KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR DİZEL MOTORUNDA BİYODİZELİN VE BİYODİZEL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ YANMAYA, MOTOR PERFORMANSINA VE EKSOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Makina Yük. Müh. Cahit SOYSAL

KASIM 2022
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR DİZEL MOTORUNDA BİYODİZELİN VE BİYODİZEL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ YANMAYA, MOTOR PERFORMANSINA VE EKSOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Cahit SOYSAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14/11/2022
Tezin Savunma Tarihi : 02/12/2022

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zehra ŞAHİN

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Bilindiği gibi, dünya enerji gereksiniminin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Her geçen gün artan enerji gereksinimine karşın fosil kökenli yakıt rezervlerinin azalması, tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olmaları ve yanma sonucunda çevreye verdikleri ciddi zararlar günümüzün en önemli problemleri arasında gösterilmektedir. Fosil kökenli yakıtlardan kaynaklı söz konusu problemleri çözmek için; çevreye daha duyarlı ve yenilenebilir alternatif yakıt arayışı ve çalışmaları tüm dünyada gittikçe artmaktadır. Bu alandaki çalışmalarda; biyo-yakıtlar ve özellikle dizel yakıtına alternatif olabilecek biyodizel öne çıkmaktadır. Biyodizel; dizel motorlarında pek bir değişikliğe gerek duymadan saf olarak ya da dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilen, bitkisel kökenli, yenilenebilir çevreci bir yakıttır. Bu üstün özellikleriyle biyodizel, özellikle tarıma dayalı ülkeler için önemli bir alternatif enerji kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle, sunulan tez çalışmasında mısır yağından üretilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorlarında saf olarak ve farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımları şeklinde kullanılmasının yanma, motor performansı, enerji dengesi ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Lisans eğitimimden doktora çalışmalarımın son aşamasına kadar her zaman maddi ve manevi olarak yanımda olan, bilgi birikimlerini benden ve hiçbir öğrencisinden esirgemeyen, doktora tez danışmanlığımı 2020 yılına kadar yürüten ve 26.08.2020 tarihinde çok erken bir yaşta aramızdan ayrılan Prof. Dr. Atilla BİLGİN hocamı; saygı, sevgi, rahmet ve minnetle anıyorum.

Prof. Dr. Atilla BİLGİN'in vefatından sonra danışmanlığımı yürüten, bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, tezimin her aşamasını titizlikle inceleyen Prof. Dr. Zehra ŞAHİN'e ve lisans eğitimimden doktora çalışmamım sonuna kadar her konuda bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, özellikle doktora tezimin tamamlanması aşamasında kıymetli desteklerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Orhan DURGUN hocama sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca laboratuvar tek. Şenol DÜBÜŞ'e de teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme ve özellikle tez çalışmam sürecinde her zaman yanımda olan eşim Derya SOYSAL, kızım Ela ve oğlum Poyraz SOYSAL'a da minnet ve şükranlarımı sunarım.

Cahit SOYSAL
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Bir Dizel Motorunda Biyodizelin ve Biyodizel-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Yanmaya, Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Zehra ŞAHİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/12/2022

Cahit SOYSAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET VIII
SUMMARY IX
ŞEKİLLER DİZİNİ X
TABLOLAR DİZİNİ XIII
SEMBOLLER DİZİNİ XIV
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Literatür Taraması 3
1.3. Tez Çalışmasının Amacı 15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 18
2.1. Biyodizelin Üretimi 20
2.2. Deney Düzeneği 22
2.3. Motor Karakteristikleri 26
2.3.1. Ortam Basıncı ve Ortam Sıcaklığı 27
2.3.2. Devir Sayısı ve Döndürme Momenti 28
2.3.3. Efektif Güç 28
2.3.4. Ortalama Efektif Basınç 29
2.3.5. Hava Debisi 29
2.3.6. Hava Fazlalık Katsayısı 30
2.3.7. Yakıt Tüketimi 32
2.3.8. Özgül Yakıt Tüketimi 32
2.3.9. Efektif Verim 33
2.4. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması 33
2.5. İndikatör Diyagramı 34
2.6. Hata Analizi ve Belirsizlikler 35
2.7. Yakıt ve Yakıt Karışımlarının Kapalı Formüllerinin Belirlenmesi 35
2.8. Açığa Çıkan Isı Oranının Belirlenmesi 36

2.9. Yanma Süresi Hesabı İçin Ampirik Bağıntının Elde Edilmesi 36
2.10. SDY, B100 ve Farklı BDYK İçin Enerji Dengesi Hesabı 38
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
3.1. Giriş 40
3.2. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 41
3.2.1. SDY, B100 ve Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Değişken Devir Sayılarına Göre İncelenmesi 41
3.2.1.1. Döndürme Momenti, Efektif Güç ve Ortalama Efektif Basınç 41
3.2.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim 46
3.2.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı 50
3.2.2. 5 Farklı Devir Sayısı İçin SDY, B100 ve Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Değişken Yakıt Karışım Oranlarına Göre İncelenmesi 52
3.2.2.1. Döndürme Momenti 53
3.2.2.2. Efektif Güç 55
3.2.2.3. Ortalama Efektif Basınç 58
3.2.2.4. Özgül Yakıt Tüketimi 60
3.2.2.5. Efektif Verim 63
3.2.2.6. Hava Fazlalık Katsayısı 64
3.3. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 68
3.3.1. CO Emisyonları 69
3.3.2. CO_2 Emisyonları (Gazları) 71
3.3.3. HC Emisyonları 74
3.3.4. İs (K Faktörü) Emisyonları 77
3.4. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranı ve Yanma Süresi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 79
3.4.1. 1000 d/dak'da SDY'nin, Farklı BDYK'nin ve B100'ün Kullanımının Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranı ve Yanma Süresi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 80
3.4.2. 1500 d/dak'da SDY, Farklı BDYK'nin ve B100 kullanımının Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 85
3.4.3. 2000 d/dak'da SDY'nin, Farklı BDYK'nin ve B100'ün Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 90

3.4.4. 2500 d/dak'da SDY'nin, farklı BDYK'nin ve B100'ün Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi 92
3.4.5. Yanma Süresi Hesabı İçin Elde Edilmiş Olan Ampirik Bağıntıdan Bulunan Sonuçlarının İrdelenmesi 98
3.5. SDY, B100 ve Farklı BDYK İçin Enerji Dengesi Hesaplarının İrdelenmesi 102
4. SONUÇLAR 121
5. ÖNERİLER 127
6. KAYNAKLAR 129
ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

BİR DİZEL MOTORUNDA BİYODİZELİN VE BİYODİZEL-DİZEL YAKITI KARIŞIMLARININ KULLANILMASININ YANMAYA, MOTOR PERFORMANSINA VE EKSOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Cahit SOYSAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Zehra ŞAHİN
2022, 134 Sayfa

Sunulan çalışmada; ilk olarak, rafine mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Ardından; üretilen biyodizelin, bir dizel motorunda saf olarak ve biyodizel/dizel yakıtı karışımları şeklinde kullanılmasının yanma, motor performansı, enerji dengesi ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri bir deney motorunda deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler; saf dizel yakıtı, saf biyodizel ve %(5, 10, 15, 20, 50; hacimsel) gibi 5 farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımları için tam gaz kolu konumunda, 9 farklı devir sayısında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda; biyodizel kullanımının, döndürme momentini, efektif gücü ve efektif verimi biraz azalttığı, özgül yakıt tüketimini ise önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir. Biyodizelin, özgül yakıt tüketimini ortalama %(3-20) oranlarında arttırdığı, buna karşın CO ve is emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı, HC emisyonlarını ve CO_2'yi ise arttırdığı görülmüştür. Örneğin; 2000 d/dak'da; CO ve is emisyonlarında ortalama %36.33 ve %37.04 oranlarında azalmalar ve HC'lerde ise ortalama %3.7 oranında artış belirlenmiştir. Yanma süreleri, genel olarak %(10-15) biyodizel oranlarına kadar artmış, ancak bu oranlardan sonra ise azalmaya başlamıştır. Sonuç olarak; deneylerde kullanılan deney motoru için %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımının en iyi karışım oranı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motoru, Biyodizel, Motor performansı, Eksoz emisyonları, Yanma süresi

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE USING BIODIESEL AND BIODIESEL-DIESEL FUEL BLENDS ON COMBUSTION, ENGINE PERFORMANCE, AND EXHAUST EMISSIONS IN A DIESEL ENGINE

Cahit SOYSAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Prof. Zehra ŞAHİN
2022, 134 Pages

In the present study; firstly, biodiesel was produced by the transesterification method from refined corn oil. After the biodiesel production, the effects of the using neat biodiesel and different biodiesel/diesel fuel blends on combustion, engine performance, energy balance and exhaust emissions were experimentally investigated in a test diesel engine. Experiments were carried out for neat diesel fuel, neat biodiesel, and five different BDFBs such as (5, 10, 15, 20, 50; v/v) % under full load and at nine engine speeds. At the end of this study; it has been determined that using of biodiesel slightly reduces the torque, effective power, and effective efficiency, but it increases significantly the specific fuel consumption. It has been observed that using of biodiesel increases the biodiesel/diesel fuel blends by an average of 3-20%. However, it has been determined that using of biodiesel significantly reduces CO and soot emissions, and increases HC emissions and CO_2. For example; at 2000 rpm, it has been determined an average of 36.33% and 37.04% reductions in CO and soot emissions, and an average of 3.7% increase in HC emissions. Combustion duration values generally increase up to (10-15)% biodiesel ratios, and after these ratios, they start to decrease. At the end of this study, it has been determined that 20% biodiesel/diesel fuel blend is the best mixing ratio for the test engine used at the experiments.

Key Words: Diesel engine, Biodiesel, Engine performance, Exhaust emissions, Combustion duration

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı 1
Şekil 2.1. Biyodizel üretim cihazının fotoğrafı 21
Şekil 2.2. Biyodizelin üretim aşamaları 22
Şekil 2.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü..... 23
Şekil 2.4. Deney düzeneğinin genel görünümü..... 23
Şekil 2.5. Deney sisteminde bulunan tek silindirli dizel motorunun fotoğrafı..... 24
Şekil 2.6. Eksoz gazı kalorimetresinin fotoğrafı 24
Şekil 2.7. Eksoz emisyon ölçüm cihazının fotoğrafı..... 25
Şekil 2.8. Örnek bir indikatör diyagramına ilişkin orijinal ekran görüntüsü..... 34
Şekil 3.1. SDY, B100 ve farklı BDYK için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimleri..... 43
Şekil 3.2. SDY, B100 ve farklı BDYK için efektif gücün devir sayısına göre değişimleri..... 45
Şekil 3.3. SDY, B100 ve farklı BDYK için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimleri..... 46
Şekil 3.4. SDY, B100 ve farklı BDYK için ÖYT'nin devir sayısına göre değişimleri..... 49
Şekil 3.5. SDY, B100 ve farklı BDYK için efektif verimin devir sayısına göre değişimleri..... 50
Şekil 3.6. SDY ve B100 ile BDYK için hava fazlalık katsayısının devir sayısıyla değişimleri..... 52
Şekil 3.7. Dört farklı devir sayısı için döndürme momentinin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri..... 54
Şekil 3.8. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için döndürme momentinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları..... 55
Şekil 3.9. Dört farklı devir sayısı için efektif gücün farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri..... 57
Şekil 3.10. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için efektif güçte SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları..... 58
Şekil 3.11. Dört farklı devir sayısı için ortalama efektif basıncın farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri..... 59
Şekil 3.12. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için ortalama efektif basınçta SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 60
Şekil 3.13. Dört farklı devir sayısı için ÖYT'nin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri..... 62

Şekil 3.14. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için ÖYT'de SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 63
Şekil 3.15. Dört farklı devir sayısı için efektif verimin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 65
Şekil 3.16. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için efektif verimde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 66
Şekil 3.17. Dört farklı devir sayısı için hava fazlalık katsayısının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 67
Şekil 3.18. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için hava fazlalık katsayısında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 68
Şekil 3.19. Beş farklı devir sayısı için CO emisyonlarının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 70
Şekil 3.20. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için CO emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 71
Şekil 3.21. Beş farklı devir sayısı için CO_2 emisyonlarının (gazlarının) farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 73
Şekil 3.22. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için CO_2 emisyonlarında (gazlarında) SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 74
Şekil 3.23. Beş farklı devir sayısı için HC emisyonlarının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 76
Şekil 3.24. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için HC emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 77
Şekil 3.25. Beş farklı devir sayısı için is emisyonlarının (K Faktörünün) farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri 78
Şekil 3.26. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için is emisyonlarında (K Faktöründe) SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları 79
Şekil 3.27. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri 84
Şekil 3.28. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri 84
Şekil 3.29. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri 85
Şekil 3.30. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri 88
Şekil 3.31. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri 89
Şekil 3.32. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri 89
Şekil 3.33. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri 93

Şekil 3.34. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri 94
Şekil 3.35. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri 94
Şekil 3.36. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri 97
Şekil 3.37. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri 97
Şekil 3.38. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri 98
Şekil 3.39. 1000 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 105
Şekil 3.40. 1000 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 106
Şekil 3.41. 1500 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 108
Şekil 3.42. 1500 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 109
Şekil 3.43. 2000 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 111
Şekil 3.44. 2000 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 112
Şekil 3.45. 2250 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 113
Şekil 3.46. 2250 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 114
Şekil 3.47. 2500 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 115
Şekil 3.48. 2500 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 116
Şekil 3.49. 2750 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100 117
Şekil 3.50. 2750 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri 118
Şekil 3.51. SDY ile B100 yakıtının, enerji dengesi oranlarının devir sayısına göre değişimleri 119
Şekil 3.52. SDY ile B20 yakıt karışımının, enerji dengesi açısından devir sayısına göre değişimi 120

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Dizel yakıtı, farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının ve saf biyodizelin bazı temel fiziksel özellikleri. 19

Tablo 2.2. Deney sisteminde mevcut olan motorunun teknik özellikleri 25

Tablo 2.3. BİLSA MOD 2210 eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları 26

Tablo 2.4. Ölçülen deneysel verilerin bir tablo örneği 27

Tablo 2.5. Hesaplanan motor karakteristikleri için sayısal bir tablo örneği 27

Tablo 3.1. Tam yük durumunda (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devir sayılarında SDY, BDYK ve B100 için yanmanın başlandığı-bittiği krank mili açıları ve yanma süresi değerleri 99

Tablo 3.2. Tam yük durumunda (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devir sayılarında, SDY, BDYK ve B100 için maksimum silindir basıncı, silindir sıcaklığı ve açığa çıkan ısı oranının değerleri ve ilgili değerlerin elde edildiği KMA'ları 100

Tablo 3.3. Deneysel ve ampirik bağıntılar sonucu elde edilen yanma sürelerinin karşılaştırılması 101

Tablo 3.4. Bazı devir sayısı ve karışım oranlarında, ampirik yanma süresi bağıntısıyla elde edilen sonuçlar 102

SEMBOLLER DİZİNİ

B : Toplam yakıt tüketimi [kg/h]

BDYK : Biyodizel/dizel yakıt karışımları

b_e, ÖYT : Özgül yakıt tüketimi [kg/kWh]

B05 : %5 Biyodizel + %95 Dizel yakıtı karışımı

B10 : %10 Biyodizel + %90 Dizel yakıtı karışımı

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel yakıtı karışımı

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel yakıtı karışımı

B100 : Saf biyodizel yakıtı

C_d : Orifis katsayısı (boşaltma katsayısı)

CO : Karbon monoksit

CO_2 : Karbondioksit

$C_{p,eks}$: Eksoz gazlarının özgül ısısı [kJ/kg.K]

$C_{p,0}$: Ortam havasının özgül ısısı [kJ/kg.K]

d : Orifis çapı [m]

h : Kütlesel gerçek hava miktarı [kg hava/kg yakıt]

HC : Toplam hidrokarbonlar

h_{min} : Kütlesel stokiyometrik hava miktarı [kg hava/kg yakıt]

H_{min} : Molar (hacimsel) stokiyometrik hava miktarı [kmol hava/kmol yakıt]

H_u : Yakıtın alt ısıl değeri [kJ/kg]

k : Strok sayısı (4 zamanlı motorlar için $k = 2$, iki zamanlı motorlar için $k = 1$)

KMA, θ : Krank mili açısı [°]

$\dot{m}_{eks}$: Eksoz gazlarının debisi [kg/s]

$\dot{m}_{hava}$: Kütlesel hava debisi [kg/s]

$\dot{m}_{yakıt}$: Kütlesel yakıt debisi [ml/dak]

M_d : Döndürme momenti [Nm]

n : Devir sayısı [d/dak]

N_e : Efektif güç [kW]

N_i : İndike güç [kW]

NO_x : Azot oksitler

O_{min} : Stokiyometrik oksijen miktarı [kmol O_2/kmol yakıt]

P : Silindir basıncı [bar]

P_0 : Ortam basıncı [MPa]

P_{me} : Ortalama efektif basınç [MPa]

Q : Açığa çıkan ısı oranı [J/derece]

$Q_{diğ}$: Diğer kayıplara giden enerji [kW]

Q_{eks} : Eksoz gazlarına giden enerji [kW]

Q_{mek} : Mekanik kayıplara giden enerji [kW]

$Q_{yakıt}$: Yakıt enerjisi [kW]

r : Karışım oranı

R : Havanın gaz sabiti [J/kg.K]

SDY : Saf dizel yakıtı

T_{eks} : Eksoz gazları sıcaklığı [K]

T_0 : Ortam sıcaklığı [K]

ÜÖN : Üst ölü nokta

t_y : Yanma süresi [° KMA]

V_{toplam} : Karışımın toplam hacmi [cm^3]

x_i : Maddelerin karışım içindeki hacimsel oranı

X_{nem} : Nem düzeltme faktörü

Z : Silindir sayısı

α : Hava fazlalık katsayısı

γ : Özgül ısıların oranı

ΔP : Orifisin girişi ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü [Pa]

ε : Sıkıştırma oranı

η_e : Efektif verim

$\mu_{k,hava}$: Kuru havanın kmol kütlesi [kg hava/kmol hava]

ρ_{hava} : Havanın yoğunluğu [kg/lt]

$\rho_{yakıt}$: Kullanılan yakıt veya yakıt karışımının yoğunluğu [kg/lt]

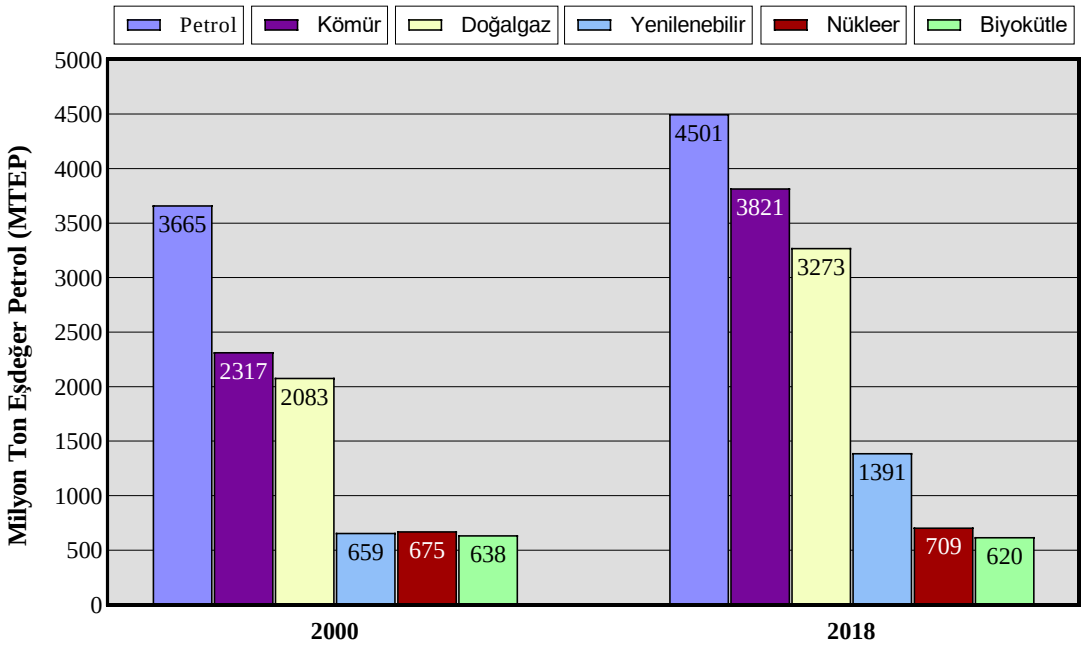
ω : Açısal hız [1/s]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji, en basit tanımıyla iş yapabilme yeteneği olarak adlandırılır. Bu tanımlamadan; enerjinin, insan hayatının sürdürülebilmesi için olmazsa olmaz kavramlardan biri olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle artan dünya nüfusu, sanayileşmenin ve teknolojinin hızla gelişimi enerjiye olan ihtiyacı arttırmakta ve buna bağlı olarak ortaya enerji açığı çıkmaktadır. Söz konusu enerji açığını ortadan kaldırmak ve aynı zamanda yeni enerji kaynakları icat edebilmek için yöneticiler, sanayiciler ve bilim insanları yoğun şekilde çalışmaktadırlar.

Günümüzde dünya enerji arzının büyük bir bölümü hala fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Şekil 1.1'de görüleceği gibi 2000 yılında %80 olan fosil yakıtı arzı, 2018 yılı verilerine göre %81 olarak belirlenmiştir. Aradan geçen 18 yıla karşın azalması gereken fosil yakıt arzında %1'lik artış meydana gelmiştir. Her geçen gün hızla artan enerji ihtiyacı ve fosil kökenli yakıtların tükenebilir olması, enerji açığının artacağının açık bir göstergesidir (IEA, 2019).



Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (IEA, 2019)

Mevcut enerji açığını ve gelecekte meydana gelebilecek muhtemel enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çevreci ve yenilenebilir alternatif yakıtlar üzerinde ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Renish vd., 2022; Raju vd., 2022; Sathyamurthy vd., 2021). Bilindiği üzere günümüzün önemli sorunları arasında çevre kirliliği ve küresel ısınma yer almaktadır. Çevre kirliliğinin büyük bir bölümü, dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %80'nini sağlayan fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanmaktadır (Ç.M.O., 2022). Özellikle taşımacılık sektörünün çevre kirliliği üzerindeki etkisi çok büyüktür. Küresel ısınma, yine fosil kökenli yakıtlarının yanması sonucu meydana gelen, başta CO_2 olmak üzere, zararlı emisyonların oluşturduğu sera etkisinin bir sonucudur. Tüm bu bilgiler ışığında aranan alternatif yakıtların; yenilenebilir, ekonomik ve çevreci olması istenmektedir (Durgun, 2022). Bu özellikler düşünüldüğünde biyokütle enerjisi ön plana çıkmaktadır.

Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Aslında, tarım ülkesi olan Türkiye için biyokütle enerjisi oldukça ideal alternatif bir enerji türüdür. Tarıma dayalı biyokütle enerjisinin artırılması dışa bağımlığı da azaltacaktır. Ülkemizde ithal edilen enerjinin önemli bir bölümü, ulaştırmada kullanılan içten yanmalı motorlarda harcanmaktadır. Bu bağlamda, biyokütleden elde edilecek sıvı yakıtlar, alternatif enerji olarak cazip hale gelmektedir. Biyodizel, ülkemizin öz kaynaklarından üretilebilecek yenilenebilir ve çevreci bir alternatif sıvı yakıttır. Türkiye'de yetiştirilebilen çok farklı yağlı bitkiden elde edilebilmektedir ve dizel motorlarında çok fazla değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilmektedir. Ayrıca dizel yakıtına göre daha çevreci bir yakıttır ve yenilenebilir bitkilerden üretildiği için sere etkisi de nötrdür (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Bu özelliğinin yanı sıra biyodizeli oluşturan C16-C18 metil eserleri doğada kolayca bozunabilmektedir. Biyodizel suya karıştığında, 28 günde %95 oranında bozunmaktadır, bu oran dizel yakıtında %40'dır. Biyodizel bu özelliği ile dekstroza (şekere) benzemektedir (Altınsoy, 2007).

Tüm dünyada ve özellikle Avrupa birliği ülkelerinde; gerek yasal düzenlemeler gerek yayınlanan direktifler ve gerekse ciddi teşviklerle birlikte biyo yakıtların üretimine ve tüketimine ciddi destekler verilmektedir (Dağdelen, 2015). Aynı zamanda Türkiye'de 1/1/2018 tarihinde yayınlanan resmi gazeteyle birlikte yürürlüğe giren tebliğ doğrultusunda dizel yakıtlara belli oranlarda biyodizel katılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu nedenlerle, sunulan tez çalışmasında ilk olarak yöresel bir ürün olan mısır yağından KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında uluslararası standartlara uygun biyodizel üretilmiştir. Ardından üretilen biyodizelin yanma, motor performansı ve

eksoz emisyonları üzerindeki etkileri tek silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak incelenmiştir.

Dünyada ve Türkiye'de farklı yağlı bitkilerden ve atık yağlardan biyodizel üretimi ile ilgili çalışmalar yoğun şekilde devam etmektedir. Ayrıca faklı ürünlerden üretilen biyodizelin dizel motorlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar da yoğun şekilde sürmektedir (Renish vd., 2022; Raju vd., 2022; Gad vd., 2021; Asokan vd., 2021; How vd., 2018; Çalışkan ve Mori, 2017; Sezer, 2016; Sakhare vd., 2016). İlgili çalışmalardan, motorlarda biyodizel kullanımı ile hem çevre kirliliği ve hem de motor performansı açısından ümit verici sonuçlara ulaşılmıştır. Bu nedenle; sunulan, çalışmada yöresel bir ürün olan rafine mısır yağından biyodizel üretimi ve üretilen biyodizelin motorlarda kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Tez çalışmasının anlatımına başlamadan önce, aşağıdaki bölümde, literatürde biyodizel ile ilgili çalışmalardan başlıcaları kısaca özetlenerek sunulmuştur.

1.2. Literatür Taraması

Tez çalışmasıyla ilgili literatür incelendiğinde; farklı yağlı bitkilerden biyodizelin üretimi ve motorlarda kullanımı ile ilgili çalışmaların dünyada ve Türkiye'de yoğun bir şekilde devam ettiği görülmektedir (Renish vd., 2022; Raju vd., 2022; Gad vd., 2021; Asokan vd., 2021) Literatürden bilindiği gibi biyodizel; karıştırma, mikroemilsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleriyle üretilebilmektedir (Dağdelen, 2015) Ancak, biyodizel üretiminde transesterifikasyon (alkoliz) yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir ve kullanılmıştır. (Mübarek vd., 2021; Asokan vd., 2021; Gad vd., 2021; Raghuvaran vd., 2021; Shareef ve Mohanty, 2020) Bu yöntemle hammadde olarak kullanılacak kanola (kolza), ayçiçeği, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, mono hidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak monogliseridler, digliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Kısaca, transesterifikasyon, bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritleri parçalayarak, bir başka deyişle, içindeki gliserolü alarak, kullanılan alkoldeki alkil radikali ile yer değiştiren bir ester dönüşüm işlemidir (Dağdelen, 2015). Bu şekilde transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizelin yakıt özellikleri saf dizel yakıtına yakındır ve üretilen biyodizelin yakıt özellikleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmaktadır. Literatürden bilindiği gibi biyodizelin viskozitesi ve yoğunluğu üretilen yağlı bitkiye göre

değişmektedir ve biyodizelin viskozitesi ve yoğunluğu genel olarak dizel yakıtının viskozitesi ve yoğunluğundan daha yüksektir. Biyodizelin viskozitesini düşürmek için, literatürde biyodizelin üretim yöntemini iyileştirme çalışmaları devam etmektedir (Gülüm, 2020).

Üretilen biyodizelin motorlarda kullanımının yanma, motor perforansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesi önemlidir. Literatür incelendiğinde biyodizelin dizel motorlarında kullanımı ile ilgi çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Renish vd., 2022; Raju vd., 2022; Gad vd., 2021; Asokan vd., 2021). İlgili çalışmalarda; biyodizel, dizel motorlarında genellikle farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak karışım yakıtı şeklinde kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonunda %20 biyodizel/dizel yakıt karışımının hem motor performansı ve hem de eksoz emisyonları açısından en iyi karışım yakıtı olduğu değişik çalışmalarda belirtilmiştir ve bu oranın kullanımı önerilmiştir (Raju vd., 2022; Mübarek vd., 2021; Gad vd., 2021; Asokan vd., 2019). Ayrıca, literatürde saf biyodizel (B100) çalışmaları da yapılmıştır ve sonuçlar saf dizel yakıtı (SDY) ile karşılaştırılmıştır (Gongora vd., 2022; Hoang vd., 2022; Kondaiah vd., 2021). Bu çalışmalardan başka literatürde; ilgili karışımlara nanoparçacıkların ve farklı alternatif yakıtların eklendiği çalışmalar ve biyodizelin çift yakıt uygulamalarında kullanıldığı farklı çalışmalar da vardır (Hoang vd., 2022; Tarabet vd., 2014).

Sunulan tez çalışmasında, biyodizelin dizel motorlarında saf biyodizel ve biyodizel/dizel yakıt karışımları (BDYK) şeklinde kullanılması durumunda yanma işlemi, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu nedenle; buradaki literatür incelemesinde, özellikle biyodizelin dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırıldığı karışım yakıtlarının ve saf biyodizelin kullanımı ile ilgili son yıllarda yapılan başlıca çalışmaların özeti sunulacaktır.

Renish ve arkadaşları (2022) neem bitkisinden (hint leylağından) ürettikleri biyodizeli %(5, 10, 15, 20 ve 25) oranlarında dizel yakıtına karıştırarak ilgili yakıt karışımlarının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini 17, 18 ve 19 gibi üç farklı sıkıştırma oranında deneysel olarak araştırılmışlardır. İlgili çalışmada; biyodizel, neem bitkisinden transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiştir. Deneysel çalışmada tek silindirli değişken sıkıştırma oranlı bir araştırma motoru kullanılmıştır ve deneyler tam yük durumunda ve 1500 d/dak devir sayısında yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonunda; yukarıda verilen biyodizel/dizel yakıt karışımları için, seçilen tüm çalışma koşullarında özgül yakıt tüketiminin SDY'ye göre arttığı belirlenmiştir. 18 sıkıştırma oranı için, seçilen BDYK için

özgül yakıt tüketimi (ÖYT) belirlenen artma oranları %(1.84-7.65) arasında olmuştur. Bununla birlikte; aynı sıkıştırma oranında, seçilen BDYK için CO ve HC'deki azalmalar sırasıyla %(15-45) ve %(17.81-38.78) şeklinde bulunmuştur. Ancak dizel motorlarının en önemli kirleticisi olan NO_x biyodizel kullanımı ile artmıştır. Burada, 18 sıkıştırma oranı için seçilen BDYK için NO_x'lerdeki artma oranları %(7.64-20.35) düzeyinde olmuştur. Söz konusu çalışmada; NO_x'lerdeki artmanın nedenleri, BDYK'deki oksijen konsantrasyonunun yüksek olması ve biyodizel yakıtının yoğunluğunun dizel yakıtına göre daha yüksek olması şeklinde yorumlanmıştır (Renish vd., 2022).

Raju ve arkadaşları (2022) limon kabuğu yağından ürettikleri biyodizeli, %(10, 20 ve 30) oranlarında dizel yakıtına karıştırarak karışım yakıtlarının yanma parametreleri, motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Burada, buhar damıtma tekniği kullanılarak limon kabuğu yağı ekstraksiyonu elde edilmiştir. Bu çalışma sonunda en iyi karışım oranının %20 biyodizel/dizel yakıtı (B20) olduğu belirlenmiş ve daha sonra ilgili karışıma %5 ve %10 oranında dietileter (DEE) karıştırarak, iki farklı orandaki DEE/biyodizel/dizel yakıtı karışımların da yanma parametreleri, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlgili çalışmada; B20 karışımına %10 oranında DEE karıştırıldığında ÖYT'nin B20'ye göre azaldığı görülmüştür. Ancak her iki karışım için ÖYT; saf dizel yakıtının ÖYT'den daha yüksek çıkmıştır. Seçilen üç farklı biyodizel/dizel yakıtı için CO ve HC'ler azalmasına rağmen NO_x'ler artmıştır. Bununla birlikte, B20 karışımına %10 oranında DEE eklendiğinde ise HC, CO ve NO_x'ler B20'ye göre sırasıyla %24.4, %16.9 ve %12.5 oranlarında azalmıştır. Seçilen tüm karışım oranları için silindir basıncı değerleri saf dizel yakıtının basınç değerlerinden daha düşük ve tutuşma gecikmesi değerleri ise daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, seçilen tüm karışım oranları için açığa çıkan ısı oranı değerleri de SDY'nin açığa çıkan ısı oranı değerlerinden daha düşüktür. Karışımlar arasında açığa çıkan ısı oranı en yüksek karışım oranı, B20 karışımına %10 DEE eklendiği karışım durumu olmuştur (Raju vd., 2022).

Gad ve arkadaşları (2021) Mısır yöresine (Mısır ülkesine) özgü bir koyun cinsi olan, Mısır Koyununun yağından transesterifikasyon yöntemiyle ürettilen biyodizeli dizel yakıtı ile %10 (B10) ve %20 (B20) oranlarında karıştırarak iki farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımı elde etmişlerdir. Yazarlar tarafından, ilgili karışım yakıtlarının, motor performansı, yanma ve eksoz emisyonlari üzerindeki etkileri tek silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak araştırılmıştır. Söz konusu çalışma sonucunda, B10 ve B20 yakıt karışımlarının kullanımıyla SDY'ye oranla açığa çıkan ısı oranı ve maksimum silindir basıncı değerlerinde bir miktar

düşüş olduğunu görülmüştür. B10 ve B20 yakıt karışımlarının kullanımıyla; ÖYT'de SDY'ye oranla sırasıyla %6 ve %8'lik artışlar elde edilmiştir. Eksoz emisyonlarına bakıldığında; B10 ve B20 yakıt karışımlarının kullanımıyla SDY'ye oranla; CO emisyonlarında sırasıyla %15 ve %30, HC emisyonlarında sırasıyla %30 ve %40, is miktarında sırasıyla %25 ve %50 azalmalar elde edilmiştir. NO_x emisyonlarında ise B10 ve B20 yakıt karışımlarının kullanımıyla SDY'ye oranla sırasıyla %20 ve %35 oranında artışlar bulunmuştur (Gad vd., 2021).

Asokan ve arkadaşları (2021) bir dizel motorunda aspir yağından üretilen biyodizeli kullanılarak B20, B30 ve B40 yakıt karışımlarının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçları B100 ve SDY ile karşılaştırmışlar ve değerlendirmeler yapılmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, termik verim değerleri, B20, B30, B40 yakıt karışımları, B100 ve SDY için sırasıyla %33.63, %33.05, %32.63, %31.66 ve %34.63 olarak elde edilmiştir. Burada SDY'ye en yakın değer %2.88'lik azalmayla B20 yakıt karışımında görülmüştür. Tam yük koşullarında ÖYT'de B20, B30, B40 yakıt karışımları, B100 ve SDY için sırasıyla (0.25, 0.26, 0.28, 0.3 ve 0.25) kg/kWh değerleri belirlenmiştir. Eksoz emisyonlarına bakıldığında; B20, B30, B40 yakıt karışımları, B100 ve SDY için CO emisyonları sırasıyla %0.073, %0.128, %0.129, %0.121 ve %0.165 olarak, HC emisyonları sırasıyla (54, 121, 106, 64 ve 78) ppm olarak, NO_x emisyonları sırasıyla (2060, 1994, 1997, 1984 ve 1839) ppm olarak ve is miktarı da sırasıyla %44.4, %42, %49.7, %48.8 ve %50.9 olarak elde edilmiştir. Buradan, biyodizel kullanımının özellikle B20 karışımının CO, HC ve isleri azalttığı görülmüştür. Ancak biyodizel kullanımı NO_x emisyonlarını arttırmıştır (Asokan vd., 2021).

Mubarek ve arkadaşları (2021) suda yaşayan bir ot olan Salvinia Molesta'dan harmanlanmış halde biyodizel üretmişlerdir. Yazarlar, ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %10 (B10), %20 (B20) ve %30 (B30) oranlarında karıştırılarak üç farklı yakıt karışımı elde etmişlerdir. Daha sonra B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarını ve SDY'yi tek silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deneyler maksimum güç 3.73 kW dahil olmak üzere 5 farklı efektif güç altında ve 1500 d/dak sabit devir sayısında yapılmıştır. İlgili yazarlar yaptıkları bu deneysel çalışma sonucunda; efektif verimin; B10 için %30.54, B20 için %29.51, B30 için %28.86 ve SDY için %30.72 olduğunu belirlemişlerdir. ÖYT; SDY için 0.2745 kg/kWh iken, B10, B20 ve B30 için sırasıyla (0.2908, 0.3081 ve 0.3299) kg/kWh olarak elde edilmiştir. Eksoz emisyonlarına bakıldığında 3.73 kW efektif güç durumunda; SDY, B10, B20 ve B30 için, CO_2 tam yanma ürününün sırasıyla %5.6, %5.7, %5.8 ve %5.9,

CO emisyonları sırasıyla %0.05, %0.046, %0.043 ve %0.047, HC emisyonları sırasıyla (24, 21, 19 ve 22) ppm ve is miktarları da sırasıyla %26.20, %25.30, %23.32 ve %27.23 şeklinde ölçülmüştür. NO emisyonları; yine SDY, B10, B20 ve B30 için sırasıyla (863, 820, 752 ve 794) ppm olarak ölçülmüştür. Yazarlar NO emisyonları için biyodizel karışımlarımlarının SDY'ye göre daha düşük çıkmasını Salvinia Molestasından harmanlanan biyodizelde daha fazla doymuş yağ asidi olmasının bir sonucu olarak yorumlamıştır. Ayrıca silindir basınçları SDY, B10, B20 ve B30 için sırasıyla (64.91, 64.0, 63.68 ve 63.15) bar ve açığa çıkan ısı oranının maksimum değeri ise sırasıyla (72.30, 69.87, 67.39 ve 65.92) J/^{o}KMA şeklinde ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Bu yayının sonunda, biyodizel kullanımının ÖYT'ni artırmasına karşın, eksoz emisyonlarını azalttığı görülmüştür. Yazarlar, en iyi karışım oranının B20 olduğu belirlenmişlerdir. B20 ÖYT'ni %12.24 artırmıştır, ancak CO emisyonunu %14, HC emisyonunu %20.83, NO emisyonunu %12.86 ve is miktarını da %10.99 azaltmıştır (Mubarek vd., 2021).

Sathyamurthy ve arkadaşları (2021) mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmişlerdir. Daha sonra; yazarlar, üretilen biyodizel dizel yakıtı ile karıştırılarak B10, B20 ve B30 yakıt karışımları elde etmişlerdir. Ardından ilgili karışımların yanma, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel incelenmişlerdir ve sonuçları SDY ile karşılaştırmışlardır. Deneyler 5 farklı yük altında ve 1500 d/dak sabit devir sayısında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; SDY, B10, B20 ve B30 için maksimum silindir basınçları sırasıyla (72.27, 73.84, 72.91 ve 73.52) bar olarak ölçülmüştür. Buradan görüldüğü gibi maksimum silindir basıncı 73.84 bar ile B10 yakıt karışımında elde edilmiştir. Açığa çıkan ısı oranlarına bakıldığında SDY, B10, B20 ve B30 için sırasıyla (44.25, 39.56, 35.05 ve 33.70) kJ/m^3 olarak elde edilmiştir. ÖYT değerlerinde; B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarında SDY'ye oranla sırasıyla %2, %4 ve %6'lık artışlar elde edilmiştir. SDY'nin maksimum efektif verim değeri olan %34,42'ye en yakın değeri, B10 yakıt karışımında %33.98'le elde edilmiştir. Eksoz emisyon sonuçları incelendiğinde; artan biyodizel oranıyla birlikte yakıttaki oksijen içeriği de arttığından, NO_x emisyonlarında artış, buna karşın CO ve HC emisyonlarında ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Bunların yanında; biyodizel kullanımı ile ve özellikle B10 karışımında CO_2 gazı değerlerinde artma eğilimi görülmüştür (Sathyamurthy vd., 2021).

Karami ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada; domates tohumu yağından biyodizel üretmişlerdir ve ardından üretilen biyodizel dizel yakıtına %5, %10 ve %20 oranlarında karıştırılarak 3 farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımı elde etmişlerdir. İlgili yakıt

karışımlarının motorun tutuşma gecikmesi, yanma süresi, açığa çıkan ısı oranı, silindir basıncı ve indike iş gibi yanma parametreleri üzerindeki etkilerini 4 silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir ve sonuçları SDY sonuçları ile karşılaştırılmışlardır. İncelenen bu çalışmada; yazarlar, deneyleri 5 farklı yük altında ve 7 farklı devir sayısında yapılmışlardır. Burada, hem biyodizel dizel yakıtı karışımlarında ve hem de SDY durumlarında motor çevrimini modellemek ve yanma parametrelerini belirleyebilmek için, hem AVL FIRE hazır paket programı ve hem de sinir ağları yöntemi (an artificial neural network, ANN) uygulanarak sayısal çalışmalar da yapılmıştır. Hem deneysel ve hem de sayısal çalışmalar sonunda; B10 yakıt karışımının motor performansı açısından en iyi karışım olduğu belirlenmiştir (Karami vd., 2020).

Ogunkunle ve Ahmed (2020) Parinari poliandra yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtına karıştırarak B10, B20 ve B30 gibi yakıt karışımları oluşturmuşlardır ve ardından da ilgili yakıt karışımlarının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini 6 silindirli bir gemi dizel motorunda deneysel incelemişlerdir ve sonuçları SDY sonuçları ile karşılaştırarak irdelemişlerdir. Çalışma sonucunda, biyodizel oranı arttıkça efektif güçte bir miktar azalma olduğu ve ÖYT'de de artış meydana geldiği belirlenmiştir. Eksoz emisyonlarına bakıldığında NO_x emisyonlarında, B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla SDY'ye kıyasla sırasıyla %24.5, %35.1 ve %51.1 oranında artışlar elde edilmiştir. NO_x dışında kalan emisyonlar da ise azalmalar elde edilmiştir. B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla SDY'ye kıyasla; HC emisyonlarında sırasıyla %7.8, %11.0 ve %13.8, CO_2 ürününde sırasıyla %53.8, %33.5 ve %21.7, CO emisyonlarında sırasıyla %53.4, %67.8 ve %81.7 ve SO_2 emisyonlarında sırasıyla %45.3, %49.9 ve %54.3 azalma elde edilmiştir. Ayrıca çalışma sonunda, B10 yakıt karışımının motor performansı açısından en iyi karışım oranı olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak söz konusu çalışmada B30 karışımının dizel motorlarında değişiklik yapılmadan kullanılabileceği ve bu karışımla motorun düzgün çalışabildiği görülmüştür (Ogunkunle ve Ahmed, 2020).

Uyumaz ve arkadaşları (2020) haşhaş (afyon) yağından ürettikleri biyodizeli dizel yakıtı ile %10 ve %20 oranında karıştırarak iki farklı yakıt karışımı elde etmişlerdir. Daha sonra, yazarlar 18:1 sıkıştırma oranına sahip tek silindirli dört zamanlı doğal emişli bir dizel motorunda, 6 farklı devir sayısı ve %(25, 50, 75 ve 100) gibi 4 farklı yükte; SDY, B10 ve B20 yakıt karışımlarının yanma, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel incelenmişlerdir. Deneysel çalışmada, seçilen iki farklı biyodizel karışımının yanma, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri, maksimum

moment devri 2200 d/dak devir saysında ve 4 farklı yük durumlarında ve ayrıca %100 yük ve farklı devir sayılarında incelenmiştir. Bu çalışma sonunda, biyodizel kullanımının tutuşma gecikmesini ve silindir sıcaklıklarını attırdığı ve yanma sürelerini azalttığı görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile indike verim değerleri azalmasına rağmen, %75 yük durumunda indike verim için en iyi değerler elde edilmiştir. Söz konusu durumda; indike verimde SDY'ye oranla B10 ve B20 yakıt karışımlarında sırasıyla %5.73 ve %13.05 oranında azalmalar bulunmuştur. Benzer şekilde; ÖYT'minde de artmalar elde edilmiştir. Literatürden bilinndiği gibi motorun verimi (efektif verimi) ile ÖYT ile yaklaşık ters orantılıdır (Heywood, 1989; Durgun, 2022). Yazarlar, biyodizel kullanımıyla silindir basıncı ve açığa çıkan ısı oranı değerlerinde belirgin artışlar elde etmişlerdir ve maksimum silindir basıncı değerlerini 2200 d/dak hızında bulunmuştur. Tam yük altında, B10 ve B20 yakıt karışımları için, NO_X emisyonlarında SDY'ye oranla sırasıyla %2.9 ve %5.98 oranlarında artışlar elde edilmiştir. Buna karşılık, B10 ve B20 yakıt karışımlar için, CO emisyonlarında SDY'ye oranla sırasıyla %14 ve %17.42 oranlarında azalmalar elde edilmiştir. Ayrıca is emisyonlarında da belirgin azalmalar gözlenmiştir (Uyumaz vd., 2020).

Temizer ve arkadaşları (2020); ayçiçek yağından üretilmiş biyodizeli, dizel yakıtına karıştırarak B10, B20 ve B30 yakıt karışımları elde edilmiştir ve ilgili karışımların yanma üzerindeki etkilerini tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli hava soğutmalı bir dizel motorunda deneysel incelemişlerdir ve sonuçları SYD ile karşılaştırarak irdelemişlerdir. Deneysel çalışma tam yük altında ve maksimum moment devri 2200 d/dak devir sayısında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yazarlar, aynı motorda biyodizelin yanma üzerindeki etkilerini AVL FIRE hazır paket programı kullanarak sayısal olarak da incelemişlerdir. Çalışma sonunda; seçilen biyodizel yakıt karışımları için SDY'ye göre daha yüksek silindir basıncı ve silindir sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Ayrıca söz konusu karışımları için, açığa çıkan ısı oranında da artmalar elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, seçilen biyodizel yakıt karışımlarının yanma odasında hava içerisine nüfus etme derinliğinin SYD'den daha iyi olduğu gözlenmiştir (Temizer vd., 2020).

Mofijur ve arkadaşları (2019); atık yemeklik yağdan transesterifikasyon yöntemiyle ürettikleri biyodizeli, dizel yakıtına %20 oranında karıştırarak B20 yakıt karışımını elde etmişlerdir ve ardında da ilgili karışımın eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini çok silindirli bir dizel motorunda deneysel incelemişlerdir ve sonuçları SYD ile karşılaştırarak irdelemişlerdir. Deneyler tam yük altında ve 7 farklı devir sayısında yapılmıştır. Çalışma sonunda; biyodizel kullanımıyla, NO_x emisyonlarında bir miktar artış elde edilirken, diğer

eksoz emisyonlarında azalmalar bulunmuştur. Söz konusu çalışmada; CO emisyonlarında ortalama %28.30 oranında ve partikül madde miktarında ise ortalama %15.75 oranında azalmalar elde edilmiştir (Mofijur vd., 2019).

How ve arkadaşları (2018); yenmeyen Tamanu yağından (Calophyllum Inophyllum) ürettikleri biyodizelin dizel yakıtına ilave edilmesinin motor performansı, eksoz emisyonları, partikül madde ve yanma karakterisrikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler; dört silindirli, turbo şarjlı, comman-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda ve 6 farklı devir sayısında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde B10, B20, B30, B50 BDYK kullanılmıştır ve sonuçlar SDY ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen biyodizelin fizyokimyasal özelliklerinin SDY'ye çok yakın olduğu belirlenmiştir. Biyodizel kullanımı ile; döndürme momenti ve efektif güç değerlerinde düşüşler, ÖYT'de artış olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışmada; artan biyodizel oranıyla birlikte CO emisyonlarında belirgin bir azalma ve NO_x emisyonlarında da belirgin bir artma elde edilmiştir. NO_x emisyonlarındaki en büyük artış, 2500 d/dak devir sayısında %12'lik oranla B50 yakıt karışımında elde edilmiştir. Artan biyodizel oranıyla birlikte is (duman koyuluğu) miktarında da ciddi azalmalar elde edilmiştir. İslerdeki en büyük azalma miktarı 4000 d/dak devir sayısında %58'lik oranla B50 yakıt karışımında gözlenmiştir. Ayrıca partikül madde miktarlarında da en büyük azalma %37.1 ile yine B50 yakıt karışımında elde edilmiştir. İlgili çalışmada, biyodizel oranı arttıkça açığa çıkan ısı miktarlarında azalma gözlenmiştir. Açışa çıkan ısı oranı eğrilerinin tepe noktalarındaki en büyük azalmalar 2000 d/dak, 3000 d/dak ve 4000 d/dak devir sayılarında B50 yakıt karışımı için sırasıyla %1.1, %2.6 ve %1.1 olarak elde edilmiştir (How vd., 2018). İlgili çalışma sonunda, Tamanu yağından üretilen biyodizelin, common-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorunda herhangi bir değişiklik yapılmadan güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Çalışkan ve Mori (2017); atık yemeklik yağdan üretmiş oldukları biyodizeli, %20 ve %50 oranında dizel yakıtıyla karıştırarak B20 ve B50 yakıt karışımlarını elde etmişlerdir. Daha sonra SDY, B20, B50 ve B100 yakıt ve yakıt karışımlarını kullanarak; 4 silindirli turboşarjşı bir dizel motorunda 100 Nm, 200 Nm ve tam yük altında, 1800 d/dak sabit devir sayısında bir dizi deney yapmışlardır. Deneylerde sistemin (motorun) enerji dengesi, ekserji, sürdürülebilirlik, termoekonomik ve eksergoekonomik analizleri yapılmıştır. Ayrıca söz konusu çalışmada, biyodizel kullanımının eksoz emisyonları ve yakıt tüketimi üzerindeki etkileri de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; artan biyodizel oranıyla birlikte NO_x emisyonlarının ve CO_2 tam yanma ürününün arttığını, CO ve HC emisyonlarının ve is

(kurum) miktarının azaldığını göstermiştir. Örnek olarak, tam yükte SDY, B20, B50 ve B100 için; CO miktarları sırasıyla (0.183, 0.167, 0.166 ve 0.138) g/kWh, HC miktarları sırasıyla (0.047, 0.045, 0.035 ve 0.017) g/kWh, NO_x miktarları sırasıyla (5.182, 5.262, 5.497 ve 5.988) g/kWh, CO_2 miktarları sırasıyla (690.214, 704.635, 719.894 ve 753.600) g/kWh ve kurum miktarkarı da sırasıyla (1.050, 0.662, 0.426 ve 0.140) mg/m^3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, biyodizel kullanımının ÖYT'yi arttırdığı görülmüştür. Örneğin, tam yükte SDY, B20, B50 ve B100 için ÖYT'leri sırasıyla (217.28, 221.78, 226.38 ve 236.59) g/kWh olarak elde edilmiştir (Çalışkan ve Mori, 2017). Sistemin (motorun) enerji ve ekserji verimliliği açısından B100'ün en iyi sonucu verdiği görülmüştür. İlgili çalışmada, enerji ve ekserji verimliliğinin maksimumdan minimuma doğru sıralaması B100>B50>B20>SDY şeklinde belirlenmiştir. Bu çalışmada, biyodizelin dizel yakıtına göre daha sürdürülebilir olduğu, ve biyodizel ve karışımlarının dizel yakıtından termoekonomiklik ve eksergoekanomiklik açısından daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Sezer (2016); bir direkt püskürtmeli dizel motorunda, soya yağı metil esteri (SYME) biyodizel yakıtının saf ve farklı oranlarda dizel yakıtı ile karışımlarının kullanımının etkilerini internet üzerinden serbest erişime açık olan Diesel–RK adlı programı kullanarak sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmada, soya yağından üretilen biyodizel, dizel yakıtı ile %20, %40 ve %60 oranında karıştırılmış üç farklı yakıt karışımı ve saf dizel yakıtı örnek olarak seçilmiştir ve örnek alınan yakıt ve yakıt karışımlarının; püskürtme, yanma, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri teorik olarak incelemiştir. Çalışma sonunda, biyodizel yakıt ve karışımları kullanıldığında, yakıtın püskürtme basınçlarında %(0.7– 6.7) oranlarında azalmalar, tutuşma gecikmesi değerlerinde %(13.6–77.9) ve yanma sürelerinde %(4.2–26.2) oranında kısalmalae olduğu sayısal olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada saf biyodizel kullanıldığında döndürme momenti ve efektif güç değerlerinde %(15.8–18.1) oranlarında düşüşler, özgül yakıt tüketiminde ise %(18.8–22.1) oranlarında artışlar meydana geldiği hesaplanmıştır. Bunların yanında; biyodizel kullanımı durumunda, efektif verim değerleri, dizel yakıtına göre biraz düşük olmakla birlikte biyodizel yakıt karışımları için dizel yakıtına oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür. Eksoz emisyonları açısından; biyodizel yakıt ve karışımlarının dizel yakıtına göre partikül madde (PM,is) emisyonunda %(23.5–77.4) oranlarında azalmalar sağlamasına rağmen, azot oksit emisyonunda %(21.8–126) ve karbondioksit gazında ise %(0.7–8.5) oranlarında artışlara neden olduğu sayısal olarak görülmüştür (Sezer, 2016).

Sakhare ve arkadaşları (2016); pamuk tohumundan ürettikleri biyodizeli dizel yakıtına %20 oranında karıştırarak oluşturdukları B20 yakıt karışımının yanma karakteristikleri, motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir ve sonuçlar SDY sonuçları ile karşılaştırılarak irdelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada %4 ve %6 oranlarındaki EGR'nin de etkileri incelenmiştir. Bu deneysel çalışma tek silindirli bir dizel motorunda %(25, 50, 75 ve 100) gibi 4 farklı yük altında ve 1500 d/dak sabit devir sayısında yapılmıştır. Çalışma sonucunda; tutuşma gecikmesinin, B20 yakıt karışımı için SDY'ye oranla daha kısa olduğu gözlenmiştir. Tutuşma gecikmesi SDY'de 9.5^{o} KMA iken, B20 yakıt karışımında 8.5^{o} KMA'ya düşmüştür. Yazarlar bu durumu, biyodizelin setan sayısının daha yüksek olması ve yapısında oksijen bulunması ile açıklamışlardır. B20 ve EGR uygulaması ÖYT'yi artırmıştır. B20 yakıt karışımında NO_x emisyonları artarken, EGR kullanımıyla NOx emisyonları azalmıştır. B20 yakıt karışımının kullanılması ile CO ve HC emisyonları azalmıştır. Ancak, CO ve HC emisyonları, EGR kullanımıyla bir miktar artış göstermiştir. Çalışma sonunda, EGR'nın yalnızca NO_x'lerin azalmasında etkili olduğu, diğer eksoz emisyonlarını ve motor performansını kötüleştirdiği belirlenmiştir (Sakhare vd., 2016).

Özener ve arkadaşları (2014); soya fasulyesi yağından üretilmiş biyodizeli, dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 oranında karıştırarak üç farklı yakıt karışımı elde etmişlerdir. Daha sonra ilgili yakıt ve yakıt karışımlarının; yanma karakteristikleri, motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir ve sonuçlarını SDY ile karşılaştırılmışlardır. Deneyler; tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda ve (1200–3000) d/dak aralığındaki devir sayılarında yapılmıştır. Yazarlar deneysel çalışmada; ÖYT'yi, eksoz emisyonlarını, eksoz sıcaklıklarını ve silindir basınçlarını ölçülmüşlerdir. Yapılan çalışma sonunda; biyodizel kullanımının döndürme momentinde ortalama %(1-4) oranlarında azalmaya ve ÖYT'de yaklaşık %(2-9) oranlarında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak; biyodizel kullanımının CO emisyonlarında %(28-46) ve toplam HC emisyonlarında %(20-44) oranlarında önemli azalmalar sağladığı görülmüştür. Ancak, biyodizel kullanımının NO_x emisyonlarında %(6.95-17.62) ve CO_2 ürününde %(1.46-5.03) oranlarında artışa neden olduğu gözlenmiştir. CO_2 ürünündeki artış biyodizel kullanımının tam yanma eğilimini artırdığını göstermektedir. Yanma karakteristikleri açısından biyodizel ilavesinin tutuşma gecikmesini ve ön yanma evresi süresini kısalttığını göstermiştir. Yazarlar biyodizelin alternatif ve çevre dostu bir yakıt olduğunu ve motorda

her hangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabileceğini vurgulamışlardır (Özener vd., 2014).

Tarabet ve arkadaşları (2014); doğal gazı, çift yakıt uygulaması şeklinde 6 silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir. Burada pilot yakıtı olarak; hem dizel yakıtı hem de biyodizel (okaliptüs biyodizeli) ayrı ayrı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem SDY sonuçları, hem de doğal gaz-dizel yakıtı ve doğal gaz-biyodizel çift yakıtı uygulamalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada; çift yakıt uygulamalarında motor gücünün %10'u pilot yakıtlardan karşılanmıştır. Motorun geri kalan asıl gücü ise doğal gazdan sağlanmıştır. Söz konusu çalışma sonunda; biyodizelin pilot yakıt olarak kullanıldığı çift yakıt durumunda silindir basıncı değerlerinin hem SDY'de hem de dizel yakıtının pilot olarak kullanıldığı çift yakıt uygulamasından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, biyodizelin pilot yakıt olarak kullanıldığı çift yakıt deneylerin sonucunda; CO ve toplam HC değerlerinin dizel yakıtının pilot yakıt olarak kullanıldığı çift yakıt uygulamalardan daha düşük olduğu, ancak NO_x ve ÖYT değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. SDY durumunda ise, CO, toplam HC ve ÖYT değerleri çift yakıt uygulamalarının ikisinden de daha iyi sonuç vermiştir (Tarabet vd., 2014).

Liaquat ve arkadaşları (2013); hindistancevizinden elde edilen biyodizel kullanarak oluşturdukları BDYK'nin motor performans parametrelerini ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Söz konusu çalışmada; SDY, B05 ve B15 yakıt ve yakıt karışımları direkt püskürtmeli bir dizel motorunda deneysel olarak incelenmiştir. B05 ve B15 biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının kullanımında motorda her hangi bir değişiklik yapılmamıştır. Deneyler tam gaz kolu konumunda (%100) ve 1500 d/dak ila 2400 d/dak devir sayıları arasında; 100 d/dak devir sayısı aralıkları ile yapılmıştır. Ancak eksoz gazları deneyleri 2200 d/dak devir sayısında %100 ve %80 gaz konumlarında yapılmıştır. Çalışma sonunda; biyodizel karışımlarının kullanılması durumunda, döndürme momenti ve ortalama efektif basınç değerlerinde düşüş meydana gelirken, ÖYT'de artış elde edilmiştir. Ayrıca, biyodizel karışımlarının kullanılması ile HC ve CO emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Ancak biyodizel karışımlarının kullanımının CO_2 tam yanma ürününü ve NO_x emisyon değerlerini arttırdığı görülmüştür. Bu sonuçlara ek olarak, B05 ve B15 yakıt karışımlarının SDY oranla daha sessiz çalıştığı gözlenmiştir. Çalışma sonunda; yazarlar, B05 ve B15'in dizel motorlarda her hangi bir değişiklik yanmadan kullanılabileceğini ve ilgili karışımlarının çevre kirliliği açısından olumlu sonuçlar verdiğini açıklamışlardır (Liaquat vd., 2013).

Büyükkaya (2010); kolza tohumu yağından üretilmiş biyodizeli; saf olarak (B100) ve dizel yakıtına farklı oranlarda karıştırarak B05, B20 ve B70 şeklinde yakıt karışımlarının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incemiş, sonuçlar SDY sonuçları ile karşılaştırılmış ve irdelenmiştir. Deneysel çalışmada 6 silindirli, dört zamanlı, turbo şarjlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Çalışma sonunda, biyodizel kullanımıyla is (duman koyuluğu) değerlerinde %60'a kadar azalma, ÖYT'de ise %11'e kadar artış elde edilmiştir. B05 yakıt karışımı ve B100 için CO emisyonlarında SDY kullanımına göre sırasıyla %9 ve %32 oranlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir. ÖYT'de, maksimum moment ve nominal güç koşullarında SDY kullanımına göre sırasıyla %8.5 ve %8 oranlarında artışlar elde edilmiştir. Ayrıca; biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin azaldığı ve biyodizelin yanma karakteristiğinin dizel yakıtına çok yakın olduğu görülmüştür (Büyükkaya, 2010).

Yukarıda yapılan literatür araştırmasından; çok farklı yenilenebilir üründen biyodizel üretilebildiği ve üretilen biyodizelllerin dizel yakıtına karıştırılarak karışım yakıtı ve saf olarak kullanılabildiği görülmüştür. B10, B20 ve B30 gibi düşük yakıt karışımları durumunda dizel motorlarında fazla değişikliğe gerek olmadığı ve özellikle %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımının en iyi karışım oranı olduğu anlaşılmıştır. SDY'ye biyodizel karıştırılmasıyla birlikte; moment ve efektif güç değerlerinde bir miktar azalma ve ÖYT değerlerinde ise bir miktar artma olduğu görülmüştür. Ayrıca biyodizel kullanımıyla genel olarak CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağlanırken, NO_x emisyonarında artma belirlenmiştir. Bunların yanında biyodizel kullanımıyla tam yanma ürünü CO_2'nin attığı görülmüştür. Buradan biyodizel kullanımı ile yanmanın iyileştiği anlaşılabilir. Yapılan literatür incelemesi sonunda; biyodizel kullımının silindir basıncı, sıcaklığı ve açığa çıkan ısı miktarı üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Ancak bu çalışmalar biyodizelin motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerinin incelenmesi çalışmaları kadar fazla değildir. Ayrıca biyodizel kullanımının yanma süresi üzerindeki çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Biyodizel kullanılmasının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki deneysel çalışmalarda ise motor ve çalışma koşulları için seçilen parametrelerin sayısı azdır.

1.3. Tez Çalışmasının Amacı

Yukarıdaki literatür çalışmasından anlaşıldığı gibi, biyodizel yenilenebilir bir alternatif yakıttır ve farklı tür bitkilerden ve hayvansal yağlardan transesterifikasyon veya daha farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Üretilen biyodizelin özellikleri dizel yakıtına benzemektedir ve dizel motorlarında çok fazla değişikliğe gerek kalmadan saf olarak veya dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilmektedir. Bu özellikler, biyodizelin özellikle tarım ülkeleri için kaçınılmaz bir alternatif yakıt olduğunu göstermektedir. Enerji ihtiyacının olduğu günümüzde, ekilebilecek tüm tarım alanlarının ekilmesi ve gıda oluşturmayacak bitkilerden ve atık yağlardan acilen biyodizel üretilmesi ve enerji açığının bir an önce kapatılması çok önemlidir.

Biyodizelin enerji açığını kapatabilecek yenilenebilir alternatif bir yakıt olmasının yanında diğer bir üstünlüğü de çevreci bir yakıt olmasıdır. Çünkü insan sağlığını olumsuz etkileyen etkenlerin başında hava kirliliği gelmektedir. Bilimsel araştırmalar, hava kirliliğine maruz kalmanın kalp krizi, felç ve kalp yetmezliği olaylarında artışa neden olarak uzun ve kısa vadeli kalp-damar hastalıklarına bağlı ölüm hızını artırdığını göstermiştir. Ayrıca, yakın tarihli bir derleme çalışması hava kirliliğine kronik maruz kalmanın vücuttaki her organı etkileyerek mevcut sağlık koşullarını karmaşıklaştırıp, kötüleştirebileceğini ortaya koymuştur (URL-1, 2022). Bu durumda, yukarıdaki literatür çalışmasından da açıkça görüldüğü gibi; biyodizel kullanımı, hava kirliliğinde önemli bir etken olan eksoz emisyonlarında ciddi azalmalar sağlamaktadır. Ayrıca günümüzün çevre sorunlarının bir diğeri de küresel ısınmadır. Küresel ısınmada en önemli etken de, yanma işlemleri sonunda tam yanma ürünü olarak ortaya çıkan CO_2 gazıdır. Biyodizel bitkisel kökenli bir yakıt olması sebebiyle CO_2 gazı açısından nötür bir etkiye sahiptir. Bitkiler fotosentez olayında havanın karbondioksitini kullandıklarından ve yanma sonunda aynı karbondioksiti salındıklarından, atmosferdeki karbondioksit miktarında ek bir artış doğurmazlar (Durgun, 2022). Bunlara ek olarak, petrol kökenli yakıtların nakliyesi sırasında oluşan sızıntıların çevreye verdiği zararlar herkes tarafından bilinmektedir. Biyodizel bu konuda da, 21 gün içerisinde doğada %97 oranında çözünebilme özelliği sayesinde güvenli bir alternatif yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu üstünlükleri göz önüne alındığında; ciddi tarımsal alana sahip olan ülkemizde, hem enerji açığını kapatmak hemde çevre kirliliğini azaltmak amacıyla biyodizel konusunda bilimsel çalışma yapmak bir vatandaşlık görevi haline gelmektedir.

Bu nedenle sunulan tez çalışmasında, ilk olarak, yöresel bir ürün olan mısır yağından, KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarındaki imkânları kullanarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Ürettilen biyodizelin kimyasal özellikleri, TÜRKAK tarafından akredite olan KTÜ Prof. Dr. Saadettin Güner Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezi (KTÜ-YUAM)'inde belirlenmiş ve uluslararası standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Doğu Karadeniz Bölgesinde mısır yemeklik olarak kullanıldığı gibi hayvanları beslemek amacıyla da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan alanlarına ve diğer bölgelerde boş bulunan tarım alanlara mısır ya da iklime uygun benzer ürünler ekerek çok daha ekonomik biyodizel hammaddesi elde edilebilir.

Daha sonra, KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarındaki üretilen biyodizeli saf olarak ve ayrıca dizel yakıta belli oranlarda karıştırarak oluşturulan farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının yanma karakteristikleri, motor performansı, eksoz emisyonları ve enerji dengesi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş, sonuçlar saf dizel yakıtı sonuçları ile karşılaştırılmış ve ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Biyodizelin dizel motorlarında kullanımıyla ilgili literatür araştırıldığından da anlaşılabileceği gibi özellikle son yıllarda çok sayıda araştırma yapıldığı görüşmüştür. Ancak, bu çalışmalar incelendiğinde, biyodizel karışım oranları ve motor devir sayısı aralıkları gibi motorun çalışma parametreleri kısıtlı sayıda seçilmiş ve çalışma aralıkları da oldukça dar alınmıştır. Oysa sunulan çalışmada deneyler daha kapsamlı ve sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. Burada, 5 farklı karışım oranı, saf biyodizel ve saf dizel yakıtı olmak üzere 7 durum için 9 farklı devir sayısı seçilmiştir ve her bir deney 20 kez tekraralanmıştır. Böylece 7 farklı yakıt, 9 farklı devir sayısı ve 20 kez tekrarla toplamda 1260 adet deney yapılmıştır. Bunların yanında tezin en önemli orijinal yanlarından bir başkası da biyodizelin yanma süresi üzerindeki etkisinin belirlenmesidir ve yanma süresi için amprik bağıntının geliştirilmesidir. Yanma süresi bağıntısı üzerinde devir sayısı ve biyodizel oranının etkisi dikkate alınmıştır. Literatürde biyodizelin yanma süresi üzerindeki çalışmaların sayısı oldukça azdır. Böylece, KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında bölgesel bir bitkisel yağdan biyodizel üretimi, üretilen biyodizelin yanma karakteristikleri, motor performansı, eksoz emisyonları ve enerji dengesi üzerindeki etkilerinin sistematik bir şekilde deneysel olarak belirlenmiş olması sunulan tez çalışmasının literatüre kazandıracağı yenilikler olarak

verilebilir. Özellikle, biyodizel kullanımının yanma süresi üzerindeki etkisi ve geliştirilen amprik bağıntının literatüre kazandırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sunulan tez çalışmasında; önce rafine mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Sonra biyodizelin ve dizel yakıtının bazı yakıt özellikleri KTÜ Prof. Dr. Saadettin Güner Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezinde ölçtürülmüştür. Daha sonra biyodizelin yakıt özellikleri literatürdeki biyodizel özellikleri ile karşılaştırılmış ve dizel motorlarında kullanılabilecek standartlarda olduğu belirlenmiştir. Ardından da; biyodizel ve farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının tek silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda SDY ve B100 ile 5 farklı BDYK'nin kullanılmasının, motor performans parametreleri, eksoz emisyonları, silindir basıncı ve sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı ve yanma süresi gibi yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak ölçülen basınç verilerinden yaralanarak ısı oluşum analizi yapılmıştır. Ve ısı oluşum eğrilerinden yaralanarak SDY, seçilen BDYK ve B100 için yanma süreleri deneysel olarak belirlenmiştir. Ardından da ilgili deney koşullarından yararlanarak farklı biyodizel oranı ve farklı devir sayılarını da kapsayan ampirik bir yanma süresi bağıntısı geliştirilmiştir. Son olarak da biyodizel kullanımının enerji dengesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deneylerin tamamı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda bulunan ve 2.2 bölümünde ayrıntılı bir şekilde tanıtılacak olan deney düzeneğinde yapılmıştır. Deneyler, tam gaz (1/1 gaz) konumunda, 9 farklı devir sayısında ((750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak) ve 20.5 sabit sıkıştırma oranında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada önce SDY deneyleri yapılmıştır. Daha sonra sırasıyla B05 (%5 Biyodizel + %95 Dizel), B10, B15, B20, B50 yakıt karışımlarında ve B100 için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde olanaklar elverdiği düzeyde duyarlı sonuçlar elde edebilmek ve hataları en az düzeye indirmek amacıyla belli bir işlem sırası izlenmiştir. Deneylere başlamadan önce ortam sıcaklığı, yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ve ortam basıncı değerleri manuel olarak ölçülmüş ve deney düzeneğinde okunan dijital değerlerle karşılaştırılmış, ayrıca deney boyunca değişim olup olmadığı kontrol edilmiştir. Deneyde kullanılacak olan yakıt veya yakıt karışımları uygun şekilde hazırlanarak yakıt deposuna doldurulmuştur. Yakıt karışımları dizel yakıtına belirlenen hacimsel karışım oranlarını verecek şekilde %(5, 10, 15, 20, 50) oranlarında biyodizel eklenerek hazırlanmıştır. Yakıt veya yakıt karışımları yakıt

deposuna doldurulduktan sonra deney düzeneği üzerinde bulunan ölçme ünitesinde gerekli işlemler (sıfırlama vb.) yapıldıktan sonra deney düzeneği çalışmaya hazır duruma getirilmiştir. Deney motoru çalıştırıldıktan sonra motorun rejim sıcaklığına ulaşması için yaklaşık 10 dak. kadar ölçüm alınmamıştır. Ayrıca tüm devir sayılarında motor tam kararlı çalışmaya başladıktan sonra ölçümler alınmıştır. Tüm bu işlemlerin yanı sıra oluşabilecek hataları en aza indirmek amacıyla tüm ölçüm işlemleri 5 s aralıklarla 20 kez tekrarlanarak yapılmıştır. Böylece oluşabilecek hataların en düşük düzeylere indirilmesi amaçlanmıştır.

Deneylerde dizel yakıtı olarak Opet Petrolcülük A.Ş. tarafından satılmakta olan Ultra Force Eurodisel yakıtı kullanılmıştır. Sunulan tez çalışmasında kullanılacak olan biyodizel, KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında bölgesel bir ürün olan mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiştir. Sunulan çalışmada biyodizelin üretimi ile ilgili bilgiler 2.1 bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Deneylerde kullanılan yakıt ve yakıt karışımlarının fiziksel özellikleri TÜRKAK tarafından akredite edilmiş olan KTÜ Prof. Dr. Saadettin Güner Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezi (KTÜ-YUAM)'inde belirlenmiş ve Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Dizel yakıtı, farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının ve saf biyodizelin bazı temel fiziksel özellikleri.

Yakıt özellikleri	Dizel Yakıtı	B05	B10	B15	B20	B50	B100
Kapalı formül * (Kimyasal formül)	$C_{12,3}H_{22,14}$	$C_{12,62}H_{22,79}O_{0,1}$	$C_{12,95}H_{23,44}O_{0,2}$	$C_{13,27}H_{24,09}O_{0,3}$	$C_{13,59}H_{24,74}O_{0,4}$	$C_{15,54}H_{28,65}O_1$	$C_{18,77}H_{35,16}O_2$
Molekül kütlesi [g/mol]	170.052	176.194	182.336	188.477	194.619	231.469	292.886
Yoğunluk (15 ^oC) [kg/m^3]	833.2	835.8	838.8	842.0	844.8	862.2	892.3
Kin. viskozite (40 ^oC) [mm^2/s]	3.312	3.358	3.423	3.490	3.560	4.054	5.146
Soğuk filtre tık. noktası [^oC]	-12	-11	-12	-11	-12	-12	-10
Setan sayısı	57.3	63.3	65.3	-	-	-	-
Alt ısıl değeri * [MJ/kg]	42.976	42.677	42.381	42.086	41.793	40.080	37.375

* Mendelyev formülünden hesaplanmıştır.

2.1. Biyodizelin Üretimi

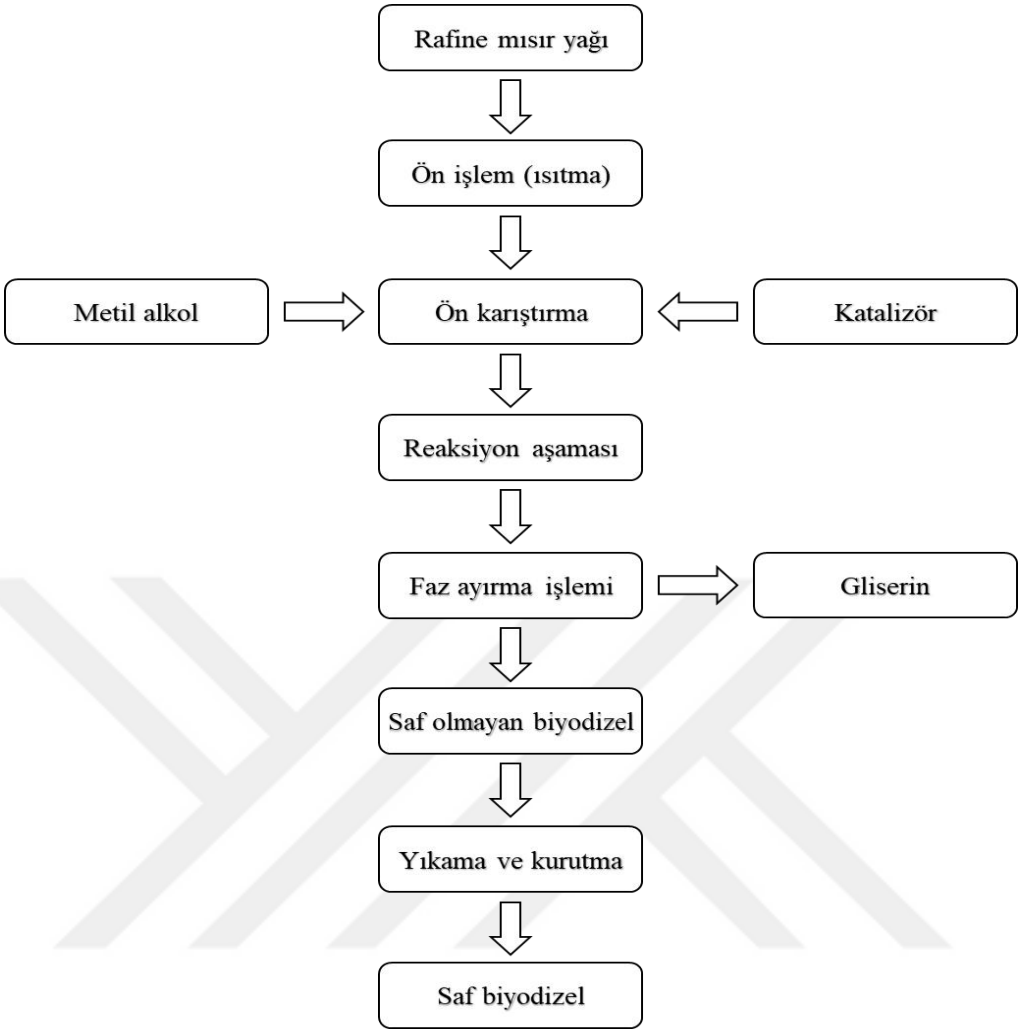
Sunulan tez çalışmasında kullanılan biyodizel, rafine mısır yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu amaçla üretim yapılırken biyodizel; Gülüm'ün (2014) yaptığı çalışmada belirlediği ve minimum viskozite değerini veren üretim parametreleri göz önüne alınarak KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında bulunan biyodizel üretim cihazında üretilmiştir. Biyodizel üretim cihazının fotoğrafı Şekil 2.1'de verilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu için katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) ve alkol olarak %99,90 saflıkta metil alkol (CH_3OH) kullanılmıştır. Biyodizel üretimi için en düşük viskozite değerini veren reaksiyon koşulları aşağıdaki gibidir:

- Alkol/yağ molar oranı : 9/1
- Katalizör miktarı : Yağın kütlece %1.1'i
- Reaksiyon sıcaklığı : 60 °C
- Reaksiyon süresi : 60 dak

Bu reaksiyon koşulları altında, Şekil 2.2'de belirtilmiş olan üretim aşamaları izlenerek motor deneyleri için yeterli miktarda biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizelin önemli fiziksel özellikleri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak Tablo 2.1'de sunulmuştur.



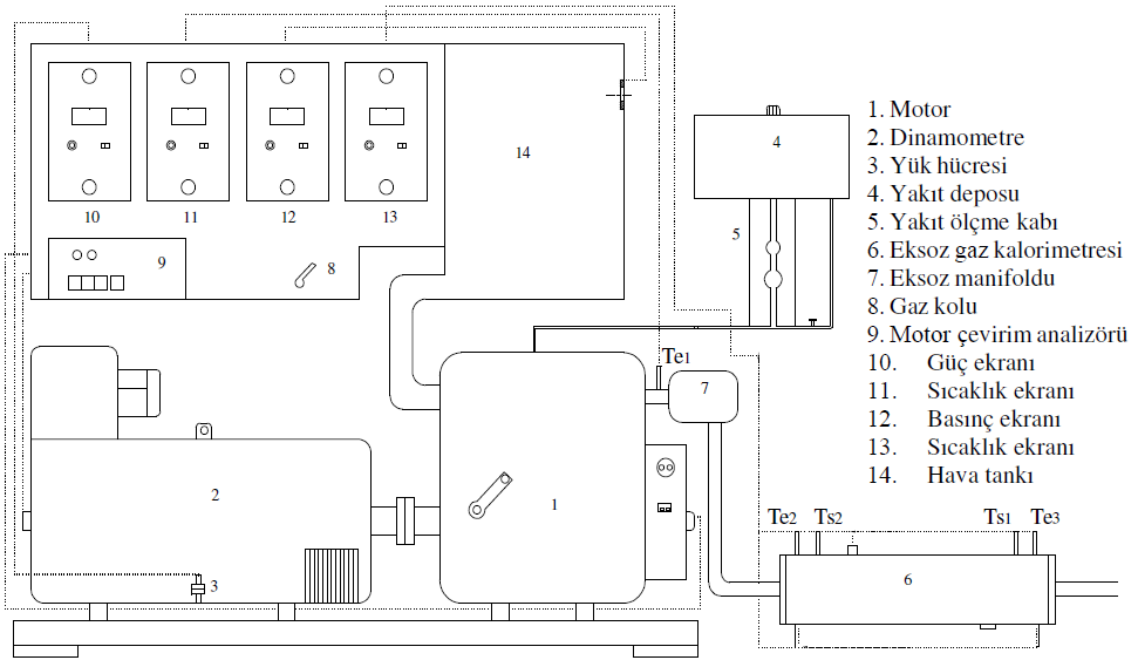
Şekil 2.1. Biyodizel üretim cihazının fotoğrafı



Şekil 2.2. Biyodizelin üretim aşamaları

2.2. Deney Düzeneği

Sunulan tez çalışmasının deneyleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneylerde Tecquipment firması tarafından üretilmiş; 4 zamanlı, tek silindirli TD 302 tipi dizel motorunda ve bu motorun bağlı olduğu TD 300 tipi bir deney düzeneği kullanılmıştır. TD 300 tipi deney düzeneğinin şematik resmi ve genel görünüşü Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te sunulmuştur. Deney sisteminde yer alan deney motorunun fotoğrafı ise Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Eksoz gaz kalorimetresinin ve eksoz emisyon ölçüm cihazının fotoğrafları ise sırasıyla Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü



Şekil 2.4. Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 2.5. Deney sisteminde bulunan tek silindirli dizel motorunun fotoğrafı



Şekil 2.6. Eksoz gazı kalorimetresinin fotoğrafı



Şekil 2.7. Eksoz emisyon ölçüm cihazının fotoğrafı

Tablo 2.2. Deney sisteminde mevcut olan motorunun teknik özellikleri

Marka	Tecquipment
Model	TD302 (Tipi;1B40T-2)
Maksimum güç	7.3 kW (9.9 hp); 3600 d/dak'da
Minimum / Maksimum devir	750 d/dak / 3600 d/dak
Motor hacmi	462 cc (0.462 lt)
Soğutma tipi	Hava Soğutmalı
Sıkıştırma oranı	20.5:1
Silindir çapı - Strok uzunluğu	88 mm - 76 mm
Krank yarıçapı - Biyel eksenleri arasındaki uzaklık	38 mm - 124 mm
Yağ kapasitesi	1.5 lt

Deneyde kullanılmış olan TD 302 tipi dizel motorunun teknik özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Deneyde kullanılmış olan BİLSA MOD 2210 eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları ise Tablo 2.3'teki gibidir.

Tablo 2.3. BİLSA MOD 2210 eksoz gazı analiz cihazının ölçüm aralıkları

BİLSA MOD 2210		
Eksoz gazları	**Ölçüm aralığı**	**Duyarlılık**
HC	0-10 000 ppm	1 ppm
CO_2	%0-20 Hac.	%0.01 Hac.
CO	%0-10 Hac.	%0.001 Hac.
O_2	%0-25 Hac.	%0.01 Hac.
Hava fazlalık katsayısı (α)	0.5-2.00	0.001
Hava yakıt oranı (AFR)	5-30	
Duman koyuluğu (is)	0-9.99 m^{-1}	0.01 m^{-1}

2.3. Motor Karakteristikleri

Tez çalışmasında, deney düzeneği üzerinden doğrudan okunan değerler dışındaki efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gibi motor karakteristiklerinin hesabında Durgun (2022) tarafından verilen hesap yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu hesap yöntemi için bir Excel programı yazılmıştır. Ölçümlerden elde edilen veriler Excel programında oluşturulan sistematik bir tabloya girilmiştir ve elde edilmiş örnek bir sonuç tablosu Tablo 2.4'te verilmiştir. Ayrıca hazırlanan Excel programına motorun ve kullanılan yakıtın bazı verileri de girilmiştir. Ölçülen verilerin girilmesinden sonra oluşturulan Excel programından yararlanarak; döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç değerleri, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim vb. gibi motor performans karakteristikleri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan motor karakteristikleri yine bir tablo olarak ekrandan okunmaktadır. Motor karakteristiklerini gösteren örnek bir tablo Tablo 2.5'te sunulmuştur.

Tablo 2.4. Ölçülen deneysel verilerin bir tablo örneği

ÖLÇÜLEN DEĞERLER										
Devir Sayısı	**n [d/dak]**	:	**750**	**1000**	**1250**	**1500**	**1750**	**2000**	**2250**	**2500**	**2750**
Ortam Basıncı	**P0 [mmHg]**	:	750.139	750.064	750.064	750.064	750.064	750.064	750.064	750.064	750.064
Ortam Sıcaklığı	**T0 [°C]**	:	29.195	29.090	29.025	29.125	29.271	29.415	29.335	29.595	29.805
Yaş Termometre Sıcaklığı	**Ty [°C]**	:	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500	23.500
Döndürme Momenti	**Md [Nm]**	:	16.380	19.225	19.920	20.310	21.124	21.460	21.530	20.810	20.565
Yakıt Tüketimi	**[ml/dk]**	:	6.900	9.845	12.410	15.180	18.759	21.650	24.575	26.500	29.730
Motora Emilen Havnın Debisi	**[g/s]**	:	2.485	3.003	3.637	4.332	5.186	5.892	6.742	7.601	8.075
Kalorimetre suyu giriş sıcaklığı	**tg [°C]**	:	21.585	21.485	21.600	21.600	21.594	21.640	21.700	21.690	21.605
Kalorimetre suyu çıkış sıcaklığı	**tç [°C]**	:	24.295	25.105	26.320	27.765	29.088	30.450	32.040	33.310	34.695
Kalorimetre suyunun debisi	**$m^{\cdot}_{su}$ [lt/dak]**	:	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200
Ortam Basıncı	**[mbar]**	:	1000.100	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000
Suyun yoğunluğu (İlgili Sıcaklıkta)	**[kg/m³]**	:	997.889	997.911	997.886	997.886	997.887	997.877	997.865	997.867	997.885
Ortam Sıcaklığı	**T0 [°K]**	:	302.195	302.090	302.025	302.125	302.271	302.415	302.335	302.595	302.805
Ortam Basıncı	**P0 [MPa]**	:	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

Tablo 2.5. Hesaplanan motor karakteristikleri için sayısal bir tablo örneği

n [d/dak]		**750**	**1000**	**1250**	**1500**	**1750**	**2000**	**2250**	**2500**	**2750**
Md [N.m]	:	16.380000	19.225000	19.920000	20.310000	21.123529	21.460000	21.530000	20.810000	20.565000
Ne [KW]	:	1.357185	2.123356	2.749555	3.365178	4.085268	4.745513	5.354700	5.755645	6.261013
Pme [Mpa]	:	0.470021	0.551521	0.571336	0.582715	0.606348	0.616300	0.618147	0.597989	0.591359
be [kg yakıt/KW.h]	:	0.254162	0.231789	0.225637	0.225509	0.229554	0.228074	0.229435	0.230172	0.237384
ηe	:	0.329583	0.361395	0.371249	0.371459	0.364914	0.367283	0.365104	0.363934	0.352878
α	:	1.771806	1.500397	1.441818	1.403963	1.360053	1.338886	1.349690	1.411119	1.336246

2.3.1. Ortam Basıncı ve Ortam Sıcaklığı

Deneylere başlamadan önce ortam basıncı, kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ölçülmüştür. Burada, P_0 (mbar) ortam basıncı bir barometre ile, $T_{yaş}$ (^oC) ve T_0 (^oC) yaş ve kuru termometre sıcaklıkları da termometreler ile manuel olarak ölçülmüş, ayrıca P_0 ve T_0 değerleri deney düzeneği üzerinden dijital olarak da okunarak çift yönlü doğrulama yapılmıştır.

2.3.2. Devir Sayısı ve Döndürme Momenti

Motorun hızı (devir sayısı) ve döndürme momenti, dinamometrenin yan tarafında bulunan bir yük ölçme birimi (loadcell) ve dinamometre şaftının üzerinde bulunan bir enkoder (encoder) yardımıyla ölçülerek dijital ekrana yansıtılır. Bu şekilde belirlenen n (d/dak) motorun devir sayısı ve M_d (Nm) döndürme momenti değerleri ekrandan dijital olarak okunmuştur.

2.3.3. Efektif Güç

Devir sayısı ve döndürme momenti yukarıda açıklandığı gibi belirlendikten sonra, motor milindeki efektif güç;

$$N_{e,1}\ [kW] = (M_d \,.\, \omega)/1000 \tag{1}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada, ω açısal hızdır ve aşağıda gibi hesaplanmıştır.

$$\omega\ [1/s] = \frac{\pi . n}{30} \tag{2}$$

Burada, n (d/dak) yukarıda da belirtildiği gibi motorun devir sayısıdır.

$N_{e,1}$ efektif gücü, deneyin yapıldığı ortam basıncı, sıcaklığı ve nemliliğindeki gücü göstermektedir. Bütün deneyleri aynı ortam koşularında yapmak mümkün olmadığından ve deney sonuçlarını bir biri ile sağlıklı biçimde karşılaştırabilmek için, efektif gücün standart ortam koşullarına dönüştürülmesi gerekir. Standart ortam koşullarına dönüştürülmüş güç,

$$N_{e,2}\ [kW] = N_{e,1} . \frac{0{,}1013}{P_0} . \frac{T_0}{293} \tag{3}$$

$$N_e\ [kW] = N_{e,2} \,.\, X_{nem} \tag{4}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada,

T_0 $[K]$: Ortam sıcaklığı,

P_0 $[MPa]$: Ortam basıncı,

X_{nem} : Nem düzeltme faktörü,

dür. Burada nem düzeltme faktörü deneyin yapıldığı ortam basıncı ile yaş ve kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak psikometri diyagramına benzer bir diyagramdan belirlenmektedir (Durgun, 2022).

2.3.4. Ortalama Efektif Basınç

Efektif güç, devir sayısı ve motorun diğer özellikleri bilindikten sonra ortalama efektif basınç,

$$P_{me}\ [MPa] = \frac{N_e . k . 60}{V_h . z . n} \tag{5}$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada,

N_e $[kW]$: Efektif güç,

$V_h = 0.462$ $[lt]$: Strok hacmi,

$Z = 1$: Silindir sayısı,

$k = 2$: Dört zamanlı motor için,

n $[d/dak]$: Motorun devir sayısı

dır.

2.3.5. Hava Debisi

Hava debisi, deney düzeneği üzerinde bulunan bir orifis-manometre düzeneği yardımıyla orifisin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı ölçülüp, aşağıda verilen 6 numaralı bağıntı yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılarak, bilgisayarda kullanılan software yazılım üzerine aktarılmaktadır. Böylece hava debisi doğrudan bilgisayar ekranından okunarak elde edilmiştir. Burada temel akışkanlar mekaniği bilgilerinden elde edilmiş

$$\dot{m}_{hava} = C_d \frac{\pi\, d^2}{4} \sqrt{\frac{2\, P_0\, \Delta P}{R\, T_0}} \tag{6}$$

bağıntısı kullanılmıştır. Burada;

$\dot{m}_{hava}\ [kg/s]$: Havanın debisi,
C_d : Orifis katsayısı (boşaltma katsayısı),
$d\ [m]$: Orifisin çapı,
$T_0\ [K]$: Ortam sıcaklığı,
$P_0\ [Pa]$: Ortam basıncı,
$\Delta P\ [Pa]$: Orifisin girişi ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü,
$R\ [J/kg.K]$: Havanın gaz sabiti

dir.

2.3.6. Hava Fazlalık Katsayısı

1 kg yakıtı yakmak amacı ile gerçekte kullanılan hava miktarının teorik olarak gereken minimum hava miktarına oranı olarak tanımlanan hava fazlalık katsayısı,

$$\alpha = \frac{h}{h_{min}} \tag{7}$$

formülüyle hesaplanmıştır. Burada h 1 kg yakıtı yakmak için motora emilen gerçek hava miktarını ve h_{min} ise 1 kg yakıtı teorik olarak tam yakmak için gerekli olan teorik (stokiometrik) hava miktarını göstermektedir. Gerçek hava miktarı, motora emilen havanın debisi ve toplam yakıt tüketiminden yararlanılarak,

$$h\ [kg\ hava\ /\ kg\ yakıt] = \frac{\dot{m}_{hava}\ [kg\ hava/s].3600}{B\ [kg\ yakıt/h]} \tag{8}$$

bağıntısından belirlenmiştir. 1 kg yakıtı yakmak için gerekli stokiometrik hava miktarını belirlemek için stokiometrik oksijen miktarından yararlanılmıştır. 1 kmol yakıtı yakmak için gerekli stokiyometrik oksijen miktarı yakıtın kapalı formülünden yararlanılarak,

$$O_{\min}\ [\text{kmol } O_2/\text{kmol yakıt}] = c + \frac{h}{4} + s - \frac{o_y}{2} \quad (9)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada c ve h yakıtın kapalı formülündeki karbonun ve hidrojenin atom sayılarıdır. Buna göre 1 kmol yakıtı yakmak için gerekli x_r özgül nemindeki stokiyometrik hava miktarı,

$$H_{\min}\ [\text{kmol hava/kmol yakıt}] = O_{\min}.(1\,kmol\ O_2 + 3{,}762\,kmol\ N_2 + 7{,}657.x_r\ kmol\ H_2O) \quad (10)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Buradan, 1 kg yakıtı yakmak için gerekli kütlesel stokiyometrik hava miktarı da,

$$h_{\min}\ [\text{kg hava/kg yakıt}] = H_{\min}.\frac{\mu_{r,hava}}{\mu_{yakıt}} \quad (11)$$

bağıntısından bulunmuştur. Son bağıntıda nemli havanın kmol kütlesi, özgül neme ve kuru havanın kmol kütlesine bağlı olarak,

$$\mu_{r,hava} = \mu_{k,hava}.(1 + x_r)/(1 + 1{,}608.x_r) \quad (12)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Burada kuru havanın kmol kütlesi,

$$\mu_{k,hava} = 28{,}9644\ [kg\ hava\ /\ kmol\ hava]$$

olarak alınmıştır. Yakıtın kmol kütlesi ise kapalı formülüne (kimyasal förmülüne) bağlı olarak,

$$\mu_{yakıt}\ [kg\ yakıt\ /\ kmol\ yakıt] = c.12{,}011 + h.1{,}008 + o_y.15{,}99 \quad (13)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Yakıt karışımları için stokiyometrik hava miktarı ise,

$$h_{\min, karışım} = \frac{\sum\left(x_i . \rho_i . h_{\min, i}\right)}{\sum\left(x_i . \rho_i\right)} \tag{14}$$

bağıntısından yararlanılarak belirlenmiştir. Bu bağıntıda, x_i her bir i. maddenin hacimsel oranıdır ve,

$$x_i = \frac{V_i}{V_{toplam}} \tag{15}$$

bağıntısından bulunmuştur.

2.3.7. Yakıt Tüketimi

Yakıtın hacimsel debisi, deney düzeneğinde bulunan 8 ml veya 24 ml'lik ölçüm olanağı sağlayan otomatik hacimsel yakıt göstergesi ve yine düzenek üzerinde yer alan zaman ölçer kullanılarak düzenek tarafından hesaplanarak software yazılımına aktarılmaktadır. Burada (ml/dak) cinsinden okunan ($\dot{m}_{yakıt}$) yakıt debisi kullanılarak toplam yakıt tüketimi,

$$B\ [kg\ yakıt/h] = \frac{\dot{m}_{yakıt} \cdot \rho_{yakıt} \cdot 60}{1000} \tag{16}$$

bağıntısından belirlenmiştir. Burada $\rho_{yakıt}$ (kg/lt) kullanılan yakıt veya yakıt karışımlarının yoğunluğunu göstermektedir. Sunulan çalışmada dizel yakıtının ve saf biyodizelin yoğunlukları Tablo 2.1'de verilmiştir.

2.3.8. Özgül Yakıt Tüketimi

B (kg yakıt/h) toplam yakıt tüketimi ve N_e (kW) efektif güç belirlendiğine göre özgül yakıt tüketimi,

$$b_e\ [kg / kW\,h] = \frac{B}{N_e} \tag{17}$$

bağıntısından hesaplanabilir.

2.3.9. Efektif Verim

Efektif verim çok iyi bilinen,

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u . b_e} \tag{18}$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada H_u (kJ/kg) kullanılan yakıt veya yakıt karışımının alt ısıl değerini göstermektedir ve aşağıda verilen Mendeleyev formülü kullanılarak belirlenmiştir (Durgun, 2022).

$$H_u[kJ/kg] = [33.91.c' + 125.6.h' - 10.89.(o_y' - s') - 2.51.(9.h' - w')].10^{-3} \tag{19}$$

Bağıntıdaki; c', h', o_y', s', w' değerleri yakıtın kapalı formülünden yararlanarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$c' = \frac{12.011\ c}{\mu_{yakıt}}, \quad h' = \frac{1.008\ h}{\mu_{yakıt}}, \quad o_y' = \frac{15.999\ o_y}{\mu_{yakıt}}, \quad s' = \frac{32.064\ s}{\mu_{yakıt}}, \quad w' = \frac{18.015\ w}{\mu_{yakıt}}$$

Burada $\mu_{yakıt}$ [kg/kmol] yakıtın kilomol kütlesidir.

2.4. Motor Performans Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Değerlerinin Değişim Oranlarının Hesaplanması

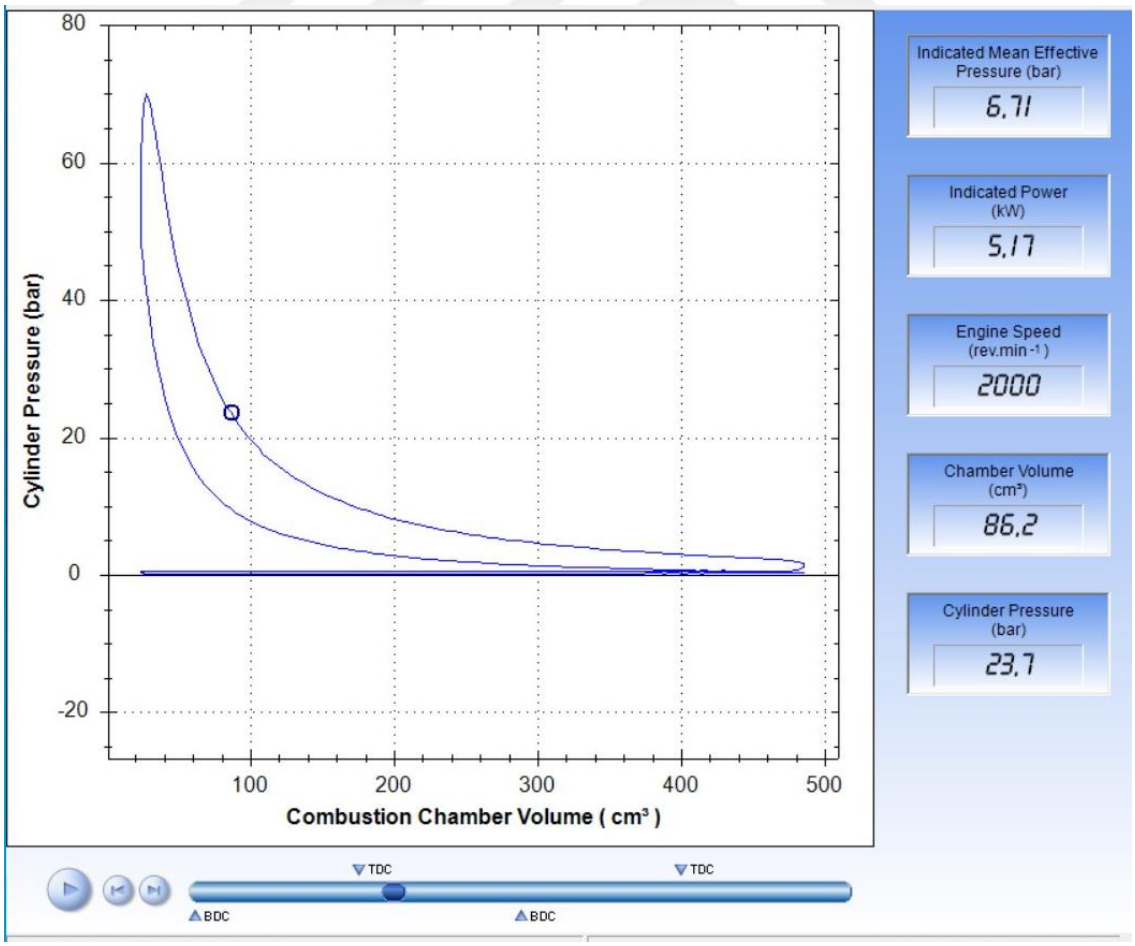
Biyodizel kullanımının motor karakteristikleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek için, bu büyüklüklerde SDY'ye göre oluşan değişiklikler orijinal olarak Durgun (1991) tarafından verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek olarak B10 yakıt karışımının, SDY göre ÖYT'ndeki değişim oranı;

$$\frac{\Delta \ddot{O}YT}{\ddot{O}YT}100[\%]=\left[\frac{\left(\ddot{O}YT_{B10}-\ddot{O}YT_{SDY}\right)}{\ddot{O}YT_{SDY}}\right].100 \quad (20)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Diğer motor karakteristikleri ve eksoz emisyonlarındaki değişimler de benzer şekilde hesaplanmıştır.

2.5. İndikatör Diyagramı

Silindir içi basınç ve krank açısı verileri, bilgisayarda kullanılan software yazılım üzerinden tablo şeklinde elde edilmiştir. İndikatör diyagramı, bu veriler kullanılarak program tarafından anlık olarak çizilmiştir. Programdan elde edilen örnek bir indikatör diyagramına ilişkin ekran görüntüsü Şekil 2.8'de verilmiştir. Ayrıca bu verilerden yararlanılarak ısı oluşumu (ısının açığa çıkma) analizi de yapılmıştır.



Şekil 2.8. Örnek bir indikatör diyagramına ilişkin orijinal ekran görüntüsü

2.6. Hata Analizi ve Belirsizlikler

Tez çalışması için yapılan deneylerde; 9 adet devir sayısı ve SDY, 5 farklı BDYK ve B100 için yapılan tüm ölçümler yirmişer kez tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalarda son yıllarda sıklıkla kullanılan ve Kline ve McClintock (Holman, 2012) tarafından sunulan belirsizlik analizi yöntemi uygulanarak hata analizi yapılmıştır. Her bir ölçümün 20 kez tekrarlanmasına karşın yine de burada "Student-t dağılımı" yöntemi uygulanmıştır.

Ölçüm sayısı 20 olduğundan, serbestlik derecesi 20-1=19 olarak alınmış ve %5 anlamlılık düzeyi ile 19 serbestlik derecesi için student-t dağılım tablosundan t değeri 2.093 olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle; efektif güç, ÖYT ve efektif verim değerlerinin belirsizlik aralıkları sırasıyla %0.25-0.91, %0.29-1.44 ve %0.29-1.44 olarak hesaplanmıştır. Böylece hesaplanan hata oranlarının kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir.

2.7. Yakıt ve Yakıt Karışımlarının Kapalı Formüllerinin Belirlenmesi

Tez çalışması için yapılan deneylerde kullanılan dizel yakıtının kapalı (kimyasal) formülü belirlenirken, Heywood (1988) ve Pulkrabek'in (2004) yaklaşımları bir arada kullanılmıştır. Pulkrabek'e (2004) göre, karbonun kapalı formüldeki *c* atom sayısı 12.3'tür. Heywood'a (1988) göre, hafif dizel yakıtının kapalı formülü $C_nH_{1.8n}$'dir. Burada; Pulkrabek'in (2004) belirttiği karbon atom sayısı, Heywood'un (1988) vermiş olduğu kapalı formülde yerine yazılarak dizel yakıtı için kapalı formül belirlenmiştir. Biyodizelin kapalı formülü ise, Gülüm'ün (2104) çalışmasında belirttiği üretim parametreleri kullanıldığından bu çalışmada verilmiş olan kapalı formül olarak alınmıştır. Böylece dizel ve biyodizel yakıtlarının kapalı formülleri sunulan çalışmada,

Dizel Yakıtının Kapalı Formülü : $C_{12.3}H_{22.14}$

Biyodizel Yakıtının Kapalı Formülü : $C_{18.77}H_{35.16}O_2$

şeklinde kullanılmıştır.

Yakıt karışımlarının kapalı formülü belirlenirken, kmol sayılarının oranları aynı zamanda hacimsel oranlara eşdeğer olduğundan, her bir karışımın hacimsel oranına bağlı olarak kapalı formüller belirlenmiş ve Tablo 2.1'de verilmiştir (Durgun, 2022).

2.8. Açığa Çıkan Isı Oranının Belirlenmesi

Deneyler sırasında ölçülen silindir basıncı verilerinden yaralanarak açığa çıkan ısı oranları belirlenebilmektedir. Sunulan tez çalışmasında, açığa çıkan ısı oranı için literatürden çok iyi bilinen (Heywood, 1998) aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta}\left[J/derece\right]=\frac{\gamma}{\gamma-1}P\frac{dV}{d\theta}+\frac{1}{\gamma-1}V\frac{dP}{d\theta} \tag{21}$$

Denklem 20'de belirtilen; Q (J/derece) açığa çıkan ısı oranını, P (bar) silindir basıncını, V (cm^3) silindir hacmini, γ özgül ısıların oranını ($\gamma = C_p/C_v$) ve θ (derece) krank açısını göstermektedir. Burada, emme supabının kapanmasından eksoz supabının açılmasına kadar olan KMA aralığı boyunca açığa çıkan ısının analizi yapılmıştır. Ortalama silindir sıcaklıkları ise ideal gaz denkleminden belirlenmiştir.

2.9. Yanma Süresi Hesabı İçin Ampirik Bağıntının Elde Edilmesi

Sunulan tez çalışmasında açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak yanma süreleri belirlenmiştir. Literatüre göre, açığa çıkan ısı oranının maksimum değerinin %10'u ile %90'ını oluşturan KMA aralığı, yanma süresi olarak alınabilmektedir (Muinos vd., 2017; Singh vd., 2015; Zhang vd., 2014). Böylece, açığa çıkan ısı analizi eğrisinden yararlanarak; seçilen devir sayılarında, SDY, seçilen tüm BDYK ve B100 için yanmanın başladığı ve tamamlandığı KMA'sı değerleri ve yanma süreleri belirlenmiştir.

Deneysel olarak bu şekilde belirlenen yanma süresi değerlerinden yararlanılarak, deney yapılmayan biyodizel oranları ve devir sayıları için yanma sürelerini belirleyebilmek ve deney sayısını daha aza indirmek için bir ampirik yanma süresi bağıntısının geliştirilmesi düşünülmüştür. Aslında bu bağıntıdan yararlanarak biyodizelin yanma ve yanma süresi üzerindeki etkileri daha belirgin olarak görülebilecektir. Söz konusu ampirik bağıntı elde edilirken Tuti ve arkadaşlarının (2021) uygulamış oldukları yaklaşıma benzer olarak aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir;

Burada yanma süresinin aşağıda gösterildiği gibi iki değişkene bağlı, ikinci dereceden bir polinom olarak alınması düşünülmüştür.

$$t_y = f(r,n) \tag{22}$$

burada; t_y yanma süresini, r karışım oranını ve n de devir sayısını göstermektedir. Yanma süresi bağıntısında iki tane bağımsız değişken yer aldığı için ampirik bağıntı oluşturulurken işlemler iki aşamada yapılmıştır.

1) n = *sabit* değerleri için r'ye bağlı olarak

n=1000 d/dak için $t_{y,1} = a_{0,1} + a_{1,1}.r + a_{2,1}.r^2$

n=1500 d/dak için $t_{y,2} = a_{0,2} + a_{1,2}.r + a_{2,2}.r^2$

n=2000 d/dak için $t_{y,3} = a_{0,3} + a_{1,3}.r + a_{2,3}.r^2$

n=2500 d/dak için $t_{y,4} = a_{0,4} + a_{1,4}.r + a_{2,4}.r^2$

şeklinde polinomlar uydurulmuştur.

Bu polinomlar her bir devir sayısı için 7 kez (her bir yakıt ve yakıt karışımı için ayrı ayrı) oluşturulmuştur. Oluşturulan denklem takımı, en küçük kareler yöntemi kullanılarak üç bilinmeyenli üç denklem şekline dönüştürülüp, 3x3'lük katsayılar matrisinden yararlanarak a_0, a_1, a_2 katsayıları elde edilmiştir.

2) Bulunan (a_0, a_1, a_2) katsayıları için de ayrı devir sayısına bağlı olarak

$$a_0 = b_0 + b_1.n + b_2.n^2$$

$$a_1 = c_0 + c_1.n + c_2.n^2$$

$$a_2 = d_0 + d_1.n + d_2.n^2$$

şeklinde polinomlar uydurulmuştur.

Bu polinomlar önceki adımda belirlenen dörder adet a_0, a_1, a_2 değerleri için ayrı ayrı yazılarak yeni denklem takımları oluşturulmuştur. Böylece düzenlenen denklem takımlarının birinci adımdaki gibi, en küçük kareler yöntemi ve matris çözümleri yapılarak; b_0, b_1, b_2, c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2 katsayıları elde edilmiştir. Bu matematiksel işlemler için bir Excel programı yazılmıştır.

Son olarak, birinci adımda oluşturulan polinomda bulunan a katsayıları yerine ikinci adımda elde edilen b, c ve d katsayılı açılımları yazılarak aşağıda verilen ampirik yanma süresi bağıntısı elde edilmiştir.

$$t_y = \left[b_0 + b_1.n + b_2.n^2\right] + \left[c_0 + c_1.n + c_2.n^2\right].r + \left[d_0 + d_1.n + d_2.n^2\right].r^2 \tag{23}$$

Sunulan tez çalışmasında hesaplanan katsayılar denklem 23'te yerine yazılarak tez çalışmasında kullanılan motor ve yakıtlar için ampirik yanma bağıntısı aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$t_y = \left[4{,}99307 + 0{,}00846.n - 1{,}2.10^{-6}.n^2\right] + \left[1{,}657885 - 0{,}00451.n + 2{,}01.10^{-6}.n^2\right].r + \left[-1{,}12236 + 0{,}002637.n - 1{,}3.10^{-6}.n^2\right].r^2 \quad (24)$$

Deneyleri yapılan karışım oranları ve devir sayıları, ampirik bağıntının doğruluğunu test etmek için 24 nolu bağıntıda yerine yazıldığında hata oranının ortalama %(1-1.5) düzeylerinde olduğu görülmüştür. Böylece geliştirilen ampirik bağıntının gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiğini anlaşılmaktadır.

2.10. SDY, B100 ve Farklı BDYK İçin Enerji Dengesi Hesabı

Sunulan tez çalışmasında dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve yakıt karışımları kullanımı durumları için enerji dengesi hesabı da yapılmıştır. Taşıt motorlarında silindirde yakıtın yakılmasıyla elde edilen efektif güç, taşıtı hareket ettirmek için kullanılmaktadır ve doğal olarak harcanan biyodizel ve biyodizel/dizel yakıtı karışımları durumlarında bu gücün mümkün olduğunca artırılması istenir. Yakılan yakıtın ısıl enerjisinin yaklaşık %(30-40)'lık bölümü yararlı işe dönüştürülebilmektedir. Geriye kalan diğer enerji ise, çeşitli kayıplar şeklinde harcanmaktadır. Sunulan çalışmada başlıca kayıplar; mekanik kayıplar, eksoz gazları ile dışarı atılan kayıplar ve diğer kayıplar şeklinde gruplandırılmış ve hesaplar bu yaklaşıma göre yapılmıştır.

Yakıtın yakılması sonucu üretilen N_e (kW) efektif gücü, yukarıda verilen 3 nolu bağıntıdan belirlenmiştir. Yakıt enerjisi ise,

$$Q_{yakıt}[kW] = \dot{m}_{yakıt} . H_u \quad (25)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada; $\dot{m}_{yakıt}$ (kg/s) harcanan yakıtın debisini ve H_u (kJ/kg) yakıtın alt ısıl değerini göstermektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi; $\dot{m}_{yakıt}$ (kg/s) deneysel olarak ölçülmüştür ve H_u (kJ/kg) yakıtın alt ısıl değeri de 19 nolu Mendeleyev förmülünden hesaplanmıştır.

Eksoz gazlarına giden enerji veya başka bir anlatımla eksoz gazları ile çevreye atılan enerji,

$$Q_{eks}[kW] = \dot{m}_{eks} \,.\left(C_{p,eks} \,.\, T_{eks} - \; C_{p,0} \,.\, T_0\right) \tag{26}$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada; $\dot{m}_{eks}$ (kg/s) eksoz gazlarının debisini, $C_{p,eks}$ (kJ/kg.K) eksoz gazlarının özgül ısısını, $C_{p,0}$ (kJ/kg.K) ortam havasının özgül ısısını, T_{eks} (K) eksoz gazlarının sıcaklığını ve T_0 (K) ortam sıcaklığını göstermektedir. Burada, $\dot{m}_{eks}$ hava ve yakıt debilerinin toplamı olarak

$$\dot{m}_{eks} = \dot{m}_{yakıt} + \dot{m}_{hava} \tag{27}$$

ve $C_{p,eks}$ değeri, ise ilgili devirde ölçülen eksoz gazı sıcaklığındaki havanın özgül ısısı olarak alınmıştır.

Mekanik kayıplara giden enerji,

$$Q_{mek}[kW] = N_i - N_e \tag{28}$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada; N_i (kW) indikatör diyagramından elde edilen indike gücü ve N_e (kW) de efektif gücü göstermektedir. Burada, N_i (kW) indike gücü, deneysel olarak elde edilen indikatör diyagramının alanından belirlenmiştir.

Diğer kayıplara giden enerji de,

$$Q_{diğ}\,[kW] = Q_{yakıt} - Q_{eks} - Q_{mek} - N_e \tag{29}$$

bağıntısından hesaplanmıştır ve bu kayıplar motorun diğer geriye kalan bütün kayıplarını içermektedir. Söz konusu kayıplar deney sisteminde ölçülen veriler ile hesaplanamamaktadır ve bu kayıpları hesaplamak için daha ayrıntılı ölçümlerin yapılabildiği deney sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

SDY, BDYK ve B100 ile çalıştırılan tek silindirli bir dizel motorunun performans karakteristiklerine, eksoz emisyonlarına, yanma parametrelerine ve enerji dengesine ilişkin bulgular bu bölümde sunulmuş ve irdelenmiştir. Sunulan tez çalışmasında elde edilen sonuçların sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için aşağıdaki sıra izlenecektir. İlk önce Bölüm 3.2'de; motor performans değerlendirmesi için; seçilen tüm devir sayılarında döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı verileri sunulmuştur. Bunun yanı sıra yine Bölüm 3.2'de; seçilen (1000, 1500, 2000, 2500) d/dak devirlerinde, artan biyodizel oranlarına bağlı olarak seçilen motor performans karakterlerinin değişim eğrileri ve SDY'ye göre artma-azalma miktarları sütun grafikleri biçiminde sunulmuştur. Ardından Bölüm 3.3'de; belirlenen yakıt ve yakıt karışımları için (1000, 1500, 2000, 2500 ve 2750) d/dak devirlerinde CO, CO_2, HC ve is gibi eksoz emisyon değerleri eğrisel grafikler olarak sunulmuş. Ayrıca B100 ve seçilen BDYK'nin SDY'ye göre artma azalma sütun grafikleri de sunulmuştur. Bölüm 3.4'te; seçilen tüm yakıt ve yakıt karışımlarının (1000, 1500, 2000, 2500) d/dak devirleri için; silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri grafikler ve tablolar şeklinde sunulmuştur. Ayrıca; yanma sonunda açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yaralanarak elde edilen yanma süreleri ve oluşturulan ampirik bağıntıdan yararlanarak, farklı devir sayıları ve karışım oranları için elde edilen yanma süreleri tablolar şeklinde sunulmuştur. Son olarak Bölüm 3.5'te SDY, B100 ve seçilen BDYK için (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devirlerinde; silindire sokulan yakıt enerjisine göre enerji dengesi hesabı yapılarak, sonuçlar pasta ve sütun biçimindeki şekillerle verilmiş ve yorumlanmıştır. Böylece, sunulan tez çalışmasında.farklı biyodizel oranlarının ve devir sayısının enerji dengesi üzerindeki etkileri de irdelenmiştir.

3.2. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Bu bölümde, deneylerdeki ölçümlerden ve yapılan hesaplamalardan elde edilen döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve hava fazlalık katsayısı gibi motor performans karakteristikleri grafikler şeklinde sunulmuştur. Sonuçların sunumunda öncelikle farklı SDY ve BDYK'nin devir sayısına göre değişimleri sunulmuştur. Burada motor performans parametrelerinin değişimleri, seçilen yakıt ve yakıt karışımları için; tam gaz konumunda (1/1 gaz) , (750, 1000,1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak gibi devir sayılarında ve 20.5 sabit sıkıştırma oranında incelenmiştir. Ardından BDYK'nin etkisini daha iyi anlayabilmek için motor karakteristiklerinin biyodizel oranına göre değişimleri sunulmuştur. Ayrıca, burada motor karakteristiklerinde saf dizel yakıtına göre meydana gelen artma ve azalma oranları 20 bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır ve sonuçlar sütun eğrileri şeklinde verilmiştir.

3.2.1. SDY, B100 ve Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Değişken Devir Sayılarına Göre İncelenmesi

Bu bölümde; tam gaz durumunda (1/1 gaz) SDY'nin, 5 farklı biyodizel karışımının ve saf biyodizelin motor karakteristikleri üzerindeki etkileri farklı devir sayılarında eğriler şeklinde sunulmuştur ve irdelenmiştir.

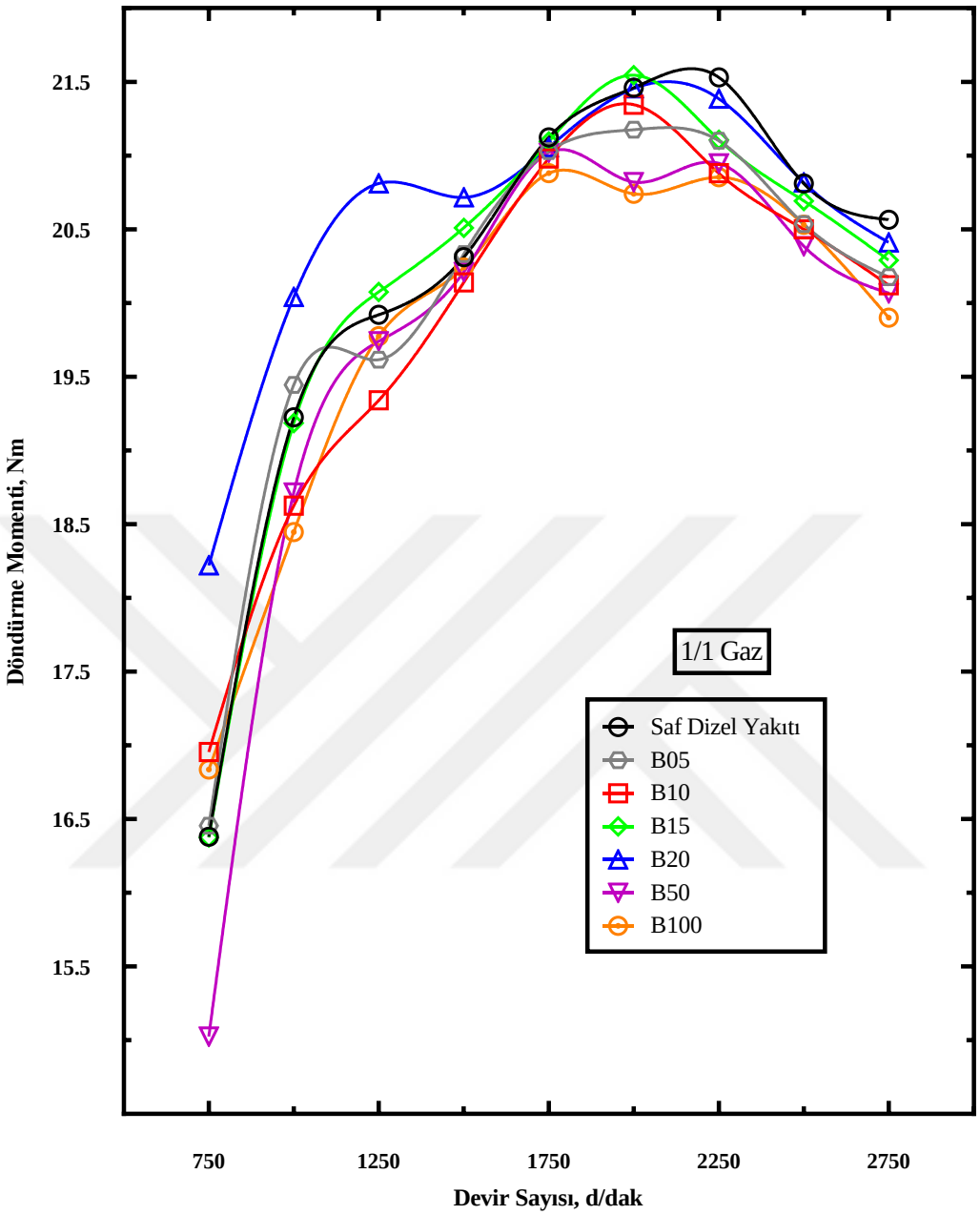
3.2.1.1. Döndürme Momenti, Efektif Güç ve Ortalama Efektif Basınç

Şekil 3.1'de SDY, B100 ve seçilen BDYK için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi; B100 ve seçilen BDYK için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimleri, SDY ile aynı karakteristiği göstermiştir. Literatürden bilindiği gibi (Heywood, 1988; Durgun, 2022); içten yanmalı motorlarda döndürme momenti, belirli bir devir sayısına kadar artar, maksimum değerine ulaştıktan sonra devir sayısı ile azalmaya başlar. Ancak dizel motorlarının moment karakteristiği benzin motorlarına göre biraz daha düz yapıdadır. Bu nedenle; literatürden dizel motorlu taşıtların farklı yol koşullarına uyumunu sağlayabilmek için daha yüksek kademeli vites kutuları kullanılması gerektiği bilinmektedir (Durgun, 2022). Şekil 3.1'den

anlaşılabileceği gibi, B100 ve seçilen BDYK için döndürme momenti değerleri genel olarak SDY'nin değerlerinden biraz daha düşük çıkmıştır. (750 d/dak –1000 d/dak) gibi düşük devirlerde motorun çalışmasındaki bazı karasızlıklardan dolayı B100 ve seçilen biyodizel karışımları için moment değerleri SDY'ndan düşük olmuştur. Ancak devir sayısı arttıkça saf biyodizelin ve seçilen biyodizel karışımlarının moment değerleri SDY'nin değerlerine yaklaşmıştır. Yani yüksek devirlerde biyodizelin motor performansı üzerindeki iyileştirici etkileri daha baskın olmuştur. Burada sayısal değerlere bakılacak olursa, örneğin 2500 d/dak'da SDY'nin döndürme momenti değeri 20.81 Nm olarak hesaplanmıştır. Aynı devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50 ve B100 için döndürme momenti değerleri sırasıyla (20.54, 20.50, 20.69, 20.82, 20.39 ve 20.53) Nm olarak elde edilmiştir. Söz konusu devir sayısında B05, B10, B15, B50, B100 kullanımı ile döndürme momentinde, SDY'ye göre sırasıyla ortalama olarak %1.3, %1.5, %0.6, %2, %1.3 oranlarında azalmalar olmuştur. B20 karışımında ise SDY'ye yakın moment değeri elde edilmiştir.

Genel olarak bakıldığında içerisinde (yapısında) biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımlarının döndürme momenti değerlerinde SDY'ye göre ortalama olarak %(1-2)'lik bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. B100 ve seçilen BDYK için döndürme momentlerinin düşük olmasının; dizel yakıtına göre biyodizelin ısıl değerinin ~%13 oranında düşük olmasından ve viskozitesinin ~%55.4 oranında yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isıl değerin düşük olması açığa çıkan enerjinin azalmasına neden olmaktadır. Viskozitenin yüksek olması ise enjektörlerden silindir içerisine püskürtülen yakıtın iyice atomize olamamasına neden olarak yanmayı kötüleştirdiği söylenebilir. Ancak bu olumsuzluklara karşın biyodizelin yapısında oksijen bulunmasının öte yandan yanmayı iyileştirdiği ve bu olumsuzlukları büyük ölçüde giderdiği söylenebilir. Bu nedenlerle moment değerleri, B20 yakıt karışımına kadar SDY'ye yaklaşmakta ve daha yüksek karışım oranlarında ise artan viskozite ve düşen ısıl değerler yüzünden tekrar bir azalma göstermektedir.

Bilindiği gibi dizel motorlarında, efektif güç eğrisinin karakteristiği; devir sayısının artmasıyla birlikte nominal devir sayısına kadar artarak devam eder, ancak nominal devirden sonra artan mekanik kayıplar ve düşen volümetrik verim nedenleriyle düşmeye başlar. Şekil 3.2'de SDY, B100 ve seçilen BDYK için efektif gücün devir sayısına göre değişimi verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi; deney sisteminde çok yüksek devir sayılarına çıkılamadığından efektif gücün maksimum değeri gözlenememiştir (nominal devire ulaşılamamıştır) ve efektif güç eğrileri devir sayısı ile sürekli artan bir karakterde olmuştur.



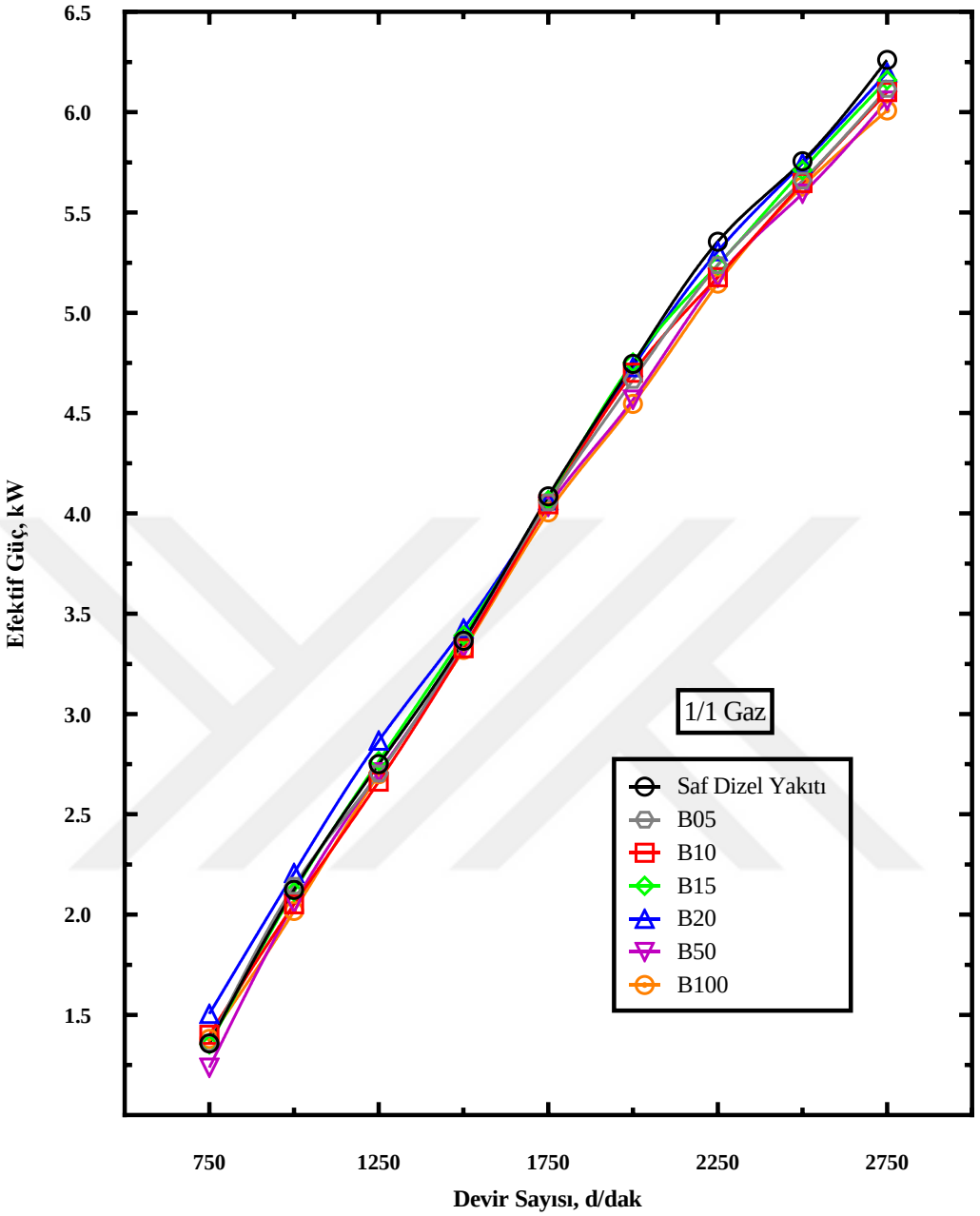
Şekil 3.1. SDY, B100 ve farklı BDYK için döndürme momentinin devir sayısına göre değişimleri

Yukarıda da belirtildiği üzere, Şekil 3.2'de SDY, B100 ve seçilen BDYK için efektif güç değerlerinin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. B100 ve seçilen BDYK için efektif güç değerlerinin, moment değerlerinde olduğu gibi, kararlı motor devir sayılarında SDY'den biraz daha düşük çıkmıştır. Ancak, ilgili şekilden görülebileceği gibi efektif güçteki azalmalar oldukça düşük düzeylerdedir. Burada da sayısal değerlere bakıldığında

yine 2500 d/dak'da SDY'nin efektif güç değeri 5.756 kW olarak elde edilmiştir. 2500 d/dak'da B05, B10, B15, B20, B50 ve B100 için efektif güç değerleri sırasıyla (5.659, 5.647, 5.711, 5.745, 5.594 ve 5.629) kW olarak belirlenmiştir. Söz konusu devir sayısında, B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 kullanımı için efektif güçte SDY'ye göre sırasıyla ortalama olarak %1.7, %1.9, %0.8, %0.2, %2.8, %2.2 oranlarında azalmalar olmuştur.

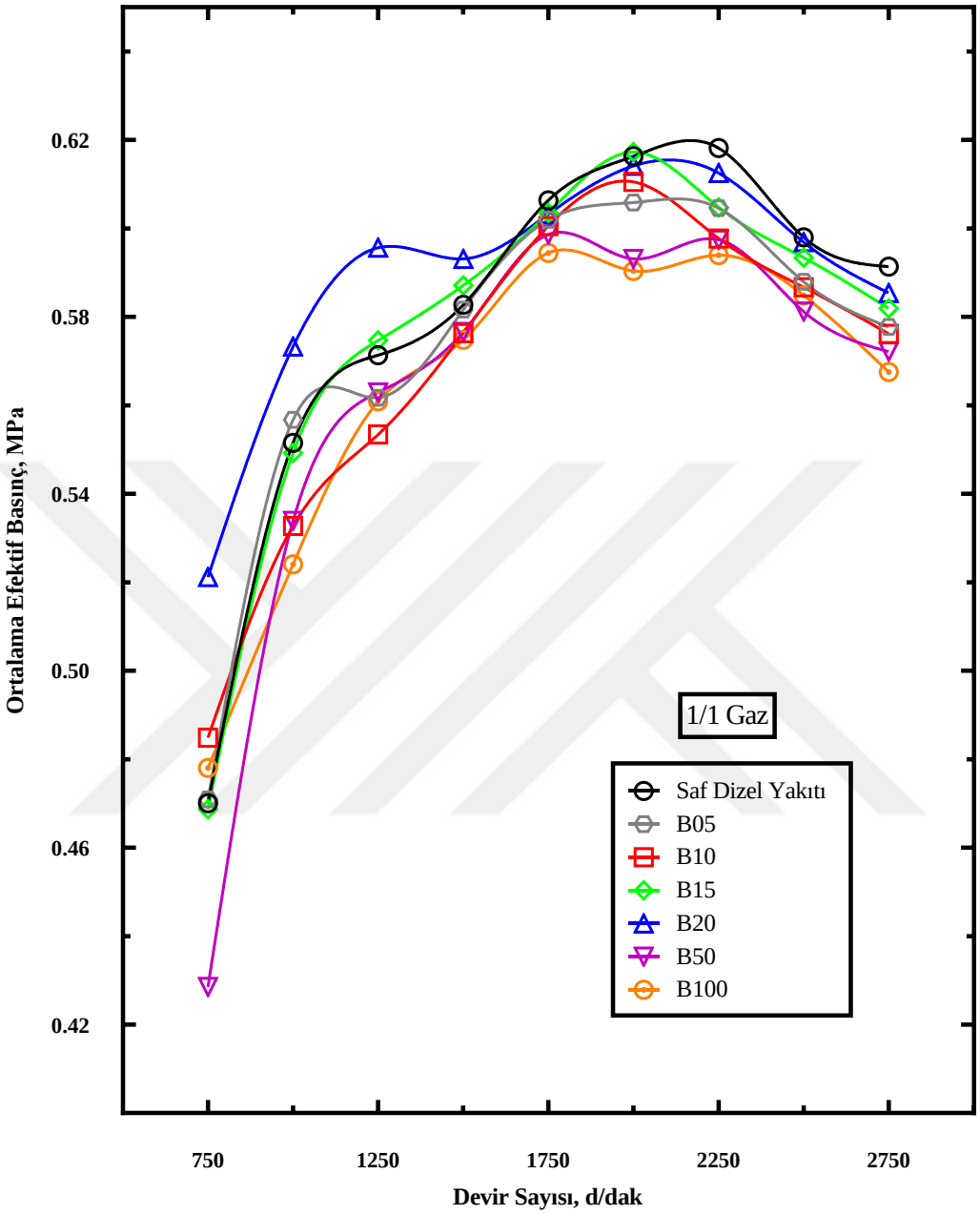
Genel olarak bakıldığında içerisinde biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımları için efektif güç değerlerinde SDY'ye göre %(0-3)'lük bir azalma oluşmuştur. Bu azalmanın, moment karakteristiğinde de açıklandığı gibi, biyodizelin düşük ısıl değerinden ve yüksek viskoziteli oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Aslında biyodizelin ısıl değeri SDY'nin ısıl değerinden yaklaşık %13 daha düşüktür. Biyodizelin ısıl değerindeki bu önemli düşüklüğe karşın efektif güçteki azalmalar daha düşük çıkmıştır. Bunun olası nedeninin; biyodizelin kimyasal yapısında bulunan oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi, oksijenin yanmayı iyileştirerek ısıl değerler aradaki söz konusu yüksek farkı önemli ölçüde dengelemektedir. Buna ek olarak viskozitenin yüksek olması püskürtülen yakıtın ince parçacık ayrılmasını bozmakla birlikte, pompa kaçaklarının azalmasına ve hacimsel olarak az da olsa motora daha fazla yakıt gitmesini sağlamaktadır. Böylece güç ve moment değerlerindeki düşüş belirli ölçüde dengelenmiş olabilir.

Literatürden bilindiği gibi, dizel motorlarında, ortalama efektif basınç eğrisi ile döndürme momenti eğrisi benzer karakterlere sahiptir (Durgun, 2022). Ancak döndürme momentinin motor boyutlarına bağlı bir büyüklük olmasına karşın, ortalama efektif basınç motor boyutlarından bağımsız bir büyüklüktür ve bu yüzden farklı boyutlardaki motorların karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir karakteristiktir. Bu nedenle, sunulan tez çalışmasında ortalama efektif basınç değerlerinin devir sayısına göre değişimleri de verilerek irdelenmiştir.



Şekil 3.2. SDY, B100 ve farklı BDYK için efektif gücün devir sayısına göre değişimleri

Şekil 3.3'te SDY, B100 ve seçilen BDYK için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi, döndürme momentindeki değerlere benzer şekilde, yapısında biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımlarının ortalama efektif basınç değerlerinde SDY'ye göre ortalama olarak %(1-2)'lik bir azalma görülmüştür. Bu azalmanın, moment karakteristiğinde de açıklandığı gibi, biyodizelin düşük ısıl değerinden ve yüksek viskoziteli oluşundan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 3.3. SDY, B100 ve farklı BDYK için ortalama efektif basıncın devir sayısına göre değişimleri

3.2.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi ve Efektif Verim

Dizel motorlarında; ÖYT eğrisinin karakteristiği, orta devir sayılarına (~0.6 n_N) kadar azalır ancak orta devir sayılarından sonra yeniden artmaya başlayan yapıdadır (Heywood,

1988; Durgun, 2022). Motorun devir sayısı arttıkça mekanik kayıpların artması, volümetrik verimin düşmesi ve yanma için gerekli sürenin azalması gibi nedenlerle ÖYT artmaya başlar. Şekil 3.4'te görülebildiği gibi seçilen tüm yakıt ve yakıt karışımları için tipik ÖYT karakteristiğine benzer eğrilerin elde edildiği görülmektedir. Efektif verim eğrisinin değişimi ise doğal olarak ÖYT eğrisinin basitçe tersi bir yapıda olur, yani motor ne kadar verimli çalışırsa o düzeyde az yakıt harcar.

Şekil 3.4'te; SDY, B100 ve seçilen BDYK için ÖYT'nin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. B100 ve seçilen tüm BDYK için ÖYT değerlerinin SDY'den yüksek olduğu gözlenmiştir. 2500 d/dak'da SDY için ÖYT değeri 0.230 kg yakıt/kWh olarak belirlenmiştir. Aynı devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50 ve B100 için ÖYT değerleri sırasıyla (0.238, 0.245, 0.242, 0.242, 0.254 ve 0.276) kg yakıt/kWh olmuştur. Söz konusu devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50 ve B100 kullanımı durumunda ÖYT'de SDY'ye göre sırasıyla ortalama %3.5, %6.5, %5.2, %5.2, %10.4 ve %20 oranlarında artışlar görülmüştür.

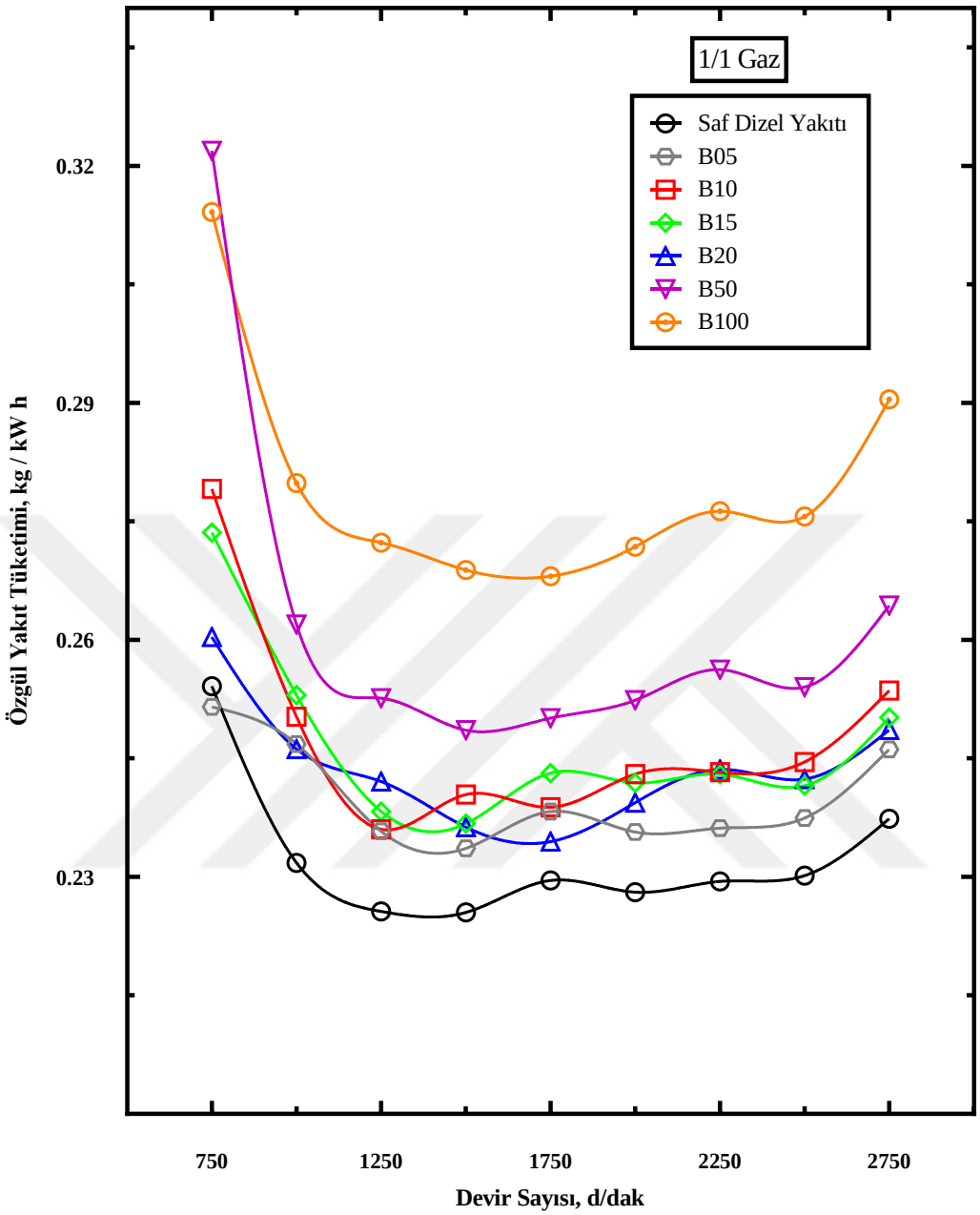
Genel olarak bakıldığında yapısında biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımlarının ÖYT değerlerinde SDY'ye göre ortalama %(3-20)'lik bir artma oluşmuştur. Bu artışın temel nedenleri; biyodizelin düşük ısıl değeri, aynı devir sayısını elde etmek için silindir içerisine daha fazla yakıt gönderilmesi ve biyodizelin yoğunluğunun daha yüksek olması nedeniyle silindire kütlece daha fazla yakıtın girmesi şeklinde sıralanabilir. Burada SDY'nin ÖYT'ye en yakın değeri veren karışımın B05 olmasına karşın genel olarak bütün motor karakteristikleri göz önüne alındığında; en uygun karışım oranının %15 - %20 civarında olduğu söylenebilir.

Başlıca literatürde de benzeri sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir (Kondaia vd., 2021; Mubarek vd., 2021; God vd., 2021; Asokan vd., 2021; Ogunkunle ve Ahmed, 2020). Yani, ÖYT'nin biyodizel kullanımı ile genel olarak arttığı açıklanmaktadır. Örneğin Kondaiah ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptıkları çalışmada; tek silindirli bir deney motorunda SDY, B100 ve 4 farklı BDYK'nin motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Söz konusu çalışmada %20, %40, %60, %80 BDYK için ÖYT'nin arttığı görülmüştür. %75 yük durumunda söz konusu karışımlar için ÖYT, SDY'ye göre sırasıyla %5.8, %8.5, %11.1 ve %13.5 oranlarında artmıştır. Ayrıca SDY için ÖYT 0.32 kg/kWh iken B100 içim ÖYT değeri 0.47 kg/kWh olmuştur. Sathyamurthy vd. (2021) tek silindirli bir dizel motorunda 3 farklı biyodizel karışımlarının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonunda; %10, %20, %30

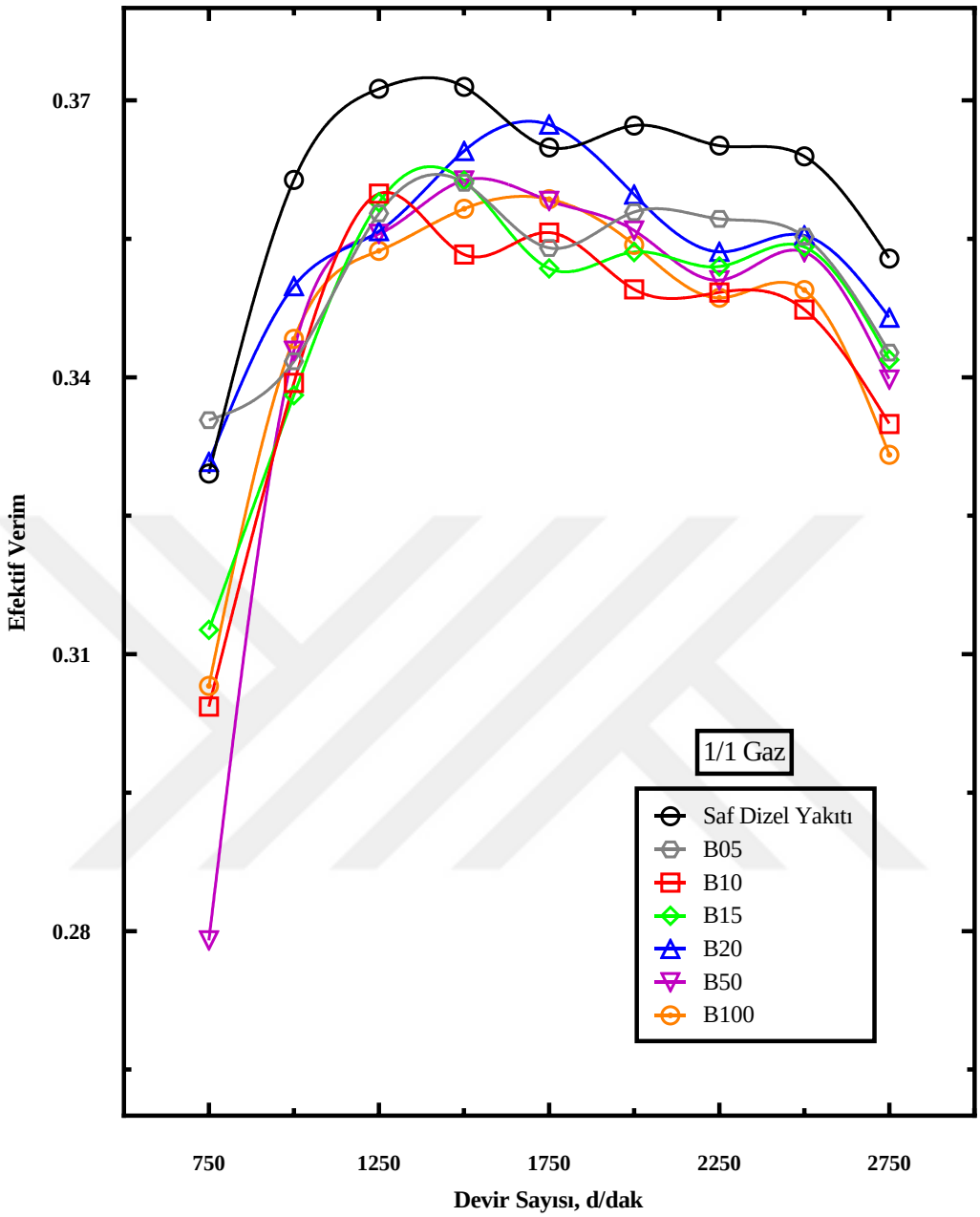
biyodizel karışımları ve SDY için ölçülen ÖYT değerleri sırasıyla (0.255, 0.260, 0.265 ve 0.250) kg/kWh olmuştur. Buradan da biyodizel kullanımı ile ÖYT'nin arttığı görülebilir. İlgili çalışmalarda, ÖYT'deki artışların biyodizelin yüksek vizkozitesi ve düşük alt ısıl değerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlar yapılmıştır.

Şekil 3.5'te SDY ve B100 ile BDYK için efektif verimin devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi, B100 ve seçilen tüm BDYK için efektif verim değerlerinin SDY'den daha düşük olduğu anlaşılabilir. 2500 d/dak'da SDY için efektif verim değeri 0.364 olarak elde edilmiştir. 2500 d/dak'da B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için efektif verim değerleri sırasıyla 0.355, 0.347, 0.354, 0.355, 0.354 ve 0.350 olarak belirlenmiştir. Böylece; söz konusu devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50, B100 kullanımı ile efektif verimde SDY'ye göre sırasıyla ortalama olarak %2.5, %4.7, %2.7, %2.5, %2.7, %3.9 oranlarında azalmalar oluştuğu görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında yapısında biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımlarının efektif verim değerlerinde SDY'ye göre ortalama olarak %(2-4)'lük azalmalar oluşmuştur. Bu azalmaların da daha önce belirtilen nedenlerden dolayı özgül yakıt tüketiminin artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Fakat efektif verimdeki azalma özgül yakıt tüketimindeki artışa oranla oldukça düşük değerlerdedir. Bunun nedeninin biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtından ~ %13 düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 3.4. SDY, B100 ve farklı BDYK için ÖYT'nin devir sayısına göre değişimleri

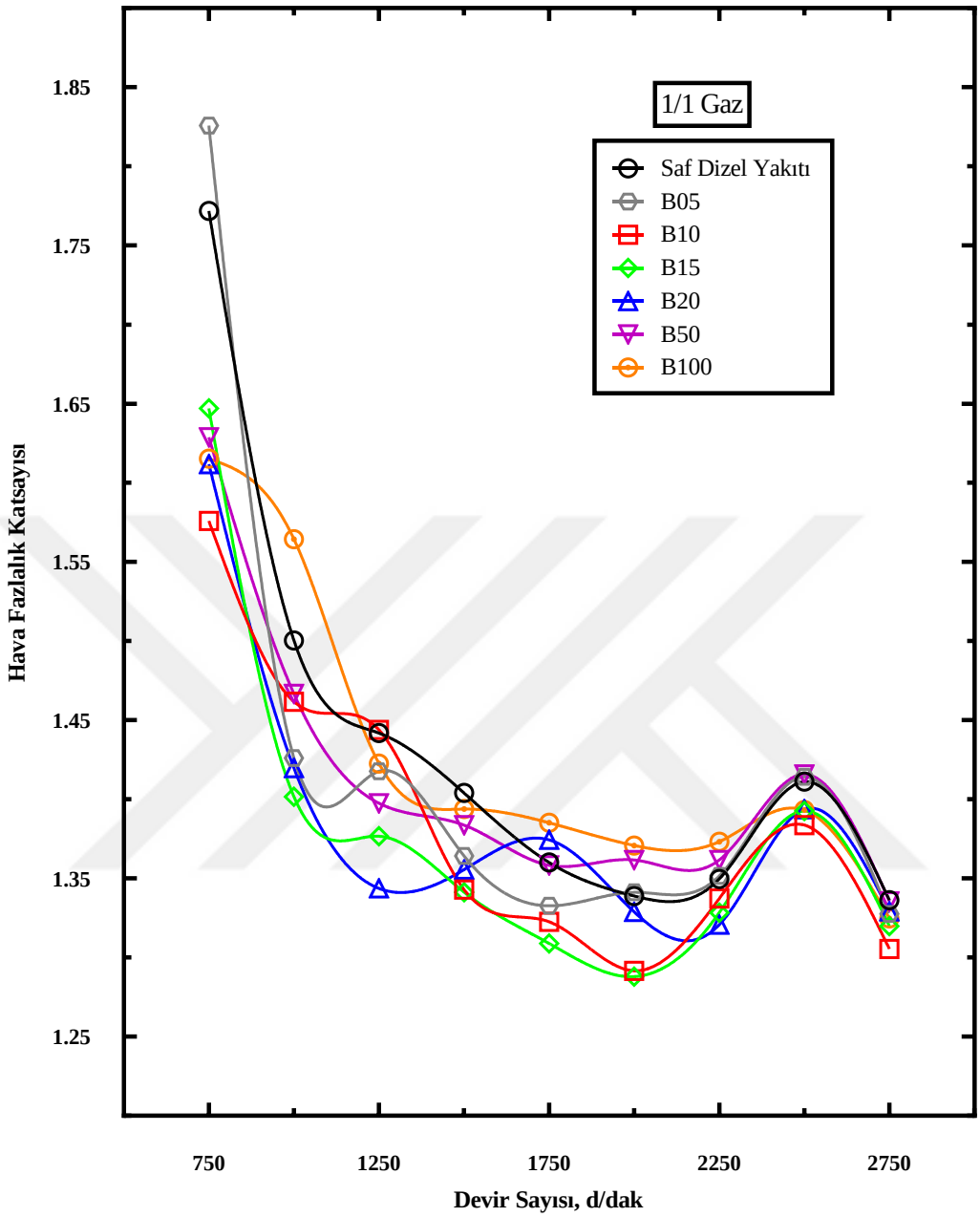


Şekil 3.5. SDY, B100 ve farklı BDYK için efektif verimin devir sayısına göre değişimleri

3.2.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı

Şekil 3.6'da, SDY ve B100 ile BDYK için hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimleri verilmiştir. Bu eğrilerden B100 ve seçilen tüm BDYK için hava fazlalık katsayısı değerlerinin SDY'den daha düşük değerler aldığı görülmektedir. 2500 d/dak'da

SDY'nin hava fazlalık katsayısı değeri 1.411 olarak hesaplanmıştır. Aynı devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için hava fazlalık katsayısı değerleri sırasıyla 1.414, 1.384, 1.393, 1.394, 1.416 ve 1.393 olarak belirlenmiştir. Söz konusu devir sayısında B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 kullanımı ile hava fazlalık katsayısında SDY'ye göre sırasıyla ortalama %0.2, %1.9, %1.3, %1.2, %0.4 ve %1.3 oranlarında azalmalar oluşmuştur. Genel olarak bakıldığında yapısında biyodizel bulunduran yakıt ve yakıt karışımlarının hava fazlalık katsayısı değerlerinde SDY'nin hava fazlalık katsayısı değerine göre ortalama olarak %(0-2)'lik azalmanın oluştuğu görülebilir. Buradan biyodizel kullanımı ile motorun daha zengin karışımla çalıştığı anlaşılabilir. Özgül yakıt tüketiminin artmasında başka önemli faktörlerin yanında, hava fazlalık katsayısının azalması da bir miktar etkili olabilir.



Şekil 3.6. SDY ve B100 ile BDYK için hava fazlalık katsayısının devir sayısıyla değişimleri

3.2.2. 5 Farklı Devir Sayısı İçin SDY, B100 ve Farklı BDYK'nin Motor Performans Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Değişken Yakıt Karışım Oranlarına Göre İncelenmesi

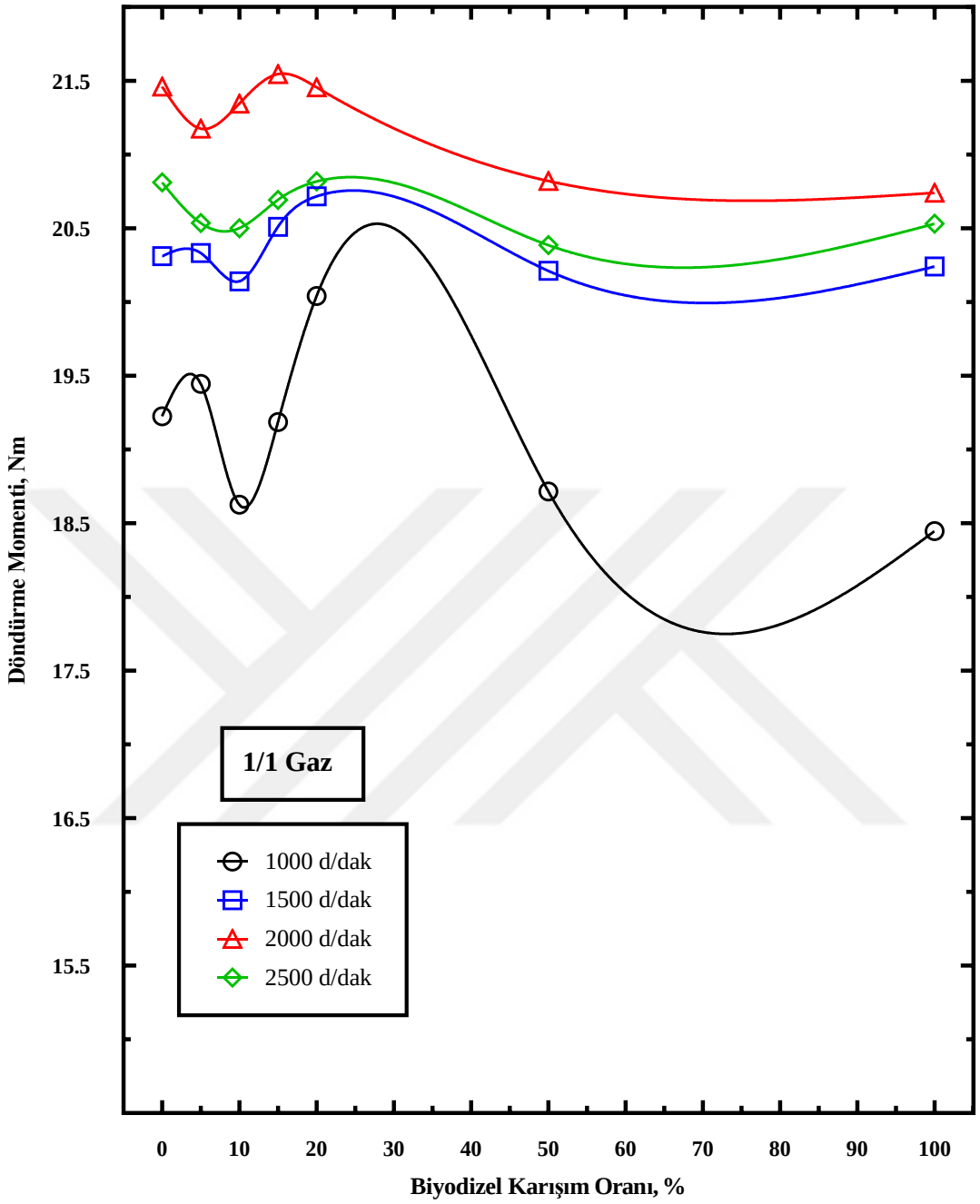
Bu bölümde, 5 farklı devir sayısı için SDY, B100 ve farklı BDYK'nin motor performans karakteristikleri üzerindeki etkileri değişken yakıt karışım oranlarına göre

sunulmuş ve irdelenmiştir. Motor performans karakteristiklerinin farklı yakıt oranlarına göre değişimlerinin yanı sıra, SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları da sütun eğrileri şeklinde verilmiştir ve irdelenmiştir.

3.2.2.1. Döndürme Momenti

Şekil 3.7'de seçilen (1000, 1500, 2000, 2500) d/dak devir sayılarında döndürme momentinin biyodizel karışım oranına göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi, 1000 d/dak gibi düşük hızlarda motordaki karasız çalışma nedeniyle döndürme momentinde dalgalanmalar olmuştur. Ancak, 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek hızlarda döndürme momenti değişimi daha düzgün olmuştur ve söz konusu devirlerde en iyi döndürme momenti değerlerinin B15 ve B20 yakıt karışımlarında elde edildiği görülmüştür. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında maksimum döndürme momenti 20.71 Nm değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında maksimum döndürme momenti 21.55 Nm değeriyle B15 yakıt karışımında oluşmuştur. İlgili devir sayısında B20 için ise döndürme momenti değeri 21.41 Nm olmuştur. 2500 d/dak devir sayısında ise maksimum döndürme momenti 20.81 Nm değeriyle SDY ve B20 yakıt karışımında elde edilmiştir.

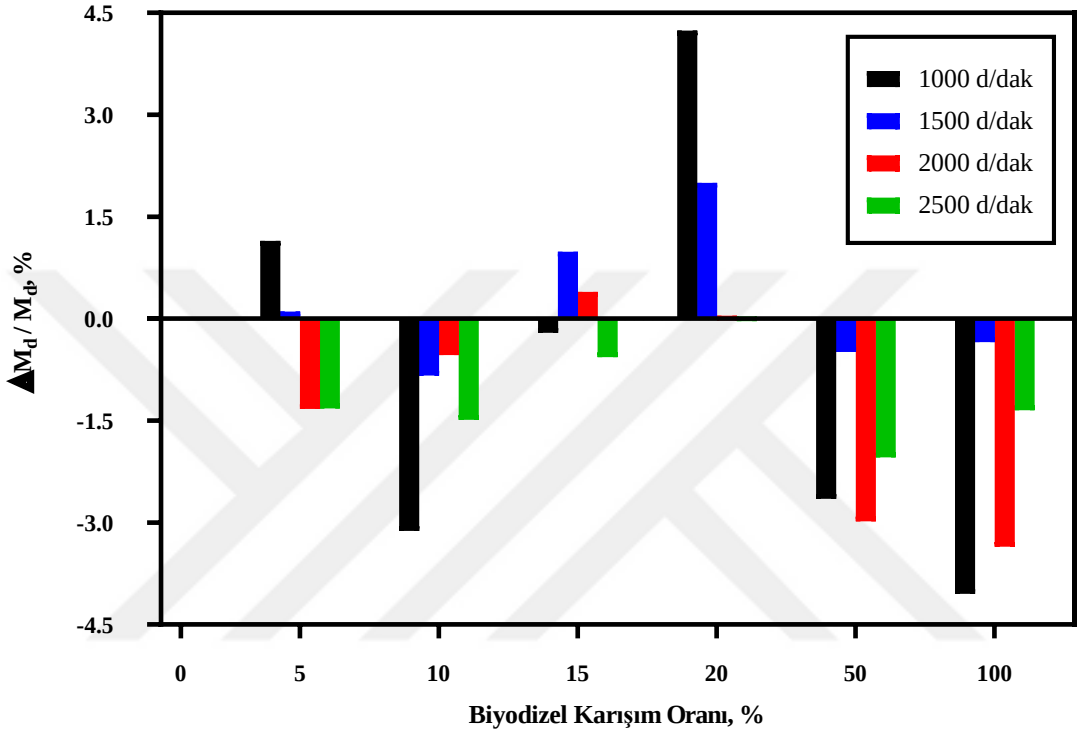
Şekil 3.8'de ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000, 2500) d/dak devir sayılarında döndürme momenti değerinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için döndürme momenti biyodizel kullanımı ile genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Ancak döndürme momenti B15 ve B20 için artmıştır, Söz konusu şekil incelendiğinde döndürme momentinin B50 karışımı ve B100 için önemli ölçüde azaldığı görülebilir. Ancak B50 ve B100 için döndürme momentindeki azalmalar %4.5 düzeyinde kalmıştır. Döndürme momentindeki maksimum artma 1000 d/dak devir sayısında ve B20 için ~%4.2 düzeyinde olmuştur. Döndürme momentindeki olası azalmaların nedenleri; daha önce 3.2.1.1 bölümünde açıklandığı üzere, dizel yakıtına göre, biyodizelin alt ısıl değerinin ~%13 oranında daha düşük olmasından ve viskozitesinin ~%55.4 oranında daha büyük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 3.7. Dört farklı devir sayısı için döndürme momentinin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri

Başlıca literatürde de benzeri sonuçlar bulunduğu açıklanmaktadır (Manickam vd., 2009; Ogunkunle ve Ahmed, 2020; How vd., 2018). Manickam vd. (2009) 4 silindirli turboşajlı bir dizel motorunda %100 biyodizel ile saf dizel yakıtı kullanımını (1000-3800) d/dak gibi farklı devir sayılarında karşılaştırmışlardır. Biyodizel kullanımı ile döndürme

momentinde seçilen tüm devir sayıları için SDY'ye göre ortalama %10 azalma olduğu belirlenmiştir. Ancak yazarlar püskürtme sisteminde değişiklik yaptığında yani biyodizel kullanımı durumu için püskürtme sistemini optimize ettiklerinde döndürme momentinin arttığını da belirlemişlerdir.



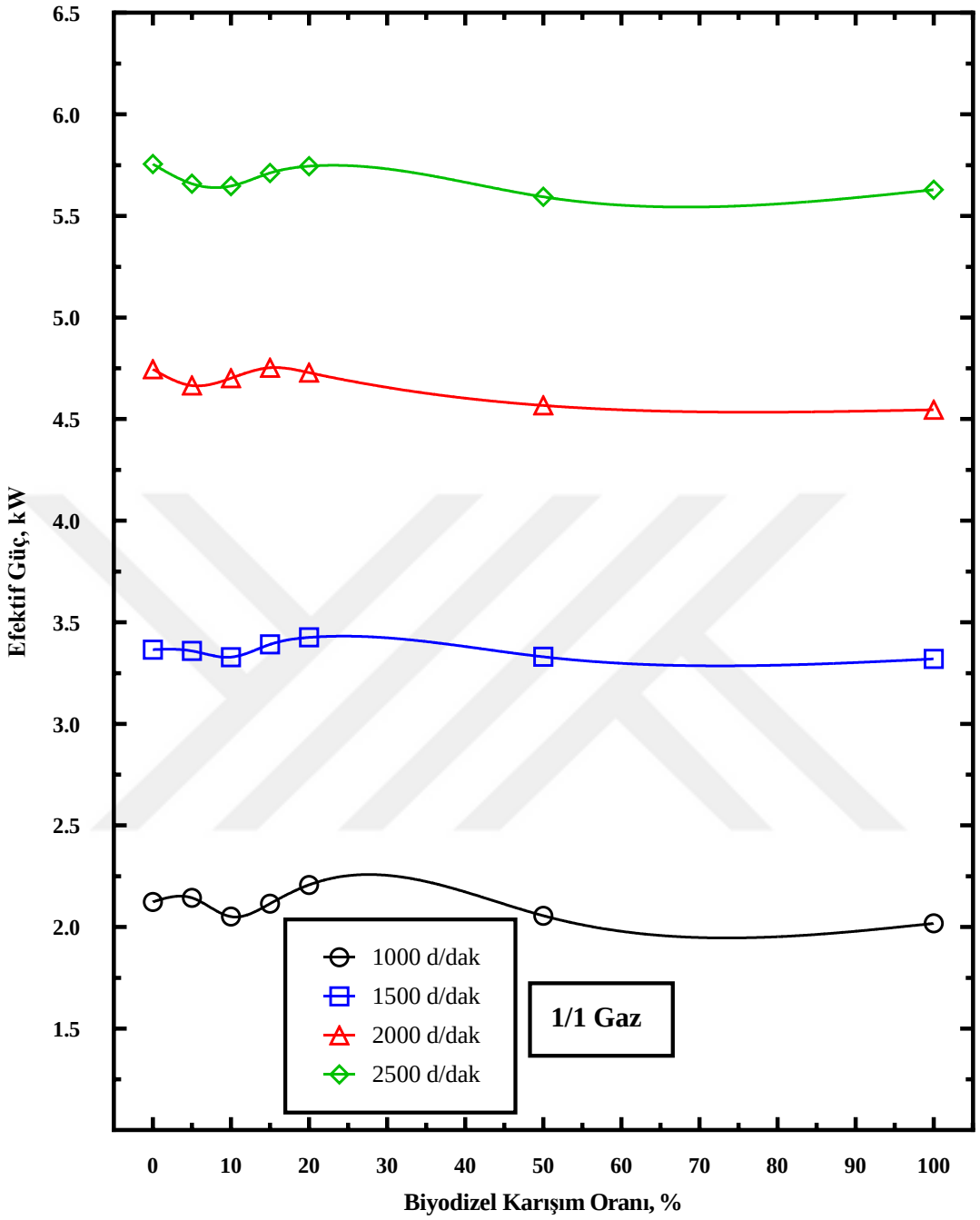
Şekil 3.8. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için döndürme momentinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

3.2.2.2. Efektif Güç

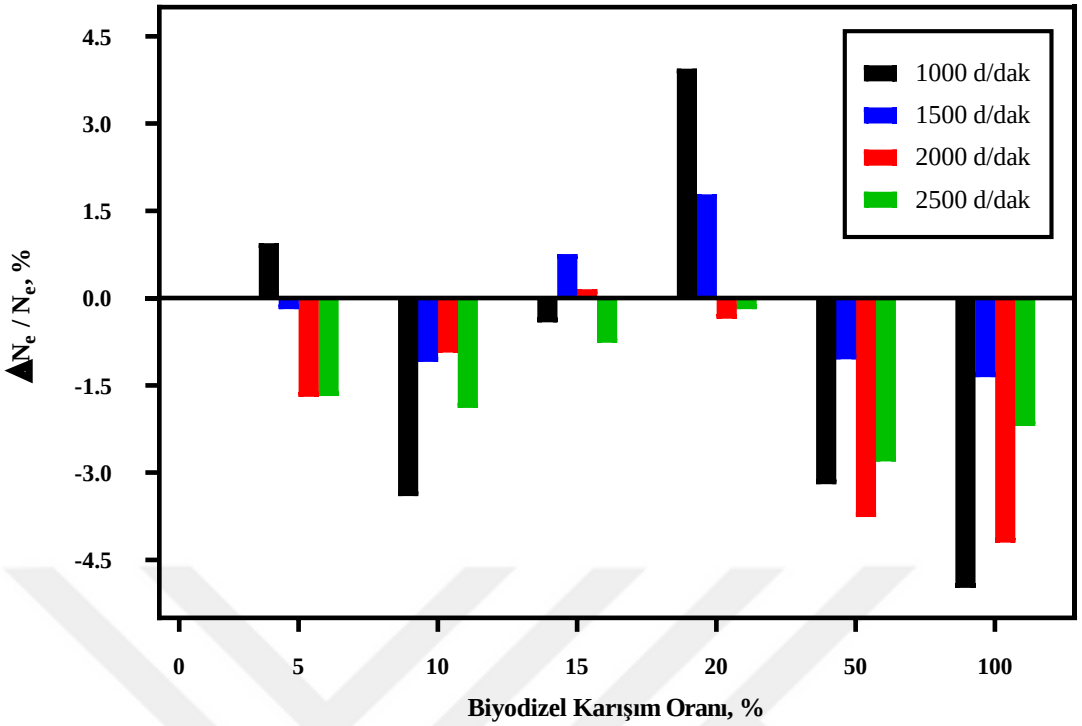
Şekil 3.9'da seçilen (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında efektif gücün biyodizel karışım oranıyla değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi, döndürme momentindeki yapıya benzer şekilde 1000 d/dak gibi düşük hızlarda motordaki kararsız çalışma nedeniyle efektif güçte dalgalanmalar olmasına karşın, 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek devir sayılarında efektif güç değişimi daha düzgün olmuştur ve söz konusu devirlerde en iyi efektif güç değerlerinin B15 ve B20 yakıt karışımlarında elde edildiği görülmüştür. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında maksimum efektif güç 3.43 kW değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında maksimum efektif güç 4.753 kW değeriyle B15 yakıt karışımında

oluşmuştur. İlgili devir sayısında B20 için ise efektif güç değeri 4.729 kW olmuştur. 2500 d/dak devir sayısında ise maksimum efektif güç 5.756 kW değeriyle SDY'de elde edilirken ona en yakın efektif güç 5.745 kW değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir.

Şekil 3.10'da ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında efektif güç değerlerinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için efektif güç biyodizel kullanımı ile genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Ancak efektif güç, döndürme momentinde olduğu gibi B15 ve B20 durumlarında artmıştır, Söz konusu şekil incelendiğinde; efektif gücün B50 karışımı ve B100 için önemli düzeyde azaldığı görülebilir. Bununla birlikte B50 ve B100 için efektif güçteki azalmalar ~%4.5 düzeyinde kalmıştır. Efektif güçteki maksimum artma 1000 d/dak devir sayısında ve B20 için ~%3.9 düzeyinde olmuştur. Efektif güçteki olası azalmaların nedenleri; daha önce 3.2.1.1 bölümünde açıklandığı üzere, dizel yakıtına göre, biyodizelin alt ısıl değerinin ~%13 oranında daha düşük olması ve viskozitesinin ~%55.4 oranında daha büyük olması şeklinde açıklanabilir.



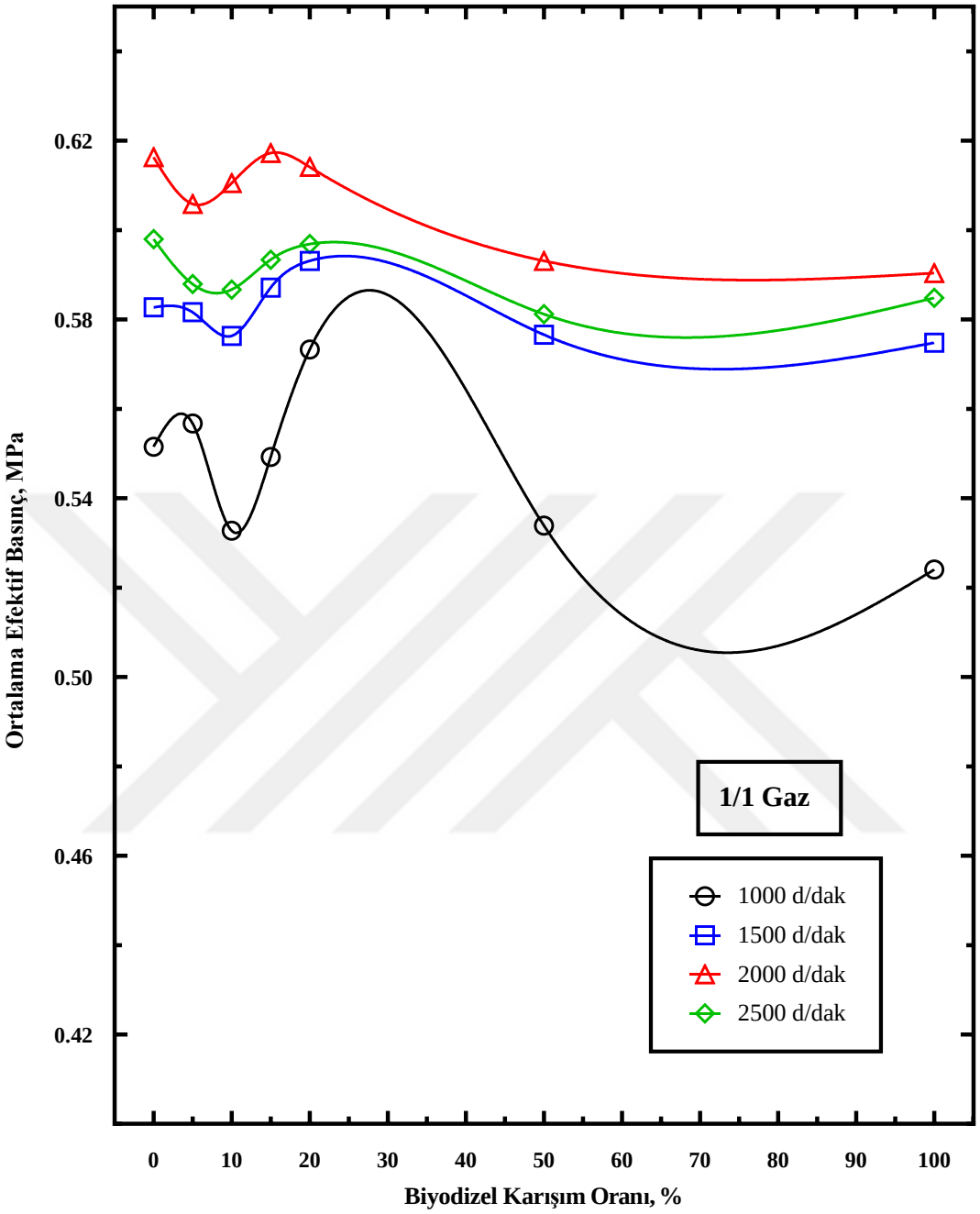
Şekil 3.9. Dört farklı devir sayısı için efektif gücün farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri



Şekil 3.10. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için efektif güçte SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

3.2.2.3. Ortalama Efektif Basınç

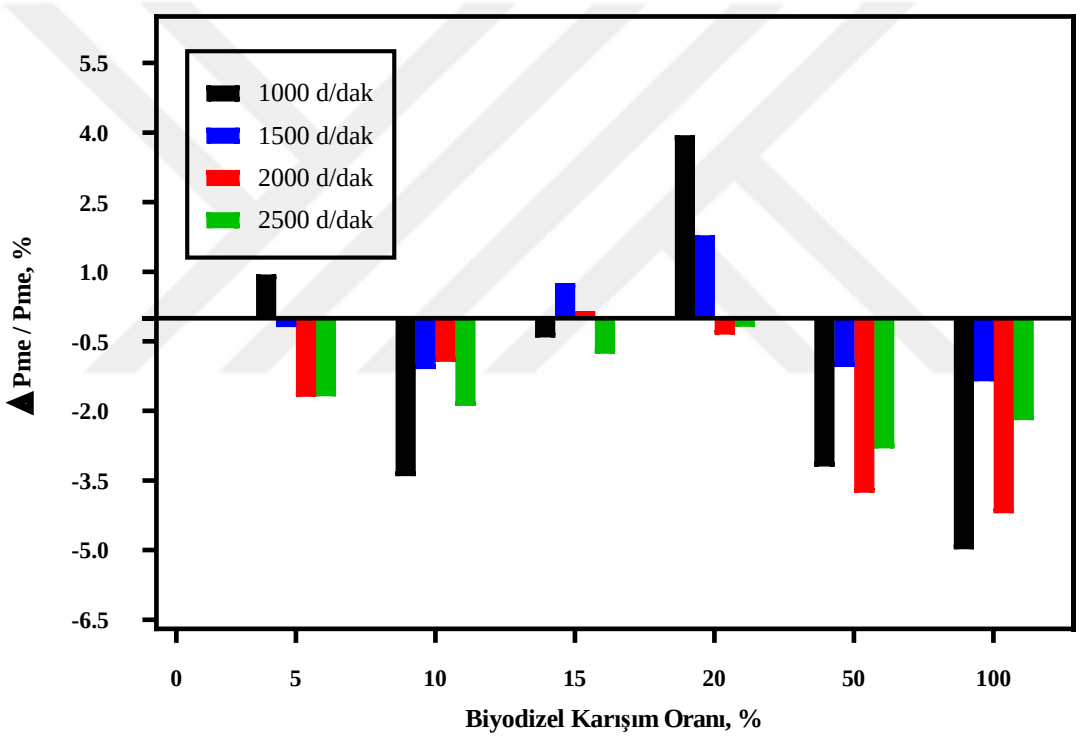
Şekil 3.11'de seçilen (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında ortalama efektif basıncın biyodizel karışım oranıyla değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi, döndürme momentine benzer şekilde 1000 d/dak gibi düşük devir sayılarında karasız çalışma nedeniyle ortalama efektif basınçta dalgalanmalar olmasına karşın, 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek devir sayılarında ortalama efektif basınç değişimi daha düzgün yapıda olmuştur ve söz konusu devirlerde en iyi ortalama efektif basınç değerlerinin B15 ve B20 yakıt karışımlarında elde edildiği görülmüştür. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında maksimum ortalama efektif basınç 0.593 MPa değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında maksimum ortalama efektif basınç 0.617 MPa değeriyle B15 yakıt karışımında oluşmuştur. İlgili devir sayısında B20 için ise ortalama efektif basınç 0.614 MPa olmuştur. 2500 d/dak devir sayısında ise maksimum ortalama efektif basınç 0.598 MPa değeriyle SDY'de elde edilirken ona en yakın ortalama efektif basınç 0.597 MPa değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 3.11. Dört farklı devir sayısı için ortalama efektif basıncın farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri

Şekil 3.12'de ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında ortalama efektif basınç değerlerinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için ortalama efektif basınç değerleri biyodizel kullanımı ile genel olarak azalma eğilimi

göstermiştir. Ancak ortalama efektif basınç, döndürme momentinde olduğu gibi B15 ve B20 durumlarında artmıştır. Söz konusu şekil incelendiğinde ortalama efektif basıncın B50 karışımı ve B100 için önemli ölçüde azaldığı görülebilir. Bununla birlikte B50 ve B100 için ortalama efektif basınçtaki azalmalar ~%4 düzeyinde kalmıştır. Ortalama efektif basınçtaki maksimum artma 1000 d/dak devir sayısında ve B20 için ~%3.9 düzeyinde olmuştur. Ortalama efektif basınçtaki olası azalmaların olası nedenleri ise; daha önce 3.2.1.1 bölümünde açıklandığı üzere, dizel yakıtına göre, biyodizelin alt ısıl değerinin ~%13 oranında daha düşük olması ve viskozitesinin ~%55.4 oranında daha yüksek olması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 3.12. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için ortalama efektif basınçta SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

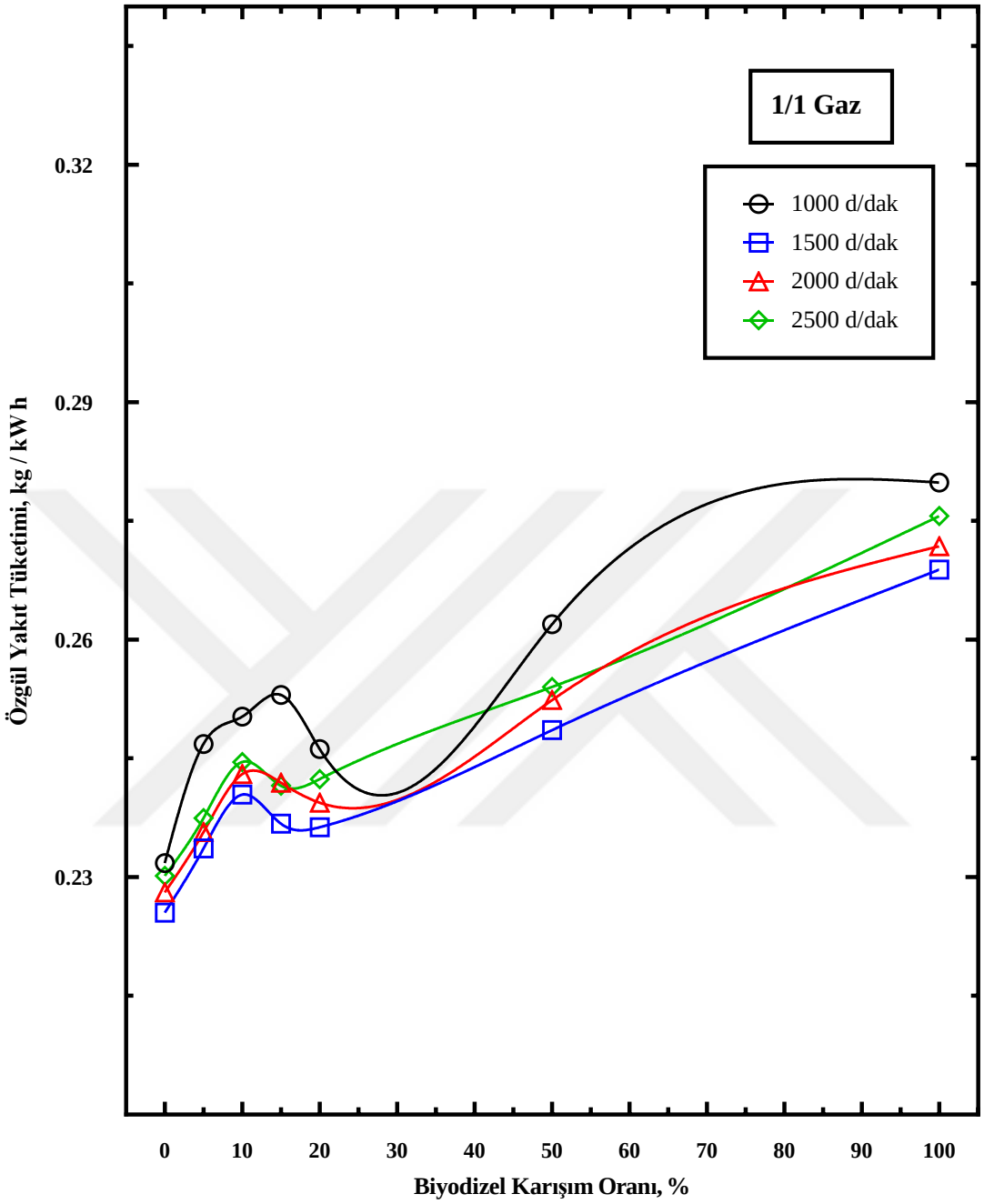
3.2.2.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 3.13'te seçilen (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında ÖYT'nin biyodizel karışım oranıyla değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi, yine 1000 d/dak gibi düşük devir sayılarında motordaki karasız çalışma nedeniyle ÖYT'de dalgalanmalar olmasına karşın, 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek

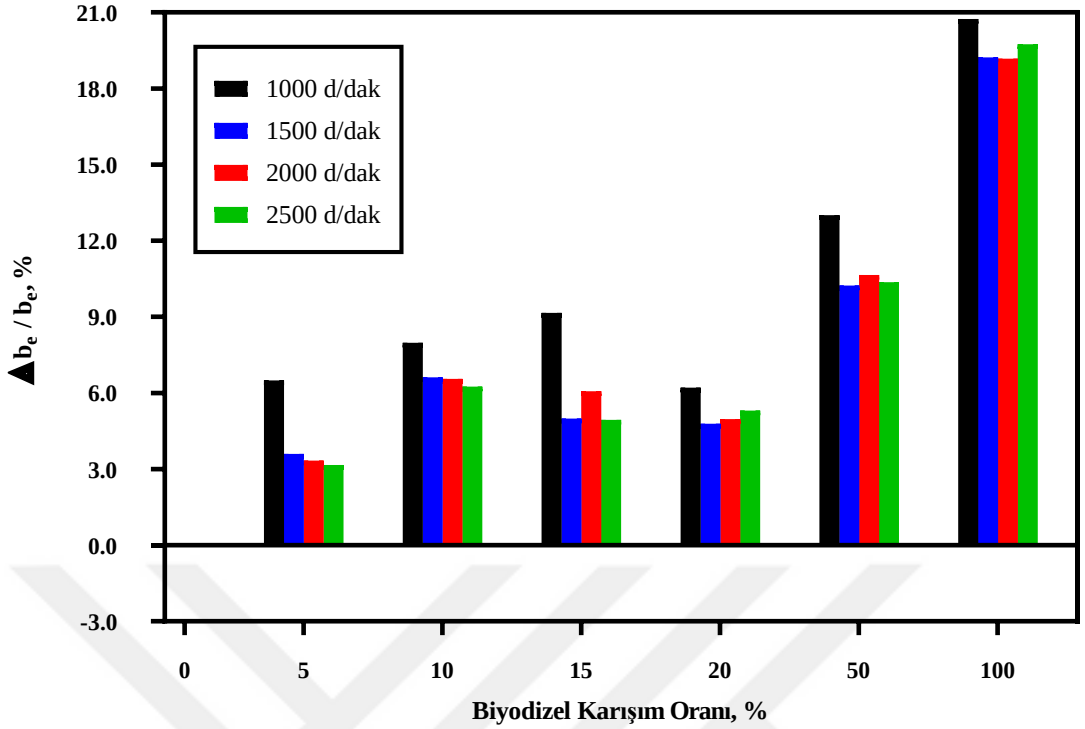
devir sayılarında ÖYT değişimi daha düzgün olmuştur. Seçilen devirlerde, ÖYT, artan biyodizel oranıyla birlikte artmıştır. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında da minimum ÖYT 0.2255 kg/kWh değeriyle SDY'de elde edilirken, SDY'nin ÖYT değerine en yakıt ÖYT, B05 gibi düşük biyodizel karışım miktarından sonra, 0.2368 kg/kWh değeriyle B15 ve 0.2363 kg/kWh değeriyle B20 yakıt karışımlarında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında minimum ÖYT 0.2281 kg/kWh değeriyle SDY'de elde edilmiştir. İlgili devir sayısında SDY'nin ÖYT değerine en yakıt ÖYT, B05 yakıt karışımından sonra, 0.2419 kg yakıt/kWh değeriyle B15 ve 0.2394 kg yakıt/kWh değeriyle B20 yakıt karışımlarında elde edilmiştir. 2500 d/dak devir sayısında ise minimum ÖYT 0.2302 kg/kWh değeriyle yine SDY'de elde edilirken ona en yakın ÖYT yine B05 yakıt karışımından sonra, (0.2416 ve 0.2424) kg yakıt/kWh değerleriyle sırasıyla B15 ve B20 yakıt karışımlarında elde edilmiştir.

Şekil 3.14'te ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında ÖYT değerinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için ÖYT biyodizel kullanımı ile birlikte artmıştır. ÖYT'deki maksimum artış 1000 d/dak devir sayısında ve B100 için ~%20.8 düzeyinde olmuştur. ÖYT'ndeki minimum artış ise, içerisindeki biyodizelin oranının çok düşük olması sebebiyle B05 yakıt karışımlarında görülürken ondan sonra minimum artış miktarı B15 ve B20 yakıt karışımlarında ~%(4.5–5) düzeylerinde oluşmuştur. ÖYT'deki artışın nedenleri daha önce 3.2.1.2 bölümünde açıklandığı gibi, biyodizelin düşük ısıl değeri, aynı devir sayısını elde etmek için silindir içerisine daha fazla yakıt gönderilmesi ve biyodizelin yoğunluğunun daha yüksek olması nedeniyle silindire kütlece daha fazla yakıt gitmesi şeklinde açıklanabilir.

Başlıca literatürde de benzeri sonuçlar bulunduğu açıklanmaktadır (Mubarek vd., 2021; God vd.,2021; Asokan vd., 2021; Yesilyurt, 2020; Ogunkule ve Ahmed, 2020; Caliskan ve Mori, 2017). Yesilyurt (2020) SDY, B20 ve B100 için benzeri bir deneysel çalışma gerçekleştirmiştir ve seçilen biyodizel karışımları ve saf biyodizel için ÖYT'nin arttığını belirlemiştir. Yesilyurt'un çalışmasında SDY için ÖYT değeri 203.34 g/kWh şeklinde belirlenmiştir. B20 ve B100 için ise ÖYT değerleri sırasıyla 209.14 g/kWh ve 257.80 g/kWh olmuştur. Buradan ÖYT'nin B20 karışımı için %2.85 düzeyinde arttığı anlaşılabilir. Bu çalışmada da ÖYT'nin artmasının nedenleri arasında biyodizelin düşük alt ısıl değere ve yüksek vizkoziteye sahip olması gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dört farklı devir sayısı için ÖYT'nin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri



Şekil 3.14. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için ÖYT'de SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

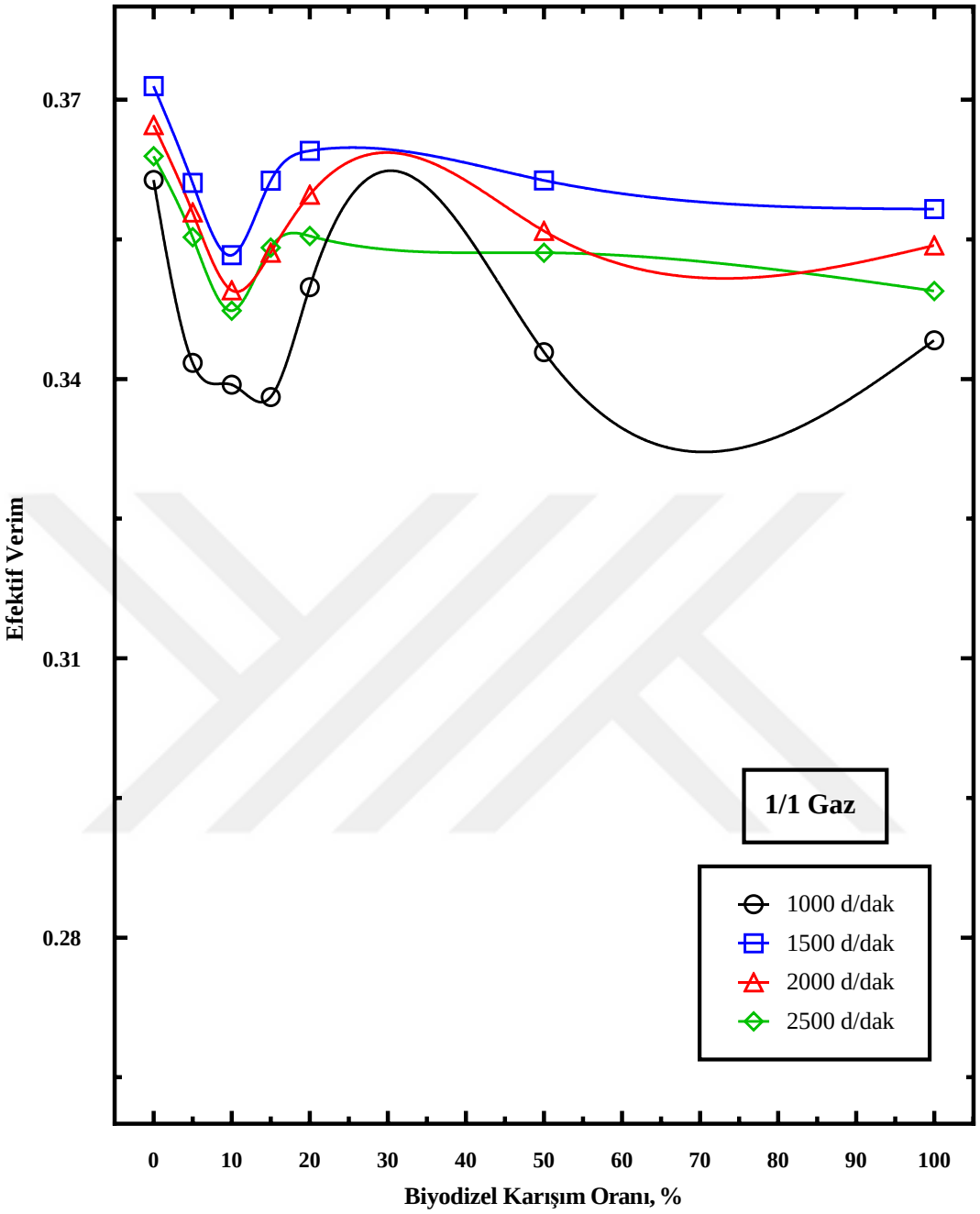
3.2.2.5. Efektif Verim

Şekil 3.15'te seçilen (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında efektif verimin farklı biyodizel karışım oranıyla değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi, 1000 d/dak gibi düşük devir sayılarında motordaki karasız çalışma nedeniyle efektif verimde dalgalanmalar olmuştur. Ancak 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek devir sayılarında efektif verimin değişimi daha düzgün olmuştur. Seçilen devir sayılarında artan biyodizel oranıyla birlikte efektif verim değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında maksimum efektif verim 0.3715 değeriyle SDY'de elde edilirken, SDY'nin efektif verim değerine en yakıt efektif verim 0.3645 değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında da maksimum efektif verim 0.3673 değeriyle SDY'de elde edilirken, SDY'nin efektif verim değerine en yakıt efektif verim 0.3598 değeriyle B20 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2500 d/dak devir sayısında ise, maksimum efektif verim 0.3639 değeriyle SDY'de elde edilirken, SDY'nin efektif verim değerine en yakıt efektif verim 0.3554 değeriyle yine B20 yakıt karışımında oluşmuştur.

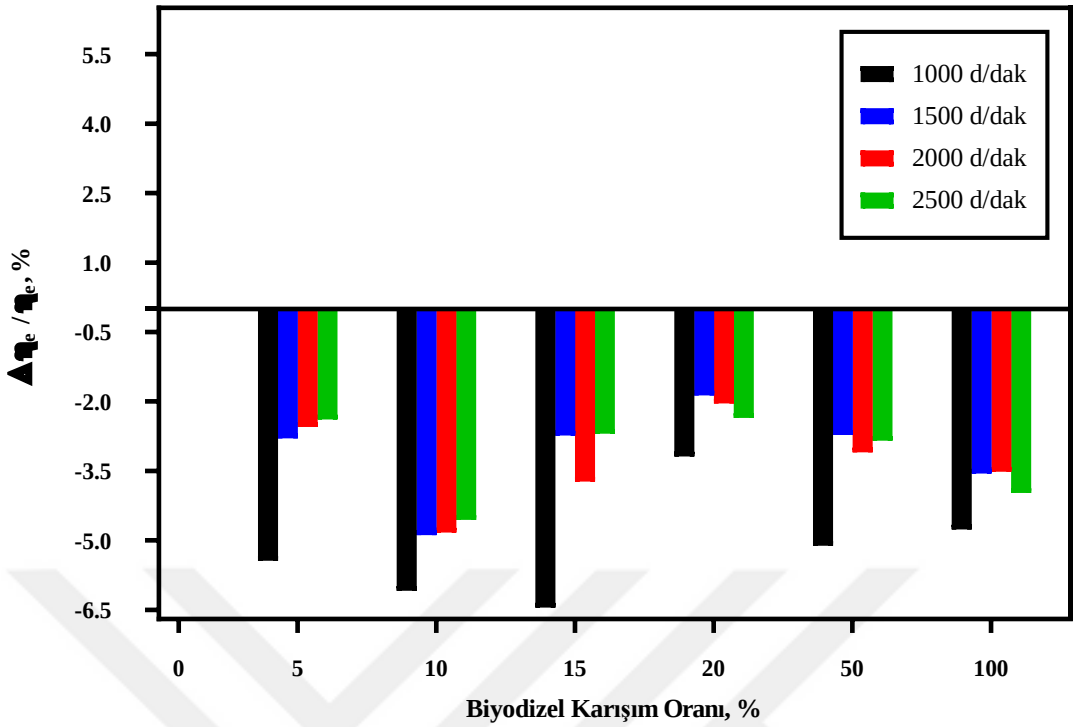
Şekil 3.16'da ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında efektif verim değerlerinde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için efektif verim biyodizel kullanımı ile birlikte azalmıştır. Efektif verimdeki maksimum azalma 1000 d/dak devir sayısında ve B15 için ~%6.5 düzeyinde olmuştur. SDY'nin efektif verim değerine en yakın efektif verim değeri, ~%(2-2.5) düzeyinde düşüşle B20 yakıt karışımında görülmüştür. Efektif verimdeki bu düşüşün önemli nedenlerinden bazıları daha önce 3.2.1.2 bölümünde açıklandığı gibi, özgül yakıt tüketimindeki artışın nedenlerine benzer şekilde biyodizelin daha düşük alt ısıl değere ve yüksek vizkoziteye sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürden çok iyi bilindiği gibi motor verimli çalıştığında ÖYT azalır. Yani ÖYT ile efektif verim yaklaşık olarak birbiri ile ters orantılıdır (Heywood, 1988; Durgun, 2022).

3.2.2.6. Hava Fazlalık Katsayısı

Şekil 3.17'de seçilen (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında hava fazlalık katsayısının biyodizel karışım oranıyla değişimleri sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi, diğer tüm motor karakteristiklerinde olduğu gibi 1000 d/dak gibi düşük devir sayılarında motordaki karasız çalışma nedeniyle hava fazlalık katsayısında dalgalanmalar olmuştur. Ancak 1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi orta ve yüksek devir sayılarında motorun daha kararlı çalıştığı ve dolayısı ile hava fazlalık katsayısı değişiminin daha düzgün olduğu görülmüştür. Seçilen devir sayılarında artan biyodizel oranıyla birlikte hava fazlalık katsayısı değerlerinde genel olarak bir azalma gözlenmiştir. Sayısal değer vermek gerekirse, 1500 d/dak devir sayısında maksimum hava fazlalık katsayısı 1.404 değeriyle SDY'de görülürken, SDY'ye en yakın değer 1.394 şeklinde B100 yakıtında ve minimum hava fazlalık katsayısı ise 1.341 değeriyle B15 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında SDY'nin hava fazlalık katsayısı değeri 1.339 olurken, maksimum hava fazlalık katsayısı 1.371 değeriyle B100 yakıtında ve minimum hava fazlalık katsayısı 1.288 değeriyle B15 yakıt karışımında elde edilmiştir. 2500 d/dak devir sayısında ise SDY'nin hava fazlalık katsayısı değeri 1.411 olurken, maksimum hava fazlalık katsayısı 1.416 değeriyle B50 yakıt karışımında ve minimum hava fazlalık katsayısı 1.384 değeriyle B10 yakıt karışımında elde edilmiştir.

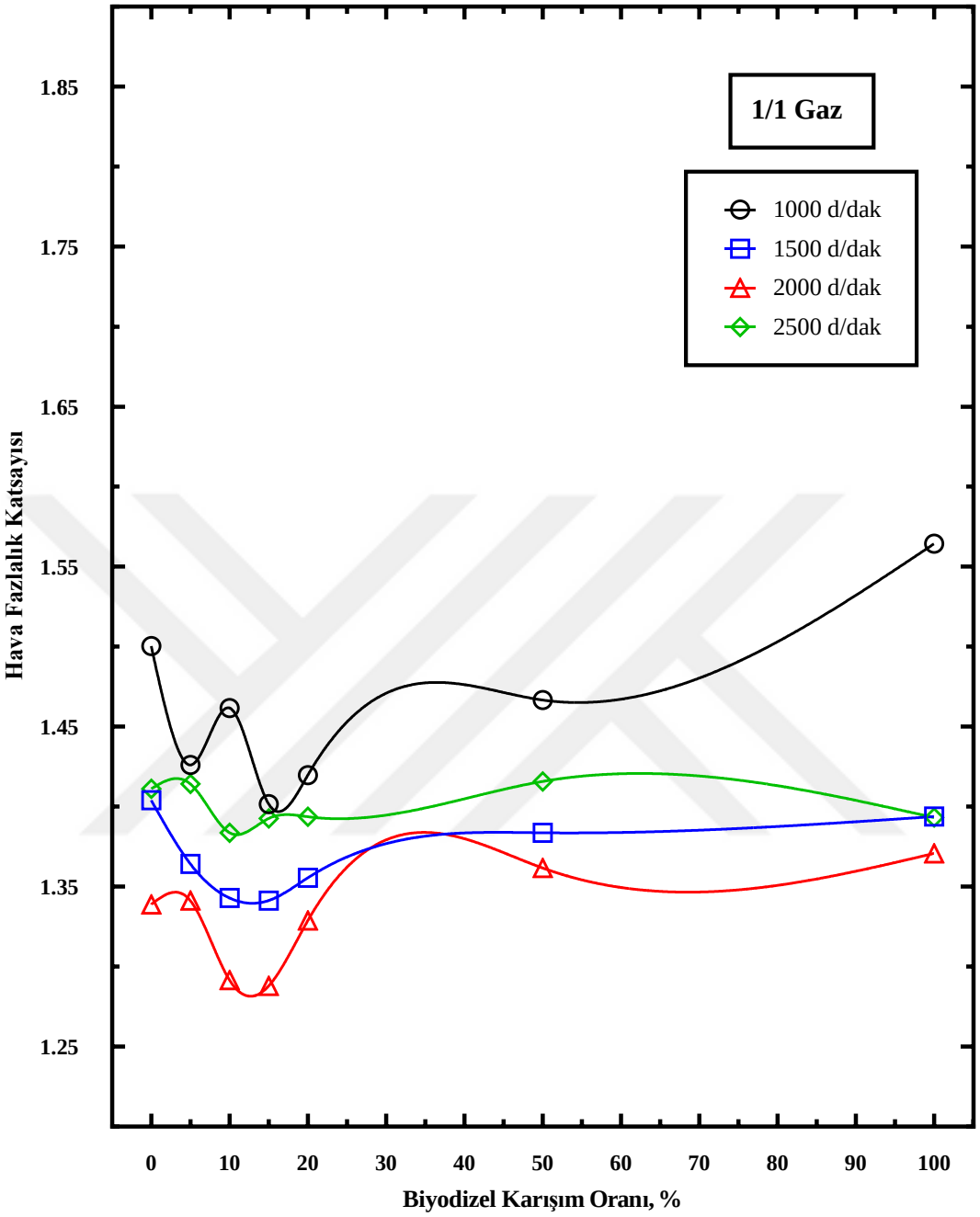


Şekil 3.15. Dört farklı devir sayısı için efektif verimin farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri

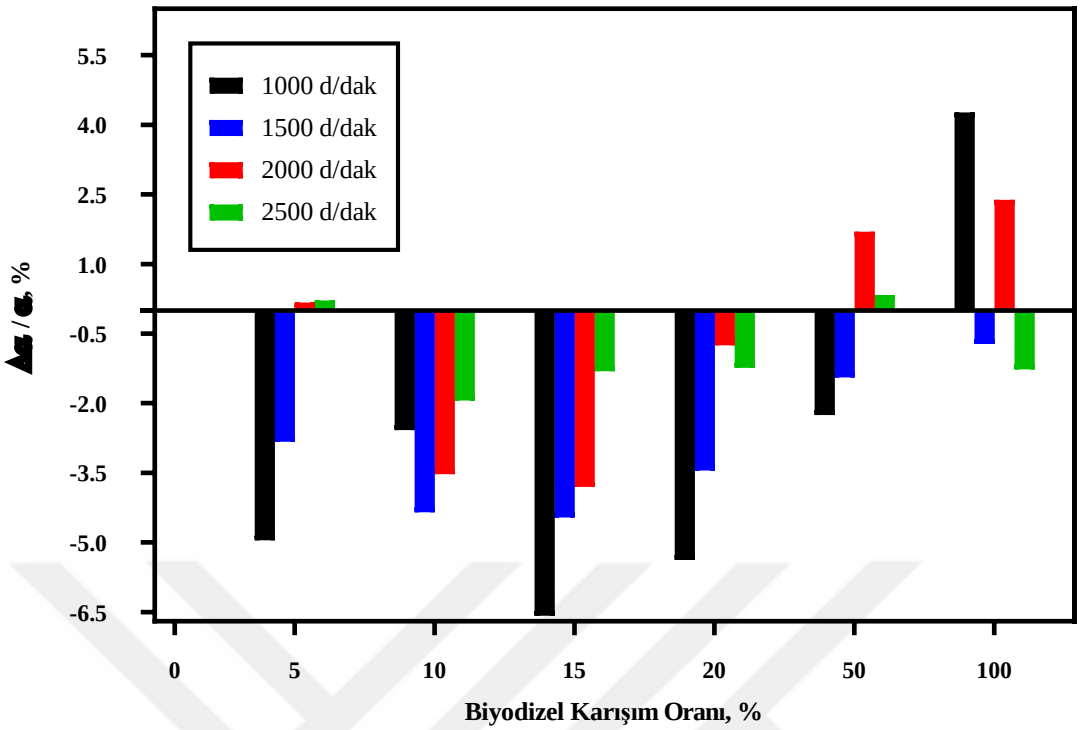


Şekil 3.16. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için efektif verimde SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

Şekil 3.18'de ise farklı biyodizel oranları için (1000, 1500, 2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında hava fazlalık katsayısı değerinde SDY'ye göre meydana gelen artma ve azalma oranları sunulmuştur. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm devir sayıları için hava fazlalık katsayısı biyodizel kullanımı ile genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Söz konusu şekil incelendiğinde, motordaki kararsız çalışmanın belirgin olduğu 1000 d/dak dışındaki devir sayılarında SDY'ye göre ~%3'lük azalmalar elde edilmiştir. Bununla birlikte SDY'nin hava fazlalık katsayısı değerlerine en yakın değerler 2000 d/dak ve 2500 d/dak gibi yüksek devir sayılarında elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, daha önce 3.2.1.3 bölümünde belirtildiği gibi, biyodizel kullanımı ile motorun daha zengin karışımla çalıştığı ve bu durumun da ÖYT'yi arttırdığı ve aynı zamanda efektif verimi azalttığı söylenebilir.



Şekil 3.17. Dört farklı devir sayısı için hava fazlalık katsayısının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri



Şekil 3.18. Dört faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için hava fazlalık katsayısında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

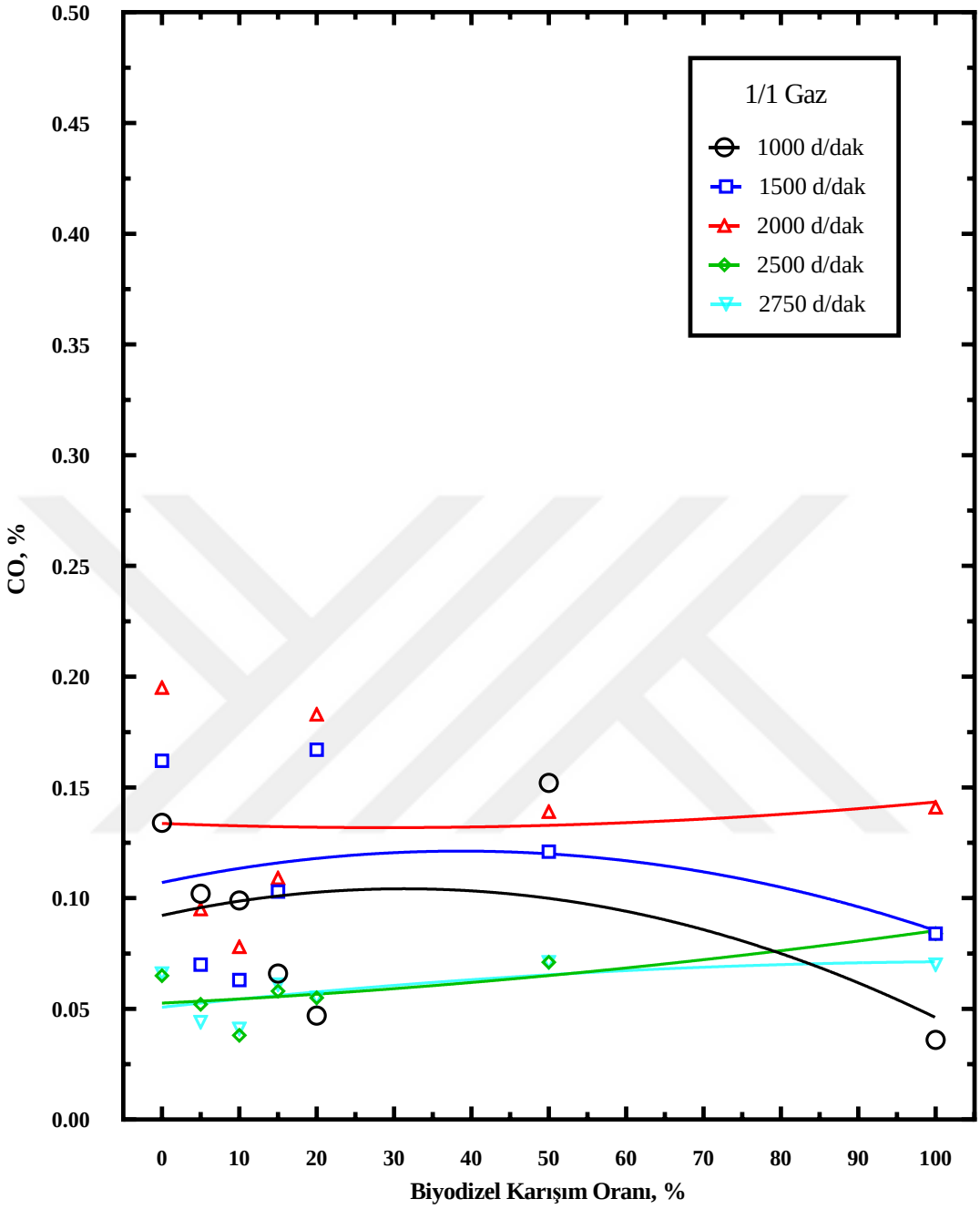
3.3. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Bu bölümde, seçilen farklı biyodizel yakıt karışım oranlarının farklı devir sayılarında eksoz emisyonları üzerindeki etkileri sunulmuştur. Burada sonuçlar, motor performans karakteristiklerinde olduğu gibi, 1000 d/dak gibi düşük, 1500 d/dak - 2000 d/dak gibi orta ve 2500 d/dak – 2750 d/dak gibi yüksek devir sayılarında, 20.5 sabit sıkıştırma oranı ve tam gaz konumu için sunulmuştur. Bu paragrafta ölçüm değerleri grafik şeklinde sunularak genel biçimde bir irdeleme yapılacaktır. Ayrıca grafikler oluşturulurken, ölçüm değerlerinin çok küçük olması nedeniyle noktasal olarak değil de eğri uyumlama uygulanarak eğrilerin çizimleri yapılmıştır. Böylece yorumlar da uyumlanan eğriler üzerinden yapılmıştır. Ayrıca daha rahat karşılaştırma yapabilmek için B100 ve seçilen biyodizel karışımları için SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranları sütun grafikleri şeklinde de sunulmuştur.

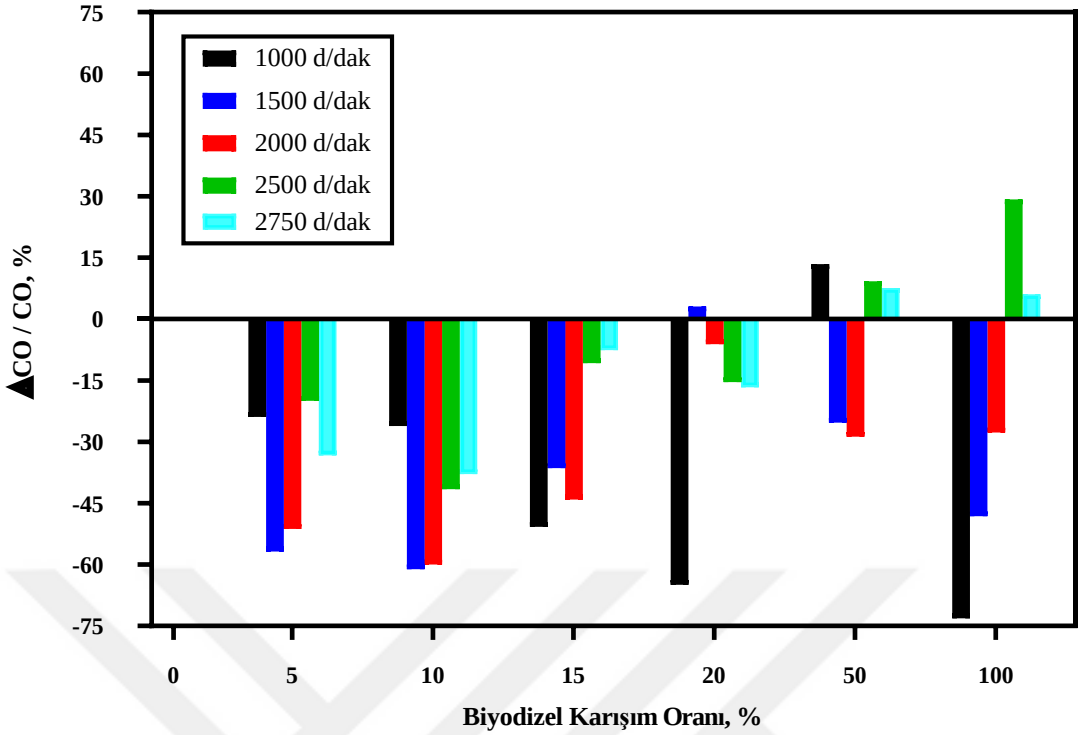
3.3.1. CO Emisyonları

Şekil 3.19'da, (1000, 1500, 2000, 2500, 2750) d/dak gibi seçilen devir sayılarında CO emisyonlarının biyodizel karışım oranıyla değişimleri verilmiştir. Şekil 3.20'de de, aynı devir sayılarında seçilen biyodizel karışımları için CO emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranlarını sunulmuştur. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'ye bakıldığında, düşük devir sayılarında daha belirgin olmakla birlikte artan biyodizel oranıyla birlikte CO emisyonları önemli ölçüde azalmıştır. İlgili şekillerden görülebileceği gibi en düşük CO değerleri B05, B10 ve B20 yakıt karışımlarında bulunmuştur. CO emisyonlarının azalmasının, biyodizel kullanımı ile silindir içerisindeki karışımın oksijen miktarının artmasının yanmayı iyileştirmesinin doğal bir sonucu olarak yorumlanmıştır. En düşük CO değerlerinin B05, B10 ve B20 karışımlarında elde edilmiştir. Motor performans karakteristikleri açısından da en optimum yanma olayının genelde B20 civarındaki karışım oranlarında elde edildiği yukarıdaki bölümlerde yorumlanmıştı. Şekil 3.20'den görülebileceği gibi CO emisyonlarındaki maksimum azalma 1000 d/dak devir sayısında ve B100 yakıtında ~%73 düzeyinde olmuştur.

Başlıca literatürde de benzeri sonuçların elde edildiği belirtilmektedir (Mubarek vd., 2021; God vd., 2021; Asokan vd., 2021; Yesilyurt, 2020; Ogunkule ve Ahmed, 2020; Mofijur vd., 2019; How vd., 2018; Caliskan ve Mori, 2017). Yesilyurt (2020) çalışmasında da farklı yükler altında B20 ve B100 kullanımı ile CO emisyonlarının önemli ölçüde azaldığını açıklamaktadır. %25 yük altında CO emisyon değerleri, SDY için 13.02 g/kWh ve B100 için ise 8.89 g/kWh şeklinde ölçülmüştür. Bu durumda B100 için CO emisyonunda yaklaşık %31.72'lik azalma sağlandığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde Ogunkunle ve Ahmed (2020) Parinari polyandra yağından ürettikleri biyodizeli 3 farklı biyodizel/dizel yakıtı karışımı şeklinde 6 silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda kullanmışlardır. İlgili çalışmada, B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla CO emisyonlarında ciddi azalmalar olduğunu belirtilmiştir. B10, B20 ve B30 yakıt karışımlarının kullanılmasıyla SDY'na göre CO emisyonlarında; sırasıyla %53.4, %67.8 ve %81.7 oranında azalmalar sağlanmıştır. Yazarlar, CO'daki azalmayı, biyodizelin yapısındaki oksijenin yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir (Ogunkunle ve Ahmed, 2020).



Şekil 3.19. Beş farklı devir sayısı için CO emisyonlarının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri



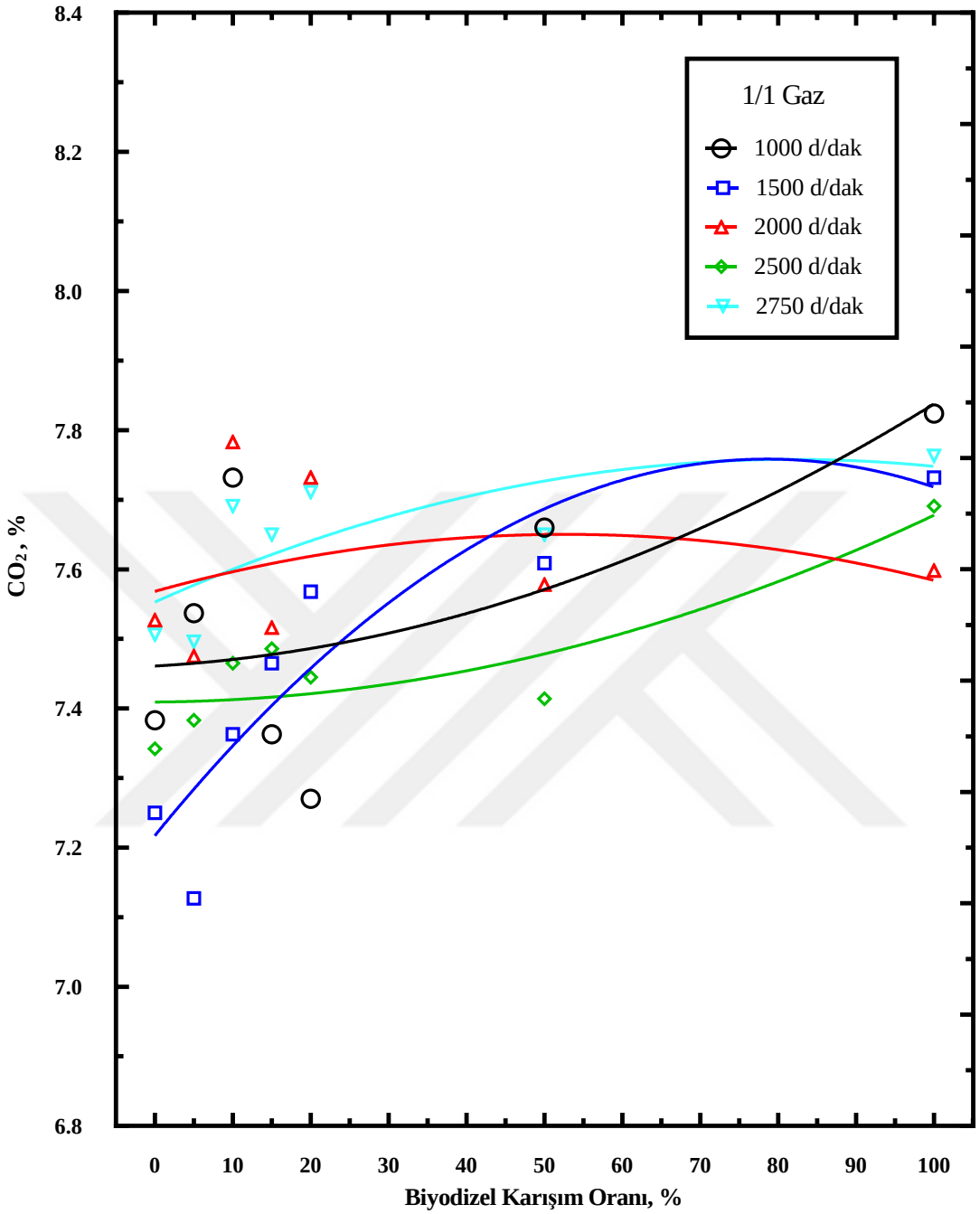
Şekil 3.20. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için CO emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

3.3.2. CO_2 Emisyonları (Gazları)

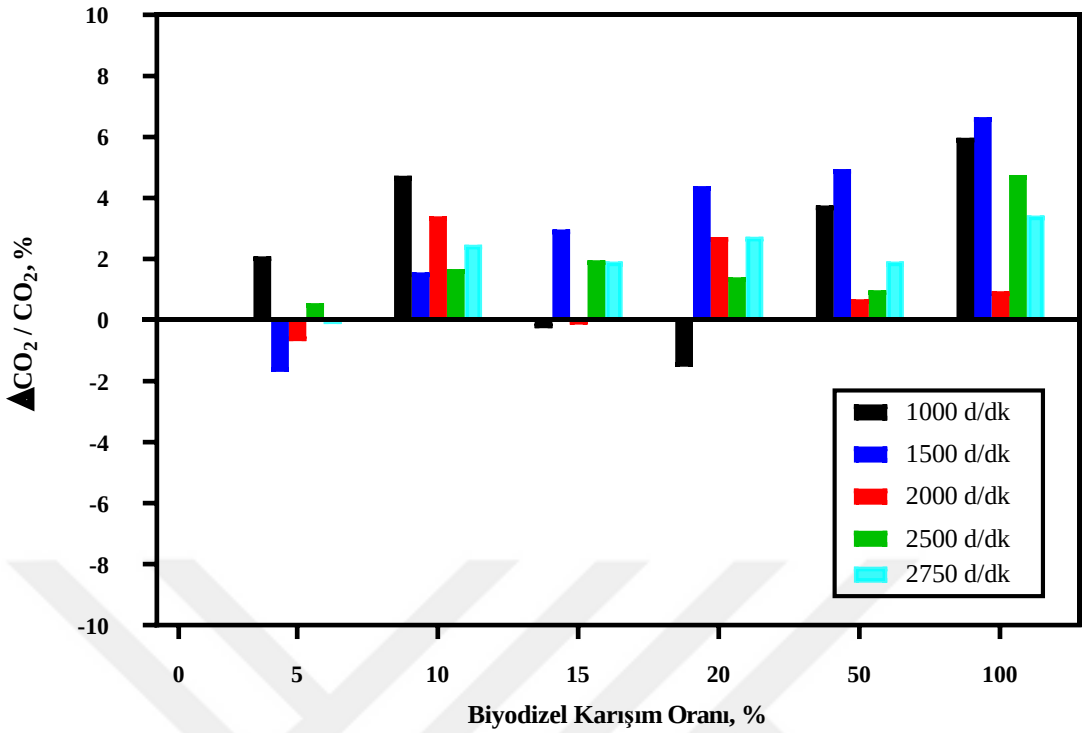
Şekil 3.21'de, (1000, 1500, 2000, 2500, 2750) d/dak gibi seçilen devir sayılarında CO_2 emisyonlarının (gazlarının) biyodizel karışım oranıyla değişimleri verilmiştir. Şekil 3.22'de de, aynı devir sayılarında seçilen biyodizel karışımları için CO_2 emisyonlarında (gazlarında) SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranları sunulmuştur. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'den görülebileceği gibi artan biyodizel oranıyla birlikte CO_2 ürünleri belirgin bir şekilde artmıştır. CO_2 ürünlerindeki artışın, biyodizel kullanımı ile silindir içerisindeki karışımın oksijen miktarının artmasının yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürden bilindiği gibi CO_2 tam yanma ürünüdür (Heywood, 1988; Durgun, 2022). Biyodizel kullanımı ile tam yanma ürünü olan CO_2'nin artması yanmanın iyileştiğinin önemli bir göstergesidir. Ayrıca CO_2'nin artması doğal olarak CO emisyonlarının azalacağı anlamına gelir. Şekil 3.22'den görülebileceği gibi CO_2 ürünlerindeki maksimum artış 1500 d/dak devir sayısında ve B100 yakıtında ~%6.65 düzeyinde olmuştur.

Başlıca literatürde de benzeri sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir (Mubarek vd., 2021; Caliskan ve Mori, 2017; Gongora vd., 2022; Yesilyurt vd., 2020; Özçelik, 2017). Örneğin

Caliskan ve Mori (2017) tam yükte SDY, B20, B50 ve B100 için yaptıkları deneylerde CO_2 miktarlarını sırasıyla (690.214, 704.635, 719.894 ve 753.600) g/kWh şeklinde ölçmüşlerdir. Burada; CO_2'de, B100 kullanımıyla SDY'ye göre %9.2'lik bir artış elde edilmiştir. Ayrıca, Gongora vd. (2022) aspir yağlı tohumlarından üretilen biyodizeli ve Brezilya'da ticari olarak kullanılan biyodizeli (Brezilya'da ticari biyodizelin %71'i soya yağından, geri kalan oran ise hayvansal ve geri dönüştürülmüş atık yağlardan üretilmektedir (URL-1, 2021)) ve dizel yakıtını kullanmışlar ve etkilerini tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda deneysel olarak incelemişlerdir. Burada aspir biyodizeli ticari biyodizel ile karıştırarak B11, B15, B30 gibi üç farklı karışım yakıtı elde edilmiştir. Ardından bu karışım yakıtlarının ve saf aspir biyodizelinin motor performans parametreleri ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri, 3000 d/dak devir sayısında ve farklı motor yüklerinde deneysel olarak incelenmiştir ve sonuçlar hem birbirleri ile hem de saf biyodizel ile karıştırılmıştır. Söz konusu çalışmada, seçilen biyodizel karışımları ve saf biyodizel kullanımı durumunda CO_2 tam yanma ürünü değerlerinin saf dizel yakıtının CO_2 değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yalnızca B11 karışımında CO_2 değeri saf dizel yakıtının CO_2 değerinden daha düşük çıkmıştır. Ayrıca; Özcelik'e (2017) göre, saf dizel yakıtı (Eurodiesel), saf aspir biyodizeli, B10 ve B50 karışımlarından ortalama olarak %2 daha düşük CO_2 ürettiği belirtilmektedir (Gongora vd., 2022; Özçelik, 2017).



Şekil 3.21. Beş farklı devir sayısı için CO_2 emisyonlarının (gazlarının) farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri

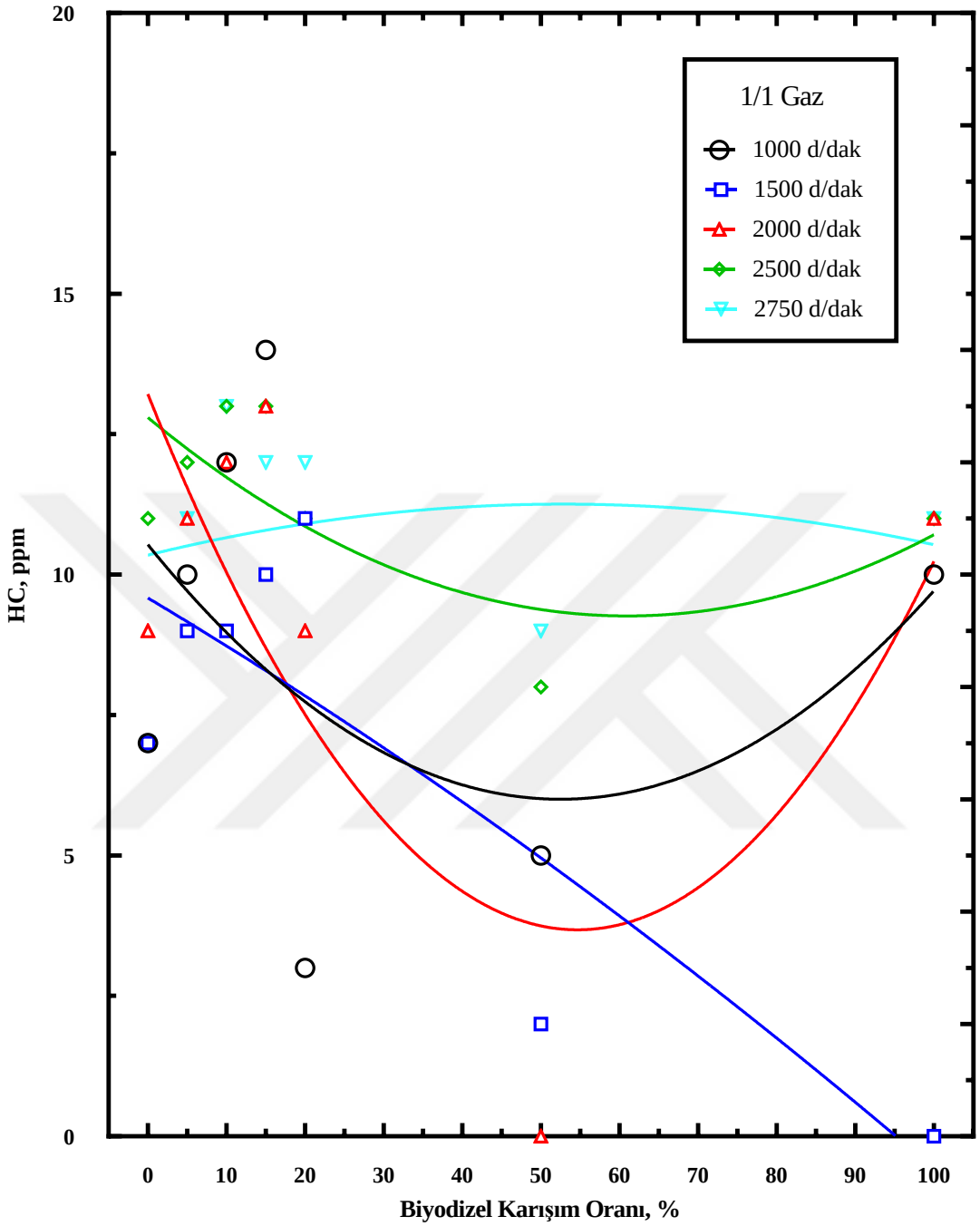


Şekil 3.22. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için CO_2 emisyonlarında (gazlarında) SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

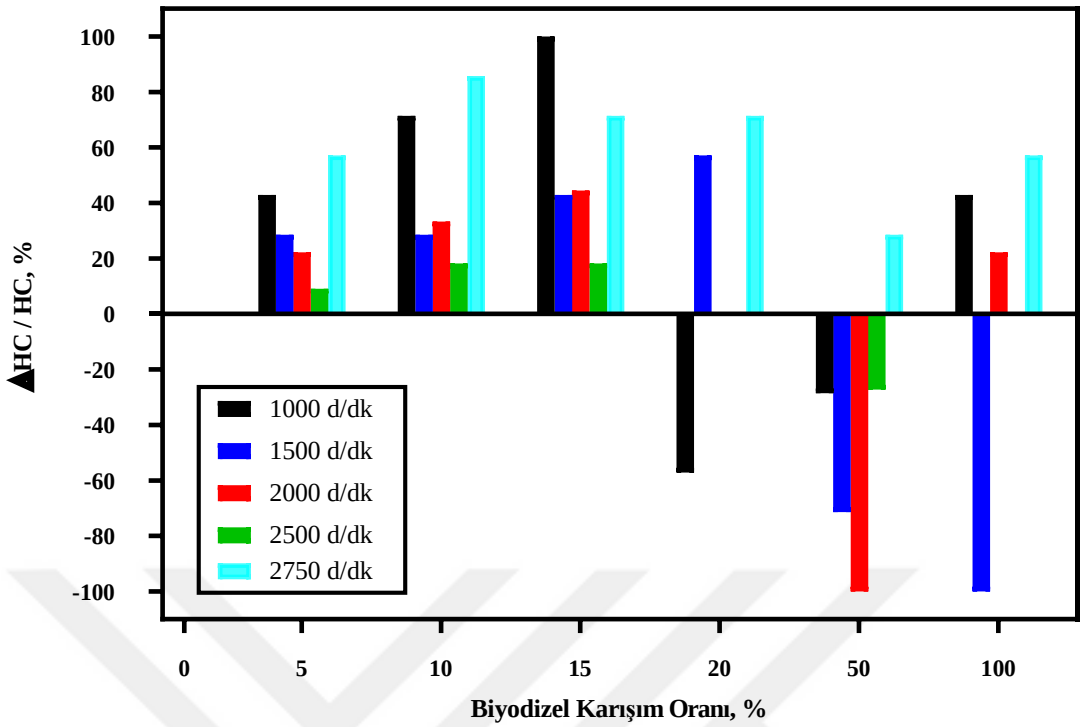
3.3.3. HC Emisyonları

Şekil 3.23'te, (1000, 1500, 2000, 2500, 2750) d/dak gibi seçilen devir sayılarında HC emisyonlarının biyodizel karışım oranıyla değişimleri verilmiştir. Şekil 3.24'te ise, aynı devir sayılarında seçilen biyodizel karışımları için HC emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranları sunulmuştur. Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'den görülebileceği gibi, biyodizel kullanımı ile HC emisyonları genel olarak artmıştır. Ancak, B20, B50 yakıt karışımları ve B100 yakıtının bazı devir sayılarında HC emisyonları azalmıştır. Biyodizelin viskozitesi yüksek olduğu için biyodizel oranı arttıkça doğal olarak karışımın viskozitesi de artar. Çok iyi bilindiği gibi; viskozitesi yüksek yakıtlar silindir içerisine püskürtüldüğünde daha büyük çaplı damlacıklar oluşur. Bu durumda yakıt ile havanın hızlı ve homojen karışması biraz zorlaşır ve söz konusu durumun HC'lerin artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. 3.4 bölümünde açıklandığı gibi; seçilen bazı devir sayıları ve biyodizel oranları için silindir sıcaklıklarının krank mili açısına göre değişimlerden biyodizel kullanımı ile silindir sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür ve bu durumun HC'lerin oluşumuna katkı sağladığı düşünülmektedir. Yani özellikle soğuk silindir çeperlerinde

biriken yakıtın yanamaması, HC'lerin artmasına neden olmuş olabilir. Literatürde biyodizel kullanımı ile ilgili çalışmalarda genellikle HC'lerin azaldığı görülmüştür (Mubarek vd., 2021; God vd., 2021; Ogunkule ve Ahmed, 2020; Caliskan ve Mori, 2017). Ancak biyodizel kullanımı ile HC'lerin arttığı çalışmalar da vardır (Sathyamurthy vd., 2021; Reddy vd., 2020). Reddy ve arkadaşları (2020) Hint yağından ürettikleri biyodizelin etkilerini tek silindirli bir dizel motorunda deneysel olarak incelemiş ve sonuçları SDY sonuçları ile karşılaştırmıştır. İlgili çalışmada biyodizel kullanımı ile HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir. 5.20 kW için SDY durumunda HC'ler yaklaşık 51 ppm iken B100 için aynı güç değerinde HC'ler yaklaşık 83 ppm olmuştur. İlgili çalışmada ayrıca biyodizel ısıtılmıştır. Biyodizel ısıtıldığında viskozitesi azalmış ve daha iyi atomize olmuştur. Böylece, biyodizel ısıtıldığında HC'ler B100'e göre azalmıştır. Örneğin aynı güç için aynı devirde biyodizelin ısıtılması durumunda HC'ler yaklaşık 66 ppm olmuştur.



Şekil 3.23. Beş farklı devir sayısı için HC emisyonlarının farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri

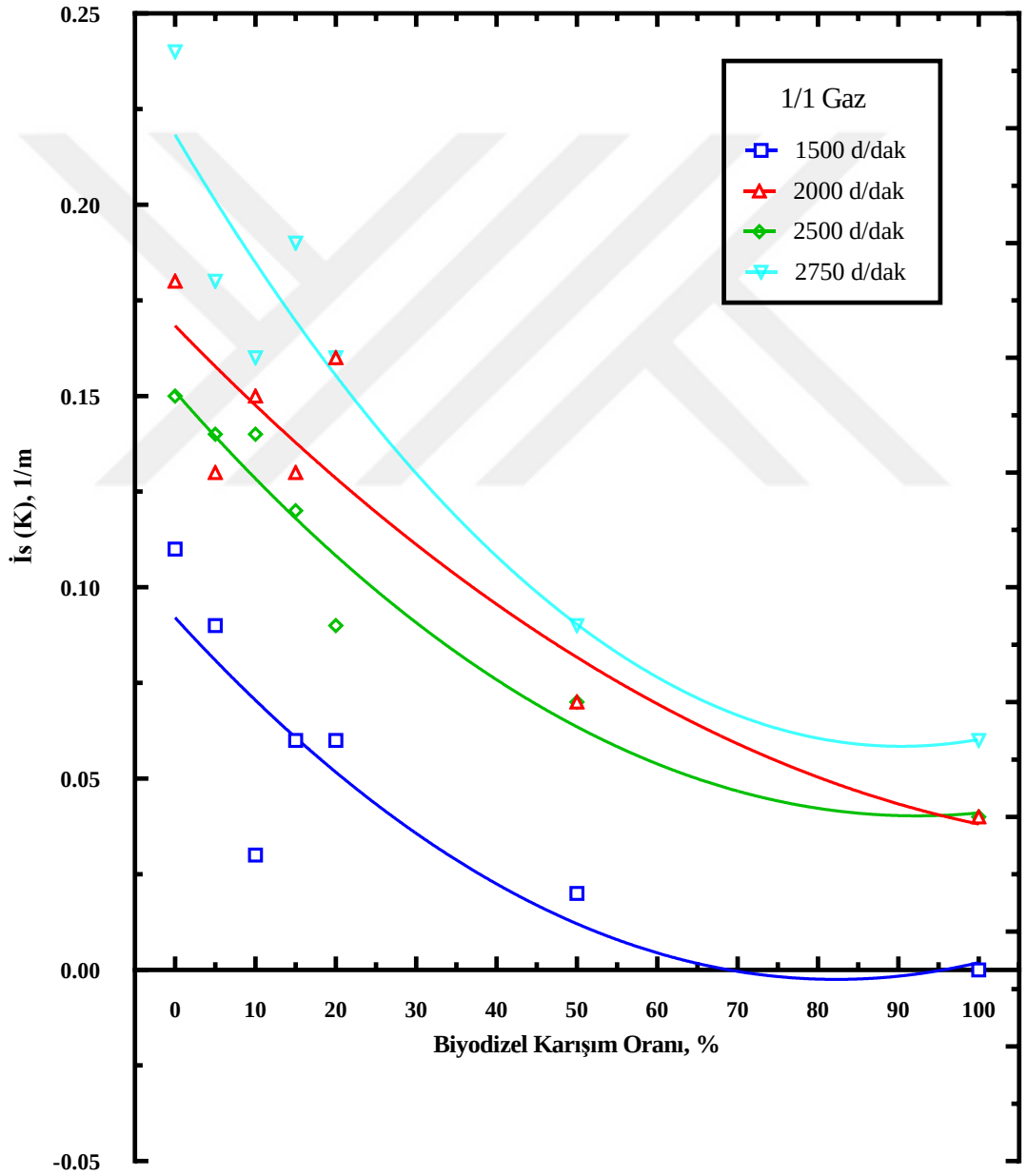


Şekil 3.24. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için HC emisyonlarında SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

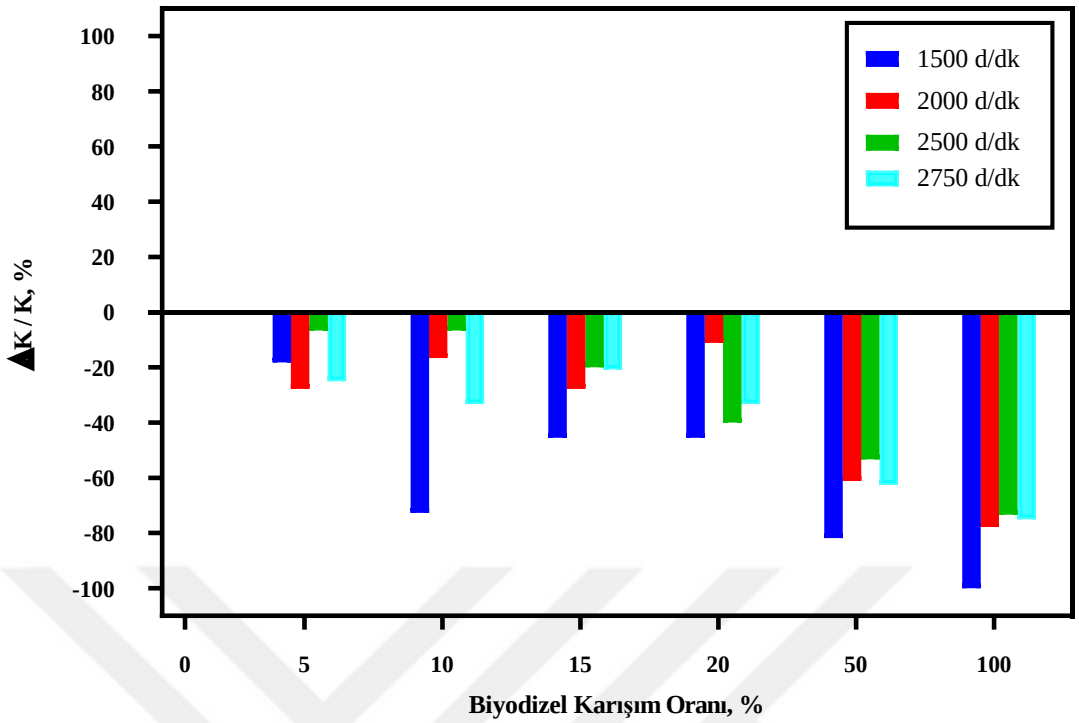
3.3.4. İs (K Faktörü) Emisyonları

Şekil 3.25'te, (1000, 1500, 2000, 2500, 2750) d/dak gibi seçilen devir sayılarında is emisyonlarının (K faktörünün) biyodizel karışım oranıyla değişimleri verilmiştir. Şekil 3.26'da da, aynı devir sayılarında seçilen biyodizel karışımları için is emisyonlarında (K faktöründe) SDY'ye göre oluşan artma veya azalma oranları sunulmuştur. Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'ya bakıldığında, 1000 d/dak devir sayısı için artan biyodizel oranıyla birlikte is emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. İlgili şekillerden görülebileceği gibi en düşük is (K) değerleri B100 yakıtında bulunmuştur. İs emisyonlarının azalmasının, daha önceki yorumlarda açıklandığı gibi; biyodizel kullanımı ile silindir içerisindeki karışımın oksijen miktarının artmasının yanmayı iyileştirmesinin doğal bir sonucu olduğu düşünülebilir. Şekil 3.26'dan görülebileceği gibi is emisyonlarındaki maksimum azalma; 1500 d/dak devir sayısında ve B100 yakıtında 0 emisyon ölçülmesi sonucu, %100 düzeyinde olmuştur. Öte yandan ölçümlerden elde edilen verilere göre 2000 d/dak devir sayısında ve B100 yakıtında maksimum azalma ~%77.8 düzeyinde olduğu görülebilir.

Başlıca literatürde de benzeri sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir (God vd., 2021; Asokan vd., 2021; How vd., 2018). God ve arkadaşları (2021) SDY ile birlikte Mısır'da besiciliği yapılan Mısır koyununun yağından elde edilen biyodizeli karıştırarak oluşturulan B10 ve B20 yakıt karışımlarını kullanarak deneysel çalışma yapmıştır. Burada, B10 ve B20 kullanımıyla SDY'ye göre is emisyonunda, sırasıyla %25 ve %50 oranlarında azalmalar sağlanmıştır.



Şekil 3.25. Beş farklı devir sayısı için is emisyonlarının (K Faktörünün) farklı biyodizel karışım oranlarına göre değişimleri



Şekil 3.26. Beş faklı devir sayısı ve farklı biyodizel oranları için is emisyonlarında (K Faktöründe) SDY'ye göre oluşan artma ve azalma oranları

3.4. SDY ve B100 ile Farklı BDYK'nin Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranı ve Yanma Süresi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Bu bölümde; SDY, B05, B10, B15, B20, B50 şeklindeki biyodizel/dizel yakıt karışımlarının ve B100 yakıtının (1000, 1500, 2000, 2500) d/dak devirleri için; silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri grafikler ve tablolar şeklinde sunularak yorumlanmıştır. Ayrıca; yanma sonunda açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yaralanarak yanma süreleri de belirmiştir ve tablolar şeklinde verilmiştir. Burada; yukarıda belirtilen yakıtlar ve yakıt karışımlarıyla söz konusu devir sayılarında, 20.5 sabit sıkıştırma oranlı tek silindirli dizel motorunda kullanılarak tam yük altında silindir basınçları, silindir sıcaklıkları ve açığa çıkan ısı oranlarına ilişkin grafikler sırasıyla sunulmuştur. Sunulan tez çalışmasında ayrıca yanma süresi için, ampirik bir bağıntı geliştirmek amacı ile ayrıntılı bir çalışma da yapılmıştır. Elde edilen ampirik bağıntıdan yararlanarak, biyodizel oranının ve devir sayısının yanma süresine etkileri de irdelenmiştir. Bu konuda Bölüm 2.9'da ayrıntılı bilgi verilmiştir.

3.4.1. 1000 d/dak'da SDY'nin, Farklı BDYK'nin ve B100'ün Kullanımının Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranı ve Yanma Süresi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Bu paragrafta; 1000 d/dak'da SDY, farklı BDYK'nin ve B100'ün; silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da sırasıyla gösterilmiştir. Söz konusu grafikler yukarıda da açıklandığı gibi 20.5 sabit sıkıştırma oranında tam gaz durumunda ve tam yük altında elde edilmiştir ve sunulmuştur. Önce SDY, ardındanda farklı BDYK ve son olarak da B100 deneyleri yapılmıştır. Biyodizel/dizel yakıtı karışımları deneylerden hemen önce yukarıda verilen oranlarda hazırlanmış ve sırası ile deney düzeneğinin yakıt tankına doldurularak ilgili deneyler yapılmıştır. Şekil 3.27'de 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basıncı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri (P-θ eğrileri) verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi seçilen tüm yakıt karışımları ve B100 için elde edilen eğrilerin genel karakterinin SDY eğrilerine benzemektedir. SDY için maksimum silindir basıncı 75.968 bar ve bu basıncın elde edildiği açı 6 °KMA olarak ölçülmüştür. 1000 d/dak'da; (B05, B10, B15, B20, B50 ve B100) BDYK'nin maksimum basınçları sırasıyla (77.286, 76.135, 76.374, 77.567, 76.353, 75.728) bar olarak elde edilmiştir. İlgili basınçların elde edildiği krank mili açısı değerleri seçilen tüm yakıt ve yakıt karışımları için SDY'de olduğu gibi 6 °KMA olmuştur. Şekil 3.27'den görülebileceği gibi; B100 dışında kalan tüm yakıt karışımlarındaki maksimum basınç değerleri SDY'nın maksimum basınç değerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum, biyodizel yakıtının yapısında bulunan oksijenin yanmayı iyileştirdiği ve dolayısıyla artan biyodizel oranıyla birlikte daha yüksek basınç değerlerinin elde edildiği şeklinde yorumlanmıştır. Burada; B100 kullanımında maksimum basınç değeri biraz düşük olmuştur. Bu düşüşün, 1000 d/dak gibi düşük devir sayısında oluşan kararsızlıktan kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü daha sonraki grafiklerde görüleceği üzere 1500 d/dak gibi orta hızlarda ve üzerindeki tüm devir sayılarında bu durum söz konusu değildir. Artan biyodizel oranı maksimum silindir basıncında artmaya neden olmaktadır. Khiari ve arkadaşları (2015) saf dizel yakıtı ve saf biyodizel yakıtının silindir basıncı değerleri, silindir sıcaklığı değerleri ve açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkilerini tek silindirli bir dizel motorunda incelemişlerdir. Bu çalışmada saf biyidizel yakıtının basınç değerlerinin SDY'nin değerlerinden daha yüksek olduğunu deneysel olarak belirlemişlerdir. Yazarlar SDY için maksimum basınç değerini 70.23 bar ve saf biyodizel için ise 70.92 bar ölçmüştür. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi açıklamışlardır. Biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin azaldığını ve biyodizelin

oksijen içermesinden dolayı yanmanın iyileştiği ve daha fazla yakıtın erken evrede yandığı belirtmişlerdir. Böylece yanmanın ön yanma fazında meydana geldiğini ve bunun sonucunda da maksimum silindir basıncı değerlerinin arttığını ifade etmişlerdir. Benzeri bir çalışmada Ravishankar vd. (2021) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada %(10, 20, 30) biyodizel/dizel yakıtı karışımları tek silindirli bir motorda deneysel olarak incelenmiştir ve sonuçlar SDY sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu çalışmada da maksimum silindir basınçları seçilen biyodizel karışımları için artmıştır. Örneğin SDF ve %(10, 20, 30) biyodizel/dizel karışımları için bulunan maksimum silindir basınçları (72.27, 73.84, 72.91 ve 73.52) bar şeklinde ölçülmüştür ve ilgili basınç değerleri ÜÖN'dan 10 °KMA'da meydana gelmiştir. Farklı yazarlar tarafından da benzeri sonuçlar bulunmuştur (Uyumaz, 2020; Kondaiah vd., 2021).

Şekil 3.28'de 1000 d/dak'da SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklığı değerlerinin KMA'ya göre değişimi verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde; biyodizel oranı arttıkça B15 karışımına kadar sıcaklıklarının arttığı ve daha sonraki karışım oranlarında ise yavaş yavaş düşmeye başladığı görülmüştür. B100 için ise silindir sıcaklığı değerleri hem SDY hem de seçilen tüm karışımlardan daha düşük olmuştur. Tablo 3.2'den görülebileceği gibi devir sayısı arttıkça B100 ve SDY'nın silindir sıcaklıkları birbirine daha çok yaklaşmıştır ancak hemen hemen tüm devir sayılarında B100 durumunda silindir sıcaklıkları SDY'nın sıcaklık değerlerinden düşük çıkmıştır. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilir. 1000 d/dak devir sayısı düşük bir devir olduğu için motorun bu devirde çalışmasında küçük dengesizliklerin meydana geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle bu devirde aslında biyodizelin etkisinin tam olarak sonuçlara yansıtılamadığı tahmin edilmektedir. Biyodizelin dizel yakıtına karıştırılmasıyla karışımdaki oksijen miktarı arttığından yanma iyileşmektedir ancak B15 ve B20 karışım oranlarından sonra biyodizelin olumsuz etkileri yavaş yavaş daha baskın olmaya başlamıştır. Böylece biyodizelin oranının artmasıyla karışımın viskozitetesi ve yoğunluğu artmaya başladığından, yanma bozulmaya başlamıştır. Bunların sonucunda da silindir sıcaklıkları B15'ten sonra azalmaya başlamıştır. SDY için maksimum silindir sıcaklığı 16 °KMA'da 1939. 961 K olarak elde edilmiştir. 1000 d/dak'da %(B05, B10, B15, B20, B50 ve B100) BDYK için elde edilen maksimum silindir sıcaklıkları sırasıyla (1957.256, 1949.101, 1970.491, 1957.639, 1934.116 ve 1830. 910) K'dir. İlgili sıcaklık değerleri B05 ve B100 için 15 °KMA'da diğer BDYK için 16 °KMA'da elde edilmiştir. Tüm devir sayılarında SDY ve seçilen BDYK için maksimum basınç değerleri, maksimum sıcaklık değerleri ve bu değerlerin maksimum olduğu KMA'sı

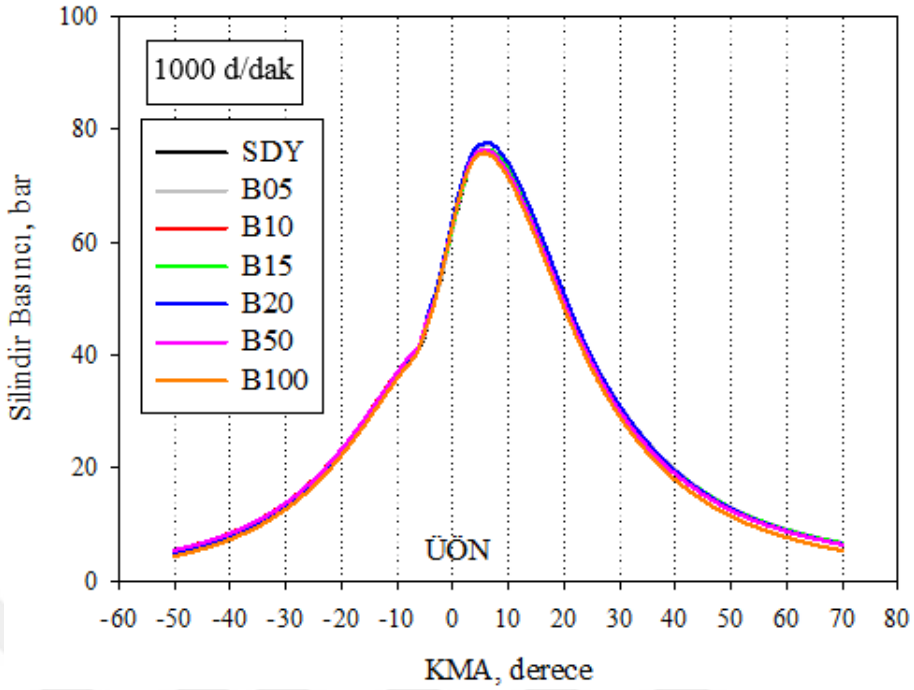
değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Uyumaz vd. (2020) tek silindirli bir dizel motorunda %10 ve %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının motor performansı, yanma ve eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini deneysel incelemişlerdir ve sonuçları SDY sonuçları ile karşılaştırarak irdelemişlerdir. Bu çalışmada silindir sıcaklıklarının biyodizel kullanımı ile arttığı belirtilmiştir. Maksimum silindir sıcaklıkları, SDY, %10 ve %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımları için sırasıyla ortalama 1082 K, 1170 K ve 1237 K şeklinde belirlemişlerdir. Farklı araştırmacılar tarafından da benzeri sonuçlar bulunmuştur (Mohamed vd., 2020; Temizer vd., 2020).

Şekil 3.29'da; 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranının KMA'ya göre değişimi verilmiştir. Şekil 3.29 incelendiğinde; saf biyodizel ve bünyesinde biyodizel bulunduran yakıt karışımlarının açığa çıkan ısı oranı değişimlerinin genel karakteriyle SDY'nin değişiminin genel karakteri çok benzer çıkmıştır. Seçilen BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranları genellikle SDY'den daha yüksek çıkmıştır. Açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri; SDY için 26.190 Joule/derece olarak -1 °KMA'da elde edilmiştir. B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri sırasıyla (27.264, 26.013, 26.308, 26.833, 26.404 ve 26.111) Joule/derece olarak elde edilmiştir. Bu değerler B100 için 0 °KMA'da, diğer yakıt karışımları için 1 °KMA'da elde edilmiştir. Burada B10 karışımı ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının maksimum değerleri SDY'na göre biraz daha küçük çıkmıştır. Bununla birlikte, diğer yakıt karışımları için açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri SDY'nin değerinden daha yüksek olmuştur.

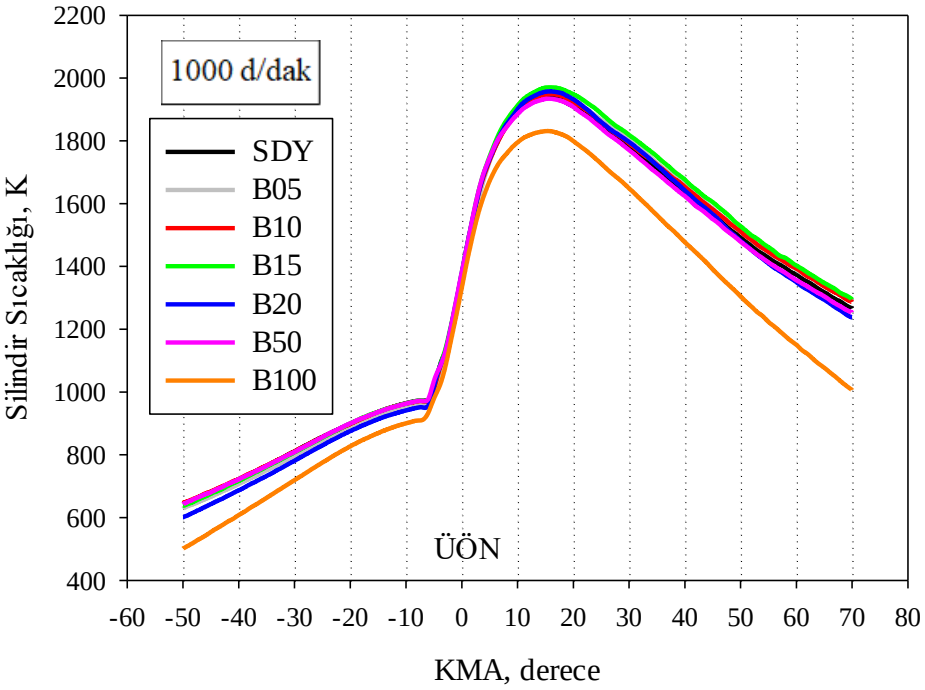
Tablo 3.1'den görülebileceği gibi, biyodizel oranının artmasıyla birlikte yanmanın daha erken başladığı yani tutuşma gecikmesinin azaldığı görülmüştür. Ancak, 1000 d/dak'da devir sayısının çok düşük olması nedeniyle yanmanın daha kararsız olduğu Tablo 3.1 deki verilerden anlaşılabilir. İlgili tablo incelendiğinde 1000 d/dak dışındaki tüm devir sayılarında biyodizel oranının artmasıyla birlikte yanmanın başladığı KMA'sının da düştüğü açıkça görülebilir. Ancak 1000 d/dak'da ise kararsız değerler göze çarpmaktadır. Başlıca literatürde yapılan değişik çalışmalarda da biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin azaldığı açıklanmaktadır (Karthickeyan vd., 2019; Tesfa, 2013; Tuannghia, 2020; Rao vd., 2007). Tutuşma gecikmesinin azalmasının biyodizelin setan sayısının yüksek olmasından ve kimyasal yapısında oksijen bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sunulan tez çalışmasında da; Tablo 2.1'de görüleceği gibi, biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının biyodizel oranı arttıkça; ölçülebilen setan sayısı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Saravanan ve

arkadaşları (2010) tek silindirli bir dizel motorunda %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımının yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İlgili çalışmada, biyodizel ham pirinç kepeğinden üretilmiştir. Bu çalışmada; tutuşma gecikmesi SDY ve %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımı için sırasıyla 14.54 °KMA ve 12.90 °KMA şeklinde belirlenmiştir.

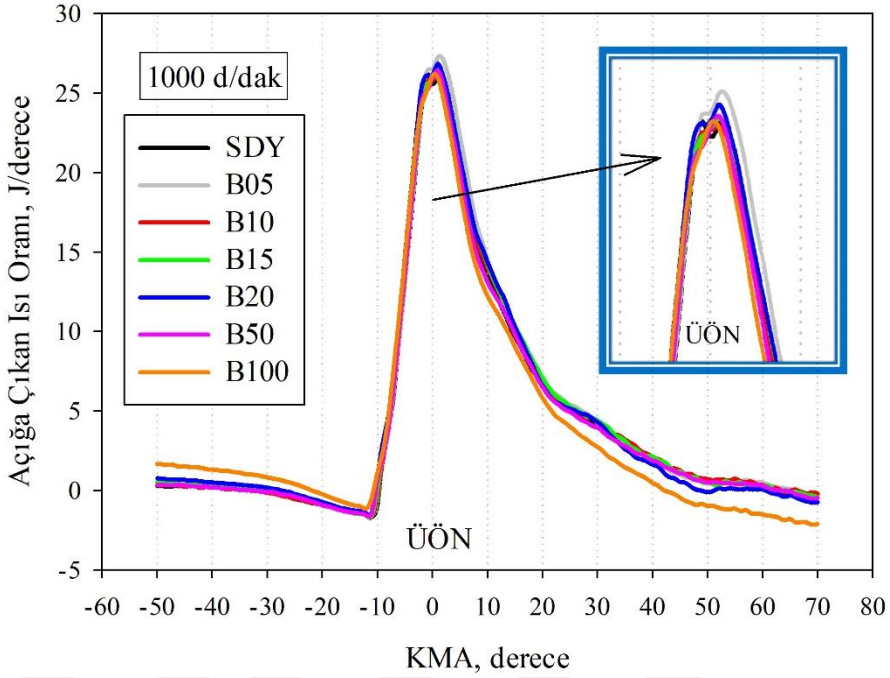
Sunulan tez çalışmasında açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak yanma süreleri de belirlenmiştir. Başlıca literatüre göre, açığa çıkan ısı oranının maksimum değerinin %10'u ile %90'ını oluşturan KMA aralığı, yanma süresi olarak alınabilmektedir (Muinos vd., 2017; Singh vd., 2015; Zhang vd., 2014). Böylece, açığa çıkan ısı analizi eğrisinden yararlanarak; seçilen devir sayılarında, SDY, seçilen tüm BDYK ve B100 için yanmanın başladığı ve tamamlandığı KMA'sı değerleri ve yanma süreleri belirlenerek Tablo 3.1'de sunulmuştur. Tablo 3.1'den görülebileceği gibi; 1000 d/dak'da, SDY için yanma süresi 12.171 °KMA olarak belirlenmiştir. (B05, B10, B15, B20 ve B50) biyodizel/dizel yakıtı karışımları ve B100 için ise yanma süreleri sırasıyla; (12.452, 12.022, 12.278, 12.426, 11.636 ve 11.602) °KMA şeklinde hesaplanmıştır. Buradan B10, B50 ve B100 için yanma sürelerinin SDY'den biraz düşük, B05, B15 ve B20 yakıt karışımlarının yanma sürelerinin ise biraz yüksek olduğu görülmüştür. Yukarıda da belirtildiği gibi, 1000 d/dak'da küçük dengesizlikler olmakla birlikte, ortalama olarak artan biyodizel oranıyla birlikte yanma sürelerinin arttığı ve maksimum değerin 12.426 °KMA'la B20 yakıt karışımında elde edildiği ve budan sonra yanma sürelerinin azalmaya başladığı görülmüştür. Düşük karışım oranlarında yanma süresinin artmasının, biyodizelin kimyasal yapısında oksijen olmasının yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ancak karışımdaki biyodizel oranı arttıkça biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk gibi yetersizliklerinin etkileri daha baskın duruma geçtiğinden B20'den sonra yanma süresinin azalmaya başladığı görülmüştür. Aslında, B20'den sonraki karışımlarında biyodizel yüksek viskozitesinin ve yoğunluğunun, biyodizelin yapısındaki oksijenin iyiliğinden daha baskın duruma geldiği söylenebilir. Tablo 3.1'den görülebileceği gibi (1000, 1500, 2000 ve 2250) d/dak devir sayılarında, yanma süreleri, B100 durumunda genellikle SDY'den düşük değerler almıştır. Ancak (2500 ve 2750) d/dak gibi daha yüksek devir sayılarında B100 için yanma süreleri SDY'den yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, 1000 d/dak için en ideal karışım oranının B20 olduğu söylenebilir. Başlıca literatürde yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlara ulaşılmıştır (Deshmukh vd. (2009), Rajendran vd. (2018)).



Şekil 3.27. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.28. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.29. 1000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri

3.4.2. 1500 d/dak'da SDY, Farklı BDYK'nin ve B100 kullanımının Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

1500 d/dak'de; SDY, farklı BDYK'nin ve B100'ün silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Şekil 3.30'da 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basıncı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi, bu devir sayısında da seçilen tüm yakıt karışımları ve B100 için elde edilen eğrilerin genel karakteri SDY'ye benzemektedir. SDY için maksimum silindir basıncı 72.733 bar ve bu basıncın elde edildiği açı 8 °KMA olarak ölçülmüştür. 1500 d/dak'da; (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için maksimum basınçlar sırasıyla (73.306, 73.228, 73.066, 73.076, 73.222 ve 74.884) bar olarak belirlenmiştir. İlgili basınçların elde edildiği krank mili açısı değerleri B100 hariç diğer tüm yakıt karışımları için SDY'de olduğu gibi 8 °KMA, B100 için ise 7 °KMA olmuştur. Şekil 3.30'dan görülebileceği gibi; tüm yakıt karışımları ve B100 için maksimum basınç değerleri SDY'den yüksek çıkmıştır. SDY'nin maksimum basınç değerine göre artış oranlarına bakıldığında, B100 için %3'lere ulaşıldığı görülebilir. Bu durum için, yukarıdaki paragraflarda açıklandığı gibi; biyodizelin yapısında bulunan

oksijenin yanmayı iyileştirmesinin ve dolayısıyla artan biyodizel oranlarıyla birlikte daha yüksek basınç değerlerinin oluşmasının bir sonucu olduğu söylenebilir. Başlıca literatürde de benzeri sonuçlara ulaşılmıştır, yani karışımlardaki biyodizel oranın artmasıyla silindir basıncı değerleri arttığı belirlenmiştir (Khiari vd. (2015), Ravishankar vd. (2021), Uyumaz (2020); Kondaiah vd. (2021)). Sunulan çalışmada da 1000 d/dak için yapılan yorumlarda bu durumun nedenleri ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Tablo 3.1'den de görülebileceği gibi, B100 kullanımı ile yanma süreleri SDY'ye göre azalmıştır. Bu da; saf biyodizel durumunda yanmanın biraz bozulduğunu göstermektedir. Yukarıda ayrıntılı olarak sunulduğu gibi biyodizelin viskozitesi ve yoğunluğu dizel yakıtına göre daha yüksektir. Bu özelliklerinde yakıtın yanmasını etkilediği literatürden çok iyi bilinmektedir (Heywood, 1998; Durgun, 2022). Ancak seçilen biyodizel karışım oranları için ise yanma süreleri SDY'ye göre artmıştır. Bununla birlikte yalnızca B20'den sonra yanma süreleri yeniden azalmaya başlamıştır.

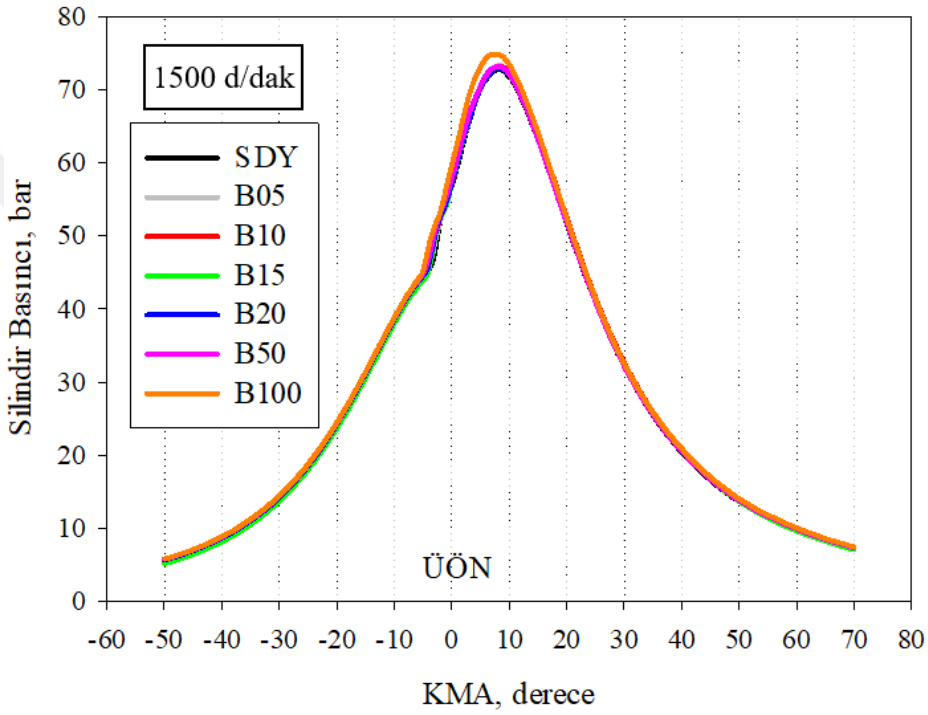
Şekil 3.31'de; 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklığı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde; biyodizel oranı arttıkça B10 karışımına kadar sıcaklıkların arttığı ve daha sonraki karışım oranlarında ise yavaş yavaş düşmeye başladığı görülebilir. B100'ün silindir sıcaklığı değerleri, seçilen devir sayıları için, SDY'den ve kullanılan biyodizel/dizel yakıtı karışımlarından daha düşük çıkmıştır. 1500 d/dak'da; SDY için maksimum silindir sıcaklığı 18 °KMA'da 2084.546 K olarak belirlenmiştir. Aynı devir sayısında, (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için elde edilen maksimum silindir sıcaklıkları sırasıyla (2109.222, 2120.905, 2106.517, 2077.235, 2071.219 ve 2070.238) K olmuştur. İlgili sıcaklık değerleri B05 için 19 °KMA'da ve B10 için 20 °KMA'da diğer BDYK ve B100 için SDY'nda olduğu gibi 18 °KMA'da oluşmuştur. 1500 d/dak için seçilen BDYK karışımları için maksimum basınç değerleri, maksimum sıcaklık değerleri ve bu değerlerin oluştuğu KMA'sı değerleri Tablo 3.2'de sunulmuştur. Biyodizel kullanımın silindir sıcaklığı üzerindeki etkileri literatürde verilen çalışmalara benzemektedir (Uyumaz vd., 2020; Mohamed vd., 2020; Temizer vd., 2020). Burada da biyodizel kullanımının silindir sıcaklığı üzerindeki etkileri ile ilgili; 1000 d/dak devir sayısında ayrıntılı biçimde sunulmuş olan yorumlara benzer irdelemeler yapılabilir.

Şekil 3.32'de; 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranının KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. Şekil 3.32 incelendiğinde; saf biyodizel ve içerisinde biyodizel bulunduran yakıt karışımlarının açığa çıkan ısı oranı değişimlerinin genel yapılarının SDY'ye çok benzer oldukları görülebilir. Seçilen BDYK ve B100 için açığa

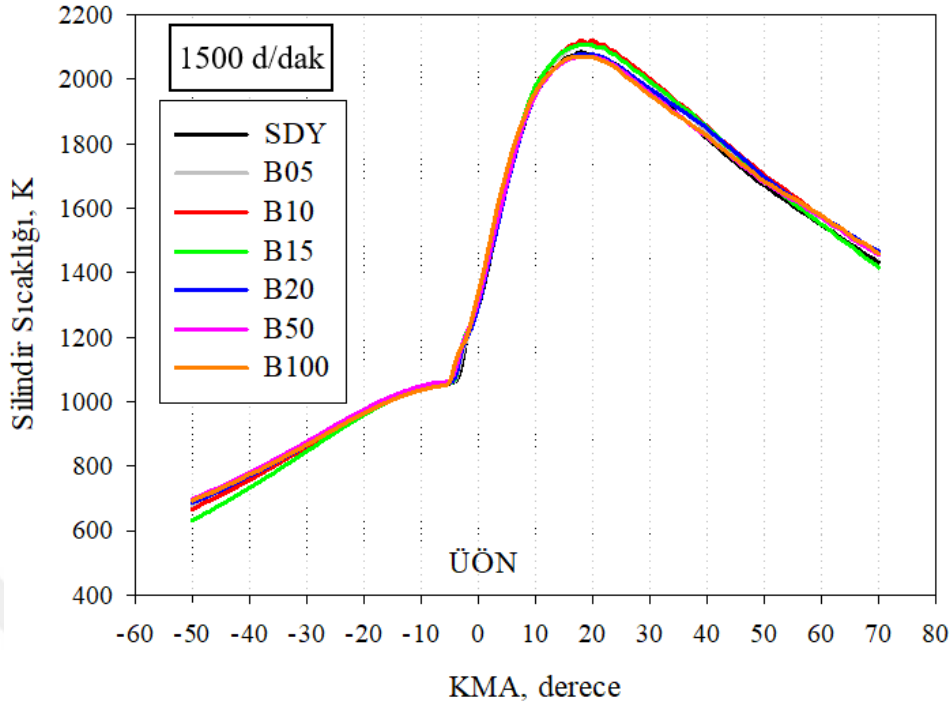
çıkan ısı oranları genellikle SDY'ye göre daha yüksek çıkmıştır. Açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri; SDY için 25.780 Joule/derece olarak 4 °KMA'da oluşmuştur. B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için ise açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri sırasıyla (26.157, 26.176, 25.912, 25.777, 25.376 ve 25.574) Joule/derece olarak belirlenmiştir. Bu değerler B100 için 3 °KMA'da, diğer yakıt karışımları için SDY'de olduğu gibi 4 °KMA'da oluşmuştur. Buradan B50 karışımı ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının maksimum değerlerinin SDY'ye göre biraz daha düşük çıktıkları görülmektedir. Bununla birlikte, B20 karışımının açığa çıkan ısı oranının maksimum değeri SDY'nin değeriyle hemen hemen aynı değer almış, diğer yakıt karışımları için ise SDY'den daha yüksek olmuştur. Buradan BDYK ve B100 için yanmanın daha önce başladığı ve açığa çıkan ısı oranı eğrilerinin sağa doğru kaydığı görülmüştür. Bu durumun, Tablo 3.1'den görülebileceği gibi, biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin azalmasından ve bunun sonucunda ön yanma evresinin daha erken başlamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Khiari vd., 2015; Mohamed vd., 2020).

Daha öncede belirtildiği üzere; literatür çalışmalarının (Muinos vd., 2017; Singh vd., 2015; Zhang vd., 2014) ışığında, açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak yanma süreleri belirlenmiş ve Tablo 3.1'de sunulmuştur. Tablo 3.1'den görülebileceği gibi; 1500 d/dak'da, SDY için yanma süresi 14.467 °KMA olarak belirlenmiştir. (B05, B10, B15, B20 ve B50) BDYK ve B100 için ise yanma süreleri sırasıyla; (14.714, 14.544, 14.774, 14.746, 14.639 ve 14.378) °KMA şeklinde hesaplanmıştır. Buradan B100 için yanma süresi SDY'den biraz daha kısa, buna karşın diğer tüm BDYK için SDY'den biraz yüksek olduğu görülebilir. Daha öncede belirtildiği üzere, genel olarak artan biyodizel oranlarıyla yanma sürelerinin arttığı ve maksimum değerin 14.774 °KMA'da B15 yakıt karışımında elde edildiği ve bu karışım oranından sonra artan biyodizel oranıyla azalmaya başladığı görülmüştür. Önceki paragraflarda 1000 d/dak için yapılan yorumlarda da belirtildiği gibi; düşük karışım oranlarında yanma süresinin artmasının, biyodizelin kimyasal yapısında oksijen olmasının yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı ancak karışımdaki biyodizel oranı arttıkça biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk gibi yetersizliklerinin etkileri daha baskın duruma geçtiğinden B15'den sonra yanma süresinin azalmaya başladığı söylenebilir. Sonuç olarak, 1500 d/dak için en ideal karışım oranının B15 olduğu görülmüştür. Jeon ve arkadaşları (2013) saf biyodizelin ve saf dizel yakıtının adyabatik alev sıcaklıklarını ve yüksek hızlı kamera ile her iki yakıtın yanma odasındaki yanma karakteristiklerini görüntüleyerek incelemişlerdir. Böylece bu çalışmada biyodizel kullanımı ile tutuşma

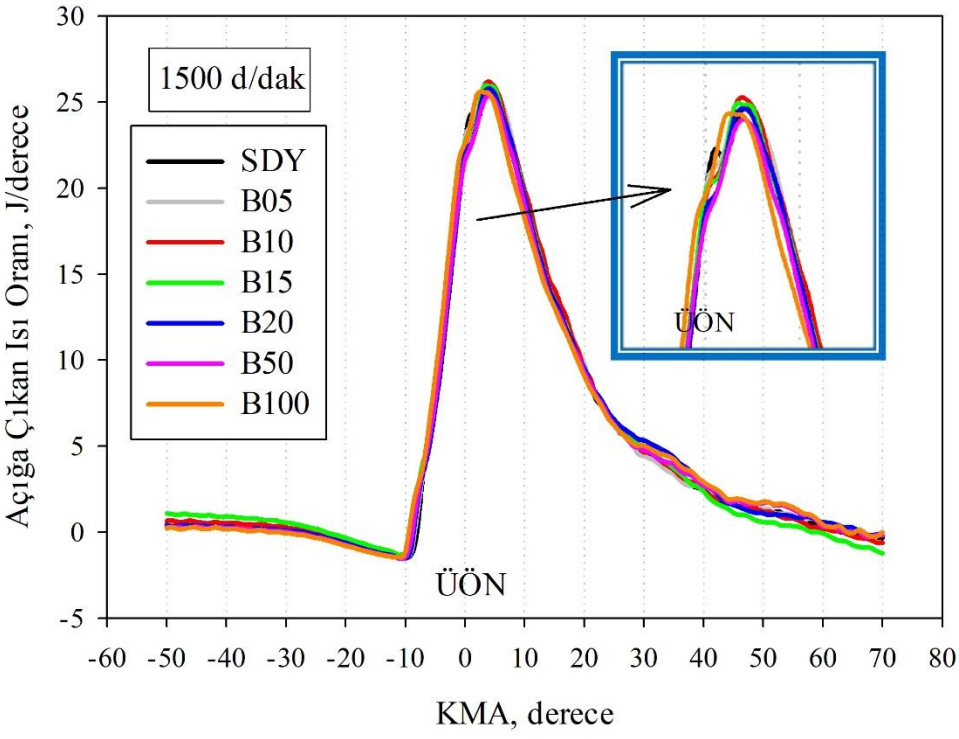
gecikmesinin azaldığını ve yanmanın daha hızlı olduğunu belirlemişlerdir. İlgili çalışmada püskürtme avansının etkisi de incelenmiş ve püskürtme avansı küçüldükçe biyodizel durumunda yanma sürelerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Püskürtme avansının 15 °KMA olduğu durumda SDY için yanma süresi 53.5 °KMA olurken biyodizel için aynı koşullarda yanma süresi 50.5 °KMA şeklinde belirlenmiştir. Bunun yanında literatürde yapılan farklı çalışmalarda da benzeri sonuçlara ulaşıldığı açıklanmaktadır (Deshmukh vd., 2009; Rajendran vd., 2018).



Şekil 3.30. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.31. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.32. 1500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri

3.4.3. 2000 d/dak'da SDY'nin, Farklı BDYK'nin ve B100'ün Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

2000 d/dak'de, SDY'nin, farklı BDYK'nin ve B100'ün silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 3.33, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te gösterilmiştir. Şekil 3.33'te 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basıncı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekilden görülebileceği gibi 2000 d/dak'da da seçilen tüm yakıt karışımları ve B100 için elde edilen eğrilerin genel karakterinin SDY'ye benzemektedir. SDY için maksimum silindir basıncı 69.404 bar ve bu basıncın elde edildiği açı 9 °KMA olarak ölçülmüştür. 2000 d/dak'da; (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için ise maksimum basınçları sırasıyla (69.940, 70.779, 70.232, 70.404, 71.196 ve 72.368) bar olarak belirlenmiştir. İlgili basınçların oluştuğu krank mili açısı değerleri B100 hariç diğer seçilen tüm yakıt karışımları için SDY'ye benzer şekilde 9 °KMA, B100 için ise 8 °KMA olmuştur. Şekil 3.33'ten görülebileceği gibi; tüm yakıt karışımları ve B100 için maksimum basınç değerleri SDY'den yüksek çıkmıştır. SDY'ye göre maksimum basınç değerlerindeki artış oranlarına bakıldığında, B100 için %4.3'lere ulaştığı görülebilir. Bu durumun, yukarıdaki bölümlerde açıklandığı gibi biyodizelin yapısında bulunan oksijenin yanmayı iyileştirmesinin ve dolayısıyla artan biyodizel oranıyla birlikte daha yüksek basınç değerlerinin oluşmasının bir sonucu olduğu söylenebilir. Başlıca literatürde de benzeri sonuçlara ulaşıldığı, yani karışımın biyodizel oranının artmasıyla silindir basıncı değerlerinin arttığı açıklanmaktadır (Khiari vd., 2015; Ravishankar vd., 2021; Uyumaz, 2020; Kondaiah vd., 2021). Biyodizel kullanımının silindir basıncı üzerindeki etkileri yukarıdaki paragraflarda 1000 d/dak ile ilgili yorumlarda ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştı. Tablo 3.1'den de görülebileceği gibi, B100 ve B50 için yanma süreleri SDY'ye göre azalmıştır. Bu da biyodizel kullanımı durumunda yanmanın daha hızlı olduğu gerçeğini göstermektedir. Jeon ve arkadaşları (2013) tarafından da yapılan çalışmada biyodizelin dizel yakıtına göre daha hızlı yandığı belirlenmiştir. Ancak B50'den daha düşük karışım oranları için ise yanma süreleri SDY'ye göre artmıştır. Bununla birlikte B15'den sonra yanma süreleri yeniden azalmaya başlamıştır.

Şekil 3.34'te; 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklığı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde; B05'in silindir sıcaklığı değerlerinin SDY'den daha düşük olduğu görülebilir. Ancak söz konusu karışım oranından sonra silindir sıcaklığı değerleri B10 ve B15 karışımları için artmıştır. Daha

sonraki karışım oranlarında ise silindir sıcaklığı değerleri karışım oranıyla birlikte azalmaya başlamıştır. B100 için sıcaklık değerleri ise diğer devirlerde olduğu gibi bu devirde de SDY'den düşük çıkmıştır. SDY için maksimum silindir sıcaklığı 19 °KMA'da 2101.486 K olarak elde edilmiştir. 2000 d/dak'da (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için elde edilen maksimum silindir sıcaklıkları sırasıyla (2090.293, 2120.305, 2117.367, 2087.788, 2081.130 ve 2078.312) K olmuştur. İlgili sıcaklık değerleri B05 için 21 °KMA'da diğer BDYK ve B100 için 20 °KMA'da oluşmuştur. 2000 d/dak için SDY, seçilen BDYK ve B100 için maksimum basınç değerleri, maksimum sıcaklık değerleri ve bu değerlerin oluştuğu KMA değerleri Tablo 3.2'de sunulmuştur. 2000 d/dak devir sayısında biyodizel kullanımının sıcaklık üzerindeki etkilerinin literatürde verilen sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Şekil 3.35'te; 2000 d/dak'da, SDY, seçilen farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. Şekil 3.35 incelendiğinde; saf biyodizel ve içerisinde biyodizel bulunduran yakıt karışımlarının açığa çıkan ısı oranı değişimlerinin genel karakteri SDY'ye çok benzer olduğu görülebilir. Seçilen BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranları genellikle SDY'ye çok yakın değerler almıştır. Öte yandan çıkan ısı oranının maksimum değerleri; SDY için 25.537 Joule/derece olarak 7 °KMA'da oluşmuştur. B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için ise açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri sırasıyla (25.656, 25.488, 25.221, 25.023, 25.350 ve 25.147) Joule/derece olarak belirlenmiştir. Bu değerler B100 ve B50 için 6 °KMA'da, B10 için 8 °KMA'da diğer yakıt karışımları için SDY'de olduğu gibi 7 °KMA'da elde edilmiştir. Burada seçilen karışımlar içerisinde B05 karışımının açığa çıkan ısı oranı değeri maksimum değer almıştır. Diğer karışım oranları için açığa çıkan ısı oranı değerleri SDY'den daha düşük çıkmıştır. Aslında seçilen karışım oranları ve B100 için açığa çıkan ısı oranı değerlerinin SDY'ye çok yakın değerler aldığı gözlenmiştir. Önceki paragraflarda biyodizel karışımları ve B100 için yanmanın daha önce başladığı ve açığa çıkan ısı oranı eğrilerinin (yani ön yanma evresinin) sağa doğru kaydığı belirtilmişti. Bu durumun, yukarıdaki bölümlerde belirtildiği ve Tablo 3.1'den görülebileceği gibi, biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesi değerleri azalmasından ve bunun sonucunda ön yanma evresinin daha erken başlamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Khiari vd., 2015; Mohamed vd., 2020; Jeon vd., 2013).

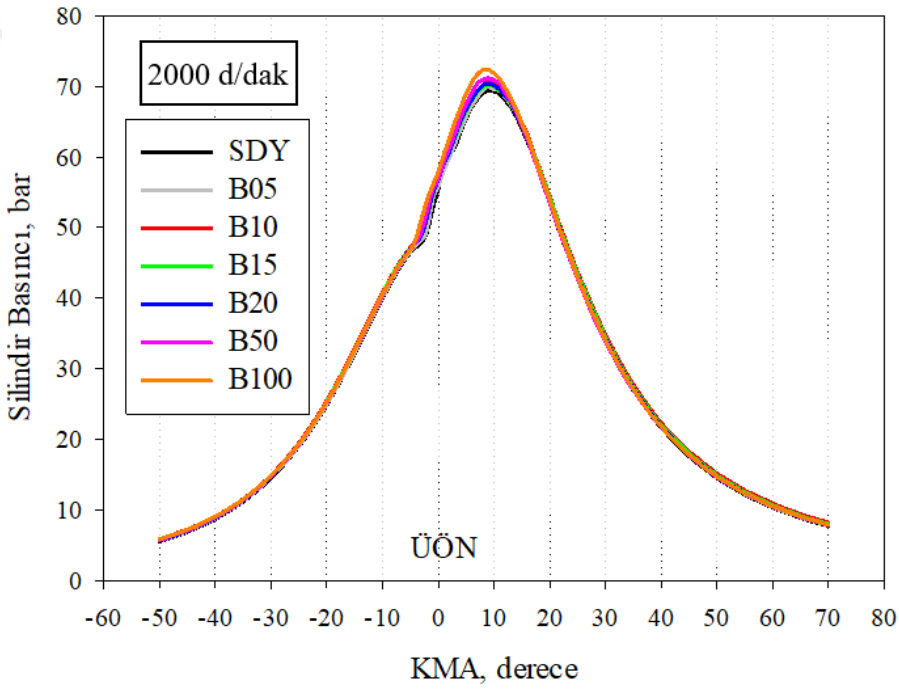
2000 d/dak için, açığığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak, yanma süreleri belirlenmiş ve bu değerler Tablo 3.1'de sunulmuştur. Söz konusu tablodan görülebileceği gibi; 2000 d/dak'da, SDY için yanma süresi 17.062 °KMA olarak belirlenmiştir. (B05, B10,

B15, B20 ve B50) biyodizel/dizel yakıtı karışımları ve B100 için ise yanma süreleri sırasıyla; (17.343, 17.577, 17.587, 17.426, 16.726 ve 16.610) °KMA şeklinde bulunmuştur. Buradan B50 karışımı ve B100 için yanma sürelerinin SDY'den biraz düşük, diğer BDYK için ise biraz yüksek olduğu görülmüştür. Daha öncede belirtildiği üzere; yanma sürelerinin genel olarak artan biyodizel oranıyla birlikte arttığı ve maksimum değerin 17.587 °KMA'la B15 yakıt karışımında elde edildiği ve bu karışım oranından sonra artan biyodizel oranıyla birlikte yanma sürelerinin de azalmaya başladığı görülmüştür. Bu devirde de, düşük karışım oranlarında yanma süresinin artmasının, biyodizelin kimyasal yapısında oksijen olmasının yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı, ancak karışımdaki biyodizel oranı arttıkça, biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk gibi yetersizliklerinin etkileri daha baskın duruma geçtiğinden, B15'den sonra yanma süresinin azalmaya başladığı görülmüştür. Sonuç olarak, 2000 d/dak için en ideal karışım oranının B15 olduğu söylenebilir. Litetatürde yapılan başlıca çalışmalarda da benzeri sonuçlara ulaşıldığı açıklanmaktadır (Deshmukh vd., 2009; Rajendran vd., 2018; Jeon vd., 2013).

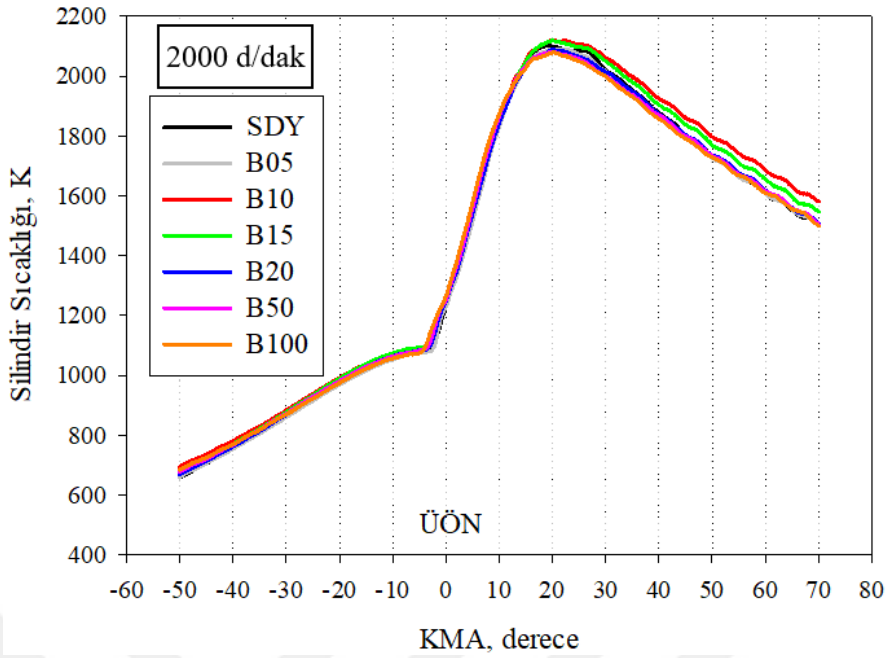
3.4.4. 2500 d/dak'da SDY'nin, farklı BDYK'nin ve B100'ün Silindir Basınçları, Silindir Sıcaklıkları, Açığa Çıkan Isı Oranları ve Yanma Süreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

2500 d/dak'de; SDY'nin, farklı BDYK'nin ve B100'ün silindir basıncı, silindir sıcaklığı, açığa çıkan ısı oranı üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Şekil 3.36'da 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basıncı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. Bu eğrilerden görülebileceği gibi; 2500 d/dak devir sayısında da seçilen tüm yakıt karışımları ve B100 için elde edilen eğrilerin genel karakteri SDY'ye benzemektedir. SDY için maksimum silindir basıncı 66.4424 bar ve bu basıncın elde edildiği açı 10 °KMA olarak ölçülmüştür. 2500 d/dak'da; (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK'nin ve B100'ün maksimum basınçları sırasıyla (66.189, 66.492, 67.450, 67.325, 66.981 ve 68.112) bar olmuştur. İlgili basınçların elde edildiği krank mili açısı değerleri B20 için 11 °KMA, B100 için 9 °KMA diğer yakıt karışımları için SDY'ye benzer şekilde 10 °KMA olmuştur. Şekil 3.36'dan görülebileceği gibi; B05 hariç diğer tüm yakıt karışımları ve B100 için maksimum basınç değerleri SDY'den yüksek çıkmıştır. SDY'nin maksimum basınç değerine göre artış oranları B100 için %2.5'lere ulaşmıştır. Bu durumun, yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı gibi biyodizel yakıtının yapısında bulunan oksijenin

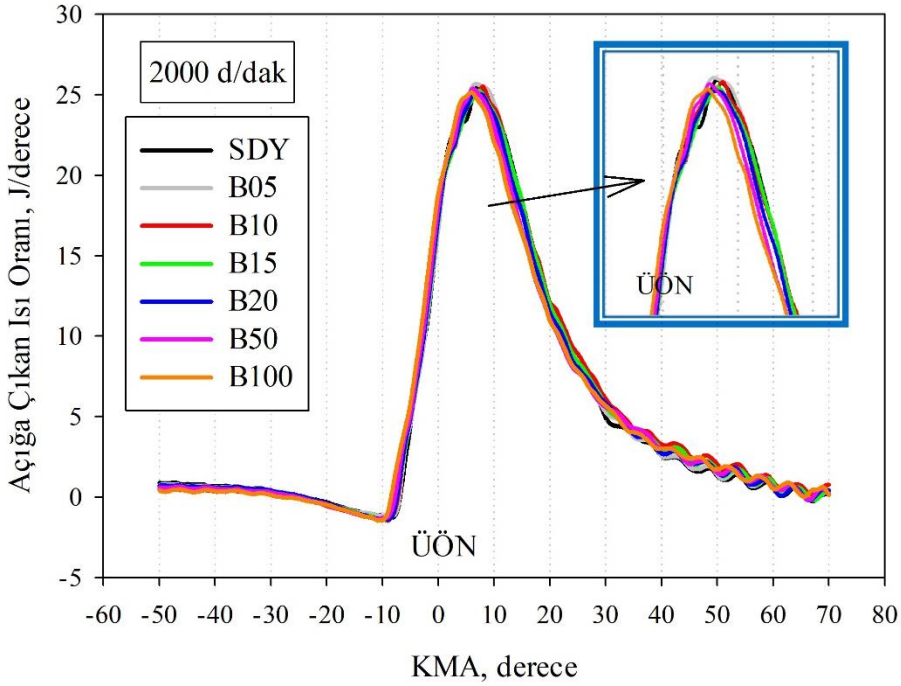
yanmayı iyileştirmesinin ve dolayısıyla artan biyodizel oranıyla birlikte daha yüksek basınç değerlerinin oluşmasının bir sonucu olduğu söylenebilir. Başlıca literatürde de benzeri sonuçlara ulaşıldığı, yani karışımda biyodizel oranın artmasıyla silindir basıncı değerlerinin arttığı açıklanmaktadır (Khiari vd., 2015; Ravishankar vd., 2021; Uyumaz, 2020; Kondaiah vd., 2021). Yine önceki paragraflarda 1000 d/dak için yapılmış olan yorumlarda bu durum ayrıntılı bir biçimde irdelenmiştir. Tablo 3.1'den de görülebileceği gibi, 2500 d/dak devir sayısında, tüm BDYK ve B100 kullanımı ile yanma süreleri SDY'ye göre artmıştır. Tablo 3.1 incelendiğinde; 2000 d/dak'dan sonraki hızlarda, yanma sürelerinin SDY'ye göre gittikçe arttığı ve artış oranlarının biraz daha yüksek olduğu görülebilir. Bu durum; yüksek hızlarda, biyodizel kullanımının yanma üzerindeki olumlu etkisinin arttığı şeklinde yorumlanabilir. Yani yanma süresinin uzaması ile daha fazla yakıtın yanabildiği söylenebilir. Bu durumun yakıt tüketimi ve eksoz emisyonları üzerinde de olumlu etkiler yapabileceği öngörülebilir. Ayrıca Şekil 3.24'ten de görülebileceği gibi; (2000 ve 2500) d/dak devir sayılarında HC'lerdeki artış oranları da genel olarak diğer devirlere göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 3.33. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.34. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri



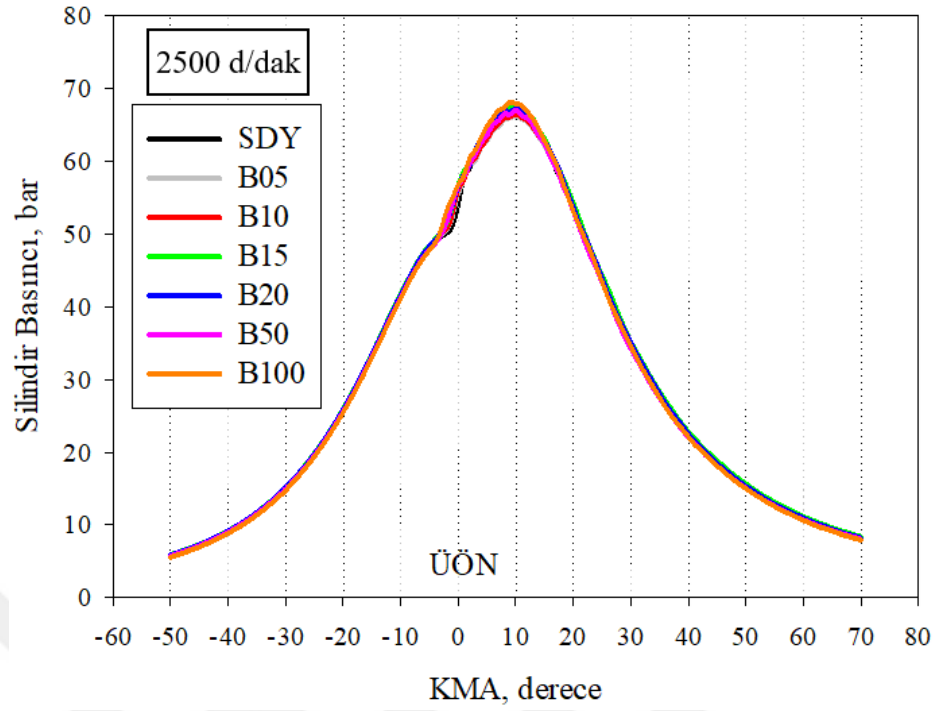
Şekil 3.35. 2000 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri

Şekil 3.37'de; 2500 d/dak'da, SDY'nin, seçilen farklı BDYK'nin ve B100'ün silindir sıcaklığı değerlerinin KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. İlgili şekiller incelendiğinde; biyodizel oranı arttıkça başlangıçta B05 ve B10 karışımlarında küçük düşüşler olmakla birlikte, B15 karışımında maksimum silindir sıcaklığına ulaşıldığı ve daha sonraki karışım oranlarında ise silindir sıcaklığı değerlerinin yavaş yavaş düşmeye başladığı görülebilir. B50 için ise silindir sıcaklığı değeri hem SDY, hem B100 hem de seçilen diğer tüm karışımlar için daha düşük olmuştur. SDY için maksimum silindir sıcaklığı 25 °KMA'da 2055.159 K olarak elde edilmiştir. 2500 d/dak'da (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için bulunan maksimum silindir sıcaklıkları sırasıyla (2048.051, 2050.503, 2084.852, 2065.556, 2035.570 ve 2043.329) K olduğu görülmektedir. İlgili sıcaklık değerleri B05 ve B100 için 23 °KMA'da, maksimum değerin elde edildiği B15 için 26 °KMA'da ve diğer BDYK için 24 °KMA'da elde edilmiştir. 2500 d/dak için SDY, seçilen BDYK ve B100 için maksimum basınç değerleri, maksimum sıcaklık değerleri ve bu değerlerin oluştuğu KMA'sı değerleri Tablo 3.2'de sunulmuştur. Biyodizel kullanımın silindir sıcaklığı üzerindeki açıklanan etkileri başlıca literatürde verilen çalışmalarla uyuşmaktadır (Uyumaz vd., 2020; Mohamed vd., 2020; Temizer vd., 2020).

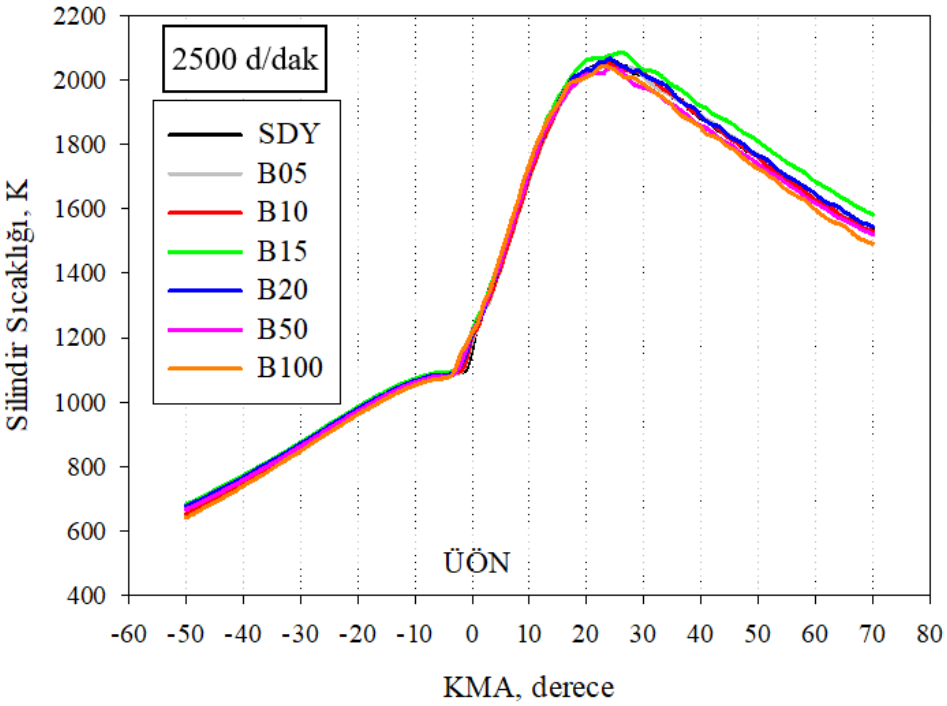
Şekil 3.38'de; 2500 d/dak'da, SDY, seçilen BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranının KMA'ya göre değişimleri verilmiştir. Şekil 3.38 incelendiğinde; B100 ve biyodizel karışımları için açığa çıkan ısı oranı değişimlerinin genel karakterinin SDY'ye çok benzer oldukları görülebilir. Seçilen BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranları genellikle SDY'ye çok yakın değerler almıştır. Açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri; SDY için 24.231 Joule/derece olarak 9 °KMA'da elde edilmiştir. B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri sırasıyla (24.017, 24.057, 24.275, 24.294, 23.593 ve 23.926) Joule/derece olmuştur. Bu değerler B100 ve B20 için 8 °KMA'da, B10 için 10 °KMA'da diğer yakıt karışımları için SDY'ye benzer şekilde 9 °KMA'da elde edilmiştir. Burada B15 ve B20 karışımları için açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri SDY'ye göre biraz daha yüksek çıkmış ve B20 karışımında en yüksek değerine ulaşmıştır. Bunların dışındaki tüm BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranının maksimum değeri SDY'ye çok yakın olmakla birlikte SDY'den daha düşük değerler almıştır. Biyodizel karışımları ve B100 için yanmanın daha erken başladığı ve açığa çıkan ısı oranı eğrilerinin (yani ön yanma evresinin) sağa doğru kaydığı görülmektedir. Bu durumun, önceki bölümlerde açıklandığı üzere ve Tablo 3.1'den görülebileceği gibi; biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin azalmasından ve bunun sonucunda ön yanma evresinin daha erken

başlamasından kaynaklandığı söylenebilir (Khiari vd., 2015; Mohamed vd., 2020; Jeon vd., 2013).

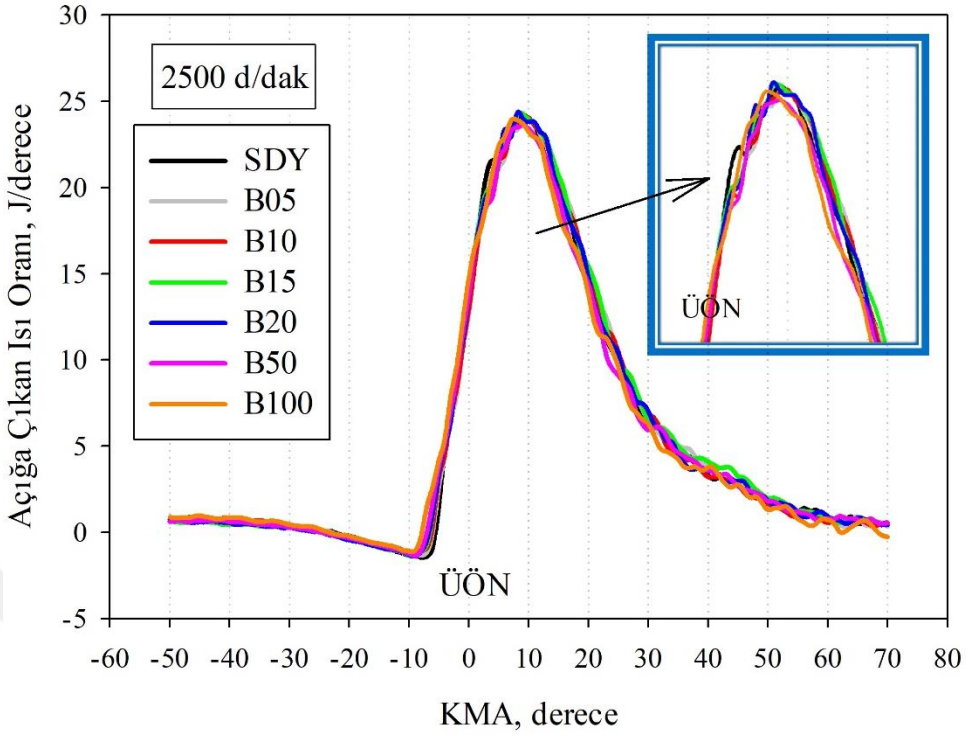
2500 d/dak'da açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak yanma süreleri belirlenmiş ve Tablo 3.1'de sunulmuştur. Söz konusu tablodan görülebileceği gibi; 2500 d/dak'da, SDY için yanma süresi 17.881 °KMA olarak belirlenmiştir. (B05, B10, B15, B20 ve B50) BDYK ve B100 için ise yanma süreleri sırasıyla; (18.718, 18.971, 19.298, 18.979, 19.045 ve 18.908) °KMA şeklinde hesaplanmıştır. Buradan tüm BDYK ve B100 için yanma sürelerinin SDY'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Tablo 3.1'e bakıldığında başlangıçta artan biyodizel oranlarıyla yanma sürelerinin de arttığı ve maksimum değerin 19.298 °KMA'da B15 yakıt karışımında elde edildiği ve bu karışım oranından sonra artan biyodizel oranlarıyla yanma sürelerinin azalmaya başladığı görülebilir. Daha önceden 1000 d/dak için yapılan yorumlarda da belirtildiği gibi; düşük karışım oranlarında yanma süresinin artmasının, biyodizelin kimyasal yapısında oksijen bulunmasının yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı, ancak karışımdaki biyodizel oranı arttıkça biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk gibi yetersizliklerinin etkileri daha baskın duruma geçtiğinden B15'den sonra yanma süresinin azalmaya başladığı söylenebilir. Sonuç olarak, 2500 d/dak için en ideal karışım oranının B15 olduğu anlaşılmaktadır. Litetatürde yapılan çalışmalarda da benzeri sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir (Deshmukh vd., 2009; Rajendran vd., 2018; Jeon vd., 2013).



Şekil 3.36. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir basınçlarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.37. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için silindir sıcaklıklarının KMA'ya göre değişimleri



Şekil 3.38. 2500 d/dak'da, SDY, farklı BDYK ve B100 için açığa çıkan ısı oranlarının KMA'ya göre değişimleri

3.4.5. Yanma Süresi Hesabı İçin Elde Edilmiş Olan Ampirik Bağıntıdan Bulunan Sonuçlarının İrdelenmesi

Açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yararlanarak, yanma süresi için biyodizel oranına ve devir sayısına bağlı olarak Bölüm 2.9'da 23 numarası ile verilen bir ampirik bağıntı geliştirilmişti. Söz konusu bağıntı kullanılarak elde edilen yanma sürelerinin deneysel verilerden elde edilen yanma süreleriyle karşılaştırılması Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablo 3.3 incelendiğinde elde edilen ampirik bağıntının sonuçlarının, deneysel hesaplamadan elde edilen verilere çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Burada hata oranının genellikle ~%1 düzeylerinde ve maksimum hata oranının ~%3.7 olduğu görülebilir. Bu kadar yakın sonuçların elde edilmesinden dolayı; deney yapılmayan (1100, 1300, 1600, 1900, 2300, 2600, 2900 ve 3000) d/dak devir sayıları ve %(7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 25, 75) gibi biyodizel oranları için yanma süreleri ilgili bağıntı kullanılarak yaklaşık olarak belirlenmiştir ve hesaplanan yanma süreleri Tablo 3.4'te sunulmuştur.

Tablo 3.1. Tam yük durumunda (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devir sayılarında SDY, BDYK ve B100 için yanmanın başlandığı-bittiği krank mili açıları ve yanma süresi değerleri

Devir Sayısı	Yakıt Cinsi	Yanma Başlama Açısı [KMA, derece]	Yanma Bitiş Açısı [KMA, derece]	Yanma Süresi [KMA, derece]
1000	Saf Dizel Yakıtı	-8.6869299	3.4838724	12.1708023
	B05	-8.5537567	3.8979368	12.4516935
	B10	-8.6265417	3.3956509	12.0221926
	B15	-8.7445296	3.5335066	12.2780362
	B20	-9.1427802	3.2829280	12.4257082
	B50	-8.6877244	2.9477632	11.6354877
	B100	-8.9286561	2.6732718	11.6019279
1500	Saf Dizel Yakıtı	-7.2393068	7.2274242	14.4667310
	B05	-7.3087470	7.4053423	14.7140892
	B10	-7.5102538	7.0336840	14.5439379
	B15	-7.7117080	7.0625808	14.7742888
	B20	-7.4719692	7.2736902	14.7456594
	B50	-7.6714905	6.9670555	14.6385460
	B100	-8.0375616	6.3403502	14.3779118
2000	Saf Dizel Yakıtı	-5.7959344	11.2659151	17.0618496
	B05	-6.1054553	11.2374781	17.3429334
	B10	-6.2473992	11.3293862	17.5767854
	B15	-6.2180768	11.3690323	17.5871091
	B20	-6.3056780	11.1197785	17.4254564
	B50	-6.5816566	10.1444346	16.7260911
	B100	-7.0512121	9.5590690	16.6102811
2250	Saf Dizel Yakıtı	-5.4057049	12.6650714	18.0707763
	B05	-5.5868682	12.9476066	18.5344748
	B10	-5.4791242	12.6527043	18.1318284
	B15	-5.9266698	12.2121157	18.1387856
	B20	-5.9511142	11.9095418	17.8606560
	B50	-6.1751206	12.0641533	18.2392740
	B100	-6.5705537	11.2563825	17.8269362
2500	Saf Dizel Yakıtı	-4.7176745	13.1631129	17.8807875
	B05	-5.0873891	13.6302784	18.7176674
	B10	-5.2776483	13.6937683	18.9714166
	B15	-5.4429104	13.8552628	19.2981733
	B20	-5.4403461	13.5388353	18.9791815
	B50	-5.7352270	13.3096553	19.0448823
	B100	-6.2500994	12.6582456	18.9083450
2750	Saf Dizel Yakıtı	-3.9251136	14.6737294	18.5988431
	B05	-4.5316853	15.1000638	19.6317491
	B10	-4.4653838	15.2694025	19.7347862
	B15	-4.6390402	14.7151604	19.3542006
	B20	-4.7336635	14.5148177	19.2484812
	B50	-5.6317900	13.0169311	18.6487210
	B100	-5.9916221	13.2573260	19.2489481

Tablo 3.2. Tam yük durumunda (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devir sayılarında, SDY, BDYK ve B100 için maksimum silindir basıncı, silindir sıcaklığı ve açığa çıkan ısı oranının değerleri ve ilgili değerlerin elde edildiği KMA'ları

Devir Sayısı [d/dak]	Yakıt Cinsi	Maksimum Silindir Basıncı Verileri		Maksimum Silindir Sıcaklığı Verileri		Açığa Çıkan Isı Oranının Maksimum Verileri	
		Maksimum Değer [bar]	Elde Edilen Açı [KMA, derece]	Maksimum Değer [K]	Elde Edilen Açı [KMA, derece]	Maksimum Oran [J/derece]	Elde Edilen Açı [KMA, derece]
1000	Saf Dizel Y.	75,967768	6	1939,9609	16	26,189816	-1
	B05	77,285796	6	1957,2560	15	27,263652	1
	B10	76,134475	6	1949,1011	16	26,012861	1
	B15	76,374118	6	1970,4908	16	26,308200	1
	B20	77,567117	6	1957,6389	16	26,832808	1
	B50	76,353277	6	1934,1155	16	26,404336	1
	B100	75,728128	6	1830,9102	15	26,110478	0
1500	Saf Dizel Y.	72,732604	8	2084,5457	18	25,779580	4
	B05	73,305661	8	2109,2215	19	26,156450	4
	B10	73,227515	8	2120,9050	20	26,175957	4
	B15	73,066019	8	2106,5172	18	25,911484	4
	B20	73,076438	8	2077,2345	18	25,777350	4
	B50	73,222307	8	2071,2188	18	25,376004	4
	B100	74,884168	7	2070,2379	18	25,574204	3
2000	Saf Dizel Y.	69,403665	9	2101,4864	19	25,537081	7
	B05	69,940256	9	2090,2927	21	25,655523	7
	B10	70,779002	9	2120,3051	20	25,487758	8
	B15	70,231992	9	2117,3674	20	25,221396	7
	B20	70,403909	9	2087,7880	20	25,022484	7
	B50	71,195770	9	2081,1297	20	25,349529	6
	B100	72,367928	8 - 9	2078,3124	20	25,147134	6
2250	Saf Dizel Y.	68,715998	10	2126,6809	22	25,252601	9
	B05	67,762640	9	2091,6089	22	24,666555	9
	B10	67,887669	9	2089,0887	22	24,839592	9
	B15	69,617260	10	2129,3013	23	25,190678	8
	B20	69,929836	9	2123,3642	22	25,283047	8
	B50	69,794386	9	2077,7797	22	24,830114	7
	B100	71,430202	9 - 10	2066,2586	21	24,785817	8
2500	Saf Dizel Y.	66,423771	10	2055,1587	25	24,230771	9
	B05	66,189337	10	2048,0505	23	24,017139	9
	B10	66,491494	10	2050,5031	24	24,056715	10
	B15	67,450063	10	2084,8524	26	24,275419	9
	B20	67,325034	11	2065,5559	24	24,293913	8
	B50	66,981197	10	2035,5699	24	23,592636	9
	B100	68,111686	9	2043,3291	23	23,926351	8
2750	Saf Dizel Y.	63,193815	11	2110,7523	27	23,821824	10
	B05	63,683518	9	2123,6988	26	23,848031	11
	B10	63,230284	10	2106,4171	28	23,832346	11
	B15	63,485553	10	2085,4862	26	23,558355	10
	B20	63,751244	11	2089,1960	27	23,247568	10
	B50	61,985187	10	1936,2187	24	22,290144	9
	B100	65,006760	10	2045,5142	26	23,465150	9

Tablo 3.1 incelendiğinde, 2500 d/dak'ya kadar olan devir sayılarında, B05, B10, B15 ve B20 yakıt karışımlarının yanma sürelerinin genel olarak SDY'ye göre daha uzun, B50 ve B100'ün yanma sürelerinin ise SDY'ye göre daha kısa olduğu görülebilir. 2500 d/dak ve 2750 d/dak devir sayılarında ise tüm yakıt ve yakıt karışımlarının yanma süreleri SDY'na göre daha uzun olmuştur. Bu durum; yüksek hızlarda, biyodizel kullanımının yanma üzerindeki olumlu etkisinin arttığı şeklinde yorumlanabilir. Yukarıdaki bölümlerde de vurgulandığı gibi, yanma süresinin uzaması ile yanma genişleme boyunca da süreceğinden, Şekil 3.24'ten de görülebileceği gibi, özellikle 2500 d/dak devir sayılarında HC'lerdeki artış oranları da genel olarak diğer devirlere göre daha düşük çıkmıştır.

Tablo 3.3. Deneysel ve ampirik bağıntılar sonucu elde edilen yanma sürelerinin karşılaştırılması

Devir Sayısı	1000 d/dak			1500 d/dak			2000 d/dak			2500 d/dak		
Karışım Oranı r, %	Yanma Süresi Deneysel ty, KMA	Yanma Süresi Ampirik B. ty, KMA	% Fark (Hata Oranı)	Yanma Süresi Deneysel ty, KMA	Yanma Süresi Ampirik B. ty, KMA	% Fark (Hata Oranı)	Yanma Süresi Deneysel ty, KMA	Yanma Süresi Ampirik B. ty, KMA	% Fark (Hata Oranı)	Yanma Süresi Deneysel ty, KMA	Yanma Süresi Ampirik B. ty, KMA	% Fark (Hata Oranı)
0	12.17080	12.23535	0.530	14.46673	14.94601	3.313	17.06185	17.04968	0.071	17.88079	18.54636	3.722
5	12.45169	12.19365	2.072	14.71409	14.91638	1.375	17.34293	17.08076	1.512	18.71767	18.68680	0.165
10	12.02219	12.15300	1.088	14.54394	14.88623	2.354	17.57679	17.10650	2.676	18.97142	18.81381	0.831
15	12.27804	12.11339	1.341	14.77429	14.85557	0.550	17.58711	17.12690	2.617	19.29817	18.92738	1.921
20	12.42571	12.07483	2.824	14.74566	14.82438	0.534	17.42546	17.14194	1.627	18.97918	19.02751	0.255
50	11.63549	11.86549	1.977	14.63855	14.62643	0.083	16.72609	17.11998	2.355	19.04488	19.34612	1.582
100	11.60193	11.60046	0.013	14.37791	14.25517	0.854	16.61028	16.65573	0.274	18.90834	18.80214	0.562

Tablo 3.4. Bazı devir sayısı ve karışım oranlarında, ampirik yanma süresi bağıntısıyla elde edilen sonuçlar

Karışım Oranı r, % →	7.5	12.5	17.5	22.5	25	75
↓ Devir Sayısı n, d/dak	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA	Yanma Süresi (Ampirik Bağ.) ty, KMA
1100	12.76165	12.71996	12.67927	12.63958	12.62011	12.28295
1300	13.87433	13.83478	13.79574	13.75719	13.73811	13.38270
1600	15.38278	15.35956	15.33513	15.30947	15.29619	14.96634
1900	16.69854	16.70741	16.71216	16.71279	16.71157	16.47079
2300	18.15314	18.22929	18.29563	18.35216	18.37675	18.35353
2600	19.01929	19.16428	19.29381	19.40790	19.45915	19.67319
2900	19.69276	19.92232	20.12963	20.31467	20.39885	20.91366
3000	19.87442	20.13568	20.37215	20.58383	20.68037	21.30955

3.5. SDY, B100 ve Farklı BDYK İçin Enerji Dengesi Hesaplarının İrdelenmesi

Bu bölümde; SDY, B05, B10, B15, B20, B50 şeklindeki BDYK'nin ve B100 yakıtının (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devirleri için; enerji dengesi hesabı yapılarak, sonuçlar pasta ve sütun grafikleri (gösterimleri) şeklinde sunulmuştur ve irdelenmiştir. Söz konusu şekillerde enerji dengesi değerlendirmeleri, silindire sokulan yakıt enerjisine göre yapılmıştır. Örneğin %20 BYDY ve 2000 d/dak için enerji dengesi değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur.

$$N_e\,[\%] = \frac{N_e}{Q_{yakıt}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad N_e\,[\%] = \frac{4{,}7287}{13{,}1022} \cdot 100 = 36{,}09$$

$$Q_{eks}\,[\%] = \frac{Q_{eks}}{Q_{yakıt}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad Q_{eks}\,[\%] = \frac{2{,}8467}{13{,}1022} \cdot 100 = 21{,}73$$

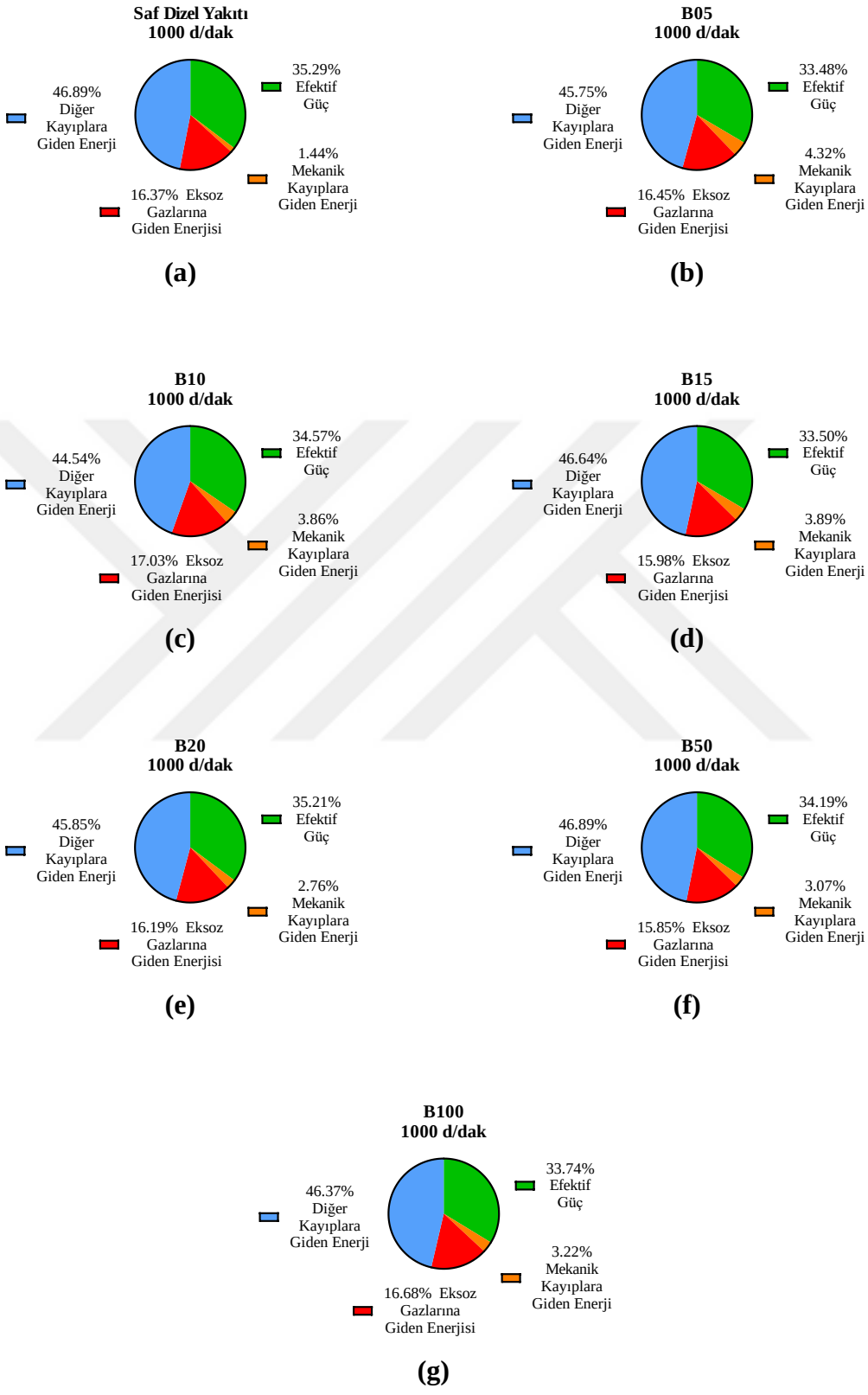
$$Q_{mek}\,[\%] = \frac{Q_{mek}}{Q_{yakıt}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad Q_{mek}\,[\%] = \frac{0{,}6613}{13{,}1022} \cdot 100 = 5{,}05$$

$$Q_{diğ}\,[\%] = \frac{Q_{diğ}}{Q_{yakıt}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad Q_{diğ}\,[\%] = \frac{4{,}8655}{13{,}1022} \cdot 100 = 37{,}13$$

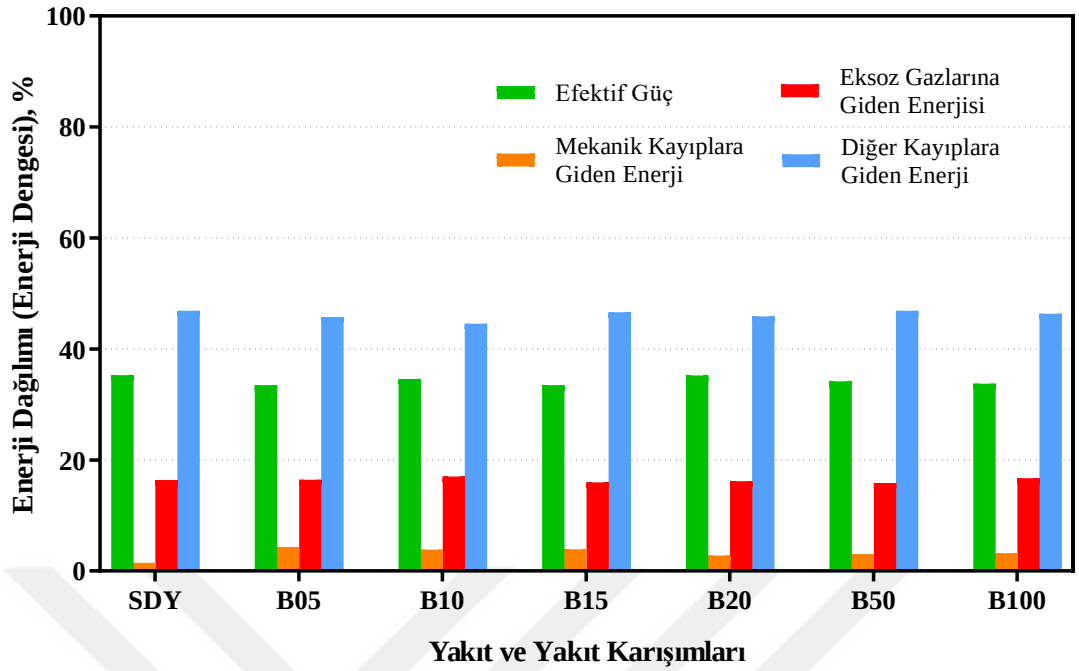
1000 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.39'da pasta ve Şekil 3.40'da ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.39'dan görülebileceği gibi yeşil renk ile gösterilen efektif güç, yakıt enerjisi oranı B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY'den düşük çıkmıştır. Efektif güç oranının SDY'ye en yakın sonucu %20 biyodizel/dizel yakıt karışımı vermiştir. Bilindiği gibi literatürde de %20 biyodizel/dizel yakıt karışımı en uygun karışım oranı olarak önerilmektedir (Rahman ve Aziz, 2021; Mubarek vd., 2021; Shareef ve Mohanty, 2020; Mofijur vd., 2019). Biyodizel kullanımının efektif gücü azaltmasına ilişkin ayrıntılı yorumlar yukarıda 3.2.1.1 bölümünde verilmiştir. Biyodizel kullanımının efektif gücü azaltmasındaki önemli nedenlerden bazıları; biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıtından düşük olması ve biyodizelin viskozitesinin ve yoğunluğunun ise dizel yakıtından daha yüksek olması şeklinde sıralanabilir. Eksoz gazlarına giden enerji oranı, BDYK için SDY'na yakın olmakla birlikte genel olarak azalmıştır. Ancak saf biyodizel kullanımında eksoz gazları ile dışarı atılan enerji biraz artmıştır. Buradan BDYK kullanımı ile eksoz gazı sıcaklıklarının azalmış olabileceği ve bu durumun da eksozla dışarı atılan enerjiyi azalttığı söylenebilir. Litrtatürde de benzeri sonuçlara ulaşılmıştır (Rahman ve Aziz, 2021). Biyodizel kullanımı ile mekanik kayıplara giden enerji oranının arttığı Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'dan görülebilir. B05 ve B10 karışımlarında mekanik kayıplara giden enerji oranı diğer karışım oranlarına göre daha yüksek olmuştur. 1000 d/dak'da seçilen karışımlar arasından B20 karışımında mekanik kayıplara giden enerji en düşük değerini almıştır. Artan biyodizel oranıyla birlikte mekanik kayıplara giden enerjinin artmasının nedeni, biyodizelin yoğunluk ve viskozitesinin SDY'ye göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sunulan çalışmada; mekanik kayıplar; sürtünme kayıplarını, emme ve eksoz işlemlerine harcanan dolgu değişimi kayıplarını ve yardımcı elemanların (donanımların) kayıplarının tamamını kapsamaktadır. Biyodizel kullanımı ile yakıtı silindire püskürtmekte kullanılan yakıt pompasının daha fazla enerjiye ihtiyacı olacağı tahmin edilebilir. Ayrıca biyodizelin viskozitesi yüksek olduğu için püskürtülmesinin de daha zor olacağı ve bunun için de ek enerji gerekeceği açıktır. Böylece genel olarak biyodizel kullanımı ile yardımcı donanımlara giden enerji oranı artacağından mekanik kayıpların artacağı tahmin edilebilir. Bunlara ek olarak; biyodizel kullanımı ile silindir içerindeki karışımın viskozitenin artmasının özellikle silindir duvarlarındaki sürtünmeleri arttırdığı da düşünülmektedir. Ancak biyodizelin yapısı gereği bir miktar yağlama özelliğinin olması da beklenen bir durumdur. Bu yağlama özelliği dolayısıyla; mekanik kayıplarda meydana gelen artış, yaklaşık %20 karışım oranlarına kadar bir miktar

azalmakta ve %20 karışım oranlarından sonra iyice artan yoğunluk ve viskozite dolayısıyla tekrar yükselme eğilimi sergilemektedir. Mekanik kayıplara ilişkin bulunan sonuçlar literatürle uyum içerisindedir. Gulzar ve arkadaşları (2016) %20 biyodizel/dizel yakıt karışımının tribolojik etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. İlgili çalışmada %20 biyodizel/dizel yakıt karışımının sürtünme ve aşınma kayıplarını SDY'ye göre bir miktar artırdığını belirlemişlerdir (Gulzar vd., 2016).

Sunulan çalışmada 1000 d/dak'da biyodizel kullanımı ile diğer kayıplara giden enerji oranının azaldığı görülmüştür.



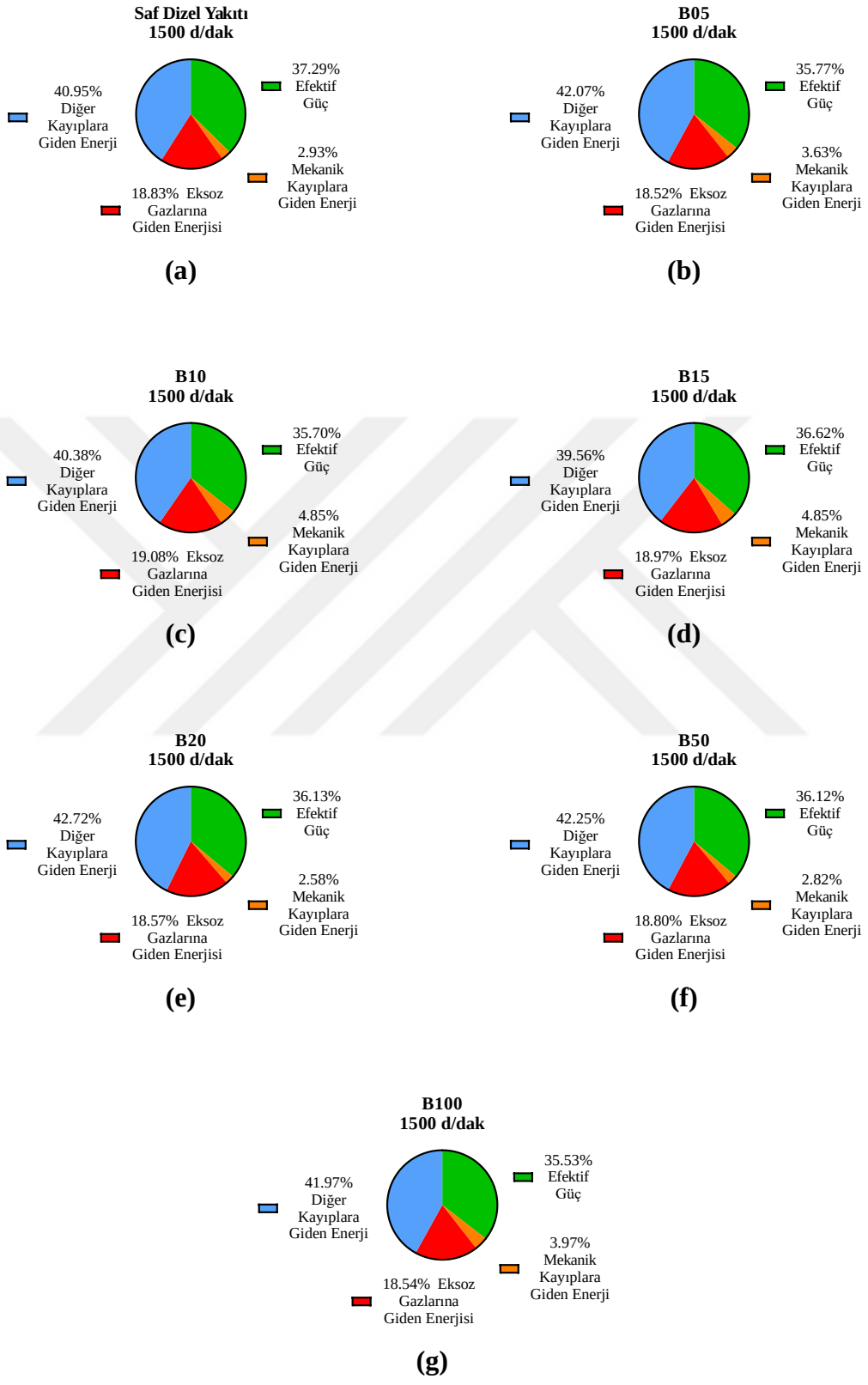
Şekil 3.39. 1000 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100



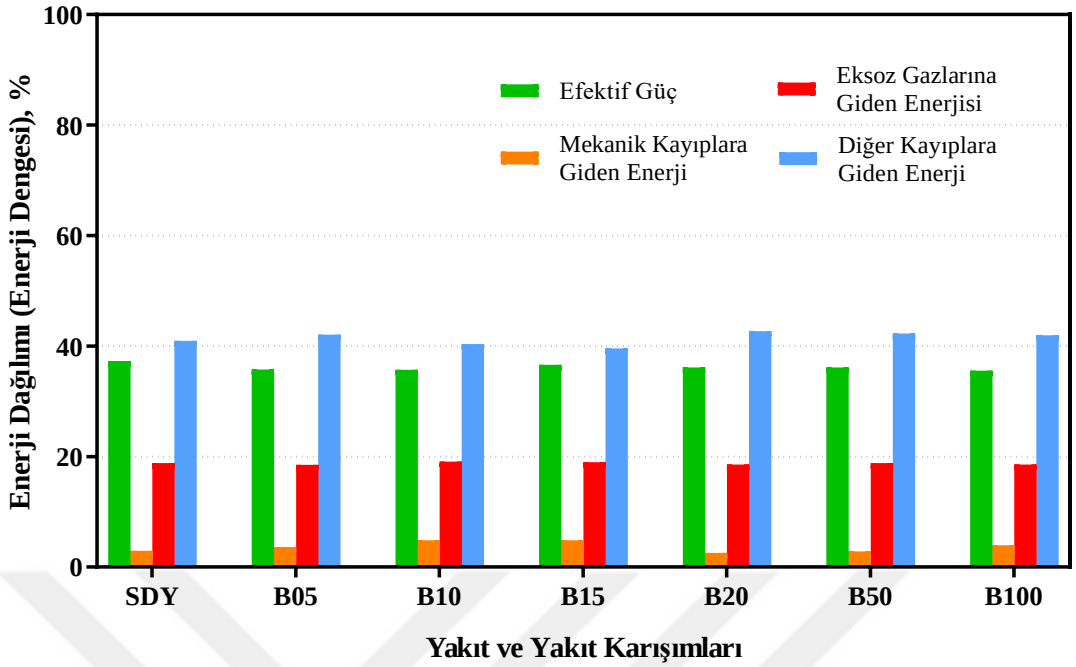
Şekil 3.40. 1000 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

1500 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.41'de pasta ve Şekil 3.42'de ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'den görülebileceği gibi efektif güç oranı, B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY'den düşük çıkmıştır. 1500 d/dak'da da efektif güç oranının SDY'ye en yakın sonucunu %15 ve %20 BDYK'de vermiştir. Biyodizel kullanımının efektif güç oranını azaltmasına ilişkin ayrıntılı yorumlar yukarıda 3.2.1.1 bölümünde verilmişti. 1500 d/dak devir sayısında da mekanik kayıplara giden enerji, biyodizel kullanımı ile genel olarak artmıştır. Ancak, %20 BDYK'nda mekanik kayıplar SDY göre bir miktar azalmıştır. Biyodizel kullanımı ile mekanik kayıplara giden enerjinin artmasının nedenleri yukarıdaki paragrafta 1000 d/dak devir sayısı için ayrıntılı biçimde irdelenmiştir. 1500 d/dak devir sayısında, BDYK ve B100 için eksoz gazlarına giden enerji oranı SDY'ye çok yakın çıkmıştır. Bu devir sayısında da genel olarak biyodizel kullanımı ile eksoz gazlarına giden enerji oranı azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumun biyodizel kullanımı ile eksoz gazları sıcaklıklarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca biyodizel kullanımı ile; CO ve is emisyonlarının azalması sonucu eksoz gazlarına giden ısının da azalacağı düşünülebilir. 1500 d/dak'da, diğer kayıplara giden enerji oranı ise B10 ve B15 karışımlarında bir miktar azalmıştır. Ancak,

diğer kayıplara giden enerji, seçilen diğer BDYK ve B100 için ise çok düşük düzeyde artmıştır.



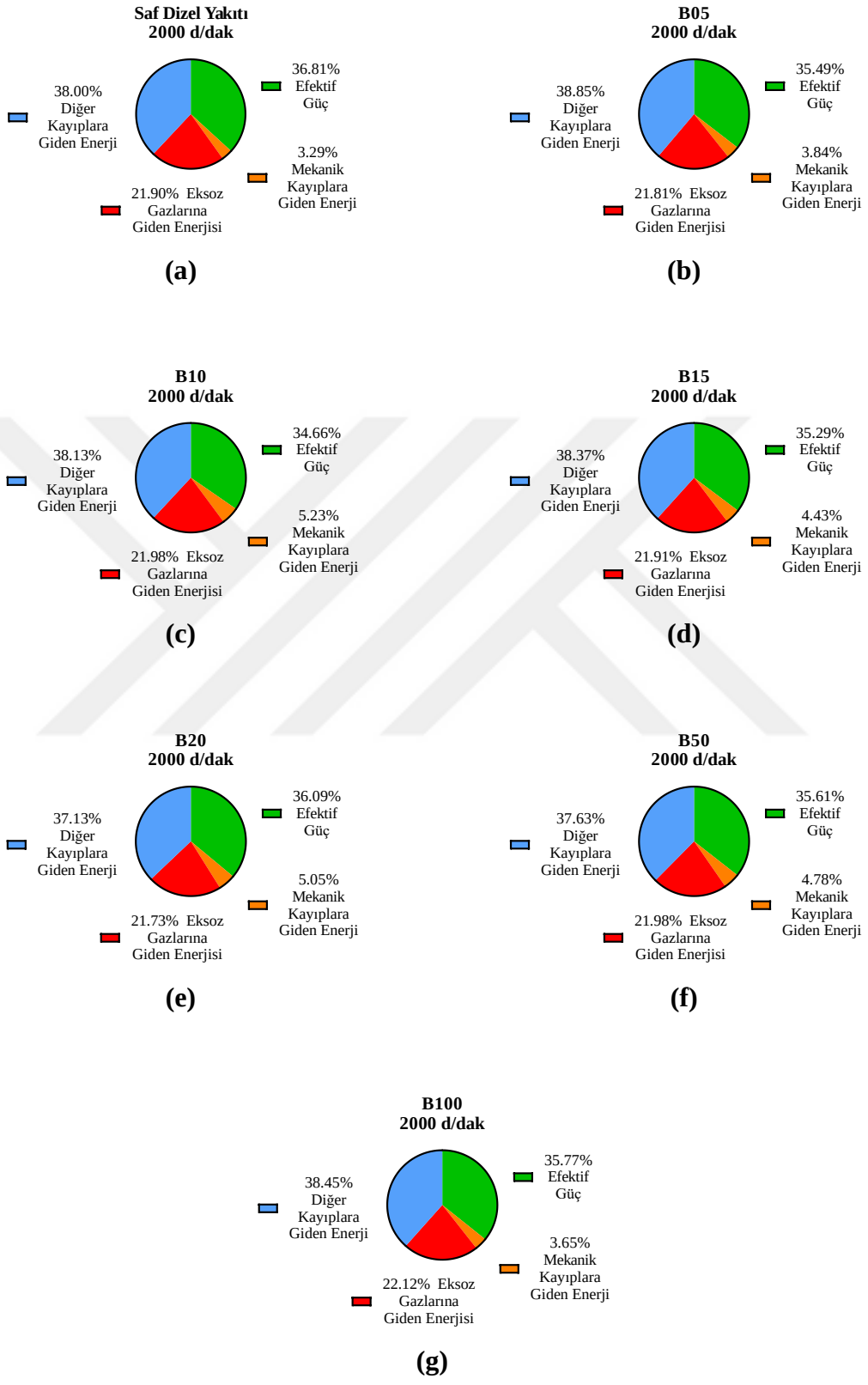
Şekil 3.41. 1500 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100



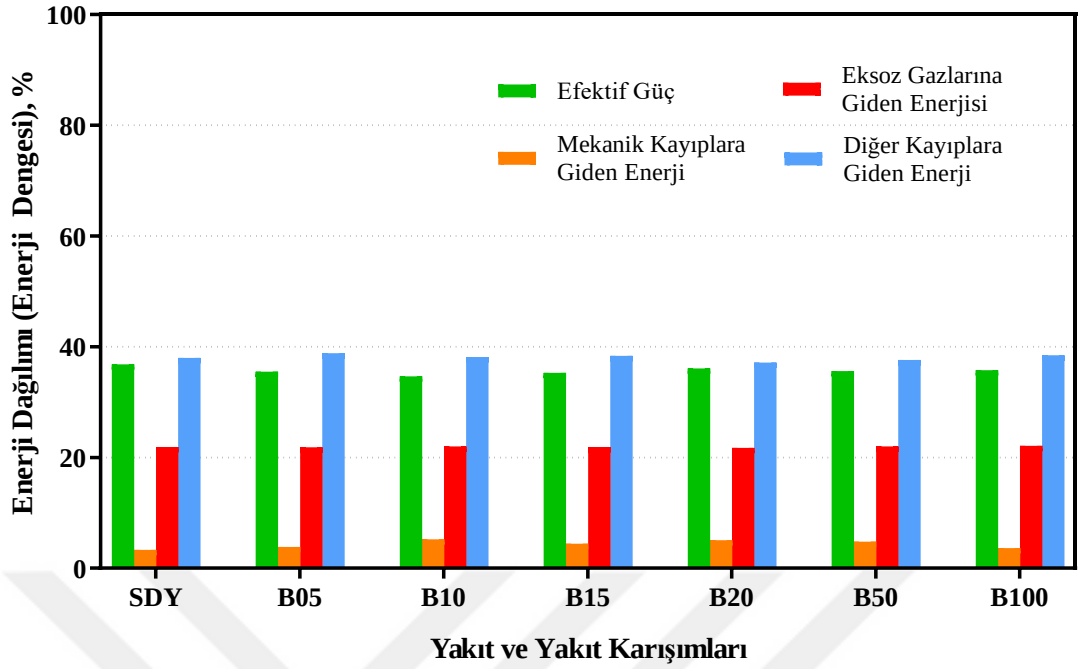
Şekil 3.42. 1500 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

2000 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.43'te pasta ve Şekil 3.44'te ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'ten görülebileceği gibi efektif güç oranı, B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY'den düşük çıkmıştır. 2000 d/dak'da da efektif güç oranının SDY'ye en yakın sonucunu %20 biyodizel/dizel yakıt karışımı için vermiştir. Biyodizel kullanımının efektif gücü azaltmasına ilişkin ayrıntılı yorumlar yukarıda 3.2.1.1 bölümünde verilmiştir. 2000 d/dak devir sayısında da mekanik kayıplara giden enerji oranı biyodizel kullanımı ile artmıştır. Biyodizel kullanımı ile mekanik kayıplar oranının artmasının nedenleri yukarıda 1000 d/dak devir sayısında ayrıntılı olarak irdelenmişti. Abedin ve arkadaşları, 2014 yılında, palm ve jojoba yağlarından ürettikleri biyodizel/dizel yakıtı karışımlarının enerji dengesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Burada %(5, 10 ve 20) palm yağından üretilen biyodizel/dizel yakıtı karışımlarını ve %(10 ve 20) jojoba yağından üretilen biyodizel/dizel yakıtı karışımlarını örnek yakıt olarak kullanmışlardır ve deneyler 4 silindirli bir dizel motorunda (1000-4000) d/dak devir sayısı aralığında 7 farklı devir sayısında yapılmıştır. Söz konusu çalışmada, seçilen tüm biyodizel/dizel yakıtı karışımları için yağlama yağına giden (sürtünme kayıplarına) giden enerji oranının saf dizel yakıtından fazla olduğu ve biyodizel oranı arttıkça yağlama yağına giden enerjinin arttığı belirlenmiştir.

Sunulan çalışmada 2000 d/dak devir sayısında da önceki devir sayılarında olduğu gibi, BDYK ve B100 için eksoz gazlarına giden enerji oranı SDY'ye çok yakındır. Diğer kayıplara giden enerji oranı ise B20 ve B50 karışımlarında azalmıştır. Diğer kayıplara giden enerji oranı, seçilen diğer BDYK ve B100 için ise çok düşük düzeylerde artmıştır. Literatürde de benzeri sonuçların bulunduğu açıklanmaktadır. Diğer kayıplar arasında soğutma suyuna giden kayıplar da bulunmaktadır. Abedin ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada biyodizel kullanımı ile soğutma suyuna giden ısının da arttığını belirlenmişlerdir.

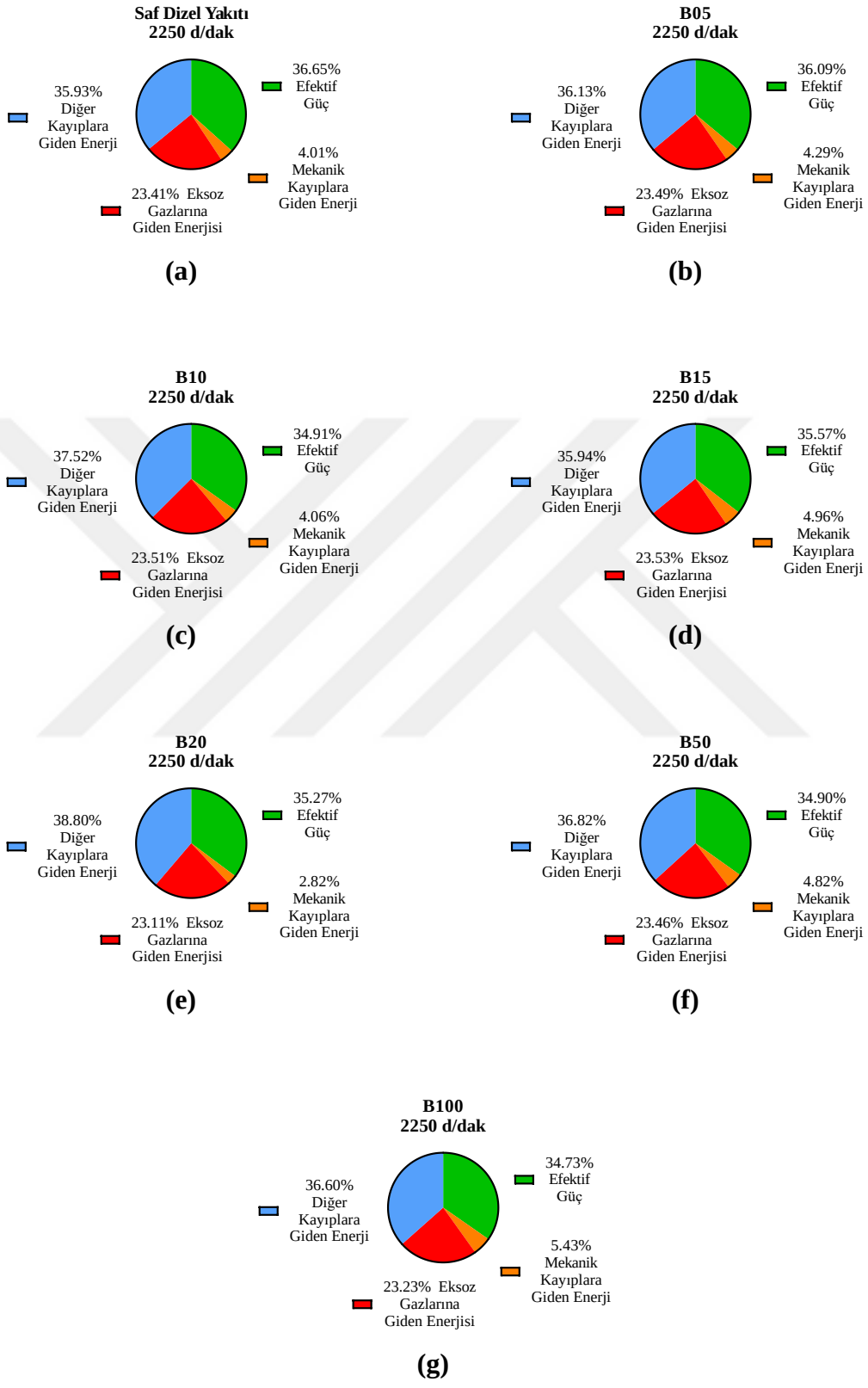


Şekil 3.43. 2000 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100

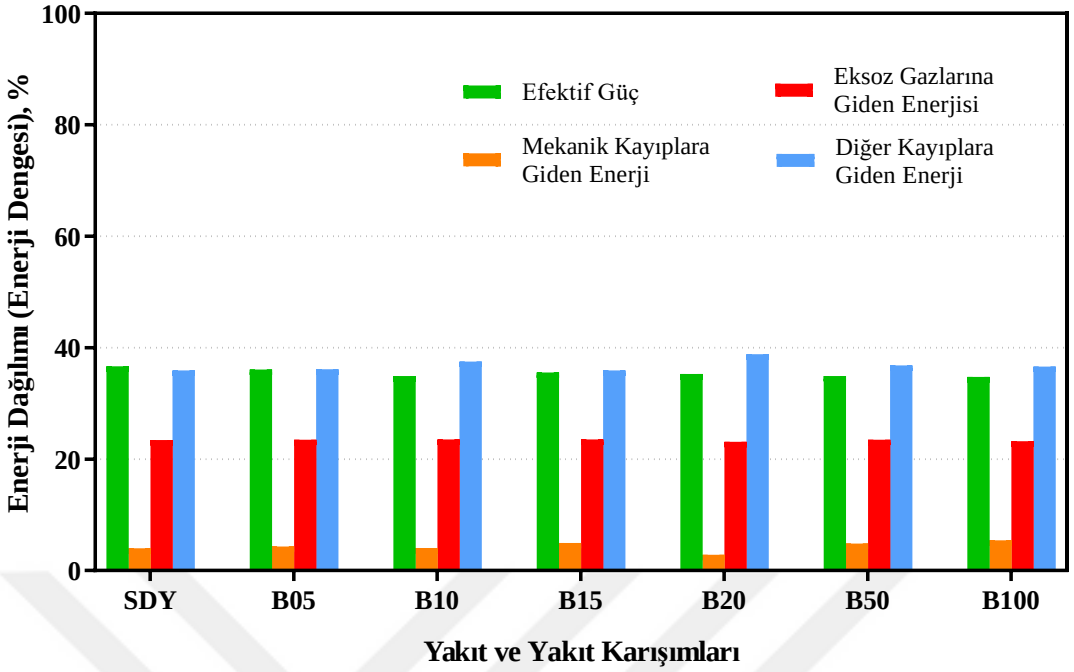


Şekil 3.44. 2000 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

2250 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.45'te pasta ve Şekil 3.46'da ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'dan görülebileceği gibi efektif güç oranı, daha önceki devir sayılarına benzer biçimde B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY'den düşük çıkmıştır. Biyodizel kullanımının efektif güç oranını azaltmasına ilişkin ayrıntılı yorumlar yukarıda 3.2.1.1 bölümünde verilmiştir. 2250 d/dak devir sayısında da mekanik kayıplara giden enerjinin oranı biyodizel kullanımı ile birlikte genel olarak artmıştır. Ancak, 1500 d/dak devir sayısında olduğu gibi %20 biyodizel/dizel yakıt karışımında mekanik kayıplar oranı SDY'ye göre önemli düzeyde azalmıştır. 2250 d/dak devir sayısında, BDYK ve B100 için eksoz gazlarına giden enerji oranı, diğer devir sayılarında olduğu gibi SDY'ye çok yakın çıkmıştır. Bununla birlikte ilgili şekillerden görülebileceği gibi, biyodizel kullanımı ile eksoz gazlarına giden enerji oranı genel olarak artmıştır. Yalnızca B20 ve B100 için eksoz gazlarına giden enerji oranı biraz azalmıştır. Diğer kayıplara giden enerji oranı ise, %15 biyodizel/dizel yakıt karışımı için SDY ile aynı değeri alırken, seçilen diğer tüm BDYK ve B100 için bir miktar artmıştır.

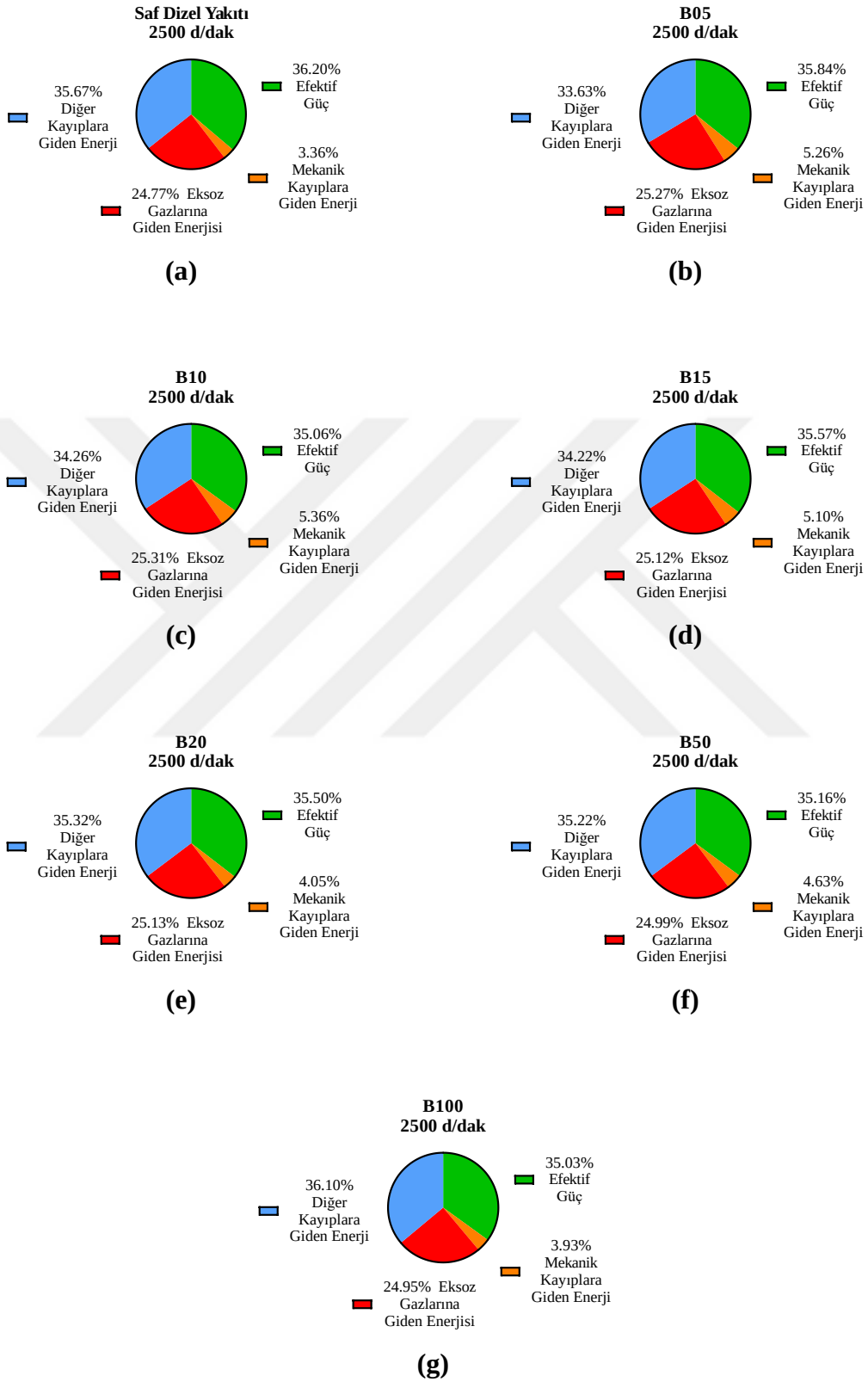


Şekil 3.45. 2250 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100

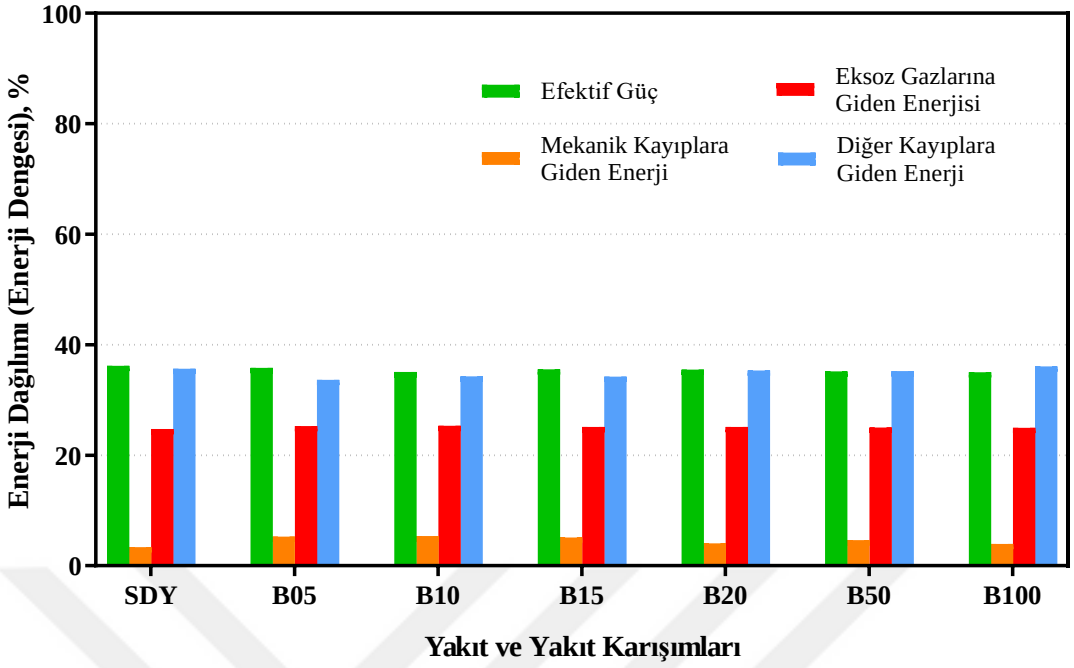


Şekil 3.46. 2250 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

2500 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.47'te pasta ve Şekil 3.48'da ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'den görülebileceği gibi efektif güç oranı, daha önceki devir sayılarına benzer biçimde B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY değerinden düşük çıkmıştır. 2500 d/dak devir sayısında da mekanik kayıplara giden enerji oranı biyodizel kullanımı ile birlikte genel olarak artmıştır. BDYK arasında mekanik kayıplara giden enerjinin en düşük olduğu karışım oranının ise %20 biyodizel/dizel yakıtı karışımı olduğu belirlenmiştir. Bu karışım oranında da mekanik kayıplar artmakla birlikte artış oranı diğer karışımlara göre düşük değerler almaktadır. 2500 d/dak devir sayısında, BDYK ve B100 için eksoz gazlarına giden enerji oranı da genel olarak artmıştır. Diğer kayıplara giden enerji oranı ise tüm BDYK için bir miktar azalmıştır. Diğer kayıplara giden enerji, sadece B100 için çok düşük düzeyde artmıştır.

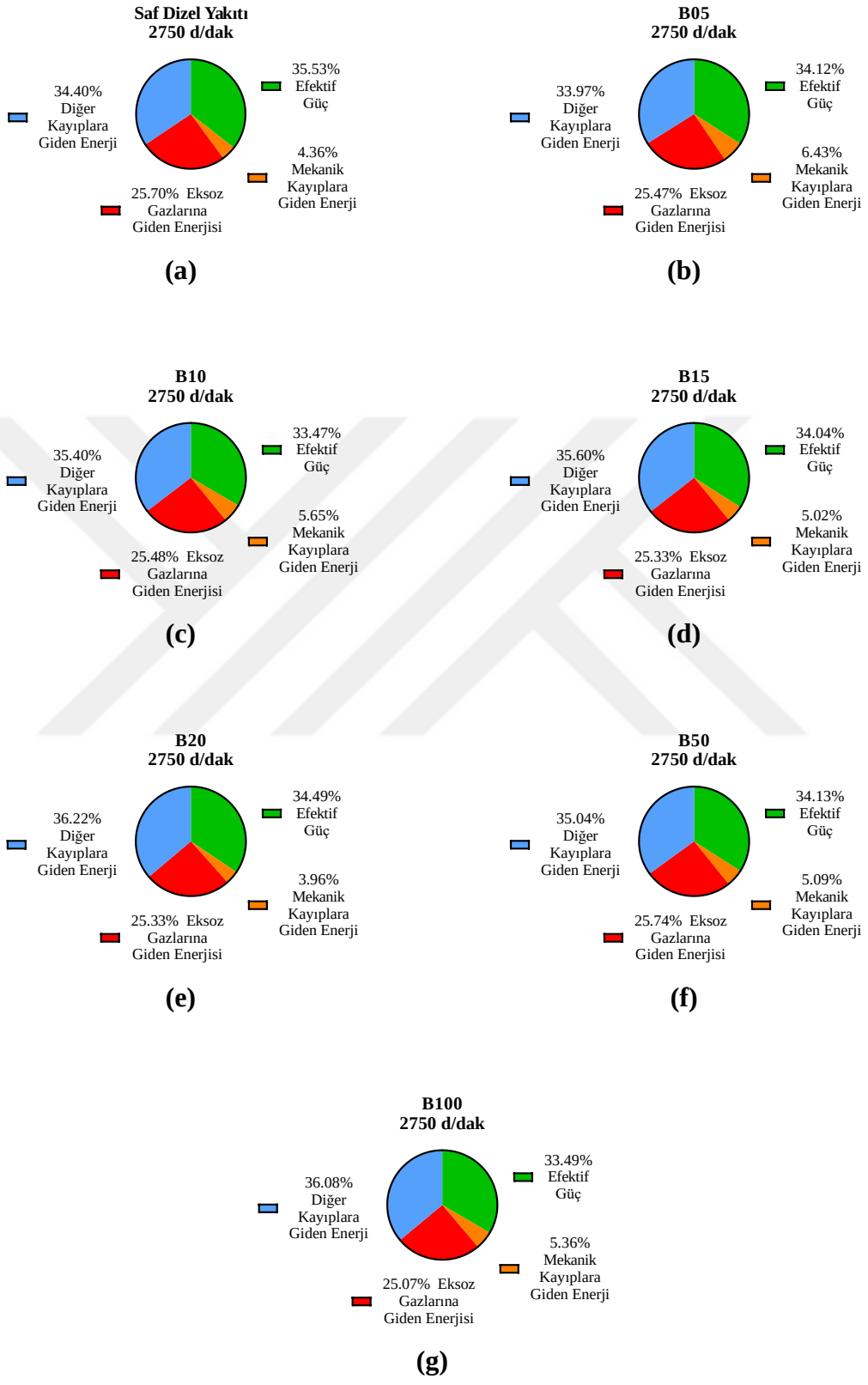


Şekil 3.47. 2500 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100

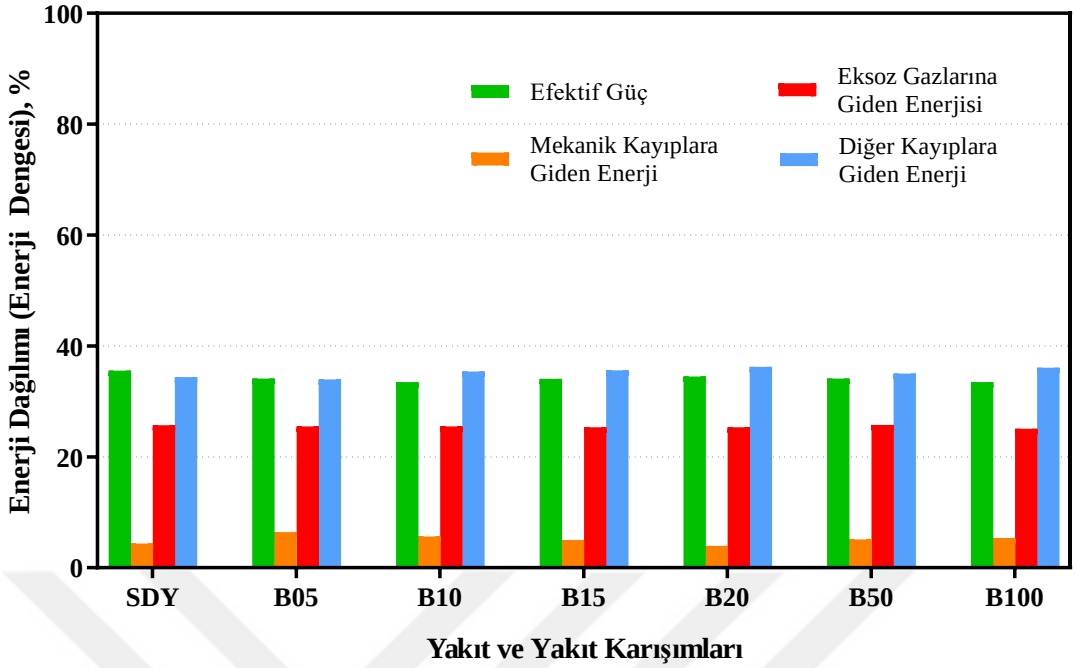


Şekil 3.48. 2500 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

2750 d/dak devir sayısında ve SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi hesabı sonuçları; Şekil 3.49'da pasta ve Şekil 3.50'de ise sütun grafikleri şeklinde verilmiştir. Şekil 3.49 ve Şekil 3.50'den görülebileceği gibi efektif güç oranı, daha önceki devir sayılarına benzer biçimde B100 ve seçilen tüm BDYK için SDY'den daha düşük çıkmıştır. Bu devir sayısında da %20 biyodizel/dizel yakıt karışımının efektif güç oranı SDY'ye yakın değer almıştır. 2750 d/dak devir sayısında da mekanik kayıplara giden enerji oranı biyodizel kullanımı ile birlikte genel olarak artmıştır. Ancak %20 biyodizel/dizel yakıt karışımında mekanik kayıplar oranı SDY'ye göre bir miktar azalmıştır. 2750 d/dak devir sayısında, biyodizel kullanımı ile eksoz gazlarına giden enerji oranı genel olarak azalmıştır. Ancak eksoz gazları ile dışarı atılan enerji oranı değerlerindeki azalmalar çok düşük düzeylerde olmuştur. Diğer kayıplara giden enerji oranı ise; %5 biyodizel/dizel yakıt karışımı için biraz azalmış olmakla birlikte diğer tüm BDYK ve B100 için ise artmıştır.



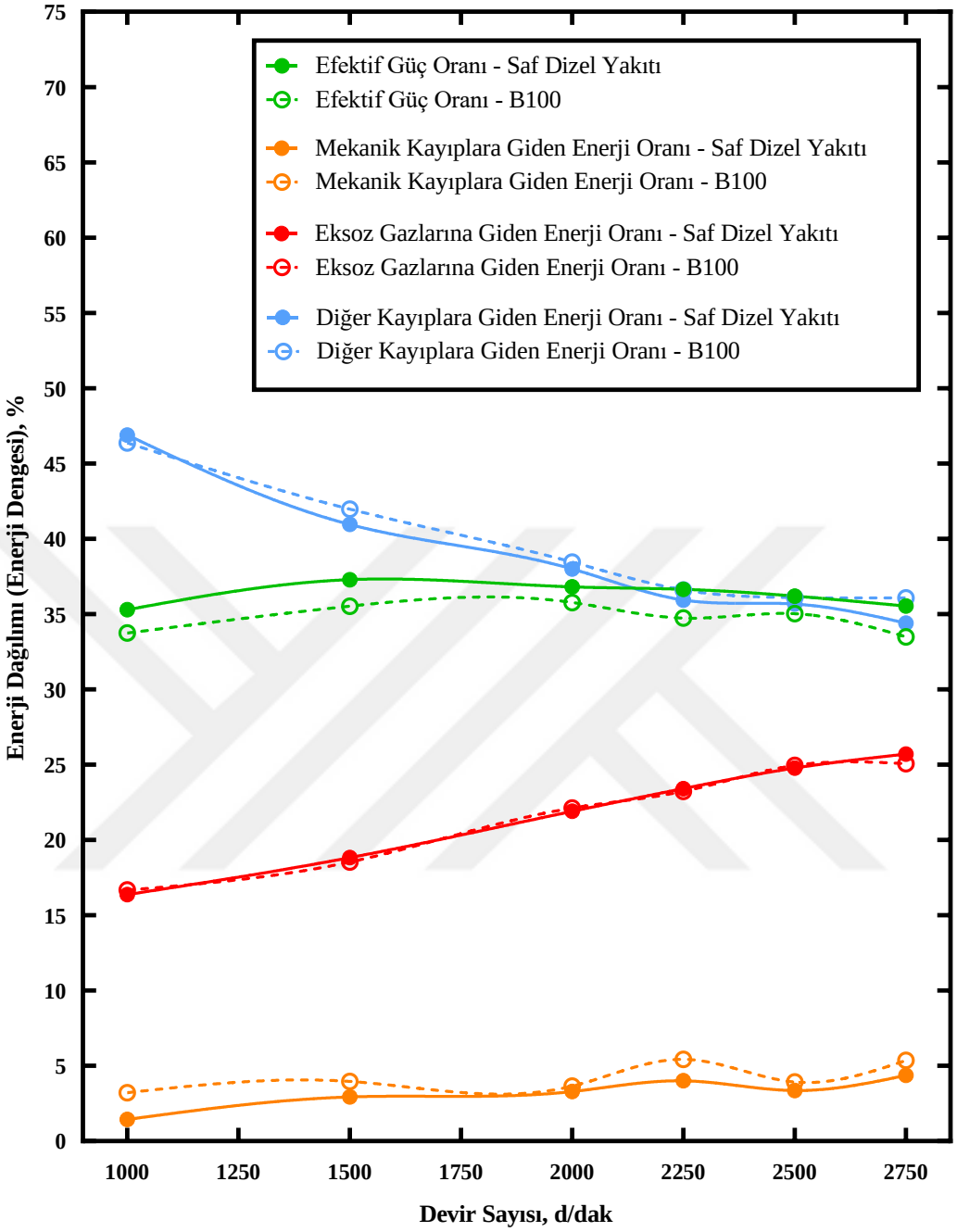
Şekil 3.49. 2750 d/dak devir sayısına ilişkin enerji dengesi grafikleri, (a) Saf Dizel Yakıtı, (b) B05, (c) B10, (d) B15, (e) B20, (f) B50, (g) B100



Şekil 3.50. 2750 d/dak devir sayısında, SDY, B100 ve 5 farklı BDYK için enerji dengesi sütun grafikleri

B100 ile SDY'nin enerji dengesi sonuçlarının devir sayısına göre değişimleri Şekil 3.51'de gösterilmiştir. Ayrıca optimum karışım oranı olarak belirlenen %20 karışımı için enerji dengesi sonuçları SDY ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 3.52'de gösterilmiştir.

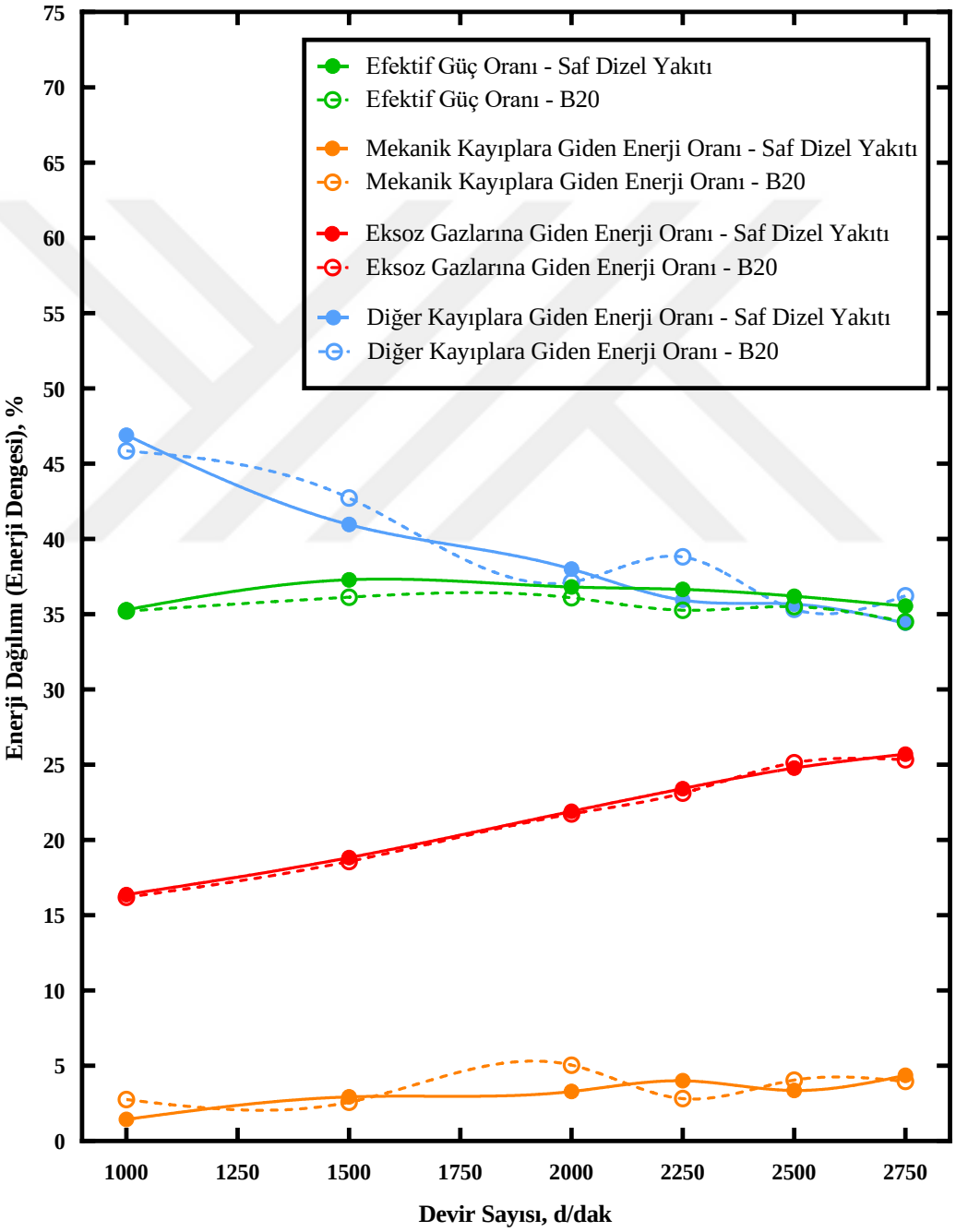
Şekil 3.51'den görüleceği gibi; biyodizele ilişkin enerji dengesi sonuçları değişimi dizel yakıtının sonuçlarına çok benzer olmuştur. Ancak, B100'ün efektif güç oranı değerleri, seçilen tüm devir sayılarında SDY'den daha düşük çıkmıştır. Eksoz gazlarına giden enerji oranı ise iki yakıt için birbirine çok yakın olmuştur. B100 için, mekanik kayıplara ve diğer kayıplara giden enerji oranları ise SDY'ye göre artmıştır.



Şekil 3.51. SDY ile B100 yakıtının, enerji dengesi oranlarının devir sayısına göre değişimleri

Şekil 3.52'den görülebileceği gibi efektif güç oranı, tüm devir sayılarında B20 yakıt karışımı için SDY'den düşük çıkmıştır. Eksoz gazlarına giden enerji oranı ise her iki yakıt için de birbirine çok yakın değerler almıştır. Şekil 3.52'den anlaşılabileceği gibi %20 biyodizel/dizel yakıt karışımı için mekanik kayıplara giden enerji oranının değişimi pek kararlı olmamıştır. Ancak mekanik kayıplara giden enerji oranının genel olarak artma

eğilimi gösterdiği söylenebilir. Aynı şekilde diğer kayıplara giden enerji oranının değişimi de düzgün olmamıştır. B100 ve B20'nin enerji dengesi sonuçları ve değişimleri SDY'nin enerji dengesi sonuçlarına ve değişimlerine çok benzer çıkmıştır. Yapılan bu değerlendirmelere göre yenilenebilir yakıt olan biyodizelin B20 karışımı şeklinde veya saf biyodizel olarak dizel motorlarında güvenilir şekilde kullanılması önerilebilir.



Şekil 3.52. SDY ile B20 yakıt karışımının, enerji dengesi açısından devir sayısına göre değişimi

4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında, mısırdan üretilmiş sıvı yağdan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Söz konusu biyodizelin yakıt özellikleri, TÜRKAK tarafından akredite edilmiş olan KTÜ Prof. Dr. Saadettin Güner Yakıt Uygulama ve Araştırma Merkezinde (KTÜ-YUAM) ölçülmüştür. Daha sonra üretilen B100'ün ve B05, B10, B15, B20, B50 gibi 5 farklı BDYK'nin tek silindirli bir dizel motorunda kullanılmasının; motor performansı, eksoz emisyonları ve silindir basıncı ve sıcaklığı değerleri, açığa çıkan ısı oranı ve yanma süresi gibi yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler 20.5 sabit sıkıştırma oranı ve tam yükte (750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak gibi çeşitli devir sayılarında gerçekleştirilmiştir. Böylelikle farklı devir sayılarında, SDY, seçilen 5 farklı BDYK ve B100'ün motor performansı parametreleri, eksoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri hem SDY ve hem de saf biyodizel ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir ve irdelenmiştir. Daha sonra; açığa çıkan ısı oranı eğrilerinden yaralanarak, yanma süresinin biyodizel oranına ve devir sayısına bağlı olarak hesaplanabildiği bir amprik bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak deney yapılmayan devir sayısı ve biyodizel oranları için yanma süreleri belirlenmiştir. Son olarak SDY, B100 ve seçilen BDYK kullanılması durumunda (1000, 1500, 2000, 2250, 2500 ve 2750) d/dak devirleri için; silindire sokulan yakıt enerjisine göre enerji dengesi hesabı yapılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve irdelenmiştir.

Sunulan çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

1. Motor performansına ve eksoz emisyonlarına ilişkin sonuçlar sıralanırken ortalama değerler sunulmuştur. İlgili sayısal sonuçlar ise "bulgular ve tartışma" bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

1.1. Kullanılan yakıtlar ve tüm yakıt karışımları için döndürme momenti değerlerinde, SDY'ye göre, ortalama %(1-2) arasındaki oranlarda ve buna bağlı olarak ortalama efektif basınç değerlerinde de %(1-3) arasındaki oranlarda azalmalar görülmüştür.

1.2. Döndürme momenti ve ortalama efektif basınç değerlerindeki değişimlere benzer şekilde seçilen tüm yakıt ve yakıt karışımları için efektif güç değerlerinde de SDY'ye göre %(0-3) arasındaki oranlarda azalmalar belirlenmiştir.

Döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve efektif güç değerlerindeki bu azalmalar; biyodizelin alt ısıl değerinin saf dizel yakıtının alt ısıl değerinden ~%13 oranında daha düşük olması ve viskozite değerinin ise yine saf dizel yakıtına göre ~%55,4 oranında daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılıklara karşın performans değerlerindeki azalmanın çok düşük olması; biyodizelin yoğunluğunun saf dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve yapısında oksijen bulunması nedeniyle yanmayı iyileştirerek aradaki bu farkı dengelemesinin bir sonucu olduğu düşünülmüştür.

1.3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde, seçilen tüm yakıt ve yakıt karışımları için SDY'ye göre ortalama %(3-20) arasındaki oranlarda bir artış görülmektedir. Bu durum, biyodizelin ısıl değerinin saf dizel yakıtının ısıl değerinden daha düşük olmasına karşın aynı performansı elde edebilmek için silindire daha çok yakıt gönderilmesi gerekliliğiyle açıklanabilir. Bunun yanı sıra biyodizelin yoğunluğunun saf dizel yakıtının yoğunluğundan daha fazla olması nedeniyle silindire kütle bazında daha fazla miktarda yakıt gönderilmesi de yakıt tüketiminin artma nedenlerindendir.

Fakat burada B50 gibi yüksek oranda biyodizel içeren karışım ve B100'ü göz ardı edersek, B20 yakıt karışım oranına kadar maksimum %5 gibi kabul edilebilir oranda özgül yakıt tüketimi artışı olduğu da göz ardı edilmemelidir.

1.4. Efektif verim değerlerinde, tüm yakıtlar ve seçilen yakıt karışımları için SDY'ye göre ortalama %(2-4) arasındaki oranlarda azalmalar görülmektedir. Buna benzer şekilde hava fazlalık katsayısı değerlerinde de tüm yakıtlar ve seçilen yakıt karışımları için SDY'ye göre ortalama %(0-2) arasındaki oranlarda azalmalar görülmektedir.

Efektif verim ve hava fazlalık katsayısı değerlerindeki azalmalar, daha önce belirtilen nedenler dolayısıyla artan yakıt tüketiminin bir sonucudur. Yalnız burada dikkat edilmesi geren önemli noktalardan bir tanesi, özgül yakıt tüketiminde meydana gelen yüksek artış oranlarına karşın efektif verim ve hava fazlalık katsayısındaki azalmanın çok düşük

olmasıdır. Bu durum da, daha önce belirtilmiş olduğu üzere biyodizelin yapısında bulunan oksijenin yanmayı iyileştirmesinin ve biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasının sonucu olarak yorumlanmıştır.

1.5. Orta ve yüksek motor hızlarında tüm performans eğrileri için B05 ve B20 yakıt karışımlarının B100 ve diğer yakıt karışım oranlarına göre daha iyi sonuçlar verdikleri görülmüştür. B05 yakıt karışımının fiziksel özelliklerinin saf dizel yakıta çok yakın olması dolayısıyla böyle bir sonuç çıkması beklenen bir durumdur. B20 yakıt karışımının diğer karışım oranlarına göre daha iyi sonuç vermesi ise, biyodizel yakıtının; yüksek yoğunluk, yüksek viskozite ve düşük ısıl değer gibi yetersizlikleri ile bileşiminde bulunan oksijenin yanmayı iyileştirmesi sonucu elde edilen üstünlükle dengelenmesi sonucu optimum karışım oranının elde edilmiş olmasıyla açıklanmıştır.

1.6. Devir sayısının artmasıyla birlikte SDY ile B05, B10, B15, B20, B50 yakıt karışımları ve B100'ün performans değerleri arasındaki farklılıklar azalmaktadır. Yani devir sayısı arttıkça elde edilen sonuçlar birbirlerine yaklaşmaktadır.

1.7. Artan biyodizel oranlarıyla birlikte, genel olarak CO ve is emisyonlarında azalma olurken doğal olarak CO_2 gazlarında artış gözlenmiştir. Bazı karışım oranlarında HC emisyonlarında azalma olmasına rağmen, HC emisyonları genel olarak artmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, daha önce yapılan çalışmalarla da uyuşmaktadır. Emisyon değerlerinde elde edilen iyileşmeler, artan oksijen miktarı dolayısıyla elde edilen daha iyi yanmanın sonucu olarak yorumlanmıştır.

2. Aşağıda yanma karakteristiklerinden silindir basıncı, silindir sıcaklığı ve açığa çıkan ısı oranı sonuçları sunulurken, sayısal değerler için 2000 d/dak devir sayısı seçilmiştir. Bilindiği gibi dizel motorları genellikle buna benzer şekilde orta devir sayılarında kullanılmaktadırlar. Diğer devirlerle ilgili sayısal sonuçlar ise "bulgular ve tartışma" bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.1. Deneyler sonucunda; seçilen tüm devir sayıları için seçilen BDYK'nin ve B100'ün maksimum silindir basıncı değerleri genellikle SDY'den yüksek

çıkmıştır. Ayrıca artan biyodizel oranlarıyla birlikte maksimum basınç değerleri de artmıştır. 2000 d/dak devir sayısında, SDY için maksimum basınç değeri 69.404 bar ve bu basıncın elde edildiği krank açısı 9 °KMA olmuştur. Seçilen (B05, B10, B15, B20, B50) gibi BDYK'nin ve B100'ün maksimum basınçları ise sırasıyla (69.940, 70.779, 70.232, 70.404, 71.196 ve 72.368) bar ve bu basınçların elde edildiği krank mili açısı değerleri B100 hariç diğer seçilen tüm yakıt karışımları için SDY'de olduğu gibi 9 °KMA, B100 için ise 8 °KMA olarak belirlenmiştir. Saf biyodizel için maksimum silindir basıncının oluştuğu açı daha öne kaymıştır yani maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın bir açıda oluşmuştur.

2.2. Seçilen çalışma koşulları altında; silindir sıcaklıkları, %(10-15) gibi düşük karışım oranlarında artmış, buna karşın aynı karışım oranlarından sonra ise azalmaya başlamıştır. 2000 d/dak'da, SDY için maksimum silindir sıcaklığı 19 °KMA'da 2101.486 K olarak bulunmuştur. Diğer (B05, B10, B15, B20, B50) BDYK ve B100 için elde edilen maksimum silindir sıcaklıkları sırasıyla (2090.293, 2120.305, 2117.367, 2087.788, 2081.130 ve 2078.312) K olmuştur. Yine aynı koşullarda maksimum sıcaklık değerleri; B05 için 21 °KMA'da diğer BDYK ve B100 için 20 °KMA'da elde edilmiştir.

2.3. Seçilen BDYK ve B100 için hesaplanarak çizilen açığa çıkan ısı oranı eğrilerinin değişimi SDY'ye benzer karakterde olmuştur. Ayrıca seçilen tüm biyodizel karışımları ve saf biyodizel için hesaplanan maksimum açığa çıkan ısı oranı değerleri SDY'ye çok yakın olmuştur. Örneğin; 2000 d/dak'da, açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri; SDY için 25.537 Joule/derece olarak 7 °KMA'da elde edilmiştir. B05, B10, B15, B20, B50 karışımları ve B100 için açığa çıkan ısı oranının maksimum değerleri sırasıyla (25.656, 25.488, 25.221, 25.023, 25.350 ve 25.147) Joule/derece olarak belirlenmiştir. Bu değerler B100 ve B50 için 6 °KMA'da, B10 için 8 °KMA'da, diğer yakıt karışımları için ise SDY'ye benzer şekilde 7 °KMA'da elde edilmiştir. Diğer devirlerdeki sonuçlar da benzer özellikler sergilemiştir.

2.4. Yanma süreleri, silindir sıcaklıklarına benzer şekilde artan biyodizel oranıyla birlikte ortalama %(10-15) biyodizel oranlarına kadar artmış, daha sonra ise

yüksek biyodizel oranlarında azalmaya başlamıştır. Örneğin; 2000 d/dak'da, SDY için yanma süresi 17.062 °KMA olarak belirlenmiştir. (B05, B10, B15, B20 ve B50) biyodizel/dizel yakıtı karışımları ve B100 için ise yanma süreleri sırasıyla; (17.343, 17.577, 17.587, 17.426, 16.726 ve 16.610) °KMA şeklinde hesaplanmıştır. Seçilen diğer devir sayıları için benzeri sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca saf biyodizelin yanma süresi seçilen çalışma koşulları altında genellikle SDY'den düşük olmuştur. Yani saf biyodizel daha kısa süreler boyunca ve ÜÖN'ye daha yakın krank mili açılarında yanmıştır.

3. Biyodizel/dizel yakıtı karışımları ve saf biyodizel yakıtının kullanılması durumlarında yapılan enerji dengesi değerlendirmeleri sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Buradaki enerji dengesi değerlendirilmeleri silindire sokulan yakıt enerjisine göre yapılmıştır.

3.1. Silindire sokulan yakıt enerjisine göre değerlendirme yapıldığında; seçilen tüm BDYK ve B100 yakıtı için efektif güç oranı SDY'ye göre azalmıştır. Örneğin 2000 d/dak devir sayısında; B05, B10, B15, B20, B50 BDYK'nin ve B100 yakıtının kullanımıyla efektif güç oranında SDY'ye göre sırasıyla %(1.3, 2.1, 1.5, 0.7, 1.2 ve 1)'lik azalmalar oluşmuştur. Seçilen diğer devir sayılarında da biyodizel kullanımı ile efektif güç oranında benzeri azalma oranları görülmüştür.

3.2. Silindire sokulan yakıt enerjisine göre değerlendirme yapıldığında; seçilen tüm BDYK ve B100 yakıtı için mekanik kayıplara giden enerji oranları SDY'ye göre genel olarak artmıştır. Örneğin 2000 d/dak devir sayısında; B05, B10, B15, B20, B50 BDYK'nin ve B100 yakıtının kullanımıyla mekanik kayıplara giden enerji oranında SDY'ye oranla sırasıyla %(0.5, 1.9, 1.1, 1.7, 1.5 ve 0.4)'lük artışlar oluşmuştur. Seçilen diğer devir sayılarında da benzeri sonuçlara ulaşılmıştır.

3.3. Silindire sokulan yakıt enerjisine göre değerlendirme yapıldığında; seçilen tüm BDYK ve B100 yakıtı için eksoz gazlarına giden enerji oranları SDY'ye çok yakın çıkmıştır. Örneğin 2000 d/dak devir sayısında; B05 ve B20 BDYK'nin kullanımıyla eksoz gazlarına giden enerji oranlarında SDY'ye

göre sırasıyla %(0.1 ve 0.2)'lik azalmalar, B10, B50 BDYK ve B100 yakıtı kullanımıyla eksoz gazlarına giden enerji oranlarında ise SDY'ye göre sırasıyla %(0.1, 0.1 ve 0.2)'lik artışlar belirlenmiştir. B15 biyodizel/dizel yakıtı karışımı ise SDY ile aynı sonucu vermiştir.

3.4. Silindire sokulan yakıt enerjisine göre değerlendirme yapıldığında; seçilen tüm BDYK ve B100 yakıtı için diğer kayıplara giden enerji oranları, diğer enerji çeşitlerine bağlı olmakla birlikte genel olarak SDY'ye göre artmıştır. Örneğin 2000 d/dak devir sayısında; B05, B10, B15 BDYK ve B100 yakıtı kullanıldığında diğer kayıplara giden enerji miktarında SDY'ye göre sırasıyla %(0.9, 0.1, 0.4 ve 0.5)'lik artışlar oluşmuştur. B20 ve B50 BDYK kullanımıyla diğer kayıplara giden enerji oranlarında SDY'ye göre sırasıyla %(0.9 ve 0.4)'lük azalmalar belirlenmiştir. Seçilen diğer devir sayılarında da benzeri oranlarda artışlar ve azalmalar olmuştur.

5. ÖNERİLER

1. Sunulan çalışmada; biyodizel, pandemi öncesi reaksiyon koşullarına göre transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiştir. Bölgesel ürün olan mısır yağından üretilmiş olan biyodizel güncel olarak ilerleyen teknolojilerden ve yapılan birçok çalışmadan yararlanılarak en ideal üretim yöntemi ve reaksiyon koşulları belirlenerek yeniden üretilebilir. Böylece çok daha düşük viskozitesi ve yoğunluğu olan biyodizel elde edilebilir.

2. Sunulan çalışmada deneylerde tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motoru kullanılmıştır ve ilgili motorda 2750 d/dak devir sayısından daha yüksek devir sayılarında ölçüm sağlıklı olarak alınamamıştır. İleride yapılacak çalışmalarda, farklı tip dizel motorlarının kullanılması ve daha yüksek devir sayılarında da ölçümlerin alınması önerilebilir. Ayrıca biyodizel kullanımının otomotivde kullanılan güncel taşıt dizel motorlarında da uygulanmasının önemli olduğu söylenebilir. Böylece elde edilecek sonuçlar daha da genelleştirilebilir ve otomotiv sanayisinin kullanımına sunulabilir.

3. Sunulan çalışmada, biyodizel kullanımının CO, CO_2, HC ve is gibi eksoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Ancak NO_x emisyonları eldeki imkânsızlıklar nedeniyle ölçülememiştir. Bilindiği gibi NO_x eksoz emisyonları dizel motorlarının en önemli kirleticileri arasında yer almaktadır. Bu nedenle, ildride yapılacak çalışmalarda, biyodizel kullanımının NO_x emisyonları ve diğer tüm eksoz emisyonları üzerindeki etkilerini daha iyi belirleyebilmek için daha gelişmiş eksoz ölçüm donanımlarının (cihazlarının) kullanılması önerilebilir.

4. Sunulan çalışmada, uzun süreli biyodizel kullanımının motor elemanlarına herhangi bir etkisinin olup olmadığı belirlenmemiştir. Biyodizelin bitkisel kökenli olması nedeniyle, özellikle metal donanımlarda uzun vadede herhangi bir zararlı etkisinin olup olmadığının anlaşılması için uzun süreli deneylerin yapılması faydalı olacaktır.

5. Üretilecek olan biyodizelin ekonomiklik ve kalite optimizasyonu sağlayabilmek için hangi bitkiden üretilmesi gerektiğinin belirlenmesi özellikle geniş tarım alanlarına sahip bir ülke olmamız dolayısıyla büyük önem taşımaktadır. Kullanılacak ürün belirlenirken tarım alanlarının ekilmesinden, biyodizelin üretimine, biyodizelin depolanmasından taşınmasına ve dağıtılmasına kadar tüm aşamaların maliyet hesabının titizlikle yapılması önerilebilir.

6. Sunulan çalışmada, biyodizel kullanımı ile ilgili sunulan veriler deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların hem çok masraflı hem de çok zaman alıcı olması nedenleriyle, dizel motoru çevrimlerini hesaplayabilen bir bilgisayar programı oluşturulabilirse; hem çok kısa sürede hem de çok daha ekonomik olarak birçok sayısal veri elde edilebilir. Böylelikle teorik çalışma sonuçlarına az miktarda deney sonuçları eklenerek, biyodizel kullanımının motor performansı ve eksoz emisyonları üzerindeki etkileri ile ilgili genelleştirilmiş sonuçlara ulaşılabilir.

6. KAYNAKLAR

Abedin, M., J., Masjuki, H., H., Kalam, M., A., Sanjid, S., M., Rahman, S., M., A. ve Fattah, I., M., R., 2014. Performance, emissions, and heat losses of palm and jatrophabiodiesel blends in a diesel engine, Industrial Crops and Products, 59, 96-104.

Altınsoy, A., S., 2007. Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Asokan, M., A., Prabu, S., S., Prathiba, S., Mishra, S., Mittal, H. ve Verma, V., 2021. Emission and performance behavior of safflower oil biodiesel/diesel blends in DI diesel engine, Materials Today: Proceedings, 46, 8266-8270.

Buyukkaya, E., 2010. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, Fuel, 89, 3099-3105.

Caliskan, H. ve Mori, K., 2017. Thermodynamic, environmental and economic effects of diesel and biodiesel fuels on exhaust emissions and nano-particles of a diesel engine, Transportation Research Part D, 56, 203-221.

Ç.M.O., 2022. Hava Kirliliği Raporu 2021, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 146 S.

Dağdelen, D., 2015. Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, AB Uzmanlık Tezi, T.C., Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.

Deshmukh, B., S., Gokhale, N., P., Kumar, M., N., Aghav, Y., V., Das, L., M., ve Babu, M., K., G., 2009. Combustion Behavior of Off-Highway CI Engines Using Biodiesel, SAE, 2009-26-35.

Durgun, O., 1991. Motor Çevrimlerinin Hesabı İçin Pratik Bir Yöntem, Mühendis ve Makina, 383, 12-28.

Durgun, O., 2022. İçten Yanmalı Motorlar, Temel İlkeler, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.

Gad, M., S., EL-Seesy, A., I., Hashish, H., M., A., He, Z. ve Alshaer, W., G., 2021. Combustion and emissions aspects of a diesel engine working with sheep fat oil biodiesel-diesel blends, Case Studies in Thermal Engineering, 26, 101162.

Gongora, B., Souza, S., N., M., Bassegio, D., Santos, R., F., Siqueira, J., A., C., Baricatti, R., A., Gurgacz, F., Secco, D., Tokura, L., K. ve Sequinel, R., 2022. Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels, Industrial Crops & Products, 179, 114680.

Gulzar, M., Masjuki, H., H., Varman, M., Kalam, M., A., Zulkifli, N., W., M., Mufti, R., A., Liaquat, A., M., Zahid, R. ve Arslan, A., 2016. Effects of biodiesel blends on lubricating oil degradation and piston assembly energy losses, Energy, 111, 713-721.

Gülüm, M., 2014. Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Gülüm, M., 2020. Düşük Viskoziteli Atık Kızartma Yağı Biyodizelinin Üretimi ve Yakıt Demeti Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Heywood, J., B., 1989. Internal Combustion Engines Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, Singapore.

Hoang, A., T., Le, M., X., Nizetic, S., Huang, Z., Ağbulut, Ü., Veza, I., Said, Z., Le, A., T., Tran, V., D. ve Nguyen, X., P., 2022. Understanding behaviors of compression ignition engine running on metal nanoparticle additives-included fuels: A control comparison between biodiesel and diesel fuel, Fuel, 326, 124981.

Holman, J., P., 2001. Experimental Methods fob Engineers, McGraw-Hill Book Company, New York.

How, H., G., Masjuka, H., H., Kalam, M., A., Teoh, Y., H. ve Chuah, H., G., 2018. Effect of Calophyllum Inophyllum biodiesel-diesel blends on combustion, performance, exhaust particulate matter and gaseous emissions in a multicylinder diesel engine, Fuel, 227, 153-164.

IEA, 2019. World Energy Outlook 2019, International Energy Agency.

Jeon, J., Lee, J., T., Lim, Y., S., Kwon, S., I., Park, Y., H., Cha, J., Lee, K. ve Park, S., 2013. Flame temperature distributions of biodiesel fuel in a single-cylinder diesel engine, Fuel Processing Technology, 110, 227-234.

Karami, R., Rasul, M., G., Khan, M., M., K., Salahi, M., M. ve Anwar, M., 2021. Experimental and computational analysis of combustion characteristics of a diesel engine fueled with diesel-tomato seed oil biodiesel blends, Fuel, 285, 119243.

Karthickeyan, V., Ashok, B., Nanthagopal, K., Thiyagarajan, S. ve Geo, V., E., 2019. Investigation of novel Pistacia khinjuk biodiesel in DI diesel engine with post combustion capture system, Applied Thermal Engineering, 159, 113969.

Khiari, K., Tarabet, L., Awad, S., Loubar, K., Mahmoud, R. ve Tazerout, M., 2015. Combustion Characteristics of Pistacia Lentiscus Biodiesel in DI Diesel Engine, SAE, 2015-24-2481.

Kline, S. ve McClintock, F., 1953. Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, Mechanical Engineering, 75, 3-8.

Kondaiah, A., Rao, Y., S., Satishkumar, Kamitkar, N., D., Ibrahim, S., J., A., Chandradass, J. ve Kannan, T., T., M., 2021. Influence of blends of castor seed biodiesel and diesel on engine characteristics, Materials Today: Proceedings, 45, 7043-7049.

Liaquat, A., M., Masjuki, H., H., Kalam, M., A., Fattah, I., M., R., Hazrat, M., A., Varman, M., Mofijur, M. ve Shahabuddin, M., 2013. Effect of coconut biodiesel blended fuels on engine performance and emission characteristics, Procedia Engineering, 56, 583-590.

Manickam, M., Kadambamattam, M. ve Abraham, M., 2009. Combustion Characteristics and Optimization of neat Biodiesel on High Speed Common Rail Diesel Engine Powered SUV, SAE, 2009-01-2786.

Mofijur, M., Rasul, M., Hassan, N., M., S. ve Uddin, M., N., 2019. Investigation of exhaust emissions from a stationary diesel engine fuelled with biodiesel, Energy Procedia, 160, 791-797.

Mohamed, M., Tan, C., K., Fouda, A., Gad, M., S., Elyazeed, O., A. ve Hashem, A., F., 2020. Diesel Engine Performance, Emissions and Combustion Characteristics of Biodiesel and Its Blends Derived from Catalytic Pyrolysis ofWaste Cooking Oil, Energies, 2020, 13, 5708.

Mubarek, M., Shaija, A. ve Suchithra, T., V., 2021. Experimental evaluation of Salvinia molesta oil biodiesel/diesel blends fuel on combustion, performance and emission analysis of diesel engine, Fuel, 287, 119526.

Muinos, M., Soloiu, V., Moncada, J., Gaubert, R., Molina, G. ve Williams, J., 2017. Experimental Investigation on the Combustion and Emissions Characteristics of n-Butanol / GTL and n-Butanol/Diesel Blends in a Single-Cylinder MD-CI Engine, SAE, 2017-01-0719.

Nguyen, T., Pham, M. ve Anh, T., L., 2020. Spray, combustion, performance and emission characteristics of a common rail diesel engine fueled by fish-oil biodiesel blends, Fuel, 269, 117108.

Ogunkunle, O. ve Ahmed, N., A., 2020. Exhaust emissions and engine performance analysis of a marine diesel engine fuelled with Parinari polyandra biodiesel–diesel blends, Energy Reports, 6, 2999-3007.

Özçelik, A., E., 2017. Investigation of The Effects of Safflower Biodiesel Blends with Eurodiesel Fuel on Engine Performance and Emissions in Common-Rail Diesel Engine, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54 (1), 9-16.

Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A., T. ve Özkan, M., 2014. Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, Fuel, 115, 875-883.

Özdemir, Z., Ö. ve Mutlubaş, H., 2016. Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, Kirklareli University Journal of Engineering and Science, 2, 129-143.

Pulkrabek, W. W., 2004. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Second Edition, Pearson Prentice-Hall, U.S.A.

Raghuvaran, S., Ashok, B., Veluchamy, B. ve Ganesh, N., 2021. Evaluation of performance and exhaust emission of C.I diesel engine fuel with palm oil biodiesel using an artificial neural network, Materials Today: Proceedings, 37, 1107-1111.

Rahman, M., A. ve Aziz, M., A., 2021. Biodiesel from water hyacinth biomass and its influence on CI engine performance, emission, combustion and heat loss characteristics with the induction of hydroxy, Energy, 224, 120151.

Rajendran, S., Ramalingam, S. ve Viswanathan, M., 2018. Exhaust Emissions Reduction from Neat Biodiesel Operated Diesel Engine Using Catalyst Coated Piston and Antioxidant Additive, SAE, 2018-28-0053.

Raju, V., D., Soudagar, N., E., M., Venu, H. Nair, J., N., Reddy, M., B., S., S., Reddy, J., S., Rao, T., S., Khan, T., M., Y., Ismail, K., A. ve Elfasakhany, A., 2022. Experimental assessment of diverse diesel engine characteristics fueled with an oxygenated fuel added lemon peel biodiesel blends, Fuel, 324, 124529.

Rao, G., L., N., Prasad, B., D., Sampath, S. ve Rajagopal, K., 2007. Combustion Analysis of Diesel Engine Fueled with Jatropha Oil Methyl Ester - Diesel Blends, International Journal of Green Energy, 4:6, 645-658.

Reddy, N., V., K., Sangashetty, SG. ve Banapurmath, N., R., 2021. Performance and emissions evaluation of diesel engine fueled with exhaust gas energy preheated CAOME biodiesel, Materials Today: Proceedings, 45, 290-293.

Renish, R., R., Maneesha, G., Jeyaraman, P. Ve Projoth, T., N., 2022. Experimental investigation on performance and emissions of a VCR engine fuelled by biodiesel/diesel blends, Materials Today: Proceedings, 62, 3689-3698.

Sakhare, N., M., Shelke, P., S. ve Lahane, S., 2016. Experimental Investigation of Effect of Exhaust Gas Recirculation and Cottonseed B20 Biodiesel Fuel on Diesel Engine, Procedia Technology, 25, 869-876.

Saravanan, S., Nagarajan, G., Rao, G., L., N. ve Sampath, S., 2010. Combustion characteristics of a stationary diesel engine fuelled with a blend of crude rice bran oil methyl ester and diesel, Energy, 35, 94-100.

Sathyamurthy, R., Balaji, D., Gorjian, S., Muthiya, S., J., Bharathwaaj, R., Vasanthaseelan, S. ve Essa, F., A., 2021. Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 43, 100981.

Sezer, İ., 2016. Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve karışımlarının içten yanmalı motorlara etkilerinin teorik incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31:4, 799-812.

Singh, S., B., Dhar, A. ve Agarwal, A., K., 2015. Technical feasibility study of butanol–gasoline blends for powering medium-duty transportation spark ignition engine, Renewable Energy, 76, 706-716.

Shareef, S., M. ve Mohanty, D., K., 2020. Experimental investigations of dairy scum biodiesel in a diesel engine with variable injection timing for performance, emission and combustion, Fuel, 280, 118647.

Tarabet, L., Loubar, K., Lounici, M., S., Khiari, K., Belmrabet, T. ve Tazerout, M., 2014. Experimental investigation of DI diesel engine operating with eucalyptus biodiesel/natural gas under dual fuel mode, Fuel, 133, 129-138.

Temizer, İ., Cihan, Ö. ve Eskici, B., 2020. Numerical and experimental investigation of the effect of biodiesel/diesel fuel on combustion characteristics in CI engine, Fuel, 270, 117523.

Tesfa, B., Mishra, R., Zhang, C., Gu, F. ve Ball, A., D., 2013. Combustion and performance characteristics of CI (compression ignition) engine running with biodiesel, Energy, 51, 101-115.

Tuti, M., Şahin, Z. ve Durgun, O., 2021. Experimental Investigation of the Effects of Water Addition into the Intake Air on Cylinder Pressure, Temperature, Heat Release Rate and Combustion Duration in an Automotive Diesel Engine, Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK 2021), Gaziantep, Türkiye, 8-10 Eylül 2021, cilt.1, 785-795.

URL-1, www.env-health.org/wp-content/uploads/2022/03/Hava_Kirliligi_Bilgi_Notu.pdf. Mart 2022.

URL-2, www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/agriculture/042621-brazil-data-march-biodiesel-production-rises-despite-higher-feedstock-costs#. 26 Nisan 2021.

Uyumaz, A., Aydoğan, B., Yılmaz, E., Solmaz, H., Aksoy, F., Mutlu, İ., İpci, D. ve Calam, A., 2020. Experimental investigation on the combustion, performance and exhaust emission characteristics of poppy oil biodiesel-diesel dual fuel combustion in a CI engine, Fuel, 280, 118588.

Yesilyurt, M., K., 2020. A detailed investigation on the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a diesel engine running on the blend of diesel fuel, biodiesel and 1-heptanol (C7 alcohol) as a next-generation higher alcohol, Fuel, 275, 117893.

Yesilyurt, M., K., Cesur, C., Aslan, V. ve Yilbasi, Z., 2020. The production of biodiesel from safflower (Carthamus tinctorius L.) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine: A comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119, 109574.

Zhang, Z., Wang, T., Jia, M., Wei, Q., Meng, X. ve Shu, G., 2014. Combustion and particle number emissions of a direct injection spark ignition engine operating on ethanol/gasoline and n-butanol/gasoline blends with exhaust gas recirculation, Fuel, 130, 177-188.

ÖZGEÇMİŞ

İlkokulu Trabzon Dumlupınar İlkokulunda, ortaokulu Trabzon Kanuni Anadolu Lisesinde okudu. Lise öğrenimini ise Trabzon Lisesinde tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve aynı bölümden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl güz döneminde Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında yatay geçişle Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalına yatay geçiş yaparak Yüksek Lisans öğrenimine burada devam etti. Aralık 2007'de Rize Üniversitesi Rize Meslek Yüksekokulu Otomotiv programına okutman olarak atandı. Şubat 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekoku Teknik Programlar Bölümü Mekatronik Programında Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Aynı zamanda Teknik Programlar Bölüm Başkanlığı görevine atandı. Ağustos 2009'da Meslek Yüksekokulu Müdür Yardımcılığı görevine getirildi ve halen bu görevi yürütmektedir. Evli ve biri kız biri erkek olmak üzere iki çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.