16701
2	0.23413	0.22642	0.23684	0.24750	0.23755
3	0.29756	0.26933	0.29466	0.29227	0.29562

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde EGS'leri Çizelge 5.14, Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi maksimum yükte en yüksek EGS'ye neden olan yakıt türü ikili yakıt karışımlarından DF50HE50 iken maksimum yükte en düşük EGS'ye neden olan DF50B25HE25 yakıtıdır.

Çizelge 5.14. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının EGS'leri ($^{\circ}\text{C}$)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B50	DF50HE50	DF50OC50	DF50DE50
0.3	78	80	76	90	79	78
1	104	106	99	116	102	99
2	128	126	122	145	115	122
3	150	148	150	181	157	141

Çizelge 5.15. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının EGS'leri ($^{\circ}\text{C}$)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B25HE25	DF50B25OC25	DF50B25DE25
0.3	78	80	79	74	76
1	104	106	97	96	96
2	128	126	121	117	116
3	150	148	140	141	141

Çizelge 5.16. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının EGS'leri ($^{\circ}\text{C}$)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B35HE15	DF50B35OC15	DF50B35DE15
0.3	78	80	86	89	82
1	104	106	111	108	108
2	128	126	137	126	128
3	150	148	160	154	158

Çizelge 5.17. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının EGS'leri ($^{\circ}\text{C}$)

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B45HE5	DF50B45OC5	DF50B45DE5
0.3	78	80	73	73	74
1	104	106	94	94	96
2	128	126	116	114	116
3	150	148	141	141	141

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde NOx emisyonları Çizelge 5.18, Çizelge 5.19, Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.21'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi tekli yakıtlardan B100 artan motor yükü ile beraber DF'ye kıyasla daha yüksek NOx emisyonu üretmiştir. İkili yakıt karışımlarından DF50HE50 düşük yüklerdeki NOx emisyonu diğer tekli ve iki karışimli yakıtlara kıyasla düşük olmasına rağmen artan yükler ile beraber NOx emisyon miktarı oldukça artmıştır. Üçlü yakıt karışımlarından en düşük NOx emisyon değerleri AA fraksiyonlarının %5 olduğu test yakıtları üretmiştir. %5 AA fraksiyonuna sahip üçlü yakıt karışımlarının dışındaki üçlü yakıt karışımlarından en düşük NOx emisyon değerleri düşük ve orta yüklerde dekanolün olduğu karışımlar sağlamıştır.

Çizelge 5.18. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının NOx emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B50 (ppm)	DF50HE50 (ppm)	DF50OC50 (ppm)	DF50DE50 (ppm)
0.3	38.0	38.0	45.0	37.0	42.0	47.0
1	99.0	103.0	96.0	78.0	104.0	107.0
2	229.0	231.0	182.0	191.0	202.0	171.0
3	318.0	335.0	257.0	311.0	312.0	250.0

Çizelge 5.19. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B25HE25 (ppm)	DF50B25OC25 (ppm)	DF50B25DE25 (ppm)
0.3	38.0	38.0	43.0	41.0	41.0
1	99.0	103.0	79.0	79.0	75.0
2	229.0	231.0	166.0	154.0	184.0
3	318.0	335.0	253.0	258.0	263.0

Çizelge 5.20. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B35HE15 (ppm)	DF50B35OC15 (ppm)	DF50B35DE15 (ppm)
0.3	38.0	38.0	51.0	43.0	47.0
1	99.0	103.0	93.0	115.0	109.0
2	229.0	231.0	212.0	264.0	192.0
3	318.0	335.0	319.0	388.0	429.0

Çizelge 5.21. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının NOx emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B45HE5 (ppm)	DF50B45OC5 (ppm)	DF50B45DE5 (ppm)
0.3	38.0	38.0	43.0	36.0	24.0
1	99.0	103.0	90.0	80.0	77.0
2	229.0	231.0	164.0	148.0	148.0
3	318.0	335.0	281.0	299.0	268.0

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde CO emisyonları Çizelge 5.22, Çizelge 5.23, Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi tekli yakıtlardan DF ile B100 kıyaslandığında, her motor yükünde B100'ün üretmiş olduğu CO emisyonu DF'den daha yüksektir. DF50B50 yakıtının CO emisyonları diğer tüm tekli ve ikili yakıt karışımlarına kıyasla daha düşüktür. DF50B50'den sonra en düşük CO emisyonu DF50DE50 yakıtı ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA karışımlarının CO emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B50 (ppm)	DF50HE50 (ppm)	DF50OC50 (ppm)	DF50DE50 (ppm)
0.3	204.0	343.0	158.0	275.0	303.0	203.0
1	170.0	214.0	153.0	210.0	267.0	200.0
2	126.0	150.0	136.0	152.0	161.0	143.0
3	130.0	139.0	100.0	135.0	138.0	110.0

Çizelge 5.23. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının CO emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B25HE25 (ppm)	DF50B25OC25 (ppm)	DF50B25DE25 (ppm)
0.3	204.0	343.0	189.0	235.0	158.0
1	170.0	214.0	176.0	157.0	149.0
2	126.0	150.0	122.0	125.0	132.0
3	130.0	139.0	107.0	107.0	109.0

Çizelge 5.24. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının CO emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B35HE15 (ppm)	DF50B35OC15 (ppm)	DF50B35DE15 (ppm)
0.3	204.0	343.0	228.0	221.0	252.0
1	170.0	214.0	187.0	229.0	201.0
2	126.0	150.0	133.0	186.0	145.0
3	130.0	139.0	127.0	146.0	182.0

Çizelge 5.25. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının CO emisyonları

BMEP (bar)	DF (ppm)	B100 (ppm)	DF50B45HE5 (ppm)	DF50B45OC5 (ppm)	DF50B45DE5 (ppm)
0.3	204.0	343.0	220.0	166.0	138.0
1	170.0	214.0	184.0	176.0	158.0
2	126.0	150.0	118.0	121.0	130.0
3	130.0	139.0	101.0	118.0	108.0

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde DK emisyonları Çizelge 5.26, Çizelge 5.27, Çizelge 5.28 ve Çizelge 5.29'da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi DF'nin DK emisyonunun artış genel eğilimi diğer yakıtlardan daha yüksektir. B100'de DF'den sonra en yüksek DK emisyonunu üretmiştir. Bütün test yakıtlarından en düşük is emisyonu üreten yakıt DF50HE50'dir.

Çizelge 5.26. DF, B100 ve %50 biyodizel ve AA fraksiyonlarının is emisyonları

BMEP (bar)	DF (m ⁻¹)	B100 (m ⁻¹)	DF50B50 (m ⁻¹)	DF50HE50 (m ⁻¹)	DF50OC50 (m ⁻¹)	DF50DE50 (m ⁻¹)
0.3	0.58	0.24	0.16	0.16	0.16	0.17
1	0.49	0.32	0.07	0.03	0.19	0.09
2	0.47	0.51	0.14	0.04	0.21	0.21
3	1.21	0.98	0.24	0.14	0.18	0.16

Çizelge 5.27. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının is emisyonları

BMEP (bar)	DF (m ⁻¹)	B100 (m ⁻¹)	DF50B25HE25 (m ⁻¹)	DF50B25OC25 (m ⁻¹)	DF50B25DE25 (m ⁻¹)
0.3	0.58	0.24	0.28	0.35	0.28
1	0.49	0.32	0.29	0.33	0.24
2	0.47	0.51	0.45	0.51	0.36
3	1.21	0.98	0.53	0.47	0.55

Çizelge 5.28. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının is emisyonları

BMEP (bar)	DF (m ⁻¹)	B100 (m ⁻¹)	DF50B35HE15 (m ⁻¹)	DF50B35OC15 (m ⁻¹)	DF50B35DE15 (m ⁻¹)
0.3	0.58	0.24	0,48	0,31	0,33
1	0.49	0.32	0,52	0,34	0,34
2	0.47	0.51	0,77	0,54	0,42
3	1.21	0.98	0,91	0,92	0,95

Çizelge 5.29. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının is emisyonları

BMEP (bar)	DF (m ⁻¹)	B100 (m ⁻¹)	DF50B45HE5 (m ⁻¹)	DF50B45OC5 (m ⁻¹)	DF50B45DE5 (m ⁻¹)
0.3	0.58	0.24	0,41	0,49	0,42
1	0.49	0.32	0,53	0,50	0,51
2	0.47	0.51	0,63	0,54	0,54
3	1.21	0.98	0,95	0,95	1,40

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde maksimum SB'leri ve ⁰KMA'ları Çizelge 5.30, Çizelge 5.31, Çizelge 5.32 ve Çizelge 5.33'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi maksimum SB'ler tüm yakıtlar için krank açısının 369-371 ⁰KMA'da elde edilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde silindirdeki basınç profilinin test edilen yakıt karışımları için maksimum SB'lerin ÜÖN'den 9-11° krank açısı sonrasında olduğu görülmektedir. DF ve B100 yakıtları kıyaslandığında yük artışı ile beraber B100 yakıtının maksimum SB'si DF'den daha yüksek olmuştur. İkili yakıt karışımlarında genel eğilim, tekli karışımlara göre artan yükler ile beraber daha yüksek SB'ler oluşmuştur.

Test yakıtlarından DF50OC50 diğer yakıtlara kıyasla genel eğilim olarak artan yükler ile beraber yüksek SB'ler oluştururken en büyük SB'yi maksimum yükte DF50HE50 yakıtı oluşturmuştur.

Çizelge 5.30. DF, B100, %50 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA

BMEP (bar)	DF (bar)	B100 (bar)	DF50B50 (bar)	DF50HE50 (bar)	DF50OC50 (bar)	DF50DE50 (bar)
0.3	51.91 370 ⁰	50.56 371 ⁰	53.63 369 ⁰	50.24 371 ⁰	52.25 370 ⁰	52.92 369 ⁰
1	52.7 370 ⁰	54.9 370 ⁰	56.89 369 ⁰	55.54 370 ⁰	57.68 369 ⁰	56.57 369 ⁰
2	58.66 370 ⁰	60.07 369 ⁰	60.53 369 ⁰	61.87 369 ⁰	62.39 369 ⁰	61.52 369 ⁰
3	61.23 370 ⁰	63.16 370 ⁰	65.96 370 ⁰	67 369 ⁰	65.91 369 ⁰	65.13 370 ⁰

Çizelge 5.31. DF, B100 ve %25 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA

BMEP (bar)	DF (bar)	B100 (bar)	DF50B25HE25 (bar)	DF50B25OC25 (bar)	DF50B25DE25 (bar)
0.3	51.91 370 ⁰	50.56 371 ⁰	51.29 370 ⁰	51.17 369 ⁰	50.55 369 ⁰
1	52.7 370 ⁰	54.9 370 ⁰	53.92 370 ⁰	56.40 369 ⁰	54.41 370 ⁰
2	58.66 370 ⁰	60.07 369 ⁰	60.88 369 ⁰	61.20 369 ⁰	60.35 369 ⁰
3	61.23 370 ⁰	63.16 370 ⁰	65.04 370 ⁰	65.50 370 ⁰	64.83 370 ⁰

Çizelge 5.32. DF, B100 ve %15 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA

BMEP (bar)	DF (bar)	B100 (bar)	DF50B35HE15 (bar)	DF50B35OC15 (bar)	DF50B35DE15 (bar)
0,3	51,91 370 ⁰	50,56 371 ⁰	49.36 370 ⁰	51.33 370 ⁰	51.62 370 ⁰
1	52,7 370 ⁰	54,9 370 ⁰	53.77 370 ⁰	54.48 370 ⁰	55.38 370 ⁰
2	58,66 370 ⁰	60,07 369 ⁰	61.31 369 ⁰	61.59 369 ⁰	60.04 370 ⁰
3	61,23 370 ⁰	63,16 370 ⁰	65.69 370 ⁰	65.01 370 ⁰	64.72 370 ⁰

Çizelge 5.33. DF, B100 ve %5 AA fraksiyonlarının maksimum SB olduğu KA

BMEP (bar)	DF (bar)	B100 (bar)	DF50B45HE5 (bar)	DF50B45OC5 (bar)	DF50B45DE5 (bar)
0,3	51,91 370 ⁰	50,56 371 ⁰	48.94 370 ⁰	48.68 370 ⁰	46.55 370 ⁰
1	52,7 370 ⁰	54,9 370 ⁰	53.68 370 ⁰	53.78 370 ⁰	55.33 370 ⁰
2	58,66 370 ⁰	60,07 369 ⁰	61.37 369 ⁰	59.76 370 ⁰	59.8 370 ⁰
3	61,23 370 ⁰	63,16 370 ⁰	65.81 369 ⁰	64.90 370 ⁰	63.85 370 ⁰

DF, B100 ve AA farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde maksimum NISH'lerin ve ⁰KMA'ları Çizelge 5.34, Çizelge 5.35, Çizelge 5.36 ve Çizelge 5.37'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde artan motor yükü ile maksimum NISH değerlerinin genel eğilimi artış yönündedir. DF50B50 yakıtı düşük yüklerde DF yakıtından daha büyük NISH değerleri oluştururken yüksek yüklerde genel olarak DF yakıtının NISH değerlerine benzer olup DF50B50 yakıtı B100 ile kıyaslandığında tüm yüklerde B100'den daha düşük NISH değerleri oluşturmuştur. DF50HE50 tüm yüklerde diğer yakıtlara kıyasla yüksek NISH'ye neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.34. DF, B100 ve %50 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA

BMEP (bar)	DF (J/°)	B100 (J/°)	DF50B50 (J/°)	DF50HE50 (J/°)	DF50OC50 (J/°)	DF50DE50 (J/°)
0,3	24.28 362 ⁰	30.1 364 ⁰	26.05 361 ⁰	31.71 365 ⁰	26.98 363 ⁰	26.71 361 ⁰
1	24.81 360 ⁰	35.46 362 ⁰	30.24 359 ⁰	39.09 363 ⁰	31.85 361 ⁰	32.64 360 ⁰
2	34.91 357 ⁰	40.27 358 ⁰	33.48 358 ⁰	50.53 360 ⁰	37.6 360 ⁰	39.74 358 ⁰
3	35.37 356 ⁰	40.39 357 ⁰	35.76 356 ⁰	45.59 358 ⁰	40.72 357 ⁰	41.33 357 ⁰

Çizelge 5.35. DF, B100 ve %25 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA

BMEP (bar)	DF (J/°)	B100 (J/°)	DF50B25HE25 (J/°)	DF50B25OC25 (J/°)	DF50B25DE25 (J/°)
0,3	24.28 362 ⁰	30.1 364 ⁰	26.98 363 ⁰	28.51 362 ⁰	25.60 362 ⁰
1	24.81 360 ⁰	35.46 362 ⁰	31.85 362 ⁰	33.64 361 ⁰	30.21 361 ⁰
2	34.91 357 ⁰	40.27 358 ⁰	37.60 359 ⁰	40.30 359 ⁰	35.94 358 ⁰
3	35.37 356 ⁰	40.39 357 ⁰	40.72 357 ⁰	39.67 357 ⁰	38.59 357 ⁰

Çizelge 5.36. DF, B100 ve %15 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA

BMEP (bar)	DF (J/°)	B100 (J/°)	DF50B35HE15 (J/°)	DF50B35OC15 (J/°)	DF50B35DE15 (J/°)
0,3	24.28 362 ⁰	30.1 364 ⁰	26.71 363 ⁰	27.58 362 ⁰	28.15 362 ⁰
1	24.81 360 ⁰	35.46 362 ⁰	32.64 362 ⁰	31.18 362 ⁰	32.59 361 ⁰
2	34.91 357 ⁰	40.27 358 ⁰	39.74 358 ⁰	35.96 359 ⁰	32.74 359 ⁰
3	35.37 356 ⁰	40.39 357 ⁰	41.33 357 ⁰	40.09 357 ⁰	35.49 357 ⁰

Çizelge 5.37. DF, B100 ve %5 AA karışımlarının maksimum NISH olduğu KA

BMEP (bar)	DF (J/°)	B100 (J/°)	DF50B45HE5 (J/°)	DF50B45OC5 (J/°)	DF50B45DE5 (J/°)
0,3	24.28 362 ⁰	30.1 364 ⁰	26.04 364 ⁰	25.90 363 ⁰	27.35 361 ⁰
1	24.81 360 ⁰	35.46 362 ⁰	29.49 362 ⁰	29.59 362 ⁰	29.52 361 ⁰
2	34.91 357 ⁰	40.27 358 ⁰	35.15 358 ⁰	34.58 359 ⁰	33.30 359 ⁰
3	35.37 356 ⁰	40.39 357 ⁰	41.94 357 ⁰	39.81 357 ⁰	38.51 357 ⁰

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde maksimum BAO'lerin ve ⁰KMA'ları Çizelge 5.38, Çizelge 5.39, Çizelge 5.40 ve Çizelge 5.41'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde bütün yakıtların maksimum BAO'sı artan motor yükleri ile artmıştır. Düşük yüklerde maksimum BAO'lar farklı ⁰KMA'larda elde edilirken yük artışı ile beraber ÜÖN'dan önce elde edilmesi genel eğiliminde olup maksimum yükte neredeyse bütün yakıtların maksimum BAO'nın elde edildiği ⁰KMA aynı olmuştur. B100 yakıtı DF'ye kıyasla bütün yüklerde daha yüksek BAO'ye neden olmuşken, DF50B50 yakıtı tekli yakıtlara kıyasla artan yüklerle beraber daha düşük BAO'ye neden olmuştur. Üçlü yakıt karışımları, ikili yakıt karışımları ile kıyaslandığında genel eğilim olarak daha düşük BAO'lar görülmüştür.

Çizelge 5.38. DF, B100 ve %50 AA karışımlarının maksimum BAO oluştuğu KA

BMEP (bar)	DF (bar/°)	B100 (bar/°)	DF50B50 (bar/°)	DF50HE50 (bar/°)	DF50OC50 (bar/°)	DF50DE50 (bar/°)
0.3	2.34 361 ⁰	2.4 363 ⁰	2.49 360 ⁰	2.25 365 ⁰	2.52 363 ⁰	2.44 361 ⁰
1	2.74 359 ⁰	3.26 362 ⁰	3.3 359 ⁰	3.01 362 ⁰	3.54 362 ⁰	3.57 360 ⁰
2	4.08 357 ⁰	4.49 358 ⁰	3.94 358 ⁰	5.09 360 ⁰	4.78 360 ⁰	4.33 359 ⁰
3	4.53 357 ⁰	4.77 357 ⁰	4.52 356 ⁰	5.06 358 ⁰	5.13 358 ⁰	4.51 357 ⁰

Çizelge 5.39. DF, B100 ve %25 AA karışımlarının maksimum BAO oluştuğu KA

BMEP (bar)	DF (bar/°)	B100 (bar/°)	DF50B25HE25 (bar/°)	DF50B25OC25 (bar/°)	DF50B25DE25 (bar/°)
0.3	2.34 361 ⁰	2.4 363 ⁰	2.18 363 ⁰	2.5 361 ⁰	2.15 362 ⁰
1	2.74 359 ⁰	3.26 362 ⁰	2.92 362 ⁰	3.29 361 ⁰	2.84 361 ⁰
2	4.08 357 ⁰	4.49 358 ⁰	4.16 359 ⁰	4.37 359 ⁰	4.11 358 ⁰
3	4.53 357 ⁰	4.77 357 ⁰	4.58 357 ⁰	4.52 357 ⁰	4.42 357 ⁰

Çizelge 5.40. DF, B100 ve %15 AA karışımlarının maksimum BAO oluştuğu KA

BMEP (bar)	DF (bar/°)	B100 (bar/°)	DF50B35HE15 (bar/°)	DF50B35OC15 (bar/°)	DF50B35DE15 (bar/°)
0.3	2.34 361 ⁰	2.4 363 ⁰	2.23 362 ⁰	2.48 362 ⁰	2.4 362 ⁰
1	2.74 359 ⁰	3.26 362 ⁰	3.03 361 ⁰	3.05 361 ⁰	3.07 361 ⁰
2	4.08 357 ⁰	4.49 358 ⁰	4.28 358 ⁰	4.23 358 ⁰	3.7 361 ⁰
3	4.53 357 ⁰	4.77 357 ⁰	5.02 357 ⁰	4.75 357 ⁰	4.39 357 ⁰

Çizelge 5.41. DF, B100 ve %5 AA karışımlarının maksimum BAO oluştuğu KA

BMEP (bar)	DF (bar/°)	B100 (bar/°)	DF50B45HE5 (bar/°)	DF50B45OC5 (bar/°)	DF50B45DE5 (bar/°)
0.3	2.34 361 ⁰	2.4 363 ⁰	2 363 ⁰	2.09 362 ⁰	2.05 362 ⁰
1	2.74 359 ⁰	3.26 362 ⁰	2.7 361 ⁰	2.76 361 ⁰	2.83 361 ⁰
2	4.08 357 ⁰	4.49 358 ⁰	4.25 358 ⁰	3.75 358 ⁰	3.96 358
3	4.53 357 ⁰	4.77 357 ⁰	4.83 357 ⁰	4.55 357 ⁰	4.62 357 ⁰

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde SB'lere ait YSA modelinin MSE değerleri

Çizelge 5.42, Çizelge 5.43, Çizelge 5.44 ve Çizelge 5.45'te görüldüğü gibidir. Çizelgeler incelendiğinde YSA modelinin en düşük MSE değerlerinin elde edildiği motor yükü ve yakıt türleri şu şekildedir;

- i) Tekli yakıtlar; 1 bar – DF,
- ii) İkili karışım yakıtlar; 0.3 bar – DF50HE50,
- iii) AA fraksiyonunun %25 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B25HE25,
- iv) AA fraksiyonunun %15 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B35HE15,
- v) AA fraksiyonunun %5 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B45OC5'tir.

Çizelge 5.42. %50 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B50	DF50HE50	DF50OC50	DF50DE50
0.3	0.254	0.276	0.242	0.159	0.197	0.306
1	0.246	0.278	0.310	0.275	0.218	0.356
2	0.444	0.506	0.500	0.494	0.458	0.302
3	0.323	0.340	0.204	0.670	0.487	0.457

Çizelge 5.43. %25 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B25HE25	DF50B25OC25	DF50B25DE25
0.3	0.254	0.276	0.246	0.274	0.393
1	0.246	0.278	0.541	0.328	0.360
2	0.444	0.506	0.347	0.462	0.301
3	0.323	0.340	0.368	0.497	0.364

Çizelge 5.44. %15 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B35HE15	DF50B35OC15	DF50B35DE15
0.3	0.254	0.276	0.170	0.361	0.264
1	0.246	0.278	0.325	0.435	0.460
2	0.444	0.506	0.288	0.405	0.308
3	0.323	0.340	0.501	0.407	0.307

Çizelge 5.45. %5 AA karışımlarının SB YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B45HE5	DF50B45OC5	DF50B45DE5
0.3	0.254	0.276	0.150	0.130	0.151
1	0.246	0.278	0.221	0.423	0.343
2	0.444	0.506	0.366	0.445	0.282
3	0.323	0.340	0.460	0.485	0.414

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde NISH'lere ait YSA modelinin MSE değerleri Çizelge 5.46, Çizelge 5.47, Çizelge 5.48 ve Çizelge 5.48'de görüldüğü gibidir. Çizelgeler incelendiğinde YSA modelinin en düşük MSE değerlerinin elde edildiği motor yükü ve yakıt türleri şu şekildedir;

- i) Tekli yakıtlar; 0.3 bar – DF,
- ii) İkili karışım yakıtlar; 0.3 bar – DF50DE50,
- iii) AA fraksiyonunun %25 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B25OC25,
- iv) AA fraksiyonunun %15 olduğu üçlü yakıt karışımları; 1 bar - DF50B35DE15,
- v) AA fraksiyonunun %5 olduğu üçlü yakıt karışımları; 1 bar - DF50B45OC5'tir.

Çizelge 5.46. %50 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B50	DF50HE50	DF50OC50	DF50DE50
0.3	0.123	0.253	0.207	0.544	0.242	0.075
1	0.156	0.134	0.370	0.287	0.186	0.270
2	0.324	0.407	0.545	0.932	0.639	0.956
3	0.325	0.401	0.442	1.275	1.018	0.499

Çizelge 5.47. %25 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B25HE25	DF50B25OC25	DF50B25DE25
0.3	0.123	0.253	0.178	0.080	0.120
1	0.156	0.134	0.134	0.427	0.273
2	0.324	0.407	0.669	0.851	0.682
3	0.325	0.401	0.720	0.652	0.565

Çizelge 5.48. %15 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B35HE15	DF50B35OC15	DF50B35DE15
0.3	0.123	0.253	0.313	0.193	0.227
1	0.156	0.134	0.276	0.172	0.164
2	0.324	0.407	0.384	0.488	0.366
3	0.325	0.401	0.378	0.308	0.351

Çizelge 5.49. %5 AA karışımlarının NISH YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B45HE5	DF50B45OC5	DF50B45DE5
0.3	0.123	0.253	0.269	0.161	0.304
1	0.156	0.134	0.099	0.071	0.105
2	0.324	0.407	0.578	0.451	0.351
3	0.325	0.401	0.438	0.379	0.321

DF, B100 ve AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtların motor testleri neticesinde BAO'lara ait YSA modelinin MSE değerleri Çizelge 5.50, Çizelge 5.51, Çizelge 5.52 ve Çizelge 5.53'te görüldüğü gibidir. Çizelgeler incelendiğinde YSA modelinin en düşük MSE değerlerinin elde edildiği motor yükü ve yakıt türleri şu şekildedir;

- i) Tekli yakıtlar; 2 bar – DF,
- ii) İkili karışım yakıtlar; 0.3 bar – DF50B50,
- iii) AA fraksiyonunun %25 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B25DE25,
- iv) AA fraksiyonunun %15 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B35DE15,
- v) AA fraksiyonunun %5 olduğu üçlü yakıt karışımları; 0.3 bar - DF50B45DE5'tir.

Çizelge 5.50. %50 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B50	DF50HE50	DF50OC50	DF50DE50
0.3	0.000591	0.002805	0.001445	0.001541	0.001927	0.001721
1	0.002302	0.003906	0.003496	0.003432	0.001873	0.003277
2	0.000518	0.002557	0.002734	0.006064	0.003909	0.002376
3	0.002316	0.002552	0.002599	0.005416	0.009459	0.002709

Çizelge 5.51. %25 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B25HE25	DF50B25OC25	DF50B25DE25
0.3	0.000591	0.002805	0.001683	0.001619	0.001055
1	0.002302	0.003906	0.003662	0.003779	0.002325
2	0.000518	0.002557	0.007235	0.002381	0.001774
3	0.002316	0.002552	0.002538	0.001474	0.002357

Çizelge 5.52. %15 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B35HE15	DF50B35OC15	DF50B35DE15
0.3	0.000591	0.002805	0.002385	0.004245	0.001156
1	0.002302	0.003906	0.003095	0.004129	0.006088
2	0.000518	0.002557	0.007490	0.002141	0.002505
3	0.002316	0.002552	0.004224	0.002801	0.003991

Çizelge 5.53. %5 AA karışımlarının BAO YSA modelinin MSE değerleri

BMEP (bar)	DF	B100	DF50B45HE5	DF50B45OC5	DF50B45DE5
0.3	0.000591	0.002805	0.002274	0.002031	0.001434
1	0.002302	0.003906	0.004552	0.002137	0.002328
2	0.000518	0.002557	0.003773	0.003057	0.001861
3	0.002316	0.002552	0.001625	0.001440	0.002172

5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar dikkate alındığında genel olarak Aspir tohumu yağından sentezlenen B100 SAM'lerde fosil kökenli motorin yerine kullanılabilecek yüksek kaliteli bir B100 ürünü üretmek için hammadde olarak kullanılabilecek potansiyel biyokütle enerji kaynaklarından biri olduğu söylenebilir ve aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- i) Aspir tohumu dışında yemeklik değeri olmayan hayvansal iç yağlar, mikro alg yağları, atık yemeklik yağlar vb. yağlar biyodizele sentezlenebilir.
- ii) Aspir bitkisinin düşük üretim maliyeti, düşük su-besin madde gereksinimi ve kuraklığa dayanıklı olmasından dolayı, Ülkemizin Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde alternatif tarım bitkisi olarak üretimi yaygınlaştırılabilir. Üretimi yaygınlaşan bu bitkinin renkli çiçekleri gıda sanayi ve tekstil kumaş boyası olarak kullanılabilmesi ile ilgili araştırmalar gerçekleştirilebilir.

- iii) Yağ ekstrakte edildikten sonra geriye kalan küspenin hayvancılıkta en yüksek girdi maliyeti olan yemin yerine ikamesi için çalışmalar yapılabilir.
- iv) Tohumlardan yağ ekstraksiyonu amacı ile gerçekleştirilen yöntemler ile elde edilen yağ verimliliğini artırmak için optimum parametreler, çözücüler ve farklı ekstraksiyon yöntemleri araştırılabilir.
- v) Transesterifikasyon prosesindeki sıcaklık, karıştırma, molar oran, alkali kataliz türü, alkol vb. değiştirilerek maksimum metil esterlerin oluştuğu şartlar incelenebilir.
- vi) Yanma parametrelerinin tahmin edilmesi için oluşturulan YSA'ların mimarisindeki giriş ve çıkış aktivasyon fonksiyonları değiştirilmek sureti ile deneysel sonuçlara çok daha yakın YSA tahminleri gerçekleştirilebilir.
- vii) DF, B100, 1-hekzanol, 1-oktanol ve 1-dekanol AA'lerin farklı fraksiyonlarda harmanlanması neticesinde elde edilen yakıtlara ek olarak diğer AA, hafif alkoller ve nano partiküller eklenmek sureti ile oluşturulacak yeni yakıtların motor performansı, emisyon ve yanma parametreleri üzerindeki etkileri incelenebilir.
- viii) Çeşitli ön işlemler uygulandıktan sonra biyoyakıtların üretiminde substrat olarak kullanılan selüloz, hemiselüloz ve lignin yapısındaki ve genellikle tarım / orman atıkları olan lignoselülozik biyokütleden alkol üretilmesi için çalışmaların sayısı artırılabilir. Lignoselülozik biyokütlenin önemli avantajlarından biri, gıda üretimini sınırlandırmayan, üzerinde yalnızca geleneksel toprak işletmeciliği yapılabilen, verimli olmayan marjinal tarım arazilerinde yetiştirilebilmesidir.
- ix) Transesterifikasyon prosesi ile üretilen biyodizel ile beraber azımsanmayacak miktarda hijyenik temizlik ve kozmetik ürünlerin imalatında kullanılan gliserin elde edilmekte ve elde edilen bu ürün ilgili sektörlerde kullanılabilmesine ek olarak literatürde gliserinin insan sağlığında petrokimya ürünleri ile değişiminin sağlanması sonucunda, ABD'de kalp stenleri petrokimya ürünlerinden değil, gliserinden yapıldığı raporlanmış olduğundan bu bağlamda da çalışmalar gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., 2007, Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayınları, Ankara, Genişletilmiş 2. Baskı.
- Agarwal, A. K., and Das, L. M., 2000, Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 123(2), 440-447. <https://doi.org/10.1115/1.1364522>
- Ahmadi, M., and Bahrani, M. J., 2009, Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5(6), 755-761.
- Ahmia, A. C., Danane, F., Bessah, R., and Boumesbah, I., 2014, Raw material for biodiesel production. Valorization of used edible oil. *Journal of Renewable Energies*, 17(2), 335-343.
- Ajav, E. A., ve Akingbehin, O. A., 2002, A study of some fuel properties of local ethanol blended with diesel fuel. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Akinoso, R., Raji, A. O., and Igbeka, J. C., 2009, Effects of compressive stress, feeding rate and speed of rotation on palm kernel oil yield. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 427-430. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.010>
- Akoh, C. C., 2017, *Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology*. CRC press.
- Aksoy, F., 2016, Alkaline catalyzed biodiesel production from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil: Optimization of parameters and determination of fuel properties. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(6), 835-841. <https://doi.org/10.1080/15567036.2013.807319>
- Alagumalai, A., 2015, Combustion characteristics of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) oil in a partial premixed charge compression ignition engine. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 405-413. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.03.021>
- Al-Hamamre, Z., and Al-Salaymeh, A., 2014, Physical properties of (jojoba oil+biodiesel), (jojoba oil+diesel) and (biodiesel+diesel) blends. *Fuel*, 123, 175-188. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.047>
- Ali, M. F., Bassam, M. E. A., and James, G. S., 2005, *Handbook of Industrial Chemistry: Organic Chemicals* (M. F. Ali, B. M. El Ali, & J. G. Speight, Ed.; 1st Edition). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071410373>
- Ali, M., and Watson, I. A., 2014, Comparison of oil extraction methods, energy analysis and biodiesel production from flax seeds. *International Journal of Energy Research*, 38(5), 614-625. <https://doi.org/10.1002/er.3066>

- Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fioroni, G., Moriarty, K., and Yanowitz, J. (2016). *Biodiesel handling and use guide*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Aloko, D., Adebayo, G. A., & Oke, O. E., 2007, Evaluation of diesel-hexanol blend as diesel fuel. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 10(6), 151-156.
- Alptekin, E., and Canakci, M., 2008, Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 33(12), 2623-2630. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.02.020>
- Alptekin, E., ve Çanakçı, M., 2006, Biyodizel ve Türkiye’deki durumu. *Mühendis ve Makine*, 47(561), 57-64.
- Altun, Ş., ve Gür, M. A., 2005, Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(3), 35-42.
- Alupului, A., Calinescu, I., and Lavric, V., 2012, Microwave extraction of active principles from medicinal plants. *UPB Science Bulletin, Series B*, 74(2), 129-142.
- Anandavelu, T., Rajkumar, S., and Thangarasu, V., 2023, Dual fuel combustion of 1-hexanol with diesel and biodiesel fuels in a diesel engine: An experimental investigation and multi criteria optimization using artificial neural network and TOPSIS algorithm. *Fuel*, 338, 127318. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127318>
- Anbarasu, A., Saravanan, M., and Loganathan, M., 2013, 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. <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.651753>
- Andersson, R., Boutonnet, M., and Järås, S., 2014, Higher alcohols from syngas using a K/Ni/MoS₂ catalyst: Trace sulfur in the product and effect of H₂S-containing feed. *Fuel*, 115, 544-550. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.057>
- Arachchige, U., Miyuranga, K. A. V., Thilakarathne, D., Jayasinghe, R. A., and Weerasekara, N. A., 2021, Biodiesel-alkaline transesterification process for methyl ester production. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(5), 1973-1980. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i05.013>
- Arbab, M. I., Masjuki, H. H., Varman, M., Kalam, M. A., Imtenan, S., & Sajjad, H. (2013). 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.046>
- Ar, F. F., 2007, İkinci Kuşak Biyoyakıtlar-Biyorafineriler. *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu, TMMOB Yayınları, Ankara*, 195-202.

- Arslan, B., 2007, Assessing of heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(3), 554-557.
- Artukoğlu, B. D., 2006, Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerini Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Aryee, A. N. A., Simpson, B. K., Cue, R. I., and Phillip, L. E., 2011, Enzymatic transesterification of fats and oils from animal discards to fatty acid ethyl esters for potential fuel use. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4149-4157. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.002>
- Arzu, T. B., 2012, Tarımsal hammadde fiyatları ve biyoyakıt talebi ilişkisi, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Asadauskas, S., and Erhan, S. Z., 1999, Depression of pour points of vegetable oils by blending with diluents used for biodegradable lubricants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 313-316. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0237-6>
- Ashok, B., Nanthagopal, K., Darla, S., Chyuan, O. H., Ramesh, A., Jacob, A., Sahil, G., Thiagarajan, S., and Geo, V. E., 2019, Comparative assessment of hexanol and decanol as oxygenated additives with calophyllum inophyllum biodiesel. *Energy*, 173, 494-510. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.077>
- Ashri, A., and Knowles, P. F., 1960, Cytogenetics of Safflower (*Carthamus* L.) Species and Their Hybrids 1. *Agronomy Journal*, 52(1), 11-17.
- Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., Yussof, H. W., Chong, W. T., and Lee, K. T., 2013, 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.040>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., and Mekhilef, S., 2012, A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070-2093. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., and Fayaz, H., 2013, 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>
- Atmanli, A., Ileri, E., and Yilmaz, N., 2016, Optimization of diesel–butanol–vegetable oil blend ratios based on engine operating parameters. *Energy*, 96, 569-580. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.091>

- Atmanli, A., and Yilmaz, N., 2020, An experimental assessment on semi-low temperature combustion using waste oil biodiesel/C3-C5 alcohol blends in a diesel engine. *Fuel*, 260, 116357. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116357>
- Atsumi, S., Higashide, W., and Liao, J. C., 2009, Direct photosynthetic recycling of carbon dioxide to isobutyraldehyde. *Nature Biotechnology*, 27(12), 1177-1180. <https://doi.org/10.1038/nbt.1586>
- Attia, A. M. A., and Hassaneen, A. E., 2016, Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. *Fuel*, 167, 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.11.064>
- Aydın, F., and Ögüt, H., 2017, Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103, 688-694. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.083>
- Aydın, H., and Bayindir, H., 2010, Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. *Renewable Energy*, 35(3), 588-592. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.009>
- Aydın, H., and İlkilic, C., 2011, Exhaust emissions of a CI engine operated with biodiesel from rapeseed oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(16), 1523-1531. <https://doi.org/10.1080/15567030903397982>
- Aydın, H., and İlkılıç, C., 2010, Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine. *Applied Thermal Engineering*, 30(10), 1199-1204. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.037>
- Aydın, S., 2014, Yanma odası yüzeyleri ZrO₂, MgO ve Al₂O₃ ile yalıtılmış bir dizel motorunda biyoyakıt kullanımının performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aydın, S., 2020, Detailed evaluation of combustion, performance and emissions of ethyl proxitol and methyl proxitol-safflower biodiesel blends in a power generator diesel engine. *Fuel*, 270, 117492. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117492>
- Aydın, S., Sayin, C., and Aydın, H., 2015, Investigation of the usability of biodiesel obtained from residual frying oil in a diesel engine with thermal barrier coating. *Applied Thermal Engineering*, 80, 212-219. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.061>
- Azócar, L., Ciudad, G., Heipieper, H. J., Muñoz, R., and Navia, R., 2010, Improving fatty acid methyl ester production yield in a lipase-catalyzed process using waste frying oils as feedstock. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 109(6), 609-614. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.12.001>

- Babu, D., and Anand, R., 2017, Effect of biodiesel-diesel-n-pentanol and biodiesel-diesel-n-hexanol blends on diesel engine emission and combustion characteristics. *Energy*, 133, 761-776. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.103>
- Bae, C., and Kim, J., 2017, Alternative fuels for internal combustion engines. *Proceedings of the Combustion Institute*, 36(3), 3389-3413. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>
- Bahadur, N. P., Boocock, D. G. B., and Konar, S. K., 1995, Liquid Hydrocarbons from Catalytic Pyrolysis of Sewage Sludge Lipid and Canola Oil: Evaluation of Fuel Properties. *Energy & Fuels*, 9(2), 248-256. <https://doi.org/10.1021/ef00050a007>
- Balasubramanian, R. K., Yen Doan, T. T., and Obbard, J. P., 2013, Factors affecting cellular lipid extraction from marine microalgae. *Chemical Engineering Journal*, 215-216, 929-936. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.063>
- Banapurmath, N. R., Tewari, P. G., and Hosmath, R. S., 2008, Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters. *Renewable Energy*, 33(9), 1982-1988. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.11.012>
- Banerjee, A., and Chakraborty, R., 2009, Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(9), 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.04.003>
- Bankar, S. B., Survase, S. A., Ojamo, H., and Granström, T., 2013, Biobutanol: the outlook of an academic and industrialist. *RSC Advances*, 3(47), 24734-24757. <https://doi.org/10.1039/C3RA43011A>
- Banković-Ilić, I. B., Stojković, I. J., Stamenković, O. S., Veljkovic, V. B., and Hung, Y.-T., 2014, Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 238-254. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.038>
- Barabás, I., and Todoruț, I.-A., 2011, Biodiesel quality, standards and properties. *Biodiesel-quality, emissions and by-products*, 3-28.
- Baranitharan, P., Ramesh, K., and Sakthivel, R., 2019, Measurement of performance and emission distinctiveness of Aegle marmelos seed cake pyrolysis oil/diesel/TBHQ opus powered in a DI diesel engine using ANN and RSM. *Measurement*, 144, 366-380. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.037>
- Bareke, T., 2018, Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336-346.
- Basina, L. N. A., 2019, Modeling and Control of Maximum Pressure Rise Rate in RCCI Engines. *Dissertations, Master's Theses and Master's Reports, Michigan Technological University, Michigan*.

- Behçet, R., Aydın, H., İlkılıç, C., İşcan, B., and Aydın, S., 2015, Diesel engine applications for evaluation of performance and emission behavior of biodiesel from different oil stocks. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(3), 890-896. <https://doi.org/10.1002/ep.12045>
- Behçet, R., 2011, Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92(6), 1187-1194. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.01.012>
- Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A., and Aydın, H., 2015, Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.015>
- Behrens, A., Giljum, S., Kovanda, J., and Niza, S., 2007, The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecological Economics*, 64(2), 444-453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.034>
- Berrios, M., and Skelton, R. L., 2008, Comparison of purification methods for biodiesel. *Chemical Engineering Journal*, 144(3), 459-465. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.07.019>
- Berthiaume, D., and Tremblay, A., 2006, Study of the Rancimat test method in measuring the oxidation stability of biodiesel ester and blends. *Oleotek Inc., NRCan project CO414 CETC-327*.
- Beşergil, B., 2009, *Yakıtlar, Yağlar - Dizel yakıtları* [online], <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page.html> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2022].
- Bhale, P. V., Deshpande, N. V, and Thombre, S. B., 2009, Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. *Renewable Energy*, 34(3), 794-800. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.037>
- Bhargavi, G., Rao, P. N., and Renganathan, S., 2018, Review on the extraction methods of crude oil from all generation biofuels in last few decades. *IOP conference series: materials science and engineering*, 330(1), 012024.
- Bhatia, L., Johri, S., and Ahmad, R., 2012, An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste: a review. *AMB Express*, 2(1), 65. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-2-65>
- Bhatt, A. N., and Shrivastava, N., 2022, Experimental Investigation and neural network modelling of diesel engine using hexanol blended ternary waste cooking oil biodiesel with moderate preheating. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102285. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102285>
- Bligh, E. G., and Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917.

- Bloice, M. D., and Holzinger, A., 2016, A Tutorial on Machine Learning and Data Science Tools with Python. İçinde A. Holzinger (Ed.), *Machine Learning for Health Informatics: State-of-the-Art and Future Challenges* (ss. 435-480). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50478-0_22
- Boey, P.-L., Maniam, G. P., Hamid, S. A., and Ali, D. M. H., 2011, Crab and Cockle Shells as Catalysts for the Preparation of Methyl Esters from Low Free Fatty Acid Chicken Fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(2), 283-288. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1660-4>
- Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., 1992, İçten Yanmalı Motorlar Teknik Eğitim Vakfı yayınları cilt I Ankara.
- Boro, J., Thakur, A. J., and Deka, D., 2011, Solid oxide derived from waste shells of *Turbonilla striatula* as a renewable catalyst for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92(10), 2061-2067. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.06.008>
- Botaneco Inc., 2021, *Botaneco Hydresia Brochure* [online], <https://www.knowde.com/stores/botaneco-inc/products/hydresia-sf2-safflower-oleosomes> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2022].
- Bouaid, A., Martinez, M., and Aracil, J., 2007, Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils. *Fuel*, 86(16), 2596-2602. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.02.014>
- BP/DuPont launches Butamax biobutanol, 2009, *Focus on Catalysts*, 2009(12), 5. [https://doi.org/10.1016/S1351-4180\(09\)70514-8](https://doi.org/10.1016/S1351-4180(09)70514-8)
- BP Energy Outlook 1995-2050, 2020, *Energy Outlook 2020 Edition* [online], <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2022].
- Brandão, L. F. P., and Suarez, P. A. Z., 2018, Study Of Kinematic Viscosity, Volatility And Ignition Quality Properties Of Butanol/Diesel Blends, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180354s20170376>
- Brunt, M. F. J., and Platts, K. C., 1999, Calculation of heat release in direct injection diesel engines. *SAE transactions*, 161-175.
- Butler Jr, G. D., Werner, F. G., and Levin, M. D., 1966, Native bees associated with safflower in south central Arizona. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 434-436.
- Cai, L., Uygun, Y., Togbé, C., Pitsch, H., Olivier, H., Dagaut, P., and Sarathy, S. M., 2015, An experimental and modeling study of n-octanol combustion, *Proceedings of the Combustion Institute*, 35(1), 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2014.05.088>

- Campos-Fernández, J., Arnal, J. M., Gómez, J., and Dorado, M. P., 2012, A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine. *Applied Energy*, 95, 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.051>
- Campos-Fernandez, J., Arnal, J. M., Gomez, J., Lacalle, N., and Dorado, M. P., 2013, Performance tests of a diesel engine fueled with pentanol/diesel fuel blends. *Fuel*, 107, 866-872. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.066>
- Canakci, M., 2007, The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresource Technology*, 98(1), 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.022>
- Canakci, M., Erdil, A., & Arcaklioğlu, E., 2006, Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine. *Applied Energy*, 83(6), 594-605. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.05.003>
- Canakci, M., Ozsezen, A. N., Arcaklioglu, E., and Erdil, A., 2009, Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9268-9280. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.005>
- Canakci, M., and Sanli, H., 2008, Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35(5), 431-441. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0337-6>
- Candeia, R. A., Silva, M. C. D., Carvalho Filho, J. R., Brasilino, M. G. A., Bicudo, T. C., Santos, I. M. G., and Souza, A. G., 2009, Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel–diesel blends. *Fuel*, 88(4), 738-743. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.10.015>
- Cann, A. F., and Liao, J. C., 2010, Pentanol isomer synthesis in engineered microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 893-899. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2262-7>
- Carapetian, J., 2001, Characterization and inheritance of long rosette safflower. *Proceedings of the 5th International Safflower Conference, Williston, North Dakota and Sidney, Montana, USA, 23-27 July, 2001. Safflower: a multipurpose species with unexploited potential and world adaptability*, 67-71.
- Carneiro, T., Da Nóbrega, R. V. M., Nepomuceno, T., Bian, G.-B., De Albuquerque, V. H. C., and Reboucas Filho, P. P., 2018, Performance analysis of google colaboratory as a tool for accelerating deep learning applications. *IEEE Access*, 6, 61677-61685.
- Chakraborty, R., Gupta, Abhishek. K., and Chowdhury, R., 2014, Conversion of slaughterhouse and poultry farm animal fats and wastes to biodiesel: Parametric sensitivity and fuel quality assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.082>

- Charoenchaitrakool, M., and Thienmethangkoon, J., 2011, Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process. *Fuel Processing Technology*, 92(1), 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.09.012>
- Cheikh, K., Sary, A., Khaled, L., Abdelkrim, L., and Mohand, T., 2016, Experimental assessment of performance and emissions maps for biodiesel fueled compression ignition engine. *Applied Energy*, 161, 320-329. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.042>
- Chemat, F., Vian, M. A., and Cravotto, G., 2012, Green extraction of natural products: Concept and principles. *International journal of molecular sciences*, 13(7), 8615-8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Chen, B., McClements, D. J., Gray, D. A., and Decker, E. A., 2012, Physical and oxidative stability of pre-emulsified oil bodies extracted from soybeans. *Food Chemistry*, 132(3), 1514-1520. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.144>
- Chen, Z., Wu, Y., Huang, J., and Liu, D., 2015, Metabolic engineering of *Klebsiella pneumoniae* for the de novo production of 2-butanol as a potential biofuel. *Bioresource Technology*, 197, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.086>
- Clifford, A. A., 1998, Introduction to supercritical fluid extraction in analytical science. İçinde E. D. Ramsey (Ed.), *Analytical Supercritical Fluid Extraction Techniques* (ss. 1-42). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4948-8_1
- Considine, D. M., 2012, *Foods and food production encyclopedia*. Springer Science & Business Media.
- Cornils, B., 2004, *Handbook of Commercial Catalysts. Heterogeneous Catalysts*. Von Howard F. Rase. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/ange.200385146>
- Corro, G., Tellez, N., Jimenez, T., Tapia, A., Banuelos, F., and Vazquez-Cuchillo, O. (2011). Biodiesel from waste frying oil. Two step process using acidified SiO₂ for esterification step. *Catalysis Today*, 166(1), 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2010.09.011>
- Çelebi, Y., and Aydın, H., 2019, An overview on the light alcohol fuels in diesel engines. *Fuel*, 236, 890-911. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.138>
- Çevik, K. K., ve Dandıl, E., 2012, Yapay sinir ağları için net platformunda görsel bir eğitim yazılımının geliştirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 19-28.
- Çılğın, E., 2015, 3. Nesil biyoyakıt teknolojisi alglerin bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 33-41.

- Çılğın, E., 2021, Analysis of the plant's biofuel ability obtained by natural hybridization. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(12), 1486-1499. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1854392>
- Çılğın, E., 2021, Investigation of the usability of essential oils in diesel engines as a new biodiesel source. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 573-585.
- Çılğın, E., ve İlkılıç, C., 2015, Mikroalg metil esterinin bir dizel motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31(1), 68-72.
- Çılğın, E., 2020, Investigation of biodiesel potential of new hybrid of Origanum Sp. Tekin-2017, native to Turkey. *Fuel*, 277, 118180. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118180>
- Çılğın, E., 2021a, Experimental Investigation of Salvia Candidissima Plant in Search Of New and Renewable Biofuel. *Energy Production, Transportation and Environmental Effects*, 3.
- Çılğın, E., 2021b, Investigation of Menntha Tomentosa Oil in Biofuel Resource Research. *Energy Production, Transportation and Environmental Effects*, 27.
- Çıtak, M., 2014, Bir dizel motorunda mtbe katkılı biyodizel kullanımının deneysel analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- da Cunha, M. E., Krause, L. C., Moraes, M. S. A., Faccini, C. S., Jacques, R. A., Almeida, S. R., Rodrigues, M. R. A., and Caramão, E. B., 2009, Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale. *Fuel Processing Technology*, 90(4), 570-575. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.01.001>
- Dajue, L., and Mündel, H.-H., 1996, Safflower. *Carthamus tinctorius*, 1-83.
- Dajue, L., Yunzhou, H., and Liping, W., 1995, Effect of temperature and photoperiod on the growth and development of safflower germplasm. *Journal of Plant Resources and Environment*, 4(4), 22-27.
- Damanik, J., Wijayanti, A., and Nugraha, A., 2018, Perkembangan Siklus Hidup Destinasi Pariwisata Di Indonesia Analisis Berdasarkan Data Makro Badan Pusat Statistik, 2002-2012. *Jurnal Nasional Pariwisata*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.22146/jnp.59470>
- Deb, M., Majumder, P., Majumder, A., Roy, S., and Banerjee, R., 2016, Application of artificial intelligence (AI) in characterization of the performance–emission profile of a single cylinder CI engine operating with hydrogen in dual fuel mode: An ANN approach with fuzzy-logic based topology optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(32), 14330-14350. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.016>
- De Chirico, S., di Bari, V., Foster, T., and Gray, D., 2018, Enhancing the recovery of oilseed rape seed oil bodies (oleosomes) using bicarbonate-based soaking and

- grinding media. *Food Chemistry*, 241, 419-426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.008>
- de Jesus, A., Silva, M. M., & Vale, M. G. R., 2008, The use of microemulsion for determination of sodium and potassium in biodiesel by flame atomic absorption spectrometry. *Talanta*, 74(5), 1378-1384. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.09.010>
- de Jongh, J., & Nielsen, F., 2011, Lessons Learned: Jatropha for local development. Wageningen, The Netherlands: FACT Foundation.
- Demirbas, A., 2009, Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14-34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- Demirbas, M. F., 2008, Pyrolysis of vegetable oils and animal fats for the production of renewable fuels. *Energy Education Science and Technology*, 22(1), 59-67.
- Demirbaş, A., 2005, Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(2), 171-192. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.02.002>
- Demirbaş, L., 2002, Türkiye’de enerji sektörü, sektörün problemleri, Avrupa Birliği ve Türkiye’de enerji politikaları. *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta.
- Deniz, O., 2008, İçten yanmalı motorlar ders notları. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı*.
- Desai, S. H., Rabinovitch-Deere, C. A., Fan, Z., and Atsumi, S., 2015, Isobutanol production from cellobionic acid in Escherichia coli. *Microbial Cell Factories*, 14(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0232-6>
- de Souza, M. A., Gomes, M. S. C., da Silva, A. E., da Costa Rangel, R., Braz, G. R. F., Pedroza, A. A., Costa, L. A. R., Batista-de-Oliveira-Hornsby, M., Lagranha, C. J., de Menezes Santos Bertozzo, C. C., de Melo, M. F. F. T., and Soares, J. K. B., 2022, Maternal safflower oil consumption improve reflex maturation, memory and reduces hippocampal oxidative stress in the offspring rats treated during pregnancy and lactation. *Journal of Affective Disorders*, 318, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.08.058>
- Dias, J., Ferraz, C. A., and Almeida, M., 2008, Using mixtures of waste frying oil and pork lard to produce biodiesel. *Proc World Acad Sci: Eng Technol*, 44.
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., & Almeida, M. F., 2008, Mixtures of Vegetable Oils and Animal Fat for Biodiesel Production: Influence on Product Composition and Quality. *Energy & Fuels*, 22(6), 3889-3893. <https://doi.org/10.1021/ef8005383>

- Dillon, H. S., Laan, T., & Dillon, H. S., 2008, *Biofuels, at what cost?: government support for ethanol and biodiesel in Indonesia*. International Institute for Sustainable Development Winnipeg, MB, Canada.
- Doğan, O., 2011, The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 90(7), 2467-2472. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.02.033>
- Dorado, M. P., Ballesteros, E., De Almeida, J. A., Schellert, C., Löhrlein, H. P., and Krause, R., 2002, An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid waste oils. *Transactions of the ASAE*, 45(3), 525. <https://doi.org/10.13031/2013.8849>
- Drapcho, C. M., Nghim, N. P., & Walker, T., 2008, *Biofuels engineering process technology*. McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1036/0071487492>
- Draper, C. S., 1938, Pressure Waves Accompanying Detonation in the Internal Combustion Engine. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 5(6), 219-226. <https://doi.org/10.2514/8.590>
- Dunn, R. O., Shockley, M. W., and Bagby, M. O., 1996, Improving the low-temperature properties of alternative diesel fuels: Vegetable oil-derived methyl esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(12), 1719-1728. <https://doi.org/10.1007/BF02517978>
- Echaroj, S., Santikunaporn, M., and Chavadej, S., 2017, Transformation of Bioderived 1-Decanol to Diesel-like Fuel and Biobased Oil via Dehydration and Oligomerization Reactions. *Energy & Fuels*, 31(9), 9465-9476. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01247>
- Editör, 2022, *Python Dersleri A'dan Z'ye Python* [online], <https://pythondersleri.net/python-ile-neler-yapilabilir/> [Ziyaret Tarihi: 3 Haziran 2022].
- Edwin Geo, V., Jesu Godwin, D., Thiyagarajan, S., Saravanan, C. G., and Aloui, F., 2019, Effect of higher and lower order alcohol blending with gasoline on performance, emission and combustion characteristics of SI engine. *Fuel*, 256, 115806. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115806>
- Ehrensing, D. T. (2008). *Canola*.
- EIA, 2022, *U.S. Energy Information Administration* [online], <https://public.knoema.com/fifcing/international-energy-data-monthly-update> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2022].
- Ekin, Z., 2005, Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) utilization: A global view. *Journal of Agronomy*, 4(2), 83-87.
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay Zeka Uygulamaları* (2. Baskı). Seçkin Yayıncılık, Ankara.

- EL-Seesy, A. I., Kosaka, H., Hassan, H., and Sato, S., 2019, Combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine and RCEM fueled by n-heptanol-diesel blends and carbon nanomaterial additives. *Energy Conversion and Management*, 196, 370-394. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.049>
- Emiroğlu, A. O., and Şen, M., 2018, Combustion, performance and exhaust emission characterizations of a diesel engine operating with a ternary blend (alcohol-biodiesel-diesel fuel). *Applied Thermal Engineering*, 133, 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.069>
- Emongor, V., 2010, Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(6), 299-306.
- Emongor, V., Oagile, O., and Kedikanetswe, B., 2013, Effects of plant population on growth, development and oil yield of safflower. *Journal of Agricultural Science and Technology. B*, 3(5B), 321.
- Emongor, V., Oagile, O., Phuduhudu, D., and Oarabile, P., 2017, *Safflower production*. Botswana University of Agriculture and Natural ResourcesI.
- En, V. A., 2014, Liquid Petroleum Products—Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for Use in Diesel Engines and Heating Applications—Requirements and Test Methods. *Eur Comm Stand*.
- Enweremadu, C. C., and Mbarawa, M. M., 2009, Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2205-2224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.007>
- Erdik, E., 1993, Organik kimyada spektroskopik yöntemler. Gazi Büro Kitabevi.
- Erdiwansyah, Mamat, R., Sani, M. S. M., Sudhakar, K., Kadarohman, A., and Sardjono, R. E., 2019, An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines. *Energy Reports*, 5, 467-479. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.04.009>
- Erol, A., Kemanoglu, F., Ay, M. A., ve Uysal, B. Z. (2006). Değişik yağlardan elde edilen biyodizellerin karşılaştırılması. *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu*, Ege Üniversitesi, İzmir, 83-94.
- Eryilmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi. *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Eryilmaz, T., Bacak, S., and Özrahhat, E., 2012, Comparison of some fuel properties of biodiesels produced from vegetable oils. *Energy Education Science And Technology Part A-Energy Science And Research*, 29(2).
- Eryilmaz, T., and Yesilyurt, M. K., 2016, 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. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.009>

- Esmaeili, H., and Foroutan, R., 2017, Biodiesel Production using Trans-Esterification Process and Investigation of Fuel Properties: A Review Study. *Recent Advances in Petrochemical Science (RAPSCI)*, 1(5), 555571.
- Fadhil, A. B., 2021, Production and characterization of liquid biofuels from locally available nonedible feedstocks. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 16(1), e2572. <https://doi.org/10.1002/apj.2572>
- Fakayode, O. A., Ajav, E. A., and Akinoso, R., 2017, Effects of processing factors on the quality of mechanically expressed Moringa (*Moringa oleifera*) oil: A response surface approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(4), e12518. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12518>
- Falbe, J., Bahrmann, H., Lipps, W., and Mayer, D., 2000, Alcohols, Aliphatic. İçinde *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. https://doi.org/10.1002/14356007.a01_279
- Falls Energy, L. L. C., and Jackson, N. E., 2012, *Gevo to make bio-isobutanol in Malaysia*.
- Fan, X., Burton, R., and Austic, G., 2009, Preparation and characterization of biodiesel produced from recycled canola oil. *The Open Fuels & Energy Science Journal*, 2(1).
- FAO., 2008, *The State of Food and Agriculture* [online], <https://www.fao.org/3/i0100e/i0100e02.pdf> [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2022].
- Fauhl, C., Reniero, F., and Guillou, C., 2000, ¹H NMR as a tool for the analysis of mixtures of virgin olive oil with oils of different botanical origin. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 38(6), 436-443. [https://doi.org/10.1002/1097-458X\(200006\)38:6<436::AID-MRC672>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1097-458X(200006)38:6<436::AID-MRC672>3.0.CO;2-X)
- Fazal, M. A., Haseeb, A. S. M. A., and Masjuki, H. H., 2010, Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials. *Fuel Processing Technology*, 91(10), 1308-1315. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.04.016>
- Ferrari, R. Ap., Pighinelli, A. L. M. T., and Park, K. J., 2011, Biodiesel Production and Quality. İçinde M. A. dos S. Bernardes (Ed.), *Biofuel's Engineering Process Technology* (s. Ch. 10). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/17079>
- Fisk, I. D., Linforth, R. S. T., Taylor, A. J., and Gray, D. A., 2011, Aroma encapsulation and aroma delivery by oil body suspensions derived from sunflower seeds (*Helianthus annuus*). *European Food Research and Technology*, 232(5), 905-910. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1459-z>
- Folch, J., Lees, M., and Sloane Stanley, G. H., 1957, A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J biol Chem*, 226(1), 497-509.
- Force, T. T., 2007, *Internationally Compatible Biofuel Standards*.

- Formighieri, C., 2015, Cyanobacteria as a Platform for Direct Photosynthesis-to-Fuel Conversion. İçinde C. Formighieri (Ed.), *Solar-to-fuel conversion in algae and cyanobacteria* (ss. 31-38). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16730-5_7
- Gaete-Garretón, L., Vargas-Hernández, Y., Cares-Pacheco, M. G., Sainz, J., and Alarcón, J., 2011, Ultrasonically enhanced extraction of bioactive principles from Quillaja Saponaria Molina. *Ultrasonics*, 51(5), 581-585. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2010.12.012>
- Gebremariam, S. N., and Marchetti, J. M., 2018, Biodiesel production through sulfuric acid catalyzed transesterification of acidic oil: Techno economic feasibility of different process alternatives. *Energy Conversion and Management*, 174, 639-648. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.078>
- Gelbard, G., Brès, O., Vargas, R. M., Vielfaure, F., and Schuchardt, U. F., 1995, ¹H nuclear magnetic resonance determination of the yield of the transesterification of rapeseed oil with methanol. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(10), 1239-1241. <https://doi.org/10.1007/BF02540998>
- Genç, U., 2007, İçten yanmalı motorlarda kullanılan türbülatorlerin verim üzerine etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Geng, P., Cao, E., Tan, Q., and Wei, L., 2017, Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 523-534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.080>
- Gerpen, J. Van., 2005, Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097-1107. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.005>
- Gerpen, J. H. V, Hammond, E. G., Johnson, L. A., Marley, S. J., Yu, L., Lee, I., and Monyem, A., 1996, Determining the influence of contaminants on biodiesel properties. *Final Report Prepared for: The Iowa Soybean Promotion Board, Iowa State University, USA*.
- Gevo resumes commercial production of isobutanol at its Luverne plant, 2013, *Focus on Catalysts*, 2013(8), 2. [https://doi.org/10.1016/S1351-4180\(13\)70266-6](https://doi.org/10.1016/S1351-4180(13)70266-6)
- Ghafoor, K., Choi, Y. H., Jeon, J. Y., and Jo, I. H., 2009, Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds, Antioxidants, and Anthocyanins from Grape (*Vitis vinifera*) Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4988-4994. <https://doi.org/10.1021/jf9001439>
- Ghazali, W. N. M. W., Mamat, R., Masjuki, H. H., & Najafi, G., 2015, Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585-602. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.031>

- Giakoumis, E. G., Rakopoulos, C. D., Dimaratos, A. M., and Rakopoulos, D. C., 2013, Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 170-190. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.017>
- Gomes, M. C. S., Pereira, N. C., and Barros, S. T. D. de., 2010, Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 352(1), 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.02.030>
- González, G. L., 1989, Acerca de la clasificación natural del género " Carthamus" L., sl. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 47(1), 11-34.
- Grimaldi, C. N., Postrioti, L., Battistoni, M., and Millo, F., 2002, Common rail HSDI diesel engine combustion and emissions with fossil/bio-derived fuel blends. *SAE Transactions*, 1453-1461. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0865>
- Guillen, M. D., and Cabo, N., 1997, Characterization of edible oils and lard by Fourier transform infrared spectroscopy. Relationships between composition and frequency of concrete bands in the fingerprint region. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74(10), 1281-1286. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0058-4>
- Guillén, M. D., and Ruiz, A., 2003, Edible oils: discrimination by ¹H nuclear magnetic resonance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(4), 338-346. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1317>
- Gumus, M., Sayin, C., and Canakci, M., 2012, The impact of fuel injection pressure on the exhaust emissions of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel–diesel fuel blends. *Fuel*, 95, 486-494. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.11.020>
- Gunstone, F. D., and Harwood, J. L., 2007, *The lipid handbook with CD-ROM*. CRC press.
- Gupta, P. K., and Tsuchiya, T., 1991, *Chromosome engineering in plants: genetics, breeding, evolution*. Newnes.
- Gupta, R. K., and Das, S. K., 2000, Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00061-3)
- Gupta, V. K., and Agarwal, P. K., 2008, Performance of a Constant Speed Diesel Engine with Ethanol Blended Fuels. *IE (I) Journal–MC*, 89, 20-23.
- Gurr, M. I., Harwood, J. L., Frayn, K. N., Murphy, D. J., and Michell, R. H., 2016, *Lipids: biochemistry, biotechnology and health*. John Wiley & Sons.
- Güner, E. D., ve Turan, E. S., 2017, Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel iklim değişikliği üzerine etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 48-55. <https://doi.org/10.21324/dacd.285523>

- Güzel, Y., 2018, *Yapay Zeka Ders Notları 03 | Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağı Hücresi* [online], <https://medium.com/@yasinguzel/yapay-zeka-ders-notlar%C4%B1-03-biyolojik-sinir-sistemi-ve-yapay-sinir-a%C4%9F%C4%B1-h%C3%BCcresi-6555add68d80> [Ziyaret Tarihi: 21 Aralık 2022].
- Halterman, R. L., 2018, *Fundamentals of Python programming*. wILEY.
- Hamilton-Kemp, T., Newman, M., Collins, R., Elgaali, H., Yu, K., and Archbold, D. 2005, Production of the Long-Chain Alcohols Octanol, Decanol, and Dodecanol by *Escherichia coli*. *Current Microbiology*, 51(2), 82-86. <https://doi.org/10.1007/s00284-005-4469-x>
- Harnisch, F., Blei, I., Santos, T. R. dos, Möller, M., Nilges, P., Eilts, P., and Schröder, U. 2013, From the test-tube to the test-engine: assessing the suitability of prospective liquid biofuel compounds. *RSC Advances*, 3(25), 9594-9605. <https://doi.org/10.1039/C3RA40354H>
- Haseeb, A. S. M. A., Masjuki, H. H., Ann, L. J., and Fazal, M. A., 2010, Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 91(3), 329-334. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.11.004>
- Hatunoğlu, E. E., 2010, Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri. *DPT-Uzmanlık Tezleri İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No:2814*, Ankara.
- Hazar, H., and Aydın, H., 2010, Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)–diesel blends. *Applied Energy*, 87(3), 786-790. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.021>
- Head, S. W., Swetman, A. A., Hammonds, T. W., Gordon, A., Southwell, K. H., and Harris, R. V. (1995). Small scale vegetable oil extraction. *Small scale vegetable oil extraction*.
- Heipieper, H. J., Weber, F. J., Sikkema, J., Keweloh, H., and de Bont, J. A. M., 1994, Mechanisms of resistance of whole cells to toxic organic solvents. *Trends in Biotechnology*, 12(10), 409-415. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0167-7799(94)90029-9)
- Heywood, J. B., 1988, ³Internal Combustion Engine Fundamentals. ³ McGraw. Hill Book Company, ISBN 0.07, 100499.
- Holden, N. M., Wolfe, M. L., Ogejo, J. A., and Cummins, E. J., 2021, Introduction to Biosystems Engineering. İçinde *Introduction to Biosystems Engineering* (s. 0). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hoppe, F., Heuser, B., Thewes, M., Kremer, F., Pischinger, S., Dahmen, M., Hechinger, M., and Marquardt, W. (2015). Tailor-made fuels for future engine concepts. *International Journal of Engine Research*, 17(1), 16-27. <https://doi.org/10.1177/1468087415603005>

- Hosseini, S. H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., and Abbaszadeh-Mayvan, A. (2020). Artificial neural network modeling of performance, emission, and vibration of a CI engine using alumina nano-catalyst added to diesel-biodiesel blends. *Renewable Energy*, 149, 951-961. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.080>
- Huang, A. H. C., 1992, Oil bodies and oleosins in seeds. *Annual review of plant biology*, 43(1), 177-200.
- Huang, J., Xiao, H., Yang, X., Guo, F., and Hu, X., 2020, Effects of methanol blending on combustion characteristics and various emissions of a diesel engine fueled with soybean biodiesel. *Fuel*, 282, 118734. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118734>
- Huang, Y.-H., and Wu, J.-H., 2008, Analysis of biodiesel promotion in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 1176-1186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.009>
- Huang, Z., Lu, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B., Zhang, J., and Wang, X., 2004, Combustion behaviors of a compression-ignition engine fuelled with diesel/methanol blends under various fuel delivery advance angles. *Bioresource Technology*, 95(3), 331-341. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.018>
- Ichihara, K., 1982, Formation of Oleosomes in Maturing Safflower Seeds. *Agricultural and Biological Chemistry*, 46(7), 1767-1773. <https://doi.org/10.1080/00021369.1982.10865334>
- Ileri, E., 2016, Experimental study of 2-ethylhexyl nitrate effects on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with n-butanol or 1-pentanol diesel–sunflower oil blends. *Energy Conversion and Management*, 118, 320-330. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.015>
- Ilkilic, C., and Cilgin, E., 2013, Effect Of Terebinth Oil Biodiesel On Exhaust Emissions in a Ci Engine. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(2), 126-145.
- İlkılıç, C., and Aydın, H., 2011, Determination of performance and exhaust emissions properties of B75 in a CI engine application. *Fuel Processing Technology*, 92(9), 1790-1795. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.04.032>
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behcet, R., and Aydın, H., 2011, Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92(3), 356-362. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.09.028>
- İlkılıç, C., and Çılğın, E., 2014, The Effect of Terebinth oil Methyl Ester on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Diesel Engine. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 4(4), 75-85.
- İlkılıç, C., Çılğın, E., and Aydın, H., 2015, Terebinth oil for biodiesel production and its diesel engine application. *Journal of the Energy Institute*, 88(3), 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.09.001>

- Imdadul, H. K., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Alabdulkarem, A., Rashed, M. M., Teoh, Y. H., and How, H. G., 2016, 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. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.066>
- Imtenan, S., Masjuki, H. H., Varman, M., and Rizwanul Fattah, I. M., 2015, Evaluation of n-butanol as an oxygenated additive to improve combustion-emission-performance characteristics of a diesel engine fuelled with a diesel-calophyllum inophyllum biodiesel blend. *RSC Advances*, 5(22), 17160-17170. <https://doi.org/10.1039/C4RA15474F>
- Ishida, M., Yamamoto, S., Ueki, H., and Sakaguchi, D., 2010, Remarkable improvement of NO_x–PM trade-off in a diesel engine by means of bioethanol and EGR. *Energy*, 35(12), 4572-4581. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.039>
- İşcan, B., 2020, ANN modeling for justification of thermodynamic analysis of experimental applications on combustion parameters of a diesel engine using diesel and safflower biodiesel fuels. *Fuel*, 279, 118391. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118391>
- Işık, M. Z., 2016, Çift yakıtlı reaktivite kontrollü bir dizel motorda biyodizel yakıtların düşük sıcaklıklı yanma performans ve emisyon karakteristiklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Işık, M. Z., 2021, Comparative experimental investigation on the effects of heavy alcohols- safflower biodiesel blends on combustion, performance and emissions in a power generator diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 184, 116142. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116142>
- Işık, M. Z., Bayındır, H., İscan, B., and Aydın, H., 2017, The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator. *Journal of the Energy Institute*, 90(2), 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.02.006>
- Işık, M. Z., Topkaya, H., İşcan, B., and Aydın, H., 2020, Combustion, performance, and emissions of safflower biodiesel with dimethyl ether addition in a power generator diesel engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1756993>
- Ito, T., Sakurai, Y., Kakuta, Y., Sugano, M., and Hirano, K., 2012, Biodiesel production from waste animal fats using pyrolysis method. *Fuel Processing Technology*, 94(1), 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.004>
- Ivanov, I. B., & Kralchevsky, P. A., 1997, Stability of emulsions under equilibrium and dynamic conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 128(1), 155-175. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(96\)03903-9](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(96)03903-9)
- Iwanaga, D., Gray, D. A., Fisk, I. D., Decker, E. A., Weiss, J., and McClements, D. J., 2007, Extraction and Characterization of Oil Bodies from Soy Beans: A Natural

- Source of Pre-Emulsified Soybean Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8711-8716. <https://doi.org/10.1021/jf071008w>
- Jain, T., Jain, V., Pandey, R., Vyas, A., and Shukla, S. S., 2009, Microwave assisted extraction for phytoconstituents—an overview. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 2(1), 19-25.
- Jarienė, E., Danilčenko, H., Aleknvičienė, P., and Kulaitienė, J., 2008, Expression – Extraction of Pumpkin Oil. İçinde M. Vieira & P. Ho (Ed.), *Experiments in Unit Operations and Processing of Foods* (ss. 53-61). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68642-4_7
- Javed, S., Satyanarayana Murthy, Y. V. V, Baig, R. U., and Prasada Rao, D., 2015, Development of ANN model for prediction of performance and emission characteristics of hydrogen dual fueled diesel engine with Jatropha Methyl Ester biodiesel blends. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 549-557. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.06.041>
- Jin, C., Yao, M., Liu, H., Lee, C. F., and Ji, J., 2011, Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4080-4106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.06.001>
- JodiOil, 2022, *Joint Organisations Data Initiative* [online], <http://www.jodidata.org/database/data-downloads.aspx> [Ziyaret Tarihi: 20 Ocak 2023].
- Julis, J., and Leitner, W., 2012, Synthesis of 1-Octanol and 1,1-Dioctyl Ether from Biomass-Derived Platform Chemicals. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(34), 8615-8619. <https://doi.org/10.1002/anie.201203669>
- Jun Choi, Y., Hwan Park, J., Yong Kim, T., and Yup Lee, S., 2012, Metabolic engineering of Escherichia coli for the production of 1-propanol. *Metabolic Engineering*, 14(5), 477-486. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2012.07.006>
- Jung, H., Kittelson, D. B., and Zachariah, M. R., 2006, Characteristics of SME biodiesel-fueled diesel particle emissions and the kinetics of oxidation. *Environmental science & technology*, 40(16), 4949-4955. <https://doi.org/10.1021/es0515452>
- Kachhadiya, P. R., Patel, N. K., and Mehul, P. B., 2019, Design and development of small scale Biodiesel production unit. *International Journal of Fluid and Thermal Engineering*, 7, 8-13. <https://doi.org/10.7537/marsroj090817.14>
- Kalyoncu, S., 2020, Deep learning networks for stock market analysis. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Karabaş, H., 2013, Safflower Remzibey-05 (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil as an alternative feedstock for the production of biodiesel in Turkey. *Ziraat Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi*, 27(1), 9-17.

- Karabaş, H., 2013a, The effective parameter optimization on the conversion rate of the sunflower oil biodiesel. *Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty (Turkey)*.
- Karabaş, H., 2013b, Ülkemiz Islahçı Çeşitlerinden Remzibey-05 Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tohumlarından Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17.
- Karabektas, M., and Hosoz, M., 2009, Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 34(6), 1554-1559. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.003>
- Karabektas, M., 2002, Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biodizel kullanımının motor performansına etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Karahan, Ş., 2006, Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi. *Ulusal Biyodizel Sunuşayı, Ankara*.
- Karavalakis, G., Short, D., Vu, D., Villela, M., Asa-Awuku, A., and Durbin, T. D., 2014, Evaluating the regulated emissions, air toxics, ultrafine particles, and black carbon from SI-PFI and SI-DI vehicles operating on different ethanol and iso-butanol blends. *Fuel*, 128, 410-421. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.03.016>
- Karefyllakis, D., Octaviana, H., van der Goot, A. J., and Nikiforidis, C. V., 2019, The emulsifying performance of mildly derived mixtures from sunflower seeds. *Food Hydrocolloids*, 88, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.037>
- Karkani, O. A., Nenadis, N., Nikiforidis, C. V, and Kiosseoglou, V., 2013, Effect of recovery methods on the oxidative and physical stability of oil body emulsions. *Food Chemistry*, 139(1), 640-648. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.055>
- Kawentar, W. A., & Budiman, A., 2013, Synthesis of Biodiesel from Second-Used Cooking Oil. *Energy Procedia*, 32, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.025>
- Keddie, J. S., Edwards, E.-W., Gibbons, T., Shaw, C. H., and Murphy, D. J., 1992, Sequence of an oleocin cDNA from *Brassica napus*. *Plant Molecular Biology*, 19(6), 1079-1083. <https://doi.org/10.1007/BF00040541>
- Kerihuel, A., Senthil Kumar, M., Bellettre, J., and Tazerout, M., 2005, Use of animal fats as CI engine fuel by making stable emulsions with water and methanol. *Fuel*, 84(12), 1713-1716. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.03.002>
- Kerschgens, B., Cai, L., Pitsch, H., Heuser, B., & Pischinger, S., 2016, Di-n-buthylether, n-octanol, and n-octane as fuel candidates for diesel engine combustion. *Combustion and Flame*, 163, 66-78. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2015.09.001>

- Kessler, N., Hammond, E., McNeal, J. E., and Ridoutt, R., 1985, *Understanding solvent extraction of vegetable oils*, Volunteers in Technical Assistance.
- Khan, L. M., and Hanna, M. A., 1983, Expression of oil from oilseeds—A review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(6), 495-503. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(83\)90113-0](https://doi.org/10.1016/0021-8634(83)90113-0)
- Khazaei, J., Sarmadi, M., and Behzad, J., 2006, Physical properties of sunflower seeds and kernels related to harvesting and dehulling. *Lucrari Stiintifice*, 49, 262-271.
- Kim, H., and Choi, B., 2008, Effect of ethanol–diesel blend fuels on emission and particle size distribution in a common-rail direct injection diesel engine with warm-up catalytic converter. *Renewable Energy*, 33(10), 2222-2228. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.002>
- Kızrak, A., 2019., *Derin Öğrenme İçin Aktivasyon Fonksiyonlarının Karşılaştırılması* [online], <https://ayyucekizrak.medium.com/derin-%C3%B6%C4%9Frenme-i%C3%A7in-aktivasyon-fonksiyonlar%C4%B1n%C4%B1n-kar%C5%9F%C4%B1la%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1-cee17fd1d9cd> [Ziyaret Tarihi: 16 Ağustos 2022].
- Knothe, G., 2000, Monitoring a progressing transesterification reaction by ber-optic near infrared spectroscopy with correlation to ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J Am Oil Chem Soc*, 77, 489-493.
- Knothe, G., 2008, “Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties. *Energy & Fuels*, 22(2), 1358-1364. <https://doi.org/10.1021/ef700639e>
- Knothe, G., Krahl, J., and Van Gerpen, J., 2015, *The biodiesel handbook*. Elsevier.
- Knothe, G., and Razon, L. F., 2017, Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36-59. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>
- Knowles, P. F., 1969, Centers of plant diversity and conservation of crop germ plasm: Safflower. *Economic Botany*, 23(4), 324-329.
- Koca, Ö. D., 2013, Diesel motorlarında motorin ve lpg yakıtlarının birlikte kullanımının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Koç, M., 2011, Biyodizel üretimine uygun Türkiye’de yetişen ve yetiştirilecek bitkilerin ve biyodizel teknolojilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Koç, M. L., Balas, C. E., ve Arslan, A., 2004, Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağları ile ön tasarımı. *Teknik Dergi*, 15(74).
- Koivisto, E., Ladommatos, N., and Gold, M., 2015, Systematic study of the effect of the hydroxyl functional group in alcohol molecules on compression ignition and

- exhaust gas emissions. *Fuel*, 153, 650-663. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.042>
- Kostić, M. D., 2018, Ekstrakcija ulja iz semena konoplje (*Cannabis sativa* L.) i njegova primena u sintezi biodizela. *Универзитет у Хууу*.
- Kou, D., and Mitra, S., 2003, Extraction of Semivolatile Organic Compounds from Solid Matrices. İçinde *Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry* (ss. 139-182). <https://doi.org/10.1002/0471457817.ch3>
- Krasowska, M., Ferrari, M., Liggieri, L., and Malysa, K., 2011, Influence of n-hexanol and n-octanol on wetting properties and air entrapment at superhydrophobic surfaces. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(20), 9452-9457. <https://doi.org/10.1039/C0CP01940B>
- Krishnamoorthy, V., Dhanasekaran, R., Rana, D., Saravanan, S., and Rajesh Kumar, B., 2018a, A comparative assessment of ternary blends of three bio-alcohols with waste cooking oil and diesel for optimum emissions and performance in a CI engine using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 156, 337-357. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.087>
- Krishnamoorthy, V., Dhanasekaran, R., Rana, D., Saravanan, S., and Rajesh Kumar, B., 2018b, A comparative assessment of ternary blends of three bio-alcohols with waste cooking oil and diesel for optimum emissions and performance in a CI engine using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 156, 337-357. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.087>
- Kuleshov, A. S., 2005, Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emissions in DI diesel engines over whole operating range. *SAE paper*, 2005-01, 2119.
- Kumar, R., and Das, N., 2018, Seed oil of *Jatropha curcas* L. germplasm: Analysis of oil quality and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, 124, 663-668. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.031>
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., and Moon, I., 2013, Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.017>
- Kumar, S., Singh, N., and Prasad, R., 2010, Anhydrous ethanol: A renewable source of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1830-1844. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.015>
- Kuti, O. A., Zhu, J., Nishida, K., Wang, X., and Huang, Z., 2013, Characterization of spray and combustion processes of biodiesel fuel injected by diesel engine common rail system. *Fuel*, 104, 838-846. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.05.014>
- Kwanchareon, P., Luengnaruemitchai, A., and Jai-In, S., 2007, Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, 86(7), 1053-1061. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.09.034>

- Kwangdinata, R., Raya, I., and Zakir, M., 2014, Production of biodiesel from lipid of phytoplankton *Chaetoceros calcitrans* through ultrasonic method. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/231361>
- Lancaster, D. R., Krieger, R. B., and Lienesch, J. H., 1975, Measurement and analysis of engine pressure data. *SAE Transactions*, 155-172.
- Lapuerta, M., García-Contreras, R., Campos-Fernández, J., and Dorado, M. P., 2010, Stability, Lubricity, Viscosity, and Cold-Flow Properties of Alcohol–Diesel Blends. *Energy and Fuels*, 24(8), 4497-4502. <https://doi.org/10.1021/ef100498u>
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., Fernández-Rodríguez, D., and Patiño-Camino, R., 2018, Cold flow and filterability properties of n-butanol and ethanol blends with diesel and biodiesel fuels. *Fuel*, 224, 552-559. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.083>
- Lawyer, K., Ickes, A., Wallner, T., Ertl, D., Williamson, R., Miers, S., and Naber, J., 2013, *Blend ratio optimization of fuels containing gasoline blendstock, ethanol, and higher alcohols (C3-C6): part i-methodology and scenario definition*. SAE Technical Paper.
- Lee, I., Johnson, L. A., and Hammond, E. G., 1996, Reducing the crystallization temperature of biodiesel by winterizing methyl soyate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(5), 631-636. <https://doi.org/10.1007/BF02518119>
- Lestari, S., Mäki-Arvela, P., Beltramini, J., Lu, G. Q. M., and Murzin, D. Y., 2009, Transforming triglycerides and fatty acids into biofuels. *ChemSusChem: Chemistry and Sustainability Energy and Materials*, 2(12), 1109-1119.
- Leung, D. Y. C. (2001, Development of a Clean Biodiesel Fuel in Hong Kong Using Recycled Oil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130(1), 277-282. <https://doi.org/10.1023/A:1013883823851>
- Leung, D. Y. C., and Guo, Y., 2006, Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 87(10), 883-890. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.06.003>
- Libretexts, 2021, *Biodiesel from Oils and Fats* [online], [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Biological_Engineering/Introduction_to_Biosystems_Engineering_\(Holden_et_al.\)/01%3A_Energy_Systems/1.03%3A_Biodiesel_from_Oils_and_Fats#Use_of_a_Catalyst](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Biological_Engineering/Introduction_to_Biosystems_Engineering_(Holden_et_al.)/01%3A_Energy_Systems/1.03%3A_Biodiesel_from_Oils_and_Fats#Use_of_a_Catalyst) [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2022].
- Lichty, L., 1967, *Combustion Engine Processes (formerly Published Under the Title "Internal Combustion Engines"*, New York, NY, McGraw-Hill Book Company. <https://books.google.com.tr/books?id=xnWctAEACAAJ>
- Li, H., Opgenorth, P. H., Wernick, D. G., Rogers, S., Wu, T.-Y., Higashide, W., Malati, P., Huo, Y.-X., Cho, K. M., and Liao, J. C., 2012, Integrated Electromicrobial Conversion of CO₂ to Higher Alcohols. *Science*, 335(6076), 1596. <https://doi.org/10.1126/science.1217643>

- Lima, D. G., Soares, V. C. D., Ribeiro, E. B., Carvalho, D. A., Cardoso, É. C. V, Rassi, F. C., Mundim, K. C., Rubim, J. C., and Suarez, P. A. Z., 2004, Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 987-996. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2003.12.008>
- Lin, B.-F., Huang, J.-H., and Huang, D.-Y., 2009, Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel*, 88(9), 1779-1785. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.04.006>
- Lin, C.-Y., and Wang, K.-H., 2004, 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. <https://doi.org/10.1081/ESE-120030336>
- Linstrom, P. J., and Mallard, W. G., 2001, The NIST Chemistry WebBook: A Chemical Data Resource on the Internet. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 46(5), 1059-1063. <https://doi.org/10.1021/je000236i>
- Liu, K., Atiyeh, H. K., Stevenson, B. S., Tanner, R. S., Wilkins, M. R., and Huhnke, R. L., 2014, Continuous syngas fermentation for the production of ethanol, n-propanol and n-butanol. *Bioresource Technology*, 151, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.059>
- Liu, X., Wang, H., Zheng, Z., Liu, J., Reitz, R. D., and Yao, M., 2016, Development of a combined reduced primary reference fuel-alcohols (methanol/ethanol/propanols/butanols/n-pentanol) mechanism for engine applications. *Energy*, 114, 542-558. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.001>
- Li, Y., Jia, M., Liu, Y., and Xie, M., 2013, Numerical study on the combustion and emission characteristics of a methanol/diesel reactivity controlled compression ignition (RCCI) engine. *Applied Energy*, 106, 184-197. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.058>
- López-Ordaz, P., Chanona-Pérez, J. J., Perea-Flores, M. J., Sánchez-Fuentes, C. E., Mendoza-Pérez, J. A., Arzate-Vázquez, I., Yáñez-Fernández, J., and Torres-Ventura, H. H., 2019, Effect of the extraction by thermosonication on castor oil quality and the microstructure of its residual cake. *Industrial Crops and Products*, 141, 111760. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111760>
- Luque de Castro, M. D., and Priego-Capote, F., 2007, Ultrasound assistance to liquid-liquid extraction: A debatable analytical tool. *Analytica Chimica Acta*, 583(1), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.09.039>
- Macedo, I. C., Seabra, J. E. A., and Silva, J. E. A. R., 2008, Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, 32(7), 582-595. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.006>

- Mahanta, P., Mishra, S. C., and Kushwah, Y. S., 2006, An experimental study of *Pongamia pinnata* L. oil as a diesel substitute. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 220(7), 803-808. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE172>
- Mandal, A. K. A., and Dutta Gupta, S., 2003, Somatic embryogenesis of safflower: influence of auxin and ontogeny of somatic embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 72(1), 27-31. <https://doi.org/10.1023/A:1021264403398>
- Mandal, V., Mohan, Y., and Hemalatha, S., 2007, Microwave assisted extraction—an innovative and promising extraction tool for medicinal plant research. *Pharmacognosy reviews*, 1(1), 7-18.
- Maniam, G. P., Hindryawati, N., Nurfitri, I., Manaf, I. S. A., Ramachandran, N., and Rahim, M. H. Ab., 2015, Utilization of waste fat from catfish (*Pangasius*) in methyl esters preparation using CaO derived from waste marine barnacle and bivalve clam as solid catalysts. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.11.010>
- Maran, J. P., and Priya, B., 2015, Supercritical fluid extraction of oil from muskmelon (*Cucumis melo*) seeds. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 47, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.10.007>
- Marikala, S. (2020, Python and its libraries in data science and related fields. *Data Science and Engineering*, 1(1).
- Martínez, A., Mijangos, G. E., Romero-Ibarra, I. C., Hernández-Altamirano, R., and Mena-Cervantes, V. Y., 2019, In-situ transesterification of *Jatropha curcas* L. seeds using homogeneous and heterogeneous basic catalysts. *Fuel*, 235, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.082>
- Martínez, M. L., Bordón, M. G., Lallana, R. L., Ribotta, P. D., and Maestri, D. M., 2017, Optimization of sesame oil extraction by screw-pressing at low temperature. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1113-1121. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1885-4>
- Martínez, M. L., Marín, M. A., Salgado Faller, C. M., Revol, J., Penci, M. C., and Ribotta, P. D., 2012, Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 78-82. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.032>
- Martins, K. C. R., Silva, P. H. C., Galvao, V. L., Martins, L. S. P., Matias, S. L. E., and Pereira, R. J. R., 2010, Development of Prototype of Screw Press for The Collection of Oil From Seeds of Castor and *Jatropha*. *Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering*.
- Matsakidou, A., Mantzouridou, F. Th., and Kiosseoglou, V., 2015, Optimization of water extraction of naturally emulsified oil from maize germ. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.039>

- Mat Yasin, M. H., Yusaf, T., Mamat, R., and Fitri Yusop, A., 2014, Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend. *Applied Energy*, 114, 865-873. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.012>
- McGinty, D., Scognamiglio, J., Letizia, C. S., and Api, A. M., 2010, Fragrance material review on 2-ethyl-1-hexanol. *Food and Chemical Toxicology*, 48, S115-S129. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.05.042>
- McKinney, W., 2011, pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics. *Python for high performance and scientific computing*, 14(9), 1-9.
- McKinney, W., 2022, *Python for Data Analysis*. “O’Reilly Media, Inc.”
- McPherson, M. A., Good, A. G., Keith C. Topinka, A., and Hall, L. M., 2004, Theoretical hybridization potential of transgenic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with weedy relatives in the New World. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(3), 923-934. <https://doi.org/10.4141/P03-150>
- Mehra, R. K., Duan, H., Luo, S., Rao, A., and Ma, F., 2018, Experimental and artificial neural network (ANN) study of hydrogen enriched compressed natural gas (HCNG) engine under various ignition timings and excess air ratios. *Applied Energy*, 228, 736-754. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.085>
- Merker, G. P., Schwarz, C., Stiesch, G., and Otto, F., 2005, *Simulating Combustion: Simulation of combustion and pollutant formation for engine-development*. Springer Science and Business Media.
- Mićić, V., and Jotanović, M., 2015, Bioethanol as fuel for internal combustion engines. *Zaštita materijala*, 56(4), 403-408. <https://doi.org/10.5937/ZasMat1504403M>
- Mittelbach, M., 1996, Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel. *Bioresource Technology*, 56(1), 7-11. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00172-7](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00172-7)
- Mittelbach, M., and Enzelsberger, H., 1999, Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 76, 545-550. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0002-x>
- Mohamed Ismail, H., Ng, H. K., Queck, C. W., and Gan, S., 2012, Artificial neural networks modelling of engine-out responses for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends. *Applied Energy*, 92, 769-777. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.027>
- Mohammadi, P., Nikbakht, A. M., Tabatabaei, M., Farhadi, K., Mohebbi, A., and Khatami far, M., 2012, Experimental investigation of performance and emission characteristics of DI diesel engine fueled with polymer waste dissolved in biodiesel-blended diesel fuel. *Energy*, 46(1), 596-605. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.07.049>

- Monyem, A., Van Gerpen, J. H., and Canakci, M., 2001, The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engines. *Transactions of the ASAE*, 44(1), 35. <https://doi.org/10.13031/2013.2301>
- Moreau, A., Martín, M. C., Chamorro, C. R., and Segovia, J. J., 2012, Thermodynamic characterization of second generation biofuels: Vapour–liquid equilibria and excess enthalpies of the binary mixtures 1-pentanol and cyclohexane or toluene. *Fluid Phase Equilibria*, 317, 127-131. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2012.01.007>
- Moser, B. R., 2014, Impact of fatty ester composition on low temperature properties of biodiesel–petroleum diesel blends. *Fuel*, 115, 500-506. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.075>
- Moslavac, T., Jokić, S., Šubarić, D., Aladić, K., Vukoja, J., and Prce, N., 2014, Pressing and supercritical CO₂ extraction of *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products*, 54, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.019>
- Moss, J. T., Berkowitz, A. M., Oehlschlaeger, M. A., Biet, J., Warth, V., Glaude, P.-A., and Battin-Leclerc, F., 2008, An Experimental and Kinetic Modeling Study of the Oxidation of the Four Isomers of Butanol. *The Journal of Physical Chemistry A*, 112(43), 10843-10855. <https://doi.org/10.1021/jp806464p>
- Mourad, M., and Mahmoud, K. R. M., 2018, Performance investigation of passenger vehicle fueled by propanol/gasoline blend according to a city driving cycle. *Energy*, 149, 741-749. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.099>
- Mrema, G. C., and McNulty, P. B., 1985, Mathematical model of mechanical oil expression from oilseeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 31(4), 361-370. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90111-8](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90111-8)
- Mubarak, M., Shaija, A., and Suchithra, T. V., 2015, A review on the extraction of lipid from microalgae for biodiesel production. *Algal Research*, 7, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.10.008>
- Mundel, H. H., 1969, Effect of rainfed and irrigated conditions on the yield of indigenous and exotic varieties of safflower (*Canthamus tinctorius* L., *Madras Agr J.*)
- Munoz, I. F., 1986, The effect of sowing dates and temperature on phenological phases and yield of safflower. *Sesame and Safflower Newsletter*, 2, 83-86.
- Murphy, D. J., 1993, Structure, function and biogenesis of storage lipid bodies and oleosins in plants. *Progress in Lipid Research*, 32(3), 247-280. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(93\)90009-L](https://doi.org/10.1016/0163-7827(93)90009-L)
- Mündel, H. H., Morrison, R. J., Blackshaw, R. E., and Roth, B., 1992, Safflower Production on the Canadian Prairies. *Agric. Can. Res. Station, Lethbridge/Alberta Saffl. Growers Assoc., with funding by Farming for the Future Project*, 87-0016.

- Nagy, M., Foston, M., and Ragauskas, A. J., 2010, Rapid quantitative analytical tool for characterizing the preparation of biodiesel. *The Journal of Physical Chemistry A*, 114(11), 3883-3887. <https://doi.org/10.1021/jp906543g>
- Nanthagopal, K., Ashok, B., and Karuppa Raj, R. T., 2016, Influence of fuel injection pressures on Calophyllum inophyllum methyl ester fuelled direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 116, 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.002>
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Korah, S. M., and Chandra, S., 2018, Effect of next generation higher alcohols and Calophyllum inophyllum methyl ester blends in diesel engine. *Journal of Cleaner Production*, 180, 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.167>
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Patel, D., Sudarshan, B., and Aaditya Ramasamy, R., 2018, An assessment on the effects of 1-pentanol and 1-butanol as additives with Calophyllum Inophyllum biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 158, 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.048>
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Ramesh Pathy, M., Sahil, G., Ramesh, A., Nurun Nabi, M., and Golam Rasul, M., 2019, Study on decanol and Calophyllum Inophyllum biodiesel as ternary blends in CI engine. *Fuel*, 239, 862-873. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.037>
- Nanthagopal, K., Kishna, R. S., Atabani, A. E., Al-Muhtaseb, A. H., Kumar, G., and Ashok, B., 2020, A compressive review on the effects of alcohols and nanoparticles as an oxygenated enhancer in compression ignition engine. *Energy Conversion and Management*, 203, 112244. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112244>
- Narayan, C. M., 2002, Vegetable oil as engine fuels—prospect and retrospect. *Proceedings on recent trends in automotive fuels, Nagpur, India*, 1, 22-26.
- Naumczyk, J., Szpyrkowicz, L., and Zilio-Grandi, F., 1996, Electrochemical treatment of textile wastewater. *Water Science and Technology*, 34(11), 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00816-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00816-5)
- Nigam, P. S., and Singh, A., 2011, Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1), 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.01.003>
- Nikiforidis, C. V., 2019, Structure and functions of oleosomes (oil bodies, *Advances in Colloid and Interface Science*, 274, 102039. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102039>
- Nikiforidis, C. V., Biliaderis, C. G., and Kiosseoglou, V., 2012, Rheological characteristics and physicochemical stability of dressing-type emulsions made of oil bodies—egg yolk blends. *Food Chemistry*, 134(1), 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.058>

- Nikiforidis, C. V, Donsouzi, S., and Kiosseoglou, V., 2016, The interplay between diverse oil body extracts and exogenous biopolymers or surfactants. *Food Research International*, 83, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.007>
- Nikiforidis, C. V, Karkani, O. A., and Kiosseoglou, V., 2011, Exploitation of maize germ for the preparation of a stable oil-body nanoemulsion using a combined aqueous extraction-ultrafiltration method. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1122-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.10.009>
- Nikiforidis, C. V, and Kiosseoglou, V., 2009, Aqueous Extraction of Oil Bodies from Maize Germ (*Zea mays*) and Characterization of the Resulting Natural Oil-in-Water Emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12), 5591-5596. <https://doi.org/10.1021/jf900771v>
- Nikiforidis, C. V, and Kiosseoglou, V., 2010, Physicochemical Stability of Maize Germ Oil Body Emulsions As Influenced by Oil Body Surface-Xanthan Gum Interactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 527-532. <https://doi.org/10.1021/jf902544j>
- Nikiforidis, C. V, and Scholten, E., 2015, High internal phase emulsion gels (HIPE-gels) created through assembly of natural oil bodies. *Food Hydrocolloids*, 43, 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.030>
- Niu, X., Yang, C., Wang, H., and Wang, Y., 2017, Investigation of ANN and SVM based on limited samples for performance and emissions prediction of a CRDI-assisted marine diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 111, 1353-1364. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.042>
- Obisesan, O. R., Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Obuotor, E. M., Ojo, O. S., Adedayo, M. S., Akinyemi, M. A., and Adesina, O. M., 2017, Refining, Toxicology Study and Biodiesel Potentials of Used Vegetable Oils. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(3), 78-88. <https://doi.org/10.12691/ajfst-5-3-2>
- Ofuonye, E., Kutin, K., and Stuart, D. T., 2013, Engineering *Saccharomyces cerevisiae* fermentative pathways for the production of isobutanol. *Biofuels*, 4(2), 185-201. <https://doi.org/10.4155/bfs.12.85>
- Ogut, H., Oguz, H., Menges, H. O., and Eryilmaz, T., 2006, Examining the effects of different iodine numbers biodiesels on the engine. *World of Biofuel Magazine*, 1.
- Oğuz, H, 2004, Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Omar, R., and Robinson, J. P., 2014, Conventional and microwave-assisted pyrolysis of rapeseed oil for bio-fuel production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.012>
- Onurbaş Avcıoğlu, A., 2011, Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler biyoyakıtlar, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Kızılay, Ankara.

- Oromí-Farrús, M., Villorbina, G., Eras, J., Gatiús, F., Torres, M., and Canela, R., 2010, Determination of the iodine value of biodiesel using ^1H NMR with 1,4-dioxane as an internal standard. *Fuel*, 89(11), 3489-3492. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.06.016>
- Otto, J., 1992, The ram press of Tanzania: Successful technology gets better. *Food Chain*, 5, 6-7.
- Owolarafe, O. K., Osunleke, A. S., Odejobi, O. A., Ajadi, S. O., and Faborode, M. O., 2008, Mathematical modelling and simulation of the hydraulic expression of oil from oil palm fruit. *Biosystems Engineering*, 101(3), 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.08.007>
- Owolarafe, O. K., Osunleke, A. S., and Oyebamiji, B. E., 2007, Effect of hydraulic press parameters on crude palm oil yield. *International Agrophysics*, 21(3), 285-291.
- Ozcanli, M., Gungor, C., and Aydin, K., 2013, Biodiesel fuel specifications: A review. *Energy Sources, Part A: recovery, utilization, and environmental effects*, 35(7), 635-647. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.503229>
- Ozsezen, A. N., Turkcan, A., Sayin, C., and Canakci, M., 2011, Comparison of Performance and Combustion Parameters in a Heavy-Duty Diesel Engine Fueled with Iso-Butanol/Diesel Fuel Blends. *Energy Exploration and Exploitation*, 29(5), 525-541. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.29.5.525>
- Öcal, M., 2006, Setan sayısı hakkında 6 soru. *Mühendis ve Makine*, 48(568), 24-25.
- Öğüt, H., and Oğuz, H., 2006, Üçüncü milenyumun yakıtı biyodizel. Nobel Yayın,(745).
- Ölçüm, T., 2006, Biyodizel teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Öner, C., and Altun, Ş., 2009, 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(10), 2114-2120. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.005>
- Örs, İ., 2014, Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Örs, İ., Kahraman, A., and Ciniviz, M., 2017, *Performance, emission, and combustion analysis of a compression ignition engine using biofuel blends*.
- Özçelik, A. E., Acaroğlu, M., and Akgün, N., 2016, The effect of additives on the oxidation stability of biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(5), 702-708. <https://doi.org/10.1080/15567036.2015.1004384>

- Özdemir, M., 2011, *Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Özer, S., 2010, Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Özkay, B., 2021, Derin öğrenme kullanılarak Bilecik ili rüzgar hızı tahmini. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Özsezen, A. N., and Çanakçı, M., 2009, Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15(2).
- Özsezen, A. N., Çanakçı, M., ve Sayın, C., 2006, Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorun emisyonları üzerine etkisi. *Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu, Bursa*, 41(51), 29-30.
- Öztemel, E., 2003, Yapay sinir ağları. PapatyaYayincilik, İstanbul.
- Öztürk, K., 2017, Ekim 30, *Veri Bilimciler İçin Python Ekosistemi* [online], <http://www.veridefteri.com/2017/10/30/veri-bilimciler-icin-python-ekosistemi/> [Ziyaret Tarihi: 24 Kasım 2022].
- Özveran, O., 2013, Tek Silindirli Diesel Motorlarda Egr Uygulamasının Motor Performansı İle Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pahlavani, M. H., 2005, Some technological and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) from Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., and Kothari, S., 2011, Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Patil, P. S., Deokar, A. B., and Katule, B. K., 1987, Breeding. İçinde *Safflower* (ss. 7-72, AICORPO (Safflower), Mahatma Phule Agricultural University, Solapur.
- Pence, V. C., Hasegawa, P. M., and Janick, J., 1981, Sucrose-mediated regulation of fatty acid composition in asexual embryos of *Theobroma cacao*. *Physiologia Plantarum*, 53(3), 378-384. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb04516.x>
- Phan, A. N., and Phan, T. M., 2008, Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, 87(17), 3490-3496. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.008>
- Phillips, J. R., Atiyeh, H. K., Tanner, R. S., Torres, J. R., Saxena, J., Wilkins, M. R., and Huhnke, R. L., 2015, Butanol and hexanol production in *Clostridium carboxidivorans* syngas fermentation: Medium development and culture

- techniques. *Bioresource Technology*, 190, 114-121.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.043>
- Pighinelli, A. L. M. T., and Gambetta, R., 2012, Oil Presses. İçinde U. G. Akpan (Ed.), *Oilseeds* (s. Ch. 2, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/30699>
- Popuri, S. S. S., and Bata, R. M., 1993, A Performance Study of Iso-Butanol-, Methanol-, and Ethanol-Gasoline Blends Using a Single Cylinder Engine. *SAE Transactions*, 102, 576-595. <http://www.jstor.org/stable/44722963>
- Pradhan, R. C., Mishra, S., Naik, S. N., Bhatnagar, N., and Vijay, V. K., 2011, Oil expression from *Jatropha* seeds using a screw press expeller. *Biosystems Engineering*, 109(2), 158-166.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.02.012>
- Prakash, T., Geo, V. E., Martin, L. J., and Nagalingam, B., 2018, Effect of ternary blends of bio-ethanol, diesel and castor oil on performance, emission and combustion in a CI engine. *Renewable Energy*, 122, 301-309.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.070>
- Pramanik, K., 2003, Properties and use of *jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*, 28(2), 239-248.
[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00027-7)
- Prankl, H., and Wörgetter, M., 1996, Influence of the iodine number of biodiesel to the engine performance. *Liquid Fuels and Industrial Products from Renewable Resources*, 191-196.
- Prasad, S., and Ingle, A. P., 2019, Chapter 12 - Impacts of sustainable biofuels production from biomass. İçinde M. Rai and A. P. Ingle (Ed.), *Sustainable Bioenergy* (ss. 327-346, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817654-2.00012-5>
- Prechelt, L., 2000, An empirical comparison of seven programming languages. *Computer*, 33(10), 23-29. <https://doi.org/10.1109/2.876288>
- Prego, I., Maldonado, S., and Otegui, M., 1998, Seed Structure and Localization of Reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481-488.
<https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0704>
- Qian, Y., Chen, F., Zhang, Y., Tao, W., Han, D., and Lu, X., 2019, Combustion and regulated/unregulated emissions of a direct injection spark ignition engine fueled with C3-C5 alcohol/gasoline surrogate blends. *Energy*, 174, 779-791.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.021>
- Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., and Bian, Y. Z., 2011, Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. *Renewable Energy*, 36(4), 1252-1258.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.09.021>

- Qi, D. H., Chen, H., Lee, C. F., Geng, L. M., and Bian, Y. Z., 2010, Experimental Studies of a Naturally Aspirated, DI Diesel Engine Fuelled with Ethanol–Biodiesel–Water Microemulsions. *Energy and Fuels*, 24(1), 652-663. <https://doi.org/10.1021/ef900814r>
- Rahadiani, E. S., Yerizam, Y., and Martha, M., 2018, Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.24845/IJFAC.V3.I3.77>
- Rahman, K. M., Mashud, M., Roknuzzaman, M., and Al Galib, A., 2010, Biodiesel from Jatropa oil as an alternative fuel for diesel engine. *International Journal of Mechanical and Mechatronics (IJMME-IJENS)*, 10(3), 1-6.
- Rajak, U., Nashine, P., and Verma, T. N., 2019, Characteristics of microalgae spirulina biodiesel with the impact of n-butanol addition on a CI engine. *Energy*, 189, 116311. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116311>
- Rajak, U., Nashine, P., Verma, T. N., and Pugazhendhi, A., 2019a, Alternating the environmental benefits of Aegle-diesel blends used in compression ignition. *Fuel*, 256, 115835. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115835>
- Rajak, U., Nashine, P., Verma, T. N., and Pugazhendhi, A. 2019b, Performance, combustion and emission analysis of microalgae Spirulina in a common rail direct injection diesel engine. *Fuel*, 255, 115855. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115855>
- Rajesh Kumar, B., and Saravanan, S., 2016, Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 84-115. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.085>
- Rajesh Kumar, B., Saravanan, S., Rana, D., Anish, V., and Nagendran, A., 2016, Effect of a sustainable biofuel – n-octanol – on the combustion, performance and emissions of a DI diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes. *Energy Conversion and Management*, 118, 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.001>
- Rajesh Kumar, B., Saravanan, S., Rana, D., and Nagendran, A., 2016, Combined effect of injection timing and exhaust gas recirculation (EGR) on performance and emissions of a DI diesel engine fuelled with next-generation advanced biofuel – diesel blends using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 123, 470-486. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.06.064>
- Raju, V. D., Kumar, K. K., and Kishore, P. S., 2016, Engine performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine fuelled with 1-hexanol as a fuel additive in mahua seed oil biodiesel blends. *Int. J. of Thermal and Environmental Engineering*, 13(2), 121-127.
- Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M., and Kyritsis, D. C., 2010, Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions

- of a high-speed DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 51(10), 1989-1997. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.02.032>
- Ramadhass, A. S., Jayaraj, S., and Muraleedharan, C., 2004, Use of vegetable oils as I.C. engine fuels—A review. *Renewable Energy*, 29(5), 727-742. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.09.008>
- Ramesh, A., Ashok, B., Nanthagopal, K., Ramesh Pathy, M., Tambare, A., Mali, P., Phuke, P., Patil, S., and Subbarao, R., 2019, Influence of hexanol as additive with Calophyllum Inophyllum biodiesel for CI engine applications. *Fuel*, 249, 472-485. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.072>
- Ramírez, A. I., Aggarwal, S. K., Som, S., Rutter, T. P., and Longman, D. E., 2014, Effects of blending a heavy alcohol (C₂₀H₄₀O) with diesel in a heavy-duty compression-ignition engine. *Fuel*, 136, 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.039>
- Ramos, M., Dias, A. P. S., Puna, J. F., Gomes, J., and Bordado, J. C., 2019, Biodiesel production processes and sustainable raw materials. *Energies*, 12(23), 4408.
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., and Pérez, Á., 2009, Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1), 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>
- Randles, S. J., 1992, Environmentally considerate ester lubricants for the automotive and engineering industries. *Journal of Synthetic Lubrication*, 9(2), 145-161. <https://doi.org/10.1002/jsl.3000090205>
- Ranjith Kumar, R., Hanumantha Rao, P., and Arumugam, M., 2015, Lipid Extraction Methods from Microalgae: A Comprehensive Review. *Frontiers in Energy Research*, 2. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00061>
- Rashid, U., and Anwar, F., 2008, Production of biodiesel through base-catalyzed transesterification of safflower oil using an optimized protocol. *Energy and Fuels*, 22(2), 1306-1312.
- Rasimoğlu, N., and Temur, H., 2010, Yağlardan soğuk akış özellikleri optimize edilmiş biyodizel üretimi, 9. *Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Ankara*, 22-25.
- Rasskazchikova, T. V., Kapustin, V. M., and Karpov, S. A., 2004, Ethanol as High-Octane Additive to Automotive Gasolines. Production and Use in Russia and Abroad. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 40(4), 203-210. <https://doi.org/10.1023/B:CAFO.0000041215.14876.ce>
- Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Di, Y., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B., and Wang, X., 2008, Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel-oxygenate blends. *Fuel*, 87(12), 2691-2697. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.02.017>
- Rezaei, J., Shahbakhti, M., Bahri, B., and Aziz, A. A., 2015, Performance prediction of HCCI engines with oxygenated fuels using artificial neural networks. *Applied Energy*, 138, 460-473. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.088>

- Rezig, L., Chemkhi, H., Gharsallah, K., Mokbli, S., B'chir, F., Ben Achour, N., Bourgou, S., and Chouaibi, M., 2022, Profile characterization and biological activities of cold pressed Garden Cress (*Lepidium sativum*) seed oil. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(8), 103958. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103958>
- Rizwanul Fattah, I. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Wakil, M. A., Ashraful, A. M., and Shahir, S. A., 2014, Experimental investigation of performance and regulated emissions of a diesel engine with *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends accompanied by oxidation inhibitors. *Energy Conversion and Management*, 83, 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.069>
- Robles-Medina, A., González-Moreno, P. A., Esteban-Cerdán, L., and Molina-Grima, E., 2009, Biocatalysis: Towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology Advances*, 27(4), 398-408. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.10.008>
- Rogowski, A. R., 1953, *Elements of internal-combustion engines*. McGraw-Hill.
- Romuli, S., Karaj, S., Latif, S., and Müller, J., 2017, Performance of mechanical co-extraction of *Jatropha curcas* L. kernels with rapeseed, maize or soybean with regard to oil recovery, press capacity and product quality. *Industrial Crops and Products*, 104, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.035>
- Ross, J. H. E., and Murphy, D. J., 1993, Differential accumulation of storage products in developing seeds and somatic cell cultures of *Daucus carota* L. *Plant Science*, 88(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(93\)90103-7](https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90103-7)
- Rotter, M. L., Koller, W., and Neumann, R., 1991, The influence of cosmetic additives on the acceptability of alcohol-based hand disinfectants. *Journal of Hospital Infection*, 18, 57-63. [https://doi.org/10.1016/0195-6701\(91\)90264-9](https://doi.org/10.1016/0195-6701(91)90264-9)
- Routray, W., and Orsat, V., 2012, Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 409-424. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0573-z>
- Rubis, D. D., Levin, M. D., and McGregor, S. E., 1966, Effects of Honey Bee Activity and Cages on Attributes of Thin-Hull and Normal Safflower Lines 1. *Crop science*, 6(1), 11-14.
- Rudolphi, S., Becker, H. C., and von Witzke-Ehbrecht, S., 2008, *Outcrossing rate of safflower (Carthamus tinctorius L.) genotypes under the agro climatic conditions of Northern Germany*.
- Rudzinski, W. E., and Aminabhavi, T. M., 2000, A Review on Extraction and Identification of Crude Oil and Related Products Using Supercritical Fluid Technology. *Energy and Fuels*, 14(2), 464-475. <https://doi.org/10.1021/ef990177i>
- Rutter, C. D., and Rao, C. V., 2016, Production of 1-decanol by metabolically engineered *Yarrowia lipolytica*. *Metabolic Engineering*, 38, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2016.07.011>

- Saeed, L. I., Khalaf, A. M., and Fadhil, A. B., 2021, Biodiesel production from milk thistle seed oil as nonedible oil by cosolvent esterification–transesterification process. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 16(4), e2647. <https://doi.org/10.1002/apj.2647>
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E., and Soruşbay, C., 2013, İçten yanmalı motorlar. Birsen Yayınevi.
- Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Karim, A. A., Abbas, K. A., Norulaini, N. A. N., and Omar, A. K. M., 2009, Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – A review. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 240-253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.026>
- Salera, E., 1997, Production potential of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Tuscany. *Proceedings of the Fourth International Safflower Conference, Bari, Italy*, 115-118.
- Salimon, J., Salih, N., and Yousif, E., 2012, Industrial development and applications of plant oils and their biobased oleochemicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(2), 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.08.007>
- Santhosh, K., and Kumar, G. N., 2021, Effect of hydrogen and 1-Hexanol on combustion, performance and emission characteristics of CRDI CI engine. *Fuel*, 285, 119100. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119100>
- Sarathy, S. M., Vranckx, S., Yasunaga, K., Mehl, M., Oßwald, P., Metcalfe, W. K., Westbrook, C. K., Pitz, W. J., Kohse-Höinghaus, K., Fernandes, R. X., and Curran, H. J., 2012, A comprehensive chemical kinetic combustion model for the four butanol isomers. *Combustion and Flame*, 159(6), 2028-2055. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2011.12.017>
- Sarin, A., 2012, *Biodiesel: production and properties*. Royal Society of Chemistry.
- Sathiyagnanam, A. P., Saravanan, C. G., and Gopalakrishnan, M., 2010, Hexanol-ethanol diesel blends on DI-diesel engine to study the combustion and emission. *Proceedings of the world congress on engineering*, 2, 1-5.
- Satputaley, S. S., Zodpe, D. B., and Deshpande, N. V., 2017, Performance, combustion and emission study on CI engine using microalgae oil and microalgae oil methyl esters. *Journal of the Energy Institute*, 90(4), 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.05.011>
- Satyarthi, J. K., Srinivas, D., and Ratnasamy, P., 2009, Estimation of Free Fatty Acid Content in Oils, Fats, and Biodiesel by ¹H NMR Spectroscopy. *Energy and Fuels*, 23(4), 2273-2277. <https://doi.org/10.1021/ef801011v>
- Schmidt, K., and Van Gerpen, J., 1996, *The effect of biodiesel fuel composition on diesel combustion and emissions*. SAE Technical Paper.

- Schober, S., and Mittelbach, M., 2007, Iodine value and biodiesel: Is limitation still appropriate? *Lipid technology*, 19(12), 281-284. <https://doi.org/10.1002/lite.200700091>
- Schwab, A. W., Bagby, M. O., and Freedman, B., 1987, Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. *Fuel*, 66(10), 1372-1378. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(87\)90184-0](https://doi.org/10.1016/0016-2361(87)90184-0)
- Schwab, A. W., Nielsen, H. C., Brooks, D. D., and Pryde, E. H., 1983, Triglyceride/aqueous ethanol/1-butanol microemulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 4(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/01932698308943352>
- Segre, A. L., and Mannina, L., 1997, ¹H NMR study of edible oils. *Rec. Res. Dev. Oil Chem*, 1, 297-308.
- Seidel, A., 2006, *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. Wiley-Interscience.
- Serttaş, Z. S., 2011, Türkiye’de perakende sektöründe talebi etkileyen etmenler ve yapay sınır ağlarıyla talep tahmini uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Shahabuddin, M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Bhuiya, M. M. K., and Mofijur, M., 2012, An experimental investigation into biodiesel stability by means of oxidation and property determination. *Energy*, 44(1), 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.032>
- Shahir, S. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Imran, A., Fattah, I. M. R., and Sanjid, A., 2014, Feasibility of diesel–biodiesel–ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 379-395. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.029>
- Sharma, V., Hossain, A. K., and Duraisamy, G., 2021, Experimental investigation of neat biodiesels’ saturation level on combustion and emission characteristics in a CI engine. *Energies*, 14(16), 5203.
- Sharon, H., Jai Shiva Ram, P., Jenis Fernando, K., Murali, S., and Muthusamy, R., 2013, Fueling a stationary direct injection diesel engine with diesel-used palm oil–butanol blends – An experimental study. *Energy Conversion and Management*, 73, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.027>
- Sharon, H., Jayaprakash, R., Karthigai selvan, M., Soban kumar, D. R., Sundaresan, A., and Karuppasamy, K., 2012, Biodiesel production and prediction of engine performance using SIMULINK model of trained neural network. *Fuel*, 99, 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.019>
- Sharp, C. A., Ryan, T. W., and Knothe, G., 2005, Heavy-Duty Diesel Engine Emissions Tests Using Special Biodiesel Fuels. *SAE Transactions*, 114, 1204-1212. <http://www.jstor.org/stable/44721038>

- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., and Shapouri, H., 1998, *Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States, <https://doi.org/10.2172/1218369>)
- Shen, C. R., and Liao, J. C., 2008, Metabolic engineering of Escherichia coli for 1-butanol and 1-propanol production via the keto-acid pathways. *Metabolic Engineering*, 10(6), 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2008.08.001>
- Shen, C. R., and Liao, J. C., 2013, Synergy as design principle for metabolic engineering of 1-propanol production in Escherichia coli. *Metabolic Engineering*, 17, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2013.01.008>
- Shota, A., and C, L. J., 2008, Directed Evolution of Methanococcus jannaschii Citramalate Synthase for Biosynthesis of 1-Propanol and 1-Butanol by Escherichia coli. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(24), 7802-7808. <https://doi.org/10.1128/AEM.02046-08>
- Shrestha, D., Thompson, J., and Nowatzki, J., 2010, *Biodiesel fuel quality, energy, energy biodiesel, energy processing*. July.
- Shrivastava, P., Verma, T. N., and Pugazhendhi, A., 2019, An experimental evaluation of engine performance and emission characteristics of CI engine operated with Roselle and Karanja biodiesel. *Fuel*, 254, 115652. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115652>
- Sikkema, J. A. N., de Bont, J. A., and Poolman, B., 1995, Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiological reviews*, 59(2), 201-222.
- Silverstein, R. M., 1974, Infrared spectrometry. *Spectrometric identification of organic compounds*.
- Singh, B., Korstad, J., and Sharma, Y. C., 2012, 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.042>
- Singh, R. J. , 2006, *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Vegetable Crops, Volume 3* (C. 3), CRC press.
- Singh, V., 1996, Inheritance of genetic male sterility in safflower. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 56(04), 490-494.
- Sivalakshmi, S., and Balusamy, T., 2011, Performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled by neem oil blended with alcohols. *International Journal of Ambient Energy*, 32(4), 170-178. <https://doi.org/10.1080/01430750.2011.625717>
- Siwale, L., Kristóf, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A., and Kolesnikov, A., 2013, Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel

- fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine. *Fuel*, 107, 409-418. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.11.083>
- Song, C.-L., Zhang, W.-M., Pei, Y.-Q., Fan, G.-L., and Xu, G.-P., 2006, Comparative effects of MTBE and ethanol additions into gasoline on exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 40(11), 1957-1970. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.028>
- Soni, D. K., and Gupta, R., 2016, Optimization of methanol powered diesel engine: A CFD approach. *Applied Thermal Engineering*, 106, 390-398. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.026>
- Sparr Eskilsson, C., and Björklund, E., 2000, Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, 902(1), 227-250. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00921-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00921-3)
- Srirangan, K., Liu, X., Westbrook, A., Akawi, L., Pyne, M. E., Moo-Young, M., and Chou, C. P., 2014, Biochemical, genetic, and metabolic engineering strategies to enhance coproduction of 1-propanol and ethanol in engineered *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(22), 9499-9515. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6093-9>
- Subroto, E., Manurung, R., Heeres, H. J., and Broekhuis, A. A., 2015, Optimization of mechanical oil extraction from *Jatropha curcas* L. kernel using response surface method. *Industrial Crops and Products*, 63, 294-302. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.050>
- Sundar, R. C., and Saravanan, G., 2011, Influence of hexanol-diesel blends on constant speed diesel engine. *Thermal Science*, 15(4), 1215-1222. <https://doi.org/10.2298/TSCI101001089S>
- Sun, Y., and Cheng, J., 2002, Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Suresh, M. , Hari Prakash, R. , and Durga Prasad, B., 2015, Internal Combustion Engines – A Comprehensive Study. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 4(11), 220-224.
- Suryawanshi, J. G., and Deshpande, N. V., 2005, *Effect of injection timing retard on emissions and performance of a pongamia oil methyl ester fuelled CI engine*. SAE Technical Paper. <https://doi.org/10.4271/2005-01-3677>
- Sürmen, A., Karamangil, M. İ., and Arslan, R., 2004, *Motor termodinamiği*. Aktüel Yayınları.
- Svensson, C., 1979, Enthalpies of vaporization of 1-decanol and 1-dodecanol and their influence on the CH₂-increment for the enthalpies of formation. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 11(6), 593-596. [https://doi.org/10.1016/0021-9614\(79\)90099-5](https://doi.org/10.1016/0021-9614(79)90099-5)

- Szandała, T., 2021, Review and Comparison of Commonly Used Activation Functions for Deep Neural Networks. İçinde A. K. Bhoi, P. K. Mallick, C.-M. Liu, and V. E. Balas (Ed.), *Bio-inspired Neurocomputing* (ss. 203-224, Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5495-7_11
- Şahin, H., 2022, Dizel motorda etanol-biyodizel kullanımının motor parametrelerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Şahin, S., 2013, Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Tanaka, D. L., Riveland, N. R., Bergman, J. W., and Schneiter, A. A., 1997, Safflower plant development stages. *Proceedings of IVth International Safflower Conference, Bari*, 179-180.
- Tan, P., Hu, Z., Lou, D., and Li, Z., 2012, Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel. *Energy*, 39(1), 356-362. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.002>
- Tanzi, C. D., Vian, M. A., Ginies, C., Elmaataoui, M., and Chemat, F., 2012, Terpenes as green solvents for extraction of oil from microalgae. *Molecules*, 17(7), 8196-8205. <https://doi.org/10.3390/molecules17078196>
- Tate, R. E., Watts, K. C., Allen, C. A. W., and Wilkie, K. I., 2006, The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300°C. *Fuel*, 85(7), 1010-1015. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.10.015>
- Tat, M. E., and Van Gerpen, J. H., 2000, The specific gravity of biodiesel and its blends with diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(2), 115-119. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0019-3>
- Taylor, C. F., 1985, *Internal Combustion Engine in Theory and Practice, revised, Volume 2: Combustion, Fuels, Materials, Design* (C. 2), MIT press.
- Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., and Powles, N., 2010, Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable Energy*, 35(12), 2752-2760. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.026>
- Thomas, J. J., Manojkumar, C. V, Sabu, V. R., and Nagarajan, G., 2020, Development and validation of a reduced chemical kinetic model for used vegetable oil biodiesel/1-Hexanol blend for engine application. *Fuel*, 273, 117780. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117780>
- Tosun, Z., and Aydin, H., 2022, Combustion, performance and emission analysis of propanol addition on safflower oil biodiesel in a diesel engine. *Cleaner Chemical Engineering*, 3, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100041>

- Tse, H., Leung, C. W., and Cheung, C. S., 2015, Investigation on the combustion characteristics and particulate emissions from a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-ethanol blends. *Energy*, 83, 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.030>
- TS EN 14214:2012+A1:2014/AC., 2014, *Sıvı petrol ürünleri - Yağ asidi metil esterleri (YAME/biyodizel) - Dizel motorlarda ve ısıtma uygulamalarında kullanılan - Özellikler ve deney yöntemleri* [online], TSE. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073099057097075047113056086043086102> [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2023].
- Tsunoda, S., Hinata, K., and Gómez-Campo, C., 1980, *Brassica crops and wild allies*.
- Tutak, W., Lukács, K., Szwaja, S., and Bereczky, Á., 2015, Alcohol–diesel fuel combustion in the compression ignition engine. *Fuel*, 154, 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.071>
- Tzen, J. T. C., Peng, C.-C., Cheng, D.-J., Chen, E. C. F., and Chiu, J. M. H., 1997, A New Method for Seed Oil Body Purification and Examination of Oil Body Integrity Following Germination1. *The Journal of Biochemistry*, 121(4), 762-768. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a021651>
- Uğuz, S., 2019, Makine öğrenmesi teorik yönleri ve Python uygulamaları ile bir yapay zekâ ekolü. Nobel Yayıncılık. Ankara.
- Uriarte, F. A., 2010, Biofuels from plant oils: A Book for practitioners and professionals involved in biofuels, to promote a better and more accurate understanding of the nature, production, and use of biofuels from plant oils. ASEAN Foundation.
- U.S. Department of Energy., 2009, *ASTM Biodiesel Specifications* [online], Alternative Fuels Data Center. https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_specifications.html [Ziyaret Tarihi: 13 Temmuz 2022].
- Uslu, K., 2006, Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+ etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Uslu, N., 1997, Description of development stages in safflower plant. *Proceedings of IVth International Safflower Conference, Bari-Italy*, 181-184.
- Uslu, S., 2020, Optimization of diesel engine operating parameters fueled with palm oil-diesel blend: Comparative evaluation between response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN, *Fuel*, 276, 117990. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117990>
- Uslu, S., and Celik, M. B., 2020a, Performance and Exhaust Emission Prediction of a SI Engine Fueled with I-amyl Alcohol-Gasoline Blends: An ANN Coupled RSM Based Optimization. *Fuel*, 265, 116922. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116922>

- Uslu, S., and Celik, M. B., 2020b, Performance and Exhaust Emission Prediction of a SI Engine Fueled with I-amyl Alcohol-Gasoline Blends: An ANN Coupled RSM Based Optimization. *Fuel*, 265, 116922. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116922>
- Utlu, Z., and Koçak, M. S., 2008, The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 33(8), 1936-1941. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.10.006>
- Uziak, J., and Loukanov, I. A., 2007, *Performance evaluation of commonly used oil ram press machines*.
- Uzun, G., 2018, Yağ Asidi Katkılı Kolza Yağından Biyodizel Üretimi ve Üretilen Biyodizellerin Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Vallon, T., Glemser, M., Malca, S. H., Scheps, D., Schmid, J., Siemann-Herzberg, M., Hauer, B., and Takors, R., 2013, Production of 1-Octanol from n-Octane by *Pseudomonas putida* KT2440. *Chemie Ingenieur Technik*, 85(6), 841-848. <https://doi.org/10.1002/cite.201200178>
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., and Knothe, G., 2004, Biodiesel production technology. *National renewable energy laboratory*, 1617, 80401-83393. <https://doi.org/10.2172/15008801>
- Verschueren, K., 2001, *Handbook of environmental data on organic chemicals: Vol. 1*. (Sayı Ed. 4), John Wiley and Sons, Inc.
- Vilatersana, R., Susanna, A., Garcia-Jacas, N., and Garnatje, T., 2000, Generic delimitation and phylogeny of the *Carduncellus*-*Carthamus* complex (Asteraceae) based on ITS sequences. *Plant Systematics and Evolution*, 221(1), 89-105. <https://doi.org/10.1007/BF01086383>
- Vinatoru, M., Toma, M., Radu, O., Filip, P. I., Lazurca, D., and Mason, T. J., 1997, The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials. *Ultrasonics Sonochemistry*, 4(2), 135-139. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(97\)83207-5](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(97)83207-5)
- Virost, M., Tomao, V., Le Bourvellec, C., Renard, C. M. C. G., and Chemat, F., 2010, Towards the industrial production of antioxidants from food processing by-products with ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(6), 1066-1074. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.015>
- Wadhwa, S., Panwar, M. S., Agrawal, A., Saini, N., and Patidar, L. P. L., 2012, A Review on pharmacognostical study of *lepidium sativum* *lepidium sativum*. *ARPB*, 2(4), 316323.
- Walther, T., and François, J. M., 2016, Microbial production of propanol. *Biotechnology Advances*, 34(5), 984-996. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.05.011>

- Wang, F., Fang, B., Zhang, Z., Zhang, S., and Chen, Y., 2008, The effect of alkanol chain on the interfacial composition and thermodynamic properties of diesel oil microemulsion. *Fuel*, 87(12), 2517-2522. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.027>
- Wang, L., and Weller, C. L., 2006, Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*, 17(6), 300-312. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Wang, X., Cheung, C. S., Di, Y., and Huang, Z., 2012, Diesel engine gaseous and particle emissions fueled with diesel–oxygenate blends. *Fuel*, 94, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.016>
- Warabi, Y., Kusdiana, D., and Saka, S., 2004, Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols. *Bioresource Technology*, 91(3), 283-287. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00202-5)
- Wasewar, K. L., Heesink, A. B. M., Versteeg, G. F., and Pangarkar, V. G., 2002, Equilibria and kinetics for reactive extraction of lactic acid using Alamine 336 in decanol. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77(9), 1068-1075. <https://doi.org/10.1002/jctb.680>
- Weinebeck, A., and Murrenhoff, H., 2013, *Lubricity of new Tailor-Made Fuels from Biomass*. <https://doi.org/10.3384/ecp1392a34>
- Weiss, E. A., 2000, Oil seed Crops 2nd edition. Black well Science. Inc., Malden.
- Wells, M. J. M., 2003, Principles of Extraction and the Extraction of Semivolatile Organics from Liquids. İçinde *Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry* (ss. 37-138, <https://doi.org/10.1002/0471457817.ch2>
- Wendy, H., Yongchao, L., Yunfeng, Y., and C, L. J., 2011, Metabolic Engineering of *Clostridium cellulolyticum* for Production of Isobutanol from Cellulose. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(8), 2727-2733. <https://doi.org/10.1128/AEM.02454-10>
- Woodgate, S. L., and van der Veen, J. T., 2014, Fats and Oils – Animal Based. İçinde *Food Processing* (ss. 481-499, <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch21>
- Wyatt, V. T., Hess, M. A., Dunn, R. O., Foglia, T. A., Haas, M. J., and Marmer, W. N., 2005, Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82(8), 585-591. <https://doi.org/10.1007/s11746-005-1113-2>
- Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao, Z., and Zhen, H., 2004, Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel. *Fuel*, 83(14), 2013-2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.05.003>

- Xue, J., Grift, T. E., and Hansen, A. C., 2011, Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1098-1116. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.016>
- Yao, M., Wang, H., Zheng, Z., and Yue, Y., 2010, Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 89(9), 2191-2201. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.04.008>
- Yardımcı, M. H., 2008, Motor teknolojisi. Nobel Yayın Dağıtım.
- Yaşar, F., 2019, Biodiesel production via waste eggshell as a low-cost heterogeneous catalyst: Its effects on some critical fuel properties and comparison with CaO. *Fuel*, 255, 115828. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115828>
- Yaşar, F., 2020, Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type. *Fuel*, 264, 116817. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116817>
- Yaşar, F., 2020, Mixing Of Biodiesels Produced from Different Sources to Jet Fuels and Comparison of Specifications Of Fuel Blends. *European Journal of Technique (EJT)*, 10(1), 86-96. <https://doi.org/10.36222/ejt.710457>
- Yergök, D., 2020, Yapay zekâ yöntemleri ile toplu yemek üretiminde günlük talep tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Yesilyurt, M. K., Aydın, M., Yilbasi, Z., and Arslan, M., 2020, Investigation on the structural effects of the addition of alcohols having various chain lengths into the vegetable oil-biodiesel-diesel fuel blends: An attempt for improving the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a compression ignition engine. *Fuel*, 269, 117455. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117455>
- Yesilyurt, M. K., Eryilmaz, T., and Arslan, M., 2018, A comparative analysis of the engine performance, exhaust emissions and combustion behaviors of a compression ignition engine fuelled with biodiesel/diesel/1-butanol (C4 alcohol) and biodiesel/diesel/n-pentanol (C5 alcohol) fuel blends. *Energy*, 165, 1332-1351. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.100>
- Yeşilyurt, M. K., 2017, Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına farklı alkol ilavelerinin dizel motorlarda performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Yeşilyurt, M. K., 2020, Dizel yakıtına farklı ağır alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) ilave edilmesinin tek silindirli bir dizel motorunun performans, yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 397-426.
- Yılmaz, N., Atmanlı, A., and Trujillo, M., 2017, Influence of 1-pentanol additive on the performance of a diesel engine fueled with waste oil methyl ester and diesel fuel. *Fuel*, 207, 461-469. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.06.093>

- Yilmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., and Calva, A., 2014, Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 135, 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.022>
- Yusuf, A. K., 2018, A review of methods used for seed oil extraction. *Int. J. Sci. Res*, 7(12), 223-233.
- Yusuff, A. S., 2021, Parametric optimization of solvent extraction of *Jatropha curcas* seed oil using design of experiment and its quality characterization. *South African Journal of Chemical Engineering*, 35, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.11.006>
- Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., and Yaakub, Z., 2011, Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2741-2751. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.004>
- Yüce, İ., 2008, Alternatif yakıt olarak biyodizelin türkiye’deki ve almanya’daki durumu ile taşıtlarda kullanımının incelenmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Zahan, K. A., and Kano, M., 2018, Biodiesel production from palm oil, its by-products, and mill effluent: A review. *Energies*, 11(8), 2132. <https://doi.org/10.3390/en11082132>
- Zhang, K., Sawaya, M. R., Eisenberg, D. S., and Liao, J. C., 2008, Expanding metabolism for biosynthesis of nonnatural alcohols. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(52), 20653-20658. <https://doi.org/10.1073/pnas.0807157106>
- Zheng, Z., Li, C., Liu, H., Zhang, Y., Zhong, X., and Yao, M., 2015, Experimental study on diesel conventional and low temperature combustion by fueling four isomers of butanol. *Fuel*, 141, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.053>
- Zhu, L., Cheung, C. S., Zhang, W. G., and Huang, Z., 2010, Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. *Science of The Total Environment*, 408(4), 914-921. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.078>
- Živković, S. B., Veljković, M. V, Banković-Ilić, I. B., Krstić, I. M., Konstantinović, S. S., Ilić, S. B., Avramović, J. M., Stamenković, O. S., and Veljković, V. B., 2017, Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 222-247. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.048>
- Zu, G., Zhang, R., Yang, L., Ma, C., Zu, Y., Wang, W., and Zhao, C., 2012, Ultrasound-assisted extraction of carnosic acid and rosmarinic acid using ionic liquid solution from *Rosmarinus officinalis*. *International journal of molecular sciences*, 13(9), 11027-11043. <https://doi.org/10.3390/ijms130911027>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Halis DEVİREN
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Dicle Üniversitesi, Merkez, Batman	2009
Yüksek Lisans	: Fırat Üniversitesi, Merkez, Elazığ	2012
Doktora	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2023

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2012	GMV Reksan Motor Yenileme	Kalite Temsilcisi
2012-2016	ATCO Mühendislik	Saha Koordinatörü
2016-2018	Şırnak Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2018-	Dicle Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

İçten yanmalı motorlar, yenilenebilir enerji kaynakları

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR*

Deviren, H., & Aydın, H. (2023). Production and physicochemical properties of safflower seed oil extracted using different methods and its conversion to biodiesel. Fuel, 343, 128001. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128001> (Doktora tezinden yapılmıştır).